

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Δομή, σύνθεση και ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών»

Στυλιανή Ανδρεοπούλου

ΒΟΛΟΣ 2018

«Δομή, σύνθεση και ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών»

Διμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Επίκουρος Καθηγητής, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) **Νικόλαος Νεοφύτου**, Επίκουρος Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

*Στην οικογένειά μου και
ιδιαίτερα στους αγαπημένους μου παππούδες, Βασίλη και Ευτυχία*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον Επιβλέπων καθηγητή κύριο Κωνσταντίνο Σκόρδα, ο οποίος με τίμησε με την εμπιστοσύνη του αναθέτοντάς μου την εκπόνηση αυτής της εργασίας και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα και να γνωρίσω περισσότερο πάνω στον τομέα της Γεωχημείας. Τον ευχαριστώ θερμά για τις εξαιρετικά ωφέλιμες κριτικές παρατηρήσεις του στην επεξεργασία του θέματος αυτού, για το χρόνο που διέθεσε απλόχερα και για την αδιάλειπτη και πάντα με προθυμία παροχή της βοήθειάς του σε οποιοδήποτε πρόβλημα αντιμετώπιζα καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου διατριβής.

Κρίνω απαραίτητο να εκφράσω τις ευχαριστίες μου και στο μέλος της εξεταστικής επιτροπής, κύριο Νικόλαο Νεοφύτου, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις του στο σύνολο της.

Επίσης, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος για τις πολύτιμες γνώσεις και μαθήματα ζωής που μου μετέδωσαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Καθοριστικό ρόλο σε κάθε στάδιο της ζωής μου έπαιξε η αγάπη και η υποστήριξη της οικογένειάς μου, η οποία θα συνεχίζει να είναι το Α και το Ω της προσωπικής μου πορείας και επιτυχίας. Τους ευχαριστώ θερμά που είναι δίπλα μου και πιστεύουν σε εμένα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Πέτρο, Ηλία και Ανδρέα για τη στήριξη και την πολύτιμη παρουσία τους στη ζωή μου.

Συνομογραφίες

CEC: cation exchange capacity, ιοντοανταλλακτική ικανότητα (meq/100g)

Å: angstrom (Å), μονάδα άγκστρομ

meq: χιλιοστοϊσοδύναμο

SSA: specific surface area, ειδική επιφάνεια

Πίνακες

Πίνακας 1	Ταξινόμηση των κλαστικών ιζημάτων με βάση το μέγεθος των κόκκων	Σελίδα 8-9
Πίνακας 2	Ομάδες πυριτικών ορυκτών και σχετική αναλογία πυριτίου και οξυγόνου	Σελίδα 17
Πίνακας 3	Κυριότερα φυλλοπυριτικά ορυκτά	Σελίδα 27

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι άργιλοι είναι από τα πιο διαδεδομένα ορυκτά στην επιφάνεια της Γης και από τις πρώτες ορυκτές ύλες που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος από τα πανάρχαια χρόνια. Μεταφέρει την ιστορία πολλών λαών με τα αντικείμενα και έργα που έχουν κατασκευαστεί από αυτήν και μπόρεσαν να διατηρηθούν μέχρι σήμερα (Φιλλιπίδης 2013).

Στην Αμερική την χρησιμοποιούσαν οι Ινδιάνοι πολύ πριν από την εγκατάσταση των Ευρωπαίων στην χώρα τους. Στην Κίνα χρησιμοποιήθηκε πριν πολλούς αιώνες στην κατασκευή πορσελάνινων επιτραπέζιων και διακοσμητικών αντικειμένων. Τα αργιλικά ορυκτά είναι σημαντικά ως φυσική πρώτη ύλη και έχουν μια ευρεία ποικιλία χρήσεων.

Ως βιομηχανικά υλικά οι άργιλοι είναι μια σύνθετη ομάδα, η οποία αποτελείται από διάφορα ορυκτολογικά είδη καθένα από τα οποία έχει κάπως διαφορετική ορυκτολογία, γεωλογική εμφάνιση, τεχνολογία και βιομηχανική χρήση (Ντζαλά 2017).

Η άργιλος είναι ανόργανο κολλοειδές, το οποίο βοηθά τις χημικές αντιδράσεις και τις φυσικές ανταλλαγές, απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών. Με τον όρο «κολλοειδές», νοείται το ομογενές μίγμα που περιέχει μικροσκοπικά σωματίδια μιας χημικής ουσίας ομοιόμορφα διασκορπισμένα μέσα σε μια άλλη και που παραμένουν μη αναμίξιμα.

Στην παρούσα διατριβή έγινε αρχικά αναφορά στα πετρώματα που αποτελούν τη δομική μονάδα του στερεού φλοιού τη Γης και κατηγοριοποίηση αυτών σε επιμέρους ομάδες. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν εκτενώς τα ορυκτά και ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες βάση του τρόπου σύνδεσης των τετραέδρων του πυριτίου (SiO_4) και ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα φυλλοπυριτικά ορυκτά, καθώς τα ορυκτά της αργίλου ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

Κύριος σκοπός όμως της διατριβής ήταν η εμβάθυνση στη δομή, τη σύνθεση και τις ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών προκειμένου να τονιστεί η χρησιμότητα αυτών των ορυκτών και να κατανοηθεί πλήρως η γεωχημική συμπεριφορά τους. Τα ορυκτά των αργίλων ταξινομήθηκαν ανάλογα με τον αριθμό των τετραεδρικών και οκταεδρικών στρωμάτων σε τρεις μεγάλες κατηγορίες (ορυκτά δομής 1:1, ορυκτά δομής 2:1, ορυκτά δομής 2:1:1) και στη συνέχεια έγινε λεπτομερής αναφορά στις υποομάδες που περιελάμβανε η καθεμιά από αυτές.

Λέξεις-κλειδιά: πετρώματα, γεωχημικός κύκλος, ορυκτά, άργιλος, ιδιότητες

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	3
1.1 Ταξινόμηση των πετρωμάτων.....	5
1.1.1 Ταξινόμηση βάση προέλευσης	5
1.1.2 Ταξινόμηση βάση περιεκτικότητας σε SiO ₂	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΟΡΥΚΤΑ	14
2.1 Δομή των ορυκτών	16
2.1.1 Νησποφυριτικά ή Ορθοφυριτικά ορυκτά	17
2.1.2 Σωροφυριτικά ορυκτά	20
2.1.3 Κυκλοφυριτικά ορυκτά.....	22
2.1.4 Ινοφυριτικά ορυκτά.....	23
2.1.5 Φυλλοφυριτικά ορυκτά.....	25
2.1.6 Τεκτοφυριτικά ορυκτά.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ.....	30
3.1 Γενικά	30
3.2 Δυνάμεις μεταξύ των δεσμών των πακέτων	37
3.3 Χαρακτηριστικά των μεμονωμένων τύπων	40
3.3.1 Φυλλοφυριτικά τύπου 1:1 με δύο φύλλα (T-O).....	40
3.3.1.1 Διοκταεδρικά.....	41
3.3.1.2 Τριοκταεδρικά.....	48
3.3.2 Φυλλοφυριτικά τύπου 2:1 με τρία φύλλα (T-O-T)	50
3.3.2.1 Η ομάδα ορυκτών του σμεκτίτη (smectite)	53
3.3.2.1.1 Διοκταεδρικοί σμεκτίτες	53
3.3.2.1.2 Τριοκταεδρικοί σμεκτίτες	56
3.3.2.2 Η ομάδα ορυκτών του βερμικουλίτη (vermiculite)	57
3.3.2.2.1 Διοκταεδρικοί βερμικουλίτες	57
3.3.2.2.2 Τριοκταεδρικοί βερμικουλίτες.....	58
3.3.2.3 Τα ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών (micas)	59
3.3.2.3.1 Διοκταεδρικά ορυκτά μαρμαρυγιών	59
3.3.2.3.2 Τριοκταεδρικά ορυκτά μαρμαρυγιών.....	62
3.3.3 Φυλλοφυριτικά τύπου 2:1:(1) με τρία φύλλα συν ένα (T-O-T + O)	63

3.3.3.1 Τα ορυκτά της ομάδας των χλωριτών (chlorites)	63
3.3.3.1.1 Διοκταεδρικοί χλωρίτες	63
3.3.3.1.2. Τριοκταεδρικοί χλωρίτες.....	64
3.3.3.1.3 Δι-τριοκταεδρικοί χλωρίτες	66
3.3.3.1.4 Διογκωμένοι χλωρίτες.....	66
3.3.4 Φυλλοπηριτικά με μικτές στιβάδες	67
3.3.5 Φυλλοπηριτικά τύπου 2:1 ελασματοειδή	68
3.3.6 Άμορφοι τύποι	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Βιβλιογραφία.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Abstract.....	83

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι άργιλοι είναι μεταξύ των πιο διαδεδομένων και άφθονων ιζημάτων του στερεού φλοιού της γης, γνωστές επίσης για τις πολλαπλές βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι άργιλοι, με την συγκεκριμένη ορολογία στην γεωορυκτολογική βιβλιογραφία, θεωρούνται τα ιζηματογενή πετρώματα με διαφορετική προέλευση και φυσικές ιδιότητες και είναι σε κάθε περίπτωση αποτελούμενες στην ουσία από φυλλιτικά πυριτικά ορυκτά, με σύνθετη δομή και με μεταβλητή χημική σύσταση, γνωστές με το όνομα «αργιλικά ορυκτά».

Η παρουσία και η σχετική μεγάλη αφθονία αυτών των ορυκτών, επηρεάζουν σαφώς τις φυσικο-μηχανικές ιδιότητες και τις ιδιότητες εφαρμογής, όπως η γεωτεχνική συμπεριφορά όλων των υλικών που ονομάζονται άργιλοι.

Τα αργιλικά ορυκτά είναι σημαντικά ως φυσική πρώτη ύλη και έχουν μια ευρεία ποικιλία χρήσεων. Χρησιμοποιούνται σήμερα στην κατασκευή μεγάλου αριθμού και ποικιλίας προϊόντων, όπως: κεραμικά, χαρτί, τσιμέντα, φαρμακευτικά προϊόντα και καλλυντικά, χρώματα. Χρησιμοποιούνται επίσης ως μέσον σε πολλές διεργασίες όπως για παράδειγμα για τον καθαρισμό του νερού και ως πηγή υλικών, όπως το αλουμίνιο (Bergaya et al. 2006).

Ως εκ τούτου, η καλή γνώση της δομής και της χημικής σύστασης των αργιλικών ορυκτών είναι απαραίτητη όχι μόνο για τους Ορυκτολόγους ειδικούς σε αυτόν τον τομέα της Ορυκτολογίας, αλλά και για τους Γεωλόγους που ασχολούνται με την εφαρμοσμένη Γεωλογία καθώς επίσης και για τους Τεχνικούς Γεωλόγους που επιχειρούν στον τομέα και που αφορά τις κατολισθήσεις, τη χρήση, την προστασία και τη διατήρηση του εδάφους.

Τα αργιλικά ορυκτά και πετρώματα είναι γνωστά για τις προσροφητικές τους ικανότητες που οφείλονται στη μεγάλη ενεργή επιφάνεια (έως 800 m²/g) και τη σημαντική ιοντοανταλλακτική ικανότητα που παρουσιάζουν, με αποτέλεσμα να τα καθιστούν ιδιαίτερα αποτελεσματικά για την απομάκρυνση τοξικών μετάλλων (Bourliva, 2013). Τα αργιλικά ορυκτά που κατά παράδοση χρησιμοποιούνται ως απορροφητικά ή προσροφητικά υλικά είναι ο σμεκτίτης (μοντμοριλλονίτης), ατταπουλγίτης και ο σεπιόλιθος (Tsirampides 2001).

Για αυτό το λόγο, η έρευνα σε διεθνές επίπεδο, σε ότι αφορά τη χρήση των αργιλικών υλικών ως προσροφητικών μέσων, βρίσκεται σε ιδιαίτερα προχωρημένο στάδιο.

Στο παρόν πόνημα συνοψίζονται οι γνώσεις σχετικά με τη δομή και τη χημική σύσταση των αργιλικών ορυκτών. Αυτές προήλθαν από αναφορές που βρίσκονται στην εξειδικευμένη βιβλιογραφία, οι οποίες, κατά τη γνώμη των συγγραφέων, δεν είναι πάντοτε εύκολα προσβάσιμες, ειδικά για την ιδιαιτερότητα και τον κατακερματισμό των πληροφοριών, κυρίως σε όσους δεν είναι εξοικειωμένοι μ' αυτόν τον κλάδο. Έχει την μοναδική φιλοδοξία να προσφέρει μια θεώρηση όσο το δυνατόν πιο πληρέστερη γι' αυτό το θέμα, με την απλότητα της γλώσσας, με τη γραμμικότητα και την οργάνωση της συζήτησης.

Βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η χρησιμότητα των αργιλικών ορυκτών και οι ιδιότητες τους, καθώς και να γίνει η συλλογή νέων πληροφοριών γύρω από τις αργίλους, ώστε να κατανοηθεί πλήρως η γεωχημική τους συμπεριφορά.

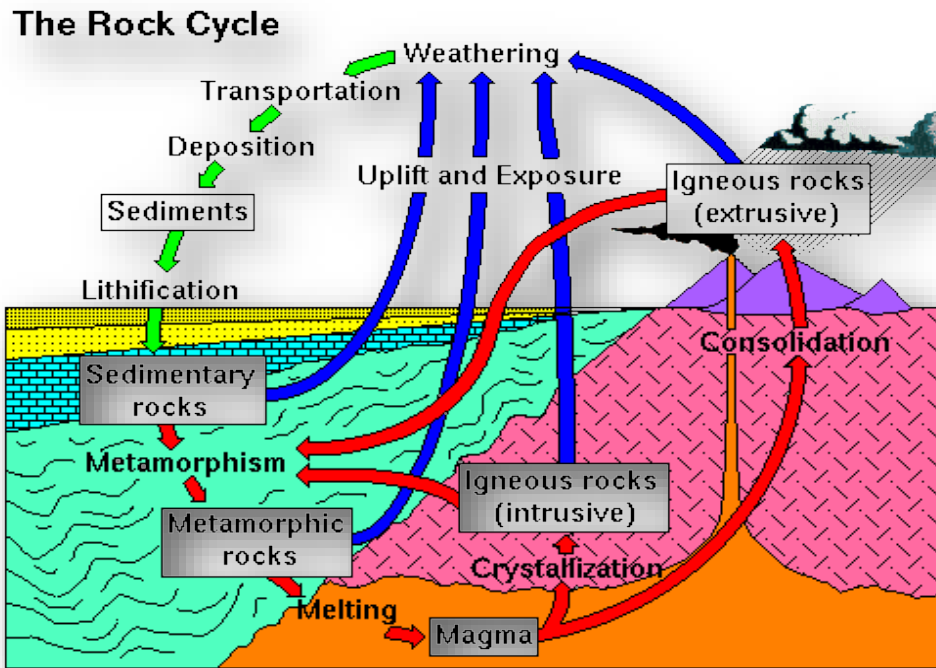
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα πετρώματα αποτελούν μορφολογικά αυτοτελείς ανομοιογενείς δομικές μονάδες με καθορισμένη ορυκτολογική σύσταση, από τις οποίες συνίσταται ο φλοιός της Γης (Μήτσιοι 2001, Θεοδωρίκας 2000), δηλαδή η λιθόσφαιρα. Έχουν περιγραφεί περισσότερα από 2000 ορυκτά, από τα οποία μόνο τα 20 αποτελούν κύρια συστατικά των κοινών πετρωμάτων (Πολυζόπουλος 1985).

Τα πετρώματα είναι συγκεντρώσεις ή αποθέσεις ορυκτών σε στερεά μορφή και σχηματίζονται με διάφορες διαδικασίες, είτε στο εσωτερικό της Γης είτε στην επιφάνειά της.

Η αποσάθρωση ορίζεται ως η διάσπαση και η εξαλλοίωση των υλικών κοντά στην επιφάνεια της Γης, με τον σχηματισμό προϊόντων που είναι σχεδόν σε ισορροπία με την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη βιόσφαιρα (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής 2012).

Πιο συγκεκριμένα, η αποσάθρωση μπορεί να ορισθεί ως η μετατροπή των πετρωμάτων από την συμπαγή στην κλαστική κατάσταση. Η διεργασία αρχίζει με μια προοδευτική αποσύνδεση και διάσπαση του πετρώματος *in situ*. Το προϊόν της αποσύνθεσης αυτής είναι ένα μίγμα ανθεκτικών πρωτογενών ορυκτών με μία σειρά νέων ορυκτολογικών συστατικών, που είναι σταθερά στο νέο περιβάλλον. Αυτά μαζί σχηματίζουν το μανδύα ασύνδετου υλικού, που υπέρκειται του στερεού υποστρώματος (regolith) (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής 2012).



Εικόνα 1 : Σχηματική απεικόνιση του πετρολογικού κύκλου

Ένα πέτρωμα μπορεί να δημιουργείται είτε από την παραγένεση διαφόρων ορυκτών, όπως για παράδειγμα ο γρανίτης, που σχηματίζεται από την παραγένεση των ορυκτών χαλαζία, αστρίων και μαρμαρυγία, είτε από την συσσωμάτωση ενός ορυκτού, όπως το μάρμαρο, που σχηματίζεται από τις συσσωματώσεις του ορυκτού ασβεστίτη (Πολυζόπουλος 1985).

Βέβαια υπάρχουν πετρώματα τα οποία δεν περιέχουν ορυκτά. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση των ηφαιστειακών υέλων, που είναι συστατικά ομογενή και άμορφα.

Τα περισσότερα πετρώματα είναι σκληρά και συμπαγή, όμως υπάρχουν και πετρώματα μαλακά, όπως είναι οι άργιλοι, καθώς και ψαθυρά, όπως η άμμος. Το πέτρωμα της αργίλου δεν μπορεί να αναλυθεί ορυκτολογικά, καθώς χρειάζεται χρήση των ακτίνων X ή ακόμη και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, προκειμένου να βρεθεί η σύστασή του (Πολυζόπουλος, 1985).

1.1 Ταξινόμηση των πετρωμάτων

Σε αντίθεση με τα φυτικά και ζωικά βασίλεια, που έχουν διακριτά είδη, στα πετρώματα δεν υπάρχουν τέτοιες φυσικές διαιρέσεις. Τα πετρώματα λειτουργούν σαν πολύπλοκα, πολυποίκιλα βιολογικά οικοσυστήματα, δηλαδή τα ορυκτά που συνιστούν το πέτρωμα είναι σαν τα φυτικά και ζωικά είδη που αποτελούν ένα οικοσύστημα (Best M.G 2003).

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά κριτήρια για την ταξινόμηση των πετρωμάτων, γι' αυτό και υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί χαρακτηρισμοί για το ίδιο πέτρωμα. Το καθένα έχει το δικό του όφελος και τη δική του χρήση, και κανένα δεν μπορεί να συνδυάσει τα θετικά στοιχεία όλων (Best M.G 2003).

1.1.1 Ταξινόμηση βάση προέλευσης

Τα πετρώματα διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους και τον τρόπο σχηματισμού τους, σε πυριγενή πετρώματα (ή εκρηξιγενή), σε ιζηματογενή και σε μεταμορφωμένα (ή κρυσταλλοσχιστώδη), σύμφωνα με τον Μήτσιο (2001).

A) Πυριγενή πετρώματα

Τα πυριγενή ή εκρηξιγενή πετρώματα (igneous rocks) προκύπτουν από την στερεοποίηση φυσικού πυριτικού τήγματος, δηλαδή του μάγματος, το οποίο περιέχει οξείδια μετάλλων, αυτοφυή στοιχεία, αέρια εν διαλύσει, αιωρούμενους κρυστάλλους και στερεά υπολείμματα πετρωμάτων. Τα πυριγενή πετρώματα αποτελούν το 64,7% του συνολικού όγκου των πετρωμάτων του φλοιού της Γης (Θεοδωρίκας, 2000).

Το μάγμα (magma) γεννιέται στον επάνω μανδύα ή στον φλοιό της Γης. Καθώς ανεβαίνει προς την επιφάνεια, λόγω των διαφορετικών φυσικοχημικών παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση) που επικρατούν, η χημική του σύσταση αλλάζει, εκχέεται στην επιφάνεια μέσω ρωγμών και χασμάτων του φλοιού και χαρακτηρίζεται ως λάβα (lava).

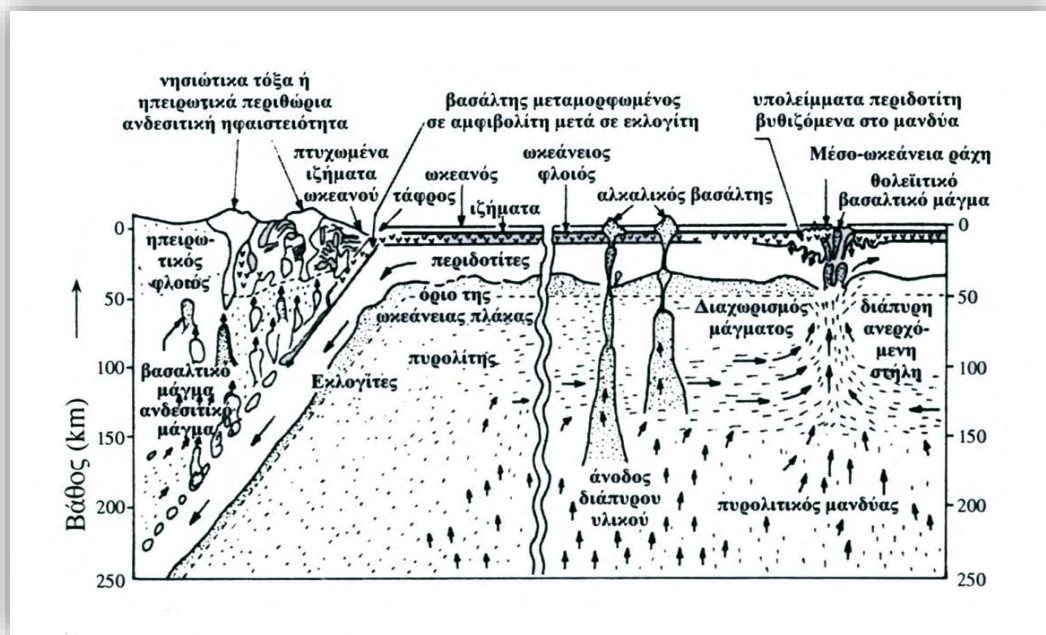
Όταν το μάγμα φθάσει γρήγορα στην επιφάνεια της Γης τότε πήζει ταχύτατα και σχηματίζει πετρώματα που καλούνται ηφαιστίτες (volcanic rocks). Όταν το μάγμα παραμένει σε κάποιο βάθος στο εσωτερικό της Γης, τότε πήζει πολύ αργά και σχηματίζει πετρώματα που καλούνται πλουτωνίτες (plutonic rocks) (Μήτσιος 2001). Η διάκριση στηρίζεται στον τόπο σχηματισμού τους, στην υφή και στον ιστό του πετρώματος.

Σύμφωνα με τον Θεοδωρίκα (2000), το μάγμα από το οποίο προκύπτουν τα πυριγενή πετρώματα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) Το βασαλτικό μάγμα

β) Το ασβεσταλκαλικό μάγμα

Ως ιστός χαρακτηρίζεται ο τρόπος εμφάνισης των ορυκτών συστατικών μέσα στη μάζα του πετρώματος, το μέγεθος, το σχήμα και ο βαθμός κρυστάλλωσής τους. Λόγω της βραδείας ψύξης, τα πλουτώνεια πετρώματα έχουν μεγαλύτερους και τελειότερου σχήματος κρυστάλλους ορυκτών και η υφή τους χαρακτηρίζεται ως γρανιτική ή κοκκώδης. Αντιθέτως, τα ηφαιστειογενή πετρώματα λόγω της ταχείας ψύξης και διαφυγής αερίων στην ατμόσφαιρα, η υφή τους είναι υαλώδης, θραυσματογενής ή πολύ λεπτόκοκκος φελσιτική (Πολυζόπουλος 1985).



Εικόνα 2: Απεικονίζεται ο σχηματισμός και η άνοδος του μάγματος από το μανδύα, στη μεσοωκεάνεια ράχη, στα ωκεάνια νησιά και στον ηπειρωτικό φλοιό (Ringwood, 1974)

Γενικά ένα πέτρωμα από πλευράς ιστού, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ομοιογενές ή ετερογενές, ισότροπο ή ανισότροπο (Terzaghi & Peck, 1967). Για παράδειγμα, ένας χαλαζίτης είναι ομοιογενής και ανισότροπος αν αποτελείται ολοκληρωτικά από επιμήκεις κρυστάλλους χαλαζία, προσανατολισμένους παράλληλα προς μία κατεύθυνση (Franklin & Dusseault, 1989).

Στα πυριγενή πετρώματα περιλαμβάνονται οι κύριες ορυκτολογικές ομάδες του ολιβίνη, των πυρόξενων, των αμφιβόλων, των μαρμαρυγιών, των αστρίων, των αστριοειδών, του χαλαζία, ο οψιδιανός, ο γρανίτης, ο γρανοδιορίτης, ο συηνίτης, ο διορίτης, ο γάββρος, ο περιδοτίτης, ο ρυόλιθος, ο δακίτης, ο τραχείτης, ο ανδεσίτης και ο βασάλτης, καθώς και τα επουσιάδη ορυκτά μαγνησίτης, ιμμενίτης, τιτανίτης, απατίτης, ζirkόνιο και άλλα (Μήτσιοι 2001, Θεοδωρίκας 2000).

B) Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα (sedimentary rocks) είναι αυτά που προκύπτουν από την καθίζηση υλικού, είτε αυτό βρίσκεται διαλυμένο ή αυτό αιωρείται μέσα στο νερό, ή άλλο ρευστό μέσο (αέρας). Το υλικό αυτό μπορεί να προέρχεται από τον μηχανικό τεμαχισμό πετρωμάτων, όπως τα κλαστικά (clastic) ιζήματα, ή από κάποια χημική αντίδραση, όπως τα χημικά (chemical) ιζήματα, ή μπορεί να είναι συσσωρευμένο οργανικό υλικό από τα λείψανα φυτών και ζώων, τα οποία χαρακτηρίζονται ως βιολογικά (biogenic) ιζήματα (Μήτσιος, 2001).

Σύμφωνα με το American Unified Soil Classification System (AUSCS), τα κλαστικά-μηχανικά ιζήματα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους:

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των κλαστικών ιζημάτων με βάση το μέγεθος των κόκκων

Ογκόλιθοι (Boulders)	>300 mm
Κροκάλες (Cobbles)	5 mm – 300 mm
Χαλίκια (Gravels)	4.75 mm – 75 mm <ul style="list-style-type: none"> • 19 mm – 75 mm χονδρά • 4.75 mm – 19 mm λεπτά
Άμμος (Sand)	0.075 mm – 4.75 mm <ul style="list-style-type: none"> • 0.075 mm – 0.425 mm λεπτόκοκκη • 0.425 mm – 2.0 mm μεσόκοκκη • 2.0 mm – 4.75 mm χονδρόκοκκη

Ϊλύς (silt)	0.002 mm - 0.075 mm
Άργιλος (clay)	< 0.002 mm

Όταν οι κόκκοι έχουν μέγεθος < 0.002 mm έχουμε αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης, καολινίτης). Τα αντίστοιχα πετρώματα ονομάζονται κροκαλοπαγή ή λατυποπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθοι (ή πηλόλιθοι) και αργιλόλιθοι (ή απλά άργιλοι).

