

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

Από τις Παραδόσεις του καθ.
Νικολάου Μουστάκα

ΟΞΥΤΗΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ

Ένα έδαφος χαρακτηρίζεται όξινο, αλκαλικό ή ουδέτερο ανάλογα με την συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ στο εδαφικό διάλυμα ή πιο σωστά ανάλογα με την ενεργότητα των ιόντων υδρογόνου (H^+) του εδαφικού διαλύματος.

Μέτρο οξύτητας του εδάφους είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα και συμβολίζεται με pH, $pH = -\log[H^+] = \log(1/[H^+])$.

Τα ιόντα του υδρογόνου είναι συνήθως ενυδατωμένα με ένα μόριο νερού και σχηματίζουν οξόνια H_3O^+ ή με τέσσερα μόρια νερού και σχηματίζουν ιόντα υδρονίου $H(H_2O)_4^+$.

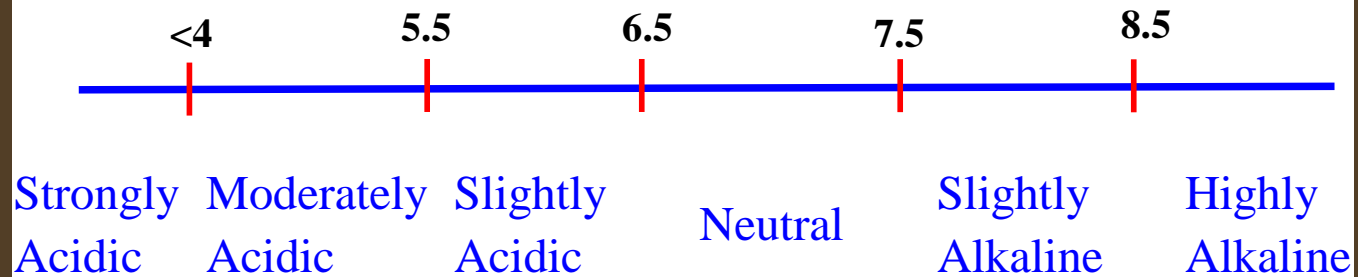
- Η κλίμακα τιμών pH είναι λογαριθμική και καλύπτει τιμές από 0 έως 14, όπου σε τιμή $\text{pH} = 0$ η $[\text{H}^+] = 10 = 1 \text{ mol L}^{-1}$ και σε τιμή $\text{pH} = 14$ η $[\text{H}^+] = 10^{-14} \text{ mol L}^{-1}$. Η τιμή 7 είναι το σημείο ουδετερότητας και ισχύει $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$. Τιμές pH μικρότερες του 7 ορίζουν την όξινη περιοχή της κλίμακας, ενώ μεγαλύτερες του 7 την αλκαλική περιοχή.

Τιμή pH Χαρακτηρισμός εδάφους

- <4,5 υπερβολικά όξινο
- 4,6 - 5,0 πολύ ισχυρά όξινο
- 5,1 - 5,5 ισχυρά όξινο
- 5,6 - 6,0 μέτρια όξινο
- 6,1 - 6,5 ελαφρά όξινο
- 6,6 - 7,3 ουδέτερο
- 7,4 - 7,8 ελαφρά αλκαλικό
- 7,9 - 8,4 μέτρια αλκαλικό
- 8,5 - 9,0 ισχυρά αλκαλικό
- >9,0 πολύ ισχυρά αλκαλικό

- Η **παραγωγικότητα** αναφέρεται στην ικανότητα του εδάφους να εξασφαλίζει στα φυτά τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την μεγιστοποίηση των αποδόσεών τους, κάτω από ένα συγκεκριμένο σύστημα γεωργικής εκμετάλλευσης.
- Ενώ, η **γονιμότητα** αναφέρεται στην ικανότητα του εδάφους να παρέχει στα φυτά τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη τους και μάλιστα σε ποσότητες και ρυθμούς που να εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη ανάπτυξή τους κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Soil pH Ranges



Ανταλλάξιμα κατιόντα

- Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , και K^+ δεν παράγουν H^+ στα εδάφη και για το λόγο αυτό καλούνται “βασικά κατιόντα”
- Al^{3+} και Fe^{3+} παράγουν H^+ στα εδάφη και για το λόγο αυτό καλούνται “όξινα κατιόντα”
- Ο “βαθμός κορεσμού με βάσεις” είναι το % ποσοστό των βασικών κατιόντων που συμμετέχουν στην Ι.Α.Κ. Ο “βαθμός κορεσμού με βάσεις” συσχετίζεται με το pH του εδάφους.
- $\text{BK}\% = 100 \times (\text{αντ.}\text{Ca}^{2+} + \text{αντ.}\text{Mg}^{2+} + \text{αντ.}\text{Na}^+ \text{αντ.}\text{K}^+) / \text{ΙΑΚ}$

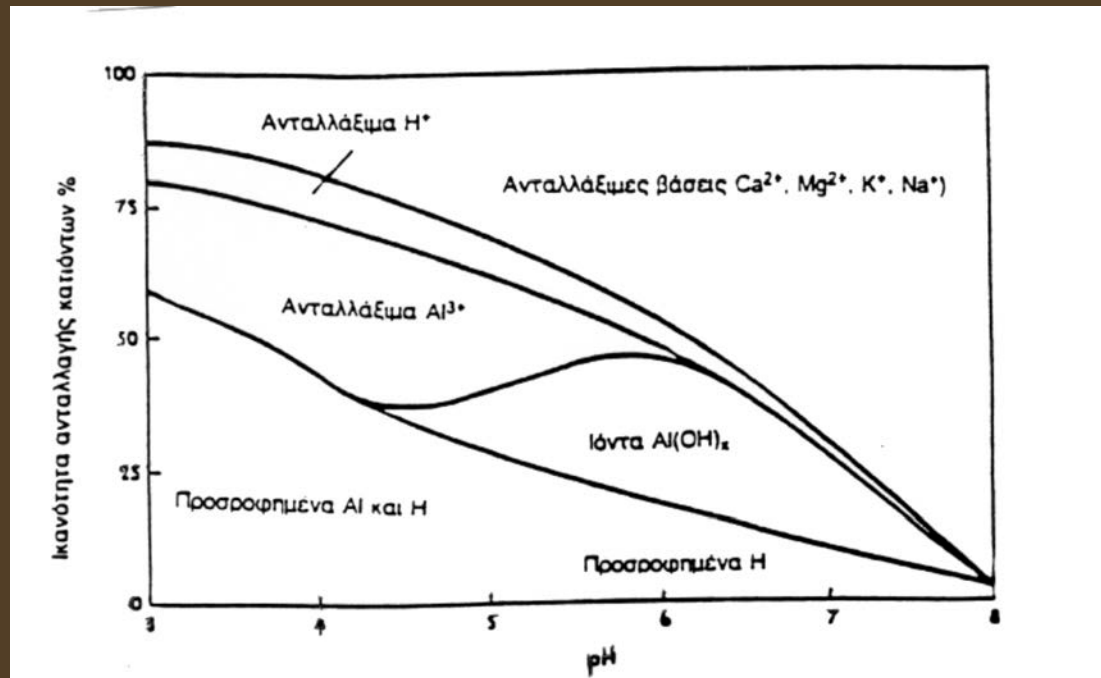
“Βαθμός κορεσμού με βάσεις”



ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ pH

- Επηρεάζει τις διεργασίες εδαφογένεσης, επιδρά στη φυσιολογία των φυτών και στις δραστηριότητες των διαφόρων μικροοργανισμών του εδάφους.
- Χαμηλό pH ευνοεί την αποσάθρωση ορυκτών και συνεπώς την απελευθέρωση θρεπτικών ιόντων, όπως K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} . Η διαλυτότητα των CO_3^{-2} , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} αλάτων στο έδαφος είναι μεγαλύτερη σε χαμηλά pH. Η απελευθέρωση αργιλίου (Al^{3+}) από τα αργιλικά ορυκτά και οι μορφές του στο έδαφος εξαρτώνται από το pH του εδαφικού διαλύματος. Σε $pH < 5$ παραμένει περισσότερο διαλυτό Al^{3+} στο εδαφικό διάλυμα, ενώ σε $pH 6,0-6,5$ η συγκέντρωσή του μειώνεται εντυπωσιακά.

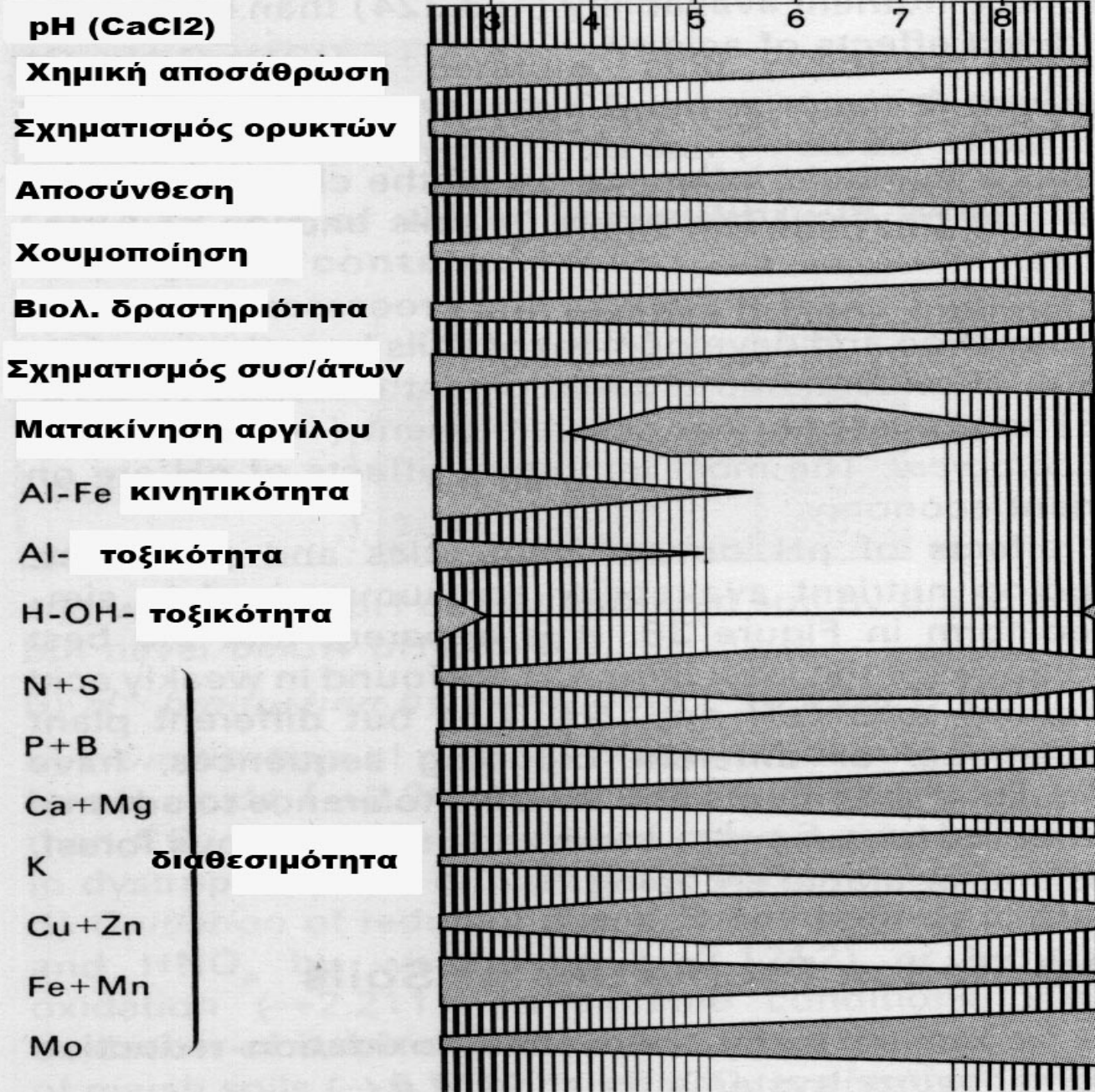
Σχέση μεταξύ pH και κατιόντων που συγκρατούνται από τα εδαφικά κolloειδή



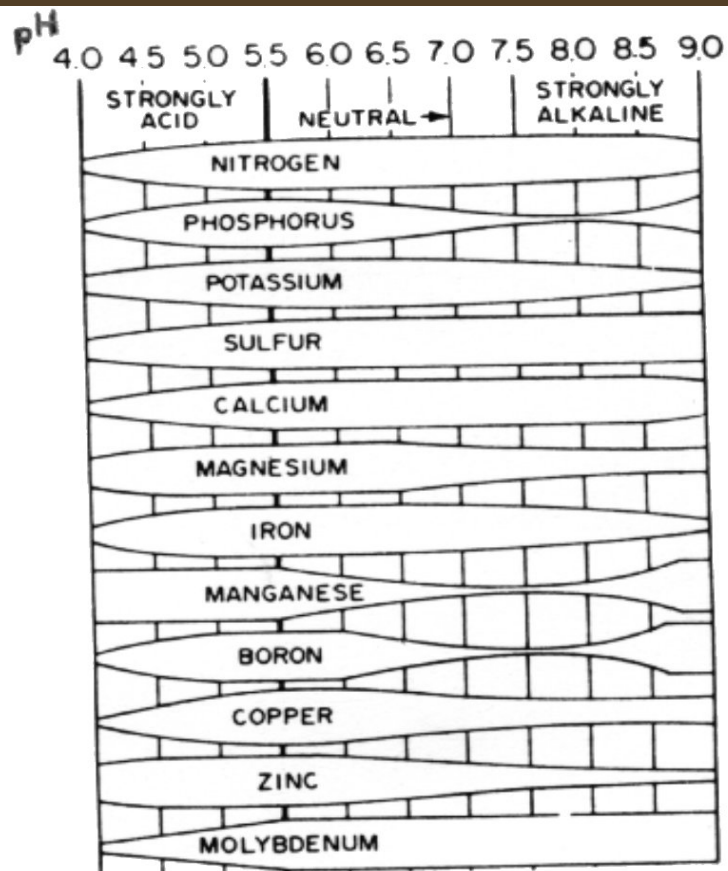
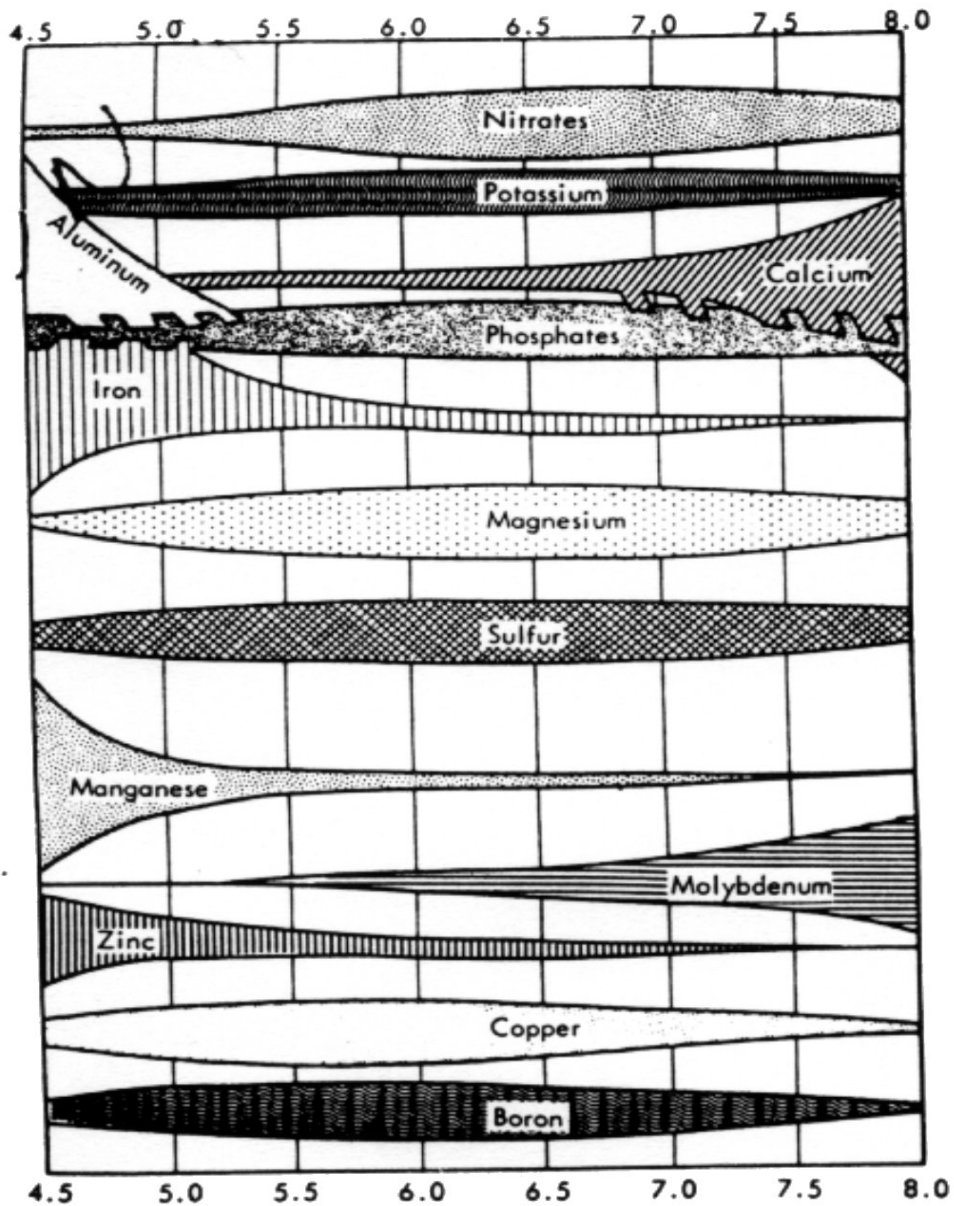
- Περιοριστικός παράγοντας σε όξινα εδάφη για την ανάπτυξη των φυτών είναι η συγκέντρωση Al^{3+} κυρίως και όχι η συγκέντρωση H^+ .
- Σε ισχυρά όξινα εδάφη ($\text{pH} = 4,0-5,5$) το H^+ συγκρατείται ισχυρά από την οργανική ουσία και τα αργιλικά ορυκτά, διότι σχηματίζει ομοιοπολικούς δεσμούς και επομένως ελάχιστα συνεισφέρει στην οξύτητα του εδαφικού διαλύματος.
- Σε μετρίως όξινα εδάφη δεν έχουμε Al^{3+} αλλά υδροξυλιωμένα αργίλια ($\text{Al}(\text{OH})^{3+}$, $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$). Στην περίπτωση αυτή η συνεισφορά του H^+ είναι μεγαλύτερη, διότι συγκρατείται λιγότερο ισχυρά σε θέσεις μη μόνιμων φορτίων και διότι μειώνεται το ποσοστό των ενωμένων με ομοιοπολικούς δεσμούς υδρογόνων (H^+) των οργανικών ομάδων. Λόγω της τοξικότητας του διαλυτού Al^{3+} στα φυτά, το pH εδαφών πλούσιων σε αργιλικά ορυκτά πρέπει να διατηρείται πάνω από 6,5.

- Η δραστηριότητα διαφόρων μικροοργανισμών επηρεάζεται σημαντικά από το εδαφικό pH. Η νιτροποίηση του $\text{NH}_4\text{-N}$ από τους *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* επηρεάζεται έντονα από την τιμή του pH, καθόσον τα βακτήρια αυτά προτιμούν ουδέτερες συνθήκες. Επομένως το ποσό των NO_3^- που προέρχεται από τις ίδιες πηγές $\text{NH}_4\text{-N}$ θα είναι πολύ μικρότερο σε όξινα εδάφη από ό,τι σε ουδέτερα εδάφη. Η δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου από ελεύθερους και συμβιωτικούς μικροοργανισμούς είναι μεγαλύτερη σε εδάφη με ουδέτερο pH.

