



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Ενότητα 11: Ιοανταλλαγή

Ζαγγανά Ελένη

Σχολή : Θετικών Επιστημών

Τμήμα : Γεωλογία

# Σκοποί ενότητας

- Κατανόηση του φαινομένου της ιοντικής ανταλλαγής



# Περιεχόμενα ενότητας

- 1) Ρόφηση
- 2) Απορρόφηση
- 3) Προσρόφηση
- 4) Γεωλογικοί σχηματισμοί
- 5) Ικανότητα κατιοανταλλαγής
- 6) Φορτίο ανταλλαγής ιόντων



# ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Ιοανταλλαγή

# Εισαγωγή

Εκτός από τα φαινόμενα διάστασης – διάλυσης, χημικής προσβολής, οξειδωσης - αναγωγής που μελετήθηκαν μέχρι τώρα, υπάρχει και μια κατηγορία δευτερευόντων φαινομένων που μπορούν να αλλάξουν την χημική εικόνα του υπόγειου νερού.



# Εισαγωγή (συνέχεια 1)

Η ιοντο-ανταλλαγή, η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων, η αναγωγή των θεικών, η υδροδυναμική διασπορά είναι φυσικές διαδικασίες, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν την φυσική χημική σύσταση του υπόγειου νερού και να οδηγήσουν σε μια σύσταση, η οποία δεν ανταποκρίνεται στην λιθολογία του υδροφορέα.



# Ορισμός ρόφησης

Η “ρόφηση” (**sorption**) χημικών ουσιών που περιέχονται στο υπόγειο νερό, από τη στερεά φάση του υδροφόρου, είναι συνήθης διαδικασία και ορίζεται ως η μεταβολή της συγκέντρωσης χημικής ουσίας στη στερεά φάση ως αποτέλεσμα της ανταλλαγής μάζας μεταξύ διαλύματος και στερεάς φάσης.



# Ρόφηση

Η ρόφηση διακρίνεται σε:

- **Προσρόφηση (Adsorption)**, κατά την οποία η χημική ουσία προσκολλάται στην επιφάνεια των στερεών σωματιδίων
- **Απορρόφηση (Absorption)**, κατά την οποία η χημική ένωση περνάει στο εσωτερικό των σωματιδίων
- **Ανταλλαγή (exchange)**, κατά την οποία μία χημική ουσία αντικαθίσταται από μια άλλη στην επιφάνεια των στερεών σωματιδίων.





# Διαφορά Προσρόφησης, Απορρόφησης και ιοντικής ανταλλαγής

Η πιο σημαντική διαφορά ανάμεσα στην προσρόφηση και απορρόφηση από τη μία μεριά και την ιοντική ανταλλαγή από την άλλη, είναι ότι κατά την προσρόφηση – απορρόφηση οι εξισώσεις που τις περιγράφουν χρησιμοποιούν την συγκέντρωση μιας μόνο χημικής ουσίας και αγνοούν την επίδραση άλλων διαλυμένων στο νερό ουσιών, ενώ οι εξισώσεις της «**ιοντικής ανταλλαγής**» λαμβάνουν υπόψη όλα τα ιόντα που ανταγωνίζονται για την κατάληψη των θέσεων ιοντοανταλλαγής.



# Που λαμβάνει χώρα η ιοντοανταλλαγή

Οι διαδικασίες της ιοντοανταλλαγής λαμβάνουν χώρα με μεγάλη ένταση στα κολλοειδή σωματίδια, **επειδή αυτά παρουσιάζουν μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο σε σχέση με την επιφάνεια τους, δηλαδή μεγάλη ειδική επιφάνεια.** Το ηλεκτρικό αυτό φορτίο προέρχεται από:

- Ατέλειες ή αντικαταστάσεις μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα
- Αντιδράσεις χημικής διάστασης στην επιφάνεια των σωματιδίων



## Που λαμβάνει χώρα η ιοντοανταλλαγή

Από τους γεωλογικούς σχηματισμούς, εκείνοι που παρουσιάζουν φορτισμένες επιφάνειες λόγω κυρίως ιοντικής αντικατάστασης είναι οι κολλοειδείς ενώσεις, κυρίως δε τα **αργιλικά ορυκτά και το  $\text{SiO}_2$**  καθώς επίσης και τα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου.



# Κατιοντική Ανταλλαγή

- Σε επαφή με το νερό οι φορτισμένες θέσεις μετατρέπονται σε επιφάνειες υδροξυλιακών ομάδων. Το επιφανειακό αυτό φορτίο ορίζεται ως εξής

$$\sigma = F \cdot (\Gamma_{\text{H}^+} - \Gamma_{\text{OH}^-})$$

όπου  $F$  είναι η σταθερά του Faraday και  $\Gamma_{\text{H}^+} - \Gamma_{\text{OH}^-}$  είναι οι επιφανειακές περίσσειες των  $\text{H}^+$  και  $\text{OH}^-$

- Είναι λοιπόν φανερό ότι το  $\text{pH}$  καθορίζει το επιφανειακό φορτίο. Σε χαμηλό  $\text{pH}$  επικρατούν θετικά φορτισμένες επιφάνειες, ενώ σε υψηλό  $\text{pH}$  επικρατούν αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες. Στις ενδιάμεσες τιμές  $\text{pH}$  το ηλεκτρικό φορτίο είναι μηδέν, οπότε δημιουργούνται συνθήκες γνωστές ως «σημείο μηδενικού ηλεκτρικού φορτίου».



