



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΟΥΡΣΑΝΙΔΗΣ Ι. ΑΧΙΛΛΕΥΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗΣ: ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΧΡΗΣΕΙΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΠΟΥΡΣΑΝΙΔΗΣ Ι. ΑΧΙΛΛΕΥΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5296

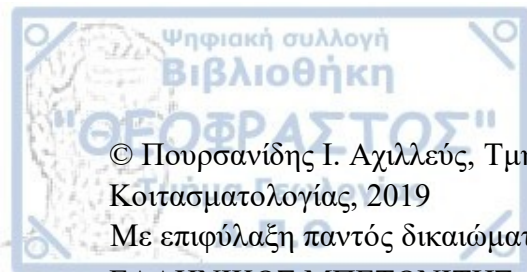
ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗΣ: ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΧΡΗΣΕΙΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας-
Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Ν. Καντηράνης

Αν. Καθηγητής



© Πουρσανίδης Ι. Αχιλλεύς, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗΣ: ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΧΡΗΣΕΙΣ – *Διπλωματική Εργασία*

©Poursanidis I. Achilles, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2019

All rights reserved.

GREEK BENTONITE: DEPOSITS, PRODUCTION, USES – *Bachelor Thesis*

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

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

Εικόνα Εξωφύλλου: Ορυκτός Μπεντονίτης. Πηγή: ima-europe.eu



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Ορισμοί	7
1.2 Παγκόσμια Κοιτάσματα	8
2. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΜΠΙΕΤΟΝΙΤΗΣ	17
2.1 Εμφανίσεις και Κοιτάσματα	17
2.2 Παραγωγή	18
3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ-ΧΡΗΣΕΙΣ.....	22
3.1 Ιδιότητες.....	23
3.2 Χρήσεις	28
4. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	34
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	38
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

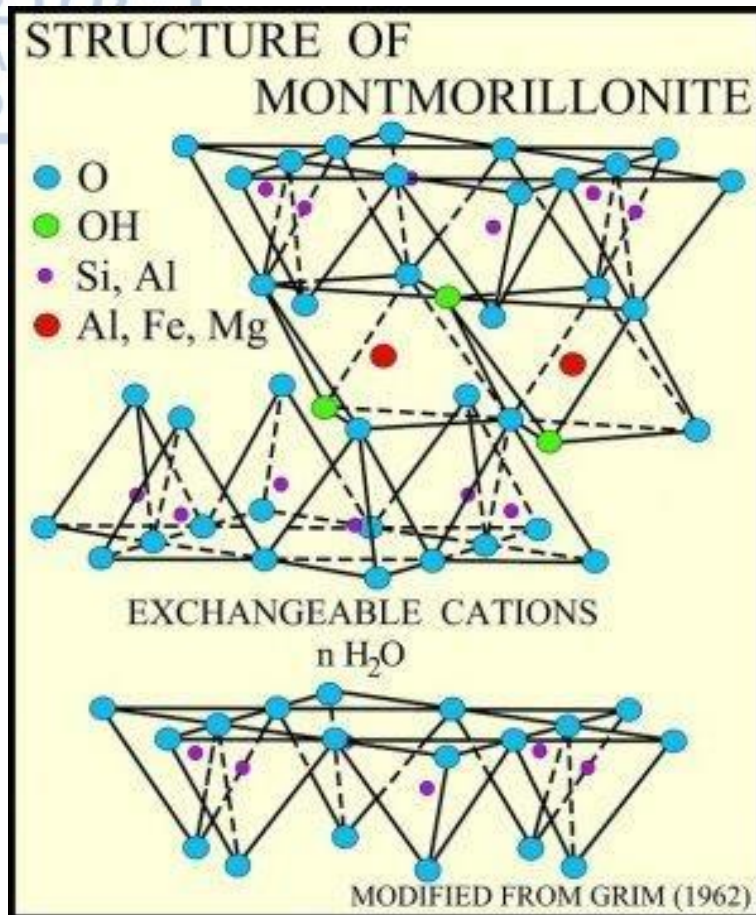
1.1 Ορισμοί

Ο όρος μπετονίτης χρησιμοποιήθηκε στην αρχή για την περιγραφή του πλαστικού πηλού που βρέθηκε το 1890 στους Άνω Κρητιδικούς ηφαιστειακούς τόφους κοντά στο Fort Benton της πολιτείας Wyoming των Η.Π.Α. Το βασικό στοιχείο, το οποίο είναι πρωταρχικό για τις ιδιότητες του πηλού, είναι το αργιλικό ορυκτό μοντμοριλλονίτης (σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 80%). Αυτό με τη σειρά του, ονομάζεται έτσι από το Montmorillon στη νότια Γαλλία. Όταν η περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη δεν ξεπερνά το 80% και βρίσκεται μεταξύ 60-80%, το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως “μπετονιτική άργιλος”.

Ο μπετονίτης σχηματίζεται από την μετατροπή της ηφαιστειακής τέφρας σε σμεκτίτες. Οι σμεκτίτες είναι ορυκτά της άργιλου, δηλαδή αποτελούνται κυρίως από κρυστάλλους των οποίων το μήκος της μεγαλύτερης διάστασής τους δεν ξεπερνά τα 2μm. Οι κρύσταλλοι αυτοί αποτελούνται από 3 στιβάδες, 2 τετραεδρικές και 1 οκταεδρική. Οι τετραεδρικές στοιβάδες του μοντμοριλλονίτη περιέχουν SiO_4 και περικλείουν την οκταεδρική που αποτελείται από $\text{M}(\text{O}_5, \text{OH})$, όπου M κυρίως Al, Mg, ενώ είναι δυνατόν να περιέχεται και Fe (Εικ. 1.1.1).

Οι πυριτικές στοιβάδες περιέχουν ελαφρώς αρνητικό φορτίο που αντισταθμίζεται από ανταλλάξιμα ιόντα στην ενδοστοιβαδική περιοχή. Το φορτίο είναι τόσο αδύναμο ώστε τα κατιόντα (σε φυσική μορφή, κυρίως Ca^{2+} , Mg^{2+} ή Na^{+}) αρκετά συχνά εμφανίζονται και δεσμεύονται σε αυτό το χώρο με την ένυδρη μορφή τους. Αναλογικά με την έκταση της ενυδάτωσης προκαλείται ενδοκρυσταλλική διόγκωση.

Ανάλογα με τη διαδικασία σχηματισμού τους, οι μπετονίτες περιέχουν μια ποικιλία από ορυκτά εκτός από μοντμοριλλονίτη. Αυτά τα ορυκτά μπορεί να περιλαμβάνουν χαλαζία, άστριους, ασβεστίτη και γύψος. Η παρουσία αυτών των ορυκτών επηρεάζουν την βιομηχανική αξία του κοιτάσματος, μειώνοντας ή αυξάνοντας την αξία του ανάλογα με τη χρησιμότητα για την οποία προορίζεται.



Εικ.1.1.1: Δομή Μοντοριλλονίτη (Πηγή: www.usgs.com)

1.2 Παγκόσμια Κοιτάσματα

Τα περισσότερα κοιτάσματα μπετονίτη είναι Κρητιδικής ηλικίας ή νεότερα (IM Staff, 2016) και σχετίζονται με θαλάσσιους αργιλικούς σχιστόλιθους και μάργες (Wyoming), ασβεστιτικές άμμους και μάργες (Μαρόκο), ανθρακούχους αργιλικούς σχιστόλιθους και άνθρακες (Νότια Αφρική), ψαμμίτη και κροκαλοπαγές (Αυστραλία), δακτιτικά πυροκλαστικά υλικά και τόφους (Μήλος), ανδεσίτη (Κίνα), ή ρυόλιθο και οψιδιανό/περλίτη (Κίνα και Μοζαμβίκη).

Ακριβής καταγραφή των παγκοσμίων κοιτασμάτων και παραγωγής δεν δύναται να πραγματοποιηθεί λόγω των αμφιλεγόμενων και αντιφατικών στοιχείων που δημοσιοποιούνται. Εντούτοις παρακάτω παραθέτετε μια ενδεικτική λίστα με τα πιο σημαντικά κοιτάσματα ανά τον πλανήτη (IM Staff, 2016).

Βόρεια Αμερική

ΗΠΑ: Wyoming: 8 διαφορετικοί σχηματισμοί μπετονίτη εκμεταλλεύονται στο Wyoming (Εικ.

1.2.1) και τη γύρω περιοχή αποτελώντας περίπου το 70% της συνολικής παραγωγής των ΗΠΑ, με το μεγαλύτερο μέρος να συνδέεται με τον αργίλικό σχιστόλιθο Mowry του Κρητιδικού (IM Staff, 2016).

Περιοχή *Black Hills, South Dakota*: Η αρχαιότερη τοποθεσία παραγωγής μπετονίτη στον κόσμο με 5 ενεργές μονάδες παραγωγής Na-μπετονίτη με εφαρμογές κυρίως στα χυτήρια και τις γεωτρήσεις.

Ανατολικά του όρους *Big Horn, Wyoming*: Μια μονάδα παραγωγής στο Casper επεξεργάζεται το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής αυτής της περιοχής.

Δυτικά του όρους *Big Horn, Wyoming*: Η τρίτη μεγαλύτερη περιοχή εκμετάλλευσης Na μπετονίτη με επίκεντρο το Wyoming, όπου δραστηριοποιούνται 4 εταιρίες που επεξεργάζονται το υλικό πέριξ των ορυχείων.



Εικ. 1.2.1: Σοροί μπετονίτη στις πλατείες και σταθμός παραγωγής στο Colony του Wyoming (Πηγή: www.indmin.com).

Κόλπος του Μεξικό: Στις πολιτείες γύρω από τον κόλπο του Μεξικού βρίσκονται τα μεγαλύτερα κοιτάσματα Ca-μπετονίτη των ΗΠΑ που συνδέονται με τους σχηματισμούς Eutaw και Ripley ηλικίας Άνω Κρητιδικού και τους σχηματισμούς Vicksburg, Jackson και Gueydan Τριτογενούς ηλικίας (IM Staff, 2016).