όξινα < άριστη περιοχή > αλκαλικά



- Το άριστο pH για ικανοποιητική ανάπτυξη των φυτών είναι χαμηλότερο στα οργανικά από τα ανόργανα εδάφη.
- Σε ανόργανα εδάφη η άριστη τιμή pH αυξάνει καθώς αυξάνει η περιεκτικότητα σε άργιλο.
- Σε οργανικά εδάφη το pH δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλό, διότι τα εδάφη αυτά είναι πτωχά σε ορισμένα θρεπτικά στοιχεία και η διαθεσιμότητά τους μειώνεται εντυπωσιακά σε συνθήκες υψηλού pH. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το Φώσφορο, Βόριο, Μαγγάνιο, Χαλκό και Ψευδάργυρο (π.χ. Σε οργανικά εδάφη στα τενάγη των Φιλίππων έχουμε τροφοπενία Mn).



Ενεργός οξύτητα

Ένα οξύ HA που βρίσκεται σε υδατικό διάλυμα δίσταται σε κατιόντα H^+ και ανιόντα A^- . $HA \Rightarrow H^+ + A^-$

Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου, εκφράζουν την ενεργό οξύτητα του συστήματος, η οποία θα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο η αντίδραση έχει προχωρήσει περισσότερο προς τα δεξιά. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενεργότητα των ιόντων H^+ τόσο ισχυρότερο θεωρείται το οξύ. Στην περίπτωση ισχυρών οξέων έχουμε πλήρη διάσταση, με αποτέλεσμα η ενεργότητα των ιόντων H^+ να ισούται με την ολική συγκέντρωση του οξέος, που φυσικά εκφράζει την ολική οξύτητα του συστήματος. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με τα ασθενή οξέα, τα οποία ελάχιστα δίστανται. Στην περίπτωση αυτή η ενεργός οξύτης δεν παρέχει μέτρο της ολικής οξύτητας του συστήματος.

Μέτρο ενεργού οξύτητας ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων H^+ , $pH = -\log(a_{H^+})$.

Δυναμική ή ανταλλάξιμη οξύτητα είναι η οξύτητα που οφείλεται σε ιόντα H^+ και Al^{3+} , που βρίσκονται προσροφημένα σε ανταλλάξιμες θέσεις στα αργιλικά ορυκτά ή την οργανική ουσία, και εκφράζεται σε $cmol_{(+)}kg^{-1}$. Η ανταλλάξιμη οξύτητα γίνεται ενεργός όταν τα H^+ και Al^{3+} ανταλλάσσονται και μεταφέρονται στο εδαφικό διάλυμα.

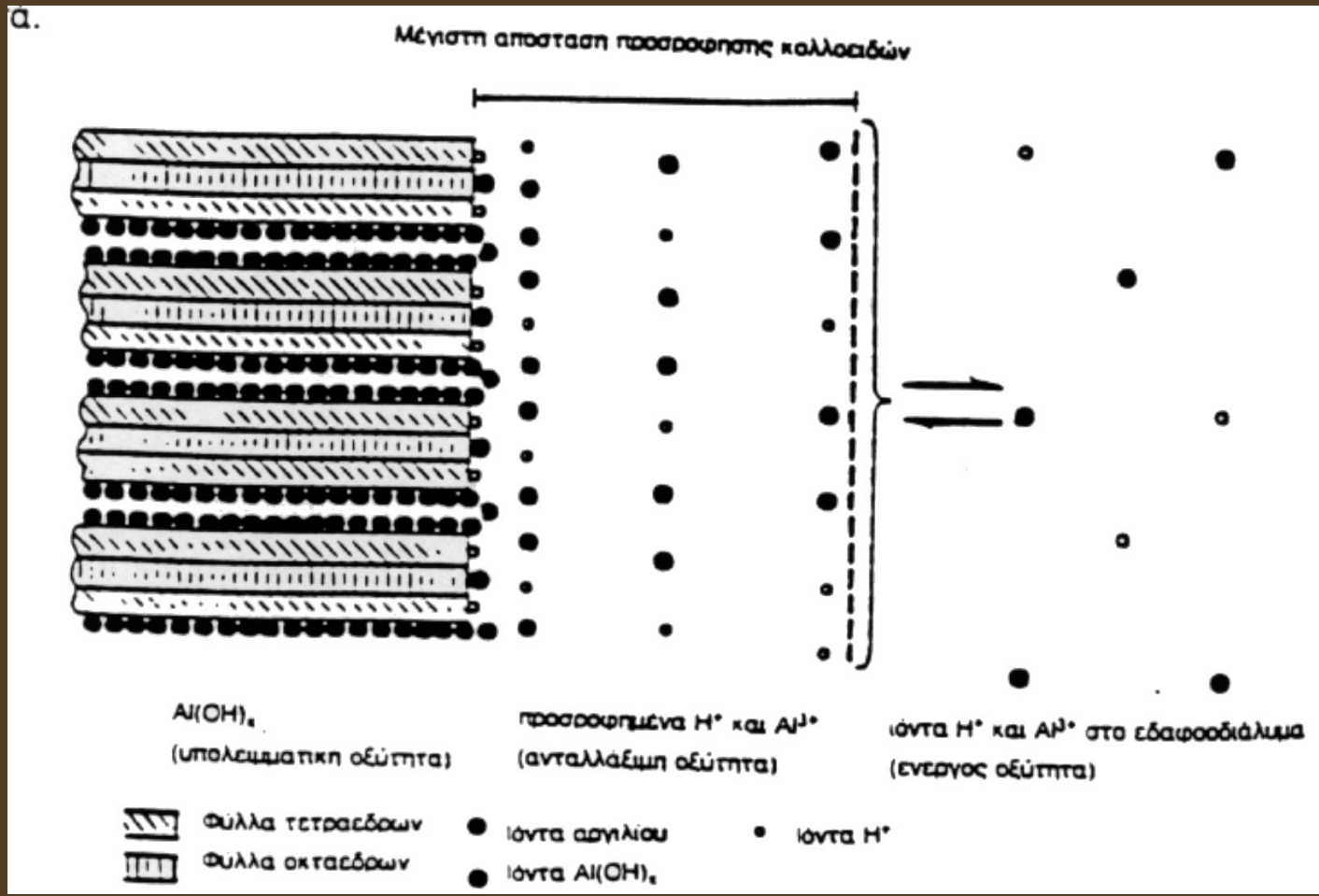
Για δεδομένη τιμή pH η ανταλλάξιμη οξύτητα είναι μεγαλύτερη σε εδάφη πλούσια σε σμεκτίτες, ενδιάμεση σε εδάφη πλούσια σε βερμικουλίτη και μικρή σε εδάφη πλούσια σε καολινίτη. Η ανταλλάξιμη οξύτητα αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος της ολικής εδαφικής οξύτητας.

Υπολειμματική οξύτητα είναι η οξύτητα που παραμένει στο έδαφος όταν η ενεργός και ανταλλάξιμη εξουδετερωθούν.

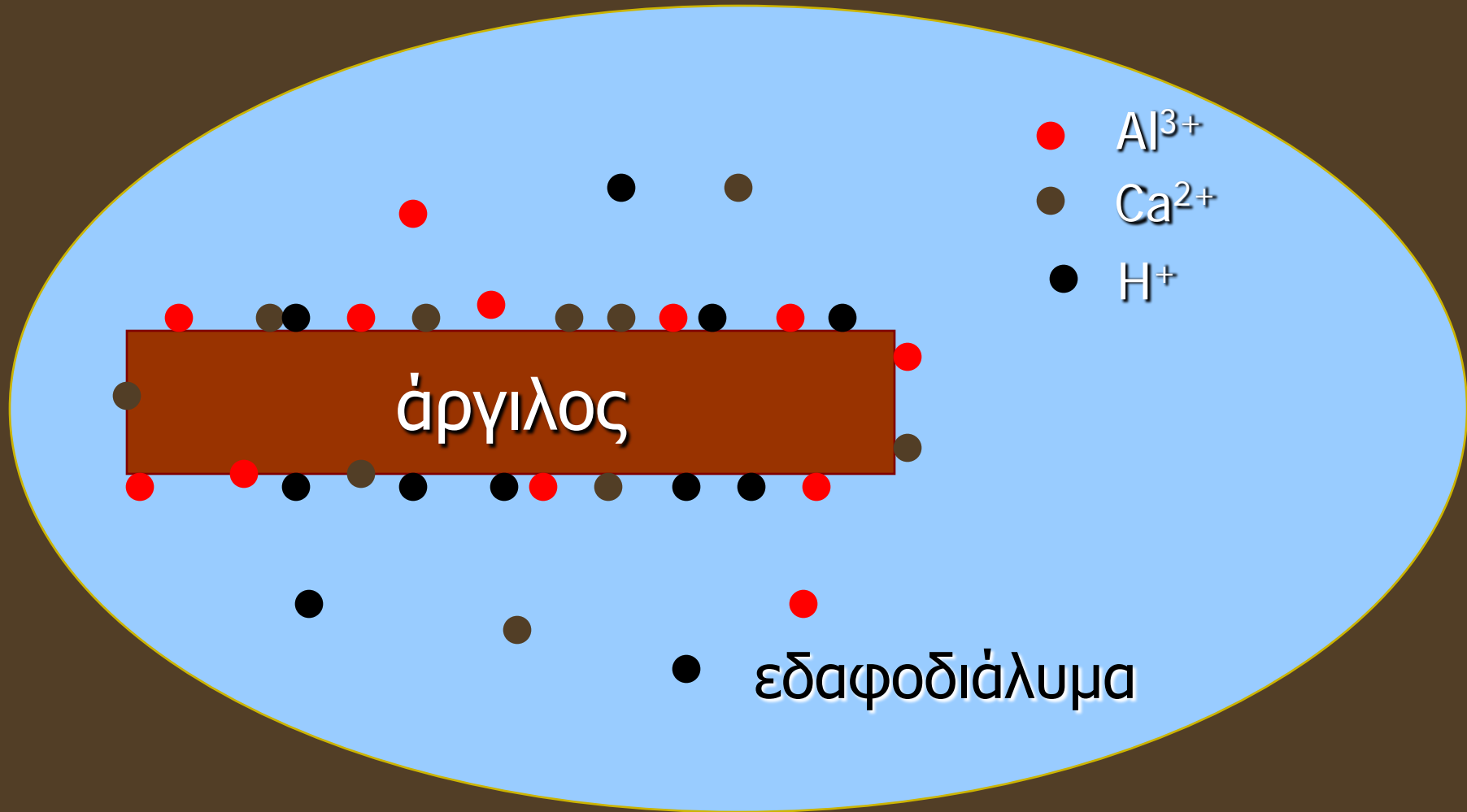
Συνδέεται κυρίως με ιόντα υδρόξυ-αργιλίου, καθώς επίσης και με ιόντα υδρογόνου και αργιλίου που βρίσκονται σε μη ανταλλάξιμες θέσεις στην οργανική ουσία και αργιλικά ορυκτά.

Η υπολειμματική οξύτητα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της ενεργού και ανταλλάξιμης οξύτητας. Υπολογίζεται ότι σε ένα αμμώδες έδαφος η ανταλλάξιμη οξύτητα είναι κατά 1.000 φορές μεγαλύτερη της ενεργού, ενώ σε ένα αργιλώδες έδαφος πλούσιο σε οργανική ουσία μπορεί να είναι από 50 έως 100.000 φορές μεγαλύτερη.

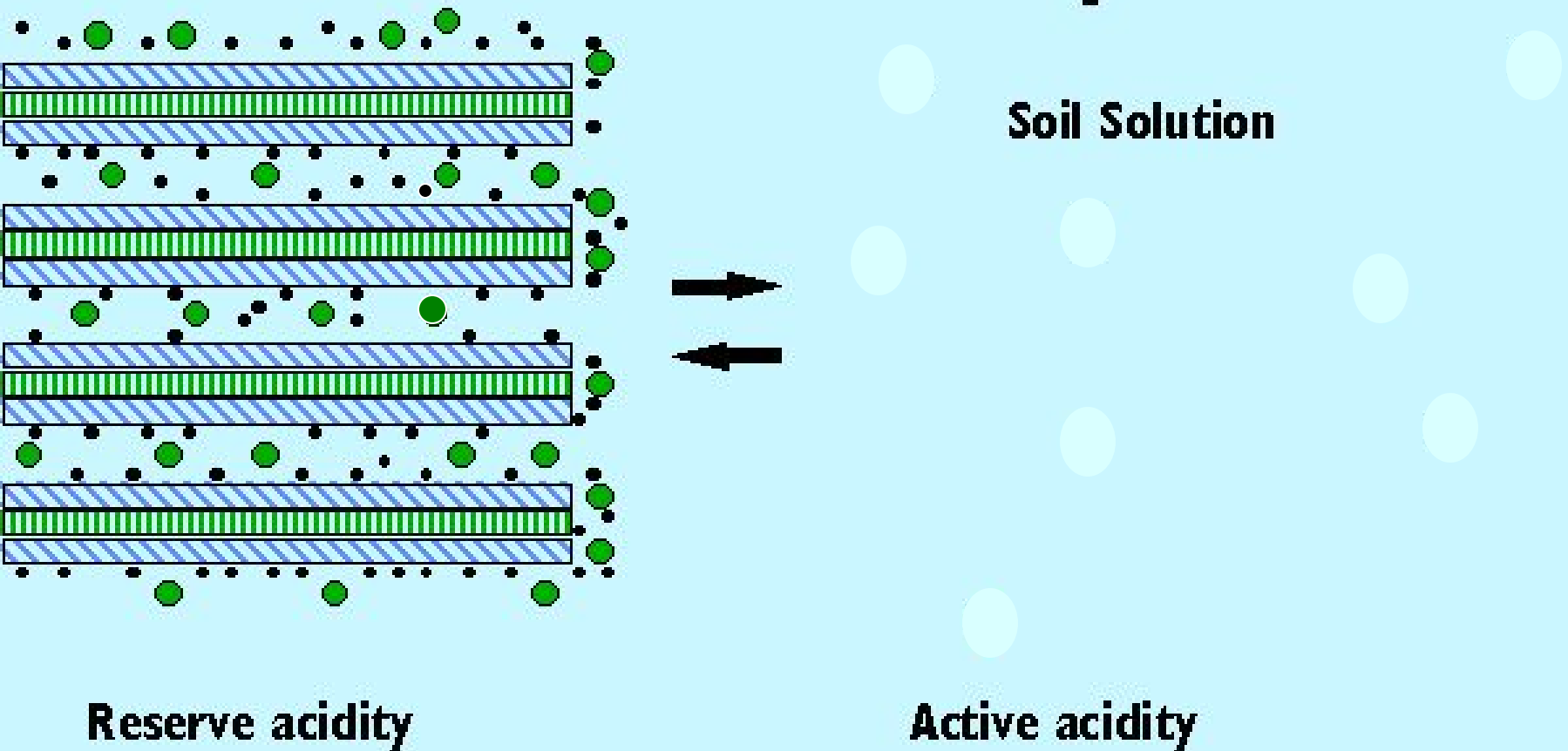
Σχέση μεταξύ υπολειμματικής, ανταλλάξιμης και ενεργού οξύτητας σε ένα τύπου 2:1 δευτερογενές αργιλικό ορυκτό.



Εδαφική οξύτητα

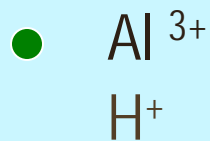


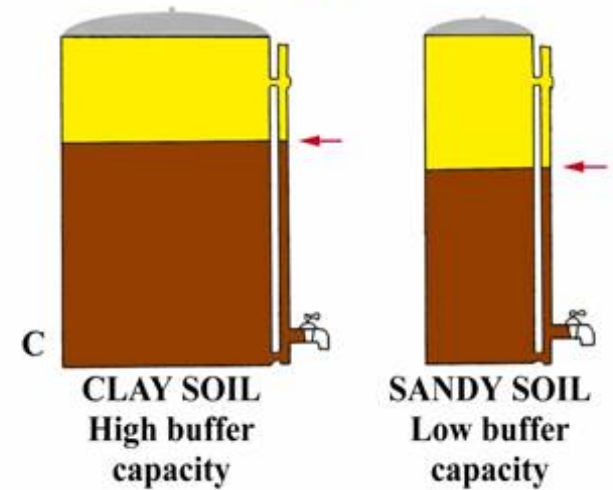
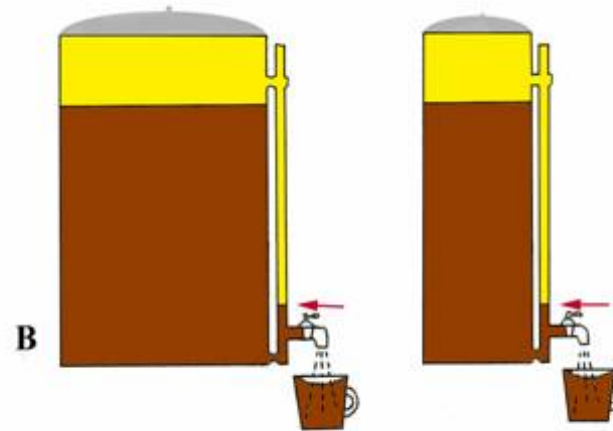
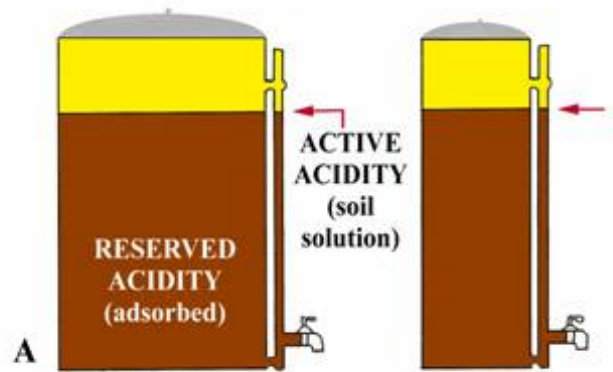
Reserve Acidity



Reserve acidity

Active acidity





ΠΗΓΕΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ

- Οργανική ουσία
- Αργιλιοπυριτικά ορυκτά
- Όξινη Βροχή
- Υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου
- Μεταβολισμός και διεργασίες απορρόφησης
- Το CO₂
- Προσθήκη λιπασμάτων
- Δυναμικό οξειδοαναγωγής
- Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων
- Διαλυτά άλατα

Οργανική ουσία.

Η οργανική ουσία περιέχει φαινολικές και καρβοξυλικές ομάδες, οι οποίες συμπεριφέρονται σαν ασθενή οξέα. Στην περίπτωση αυτή η απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου εξαρτάται από τη σταθερά διαστάσεως του οξέος και το pH. Η επίδραση της οργανικής ουσίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην οξύτητα οργανικών εδαφών (peat και muck), καθώς επίσης και σε ανόργανα εδάφη τα οποία περιέχουν υψηλά ποσά οργανικής ουσίας.

Υδροξείδια Σιδήρου και Αργιλίου

Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου των αργιλικών ορυκτών σε όξινα εδάφη εξουδετερώνεται με την προσρόφηση ανταλλάξιμων κατιόντων Al^{3+} . Αντικατάσταση του προσροφημένου Al^{3+} , στα αργιλικά ορυκτά από άλλα κατιόντα και μεταφορά του στο εδαφικό διάλυμα έχει σαν συνέπεια την υδρόλυσή του και το σχηματισμό μονομερών και πολυμερών συμπλόκων υδρόξυ-αργιλίου.