# Ικανότητα Κατιοντικής Ανταλλαγής

- Το σταθερό ηλεκτρικό φορτίο της παραπάνω μισής αντίδρασης είναι το ηλεκτρικό δυναμικό που παριστάνεται με <<τη ροή ηλεκτρονίων>> όταν η αντίδραση βρίσκεται σε ισορροπία
- Για τις αρνητικά φορτισμένες αργίλους σε τιμές pH 7-9, που έχουν συνήθως τα φυσικά νερά, τα ανταλλάξιμα ιόντα είναι τα κατιόντα. Ονομάζουμε **«ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής» C.E.C (cation exchange capacity)**, την περίσσεια των ιόντων που γειτονεύουν άμεσα με την φορτισμένη επιφάνεια και που μπορούν να ανταλλαγούν με άλλα κατιόντα.



# Ικανότητα Κατιοντικής Ανταλλαγής (συνέχεια 1)

- Εκφράζεται με τον αριθμό των χιλιοστο-ισοδυνάμων (meq) που μπορούν να ανταλλαγούν σε δείγμα ξερού βάρους 100gr. Δηλαδή :

$\alpha$ Αορυκτού +  $\beta$ Βνερού       $\alpha$ Ανερού +  $\beta$ Βορυκτού

Όπου A και B τα ανταλλάξιμα ιόντα και  $\alpha$  και  $\beta$  ο αριθμός των moles



## Ικανότητα Κατιοντικής Ανταλλαγής (συνέχεια 2)

- Εξαιτίας του υψηλότερου φορτίου τους τα δισθενή ιόντα, όπως του  $\text{Ca}^{2+}$  προσροφούνται ισχυρότερα από τα μονοσθενή όπως  $\text{Na}^+$ . Για τα ιόντα με το ίδιο φορτίο, το ιόν με την μικρότερη ενυδατωμένη ακτίνα προσροφάται περισσότερο. Για το λόγο αυτό προτιμάται περισσότερο το  $\text{Ca}^{2+}$  σε σχέση με το  $\text{Mg}^{2+}$ .
- Σε πολλές περιπτώσεις αυτά τα προσροφημένα ιόντα είναι σχετικά κινητικά εξαιτίας της φύσης (μεγάλες αποστάσεις) των ηλεκτροστατικών δυνάμεων που προκύπτουν και ως εκ τούτου είναι εύκολα ανταλλάξιμα.



# Αργιλικά Ορυκτά

Τα αργιλικά ορυκτά και οι αντίστοιχες C.E.C. είναι:

- Καολινίτης 3-15 (meq/100gr)
- Σμεκίτης 60 –120 (meq/100gr)
- Ιλλίτης 10-40 (meq/100gr)
- Βερμικουλίτης 100-160 (meq/100gr)
- Χλωρίτης 10-40 (meq/100gr)



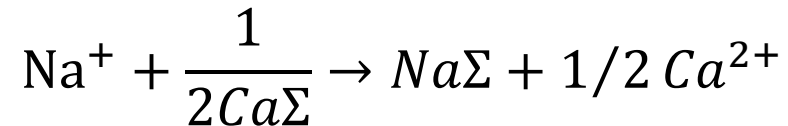


# Ο ρόλος της κατιοντικής ανταλλαγής στην ποιότητα του υπόγειου νερού

- Ο ρόλος της κατιοντικής ανταλλαγής είναι πολύ σημαντικός στη διαμόρφωση της ποιότητας του υπόγειου νερού των παράκτιων υδροφόρων. Το γλυκό νερό των παράκτιων υδροφόρων είναι οξυανθρακικό ασβεστούχο, (δηλαδή τα κυρίαρχα ιόντα είναι το ασβέστιο και τα όξινα ανθρακικά) ενώ το θαλασσινό είναι χλωρονατριούχο. Όταν διεισδύσει θαλασσινό νερό στην ενδοχώρα λαμβάνει χώρα κατιοντική ανταλλαγή



## Ο ρόλος της κατιοντικής ανταλλαγής στην ποιότητα του υπόγειου νερού συνέχεια 1

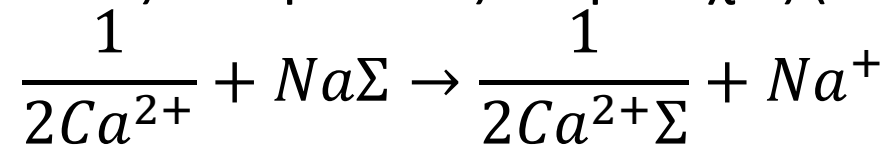


όπου  $\Sigma$  η στερεά φάση, όπου γίνεται η ιοντοανταλλαγή, η οποία οδηγεί σε δέσμευση νατρίου και απελευθέρωση ασβεστίου. Έτσι το νερό που διείσδυσε μετατρέπεται από **χλωρονατριούχο σε χλωροασβεστούχο.**



## Ο ρόλος της κατιοντικής ανταλλαγής στην ποιότητα του υπόγειου νερού συνέχεια 2

Δηλαδή το ασβέστιο δεσμεύεται από την στερεά φάση και απελευθερώνεται νάτριο με αποτέλεσμα ο χημικός τύπος του νερού να γίνεται οξυανθρακικός νατριούχος (Na<sup>+</sup> - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)



Όταν το νάτριο αποπλυθεί από την στερεά φάση του υδροφόρου, τότε ο τύπος του υπόγειου νερού που επικρατεί ξαναγίνεται οξυανθρακικός – ασβεστούχος.



# Βιβλιογραφία

- Εισαγωγή στην Υδροχημεία , Ν. Λαμπράκης, Πάτρα, 2010
- C.A.J. Appelo and D. Postma “Geochemistry groundwater and pollution”, 2 nd Edition 2005



Τέλος Ενότητας

Ιοανταλλαγή

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών,  
Ζαγγανά Ελένη. «Υδροχημεία, Ιοανταλλαγή». Έκδοση: 1.0.  
Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/GEO360/>





# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.