



**Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ  
ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΚΑΙ ΤΗ  
ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΙΧ. ΜΠΙΝΙΑΡΗΣ Α.Μ. 11310**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ**  
**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**  
**Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2018**

Αφιερώνεται στο “Αστέρι” μου  
και σ’ αυτούς που “έφυγαν” νωρίς.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία, που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Αναφέρεται στην μεθοδολογία και την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων του παλυγορσκήτη με το αρδευτικό νερό. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων θα βοηθήσουν στην κατανόηση της λειτουργίας και της συμπεριφοράς του παλυγορσκήτη καθώς και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Αρχικά, γίνεται εμπλουτισμός του παλυγορσκήτη με NaCl 1M, με συγκεκριμένη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά και κατόπιν έγιναν διαφορετικές αναδεύσεις αλλάζοντας κάθε φορά, χαρακτηριστικά όπως μάζα, χρόνος ΡΗ, θερμοκρασία, αρχική συγκέντρωση και ανταγωνιστικά ιόντα. Στο τέλος παρατίθενται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο Παναγόπουλο, για την υπομονή, την επιμονή και την άοκνη προσπάθεια και καθοδήγηση, που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, για την παραχώρηση του εργαστηρίου Χημικής Τεχνολογίας και ολόκληρου του εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των πειραμάτων και των μετρήσεων. Επίσης θερμές ευχαριστίες στην εταιρία ΓΕΩΕΛΛΑΣ για την άμεση ανταπόκριση του και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχαν.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Αλέξανδρος Μιχ. Μπινιάρης

.....

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την ολοκλήρωσή του 20ου αιώνα και την τεχνολογική έκρηξη που συντελέστηκε και τη μετάβαση στον 21ο, ήρθαν στο φως πολλά προβλήματα τα οποία παρόλο που είχαν επισημανθεί από νωρίς στο τέλος γιγαντώθηκαν. Ένα από τα προβλήματα αυτά είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος. Η επιστημονική κοινότητα στην προσπάθειά της να περιορίσει το πρόβλημα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της σε διάφορους τρόπους και υλικά ένα εκ των οποίων είναι και οι ορυκτοί άργιλοι οι οποίοι βρίσκονται παντού στη φύση, είναι φιλικό στο περιβάλλον και μη τοξικοί. Τα δύο βασικά χαρακτηριστικά που οδήγησαν στη χρήση τους είναι η ικανότητα ιοντοανταλλαγής και η μεγάλη ικανότητα προσρόφησης. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία το αργιλικό ορυκτό που χρησιμοποιήθηκε είναι ο παλυγορσκίτης ο οποίος προήλθε από τα κοιτάσματα της λεκάνης των Βεντζίων στα Γρεβενά και δοκιμάστηκε η ικανότητά του στην ιοντοανταλλαγή όταν βρεθεί μέσα σε ένα διάλυμα ασβεστίου. Η εργασία αυτή εκτείνεται σε πέντε κεφάλαια.

Αρχικά γίνεται αναφορά στην ιοντοανταλλαγή και πως αυτή λειτουργεί. Δηλαδή τι ακριβώς συμβαίνει όταν μία άργιλος βρεθεί μέσα σε ένα διάλυμα που περιέχει συγκεκριμένα στοιχεία με ποιον τρόπο θα γίνει η ανταλλαγή των ιόντων και από ποιους παράγοντες εξαρτάται. Στη συνέχεια περιγράφεται η έννοια της αργίλου από πού προέρχεται πώς δημιουργήθηκε και ποιες ήταν οι πρώτες χρήσεις της. Μετά αναφέρεται η δομή του παλυγορσκίτη Ξεκινώντας από το πώς είναι δομημένο το κρυσταλλικό του πλέγμα, το σχήμα των κρυστάλλων όπως φαίνονται στο μικροσκόπιο και η διάταξή τους στο χώρο. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις ιδιότητες του παλυγορσκίτη. Εξηγείται η προσροφητική του ικανότητα για ποιο λόγο δηλαδή μπορεί και απορροφά μεγάλες ποσότητες νερού και ποιοι παράγοντες την επηρεάζουν καθώς επίσης και οι κολλοειδείς ιδιότητες. Κατόπιν γίνεται αναφορά στα βαρέα μέταλλα ποια είναι αυτά για ποιο λόγο βρίσκονται στα εδάφη και με ποιες διεργασίες η άργιλοι τα απορροφούν, τα δεσμεύουν στο εσωτερικό τους και τελικά τα απομακρύνουν από τα ρυπασμένα εδάφη. Μετά περιγράφεται το κοίτασμα της λεκάνης των Βεντζίων στα Γρεβενά με ποιον τρόπο σχηματίστηκε ποια είναι η σύσταση του και επίσης δίνονται χάρτες με τη γεωγραφία της περιοχής.

Το δεύτερο κεφάλαιο ξεκινά αρχικά με τη λεπτομερή παρουσίαση της παρασκευής του διαλύματος χλωριούχου νατρίου και της διαδικασίας

εμπλουτισμού του παλυγορσκήτη και τέλος τη διαδικασία παρασκευής του ασβεστούχου διαλύματος το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα. Συνεχίζοντας περιγράφονται αναλυτικά όλα τα πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε η άργιλος και τα οποία είναι το πείραμα μάζας όγκου, ΡΗ, ανταγωνιστικότητας των ιόντων, χρόνου, θερμοκρασίας και αρχικής συγκέντρωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία των μετρήσεων αρχικά με την παρουσίαση της μεθόδου που ακολουθήθηκε για τις μετρήσεις παρασκευής των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιήθηκαν του εξοπλισμού που ήταν απαραίτητος για τις μετρήσεις, την πορεία της μέτρησης και τέλος τον τρόπο υπολογισμού του αποτελέσματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναγράφονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε για κάθε πείραμα ξεχωριστά και παρουσιάζονται σχετικοί πίνακες και γραφήματα των αποτελεσμάτων.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων με αναφορά στα πειράματα και στις επιμέρους μετρήσεις που έφεραν το βέλτιστο αποτέλεσμα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	1
1 ΓΕΝΙΚΑ.	3
1.1 Ιοντοανταλλαγή.	3
1.2 Αργιλικά ορυκτά.	3
1.3 Δομή και ιδιότητες παλυγορσκίτη.	4
1.3.1 Δομή παλυγορσκίτη.	4
1.3.2 Ιδιότητες παλυγορσκίτη.	6
1.4 Προσρόφηση βαρέων μετάλλων στις αργίλους.	8
1.5 Κοίτασμα παλυγορσκίτη στο Βέντζιο Κοζάνης.	9
2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ.	12
2.1 Εμπλουτισμός παλυγορσκίτη.	12
2.2 Παρασκευή διαλύματος Ca.	13
2.3 Πείραμα Mass-Vol.	13
2.4 Πείραμα PH.	14
2.5 Πείραμα χρόνου.	15
2.6 Πείραμα θερμοκρασίας	15
2.7 Πείραμα ανταγωνιστικότητας	16
2.8 Πείραμα αρχικής συγκέντρωσης	16
3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.	17
3.1 Περίληψη μεθόδου.	17
3.2 Αντιδραστήρια.	17
3.3 Εξοπλισμός εργαστηρίου.	18
3.4 Πορεία μέτρησης.	18
3.5 Υπολογισμός.	18
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.	19
4.1 Αποτελέσματα πειράματος Mass-Vol.	19
4.2 Αποτελέσματα πειράματος PH.	20
4.3 Αποτελέσματα πειράματος χρόνου.	22
4.4 Αποτελέσματα πειράματος θερμοκρασίας.	23
4.5 Αποτελέσματα πειράματος ανταγωνιστικότητας.	24
4.6 Αποτελέσματα πειράματος αρχικής συγκέντρωσης.	25
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.	26
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.	28

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> και κυρίως στις αρχές του 20ου συνέβησαν στον κόσμο πολύ σημαντικές αλλαγές όπως είναι οι διάφορες ανακαλύψεις και εφευρέσεις αλλά κυρίως αυτή της ανακάλυψης του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό ήταν το έναυσμα για την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης και η αφετηρία για τη χρήση μηχανών σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως είναι η βιομηχανία, η γεωργία, οι κατασκευές κάθε είδους κλπ. Η αυξανόμενη και συνεχής αυτή χρήση των διαφόρων αυτών μηχανημάτων έλυσε πάρα πολλά προβλήματα όπως είναι η αύξηση της παραγωγής, η μείωση του εργατικού δυναμικού, η αυτοματοποίηση των διαδικασιών δημιούργησε όμως και πολλά προβλήματα με κυριότερο όλων αυτό της ρύπανσης. Αυτό συνέβη διότι για να παραχθεί και να λειτουργήσει όλος αυτός ο κύκλος παραγωγής έπρεπε να γίνει εξόρυξη των πρώτων υλών από τη γη όπως είναι τα καύσιμα, τα μεταλλεύματα, τα αδρανή κλπ.

Έτσι λοιπόν ο άνθρωπος σταδιακά ήρθε αντιμέτωπος με όλες αυτές τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκλήθηκαν από τον ίδιο στο φυσικό περιβάλλον και τις οποίες έπρεπε να αντιμετωπίσει. Κατά συνέπεια, με την πάροδο των ετών, η αλόγιστη ρύπανση των υδάτων, του εδάφους και του ατμοσφαιρικού αέρα, αλλά και η κλιματική αλλαγή λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας στον πλανήτη, είναι μόνο κάποια ενδεικτικά περιβαλλοντικά προβλήματα που προέκυψαν λόγω της ελλιπούς πρόληψης της ρύπανσης η οποία έγινε συνεχής και αυξανόμενη. Αυτό οφείλεται στην εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων σε αυτοκίνητα και βιομηχανία και στη μεγάλη παραγωγή απορριμμάτων αστικών και βιομηχανικών. Απόρροια όλων αυτών ήταν η παραγωγή ρύπων και αποβλήτων λόγω των καθημερινών ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ορισμένα από τα οποία είναι πολύ επικίνδυνα για την υγεία μας και τα ζώα. Τα υγρά απόβλητα είναι ύδατα και παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων είτε στις οικίες όπως η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού, η καθαριότητα είτε από υπηρεσίες, νοσοκομεία, εργοστάσια κτλ. Η αντιμετώπιση του προβλήματος και ειδικά η απομάκρυνση των βλαβερών ουσιών κρίνεται απαραίτητη πριν καταλήξουν σε υδάτινους αποδέκτες όπως π.χ. λίμνες, θάλασσες και ποτάμια. Σε αντίθεση με τα οικιακά, η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν χωρίς επεξεργασία τα απόβλητά τους στα αποχετευτικά δίκτυα των πόλεων.

Επιπλέον, δημιουργείται μόλυνση και του επιφανειακού νερού, το οποίο εισχωρεί στο υπέδαφος μέσω των βροχοπτώσεων και κατ' επέκταση επέρχεται η αλλοίωση του υπόγειου νερού που χρησιμοποιείται τόσο για άρδευση όσο και για πόσιμο. Η παρουσία όλων αυτών των ρύπων στο υπόγειο νερό το καθιστά από λίγο έως πολύ ακατάλληλο άρα η απομάκρυνσή τους από τα υδατικά συστήματα κρίνεται απαραίτητη και μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, μεταξύ των οποίων είναι και η προσρόφησή τους σε διάφορα φυσικά υλικά. Τέτοια υλικά είναι οι άργιλοι όλων των ειδών όπως παλυγορσκίτης, μοντμοριλλονίτης, ζεόλιθος, καολίνης κλπ. με τα οποία είναι πλούσιο το ελληνικό υπέδαφος, είναι φθινό και ακίνδυνο, με ή χωρίς προηγούμενη τροποποίηση.