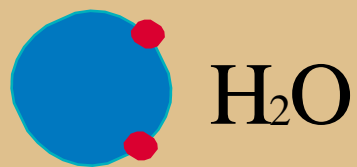
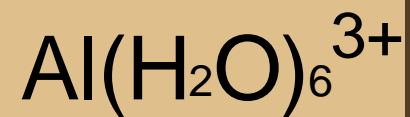
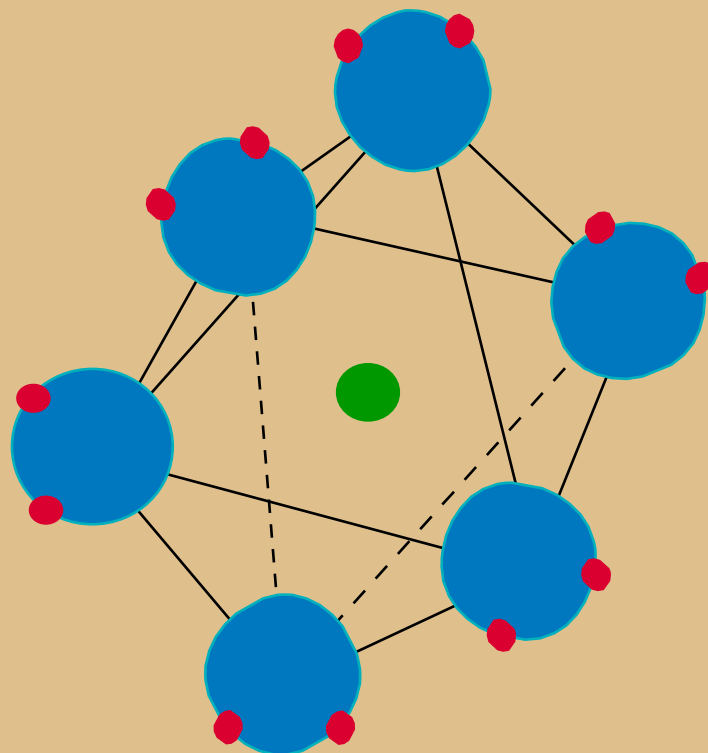
Το αργίλιο σε υδατικά διαλύματα υδρολύεται πολύ γρήγορα (υδρόλυση είναι χημική αντίδραση όπου μία ουσία διαχωρίζεται ή αποσυντίθεται από το νερό). Η υδρόλυση έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό μονομερών μορφών (περιέχουν ένα μεταλλικό ιόν Al^{3+}) αργιλίου. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι :

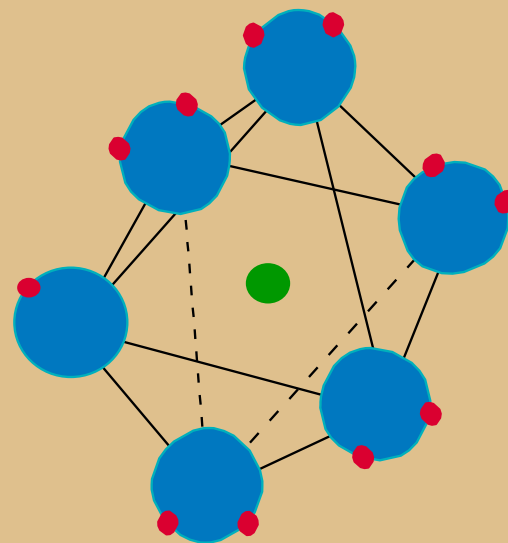
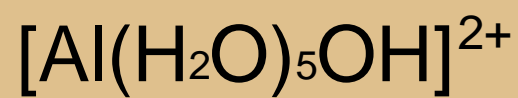
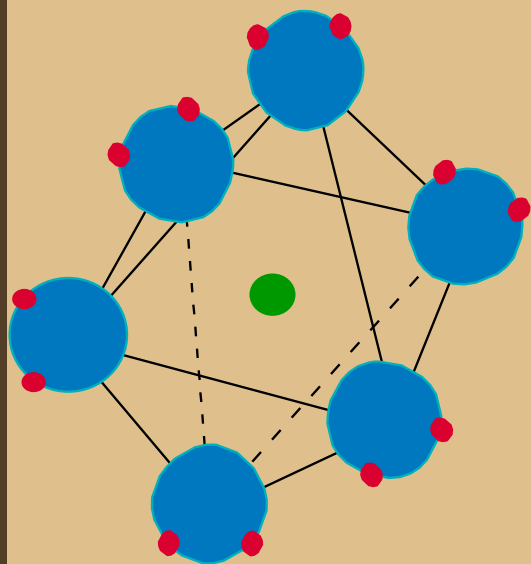
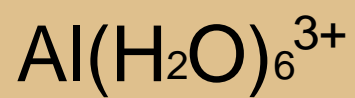
- $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow [\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+} + \text{H}_3\text{O}^+$
- $[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^+ + \text{H}_3\text{O}^+$
- $[\text{Al}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^+ + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]^0 + \text{H}_3\text{O}^+$
- $[\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]^0 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{-1} + \text{H}_3\text{O}^+$

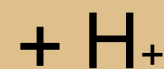
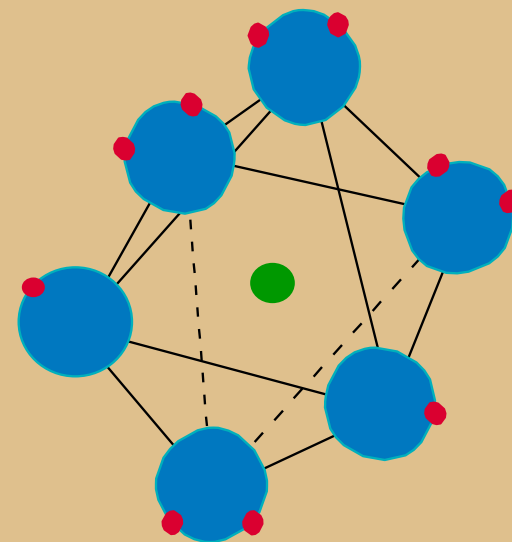
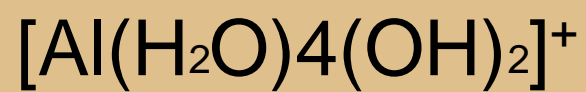
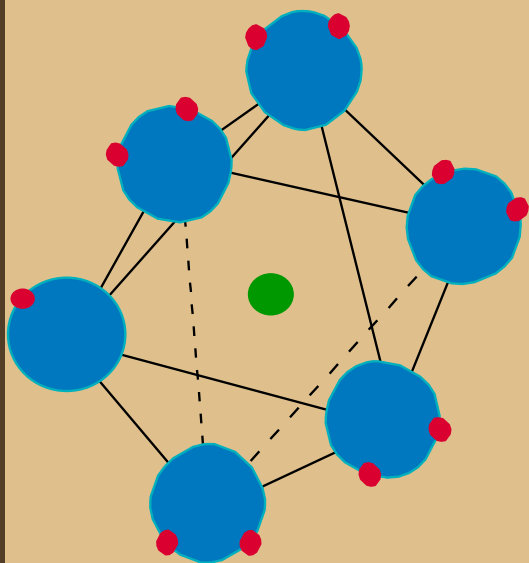
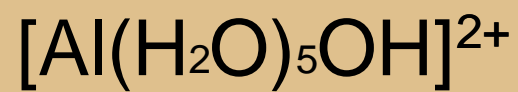
Γιατί τα Al^{3+} ονομάζονται «όξινα»;

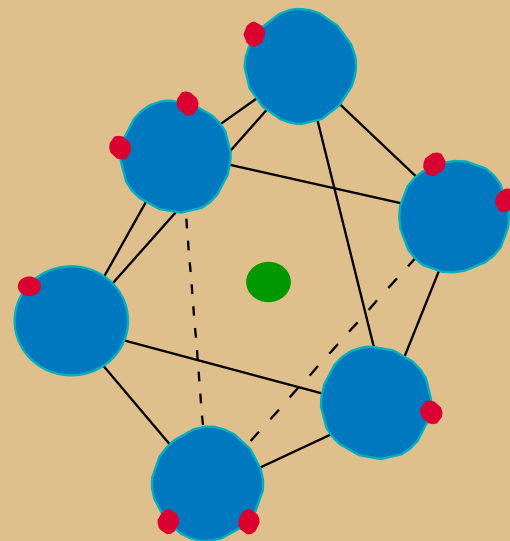
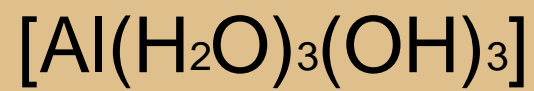
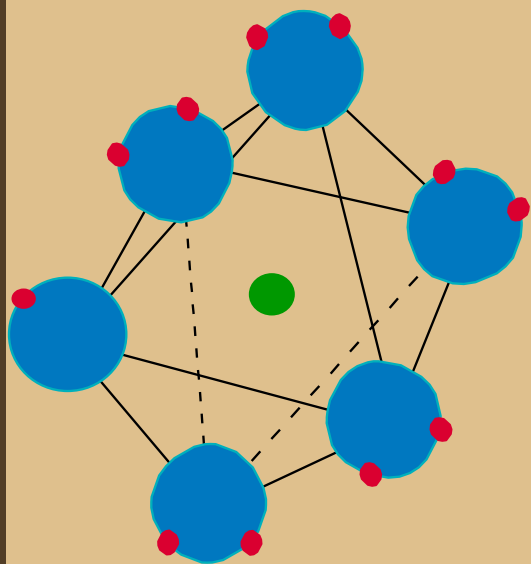
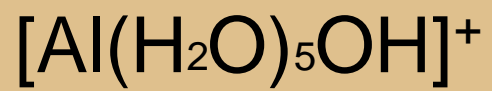
- Τα Al^{3+} στο εδαφικό διάλυμα περιβάλλονται από 6 μόρια νερού (οκταεδρική σύνταξη).
- Το υψηλό θετικό φορτίο των Al^{3+} απομακρύνει ηλεκτρόνια από το O του H_2O .
- Αυτό κάνει το H_2O περισσότερο όξινο.
- Η διεργασία αυτή καλείται “υδρόλυση Al”
- Τα Fe^{3+} συμπεριφέρονται όπως και τα Al^{3+} .

Octahedral Coordination of Al^{3+}

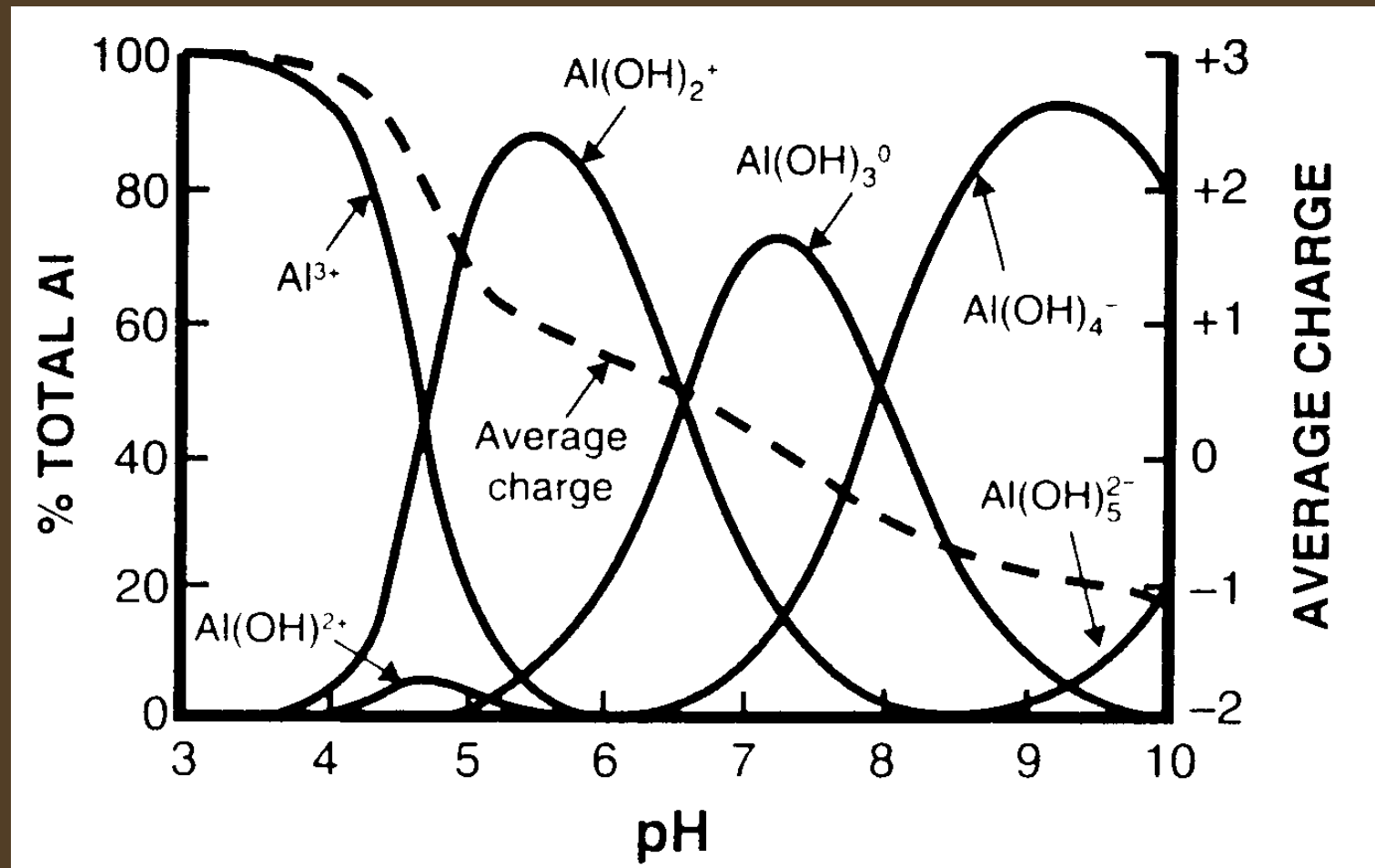








Σχέσεις pH και κατανομής μέσου φορτίου και διαφόρων διαλυτών μορφών μονομερούς αργιλίου



Οξειδία σιδήρου

Η υδρόλυση του σιδήρου είναι όμοια με του αργιλίου:

$\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Fe}((\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5)^{2+} + \text{H}_3\text{O}^+$, έχει όμως μικρή επίδραση στην μεταβολή του pH, διότι ρυθμίζεται από τις αντιδράσεις των Al^{3+} .

Αργιλιοπυριτικά ορυκτά.

Τα αργιλιοπυριτικά ορυκτά συνεισφέρουν στην οξίνιση του εδάφους, λόγω του αρνητικού τους φορτίου και ως εκ τούτου της ικανότητας να συγκρατούν διάφορα κατιόντα. Το φορτίο διακρίνεται σε σταθερό (λόγω ισόμορφης αντικατάστασης) και σε μη σταθερό, το οποίο εξαρτάται από το pH.

Διαλυτά άλατα

Η παρουσία όξινων, ουδέτερων ή βασικών αλάτων στο εδαφικό διάλυμα είναι αποτέλεσμα αποσάθρωσης ορυκτών, αποσύνθεσης οργανικής ουσίας ή πρόσθεσης λιπασμάτων. Τα κατιόντα των αλάτων αυτών αντικαθιστούν το προσροφημένο αργίλιο και προκαλούν έτσι αύξηση της οξύτητας. Δισθενή κατιόντα συνήθως έχουν μεγαλύτερη επίδραση στη μείωση του pH από τα μονοσθενή. Προς αποφυγή της επίδρασης της συγκέντρωσης των υδατοδιαλυτών αλάτων στη προσδιοριζόμενη τιμή pH των εδαφών, προτάθηκε η χρήση 1N KCl ή 0,01M CaCl₂ σαν εκχυλιστικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές pH είναι μικρότερες κατά 0,3 έως 1 μονάδα pH από τις τιμές pH, όταν χρησιμοποιείται νερό σαν εκχυλιστικό μέσο και τούτο γιατί έχουμε αντικατάσταση προσροφημένων ιόντων H⁺ από ιόντα Ca²⁺.

Προσθήκη λιπασμάτων

Η προσθήκη αμμωνιακών κυρίως λιπασμάτων στο έδαφος έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή H^+ κατά την διαδικασία της Νιτροποίησης:



Για κάθε κατιόν NH_4^+ που οξειδώνεται έχουμε σχηματισμό δύο ιόντων H^+ .

Υπολογίζεται ότι απαιτούνται 900 g $CaCO_3$ για την εξουδετέρωση 500 g NH_4^+-N .

Επίσης η προσθήκη φωσφορικού μονοασβεστίου έχει σημαντική επίδραση στην οξύτητα του εδάφους, ιδιαίτερα όταν το λίπασμα εφαρμόζεται κατά λωρίδες. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η εξής:



Το θείο, το οποίο μπορεί να αποτελεί συστατικό λιπασμάτων ή μυκητοκτόνων, οξειδώνεται με αποτέλεσμα τον σχηματισμό H^+ (αυτό καθ'αυτό το SO_4^{2-} δεν είναι όξινο), σύμφωνα με την αντίδραση :



Μεταβολισμός και διεργασίες απορρόφησης.

Λόγω μεταβολισμού και διεργασιών απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά εκλύονται ιόντα υδρογόνου. Στην περιοχή της ριζόσφαιρας οι τιμές του pH είναι κατά 1,2 φορές μικρότερες απ'ότι στην υπόλοιπο μάζα του εδάφους.

Όξινη βροχή

Προβλήματα όξινης βροχής έχουμε στην Αμερική, το Καναδά, τη Νορβηγία και τη Σουηδία. Στην Αμερική 55.000.000 t οξειδίων του θείου και αζώτου εκλύονται ετησίως στην ατμόσφαιρα. Αρχική πηγή οξειδίων του θείου και αζώτου είναι η καύση ξύλων, άνθρακα, παραγωγών πετρελαίου καθώς και οι πυρκαγιές των δασών. Όξινη βροχή έχουμε όταν το SO_2 και το NO μετατρέπονται σε H_2SO_4 και HNO_3 με οξείδωση και διάλυση στις σταγόνες της βροχής. Το νερό της βροχής που περιέχει συνήθως τέτοια οξέα έχει $\text{pH} < 2$, ενώ το νερό της βροχής που περιέχει εν διαλύσει μόνο CO_2 έχει pH περίπου 5,6. Το ποσό του θείου που διαλύεται στο νερό της βροχής ετησίως κυμαίνεται από 1 kg στρέμμα⁻¹ (σε περιοχές με μικρή βιομηχανική ανάπτυξη) έως 3 ή και 10 kg στρέμμα⁻¹ (σε βιομηχανικά αναπτυγμένες περιοχές).

Η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων

Η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα καλλιεργούμενα φυτά, βοηθά στην οξίνιση των εδαφών, αφενός λόγω απομάκρυνσης βασικών κατιόντων από το εδαφικό διάλυμα και αφετέρου λόγω έκπλυσης των παραμενόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . Μηδική με απόδοση $1,4 \text{ t στρέμμα}^{-1}$, απομακρύνει 45 kg Ca και 9 Kg Mg από το έδαφος. Κανονικές αποδόσεις σίτου και καπνού απομακρύνουν περίπου τη μισή ποσότητα Ca και Mg σε σχέση με τη μηδική.

Το CO₂

Το οποίο προέρχεται κυρίως από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας και την αναπνοή των ριζών, διαλύεται στην εδαφική υγρασία και σχηματίζει ασθενές ανθρακικό οξύ το οποίο στη συνέχεια δίσταται, σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα παραγόμενα H⁺ μετακινούνται με το νερό, αντικαθιστούν βασικά κατιόντα τα οποία απομακρύνονται στη συνέχεια με έκπλυση από την ζώνη των ριζών.

Όσο περισσότερο CO₂ έχουμε στον εδαφικό αέρα τόσο περισσότερο διαλυτοποιείται στην εδαφική υγρασία και τόσο περισσότερο όξινο γίνεται το διάλυμα.