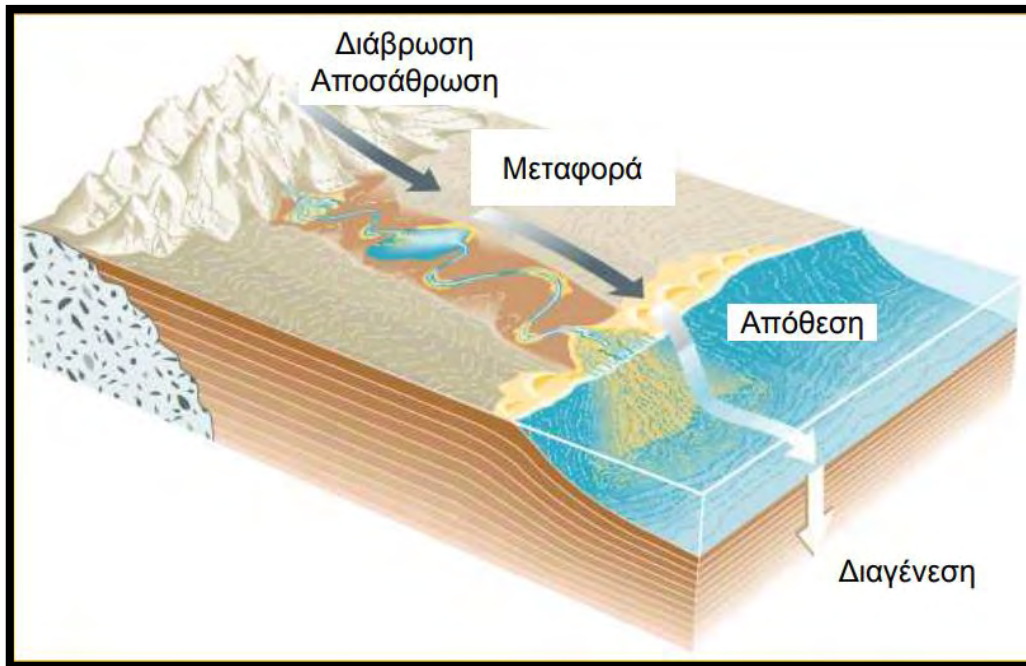
Τα χημικά ιζήματα μπορεί να είναι ανόργανοι ασβεστόλιθοι (π.χ. τραβερτίνης), δολομίτες, αλλά κυρίως τα άλατα που προέρχονται από την εξάτμιση μαζών νερού (εβαπορίτες). Οι κυριότεροι εβαπορίτες είναι ο αλίτης, η γύψος και ο ανυδρίτης (θαλάσσιοι εβαπορίτες).

Τα βιογενή ιζήματα είναι κατά κύριο λόγο ανθρακικά (διάφορα είδη ασβεστολίθων), ή πυριτικά. Τα μεν πρώτα σχηματίζονται από υπολείμματα υδρόβιων οργανισμών, ενώ τα πυριτικά από πυριτικό σκελετικό υλικό ραδιολαρίων και διατόμων (οργανικοί κερατόλιθοι). Οι κερατόλιθοι ή αλλιώς πυριτόλιθοι αποτελούνται από πολύ λεπτόκοκκο χαλαζία.

Στάδια ιζηματογένεσης

Προκειμένου να σχηματισθούν τα ιζηματογενή πετρώματα, μεσολαβούν τα ακόλουθα τέσσερα στάδια:

- Αποσάθρωση (weathering)
- Μεταφορά (transportation)
- Απόθεση (deposition)
- Διαγένεση (diagenesis)



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση των σταδίων της ιζηματογένεσης

Έφωσον ολοκληρωθεί η αποσάθρωση, το υλικό που δημιουργείται μεταφέρεται στη συνέχεια και εναποθέτεται. Τελικό στάδιο αποτελεί η διαγένεση του υλικού, όπου τα χαλαρά ιζήματα μετατρέπονται σε συμπαγή ιζηματογενή πετρώματα. Σε αυτό συμβάλλει η πίεση των υπερκείμενων πετρωμάτων και έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση, συγκόλληση και ανακρυστάλλωση των υποκείμενων πετρωμάτων.

Τα ιζηματογενή πετρώματα αποτελούν το 7,9% του συνολικού όγκου των πετρωμάτων της Γης. Το 4,2% του όγκου τους ανήκει στους πηλόλιθους, το 2% στους ασβεστόλιθους και τους δολομίτες και το 1,7% στους ψαμμίτες (Θεοδωρίκας, 2000).

Ανάλογα με την απόσταση απόθεσης των υλικών της αποσάθρωσης από την αρχική τους θέση διακρίνουμε τα κροκαλοπαγή ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία σχηματίζονται κοντά στην αρχική τους θέση, τους ψαμμίτες που σχηματίζονται

μακρύτερα και τους αργιλικούς σχιστόλιθους που σχηματίζονται ακόμα μακρύτερα από την αρχική τους θέση.

Επιπλέον, τα ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται σε χερσογενή (terrigenous), αλλοχημικά (allochemical) και σε ορθοχημικά (orthochemical) πετρώματα ανάλογα με τον τόπο σύνθεσής τους σε σχέση με τη λεκάνη απόθεσης (Αβραμίδης 2015).

Τα πλέον γνωστά ιζηματογενή πετρώματα είναι ο ασβεστόλιθος και ο ψαμμίτης, ενώ στην Ελλάδα είναι ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης.

Γ) Μεταμορφωμένα πετρώματα

Τα μεταμορφωμένα ή κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα (metamorphic rocks) είναι αυτά που σχηματίζονται από άλλα προϋπάρχοντα πετρώματα, δηλαδή αυτά που προέρχονται από τη μεταμόρφωση πυριγενών ή ιζηματογενών πετρωμάτων, καθώς υφίστανται ορυκτολογικές και ιστολογικές αλλαγές, λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, της πίεσης, του γεωλογικού χρόνου και των μεταμορφωτικών τάσεων, χωρίς να περάσουν το στάδιο της τήξης.

Η μεταμόρφωση του αρχικού πετρώματος μπορεί να είναι φυσική, όπως η ανακρυστάλλωσή του και αλλαγή στην υφή του, είτε χημική ή τέλος φυσική και ταυτόχρονα χημική, παράγοντας έτσι νέα ορυκτά, τα οποία μόνο με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να σχηματισθούν. Η μεταμόρφωση των ορυκτών συμβαίνει κάτω από υψηλές θερμοκρασίες (150-200 °C) και πιέσεις (1500 bars) σε μεγάλο βάθος ή στο βραχώδες φλοιό της Γης (Halдар & Tišljар 2014).

Χαρακτηριστικό των μεταμορφωμένων πετρωμάτων είναι η σχιστότητα, έχουν δηλαδή την ιδιότητα να αποχωρίζονται εύκολα σε πλάκες λόγω στρώσεως ή

παραλλήλου ιστού, που έχει προκύψει από την επίδραση κατευθυνόμενης πίεσης πάνω στο πέτρωμα, γι' αυτό είναι έντονη η παρουσία φυλλόμορφων και ινόμορφων ορυκτών.

Η συνολική χημική σύσταση ενός πετρώματος μπορεί να μείνει σταθερή κατά το μεταμορφισμό (ισοχημική μεταμόρφωση) ή να αλλάζει με την είσοδο ή απομάκρυνση υλικού στο μεταμορφικό σύστημα (αλλοχημική μεταμόρφωση, μετασωμάτωση). Ακόμη και στην ισοχημική μεταμόρφωση μπορούμε να έχουμε ορισμένη μεταφορά υλικού. Το νερό και άλλες πτητικές ουσίες, έστω και σε ελάχιστες ποσότητες, βρίσκονται πρακτικά σε όλα τα πετρώματα. Αυτά ελευθερώνονται με την πυριγενή δραστηριότητα ή άλλες διεργασίες και γίνονται μέσο μεταφοράς υλικού στις μεταμορφικές λειτουργίες.

Τα κυριότερα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι ο φυλλίτης, ο μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, ο γνεύσιος, ο χαλαζίτης, ο αμφιβολίτης, ο πρασινοσχιστόλιθος, ο αμφιβολιτικός σχιστόλιθος, ο σερπεντινίτης, ο εκλογίτης, ο ταλκικός σχιστόλιθος, ο κερατίτης, ο γλαυκοφανιτικός σχιστόλιθος, το μάρμαρο και η σμύριδα.

1.1.2 Ταξινόμηση βάση περιεκτικότητας σε SiO_2

Επιπλέον, τα πετρώματα ανάλογα με την γεωχημική τους σύνθεση (Μήτσιος, 2001), δηλαδή με την περιεκτικότητά τους σε SiO_2 , διακρίνονται σε:

α. Όξινα πετρώματα: Τα πετρώματα αυτά περιέχουν διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) πάνω από 60%. Είναι ελαφρά πετρώματα, ανοικτού χρώματος και λιγότερο ευπαθή στη αποσθρωτική δράση των εξωγενών παραγόντων. Τα όξινα πετρώματα καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις στην επιφάνεια της γης και ανήκουν κυρίως στη ζώνη του Si – Al, με κυριότερο ορυκτολογικό συστατικό το γρανίτη.

β. **Ενδιάμεσα ή μέσου τύπου πετρώματα:** Τα πετρώματα αυτά περιέχουν διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) μεταξύ 52 και 60%.

γ. **Βασικά και υπερβασικά πετρώματα:** Αυτά περιέχουν διοξείδιο του ασβεστίου (SiO_2) λιγότερο από 52% και μέχρι 40%. Είναι βαριά πετρώματα, σκοτεινού χρώματος και χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι γάββροι και οι περιδοτίτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΟΡΥΚΤΑ

Ορυκτά καλούνται τα ομογενή φυσικά συστατικά των πετρωμάτων που αποτελούν το στερεό φλοιό της Γης (Μήτσιοι 2001). Σύμφωνα με την Διεθνή Ορυκτολογική Ένωση (International Mineralogical Association-IMA), τα ορυκτά είναι τα ανόργανα δομικά στοιχεία των πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη χημική σύσταση και καθορισμένη κρυσταλλική δομή.

Τα περισσότερα ορυκτά είναι ανόργανης σύστασης και αποτελούνται είτε από ένα χημικό στοιχείο, όπως το θείο, ο άργυρος, ο χαλκός και ο χρυσός, ή συνηθέστερα από χημικές ενώσεις (Πολυζόπουλος 1985). Ο όρος ορυκτό προέρχεται από το ρήμα «ορύσσω» ή «ορύττω», που σημαίνει σκάβω, εφόσον τα ορυκτά τα παίρνουμε από τη γη με εξόρυξη (Κατερινόπουλος, 2008). Παραδείγματα ορυκτών είναι οι άστριοι, ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, η γύψος, ο ανυδρίτης, ο γραφίτης και άλλα. Κάθε ορυκτό έχει το δικό του χημικό τύπο και το δικό του κρυσταλλικό σχήμα.

Μια μεγάλη κατηγορία ορυκτών είναι τα πυριτικά ορυκτά (silicate minerals). Το πυρίτιο (Si) είναι το δεύτερο επικρατέστερο (περίπου 25%) στοιχείο που υπάρχει στο στερεό φλοιό της Γης μετά το οξυγόνο και το οποίο δεν απαντάται στοιχειακά, αλλά ενωμένο με οξυγόνο σε ορυκτά και πετρώματα (Σκουμπρής 2010). Τα πυριτικά ορυκτά αποτελούν το 92% του στερεού φλοιού της Γης και διακρίνονται σε διάφορες επιμέρους κατηγορίες, μία εκ των οποίων είναι τα φυλλοπυριτικά ορυκτά.

Σήμερα είναι αποδεκτό το σύστημα ορυκτολογικής ταξινόμησης που προτάθηκε από τον Dana (1945, 1951) με μικρές τροποποιήσεις. Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στη χημική τους σύσταση και δομή (Halдар & Tišljarić 2014).

Γεωχημική ταξινόμηση κατά Berzelius

- I. Αυτοφυή στοιχεία
- II. Σουλφίδια (+ Θειοάλατα)
- III. Οξειδία +Υδροξείδια
- IV. Αλογονίδια
- V. Ανθρακικά, Νιτρικά, Βορικά, Ιωδικά
- VI. Θεϊκά, Χρωμικά, Μολυβδαινικά, Βολφραμικά
- VII. Φωσφορικά, Αρσενικικά, Βαναδινικά
- VIII. Πυριτικά

Τα ορυκτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή ορυκτά σχηματίσθηκαν από την κρυστάλλωση του μάγματος ή των μαγματικών υδάτων, όπως για παράδειγμα οι άστριοι, ο μοσκοβίτης, η κεροστίλβη. Τα δευτερογενή σχηματίσθηκαν από προϋπάρχοντα ορυκτά ως αποτέλεσμα της δράσεως των γήινων υδάτων, της ατμόσφαιρας και των ζώντων οργανισμών (βιόσφαιρα). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων ορυκτών είναι ο πυριτικοί άργιλοι, ο ασβεστίτης και η γύψος (Πολυζόπουλος 1985).

Τα ορυκτά διακρίνονται περαιτέρω σε ουσιώδη και επουσιώδη. Ουσιώδη χαρακτηρίζονται τα ορυκτά που η παρουσία τους στο πέτρωμα είναι απαραίτητη για το χαρακτηρισμό του πετρώματος (Μήτσιος 2001).

Τα ορυκτά χαλαζίας, άστριοι και ο αμφίβολος ή βιοτίτης θεωρούνται ουσιώδη ορυκτά του γρανίτη. Επουσιώδη είναι τα ορυκτά των οποίων η ύπαρξη ή η απουσία δε μεταβάλλει το χαρακτηρισμό του πετρώματος (Μήτσιος 2001). Στο γρανίτη για

παράδειγμα, η ύπαρξη του απατίτη, του μαγνητίτη, του ορθίτη, του τιτανίου, του ζirkονίου δεν το χαρακτηρίζουν.

2.1 Δομή των ορυκτών

Το τετράεδρο του πυριτίου είναι η περισσότερο διαδεδομένη στοιχειώδης δομική μονάδα των ορυκτών και εφόσον ο μεγαλύτερος αριθμός των γνωστών ορυκτών της λιθόσφαιρας αποτελείται από τέτοια τετράεδρα, γι' αυτό το λόγο τα ορυκτά αυτά χαρακτηρίζονται ως πυριτικά ορυκτά (Μήτσιος 2001). Σύμφωνα με τον Χατζηθεοδωρίδη (2007), το 92% των ορυκτών του φλοιού της Γης είναι πυριτικά ορυκτά και το υπόλοιπο 8% καταλαμβάνεται από τα μη-πυριτικά ορυκτά.

Κάθε κορυφή του τετραέδρου κατέχεται από ένα ανιόν οξυγόνου (O^{2-}) σε απόσταση 1,60Å από το κέντρο του τετραέδρου. Η απόσταση μεταξύ των ανιόντων του οξυγόνου αντιστοιχεί στην ακμή του τετραέδρου και είναι 2,72Å (Θεοδωρίδας 2000). Επειδή το φορτίο του πυριτίου είναι +4 και του ατόμου του οξυγόνου -2, η ομάδα SiO_4 έχει συνολικό φορτίο -4 και τα τετράεδρα συνδέονται με κατιόντα για να επιτευχθεί ηλεκτρική ουδετερότητα. Τα κατιόντα αυτά είναι συνήθως ιόντα Ti^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^{1+} και K^{1+} (Κατερινόπουλος 2008).

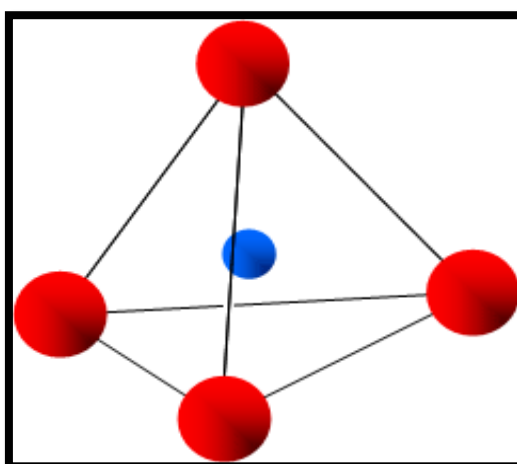
Τα πυριτικά ορυκτά είναι το κύριο συστατικό των μεγάλων κατηγοριών πετρωμάτων, δηλαδή των πυριγενών, των ιζηματογενών και των μεταμορφωμένων (Στυλιανού 2012). Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των πυριτικών τετραέδρων, τα πυριτικά ορυκτά χωρίζονται σε νησοπυριτικά ή ορθοπυριτικά, σωροπυριτικά, ινοπυριτικά (μονής και διπλής αλυσίδας), κυκλοπυριτικά, φυλλοπυριτικά και τεκτοπυριτικά (Κατερινόπουλος 2008).

Πίνακας 2: Ομάδες πυριτικών ορυκτών και σχετική αναλογία πυριτίου και οξυγόνου

Ομάδα Πυριτικών	Πυριτική ρίζα	Αναλογία O/Si
Νησοπυριτικά (ή ορθοπυριτικά)	$(\text{SiO}_4)^{4-}$	4
Σωροπυριτικά	$(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$	3.5
Κυκλοπυριτικά	$(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$	3
Ινοπυριτικά (μονή αλυσίδα)	$(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$	3
Ινοπυριτικά (διπλή αλυσίδα)	$(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$	2.75
Φυλλοπυριτικά	$(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$	2.5

2.1.1 Νησοπυριτικά ή Ορθοπυριτικά ορυκτά

Στα νησοπυριτικά ή ορθοπυριτικά ορυκτά τα τετράεδρα δεν συνδέονται με κοινά οξυγόνα, παρά μόνο ενώνονται μεταξύ τους σε ένα κρυσταλλικό πλέγμα από ενδιάμεσα μέταλλα όπως ο σίδηρος, το μαγνήσιο (Χατζηθεοδωρίδης 2007). Η σχέση αναλογίας μεταξύ (Si:O) είναι (1:4).

**Εικόνα 4:** Τετράεδρο του πυριτίου $(\text{SiO}_4)^{4-}$

Ορυκτά της ομάδας αυτής είναι τα ορυκτά της ομάδας του ολιβίνη $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4]$, των γρανατών $[\text{M}_3^{2+}\text{M}_3^{3+}(\text{SiO}_4)_3]$, όπου M^{2+} δισθενές κατιόν και M^{3+} τρισθενές κατιόν, το τοπάζιο $[\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4]$, ο τιτανίτης ή σφήνα (CaTiOSiO_4) , το ζιρκόνιο (ZrSiO_4) , ο ανδαλουσίτης (AlAlOSiO_4) , ο δισθενής ή κυανίτης (AlAlOSiO_4) και άλλα (Θεοδωρίκας 2000).

Ομάδα του ολιβίνη $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4]$

Τα ορυκτά της σειράς του ολιβίνη είναι πυριτικές ενώσεις δισθενών κρυστάλλων και κρυσταλλώνονται στο ρομβικό σύστημα. Η σειρά του ολιβίνη αριθμεί αρκετά μέλη από τα οποία τα πιο συνηθισμένα ορυκτά στα πετρώματα είναι τα σιδηρομαγνησιούχα (Θεοδωρίκας 2000).

Τα ορυκτά της ομάδας του ολιβίνη είναι τα εξής:

- Ολιβίνης (olivine)
- Φορστερίτης (forsterite)
- Φαϋαλίτης (fayalite)
- Μοντισελλίτης (monticellite)
- Κιρστεϊνίτης (kirschsteinite)
- Τεφροίτης (tephroite)

Ο ολιβίνης είναι συστατικό των βασικών πυριγενών πετρωμάτων (Θεοδωρίκας 2000). Αποτελεί κύριο συστατικό των περιδοτιτών και είναι μοναδικό στους δουνίτες. Επιπλέον απαντά ως ουσιώδες ή επουσιώδες συστατικό στα μεταμορφωμένα πετρώματα, στους δολομίτες, στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους, στους αμφιβολίτες, στους πυροξενίτες και στους εκλογίτες.



Εικόνα 5 : Ορυκτό ολιβίνης

Γρανάτες (garnet) καλούμε τα πυριτικά άλατα με γενικό χημικό τύπο $M_3^{2+}M_3^{3+}(SiO_4)_3$, όπου τα δισθενή ιόντα μπορεί να είναι ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), σίδηρος (Fe), ή μαγγάνιο (Mn), ενώ τα τρισθενή είναι αργίλιο (Al), σίδηρος (Fe) ή χρώμιο (Cr) (Κατερινόπουλος 2008). Τα μέλη της ομάδας των γρανατών είναι τα εξής:

- Πυρωπόν (pyrope)
- Αλμανδίνης (almandine)
- Σπεσσαρτίνης (spessartite)
- Γροσσουλάρης (grossular)
- Ουβαροβίτης (uvarovite)
- Ανδραδίτης (andradite)

Τα καθαρά μέλη είναι σπάνια, γι' αυτό οι γρανάτες που συνήθως απαντούν στην φύση, είναι ισόμορφες παραμίξεις των ανώτερων μελών.

Το ζirkόνιο ($ZrSiO_4$) κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό σύστημα. Συνήθως εγκλείεται εντός άλλων ορυκτών σε πυριγενή πετρώματα, όπου συμμετέχει ως επουσιώδεις ορυκτό συστατικό. Χρησιμοποιείται για τις γεωχρονολογήσεις των πετρωμάτων που το περιέχουν.

Το τοπάζιο [$Al_2(F,OH)_2SiO_4$] κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα και έχει μεγάλη σκληρότητα (8, κλίμακα Mohs) και λάμψη αδαμαντοειδή ή υαλώδη. Χρησιμοποιείται ως ημιπολύτιμος λίθος (Θεοδωρίκας 2000).

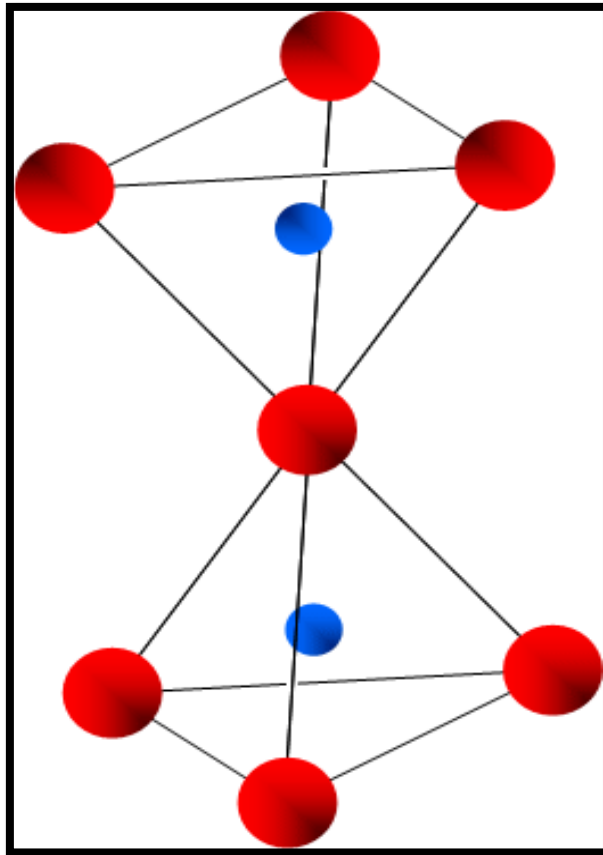
Ο τιτανίτης ή σφήνα ($CaTiOSiO_4$) κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα και εμφανίζεται κυρίως με μορφή σφηνοειδών κρυστάλλων, γι' αυτό καλείται και σφην (sphene).

Ο ανδαλουσίτης ($AlAlOSiO_4$) κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Απαντά σε μεταμορφωμένα πετρώματα που προήλθαν από αργιλιούχα υλικά. Το συναντάμε με χαλαζία, μοσχοβίτη, γρανάτη, σταυρόλιθο και ρουτίλιο.

Ο κυανίτης ή δισθενής (Al_2SiO_5) είναι και αυτό πυριτικό ορυκτό του αργιλίου και κρυσταλλώνεται στο τρικλινές σύστημα. Ονομάζεται και δισθενής λόγω της μεταβλητής του σκληρότητας.

2.1.2 Σωροπυριτικά ορυκτά

Στα σωροπυριτικά ορυκτά, τα τετράεδρα του πυριτίου συνδέονται μεταξύ τους, με κοινή κορυφή ένα άτομο οξυγόνου και τα υπόλοιπα έξι μη κοινά, δηλαδή είναι της μορφής (Si_2O_7)⁶⁻. Η αναλογία δηλαδή (Si:O) είναι (2:7).



Εικόνα 6: Τετράεδρα ενωμένα με μία κοινή κορυφή-Σωροπυριτικά Ορυκτά (Si_2O_7)⁶⁻

Σε αυτή την κατηγορία ορυκτών ανήκει η ομάδα του μελίλιθου. Ο μελίλιθος (melilite) είναι ισόμορφη παράμιξη των ορυκτών ακερμανίτη και γκελενίτη (Θεοδωρίκας 2000). Αποτελεί κοινό ορυκτό των αστριοειδών πετρωμάτων που σχηματίστηκαν από την αντίδραση βασικού μάγματος με ανθρακικά πετρώματα.