Η επιστημονική κοινότητα, ύστερα από πειράματα και μελέτη πρακτικών του παρελθόντος, κατάληξε στο συμπέρασμα ότι τα αργιλικά ορυκτά, είναι σε θέση να βελτιώσουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού με φυσικό τρόπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του ποταμού Νείλου. Οι κάτοικοι του Σουδάν οι οποίοι χρησιμοποιούσαν το νερό του ποταμού και υπέφεραν από γαστρεντερικές διαταραχές, λόγω διαφόρων βακτηριδίων (Madsen and Schlundt, 1989) ιών (Lund and Nissen, 1986) και παρασίτων (Olsen, 1987) που υπήρχαν στο νερό του ποταμού προχώρησαν στη ρίψη μπετονίτη και το αποτέλεσμα τους δικαίωσε διότι τα κρούσματα μειώθηκαν αισθητά λόγω της απομάκρυνσης των βλαβερών μικροοργανισμών. Αυτό συνέβη λόγω της μεγάλης ικανότητας που έχουν οι άργιλοι να ανταλλάσσουν ιόντα στο περιβάλλον που θα βρεθούν. Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες έχουν πειραματιστεί αρκετά χρησιμοποιώντας διάφορα είδη αργίλων για να αφαιρέσουν διαφορετικούς ρύπους από μη τοξικά έως και βαρέα μέταλλα ακόμα, τα οποία εμφανίζουν υψηλή τοξικότητα. Η χρήση των αργίλων στην απορρύπανση έχει συμπεριληφθεί σε πολλές μελέτες κυρίως λόγω του ότι υπάρχουν άφθονοι ανά τον πλανήτη και η εξόρυξή τους είναι μια εύκολη διαδικασία αφ' ενός, αφ' εταίρου σε πολλές εφαρμογές δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη κατεργασία πριν τη χρήση.

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία το αργιλικό ορυκτό που χρησιμοποιήθηκε είναι ο παλυγορσκίτης διότι σε προηγούμενες μελέτες έχει συμπεριφερθεί ικανοποιητικά στην προσρόφηση μολύβδου όπως συνέβη με Zhou et al. (2015). Ο παλυγορσκίτης θα δοκιμαστεί στην ικανότητα ιοντικής ανταλλαγής σε διάφορες τιμές PH, θερμοκρασίας, αναλογία μάζας-όγκου, ανταγωνιστικότητας, χρόνου και αρχικής συγκέντρωσης.



## **1. ΓΕΝΙΚΑ.**

### **1.1 ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ.**

Ιοντοανταλλαγή είναι μία φυσική διεργασία, κατά την οποία, γίνεται ανταλλαγή ιόντων μεταξύ διαφόρων ουσιών και του εδάφους. Δηλ. ένα χημικό στοιχείο αντικαθίσταται από ένα άλλο. Αυτό συμβαίνει σε μεγάλο βαθμό με τα αργιλικά ορυκτά και λειτουργεί ως εξής: Η άργιλος όταν έρθει σε επαφή με το νερό θα ανταλλάξει τα ιόντα που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια με αυτά του νερού. Π.χ. θα προσλάβει νάτριο και θα απελευθερώσει ασβέστιο. Σημαντική ανταλλαγή ιόντων έχουμε στα κολλοειδή σωματίδια λόγω του μεγάλου ηλεκτρικού φορτίου που έχουν σε σχέση με την επιφάνειά τους. Το αν η εξωτερική επιφάνεια θα είναι θετικά ή αρνητικά φορτισμένη εξαρτάται από το pH. Σε χαμηλό pH η εξωτερική επιφάνεια είναι θετικά φορτισμένη, σε υψηλό είναι αρνητικά φορτισμένη, ενώ στις ενδιάμεσες τιμές pH δεν υπάρχει ηλεκτρικό φορτίο. Για τα αργιλικά ορυκτά με αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες δηλ. με υψηλό pH, τα ιόντα που θα ανταλλάγουν είναι τα κατιόντα. Ο όρος ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής Cation Exchange Capacity (C.E.C.) δηλώνει την περίσσεια των ιόντων που βρίσκονται πολύ κοντά στη φορτισμένη επιφάνεια και τα οποία μπορούν να ανταλλάγουν με άλλα κατιόντα και εκφράζεται με τον αριθμό των χιλιοστοϊσοδυνάμων (meq) που μπορούν να ανταλλάγουν.

### **1.2 ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ.**

Άργιλος είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένυδρα αργιλιούχα φυλλοπυριτικά ορυκτά που περιέχουν διάφορες ποσότητες μετάλλων, μεταλλικών οξειδίων και οργανικών ενώσεων.

Το αργιλώδες χώμα ή άργιλος προέρχεται από τη φθορά πετρωμάτων, κυρίως πυριτιούχων, εξαιτίας της παρουσίας ανθρακικών οξέων και άλλων διαλυτών. Άλλες αιτίες της διάβρωσης είναι η κίνηση του νερού και του αέρα στην ατμόσφαιρα, η διέλευση ενός ποταμού και σε μικρότερη κλίμακα κάποιες γεωλογικές αιτίες που προξένησαν πιέσεις και απότομες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας στα πετρώματα. Τα πετρώματα διαλύονται σε πολύ λεπτά

σωματίδια (σχεδόν σε μοριακή μορφή). Το μέγεθος των κόκκων της αργίλου διαφοροποιείται ανάλογα με την ποιότητα του υλικού. Τα βασικά συστατικά του είναι το αργίλιο, το πυρίτιο και νερό. Η ονομασία του είναι ένυδρο πυριτικό αργίλιο και η καθαρότερη μορφή αργίλου είναι ο καολίνης.

Το αργιλώδες χώμα είναι η πρώτη ύλη κατασκευής των κεραμικών υλικών από τα πολύ παλιά χρόνια. Αυτό συμβαίνει λόγω της διάβρωσης που αναφέρεται παραπάνω πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει σε αφθονία και είναι εύκολη η εύρεσή του. Τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξημένης ρύπανσης στον πλανήτη και τις ανησυχίες των επιστημόνων άρχισαν όλοι οι τύποι των αργίλων να χρησιμοποιούνται από την κοινότητα σε διάφορα πειράματα απομάκρυνσης των διαφόρων ρύπων. Το πεδίο των ερευνών ποικίλει και μπορεί να εφαρμοστεί από την απλή προσρόφηση μιας ουσίας, από την ιοντική ανταλλαγή, την απομάκρυνση ρύπων, την προσρόφηση βαρέων μετάλλων και άλλα πολλά. Απαρχή όλων αυτών μπορούμε να πούμε ότι είναι το γεγονός ότι οι ινδιάνοι της περιοχής της Γεωργίας των ΗΠΑ ανέκαθεν κατανάλωναν παλυγορσκήτη διαλυμένο σε νερό για να θεραπεύσουν διάφορες ασθένειες. Από αυτά συμπεραίνουμε ότι οι άργιλοι ως φυσικά υλικά είναι μη τοξικά και εντελώς ακίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και το γεγονός ότι βρίσκονται παντού στη φύση και στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους τα καθιστά εύκολα προσβάσιμα και φθηνά στην εξόρυξη.

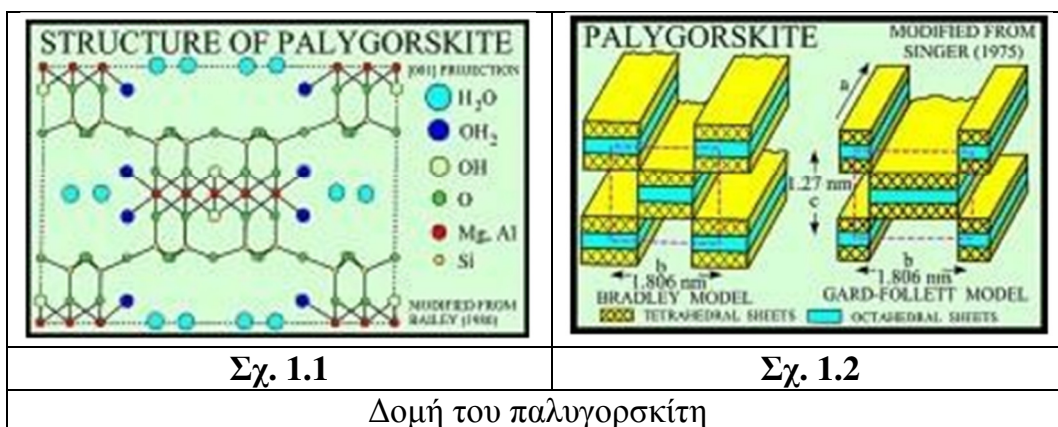
### **1.3 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ.**

#### **1.3.1 Δομή του παλυγορσκήτη**

Ο παλυγορσκήτης ή ατταπουλγίτης, ανήκει στην ομάδα των ινωδών αργίλων, και ο χημικός του τύπος είναι  $\text{Si}_8\text{Mg}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{44}\text{H}_2\text{O}$ . Το αρχικό του όνομα ήταν ατταπουλγίτης από το μεγάλο κοίτασμα που είχε ανακαλυφθεί στην περιοχή Attapulgis στην Γεωργία των ΗΠΑ όμως αργότερα χρησιμοποιήθηκε περισσότερο το όνομα παλυγορσκήτης από το κοίτασμα στην περιοχή Palygorsk στην πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. Σήμερα χρησιμοποιούνται και τα δύο ονόματα.

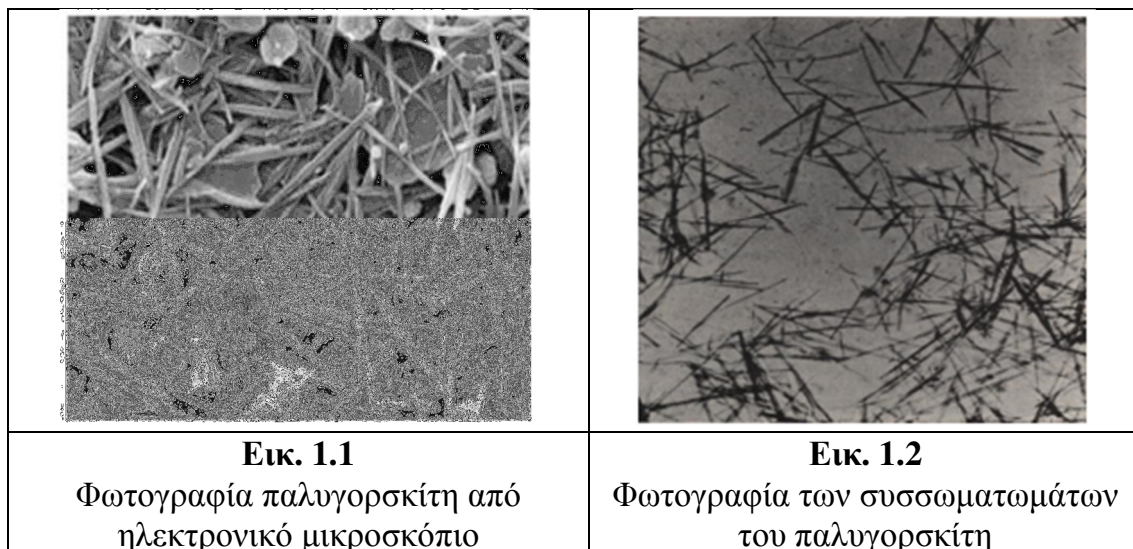
Ο παλυγορσκήτης είναι ένα ένυδρο αργιλομαγνησιούχο πυριτικό ορυκτό στον οποίο το μαγνήσιο μπορεί να αντικαθίσταται πλήρως από αργίλιο ή/και σίδηρο (Jones and Galan, 1988· Heivilin and Murray, 1994). Αποτελείται από επιμήκεις κρυστάλλους πράγμα που του προσδίδει μια δομή ίδια μ' αυτή των ορυκτών της ομάδας των αμφίβολων. Σχετικά με το κρυσταλλικό σύστημα έχουν βρίσκεται τόσο στο ορθορομβικό όσο και στο μονόκλινες (Heivilin and

Murray, 1994). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1, πρόκειται για ένα ορυκτό με δομή διπλής αλυσίδας συνδεδεμένων πυριτικών τετραέδρων η οποία περιέχει μια στρώση κατιόντων  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  ή και  $Fe^{2+}$ , σε οκταεδρική διάταξη. Παρόλο που προσομοιάζει με τα 2:1 φυλλοπυριτικά ορυκτά, η περιορισμένη έκταση της οκταεδρικής του στιβάδας είναι αυτή που διαφοροποιεί τη δομή του παλυγορσκίτη και προσδίδει το ινώδες αυτό σχήμα. Ειδικά, υπάρχουν ταινίες με δομή 2:1 οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους με αναστροφή των  $SiO_4$  τετραέδρων διαμέσου Si-O-Si δεσμών. Οι ταινίες όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2 σχηματίζουν μια συνεχή στιβάδα 2:1 κατά μήκος του άξονα a και περιορισμένης έκτασης κατά μήκος του άξονα b (Haden and Schwint, 1967· Galan, 1996).



