



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Σχολή: Τεχνολογικών εφαρμογών

Τμήμα: Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ

Πτυχιακή εργασία



**Γασπαρής Διονύσιος
Κτενάς Παναγιώτης**

Εποπτεύων Καθηγητής: Λυκουργιώτης Σωτήριος
ΠΑΤΡΑ 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά τη φοίτησή μας στο τέταρτο έτος (2016-2017) στο τμήμα πολιτικών μηχανικών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αισθανόμαστε την υποχρέωση να ευχαριστήσουμε ορισμένους από τους ανθρώπους που γνωρίσαμε, συνεργαστήκαμε μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην εκπόνησή της.

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Σωτήρη Λυκουργιώτη καθηγητή του τμήματος πολιτικών μηχανικών ΤΕ , για την ανάθεση του θέματος, το ενδιαφέρον του, τις πολύτιμες συμβουλές του και την άμεση ανταπόκριση του, καθώς και για το χρόνο που διέθεσε για την διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

Τέλος θα θέλαμε να εκφράσουμε τις βαθύτερες ευχαριστίες μας στις οικογένειές μας για την οικονομική και ηθική υποστήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο ορυκτό με την ονομασία «μπεντονίτης», κοιτάσματα του οποίου βρίσκονται και στην Ελλάδα σε περιοχές όπως στον Έβρο και διάφορα νησιά του Αιγαίου. Εξετάζονται η ορυκτολογική και η χημική σύσταση, η κρυσταλλική δομή και άλλες φυσικές ιδιότητες του μπεντονίτη οι οποίες μπορούν να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από την ενεργοποίησή του. Η ενεργοποίηση αυτή μπορεί να είναι είτε μηχανική είτε χημική. Επίσης, γίνεται αναφορά στις εξορυκτικές εργασίες και την παραγωγική εκμετάλλευση του μπεντονίτη. Αναφέρονται οι πολλές και ποικίλες εφαρμογές και χρήσεις του μπεντονίτη, οι οποίες βασίζονται τόσο στις φυσικές ιδιότητές του όσο και στις τροποποιημένες ή βελτιωμένες ιδιότητες μετά από κατεργασία που υφίσταται με μηχανικά και φυσικο-χημικά μέσα.

Αντιπροσωπευτικά δείγματα ακατέργαστου μπεντονίτη εξετάζονται μέσω των εργαστηριακών τεχνικών: Κοκκομετρικής ανάλυσης, Δείκτης μάζας νερού (Water Pore Volume), τεστ BET. (Brunauer - Emmett - Teller), Μικροσκοπία ακτίνων X (Scanning Electron Microscopy), περίθλαση ακτίνων X (XRD) και Φθορισμός ακτίνων X (XRF). Τέλος γίνεται χρήση του λογισμικού QGIS (QUANTUM Geographic Information System) για την γεωγραφική προβολή των κοιτασμάτων του ορυκτού.

ABSTRACT

This work focuses on the mineral called "bentonite", whose deposits are also found in Greece in areas such as Evros and various Aegean islands. The mineralogical and chemical composition, the crystal structure and other physical properties of bentonite are examined which can be greatly influenced by its activation. This activation may be either mechanical or chemical. Also, reference is made to mining and the production of bentonite. The many and varied applications and uses of bentonite are mentioned, which are based on both its physical properties and its modified or improved properties after mechanical and physical chemical treatment.

Representative samples of crude bentonite are examined by laboratory techniques: Granulometric analysis, Water Pore Volume, BET test. (Brunauer - Emmett - Teller), X-ray Electron Microscopy, X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF). Finally, QGIS software (QUANTUM Geographic Information System) is used for the geographical projection of mineral deposits.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
Κεφάλαιο 1	6
Μπεντονίτης	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Λατομεία	8
1.3 Κοιτάσματα	10
1.4 Προσμίξεις	10
1.5 Χρώματα	10
1.6 Εξόρυξη- Ελλάδα	11
1.7 Σχηματισμός	12
1.8 Κατηγορίες του μπεντονίτη	12
1.9 Ιδιότητες μπεντονίτη	16
1.10 Παραγωγή μπεντονίτη	19
1.11 Εφαρμογές μπεντονίτη	20
1.12 Κύριες χρήσεις του μπεντονίτη	24
1.13 Περιβαλλοντικές χρήσεις του μπεντονίτη	25
1.14 Τροποποιήσεις του μπεντονίτη	27
Κεφάλαιο 2	36
Πειραματικό μέρος	36
2.1 Γεωγραφική εξάπλωση	36
2.1.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information System)	36
2.1.2 QGIS (QUANTUM Geographic Information System)	38
2.1.3 Στον κόσμο	44
2.1.4 Στην Ελλάδα	46
2.1.5 Στη Μήλο	48
2.1.6 Στη Κίμωλο	50
2.2 Τεχνικές ιδιότητες	51
2.2.1 Κοκκομετρική ανάλυση	51
2.2.2 Δείκτης μάζας νερού (Water Pore Volume)	54

2.2.3 ΤΕΣΤ ΒΕΤ. (Brunauer - Emmett - Teller)	57
2.2.4 Μικροσκοπία ακτίνων X (Scanning Electron Microscopy)	59
2.2.5 περίθλαση ακτίνων X (XRD)	63
2.2.6 Φθορισμός ακτίνων X (XRF)	65
2.3 Συμπεράσματα	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69

Κεφάλαιο 1

Μπεντονίτης

1.1 Γενικά

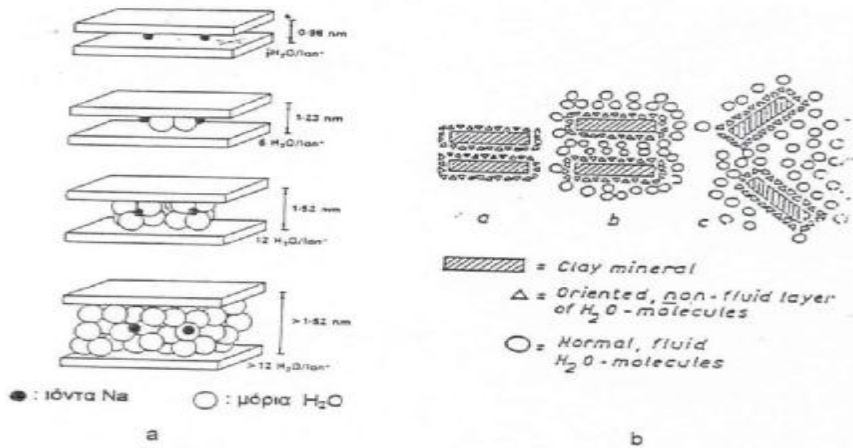
Ο **μπεντονίτης** είναι ένα αργιλικό πέτρωμα λεπτότατης υφής. Είναι φυσικό ορυκτό υλικό (ιλυόλιθος) που παράγεται από ηφαιστειακή τέφρα. Το κύριο συστατικό του είναι ο μοντμοριλλονίτης, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80%. Πήρε το όνομά του από την τοποθεσία Fort Benton της πολιτείας Wyoming των Η.Π.Α., όπου πρωτοανακαλύφθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα και άρχισε να εξορύσσεται. Όταν η περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη είναι μικρότερη (60-80%), το υλικό χαρακτηρίζεται ως “μπεντονιτική άργιλος”. Οι κυριότερες ιδιότητές του, που καθορίζουν και τα πεδία εφαρμογής του, είναι η πλαστικότητα, η μεγάλη ειδική επιφάνεια, η προσροφητική ικανότητα, οι κολλοειδείς ιδιότητες μέσα στο νερό, όπου σχηματίζεται μία ζελατινώδη ουσία με υψηλό ιξώδες, η θιξοτροπική και η ιοντοανταλλακτική ικανότητα, οι στεγανοποιητικές και συνδετικές ιδιότητες κ.ά. Τις ιδιότητές του αυτές οφείλει στα συνυπάρχοντα ορυκτά του, της ομάδας των σμεκτιτών (νοντρονίτη, εκτορίτη, σαπονίτη, μπαιντελλίτη) και κυρίαρχο ορυκτολογικό συστατικό του, το μοντμοριλλονίτη ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$).

Για τον μπεντονίτη αναφέρουν : "Η Ελλάδα είναι η δεύτερη χώρα μετά τις Η.Π.Α. στην παραγωγή μπεντονίτη η οποία το 2011 ήταν 1,25 εκατ. τόνοι. Η εξόρυξη γίνεται κυρίως στη Μήλο από την εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά και σε μικρότερες ποσότητες στην Κίμωλο από την εταιρία ΜΠΕΝΤΟΜΑΪΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΚΙΜΩΛΟΥ. Ο μπεντονίτης της Μήλου περιέχει κυρίως Ca-μοντμοριλονίτη (>80%), χαλαζία, αστρίους, καολινίτη και αναλλοίωτο ηφαιστειακό γυαλί. Αποθέσεις μπεντονίτη έχουν εντοπιστεί στα νησιά Λέσβο και Χίο, καθώς και στην περιοχή Μέστης - Συκορράχης Έβρου.

Ο **μοντμοριλλονίτης** είναι αργιλικόπυριτικό ορυκτό, που πήρε το όνομά του από τη γαλλική πόλη Montmorillon, με μεγάλη ειδική επιφάνεια και ικανότητα να συγκρατεί νερό. Ο χημικός του τύπος είναι $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$. Ο μοντμοριλλονίτης προσροφά, πολλά μόρια νερού, τόσο στην επιφάνειά του όσο, κυρίως, στον διαστρωματικό του χώρο, λόγω των ασθενών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των κρυστάλλων του (Σχ.1.1.a). Έτσι, τα μόρια του νερού τα οποία εισδύουν μεταξύ των κρυστάλλων, προκαλούν την απομάκρυνση των κρυστάλλων αυτών μέχρι την πλήρη διασπορά τους σε ιξώδες αιώρημα (Σχ.1.1.b). Ο όγκος του ορυκτού, υπό ειδικές συνθήκες υγρασίας, μπορεί να αυξηθεί μέχρι το 14πλάσιο του αρχικού. Ο μοντμοριλλονίτης και τα ορυκτά της ομάδας του χαρακτηρίζονται ως ορυκτά δομής 2:1. Αποτελούνται, δηλαδή, από δύο φύλλα

τετράεδρων $[\text{SiO}_4]^{4-}$, τα οποία περιέχουν μία στρώση κατιόντων Al^{3+} , Mg^{2+} ή Fe^{2+} , σε οκταεδρική διάταξη.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του οφείλονται στη δομή του πλέγματος του και στα προσροφημένα κατιόντα.



Εικ.1.1 α) Διαδοχικά στάδια προσρόφησης ύδατος από Na-ούχο μοντμοριλλονίτη, β) Διασπορά μπετονίτη

Και τα δύο ορυκτά ανήκουν στην οικογένεια των σμεκτιτών, τα οποία εξορύσσονται σε υπαίθρια ή υπόγεια λατομεία. Ο μπετονίτης είναι γνωστός από τις αρχές του αιώνα μας και από το 1930 χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη δύλιση, διήθηση, καθαρισμό και αποχρωματισμό του πετρελαίου.

Σήμερα χρησιμοποιείται στη βιομηχανία μετάλλων (χυτήρια και παραγωγή σιδήρου), σε γεωτρήσεις, στη βιομηχανία χαρτιού, στη κεραμική τέχνη, στην άμμο υγιεινής των κατοικιδίων, στη κατεργασία νερού και λυμάτων κτλ.

1.2 Λατομεία

Στη θέση Βούδια – Πολλώνια (Μήλος) υπάρχουν τρία γειτονικά λατομεία μπετονίτη (Αγγεριά-μεγαλύτερο-, Αγ. Ειρήνη και Κουφή), που ανήκουν στην S&B Βιομηχανικά Ορυκτά. Ο μπετονίτης (μοντμοριλλονίτης) είναι πέτρωμα πλούσιο σε ορυκτά της ομάδας του σηκίτη και προέρχεται από την εξαλλοίωση του ηφαιστειακού τόφφου σε αλκαλικό περιβάλλον [παράκτιο περιβάλλον, ανοικτό υδρολογικό σύστημα]. Ο μπετονίτης της Μήλου είναι Ca-ούχος και όχι Na-ούχος που είναι πιο ενεργός για τις περισσότερες χρήσεις, γι αυτό η εταιρία μετατρέπει τον Ca-ούχο με κατεργασία- ιοντοανταλλαγή με σόδα (~5%) σε Na-ούχο μπετονίτη με ανάμειξη και έκθεση του μίγματος σε ατμοσφαιρικές συνθήκες στις λεγόμενες αυλές.

Η λειτουργία των λατομείων χωρίζεται σε 2 περιόδους, την χειμερινή (Νοέμβριο - Απρίλιο) και την θερινή (Μάιο-Οκτώβριο). Κατά τη χειμερινή περίοδο γίνεται η αποκάλυψη του κοιτάσματος με την απομάκρυνση των στείων υλικών, τα οποία ήταν χωρίς εμπορικό ενδιαφέρον μέχρι πρόσφατα, οπότε αυτά βρήκαν χρήση ως ποττοζολανικά πρόσθετα τσιμέντου.

Για την αποκάλυψη του κοιτάσματος και στην εξόρυξή του, χρησιμοποιούνται εκσκαπτικά μηχανήματα (νύχια - repel). Το ψηλότερο σημείο εξόρυξης είναι τα 120m ενώ το χαμηλότερο στα -30m, ενώ το κοίτασμα συνεχίζει και βαθύτερα, όπου εμφανίζεται εμπλουτισμένο σε ζεόλιθο. Ο μπετονίτης ως αργιλλώδες υλικό είναι αδιαπέρατος όταν βρέχεται. Στο λατομείο, όμως, γίνονται δύο εισροές υπόγειων νερών.

Η μία είναι στην επαφή στείου (διαπερατού) με τον μπετονίτη (αδιαπέρατου), όπου εκδηλώνεται πηγή με σχεδόν γλυκό νερό (Cl- 900ppm) από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Η άλλη εισροή είναι σε υψόμετρο -4m, παροχής 180cm³/h, υφάλμυρου νερού από την ανάμειξη γλυκού με θαλασσινού, προερχόμενο από ρήγμα. Για την αποφυγή των ανεπιθύμητων νερών, η εταιρία κατασκεύασε μικρό φράγμα από μπετονίτη και με ένα υπόγειο κανάλι το νερό διοχετεύεται σε μία πισίνα, όπου φορτώνεται σε βυτία, τα οποία βρέχουν τους δρόμους του λατομείου για την αποφυγή σκόνης.

Η διαδικασία, που ακολουθείται μετά την εξόρυξη του μπετονίτη είναι η εξής: το υλικό διοχετεύεται στον σπαστήρα Shredder με δυνατότητα θραύσης 6000tn/ημέρα. Ο μπετονίτης, όπως έχει προαναφερθεί, είναι αδιαπέρατος στην βροχή και μόνο τα ανώτερα 10cm προσβάλλονται από την βροχή. Το υλικό αυτό μπορεί να ξηραθεί με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκευτεί σε εξωτερικό μέρος. Έτσι ο μπετονίτης τοποθετείται στις «πλατείες» (επίπεδοι μεγάλοι χώροι) αρχικά για πρώτη ξήρανση φυσική (περίπου από 30% υγρασία πέφτει στο 21%) αλλά και για την μετά ανάμειξη των ποιοτήτων (κάθε πλατεία περιέχει όμοιας ποιότητας

μπεντονίτη). Ανάλογα με το ποσοστό μοντμοριλλονίτη στο κοίτασμα προσθέεται ποσοστό σόδας 3 - 4% επί ξηρού. Η περαιτέρω ξήρανση του υλικού γίνεται στον ξηραντήρα μειώνοντας την υγρασία σε τιμή 15 - 9% ανάλογα με το ποσοστό που απαιτεί το προϊόν που πρόκειται να παραχθεί. Η εταιρία έχει την δυνατότητα βιομηχανικής ξήρανσης 850000tn/χρόνο. Τελικά το υλικό φορτώνεται σε καράβια με την σκάλα φόρτωσης στα Βούδια, με ικανότητα φόρτωσης 600tn/h. Σε όλα τα στάδια της βιομηχανικής επεξεργασίας του μπεντονίτη γίνονται 7 ποιοτικοί έλεγχοι για τον προσδιορισμό των φυσικών (ποσοστά υγρασίας), χημικών (ποσότητα Si, SiO₂), φυσικοχημικών (ιξώδες), ειδικών (χυτηρίων) κ.λ.π. ιδιοτήτων.

Οι εξαγωγές μπεντονίτη ανέρχονται σε περίπου 1.000.000 τόνοι/χρόνο. Η συνολική έκταση των ορυχείων μπεντονίτη (συμπεριλαμβανομένων των ορυχείων Α. Χωριού στην ΒΑ Μήλο και Ζούλια) είναι 2804 στρέμματα.



Εικ.1.2 Οι εγκαταστάσεις της εταιρίας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. στα Βούδια

1.3 Κοιτάσματα

Τα κοιτάσματα του μπεντονίτη βρίσκονται συνήθως σε παραθαλάσσιες τοποθεσίες ηφαιστειογενών περιοχών και είναι διατεταγμένα σε ανώμαλες μάζες χωρίς κανένα προσανατολισμό, συχνά κάτω από στρώματα σκληρών χαλικιών. Θεωρείται ότι προέρχεται από την μετατροπή ηφαιστειακών πετρωμάτων και ηφαιστειακής τέφρας, με την επίδραση υδροθερμικών διαλυμάτων που συνοδεύουν την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Προϋπόθεση για το σχηματισμό του είναι το αλκαλικό περιβάλλον.

Μερικά κοιτάσματα της παλαιοζωικής περιόδου ονομάζονται “μεταμπεντονίτες”, από το γεγονός ότι διογκώνονται πολύ λιγότερο και δεν έχουν συνήθως τις κολλοειδείς ιδιότητες των μπεντονιτών της καινοζωικής περιόδου, λόγω της μεταμόρφωσης αυτών (ισόμορφες υποκαταστάσεις, στρεβλώσεις κρυσταλλικών μορίων, προσρόφιση ιόντων κ.α.). Κοιτάσματα μπεντονίτη έχουν βρεθεί σε 35 χώρες. Τα μεγαλύτερα αποθέματα μπεντονίτη βρίσκονται κυρίως στις Η.Π.Α., Ρωσία, Βόρεια Αφρική. Η Ελλάδα αποτελεί τη δεύτερη παραγωγό χώρα στον κόσμο μετά τις Η.Π.Α., με δυναμικό παραγωγής πάνω από 800000 τόνους ανά έτος. Κοιτάσματα βρίσκονται στα νησιά Μήλος και Κίμωλος.

1.4 Προσμίξεις

Οι πιο συνηθισμένες προσμίξεις του μπετονίτη είναι: ιλλίτης, νατρονίτης, καολίνης, αταπουλκίτης, χαλαζίας, άστριοι, ασβεστίτης κ.ά.. καθώς επίσης πυριτική άμμος και μικρές ποσότητες από διάφορες άλλες ανόργανες ενώσεις.

1.5 Χρώματα

Τα διαφορετικά χρώματα που διακρίνονται στα κοιτάσματα οφείλονται σε προσμίξεις. Το χρώμα του μπεντονίτη είναι συνήθως κιτρινο-πράσινο ή γκρι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και οφείλεται στην ύπαρξη τριθενούς σιδήρου (Fe^{3+}), ενώ σε βάθος μεγαλύτερο των 10 μέτρων, το χρώμα γίνεται μπλε-πράσινο και οφείλεται στο γεγονός ότι στα βαθύτερα στρώματα ο σίδηρος εμφανίζεται ως διθενής (Fe^{2+}). Επειδή, η οξείδωση προχωρεί μέσω των ρωγμών του εδάφους, είναι δυνατόν να συναντήσουμε και στα βαθύτερα στρώματα μπεντονίτη με κιτρινο-πράσινο χρώμα.