Η ομάδα του επιδότου $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{+3},\text{Al})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ παρουσιάζει μονοκλινή συμμετρία κατά κύριο λόγο, με εξαίρεση τον ζοϊσίτη που κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Τα σπουδαιότερα μέλη της ομάδας είναι:

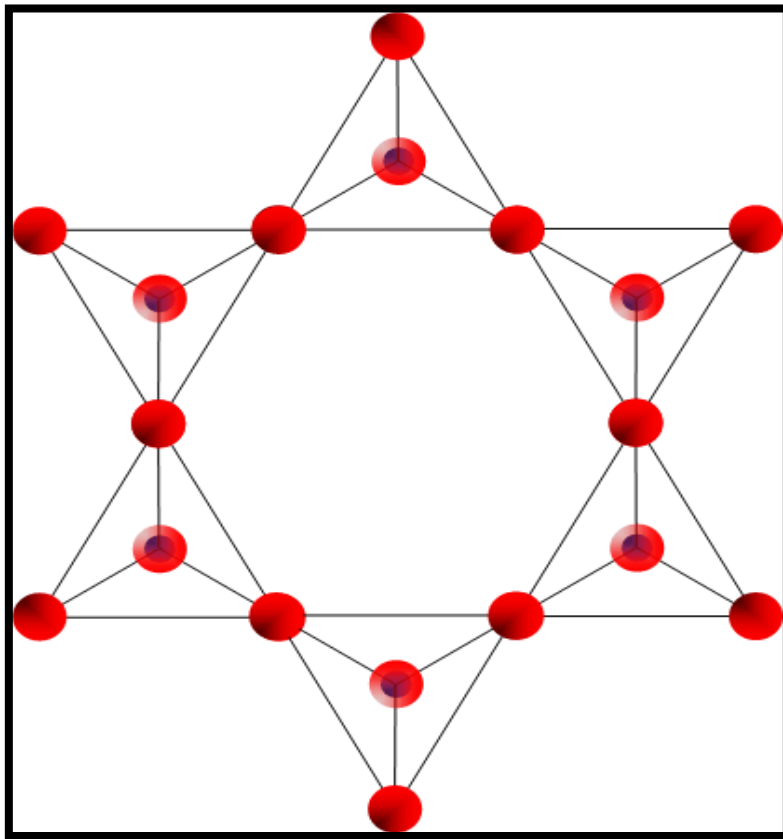
- Ζοϊσίτης (zoisite)
- Επίδοτο (epidote)

- Πιεμοντίτης (piemontite)
- Αλλανίτης (allanite)

2.1.3 Κυκλοπυριτικά ορυκτά

Στις κρυσταλλικές δομές των κυκλοπυριτικών ορυκτών τα τετράεδρα $(\text{SiO}_4)^{4-}$ συνδέονται μεταξύ τους ως εξής:

- Σύνδεση τριών τετραέδρων σε τριγωνικό κλειστό δακτύλιο του τύπου $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$
- Σύνδεση τεσσάρων τετραέδρων σε τετραγωνικό κλειστό δακτύλιο του τύπου $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$
- Σύνδεση έξι τετραέδρων σε εξαγωνικό κλειστό δακτύλιο του τύπου $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$



Εικόνα 7: Δομή κυκλοπυριτικών ορυκτών

Η αναλογία πυριτίου με το οξυγόνο είναι $\text{Si}:\text{O} = 1:3$ (Περράκη 2017).

Ο μπενιτοϊτής $\text{BaTi}(\text{Si}_3\text{O}_9)$ είναι σπάνιο ορυκτό. Η κρυσταλλική του δομή αποτελείται από τρία τετράεδρα ενωμένα σε κλειστό τριγωνικό δακτύλιο.

Η βήρυλλος $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$ κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα. Η κρυσταλλική της δομή αποτελείται από έξι τετράεδρα που συνδέονται σε εξαγωνικό κλειστό δακτύλιο του τύπου $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$ (Θεοδωρίκας 2000).

Ο τουρμαλίνης $(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Al})_3 (\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_6(\text{BO}_3)_3(\text{O}, \text{OH})_3(\text{OH}, \text{F})(\text{Si}_6\text{O}_{18})$ κρυσταλλώνεται στην ανθιμεδρία του τριγωνικού συστήματος (Θεοδωρίκας 2000). Βρίσκεται σε κρυσταλλοσχιστώδη και ιζηματογενή πετρώματα.

2.1.4 Ινοπυριτικά ορυκτά

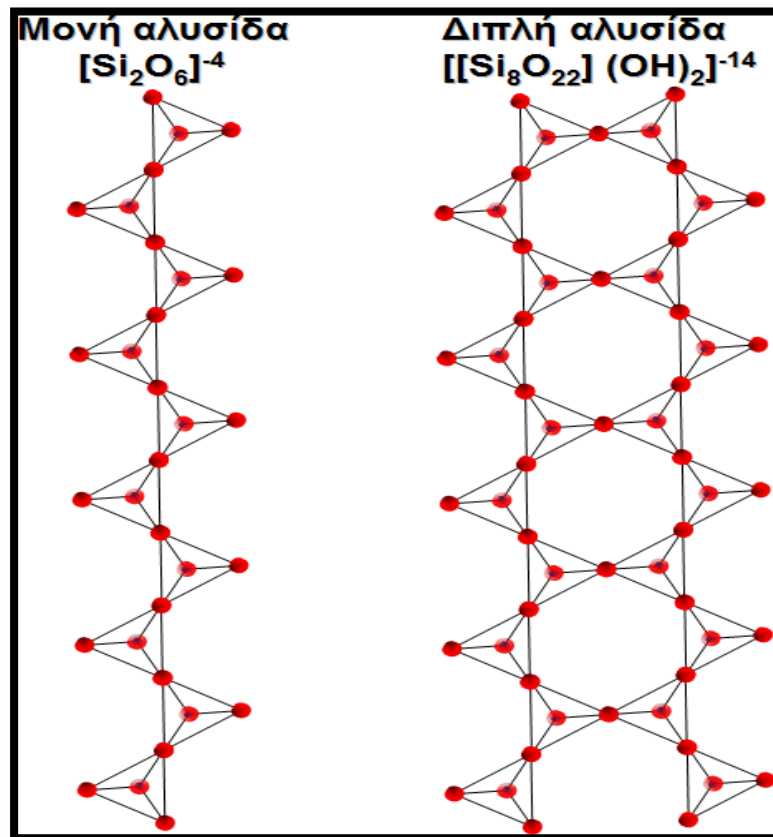
Τα ινοπυριτικά ορυκτά είναι πολύ διαδεδομένα στα πετρώματα ως ουσιώδη συστατικά. Από άποψη κρυσταλλικής δομής διακρίνονται σε δύο μεγάλες υποομάδες.

Η ομάδα των πυροξένων αποτελεί την πρώτη υποομάδα, στην οποία τα τετράεδρα συνδέονται σε απλές αλυσίδες με αναλογία μεταξύ των ατόμων πυριτίου και οξυγόνου ($\text{Si}:\text{O}=1:3$) ένα προς τρία. Η ομάδα των αμφιβόλων είναι η δεύτερη υποομάδα, όπου τα τετράεδρα συνδέονται σε διπλές αλυσίδες με αναλογία μεταξύ των ατόμων πυριτίου και οξυγόνου ($\text{Si}:\text{O}=4:11$) τέσσερα προς έντεκα (Θεοδωρίκας 2000).

Ομάδα των πυροξένων

Οι πυροξένοι θεωρούνται πυριτικά άλατα της βάσης $(\text{Si}_2\text{O}_6)^4-$. Με βάση τη χημική τους σύσταση και το σύστημα κρυστάλλωσης τους διακρίνονται:

- 1) Στους ρομβικούς πυρόξενους ή ορθοπυρόξενους
- 2) Στους μονοκλινείς πυρόξενους ή κλινοπυρόξενους



Εικόνα 8: Δομή ινόμορφων πυριτικών ορυκτών

Οι κύριοι αντιπρόσωποι των πυροξένων είναι τα ορυκτά διοψίδιος και αυγίτης. Ο διοψίδιος αλλοιώνεται σε σερπεντίνη ή σε σερπεντίνη με χλωρίτη και χαλαζία. Ο αυγίτης εμφανίζεται σε γάββρους, σε ολιβινικούς γάββρους, σε βασάλτες και αλλοιώνεται σε σερπεντίνη, χλωρίτη, τάλκη, ασβεστίτη και χαλαζία (Μήτσιος 2001).

Ομάδα των αμφιβόλων

Οι αμφίβολοι που αποτελούν τα ορυκτά με διπλές αλυσίδες διακρίνονται με βάση το σύστημα κρυστάλλωσης τους σε ρομβικούς και μονοκλινείς. Ο κύριος εκπρόσωπος

των αμφιβόλων είναι τα ορυκτά της ομάδας της κερροστίλβης που αλλοιώνεται σε βιοτίτη και χλωρίτη με σχηματισμό επίδοτου, ασβεστίτη, μαγνητίτη (Μήτσιος 2001).

2.1.5 Φυλλοπυριτικά ορυκτά

Η ομάδα των φυλλοπυριτικών ορυκτών είναι γνωστή και ως ομάδα των μαρμαρυγιών. Ο χημικός τύπος της ομάδας αυτής μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση:



όπου $W=(K^+), (Na^+)$, το $X,Y=(Al^{3+}), (Li^+), (Mg^{2+}), (Fe^{2+}), (Fe^{3+})$, και $Z=(Si^{4+}), (Al^{3+})$ με λόγο $Si:Al=3:1$ (Θεοδωρίκας 2000).

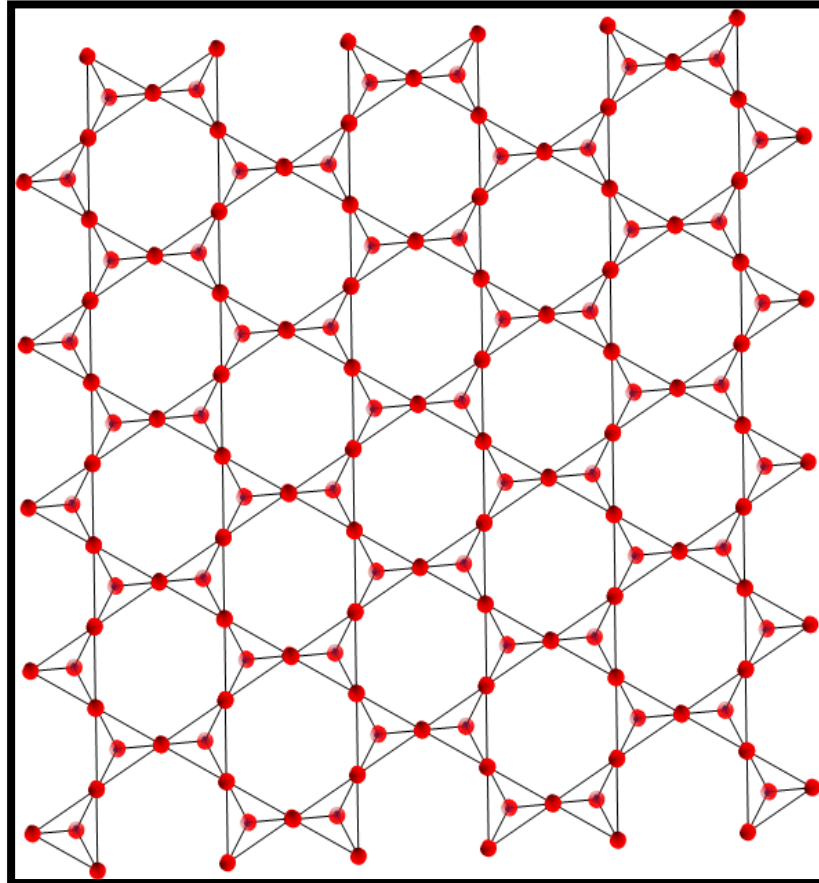
Τα πιο συνηθισμένα ορυκτά των μαρμαρυγιών (micas) είναι:

- Βιοτίτης (Biotite)
- Φλογοπίτης (Phlogopite)
- Μοσχοβίτης (Muscovite)
- Σερικήτης (Sericite)
- Παραγονίτης (Paragonite)
- Λεπιδόλιθος (Lepidolite)

Οι μαρμαρυγίες αποτελούνται από τετράεδρα πυριτίου (SiO_4^{4-}), το καθένα από τα οποία εφάπτεται με τις τρεις κορυφές του σε γειτονικά τετράεδρα, σχηματίζοντας έτσι ένα φύλλο (φυλλοπυριτική δομή). Κάθε τετράεδρο πυριτίου έχει ένα ελεύθερο οξυγόνο και τρία δεσμευμένα, που τα μοιράζεται με τα γειτονικά τετράεδρα.

Ο βιοτίτης αποτελεί τον πιο συνηθισμένο μαρμαρυγία των πυριγενών πετρωμάτων. Είναι το πιο διαδεδομένο σιδηρομαγνησιούχο ορυκτό και σχηματίζεται κάτω από ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών συνθηκών. Συναντάται στα πυριγενή

πετρώματα κυρίως στα όξινα και ενδιάμεσα, ενίοτε και σε βασικά, υπερβασικά. Αποτελεί κύριο ορυκτό συστατικό των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και γνευσίων. Συνοδεύεται από χαλαζία, αστρίους, αμφιβόλους, πυροξένους, μοσχοβίτη και άλλα.



Εικόνα 9 : Δομή φυλλοπυριτικών ορυκτών

Σύμφωνα με τον Χατζηθεοδωρίδη (2007) τα φυλλοπυριτικά ορυκτά περιλαμβάνουν επιπλέον :

- την ομάδα σερπεντινών (αντιγορίτης, λιζαρδίτης, χρυσοτίλης),
- την ομάδα των αργιλικών ορυκτών (καντίτες, σμεκτίτες, ιλίτης),
- την ομάδα του τάλκη (τάλκης, πυροφυλίτης) και
- την ομάδα των χλωριτών (κλινόχλωρο, πενίτης, δαφνίτης)

Πίνακας 3: Τα κυριότερα φυλλοπιριτικά ορυκτά

Ομάδα	Ομάδα ορυκτού	Χημικός τύπος	Δομή
Αργιλικά Ορυκτά	Καολινίτης	$H_4Al_2Si_2O_9$	T-O Διοκταεδρικό
	Πυροφυλλίτης	$Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$	T-O Διοκταεδρικό
	Τάλκης	$Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$	T-O Τριοκταεδρικό
	Μοντμοριλλονίτης	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$	T-O-T Τριοκταεδρικό
	Σαπωνίτης	$(Ca,Na)_{0,7}Mg_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4$	T-O-T Τριοκταεδρικό
Σερπεντίνης	Αντιγορίτης,	$(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$	T-O
	Λιζαρδίτης,	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	Τριοκταεδρικό
	Χρυσοτίλης	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	
Μαρμαρυγίες	Μοσχοβίτης	$KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	T-O-T Διοκταεδρικό
	Βιοτίτης	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	T-O-T Τριοκταεδρικό
Χλωρίτης	Κλινόχλωρο	$Mg_{12}(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$	T-O-T.O Τριοκταεδρικό
	Συντοίτης	$Al_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$	T-O-T.O Διοκταεδρικό

2.1.6 Τεκτοπυριτικά ορυκτά

Τα τεκτοπυριτικά ορυκτά είναι όλα όσα δημιουργούν ένα τρισδιάστατο πλέγμα από τετράεδρα του πυριτίου, όπου κάθε οξυγόνο ανήκει σε όλα τα γειτονικά τετράεδρα του πλέγματος. Περισσότερα από τα 2/3 του γήινου φλοιού αποτελείται από τεκτοπυριτικά ορυκτά.

Οι ομάδες των ορυκτών που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι:

- Τα πολύμορφα του SiO₂
- Η ομάδα των αστρίων
- Η ομάδα των αστριοειδών
- Η ομάδα των σκαπολίθων
- Η ομάδα των ζεολίθων

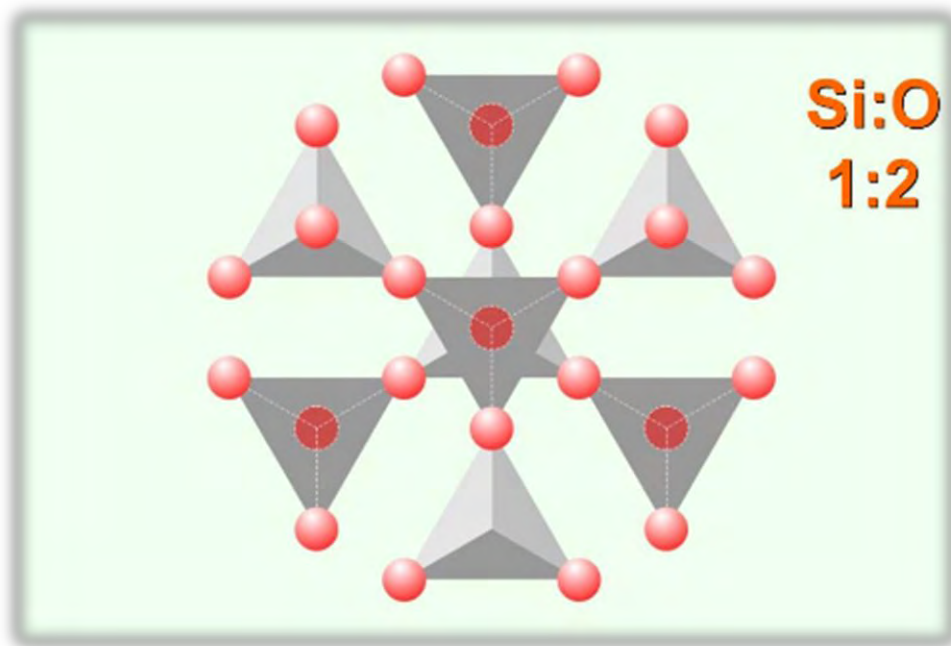
Ο χαλαζίας γράφεται σαν SiO₂. Έχει πολλά πολύμορφα, ανάλογα τις συνθήκες γένεσης, όπως χαλαζίας low και high, τριδυμίτης low και high, και χριστοβαλίτης low και high. Επίσης, ο κοεσίτης και ο στισοβίτης είναι πολύμορφα υπερ-υψηλών πιέσεων.

Οι άστριοι διακρίνονται σε καλιούχους άστριους και στα πλαγιόκλαστα. Καλιούχοι άστριοι είναι το ορθόκλαστο, ο μικροκλινής και το σανίδινο, όλα με χημικό τύπο (K, Na)AlSi₃O₈, όπου μεταβάλλεται η περιεκτικότητα σε κάλιο και νάτριο. Τα πλαγιόκλαστα έχουν γενικό τύπο (Ca, Na)AlSi₃O₈, και περιλαμβάνουν όλα τα ορυκτά μεταξύ των ακραίων μελών μια ισόμορφης σειράς, δηλαδή του αλβίτη (NaAlSi₃O₈) έως τον ανορθίτη (CaAlSi₃O₈).

Τα αστριοειδή σχηματίζονται όταν το μάγμα περιέχει πολύ μικρές ποσότητες πυριτίου, αλλά είναι πλούσιο σε κάλιο και νάτριο. Ορυκτά της ομάδας αυτής είναι ο νεφελίνης ($\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$), ο λευκίτης (KAlSi_2O_6) και η ομάδα του σοδάλιθου ($[\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{Cl}_2$).

Οι σκαπόλιθοι είναι μια ισόμορφη σειρά με ακραία μέλη το μαριαλίτη ($\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$) και τον μαϊονίτη ($\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{CO}_3$).

Οι ζεόλιθοι είναι μιά μεγάλη ομάδα ορυκτών με σπουδαίες βιομηχανικές εφαρμογές. Ο γενικός τους τύπος είναι $\text{M}_x\text{D}_y[\text{Al}_{(x+2y)}\text{Si}_{n-(x+2y)}\text{O}_{2n}] m\text{H}_2\text{O}$, όπου $\text{M}=\text{K}$, Na και $\text{D}=\text{Ca}$, Mg .



Εικόνα 10 : Τεκτοπυριτικά ορυκτά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

3.1 Γενικά

Γενικά ως αργιλικά ορυκτά χαρακτηρίζονται τα φυλλοπυριτικά ορυκτά με μέγεθος κόκκων $<2\mu\text{m}$ (Putnis 1995). Οι άργιλοι είναι μεταξύ των πιο διαδεδομένων και άφθονων ιζημάτων του στερεού φλοιού της γης, γνωστές επίσης για τις πολλαπλές βιομηχανικές εφαρμογές. Το όνομα ‘‘άργιλος’’ χρησιμοποιείται με τρεις διαφορετικούς τρόπους (Bourliva 2013):

- για την ονομασία μιας ομάδας ένυδρων αργιλοπυριτικών ορυκτών
- ως όνομα πετρώματος και
- ως όνομα μεγέθους κόκκων κλαστικού ιζηματογενούς υλικού ($< 2\mu\text{m}$)

Τα αργιλικά ορυκτά, ονομαζόμενα και σιαλικά ορυκτά, είναι πυριτικά ένυδρα ορυκτά του αργιλίου (Al), μαγνησίου (Mg), καθώς επίσης και άλλων στοιχείων υπό μορφή ιόντων που έχουν κρυσταλλική δομή και σπανίως άμορφη (Alietti et al.1979).

Παλαιότερα η άργιλος εθεωρείτο άμορφος λόγω του μικροσκοπικού μεγέθους των κόκκων της. Τα συστατικά της είναι τόσο λεπτομερή, ώστε η πραγματική της σύσταση δεν ήταν γνωστή παρά μόνο μέχρι την ανακάλυψη των ακτίνων X ως ορυκτοδιαγνωστικού μέσου. Ορισμένα ορυκτά της αργίλου μπορούν να παρατηρηθούν σε λεπτομέρειες μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σε μεγάλες μεγεθύνσεις (>5000 φορές) (Μιχαηλίδης και συν. 2013). Πρώτος ο Le Chatelier το 1887, μίλησε για την κρυσταλλικότητα των συστατικών της αργίλου, ενώ ο Ross (1928) απέδειξε με το πολωτικό μικροσκόπιο ότι η άργιλος αποτελείται από κρυσταλλικές ενώσεις που ονόμασε αργιλικά ορυκτά (clay minerals), όπως συνεχίζουν να αποκαλούνται μέχρι

σήμερα (Grim R. 1968). Την κρυσταλλικότητα των αργιλικών συστατικών επιβεβαίωσαν ο Hadding το 1923 και ο Rinne, ένα χρόνο αργότερα, κάνοντας ανεξάρτητες μεταξύ τους κρυσταλλογραφικές μελέτες.

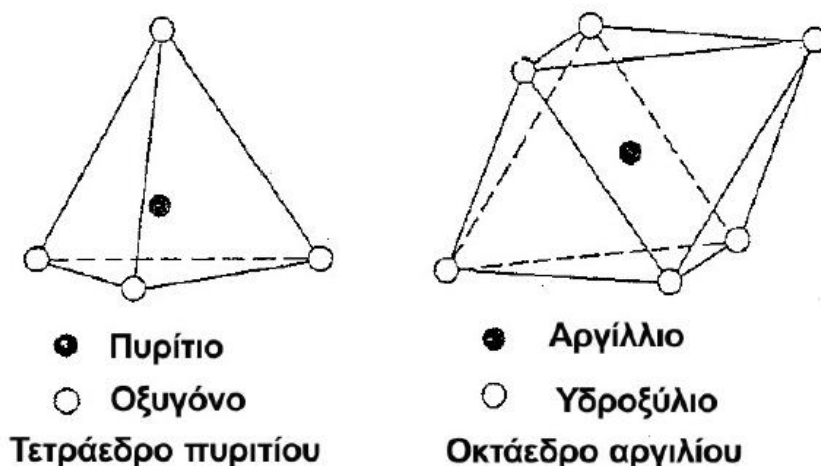
Τα αργιλιοπυριτικά ορυκτά είναι δευτερογενή ορυκτά, διότι προέρχονται από την ανασύνθεση των υλικών της αποσάθρωσης των πρωτογενών ορυκτών με συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας του εδαφικού περιβάλλοντος, αναπτύσσοντας κρυστάλλους κολλοειδών διαστάσεων μικρότερων από 2 μm (Μήτσιος 2001).

Γενικά παρουσιάζουν μια εικόνα ελασματική, δεδομένου ότι δομικά είναι φυλλοπυριτικά (από το ελληνικό «φύλλον») με μια δομή που τείνει να αναπτυχθεί κυρίως σε δύο διαστάσεις (Alietti et al. 1979).

Τα ορυκτά των αργίλων χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Περράκη-Λοϊσίου 2007):

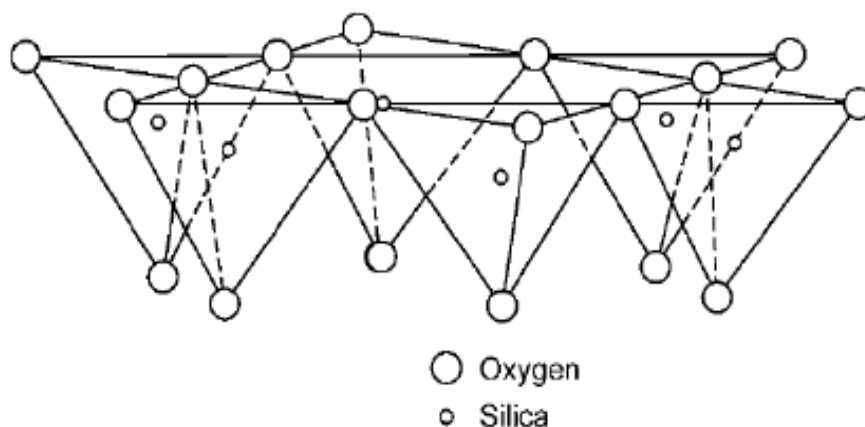
- a) Τα αργιλικά ορυκτά (clay minerals), όπως ο ιλλίτης, ο μοντμοριλλονίτης, ο καολινίτης, ο σαπωνίτης
- b) Τα μη αργιλικά ορυκτά (non clay minerals), όπως ο χαλαζίας, οι άστριοι, τα ανθρακικά ορυκτά (ασβεστίτης, δολομίτης), οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου, τιτανίου, μαγγανίου, θειούχες ενώσεις, οργανικά άλατα

Τα φυλλοπυριτικά ορυκτά, όπως και όλα τα άλλα πυριτικά, έχουν ως βασική δομική μονάδα το τετράεδρο του πυριτίου (SiO_4)⁴⁻ με το πυρίτιο Si, στο κέντρο και το οξυγόνο O στις κορυφές. Είναι ενίοτε δυνατόν να γίνει μερική αντικατάσταση του πυριτίου Si από το αργίλιο Al.



Σχήμα 1: Οι βασικές δομικές μονάδες των αργιλικών ορυκτών (Κοτρώτσιου & Φραντζεσκάκη 2011)

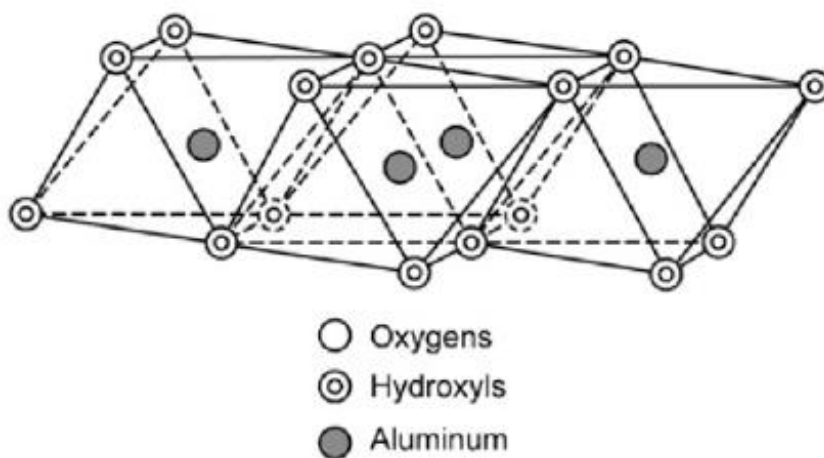
Όταν τα τετράεδρα αυτά ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζουν εξαμελείς διακτυλίους. Κάθε τετράεδρο έχει τρία οξυγόνα, τα οποία βρίσκονται πάνω σε ένα επίπεδο και τα οποία είναι κοινά με άλλα τρία γειτονικά τετράεδρα. Το σύνολο των τετράεδρων που είναι μ' αυτό τον τρόπο συνδεδεμένα, αν ενωθούν μεταξύ τους σε ένα επίπεδο οδηγούν στον σχηματισμό των ονομαζόμενων «τετραεδρικών στρωμάτων» ή «τετραεδρικών φύλλων» που αναγράφονται με «T» (Σχ. 2).