Στην αναστροφή των τετραέδρων πυριτίου οφείλεται η παρουσία καναλιών (διαύλων) παράλληλα προς τον άξονα a (Σχήμα 1.2), που διατρέχουν το μήκος της ίνας και που είναι πολύ σημαντική για τις εφαρμογές των ορυκτών (Galan, 1996· Heivilin and Murray, 1994). Τα κανάλια αυτά έχουν διάμετρο περίπου 6 Å και είναι γεμάτοι με μόρια νερού το οποίο αποκαλείται και ζεολιθικό νερό ή με ένυδρα κατιόντα λόγω της αλληλεπίδρασης αυτών και της εσωτερικής επιφάνειας των διαύλων (Haden and Schwint, 1967· Heivilin and Murray, 1994). Κάθε μία από τις κρυσταλλικές αυτές μονάδες περιέχει οκτώ μόρια νερού (Σχήμα 1.1). Τα τέσσερα από αυτά τα μόρια είναι συνδεδεμένα με τα ακραία ιόντα μαγνησίου ως κρυσταλλικό νερό και τα άλλα τέσσερα, που συνήθως λέγονται ζεολιθικό νερό, βρίσκονται σε χαλαρή σύνδεση στα ανοικτά κανάλια. Μετά την απομάκρυνση του ζεολιθικού νερού, κάθε διάυλος συρρικνώνεται (Haden and Schwint, 1967).

Το μέγεθος των ινών ποικίλλει αλλά σε γενικές γραμμές κυμαίνεται από 100Å-5μm σε μήκος, 100-300Å σε πλάτος, και 50-100Å σε πάχος (Galan, 1996). Οι ίνες αυτές συσσωματώνονται για να σχηματίσουν δέσμες (Εικ. 1.2) ενώ μετά τη διάλυσή τους σε νερό ή διαλύτες διασκορπίζονται και σχηματίζουν ένα τυχαίο πλέγμα ικανό να παγιδεύσει υγρά (Haden and Schwint, 1967).



### 1.3.2 Ιδιότητες του παλυγορσκήτη

Οι δύο σημαντικότερες ιδιότητες του παλυγορσκήτη είναι οι προσροφητικές και κολλοειδείς-ρεολογικές που αποτελούν τη βάση για πολλές εφαρμογές του.

#### A. Προσροφητική ιδιότητα

Ο παλυγορσκήτης συγκαταλέγεται στα ιδιαίτερα προσροφητικά υλικά όταν βρίσκεται στη φυσική του μορφή (Haden and Schwint, 1967· Galan, 1996· Heivilin and Murray, 1994). Έχει την ικανότητα να προσλαμβάνει πολύ γρήγορα νερό σε ποσοστό έως 200% του βάρους του και μπορεί να τον ξεπεράσει μόνο ο μοντμοριλλονίτης και ο σεπίόλιθος (White and Pichler, 1959). Η ικανότητα προσρόφησης είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων και ο σημαντικότερος απ' αυτούς είναι η μεγάλη ειδική επιφάνεια (Haden and Schwint, 1967· Heivilin and Murray, 1994· Galan, 1996· Murray, 2000) που μπορεί να είναι της τάξης του 75-400 m<sup>2</sup>/g (Bish and Guthrie, 1993· Heivilin and Murray, 1994).

Επίσης, η δυνατότητα ανταλλαγής του μαγνησίου και του σιδήρου από αργίλιο στο οκταεδρικό φύλλο συμβάλλει στη δημιουργία ενός υπερβολικά αρνητικού φορτίου. Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων είναι της τάξης του 20-50 χιλιοστοϊσοδύναμα ανά 100 γραμμάρια (Heivilin and Murray, 1994). Έτσι, η ύπαρξη μιας μεγάλης ειδικής επιφάνειας η οποία έχει εκτεταμένες αρνητικά φορτισμένες περιοχές αποτελεί αποτελεσματικό προσροφητικό υλικό για κάθε διπολικό μόριο ή θετικό ιόν (Heivilin and Murray, 1994).

Αρκετά σημαντική είναι και η ύπαρξη καναλιών τα οποία έχουν διάμετρο περίπου 6Å και που είναι γεμάτοι με μόρια νερού ή ένυδρα κατιόντα (Haden and Schwint, 1967· Heivilin and Murray, 1994). Αυτό το νερό ή τα ένυδρα ιόντα μπορούν να απομακρυνθούν με την άνοδο της θερμοκρασίας στους 500°C. Η επανυδάτωση είναι πολύ αργή, οπότε μετά την εξάτμιση του νερού τα

κανάλια αυτά μπορούν να προσροφήσουν άμεσα διπολικά οργανικά ή ανόργανα μόρια (Heivilin and Murray, 1994).

Υπάρχει μία γενική σειρά για την ικανότητα προσρόφησης του παλυγορσκήτη που είναι: νερό > αλκοόλες > οξέα > αλδεΐδες > κετόνες > ολιφίνες > φυσικοί εστέρες > αρωματικές ενώσεις > κυκλοπαραφίνες > παραφίνες [αποχρωματιστικά λάδια] (Johnston, 1959). Όταν θερμανθεί ο παλυγορσκήτης αποκτά πορώδη υφή. Ο όγκος των πόρων είναι περίπου 0.6 ml/g ενώ η διάμετρος περίπου 200Å και από αυτόν τον παράγοντα εξαρτάται η προσροφητική ικανότητας απ' ό,τι η μεγάλη ειδική επιφάνεια (McCarter et al., 1950).

### B. Κολλοειδείς ιδιότητες

Τα υδατικά διαλύματα παλυγορσκήτη παρουσιάζουν επίσης ιδιότητες κολλοειδών και συμπεριφέρονται ως μη Νευτώνεια ρευστά. Στα ρευστά της κατηγορίας αυτής, το ιξώδες τους (δηλ. το πόσο παχύρρευστα είναι) εξαρτάται από τις δυνάμεις που τους ασκούνται. Αντίθετα, στα «κανονικά» (νευτώνεια) ρευστά το ιξώδες δεν επηρεάζεται από εξωτερικές δυνάμεις. Ο παλυγορσκήτης μπορεί να σχηματίσει σταθερά υδατικά εναιωρήματα υψηλού ιξώδους σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, συγκριτικά με άλλα ορυκτά. Κατά τη διάλυση, οι δέσμες των βελονοειδών κρυστάλλων του διασκορπίζονται για να σχηματίσουν ένα τυχαίο πλέγμα που παγιδεύει υγρά προκειμένου να αυξήσει το ιξώδες του συστήματος. Προσφέρει πυκνωτικές ιδιότητες σε μια ποικιλία υγρών όπως το φρέσκο και αλατούχο νερό, οι αλειφατικοί και αρωματικοί διαλύτες, τα φυτικά έλαια, οι γλυκόλες και κάποιες αλκοόλες (Haden and Schwint, 1967). Ο παλυγορσκήτης μετά από ανάμιξη με ορισμένη ποσότητα νερού σχηματίζει αιωρήματα που με το χρόνο μετατρέπονται σε σταθερούς πολτούς. Οι πολτοί αυτοί με σχετική δόνηση ή κτυπήματα μετατρέπονται πάλι σε ρευστή μορφή (θιξοτροπία). Η ιδιότητά του αυτή δεν επηρεάζεται από την παρουσία υψηλής συγκέντρωσης ηλεκτρολυτών καθώς και ιονισμένων ή μη μορίων (Heivilin and Murray, 1994).

Σε γενικές γραμμές, οι ιδιότητες του παλυγορσκήτη της λεκάνης των Βεντζίων ποικίλλουν, ανάλογα με την αναλογία του μείγματος του με το σμεκτίτη, με τον οποίο συνυπάρχει στα κοιτάσματα της λεκάνης. Πέραν αυτού, έχουν παρατηρηθεί κάποια φαινόμενα συνεργασίας στις ιδιότητες των μιγμάτων παλυγορσκήτη και σμεκτίτη, όταν τα μείγματα αυτά υπάρχουν σε φυσική κατάσταση. Για παράδειγμα, τέτοια μείγματα μπορούν να αποδώσουν εξαιρετικά υψηλές τιμές ιξώδους (Kastritis et al., 2003), (Πίνακας 1.1).

Πιν. 1.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες του παλυγορσκήτη, του σμεκτίτη και μείγματος			
Ιδιότητα	Παλυγορσκήτης (60 – 95 %)	Σμεκτίτης (60 – 95 %)	Μείγμα παλυγορσκήτη (x=0,3 - 0,5) και σμεκτίτη
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	0,45 – 0,6	0,9 – 1,0	0,7 – 0,85
Απορροφητικότητα σε νερό (%)	100 – 220	200 – 280	140 - 240
Απορροφητικότητα σε λάδι (%)	90 – 120	40 – 70	60 - 80
Ιξώδες διασποράς (cps)	3.500 – 4.500	3.000 – 6.000	5.000 – 8.000
Ιξώδες API	27 – 45	30 – 55	60 - 80

Η γενική σειρά για την ικανότητα προσρόφησης του παλυγορσκήτη είναι: νερό > αλκοόλες > οξέα > αλδεΰδες > κετόνες > ολιφίνες > φυσικοίεστέρες > αρωματικές ενώσεις > κυκλοπαραφίνες > παραφίνες [αποχρωματιστικά λάδια] (Ψαράς, 2011).

Ο παλυγορσκήτης Βεντζίων Γρεβενών έχει ευρεία χρήση στις καλλιέργειες μέσω μηχανισμού εδαφικής βελτίωσης με βραδεία αποδέσμευση άζωτου, καλίου, φωσφόρου και ιχνοστοιχείων μέσω εναλλακτικής ικανότητας και ενυδατωμένου μικροπορώδους. Σε αυτό υπερτερεί του ζεόλιθου, ο οποίος αποδεσμεύει μόνο άζωτο και κάλιο (Θεοφίλου, 2014).