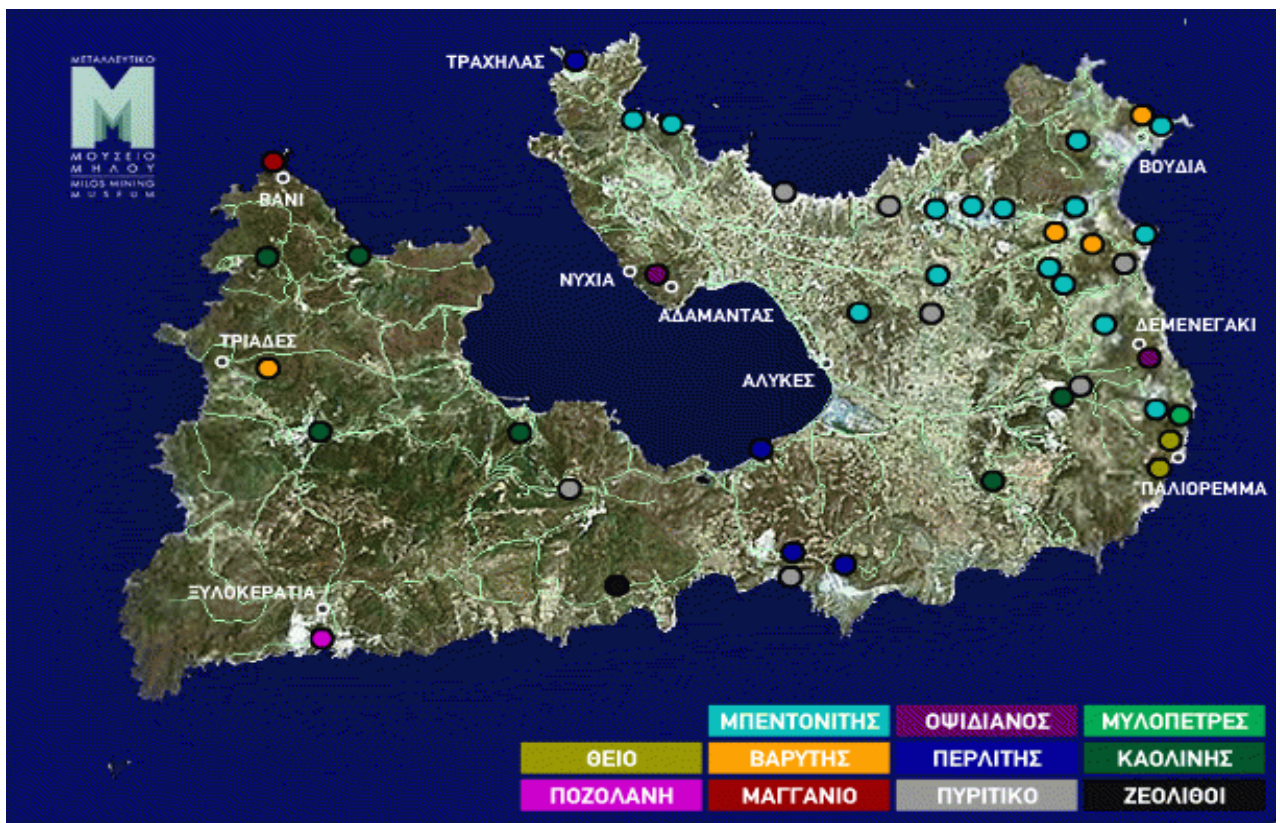
Η αναλογία των ιοντοανταλλακτικών κατιόντων Na/Ca αυξάνεται από τον μπλε προς τον κίτρινο μπεντονίτη, όπως επίσης και η ποιότητά του.

1.6 Εξόρυξη- Ελλάδα

Μήλος

Τα κοιτάσματα της είναι προϊόντα εξαλλοίωσης των προϋπαρχόντων πλούσιων σε άστριους ηφαιστειακών πετρωμάτων (δακίτες, ανδεσίτες, πυροκλαστικά ιζήματα). Τα περισσότερα από τα κοιτάσματα βρίσκονται στην αρχική θέση του μητρικού πετρώματος, γεγονός που εξηγεί την ύπαρξη υπολειμμάτων του μητρικού πετρώματος μέσα σε αυτά. Τα κοιτάσματα συνδέονται με συστήματα ρηγμάτων τα οποία προφανώς λειτούργησαν ως δίοδοι για τα γεωθερμικά διαλύματα και αέρια. Δύο παράγοντες συμβάλλουν στην εξαλλοίωση των ηφαιστειακών πετρωμάτων.

Αφενός, τα ηφαιστειακά πετρώματα που είναι αρκετά πλούσια σε αργίλιο και πυρίτιο, τα οποία αποτελούν τα κύρια συστατικά των αστρίων και της ηφαιστειακής ύαλου και αφετέρου οι μεταβολές της οξύτητας των ανερχόμενων επιφανειακά υδροθερμικών διαλυμάτων, οι οποίες προκαλούνται από τον εμπλουτισμό τοπικά των διαλυμάτων σε ιόντα Na^+ , K^+ και Ca^{2+} . Για $\text{pH} > 7$ σχηματίζεται ο μπεντονίτης και ελευθερώνονται ιόντα Ba^{2+} .



Εικ.1.3 τοποθεσίες εξόρυξης προϊόντων

1.7 Σχηματισμός

Υπάρχουν διάφορες γενετικές διεργασίες οι οποίες καταλήγουν στο σχηματισμό των αργιλικών ορυκτών. Κύριοι παράγοντες που επιδρούν στη διαδικασία της “μπεντονιτίωση” θεωρούνται οι εξής:

- Το μητρικό πέτρωμα (γρανίτες, γνεύσιοι, ηφαιστείτες κλπ.) πλούσιο σε αργίλιο και πυρίτιο.
- Το περιβάλλον της γένεσης: κρυστάλλωση σε κοιλότητες μέσα σε άλλο πέτρωμα, εξαλλοίωση του μητρικού υλικού που έχει εναποτεθεί σε νερό, εξαλλοίωση ενός αρχικού πυριτικού κρυσταλλικού πετρώματος, υδροθερμική αργιλοποίηση (νερό θερμαινόμενο από υπόγειες πηγές), εξαλλοίωση ενός αργιλικού μητρικού πετρώματος, ίζηματογενής απόθεση του ορυκτού του σμεκτίτη κ.α.

- Η ενέργεια (θερμική ή χημική) των υπογείων και επιφανειακών νερών.
- Ο χρόνος δράσης της μπεντονιτίωσης και
- Γεωχημικές διεργασίες που επιδρούν στην ανάπτυξη της δομής των αργιλικών ορυκτών.

Τα **αργιλικά ορυκτά** σχηματίζονται κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες :

- Βάθος που κυμαίνεται από 0-5 km μέσα στον ηπειρωτικό φλοιό. Ο σχηματισμός δύναται να λάβει χώρα υπό την επίρεια θερμού νερού (υδροθερμικού) ή ψυχρού νερού (κατερχόμενου νερού)
- Στην επιφάνεια του εδάφους του ηπειρωτικού φλοιού, είτε ως ένα πρωταρχικό ανόργανο επιφανειακό προϊόν διάβρωσης είτε μέσα στο έδαφος σε σχέση με τη βιόσφαιρα.
- Στην υδρόσφαιρα (λίμνες, θάλασσες, ωκεανούς).



Εικ.1.4 Καολίνης

1.8 Κατηγορίες του μπεντονίτη

Κατηγορίες του μπεντονίτη ανάλογα με το αν το υπό ανταλλάξιμη μορφή κατιόν στο μοντμοριλλονίτη είναι το ιόν του νατρίου (Na^+) ή το ιόν του ασβεστίου (Ca^{2+}), οι φυσικοί μπεντονίτες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- τους **νατριούχους μπεντονίτες** ή ισχυρά διογκούμενους μπεντονίτες, οι οποίοι προσροφούν ικανές ποσότητες νερού και διογκώνονται μέχρι και το 20-πλάσιο του αρχικού ξηρού όγκου τους. Σε περίσσεια ύδατος οι μπεντονίτες αυτοί παραμένουν ως αιωρήματα. Έχει την υψηλότερη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC). Όσο μεγαλύτερη είναι η CEC τόσο μεγαλύτερο τα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και τόσο μεγαλύτερη η απορροφησιμότητα που παρουσιάζει στις τοξίνες και τα βαρέα μέταλλα. Ο νατριούχος μπεντονίτης "πρήζεται" περισσότερο και απορροφά μεγαλύτερες ποσότητες τοξινών.
- τους **ασβεστούχους μπεντονίτες** (εδώ ανήκουν και οι καλιούχοι μπεντονίτες) ή μη διογκούμενους μπεντονίτες ή "μετα-μπεντονίτες", οι οποίοι προσροφούν μεν περισσότερο νερό από άλλες αργίλους, δεν διογκώνονται όμως σε αξιόλογο βαθμό και καθιζάνουν γρήγορα στο νερό. Παρόλο που δεν είναι τόσο ισχυρό αποτοξινωτικό, όσο ο νατριούχος, είναι πιο κατάλληλος για τον εφοδιασμό του οργανισμού με μεταλλικά στοιχεία. Τα μόρια του ασβεστούχου μπεντονίτη είναι πιο μικρά και μπορούν και περνούν από το έντερο στη κυκλοφορία του αίματος. Εκεί ψάχνουν για τοξίνες και όταν τις βρουν τις αντικαθιστούν με ιχνοστοιχεία και μέταλλα. Επιπλέον παρέχει με μεγάλη ευκολία ασβέστιο στα οστά.

Οι **νατριούχοι μπεντονίτες** παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά ως προς τη διογκωσιμότητα, τη διασπορά, τη συνδετική ικανότητα, το ιξώδες κλπ., σε σχέση με τους ασβεστούχους. Τα υδατικά διαλύματα/αιωρήματα των νατριούχων μπεντονιτών επιδεικνύουν θιξοτροπικό και ζελατινοειδή χαρακτήρα, ακόμα και όταν η περιεκτικότητά τους σε στερεά φάση είναι χαμηλή. Αυτό συμβαίνει διότι τα κατιόντα νατρίου που βρίσκονται στο διαστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη, δεδομένου ότι είναι μονοσθενή, δεσμεύουν μόνο ένα από τα υπάρχοντα στο χώρο αυτό, ελεύθερα αρνητικά σθένη. Αντίθετα, τα κατιόντα ασβεστίου, ως δισθενή, δεσμεύουν δύο αρνητικά σθένη, τα οποία συνήθως βρίσκονται σε διαφορετικά στρώματα. Έτσι τα κατιόντα του νατρίου που είναι δεσμευμένα σε ένα μόνο στρώμα, παρέχουν ελευθερία κίνησης στα αργιλικά σωματίδια και συνεπώς προσδίδουν καλύτερη διασπορά, ιξώδες κ.α., ενώ τα κατιόντα του ασβεστίου που

συνήθως συνδέουν μεταξύ τους ζεύγη στρωμάτων, συντελούν στην κροκίδωση του αργαλικού υλικού.

Οι μπεντονίτες οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο ή μαγνήσιο και χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο, χαρακτηρίζονται ως “μπεντονίτες χαμηλής ποιότητας. Οι ιδιότητες αυτών των μπεντονιτών βελτιώνονται με ανταλλαγή των προσροφημένων από αυτούς ιόντων Ca^{2+} ή Mg^{2+} με ιόντα Na^{+} . Καθώς το κατιόν του νατρίου έχει μικρή ιοντική ακτίνα εισχωρεί με ευκολία στα κρυσταλλικά επίπεδα του μοντοριλλονίτη. Η επεξεργασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η αντικατάσταση των ανεπιθύμητων κατιόντων με επιθυμητά, καλείται “ενεργοποίηση του μπεντονίτη”.

Για την ενεργοποίηση του μπεντονίτη με νάτριο, πρακτικά χρησιμοποιείται μόνο ανθρακικό νάτριο, το οποίο σε σύγκριση με άλλες ενώσεις νατρίου έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλό κόστος, καλή διαλυτότητα στο νερό, σχετικά χαμηλή οξειδωση και υψηλές αποδόσεις ενεργοποίησης.

Υπάρχουν **τρεις μέθοδοι** για την ενεργοποίηση του μπεντονίτη με νάτριο:

1. Η ξηρή μέθοδος, κατά την οποία ο ξηρός μπεντονίτης αλέθεται μαζί με ανθρακικό νάτριο και η ενεργοποίηση επέρχεται ως επί το πλείστον κατά τη χρήση του,

2. Η υγρή μέθοδος, όταν ο μπεντονίτης με την προσθήκη υδατικού διαλύματος ανθρακικού νατρίου έρχεται στη μορφή πλαστικής μάζας-πάστας και η ενεργοποίηση λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, και

3. Η ενεργοποίηση με υγρό διάλυμα, όταν το ανθρακικό νάτριο προστίθεται σε αιώρημα μπεντονίτη και η ενεργοποίηση συμβαίνει στο διάλυμα.

Χρειάζεται προσοχή, ώστε να μην είναι ούτε υπερενεργοποιημένος ούτε υποενεργοποιημένος ο μπεντονίτης, διότι χάνει ένα μεγάλο μέρος από τις πολύτιμες ιδιότητές του.

Μεταξύ των δύο κατηγοριών στη φύση υπάρχουν πολλές ενδιάμεσες μεταβατικές μορφές. Η διαφορά τους οφείλεται κυρίως στη σχέση των περιεχομένων οξειδίων του αργιλίου προς τα αλκάλια. Όσο περισσότερα αλκάλια περιέχει ένας μπεντονίτης, γεγονός που σημαίνει αντίστοιχη μείωση των οξειδίων του Al, του Fe κλπ, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα διόγκωσης του.

Πίνακας: Στο πίνακα δίνονται χημικές αναλύσεις φυσικών μπετονιτών διαφόρων προελεύσεων. Ο πρώτος τύπος, μπετονίτης “Wyoming” των Η.Π.Α., χαρακτηρίζεται ως Na-ούχος μπετονίτης (Na₂O=2.59%, CaO=0.52%), ενώ όλοι οι άλλοι είναι Ca-ούχοι μπετονίτες (CaO:0.96-2.64%, Na₂O:0.08-0.72%).

Σε ξηρό δείγμα	Η.Π.Α. Wyoming	Η.Π.Α. Mississippi	Ιταλία Ponze	Γερμανία Mossburg	Μήλος (Κώμια)	Μήλος (Τρογαλάς)
SiO ₂	64.32	64.00	67.42	59.42	67.46	69.68
Al ₂ O ₃	20.74	17.10	15.83	19.08	16.10	17.09
FeO + Fe ₂ O ₃	3.49	4.70	0.88	4.64	3.60	2.16
TiO ₂	0.14	-	-	0.26	0.26	0.20
CaO	0.52	1.50	2.64	2.14	2.62	0.96
MgO	2.30	3.80	1.09	4.72	1.40	2.18
Na ₂ O	2.59	0.20	0.30	0.08	0.72	0.44
H ₂ O	0.39	0.50	0.79	0.36	0.87	0.44
P ₂ O ₄	0.01	-	-	ίχνη	ίχνη	ίχνη
SO ₃	0.35	-	0.01	ίχνη	0.32	0.87
Απώλεια Πύρωσης	5.14	8.00	10.88	9.04	6.40	5.05
Σύνολο	99.99	99.80	99.84	99.74	99.75	100.09

1.9 Ιδιότητες μπεντονίτη

Η περιεκτικότητα του μπεντονίτη σε μοντμοριλλονίτη είναι αυτή που καθορίζει και τις ιδιότητές του. Αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: **(α)** ιδιότητες που απορρέουν από τη κρυσταλλογραφία του μπεντονίτη, όπως η συνδετική ισχύς, η ικανότητα προσρόφησης, η διασπορά, οι ρεολογικές, πληρωτικές και ηλεκτροστατικές ιδιότητες και **(β)** ιδιότητες που απορρέουν από τη φυσικοχημική του σύνθεση, οι οποίες είναι η ιοντοανταλλακτική ικανότητα και οι καταλυτικές ιδιότητες.

Σημαντικότερες ιδιότητες:

Προσροφητική ικανότητα:

Κάθε μόριο του μοντμοριλλονίτη αποτελείται από αρκετές τριεδρικές δομές και έτσι χαρακτηρίζεται από μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, οποία είναι και ο φορέας της σημαντικής προσροφητικής ικανότητας των μοντμοριλλονιτών. Η επιφάνεια του μοντμοριλλονίτη προσροφά με εκλεκτικό τρόπο μικρά πολικά μόρια και στην εξωτερική και στην εσωτερική του επιφάνεια. Μη πολικά μόρια προσροφούνται μόνο από την εξωτερική επιφάνεια. Ο μοντμοριλλονίτης, ο οποίος έχει μικρό μέγεθος σωματιδίων και κατά συνέπεια μεγάλη ειδική επιφάνεια, δύναται να προσροφήσει μεγάλες ποσότητες νερού.

Κατά τη διαδικασία της προσρόφησης συντελείται παγίδευση μορίων της υγρής φάσης στην επιφάνεια επαφής με τη στερεή φάση. Τα προσροφούμενα μόρια δημιουργούν ένα μονομοριακό ή ένα πολυμοριακό στρώμα στην επιφάνεια της στερεής φάσης και η συγκράτηση των μορίων στην επιφάνεια οφείλεται σε δυνάμεις Van der Waals ή σε κορεσμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων της επιφάνειας της στερεής φάσης. Στην πρώτη περίπτωση λαμβάνει χώρα φυσική προσρόφηση, η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή ενέργεια δεσμών, ενώ στη δεύτερη χημική προσρόφηση, οι δεσμοί της οποίας είναι πιο σταθεροί, λόγω των επιφανειακών δράσεων. Η προσρόφηση λαμβάνει χώρα τόσο στην επιφάνεια όσο και στον ενδοστρωματικό χώρο. Τα μόρια του νερού διεισδύουν μεταξύ των κρυστάλλων του μοντμοριλλονίτη προκαλώντας διόγκωση του πλέγματος. Το νερό αυτό συγκρατείται πιο σταθερά σε σχέση με αυτό που σχετίζεται με την εξωτερική επιφάνεια και απαιτεί αρκετά υψηλές θερμοκρασίες για να εκροφηθεί. Στην περίπτωση που ο μοντμοριλλονίτης κορεσθεί με την επίδραση διαφόρων βάσεων, θα προσροφά διαφορετικές ποσότητες νερού ανάλογα με την ευκολία υδάτωσης των κατιόντων.

Το ποσοστό του νερού που προσροφάται από το μοντμοριλλονίτη είναι μεγάλο, λόγω των ασθενών δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των διαδοχικών του στρωμάτων και εξαρτάται από το είδος, το μέγεθος και το σθένος του ανταλλάξιμου κατιόντος που βρίσκεται δεσμευμένο στο διαστρωματικό του χώρο καθώς και από το μέγεθος και τη θέση του φορτίου των διαδοχικών φύλλων του πυριτίου.

Τρεις παράγοντες επιδρούν στην προσρόφηση μορίων νερού από τους σμεκτίτες:

- Το μέγεθος της αρνητικής φόρτισης στο διαστρωματικό χώρο. Η τελική αρνητική φόρτιση καθώς και η προέλευση αυτής παίζουν σημαντικό ρόλο στα σημεία εντόπισης των κατιόντων στην επιφάνεια των στρωμάτων.
- Τα ανταλλάξιμα κατιόντα μεταξύ των επιφανειών του διαστρωματικού χώρου που εξισορροπούν την ολική αρνητική φόρτιση στην επιφάνεια του στρώματος.
- Την αλληλεπίδραση των μορίων του νερού με τα ανταλλάξιμα κατιόντα και την επιφάνεια του διαστρωματικού χώρου του ορυκτού.

Ιοντοανταλλακτική ικανότητα:

Η ισόμορφη υποκατάσταση του τρισθενούς Al^{3+} έναντι του τετραθενούς Si^{4+} στα τετράεδρα ή του δισθενούς Mg^{2+} αντί του τρισθενούς Al^{3+} στα οκτάεδρα προσδίδει αρνητικό φορτίο στο μοντμοριλλονίτη. Το αρνητικό αυτό φορτίο εξισορροπείται από ευκίνητα κατιόντα που είναι χαλαρά συνδεδεμένα με δυνάμεις Coulomb στην επιφάνεια των πυριτικών επιπέδων, με συνέπεια να μπορούν να εναλλάσσονται με άλλα κατιόντα ενός διαλύματος. Τα πιο συνήθη ανταλλάξιμα κατιόντα είναι αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}), νατρίου (Na^{+}) και υδρογόνου (H^{+}). Η κατιοντοανταλλαγή εξαρτάται από τη συγκέντρωση των κατιόντων στο διάλυμα και τις ιδιότητες των εναλλασσόμενων ιόντων (μέγεθος, ακτίνα ενυδάτωσης). Σε ισχυρά όξινο περιβάλλον, όλα τα κατιόντα που έχουν δυνατότητα εναλλαγής θα αντικατασταθούν από ιόντα H^{+} . Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα του μπεντονίτη επιδρά και στη συνοχή του μορφοποιημένου αργιλικού υλικού, επηρεάζοντας την ανάπτυξη των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των αργιλικών κόκκων. Τα ανταλλάξιμα ιόντα συνδέονται άμεσα με τη διογκωσιμότητα των σμεκτιτών. Στις περιπτώσεις που ανταλλάξιμα ιόντα είναι αυτά του ασβεστίου και μαγνησίου, οι μπεντονίτες διασπείρονται και διογκώνονται πολύ λιγότερο, ακόμα και όταν ενυδατωθούν πλήρως.