Καναδάς: Κοιτάσματα μπετονίτη βρίσκονται κατά μήκος όλου του δυτικού Καναδά και έχουν

την ίδια ηλικία με αυτά του Wyoming, αλλά διαφέρουν στην σύσταση, καθώς πρόκειται κυρίως για Ca-μπετονίτη. Οι κύριες περιοχές εκμετάλλευσης βρίσκονται στις πολιτείες Saskatchewan και Manitoba (IM Staff, 2016).

Μεξικό: Τα κοιτάσματα μπετονίτη συνδέονται με ηφαιστειοκλαστικά υλικά Τριτογενούς ηλικίας και βρίσκονται στο κεντρικό Μεξικό. Η κύρια περιφέρεια παραγωγής Ca-μπετονίτη είναι η Hidalgo, ενώ στην περιφέρεια Durango παράγεται Na-μπετονίτης (IM Staff, 2016).

Νότια Αμερική

Βραζιλία: Οι περισσότερες εμφανίσεις μπετονίτη στην Βραζιλία δεν είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες διότι περιέχουν υψηλά ποσοστά και άλλων ορυκτών πέρα των σμεκτικών. Η κύρια παραγωγή προέρχεται κυρίως από τις πολιτείες Pariba, Sao Paulo και Bahia, όπου η ποιότητα είναι σχετικά καλύτερη (IM Staff, 2016).

Περού: Ca-μπετονίτης εξορύσσεται και επεξεργάζεται στην πόλη Piury. Εμφανίσεις έχουν αναφερθεί σε όλο το εύρος του βόρειου και νότιο-κεντρικού Περού σε Τριτογενή στρώματα κοντά στην ακτογραμμή (IM Staff, 2016).

Χιλή: Στην πόλη Arica εξορύσσετε Ca-μπετονίτης (IM Staff, 2016).

Ευρώπη

Ηνωμένο Βασίλειο: Στις περιοχές Surrey, Oxfordshire και Bedfordshire εξορύσσετε Ca-μπετονίτης από Άνω Κρητιδικά και Ιουρασικά ιζηματογενή πετρώματα (IM Staff, 2016).

Γερμανία: Ca-μπετονίτης εξορύσσετε στην Βαυαρία από μάργες και τοφφοειδείς άμμους που αποτελούν μέρος της μαλάσας ηλικίας Άνω Μειόκαινου. Πολλές από τις εμφανίσεις μπετονίτης στον σχηματισμό αυτό δεν έχουν οικονομική αξία, καθώς περιέχουν μεγάλες ποσότητες ιλλίτη και καολινίτη (IM Staff, 2016).

Ιταλία: Εκτεταμένα κοιτάσματα Ca-μπετονίτη εξορύσσονται στη νήσο Σαρδηνία (IM Staff, 2016).

Ισπανία: Ca-μπετονίτης εξορύσσετε στη Μαδρίτη και την Αλγερία. Ειδικότερα στην Αλγερία τα κοιτάσματα σχηματίστηκαν από υδροθερμική εξαλλοίωση ανδεδίτη και ρυόλιθου (IM Staff, 2016).

Κύπρος: Ca-μπετονίτης εξορύσσετε κοντά στη Λεμεσό (IM Staff, 2016).

Τουρκία: Κοιτάσματα Na-μπετονίτης και Na/Ca-μπετονίτη είναι γνωστά σε πολλά μέρη της Τουρκίας (Εικ. 1.2.2), αλλά πολύ λίγα βρίσκονται υπό εκμετάλλευση (IM Staff, 2016).



Εικ. 1.2.2: Εξόρυξη λευκού μπετονίτη στο Μπακιργκοέλ της Μαύρης θάλασσας, Τουρκία (Πηγή: www.indmin.com).

Αφρική

Μαρόκο: Μεγάλα αποθέματα διαφόρων τύπων μπετονίτη βρίσκονται σε Κρητιδικά και Τριτογενή ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν ηφαιστειοκλαστικά υλικά. Στο παρελθόν πολλά από τα κοιτάσματα αυτά βρίσκονταν υπό εκμετάλλευση. Πλέον εξορύσσετε μόνο Ca-μπετονίτης με μεγάλο ποσοστό μαγνησίου (IM Staff, 2016).

Νότια Αφρική: Na-μπετονίτης και Ca-μπετονίτης εξορύσσετε στις περιοχές Korppies του Orange Free State (Εικ. 1.2.3) και στο Heidelberg της Cape Province (IM Staff, 2016).



Εικ. 1.2.3: Ca-Μπετονίτης στο Korpies, Ν. Αφρική (Πηγή: www.indmin.com).

Αυστραλία

Κοιτάσματα μπετονίτη βρίσκονται σε όλο το μήκος της Αυστραλίας και συνδέονται με διαφόρους τύπους πετρωμάτων ηλικίας από Πέρμιο μέχρι Πλειόκαινο (IM Staff, 2016). Για παράδειγμα, οι Περμοτριάδικοί άνθρακες στην Νέα Νότια Ουαλία περιέχουν αρκετά στρώματα μπετονίτη που σχηματίστηκε από τη διαγέννεση κάποιου ηφαιστειοκλαστικού υλικού. Ca-Μπετονίτης παράγεται στο Cressfield, ενώ Na-μπετονίτης παράγεται στο Gurulmundi (Εικ. 1.2.4).

Ασία

Ινδία: Ca-μπετονίτης και Na-μπετονίτης παράγεται στις επαρχίες Bihar, Jammu, Kashmir και Kutch (IM Staff, 2016).

Πακιστάν: Στο Πακιστάν εξορύσσετε μόνο Ca-μπετονίτης (IM Staff, 2016).



Εικ.1.2.4: Na-μπετονίτης καλυπτόμενος από τόφους και ψαμμίτη, Gurulmundi, Αυστραλία. (Πηγή: www.indmin.com).

Ιαπωνία: Na-μπετονίτης και H-μπετονίτης παράγεται στην Ιαπωνία (Εικ. 1.2.5). Τα κοιτάσματα συνδέονται με τη διαγέννεση ηφαιστειακών τόφφων και στάχτης. Οι τύποι διαγέννεσης περιλαμβάνουν δευτερογενή διαγέννεση, υδροθερμική διαγέννεση και ανακρυστάλλωση. Τα περισσότερα κοιτάσματα βρίσκονται μέσα σε στρώματα θαλάσσιου πυλόλιθου, ιλύολιθου, ψαμμίτη και ανθράκων ηλικίας Μειόκαινου και Πλειόκαινου (IM Staff, 2016).

Κίνα: Η Κίνα είναι ίσως ο μεγαλύτερος παραγωγός μπετονίτη (Εικ. 1.2.6 και 1.2.7), αν και οι εκτιμήσεις για την παραγωγή ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό από 3,5 εκατομμύρια τόνους (στοιχεία USGS, BGS) μέχρι μεταξύ 4 και 8 εκατομμυρίων τόνων (στοιχεία CNMIA), εκ των οποίων ένα μεγάλο ποσοστό πηγαίνει για τη σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος. Ο μπετονίτης είναι κατά κύριο λόγο ασβεστούχος-μαγνησιούχος και συνήθως συνδυάζεται με ανδεσίτη, μερικές φορές σε πολύ πυκνά στρώματα. Λευκός Μπετονίτης εξορύσσεται και επεξεργάζεται σε αρκετές επαρχίες συμπεριλαμβανομένων των Anhui, Hebei και την Εσωτερική Μογγολία (IM Staff, 2016).



Εικ.1.2.5: Εξόρυξη Na-μπετονίτη στο Shirosaki, Ιαπωνία. (Πηγή: www.indmin.com).



Εικ.1.2.6: Λευκός Ca-μπετονίτης με ρυόλιθο. Περιφέρεια Anhui, Κίνα. (Πηγή: www.indmin.com).



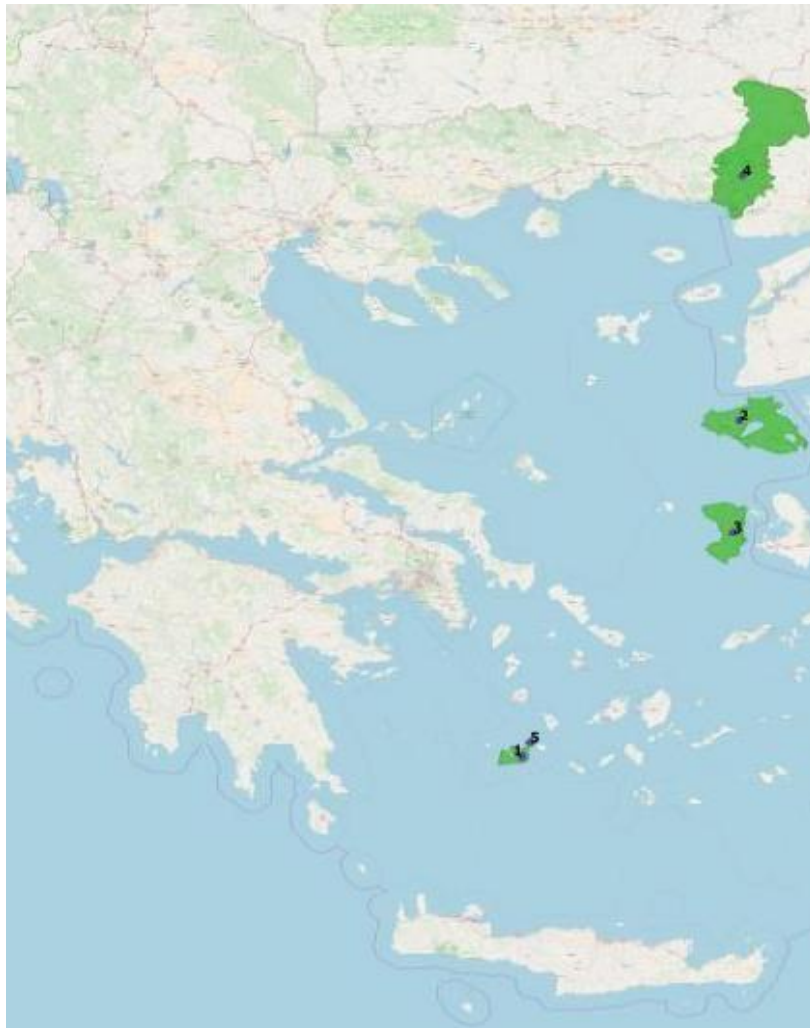
Εικ. 1.2.7. Ca-μπετονίτης καλυπτόμενος από ανδεσίτη. Jianbing, περιφέρεια Liaoning, Κίνα. (Πηγή: www.indmin.com).



2. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗΣ

2.1 Εμφανίσεις και Κοιτάσματα

Τα κυριότερα κοιτάσματα μπετονίτη στον Ελλαδικό χώρο συναντώνται στη Μήλο (περιοχές Κώμια και Τρογαλάς) και στην Κίμωλο (Εικ. 2.1.1) και δευτερευόντως της Λέσβου και της Χίου. Ο μπετονίτης στη Μήλο αποτελείται κυρίως από Ca μοντμοριλλονίτη (σε ποσοστό άνω του 80%), χαλαζία, άστριους, καολινίτη και αναλλοίωτο οψιδιανό (Γασπαρής και Κτενάς, 2018).



Εικ. 2.1.1: Κοιτάσματα μπετονίτη στην Ελλάδα. (Γασπαρής και Κτενάς, 2018)

Σχηματίστηκε όταν πορώδη, διαβρωμένα πετρώματα αποπλύθηκαν από θαλασσινό νερό αναμειγμένο με ζεστά ηφαιστειακά αλκαλικά ρευστά. Όταν τα ίδια αυτά πετρώματα αποπλύθηκαν στη συνέχεια από θερμά, όξινα ρευστά, αποτέθηκε από επάνω μία στρώση καολίνη πάνω στον αρχαιότερο μπετονίτη. Ο μπετονίτης της Μήλου διακρίνεται για την εξαιρετική ποιότητά του και εμφανίζεται σε τρεις ξεχωριστές συγκεντρώσεις με ελαφρά διαφορετικές ιδιότητες: κοίτασμα Ζούλια-Ασπροχωριού-Τσαντίλη, κοίτασμα Αγγεριάς-Κουφής, κοίτασμα στα Άνω- και Κάτω Κώμια Ρέμα-Μαυρογιάννο. Επιπρόσθετα, αποθέσεις μπετονίτη εμφανίζονται στη Λέσβο, τη Χίο και τον Έβρο (Μέστη, Συκορράχη). Τα πιθανά αποθέματα ελληνικού μπετονίτη υπολογίζονται περί τους 100 εκατ. τόνους (Γασπαρής και Κτενάς, 2018).

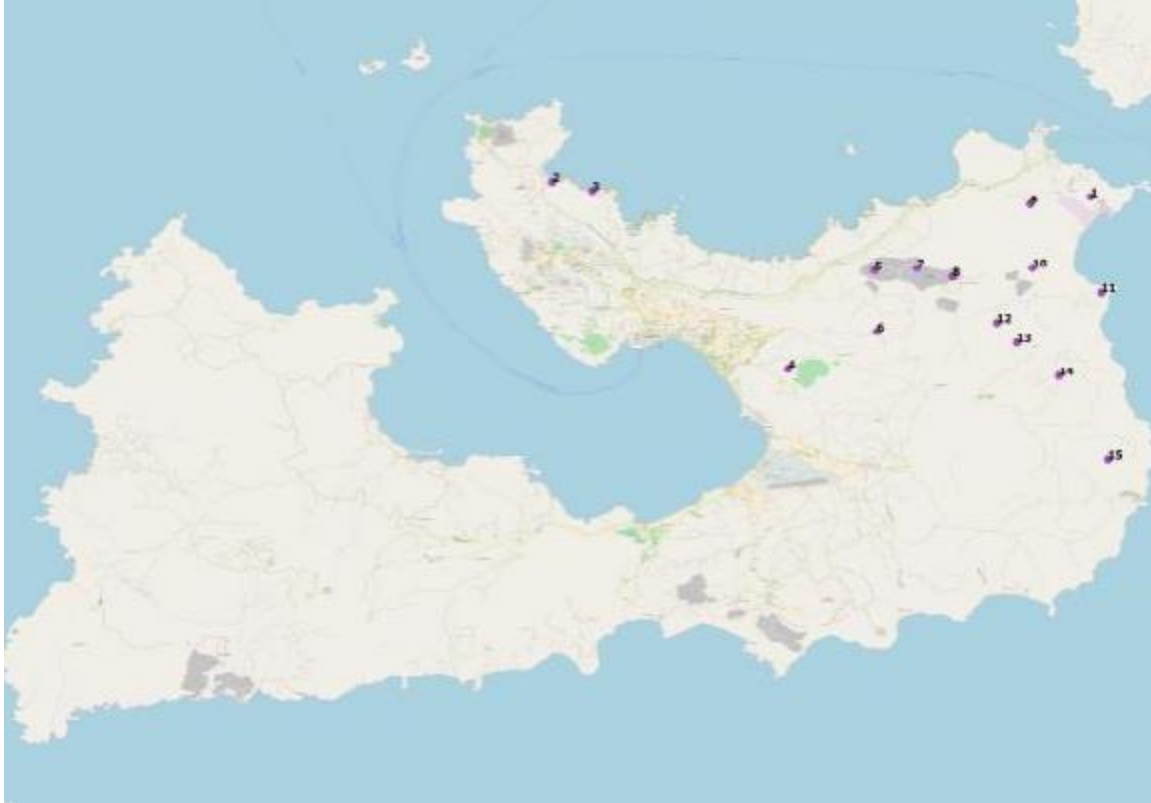
2.2 Παραγωγή

Το 2015 η Ελλάδα ήταν πρώτη στην Ε.Ε και τρίτη στον κόσμο στην παραγωγή μπετονίτη (9% της παγκόσμιας παραγωγής) (Γασπαρής και Κτενάς, 2018). Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή αγγίζει τους 750.000 τόνους και η τιμή πώλησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη από τον βαθμό βιομηχανικής επεξεργασίας, το μέγεθος των κόκκων του υλικού και την συσκευασία. Η εξόρυξη πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο στην Μήλο και την Κίμωλο.

Μήλος

Η Μήλος χαρακτηρίζεται ως το πιο μεγάλο κέντρο παραγωγής και μεταποίησης μπετονίτη τόσο της Ελλάδας, όσο και της Ε.Ε. Τα λατομεία της Μήλου ανήκουν στην πρώην εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά νυν IMERYS BIOMHXANIKA OPYKTA EΛΛAΣ A.E. (Εικ. 2.2.1) Η λειτουργία των λατομείων διαχωρίζεται σε δυο περιόδους, την χειμερινή (Νοέμβριος-Απρίλιος) και την καλοκαιρινή (Μάιος-Οκτώβριος). Κατά την χειμερινή περίοδο γίνεται η αποκάλυψη του κοιτάσματος με την απομάκρυνση των στείρων υλικών, τα οποία ήταν χωρίς εμπορικό ενδιαφέρον μέχρι πρόσφατα όπου και βρήκαν χρήση ως ποττοζολανικά πρόσθετα τσιμέντου. Για την αποκάλυψη και την εξόρυξη του κοιτάσματος χρησιμοποιούνται σκαπτικά μέσα. Το υψηλότερο σημείο εξόρυξης είναι στα 120 μέτρα, ενώ το χαμηλότερο στα 30 μέτρα, το κοίτασμα συνεχίζει και βαθύτερα όπου εμφανίζεται εμπλουτισμένο σε ζεόλιθο (Εικ. 2.2.2, 2.2.3). Ο μπετονίτης ως αργιλικό υλικό είναι αδιαπέρατος όταν βρέχεται και μόνο τα ανώτερα 10 μέτρα προσβάλλονται από βροχή. Μετά την εξόρυξη το υλικό τοποθετείται στις «πλατείες» (επίπεδοι μεγάλοι χώροι) για να ξηραθεί και η υγρασία του να πέσει από το 30 στο 21% κ. β. Ανάλογα με το ποσοστό μοντμοριλλονίτη στο κοίτασμα προστίθεται σόδα σε ποσοστό 3-4% κ. β. επί ξηρού. Η περαιτέρω ξήρανση του υλικού γίνεται στον ξηραντήρα

μειώνοντας την υγρασία σε τιμή 9-15% κ. β. ανάλογα με τη χρησιμότητα για την οποία προορίζεται (Εικ. 2.2.4). Η εταιρεία έχει δυνατότητα παραγωγής 850.000 t/χρόνο (Mitchell & Soga 2005).



Εικ. 2.2.1: Περιοχές εξόρυξης μπεντονίτη στη Μήλο (Γασπαρής και Κτενάς, 2018).



Εικ. 2.2.2: Ορυχείο μπετονίτη Μήλου (Mitchell & Soga 2005).



Εικ.2.2.3 Ορυχείο μπετονίτη Μήλου (Mitchell & Soga 2005).



Εικ.2.2.4. Οι εγκαταστάσεις της εταιρίας IMERYS στα Βούδια (Πηγή: www.geo.auth.gr).

Κίμωλος

Η εξόρυξη του μπετονίτη στο νησί της Κιμώλου γίνεται από την εταιρία ΜΠΕΤΟΜΑΙΝ Α.Ε., στο ΒΑ μέρος του νησιού σε μια έκταση 130.000 τ.μ. (Εικ. 3.2.3).



Εικ.3.2.3: Περιοχές εξόρυξης μπετονίτη στη Κίμωλο (Γασπαρής και Κτενάς, 2018).

Τα υλικά που εξορύσσονται είναι μπετονίτης και ποζολάνη, η ποιότητα των οποίων θεωρείται εξαιρετική στην παγκόσμια αγορά, ενώ το δυναμικό της παραγωγής ανέρχεται σε 350.000 τόνους ετησίως (Γασπαρής και Κτενάς, 2018).