Δυναμικό οξειδοαναγωγής

Στα κατακλυζόμενα εδάφη η περίσσεια e^- ανάγει ιόντα υδρογόνου H^+ , σύμφωνα με την αντίδραση: $2H^+ + 2e^- \Rightarrow H_2$; με αποτέλεσμα την αύξηση του pH. Σε οξειδωτικά περιβάλλοντα όμως έχουμε παραγωγή ιόντων υδρογόνου με αποτέλεσμα τη μείωση του εδαφικού pH

Τελικά η ανάπτυξη όξινων εδαφών οφείλεται στο συνδυασμό Ανταλλαξιμού αργιλίου και ενός από τους κάτωθι παράγοντες:

1. Απομάκρυνση βασικών κατιόντων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) λόγω έκπλυσης και απορρόφησης από τα φυτά.
2. Αποσύνθεση της οργανικής ουσίας.
3. Εφαρμογή λιπασμάτων, κύρια αμμωνιακών.
4. Ατμοσφαιρική οξύτητα (όξινη βροχή).

ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Ρυθμιστική ικανότητα (buffering capacity) εδάφους ονομάζουμε την ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται στις απότομες μεταβολές του pH, όταν δηλαδή στο έδαφος προστεθεί οξύ ή βάση.

Ρυθμιστική ικανότητα (Buffer capacity) διαλύματος είναι το ποσό σε mol L⁻¹ ενός οξέος ή βάσεως που απαιτείται για μεταβολή κατά μία μονάδα pH, ενός λίτρου (1 L) του διαλύματος. Εάν το διάλυμα είναι HCl και η τιτλοδότηση γίνεται με NaOH, η τιμή του pH αυξάνεται γρήγορα πάνω από 3, διότι στο διάλυμα υπάρχουν μόνο ιόντα H⁺ και Cl⁻. Τιτλοδότηση του HAc (οξικού οξέος) με NaOH δίδει μικρές μόνο μεταβολές του pH, διότι τα πρωτόνια είναι ισχυρά συνδεδεμένα και απελευθερώνονται μόνο όταν σημαντικές ποσότητες βάσεως προστίθενται.

Εδάφη

- Πολλά εδάφη συμπεριφέρονται σαν ασθενή οξέα λόγω:
 - Παραγωγής CO_2
 - Οργανικών οξέων από την οργανική ουσία, εκκρίσεις ριζών
 - ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα ασκούν κύρια επίδραση στο εδαφικό pH. Η σχετική αναλογία των όξινων ή βασικών κατιόντων σε θέσεις ανταλλαγής καθορίζουν το εδαφικό pH, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις.

Εδάφη

- Πολλά εδάφη συμπεριφέρονται σαν ασθενείς βάσεις λόγω :
 - παρουσίας CaCO_3
 - Το έδαφος είναι μία ασθενής βάση που αντιστέκεται στη μείωση του pH

Καμπύλη τιτλοδότησης-Αλκαλικά εδάφη



Καμπύλη τιτλοδότησης-Όξινα εδάφη

Αλκαλικά

pH

Όξινα



"Ρυθμιστική ικανότητα"

Προστιθέμενη βάση

Η άργιλος, όταν είναι κορεσμένη με Al^{3+} συμπεριφέρεται σαν ασθενές οξύ. Τα προσροφημένα ιόντα Al^{3+} ευρίσκονται σε ισορροπία με τα ιόντα Al^{3+} του εδαφικού διαλύματος. Τα ιόντα Al^{3+} του εδαφικού διαλύματος υδρολύονται σύμφωνα με την αντίδραση:



Η προσθήκη βάσεως έχει σαν αποτέλεσμα την εξουδετέρωση των H^+ , ενώ τα $Al(OH)^{2+}$ σχηματίζουν αδιάλυτο γυψίτη που κατακρημνίζεται. Η ισορροπία του συστήματος και ως εκ τούτου το pH, τείνει να διατηρηθεί με την μετακίνηση Al^{3+} από το κolloειδές στο εδαφικό διάλυμα. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η υδρόλυση των Al^{3+} , παραγωγή H^+ και μεταβολή του pH. Συνεχής προσθήκη βάσεως συνεπάγεται συνεχή εξουδετέρωση H^+ και Al^{3+} καθώς επίσης και αντικατάσταση των προσροφημένων Al^{3+} σταδιακά από το κατιόν της προστιθέμενης βάσεως. Συνέπεια όλων αυτών θα είναι η βαθμιαία και όχι απότομη μεταβολή του pH.

Το μέγεθος της ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους εξαρτάται από:

- το ποσοστό της αργίλου
- τον τύπο των αργιλικών ορυκτών (Αργιλικά εδάφη πλούσια σε 2:1 αργιλικά ορυκτά απαιτούν μεγαλύτερη ποσότητα ασβέστου για μεταβολή του pH, λόγω της μεγάλης ρυθμιστικής ικανότητάς τους).
- την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία

Καμπύλη τιτλοδότησης όξινου εδάφους

Αλκαλικά

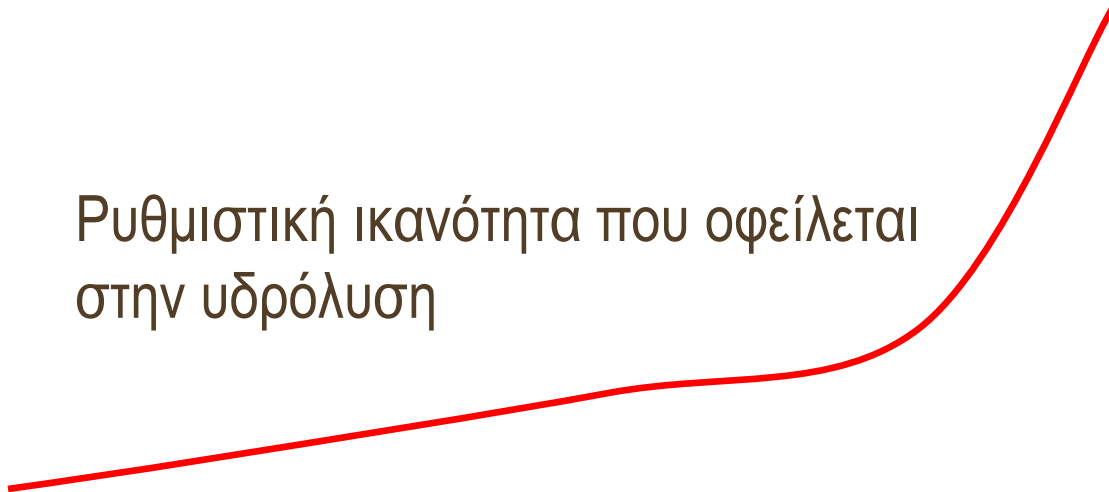
pH

Όξινα

Το ποσό της ρυθμιστικής ικανότητας καθορίζει το ποσό της «ασβέστου» που απαιτείται για την βελτίωση όξινων εδαφών. Εδάφη με μεγαλύτερη I.A.K. απαιτούν μεγαλύτερα ποσά ασβέστου

Ρυθμιστική ικανότητα που οφείλεται στην υδρόλυση

Προστιθέμενη «άσβεστος»



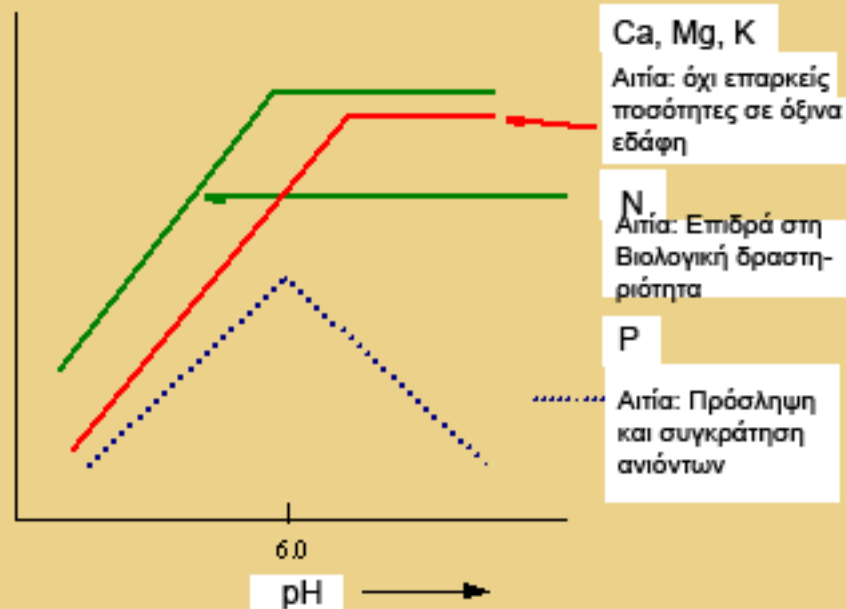
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ

1. Τοξικότητα αργιλίου
2. Τοξικότητα μαγγανίου
3. Τοξικότητα σιδήρου σε ορισμένα εδάφη
4. Τροφοπενία ασβεστίου
5. Τροφοπενία μαγνησίου
6. Τροφοπενία Μολυβδαινίου, κυρίως σε φυτά της οικογένειας των ψυχανθών
7. Τροφοπενία αζώτου, φωσφόρου ή και θείου, λόγω της μικρής ταχύτητας αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας.

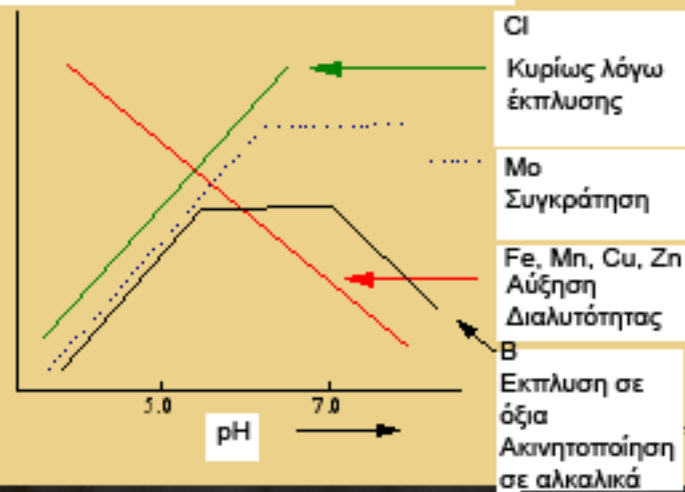
Τοξικότητα Al

- Σε τιμές pH κάτω από 5.5, το Al^{3+} μπορεί να είναι παρών σε συγκεντρώσεις που είναι τοξικές για τα φυτά. Η διαλυτότητα του Al είναι αντιστρόφως ανάλογη του pH.
- Η παρουσία Al εμποδίζει την ανάπτυξη των ριζών και την πρόσληψη P.
- Το κυριότερο πρόβλημα στα όξινα εδάφη είναι η τοξικότητα Al. Το Mn και ο Fe μπορεί επίσης να προκαλέσουν τοξικότητες, διότι γίνονται περισσότερο διαλυτά σε όξινα συνθήκες.

ρΗ και διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων



ρΗ και διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων



ΑΣΒΕΣΤΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Η προσθήκη στο έδαφος ουσιών που περιέχουν ασβέστιο ή ασβέστιο και μαγνήσιο σε ποσότητες ικανές να μειώσουν την οξύτητά του καλείται **ασβέστωση** και τα υλικά που προστίθενται **άσβεστος**.

Υλικά ασβέστωσης είναι συνήθως οξειδία και υδροξείδια του ασβεστίου (CaO , Ca(OH)_2), καθώς επίσης πυριτικά και ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου.

Η παρουσία σε μία ένωση ασβεστίου ή μαγνησίου δεν αρκεί για να τη χαρακτηρίσουμε σαν υλικό ασβέστωσης. Για να χαρακτηριστεί μία ένωση σαν υλικό ασβέστωσης θα πρέπει το συνοδό ανιόν να μειώνει την ενεργότητα των Al^{3+} και H^+ στο εδαφικό διάλυμα. Η γύψος $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, για τον λόγο αυτό δεν θεωρείται υλικό ασβέστωσης.

Διόρθωση του pH

- Τα κύρια χαρακτηριστικά της εδαφικής οξύτητας είναι: «ενεργός» οξύτητα, που περιλαμβάνει τα H^+ του εδαφικού διαλύματος, και η «ανταλλάξιμη» οξύτητα η οποία περιλαμβάνει τα Al^{3+}, H^+ που βρίσκονται σε ανταλλάξιμες θέσεις.
- Για να διορθώσουμε την οξύτητα των εδαφών πρέπει να εξουδετερώσουμε την εδαφική οξύτητα. Για να γίνει αυτό πρέπει να προστεθεί, _____ στο όξινο έδαφος.

«άσβεστος»

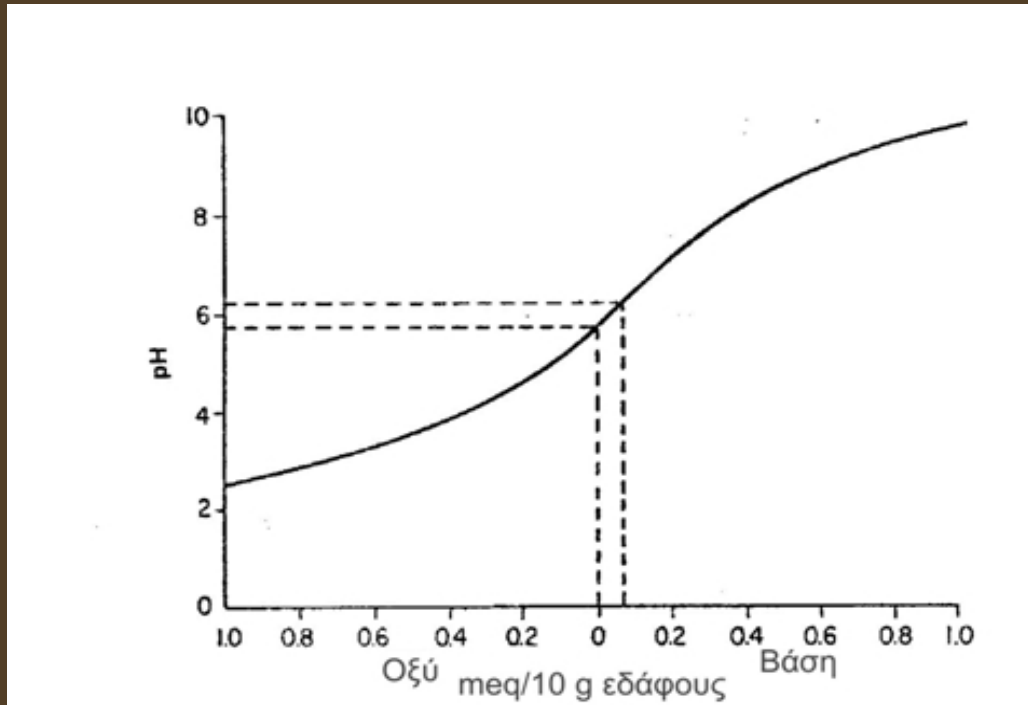
- Η γενική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την προσθήκη ασβέστου στο έδαφος είναι :
- $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ (1)
- Η ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από την παρουσία H^+ στο εδαφικό περιβάλλον καθώς επίσης από την ταχύτητα απομάκρυνσης των OH^- από το εδαφοδιάλυμα. Αύξηση H^+ έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση Ca^{2+} , αλλά και των HCO_3^- , ενώ μείωση των H^+ προκαλεί μείωση της διαλυτότητας του CaCO_3 . Η συγκέντρωση H^+ στα όξινα εδάφη είναι συνάρτηση της ταχύτητας υδρόλυσης των διαφόρων μορφών αργιλίου κυρίως και δευτερευόντως των διαφόρων μορφών του σιδήρου. Όταν αυξάνεται η ταχύτητα υδρόλυσης των διαφόρων μορφών αργιλίου αυξάνεται η συγκέντρωση H^+ και ως εκ τούτου η ταχύτητα της αντίδρασης (1).
- Τα OH^- αντιδρούν με H^+ που σχηματίζονται από την υδρόλυση των διαφόρων μορφών του αργιλίου, εξουδετερώνοντας έτσι την σχηματιζόμενη οξύτητα. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την προσθήκη ασβέστου στο έδαφος μπορεί να παρασταθεί ως εξής :

- $2 \text{ Al - soil} + 3 \text{ CaCO}_3 + 3 \text{ H}_2\text{O} \Rightarrow 3 \text{ Ca - soil} + 2 \text{ Al(OH)}_3 + 3 \text{ CO}_3$.
- Τα προϊόντα της αντίδρασης είναι ανταλλάξιμο Ca^{2+} και Al(OH)_3 . Υποθέτοντας ότι όλη η ανταλλάξιμη οξύτητα εξουδετερώνεται η τιμή του pH του εδάφους θα είναι 8,2 και το έδαφος θα είναι κορεσμένο πλήρως με τα προϊόντα αυτά. Δεν είναι επιθυμητό όμως να εξουδετερωθεί ολόκληρη οξύτητα ενός εδάφους. Εκείνο που θέλουμε είναι να εξουδετερώσουμε μέρος μόνο της ανταλλάξιμης οξύτητας. Υπάρχει ακόμη όμως και η τιτλοδοτούμενη οξύτητα (η ολική οξύτητα σε μια τιμή pH π.χ. 8,2) που περιλαμβάνει ασθενείς μορφές οξύτητας, όπως υδρόξυ-αργιλίου και υδρόξυ-σιδήρου, καθώς επίσης και ενεργές ομάδες της οργανικής ουσίας και των αργιλικών ορυκτών που δεν υφίστανται αποπρωτονίωση.

- Καθώς το pH αυξάνει, συνδεδεμένα ιόντα H^+ και Al^{3+} μπορεί να αντικατασταθούν από Ca^{2+} και Mg^{2+} (τα οποία αποτελούν υλικά ασβέστωσης) σύμφωνα με την αντίδραση:
- Al Ca^{2+}
- $+ 2Ca(OH)_2 \Rightarrow$ $+ Al(OH)_3 + H_2O$
- H Ca^{2+}
- Το $Al(OH)_3$ κατακρημνίζεται σαν αδιάλυτος γυψίτης. Κάθε H^+ που ανταλλάσσεται εξουδετερώνεται σχηματίζοντας H_2CO_3 , το οποίο δίσταται και δίδει H_2O και CO_2 .

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ «ΑΣΒΕΣΤΟ»

- Επώαση ορισμένης ποσότητας εδάφους με διαφορετικές ποσότητες οξέως ή βάσεως, μέτρηση του pH ισορροπίας και κατασκευή της χαρακτηριστικής καμπύλης ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους.