Σχήμα 2: Τετράεδρα του πυριτίου-Τετραεδρικά στρώματα (Murray 2007) *Oxygen:* Οξυγόνο, *Silica:* Πυρίτιο

Μια άλλη χαρακτηριστική δομή των φυλλοπιριτικών ορυκτών αποτελείται από πολύεδρα σε συνδυασμό με οκταεδρική, όπου στο κέντρο βρίσκονται τρισθενή ιόντα αργιλίου (Al^{3+}), ενίοτε σιδήρου (Fe^{3+}) ή ένα στοιχείο δισθενές όπως ο σίδηρος (Fe^{2+}) και το μαγνήσιο (Mg^{2+}), και στις κορυφές οξυγόνο (O) και υδροξύλια (OH).

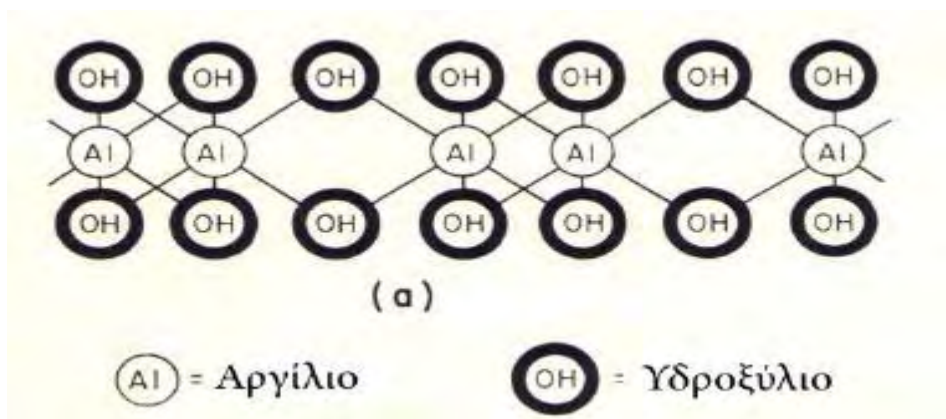
Τα οκτάεδρα ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας εξαγωνικούς δακτυλίους και το σύνολό τους προσδιορίζει τα λεγόμενα «οκταεδρικά στρώματα» ή απλώς φύλλον αργιλίου (alumina sheet), αναγραφόμενα με «O». Στην περίπτωση αυτών των τελευταίων τα οκτάεδρα τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε από τις έξι κορυφές, οι τρεις να βρίσκονται σε ένα επίπεδο και οι άλλες τρεις σε ένα άλλο επίπεδο παράλληλο προς αυτό (Σχ. 3).



Σχήμα 3: Οκτάεδρα του αργιλίου- Οκταεδρικά στρώματα (από Murray 2007) *Oxygens:* Οξυγόνα, *Hydroxyls:* Υδροξύλια, *Aluminum:* Αλουμίνιο

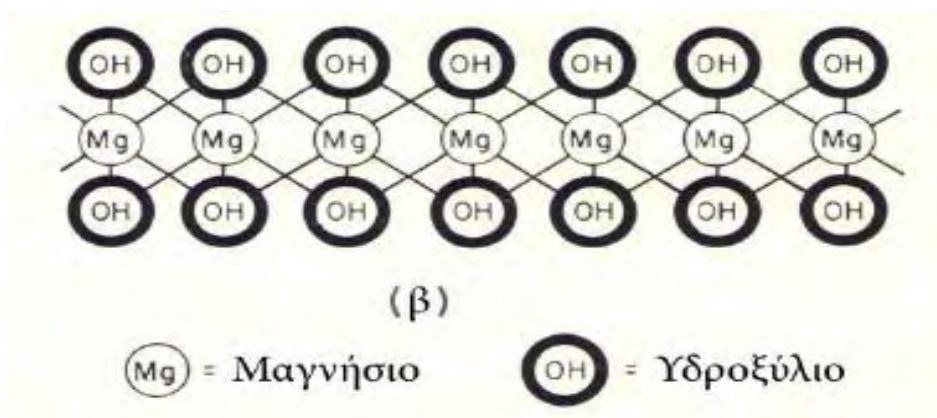
Στην περίπτωση που το κέντρο του οκταέδρου καταλαμβάνεται από ένα τρισθενές στοιχείο (Al^{3+} ή Fe^{3+}), κάθε οκτάεδρο έχει δύο ακμές, επομένως και τέσσερις κορυφές κοινές με τα άλλα γειτονικά οκτάεδρα. Αυτή η δομή ονομάζεται

«διοκταεδρική», γιατί καταλαμβάνονται από το τρισθενές στοιχείο μόνο τα δυο από τα τρία οκταεδρικά κέντρα ή γιββσιτικά, από την αναλογία του με εκείνη του ορυκτού γιββσίτη $\text{Al}(\text{OH})_3$, που έχει έξι OH στις κορυφές των οκταέδρων (Σχ. 4).



Σχήμα 4 : Διοκταεδρικό φύλλο με τρισθενές κατιόν (Al) (Cieseking, 1975)

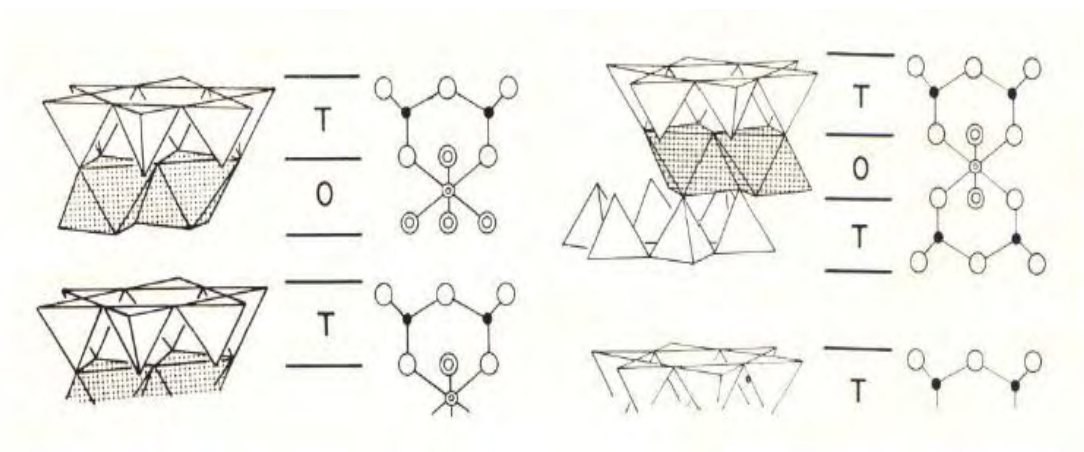
Στην περίπτωση που το κέντρο του οκταέδρου καταλαμβάνεται από ένα δισθενές στοιχείο (Mg^{2+} ή Fe^{2+}), κάθε οκτάεδρο έχει έξι ακμές κοινές με τα άλλα γειτονικά οκτάεδρα και έτσι όλες τις κορυφές κοινές με άλλα γειτονικά οκτάεδρα. Αυτή η δομή ονομάζεται «τριοκταεδρική», γιατί το δισθενές στοιχείο καταλαμβάνει όλα τα οκταεδρικά κέντρα, ή βρουκίτικά λόγω της αναλογίας του με εκείνη του ορυκτού βρουκίτη $\text{Mg}(\text{OH})_2$ με ακόμα έξι OH στις κορυφές των οκταέδρων (Σχ. 5) (Τσώλη-Καταγά, 1985).



Σχήμα 5: Τριοκταεδρικό φύλλο με δισθενές κατιόν (Mg) (Cieseking, 1975)

Τα ορυκτά της αργίλου, σύμφωνα με τη διάταξη των τετραεδρικών (T) και οκταεδρικών (O) φύλλων στο πλέγμα τους, υποδιαιρούνται σύμφωνα με τον Meunier (2005) σε:

- **Ορυκτά δομής 1:1 (ή T-O):** σχηματίζονται από την εναλλαγή ενός φύλλου τετραέδρων και ενός φύλλου οκταέδρων, τα οποία εκτείνονται στο επίπεδο που ορίζεται από τις διευθύνσεις των κρυσταλλογραφικών αξόνων a και b και εναλλάσσονται το ένα επί του άλλου κατά τη διεύθυνση του άξονα c. Χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι της ομάδας είναι ο καολινίτης, ο αλλοϋσίτης και ο σερπεντίτης (Σχ. 6).
- **Ορυκτά δομής 2:1 (ή T-O-T):** αποτελούνται από ένα οκταεδρικό φύλλο που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τετραεδρικά φύλλα. Κύριοι εκπρόσωποι είναι ο μοντμοριλονίτης και ο ιλλίτης (Σχ. 7).

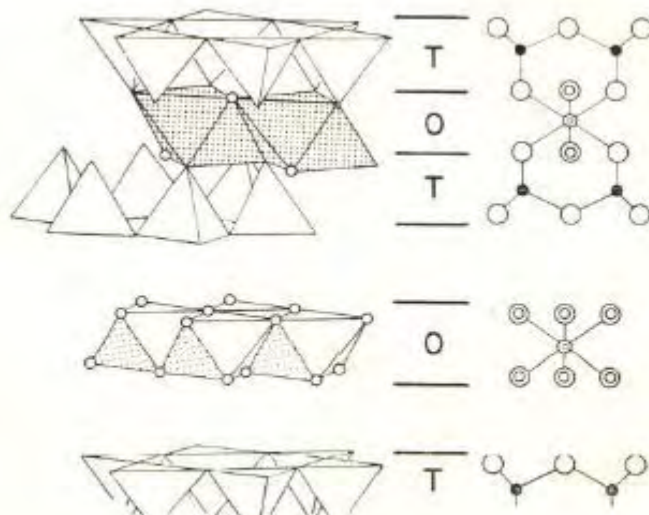


Σχήμα 6 (αριστερά): Φυλλοπηριτικά με δύο φύλλα (1:1). Η στιβάδα αποτελείται από την επίστρωση δύο φύλλων, ενός οκταεδρικού O και ενός τετραεδρικού T , **Σχήμα 7 (δεξιά):** Φυλλοπηριτικά με τρία φύλλα (2:1). Η στιβάδα αποτελείται από ένα οκταεδρικό φύλλο O μεταξύ δύο τετραεδρικών T (Kostov, 1968)

Σύμφωνα με τον Μήτσιο (2001) υπάρχει μία επιπλέον κατηγορία ορυκτών δομής 2:1 ή 2:1:1 (ή T-O-T-O), τα οποία φέρουν το όνομα χλωρίτες (Chlorites) και είναι φυλλοπυριτικά ορυκτά (Σχ. 8).

Τα ορυκτά αυτά διαφέρουν από τα ορυκτά της δομής 2:1, καθώς φέρουν μεταξύ των πλακιδίων ένα επιπλέον φύλλο οκταέδρων, το οποίο είναι το οξείδιο του μαγνησίου ($MgOH_2$) και ονομάζεται «γέφυρα του βρουσίτη». Τα οκτάεδρα μπορούν να αντιστοιχούν στα στοιχεία Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} σε συνδυασμό με διοκταεδρικές ή τριοκταεδρικές κρυσταλλικές μονάδες. Χαρακτηριστικό ορυκτό της ομάδας αυτής είναι ο χλωρίτης.

Με βάση τη δομή του οκταεδρικού φύλλου τα φυλλοπυριτικά και συνεπώς τα αργιλικά ορυκτά υποδιαιρούνται σε διοκταεδρικούς τύπους, με δομές γιββιτικού τύπου και τριοκταεδρικούς, με δομές βρουσιτικού τύπου.



Σχήμα 8: Φυλλοπυριτικά με τρία φύλλα συν ένα (2:1:1). Στιβάδα με τρία φύλλα συν την επίστρωση ενός οκταεδρικού φύλλου O (Kostov, 1968)

Τελευταία κατηγορία αποτελούν τα άμορφα ορυκτά ή αλλιώς «ομάδα των αλλοφανών», τα οποία μοιάζουν με αργιλοπυριτικά ορυκτά, χωρίς καλά ευκρινή ορισμένη καλά χαρακτηρισμένη κρυσταλλική δομή (Εικ. 11).



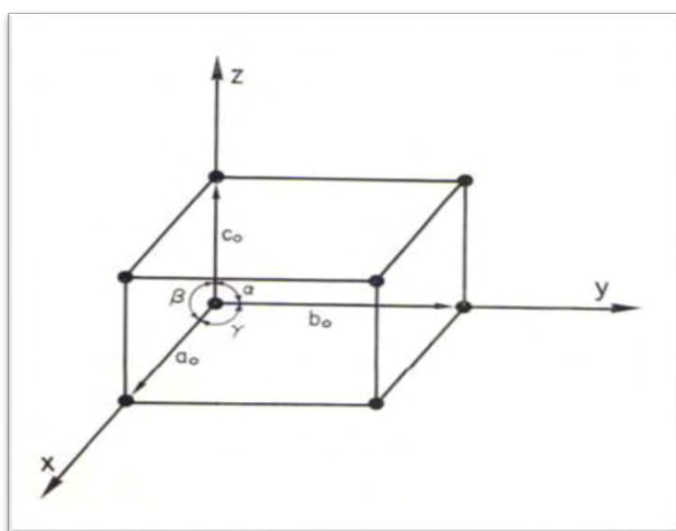
Εικόνα 11: Αλλοφανές ορυκτό (από mindat.org)

3.2 Δυνάμεις μεταξύ των δεσμών των πακέτων

Στις διάφορες δομές των φυλλοπυριτικών ορυκτών, οι δυνάμεις των δεσμών μεταξύ των πακέτων μπορούν να είναι του τύπου «γέφυρα υδρογόνου», «Van der Waals» και «ιονικές». Στην τελευταία περίπτωση μεταξύ των πακέτων υπάρχει η παρουσία κατιόντων, όπως το κάλιο (K^+), το νάτριο (Na^2+), το ασβέστιο (Ca^{2+}). Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η αντικατάσταση του τρισθενούς αργιλίου (Al^{3+}) στη θέση του τετρασθενούς πυριτίου (Si^{4+}) στο τετραεδρικό στρώμα και ενός δισθενούς στοιχείου στη θέση ενός τρισθενούς στο οκταεδρικό στρώμα, προκαλεί μια αύξηση του αρνητικού φορτίου στη δομική μονάδα και αντισταθμίζεται με την είσοδο των προαναφερθέντων κατιόντων (Alietti et al. 1979).

Τα μεμονωμένα είδη των αργλικών ορυκτών διαχωρίζονται επίσης λόγω του διαφορετικού πάχους των μεμονωμένων δομικών μονάδων. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η διάταξη των ιόντων σε κάθε κρυσταλλική δομή, συμπεριλαμβανομένου εκείνου των αργλικών ορυκτών, είναι περιοδική, υπό την έννοια ότι κατά μήκος μιας οποιασδήποτε κατεύθυνσης συναντάται και επαναλαμβάνεται κανονικά μια δεδομένη διαδοχή των ιόντων. Η απόσταση μεταξύ δύο ίδιων ιόντων τόσο ως προς τη φύση όσο και ως προς τη θέση αντιπροσωπεύει την «περίοδο ταυτότητας-αναγνώρισης» σε εκείνη την κατεύθυνση (Alietti et al. 1979).

Λαμβάνοντας υπόψη τις τρεις σημαντικές κρυσταλλογραφικές κατευθύνσεις (κρυσταλλογραφικοί άξονες x , y , z), η ισοαπόσταση κατά μήκος αυτών των κατευθύνσεων προσδιορίζουν έναν όγκο που αντιστοιχεί σε μία οντότητα εκείνης της ιδιαίτερης δομής που επαναλαμβάνεται, καλούμενη «κυψελίδα ή στοιχειώδες πλέγμα». Τα δεδομένα της βασικής κυψελίδας ορίζονται με a_0 , b_0 και c_0 και οι γωνίες $\gamma^{\wedge}z$, $x^{\wedge}z$, $x^{\wedge}y$, με α , β , και γ αντιστοίχως (Σχ. 9). Οι τιμές των a_0 , b_0 και c_0 μετρούνται σε Å, Angstrom (1 Å είναι ίσο με 10^{-8} cm).



Σχήμα 9: Κυψελίδα ή στοιχειώδες πλέγμα με πλευρές a_0 , b_0 και c_0 σύμφωνα με τους κρυσταλλογραφικούς άξονες, x , y και z , που σχηματίζουν γωνίες α , β και γ

Στα φυλλοπυριτικά ορυκτά οι γωνίες α και γ είναι γενικά 90° . Οι πλευρές a_0 και b_0 , που βρίσκονται στο επίπεδο ανάπτυξης των τετραεδρικών και οκταεδρικών φύλλων, είναι κατ' αυτόν τον τρόπο ορθογώνιες μεταξύ τους. Η γωνία β αντίθετα μεταβάλλεται μεταξύ 90° και 105° περίπου και η πλευρά c_0 βρίσκεται έτσι διατεταγμένη ή κανονικά στα ίδια φύλλα ή σε θέση που δεν αποκλίνει πολύ από την κανονική. Στα διάφορα φυλλοπυριτικά οι τιμές των a_0 και b_0 στο πλέγμα μεταβάλλονται λίγο, δεδομένου ότι εξαρτώνται ουσιαστικά από τη δι-τριοκταεδρική φύση του οκταεδρικού φύλλου και σε μικρότερο βαθμό από τις αντικαταστάσεις αργιλίου/πυριτίου στα τετραεδρικά φύλλα.

Η τιμή της πλευράς c_0 αντιθέτως, μεταβάλλεται σημαντικά από τον ένα τύπο στον άλλο. Η τιμή της πράγματι, εξαρτάται τόσο από τη φύση και από τον αριθμό των επιστρωμένων φύλλων που αποτελούν το ορυκτό, όσο και από το βαθμό και τον τύπο του κορεσμού των ελεύθερων φορτίων με κατιόντα και συνεπώς από το διαφορετικό βαθμό ενυδάτωσης και είτε τελικά, όσον αφορά τον τύπο της επίστρωσης, από τον τρόπο σύμφωνα με τον οποίο τα φύλλα βρίσκονται το ένα πάνω στο άλλο. Πρόκειται, σ' αυτή την τελευταία περίπτωση, εκείνου του φαινομένου κοινό στα φυλλοπυριτικά και συχνό στα αργιλικά ορυκτά, οριζόμενο με το όνομα «Πολυτυπία».

Τα αργιλιόπυριτικά ή σιαλικά ορυκτά κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω κύριες ομάδες (Τόλη 2013):

1. Ομάδα Καολινίτη
2. Ομάδα Σερπεντίνη
3. Ομάδα Σμεκτίτη
4. Ομάδα Ιλλίτη
5. Ομάδα Χλωρίτη

6. Ομάδα Βερμικουλίτη
7. Ομάδα Ινωδών Αργίλων
8. Ομάδα με αναμεμειγμένα φύλλα

3.3 Χαρακτηριστικά των μεμονωμένων τύπων

3.3.1 Φυλλοπυριτικά τύπου 1:1 με δύο φύλλα (T-O)

Τα φυλλοπυριτικά του τύπου 1:1 χαρακτηρίζονται από την επίστρωση του ενός τετραεδρικού φύλλου πάνω σε ένα οκταεδρικό φύλλο («στιβάδα T-O») που επαναλαμβάνεται περιοδικά κατά μήκος του άξονα z. Μέσα στο οκταεδρικό φύλλο μιας στιβάδας T-O διαπιστώθηκε ότι στο επίπεδο της βάσης, οι τρεις κορυφές ενός μονού οκταέδρου είναι όλες κατειλημμένες από OH και αυτό το επίπεδο είναι εκείνο που προβάλλεται στο υποκείμενο τετραεδρικό φύλλο της στιβάδας T-O. Το υδρογόνο (H), των υδροξειδίων προσδιορίζει τον δεσμό, του τύπου «δεσμός υδρογόνου», μεταξύ των δύο στιβάδων.

Στο άλλο επίπεδο του οκταεδρικού φύλλου, παράλληλο με εκείνο της βάσης, οι εναπομείνουσες τρεις κορυφές του κάθε οκταέδρου καταλαμβάνονται μία από το τέταρτο OH, που βρίσκεται στο κέντρο των εξαγωνικών δακτυλίων των τετραέδρων που υπάρχουν πάνω στο γειτονικό φύλλο T, και οι άλλες δυο καταλαμβάνονται από ιόντα O. Αυτά τα τελευταία καταλαμβάνουν επίσης τις κορυφές δυο διαφορετικών τετραέδρων του τετραεδρικού φύλλου και αποτελούν τον «ιοντικό δεσμό» μεταξύ του φύλλου T και του φύλλου O μιας μονής στιβάδας.

Σε ότι αφορά το πάχος αυτών των στιβάδων T-O, αυτό είναι περίπου 7,1 Å που δίνεται από το άθροισμα των 2,3 Å του πάχους του οκταεδρικού φύλλου, συν 2,1 Å,

του πάχους του τετραεδρικού φύλλου και 2,7 Å, του πάχους που υπάρχει μεταξύ της μιας στιβάδας T-O και της άλλης στιβάδας T-O.

Σε αυτόν τον τύπο διακρίνονται τόσο διοκταεδρικά όσο και τριοκταεδρικά ορυκτά.

3.3.1.1 Διοκταεδρικά

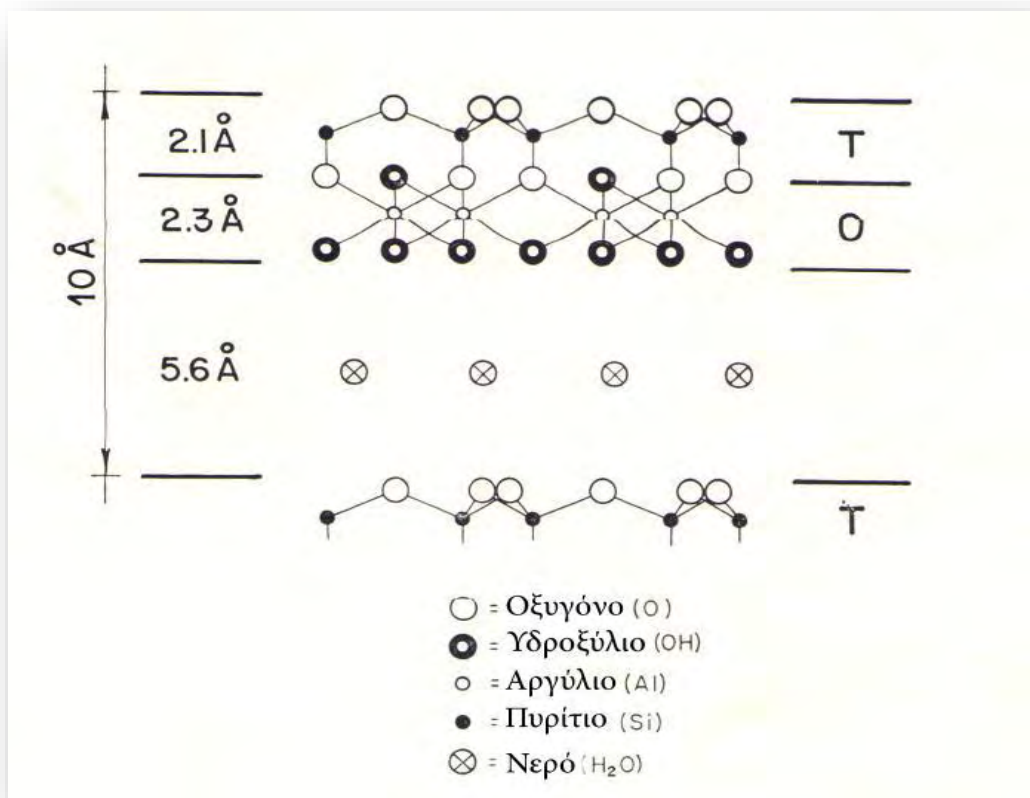
Σ' αυτόν τον τύπο εντάσσονται τα ορυκτά της ομάδας του αλλοϋσίτη (halloysite) και του καολινίτη (kaolinite) με παρόμοια χημική σύσταση, αλλά διαφορετικό βαθμό ενυδάτωσης και δομικής διάρθρωσης.

A) Η ομάδα του Αλλοϋσίτη (Halloysite)

Ο αλλοϋσίτης (halloysite) πήρε το όνομα του από τον Omalium d'Halloys (1707-1789) ο οποίος το πρωτοαναγνώρισε. Είναι ένα αργιλικό ορυκτό το οποίο είναι κοινό σε εδάφη και αποσαθρωμένα πετρώματα. Ο αλλοϋσίτης ανακαλύφθηκε από τον Berthier (1926) ως διοκταεδρικό 1:1 αργιλικό ορυκτό της ομάδας του καολινίτη. Στην πορεία συνοψίστηκε από τον Churchman (2000) ότι ο αλλοϋσίτης απαντάται ευρύτατα και στα αποσαθρωμένα πετρώματα και εδάφη και έχει αναγνωριστεί ότι σχηματίζεται από την διαφοροποίηση μιας ποικιλίας τύπων πετρωμάτων, μαγματικών και μη. Ωστόσο, ο αλλοϋσίτης συχνά σχηματίζεται ως κύριο συστατικό σε εδάφη, από ηφαιστειογενή υλικά σε υγρή τροπική και υποτροπική περιοχή (Ziegler et al. 2003).

Σύμφωνα με το πάχος c_0 της θεμελιώδους δομικής μονάδας, η στιβάδα T-O σε αυτή την ομάδα διακρίνεται από έναν αλλοϋσίτη $10 \text{ \AA } \text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ και από έναν αλλοϋσίτη $7 \text{ \AA } \text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$, καθώς και από εντελίτη (endellite) και μετα-αλλοϋσίτη (metahalloysite) αντίστοιχα.