Άλλες ιδιότητες

Η θιξοτροπία είναι μια ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα αργιλικά ορυκτά που έχουν μικρό μέγεθος, όπως ο μοντμοριλλονίτης. Κατά την ανάμιξη του μπεντονίτη με περίσσεια νερού σχηματίζεται ένα αιώρημα, το οποίο μετά από σύντομο χρονικό διάστημα γίνεται πυκνότερο σχηματίζοντας ένα πήκτωμα. Το πήκτωμα ρέει υπό κλίση, εάν όμως μετακινηθεί, μετατρέπεται ξανά σε αιώρημα. Αυτή η μετατροπή από την υγρή στη στερεά κατάσταση είναι δυνατό να επαναλαμβάνεται. Η θιξοτροπική ιδιότητα του μπεντονίτη αφορά στο γεγονός ότι τα αιωρούμενα αργιλικά ορυκτά σταδιακά λαμβάνουν τέτοιες θέσεις, ώστε να σχηματίζουν ένα σκελετό.

Ο σχηματισμός αυτός γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε τα μόρια του νερού να εγκλωβίζονται στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στα αργιλικά ορυκτά και να μην μπορούν να κινηθούν ελεύθερα. Κάθε χτύπημα μπορεί να χαλάσει το σκελετό και έτσι το αιώρημα μπορεί να κινηθεί και πάλι ελεύθερα. Η προσθήκη μικρής ποσότητας μπεντονίτη σε νερό συνεπάγεται διαχωρισμό και διασπορά των κρυστάλλων, λόγω των χημικών και ενυδατικών ιδιοτήτων του. Το μικρό μέγεθος των κρυστάλλων σε συνδυασμό με το υπάρχον ηλεκτρικό φορτίο προκαλεί αμοιβαία απόθεση των σωματιδίων και έτσι δημιουργείται μια κατάσταση, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως κολλοειδής. Η προσθήκη μπεντονίτη σε νερό με αναλογία 5-6% οδηγεί στη δημιουργία ρευστού με μεγάλο ιξώδες, δηλαδή μεγάλη αντίσταση στη ροή.

Τα κοιτάσματα του μπεντονίτη παρουσιάζονται με ποικίλα χρώματα, όπως λευκό σταχτί, κίτρινο, πράσινο, κιτρινοπράσινο, μαύρο κλπ., ανάλογα με την προέλευση και τη χημική τους σύσταση. Κιτρινοπράσινο ή γκρι χρώμα χαρακτηρίζει, συνήθως τα επιφανειακά στρώματα του ορυκτού, λόγω της ύπαρξης τρισθενούς σιδήρου (Fe^{3+}). Ο μπεντονίτης κοντά στην επιφάνεια παρουσιάζεται σε κυψελώδη μορφή που οφείλεται στις αλληπάλληλες διογκώσεις και αποδιογκώσεις κατά τις περιόδους των βροχών και της ξηρασίας, αντίστοιχα. Τα κοιτάσματα του μπεντονίτη στους βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς έχουν συνήθως κηρώδη μορφή και το χρώμα του μεταβάλλεται σε μπλε-πράσινο, καθώς ο σίδηρος απαντάται ως δισθενής (Fe^{2+}).

1.10 Παραγωγή μπετονίτη

Ο καλύτερης ποιότητας φυσικός νατριούχος μπεντονίτης παράγεται στις δυτικές Η.Π.Α. σε μια περιοχή μεταξύ των Black Hills της νότιας Dakota και Big Horn Basin στο Wyoming. Ο μπεντονίτης που παράγεται στις Ελλάδα, Αυστραλία, Ρωσία, Ινδία και Ουκρανία είναι νατριοασβεστούχος. Η S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. αποτελεί το σημαντικότερο παραγωγό μπεντονίτη στον ελλαδικό χώρο, με κέντρο παραγωγής τα ορυχεία της Μήλου. Αποτελεί τη σήμερα μεγαλύτερη παραγωγό εταιρία στην Ευρώπη, καθώς και τη μεγαλύτερη εξαγωγική εταιρία μπεντονίτη στον κόσμο, με πωλήσεις μεγαλύτερες του 1 Mt ανά έτος. Εκμεταλλεύεται κοιτάσματα που βρίσκονται στη Βαυαρία, τη Βουλγαρία, τη Γεωργία και την Ουγγαρία. Ο Όμιλος S&B απαρτίζεται από θυγατρικές και συνδεδεμένες εταιρίες, με ορυχεία, εργοστάσια, εγκαταστάσεις και κέντρα διανομής σε περισσότερες από 20 χώρες (Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία, Βουλγαρία, Ουγγαρία, ΗΠΑ, Κίνα, Βραζιλία, Ινδία, Κορέα). Οι πωλήσεις μπεντονίτη κατευθύνονται στο εξωτερικό καλύπτοντας όλη την ευρωπαϊκή αγορά και σημαντικές αγορές της Αμερικής (ΗΠΑ, Καναδά, Βραζιλία). Άλλες αγορές στις οποίες το προϊόν έχει σημαντική παρουσία είναι εκείνες της Ανατολικής Μεσογείου, της Ρωσίας και φυσικά της Ελλάδας.

1.11 Εφαρμογές μπεντονίτη

Η ποικιλία των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του μπεντονίτη, οι οποίες είναι είτε εγγενείς είτε διαμορφώνονται μετά από κατάλληλη επεξεργασία, συντελούν στη χρήση του σε ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών εφαρμογών. Οι χρήσεις του μπορούν να διαχωριστούν σε συμβατικές και ειδικές. Στις συμβατικές χρήσεις διοχετεύεται το μεγαλύτερο ποσοστό του παραγόμενου μπεντονίτη, ενώ στις ειδικές χρήσεις κατατάσσονται οι πιο εξειδικευμένες χρήσεις, κάποιες από τις οποίες μπορεί να βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο.

Συμβατικές εφαρμογές

Χυτήρια: Στα χυτήρια χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι χύτευσης των μετάλλων. Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται σε μίγματα προϊόντων άνθρακα και άλλων πρόσθετων υλικών και δρα ως συνδετικό υλικό της άμμου στην κατασκευή καλουπιών. Αναμιγνύεται με χαλαζιακή άμμο και νερό με σκοπό να καταστήσει την άμμο πλαστική και συνεκτική, ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί γύρω του ένα πρότυπο και να κατασκευαστούν εκμαγεία συγκεκριμένων διαστάσεων και σχήματος που προορίζονται κυρίως για την παραγωγή εξαρτημάτων αυτοκινήτων, βιομηχανικών και γεωργικών μηχανημάτων κ.α. Το σύστημα μπεντονίτη και νερού λειτουργεί ως λειαντικό, ελαττώνοντας την τριβή μεταξύ των κόκκων της άμμου. Οι ιδιότητες των μπεντονιτών, οι οποίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη χύτευση των μετάλλων είναι η υγρή και ξηρή αντοχή σε συμπίεση, η υγρή αντοχή σε εφελκυσμό, η αντοχή σε συμπίεση σε υψηλές θερμοκρασίες και η ρευστότητα του μίγματος αργίλου-άμμου-νερού.

Τεχνικά έργα: Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως θιξοτροπικό πρόσθετο, υποστηρικτικό και λιπαντικό μέσο σε διαφραγματικά τοιχώματα και θεμελιώσεις σε σήραγγες καθώς και σε διάνοιξη μικροσηράγγων με τη μέθοδο προώθησης σωλήνων. Βρίσκει εφαρμογή στην παρασκευή ρευστοκονιάματος για τη συγκόλληση ρωγμών και ασυνεχειών πετρωμάτων και εδαφών. Ο μπεντονίτης συνιστάται ως υλικό στεγανοποίησης στην κατασκευή και αποκατάσταση χώρων ταφής απορριμμάτων αλλά και ως υλικό χαμηλής διαπερατότητας για τη στεγανοποίηση της βάσης και της επικάλυψης των χωματερών. Στον τομέα των οικοδομικών υλικών χρησιμοποιείται στις κονίες γρήγορης πήξης, παρεμποδίζοντας την πήξη του κονιάματος μέσα στην μπετονιέρα καθώς και για τη μεταφορά έτοιμου τσιμέντου. Οι χρήσεις του αυτές σχετίζονται με τις συνδετικές του ιδιότητες, τις ιδιότητες πλήρωσης, τη θιξοτροπία, το ιξώδες, τη στεγανότητα και την ελαστικότητα που διαθέτει.

Γεωτρήσεις πετρελαίου: Ο ρόλος του μπεντονίτη στις γεωτρήσεις είναι, κατά κύριο λόγο, στην παραγωγή της θιξοτροπικής ιλύος (drilling mud) που δρα σαν λιπαντικό και στεγανοποιεί τα τοιχώματα της γεώτρησης. Χρησιμοποιείται, επίσης στον καθαρισμό των τοιχωμάτων αυτών. Οι φυσικές ιδιότητες του μπεντονίτη που εκμεταλλεύεται η βιομηχανία πετρελαίου είναι το ιξώδες και η θιξοτροπία.

Σφαιροποίηση: Ο μπεντονίτης, λόγω της συνδετικής του ικανότητας και της δυνατότητας να δημιουργεί νέες κρυσταλλικές φάσεις, χρησιμοποιείται ευρέως στη σφαιροποίηση (pelletizing) του κονιοποιημένου σιδηρομεταλλεύματος και άλλων λεπτόκοκκων υλικών. Ο εμπλουτισμός των λεπτόκοκκων σιδηρομεταλλευμάτων απαιτεί μείωση του μεγέθους των κόκκων σε σημείο που να είναι δυνατή η απομάκρυνση των προσμίξεων. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του μπεντονίτη, που λειτουργεί ως συνδετικό υλικό, το σιδηρομετάλλευμα σφαιροποιείται. Τα σφαιρίδια χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη τροφοδοσίας των υψικαμίνων για την παραγωγή χυτοσιδήρου ή χάλυβα. Προτιμώνται οι νατριούχοι μπεντονίτες γιατί μπορούν να σχηματίσουν ανθεκτικά σφαιρίδια, με την απαιτούμενη υγρή και ξηρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.

Δέσμευση ραδιενεργών αποβλήτων: Η χρήση του μπεντονίτη στη τεχνολογία απομάκρυνσης υψηλά ραδιενεργών αποβλήτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Καταρχήν, από μηχανικής απόψεως, συγκρατεί τα δοχεία με τα ραδιενεργά απόβλητα στη θέση τους και εμποδίζει την κατάρρευση της εκσκαφής. Λόγω της πλαστικής παραμόρφωσης, την οποία παρουσιάζει, είναι δυνατή η ανακατανομή των πιέσεων που μπορεί να προκύψουν από τη θραύση του πετρώματος και η παρεμπόδιση της μετάδοσης των πιέσεων στα δοχεία. Κατά δεύτερον, απαιτείται η υψηλή υδατοστεγανότητα του μπεντονίτη ώστε να περιορίζεται και να επιβραδύνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η πρόσβαση του νερού στα δοχεία. Τα δοχεία με τα απόβλητα διαβρώνονται πολύ αργά και διατηρούνται ως έχουν τουλάχιστο για χίλια χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος, η τοξικότητα των υψηλά ραδιενεργών αποβλήτων ελαττώνεται στο 1% της αρχικής τους τιμής. Η πολύ χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα του συμπαγούς μπεντονίτη, εξασφαλίζει ότι τα ραδιενεργά ακτίνια μπορούν να φτάσουν το περιβάλλον πέτρωμα μόνο μέσω διάχυσης από το στρώμα του μπεντονίτη. Αυτή η διάχυση γίνεται με ανταλλαγή κατιόντων εντός του μοντιμοριλλονίτη, μια διαδικασία που υπολογίστηκε ότι ανεβάζει το χρόνο που χρειάζονται τα ακτίνια να διαπεράσουν το στρώμα του μπεντονίτη σε 104-106 χρόνια. Η τοξικότητα των περιεχομένων αποβλήτων μετά από αυτό το χρονικό διάστημα αντιστοιχεί σε αυτή των φυσικών κοιτασμάτων ουρανίου.

Ειδικές εφαρμογές

Τεχνολογία κεραμικών: Η προσθήκη μπεντονίτη σε κεραμικά υλικά αυξάνει την πλαστικότητα, το συντελεστή θραύσης και την ομοιογένειά τους και οδηγεί σε ομοιόμορφο στέγνωμα χωρίς τη δημιουργία ρωγμών. Μεγάλη περιεκτικότητα του κεραμικού σε μπεντονίτη μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση του χρώματος, δεδομένου ότι ο μπεντονίτης περιέχει σίδηρο, ο οποίος σε υψηλές θερμοκρασίες σχηματίζει σκούρα καφέ υαλώματα.

Βιομηχανία χαρτιού: Η κύρια χρήση του μπεντονίτη σε αυτόν τον τομέα συνίσταται στην παρασκευή ειδικών χαρτιών ανατύπωσης, χωρίς άνθρακα. Βοηθώντας στην απομάκρυνση ινών, χρωμάτων, ρητινών και άλλων ανεπιθύμητων ουσιών από το χαρτοπολτό, συμβάλλει στη βελτίωση των ιδιοτήτων του χαρτιού. Επίσης, σε συνδυασμό με πολυμερή χρησιμοποιείται στη βελτίωση της συνοχής των συστατικών του πολφού αλλά και στον καθαρισμό του κυκλώματος του νερού με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του στη διαδικασία. Επιπλέον βρίσκει εφαρμογή στην επεξεργασία των τελικών αποβλήτων της μονάδας, επιτυγχάνοντας τη μείωση του ρυπαντικού τους φορτίου (BOD, COD).

Γεωργία: Οι μπεντονίτες και κυρίως οι ασβεστούχοι, χρησιμοποιούνται ως ρυθμιστές της οξύτητας των εδαφών και έχουν τη δυνατότητα λόγω της ικανότητας κατακράτησης νερού να διατηρούν την υγρασία σε ξηρά και αμμώδη εδάφη με σκοπό την αξιοποίησή τους. Μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην εξυγίανση μολυσμένων εδαφών, δεσμεύοντας ορισμένα βαρέα μέταλλα και παρεμποδίζοντας έτσι την απορρόφησή τους από τα φυτά, καθώς και στην ελεγχόμενη δέσμευση ζιζανιοκτόνων. Η εφαρμογή του ως βελτιωτικό μέσο συμβάλλει στην αυξημένη απόδοση των καλλιεργειών, τη μικρότερη κατανάλωση νερού κατά την άρδευση και την ελάττωση της προσθήκης χημικών λιπασμάτων. Ερευνάται η δυνατότητα χρήσης των μπεντονιτών στην πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών· η τοποθέτησή τους σε βάθος μπορεί να δημιουργήσει ένα προστατευτικό στρώμα, το οποίο αντιστέκεται στη διείσδυση των υπογείων διαβρωτικών ή υφάλμυρων νερών.

Αποχρωματισμός - κατεργασία τροφίμων: Οι μπεντονίτες με ανταλλάξιμα κατιόντα αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}) και του μαγνησίου (Mg^{2+}) χρησιμοποιούνται για τον αποχρωματισμό ζωικών και φυτικών λιπών, πετρελαιοειδών και λιπαντικών, παραφινών και άλλων ουσιών. Οι όξινα ενεργοποιημένοι μπεντονίτες, λόγω της αυξημένης ειδικής τους επιφάνειας και της εκλεκτικής προσροφητικής τους ικανότητας, είναι αποτελεσματικοί στον αποχρωματισμό, την απόσπηση, την αφυδάτωση και εξουδετέρωση βρώσιμων ελαίων ζωικής και φυτικής προέλευσης. Χρησιμοποιούνται, επίσης για τον αποχρωματισμό κρασιού, ξυδιού, μπύρας, χυμών, ποτών και

μελιού.

Προϊόντα οικιακής χρήσης: Ο μπεντονίτης βρίσκει εφαρμογή ως άμμος υγιεινής κατοικίδιων ζώων και τείνει τα τελευταία χρόνια να αντικαταστήσει άλλα προσροφητικά υλικά.

Το σημαντικό πλεονέκτημά του είναι ότι απορροφά τα απορρίμματα σχηματίζοντας σβώλους που μπορούν να απομακρυνθούν με ευκολία, επιτρέποντας έτσι την επαναχρησιμοποίηση της υπόλοιπης άμμου. Άλλες εφαρμογές του μπεντονίτη σε προϊόντα οικιακής χρήσης είναι για τη σταθεροποίηση γαλακτωμάτων στα καλλυντικά, στην παρασκευή κρεμών, αλοιφών, σα μαλακτικό στα απορρυπαντικά κλπ.

Καθαρισμός υδάτων: Λόγω της προσροφητικής και ιοντοανταλλακτικής του ικανότητας, ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως μέσο αποσκλήρυνσης του νερού. Σε συνδυασμό με θεικό αργίλιο συμβάλλει στη διαύγαση πόσιμου νερού και αποβλήτων. Το θεικό αργίλιο κροκιδώνει τον μπεντονίτη που έχει ήδη απορροφήσει τοξικές και κολλοειδείς ενώσεις που δε θα μπορούσαν να κατακαθίσουν με άλλον τρόπο. Μπορεί να μειώσει περίπου κατά 50% την περιεκτικότητα φθορίου στο πόσιμο νερό. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός ως ίζηματοποιητής για την απομάκρυνση μικροβίων, βακτηρίων και ιών από την υδατική φάση. Ειδικά οι νατριούχοι μπεντονίτες προτιμώνται για τον καθαρισμό υδάτων που περιέχουν διάφορους τύπους βιομηχανικών ελαίων και οργανικών ρυπαντών.

Βιομηχανία χρωμάτων: Οι μπεντονίτες δρουν ως φορείς αιώρησης και διόγκωσης και η δομή του πηκτώματος που σχηματίζουν θεωρείται ότι βελτιώνει την εξάπλωση του χρώματος στις διάφορες επιφάνειες, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τη διείσδυση του χρώματος σε πορώδεις επιφάνειες. Οι οργανόφιλοι μπεντονίτες που έχουν υποστεί κατεργασία με αλκυλαμίνες είναι υδρόφοβοι και χρησιμοποιούνται στην παρασκευή ειδικών ανθεκτικών χρωμάτων και βερνικιών.

1.12 Κύριες χρήσεις του μπεντονίτη

Αγορές	Κύριες Χρήσεις
Χυτήρια	Συνδετικό υλικό της άμμου καλουπιών χυτηρίων
Παραγωγή Σιδήρου	Συνδετικό υλικό στη σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος
Έργα Πολιτικού Μηχανικού	Θιξοτροπικό πρόσθετο για θεμελιώσεις, σήραγγες και εκσκαφές Στεγανοποίηση χωματερών
Γεωτρήσεις Πετρελαίου	Λειαντικό των γεωτρύπανων, στεγανοποιητικό των τοιχωμάτων της γεώτρησης
Προσροφητικά Υλικά	Άμμος υγιεινής κατοικιδίων ζώων
Βιομηχανία Χάρτου	Βοηθητικό στην παραγωγή χάρτου, την απομελάνωση χάρτου από ανακύκλωση και στα αυτογραφικά χαρτιά
Ειδικές Εφαρμογές	Κατεργασία υδάτων και αποβλήτων, κεραμικά, βιομηχανίες ποτών, χημικές βιομηχανίες

1.13 Περιβαλλοντικές χρήσεις του μπεντονίτη

Αγορές	Κύριες Χρήσεις
Στεγανοποίηση χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων	Λόγω της υδατοστεγανότητας του μπεντονίτη, ελαχιστοποιείται η πιθανότητα μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα από το ρυπαντικό φορτίο των απορριμμάτων. Επίσης, λόγω της διογκωσιμότητάς του εξασφαλίζεται η πλήρωση των ρωγματώσεων του χώρου, με αποτέλεσμα την καλύτερη στεγανότητα της κατασκευής. Τέλος, ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται για την πλευρική (κατακόρυφη) ενίσχυση διαφραγματικών τοιχιών καθώς και ως στοιχείο θεμελιώσεων και ελέγχου εισροής υδάτων σε σήραγγες και σε άλλα τεχνικά έργα.
Ταφή ραδιενεργών αποβλήτων	Τα ραδιενεργά απόβλητα αποθηκεύονται μέσα σε χαλύβδινα δοχεία και θάβονται στη γη. Ο μπεντονίτης, λόγω της πλαστικότητάς του, δημιουργεί ένα προστατευτικό περίβλημα γύρω από αυτά τα δοχεία, εμποδίζοντας τη μετάδοση μεγάλων πιέσεων από τα περιβάλλοντα πετρώματα στα δοχεία με τα ραδιενεργά απόβλητα, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει ισχυρή πρόσφυση με το περιβάλλον πέτρωμα, με ικανότητα αυτοπροσαρμογής μετά από τεκτονικές διαταραχές. Επίσης, η χαμηλή διαπερατότητα και ικανότητα ιοντο-εναλλαγής του μπεντονίτη ελαχιστοποιούν τη διάχυση των ραδιενεργών στοιχείων στον περιβάλλον.
Κατεργασία Υδάτων, Κατεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων	Λόγω της προσροφητικής ικανότητάς του, ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται στην κατεργασία των αποβλήτων από επιμεταλλωτήρια, χαρτοβιομηχανίες, φαρμακοβιομηχανίες, χρωματοβιομηχανίες και κλωστοϋφαντουργεία, για απορρόφηση βαρέων μετάλλων και/η οργανικών ρυπαντών.
Γεωργικές εφαρμογές	Η προσθήκη μπεντονίτη σε φτωχά εδάφη βοηθά στον εμπλουτισμό τους, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει μεγαλύτερη συγκράτηση νερού, συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη αξιοποίηση του πολύτιμου και εν ανεπαρκεία αγαθού. Επίσης, ως φορέας φυτοφαρμάκων συμβάλλει στη μείωση της δόσολογίας των ενεργών συστατικών και επομένως στην προστασία του υδροφόρου ορίζοντα.