#### 1.4 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΙΣ ΑΡΓΙΛΟΥΣ.

Ως βαρέα μέταλλα αναφέρονται συνήθως εκείνα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 5,0 g/cm<sup>3</sup>, είναι δηλαδή σχετικά πυκνά όπως το κάδμιο, ο κασσίτερος, το κοβάλτιο, ο μόλυβδος, ο χαλκός, ο χρυσός, ο ψευδάργυρος, κ.ά. Τα βαρέα μέταλλα έχουν φυσική γεωλογική προέλευση ή είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής δραστηριότητας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ενίοτε η έννοια επεκτείνεται και σε μεταλλοειδή όπως το αρσενικό και το αντιμόνιο. Έχουν προταθεί αρκετοί εξειδικευμένοι ορισμοί, ωστόσο κανείς δεν έχει λάβει ευρεία αποδοχή. Ορισμένα βαρέα μέταλλα έχουν εξειδικευμένες χρήσεις ή είναι ιδιαίτερα τοξικά και άλλα είναι απαραίτητα ως ιχνοστοιχεία για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Μία από τις διεργασίες της συγκράτησης των βαρέων μετάλλων από κάποια άργιλο είναι αυτή της ρόφησης η οποία μπορεί να είναι χημική, φυσική ή ιοντοανταλλαγή και υπάρχει μια αλληλεπίδραση μεταξύ της άργιλου και του μετάλλου. Κατά τη χημική, δημιουργούνται χημικοί δεσμοί μεταξύ της

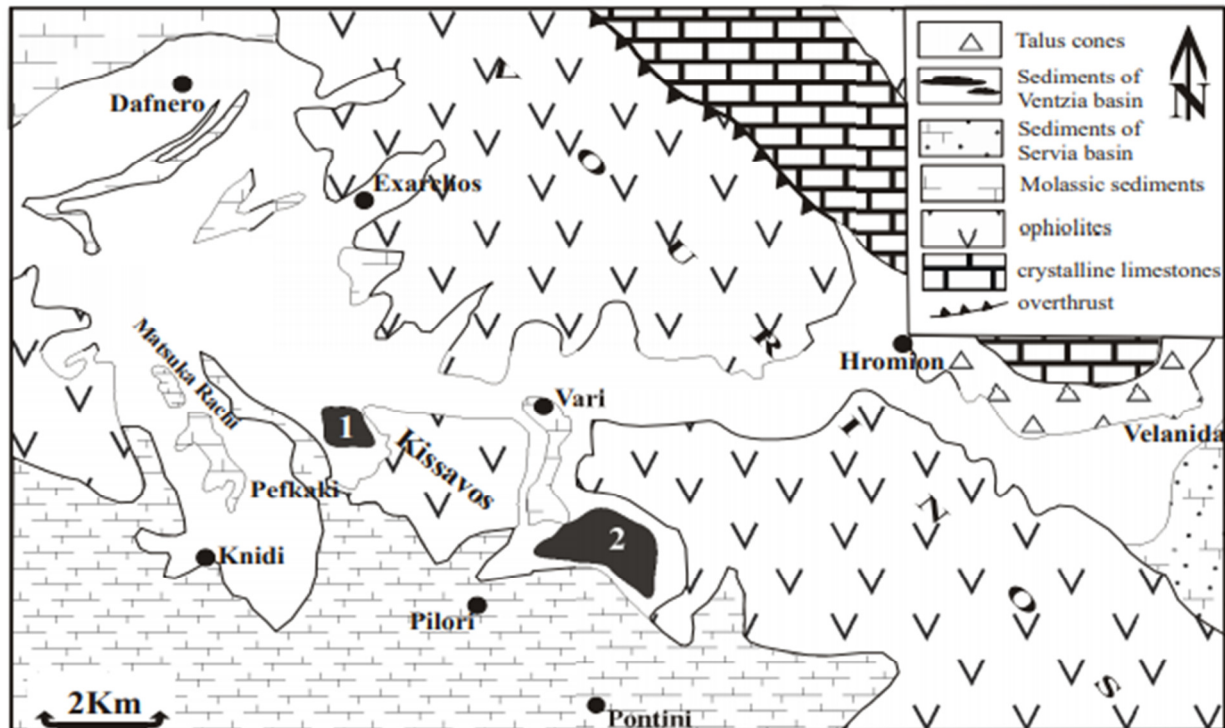


επιφάνειας της αργίλου που είναι ο ροφητής και των ιόντων των μετάλλων. Τα προς ρόφηση σωματίδια καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις στην επιφάνεια της αργίλου, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μία στοιβάδα ρόφησης (Παπαθεοδώρου 2004, Κουτσοπούλου 2012). Στη φυσική προσρόφηση δημιουργούνται ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ του μετάλλου και της επιφάνειας του σωματιδίου, σε διαφορετικές θέσεις κάθε φορά και αναλόγως τη φύση και τις συνθήκες που υπάρχουν, μπορεί να ενισχυθούν από δεσμούς H ή από Van der Waals (Inskeep and Baham, 1983). Οι επιφάνειες των ορυκτών μπορεί να είναι είτε θετικά είτε αρνητικά φορτισμένες, πράγμα το οποίο εξαρτάται από τη φύση της επιφάνειας του ορυκτού, και πώς αυτή συμπεριφέρεται σε διαφορετικές τιμές pH. Τέλος, η ιοντοανταλλαγή είναι μια χημική διεργασία κατά την οποία ένα ιόν σωματιδιακής φάσης που βρίσκεται σε επαφή με ένα υδατικό διάλυμα, αντικαθίσταται από άλλο ιόν το οποίο προϋπήρχε στο διάλυμα αυτό. Η διεργασία αυτή σχετίζεται άμεσα με το pH, τη θερμοκρασία και την ιοντική ισχύ του διαλύτη. Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων εμφανίζουν κυρίως οι άργιλοι και οι ζεόλιθοι, είτε για κατιόντα είτε ανιόντα, τα οποία θα εξουδετερώσουν το φορτίο που έχει προκύψει από τα άτομα των οκταεδρικών και τετραεδρικών φύλλων. Η βασική διαφορά της προσρόφησης με την ιοντοανταλλαγή, είναι ότι κατά την προσρόφηση σημειώνεται μείωση των συνολικά διαλυμένων ιόντων ενώ η ανταλλαγή ιόντων είναι μία στοιχειομετρική διαδικασία (Νικολαΐδης, 2005).

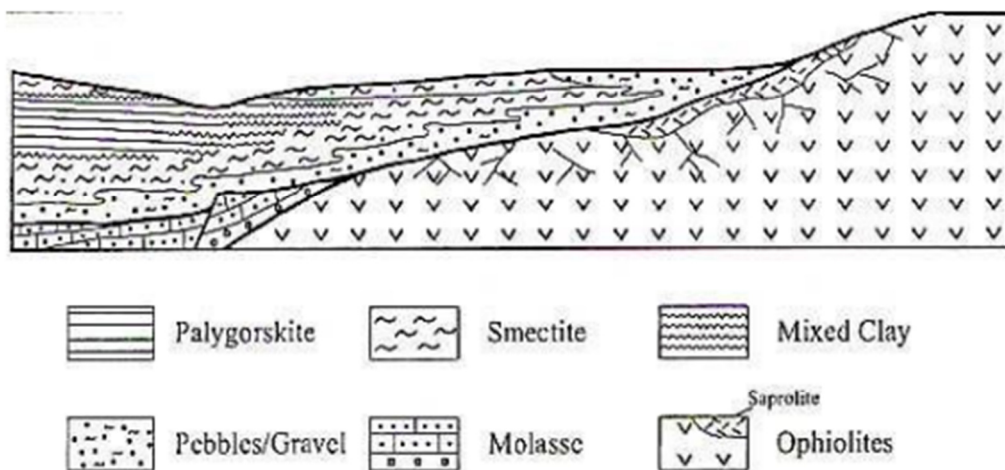
## **1.5 ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ ΣΤΟ ΒΕΝΤΖΙΟ ΚΟΖΑΝΗΣ.**

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκε παλυγορσκίτης που προήλθε από την εταιρία ΓΕΩΕΛΛΑΣ. Η εταιρία αυτή εξορύσσει και εκμεταλλεύεται το κοιτάσμα Mg-Fe σμεκτίτη (σαπωνίτη) και παλυγορσκίτη στο Βέντζιο Γρεβενών στη Δυτική Μακεδονία (Χάρτης 1.1). Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βρίσκονται στις περιοχές Πευκάκι και Πυλωροί (Σχηματική Τομή 1.1) στο ανατολικό τμήμα των Γρεβενών, και τα αποθέματα τους υπολογίζονται στους έξι μεγατόνους παλυγορσκίτη, τέσσερις μεγατόνους σμεκτίτη και τρεις μεγατόνους μίξης των προαναφερθέντων (Kastritis et al., 2003).

<< Βελτίωση της ποιότητας του αρδευτικού νερού με χρήση ορυκτών αργίλων και τη μέθοδο της ιοντοαλλαγής >>



**Χάρτης 1.1**  
**Γεωλογικός χάρτης κοιτασμάτων Βεντζίου.**  
**Kastritis et al., 2003).**



**Σχηματική τομή 1.1**  
**Σχηματική τομή περιοχής Πευκάκι-Πυλωροί.**

Ο παλυγορσκίτης Βεντζίων σύμφωνα με Kastritis et al., 2003 φαίνεται ότι έχει σχηματιστεί διαγενετικά από in-situ αντίδραση σμεκτίτη με διαλύματα πλούσια σε πυρίτιο, ενώ η σμεκτιτική άργιλος (σαπωνίτης) από μετατροπή προϋπάρχοντα σμεκτιτικού υλικού το οποίο μεταφέρθηκε στη λεκάνη



Βεντζίων από τα πετρώματα του υποβάθρου. Στα κοιτάσματα παλυγορσκήτη-σαπωνίτη της λεκάνης των Βεντζίων παρατηρείται μια ζωνώδης κατανομή των διαφόρων τύπων αργίλων με τις σαπωνιτικές αργίλους στην περιφέρεια της λεκάνης, τις μεικτές αμέσως μετά και τις αργίλους του παλυγορσκήτη στο κέντρο (Kastritis et al., 2003). Το χρώμα σε στρώματα που επικρατεί ο παλυγορσκήτης είναι γκριζο, πράσινο ή καστανό. Μετά από ξήρανση το χρώμα του γίνεται πιο ανοιχτό προς το άσπρο. Η υφή των αργίλων του είναι κατά κανόνα ψευδοαμμούχος.

Η χημική σύσταση του παλυγορσκήτη Βεντζίων δίνεται στον Πίνακα 1.1.

**Πιν 1.1**  
**Χημική σύσταση παλυγορσκήτη**

Οξειδία	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
Περιεκτικότητα (%)	58,70	6,47	12,20	8,15	0,53
Οξειδία	Na <sub>2</sub> O	CaO	MnO	TiO <sub>2</sub>	LOI
Περιεκτικότητα (%)	0,09	0,27	0,12	0,33	11,90

## 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

### 2.1 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΠΑΛΥΓΟΡΣΚΙΤΗ.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε ο εμπλουτισμός του παλυγορσκίτη με διάλυμα χλωριούχου νατρίου NaCl 1M σύμφωνα με Panagoroulos et al. (2015). Το χλωριούχο νάτριο, γνωστό και ως αλάτι ή αλίτης, είναι μια ιοντική ένωση με τον χημικό τύπο NaCl, που αναπαριστά μια αναλογία 1:1 των ιόντων νατρίου και χλωρίου. Το χλωριούχο νάτριο είναι το άλας με τη σημαντικότερη συμμετοχή στην αλατότητα του θαλασσινού νερού και του εξωκυττάριου υγρού πολλών πολυκύτταρων οργανισμών. Με τη μορφή του εδώδιμου ή επιτραπέζιου άλατος χρησιμοποιείται συνήθως ως καρύκευμα και συντηρητικό τροφίμων. Μεγάλες ποσότητες χλωριούχου νατρίου χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες και είναι μια βασική πηγή των ενώσεων του νατρίου και χλωρίου που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για παραπέρα χημικές συνθέσεις. Ένας δεύτερος μεγάλος καταναλωτής του χλωριούχου νατρίου είναι στην αποπαγοποίηση των δρόμων σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν.