3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ-ΧΡΗΣΕΙΣ

3.1 Ιδιότητες

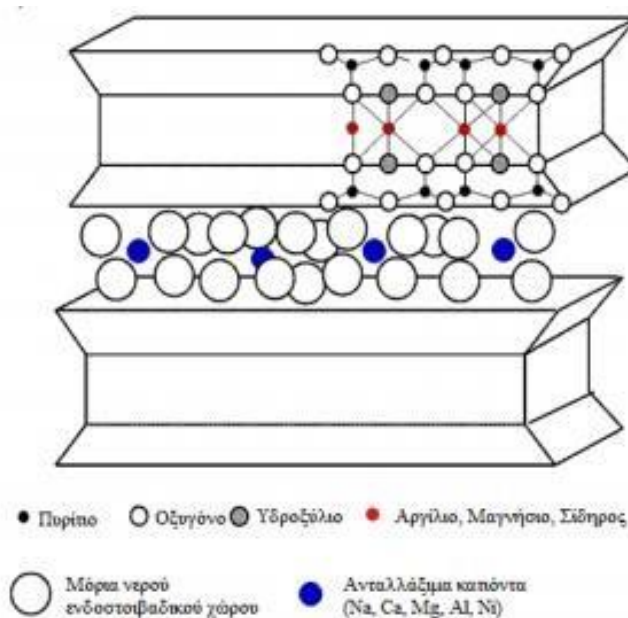
Η περιεκτικότητα του μπετονίτη σε μοντμοριλλονίτη καθορίζει κατά κύριο λόγο τις ιδιότητές του υλικού. Αυτές διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: 1) ιδιότητες που οφείλονται στην κρυσταλλικότητα του περιεχόμενου μοντμοριλλονίτη, όπως η δεσμευτική ικανότητα, η προσροφητική ικανότητα, η διασπορά, οι ρεολογικές, πληρωτικές και ηλεκτροστατικές ιδιότητες και 2) ιδιότητες που οφείλονται στη χημική σύσταση του περιεχόμενου μοντμοριλλονίτη, οι οποίες είναι η ιοντοανταλλακτική ικανότητα και οι καταλυτικές ιδιότητες (Λεοντόπουλος, 2012). Μετέπειτα αναφέρονται οι πιο σημαντικές ιδιότητες του μπετονίτη.

Προσροφητική ικανότητα

Κάθε δομή μοντμοριλλονίτη εμφανίζει σημαντικό ενδοστοιβαδικό χώρο που περιέχει μεγάλη εσωτερική επιφάνεια. Ο χώρος αυτός καταλαμβάνεται από ασθενώς συνδεδεμένα κατιόντα, συνήθως ενυδατωμένα, τα οποία εύκολα ανταλλάσσονται με ιόντα του περιβάλλοντος (Εικ. 3.1.1). Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται η σημαντική προσροφητική ικανότητα που εμφανίζει ο μοντμοριλλονίτης. Η επιφάνεια του μοντμοριλλονίτη απορροφά πολικά μόρια όχι μόνο στην εξωτερική, αλλά και στην εσωτερική του επιφάνεια. Μη πολικά μόρια δεν προσροφούνται από την εσωτερική επιφάνεια. Η ιδιότητα της προσρόφησης ή εκρόφησης του νερού είναι κοινή για τα περισσότερα αργιλικά ορυκτά σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Λαμβάνει χώρα σε ορυκτά που είτε περιέχουν ανοίγματα πλέγματος κατάλληλου μεγέθους ώστε να εισέρχονται τα μόρια του νερού (π.χ. ζεόλιθοι) είτε χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να διογκώνονται προσροφώντας νερό (π.χ. μοντμοριλλονίτης). Η ιδιότητα αυτή των ορυκτών εξαρτάται από την ειδική επιφάνεια και την κοχηνική κατάσταση του υλικού. 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 μορίων στην επιφάνεια οφείλεται σε δυνάμεις Van der Waals ή κορεσμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων της επιφάνειας 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. Η προσρόφηση λαμβάνει χώρα τόσο στην επιφάνεια, όσο και στον ενδοστοιβαδικό χώρο. Τα μόρια του νερού διεισδύουν στο χώρο αυτό της δομής του μοντμοριλλονίτη προκαλώντας διόγκωση του πλέγματος. Το νερό αυτό συγκρατείται πιο σταθερά στη δομή του μοντμοριλλονίτη σε σχέση με αυτό που σχετίζεται με την εξωτερική του επιφάνεια και απαιτεί υψηλότερες θερμοκρασίες για να εκροφηθεί. Στην περίπτωση που ο μοντμοριλλονίτης επεξεργαστεί χημικά μετά από κατεργασία με διάφορα διαλύματα βάσεων, θα προσροφά διαφορετικές ποσότητες νερού ανάλογα με την ευκολία υδάτωσης των κατιόντων (Λεοντόπουλος, 2012).

Εικόνα 3.1.1: Προσρόφηση μορίων νερού και κατιόντων στον ενδοστοιβαδικό χώρο του



μοντμοριλλονίτη (Λεοντόπουλος, 2012).

Η ποσότητα του νερού που προσροφάτε από τον μοντμοριλλονίτη είναι μεγάλη, χάρη στους ασθενείς δεσμούς που εμφανίζονται μεταξύ των αλληπάλληλων του στοιβάδων και εξαρτάται από το είδος, τον όγκο και το σθένος του ανταλλάξιμου κατιόντος που βρίσκεται δεσμευμένο στον ενδοστοιβαδικό του χώρο, όπως και από το μέγεθος και τη θέση του φορτίου των διαδοχικών τετραεδρικών φύλλων. Όταν οι σμεκτιτικοί άργιλοι βρίσκονται σε περιβάλλον με αυξανόμενα επίπεδα υγρασίας λαμβάνει χώρα σταδιακή ενυδάτωση των εσωτερικών επιφανειών (Λεοντόπουλος, 2012). Τρεις παράγοντες επιδρούν στην προσρόφηση μορίων νερού από τους σμηκτίτες:

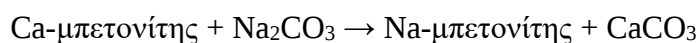
• Το μέγεθος της αρνητικής φόρτισης στο διαστρωματικό χώρο. Η τελική αρνητική φόρτιση καθώς και η προέλευση αυτής παίζουν σημαντικό ρόλο στα σημεία εντόπισης των κατιόντων στην επιφάνεια των στρωμάτων. Στο μοντμοριλλονίτη η φόρτιση είναι αποτέλεσμα της τετραεδρικής υποκατάστασης του ιόντος του πυριτίου από το ιόν του αργιλίου. Η τάση διάταξης των κατιόντων δε συναντάται σε σμηκτίτες με οκταεδρική υποκατάσταση λόγω του γεγονότος ότι το φορτίο είναι τυχαία διανεμημένο στα οξυγόνα επιφάνειας.

• Τα ανταλλάξιμα κατιόντα μεταξύ των επιφανειών του διαστρωματικού χώρου που εξισορροπούν την ολική αρνητική φόρτιση στην επιφάνεια του στρώματος. Ο τύπος των ανταλλάξιμων κατιόντων έχει σημαντική επίδραση στο βαθμό διόγκωσης του ορυκτού και στον προσανατολισμό των στρωμάτων νερού.

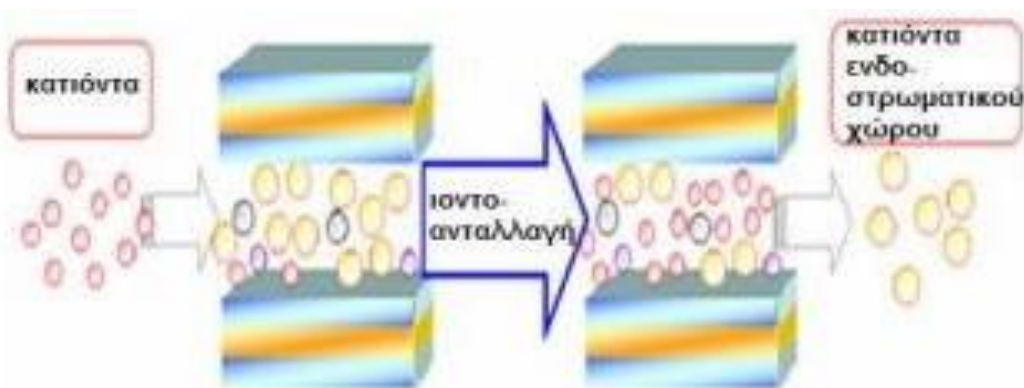
• Την αλληλεπίδραση των μορίων του νερού με τα ανταλλάξιμα κατιόντα και την επιφάνεια του διαστρωματικού χώρου του ορυκτού. Τα πολυσθενή κατιόντα προάγουν τη μονοστρωματική ρόφηση μορίων νερού αλλά περαιτέρω προσρόφηση οδηγεί σε δομική αταξία. Τα κατιόντα δρουν έτσι ώστε να καταστήσουν το προσροφημένο νερό πιο ρευστό. Αντίθετα, μονοσθενή κατιόντα (όπως τα Na^+ και Li^+) ενισχύουν τη στερεή δομή των στρωμάτων του νερού, πιθανώς λόγω του διαχωρισμού τους από την επιφάνεια των στρωμάτων. Διασπούν σε μικρό βαθμό την ημικρυσταλλική δομή των στρωμάτων νερού, καθώς τα ιόντα αυτά είναι διαλυμένα στη δομή του νερού.