Εικ.1.6 μπεντονίτης, αποτοξινωτική μάσκα



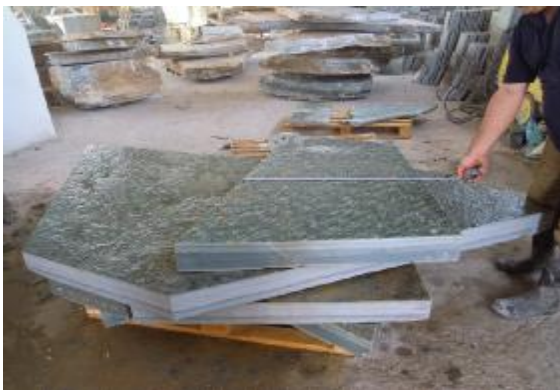
Εικ.1.7 μονωτικό υλικό



Εικ.1.8 μπεντονίτης



Εικ.1.9 προϊόντα ομορφιάς



Εικ.1.10 λατομικό ορυκτό: μάρμαρο



Εικ.1.11 σαπούνι Ελαιολάδου

1.14 Τροποποιήσεις του μπεντονίτη

Οι ιδιότητες του μπεντονίτη μπορούν να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από την ενεργοποίησή του. Η ενεργοποίηση αυτή μπορεί να είναι είτε μηχανική (ξήρανση και λεπτομερής λειοτρίβηση) είτε χημική. Η χημική ενεργοποίηση συνίσταται σε ελεγχόμενη ανταλλαγή ιόντων σε ατελή σημεία του κρυσταλλικού πλέγματος του μοντμοριλλονίτη.

Όξινη ενεργοποίηση

Η όξινη ενεργοποίηση του μπεντονίτη θεωρείται μια απλή μέθοδος βελτίωσης της προσροφητικής ικανότητας του μπεντονίτη. Αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία ο μπεντονίτης εκχυλίζεται είτε με ανόργανα (H_2SO_4 , HCl , HNO_3 κλπ.), είτε με οργανικά οξέα (φορμικό, οξικό, οξαλικό ή κιτρικό οξύ).

Κατά την ενεργοποίηση του μπεντονίτη με ανόργανα οξέα λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω χημικές δράσεις:

- Διαλυτοποίηση των συνδρόμων συστατικών και ακαθαρσιών
- Ιοντοανταλλαγή των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}), καλίου (K^+) και νατρίου (Na^+) με κατιόντα υδρογόνου στον ενδοστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη
- Διαλυτοποίηση μέρους των ιόντων (Al^{3+}) που βρίσκονται δομημένα στα τετραεδρικά φύλλα και μέρους των ιόντων αργιλίου (Al^{3+}), μαγνησίου (Mg^{2+}) και σιδήρου (Fe^{3+}) στα οκταεδρικά φύλλα του μοντμοριλλονίτη.

Οι οργανικές ενώσεις συμμετέχουν σε μεγάλο βαθμό στη φυσική διαδικασία της διαλυτοποίησης των ορυκτών. Σημαντικός είναι και ο ρόλος των συμπλόκων που σχηματίζονται μεταξύ των οργανικών οξέων και των μετάλλων. Η δραστηριότητα της κάθε χημικής ένωσης κατά τη διαλυτοποίηση σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα του οργανικού υποκαταστάτη να σχηματίζει σύμπλοκα με τα μέταλλα του ορυκτού. Οι βασικοί μηχανισμοί διαλυτοποίησης του μπεντονίτη με οργανικά οξέα είναι οι εξής:

1. Μηχανισμός που προάγεται από πρωτόνια: τα οργανικά οξέα είναι ασθενή οξέα και δότες ηλεκτρονίων. Τα πρωτόνια τους συνδέονται με τα ελεύθερα οξυγόνα που βρίσκονται στην επιφάνεια του μοντμοριλλονίτη, με συνέπεια να εξασθενούν το δεσμό μετάλλου και οξυγόνου και να επιταχύνουν την αντίδραση διαλυτοποίησης. Ο ρυθμός διαλυτοποίησης καθορίζεται από το ρυθμό υδρόλυσης στην επιφάνεια του μοντμοριλλονίτη.

2. Σχηματισμός οργανομεταλλικών συμπλόκων στο διάλυμα: τα ευδιάλυτα οξέα μπορούν να σχηματίσουν οργανομεταλλικά σύμπλοκα στο διάλυμα, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό τη διαλυτότητα του μοντμοριλλονίτη, καθώς και το βαθμό διαλυτοποίησής του. Αυτό συμβαίνει διότι

ο σχηματισμός συμπλόκων αλουμινίου στο διάλυμα μετακινεί την ισορροπία προς την κατεύθυνση μιας αυξημένης φαινομενικής διαλυτότητας του μοντμοριλλονίτη και κατ' επέκταση και του βαθμού διαλυτοποίησής του.

3. Διαλυτοποίηση μέσω υποκαταστατών: σε αυτή την περίπτωση, τα οργανομεταλλικά σύμπλοκα σχηματίζονται στη διεπιφάνεια στερεού-διαλύματος, εξασθενώντας έτσι το δεσμό κατιόντος-οξυγόνου, με αποτέλεσμα να καταλύεται η αντίδραση διαλυτοποίησης.

Οργανική τροποποίηση του μπεντονίτη

Η ικανότητα του μπεντονίτη να προσροφά και να δεσμεύει ρύπους από υδατικά διαλύματα και ύδατα είναι δυνατό να ενισχυθεί και να οδηγηθεί σε επιθυμητή εκλεκτικότητα του τελικού υλικού, με την ένθεση κατάλληλου τροποποιητικού μορίου στο πορώδες μέσο. Μια σημαντική μέθοδος τροποποίησης είναι αυτή που πραγματοποιείται με οργανικά μόρια. Οι μέθοδοι σύνθεσης οργανομπεντονιτών περιλαμβάνουν τη σύζευξη της επιφάνειας του μοντμοριλλονίτη με επιφανειοδραστικά μόρια. Τα μόρια αυτά έχουν αμφιπολικό χαρακτήρα, δηλαδή σε αυτά είναι διακριτά τόσο πολικά (υδρόφιλα), όσο και μη πολικά (υδρόφοβα) τμήματα.

Η οργανική τροποποίηση της επιφάνειας του μοντμοριλλονίτη επιδρά στις ιδιότητες του ορυκτού μειώνοντας την επιφανειακή ενέργεια και τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των φύλλων, αυξάνει την ικανότητα διαβροχής της ανόργανης επιφάνειας από τις πολυμερικές αλυσίδες και αυξάνει την απόσταση μεταξύ των επιπέδων της αργίλου. Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά, το πορώδες, καθώς και η προσροφητική συμπεριφορά των μπεντονιτών εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και τη διάταξη των οργανικών τροποποιητών στον ενδοστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη. Η ενυδάτωση των αντισταθμιστικών ιόντων νατρίου (Na⁺) και η φύση των ομάδων Si-O προσδίδουν, όπως είναι γνωστό, υδρόφιλο χαρακτήρα στην επιφάνεια του ορυκτού. Σε αυτή την περίπτωση, οι οργανικές ουσίες προς απομάκρυνση δεν μπορούν να ανταγωνιστούν τα ισχυρά δεσμευμένα μόρια του νερού στις θέσεις προσρόφησης της επιφάνειας, γεγονός που καθιστά το μοντμοριλλονίτη αναποτελεσματικό προσροφητικό μέσο για οργανικά μόρια. Αντιθέτως, με την οργανική τροποποίηση του μπεντονίτη, οι αλληλεπιδράσεις με οργανικά μόρια, πολικά και μη, γίνονται ισχυρότερες και η προσρόφηση τέτοιων μορίων από διαλύματα εντονότερη.

Ο οργανικά τροποποιημένος μπεντονίτης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ουσιών και στη συγκεκριμένη περίπτωση χρωμάτων, από το υδατικό διάλυμα. Έτσι η εξάλειψη του ενός σταδίου της συνολικής διεργασίας, δηλ. αυτό της ξεχωριστής σύνθεσης του οργανο-μπεντονίτη, μειώνει το κόστος και καθιστά τη μέθοδο πιο προσιτή. Μια άλλη

εναλλακτική μέθοδος ικανή να καταστήσει τον μπεντονίτη υδρόφοβο, είναι αυτή που βασίζεται στη χρήση κατιοντικών πολυμερών, τα οποία εμπεριέχουν οργανικά κατιόντα με μη-πολικές ομάδες. Ο κατιοντικός πολύ-ηλεκτρολύτης EPI-DMA προσδίδει θετικό φορτίο όταν εισαχθεί στο διαστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη και μετατρέπει τον μπεντονίτη σε ένα πολύ καλό προσροφητικό μέσο αρνητικά φορτισμένων ρυπαντικών ουσιών, όπως τα ανιοντικά αλλά και τα μη-ιοντικά χρώματα, από το νερό. Σε σχέση με τους συμβατικούς οργανο-μπεντονίτες, αυτοί που προέρχονται από επεξεργασία με κατιοντικά πολυμερή έχουν χαμηλότερο κόστος.

Υποστύλωση του μπεντονίτη με μεταλλικά πολυκατιόντα

Η παρασκευή του υποστυλωμένου μπεντονίτη επιτυγχάνεται με την κατιοντοανταλλαγή μεταλλικών πολυκατιόντων στο μοντμοριλλονίτη και τη μετατροπή των πολυοξοκατιόντων σε δεσμευμένα οξείδια στον ενδοστρωματικό χώρο του ορυκτού. Οι μπεντονίτες που δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο διατηρούν μόνιμα διαθέσιμο τον ενδοστρωματικό τους χώρο και το ύψος των υποστυλωτών μπορεί να ελεγχθεί και να καθοριστεί.

Σε κάποιες περιπτώσεις, παρασκευάζονται παρουσία του αιωρήματος μπεντονίτη, οπότε η υδρόλυση συμβαίνει στο διαστρωματικό χώρο (Σκορδίλης, 1995). Η πρώτη μέθοδος είναι αποτελεσματικότερη αφού επιτρέπει καλύτερο έλεγχο του βαθμού υδρόλυσης. Η μέθοδος παρέχει υποστηλωμένα υλικά με μεγάλο μικροπορώδες και αυξημένη ειδική επιφάνεια. Επιπλέον, τα υποστυλωμένα υλικά είναι θερμικά σταθερά, με συνέπεια να διατηρούν τις προσροφητικές και καταλυτικές τους ιδιότητες σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 500° C. Η πολυπλοκότητα των δομών των υδροξυ-μεταλλοκατιόντων, που χρησιμοποιούνται ως πρόδρομα υποστηλώματα δημιουργεί αρκετές δυσκολίες στην εφαρμογή της μεθόδου και κυρίως στην επίτευξη τελικών προϊόντων με επαναλήψιμα σταθερές ιδιότητες. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή και τη δομή του προϊόντος είναι οι εξής: ο βαθμός υδρόλυσης που καθορίζει το μέγεθος και το φορτίο του υδρο-ολιγομερούς, η θερμοκρασία και ο χρόνος αντίδρασης παρεμβολής, η συγκέντρωση και ο τρόπος ανάμιξης του διαλύματος του προς παρεμβολή συστατικού και του αιωρήματος του μπεντονίτη, ο τρόπος απομάκρυνσης των ολιγομερών που δεν παρεμβλήθηκαν ανάμεσα στα φύλλα (διαδοχικές εκπλύσεις ή μεμβράνες ώσμωσης), το pH και ο τρόπος ξήρανσης που μπορεί να διαμορφώσει το πορώδες.

Θερμική κατεργασία – Ενεργοποίηση με μικροκύματα

Η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες αποτελεί μια απλή μέθοδο τροποποίησης του μοντμοριλλονίτη. Η αύξηση της ειδικής επιφάνειας, ως αποτέλεσμα της θερμικής κατεργασίας του μπεντονίτη, έχει σα συνέπεια τη βελτίωση της προσροφητικής ικανότητας του ορυκτού. Οι διεργασίες της αφυδάτωσης και αφυδροξυλίωσης που λαμβάνουν χώρα κατά τη θέρμανση του μπεντονίτη συνοδεύονται, συνήθως από τη μετακίνηση των οκταεδρικών κατιόντων μέσα στο οκταεδρικό πλέγμα. Η θερμική κατεργασία επιδρά στα χαρακτηριστικά της υφής καθώς και στην ικανότητα διασποράς της αργίλου.

Μετά την θερμική κατεργασία του μπεντονίτη στους 750° C, έχει παρατηρηθεί απώλεια βάρους που μπορεί να φτάσει έως και το 13.7%. Η έκθεση του μπεντονίτη σε υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί στην αποφυλλοποίηση των αργιλοπυριτικών φύλλων, παρέχει τη δυνατότητα απομάκρυνσης του μη-αργιλικού υλικού από το τελικό προϊόν και έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων κέντρων προσρόφησης, για την απομάκρυνση ρυπογόνων ενώσεων από υδατικά διαλύματα.

Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις κατά τις οποίες, η κατεργασία του μπεντονίτη σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες έχει αρνητικές επιπτώσεις στην προσροφητική του ικανότητα.

Η μελέτη της τροποποίησης του μπεντονίτη με μικροκύματα θεωρείται ότι προσφέρει κάποια πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ο γρήγορος ρυθμός της διεργασίας που είναι συνέπεια του άμεσου τρόπου διείσδυσης των μικροκυμάτων στον πυρήνα των υπό επεξεργασία υλικών. Η ενεργοποίηση με μικροκύματα παρέχει τη δυνατότητα μηδαμινής απώλειας ενέργειας με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα για ταχύτατο άνοιγμα/κλείσιμο της συσκευής με την οποία γίνεται η ενεργοποίηση του υλικού. Ο μπεντονίτης που ενεργοποιήθηκε με μικροκύματα παρουσίασε αυξημένη προσροφητική ικανότητα σε σύγκριση με το φυσικό αλλά και με τον όξινα ενεργοποιημένο.

Ανοργανο-οργανο-μπεντονίτες

Η παραγωγή των υποστυλωμένων και των οργανόφιλων μπεντονιτών λαμβάνει χώρα μέσω της αντικατάστασης των ανταλλάξιμων κατιόντων, που βρίσκονται στον διαστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη, με μεταλλικά πολυκατιόντα και τασιενεργά, αντίστοιχα. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων είναι δυνατό να αποδώσει ένα νέο τύπο τροποποιημένου μπεντονίτη με βέλτιστες ιδιότητες. Οι υποστυλωμένοι άργιλοι παρουσιάζουν ασθενή συνάφεια προς τους οργανικούς

τύπους, γεγονός που οφείλεται στον υδρόφιλο χαρακτήρα της επιφανείας τους. Η επεξεργασία τους με επιφανειοδραστικές ουσίες προσδίδει στην επιφάνεια οργανόφιλο χαρακτήρα και παρέχει τους λεγόμενους “ανοργανο-οργανο-μπεντονίτες”, οι οποίοι αποτελούν αποτελεσματικά προσροφητικά μέσα για την απομάκρυνση οργανικών ρυπογόνων ουσιών από το νερό.

Μια άλλη περίπτωση παραγωγής “ανοργανο-οργανο-μπεντονίτη” είναι με χρήση του χουμικού οξέος. Οι υποστυλωμένοι άργιλοι βρίσκουν εφαρμογή στην απομάκρυνση του χουμικού οξέος από υδατικά διαλύματα, όμως μετά από δύο ή τρεις κύκλους επανειλημμένης χρήσης, το μέσο καθίσταται ανίκανο για περαιτέρω προσρόφηση. Το υλικό που προκύπτει μετά την προσρόφηση των χουμικών μεγαλομορίων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση άλλων ρύπων από τα υγρά απόβλητα. Το χουμικό οξύ δεν προσροφάται μόνο στην εξωτερική επιφάνεια, αλλά εισχωρεί και στο διαστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη αυξάνοντας τις αποστάσεις μεταξύ των στρωμάτων του. Ο υποστηλωμένος μπεντονίτης που έχει υποστεί τροποποίηση μετά από προσρόφηση χουμικού οξέος παρουσιάζει έως και διπλάσια ικανότητα απομάκρυνσης κατιοντικών χρωμάτων από υδατικό διάλυμα, σε σύγκριση με το αρχικό υποστυλωμένο υλικό.

Άλλες μέθοδοι

Η τροποποίηση του μπεντονίτη με τη χρήση LDH βασίζεται στην εισαγωγή ανταλλάξιμων ανιόντων στο διαστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη και επιδρά σε σημαντικό βαθμό στη δομή και την υφή του ορυκτού. Το LDH αποτελείται από θετικά φορτισμένα φύλλα μεταλλικών υδροξειδίων και ανιόντα που βρίσκονται στον ενδοστρωματικό του χώρο ή στην επιφάνεια.

Το τελικό προϊόν συνδυάζει τη δομή και τις ιδιότητες των αρχικών υλικών. Χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και συνολικό όγκο πόρων από ότι ο μπεντονίτης που χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη και επιδεικνύει βελτιωμένες προσροφητικές ιδιότητες. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού κατά την τροποποίηση γίνεται εισαγωγή ενός νέου πορώδους υλικού στο διαστρωματικό χώρο του μοντμοριλλονίτη. Επιπρόσθετα, αφού κατά τη διεργασία τροποποίησης δε λαμβάνει χώρα αποφυλλοποίηση του LDH, τα στρώματά του διατηρούν το θετικά τους φορτία. Έτσι, ο συνδυασμός τους με τα αρνητικά φορτία του μοντμοριλλονίτη καθιστά το παραγόμενο προσροφητικό μέσο ικανό για ταυτόχρονη απομάκρυνση κατιοντικών αλλά και ανιοντικών ρυπογόνων ουσιών, που συνήθως συνυπάρχουν στα υγρά απόβλητα.



Εικ.1.12 Ορυχείο Ποζζολάνας, Ξυροκερατιά, ΝΔ Μήλος



Εικ.1.13 Οφιδιανός μέσα σε λευκό ρυόλιθο, Αδάμαντας Μήλος



Εικ.1.14 Ορυχείο περλίτη, βόρεια Μήλος



Εικ.1.15 Διατομίτες στην περιοχή Αλίμια-Φυλακωπή, βόρεια Μήλος

Κεφάλαιο 2

Πειραματικό μέρος

2.1 Γεωγραφική εξάπλωση

2.1.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information System)

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ή (GIS) είναι ψηφιακά συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων δηλαδή έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν, να αποθηκεύουν, να προσαρμόζουν, να αναλύουν και να παρουσιάζουν γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Τα συστήματα (GIS) αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Γενικότερα ένα (ΣΓΠ) είναι ένα εργαλείο το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν, να αναλύσουν, να αποτυπώσουν, να προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν χωρικά δεδομένα σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο). Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των (ΣΓΠ) είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. σημεία που αναπαριστούν διάφορες θέσεις συνδέονται και με έναν πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Η δυνατότητα όπου τα χωρικά δεδομένα που συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα βασίζεται σε μια λειτουργία, η τεχνολογία της οποίας βασίζεται είτε στο σχεσιακό, είτε στο αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων.