Με αυτή τη διαδικασία θα πραγματοποιηθεί εισχώρηση των ιόντων Na<sup>+</sup> στους ελεύθερους χώρους του παλυγορσκίτη, η κατάληψη των χώρων αυτών και στα πειράματα που θα ακολουθήσουν τα ιόντα αυτά θα απελευθερωθούν και θα αντικατασταθούν με ιόντα Ca. Για την παρασκευή του διαλύματος αυτού ζυγίστηκαν στον εργαστηριακό ζυγό ακρίβειας δύο δεκαδικών ψηφίων, 58,4 gr NaCl τα οποία τοποθετήθηκαν αρχικά σε ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας ενός λίτρου με 800 ml περίπου αποσταγμένο νερό και εν συνεχεία στο μαγνητικό αναδευτήρα και αναδεύτηκαν έως ότου να διαλυθούν πλήρως. Μετά την πλήρη διάλυση το διάλυμα μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη χωρητικότητας ενός λίτρου και συμπληρώθηκε η υπόλοιπη ποσότητα αποσταγμένου νερού έως την προκαθορισμένη χαραγή του ενός λίτρου.

Ύστερα πραγματοποιήθηκε ανάδευση 100 ml του ανωτέρω διαλύματος με 8 gr παλυγορσκίτη σε ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 250 ml για 30 λεπτά. Με την πάροδο των 30 λεπτών ακολούθησε φυγοκέντρωση για 15 λεπτά, συλλέχθηκε το ίζημα και απορρίφθηκε το υπερκείμενο. Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλήφθηκε μία ακόμα φορά. Με την ολοκλήρωση και των δύο φυγοκεντρήσεων, σειρά είχε η έκπλυση του ιζήματος. Επαναλήφθηκε η ίδια ακριβώς παραπάνω διαδικασία όσον αφορά τους χρόνους, με τη μόνη διαφορά

ότι αντί του διαλύματος χρησιμοποιήθηκε αποσταγμένο νερό και με το πέρας της έκπλυσης το ίζημα τοποθετήθηκε στον εργαστηριακό ξηραντήρα στους 55°C για 24 ώρες. Μετά την πάροδο του 24ώρου ακολούθησε κονιορτοποίηση του νατριούχου πλέον παλυγορσκήτη ο οποίος με τη μορφή πούδρας ήταν έτοιμος για τα περάματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

## 2.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ Ca.

Για την εκτέλεση των πειραμάτων της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν αναγκαία η παρασκευή διαλύματος Ca το οποίο χρησιμοποιήθηκε μαζί με τον νατριούχο παλυγορσκήτη για τη μέτρηση της ιοντοανταλλαγής. Το αρχικό πρότυπο διάλυμα ήταν συγκέντρωσης 1000ppm ενώ η επιθυμητή συγκέντρωση για τις ανάγκες του πειράματος ήταν 100ppm Ca.

Σύμφωνα με το νόμο της αραιώσης (2.1) για την παρασκευή ενός λίτρου διαλύματος συγκέντρωσης 100ppm Ca χρησιμοποιήθηκαν 100 ml από το αρχικό διάλυμα, το οποίο τοποθετήθηκε σε ογκομετρική φιάλη ενός λίτρου και συμπληρώθηκε αποσταγμένο νερό έως την προκαθορισμένη χαραγή.

$$V \text{ initial} \times C \text{ initial} = V \text{ final} \times C \text{ final} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} V \text{ initial} \times C \text{ initial} &= V \text{ final} \times C \text{ final} \leftrightarrow \\ V \text{ initial} \times 1000\text{ppm} &= 1000\text{ml} \times 100\text{ppm} \leftrightarrow \\ V \text{ initial} &= 100 \text{ ml.} \end{aligned}$$

## 2.3 ΠΕΙΡΑΜΑ mass/volume.

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι να μελετηθεί η ικανότητα προσρόφησης ασβεστίου από τον παλυγορσκήτη και να βρεθεί η βέλτιστη αναλογία της μάζας προς τον όγκο του διαλύματος. Με αυτό τον τρόπο θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τη σπουδαιότητα που έχει η ποσότητα του αργιλικού ορυκτού που χρησιμοποιήθηκε και η ικανότητά του να ανταλλάξει ιόντα.

Στο παρόν πείραμα μεταβλήθηκε ο λόγος της μάζας του παλυγορσκήτη προς τον όγκο του διαλύματος Ca 100ppm που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του νόμου της αραιώσης (2.1). Ο όγκος του διαλύματος παρέμεινε σταθερός, ενώ η μάζα του παλυγορσκήτη μεταβλήθηκε σε διάφορες τιμές. Η θερμοκρασία του διαλύματος ήταν σταθερή σε όλη τη διάρκεια της ανάδευσης

και της φυγοκέντρωσης και ίδια με τη θερμοκρασία δωματίου δηλ. στους 29°C. Το PH διορθώθηκε σε τιμές στην ουδέτερη ζώνη δηλ. κοντά στο 7.

Στον εργαστηριακό ζυγό ζυγίστηκαν σε κεραμική κάψα οι ακόλουθες ποσότητες παλυγορσκήτη:

0,1gr 0,2gr 0,4gr 0,6gr 0,8gr 1gr 2gr 3 gr 4gr 5gr 6gr.

Εν συνεχεία, στο μαγνητικό αναδευτήρα σε ποτήρι ζέσεως 250 ml αναδευτήκε κάθε μία ποσότητα παλυγορσκήτη με 100 ml διαλύματος ασβεστίου για 5 λεπτά και κατόπιν φυγοκεντρίστηκε για άλλα 5 λεπτά. Το υπερκείμενο υγρό του φυγοκεντρικού σωλήνα συλλέχθηκε και προωθήθηκε για μέτρηση ενώ το ίζημα απορρίφθηκε.

## 2.4 ΠΕΙΡΑΜΑ PH.

Οι διαφορετικές τιμές του PH που απαντώνται είτε στους υπό καλλιέργεια αγρούς είτε στο αρδευτικό νερό παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην προσρόφηση. Σε αυτό το πείραμα θα δοκιμαστούν διαφορετικές τιμές του PH, από 2 έως 12 με διάφορες ενδιάμεσες τιμές και το διάλυμα Ca 100ppm που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του νόμου της αραίωσης (2.1). Βέβαια, ακραίες τιμές θα απαντηθούν πολύ σπάνια στη φύση ίσως και ποτέ όμως θα συμπεριληφθούν στο πείραμα για να καταγραφεί η ικανότητα του παλυγορσκήτη.

Η διόρθωση ώστε να προκύψει όξινο διάλυμα έγινε με χρήση θειϊκού οξέος ( $\text{HSO}_4$ ) ενώ για να προκύψει αλκαλικό με χρήση οξικού νατρίου ( $\text{NaOH}$ ) η δε πυκνότητά τους κυμάνθηκε από 0,025 έως 4N και αυτό για να επιτευχθεί ακριβώς η ζητούμενη τιμή. Ο όγκος του διαλύματος παρέμεινε σταθερός στα 100 ml ανά δείγμα και σε θερμοκρασία ίδια με του δωματίου δηλ στους 29°C και η μάζα της αργίλου στα 2gr.

Στο μαγνητικό αναδευτήρα σε ποτήρι ζέσεως 250 ml τοποθετήθηκε το διάλυμα των 100 ml και ταυτόχρονα με τη χρήση του πεχαμέτρου διορθώθηκε η τιμή του PH με το κατάλληλο διάλυμα η ρίψη του οποίου γινόταν με ένα σταγονόμετρο, διαδικασία που σταμάτησε όταν η τιμή άγγιξε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια προστέθηκε ο νατριούχος παλυγορσκήτης, ξεκίνησε η ανάδευσή του για 5 λεπτά και η φυγοκέντρωσή του για ακόμα 5 λεπτά. Όπως και στο προηγούμενο πείραμα απορρίφθηκε το ίζημα και συλλέχθηκε το υπερκείμενο υγρό για τις μετρήσεις.

## **2.5 ΠΕΙΡΑΜΑ χρόνου.**

Με το πείραμα αυτό δοκιμάστηκε η αποτελεσματικότητα του νατριούχου παλυγορσκήτη ώστε να διαπιστωθεί η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων του, ανάλογα με το χρόνο που διήρκτησε η ανάδευση ξεκινώντας από πολύ χαμηλά. Οι χρόνοι που μελετήθηκαν είναι: 5 δευτ. 10 δευτ. 15 δευτ. 30 δευτ. 10 λεπτά και 30 λεπτά. Το διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε είναι Ca 100ppm και είναι ίδιο με τα προηγούμενα πειράματα όπως προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του νόμου της αραίωσης (2.1). Το PH ρυθμίστηκε κοντά στην ουδέτερη ζώνη δηλ στο 7.

Μετά τη ρύθμιση του PH του διαλύματος με τη βοήθεια του πεχαμέτρου, τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως 250 ml μαζί με το νατριούχο παλυγορσκήτη και αναδεύτηκε στους προκαθορισμένους χρόνους 5 δευτ. 10 δευτ. 15 δευτ. 30 δευτ. 10 λεπτά και 30 λεπτά. Κατόπιν φυγοκεντρίστηκε για 5 λεπτά, απορρίφθηκε το ίζημα και συλλέχθηκε το υπερκείμενο υγρό για τις μετρήσεις.

## **2.6 ΠΕΙΡΑΜΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.**

Η θερμοκρασία είναι ένα μέγεθος το οποίο λαμβάνεται υπόψη σε οποιαδήποτε πειραματική επιστημονική μελέτη διότι όπως στο περιβάλλον επηρεάζει σημαντικά την εξέλιξη όλων των έμβιων ή μη οργανισμών ή στις διεργασίες που συντελούνται, έτσι και στα πειράματα μπορεί να επιφέρει διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Παρόλο που η θερμοκρασία μέσα στο έδαφος δε μεταβάλλεται σημαντικά θα συμπεριληφθεί στα πειράματα μας για να μελετηθεί η επίδραση που έχει στην ιοντοανταλλαγή. Το διάλυμα Ca 100ppm είναι το ίδιο όπως σε όλα τα παραπάνω πειράματα όπως προέκυψε από το νόμο της αραίωσης (2.1).

Οι θερμοκρασίες που δοκιμάστηκαν είναι 22,5 °C, 25 °C, 29 °C (δωματίου), 38,5 °C, 44,5 °C και 54 °C. Το διάλυμα, αφού ρυθμίστηκε το PH του στην ουδέτερη ζώνη δηλ στο 7, τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως 250 ml και στη συνέχεια πάνω στην πλάκα του μαγνητικού αναδευτήρα με ενεργοποιημένη τη θέρμανση με ταυτόχρονη τοποθέτηση του θερμομέτρου. Όταν η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε στην επιθυμητή τιμή έγινε η ρίψη του νατριούχου παλυγορσκήτη, αναδεύτηκε για 5 λεπτά και ακολούθησε φυγοκέντρηση για ακόμα 5 λεπτά. Το υπερκείμενο προωθήθηκε για τις μετρήσεις και το ίζημα απορρίφθηκε.