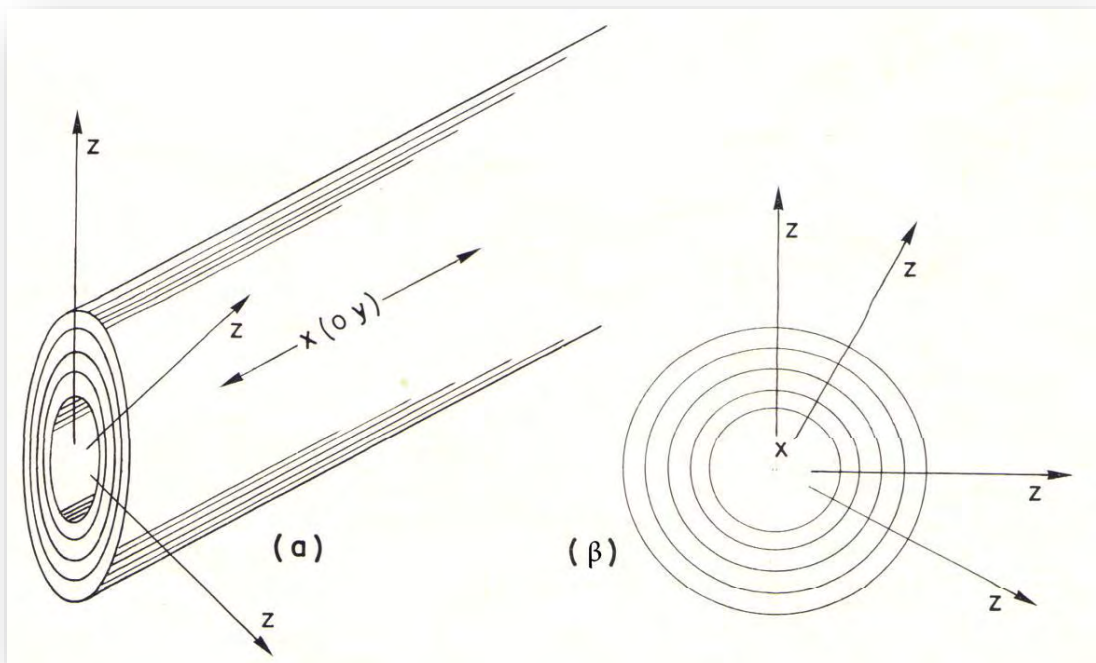
Ο αλλοϋσίτης των 10 Å διαφέρει από αυτόν των 7 Å, διότι στον άξονα z κάθε στιβάδας T-O χωρίζεται από την επόμενη, με ένα επίπεδο μορίων νερού με πάχος περίπου 5,6 Å. Εκτός των άλλων στον αλλοϋσίτη των 10 Å (Σχ. 10) ο δεσμός μεταξύ τετραεδρικού και οκταεδρικού φύλλου δύο διαφορετικών στιβάδων T-O, γίνεται κυρίως μέσω των υδρογόνων των μορίων του νερού, ενώ στον αλλοϋσίτη των 7 Å οι ίδιοι δεσμοί πραγματοποιούνται με το υδρογόνο του υδροξυλίου του οκταεδρικού φύλλου (δεσμοί υδρογόνου). Λόγω της φύσης του δεσμού και της ευκολίας του αλλοϋσίτη των 10 Å να χάνει μόρια νερού, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, μπορούμε να έχουμε την μη αναστρέψιμη μετάβαση του αλλοϋσίτη των 10 Å σε αλλοϋσίτη των 7 Å (Alietti et al. 1979).



Σχήμα 10: Δομή του αλλοϋσίτη 10 Å

Τα ορυκτά αυτής της ομάδας παρουσιάζονται κυρίως με τη σωληνοειδή μορφή και οφείλεται σε μια περιτύλιξη με παράλληλο άξονα στον κρυσταλλογραφικό άξονα x ή στον y . Αυτού του είδους η μορφολογία θεωρείται ότι οφείλεται στο γεγονός ότι οι διαστάσεις του a_0 και του b_0 του οκταεδρικού φύλλου είναι ελαφρώς μικρότερες του τετραεδρικού φύλλου.

Η δομή και η χημική σύσταση του αλλοϋσίτη είναι όμοια με του καολινίτη, του δικίτη ή του νακρίτη, αλλά τα φύλλα του αλλοϋσίτη είναι χωρισμένα από μόρια νερού (Churchman and Carr 1975). Ως αποτέλεσμα, ο ένυδρος αλλοϋσίτης, έχει ένα βασικό διάστημα 10\AA , το οποίο είναι περίπου 3\AA μεγαλύτερο από του καολινίτη. Επειδή το στρώμα νερού έχει αδύναμους δεσμούς, ο αλλοϋσίτης (10\AA) μπορεί εύκολα και αμετάκλητα να αφυδατωθεί και να δώσει αντίστοιχα τον αλλοϋσίτη (7\AA).



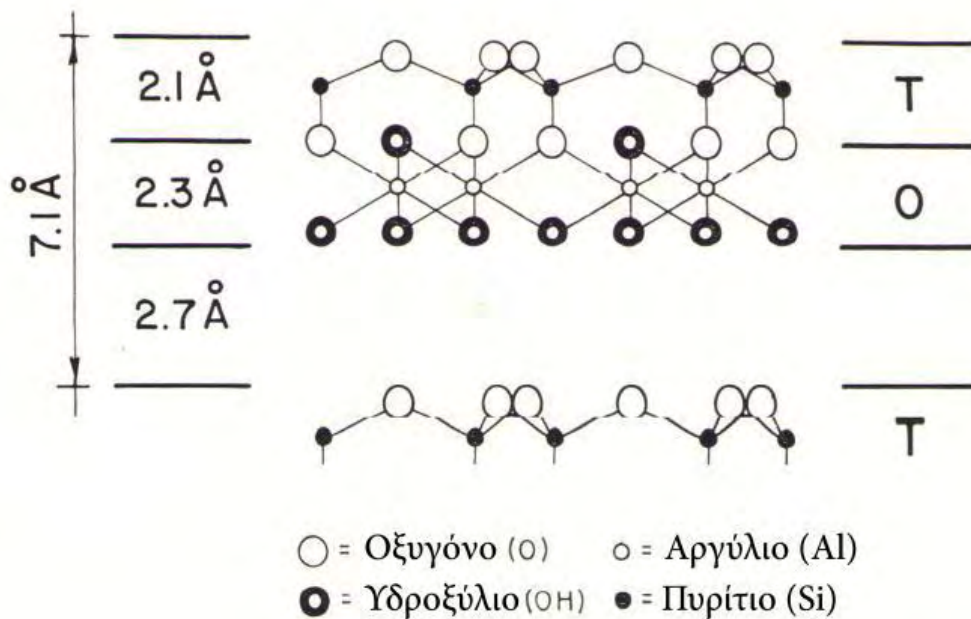
Σχήμα 11: Κρυσταλλογραφικός σωληνοειδής προσανατολισμός αλλοϋσίτη. Η κατεύθυνση z είναι πάντα ορθογώνια στα τοιχώματα των "σωλήνων" (τροποποιημένη από Deer et al., 1962).

Είναι επομένως δύσκολο να χειριστείς τον αλλοϋσίτη (10\AA), χωρίς να προκαλέσεις την μετατροπή του όσον αφορά την υδατική του κατάσταση. Τα σωματίδια του αλλοϋσίτη μπορούν να ακολουθήσουν μια ποικιλία μορφολογίας, από τις οποίες η πιο κοινή είναι η επιμήκης. Ωστόσο μικρού μήκους επιμήκεις αλλοϋσίτες, σφαιροειδείς και πεπλατυσμένοι, έχουν ευρέως αναφερθεί (Papoulis and Tsolis-Katagas 2008).

B) Ομάδα ορυκτών του καολινίτη (kaolinite) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Πήρε το όνομα του από τον κινέζικο λόφο Καο Λινγκ, που για μεγάλο χρονικό διάστημα προμηθεύει καολινιτικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για τις πορσελάνες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο καολινίτης, ο δικίτης και ο νακρίτης, με ίδια χημική σύσταση $\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$ με τιμές πολλαπλών τύπων, είναι σχεδόν όμοιοι αλλά σε αυτά διαφέρει η περίοδος της ταυτότητας, δηλαδή έχουν διαφορετικό πάχος σχετικά με την δομική μορφή.

Η βασική δομική μονάδα των ορυκτών καολίνη, που περιλαμβάνει τα ορυκτά καολινίτη, ντικίτη, νακρίτη και αλλοϋσίτη, είναι ένα στρώμα ενός τετραεδρικού φύλλου και ενός οκταεδρικού φύλλου. Αυτά τα δύο φύλλα συνδυάζονται για να σχηματίσουν μία δομή στην οποία τα άκρα των τετραέδρων του πυριτίου συνδέονται με το οκταεδρικό φύλλο. Όλα τα ακραία οξυγόνα των τετραέδρων πυριτίου δείχνουν προς την ίδια κατεύθυνση, έτσι ώστε αυτά τα οξυγόνα ή/και τα υδροξύλια, τα οποία μπορεί να είναι παρόντα για να εξισοροπούν τα φορτία, να μοιράζονται τα πυρίτια στο τετραεδρικό φύλλο και το αλουμίνιο στο οκταεδρικό φύλλο. Η δομική μονάδα για τον καολινίτη είναι $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ και η θεωρητική χημική σύνθεση είναι 46,54% SiO_2 , 39,50% Al_2O_3 και 13,96% H_2O (Murray 2007).



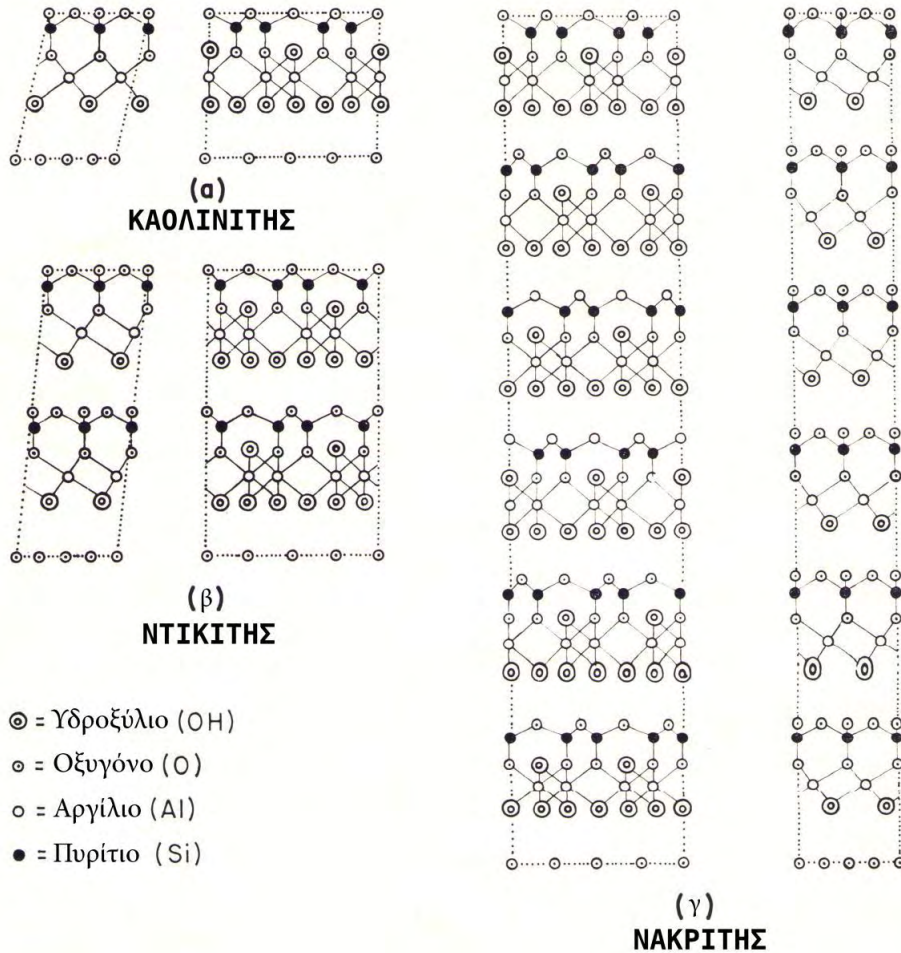
Σχήμα 12: Δομή του καολινίτη

Πράγματι στον καολινίτη, η σημαντική δομική μέτρηση περιλαμβάνεται από μία ομάδα T-O (Σχ. 12) και ένα c_0 των περίπου 7 Å στον δικίτη και στον νακρίτη και σχηματίζεται από δύο και έξι ομάδες T-O και με ένα c_0 των περίπου 14 Å και των περίπου 43 Å αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στον δικίτη, οι ομάδες είναι εναλλάξ συμμετρικές, για αυτό η περίοδος ταυτοποίησης μέσω του κρυσταλλογραφικού άξονα z πραγματοποιείται μετά από δύο ομάδες στους νακρίτες, ενώ κάθε ομάδα T-O είναι περιστρεμμένη 60 μοίρες σχετικά με την προηγούμενη και η περίοδος ταύτισης c_0 φτάνεται μόνο μετά από μια ολοκληρωμένη περιστροφή 360 μοιρών, δηλαδή μετά από μια ακολουθία 6 μοτίβων T-O ($\sim 7 \text{ \AA} \times 6 = \sim 43 \text{ \AA}$).

Οι σύνδεσμοι ανάμεσα στις διαφορετικές ομάδες T-O σταθεροποιούνται και στα τρία ορυκτά με δεσμούς υδρογόνου με -OH της οκταεδρικής στοιβάδας. Στο εσωτερικό της στοιβάδας και του τετραεδρικού και του οκταεδρικού υπάρχει περιορισμένη

αντικατάσταση κατιόντων και μια δομική ακαταστασία στον κρυσταλλογραφικό άξονα

γ.

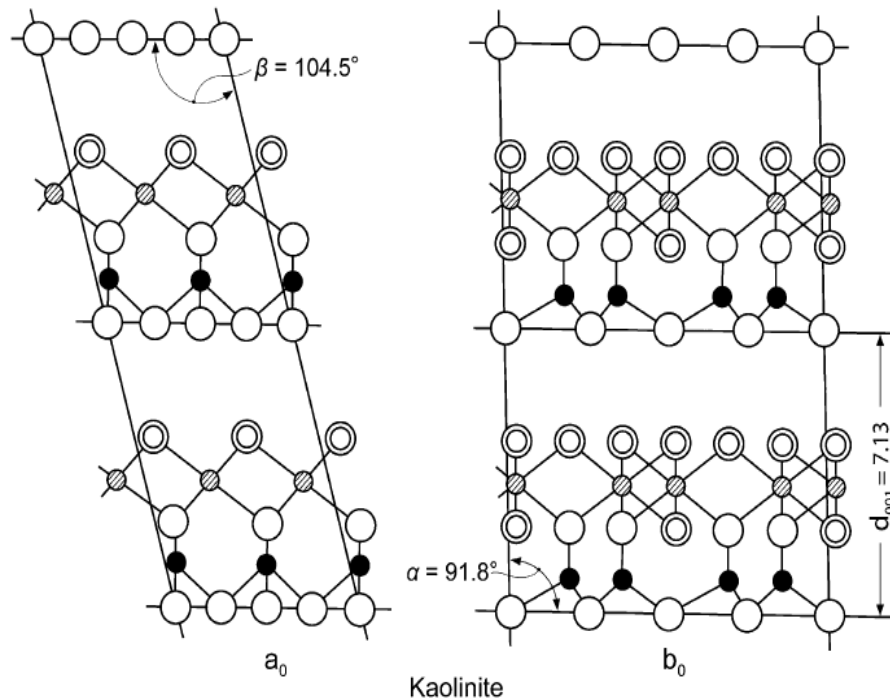


Σχήμα 13: Δομή των πολυτύπων καολινίτη, ντικίτη και νακρίτη. Ο καολινίτης έχει μια απλή στιβάδα, διπλή ο ντικίτης και εξαπλή ο νακρίτης (τροποποιημένο από Brown, 1961).

Τα ορυκτά αυτής της ομάδας παρουσιάζονται σαν σωληνοειδή ελάσματα με πολύ μεταβλητές διαστάσεις και ψευτοεξαεδρικό περίγραμμα. Σημειώθηκαν επίσης, σωληνοειδείς μορφές όμοιες με τον αλλοϋσίτη.

Η χημική σύνθεση του καολινίτη, ντικίτη και νακρίτη είναι στενά συνδεδεμένη με μια ιδανική αναλογία των τριών συστατικών οξειδίων $Al_2O_3 : SiO_2 : H_2O = 1:2:2$.

Σε μερικές μορφές του καολινίτη, εξάλλου, η χημική ανάλυση έδειξε μια σχέση 1:3:2 που στο παρελθόν αναγνωρίζονταν σαν ένα είδος ξεχωριστού ορυκτού του αναυξίτη (anauxite) $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SiO}_7$. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι πρόκειται για καολινίτες που συνδέονται με άμορφο SiO_2 .



Σχήμα 14: Δομή καολινίτη

Ο καολινίτης είναι το σπουδαιότερο ορυκτό από εδαφολογικής άποψης, στην ομάδα αυτή. Το κρυσταλλικό του πλέγμα είναι του τύπου 1:1, δηλαδή αποτελείται από επάλληλες στιβάδες, καθεμία από τις οποίες συνίσταται από ένα φύλλο πυριτίου συγχωνευόμενο με τη μία πλευρά ενός φύλλου αργιλίου. Οι στιβάδες είναι τοποθετημένες έτσι, ώστε ο σχηματιζόμενος κρύσταλλος να εμφανίζει τρικλινή συμμετρία ($\alpha=91,8^\circ$, $\beta=104,5^\circ$, $\gamma=90^\circ$) και να συγκρατούνται η μία δίπλα στην άλλη με δεσμούς υδρογόνου. Οι δεσμοί αυτοί ενώνουν τα υδρογόνα των υδροξυλιακών ομάδων του φύλλου αργιλίου με τα οξυγόνα του φύλλου πυριτίου της γειτονικής στιβάδος και

είναι ισχυρότεροι από τις δυνάμεις van der Waals οι οποίες συγκρατούν, την μία δίπλα στην άλλη, τις γειτονικές στιβάδες άλλων φυλλοπιριτικών ορυκτών.

3.3.1.2 Τριοκταεδρικά

Χαρακτηρίζονται από μια στιβάδα T-O, αλλά στο οκταεδρικό φύλλο υπάρχουν δισθενή κατιόντα (κυρίως Mg, Fe) που δίνουν μια μορφή τύπου βρουσίτη $Mg(OH)_2$.

Το αργίλιο και τα άλλα τρισθενή στοιχεία μπορούν να βρίσκονται στο κέντρο των οκταέδρων στο οκταεδρικό φύλλο, περιπλέκοντας με τις περιορισμένες αντικαταστάσεις τους στη θέση του Si μέσα στο τετραεδρικό φύλλο, την τελική δομική διάρθρωση.

Σ' αυτόν τον τύπο ορυκτών ανήκουν τα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη (serpentine), αμεσίτης (amesite), κρονστεντίτης (cronstedtite), γρηναλίτης (greenalite) (σιδηρούχας φύσης) και χαμοσίτης (chamosite).

A) Η ομάδα ορυκτών του σερπεντίνη (serpentine)

Η ομάδα περιλαμβάνει τα πολύτυπα χρυσότιλου, αντιγορίτη και λιζαρδίτη με γενικό χημικό τύπο $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$, αλλά μπορούν να περιέχουν και δισθενή σίδηρο και αργίλιο στις οκταεδρικές και τετραεδρικές θέσεις αντίστοιχα.

Ο χρυσότιλος (chrysotile) έχει σαν θεμελιώδη δομική μονάδα μια διπλή στιβάδα T-O ($c_0 \sim 14A$) και αντιπροσωπεύονται από ελάσματα που παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική κυρτότητα, συνήθως γύρω από τους άξονες x, y που οδηγεί σε μια τυπική ινώδη μορφή. Παρουσιάζει τρεις δομικές διαφοροποιήσεις: κλινο-ορθο και παρα-χρυσότιλος.

Ο κλινοχρυσότιλος και ο ορθοχρυσότιλος με επιμήκειες ίνες παίρνουν τιμές a_0 , b_0 , και c_0 (5.3, 9.3 και 14.7 Å) σχεδόν ταυτόσημες και διαφέρουν μόνο στη γωνία β ($x^{\wedge}z$) του στοιχειώδους πλέγματος (κυψελίδα). Ο παραχρυσότιλος αντίθετα, έχει δομικά χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα του ορθοχρυσότιλου μολονότι διαφέρει στο γεγονός ότι τα ελάσματα έχουν άξονα περιφοράς τον άξονα y .

Ο αντιγορίτης (antigorite) έχει ελασματώδη μορφή και τιμές c_0 περίπου 7Å χαρακτηριστικά μιας στιβάδας T-O που ξεχωρίζει δομικά από άλλα ορυκτά αυτής της ομάδας και έχουν ένα a_0 πολύ μεγάλο, συνήθως μεταξύ 33 και 43 Å, ή επίσης για την πιο κυματοειδή κυρτότητα των επίπεδων στιβάδων που αναπτύσσεται παράλληλα στον άξονα y και σχεδόν κανονικά στον άξονα z .

Ο λιζαρδίτης (lizardite) εμφανίζεται σε ελάσματα ψευδοεξαγωνικά με μια ενιαία στιβάδα T-O και τιμές $c_0 \sim 7$ Å. Οι τιμές a_0 , b_0 είναι παρόμοιες με εκείνες του χρυσότιλου.

B) Κρονστεντίτης (cronstedtite) και γρηναλίτης (greenalite)

Ο κρονστεντίτης (cronstedtite) χαρακτηρίζεται από την παρουσία δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου στο οκταεδρικό φύλλο και ο τρισθενής σίδηρος αντικαθιστά κατά το ήμισυ τα ιόντα Si στο τετραεδρικό φύλλο.

Με τον τύπο $Fe_4^{+2}Fe_2^{+3}(OH)_8Si_2Fe_2^{+3}O_{10}$ παρουσιάζεται τόσο η θεμελιώδης δομική μονάδα που περιέχει μόνο μια στιβάδα T-O και συνεπώς με ένα c_0 περίπου 7 Å, όσο και εκείνα με 2 ή 6 στιβάδες T-O και με c_0 περίπου 14 Å ή 42 Å αντίστοιχα. Η θεμελιώδης δομική μονάδα χαρακτηρίζεται συνήθως από σημαντικό βαθμό αταξίας κατά μήκος των a_0 , b_0 .

Ο γρηναλίτης (greenalite) $(\text{Fe}_{4,5}^{2+}\text{Fe}_{1,5}^{+3})(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$ περιέχει στο οκταεδρικό φύλλο αποκλειστικά σίδηρο και στο τετραεδρικό φύλλο αποκλειστικά πυρίτιο. Δομείται μόνο από μια στιβάδα T-O και με c_0 περίπου 7 Å.

Γ) Ο χαμοσίτης (chamosite)

Ο χημικός του τύπος είναι $(\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+}\text{Mg,Al})_6(\text{OH})_8\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$ με τρισθενή και δισθενή σίδηρο, μαγνήσιο και αργίλιο σε οκταεδρική διάταξη. Στο τετραεδρικό φύλλο έχει πυρίτιο και αλουμίνιο ίδιου μεγέθους. Η θεμελιώδης δομική μονάδα αποτελείται από μια μόνο στιβάδα T-O και με c_0 περίπου 7 Å.

Δ) Ο αμεσίτης (amesite)

Ο αμεσίτης (amesite), είναι ένα σπάνιο ορυκτό με χημικό τύπο $(\text{Mg,Al,Fe}^{2+,3+})_6(\text{OH})_8\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$ με τα Mg και Al να κυριαρχούν έναντι του Fe στο οκταεδρικό φύλλο, ενώ στο τετραεδρικό φύλλο έχει ανάλογη δομή με εκείνη του χαμοσίτη. Στον αμεσίτη η θεμελιώδης δομική μονάδα αποτελείται από δύο στιβάδες T-O σε επίστρωση και το c_0 είναι περίπου 14 Å.

Ο κρονστεντίτης, ο γρηναλίτης, ο χαμοσίτης και ο αμεσίτης έχουν τόσες σημαντικές δομικές και χημικές συγγένειες με τα ορυκτά της ομάδας των χλωριτών, σε βαθμό που μερικοί συγγραφείς τα συμπεριλαμβάνουν σε μια ξεχωριστή ομάδα που ονομάζεται σερπεντινοχλωρίτες (septecloriti).

3.3.2 Φυλλοπυριτικά τύπου 2:1 με τρία φύλλα (T-O-T)

Η θεμελιώδης δομική μονάδα δίνεται από μια στιβάδα T-O-T που αποτελείται από ένα οκταεδρικό φύλλο (O) μεταξύ δύο τετραεδρικών φύλλων T. Στο εσωτερικό των τετραεδρικών φύλλων, οι κορυφές που δεν συνδέονται με αυτές των γειτονικών

τετραέδρων, είναι στραμμένες προς το οκταεδρικό φύλλο με το οποίο έχουν κοινό το οξυγόνο.

Στο οκταεδρικό φύλλο τα δύο επίπεδα που είναι αντικριστά στα τετραεδρικά φύλλα, έχουν στις κορυφές κάθε ξεχωριστού οκταέδρου, δύο οξυγόνα ενωμένα με τις κορυφές των τετραέδρων, και ένα OH, που καταλαμβάνει το κέντρο κάθε εξαγωνικού δακτυλίου των ίδιων τετραεδρικών φύλλων T.

Μέρος αυτού του σημαντικού τύπου των ορυκτών αποτελούν οι σμεκτίτες, οι βερμικουλίτες και οι «μαρμαρυγιακοί» (μαρμαρυγίες, ιλίτης και γλαυκονίτης).

Οι δομές αυτών των ορυκτών μπορούν να θεωρηθούν ότι προέρχονται από εκείνη του πυροφυλλίτη (διοκταεδρικό), του τάλκη (τριοκταεδρικό), φυλοπυριτικών ορυκτών τύπου 2:1 που εκτός των άλλων δεν περιλαμβάνονται αυστηρά στα αργιλικά ορυκτά.

Στη δομή του πυροφυλλίτη (pyrophyllite) $Al_4(OH)_4Si_8O_{20}$, τα κέντρα των τετραέδρων καταλαμβάνονται σχεδόν αποκλειστικά από πυρίτιο, έχοντας ελλιπή ή μηδενική την παρουσία του αργιλίου, ενώ στο οκταεδρικό φύλλο τα κέντρα των οκταέδρων καταλαμβάνονται κατά 2/3 από αργίλιο, ενώ κατά 1/3 είναι κενό (διοκταεδρική δομή).

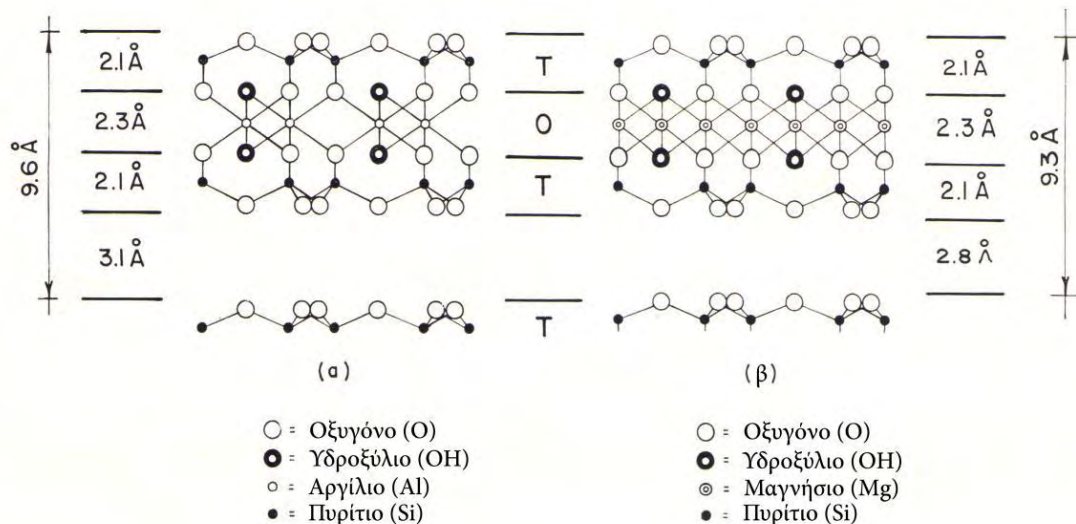
Το οξυγόνο στις κορυφές των τετραέδρων, στη περίπτωση στην οποία το ιόν σε τετραεδρική θέση αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από πυρίτιο, έχει συνολικά ένα ολόκληρο ηλεκτρικό φορτίο για να κορεστεί. Τέτοιο φορτίο μπορεί να κορεστεί απλά από δύο οκτάεδρα του οκταεδρικού φύλλου.