Στο σχεσιακό μοντέλο τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και αργότερα συσχετίζονται με τα χωρικά δεδομένα μέσω κάποιων μοναδικών τιμών που είναι κοινές και στα δύο είδη δεδομένων.

Στο αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων τόσο τα χωρικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση (π.χ. κατηγορία = "δρόμος")

Πιο συχνά σε εφαρμογές GIS χρησιμοποιείται το αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων εξαιτίας των αυξημένων δυνατοτήτων του σε σχέση με το σχεσιακό μοντέλο της δυνατότητας δηλαδή που παρέχει για την εύκολη και απλοποιημένη μοντελοποίηση σύνθετων φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση.

Πολλές φορές η ολοκληρωμένη έννοια των (GIS) επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τόσο τα δεδομένα, το λογισμικό και τον μηχανικό εξοπλισμό, όσο και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυ-

ναμικό, που αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός οργανισμού, ο οποίος έχει σαν πρωταρχική του δραστηριότητα την διαχείριση πληροφορίας με την βοήθεια GIS.

Ένα Σύστημα Διαχείρισης Χωρικών Δεδομένων ως σύστημα αποτελείται από τα εξής στοιχεία: εισαγωγή, επεξεργασία, ενημέρωση, απόδοση και έλεγχος.

- Ø **Εισαγωγή:** είναι το τμήμα του συστήματος που είναι υπεύθυνο για την τροφοδότηση με δεδομένα. Αυτά πρέπει να είναι είτε σε ψηφιακή δομή και συνήθως προκύπτουν με ψηφιοποίηση αναλογικών δεδομένων (π.χ. τυπωμένοι χάρτες) είτε με τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων με τη χρήση δηλαδή ψηφιακών μεθόδων αποτύπωσης χώρου (αποτύπωση με GPS). Αυτό το στάδιο αφορά τόσο τη γεωγραφική όσο και την περιγραφική διάσταση των δεδομένων.
- Ø **Επεξεργασία:** είναι το τμήμα όπου τα στοιχεία επεξεργάζονται ώστε να μπορούν να αναλυθούν και να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα παρακάτω.
- Ø **Ενημέρωση:** Ο χρήστης θέτει ερωτήσεις σύμφωνα με την δυνατότητα των ίδιων των δεδομένων όπως : Πώς απεικονίζεται η περιοχή, πού βρίσκεται ένα σημείο και τη σχέση έχει με ένα άλλο (π.χ. οικονομικότερος ή συντομότερος δρόμος), κ.α.
- Ø **Απόδοση:** Η απόδοση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης γίνεται σε αναλογικά μέσα με την οργάνωση της εκτύπωσης χαρτογραφικών προϊόντων ή με την απόδοση σε ψηφιακές πλατφόρμες είτε με τη χρήση του Διαδικτύου, μέσω διαδραστικών χαρτών.
- Ø **Έλεγχος:** Κάθε σύστημα οφείλει να έχει μηχανισμούς ανάδρασης ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα και ακρίβεια των πληροφοριών. Αυτό μπορεί να γίνεται μέσω λογισμικού με διαδικασίες κανόνων επικύρωσης, με διαδικασίες ελέγχου ακρίβειας συντεταγμένων και γενικότερα με διαδικασίες ποιοτικών και ποσοτικών ελέγχων ανάλογα με τη φύση των δεδομένων.

Σε ένα (ΣΓΠ) τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρίστανται με δύο βασικές δομές: **α)** την διανυσματική και **β)** τη ψηφιδωτή. Σε όλα τα λογισμικά οι δύο δομές αποδίδονται ταυτόχρονα σε κοινές απεικονίσεις ενώ πολλά προσφέρουν την δυνατότητα μετάβασης από τη μία δομή στην άλλη.

Α) Στη διανυσματική δομή (Vector) τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν με τρεις βασικούς τύπου γεωμετριών: σημεία, γραμμές, πολύγωνα. Έτσι για την απόδοση της θέσης μια πόλης σε ένα χάρτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σημείο, για την αποτύπωση του οδικού δικτύου μια γραμμή αποτελούμενη από πολλές κορυφές και για την αποτύπωση μιας ιδιοκτησίας ένα πολύγωνο. Το σημείο είναι μια γραμμή μηδενικού μήκους, ενώ το πολύγωνο είναι μια ακολουθία γραμμών με

αρχή και τέλος την ίδια κορυφή. Η γεωμετρία που θα υιοθετηθεί για το συμβολισμό ενός αντικειμένου εξαρτάται από την κλίμακα απεικόνισης και το σκοπό της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Έτσι π.χ. σε μια πολύ μεγάλη κλίμακα (1:1000) τα κτίσματα αποτυπώνονται ως πολύγωνα, ενώ σε μικρότερες κλίμακες (1:10.000) είναι ορθότερο να χρησιμοποιηθεί η γεωμετρία του σημείου. Τέλος κάθε γεωμετρία συνδέεται με μια σχέση 1-1 με μια εγγραφή σε ένα πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.

B) Η ψηφιδωτή δομή (Raster) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο που αποτυπώνεται χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους) ή σε περιπτώσεις που στο (ΣΓΠ) θέλουμε να ενσωματώσουμε μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία. Επιπλέον οι ψηφιδωτές δομές δεδομένων έχουν περιορισμένες δυνατότητες σύνδεσης με περιγραφικά χαρακτηριστικά.

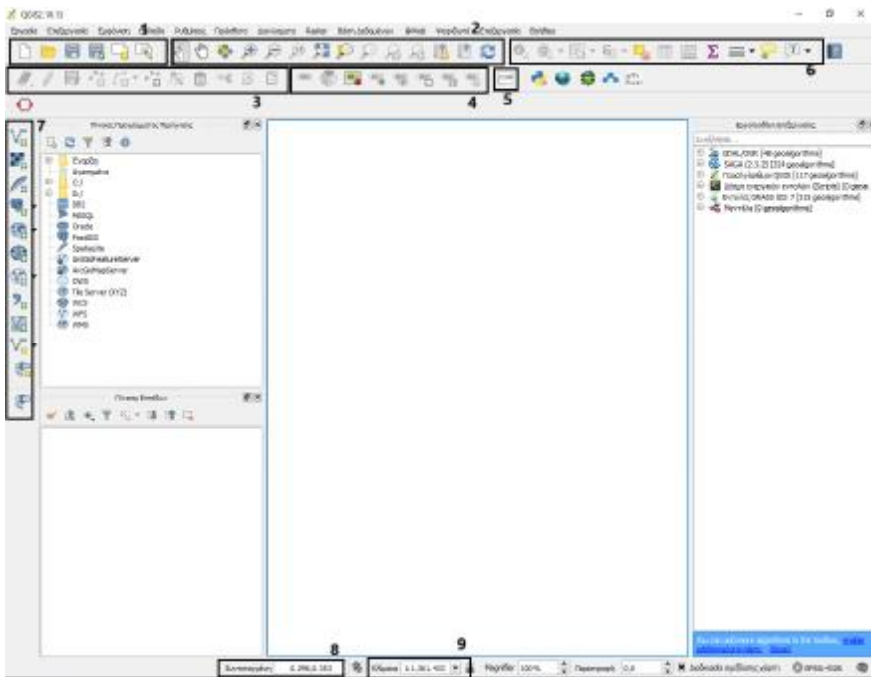
Στην αγορά διακινούνται διάφορα πακέτα λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών που λειτουργούν σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα (όπως Windows, MacOS, Linux). Μερικά από αυτά, όπως το GRASS GIS και το QUANTUM GIS, διακινούνται ελεύθερα υπό το καθεστώς Άδεια Ελεύθερης Τεκμηρίωσης GNU και λειτουργούν σε όλα τα λειτουργικά συστήματα.

Το GRASS χρησιμοποιείται σήμερα σε ακαδημαϊκά και εμπορικά περιβάλλοντα σε όλο τον κόσμο, καθώς και από πολλές κυβερνητικές υπηρεσίες και περιβαλλοντικές συμβουλευτικές εταιρείες. Είναι ιδρυτικό μέλος του Open Source Geospatial Foundation (OSGeo).

Το QGIS είναι ένα επίσημο πρόγραμμα του Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Λειτουργεί σε Linux, Unix, Mac OSX, Windows και μια κινητή έκδοση του QGIS ήταν υπό ανάπτυξη για το Android από το 2014. Επιπλέον υποστηρίζει πολλές μορφές και λειτουργίες διανυσμάτων, ράστερ και βάσεων δεδομένων.

2.1.2 QGIS (QUANTUM Geographic Information System)

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασία το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το QGIS, το οποίο είναι μια ελεύθερη και ανοιχτού κώδικα εφαρμογή γεωγραφικών πληροφοριών επιφάνειας εργασίας (GIS) που υποστηρίζει την προβολή, την επεξεργασία και την ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Λειτουργεί ως λογισμικό συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), επιτρέποντας στους χρήστες να αναλύουν και να επεξεργάζονται χωρικές πληροφορίες, εκτός από τη σύνθεση και την εξαγωγή γραφικών χαρτών. Το QGIS υποστηρίζει τόσο τα στρώματα raster όσο και τα διανύσματα (Vector). Τα δεδομένα διανυσμάτων αποθηκεύονται ως χαρακτηριστικά σημείων, γραμμών ή



Εικ.2.1.2 Περιβάλλον QGIS

πολυγώνων. Υποστηρίζονται πολλαπλές μορφές εικόνων ράστερ και το λογισμικό μπορεί να προβάλει εικόνες γεωαναφοράς.

Η ανάπτυξη του Κβαντικού GIS ξεκίνησε από τον Gary Sherman στις αρχές του 2002 και έγινε το έργο επωαστηρίου του Open Source Geospatial Foundation το 2007. Η έκδοση 1.0 κυκλοφόρησε τον Ιανουάριο του 2009.

Το QGIS διατηρείται από προγραμματιστές εθελοντών που εκδίδουν τακτικά ενημερώσεις και διορθώσεις σφαλμάτων. Από το 2012, οι προγραμματιστές έχουν μεταφράσει το QGIS σε 48 γλώσσες και η εφαρμογή χρησιμοποιείται διεθνώς σε ακαδημαϊκό και επαγγελματικό περιβάλλον.

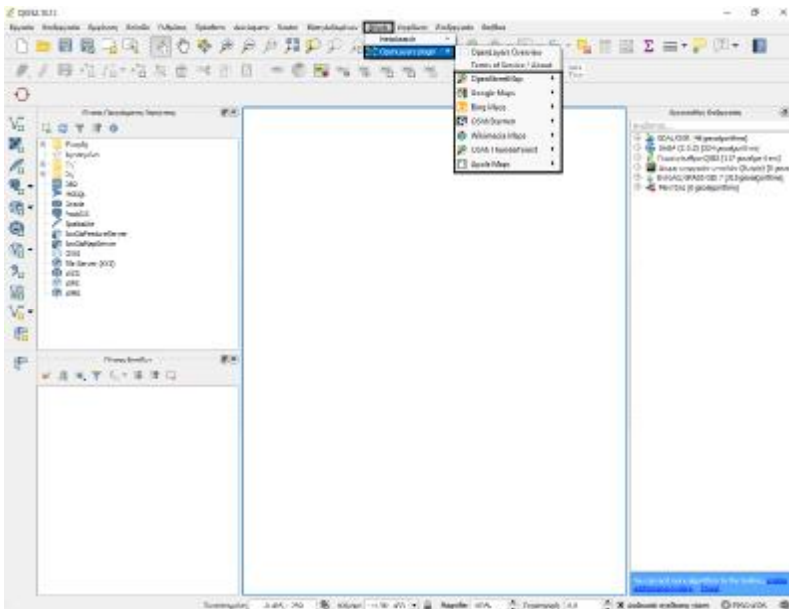
Ο ιστότοπος όπου κάποιος μπορεί να το κατεβάσει είναι : <http://www.qgis.org/en/site/> και για ποιο εξοικείωση με το πρόγραμμα : <http://www.qgistutorials.com/el/>.

Γραμμές εργαλείων:

1. Αρχείο
2. Χάρτης πλοήγησης
3. Ψηφιοποίηση
4. Ετικέτα
5. Διαδίκτυο
6. Χαρακτηριστικά
7. Layers
8. Συντ/νες κέρσορα
9. Κλίμακα προβολής στην οθόνη

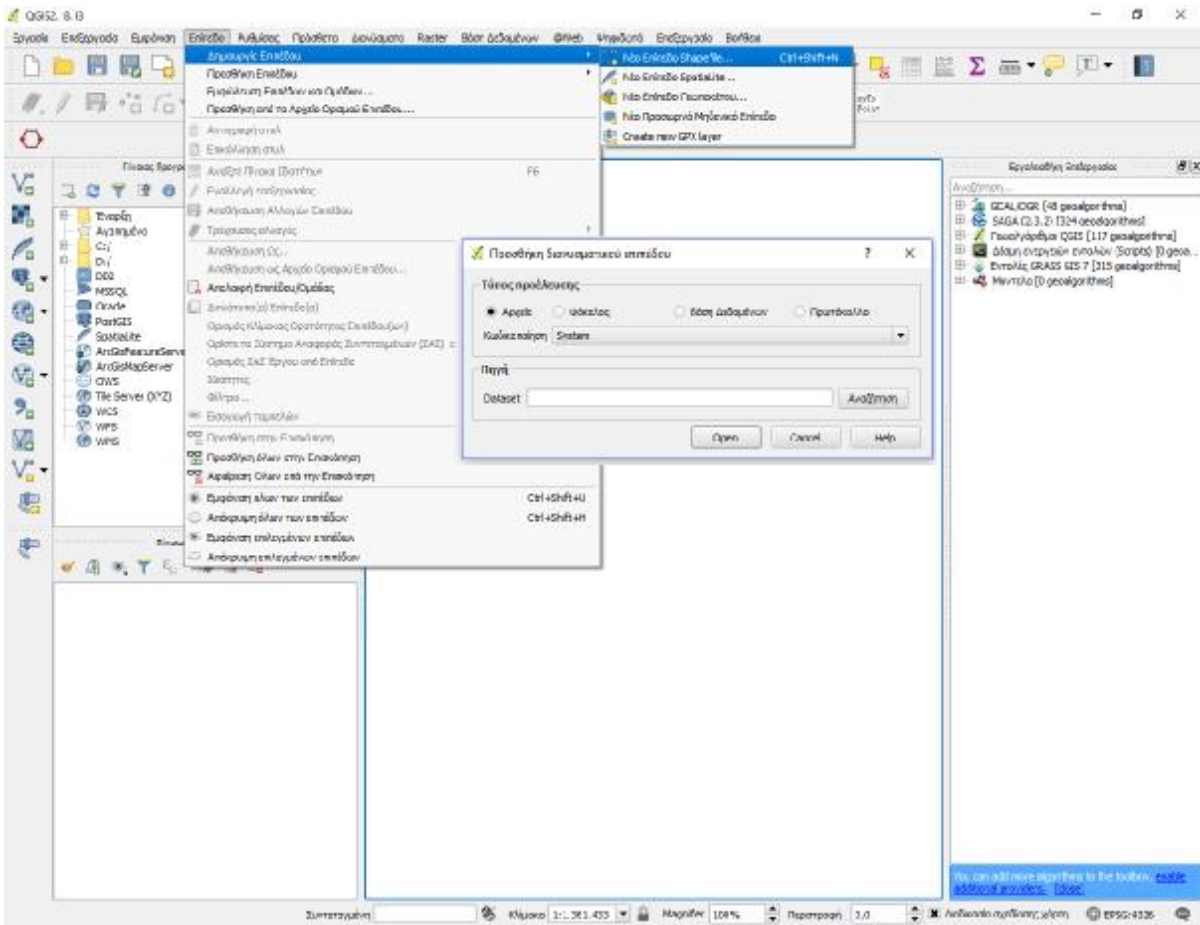
Για να ξεκινήσει κάποιος, πρέπει να εισάγει βάσεις δεδομένων (plugin) που συνήθως είναι κάποιοι τυπωμένοι χάρτες. Κάποια από τα (plugin) που ο χρήστης μπορεί να κατεβάσει και να εγκαταστήσει είναι :

- Ø OpenStreetMaps (Topographic, Landscape and Public Transportation)
- Ø Google (Physical, Streets, Hybrid and Satellite)
- Ø Bing (Road, Aerial and Aerial with Labels)
- Ø MapQuest (Open Aerial)
- Ø Stamen (Toner, Watercolor and Terrain)
- Ø Apple iPhotos (iPhotos Map)

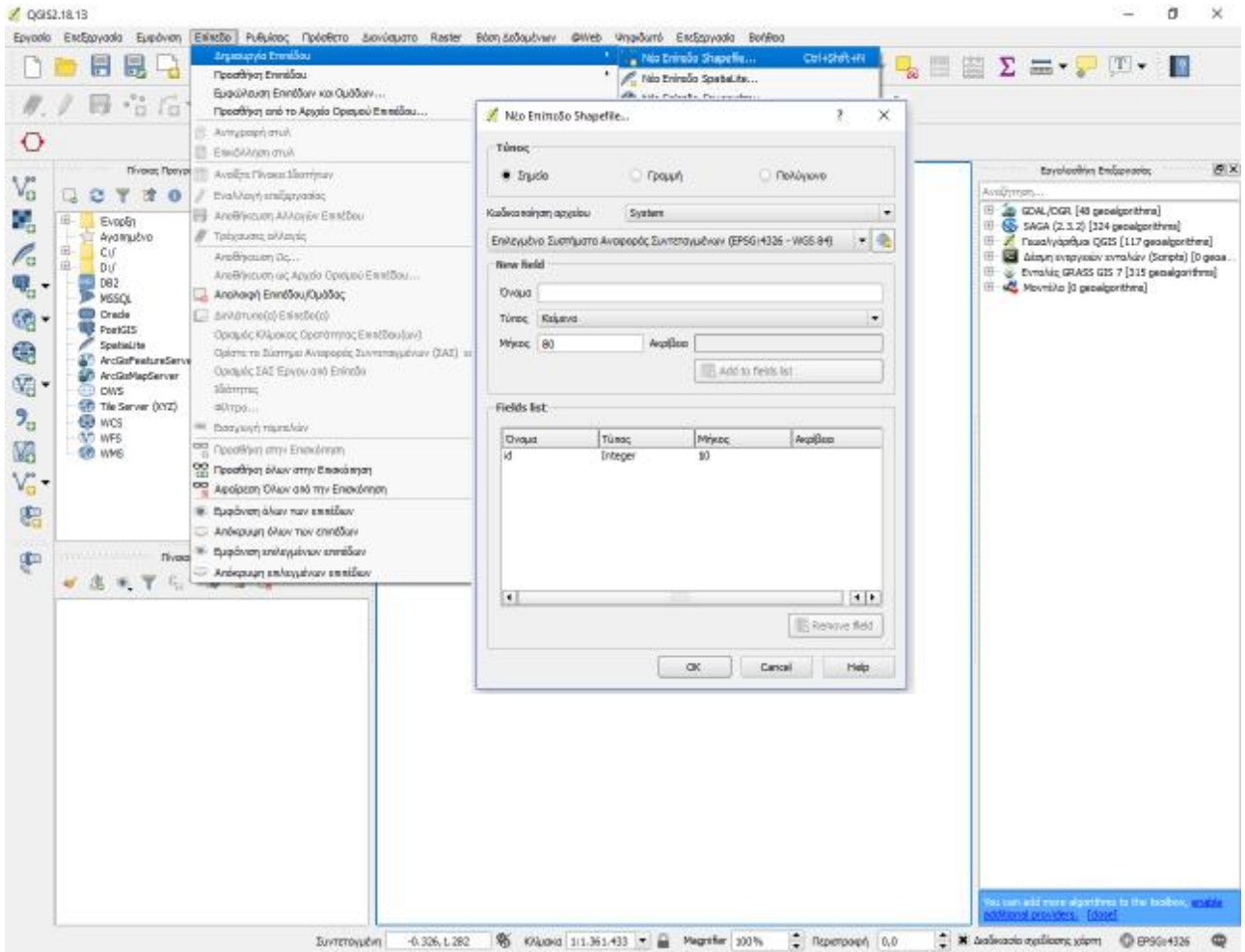


Εικ.2.1.3 Εύρεση των Plugin στο λογισμικό

Στη γραμμή εργαλείων No7 ή στο αρχικό μενού στη κορυφή του προγράμματος υπάρχουν διάφορες επιλογές όπως η φόρτωση διανυσματικών δεδομένων, τα οποία ο χρήστης προηγούμενος είτε έχει βρει και κατεβάσει (σε μορφή zip) από κάποια ιστοσελίδα του διαδικτύου είτε έχει δημιουργήσει ο ίδιος. Τα διανυσματικά δεδομένα μπορούν να έχουν τη μορφή σημείων, γραμμών ακόμα και πολυγώνων.