## **2.7 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.**

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά του νατριούχου παλυγορσκήτη και η ικανότητά του να ανταλλάσσει ιόντα όταν στο ίδιο περιβάλλον βρεθούν και άλλα στοιχεία. Αυτό είναι το πιο λογικό καθώς στο έδαφος υπάρχουν πάρα πολλά στοιχεία και όχι μόνο ένα τα οποία μάχονται για την κατάληψη κενών θέσεων στο εσωτερικό του παλυγορσκήτη. Θα φανεί, ποιες είναι οι δυνατότητες της αργίλου και κατά πόσο επηρεάζεται η ανταλλαγή ιόντων από την παρουσία άλλων παρακείμενων στοιχείων μέσα στο έδαφος.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και αναμείχθηκαν μαζί με το ασβέστιο είναι τα εξής: Χαλκός, Νάτριο, Κάλιο, Αμμώνιο, Ψευδάργυρος, Σίδηρος, Μαγγάνιο και μαγνήσιο. Έτσι τα διαλύματα που προέκυψαν είναι: Ca-Cu, Ca-Na, Ca-NH<sub>4</sub>, Ca-Zn, Ca-Fe, Ca-Mn, Ca-Mg σε διάφορες συγκεντρώσεις.

Ύστερα πραγματοποιήθηκε η διόρθωση του PH των διαλυμάτων στην ουδέτερη περιοχή, τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως 250 ml και αναδεύτηκαν με τον νατριούχο παλυγορσκήτη. Η ανάδευση διήρκεσε 5 λεπτά και η φυγοκέντρηση επίσης 5 λεπτά, με το πέρας της οποίας απορρίφθηκαν τα ίζηματα ενώ τα υπερκείμενα προωθήθηκαν για μετρήσεις.

## **2.8 ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ.**

Σε όλα τα πειράματα που προηγήθηκαν η συγκέντρωση του διαλύματος Ca ήταν 100ppm. Στο παρών όμως μεταβλήθηκε και δοκιμάστηκε σε διάφορες συγκεντρώσεις ούτως ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά και η αποτελεσματικότητα του παλυγορσκήτη. Τα διαλύματα Ca που παρασκευάστηκαν εφαρμόζοντας το τύπο της αραίωσης (2.1) είναι 20 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400ppm. Ύστερα διορθώθηκε το PH των διαλυμάτων στην ουδέτερη περιοχή και στο μαγνητικό αναδευτήρα σε ποτήρι ζέσεως 250 ml, έγινε η ανάδευση του νατριούχου παλυγορσκήτη για 5 λεπτά και η φυγοκέντρηση για 5 λεπτά επίσης. Όπως και σε όλα τα προηγούμενα πειράματα συλλέχθηκε το υπερκείμενο και απορρίφθηκε το ίζημα.

### **3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.**

#### **3.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.**

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας των αναδεύσεων όλων των πειραμάτων, τα διαλύματα που προέκυψαν ήταν έτοιμα για την επόμενη και πολύ σημαντική φάση, αυτή των μετρήσεων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην διαδικασία των αναδεύσεων, ο παλυγορσκήτης αναδεύτηκε με διάλυμα ασβεστίου. Το ζητούμενο στην παρούσα φάση ήταν να αποσαφηνιστεί η ικανότητα ιοντοανταλλαγής του παλυγορσκήτη. Δηλαδή, την ποσότητα ιόντων ασβεστίου που απορρόφησε η άργιλος από το διάλυμα στις διαφορετικές συνθήκες των πειραμάτων που περιγράφονται παραπάνω και τα αντάλλαξε με άλλα ιόντα. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η EPA 215.2 η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε πόσιμα, επιφανειακά και υφάλμυρα νερά καθώς και στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. και η μέτρηση έγινε με τη διαδικασία της τιτλοδότησης.

#### **3.2 ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ.**

Για τις ανάγκες των μετρήσεων ήταν αναγκαία η χρησιμοποίηση των εξής αντιδραστηρίων:

1. Υπεροξείδιο του νατρίου NaOH 4N
2. Ρυθμιστικός δείκτης σε δισκία  $[NH_4Cl + (CH_2)_6 NH_4]$
3. Πρότυπο διάλυμα τιτλοδότησης EDTA κανονικότητας 0,02N το οποίο παρασκευάστηκε ως εξής: Στον εργαστηριακό ζυγό ακρίβειας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων ζυγίστηκαν 3,723 gr EDTA disodium άλας το οποίο διαλύθηκε σε 3D νερό. Στη συνέχεια μεταφέρθηκε το διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη 1000ml και αραιώθηκε πάλι με 3D νερό έως τη χαραγή.

### 3.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ.

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων θα χρειαστεί ο παρακάτω εξοπλισμός:

- Συσκευή τιτλοδότησης
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Πεχάμετρο
- Κωνική φιάλη
- Μαγνήτες ανάδευσης

### 3.4 ΠΟΡΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.

Στον μαγνητικό αναδευτήρα, σε κωνική φιάλη αναδεύτηκαν 50 ml από το προς μέτρηση διάλυμα με 2 ml υπεροξείδιο του νατρίου NaOH 4N ή επαρκής ποσότητα ώστε να παραχθεί pH 12 έως 13 το οποίο μετρήθηκε με το πεχάμετρο και κατόπιν προστέθηκε ένα δισκίο δείκτη  $[\text{NH}_4\text{Cl}+(\text{CH}_2)_6 \text{NH}_4]$ . Όταν διαλύθηκε εντελώς το δισκίο, το διάλυμα απέκτησε ένα καφέ – κοκκινωπό χρώμα και αμέσως άρχισε η τιτλοδότησή του με το αντιδραστήριο EDTA. Η διαδικασία αυτή σταμάτησε όταν εξαφανίστηκε και η τελευταία κοκκινωπή χροιά και το διάλυμα απέκτησε ένα πράσινο χρώμα. Έγινε έλεγχος ότι δεν υπήρξε περαιτέρω αλλαγή του χρώματος προσθέτοντας μία έως δύο σταγόνες ακόμα. Η ποσότητα του αντιδραστηρίου EDTA που τιτλοδοτήθηκε θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μέτρησης του ασβεστίου παρακάτω.

### 3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ.

Τέλος, για να υπολογιστεί η ποσότητα των ιόντων του ασβεστίου που προσρόφησε η άργιλος και τα αντάλλαξε με άλλα ιόντα έγινε χρήση του τύπου 3.1. Αυτή ήταν η τελευταία φάση της όλης διαδικασίας η οποία θα αποδείκνυε την επιτυχία ή όχι του όλου εγχειρήματος. Το αποτέλεσμα του τύπου αυτού θα έδειχνε το ποσοστό ασβεστίου που προσρόφησε ο παλυγορσκίτης και μετράται σε μιλιγραμμάρια ανά λίτρο ασβεστίου. (mg/L Ca)

$$\text{Ολικό ασβέστιο } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\text{Ca}\right) = \frac{A \cdot N \cdot 20040}{\text{ml sample}} \quad (3.1)$$

Όπου:

A = ml EDTA που χρησιμοποιήθηκε στην τιτλοδότηση

N = κανονικότητα N του EDTA = 0.02



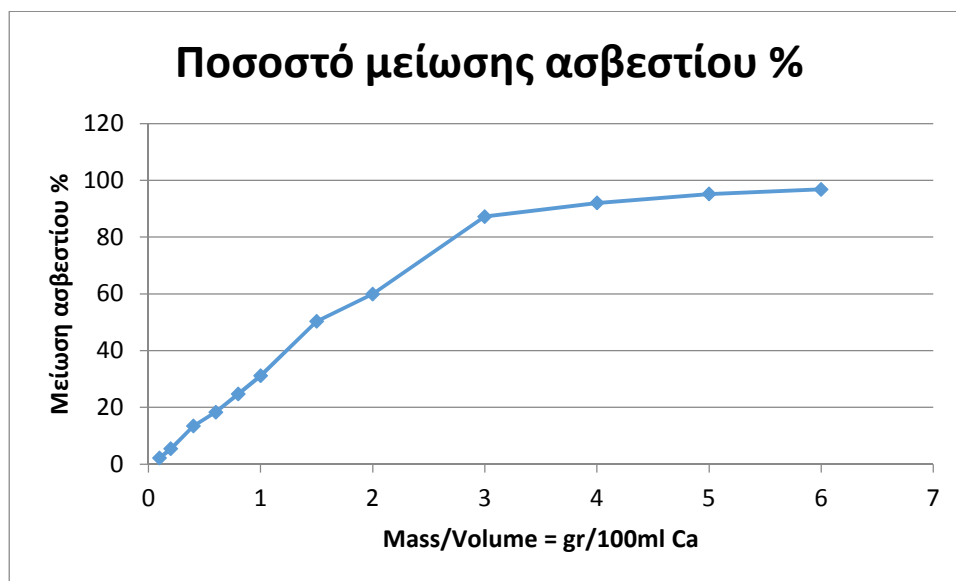
## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.

### 4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Mass/vol

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αναγράφονται στον πίνακα 4.1 και αποτυπώνονται στο γράφημα 4.1, προέκυψαν ύστερα από ανάδευση 5 λεπτών σε διαφορετικές αναλογίες αργίλου προς 100ml όγκο διαλύματος ασβεστίου. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μείωσης του ασβεστίου που απορροφήθηκε από την άργιλο έγινε σύμφωνα με τη σχέση 1 Panagoroulos et al. (2015).

$$\text{Ca reduction \%} = \frac{100 - C_f}{100} * 100 \quad (1)$$

Όπου  $C_f$  είναι η συγκέντρωση του ασβεστίου μετά την ανάδευση με τον παλυγορσκήτη.



Γράφημα 4.1

<b>Παλυγορσκήτης</b>	<b>Ολικό ασβέστιο</b>	<b>Ποσοστό μείωσης ασβεστίου</b>
gr	mg/L Ca	%
0,1	97,8	2,2
0,2	94,6	5,4
0,4	86,6	13,4
0,6	81,7	18,3
0,8	75,3	24,7
1	68,9	31,1
1,5	49,7	50,3
2	40,1	59,9
3	12,8	87,2
4	8	92
5	4,8	95,2
6	3,2	96,8

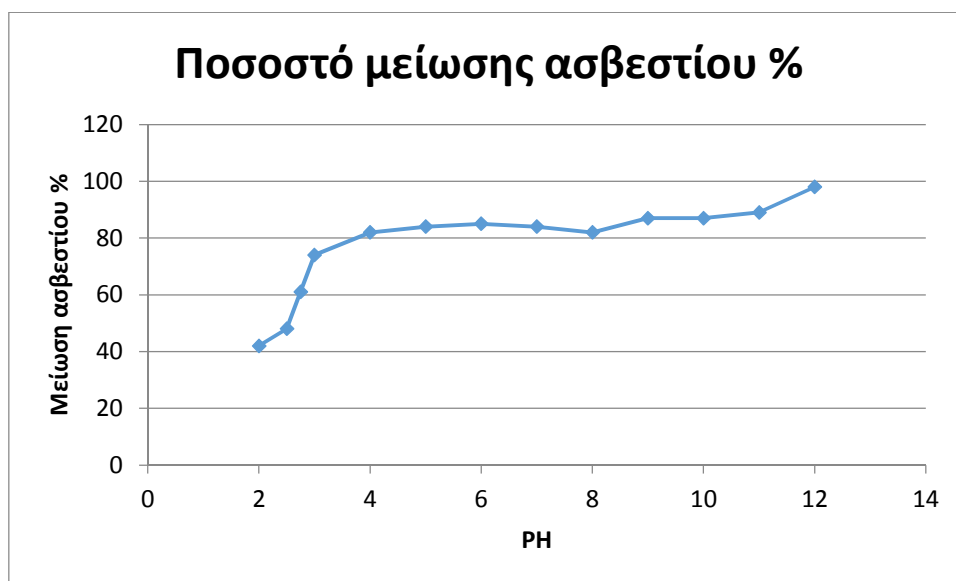
#### **4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ PH.**

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αναγράφονται στον πίνακα 4.2 και αποτυπώνονται στο γράφημα 4.2, προέκυψαν ύστερα από ανάδευση 5 λεπτών σε διαφορετικές τιμές PH ενώ οι αναλογίες αργίλου προς όγκο διαλύματος ασβεστίου είναι 1 gr/100ml Ca ή 2%. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μείωσης του ασβεστίου που απορροφήθηκε από την άργιλο έγινε σύμφωνα με τη σχέση 1 Panagoroulos et al. (2015).

$$\text{Ca reduction \%} = \frac{100 - C_f}{100} * 100 \quad (1)$$

Όπου  $C_f$  είναι η συγκέντρωση του ασβεστίου μετά την ανάδευση με τον παλυγορσκήτη.