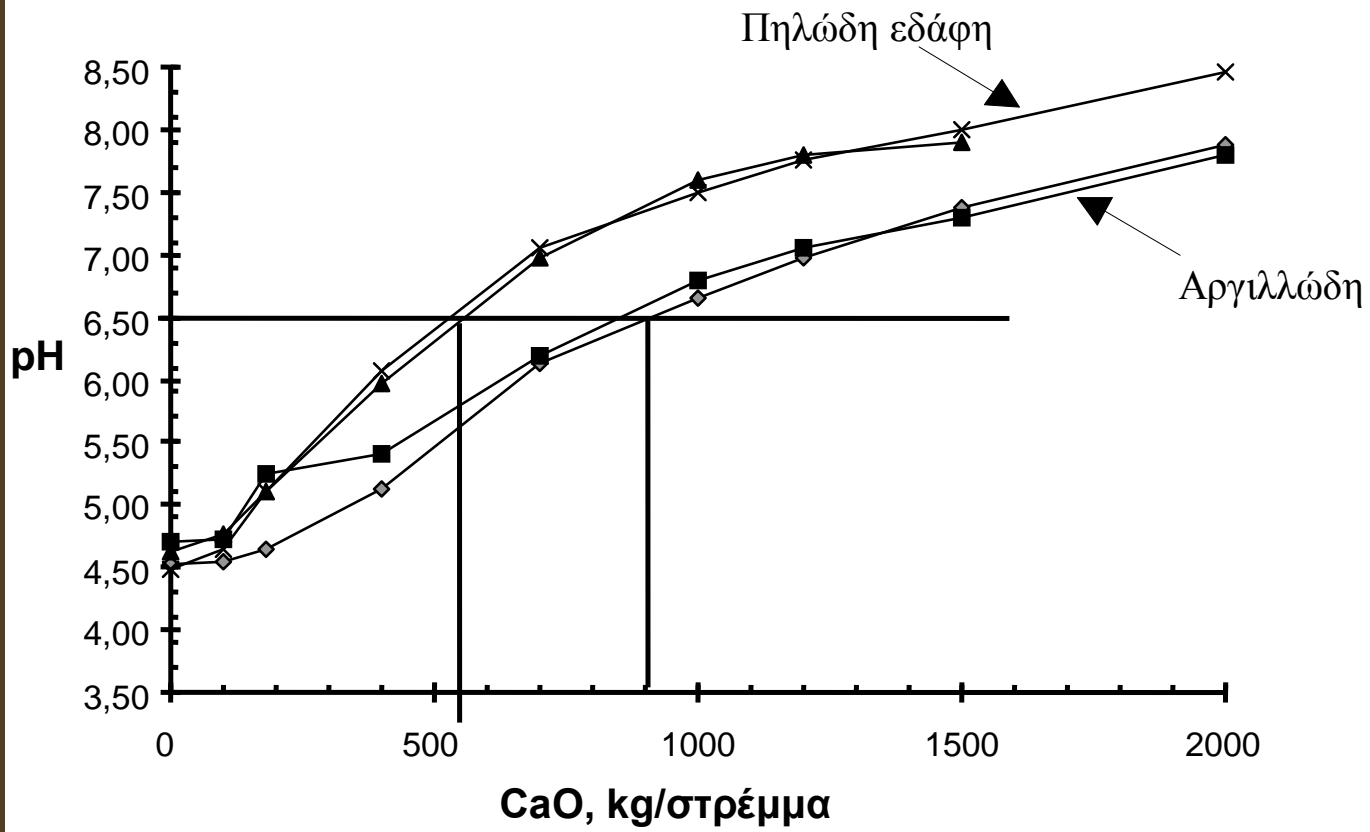
Παράδειγμα: Θέλουμε να αυξήσουμε το pH εδάφους από 5,7 σε 6,2. Από την καμπύλη ρυθμιστικής ικανότητας υπολογίζουμε ότι απαιτούνται 0,067 meq βάσεως ανά 10 g εδάφους. Σαν υλικό ασβέστωσης χρησιμοποιούμε καθαρό CaCO_3 , του οποίου το 1 meq $\text{CaCO}_3 = 0,05 \text{ g}$. Επομένως θα χρησιμοποιήσουμε $0,067 \times 0,05 = 0,00335 \text{ g CaCO}_3 \cdot 10^{-1} \text{ g}$ εδάφους, για να ανέβει το pH από 5,7 σε 6,2.

Έστω ότι το Φ.Ε.Π του εδάφους είναι $1,5 \text{ g cm}^{-3} = 1500 \text{ kg m}^{-3}$, το βάθος ασβέστωσης είναι $30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ και η επιφάνεια ασβέστωσης 1.000 m^2 (1 στρέμμα). Επομένως το βάρος εδάφους ενός στρέμματος θα είναι $1.500 \times 0,3 \times 1.000 = 450.000 \text{ kg}$ και το καθαρό CaCO_3 που θα χρησιμοποιήσουμε ανά στρέμμα για να αυξήσουμε το pH του εδάφους από 5,7 σε 6,2 θα είναι:

$$450.000 \times 1.000 \times 0,00335 / 10 = 150,7 \text{ kg}.$$

Το μόνο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι απαιτείται χρόνος για την εξισορρόπηση.

- Επώαση ορισμένης ποσότητας εδάφους με διαφορετικές ποσότητες ασβέστου (CaO , CaCO_3 κ.α) για αρκετές εβδομάδες (συνήθως 9), μέτρηση του pH ισορροπίας και κατασκευή χαρακτηριστικής καμπύλης



- Στην Εικόνα, φαίνεται ότι τα αργιλώδη εδάφη, λόγω της μεγαλύτερης ρυθμιστικής ικανότητάς τους σε σχέση με τα πηλώδη (λόγω μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε άργιλο), θέλουν μεγαλύτερα ποσά ασβέστου, ξεκινώντας από την ίδια, περίπου, τιμή αρχικού pH προκειμένου να φθάσουν στην ουδέτερη τιμή των 6,5. Συγκεκριμένα τα πηλώδη εδάφη θέλουν $550 \text{ kg str}^{-1} \text{ CaO}$, ενώ τα αργιλώδη $900 \text{ kg str}^{-1} \text{ CaO}$, όπως φαίνεται από το σχήμα.

Μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- Ένταση της μικροβιακής δραστηριότητας και συγκέντρωση διαλυτών αλάτων (κύρια νιτρικών).
- Είναι περισσότερο χρονοβόρα από την προηγούμενη

- Από το pH του εδάφους, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) και το βαθμό κορεσμού με βάσεις (ΒΚ), υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα βάσεων για την ανύψωση του ΒΚ σε 80% και ως εκ τούτου και του pH περίπου στο 6,5.

Παράδειγμα: Έχομε ένα έδαφος που έχει $\text{pH} = 4,8$, $\text{ΙΑΚ} = 11 \text{ meq } 100^{-1} \text{ g}$ εδάφους και $\text{ΒΚ} = 47\%$ και θέλουμε να το βελτιώσουμε.

- Ο βαθμός κορεσμού με βάσεις για $\text{pH} = 6,5$ είναι 80%, άρα το $80 - 47 = 33\%$ της ΙΑΚ οφείλεται στην ανταλλάξιμη οξύτητα. Επομένως πρέπει να εξουδετερωθούν τα $11 \times 0,33 = 3,63 \text{ meq } 100^{-1} \text{ g}$ εδάφους της ανταλλάξιμης οξύτητας. Χρησιμοποιούμε για εξουδετέρωση της οξύτητας, CaCO_3 ($1 \text{ meq} = 0,05 \text{ g}$) καθαρό. Για το συγκεκριμένο έδαφος θα χρησιμοποιήσουμε $3,63 \times 0,05 = 0,182 \text{ g } \text{CaCO}_3 \text{ } 100^{-1} \text{ g}$ εδάφους. Εάν το έδαφος έχει $\text{ΦΕΒ} = 1.500 \text{ Kg } \text{m}^{-3}$ και το βάθος ασβέστωσης είναι 30 cm, τότε στο στρέμμα πρέπει να προσθέσουμε $450.000 \times 1.000 \times 0,182 / 100 = 819 \text{ kg } \text{CaCO}_3$, για να αυξηθεί το pH του σε 6,5.

- Μέτρηση της ανταλλακτικής οξύτητας (χρησιμοποιείται η μέθοδος της τριαιθυνολαμίνης). Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι εξής:

- $- \text{H} \quad \quad \quad - \text{Ba}$
- $- \text{H} \quad + \text{BaCl}_2 \quad \quad - \text{Ba} \quad + \text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+$
- $(-) - \text{H} \quad \quad \quad - \text{Ba}$
- $- \text{Al}$



(pH = 8.2)



- Τιτλοδότηση της περίσσειας τριαιθυνολομίνης με 0,2 N HCl.

- Μία άλλη μέθοδος, που χρησιμοποιείται, βασίζεται στις αλλαγές του pH εδάφους και ρυθμιστικού διαλύματος. Όταν δείγμα εδάφους προστίθεται σε ορισμένη ποσότητα ρυθμιστικού διαλύματος, το pH του μεταβάλλεται ανάλογα με το pH του εδαφικού δείγματος και της ρυθμιστικής ικανότητάς του. Στη συνέχεια από πίνακες, μπορεί να υπολογισθεί το ποσό ασβέστου που απαιτείται να προσθέσουμε στο έδαφος για να επιτύχουμε το επιθυμητό pH.

- Τέτοια ρυθμιστικά διαλύματα είναι πολλά, το κυριότερο είναι το SMP. Συνιστάται ο υπολογισμός των απαιτήσεων σε άσβεστο με το ρυθμιστικό διάλυμα SMP για εδάφη με:
pH < 5,8
περιεκτικότητα σε οργανική ουσία < 10%
απαιτήσεις ασβέστου μεγαλύτερες από 400 kg στρέμμα⁻¹
σημαντικές ποσότητες διαλυτού Al³⁺
Η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει αποτελέσματα υπερασβέστωσης σε εδάφη με χαμηλό ποσοστό βάσεων.

- Χρησιμοποιούνται διάφοροι εμπειρικοί τύποι, κυρίως σε τροπικές περιοχές, όπως:
- a) 1 t υλικού ασβέστωσης meq(Al^{3+}) 100^{-1} g εδάφους. Ο υπολογισμός του ανταλλακτικού αργιλίου γίνεται με έκπλυση του εδάφους με 1N KCl.
- b) meq CaCO_3 100^{-1} g εδάφους = 2*meq αντ. Al^{3+} 100^{-1} g εδάφους.

Η ταχύτητα αντίδρασης των προστιθέμενων υλικών σβέστωσης με το έδαφος εξαρτάται από

- *Το είδος του υλικού ασβέστωσης.*

Η αποτελεσματικότητα των υλικών ασβέστωσης εξαρτάται από το ποσό του καθαρού CaCO_3 που απαιτείται για να εξουδετερωθούν 100 g του προστιθέμενου υλικού.

- *Τη διαλυτότητα του υλικού ασβέστωσης.*

Η ταχύτητα εξουδετέρωσης εξαρτάται από την ταχύτητα διαλυτοποίησης και υδρόλυσης του υλικού ασβέστωσης για το σχηματισμό OH^- . Γενικά καλσιτικά υλικά ασβέστωσης (CaCO_3) είναι περισσότερο διαλυτά από τα δολομιτικά υλικά ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$).

- *Την ταχύτητα απομάκρυνσης των ιόντων OH^- .*

Η ταχύτητα υδρόλυσης του CaCO_3 εξαρτάται από την ταχύτητα απομάκρυνσης των OH^- από το εδαφοδιάλυμα. Όσο περισσότερα είναι τα H^+ στο εδαφοδιάλυμα ο αριθμός του Ca^{2+} και HCO_3^- θα αυξάνει. Όταν τα H^+ μειωθούν η διαλυτότητα του Ca^{2+} και HCO_3^- μειώνεται.

- *Την ταχύτητα υδρόλυσης των Al^{3+} και Fe^{3+} .*

Σε όξινα εδάφη, η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο εδαφοδιάλυμα είναι συνάρτηση της ταχύτητας υδρόλυσης των Al^{3+} και Fe^{3+} ή υδρόξυ-Al ή υδρόξυ-Fe και του κατά πόσο τα ιόντα αυτά είναι προσροφημένα σε οργανικά ή ανόργανα κολλοειδή. Έτσι η ταχύτητα αντίδρασης με τα υλικά ασβέστωσης επηρεάζεται από παράγοντες που καθορίζουν την ταχύτητα και την έκταση της υδρόλυσης των πολυσθενών μετάλλων.

- *Τη διάμετρο του υλικού ασβέστωσης.*

Η ταχύτητα και η έκταση της διαλυτοποίησης εξαρτάται από το ποσοστό της επιφάνειας των υλικών που έρχονται σε επαφή με το εδαφικό διάλυμα. Για άριστη διαλυτοποίηση το ελάχιστο όριο διαμέτρου κόκκων κυμαίνεται από 0,25 έως 0,30 mm.

- *Την ανάμειξη με το έδαφος.*

Η ταχύτητα εξουδετέρωσης αυξάνεται με την ενσωμάτωση και καλή ανάμειξη του προστιθέμενου υλικού ασβέστωσης στο έδαφος. Συνιστάται να γίνεται ενσωμάτωση στο βάθος της ζώνης άροσης.

- *Κλιματικούς παράγοντες.*

Η θερμοκρασία και η υγρασία, βεβαίως, επηρεάζουν την ταχύτητα διαλυτοποίησης του CaCO_3 και ως εκ τούτου και την ταχύτητα εξουδετέρωσης της εδαφικής οξύτητας.

Μεγάλες ποσότητες νερού χρειάζονται, επίσης, για μετακίνηση σε βαθύτερους ορίζοντες των Ca^{2+} και HCO_3^-

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΩΣΕΩΝ

- Προσθήκη ασβέστου σε όξινα εδάφη μειώνει την ενεργότητα αργιλίου και μαγγανίου με τον σχηματισμό αδιάλυτων υδροξειδίων. Σαν αποτέλεσμα έχουμε μείωση της τοξικότητας αργιλίου στα φυτά, η οποία είναι έντονη σε $pH < 5$.
- Εάν η ασβεστος είναι δολομιτική, προστίθενται στο έδαφος ασβέστιο και μαγνήσιο, θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται σε μικρές ποσότητες στα όξινα εδάφη.
- Με την ασβέστωση καθίσταται περισσότερο διαθέσιμος ο φώσφορος. Σε χαμηλά pH το αργίλιο και ο σίδηρος σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις με το φώσφορο των προστιθεμένων λιπασμάτων.
- Όταν υπάρχει διαθέσιμο κάλιο, τα φυτά προσλαμβάνουν περισσότερο απ'ό,τι χρειάζονται. Η ασβέστωση μειώνει την προσρόφηση του καλίου και το καθιστά πιο αποτελεσματικό στη θρέψη των φυτών.

- Αυξάνεται η διαθεσιμότητα αζώτου, δημιουργώντας περισσότερο κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που προκαλούν αποσύνθεση της οργανικής ουσίας.
- Αυξάνει τη διαθεσιμότητα του Μολυβδαινίου (Mo).
- Ασβέστωση εδαφών πάνω από $pH = 6,5$ μειώνει τη διαλυτότητα και προσρόφηση από τα φυτά τοξικών βαρέων μετάλλων όπως: Cd, Cu, Ni, Pd, Zn. Σε εδάφη πλούσια σε ασβέστιο τα φυτά προσλαμβάνουν λιγότερο ραδιενεργό ^{90}Sr , διότι προτιμάται η προσρόφηση ασβεστίου.
- Προκαλεί βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Με την ασβέστωση βελτιώνεται η δομή λεπτόκοκκων εδαφών, λόγω θρόμβωσης με Ca^{2+} και αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία.

ΑΛΑΤΟΥΧΑ-ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων, γεωργικών φαρμάκων καθώς επίσης και η χρήση ακατάλληλου νερού άρδευσης στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις, για μεγιστοποίηση των αποδόσεων, οδηγούν στην συσσώρευση υδατοδιαλυτών αλάτων στο έδαφος, τα οποία αν ξεπεράσουν ένα όριο οδηγούν στην αλάτωση. Η αλάτωση είναι μία από τις βασικές διεργασίες που μπορεί να οδηγήσει στην ερημοποίηση.

Οι επιπτώσεις της αλάτωσης στους αγρότες μπορεί να είναι δραματικές και από οικονομικής και από κοινωνικής άποψης. Τα σενάρια με την αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας αναμένεται να αυξήσουν σημαντικά την αλατότητα και την επέκταση των περιοχών που έχουν ήδη πληγεί.

Τα υδατοδιαλυτά άλατα αποτελούν πηγή εφοδιασμού των φυτών με θρεπτικά στοιχεία. Ωστόσο, όταν η ποιότητα και η ποσότητα των υδατοδιαλυτών αλάτων στο έδαφος και κυρίως στην περιοχή της ριζόσφαιρας υπερβεί ένα κρίσιμο όριο, τότε δημιουργούνται δυσμενείς συνθήκες για την ανάπτυξη, την παραγωγή αλλά και την ποιότητα των προϊόντων στις περισσότερες καλλιέργειες. Η αλάτωση είναι ανθρωπογενής, κυρίως διεργασία. Η αύξηση της αλατότητας αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές του πλανήτη μας και απειλεί τη βιωσιμότητα της αρδευόμενης γεωργίας.

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ

- Αλατούχα εδάφη, από γεωργικής άποψης, είναι τα εδάφη τα οποία έχουν αγωγιμότητα πάστας εκχυλίσματος κορεσμού $EC_e > 4 \text{ mmhos cm}^{-1}$ ή $0,4 \text{ S m}^{-1}$ σε θερμοκρασία 25°C .

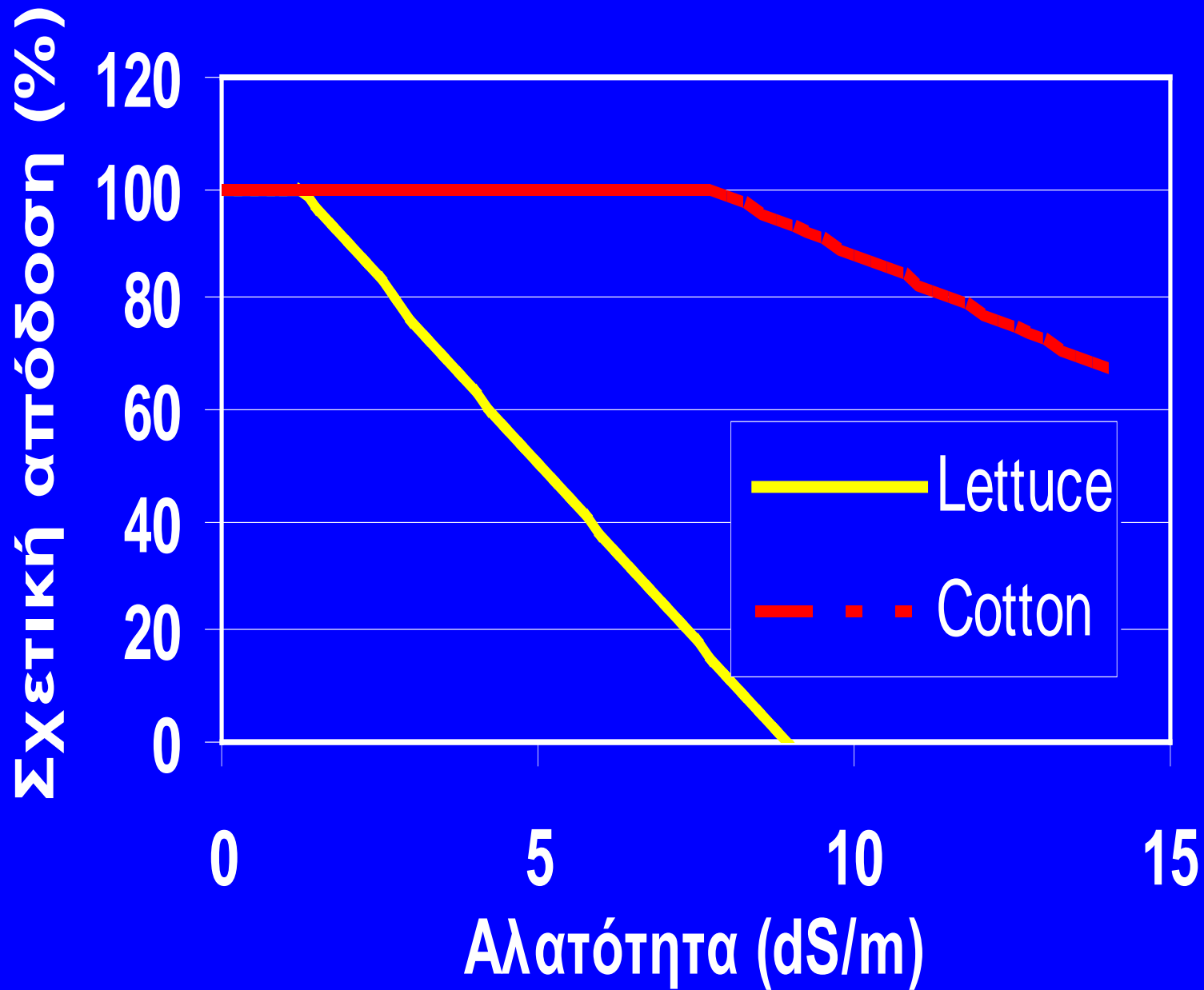
Η αγωγιμότητα αυτή αντιστοιχεί σε ποσοστό αλάτων μεγαλύτερο από 40 mg L^{-1} ή σε υδατοδιαλυτά άλατα μεγαλύτερο από 0,2%.