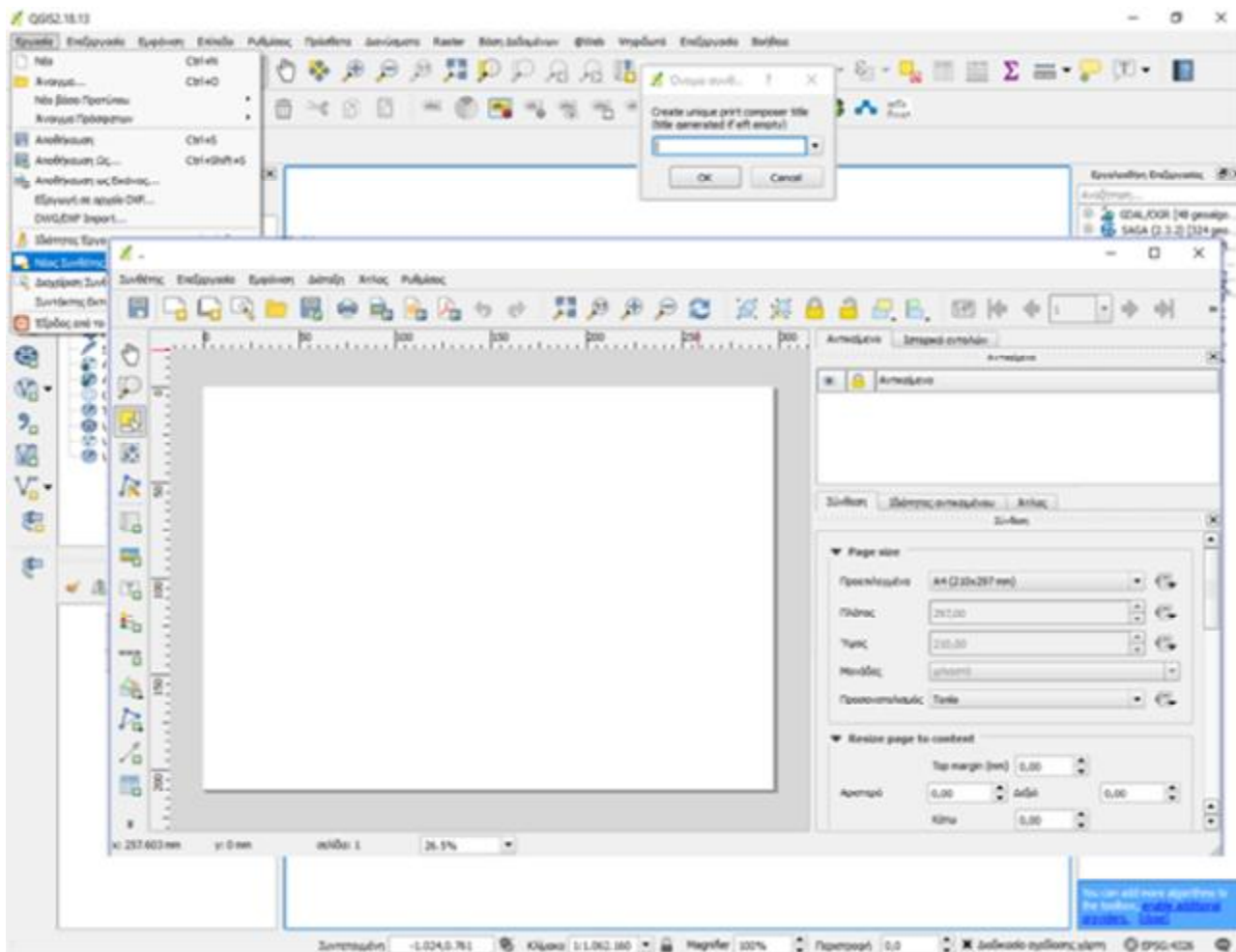


Εικ.2.1.4 Εύρεση δεδομένων



Εικ.2.1. 5 δημιουργία ενός ή πολλών διανυσματικών επιπέδων

Τέλος για την εκτύπωση ενός χάρτη ακολουθείτε η παρακάτω διαδικασία (εικόνα 2.1.6). Βέβαια το συγκεκριμένο λογισμικό υποστηρίζει πάρα πολλές λειτουργίες, όπου συνδυάζοντας αυτές προκύπτουν χάρτες διαφόρου ενδιαφέροντος και ο ενδιαφερόμενος μπορεί να τις βρει στην ιστοσελίδα όπου αναφέρθηκε παραπάνω (σελίδα 31).



Εικ.2.1.6 Εκτύπωση ενός χάρτη

2.1.3 Στον κόσμο

Η παγκόσμια παραγωγή μπεντονίτη υπολογίστηκε από την Αμερικανική Γεωλογική Έρευνα (USGS) στα 16 εκατομμύρια τόνους το 2015. Οι ΗΠΑ και η Κίνα είναι το κυριότερο προϊόν μπεντονίτη στον κόσμο και εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν 50-60% της συνολικής παραγωγής. Κυρίως οι παγκόσμιοι εξαγωγείς τόσο Na-ούχου όσο και Ca-ούχου μπεντονίτη είναι η Ινδία, η ΗΠΑ και η Ελλάδα, ενώ στους κορυφαίους εισαγωγείς περιλαμβάνονται ο Καναδάς, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Ιαπωνία.



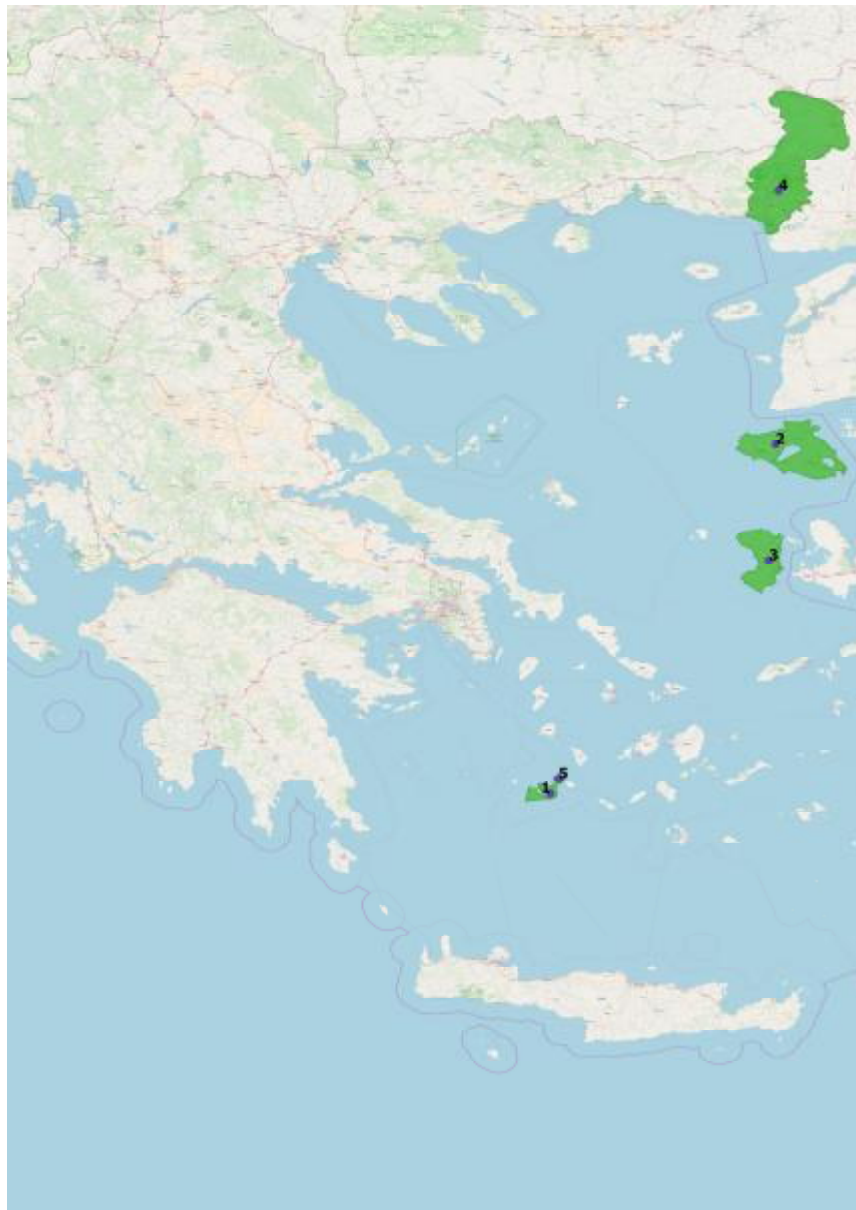
Εικ.2.1.7 Τοποθεσίες εξόρυξης μπεντονίτη στον κόσμο (πίνακας 2.1.1)

Πίνακας 2.1.1 Χώρες και ποσότητα μεντονίτη σε (Τόνους) χρονολογίας 2006

id	ΧΩΡΕΣ	ΠΟΣΟ- ΤΗΤΑ (Τ)	id	ΧΩΡΕΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (Τ)
1	ΗΠΑ	4.620.000	23	ΑΛΓΕΡΙΑ	27.110
2	ΚΙΝΑ	3.200.000	24	ΟΥΚΡΑΝΙΑ	25.000
3	ΕΛΛΑΔΑ	1.100.000	25	ΒΟΣΝΙΑ ΕΡΖΕΓΟ- ΒΙΝΗ	24.050
4	ΙΝΔΙΑ	1.081.000	26	Π.Γ.Δ.Μ	20.353
5	ΤΟΥΡΚΙΑ	600.000	27	ΡΟΥΜΑΝΙΑ	20.229
6	ΡΩΣΙΑ	500.000	28	ΠΑΚΙΣΤΑΝ	20.000
7	ΙΤΑΛΙΑ	470.000	29	ΒΙΕΤΝΑΜ	20.000
8	ΜΕΞΙΚΟ	435.273	30	ΔΑΝΙΑ	19.011
9	ΒΡΑΖΙΛΙΑ	419.214	31	ΚΡΟΑΤΙΑ	16.410
10	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	363.998	32	ΟΥΖΜΠΕΚΙΣΤΑΝ	15.000
11	ΑΡΓΕΝΤΙΝΗ	256.165	33	ΠΕΡΟΥ	14.590
12	ΤΣΕΧΙΑ	220.000	34	ΚΟΛΟΜΒΙΑ	8.500
13	ΙΡΑΝ	186.323	35	ΟΥΓΓΑΡΙΑ	6.635
14	ΙΣΠΑΝΙΑ	160.000	36	ΑΙΓΥΠΤΟΣ	6.300
15	ΚΥΠΡΟΣ	150.620	37	ΝΙΚΑΡΑΓΟΥΑ	6.300
16	ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	135.000	38	ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ	5.000
17	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	134.500	39	ΓΕΩΡΓΙΑ	4.487
18	ΣΛΟΒΑΚΙΑ	95.700	40	ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ	3.600
19	ΠΟΛΩΝΙΑ	93.880	41	ΝΕΑ ΖΗΛΑΝΔΙΑ	3.028
20	ΚΟΡΕΑ	61.137	42	ΤΑΪΛΑΝΔΗ	1.200
21	ΑΖΕΡΜΠΑΪΤΖΑΝ	40.600	43	ΑΡΜΕΝΙΑ	720
22	ΝΟΤΙΑ ΑΦΡΙΚΗ	32.878	44	ΜΟΖΑΜΒΙΚΗ	610
ΣΥΝΟΛΟ 14.624.421					

2.1.4 Στην Ελλάδα

Το 2015 η Ελλάδα ήταν 1η στην Ε.Ε. και 3η στον κόσμο σε παραγωγή μπεντονίτη (9% της παγκόσμιας παραγωγής). Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή αγγίζει τους 750.000 τόνους και η τιμή του εξαρτάται από το βαθμό επεξεργασίας, το μέγεθος των κόκκων και τη συσκευασία. Η εξόρυξη γίνεται κυρίως στη Μήλο από την εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά και στην Κίμωλο από την εταιρία ΜΠΕΝΤΟΜΑΪΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΚΙΜΩΛΟΥ. Επιπλέον ποσότητες μπεντονίτη έχουν εντοπιστεί στα νησιά Λέσβο, Χίο, καθώς και στον Έβρο.



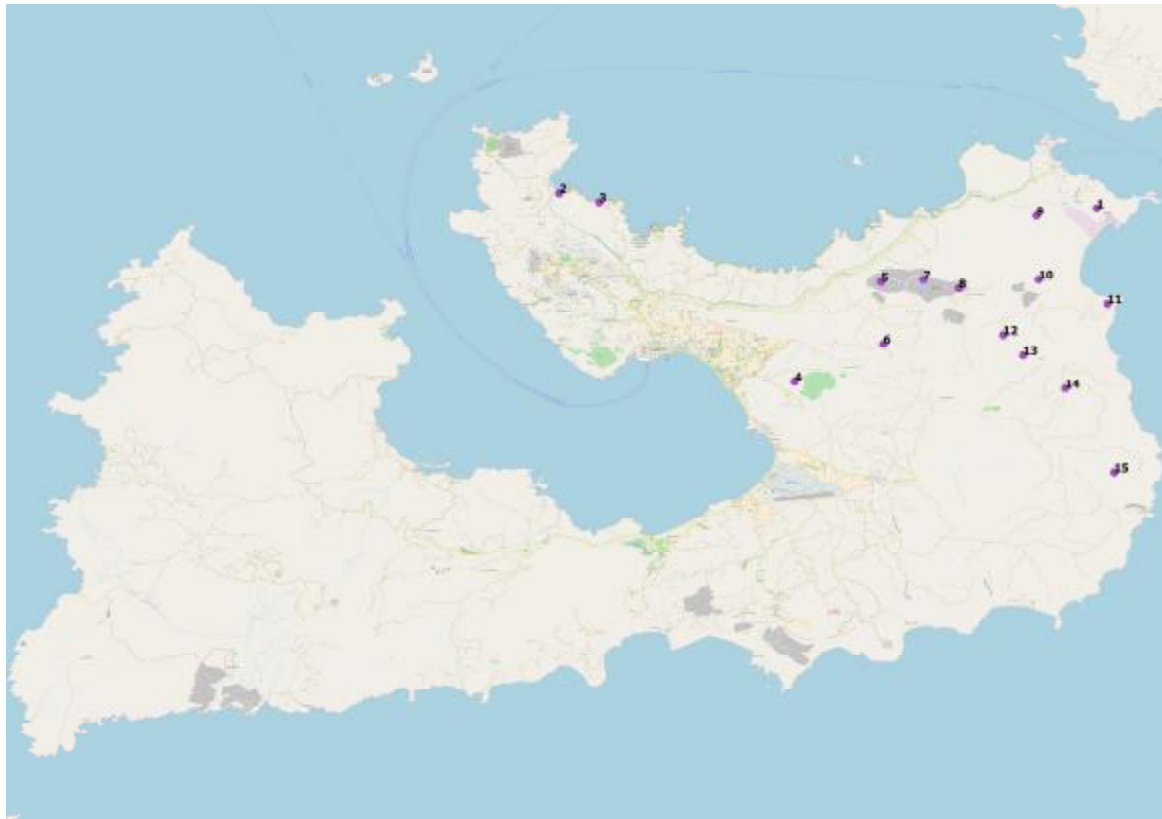
Εικ.2.1.8 Τοποθεσίες όπου υπάρχουν ποσότητες μπεντονίτη

Πίνακας 2.1.2 Περιοχές ορυκτού μπεντονίτη (εικόνα 2.1.8)

Id	ΠΕΡΙΟΧΕΣ
1	ΜΗΛΟΣ
2	ΛΕΣΒΟΣ
3	ΧΙΟΣ
4	ΕΒΡΟΣ
5	ΚΙΜΩΛΟΣ

2.1.5 Στη Μήλο

Η Μήλος είναι σήμερα το μεγαλύτερο κέντρο παραγωγής και επεξεργασίας μπεντονίτη τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η εκμετάλλευση το ορυκτού έγινε για πρώτη φορά το 1952 και εξάγονται εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες αφού πρώτα υποστούν μια κατάλληλη επεξεργασία. Η εταιρία που εδρεύει στην περιοχή είναι η S&B Βιομηχανικά Ορυκτά, η οποία εκτός από την εξόρυξη του ορυκτού συμβάλει και στην ξήρανσή του λόγω του ότι οι κλιματολογικές συνθήκες που υπάρχουν στη περιοχή βοηθάνε σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία αυτή και δε γίνεται σπατάλη ενέργειας που αποτελεί το ουσιαστικότερο κομμάτι του συνολικού κόστους παραγωγής. Επιπλέον όπως φαίνεται παρακάτω τα περισσότερα ορυχεία της εταιρίας βρίσκονται στη βόρεια πλευρά του νησιού.



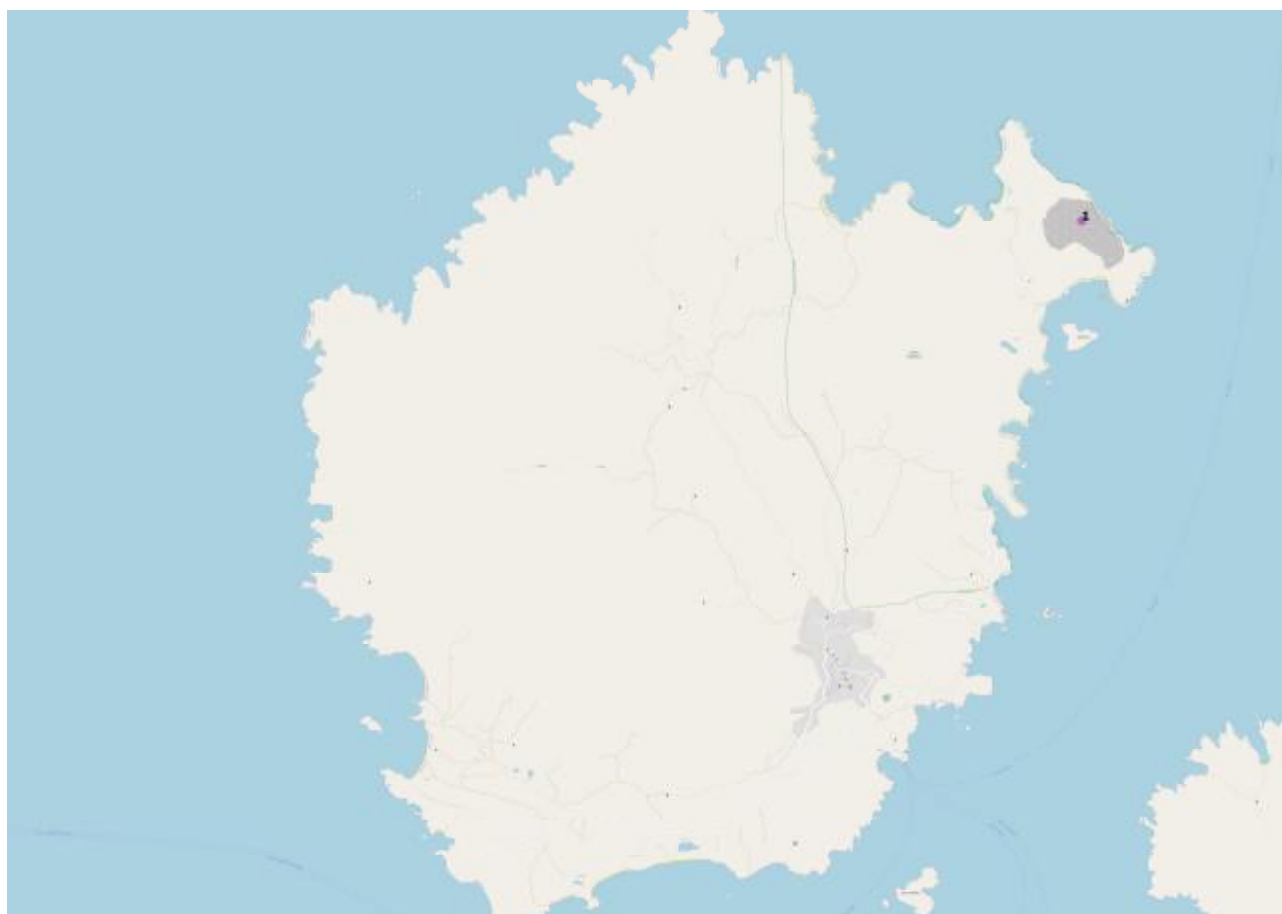
Εικ.2.1.9 Μήλος, περιοχές εξόρυξης ορυκτού

Πίνακας 2.1.3 Περιοχές όπου βρέθηκε μπεντονίτης στη Μήλο

id	ΠΕΡΙΟΧΕΣ
1	ΒΟΥΔΙΑ
2	ΦΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ
3	ΦΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ
4	ΚΑΝΑΒΑ
5	ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΓΓΕΡΙΑΣ
6	ΚΑΝΑΒΑ
7	ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΓΓΕΡΙΑΣ
8	ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΓΓΕΡΙΑΣ
9	ΒΟΥΔΙΑ
10	ΒΟΥΔΙΑ
11	ΒΟΥΔΙΑ
12	ΚΑΤΣΑΡΩΝΑΣ
13	ΚΑΤΣΑΡΩΝΑΣ
14	ΚΟΜΙΑ
15	ΚΟΜΙΑ

2.1.6 Στη Κίμωλο

Η Κίμωλος είναι νήσος του Αιγαίου. Ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και βρίσκεται στο νοτιοδυτικό όριο των Κυκλάδων, κοντά στη Μήλο από την οποία και χωρίζεται από το στενό Αμώνι (πλάτους μόλις μισού μιλίου). Η εξόρυξη του μπεντονίτη στο νησί γίνεται από την εταιρία ΜΠΕΝΤΟΜΑΙΝ Α.Ε. ή ΒΕΝΤΟΜΙΝΕ S.A., η οποία βρίσκεται στο βορειοανατολικό μέρος της Κιμώλου και καλύπτει έκταση 130.000 τμ. Τα κύρια ορυκτά που εξάγονται από το λατομείο είναι Μπεντονίτης και Ποζολάνη, η ποιότητα των οποίων είναι μεταξύ των καλύτερων στην Διεθνή αγορά, ενώ το δυναμικό της παραγωγής ανέρχεται σε 350.000 τόνους το χρόνο. Τα υλικά μετά την εκσκαφή τους περνάνε από ειδικό σπαστήρα επεξεργασίας και στη συνέχεια μεταφέρονται με φορτηγά από το λατομείο στην σκάλα φορτώσεως των πλοίων, που βρίσκεται στον όρμο Πρασσών. Τέλος στα πλαίσια της ανάπτυξης και βελτίωσης των μεθόδων μεταφοράς των υλικών σχεδιάζεται επένδυση της τάξεως των 200.000 € για την μετατροπή της σκάλας φορτώσεως σε «κλειστού τύπου».