Ιοντοανταλλακτική ικανότητα

Η υποκατάσταση του τετρασθενούς Si^{4+} από το τρισθενές Al^{3+} στα τετράεδρα ή του τρισθενούς Al^{3+} από το δισθενές Mg^{2+} στα οκτάεδρα προσδίδει αρνητικό φορτίο στο μοντμοριλλονίτη. Η εξισορρόπηση του αρνητικού φορτίου επιτυγχάνεται από εύκολα κινούμενα κατιόντα, ελαφρά συνδεδεμένα με δυνάμεις Coulomb στην επιφάνεια των πυριτικών επιπέδων, όπου και μπορούν να αλλάζουν θέση μεταξύ τους (Εικ. 3.1.2) με διαφορετικά κατιόντα ενός διαλύματος (Λεοντόπουλος, 2012). Τα πιο συνήθη ανταλλάξιμα κατιόντα είναι αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}), νατρίου (Na^+) και υδρογόνου (H^+). Η κατιοντοανταλλαγή συνδέεται με τη άθροιση των κατιόντων στο διάλυμα και τις ιδιότητες των εναλλασσόμενων ιόντων (μέγεθος, ακτίνα ενυδατωμένου κατιόντος). Αν σε έναν ασβεστούχο μπετονίτη προστεθεί ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3), τότε τα ιόντα του ασβεστίου (Ca^{2+}) θα ανταλλαχθούν με τα ιόντα νατρίου (Na^+), παράγοντας προϊόν με μεγαλύτερη πλαστικότητα, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Σε ισχυρά όξινο περιβάλλον, όλα τα κατιόντα που έχουν δυνατότητα εναλλαγής θα αντικατασταθούν από ιόντα H^+ . Ο H^+ -μοντμοριλλονίτης που προκύπτει με αυτό τον τρόπο μπορεί να θεωρηθεί ως ασθενές οξύ και η εναλλαγή του ιόντος που συμβαίνει όταν προστίθεται διάλυμα καυστικού νατρίου στο αιώρημα του μπετονίτη, θεωρείται ως μία αντίδραση ουδετεροποίησης.



Εικ. 3.1.2: Ανταλλαγή των ενδοστοιβαδικών κατιόντων του μοντμοριλλονίτη από άλλα κατιόντα (Λεοντόπουλος, 2012).

Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα του μπετονίτη επηρεάζει την ανάπτυξη των δυνάμεων δεσίματος μεταξύ των αργιλικών κόκκων. Η τιμή της εν λόγω ιδιότητας για το μοντμοριλλονίτη οφείλεται κατά 80% σε φορτία που είναι επακόλουθα δομικών υποκαταστάσεων και κατά 20% σε φορτία από ελλειπτικούς χημικούς δεσμούς στις άκρες των κρυστάλλων (Λεοντόπουλος, 2012). Τα ανταλλάξιμα ιόντα συνδέονται άμεσα με τη διογκωσιμότητα των σμεκτιτών.

Όταν το ιόν του νατρίου είναι το επικρατέστερο ιόν, οι σμεκτίτες χαρακτηρίζονται από μεγάλη διογκωσιμότητα διότι το ιόν του νατρίου συμβάλλει θετικά στην ανάπτυξη πολλών προσανατολισμένων επιστρωμάτων H_2O στον ενδοστοιβαδικό χώρο.

Η ενυδάτωση που σχετίζεται με το ιόν του νατρίου δύναται να οδηγήσει σε διόγκωση, σε τέτοιο βαθμό ώστε να προκαλέσει το διαχωρισμό των κρυστάλλων του σμηκτίτη, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη διασπορά και την ανάπτυξη κολλοειδών ιδιοτήτων. Στις περιπτώσεις που ανταλλάξιμα ιόντα είναι αυτά του ασβεστίου και μαγνησίου, οι μπετονίτες διασπείρονται και διογκώνονται πολύ λιγότερο, ακόμα και όταν ενυδατωθούν πλήρως (Λεοντόπουλος, 2012).

Άλλες ιδιότητες

Η θιξοτροπία είναι μια ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα αργιλικά ορυκτά που έχουν μικρό μέγεθος, όπως ο μοντμοριλλονίτης. Κατά την ανάμιξη του μπετονίτη με περίσσεια νερού

σχηματίζεται ένα αιώρημα, το οποίο έπειτα από σύντομο χρονικό διάστημα γίνεται πυκνότερο σχηματίζοντας ένα ηλεκτικό μείγμα. Το μείγμα αυτό εκρέει υπό κλίση, εάν ωστόσο μετακινηθεί, επαναμετατρέπεται σε αιώρημα. Η μετατροπή αυτή σε στερεά κατάσταση από την υγρή δύναται να επαναληφθεί. Το θιξοτροπικό αυτό γνώρισμα του μπετονίτη αφορά στο γεγονός ότι τα αργιλικά ορυκτά που αιωρούνται σταδιακά παίρνουν τέτοιες θέσεις, ώστε να σχηματίζουν ένα σκελετό. Ο σχηματισμός αυτός γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε τα μόρια H_2O να παγιδεύονται στα διάκενα που προκύπτουν ενδιάμεσα στα αργιλικά ορυκτά και να εμποδίζεται η ελεύθερη κίνηση τους. Κάθε κρούση μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο σκελετό και έτσι το αιώρημα είναι δυνατόν να μετακινηθεί και πάλι ελεύθερα. Η προσθήκη μικρής ποσότητας μπετονίτη σε νερό συνεπάγεται διαχωρισμό και διασπορά των κρυστάλλων, λόγω των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του. Το μικρό μέγεθος των κρυστάλλων σε συνδυασμό με το υπάρχον ηλεκτρικό φορτίο προκαλεί αμοιβαία απώθηση των σωματιδίων και έτσι δημιουργείται μια κατάσταση, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως κολλοειδής. Η προσθήκη μπετονίτη σε νερό με αναλογία 5-6% οδηγεί στη δημιουργία ρευστού με μεγάλο ιξώδες, δηλαδή μεγάλη αντίσταση στη ροή. Όταν απομακρυνθεί η διατμητική τάση που ασκείται από τη ρευστή φάση, τα σμεκτιτικά σωματίδια σχηματίζουν δομή ηλεκτρώματος. Το ιξώδες που προάγουν οι νατριούχοι μπετονίτες οφείλεται κυρίως στο μικρό μέγεθος των σωματιδίων, τη σημαντική επιφάνειά τους, την δεξιότητα διάδοσης, καθώς και στα ηλεκτρικά φορτία των σωματιδίων. Αντίθετα, οι μπετονίτες με κυρίαρχα ανταλλάξιμα κατιόντα αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) δε χαρακτηρίζονται από υψηλό ιξώδες, ούτε θιξοτροπική συμπεριφορά, όταν βρεθούν σε μορφή υδατικών κολλοειδών διαλυμάτων. Με την ενεργοποίηση αυτών των μπετονιτών υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης των κολλοειδών ιδιοτήτων τους, οι οποίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη χρήση τους ως συνδετικά υλικά (Λεοντόπουλος, 2012).

Τα κοιτάσματα του μπετονίτη εμφανίζονται ποικιλόχρωμα, όπως λευκά, τεφρά, κιτρινοπράσινα, μαύρα, κίτρινα, πράσινα κλπ., ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και την προέλευση τους. Τα επιφανειακά στρώματα του κοιτάσματος χαρακτηρίζονται από γκρίζο χρώμα ή κιτρινοπράσινο, λόγω του τρισθενούς σιδήρου (Fe^{3+}).

Ο μπετονίτης εμφανίζεται σε κυψελώδη εμφάνιση κοντά στην επιφάνεια γεγονός που προκύπτει από τις συνεχείς διογκώσεις και συρρικνώσεις κατά τις υγρές και ξηρές περιόδους αντίστοιχα. Τα κοιτάσματα του μπετονίτη στους βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς εμφανίζουν κυρίως κηρώδη μορφή και μπλε-πράσινο χρώμα, καθώς κυριαρχεί ο δισθενής σίδηρος (Fe^{2+}). Εάν τα πετρώματα είναι έντονα τεκτονισμένα και οι ασυνέχειες φτάνουν βαθιά, δύναται η οξείδωση να προχωρήσει μέσω αυτών δίνοντας σε βαθιά κοιτάσματα κιτρινοπράσινο χρώμα (Λεοντόπουλος, 2012).

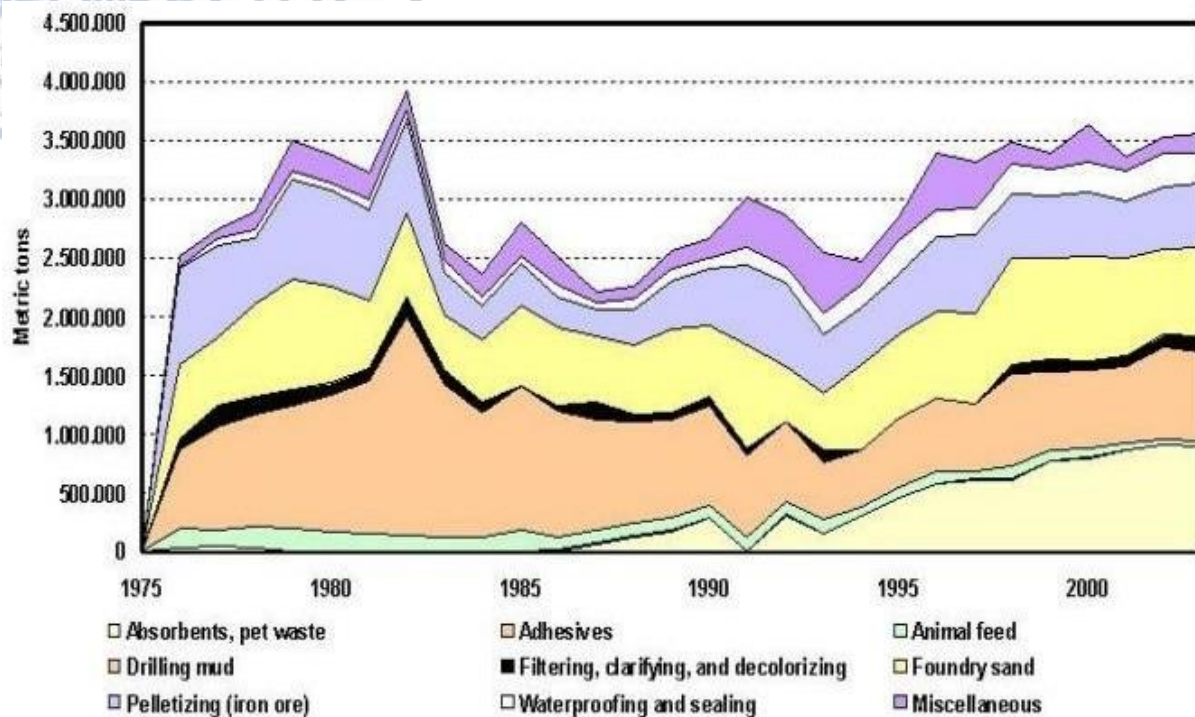
3.2 Χρήσεις

Η πολυποίκιλες φυσικοχημικές ιδιότητες του μπετονίτη, οι οποίες είτε είναι εγγενείς είτε προκύπτουν έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία του υλικού, καθιστούν δυνατή τη χρήση του σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Εικ. 3.2.1 και 3.2.2).