<< Βελτίωση της ποιότητας του αρδευτικού νερού με χρήση ορυκτών αργίλων και τη μέθοδο της ιοντοανταλλαγής >>



Γράφημα. 4.2

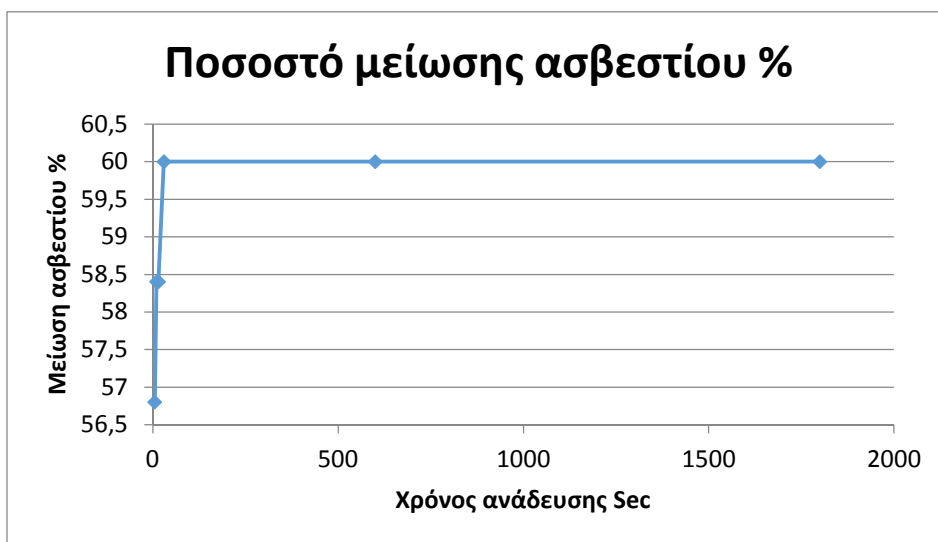
Πιν. 4.2 Πείραμα PH		
PH	Ολικό ασβέστιο	Ποσοστό μείωσης ασβεστίου
	mg/L Ca	%
2	58	42
2,5	52	48
2,75	39	61
3	26	74
4	18	82
5	16	84
6	15	85
7	16	84
8	18	82
9	13	87
10	13	87
11	11	89
12	2	98

### 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΧΡΟΝΟΥ.

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αναγράφονται στον πίνακα 4.3 και αποτυπώνονται στο γράφημα 4.3, προέκυψαν ύστερα από διαφορετικούς χρόνους ανάδευση ενώ οι αναλογίες αργίλου προς όγκο διαλύματος ασβεστίου είναι 1gr/100ml Ca ή 2%. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μείωσης του ασβεστίου που απορροφήθηκε από την άργιλο έγινε σύμφωνα με τη σχέση 1 Panagopoulos et al. (2015).

$$\text{Ca reduction \%} = \frac{100 - C_f}{100} * 100 \quad (1)$$

Όπου  $C_f$  είναι η συγκέντρωση του ασβεστίου μετά την ανάδευση με τον παλυγορσκήτη.



Γράφημα 4.3

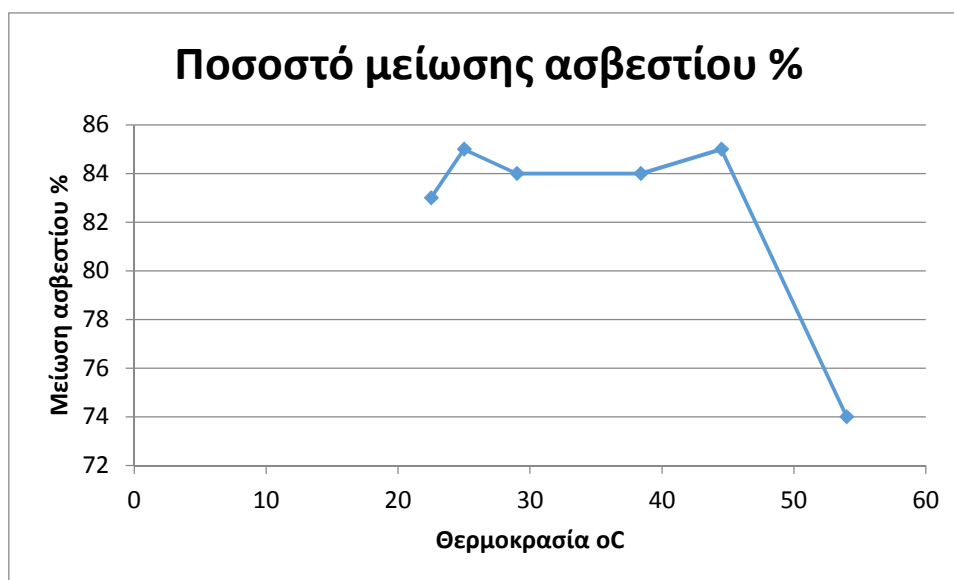
Πιν. 4.3 Πείραμα χρόνου			
Χρόνος Ανάδευσης	Χρόνος Ανάδευσης	Ολικό ασβέστιο	Ποσοστό μείωσης ασβεστίου
	Sec	mg/L Ca	%
5 sec	5	43,2	56,8
10 sec	10	41,6	58,4
15 sec	15	41,6	58,4
30 sec	30	40	60
10 min	600	40	60
30 min	1800	40	60

#### 4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αναγράφονται στον πίνακα 4.4 και αποτυπώνονται στο γράφημα 4.4, προέκυψαν ύστερα από ανάδευση 5 λεπτών σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας ενώ οι αναλογίες αργίλου της όγκο διαλύματος ασβεστίου είναι 1 gr/100ml Ca ή 2%. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μείωσης του ασβεστίου που απορροφήθηκε από την άργιλο έγινε σύμφωνα με τη σχέση 1 Panagoroulos et al. (2015).

$$\text{Ca reduction \%} = \frac{100 - C_f}{100} * 100 \quad (1)$$

Όπου  $C_f$  είναι η συγκέντρωση του ασβεστίου μετά την ανάδευση με τον παλυγορσκήτη.



Γράφημα 4.4

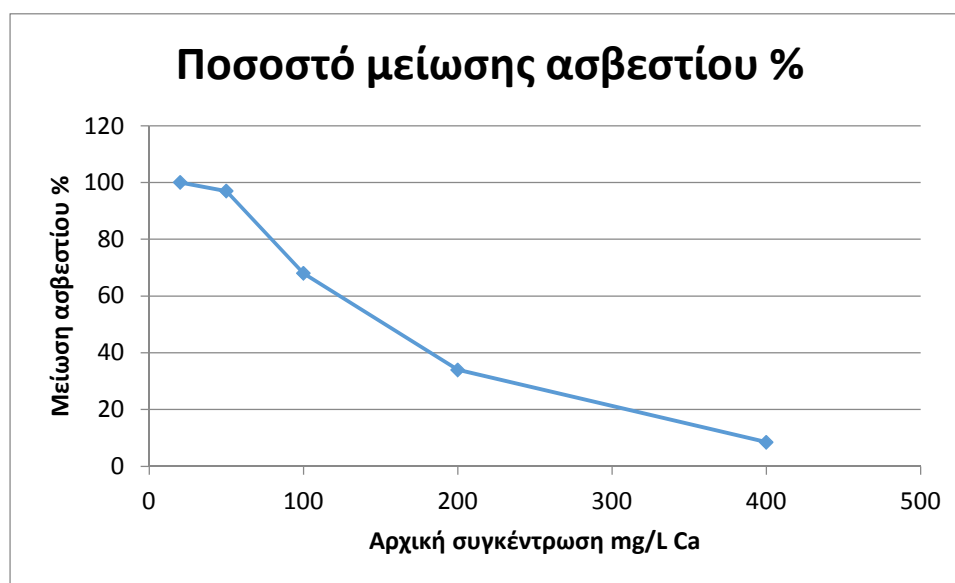
Πιν. 4.4 Πείραμα θερμοκρασίας		
Θερμοκρασία	Ολικό Ασβέστιο	Ποσοστό μείωσης ασβεστίου
°C	Mg/L Ca	%
22,5	17	83
25	15	85
29	16	84
38,4	16	84
44,5	15	85
54	26	74

#### 4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ.

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αναγράφονται στον πίνακα 4.5 και αποτυπώνονται στο γράφημα 4.5, προέκυψαν ύστερα από ανάδευση 5 λεπτών σε διαφορετικές τιμές της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος ενώ οι αναλογίες αργίλου της όγκο διαλύματος ασβεστίου είναι 1 gr/100ml Ca ή 2%. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μείωσης του ασβεστίου που απορροφήθηκε από την άργιλο έγινε σύμφωνα με τη σχέση 1 Panagoroulos et al. (2015).

$$\text{Ca reduction \%} = \frac{100 - C_f}{100} * 100 \quad (1)$$

Όπου  $C_f$  είναι η συγκέντρωση του ασβεστίου μετά την ανάδευση με τον παλυγορσκήτη.



Γράφημα 4.5

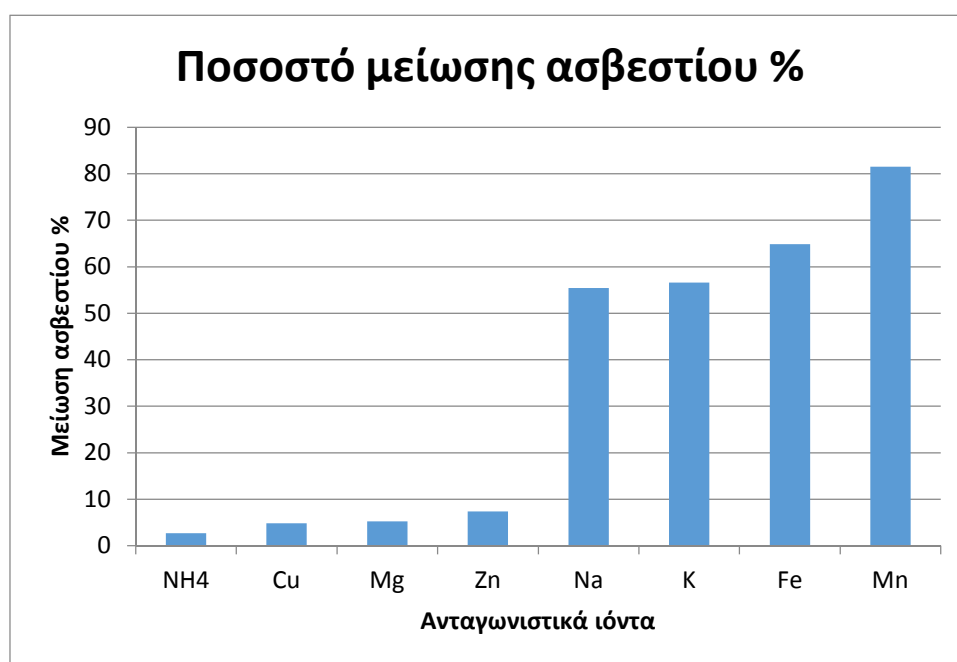
Πιν.4.5 Αρχική συγκέντρωση		
Αρχική Συγκέντρωση	Ολικό ασβέστιο	Ποσοστό μείωσης ασβεστίου
mg/L Ca	mg/L Ca	%
20	0	100
50	1,5	97
100	32	68
200	132	34
400	366	8,5

#### 4.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αναγράφονται στον πίνακα 4.6 και αποτυπώνονται στο γράφημα 4.6, προέκυψαν ύστερα από ανάδευση 5 λεπτών σε διάλυμα το οποίο περιείχε εκτός από το ασβέστιο ακόμα ένα στοιχείο σε αναλογίες αργίλου προς όγκο διαλύματος είναι 1 gr/100ml ή 2%. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μείωσης του ασβεστίου που απορροφήθηκε από την άργιλο έγινε σύμφωνα με τη σχέση 1 Panagoroulos et al. (2015).

$$\text{Ca reduction \%} = \frac{100 - C_f}{100} * 100 \quad (1)$$

Όπου  $C_f$  είναι η συγκέντρωση του ασβεστίου μετά την ανάδευση με τον παλυγορσκήτη.