Εικ.2.1.10 Κίμωλος, 1) Εταιρία ΜΠΕΝΤΟΜΑΙΝ Α.Ε. ή ΒΕΝΤΟΜΙΝΕ S.A. στη περιοχή των Πρασσών

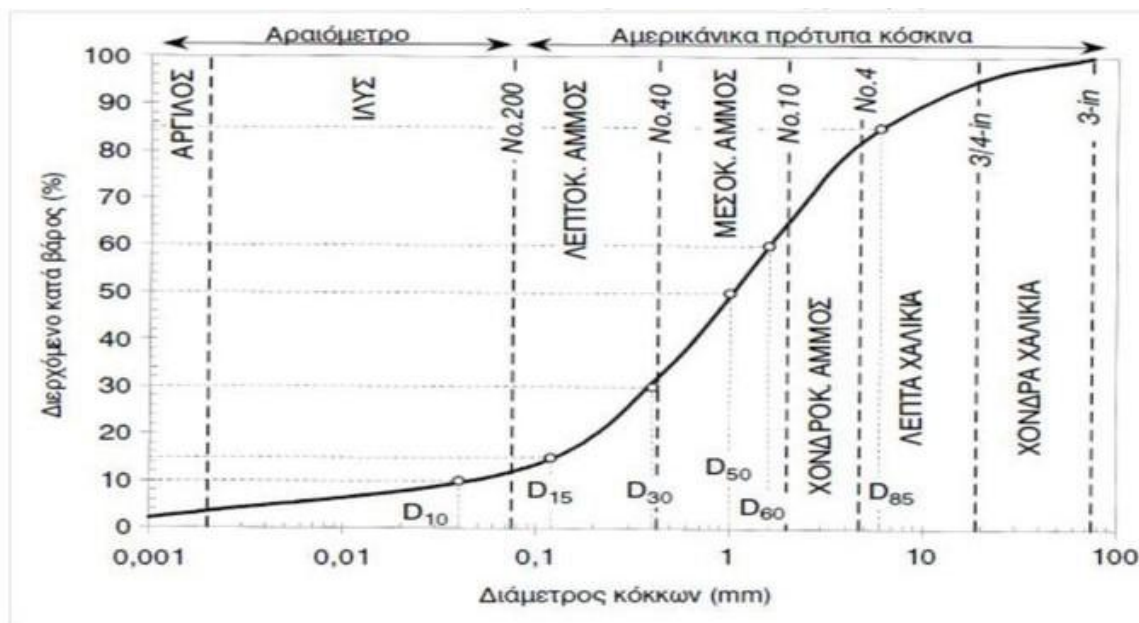
2.2 Τεχνικές ιδιότητες

2.2.1 Κοκκομετρική ανάλυση

Ο παραπάνω όρος αναφέρεται σε μια διαδικασία όπου τα εδάφη ταξινομούνται σε διάφορες τάξεις μεγέθους, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από κόκκους που το μέγεθος της διαμέτρου τους αναφέρεται μεταξύ κάποιων ορίων.

Αν το μέγεθος των κόκκων ενός εδάφους είναι μεγαλύτερο από 0,074 mm (όριο άμμου – ιλύος) ταξινομείται με τη μέθοδο των κοσκίνων ενώ αν το μέγεθός τους είναι μικρότερο από 0,074 mm τότε για την ταξινόμηση χρησιμοποιείται η μέθοδος Stokes.

Η δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η πιο διαδεδομένη δοκιμή τόσο για τα αδρανή όσο και τα εδαφικά υλικά. Με την κοκκομετρία και μέσω ενός διαγράμματος, το οποίο κατασκευάζεται σε ημιλογαριθμικό χαρτί μπορεί να υπολογιστεί η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ενός υλικού και αυτό βοηθά στην κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών, όσον αφορά στην αντοχή και στην παραμόρφωση.



Εικ.2.2.1 Διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης

Με βάση το διάγραμμα (εικόνα 2.2.1) υπάρχουν κάποιες διαστάσεις που χαρακτηρίζουν το δείγμα όπως :

§ D₁₀ = η διάσταση από την οποία διέρχεται το 10% του δείγματος.

§ D₃₀ = η διάσταση από την οποία διέρχεται το 30% του δείγματος.

§ D_{50} = η διάσταση από την οποία διέρχεται το 50% του δείγματος.

§ D_{60} = η διάσταση από την οποία διέρχεται το 60% του δείγματος

Με βάση τις διαστάσεις που προαναφέρθηκαν προκύπτουν κάποιοι συντελεστές. Ένας από τους οποίους είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u ($C_u = D_{60}/D_{10}$) και ο οποίος παίρνει τιμές από 1 έως 1000 (σπάνια > 300).

Για τη δοκιμή αρχικά τοποθετούνται τα κόσκινα στη συσκευή κοσκίνισματος με τις διαμέτρους να αυξάνουν από κάτω προς τα πάνω. Στη συνέχεια τοποθετείται το δείγμα βάρους ($w=565.9\text{gr}$) στο επάνω κόσκινο και η συσκευή μπαίνει σε λειτουργία για περίπου 5 λεπτά. Έπειτα αφαιρούνται τα κόσκινα και ζυγίζεται η ποσότητα που έχει παραμείνει σε αυτά. Αφαιρώντας αυτές τις τιμές από το συνολικό βάρος προσδιορίζεται το διερχόμενο βάρος και διαιρώντας αυτές με το συνολικό βάρος προκύπτει το (%) διερχόμενο, το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή του διαγράμματος της κοκκομετρικής καμπύλης.

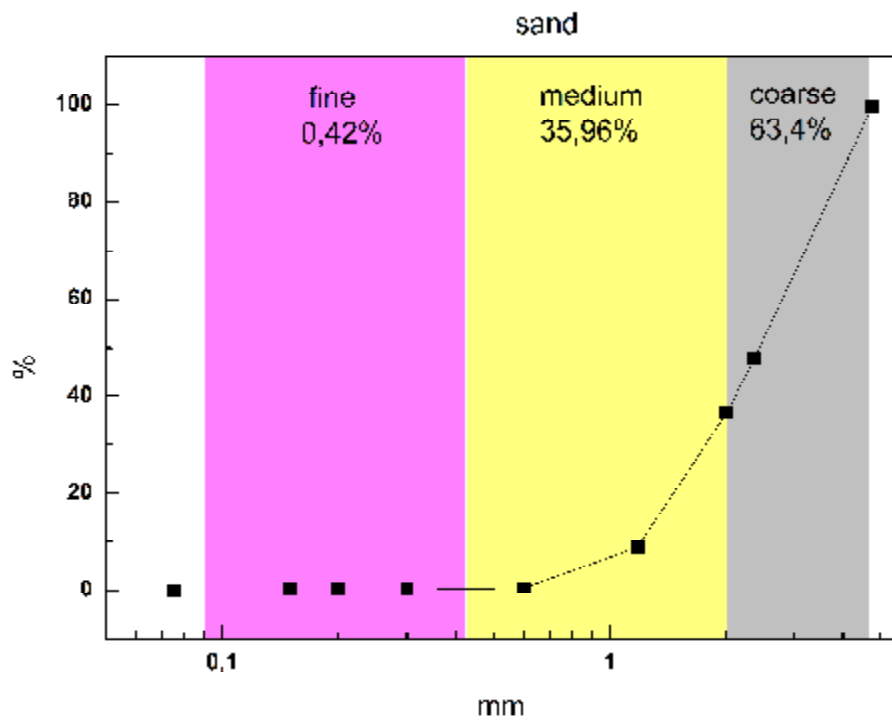
Μετά την όλη διαδικασία ο συντελεστής ομοιομορφίας βρέθηκε ($C_u \approx 2.8/1.3 = 2.15$) και το δείγμα μπεντονίτη το οποίο χρησιμοποιήθηκε αξιολογήθηκε ως ομοιόμορφο με άμμο μεσαίου μεγέθους. (πίνακας 1α)



Εικ.2.2.2 Συσκευή κοσκίνισματος αδρανών υλικών

Πίνακας 1: καταγραφή κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ: 565,9gr			
ΚΟΣΚΙΝΑ (ISO 3310-2)	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	
(mm)	(gr)	(gr)	(%)
4,75	2,2	563,7	99,611
2,36	293,2	270,5	47,799
2,00	63,3	207,2	36,614
1,18	155,6	51,6	9,118
0,600	47,4	4,2	0,742
0,300	2,0	2,2	0,388
0,200	0,1	2,1	0,371
0,150	0,1	2,0	0,353
0,075	0,3	1,7	0,300



Εικ.2.2.3 Διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλης (% διερχόμενο σε συνάρτηση με το μέγεθος των κοσκίνων).

2.2.2 Δείκτης μάζας νερού (Water Pore Volume)

Με τον δείκτη μάζας νερού (WPV) μπορούν να μετρηθούν οι κενοί χώροι που υπάρχουν σε ένα υλικό ή πιο συγκεκριμένα οι κενοί χώροι που υπάρχουν σε κάθε κόκκο ενός υλικού.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής στο εργαστήριο χρειάστηκαν τα εξής :

- Ø παραδοσιακή ζυγαριά ακριβείας (ή ηλεκτρονική) (εικόνα 2.2.2-2.2.3)
- Ø μια σύριγγα (εικόνα 2.2.4)
- Ø υποδοχείς για την τοποθέτηση των δειγμάτων (εικόνα 2.2.5)

Αρχικά ζυγίστηκαν οι υποδοχείς και αφού τοποθετήθηκαν τα δείγματα από μπεντονίτη πάνω σε αυτούς ξανά ζυγίστηκαν για να προκύψουν τα βάρη των δειγμάτων αυτών. Στη συνέχεια προστέθηκε ποσότητα νερού με μια σύριγγα τέτοια ώστε τα δείγματα να είναι όσο το δυνατόν πιο νωπά. Έπειτα διαιρώντας το βάρος του νερού με το βάρος του δείγματος προκύπτει ο δείκτης μάζας νερού (WPV) και βγάζοντας ένα μέσο όρο αφού πρώτα αποκλείσαμε την 6^η μέτρηση λόγω μεγάλης διαφοράς, ο δείκτης μάζας νερού βρέθηκε ίσος με 2,55.

Πίνακας 2 : καταγραφή μετρήσεων

WPV	ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΖΥΓΑΡΙΑ			ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΖΥΓΑΡΙΑ		
	1η ΜΕΤΡΗΣΗ	2η ΜΕΤΡΗΣΗ	3η ΜΕΤΡΗΣΗ	4η ΜΕΤΡΗΣΗ	5η ΜΕΤΡΗΣΗ	6η ΜΕΤΡΗΣΗ
$W_{\text{κουψέλης}} \text{ (gr)}$	25,30	25,30	25,30	30,20	30,20	30,20
$W_{\text{κουψέλης+δείγμα}} \text{ (gr)}$	25,80	25,69	25,70	30,80	30,60	30,70
$W_{\text{δείγμ+κ+ν}} \text{ (gr)}$	27,50	26,60	26,81	32,30	31,50	31,80
$W_{\text{δείγματος}} \text{ (gr)}$	0,50	0,39	0,40	0,60	0,40	0,50
$W_w \text{ (gr)}$	1,45	0,91	1,11	1,50	0,90	1,10
WPV	2,90	2,33	2,77	2,50	2,25	2,20



Εικ.2.2.4 Παραδοσιακή ζυγαριά ακριβείας



Εικ2.2.5 Ηλεκτρονική ζυγαριά



Εικ.2.2.6 Σύριγγα



Εικ.2.2.7 Υποδοχέας με δείγμα από μπεντονίτη που περιέχει ποσότητα νερού

2.2.3 ΤΕΣΤ BET. (Brunauer - Emmett - Teller)

Η θεωρία Brunauer-Emmett-Teller (BET) στοχεύει στο να εξηγήσει τη φυσική προσρόφηση μορίων αερίου σε μια στερεή επιφάνεια. Η θεωρία (BET) εφαρμόζεται σε συστήματα πολλαπλών στρώσεων προσρόφησης και συνήθως χρησιμοποιεί αέρια ανίχνευσης που δεν αντιδρούν χημικά με τις επιφάνειες των υλικών καθώς προσροφούν για να ποσοτικοποιήσουν συγκεκριμένη επιφάνεια. Το άζωτο είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο αέριο προσροφητικό που χρησιμοποιείται για επιφανειακή ανίχνευση για το λόγο αυτό η συνήθης ανάλυση (BET) διεξάγεται συχνότερα στη θερμοκρασία βρασμού του αζώτου (-196 °C). Η προσρόφηση αερίου επιτρέπει επίσης τον προσδιορισμό της κατανομής μεγέθους και όγκου των μικροπόρων (0,35 - 2,0 nm).

Το τεστ BET. είναι μια τεχνική ρόφησης – εκρόφησης αζώτου που προσδιορίζει μια σειρά από φυσικές ιδιότητες υλικών όπως Κατανομή Μεγέθους Πόρων (PoreSD) και Ειδική Επιφάνεια (BET).

Ο όρος Κατανομή Μεγέθους Πόρων παίζει σημαντικό ρόλο διότι για να αερίζεται σωστά το έδαφος δεν είναι απαραίτητο απλά ο συνολικά μεγάλος όγκος πόρων, αλλά και η ύπαρξη πόρων μεγάλης διαμέτρου.

Όσον αφορά τώρα την Ειδική Επιφάνεια αναφέρεται σε πορώδη υλικά και ορίζεται ως η επιφάνεια των τοιχωμάτων των πόρων. Η επιφάνεια αυτή παίζει σημαντικό ρόλο σε διεργασίες όπου υφίσταται αλληλεπίδραση (π.χ.ρόφηση) μεταξύ της στερεής μήτρας και του ρευστού που καταλαμβάνει τον κενό χώρο.

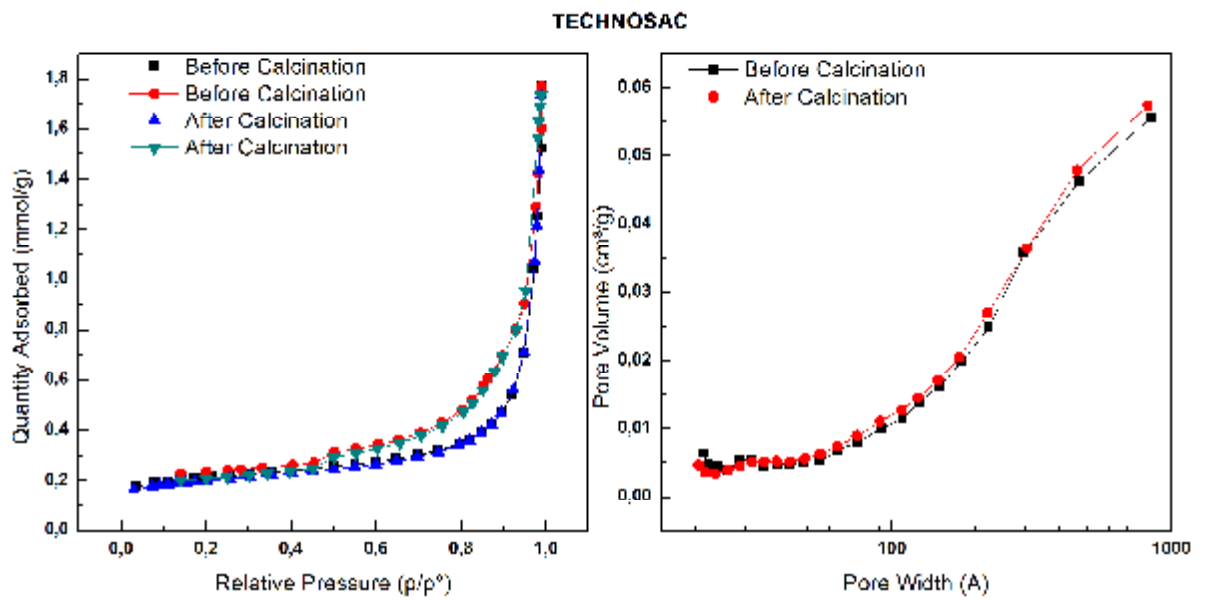
Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να εφαρμοστούν σε πορώδη δείγματα, καταλύτες, γεωλογικά, μεταλλουργικά, κεραμικά, πολυμερή, αιωρήματα, κ.λ.π.



Εικ.2.2.8 Το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιεί ισοθερμική προσρόφηση αζώτου σε χαμηλή θερμοκρασία



Εικ.2.2.9 BET (μοντέλο Autosorb1)



Εικ.2.2.10 α) Διάγραμμα προσρόφησης και εκρόφησης σε συνάρτηση με τη σχετική πίεση και β) Διάγραμμα όγκος πόρων σε συνάρτηση με το πλάτος πόρων.

Από τη μέτρηση των δειγμάτων, προσδιορίστηκε η ειδική επιφάνεια του προσροφητικού υλικού $61.58 \text{ m}^2/\text{g}$, ο όγκος των πόρων $0.14 \text{ cm}^3/\text{g}$ και το μέσο μέγεθος πόρων 8.5 \AA .