Πράγματι, το τρισθενές αργίλιο βρίσκεται σε οκταεδρική διάταξη και κατανέμει σε κάθε κορυφή του μισή μονάδα φορτίου. Η στιβάδα T-O-T επομένως είναι ηλεκτρικά ουδέτερη (Allietti et al 1979).

Η ένωση μεταξύ δυο στιβάδων πραγματοποιείται με δεσμούς αποτελούμενους από δυνάμεις εξαιρετικά αδύναμες (δεσμοί Van der Waals).

Ο τάλκης (talc) $Mg_6(OH)_4Si_8O_{20}$ έχει δομή παρόμοια με εκείνη του πυροφυλλίτη. Διαφέρει μόνο γιατί όλες οι οκταεδρικές θέσεις καταλαμβάνονται από ένα δισθενές στοιχείο Mg που, σε οκταεδρική διάταξη, κατανέμει σε κάθε κορυφή του το 1/3 του μια μονάδα φορτίου (τριοκταεδρική δομή).

Το ηλεκτρικό φορτίο του οξυγόνου O των τετραέδρων, σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να κορεστεί από τρία οκτάεδρα του οκταεδρικού φύλλου και έχουμε τη στιβάδα T-O-T να προκύπτει ηλεκτρικά ουδέτερη και οι δεσμοί ανάμεσα των στιβάδων να είναι δεσμοί τύπου Van der Waals.



Σχήμα 15: Δομή (α) Διοκταεδρικού πυροφυλλίτη και (β) τριοκταεδρικού τάλκη

Η θεμελιώδης δομική μονάδα τόσο των πυροφυλλιτών όσο του τάλκη αποτελείται από δύο στιβάδες T-O-T διαφορετικά προσανατολισμένες που έχουν ένα c_0 της τάξης του 19,2 και 18,6 Å αντίστοιχα.

Αυτές οι τιμές προέρχονται από το άθροισμα του πάχους των δύο στιβάδων T-O-T, καθένα με δύο φύλλα T ($2,1 \text{ \AA} \times 2 = 4,2 \text{ \AA}$) με ένα φύλλο O ($2,3 \text{ \AA}$) και με το πάχος των εσωτερικών στιβάδων της τάξης των 3,1 και 2,8 Å αντίστοιχα στους πυροφυλλίτες και του τάλκη (Σχ. 15).

3.3.2.1 Η ομάδα ορυκτών του σμεκτίτη (smectite)

3.3.2.1.1 Διοκταεδρικοί σμεκτίτες

Οι σμεκτίτες είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αργιλικά ορυκτά. Ανήκουν στη γενική κατηγορία των 2:1 φυλλοπυριτικών ορυκτών, δηλαδή η κρυσταλλική τους δομή περιλαμβάνει ένα οκταεδρικό φύλλο αργιλίου ή μαγνησίου, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τετραεδρικά φύλλα πυριτίου (Meunier 2005).

Το πιο γνωστό μέλος των σμεκτιτών είναι ο μοντμοριλλονίτης. Ο ιδεατός τύπος του είναι $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ (Ciullo 1996). Περιλαμβάνουν τον μοντμοριλλονίτη (montmorillonite), τον βειδέλλιτη (beidellite), τον νοντρονίτη (nontronite) και τον βολκονσκοϊτή (volkhonskoite), τα οποία έχουν δομή παρόμοια με εκείνη του πυροφυλλίτη, αλλά παρουσιάζουν περιορισμένες αντικαταστάσεις πυριτίου από αργίλιο στο τετραεδρικό φύλλο (μέσα στον μοντμοριλλονίτη, βειδέλλιτη, νοντρονίτη και τον βολκονσκοϊτή) και μερική αντικατάσταση του αργιλίου με δισθενή κατιόντα, κυρίως μαγνησίου, στο οκταεδρικό φύλλο.

Η αναγκαία εξισορρόπηση των πλεονασματικών αρνητικών φορτίων πραγματοποιείται με την εισαγωγή μεταξύ των στιβάδων T-O-T, μονοσθενών ή/και δισθενών κατιόντων.

Ο μοντμοριλλονίτης στο τετραεδρικό φύλλο έχει μόνο μια αμελητέα αντικατάσταση του πυριτίου από το αργίλιο, ενώ στο οκταεδρικό φύλλο ένας μέσος όρος 0,7 ιόντων μαγνησίου αντικαθιστά μέρος των 4 ιόντων αργιλίου. Το πλεονάζων αρνητικό φορτίο που προκύπτει από την τελευταία αντικατάσταση είναι κορεσμένο με νάτριο ή ασβέστιο που βρίσκονται μεταξύ των στιβάδων και με τα οποία δεσμεύονται με ιοντικό δεσμό. Αυτά τα ιόντα έχουν επίσης την ικανότητα να περιβάλλονται με μεταβλητό αριθμό μορίων νερού.

Εκτός της μοναδικής δομής του ο μοντμοριλλονίτης παρουσιάζει μια ιδιαίτερα μεγάλη επιφανειακή έκταση των λεπτομερών κόκκων του, η οποία προάγει περισσότερο την προσροφητική και απορροφητική ικανότητά του. Ο ασβεστούχος-μοντμοριλλονίτης έχει $SSA = 800 \text{ m}^2/\text{g}$, ενώ η ικανότητα αυτού του ορυκτού να απορροφά τοξίνες είναι μεγαλύτερη από οποιοδήποτε άλλο αργιλικό ή μη ορυκτό (California Earth Minerals 2003) (Tsirampides 2001).

Ο κρυσταλλοχημικός τύπος του μοντμοριλλονίτη μπορεί έτσι να εκφραστεί:



Ο αριθμός n των μορίων νερού εξαρτάται από τη φύση και το φορτίο του κατιόντος που βρίσκεται μέσα στη στιβάδα.

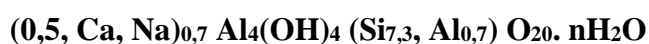
Το πάχος του άξονα c_0 της θεμελιώδους δομικής μονάδας T-O-T είναι περίπου 10 \AA , που προκύπτει από τα $4,2 \text{ \AA}$, πάχος των δύο φύλλων T, $2,3 \text{ \AA}$, το πάχος ενός φύλλου O, και από $3,1 \text{ \AA}$, που είναι το υπάρχον πάχος μεταξύ των στιβάδων.

Επιπροσθέτως, προστίθεται ένα μεταβλητό πάχος της τάξης των 2-5 Å που είναι σε συνάρτηση με την φύση των κατιόντων που βρίσκονται μεταξύ των στιβάδων, τον αριθμό των μορίων του νερού και των δυνάμεων των δεσμών. Κατά συνέπεια υπάρχουν μεταβλητές τιμές του c_0 περίπου 12 Å για τον νατριούχο μοντμοριλλονίτη και περίπου 15 Å για τον ασβεστούχο μοντμοριλλονίτη.

Τα κατιόντα μεταξύ των στιβάδων, λόγω των αδύναμων δεσμών που τα συνδέει με τη κρυσταλλική δομή T-O-T, απομακρύνονται εύκολα και αντικαθίστανται από άλλα κατιόντα και ως εκ τούτου ονομάζονται κατιόντα ανταλλαγής ή ανταλλάξιμα. Όταν οι μοντμοριλλονίτες, όπως και άλλοι σμεκτίτες, χάσουν το νερό και τα κατιόντα εντός των στιβάδων (πχ λόγω θέρμανσης), η τιμή του άξονα c_0 μειώνεται και είναι ίση με το πάχος της μεμονωμένης θεμελιώδους στιβάδας T-O-T που είναι περίπου 10 Å.

Στον βειδέλλιτη (beidellite) η παρουσία κατιόντων Na και Ca είναι περίπου αποκλειστικά συνδυασμένη με την αντικατάσταση του Si με Al στο τετραεδρικό φύλλο ενώ, στο οκταεδρικό φύλλο, υπάρχει μόνο το Al όπως στην περίπτωση του πυροφυλλίτη.

Ο κρυσταλλοχημικός τύπος λοιπόν μπορεί να εκφραστεί ως:

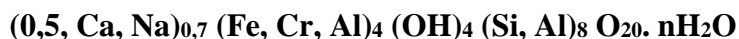


Ο νοντρονίτης (nontronite) είναι δομικά όμοιος με τον βειδέλλιτη αλλά διαφοροποιείται ως προς την παρουσία τρισθενούς Fe στη θέση του Al στο οκταεδρικό φύλλο και έχει κρυσταλλοχημικό τύπο:



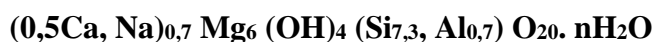
Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι ο βολκονσκοϊτης, είναι ένα ορυκτό που χαρακτηρίζεται από ταυτόχρονη αντικατάσταση του Si από Al στο τετραεδρικό φύλλο

και του Al από το τρισθενές σίδηρο Fe^{3+} στο οκταεδρικό. Επίσης περιέχει χρώμιο (Cr), στο κέντρο μερικών οκταέδρων και έχει κρυσταλλοχημικό τύπο:

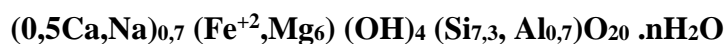


3.3.2.1.2 Τριοκταεδρικοί σμεκτίτες

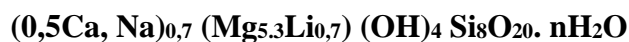
Ουσιαστικά περιλαμβάνουν τον σαπωνίτη (saponite), τον λεμπεργίτη, (lembertite), τον σωκονίτη (sauconite) και τον εκτορίτη (hectorite) που είναι ορυκτά με το δομικό μοτίβο του τάλκη (talc). Αν θεωρηθεί ότι στη στιβάδα T-O-T του τάλκη γίνεται μερική αντικατάσταση του Si με Al στο τετραεδρικό φύλλο και ότι τα σθένη που προκύπτουν ελεύθερα μπορούν να κορεστούν από Ca και Na, ως κατιόντα μεταξύ των στιβάδων, προκύπτει τότε τη δομή του σαπωνίτη η οποία και έχει κρυσταλλοχημικό τύπο:



Ανάλογα για τον λεμπεργίτη,



Αντίθετα, με περιορισμένη αντικατάσταση του μαγνησίου (Mg) με λίθιο (Li) (μονοσθενές), στο οκταεδρικό φύλλο προκύπτει η δομή του εκτορίτη με τύπο:



Τέλος, με αντικαταστάσεις τόσο στο τετραεδρικό όσο και στο οκταεδρικό φύλλο, προκύπτει η δομή του σωκονίτη με τύπο:



που χαρακτηρίζεται από την παρουσία δισθενούς ψευδαργύρου (Zn) στο οκταεδρικό φύλλο.

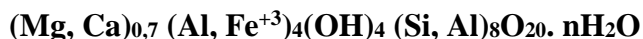
Όσον αφορά τη μορφολογική όψη, οι σμεκτίτες σχεδόν πάντα έχουν μια κακόμορφη όψη και είναι μικρού μεγέθους. Ακόμα και σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο με μέγιστη μεγέθυνση δεν διακρίνονται σαφή γεωμετρικά σχήματα.

3.3.2.2 Η ομάδα ορυκτών του βερμικουλίτη (vermiculite)

Πήραν το όνομα από το σχήμα σκουληκιού (worm), που λαμβάνουν αυτά τα ορυκτά όταν θερμανθούν γρήγορα. Το σχήμα οφείλεται σε μια ισχυρή διαστολή που προκύπτει μετά από μια εύκολη αφυδάτωση. Τα ελάσματα έχουν συνήθως διαστάσεις της τάξεως των λίγων εκατοστών, δεδομένου ότι προέρχονται, ως επί το πλείστον, από την αναδιοργάνωση και τον μετασχηματισμό άλλων φυλλοπυριτικών όπως οι μαρμαρυγίες, βιοτίτης και φλογοπίτης. Με την στενή έννοια του όρου, δεν περιλαμβάνονται στα αργιλικά ορυκτά αλλά αντιμετωπίζονται έτσι επειδή συχνά συνδέονται με αυτά, και επειδή μπορούν να σχηματίσουν, με ορισμένα άλλα αργιλικά ορυκτά μικτές στιβάδες (Alietti et al. 1979).

3.3.2.2.1 Διοκταεδρικοί βερμικουλίτες

Είναι λιγότερο συχνοί από τους τριοκταεδρικούς βερμικουλίτες και χαρακτηρίζονται από μια στιβάδα T-O-T, με παρουσία στο οκταεδρικό φύλλο (γιββσιτικού τύπου) Al και τρισθενούς Fe και στο τετραεδρικό φύλλο με σημαντικές αντικαταστάσεις Si από Al, που έχουν ως αποτέλεσμα την ανισορροπία φορτίου. Αυτή η ανισορροπία αντισταθμίζεται από Mg, και μερικές φορές από Ca και Na. Μια αντιπροσωπευτική κρυσταλλοχημική εξίσωση των διοκταεδρικών βερμικουλιτών μπορεί να εκφραστεί ως εξής:



3.3.2.2.2 Τριοκταεδρικοί βερμικουλίτες

Το μεγαλύτερο μέρος των βερμικουλιτών είναι τριοκταεδρικοί, με τύπο δομής T-O-T προερχόμενη από εκείνη του τάλκη με σημαντικές αντικαταστάσεις στα τετραεδρικά φύλλα, του Si από το Al. Η επακόλουθη έλλειψη φορτίου αντισταθμίζεται από τα ενδοστιβαδικά κατιόντα του Mg και Ca που βρίσκονται μεταξύ των στιβάδων, τα οποία έχουν επίσης την δυνατότητα να ισορροπούν, σε διπλό επίπεδο, τα μόρια του νερού μεταξύ των στιβάδων, όπως και στην περίπτωση των διοκταεδρικών. Μπορεί, ωστόσο, να υπάρχει παρουσία μη δεσμευμένων μορίων νερού, σε περίπτωση περιορισμένου αριθμού ενδοστιβαδικών κατιόντων.

Στο οκταεδρικό φύλλο οι οκταεδρικές θέσεις καταλαμβάνονται από μαγνήσιο (Mg), με μερική αντικατάσταση από τον δισθενή σίδηρο (Fe).

Οι δεσμοί μεταξύ των στιβάδων, όπως και σε άλλους βερμικουλίτες, είναι ιοντικού τύπου ή με δεσμούς υδρογόνου και μερικές φορές με δεσμούς Van der Waals. Ο κρυσταλλοχημικός τύπος είναι ανάλογος με εκείνον των διοκταεδρικών, εκτός του ότι εδώ υπάρχει παρουσία Mg και Fe^{+2} σε οκταεδρική θέση, αντί του Fe^{+3} και Al.

Η τιμή c_0 των βερμικουλιτών, είναι περίπου 28 Å και οφείλεται στην επίστρωση των δύο στιβάδων T-O-T, που έχει η καθεμία πάχος περίπου 14 Å, συμπεριλαμβανομένων των ενδοστιβαδικών κατιόντων, καθώς και των δεσμευμένων μορίων του νερού που είναι διαφορετικά ευθυγραμμισμένα.

Οι βερμικουλίτες μορφολογικά εμφανίζονται συνήθως με ελασματοειδή καλά αναπτυγμένη μορφή. Το ενδοστιβαδικό νερό ασθενώς δεσμευμένο, μπορεί με ευκολία

χάρην στις φυσικοχημικές δράσεις, να αποσπαστεί από τη δομή προκαλώντας μια σταδιακή, αλλά αναστρέψιμη, κατάρρευση. Αντίθετα με την θέρμανση το νερό εξωθείται βιαίως και σχηματίζεται ο λεγόμενος «διογκωμένος βερμικουλίτης».

3.3.2.3 Τα ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών (micas)

Χαρακτηρίζονται από μια δομή με στιβάδες T-O-T , τόσο διοκταεδρική (τύπου πυροφυλλίτη) όσο και τριοκταεδρική (τύπου τάλκη), με τα παρεμβαλλόμενα ενδοστιβαδικά κατιόντα όπως K, Na και Ca. Σε αυτή την ομάδα ανήκουν κυρίως οι μαρμαρυγίες (micas), ο ιλλίτης (illite), ο γλαυκονίτης (glaucosite) και ο κελαδονίτης (celadonite). Ωστόσο, μόνο τα τρία τελευταία περιλαμβάνονται ανάμεσα στα αργιλικά ορυκτά.

3.3.2.3.1 Διοκταεδρικά ορυκτά μαρμαρυγιών

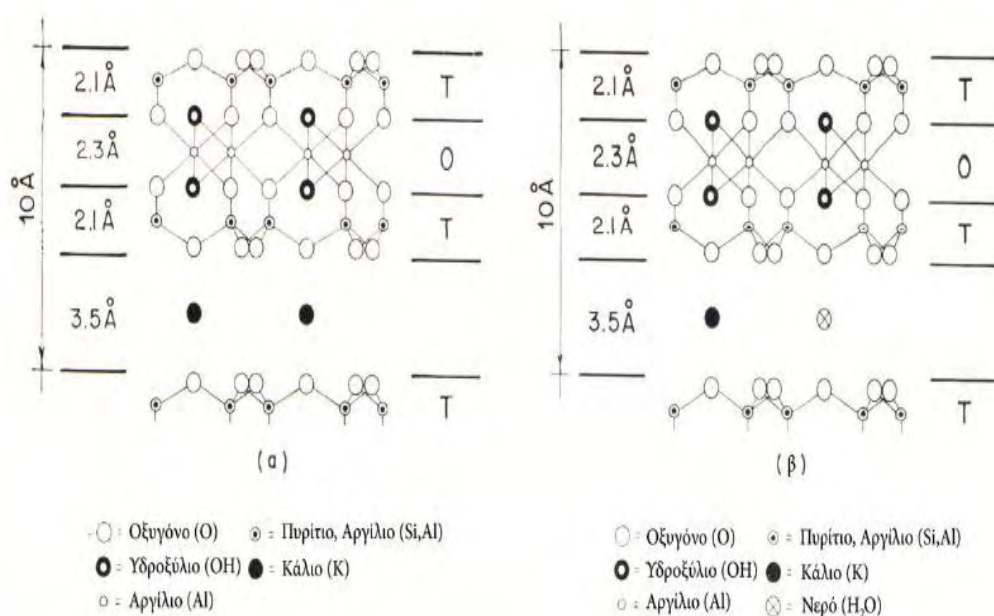
Μαρμαρυγίες (micas)

Μια χαρακτηριστική διοκταεδρική δομή των μαρμαρυγιών είναι εκείνη του καλιούχου μοσχοβίτη (muscovite) $K_2Al_4(OH,F)_4Si_6Al_2O_{20}$ και του νατριούχου παραγονίτη (paragonite) $Na_2Al_4(OH,F)_4Si_6Al_2O_{20}$, η γνώση των οποίων επιτρέπει να κατανοήσουμε καλύτερα τη δομική διάταξη των ιλλίτη, γλαυκονίτη και κελαδονίτη, αργιλικά ορυκτά που ανήκουν σε αυτήν την ομάδα.

Η δομή αυτών των μαρμαρυγιών (Σχ. 16) είναι ανάλογη με εκείνη του πυροφυλλίτη στο οκταεδρικό φύλλο, αν εξαιρέσουμε το γεγονός ότι εδώ έχουμε στη θέση ορισμένων OH, και υπάρχει μερικές φορές και φθόριο (F). Στο τετραεδρικό φύλλο αντίθετα, έχουμε στα τρία από τα τέσσερα τετράεδρα Si στο κέντρο, ενώ στο τέταρτο έχουμε Al. Τα φορτία που παραμένουν ελεύθερα, δεσμεύονται αντίστοιχα με K και Na τα οποία διατάσσονται ενδοστιβαδικά και είναι συνδεδεμένα με ιοντικούς δεσμούς με

τα οξυγόνα των κορυφών των τετραέδρων που καταλαμβάνουν το κέντρο των δακτυλίων, που είναι σχεδόν εξαγωνικά σχηματισμένα από τετράεδρα των δύο στιβάδων T-O-T.

Η στιβάδα T-O-T των μαρμαρυγιών αυτών είναι περίπου 10 Å συμπεριλαμβανομένου του ενδοστιβαδικού πάχους, όπου υπάρχουν τα κατιόντα καλίου (K). Η πιο συχνή θεμελιώδης δομική μονάδα αποτελείται από δύο στιβάδες T-O-T διαφορετικά διατεταγμένες με επαναλαμβανόμενο πάχος περίπου 20 Å.



Σχήμα 16: Δομή μοσχοβίτη (αριστερά) και ιλλίτη (δεξιά)

Στην επίστρωση μπορούμε να δούμε διάφορες πολυτυπίες που οφείλονται στην περιστροφή και παραμόρφωση των ομάδων T-O-T που συμβατικά ορίζονται με διαφορετικές συντομογραφίες.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο μοσχοβίτης του οποίου η θεμελιώδης δομική μονάδα αποτελείται από μια μόνο στιβάδα T-O-T συνεπώς με πάχος c_0 περίπου 10 Å, ο τύπος αυτός ορίζεται με 1 M. Για μια θεμελιώδη δομική μονάδα αποτελούμενη

από δύο στιβάδες T-O-T και συνεπώς με πάχος 20 Å έχουμε τους τύπους 2M1, 2M2 και 2O, με σχετικά αμοιβαίο προσανατολισμό. Τέλος, για τη δομική μονάδα των 30 Å και των 60 Å έχουμε πολυτυπίες 3T και 6H αντίστοιχα. Τα κεφαλαία γράμματα M, O, T και H δείχνουν το σύστημα της κρυσταλλοποίησης και πιο συγκεκριμένα μονόκλινο, ορθορομβικό, τετραγωνικό και εξαγωνικό (Alietti et al. 1979).

Ιλλίτης (illite)

Η δομή του ιλλίτη (illite) διαφέρει από εκείνη των διοκταεδρικών μαρμαρυγιών, για την μικρότερη αντικατάσταση του Si από το Al στο τετραεδρικό φύλλο, για μια μεγαλύτερη διακύμανση του περιεχομένου του K και τέλος για μια μικρότερη κανονικότητα στην επίστρωση των φύλλων και η οποία οδηγεί σε μια δομική αταξία.

Σύμφωνα με ορισμένους συγγραφείς ο ιλλίτης δεν θα συνιστούσε αυτοτελές είδος ορυκτού, αλλά μια ακανόνιστη επίστρωση μαρμαρυγιακών και σμεκτιτικών φύλλων. Όντως παρατηρείται μια δομική τροποποίηση του ιλλίτη (ανοικτός ιλλίτης) στην οποία τα μόρια του νερού κυριαρχούν έναντι του K, προκαλώντας τοπική διόγκωση της δομής κατά μήκος του άξονα z και κατά συνέπεια, τιμές του άξονα c_0 μεγαλύτερες από 10 Å, που προσεγγίζουν εκείνες των σμεκτιτών.

Και ο ιλλίτης μπορεί να παρουσιαστεί με διάφορες πολυτυπίες ανάμεσα στις οποίες η πιο συνηθισμένη είναι η 1Md και η 2M1, όπου η ισοδιάσταση «d» δείχνει τη δομική αταξία κυρίως στους άξονες x και y. Όταν όμως η δομική αταξία του ιλλίτη είναι ελάχιστη έχουμε κρυσταλλικές δομές με μεγαλύτερες διαστάσεις και παίρνουν το όνομα σερικίτης (sericite), ένα μεταβατικό είδος ορυκτών που οδηγεί στον μοσχοβίτη.

Ο ιλλίτης με μια σημαντική απώλεια ενδοστιβαδικών κατιόντων Na, K και με την πρόσληψη μορίων νερού μεταμορφώνεται στις λεγόμενες υδρομαρμαρυγίες.

Ο βραμμαλίτης (brammalite), τέλος, είναι μια ποικιλία ελάχιστα γνωστή των ορυκτών μαρμαρυγιακής δομής παρόμοιας δομής με τον ιλλίτη, αλλά με κυριαρχία του Na έναντι του K.

Σε αντίθεση με τις μαρμαρυγίες που έχουν μία καλά αναπτυγμένη ελασματοειδή μορφή, ο ιλλίτης, στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δεν παρουσιάζει μια κλασική και κανονική μορφολογία.

Ο γλαυκονίτης (glaucosite) έχει μια μαρμαρυγιακή δομή ανάλογη με εκείνη του ιλλίτη με το Al στο οκταεδρικό φύλλο να αντικαθίσταται από μια σημαντική ποσότητα δισθενούς και τρισθενούς Fe και με Mg. Συνήθως εμφανίζεται σε δύο πολυτυπίες 1M1 και 2M, ως ελάσματα με ψευδοεξαγωνικό πράσινο περίγραμμα, με διαστάσεις που φαίνονται και στο κοινό μικροσκόπιο της ορυκτολογίας.

Ο κελαδονίτης (celadonite) είναι ένα ορυκτό με μεταβατική μορφή, ανάλογο με τον γλαυκονίτη που διαφέρει λόγω της παρουσίας, στο τετραεδρικό φύλλο, δισθενών ιόντων Mg και τρισθενών Fe και Al σε ίση αναλογία. Στο τετραεδρικό φύλλο οι αντικαταστάσεις του Si από το Al είναι πολύ περιορισμένες και ανάλογες με εκείνες που παρατηρούνται στον γλαυκονίτη.

3.3.2.3.2 Τριοκταεδρικά ορυκτά μαρμαρυγιών

Αυτά περιλαμβάνουν τις μαρμαρυγίες:

- Σιδηρούχο λεπιδομέλανο (lepidomelano), $K_2Fe_6(OH,F)_6Si_6Al_2O_{20}$
- Σιδηρομαγνησιούχο βιοτίτη (biotite) $K_2(Fe,Mg)_6(OH,F)_4Si_6Al_2O_{20}$
- Μαγνησιούχο φλογοπίτη (flogopite) $K_2Mg_6(OH,F)_4Si_6Al_2O_{20}$

Μεταξύ των ορυκτών της αργίλου, δομές αυτού του τύπου είναι ελάχιστες. Είναι γνωστοί πράγματι μόνο μερικοί τριοκταεδρικοί ιλλίτες, που κατά την άποψη διάφορων επιστημόνων έχουν ασαφή ταξινόμηση και οι υδροβιοτίτες που ανήκουν στην οικογένεια των υδρομαρμαρυγίων.