Γράφημα 4.6

Πιν. 4.6 Ανταγωνιστικότητα Ιόντων	
	Ca % red
NH4	3
Cu	5
Mg	5
Zn	7
Na	55
K	57
Fe	65
Mn	82

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας των πειραμάτων και των μετρήσεων και έχοντας στη διάθεσή μας τους πίνακες και τα γραφήματα παρατηρούνται τα εξής: Στο πείραμα μάζας-όγκου όταν η χρησιμοποιούμενη μάζα αργίλου είναι μικρή, εξίσου μικρή είναι και η απορρόφηση η οποία αυξάνεται αναλογικά όσο αυξάνεται η μάζα. Η καμπύλη έχει σταθερή ανοδική και σχεδόν ευθεία πορεία έως και την τιμή 3 γραμμάρια της αργίλου ενώ πέρα από αυτή η μεταβολή της απορρόφησης του ασβεστίου είναι μικρή συγκριτικά με την ποσότητα της αργίλου που χρησιμοποιήθηκε.

Στο πείραμα PH, παρατηρούμε ότι από την τιμή 4 και πάνω η απορρόφηση είναι αρκετά υψηλή και η καμπύλη είναι σχετικά επίπεδη με αποκορύφωμα τις αρκετά υψηλές τιμές 11 και 12. Βέβαια, είναι εξαιρετικά σπάνια να απαντηθούν στη φύση τόσο αλκαλικά εδάφη όμως, όπως παρατηρείται ο παλυγορσκίτης λειτουργεί σχεδόν τέλεια σε αυτές τις τιμές. Στις τιμές 2 έως 3 η άργιλος έχει χαμηλή ανταπόκριση πράγμα το οποίο επιβεβαιώθηκε με τα δύο ενδιάμεσα δείγματα 2,5 και 2,75.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το πείραμα του χρόνου. Εδώ φαίνεται καθαρά ότι η άργιλος χρειάζεται μόλις πέντε δευτερόλεπτα για να απορροφήσει το 56,8% του ασβεστίου από το διάλυμα, η οποία απορρόφηση ανεβαίνει στο 58,4% στα 10 και 15 δευτερόλεπτα για να αγγίξει το μέγιστο που είναι το 60% σε 30 δευτερόλεπτα. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι χρόνοι ανάδευσης 10 και 30 λεπτών δεν βελτίωσαν καθόλου την απορρόφηση του ασβεστίου πέρα του 60% που επετεύχθη στα 30 δευτερόλεπτα πράγμα που αποδεικνύει την ταχύτητα που λειτουργεί ο παλυγορσκίτης.

Το πείραμα της θερμοκρασίας έδειξε ότι η άργιλος ανταποκρίθηκε πάρα πολύ καλά σε όλες τις επιμέρους τιμές τις οποίες δοκιμάστηκε και η απορρόφηση κυμάνθηκε από 83 έως 85% σε θερμοκρασίες από 22.5 έως 44.5°C. Στην ανώτερη και τελευταία τιμή που δοκιμάστηκε δηλαδή αυτή των 54 °C η απόδοση έπεσε στο 74%.

Στο πείραμα της αρχικής συγκέντρωσης η απορρόφηση ήταν ολοκληρωτική δηλαδή στο 100% στην συγκέντρωση 20ppm ενώ υποχώρησε ελαφρώς στην τιμή των 50ppm φτάνοντας το αρκετά καλό 97%. Στις υπόλοιπες δοκιμές ακολούθησε φθίνουσα πορεία όπως άλλωστε φαίνεται από την καμπύλη με 68% στα 100ppm, 34% στα 200ppm και η χαμηλότερη τιμή με απορρόφηση 8,5% στα 400ppm.

Τέλος στο πείραμα ανταγωνιστικότητας φαίνεται ότι κάποια ιόντα επηρέασαν την προσρόφηση ασβεστίου αρκετά ενώ κάποια άλλα κυμάνθηκε η



προσρόφηση κοντά στο 50-60% ενώ την καλύτερη απόδοση είχε το Μαγγάνιο με 82% μείωση ασβεστίου.

Εν κατακλείδι και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρατηρούμε ότι το αργιλικό ορυκτό παλυγορσκήτης συμπεριφέρεται πάρα πολύ καλά στις μέσες και υψηλές αναλογίες της μάζας προς τον όγκο διαλύματος αποτέλεσμα απολύτως φυσιολογικό. Επίσης πολύ καλή απορρόφηση πέτυχε σε τιμές PH από 4 και πάνω δηλαδή συνθήκες φυσιολογικές όπως απαντώνται στη φύση οι οποίες βελτιώνονται και αγγίζουν το 100% σε τιμές άνω του 12 αν και είναι αρκετά σπάνιο. Εξαιρετική συμπεριφορά παρουσιάζει ο παλυγορσκήτης στο πείραμα του χρόνου αφού όπως αποδεικνύεται αρκούν μόνο μερικά δευτερόλεπτα για να απορροφήσει άνω του 50% του ασβεστίου από το διάλυμα η οποία όμως δεν αυξάνεται πάνω από το 60% ακόμα και αν παραμείνει στην ανάδευση αρκετή ώρα. Επίσης πολύ υψηλά ποσοστά απορρόφησης πέτυχε το ορυκτό στο πείραμα της θερμοκρασίας άνω του 80% σε τιμές φυσιολογικές για τα κλιματολογικά δεδομένα της χώρας ενώ στο πείραμα αρχικής συγκέντρωσης έδειξε μια παρεμφερή συμπεριφορά με αυτό του μάζας – όγκου. Τέλος στη διαδικασία ανταγωνιστικότητας

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

Bish D.L. and Guthrie G.D., 1993. Mineralogy of clay and zeolite dusts (exclusive of 1: 1 layer silicates). In: Guthrie, G.D., Jr & Mossman, B.T. (Eds), *Reviews in Mineralogy*, Vol. 28, *Realth Effects of Mineral Dusts*, Chelsea, MI, Book Crafters pp. 139-184.

Haden W.L. and Schwint I.A., 1967. *Attapulgit: Its Properties and applications*. Industrial and Engineering Chemistry.

Heivilin, F.G. & Murray, H.H. (1994), «Clays. Hormites: palygorskite (attapulgit) and sepiolite» In: Carr, D.D., ed., «*Industrial Minerals and Rocks*», 6th Ed., Littleton, Co, *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*

Inskeep, W. P., & Baham, J. (1983): Adsorption of Cd(II) and Cu(II) by namontmorillonite at low surface coverage. *Soil Science Society of America Journal*, 47(4), 660-665.

Johnston W.A., 1959 “Adsorption and Catalysis” unpublished data, Minerals & Chemicals Philipp Corp., Menlo Park, N.J. In: Haden W. and Schwint I., 1967: *Attapulgit: Its Properties and applications* Industrial and Engineering Chemistry 59(9): 58-69.

Jones B.F.& Galan E. (1988), «Sepiolite and palygorskite» In: Bailey SW, «*Hydrous phyllosilicates (exclusive of micas)*». *Reviews in mineralogy*, 19, Mineralogical Society of America, Washington, DC.

Kastritis I.D., Kacandes G.H. and Mposkos E. (2003), «The palygorskite and Mg-Fe-smectite clay deposits of the Venzia basin, western Macedonia, Greece», *Mineral Exploration and Sustainable Development*, Eliopoulos et al. (eds), Millpress, Rotterdam.

<< Βελτίωση της ποιότητας του αρδευτικού νερού με χρήση ορυκτών αργίλων και τη μέθοδο της ιοντοανταλλαγής >>

Lund, E., & Nissen, B. (1986). Low technology water purification by bentonite clay flocculation as performed in sudanese villages. virological examinations. *Water Research*, 20(1), 37-43. doi:10.1016/0043-1354(86)90211-3

Madsen, M., & Schlundt, J. (1989): Low technology water purification by bentonite clay flocculation as performed in sudanese villages: Bacteriological examinations. *Water Research*, 23(7), 873-882. doi:10.1016/0043-1354(89)90012-2

McCarter W.S.W., Krieger K.A., Heinemann H., 1950. Thermal activation of attapulgite clay-effect on physical and adsorptive properties. *Industrial and Engineering Chemistry* 42: 529-533.

Murray H.H., 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science* 17: 207-221.

Olsen, A. (1987): Low technology water purification by bentonite clay and moringa oleifera seed flocculation as performed in sudanese villages: Effects on schistosoma mansoni cercariae. *Water Research*, 21(5), 517-522. doi:10.1016/0043-1354(87)90059-5

Panagopoulos G., Papoulis D, Zamparas M., Bekiari V., Panagiotaras D. (2015): Use of Clay Minerals to Reduce Ammonium Concentration in Groundwater, ReaserchGate.

White W.A., Pichler E., 1959. Illinois State Geol. Survey

Zhou, S., Xue, A., Zhang, Y., Li, M., Li, K., Zhao, Y., & Xing, W. (2015): Novel polyamidoamine dendrimer-functionalized palygorskite adsorbents with high adsorption capacity for Pb<sup>2+</sup> and reactive dyes. *Applied Clay Science*, 107, 220229. doi:10.1016/j.clay.2015.01.032

Θεοφίλου Ν. (2014), Ορυκτός ατταπουλγίτης-πλεονεκτήματα έναντι του ζεόλιθου» Εκ Γης –εδαφοβελτιστικά και βιοαποικοδομητές.

Κουτσοπούλου Ε.(2012): Ο ρόλος των αργίλων σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων: ορυκτολογική, γεωχημική και περιβαλλοντική προσέγγιση, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 65-67, 105-113

<< Βελτίωση της ποιότητας του αρδευτικού νερού με χρήση ορυκτών αργίλων και τη μέθοδο της ιοντοανταλλαγής >>

Παπαθεοδώρου Γ., Ρεμουντάκη Ε., Ζιώμας Ι., Γεωργιάδης Θ., Φερεντίνος Γ., Καλλέργης Κ., Ιγνατιάδου Λ., Καμπεζίδης Χ., Κομνίτσας Κ., Σκορδίλης Α. (2004): Διάθεση αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, Εκδόσεις Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (Ε.Α.Π.), Πάτρα

**ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.**

<https://el.wikipedia.org/wiki>

[www.geohellas.com](http://www.geohellas.com)