Επομένως για να χαρακτηρίσουμε ένα έδαφος σαν αλατούχο πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές EC, ανταλλαξιμού Na, και I.A.K.

- Τα αλατούχα εδάφη χωρίζονται σε δύο ομάδες ανάλογα με το είδος των υδατοδιαλυτών αλάτων που περιέχουν, σε εδάφη με ουδέτερα άλατα του νατρίου κυρίως NaCl και Na_2SO_4 και εδάφη με υδρολυόμενα άλατα του νατρίου κυρίως NaHCO_3 , Na_2CO_3 και Na_2SiO_3 . Τα εδάφη της πρώτης κατηγορίας είναι αλατούχα μη αλκαλιωμένα, ενώ της δεύτερης είναι αλατούχα - αλκαλιωμένα. Τα αλατούχα εδάφη καταλαμβάνουν το 7% περίπου των εδαφών παγκοσμίως, ενώ σε κάποιες χώρες το ποσοστό των αλατούχων εδαφών ξεπερνά το 50% των αρδευόμενων εκτάσεων.

Arid and Semiarid Regions of the World

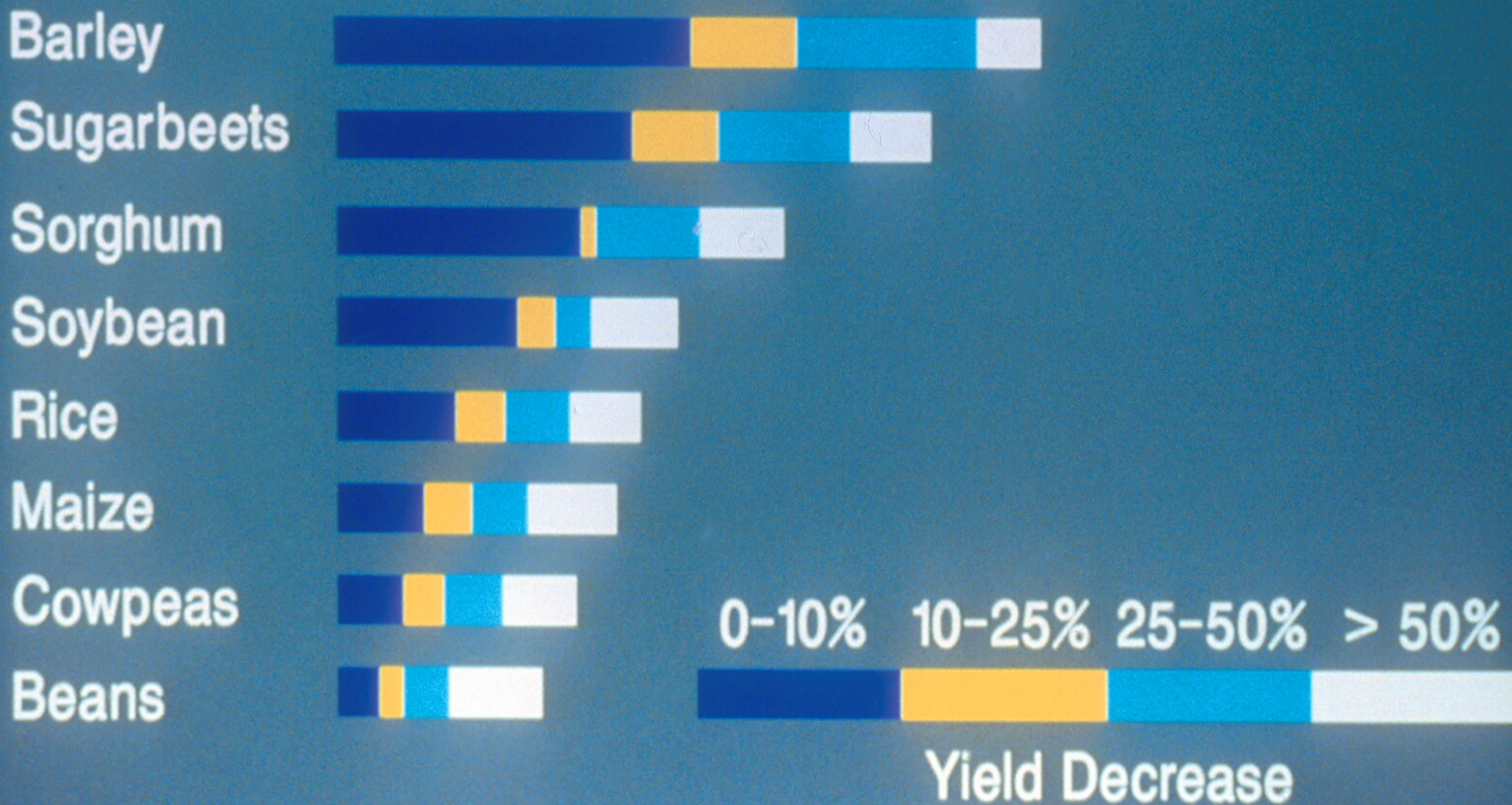




Yield Reductions vs. Soil Salinity for Field Crops

Electrical Conductivity in mmhos/cm at 25°C

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20



Διαλυτά άλατα σε αλατούχα και αλκαλιωμένα εδάφη

Ανιόντα

Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} (NO_3^- , BO_3^-)

Κατιόντα

Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Li^+)

Ευδιάλυτα άλατα

Που απαντώνται **κυρίως** στα εδαφικά συστήματα

Cl^- (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

SO_4^{2-} (Na^+ , K^+ , Mg^{2+})

Που απαντώνται **δευτερεύοντως** στα εδαφικά συστήματα

HCO_3^- (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

CO_3^{2-} (Na^+ , K^+)

Μέτρια διαλυτά

SO_4^{2-} (Ca^{2+})

Αδιάλυτα (πρακτικά)

CO_3^{2-} (Ca^{2+} , Mg^{2+})

- Τα αλατούχα εδάφη χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των υδατοδιαλυτών αλάτων που περιέχουν.

1. Εδάφη που περιέχουν ουδέτερα άλατα του νατρίου, NaCl και Na_2SO_4 (αλατούχα εδάφη).

2. Εδάφη που περιέχουν υδρολυόμενα άλατα του νατρίου, Na_2CO_3 , NaHCO_3 και Na_2SiO_3 (αλατούχα –αλκαλιωμένα).

Είναι δυνατόν τα αλατούχα εδάφη να περιέχουν και άλατα του Ca και Mg όπως MgSO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 .

Η ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΛΑΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑ

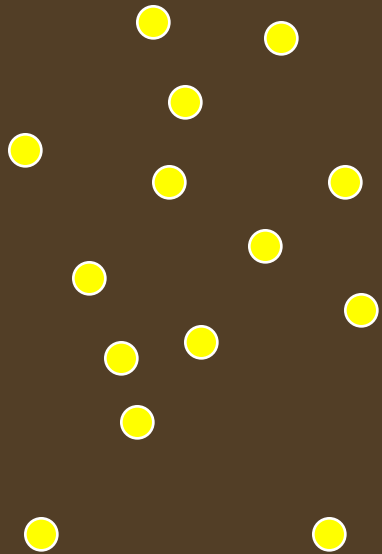
1. Στη σύσταση των κατιόντων που είναι ανταλλάξιμα και βρίσκονται στο ανταλλάξιμο σύμπλοκο της στερεά φάσης του εδάφους.
2. Στην αποσάθρωση, καταστροφή και νεοσχηματισμό των αργιλικών ορυκτών.
3. Στην αύξηση ενυδάτωσης και διασποράς των αργιλικών ορυκτών.
4. Στην εμφάνιση φαινομένων διαστολών - συστολών στην επιφάνεια των εδαφών.
5. Στην κατανομή των πρωτογενών τεμαχιδίων.
6. Στο σχήμα, το μέγεθος και την κατανομή των συσσωματωμάτων του εδάφους (δομή).
7. Στο πορώδες.
8. Στους παράγοντες εδαφικής υγρασίας.

Ιδιότητες αλατούχων εδαφών

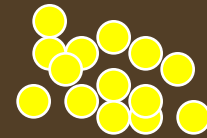
- Τα αλατούχα εδάφη έχουν:
 - καλή δομή (τα άλατα προκαλούν θρόμβωση της αργίλου)
 - τιμές pH από 7 έως 8 (συνήθως σε περιοχές με περιορισμένη αποσάθρωση)
 - Είναι συχνά ανθρακικά (περιέχουν CaCO_3)

Τα τεμαχίδια της αργίλου στο έδαφος μπορεί να βρίσκονται σε διασπορά ή σε θρόμβωση. Εδαφικά τεμαχίδια αργίλου ενώνονται σε μεγαλύτερα μεγέθους άμμου, ιλύος.

Τεμαχίδια σε διασπορά



Θρομβωμένα τεμαχίδια

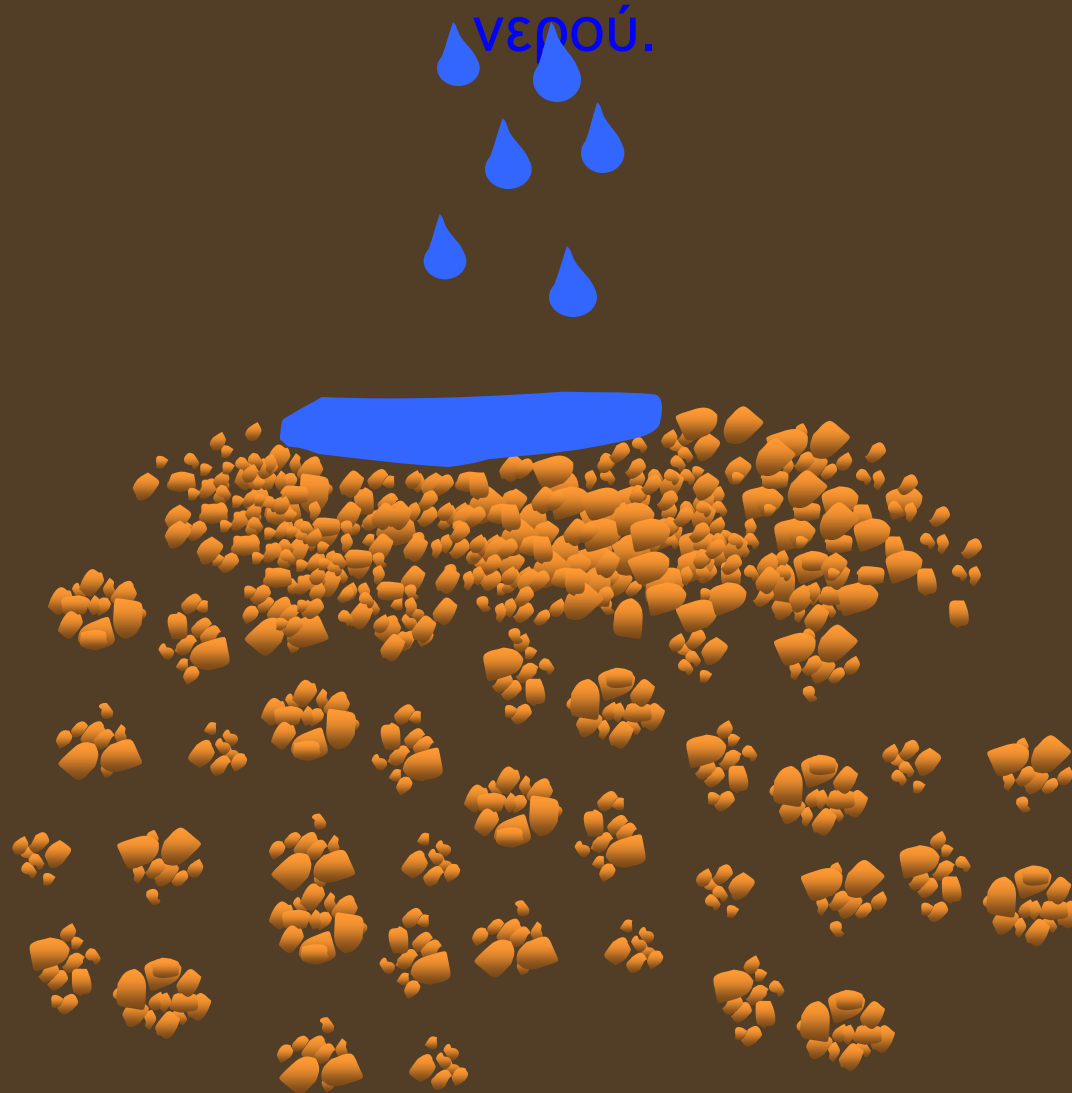




Η θρόμβωση είναι απαραίτητη, διότι το νερό κινείται κυρίως μεταξύ των πόρων που σχηματίζουν τα συσσωματώματα, επίσης και η ανάπτυξη των ριζών γίνεται μέσα στους πόρους αυτούς.

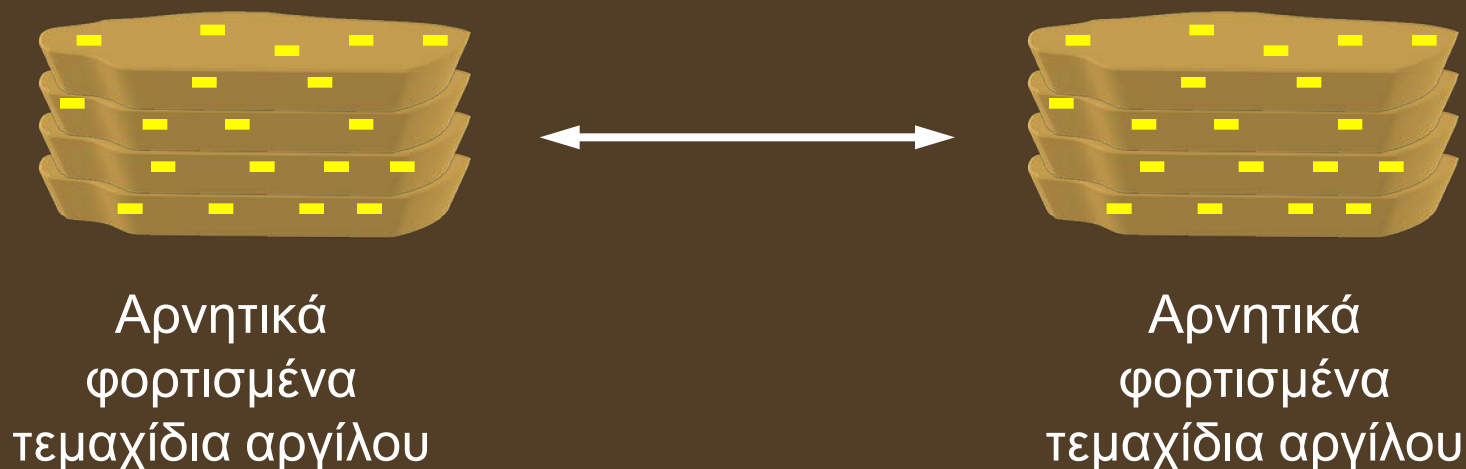


Στα αμμώδη εδάφη η διασπορά της αργίλου κλείνει τους πόρους και εμποδίζει τη διήθηση και τη στράγγιση του νερού.



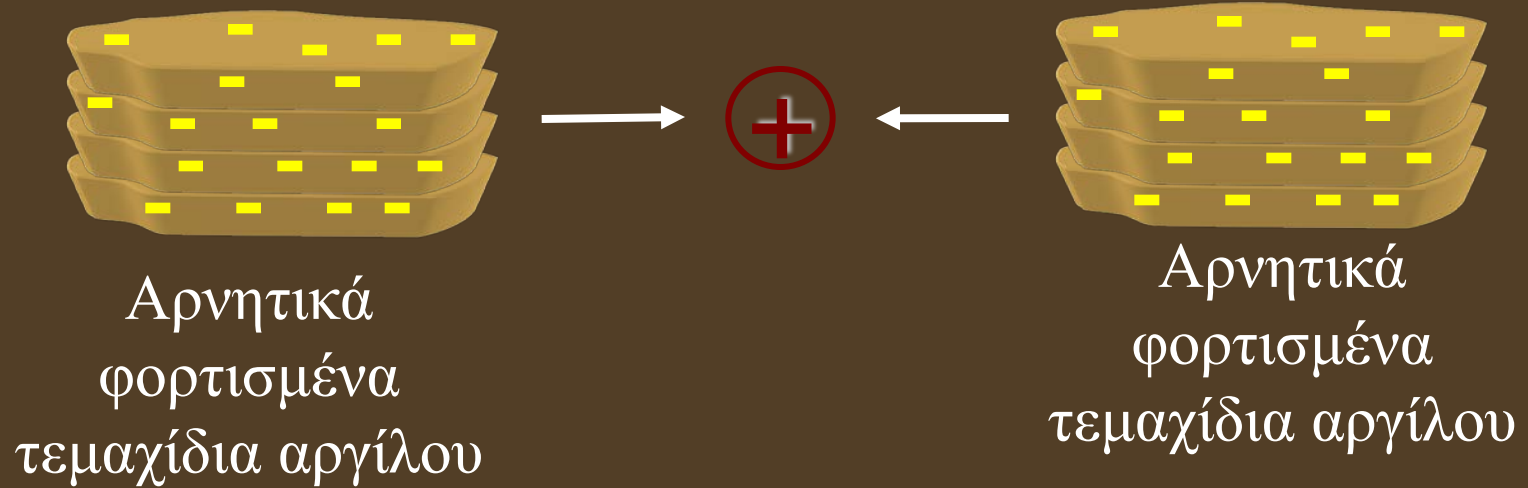


Τα αργιλικά τεμαχίδια έχουν αρνητικό φορτίο και επομένως απωθούνται μεταξύ τους.



Τα συνήθη κατιόντα στο έδαφος είναι: το Na^+ , το K^+ , το Mg^{2+} , και το Ca^{2+} .

Η παρουσία κατιόντων σε πολλές περιπτώσεις έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της απόστασης μεταξύ των τεμαχιδίων προκαλώντας έτσι θρόμβωση.