3.3.3 Φυλλοπυριτικά τύπου 2:1:(1) με τρία φύλλα συν ένα (T-O-T + O)

Δομικά αποτελούνται από ένα κεντρικό οκταεδρικό φύλλο ανάμεσα από δύο τετραεδρικά φύλλα (στιβάδα T-O-T), τα οποία καλύπτονται από ένα ακόμη οκταεδρικό φύλλο O. Μεταξύ των στιβάδων T-O-T +O υπάρχουν δεσμοί υδρογόνου οι οποίοι βρίσκονται και εντός της ενιαίας στιβάδας, δηλαδή μεταξύ των O και T-O-T.

Μοναδικοί εκπρόσωποι αυτής της ομάδας είναι οι χλωρίτες (chlorites), κυρίως τριοκταεδρικοί αλλά επίσης και διοκταεδρικοί και δι-τριοκταεδρικοί. Παρά το γεγονός ότι οι χλωρίτες σχετίζονται με το μεταμορφικό περιβάλλον, κάποιοι από αυτούς χαρακτηρίζονται και ως αργιλικά πετρώματα.

3.3.3.1 Τα ορυκτά της ομάδας των χλωριτών (chlorites)

Το όνομα προέρχεται από την ελληνική λέξη «χλωρός», πράσινος, και αναφέρεται στο χαρακτηριστικό χρώμα το οποίο έχουν.

3.3.3.1.1 Διοκταεδρικοί χλωρίτες

Η δομή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας στιβάδας T-O-T τύπου πυροφιλλίτη, πάχους περίπου 10 Å, στο οποίο υπάρχει υπερκείμενο οκταεδρικό φύλλο O τύπου γιββσίτη $Al(OH)_3$ (πάχους 2,3 Å). Λαμβάνοντας υπόψη τον χώρο ανάμεσα από τις στιβάδες T-O-T+O, η θεμελιώδης δομική μονάδα αυτών των χλωριτών έχει πάχος περίπου 14 Å. Η θεμελιώδης δομική μονάδα, αποτελείται αντιθέτως, στις πιο

κοινές πολυτυπίες (2T), από μια επίστρωση δυο βασικών στιβάδων T-O-T+O με διαφορετικό προσανατολισμό και ως εκ τούτου έχει c_0 περίπου 28 Å. Υπάρχουν ωστόσο και άλλες πολυτυπίες όπως η T1 και M1, με c_0 περίπου 14 Å και 3T με c_0 περίπου 42 Å.

Στα τετραεδρικά φύλλα έχουμε περιορισμένη αντικατάσταση του Si από το Al. Στο οκταεδρικό φύλλο της στιβάδας T-O-T, εκτός από το Al οι οκταεδρικές θέσεις μπορούν να καταληφθούν και από τρισθενή ιόντα Fe, ενώ τέλος στο υπερκείμενο οκταεδρικό φύλλο O έχουμε μόνο Al.

Οι διοκταεδρικοί χλωρίτες είναι σπάνιοι και ελάχιστα διαδεδομένοι. Το πιο αντιπροσωπευτικό ορυκτό αυτής της ομάδας είναι ο συντοϊτης (sudoite), το οποίο στην αργιλιούχα κατάσταση έχει τύπο $\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot \text{Al}_2(\text{OH})_6$.

3.3.3.1.2. Τριοκταεδρικοί χλωρίτες

Έχουν μια θεμελιώδη δομική μονάδα που αποτελείται από μια στιβάδα T-O-T τύπου τάλκη με επίστρωση ενός οκταεδρικού φύλλου O, τύπου βρουσίτη και όπως και στην πλειονότητα των διοκταεδρικών, έχουν c_0 περίπου 28 Å.

Δισθενή και τρισθενή κατιόντα με αμφίδρομη σχέση μπορεί να είναι παρόντα τόσο στο οκταεδρικό φύλλο της στιβάδας T-O-T, όσο και στο επιστρωμένο οκταεδρικό φύλλο. Αυτό, σε συνδυασμό με την περιορισμένη αντικατάσταση Si από το Al στα τετραεδρικά φύλλα, καθορίζει την μεγάλη ποικιλία των χλωριτών που υπάρχουν στη φύση. Ένας γενικός κρυσταλλοχημικός τύπος για τους τριοκταεδρικούς χλωρίτες είναι ο εξής:



Οι τύποι των επιμέρους ορυκτών προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη τις αντικαταστάσεις στα διάφορα φύλλα. Ειδικότερα στα πιο αργιλιούχα ορυκτά, το Al μπορεί να αντικαταστήσει 4 από τα 8 Si στο τετραεδρικό φύλλο, ενώ στο οκταεδρικό το Al μπορεί να αντικαταστήσει 8 από τα 12 δισθενή ιόντα (π.χ. Mg). Αυτή η μορφή αντικατάστασης ενός δισθενούς από ένα τρισθενές αντισταθμίζει την ανισορροπία των φορτίων που προκύπτει στο τετραεδρικό φύλλο, λόγω της αντικατάστασης του τετρασθενούς πυριτίου από τον τρισθενές αργίλιο.

Από τα πολλά είδη που ανήκουν σε αυτή τη σημαντική ομάδα μερικά από τα πιο αντιπροσωπευτικά μαζί με το γενικό χημικό τους τύπο. Μεταξύ των μαγνησιούχων είναι οι:

- Ταλκοχλωρίτης (Talc-chlorite): $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Mg}_3(\text{OH})_6$
- Πεννινίτης (Penninite): $(\text{Mg},\text{Al})_3(\text{OH})_2(\text{Si}_{3,3}\text{Al}_{0,7})\text{O}_{10}\text{Mg}_3(\text{OH})_6$
- Κλινόχλωρο (Clinochlore): $(\text{Mg},\text{Al})_3(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}\text{Mg}_3(\text{OH})_6$
- Σεριδανίτης (Sheridanite): $(\text{Mg},\text{Al})_3(\text{OH})_2\text{Si}_{2,6}\text{Al}_{1,4}\text{O}_{10}\text{Mg}_3(\text{OH})_6$

Με την αντικατάσταση του μαγνησίου (Mg) από το σίδηρο (Fe) στο οκταεδρικό φύλλο της στιβάδας T-O-T, προκύπτει ο ριπιδολίτης (ripidolite) με τύπο $(\text{Mg},\text{Fe}^{+2},\text{Al})_3(\text{OH})_2(\text{Si}_{2,6}\text{Al}_{1,4})\text{O}_{10}\text{Mg}_3(\text{OH})_6$. Αν η αντικατάσταση πραγματοποιηθεί και στο επιστρωμένο οκταεδρικό φύλλο πάνω στην στιβάδα T-O-T προκύπτει ο βρουνσβιγκίτης (brunsvigite): $(\text{Fe}^{+2},\text{Al},\text{Mg})_3(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{Fe}^{+2},\text{Mg})_3(\text{OH})_6$

Τέλος, με αντικατάσταση του Mg από τον Fe σε όλα τα οκταεδρικά φύλλα προκύπτει ο δαφνίτης (daphnite): $(\text{Fe}^{+2},\text{Al})_3(\text{OH})_2\text{Si}_{2,6}\text{Al}_{1,4}\text{O}_{10}\text{Fe}_3(\text{OH})_6$

Όπως ήδη αναφέραμε, κάποια ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη με ανάλογες δομές όπως ο γρηναλίτης, ο χαμοσίτης και ο αμεσίτης έχουν σημαντικές χημικές

ομοιότητες με τους τριοκταεδρικούς χλωρίτες σε τέτοιο βαθμό που ορισμένοι συγγραφείς τα ομαδοποιούν σε μια ομάδα που ονομάζεται σερπεντινοχλωρίτες (septecloriti).

3.3.3.1.3 Δι-τριοκταεδρικοί χλωρίτες

Είναι λιγότερο διαδεδομένα ορυκτά, στα οποία το οκταεδρικό φύλλο της στιβάδας T-O-T καθώς και το επιστρωμένο φύλλο σε αυτή, δεν έχουν την ίδια δομική μονάδα υπό την έννοια ότι το ένα να είναι διοκταεδρικό και το άλλο τριοκταεδρικό.

Το πιο γνωστό ορυκτό είναι ο κουκεΐτης (cookeite) $\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10} \cdot (\text{Al}_2, \text{Li})(\text{OH})_6$, όπου το λίθιο καταλαμβάνει τις κενές θέσεις του επιστρωμένου φύλλου O και συνεπώς από δυοκταεδρικό γίνεται τριοκταεδρικό. Το οκταεδρικό φύλλο O της στιβάδας T-O-T διατηρεί τον διοκταεδρικό χαρακτήρα του.

Στον μανανδονίτη (manandonite) $(\text{Al}_2, \text{Li})(\text{OH})_2\text{Si}_3(\text{Al}, \text{B})\text{O}_{10} \cdot \text{Al}_2(\text{OH})_6$ αντίθετα, το λίθιο καταλαμβάνει τις κενές θέσεις του οκταεδρικού φύλλου τύπου γιββσίτη, στο εσωτερικό της στιβάδας T-O-T και συνεπώς από διοκταεδρικό γίνεται τριοκταεδρικό. Το επιστρωμένο φύλλο O είναι διοκταεδρικού τύπου. Ο c_0 είναι περίπου 28 Å στον κουκεΐτη και 14 Å στον μανανδονίτη, που παρουσιάζει μία δομική μονάδα T-O-T+O με ενιαίο χαρακτήρα.

3.3.3.1.4 Διογκωμένοι χλωρίτες

Σε ορισμένους χλωρίτες το οκταεδρικό φύλλο (τύπου βρουσίτη) επιστρωμένο στη στιβάδα T-O-T παρουσιάζει ατέλειες. Αναπτύσσονται σε αυτό ασυνέχειες, με τον σχηματισμό κοιλοτήτων που οριοθετούν «νησίδες» βρουσιτικής δομής. Αυτές οι ασυνέχειες οδηγούν σε μια γενική αδυναμία των δεσμών μεταξύ των στιβάδων T-O-T

και των ενδοστιβικών οκταεδρικών φύλλων καθώς επίσης και σε μια ανισορροπία φορτίων.

Με την παρουσία συγκεκριμένων οργανικών μορίων αυτοί οι χλωρίτες σε αντίθεση με τους υπόλοιπους, μπορούν να διασταλούν, με την αύξηση του πάχους να διαφέρει ανάλογα με την φύση των προσροφημένων μορίων. Αυτοί οι χλωρίτες ονομάζονται διογκωμένοι χλωρίτες.

Η προαναφερθείσα ανισορροπία φορτίων μπορεί να ισορροπηθεί από κατιόντα όπως Mg, Fe και ενίοτε μπορούν να διατάξουν τα μόρια νερού στο επίπεδο του βρουσιτικού φύλλου όπου υπάρχουν οι «νησίδες». Σε αυτή την περίπτωση έχουμε ενδιάμεσα είδη που έχουν στο επιστρωμένο οκταεδρικό φύλλο O, περιοχές με τη δομή διασταλμένων χλωριτών και περιοχές που δομικά προσεγγίζουν τους βερμικουλίτες.

3.3.4 Φυλλοπυριτικά με μικτές στιβάδες

Για τη στενή χημική και δομική σχέση των διαφόρων στιβάδων (T-O, T-O-T, T-O-T+O) που αποτελούν τα διάφορα φυλλοπυριτικά, εκτός από τις θεμελιώδεις δομικές μονάδες που περιεγράφηκαν προηγουμένως, μπορούν να σχηματίσουν ορυκτά με πιο περίπλοκες δομικές μονάδες, που αποτελούνται από δύο ή περισσότερες δομικές μονάδες διαφορετικών φυλλοπυριτικών ορυκτών. Μπορούμε έτσι να έχουμε για παράδειγμα τον ιλλίτη-μοντμοριλλονίτη (illite-montmorillonite), τον χλωρίτη-βερμικουλίτη (chlorite-vermiculite), τον τάλκο-σαπονίτη (talco-saponite) που ονομάζονται αργιλικά ορυκτά με μικτές στιβάδες. Τα πιο συχνά είδη είναι εκείνα στα οποία οι δομικο-χημικές μονάδες των επι μέρους συστατικών έχουν ισχυρότερη συνάφεια.

Μερικές κανονικές μικτές στιβάδες αποτελούν πραγματικά ορυκτολογικά είδη όπως για παράδειγμα ο διασταλμένος χλωρίτης-χλωρίτης (chlorite-chlorite), που ονομάζεται βιβαλδίτης (vivaldite), ο τάλκο-σαπονίτης (talco-saponite), που ονομάζεται αλιετίτης (aliettite), ο χλωρίτης-σμεκτίτης (chlorite-smectite), που ονομάζεται κορενσίτης (corrensite) και ο χλωρίτης-βερμικουλίτης (chlorite-vermiculite), ονομαζόμενος λιπμανίτης (lippmanite) και λοιπά.

Το πάχος της θεμελιώδους δομικής μονάδας στις κανονικές στιβάδες, δίνεται από το άθροισμα των παχών των επιμέρους δομικών μονάδων που αποτελούν τη μικτή στιβάδα. Για παράδειγμα ο κορενσίτης έχει πάχος περίπου 28 Å και δίνεται από το άθροισμα των παχών του χλωρίτη και του σμεκτίτη αμφότερα 14 Å. Αυτό συμβαίνει στη περίπτωση των κανονικών μικτών στιβάδων με σχέση 1:1 μεταξύ των δύο συστατικών. Σε περίπτωση διαφορετικών αναλογιών τα πάχη δίνονται από το άθροισμα όλων των παχών των επιμέρους συστατικών μονάδων.

3.3.5 Φυλλοπυριτικά τύπου 2:1 ελασματοειδή

Έχουν μια δομή που χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριοκταεδρικών στιβάδων (τύπου τάλκη) T-O-T, οι οποίοι έχουν τα τετραεδρικά και τα οκταεδρικά φύλλα διατεταγμένα παράλληλα προς την κατεύθυνση του άξονα z αντί, όπως σε όλα τα υπόλοιπα φυλλοπυριτικά που διατάσσονται σχεδόν κανονικά ή απόλυτα κανονικά στην κατεύθυνση z.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια δομή με στοιχεία σε μορφή επιμηκών ελασμάτων κατά μήκος της κατεύθυνσης z, ενωμένα μεταξύ τους μέσω των ακμών και εναλλασσόμενα βαθμιαία με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργήσουν κανάλια-διαύλους, ακόμα με τον άξονα παράλληλο προς τον κατεύθυνση z.

Στο τετραεδρικό φύλλο υπάρχει μόνο Si, ενώ στο οκταεδρικό υπάρχει Mg. Στα κανάλια-διάυλους, που αντιπροσωπεύουν δομικά κενά, εισέρχονται μόρια νερού, με μερικά από αυτά να συνδέονται στα ελεύθερα φορτία των ιόντων Mg που υπάρχουν στα τοιχώματα των επιμηκών στοιχείων (ελάσματα). Οι ακμές των τελευταίων ενώνονται μεταξύ τους με την βοήθεια των οξυγόνων των κορυφών των τετράεδρων.

Σε αυτή την ομάδα ορυκτών ανήκουν ο σεπιόλιθος (sepiolite) και ο παλυγορσκίτης (palygorskite) (όρος που προτιμάται από το συνώνυμο ατταπουλγίτης (attapulgitite)).

3.3.6 Άμορφοι τύποι

Τα αλλοφανή (allophane) με κρυσταλλοχημικό τύπο $Al_2SiO_5 \cdot 0.8nH_2O$, εμπίπτουν στην ομάδα των αργιλικών ορυκτών, αλλά στερούνται μιας καλά καθορισμένης κρυσταλλικής δομής και έχουν μεταβλητή χημική σύσταση.

Από δομικής άποψης δείχνει τοπικά μια καθορισμένη κρυσταλλογραφική διάταξη, και, πράγματι, σύμφωνα με ορισμένους συγγραφείς θα υπήρχε μια συνεχής σειρά: Αλλοφανής B \rightarrow Αλλοφανής AB \rightarrow Αλλοφανής A με υψηλότερο βαθμό δομικής οργάνωσης. Εξάλλου από αυτή τη σειρά κανένα δεν παρουσιάζει και στις 3 κατευθύνσεις x, y, z συνεχή κατανομή των ιόντων επαρκή για να καθορίσουν μια πραγματική κρυσταλλική δομή.

Ο ιμογολίτης (imogolite) $Al_2SiO_3(OH)_4$, είναι ένα όνομα που δόθηκε σε ένα αλλοφανές με ένα δεδομένο βαθμό δομικής τάξης και μια τυπική μορφολογία, ινωειδή και επιμήκη, πολύ διαφορετική από την χαρακτηριστική εμφάνιση των κανονικών αλλοφανών. Έχει χημική τύπο: $Al_2SiO_5 \cdot nH_2O$.

Είναι επίσης γνωστή σταδιακή μετάβαση από αλλοφανές προς διοξείδιο του πυριτίου $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ και προς ένα σιδηρούχο είδος, πάντα άμορφο, τον χισινγκερίτη (hisingerite).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Το τετραεδρικό στρώμα αποτελεί την πρώτη κύρια δομική μονάδα των αργιλικών ορυκτών και έχει ως κεντρικό κατιόν το Si^{4+} , το οποίο μπορεί να αντικατασταθεί από Al^{3+} ή Fe^{2+} .

Το οκταεδρικό στρώμα αποτελεί τη δεύτερη δομική μονάδα των αργιλικών ορυκτών, το οποίο έχει ως κεντρικό κατιόν το Al^{3+} , το οποίο μπορεί να αντικατασταθεί από το Fe^{3+} , Mg^{2+} , Li^{+} και από άλλα κατιόντα.

Ανάλογα με τις αντικαταστάσεις που λαμβάνουν μέρος αλλά και με τη διάταξη αυτών, τα στρώματα φορτίζονται θετικά, αρνητικά ή ουδέτερα. Το φορτίο των στρωμάτων αλλά και η φύση της αντιστάθμισης προσδίδει σημαντικές επιφανειακές ιδιότητες, αλλά και ενδοστοιβαδιακές. Ακόμα, η διάταξη των στρωμάτων ή και πιθανά συσσωματώματα που είναι πιθανό να δημιουργηθούν, ευθύνονται για τις διαφορετικές μορφολογίες των αργίλων, οι οποίες μπορεί να είναι παραδειγματικά ίνες, κύλινδροι, πλακίδια (Bergaya & Galaly 2006).

Συμπεραίνουμε δηλαδή ότι τα αργιλικά ορυκτά έχουν μεγάλη ποικιλομορφία, παρ'όλα αυτά παρουσιάζουν κάποιες βασικές ιδιότητες (Γουλιμής και Κανδιλιώτης 2018) που είναι οι εξής:

- Ιδιότητα ενυδάτωσης
- Ιδιότητα διόγκωσης
- Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και ανιόντων
- Ικανότητα κροκίδωσης (θρόμβωσης)
- Ικανότητα διασποράς

Επιπλέον ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών είναι η πλαστικότητα, η υδροπερατότητα και η θιξοτροπία.

○ Προσρόφηση του ύδατος

Η επιρροή του νερού στη μηχανική συμπεριφορά των χονδρόκοκκων εδαφών είναι πρακτικά μηδενική, εφόσον η επιβολή της φόρτισης γίνεται με επαρκώς βραδύ ρυθμό. Αντίθετα όμως η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων εδαφών, όπως είναι τα αργιλικά εδάφη, επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία και την ποσότητα του νερού στους πόρους.

Η επιρροή αυτή οφείλεται κυρίως στην ηλεκτρική αλληλεπίδραση του νερού με τις φορτισμένες επιφάνειες των αργιλικών πλακιδίων.

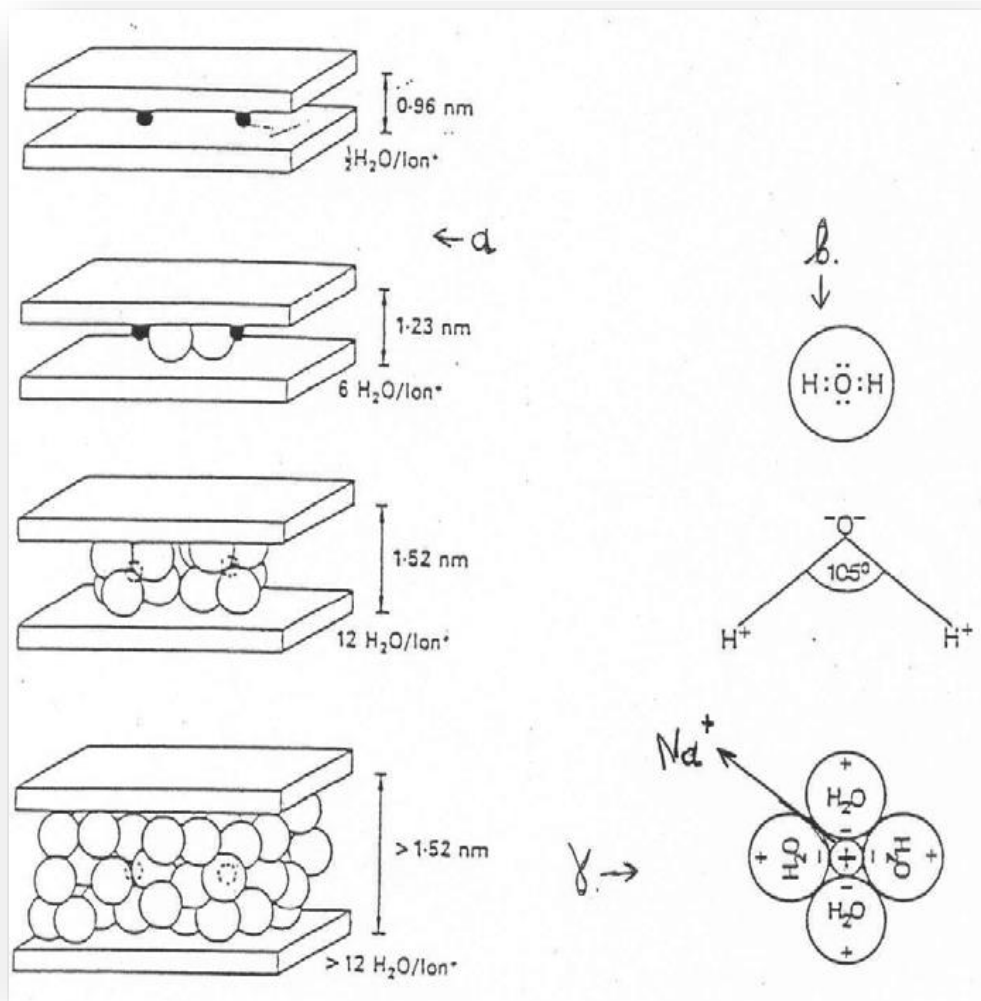
Όπως είναι γνωστό, το μόριο του νερού, αν και ηλεκτρικά ουδέτερο, παρουσιάζει τις ιδιότητες ηλεκτρικού διπόλου, με κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου που δεν ταυτίζονται. Τα ηλεκτρικά αυτά δίπολα έλκονται προς την ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και προσροφώνται σε αυτή, δηλαδή συνδέονται ισχυρά με την επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και αποτελούν ενιαίο σώμα.

Η έλξη των διπόλων του νερού προς τα αργιλικά πλακίδια είναι πολύ ισχυρή κοντά στην επιφάνεια και μειώνεται ραγδαία με την απόσταση από την επιφάνεια, επειδή οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης.

Έτσι, δημιουργείται μια ζώνη γύρω από το αργιλικό πλακίδιο, στην οποία το προσροφημένο νερό έχει ιδιότητες πολύ διαφορετικές από το ελεύθερο νερό που βρίσκεται έξω από τη ζώνη αυτή. Η ζώνη (στρώση) του προσροφημένου νερού γύρω από το αργιλικό πλακίδιο ονομάζεται διπλή στρώση, επειδή αναπτύσσεται και στις δύο επιφάνειες του πλακιδίου. Η ύπαρξη και το μέγεθος της διπλής στρώσης είναι καθοριστικοί παράγοντες των μηχανικών ιδιοτήτων των αργιλικών εδαφών (Καββαδάς 2005).

ο **Ιδιότητα διόγκωσης**

Ορισμένα αργιλικά συσσωματώματα επιτρέπουν στα πολικά μόρια του νερού να εισέρχονται, μέσω της ενυδάτωσης των κατιόντων, στον ενδοστρωματικό χώρο με αποτέλεσμα τη διόγκωση (swelling) της αργίλου. Η διόγκωση αποτελεί τυπικό φαινόμενο των σμεκτιτών (Schoonheydt & Cliff 2011).



Σχήμα 17 : Διαδοχικά στάδια προσρόφησης μορίων νερού σε αργιλικό πλακίδιο

Η διόγκωση αυτή είναι αποτέλεσμα της επικράτησης των απωστικών δυνάμεων έναντι των ελκτικών δυνάμεων, που αναπτύσσονται στο σύστημα αργίλου και νερού και πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια. Η διαδικασία της διόγκωσης είναι αντιστρέψιμη, μέσω της αφυδάτωσης της αργίλου.

Όλες οι άργιλοι έλκουν μόρια νερού στην επιφάνεια τους (προσρόφηση-adsorption), αλλά μερικές μόνο προσλαμβάνουν τα μόρια νερού μέσα στη δομή τους (απορρόφηση-absorption).

ο **Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC)**

Μια από τις βασικές ιδιότητες των αργίλων είναι το ηλεκτρικό φορτίο στα μόρια τους, γεγονός που σημαίνει ότι οι άργιλοι θα προσροφούν κατιόντα (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} κ.ά.) ή και ανιόντα (SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , κ.ά.) που θα εξουδετερώνουν το φορτίο των φύλλων, τα οποία θα είναι όμως ανταλλάξιμα. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αντικαθίστανται από άλλα κατιόντα ή ανιόντα αντίστοιχα, όταν έρθουν σε επαφή με αυτά τα ιόντα σε υδατικό διάλυμα (Κοτρώτσιου και Φρατζεσκάκη 2011).

Το φορτίο των φύλλων είναι κατά κανόνα αρνητικό, εκτός και εάν βρίσκονται σε εξαιρετικά όξινες συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι οι άργιλοι τείνουν να προσροφούν κατιόντα και έχουν μια ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Ivanic et. al. 2015). Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, λοιπόν, χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό του ποσού των ανταλλάξιμων ιόντων που μπορούν να συγκρατηθούν σε μια αργιλική δομή. Αυτό σημαίνει ότι μετρά τα ιόντα στις εσωτερικές ή εξωτερικές επιφάνειες ενός αργιλικού ορυκτού (απορρόφηση και προσρόφηση ιόντων αντίστοιχα για την κάθε επιφάνεια).

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων μετριέται σε meq/100g αργίλου. Το φορτίο στην επιφάνεια της αργίλου σε θέσεις προσρόφησης είναι συνήθως της τάξης των 5-10 meq/100g αργίλου, ενώ το φορτίο που μετριέται ως ανταλλαγή σε θέσεις μεταξύ των φύλλων της αργίλου ή εντός της δομής ποικίλει από 40-120 meq/100g αργίλου (Τσώλη-Καταγά 2007).