Οι εφαρμογές του μπορούν να διαχωριστούν σε συμβατικές και ειδικές. Στις συμβατικές εφαρμογές διοχετεύεται το μεγαλύτερο ποσοστό του παραγόμενου μπετονίτη, ενώ στις ειδικές εφαρμογές κατατάσσονται οι πιο εξειδικευμένες χρήσεις, κάποιες από τις οποίες μπορεί να βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο (Λεοντόπουλος, 2012).

Συμβατικές εφαρμογές

Χυτήρια: Στα χυτήρια εφαρμόζονται ποικίλες μέθοδοι χύτευσης των μετάλλων. Ο μπετονίτης 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 συνδετική, ώστε λοιπόν να είναι δυνατόν να γίνει γύρω του ένα υπόδειγμα και να κατασκευαστούν καλούπια. Το σύστημα μπετονίτη και νερού λειτουργεί ως λειαντικό, ελαττώνοντας την τριβή μεταξύ των κόκκων της άμμου. Οι ιδιότητες των μπετονιτών, οι οποίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη χύτευση των μετάλλων είναι η βροχερή και άνυδρη ανθεκτικότητα τους σε συμπίεση, η υγρή αντοχή τους σε εφελκυσμό, η αντοχή τους σε συμπίεση σε μεγάλες θερμοκρασίες και η ρευστότητα του μίγματος αργίλου-άμμου-νερού (Λεοντόπουλος, 2012).



Εικόνα 3.2.1: Χρήσεις μπετονίτη (Λεοντόπουλος, 2012).

Τεχνικά έργα: Ο μπετονίτης χρησιμοποιείται ως θιζοτροπικό πρόσθετο, υποστηρικτικό και λιπαντικό μέσο σε διαφραγματικά τοιχώματα και θεμελιώσεις σε σήραγγες, καθώς και σε διάνοιξη μικροσηράγγων με το σύστημα της προώθησης σωλήνων. Εφαρμόζεται επίσης στην παρασκευή ρευστοκονιάματος που χρησιμοποιείται στη συγκόλληση ανοιγμάτων και ασυνεχειών πετρωμάτων και εδαφών. Ο μπετονίτης συνιστάται ως υλικό στεγανοποίησης στην δημιουργία και επανόρθωση ΧΥΤΑ, αλλά και λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του για τη στεγανοποίηση της βάσης και της κάλυψης 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 θιζοτροπία, το ιξώδες, τη στεγανότητα και την ελαστικότητα που διαθέτει.

Γεωτρήσεις νερού και πετρελαίου: Ο ρόλος του μπετονίτη στις γεωτρήσεις νερού και πετρελαίου είναι, κατά κύριο λόγο, στην παραγωγή του γεωτρυτικού πολφού που δρα ως λιπαντικό και στεγανοποιεί τα τοιχώματα της γεώτρησης. Χρησιμοποιείται, επίσης στον καθαρισμό των τοιχωμάτων αυτών. Οι φυσικές ιδιότητες του μπετονίτη που εκμεταλλεύεται ο κλάδος των γεωτρήσεων είναι το ιξώδες και η θιζοτροπία.

Σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος: Ο μπετονίτης, λόγω της συνδετικής του ικανότητας και της δυνατότητας να δημιουργεί νέες κρυσταλλικές φάσεις, χρησιμοποιείται ευρέως στη σφαιροποίηση 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 μπετονίτη, που λειτουργεί ως συνδετικό υλικό, το σιδηρομετάλλευμα σφαιροποιείται. Τα σφαιρίδια χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη τροφοδοσίας των υψικαμίνων για την παραγωγή χυτοσιδήρου ή χάλυβα. Πιο συχνά χρησιμοποιούνται οι Na-μπετονίτες επειδή με την υγρή και ξηρή αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες, μπορούν να δημιουργήσουν ισχυρά σφαιρίδια. (Λεοντόπουλος, 2012).

Δέσμευση ραδιενεργών αποβλήτων: Ο μπετονίτης χρησιμοποιείται ως το υλικό επιλογής για την πλήρωση των εκσκαφών όπου αποτίθενται τα δοχεία με τα ραδιενεργά απόβλητα για τρεις λόγους. Πρώτον διότι οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού του δίνουν τη δυνατότητα να απορροφήσει τις πιέσεις που μπορεί να προκύψουν από πιθανή θραύση του πετρώματος έτσι ώστε αυτές να μην περάσουν στα δοχεία. Δεύτερον λόγω της υδατοστεγανότητας του εμποδίζει το νερό να έρθει σε επαφή με τα δοχεία αποτρέποντας πιθανή διάβρωσή τους, και τρίτον διότι ο χρόνος που χρειάζονται τα ραδιενεργά ακτίνια για να διαχυθούν μέσω του στρώματος μπετονίτη στο περιβάλλον είναι 104 με 106 χρόνια. Η τοξικότητα των αποβλήτων μετά από τόσο διάστημα αντιστοιχεί με τα φυσικά κοιτάσματα ουρανίου (Λεοντόπουλος, 2012).

Ειδικές εφαρμογές

Τεχνολογία κεραμικών: Η προσθήκη μπετονίτη 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 μπετονίτη μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση του χρώματος, δεδομένου ότι ο μπετονίτης περιέχει σίδηρο, ο οποίος σε υψηλές θερμοκρασίες σχηματίζει σκούρα καφέ υαλώματα (Λεοντόπουλος, 2012).

Βιομηχανία χαρτιού: Η βασική χρήση του μπετονίτη στον τομέα αυτό συναντάται στην κατασκευή συγκεκριμένων χαρτιών ανατύπωσης δίχως άνθρακα. Ο μπετονίτης συμβάλλει στη βελτίωση των ιδιοτήτων του χαρτιού απομακρύνοντας ίνες, χρώματα, ρητίνες και άλλες μη επιθυμητές ουσίες από το χαρτοπολτό. Επιπροσθέτως, σε συνδυασμό με άλλα πολυμερή

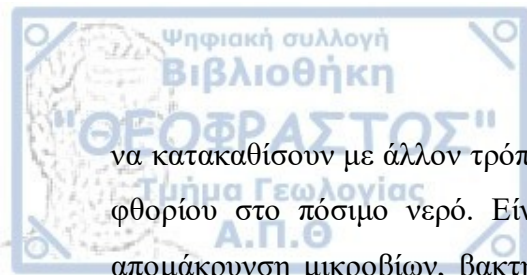
χρησιμοποιείται για την πρόοδο της σύνδεσης των συστατικών του πολφού, αλλά επίσης και για τον καθαρισμό του κυκλώματος νερού (Λεοντόπουλος, 2012). Τέλος εφαρμόζεται και στην επεξεργασία των αποβλήτων της μονάδας, συμβάλλοντας στη ελάττωση των ρύπων (BOD, COD).

Γεωργία: Οι μπετονίτες και κατά κύριο λόγο οι Ca-μπετονίτες, βρίσκουν χρήση στην ρύθμιση για την οξύτητα των εδαφών και χάρη στην δεξιότητα παρακράτησης νερού μπορούν να κρατούν την υγρασία σε ξηρά και αμμώδη εδάφη καθιστώντας δυνατή την αξιοποίησή τους. Συμβάλλουν επίσης στην απολύμανση μολυσμένων εδαφών, μέσω της δέσμευσης ορισμένων βαρειών μετάλλων και παρεμποδίζουν την απορρόφησή τους από τις καλλιέργειες. Υπό έρευνα βρίσκεται η δυνατότητα εφαρμογής μπετονιτών στην πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών. (Λεοντόπουλος, 2012).

Αποχρωματισμός - κατεργασία τροφίμων: Οι μπετονίτες με ανταλλάξιμα κατιόντα ασβέστιο (Ca^{2+}) και μαγνήσιο (Mg^{2+}) χρησιμοποιούνται για τον αποχρωματισμό ζωικών και φυτικών λιπών, πετρελαιοειδών και λιπαντικών, παραφινών και άλλων ουσιών. Οι όξινα ενεργοποιημένοι μπετονίτες, λόγω της αυξημένης ειδικής τους επιφάνειας και της εκλεκτικής προσροφητικής τους ικανότητας, είναι αποτελεσματικοί στον αποχρωματισμό, την απόσμηξη, 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 μπετονίτης 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 μπετονίτη σε προϊόντα οικιακής χρήσης είναι για τη σταθεροποίηση γαλακτωμάτων στα καλλυντικά, στην παρασκευή κρεμών, αλοιφών, ως μαλακτικό στα απορρυπαντικά κ.λπ.

Καθαρισμός υδάτων: Λόγω της προσροφητικής και ιοντοανταλλακτικής του ικανότητας, ο μπετονίτης χρησιμοποιείται ως μέσο αποσκλήρυνσης του νερού. Σε συνδυασμό με θεικό αργίλιο συμβάλλει στη διαύγαση πόσιμου νερού και αποβλήτων. Το θεικό αργίλιο κροκιδώνει τον μπετονίτη 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 ιζηματοποιητής για την απομάκρυνση μικροβίων, βακτηρίων και ιών από την υδατική φάση. Ειδικά οι νατριούχοι μπετονίτες προτιμώνται για τον καθαρισμό υδάτων που περιέχουν διάφορους τύπους βιομηχανικών ελαίων και οργανικών ρυπαντών.