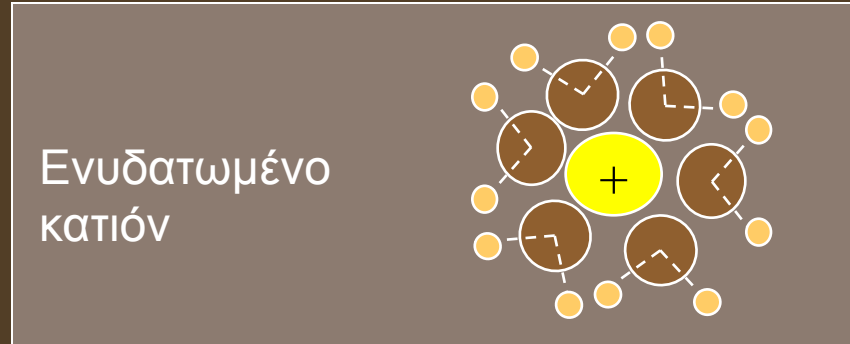
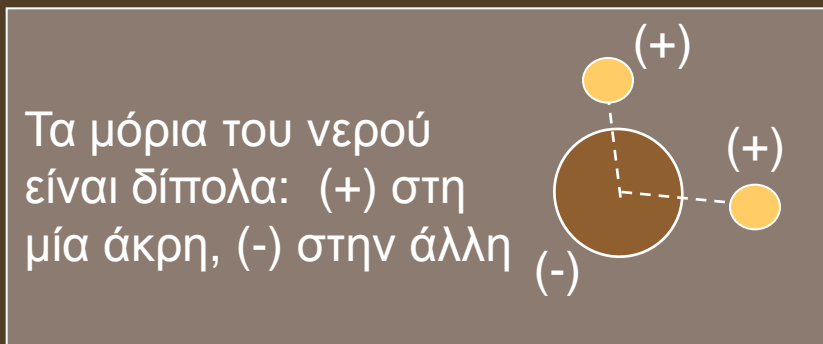


Κατιόντα θρόμβωσης

- Μπορούμε να κατατάξουμε τα κατιόντα σε δύο κατηγορίες
 - Σε αυτά που προκαλούν ασθενή θρόμβωση
 - Νάτριο
 - Σε αυτά που προκαλούν ισχυρή θρόμβωση
 - ασβέστιο
 - μαγνήσιο

κατιόν	Σχετική ικανότητα θρόμβωσης
Na ⁺	1.0
K ⁺	1.7
Mg ²⁺	27.0
Ca ²⁺	43.0

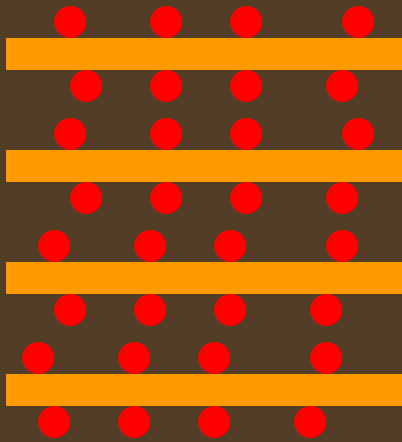
Τα κατιόντα στο εδαφοδιάλυμα έλκουν μόρια νερού, λόγω του φορτίου τους, και γίνονται ενυδατωμένα.



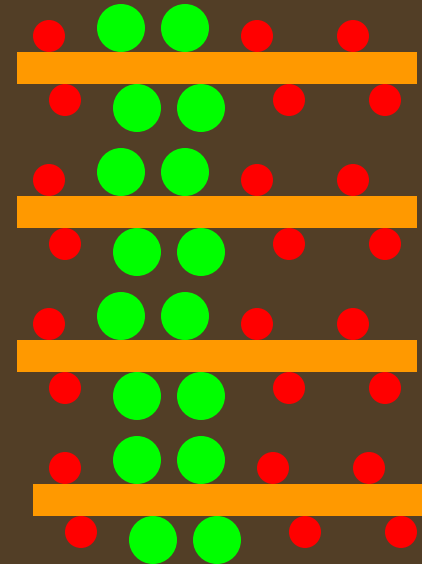
Κατιόντα με μικρό φορτίο και μεγάλη ακτίνα ενυδάτωσης είναι «ασθενείς» θρομβωτές.

κατιόν	Φορτίο ανά μόριο	Ακτίνα ενυδάτωσης (nm)	Σχετική δύναμη θρόμβωσης
Νάτριο	1	0.79	1.0
Κάλιο	1	0.53	1.7
Μαγνήσιο	2	1.08	27.0
Ασβέστιο	2	0.96	43.0

Διασπορά



Άργιλοι που έχουν σαν κύριο ανταλλάξιμο κατιόν το Ca^{2+} , μπορεί να βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους Προάγοντας έτσι τη θρόμβωση



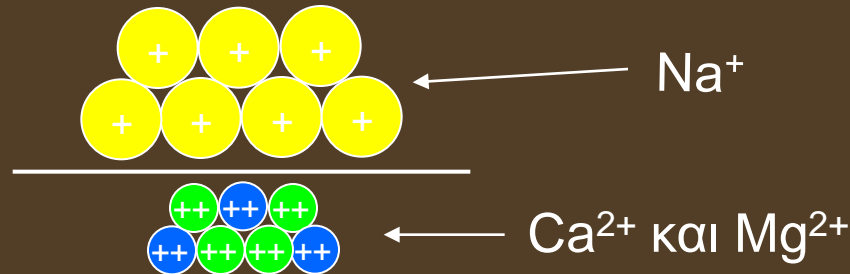
Άργιλοι που έχουν σαν ανταλλάξιμα κατιόντα το Ca^{2+} και Na^{+} , δεν βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ευνοώντας τη διασπορά



Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Λόγος προσρόφησης νατρίου

Η αναλογία των «ασθενών» και των «ισχυρών» θρομβωτών δίδει μια ένδειξη της σχετικής κατάστασης των κατιόντων αυτών:



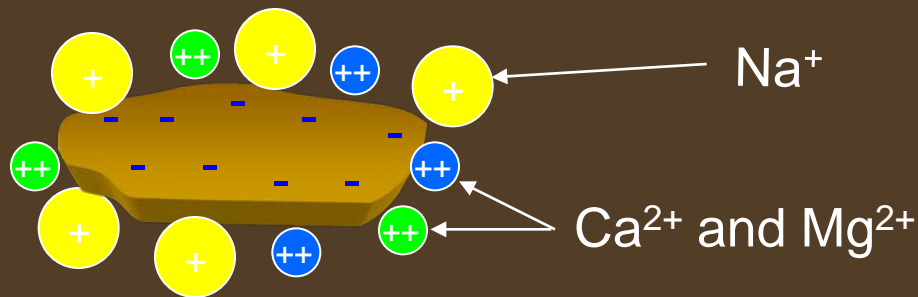
Η σχέση αυτή εκφράζεται μαθηματικά σαν «λόγος προσρόφησης νατρίου» ή SAR:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε mmoles/L

Exchangeable Sodium Percentage (ESP), ανταλλάξιμο νάτριο % της ΙΑΚ

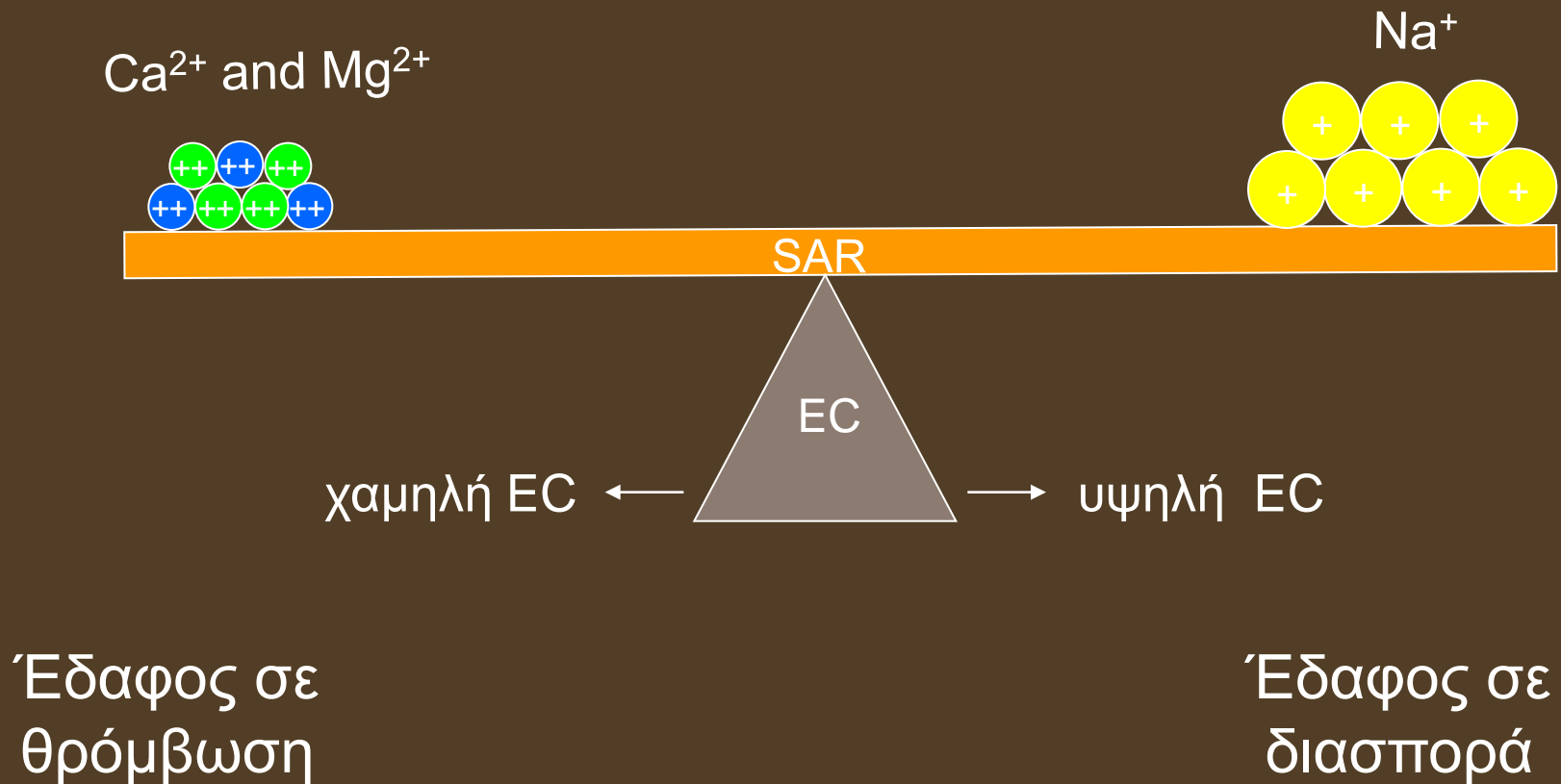
Εκατοστιαία αναλογία νατρίου ESP



Μαθηματικά η έκφραση αυτή αντιστοιχεί στην επί τοις % περιεκτικότητα του αντ. Νατρίου που συμμετέχει στην Ι.Α.Κ.

$$ESP = \frac{\text{Αντ. Na}^+}{\text{Ι.Α.Κ.}}$$

Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων (διασπορά – θρόμβωση) εξαρτάται από το ισοζύγιο (SAR) μεταξύ Ca^{2+} - Mg^{2+} και Na^+ καθώς επίσης και από το ποσό των υδατοδιαλυτών αλάτων που υπάρχουν στο έδαφος.



Τα εδαφικά τεμαχίδια θα θρομβωθούν εάν η συγκέντρωση ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) αυξάνεται σε σχέση με τη συγκέντρωση Na^+ (το SAR μειώνεται).

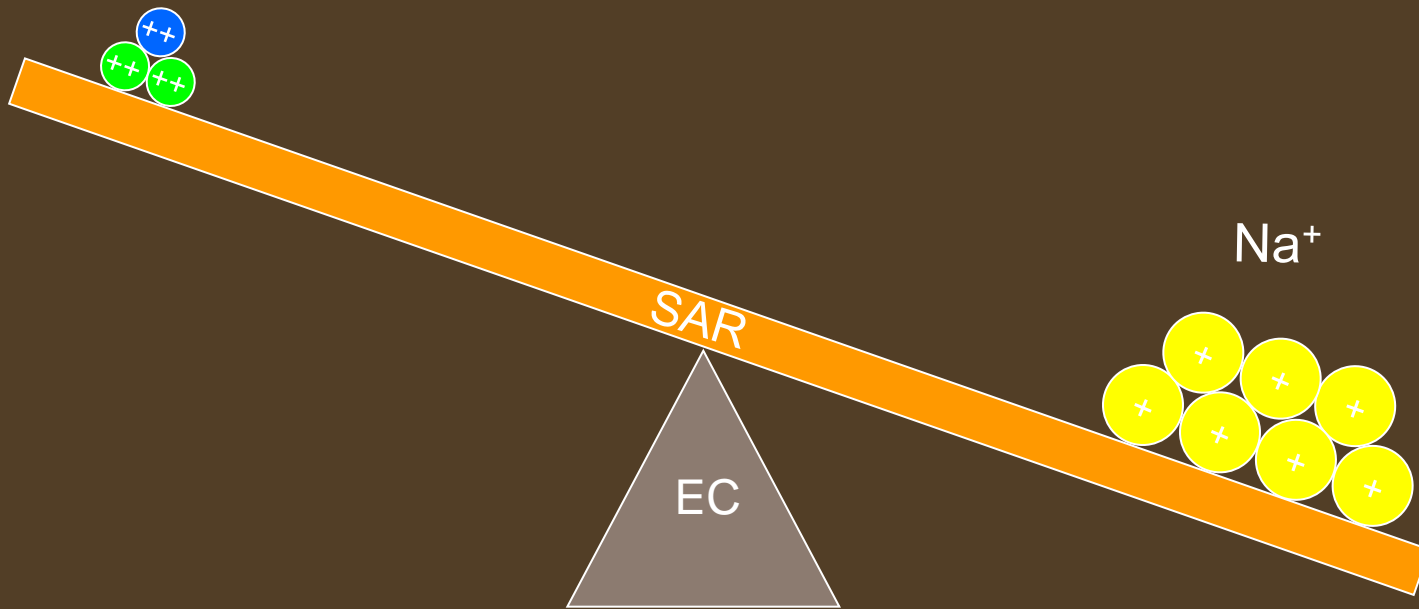


Έδαφος
θρομβωμένο

Έδαφος σε
διασπορά

Τα εδαφικά τεμαχίδια θα διασπαρούν εάν η συγκέντρωση ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) μειώνεται σε σχέση με τη συγκέντρωση Na^+ (το SAR αυξάνεται).

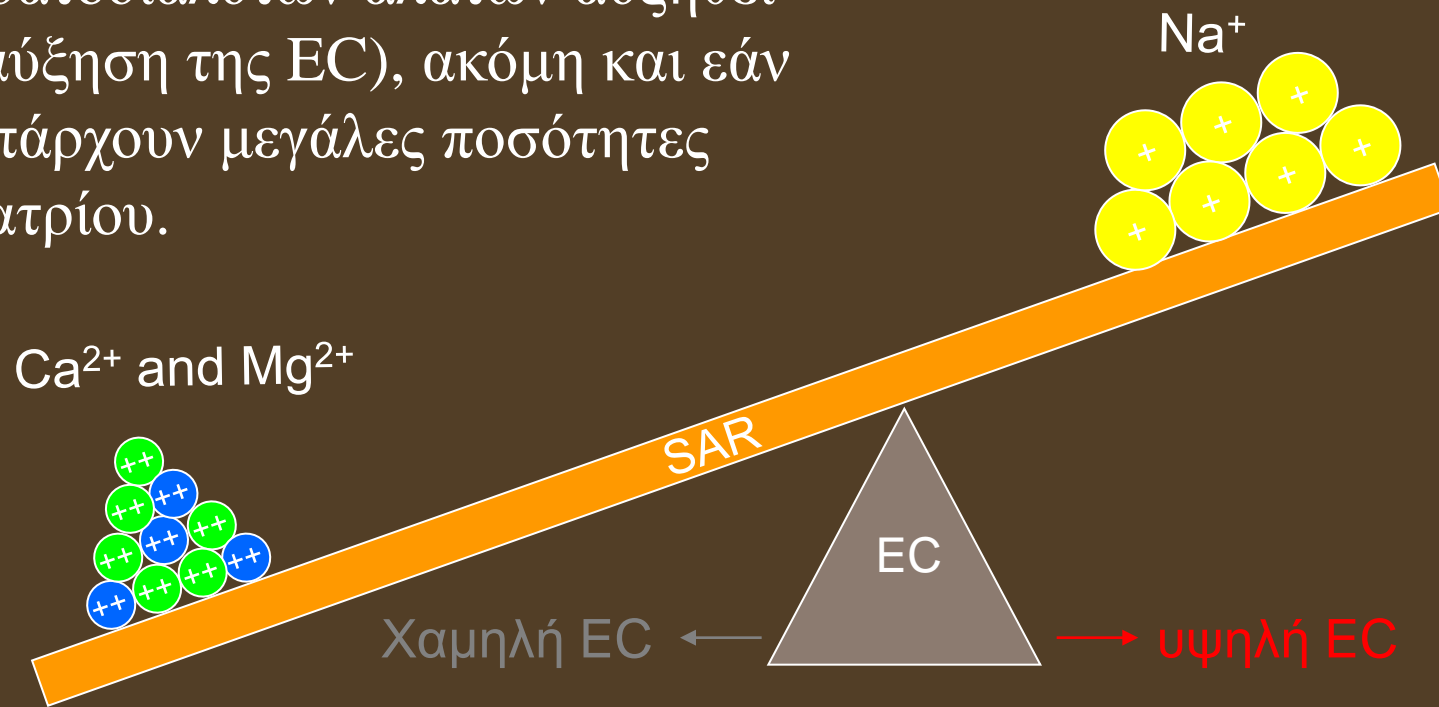
Ca^{2+} and Mg^{2+}



Έδαφος σε
θρόμβωση

Έδαφος σε
διασπορά

Τα εδαφικά τεμαχίδια θα θρομβωθούν εάν το ποσό των υδατοδιαλυτών αλάτων αυξηθεί (αύξηση της EC), ακόμη και εάν υπάρχουν μεγάλες ποσότητες νατρίου.

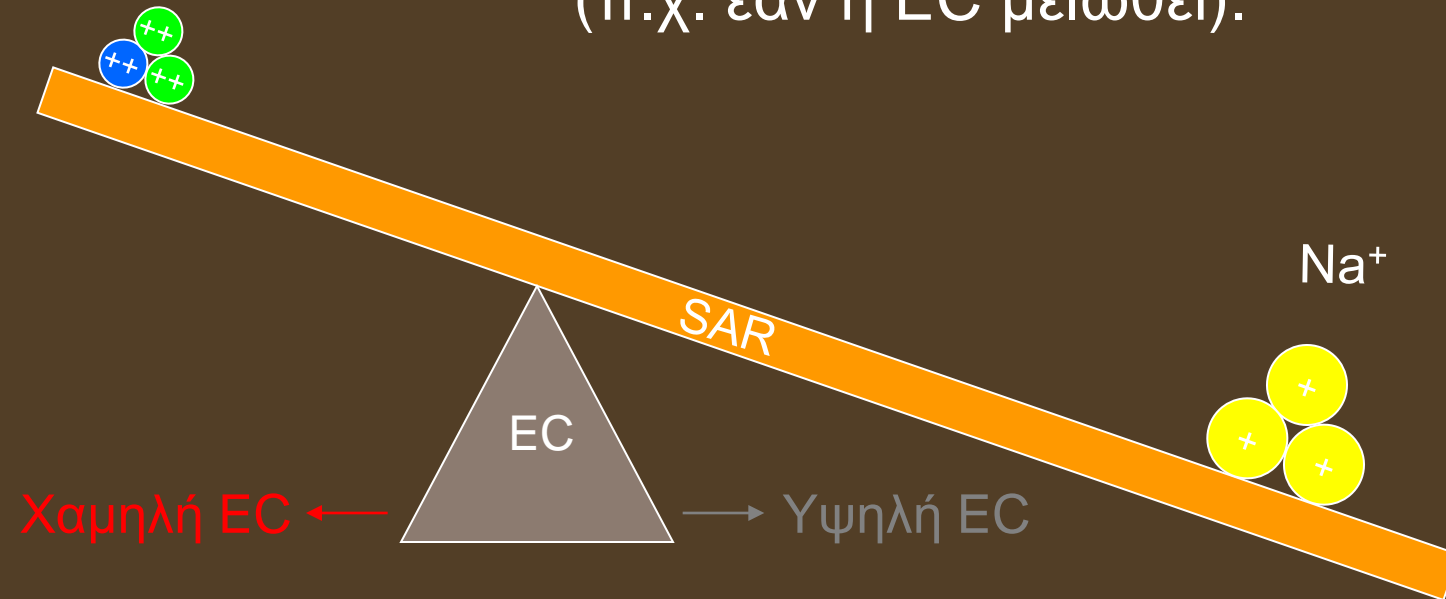


Έδαφος
θρομβωμένο

Έδαφος σε
διασπορά

Τα εδαφικά τεμαχίδια στο έδαφος θα διασπαρούν εάν τα ποσά των υδατοδιαλυτών αλάτων μειωθούν (π.χ. εάν η EC μειωθεί).