Η τιμή της ιοντοανταλλακτικής ικανότητας είναι χαρακτηριστική για τις διάφορες ομάδες των αργιλικών ορυκτών. Είναι μεγάλη για την ομάδα του μοντμοριλλονίτη (80-150 meq/100 g), ενδιάμεση για τον ιλλίτη (10-40 meq/100 g) και μικρή για τα ορυκτά της ομάδας του καολινίτη (3-5 meq/100 g), ενώ οι βερμικουλίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ιοντοανταλλακτικής ικανότητας (>160 meq/100 g) (Περράκη-Λοϊσίου 2007).

Οι τύποι των φορτίων είναι δύο, το σταθερό ή δομικό, λόγω των ιοντικών αντικαταστάσεων ή δομικών ατελειών και το επιφανειακό, λόγω των σπασμένων δεσμών.

Η κύρια προέλευση του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου στα μόρια των αργίλων είναι το φαινόμενο της ισόμορφης υποκατάστασης, κατά το οποίο τα κατιόντα των οκταέδρων ή των τετραέδρων υποκαθίστανται από κατιόντα μικρότερου φορτίου που έχουν παρόμοιο μέγεθος ώστε να προσαρμόζονται στη δομή (Λοϊσίου-Περράκη 1987). Οι σπασμένοι δεσμοί στα άκρα των μορίων μπορεί να συνεισφέρουν στην ικανότητα ανταλλαγής, κυρίως στις αργίλους της ομάδας του καολινίτη. Επίσης, σε αλκαλικές συνθήκες, τα φορτία που οφείλονται στις ανωμαλίες των άκρων είναι θετικά, γεγονός που οδηγεί σε προσρόφηση ανιόντων παρά κατιόντων σε αυτές τις θέσεις.

Συμπερασματικά, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων είναι από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών διότι μετρά:

- Την ειδική επιφάνεια SSA (δηλαδή λόγο επιφάνειας προς μάζα) και το φορτίο σε αυτή την επιφάνεια
- Τον αριθμό των ιόντων που έχουν απορροφηθεί μεταξύ των φύλλων της αργιλικής δομής και αυτών που έχουν προσροφηθεί στις εξωτερικές επιφάνειες

ο **Θρόμβωση και διασπορά**

Με την προσθήκη ορισμένων ηλεκτρολυτών είναι δυνατό ένα αιώρημα αργιλικών ορυκτών να διατηρηθεί σε διασπορά ή να θρομβωθεί και να καθιζάνει ως ίζημα (Περράκη-Λοϊσίου 2007).

ο **Πλαστικότητα**

Είναι η ιδιότητα του μείγματος αργίλου-νερού να μορφοποιείται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και να διατηρεί αυτή τη μορφή μετά την ξήρανση και το ψήσιμο. Κατά την επαφή με το νερό τα αργιλικά ορυκτά, περιβάλλονται από ένα λεπτό υδάτινο υμένιο, εξ' αιτίας του οποίου εξασθενίζουν οι δυνάμεις συνοχής και ελαττώνεται η τριβή, με αποτέλεσμα το μίγμα αργίλου-νερού να γίνεται πλαστικό (Περράκη-Λοϊσίου 2007).

Η πλαστικότητα εξαρτάται από:

- Τη μορφή των σωματιδίων (φυλλώδης ή πρισματική)
- Τις δυνάμεις που συνδέουν τα σωματίδια μεταξύ τους (ασθενέστερες στον μοντμοριλλονίτη, ισχυρότερες στον καολινίτη).
- Το είδος των προσροφημένων ιόντων (Na^+ , Ca^{2+} κ.λπ)
- Το πάχος των υδάτινων υμενίων

Μέτρο της πλαστικότητας είναι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται μια άργιλος για να αποκτήσει τη μέγιστη πλαστικότητά της. Λέγεται νερό πλαστικότητας και εκφράζεται σε cm^3 επί τοις % (Konta 1973). Η πλαστικότητα μιας αργίλου ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε αργιλικό κλάσμα, σε μοντμοριλλονίτη, σε οργανική ουσία κ.λπ.

ο Υδροπερατότητα

Το πολύ μικρό μέγεθος των αργιλικών ορυκτών και η συγκράτηση νερού στο χώρο μεταξύ των φύλλων των δομικών μονάδων απαγορεύει τη διέλευση νερού, γι' αυτό και τα αργιλικά ορυκτά είναι μη υδατοπερατά.

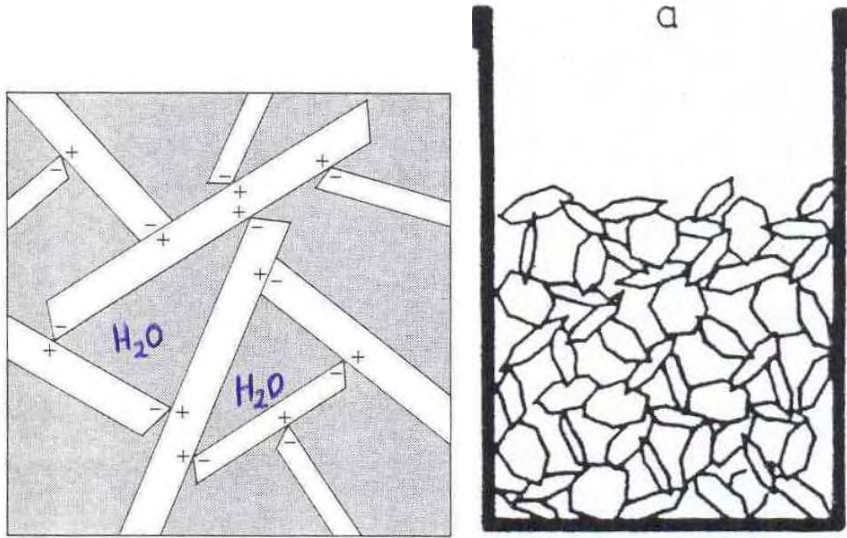
ο Θιξοτροπία

Πρόκειται κυρίως για υγρά, στα οποία εμφανίζεται η ιδιότητα σε ηρεμία να παράγουν πήγμα, ενώ με την παραμικρή άσκηση δύναμης στην επιφάνεια τους να ρευστοποιούνται. Τέτοια ρευστά ονομάζονται θιξότροπα, και το αντίστοιχο φαινόμενο θιξοτροπία.

Πολλά αργιλικά ορυκτά και σε ανάμιξη με ορισμένη ποσότητα νερού, σχηματίζουν αιωρήματα που με το χρόνο μεταπίπτουν σε σταθερούς πολτούς. Τα πηκτώματα αυτά δεν ρέουν όταν υποστούν κλίση, εάν όμως ανακινήθουν μεταπίπτουν πάλι σε ρευστή μορφή, δηλαδή σε εναιώρημα (Περράκη και Λοϊσίου 2007).

Η ιδιότητα αυτή, αναστρέψιμη και επηρεαζόμενη από τον χρόνο, είναι γνωστή ως θιξοτροπία και οφείλεται στο ότι, τα αιωρούμενα αργιλικά σωματίδια, σταδιακά, παίρνουν τέτοιες θέσεις, έτσι ώστε τα μόρια του νερού να εγκλωβίζονται στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στα αργιλικά ορυκτά και να μην μπορούν να κινηθούν ελεύθερα (Σχ. 18).

Πρόκειται για την ονομαζόμενη δομή “house of cards”, όπου τα αργιλικά σωματίδια είναι συνδεδεμένα σε ένα τρισδιάστατο δίκτυο. Κάθε δυνατό χτύπημα μπορεί να χαλάσει αυτό το σκελετό και το αιώρημα μπορεί να κινηθεί πάλι, ελεύθερα.



Σχήμα 18: Δομή “house of cards”

Ο μοντοριλλονίτης αναπτύσσει θιξοτροπία σε μεγάλο βαθμό. Θιξοτροπία σε μικρό βαθμό είναι δυνατό να αναπτύξουν μερικοί καολίνες ιζηματογενούς προέλευσης, όταν είναι επεξεργασμένοι με Na_2CO_3 .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Alietti A., Dell'Anna L., Lombardi G., Mattias P. (1979) Struttura e composizione dei minerali argillosi. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, Bari, vol. XIV, parte 1
- Bergaya F. & Lagaly G. (2006) General introduction: Clays, clay minerals and clay science, Chapter 1
- Bergaya F., Theng, B.K.G., Lagaly, G. (2006) Clays, Environment and health. *Handbook of Clay Science*, p. 623
- Best M.G. (2003) *Igneous and Metamorphic Petrology*, Blackwell Publishing, 2nd edition
- Churchman G.J and Carr R.M (1975) The definition and nomenclature of halloysites. *Clays and Clay Minerals*
- Ciullo P.A. (1996) *Industrial Minerals and Their Uses*: Westwood. Noyes Publication, Saddle River, p. 125-136.
- Dana E.S. (1892) *Dana's system of mineralogy* (6th edition)
- Franklin J. & Dusseault M. (1989) *Rock Engineering*. McGraw-Hill Ryerson, Limited
- Galan E. (1996) Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. *Clay Minerals*, p. 443–453
- Grim R. (1968) *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Co, Inc, New York
- Haldar S.K. and Tišljarić J. (2014) *Introduction to Mineralogy and Petrology*, Science Direct
- Ivanić M., Vdović N., Barreto S., Bermanec V., Sondi I. (2015) Mineralogy, surface properties and electrokinetic behaviour of kaolin clays derived from naturally occurring pegmatite and granite deposits. *Geologia Croatica*, p. 139-145
- Konta J. (1973) *Reological properties of Czechoslovak Clays*
- Meunier A. (2005) *Clays*. Springer, Germany
- Murray H. (1991) Overview - clay mineral applications *Applied Clay Science*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p. 379-395
- Murray H. (2007) *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite and common clays*. Elsevier

- Papoulis D. and Tsoilis-Katagas P. (2004) Progressive Stages in the Formation of Kaolin Minerals of Different Morphologies in the Weathering of Plagioclase. *Clays and Clay Minerals*
- Putnis A. (1995) *An Introduction to Mineral Sciences*. Cambridge University Press, United Kingdom
- Ringwood (1974) *Composition and Petrology of the Earth's Mantle*
- Schoonheydt R.A. & Cliff T.J. (2011) The surface properties of clay minerals *EMU Notes in Mineralogy*, Vol. 11 , Chapter 10, p. 337–373
- Terzaghi K. & Peck R. (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition, John Wiley, New York
- Ziegler K., Hsieh J., Chadwick O., Kellyc E., Hendricks D., Savin S. (2003) Halloysite as a kinetically controlled end product of arid-zone basalt weathering. *Chemical Geology* 202, p. 461 – 478

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αβραμίδης Π. (2015) *Ιζηματολογία: Ενότητα 2: Κατάταξη ιζημάτων & ιζηματογενών πετρωμάτων*». Πάτρα, Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/GEO337/>
- Γουλιμής Α. και Κανδιλιώτης Μ. (2018) Αφαίρεση σιδήρου και μαγγανίου από το πόσιμο νερό και τα υγρά απόβλητα με τη μέθοδο της ιοντοαλλαγής με χρήση φυσικών αργίλων. Πτυχιακή Διατριβή, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος, σελ.18
- Δάβη Ε. (1991) *Πετρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- Θεοδωρίκας Σ. Σ. (2000) *Γεωχημεία*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.276-314
- Θεοδωρίκας Σ. Σ. (2010) *Ορυκτολογία, Πετρολογία*. 3η έκδοση
- Καββαδάς Μ. (2005) *Φυσικά Χαρακτηριστικά των Εδαφών*. Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Κεφάλαιο 2, Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου, <http://www.civil.ntua.gr/~kavvadas> (ΠΡΟΣΒΑΣΗ: 29/07/2018)
- Κατερινόπουλος Α. (2008) *Ο κόσμος των ορυκτών*. Εκδόσεις Συμμετρία
- Κελεπερτζής Α. (2000) *Χημική Ιζηματολογία*. Μακεδονικές Εκδόσεις
- Κοτρώτσιου Β. Και Φρατζεσκάκη Ε. (2011) *Μελέτη της επίδρασης της αναζύμωσης στις μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών εδαφών*.

- Λοϊσίου-Περράκη Θ. (1987) Συμβολή στη γνώση των ορυκτολογικών και τεχνολογικών χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων στην κεραμική αργίλων, περιοχών της Αττικής, της Χαλκίδας και της Βοιωτίας. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Μητρόπουλος Π. & Κελεπερτζής Α. (2012) Μαθήματα Γεωχημείας. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- Μήτσιος Ι. (2001) Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα, σελ. 13-16
- Μιχαηλίδης Κ. Μ., Βαβελίδης Μ. Κ., Φιλλιπίδης Α. Α. (2013) Σημειώσεις κοιτασματολογίας βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.134
- Ντζαλά Σ. (2014) Σύνθεση και χαρακτηρισμός δύο νέων νανοσυνθέτων αλλοϋσίτη- TiO_2 . Πτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας
- Παπούλης Δ. & Λαμπροπούλου Π. (2016) Ορυκτολογία: Συστηματική ταξινόμηση ορυκτών. Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη
- Περράκη-Λοϊσίου Θ. (2007) Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
- Περράκη Μ. (2017) Σημειώσεις από το μάθημα Ορυκτολογίας, Κεφάλαιο Πυριτικά Ορυκτά, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Πολυζόπουλος Ν. Α. (1985) Εισαγωγή εις την Εδαφολογίαν. Εκδοτικός οίκος Σάκκουλα, Θεσσαλονίκη
- Σαμπατακάκης Ν. (2015) Εδάφη: σύσταση - δομή - φυσικές ιδιότητες Ι (ιδιότητες αναγνώρισης). Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/GEO345> (Πρόσβαση: 05/08/2018)
- Σκουμπής Ε. (2010) Προσδιορισμός του μεγέθους και της κατανομής φορτίου κρυσταλλικής δομής σε σμεκτίτες με μειωμένο φορτίο. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Στυλιανού Μ. (2012) Απομάκρυνση Βαρέων Μετάλλων από Υδατικά Διαλύματα με χρήση Φυσικών Ορυκτών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα
- Τόλη Δ. (2013) Σύνθεση, χαρακτηρισμός και φωτοκαταλυτική δράση τροποποιημένων αργιλικών ορυκτών. Τμήμα Γεωλογίας, Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

- Τσιραμπίδης Α. & Φιλίππιδης Α. (2011) Οι ορυκτοί πόροι της Ελλάδος. Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 34
- Τσιραμπίδης Α. (2008) Ιζηματογενή πετρώματα. Εκδόσεις Γιαχούδη
- Τσώλη-Καταγά Π. (1987) Τα αργιλικά ορυκτά. Ανάλυση και προσδιορισμός με τις ακτίνες Χ. Πανεπιστήμιο Πατρών, Μετάφραση από το Γαλλικό πρωτότυπο : “Les mineraux argileux” T. Holtzapffel. Societe Geologique du Nord. Publication No12.
- Τσώλη-Καταγά (2007) Ο ρόλος των αργιλικών ορυκτών στη μελέτη και προστασία του περιβάλλοντος. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μεταπτυχιακού μαθήματος. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών
- Φιλίππιδης Α. (2006) Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Τμήμα Εκδόσεων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Φιλίππιδης Α. (2013) Σημειώσεις κοιτασματολογίας, βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Χατζηθεοδωρίδης Η. (2007) Πυριτικά Ορυκτά. http://www.eliasch.metal.ntua.gr/students/petrology/H01_mineralogySilicates.pdf (Πρόσβαση: 08/08/2018)
- Bourliva Anna (2013) Χρήση φυσικών αργίλων στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από υδάτινα διαλύματα και αστικά λύματα. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 27
- Tsirampides A. (2001) Η χρήση επεξεργασμένων ή συνθετικών ορυκτών στην Παρασκευή τροφίμων, φαρμάκων, καλλυντικών και άλλων προϊόντων. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Sachpazis C. (2013) Σημειώσεις με θέμα Ορυκτολογία Αργίλου. http://www.geodomisi.com/files/Publications/Lectures/Sachpazis_1%20Clay%20Mineralogy%20Greek%20powerpoint%20presentation.pdf (Πρόσβαση: 05/07/2018)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Abstract

Clay is one of the most widespread rocks on the surface of the Earth and the first mineral that man has used since ancient times. It carries the history of many people with the objects and works that have been made of it and they have been preserved to this day.

In America, Indians used it long before the Europeans settled in their own country. China used it many centuries ago to manufacture porcelain tableware and decorative items. As industrial materials, clays are a complex group composed of various minerals, each of which has somewhat different mineralogy, geological appearance, technology and industrial use.

Clay is an inorganic colloid that helps the chemical interactions and natural exchanges, that are vital for the growth of plants. With the term «colloid» is meant the homogenous mixture containing microscopic particles of a chemical that are uniformly dispersed within some other chemical and remaining immiscible.

In the present study, at first it was made reference to the rocks that form the Earth's solid cortex and their categorization into individual groups. Subsequently, minerals were extensively analyzed and categorized, based on the bindings between silicon tetrahedras (SiO_4) and particular attention was paid to phyllosilicate minerals, as clay minerals belong to this category.

The main objective of the dissertation was to deepen our knowledge about the structure, composition and properties of clay minerals in order to emphasize the usefulness of these minerals and to fully understand their geochemical behavior. Clay minerals were classified by the number of tetrahedral and octahedral sheets, into three categories (1:1 minerals, 2:1 minerals, 2:1:1 minerals) and, consequently, was made a detailed reference to the subgroups of them.

Keywords: rocks, geochemical cycle, minerals, clay, properties

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ
ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΦΥΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΩΝ**

ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΡΡΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΦΥΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΩΝ

ΔΟΜΗ	ΟΝΟΜΑ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΤΕΤΡΑΕΔΡΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ	ΕΜΟΣΤΙΒΑΔΙ -ΚΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΕΜΟΣΤΙ-ΒΑΔΙΚΟ Η ₂ O coord.	ΚΡΥΣΤΑΛΟΜΟΡΦΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΚΥΦΕΛΙΑΣ				
							a ₀	b ₀	c ₀	α	β
ΦΥΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΑ 1:1 (T-O)											
ΟΜΑΔΑ ΤΟΥ ΔΑΛΟΥΣΤΗ											
ΔΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Αλλουσίτης 10 A	Al	Si		H ₂ O	Al ₂ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀ ·4H ₂ O	5,15	8,90	10,1-8,5		109°12'
	Αλλουσίτης 7 A	Al	Si			Al ₂ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	5,15	8,90	7,9-7,5		109°12'
ΟΜΑΔΑ ΤΟΥ ΚΑΘΙΝΙΤΗ											
ΔΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Καολίνιτης	Al	Si			Al ₂ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	5,14	8,93	7,39	91°8'	104°50'
	Ηλεκίτης	Al	Si			Al ₂ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	5,15	8,96	14,46		96°44'
	Νακρίτης	Al	Si			Al ₂ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	8,96	5,15	43		96°20'
ΟΜΑΔΑ ΤΟΥ ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΗ											
ΤΡΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Χρυσόταλος	Mg	Si			Mg ₃ (OH) ₃ Si ₄ O ₁₀					
	Ορθο-						5,34	9,26	14,63		90°
	Κλίνο-						5,34	9,25	14,65		93°16'
	Παρα-						5,34	9,24	14,70		90°
	Αντιγραφίτης	Mg	Si			Mg ₃ (OH) ₃ Si ₄ O ₁₀	43,90	9,26	7,18		91°40'
	Λιταρδίτης	Mg	Si			Mg ₃ (OH) ₃ Si ₄ O ₁₀	5,31	9,20	7,31		90°
	Κρονστεντάτης	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Si, Fe ³⁺			Fe ²⁺ Fe ³⁺ (OH) ₃ Si ₂ Fe ³⁺ 30 ₁₀	5,49	9,51	7,32		104°51'
	Γρηναλίτης	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Si			(Fe _{2,5} ²⁺ Fe _{0,5} ³⁺)(OH) ₃ Si ₄ O ₁₀	5,55	9,61	7,20		90°
	Χαμοσίτης	Fe ²⁺ , Mg, Fe ³⁺ , Al	Si, Al			(Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Mg, Al) ₃ (OH) ₃ Si ₂ Al ₂ O ₁₂	5,39	9,33	7,04		104°50'
	Αμεισίτης	Mg, Al, Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Si, Al			(Mg, Al) ₃ Fe ²⁺ Fe ³⁺ (OH) ₃ Si ₂ Al ₂ O ₁₂	5,31	9,19	14,10		90°
ΦΥΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΑ 2:1 (T-O-T)											
ΔΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Πυροφυλλίτης	Al	Si			Al ₂ (OH) ₂ Si ₂ O ₁₀	5,16	8,90	18,64		99°50'
	Τάλκης	Mg	Si			Mg ₂ (OH) ₂ Si ₂ O ₁₀	5,26	9,15	18,90		109°15'

ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΡΠΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΦΥΛΛΟΠΥΡΡΙΤΙΚΩΝ (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

ΔΟΜΗ	ΟΝΟΜΑ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΤΕΤΡΑΕΔΡΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ	ΕΝΔΟΣΤΙΒΑΔΙ-ΚΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΕΝΔΟΣΤΙ-ΒΑΔΙΚΟ Η ₂ O coord.	ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΚΥΦΕΛΙΔΑΣ				
							b ₁	b ₂	c ₀	α	β
ΟΜΑΔΑ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΥΤΩΝ											
	Πλακονίτης	Fe ³⁺ ,Al,Fe ²⁺ ,Mg	Si ₂ Al	K,Na,Ca	H ₂ O	(K,Na,Ca) ₂₋₄ (Fe ³⁺ ,Al,Fe ²⁺ ,Mg) ₄ (OH) ₄ (Si _{1-2,Al₁₋₄}) ₂₋₄ O ₁₀₋₁₂ nH ₂ O	5,25	9,09	10,03		100°50'
	Κελασονίτης	Fe ³⁺ ,Al,Mg	Si ₂ Al	K,Na,Ca	H ₂ O	(K,Na,Ca) ₂₋₄ (Fe ³⁺ ,Al) ₂ Mg ₂ (OH) ₄ (Si _{1-2,Al₁₋₄}) ₂₋₄ O ₁₀₋₁₂ nH ₂ O	5,20	9,08	10,00		101°
	M-Λεπιδομέλιανο 1M	Fe ²⁺	Si ₂ Al	K		K ₂ Fe ₂ (OH,F) ₂ (Si ₂ Al ₂ O ₁₀)	5,30	9,20	10,20		~100°
	M-Βιοσίτης 1M	Fe ²⁺ ,Mg	Si ₂ Al	K		K ₂ (Fe,Mg) ₂ (OH,F) ₂ (Si ₂ Al ₂ O ₁₀)	5,30	9,20	10,20		100°
	2M						5,30	9,30	20,20		95°
	3T						5,30	9,30	30,0		90°
	M-Φλογοσίτης 1M	Mg	Si ₂ Al	K		K ₂ Mg ₂ (OH,F) ₂ (Si ₂ Al ₂ O ₁₀)	5,31	9,23	9,22		99°54'
	2M1						5,34	9,23	20,52		95°10'
	3T						5,31		30,48		90°
ΦΥΛΛΟΠΥΡΡΙΤΙΚΑ 2:1:1 (T-O-T+O)											
ΟΜΑΔΑ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΤΩΝ											
ΔΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Συνσίτης	Al	Si			Al ₂ (OH) ₂ (Si ₄ O ₁₀ -Al) ₂ (OH) ₂	5,14	6,95	14,22		97°
	Ταλοχλωρίτης	Mg	Si			Mg ₂ (OH) ₂ (Si ₄ O ₁₀ -Mg) ₂ (OH) ₂					
	Πεννσίτης	Mg,Al	Si ₂ Al			(Mg,Al) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂) ₂ O ₁₀ -Mg ₂ (OH) ₂	5,25	9,25	28,60		96°50'
	Κλωνόχλωρο	Mg,Al	Si ₂ Al			(Mg,Al) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂ O ₁₀ -Mg) ₂ (OH) ₂	5,25	9,25	28,60		96°50'
	Σερδανίτης	Mg,Al	Si ₂ Al			(Mg,Al) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂) ₂ O ₁₀ -Mg ₂ (OH) ₂	5,33	9,23	28,50		97°00'
ΤΡΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Ριπιδολίτης	Mg,Fe ²⁺ ,Al	Si ₂ Al			(Mg,Fe ²⁺ ,Al) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂) ₂ O ₁₀ -Mg ₂ (OH) ₂	5,36	9,28	28,40		97°15'
	Βρουνοβγκίτης	Fe ²⁺ ,Al,Mg	Si ₂ Al			(Fe ²⁺ ,Al,Mg) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂ O ₁₀ -Fe,Mg) ₂ (OH) ₂					
	Δαφνίτης	Fe ²⁺ ,Al	Si ₂ Al			(Fe ²⁺ ,Al) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂) ₂ O ₁₀ -Fe ₂ (OH) ₂	5,41	9,38	28,20		
	Κουκίτης	Al,Li	Si ₂ Al			Al ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂ O ₁₀ -Al ₂) ₂ (OH) ₂	5,14	6,95	28,36		90°
	Μανανδουίτης	Al,Li	Si ₂ Al,β			(Al,Li) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al,β) ₂ O ₁₀ -Al ₂ (OH) ₂	5,23	6,92	14,11		97°45'
ΔΙ-ΤΡΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΙ	Διογκωμένοι	Mg,Fe ²⁺ ,Al,Fe ³⁺	Si ₂ Al		H ₂ O,H ₂ O ^β	(Mg,Fe,Al) ₂ (OH) ₂ (Si ₂ Al ₂) ₂ O ₁₀ -Fe,Mg ₂ (OH) ₂ (OH) ₂ nH ₂ O	5,25	9,25	14,0		

ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΡΤΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΦΥΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΩΝ (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

ΔΟΜΗ	ΟΝΟΜΑ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΟΚΤΑΕΔΡΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ	ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΤΕΤΡΑΕΔΡΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ	ΕΝΔΟΣΤΙΒΑΔΙΚΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΕΝΔΟΣΤΙ- ΒΑΔΙΚΟ Η2Ο	ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΒΑΘΙΝΗΣ ΚΥΦΕΛΙΔΑΣ				
							a ₁	b ₀	c ₀	α	β
<u>ΦΥΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΑ 2:1</u>											
<u>ΕΛΑΣΜΑΤΩΔΕΙΗ</u>											
	Στεπλόδοξ	Mg	Si		H ₂ O/H ₂ O ⁺	Mg ₂ (OH) ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₂ ·4H ₂ O+8H ₂ O	5,30	27,0	13,4		90°
	Παλυμορφική	Mg,Al	Si		H ₂ O/H ₂ O ⁺	(Mg,Al) ₂ (OH) ₂ Si ₂ O ₅ ·4H ₂ O+4H ₂ O	5,20	18,0	12,8		105°
<u>ΑΜΟΡΦΟΙ ΤΥΠΟΙ</u>											
	Αλοφάνες					Al ₂ SiO ₅ ·nH ₂ O					
	Ιμοφαλίτης					Al ₂ SiO ₅ ·nH ₂ O					
	Χασονκρίτης					Fe ₂ SiO ₅ ·nH ₂ O					