Βιομηχανία χρωμάτων: Η δομή του πηκτώματος που σχηματίζει ο μπετονίτης βελτιώνει την ικανότητα άπλωσης των χρωμάτων σε επιφάνειες, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τη διείσδυση του σε πορώδεις επιφάνειες. Οι οργανόφιλοι μπετονίτες που έχουν υποστεί κατεργασία με αλκυλαμίνες είναι υδρόφοβοι και χρησιμοποιούνται στην παρασκευή ειδικών ανθεκτικών χρωμάτων και βερνικιών.



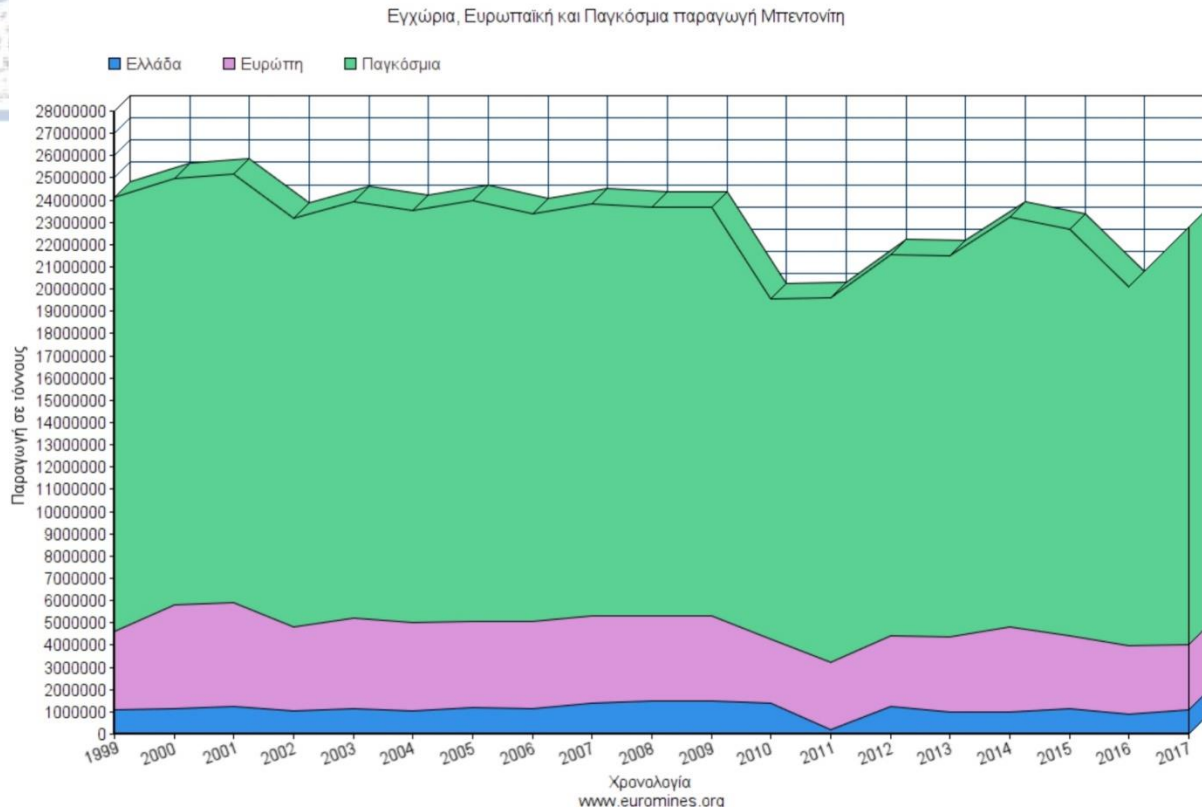
Εικ.3.2.2: Διάφορες καθημερινές και μη χρήσεις του μπετονίτη (Πηγή: www.ima-europe.eu).

4.ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

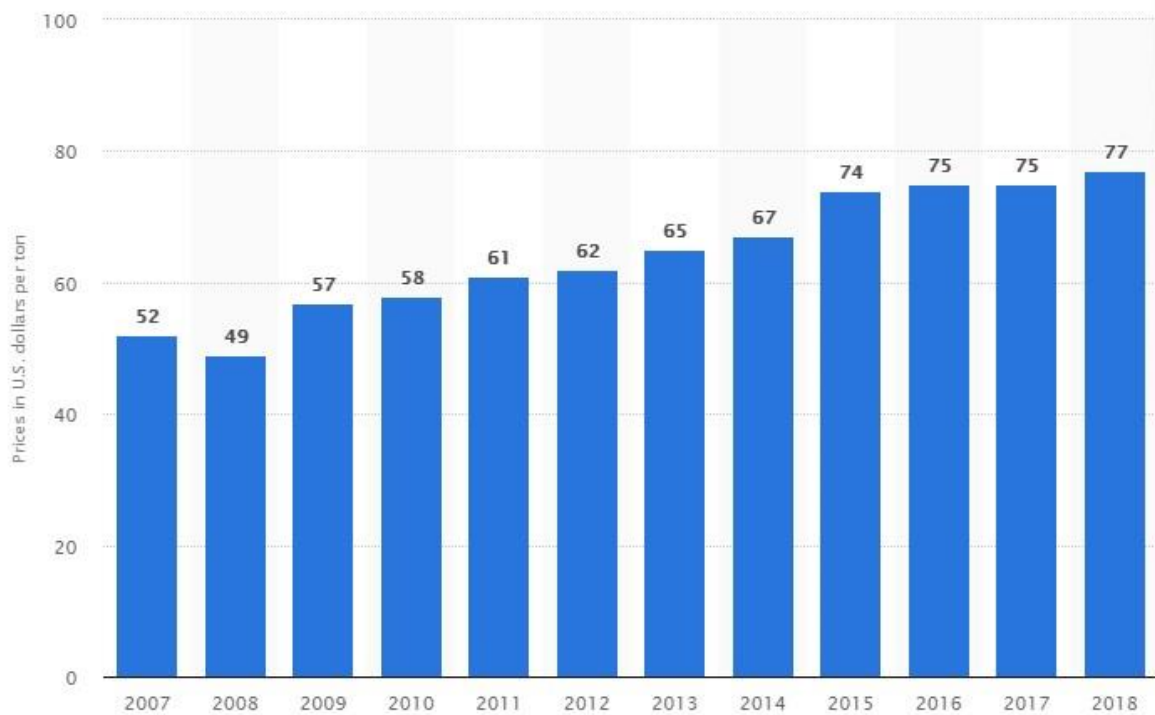
Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η παγκόσμια παραγωγή του μπετονίτη κατά ηπείρους, ενώ στην εικόνα 4.1 δίνεται η ελληνική παραγωγή συγκριτικά με την ευρωπαϊκή και την παγκόσμια παραγωγή για το διάστημα 1999-2017.

Πίνακας 4.1.1: Παγκόσμια παραγωγή (ton) μπετονίτη (Πηγή: www.euromines.org).