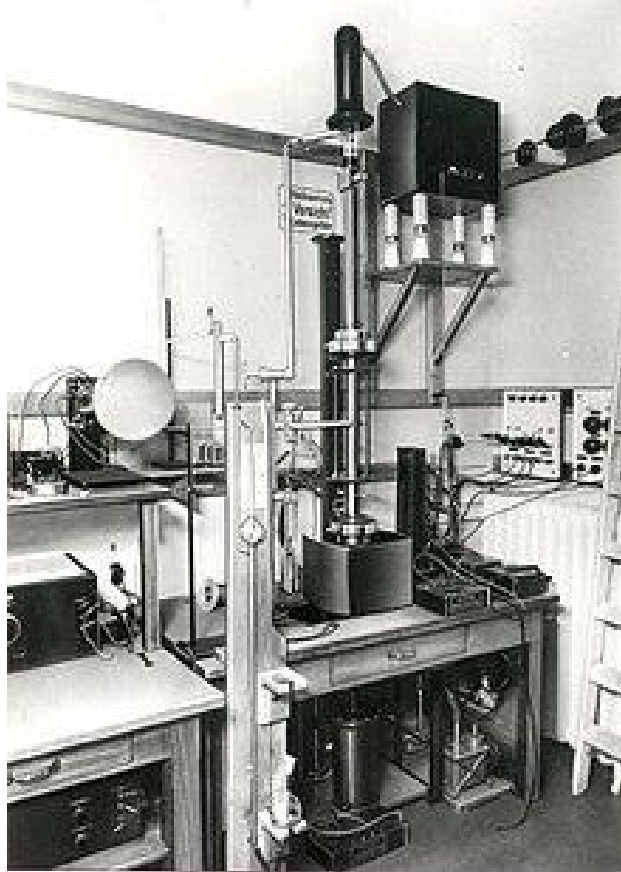
2.2.4 Μικροσκοπία ακτίνων X (Scanning Electron Microscopy)

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία ακτίνων X (Scanning Electron Microscopy, SEM) είναι μία από τις πιο σύγχρονες και ευέλικτες μεθόδους ανάλυσης της μικροδομής υλικών.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης λειτουργεί όπως και ένα οπτικό μικροσκόπιο μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως και με αυτόν τον τρόπο τα υλικά μπορούν να μεγεθυνθούν έως και $300000\times$, για να εξεταστούν σε λεπτομερή κλίμακα. Επίσης η διακριτική ικανότητα του οργάνου μπορεί να φτάσει έως και $3,5 \text{ nm}$.

Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να εστιάσουν όπως και τα φωτεινά κύματα αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια όπως για παράδειγμα οι κόκκοι υλικών. Με την εστίαση της δέσμης ηλεκτρονίων στις διάφορες επιφάνειες προκύπτουν κάποιες πληροφορίες σχετικά με τα άτομα των στοιχείων που περιέχει ένα υλικό. Από τα άτομα αυτά εκπέμπονται ηλεκτρόνια και ακτίνες X, η ένταση των οποίων μας δίνει στοιχεία για την μορφολογία και την σύσταση της επιφάνειας των υλικών.

Στο εργαστήριο για να μελετηθεί ένα δείγμα πρέπει να έχει σταθερή επιφάνεια ή μορφή σκόνης ή συσσωματώματος με ύψος να μην ξεπερνάει τα 2 cm . Αν μας ενδιαφέρει μόνο η μορφολογική παρατήρηση γίνεται επικάλυψη μόνο με Au ενώ όταν απαιτείται και μικροανάλυση ακτίνων X χρησιμοποιείται και C.



Εικ.2.2.11 το πρώτο SEM



Εικ.2.2.12 SEM Πανεπιστημίου Πατρών

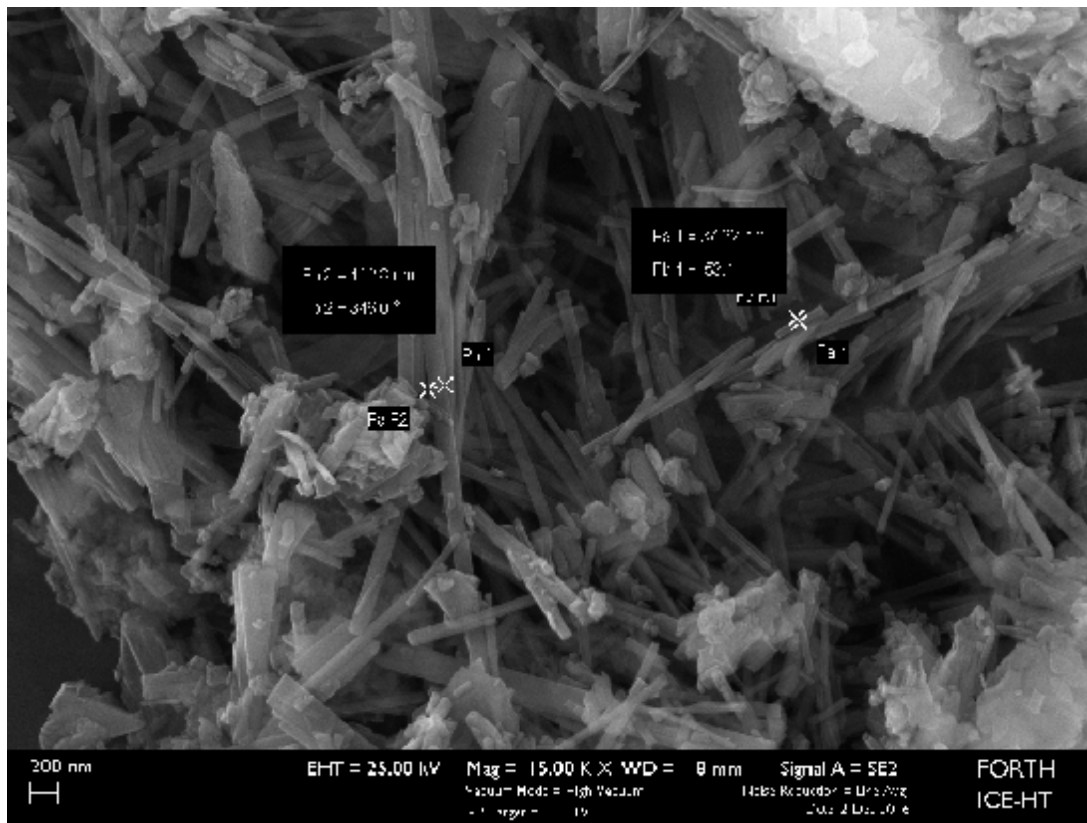
Μετά τη διεξαγωγή του πειράματος προέκυψαν τα εξής:



Εικ.2.2.13 Μορφολογία κρυστάλλων μπεντονίτη (x200 nm)



Εικ.2.2.14 Εικόνα μορφολογίας, και στοιχειακής χαρτογράφησης (x200 nm)



Εικ.2.2.15 Οι λαμπρότερες επιφάνειες δηλώνουν φάσεις με μεγαλύτερο μέσο ατομικό αριθμό.(x200nm)

2.2.5 περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Οι τεχνικές περίθλασης ακτίνων X είναι μη καταστρεπτικές αναλυτικές τεχνικές που αποκαλύπτουν πληροφορίες σχετικά με την κρυσταλλική δομή, τη χημική σύνθεση και τις φυσικές ιδιότητες των υλικών. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται στην παρατήρηση της έντασης μιας δέσμης ακτίνων X που χτυπά ένα δείγμα ως συνάρτηση της προσπίπτουσας γωνίας, της πόλωσης και του μήκους κύματος ή της ενέργειας. Το φαινόμενο της περίθλασης παρατηρείται όταν το εμπόδιο ή η οπή έχουν διαστάσεις της ίδιας τάξης μεγέθους προς το μήκος κύματος των διαδιδόμενων κυμάτων. Έτσι για να παρατηρήσουμε περίθλαση του φωτός πρέπει να έχουμε πολύ μικρές οπές ή πολύ μικρά εμπόδια με πολύ αιχμηρά άκρα. Η περίθλαση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποιοτική ανάλυση, ποσοτική ανάλυση, ανάλυση δομής, προσδιορισμό τάσης στα μέταλλα, προσδιορισμό μεγέθους κόκκων, αναγνώριση και αξιολόγηση πρώτων υλών.

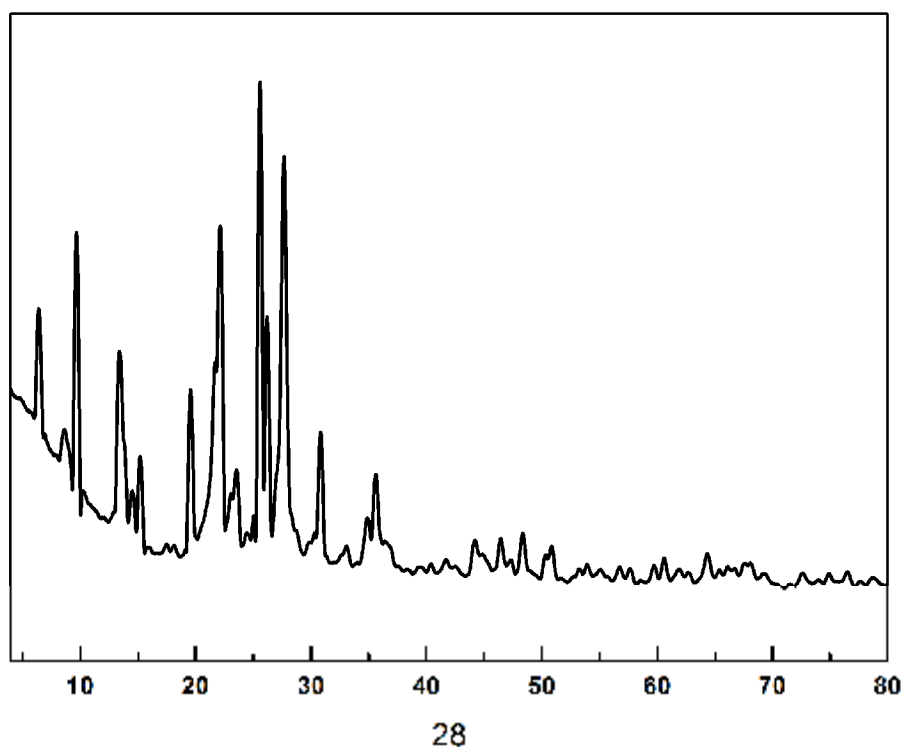
Η παραγωγή των ακτίνων X στα εργαστήρια γίνεται από πηγές που ονομάζονται λυχνίες, οι οποίες βασίζονται στην εκπομπή ηλεκτρονίων και την επιτάχυνση αυτών στο κενό.



Εικ.2.2.16 περιθλασίμετρο ακτίνων X του τύπου Siemens D500.

Παραπάνω βλέπουμε ένα περιθλασίμετρο ακτίνων X (εικόνα 2.2.14) όπου για να τοποθετηθούν τα δείγματα πρέπει να είναι μονοκρύσταλλοι (δέκατα του mm) και κονιοποιημένα ώστε να εξασφαλίζονται όλοι οι δυνατοί προσανατολισμοί, επειδή πρέπει να γίνεται γνωστός ο προσανατολισμός των κρυσταλλικών επιπέδων ως προς τη διεύθυνση της δέσμης των ακτίνων X. Συγκεκριμένα ο κρύσταλλος τοποθετείται σε μια κεφαλή όπου μπορεί να προσανατολιστεί σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και επομένως παρασκευάζεται ένα μη προσανατολισμένο δείγμα, οπότε σε κάθε περίπτωση θα εμφανίζεται ένας τουλάχιστον κρύσταλλος σε κατάλληλο προσανατολισμό για να συμβεί η περίθλαση.

Μετά τη δοκιμή στο εργαστήριο προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα έντασης σε συνάρτηση με τη γωνία θ :



Εικ.2.2.17 Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X μπεντονίτη, χαρακτηριστικές κορυφές (peaks) της έντασης της περιθλώμενης ακτινοβολίας συναρτήσει κάποιας γωνίας ϕ .

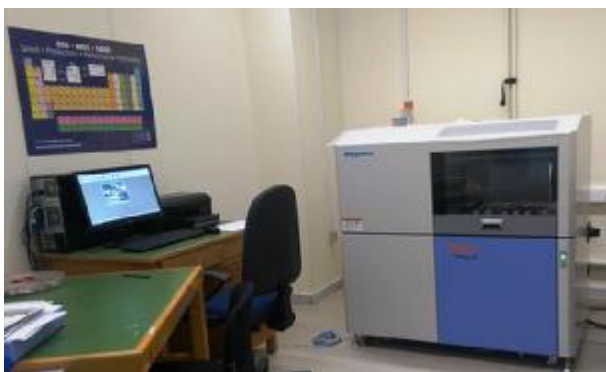
2.2.6 Φθορισμός ακτίνων X (XRF)

Η φασματοσκοπία XRF χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση ποικιλίας στερεών και υγρών δειγμάτων. Είναι μη καταστροφική, ταχεία και εφαρμόσιμη σε ευρεία περιοχή συγκεντρώσεων, από 100% έως μερικά ppm.

Ο Φθορισμός ακτίνων X είναι εκπομπή δευτερογενών ακτίνων από υλικό που έχει διεγερθεί με υψηλή ακτινοβολία ή ακτίνες γάμμα και των οποίων η ενέργεια είναι μικρότερη από εκείνη των πρωτογενών. Όταν τα υλικά εκτίθενται σε τέτοιου είδους ακτίνες γίνεται ο ιονισμός των ατόμων των συστατικών τους με αποτέλεσμα τα άτομα να χάνουν ηλεκτρόνια. Η απομάκρυνση αυτή των ηλεκτρονίων από το άτομο κάνει τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια να θέλουν να γεμίσουν το κενό που μόλις δημιουργήθηκε οπότε “πέφτουν” στις οπές κάνοντας έτσι το άτομο ασταθές. Κατά τη πτώση των ηλεκτρονίων απελευθερώνεται ενέργεια υπό τη μορφή φωτονίου. Έτσι το υλικό εκπέμπει ακτινοβολία, της οποίας η ενέργεια είναι ανάλογη των ατόμων.

Για να γίνει η διέγερση των ατόμων χρειάζεται η ύπαρξη ακτινοβολίας με αρκετή ενέργεια διότι τα ηλεκτρόνια κρατούνται με δύναμη πάνω στα άτομα και αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιούνται οι ακτίνες X ή ακτίνες γ που έχουν μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με άλλες τεχνικές.

Επιπλέον ο φθορισμός χρησιμοποιείται στη διερεύνηση των μετάλλων, του γυαλιού, των κεραμικών και των δομικών υλικών, καθώς και για τη γεωχημεία, την εγκληματολογία, την αρχαιολογία και τα αντικείμενα τέχνης.



(a)



(b)

Εικ.2.2.18 α) Επιτραπέζιο φασματόμετρο Ενεργειακής Διασποράς τύπου NEXCG κατασκευασμένο για την πλήρη ποιοτική και ποσοτική ανίχνευση και ανάλυση όλων των στοιχείων από Na μέχρι U, β) Φασματόμετρο Διασποράς τύπου ZSX PRIMUS II, το οποίο είναι κατάλληλο για πλήρη στοιχειακή ανάλυση και προσδιορισμό όλων των στοιχείων από Be μέχρι και U

Αρχικά οι ακτινοβολίες που ανιχνεύονται μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα που ενισχύεται από τον ενισχυτή του συστήματος και το σήμα από αναλογικό μετατρέπεται σε ψηφιακό. Από την ψηφιοποίηση η ενέργειά προσδιορίζει το είδος των στοιχείων του δείγματος και η ένταση τη σύσταση του δείγματος.

Μετά το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

ΔΕΙΓΜΑ	Al	Si	K	Ca	Fe	Ti	Ba
ΜΟ	41792	207333	15592	5623	2963	376	339

Εικ.2.2.19 Οι συγκεντρώσεις είναι σε ppm. Σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν Mn, Zn, Rb, Sr και Pb

2.3 Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή αναλύθηκε ο σημαντικός ρόλος του ορυκτού μπεντονίτη. Παρουσιάστηκαν τα κοιτάσματα που υπάρχουν στην Ελληνική επικράτεια και οι ποσότητες που υπάρχουν σε αυτά. Έγινε εκτενής αναφορά στις εφαρμογές του ορυκτού τόσο για τις κατασκευές, το περιβάλλον αλλά και την βιομηχανία.

Στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής προσπαθήσαμε να προσδιορίσουμε τις φυσικές και χημικές ιδιότητες ενός ορυκτού μπεντονίτη. Αντιπροσωπευτικά δείγματα του ορυκτού μελετήθηκαν με την βοήθεια των παρακάτω τεχνικών: (α) κοκκομετρική ανάλυση, (β) μέτρηση δείκτη μάζας νερού (WPV), (γ) τεχνική ρόφησης – εκρόφησης αζώτου BET., (δ) μικροσκοπία SEM, (ε) περίθλαση ακτίνων X (XRD), και (στ) Φθορισμό ακτίνων X (XRF).

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά τη πραγματοποίηση των παραπάνω δοκιμών, είναι τα εξής :

- Η κοκκομετρική ανάλυση έδειξε ότι το δείγμα που μελετήθηκε περιείχε μεσαίου μεγέθους άμμο.
- Η δοκιμή δείκτης μάζας νερού έδειξε ότι ο δείκτης WPV προσδιορίστηκε στο 2,5. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως η ροφωτική ικανότητα του μπεντονίτη είναι πολύ σημαντική, αφού μπορεί να απορροφά (χωρίς να αλλάζει ο όγκος του) 2,5 φορές το βάρος του. Αυτή η ιδιότητα τον καθιστά κατάλληλο για μια πληθώρα εφαρμογών, όπως απορρύπανση υδάτων, καταλυτικές εφαρμογές κ.τ.λ.
- Η τεχνική ρόφησης – εκρόφησης αζώτου BET προσδιόρισε ότι η ειδική επιφάνεια του μπεντονίτη είναι $61.58 \text{ m}^2/\text{g}$. Ο μέσος όγκος των πόρων βρέθηκε να ισούται με $0.14 \text{ cm}^3/\text{g}$ καθώς και το μέσο μέγεθος πόρων $8,5 \text{ \AA}$. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει πως το ορυκτό διαθέτει μεσοπορώδη δομή με μεγάλη ειδική επιφάνεια και είναι ικανός για πληθώρα καταλυτικών εφαρμογών (π.χ. όπως έχει εφαρμοστεί στην ελληνική βιομηχανία για παραγωγή πικυμένου)
- Η μικροσκοπία SEM μας αποκάλυψε μια εικόνα της δομής του υλικού. Επιβεβαιώθηκε η γνωστή στην βιβλιογραφία κρυσταλλική και ινώδης δομή του μπεντονίτη με σύσταση CaO μέσα σε πυριτική κύρια μάζα, που αντιπροσωπεύουν σχηματισμό $\text{Ca}(\text{OH})_2$, λόγω ενυδάτωσης.
- Η περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) έδειξε ότι ο μπεντονίτης είχε κρυσταλλική δομή, όπως και αναμένετο.

- Ο φθορισμός ακτίνων X μας αποκάλυψε την χημική σύσταση του υλικού. Επιβεβαιώθηκε ότι αυτό αποτελείται κατά κύριο λόγο από Si και Al (αργυλοπυριτικό υλικό) αλλά έχει και σε μικρότερες συγκεντρώσεις Fe και K, ενώ σε ακόμα μικρότερες Ti και Ba.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- § Christidis GE, Huff WD, “Geological aspects and genesis of bentonites.”, 2009
- § Christidis, Blum A.E. & Eberl D.D, “Influence of layer charge and charge distribution of smectites on the flow behaviour and swelling of bentonites”, 2006
- § Christidis G.E. and P.W. Scott, “Laboratory Evaluation of Bentonites, Industrial Minerals”, 1993
- § Eisenhour, D. a, “Bentonite and its Impact on Modern Life.”, 2009
- § Grim, R. a., “Bentonites-geology, mineralogy, properties, and uses”, 1978
- § G. W. Luttig, F. W. Wiedenbein, “Bentonite and related deposits: world economic significance and situation in Greece”, 1990
- § Johnson, D.M., Hooper P.R., and Conrey, R.M., “XRF Analysis of Rocks and Minerals for Major and Trace Elements on a Single Low Dilution Li-tetraborate Fused Bead”, 1999
- § Muhammad Naswir, Susila Arita, Marsi, and Salni, “Characterization of Bentonite by XRD and SEM-EDS and Use to Increase PH and Color Removal, Fe and Organic Substances in Peat Water”, Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 1, No. 4, October 2013
- § R.Kellner, J.M.Mermet, M.Otto, H.M.Widmer, Wiley-VCH, “Analytical Chemistry”, 1997
- § Robert P. Chapuis, “Sand–bentonite liners: predicting permeability from laboratory tests”, Canadian Geotechnical Journal, 1990
- § Skoog, Holler, Nilman, Harcourt College Publishers, “Principles of Instrumental Analysis”, 1998
- § Λεοντόπουλος Χαράλαμπος - Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., “ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ”, Αθήνα 2012
- § Τσιραμπίδης Α. & Φιλίππιδης Α.- Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, “ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ ΕΛΛΑΔΟΣ: ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΑ, 2013