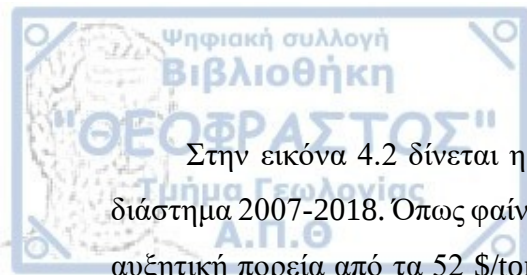
Χώρα	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ευρώπη																			
Βοσνία και Ερζεγοβίνη				9829	16887	24353	24882	24045	32338	31280	31280	294	294	294	18808	27285	30000	102858	92344
Βουλγαρία	92344	92344	92344	92344	92344	92344	92344	92344	92344	92344	92344	92344	53600	110000	110000	411000	81600	37100	54100
Κροατία	5200	3500	3100	1000	900	871	1472	1200	1270	1200	1200	1200							
Κύπρος	140182	128300	115480	128000	144859	155717	172398	150820	154855	155125	155125	162999	160825	160180	158388	140174	127038	117184	95593
Τσεχική Δημοκρατία	160000	280000	224000	174000	199000	201000	188000	220000	335000	174000	174000	183000	160000	221000	228000	301000	396000	374000	254000
Δανία	254000	254000	254000	254000	254000	254000	254000	254000	254000	254000	254000	23832	38300	30330	58355	66388	54272	66278	69594
Γαλλία	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	69594	23111	23000	11000	42567	24497
Γερμανία	478580	464616	447013	465310	473796	404549	352374	393998	384709	414338	414338	362823	375332	366220	358844	394957	392831	393000	416000
Ελλάδα	1099657	1148994	1258972	1056598	1156842	1030642	1200000	1166575	1382800	1500000	1500000	1381943	1188442	1235105	1000000	1011485	1123320	883220	1087800
Ουγγαρία	9301	5200	5200	4000	5300	9300	4900	8635	54231	7494	7494	3000	17308	1362	10360	13893	14170	14000	24930
Ιταλία	562874	550000	530000	250000	474475	437659	341049	362580	300000	281119	281119	111000	102758	115000	303116	300000	12840	45678	72758
Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας	72758	2500	3000	3000	25000	16373	14958	20353	22509	13869	13869	15400	15400	15400	18520	11691	9004	1998	912
Πολωνία	28000	2500	2600	2800	2500	2400	2200	4000	1290	3000	3000	2000	910	780	1050	650	450	1000	1000
Ρουμανία	4579	35789	23779	15402	17637	18181	18190	14000	14713	14504	14504	21953	19894	19000	24127	18583	20000	20000	28005
Ρωσία (Ευρώπη)	5500	920000	880000	800000	720000	696000	680000	664000	400000	398000	398000	398000	398000	398000	544000	544000	544000	544000	200900
Σλοβανία	31800	75000	80000	90000	120000	193291	120000	100000	82200	118125	118125	99000	158400	148800	197600	214000	199841	155000	209800
Σλοβενία	209800	209800	209800	201	52	100	140	130	130	160	160	130	168	98	143	199	232	182	147
Ισπανία	61400	160000	210000	100000	103174	156780	162500	154748	156875	154534	154534	155000	110721	135445	102728	100000	100604	87570	177565
Ουκρανία	177565	177565	177565	177565	177565	177565	177565	177565	177565	177565	177565	211000	200000	220000	220000	220000	220000	220000	113200
Ηνωμένο Βασίλειο	59000	65500	62000	44000	34000	27540	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200
Ασία																			
Αρμενία	63000	80000	58000	58000	55000	40000	38000	37000	35000	30000	30000	1397	5004		18458	7126	9228	13956	24712
Αζερμπαϊτζάν	24712	24712	24712	24712	24712	24712	24712	24712	24712	24712	24712	18100	20700	39700	97700	81900	58800	54500	235617
Κίνα	235617	235617	235617	235617	235617	235617	235617	235617	235617	235617	235617	3400000	3500000	3500000	3610000	3600000	3600000	3600000	5800000
Ινδία	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	5800000	214000	998000	800000	1380000	1380000	1100000	1800000	1750000
Ιράν	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	1750000	542935	545000	400000	397108	419593	435674	356038	517524
Ιράκ	517524	517524	517524	517524	517524	517524	517524	517524	517524	517524	517524	6127	8452	8500	8288	6000	6000	6000	8000
Ιαπωνία	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	432000	430000	430000	500000	500000	500000	500000	500000
Καζακστάν	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	119100
Κορέα, βόρεια Δημοκρατία της Μακεδονίας	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	63834
Δημοκρατία της Κορέας	63834	63834	63834	63834	63834	63834	63834	63834	63834	63834	63834	63834	88255	88255	88255	90188	80000	78439	47306
Μιανμάρ	47306	47306	47306	47306	47306	47306	47306	47306	47306	47306	47306	47306	1000	1000	1000	1552	1600	1600	800
Πακιστάν	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	35000	30840	35000	20677	40850	23283	42038
Ρωσία (Ασία)	41635	41635	41635	41635	41635	41635	41635	41635	41635	41635	41635	92000	92000	136000	136000	136000	136000	136000	468800
Ταϊλάνδη	468800	468800	468800	468800	468800	468800	468800	468800	468800	468800	468800	130	55220	141000	150	150	150	150	150
Τουρκία	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	718260	471528	982015	622872	1088444	3134911	1744912	1481617
Τουρκμενιστάν	1481617	1919	1800	1750	1600	1500	1400	2000	2000	2000	2000	2000	50000	50000	50000	7387	10000	10000	10000
Ωκεανία																			
Αυστραλία	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	131300	77700	230000	90000	70000	75000	59000	88000
Νιουηλντσία	88000	88000	88000	88000	88000	88000	88000	88000	88000	88000	88000	6500	6500	6500	7000	7000	7000	7000	7000
Νέα Ζηλανδία	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	1216		2263	782	1000	700	700	700
Φιλιππίνες	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	1475	2087	2000	3330	3370	3350	3230	3300
Αφρική																			
Αλγερία	15500	22708	21288	27178	25345	30319	29029	27110	32890	30595	30595	34128	29000	28300	27870	31510	34400	37000	35600
Αίγυπτος	1500	1490	1490	1490	500	700	8320	19000	19200	28320	28320	30000	33132	30000	4800	2000	2000	3600	3600
Μαλάουι	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	1020	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Μορόκκο	36528	21352	80434	58754	88000	85400	84350	21100	137100	50125	50125	110700	97100	91200	105240	98757	100000	103230	174546
Μοζαμβίκη	174546	174546	174546	174546	174546	174546	174546	174546	174546	174546	174546	493	846	93	739	350	322	285	
Νότια Αφρική	49291	112837	115000	117000	145080	55859	139633	32878	45778	44057	44057	54311	120417	112000	177187	186591	165535	148742	165141
Αμερική																			
Αργεντινή	165141	165141	165141	165141	165141	165141	165141	165141	165141	165141	165141	145000	228357	230000	200000	200000	180000	170000	158750
Βολιβία, Πλανητική Πολιτεία της	158750	158750	158750	158750	158750	158750	158750	158750	158750	158750	158750	440	440	440	182	888	1023	525	88
Βραζιλία	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	326428	294782	288016	305746	300000	340000	405000	500000
Χιλή	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	1255	893	358	1083	1434	1288	1584
Κολομβία	1584	1584	1584	1584	1584	1584	1584	1584	1584	1584	1584	1584							
Κούβα														1244	688	335	700	500	589
Εκουαδόρ	589	589	589	589	589	589	589	589	589	589	589	589							
Γουατεμάλα												22423	115603	131843	18418	75200	718	18081	20542
Μεξικό	20542	20542	20542	20542	20542	20542	20542	20542	20542	20542	20542	591000	593795	956224	828887	830000	294238	109176	148475
Περού	148475	148475	148475	148475	148475	148475	148475	148475	148475	148475	148475	44266	25034	22977	47744	37375	21341	19246	756
Ηνωμένες Πολιτείες	756	756																	



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα εγχώριας, Ευρωπαϊκής και παγκόσμιας παραγωγής μπετονίτη (Πηγή: www.euromines.org).



Εικόνα 4.2: Μέση τιμή πώλησης μπετονίτη (\$/ton) στην Αμερική (Πηγή: www.statista.com).



Στην εικόνα 4.2 δίνεται η εξέλιξη την τιμής (\$) ανά τόνο μπετονίτη στην Αμερική το διάστημα 2007-2018. Όπως φαίνεται από την εικόνα αυτή η τιμή του μπετονίτη έχει σαφέστατη αυξητική πορεία από τα 52 \$/ton το 2007 στα 77 \$/ton το 2018, μία αύξηση δηλαδή περίπου 50% την τιμής σε σχεδόν μία δεκαετία.



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή πραγματεύεται το ρόλο του μπετονίτη στην παγκόσμια και εγχώρια οικονομία από την εξόρυξη μέχρι τη χρήση. Παρουσιάστηκαν τα κυριότερα κοιτάσματα στην Ελλάδα και στον κόσμο, καθώς και οι ετήσιες παραγωγές κάθε χώρας. Στη συνέχεια αναλύθηκαν εκτενώς οι ιδιότητες και οι χρήσεις του μπετονίτη. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα:

- Ο μπετονίτης αποτελεί ένα ιδιαίτερο ορυκτό με μεγάλο εύρος εφαρμογών στη βιομηχανία, αλλά και στην απλή καθημερινή χρήση.
- Η ζήτηση για το υλικό αυτό αυξάνεται σταθερά, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες.
- Η γεωγραφική του εξάπλωση ανά την υφήλιο δίνει μεν τη δυνατότητα στις μεγάλες οικονομίες να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος των αναγκών τους, αφήνει δε το περιθώριο και σε μικρότερες χώρες να διεκδικήσουν σημαντικό μέρος της αγοράς
- Η εξόρυξη και η επεξεργασία του δεν απαιτεί τεράστιες επενδύσεις, συνεπώς μπορούν να γίνουν όχι μόνο από πολυεθνικές κολοσσούς, αλλά και από μικρότερες εταιρίες, σε τοπική κλίμακα. Το γεγονός ενισχύει τον ανταγωνισμό και την παραγωγή καλύτερου προϊόντος, καθώς επίσης δίνει και πνοή στις τοπικές κοινωνίες με νέες θέσεις εργασίας.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ελάχιστες και με σωστή διαχείριση πλήρως αναστρέψιμες.
- Η Ελλάδα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αγορά του μπετονίτη, με τις προοπτικές να είναι σταθερές και εν μέρει ευοίωνες ιδιαίτερα εάν αναπτυχθεί ο κλάδος της μεταποίησής του έτσι ώστε να μην πωλείται απλά ως μια πρώτη ύλη, αλλά ως έτοιμο επεξεργασμένο προϊόν με υψηλή αγοραστική αξία.

Το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι ένας από τους πιο μεγάλους παράγωγους μπετονίτη παγκοσμίως οφείλει να αποτελέσει παράδειγμα και για τα υπόλοιπα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα που βρίσκονται ανεκμετάλλευτα στο υπέδαφός της και μπορούν να συμβάλλουν με τη σωστή διαχείριση σε μια μακροχρόνια οικονομική ανάπτυξη της χώρας.





- Γασπαρής Δ. και Κτενάς Π. 2018. Πειραματική ανάλυση του Ελληνικού μπεντονίτη. Γεωγραφική εξάπλωση και τεχνικές ιδιότητες του ορυκτού. Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, Πάτρα, 69 σ..
- IM Staff, 2016. Soaking it up: Bentonite's global reach. Industrial Minerals Magazine, June, 37-42.
- Λεοντόπουλος Χ., 2012. Μελέτη της Προσοροφητικής ικανότητας του Ελληνικού μπεντονίτη. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, 298 σ.
- Τσιραμπίδης Α. και Φιλιππίδης Α., 2013. Ορυκτοί πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και αξία. Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. Τομέας ΟρυκτολογίαςΠετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 46 σ.
- Mitchell J.K. and Soga K., 2005. Fundamentals of Soil Behavior. 3η έκδοση, Wiley, ISBN: 978-0-471-46302-3, 592 p.

Διαδικτυακές πηγές

- <http://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/56mpedonitis>
- Ima-Europe. "Bentonite." Πρόσβαση 22 Δεκεμβρίου 2019, <https://www.ima-europe.eu/about-industrial-minerals/industrial-minerals-ima-europe/bentonite>
- Orykta.gr. "Μπεντονίτης." Πρόσβαση 22 Δεκεμβρίου 2019
- Scogins, Andrew. "Mineral Notes: Bentonite." *Snowdengroup*, 28 Μαΐου 2019. <https://snowdengroup.com/news/mineral-notes-bentonite/>