Ca²⁺ and Mg²⁺



Na⁺

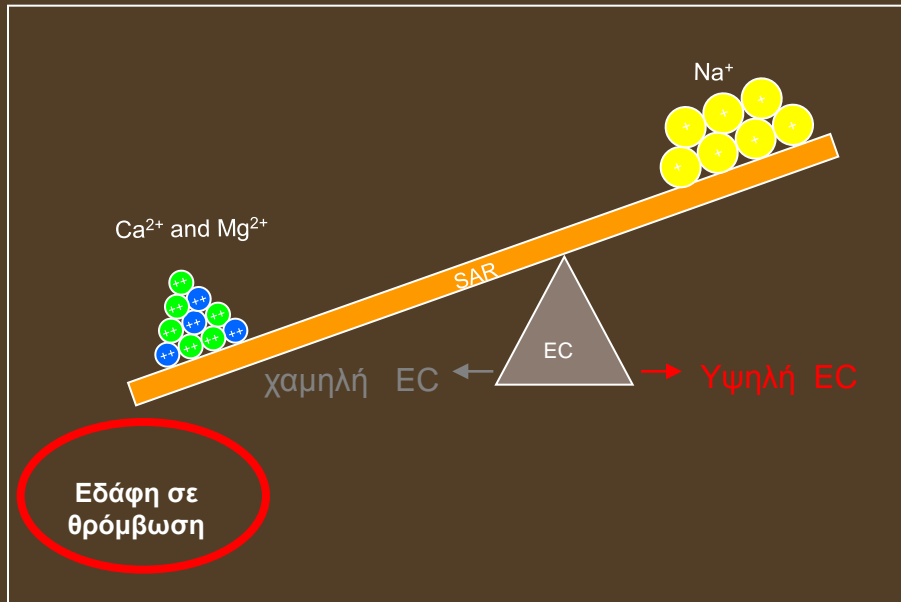
Χαμηλή EC ←

→ Υψηλή EC

Έδαφος
θρομβωμένο

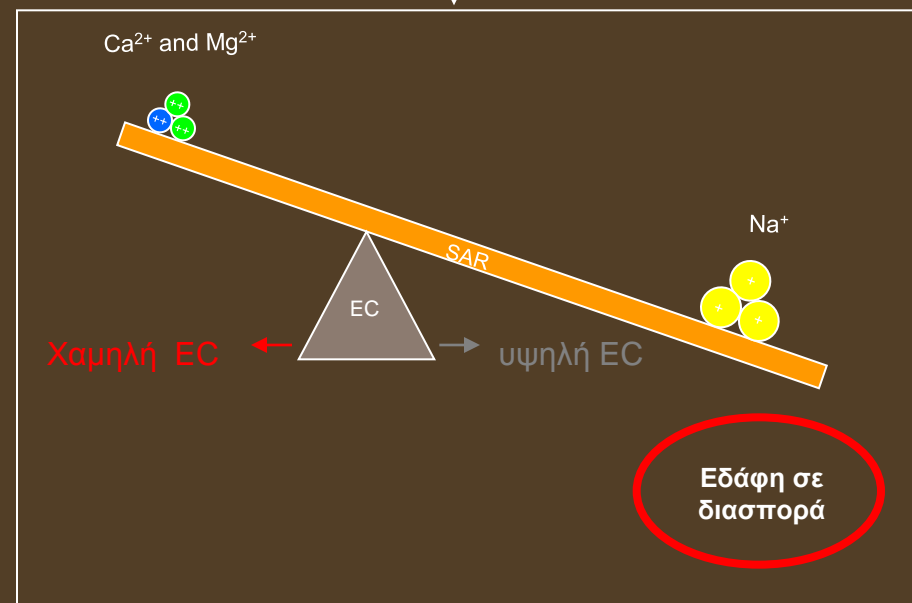
Έδαφος σε
διασπορά

Εάν τα εδάφη βρίσκονται στο «όριο» μεταξύ θρόμβωσης και διασποράς, η ποιότητα του νερού άρδευσης θα επηρεάσει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Εάν το νερό άρδευσης διηθείται και το νερό της βροχής όχι, είναι ένδειξη ότι το έδαφος βρίσκεται στο «όριο» μεταξύ θρόμβωσης και διασποράς.



Εάν τα εδάφη αρδεύονται με αλατούχο νερό (μεγάλες τιμές EC), τα εδάφη θα έχουν καλή δομή και το νερό θα διηθείται με γοργούς ρυθμούς. Λόγω συσσώρευσης όμως αλάτων θα έχουμε προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών.

Εάν τα εδάφη αρδεύονται με καθαρό νερό (μικρή τιμή EC), η τιμή της EC του εδάφους θα μειωθεί, η οποία μπορεί να προκαλέσει αποσταθεροποίηση των συσσωματωμάτων, με αποτέλεσμα το νερό άρδευσης να διηθείται με αργούς ρυθμούς.



Τα εδάφη μπορεί να ταξινομηθούν από το ποσό των διαλυτών αλάτων (EC) και την κατάστασή τους σε νάτριο (SAR). Η ταξινόμηση αυτή μας δίνει πληροφορίες για την κατάσταση της δομής τους.

Ταξινόμηση	EC	SAR	Συνθήκες
Κανονικά	<4	<13	Θρομβωμένα
Αλατούχα	>4	<13	Θρομβωμένα
Νατριωμένα	<4	>13	Σε διασπορά
Αλατούχα - Νατριωμένα	>4	>13	Θρομβωμένα

ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΛΑΤΩΝ

- Πηγές αλάτων
- Παράγοντες μεταφοράς (νερό, άνεμος)
- Παράγοντες που συνεισφέρουν στη ροή
- Αρνητικό ισοζύγιο νερού
- Περιορισμένες συνθήκες στράγγισης

ΠΗΓΕΣ ΑΛΑΤΩΝ



1. Η αποσάθρωση πετρωμάτων, πρωτογενών και δευτερογενών αργιλικών ορυκτών, που έχει σαν αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση και τη μετακίνηση των διαλυτών αλάτων (χημικής προέλευσης).
2. Τα επιφανειακά νερά (νερά ωκεανών, λιμνών, ποταμών και χειμάρρων).
3. Τα υποεπιφανειακά νερά (υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες, μετακίνηση αλάτων).
4. Η ανθρώπινη δραστηριότητα (νερά άρδευσης, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, προστιθέμενη οργανική ουσία υπό μορφή υγρής κόπρου ή και απόβλητα διαφόρου προέλευσης).

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (ΝΕΡΟ, ΑΝΕΜΟΣ)



- Μεταφορά αλάτων, με κατακόρυφη ή οριζόντια διήθηση.
- Μεταφορά αλάτων, από μεγάλες λεκάνες απορροής σε μικρότερες ή και σε κοιλώματα που υπάρχουν σε μεγάλες πεδιάδες.
- Μεταφορά αλάτων, λόγω έκπλυση κατά βάθος σε όλη την εδαφοτομή και συγκέντρωση σε ένα ορίζοντα

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (ΝΕΡΟ, ΑΝΕΜΟΣ)



- Μεταφορά αλάτων, με κατακόρυφη ή οριζόντια διήθηση.
- Μεταφορά αλάτων, από μεγάλες λεκάνες απορροής σε μικρότερες ή και σε κοιλώματα που υπάρχουν σε μεγάλες πεδιάδες.
- Μεταφορά αλάτων, λόγω έκπλυση κατά βάθος σε όλη την εδαφοτομή και συγκέντρωση σε ένα ορίζοντα

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΥΝ ΣΤΗ ΡΟΗ



- Το τοπογραφικό ανάγλυφο (για επιφανειακή απορροή)
- Η υδραυλική κλίση (για ροή σε κορεσμένα μέσα όπως μετακίνηση υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, έκπλυση)
- Η μύζηση (για ροή σε ακόρεστα μέσα όπως η τριχοειδής ανύψωση)
- Η αθροιστική κλίση (για διάχυση και υδροδυναμική διασπορά)

ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΝΕΡΟΥ



- Η εξατμισοδιαπνοή (ET) να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα βροχόπτωσης (P) και νερών άρδευσης
- (I) $ET > P + I$ (1)

Η διαφορά αυτή τείνει να εξισορροπηθεί από οριζόντια ροή (επιφανειακή απορροή (R), διήθηση στην ακόρεστη ζώνη (F) συμπεριλαμβανομένης και της ροής από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (G):

- $P + I + R_j + F_j + G_j \approx ET + R_o + F_o + I_o$ (2)

- $R_j + F_j + G_j > R_o + F_o + I_o$, (3)

- και ξήρανση (τουλάχιστο περιοδικά), όπου
- $R_j + F_j + G_j$, εισαγωγές φορτίων και
- $R_o + F_o + I_o$ εξαγωγές φορτίων

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ



1. Σε ατελή κατακόρυφη στράγγιση στην εδαφική κατατομή λόγω:
 - μικρής ταχύτητας διήθησης
 - μικρής περατότητας
 - μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας
2. Σε ατελή οριζόντια στράγγιση της περιοχής, λόγω του ότι η περιοχή βρίσκεται σε κοιλάματα (κυρίως).

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΛΑΤΩΣΗΣ

Αλάτωση είναι η διαδικασία συγκέντρωσης υδατοδιαλυτών αλάτων στο εδαφοδιάλυμα και έδαφος και οφείλεται σε φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες.

Η αλάτωση που οφείλεται σε φυσικές διεργασίες, ονομάζεται πρωτογενής και η αλάτωση που οφείλεται σε ανθρωπογενείς διεργασίες, ονομάζεται δευτερογενής.

ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΑΛΑΤΩΣΗ

1. Παρουσία υδατοδιαλυτών αλάτων στο μητρικό υλικό
2. Παρουσία υδατοδιαλυτών αλάτων στο υπόγειο νερό και στο νερό άρδευσης.
3. Εναπόθεση υδατοδιαλυτών αλάτων από επιφανειακά νερά ή άνεμο ή βροχή
4. Ανοδική κίνηση του υπόγειου νερού
5. Κακή στράγγιση
6. Κλιματικές συνθήκες ($ET > P$)
7. Γεωμορφολογική διαμόρφωση, που ευνοεί τη συγκέντρωση και εξάτμιση, επιφανειακών και υπόγειων νερών εντός και επί του εδαφικού σώματος.

Διακρίνουμε δύο τέτοιες γεωμορφολογικές διαμορφώσεις:

- Κοιλώματα εσωτερικών πεδιάδων ($955 \cdot 10^7$ στρ.)
- Επίπεδα μικρού υψομέτρου, σε ολόκαινες παραλιακές πεδιάδες και δέλτα των ποταμών (1.000.000 στρ.)

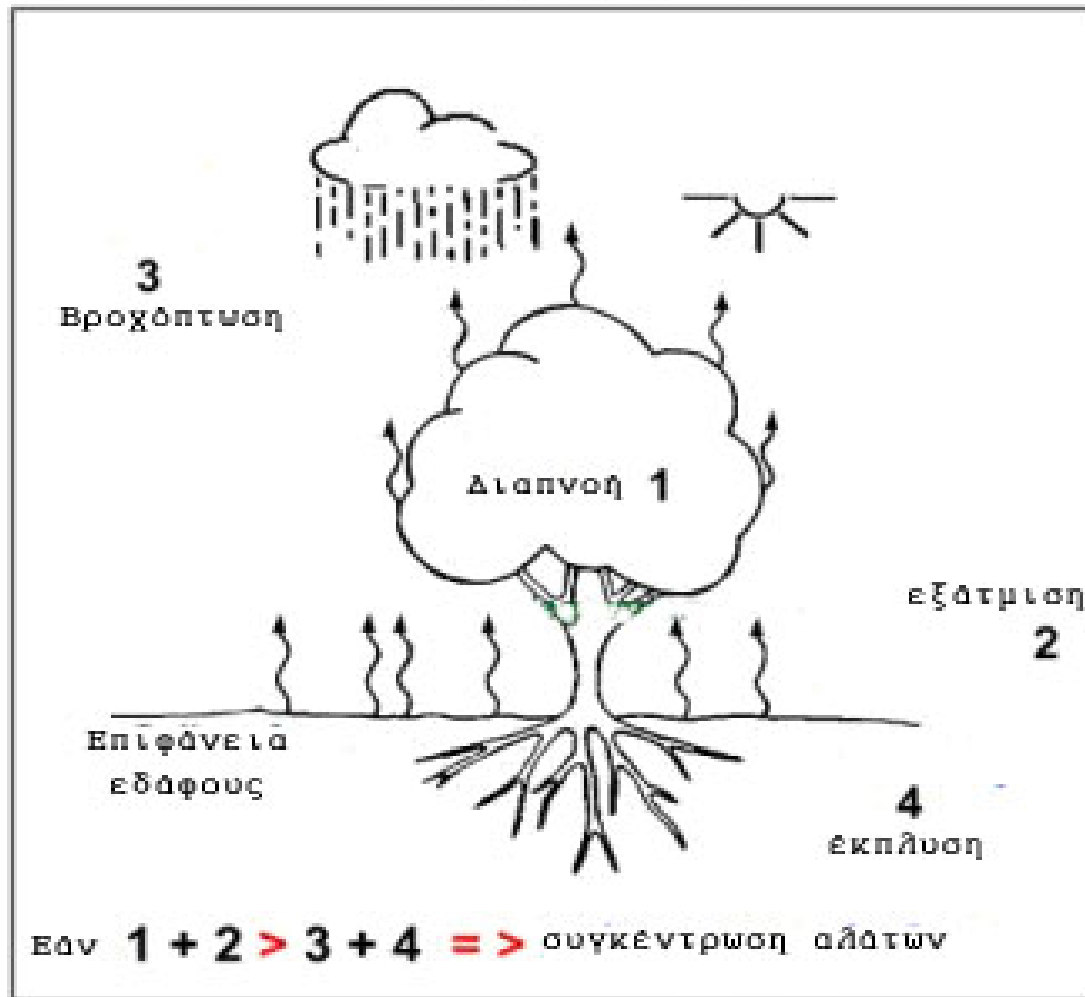


Παρουσία υδατοδιαλυτών αλάτων στο υπόγειο νερό και στο νερό άρδευσης. Το νερό άρδευσης προσθέτει στο έδαφος άλατα αναλογικά της συγκέντρωσης αλάτων που περιέχει. Η πρόσθεση αλάτων για νερό άρδευσης του οποίου η συγκέντρωση αλάτων κυμαίνεται από $200 - 500 \text{ mg L}^{-1}$ είναι σημαντική. Για παράδειγμα νερό άρδευσης που περιέχει 500 mg L^{-1} είναι ισοδύναμο με $0,5 \text{ Mg}$ αλάτων ανά 1.000 m^3 . Ως εκ τούτου καλλιέργειες που απαιτούν για κανονική ανάπτυξη $600-1.000 \text{ m}^3$ νερού ανά στρέμμα και έτος, στη περίπτωση αυτή κάθε στρέμμα θα δέχεται 300 έως 500 kg αλάτων το έτος, ποσότητες αρκετά σημαντικές.



Εναπόθεση υδατοδιαλυτών αλάτων από επιφανειακά νερά ή άνεμο ή βροχή. Πηγή αλατότητας θεωρείται και το νερό της βροχής όταν περιέχει άλατα περισσότερα από 50 mg L^{-1} . Συνήθως η περιεκτικότητα της βροχής σε άλατα κυμαίνεται από $10\text{-}30 \text{ mg L}^{-1}$. Για παράδειγμα βροχή που περιέχει άλατα 10 mg L^{-1} θα προσθέσει άλατα 1 kg ανά στρέμμα για ύψος βροχόπτωσης 100 mm το έτος. Η γεωγραφική κατανομή των ατμοσφαιρικών αλάτων μειώνεται με την απόσταση από την παραλία. Τα άλατα που συγκεντρώνονται στο εδαφικό προφίλ είναι συνάρτηση της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους και της ετήσιας βροχόπτωσης. Η συγκέντρωση αλάτων είναι γενικά χαμηλή σε αμμώδη εδάφη και υψηλή σε αργιλώδη εδάφη και μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης. Για παράδειγμα στην Δ. Αυστραλία η συγκέντρωση αλάτων σε ένα προφίλ 40 m κυμαίνεται από $17\text{-}95 \text{ Mg}$ στρέμμα για μέσο ύψος βροχόπτωσης μεγαλύτερο από 1000 mm και 600 mm , αντίστοιχα.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση αλάτων
στο έδαφος





Αλάτωση με τριχοειδή ανύψωση υπόγειου νερού, που έχει μεγάλη συγκέντρωση σε υδατοδιαλυτά άλατα, παρατηρείται όταν τα υδατοδιαλυτά άλατα βρίσκονται πάνω από ένα κρίσιμο βάθος. Το κρίσιμο βάθος είναι συνάρτηση της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους.

- Στα αμμώδη εδάφη το κρίσιμο βάθος είναι περίπου 1,4 m,
- στα πηλώδη 4 m και
- στα αργιλώδη 8 m.

ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΑΛΑΤΩΣΗ

Δευτερογενής αλάτωση, είναι η διεργασία αλάτωσης που οφείλεται στον άνθρωπο. Είναι αποτέλεσμα κυρίως άρδευσης στην ξηρή και ημίξηρη ζώνη με νερό πλούσιο σε υδατοδιαλυτά άλατα, όπου δεν λαμβάνεται πρόνοια έκπλυσης αυτών, στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

- Σε παγκόσμια κλίμακα τα εδάφη αυτά καταλαμβάνουν έκταση 77×10^7 περίπου στρέμματα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αλάτωση των εδαφών είναι συνδυασμός

1. Παρουσίας πηγών υδατοδιαλυτών αλάτων
2. Γεωμορφολογικού ανάγλυφου, που ευνοεί τη συσσώρευση αλάτων

Αλατότητα και διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων

- Υψηλές συγκεντρώσεις Na παρεμποδίζουν την πρόσληψη Ca, Mg από τις ρίζες.
- Μεγάλες συγκεντρώσεις HCO_3^- περιορίζουν τη διαθεσιμότητα Ca.

ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΛΑΤΩΝ

ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ
ΝΕΡΑ

ΑΝΕΜΟΣ

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ
ΑΝΑΓΛΥΦΟ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ
ΚΛΙΣΗ

$ET > R + I_R + I_C$

ΑΤΕΛΗΣ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ
ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ

ΠΗΓΕΣ
ΑΛΑΤΩΝ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ
ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΥΝ
ΣΤΗ ΡΟΗ

ΑΡΝΗΤΙΚΟ
ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΝΕΡΟΥ

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ
ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ
ΝΕΡΑ

ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

ΝΕΡΟ

ΜΥΖΗΣΗ

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ
ΚΛΙΣΗ

ΑΤΕΛΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ
ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ

- Salinization:

Είναι η εδαφογενετική διεργασία συγκέντρωσης διαλυτών αλάτων, στην εδαφοτομή, ιδιαίτερα ουδέτερων αλάτων του Νατρίου (κυρίως NaCl και Na₂SO₄).

Είναι η πρώτη διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά το σχηματισμό των επηρεαζόμενων από άλατα εδαφών (salt-affected soils). Εάν η διαδικασία πρόσθεσης αλάτων είναι συνεχής τότε το έδαφος γίνεται, σταδιακά, ισχυρά αλατούχο έδαφος (Solonchak).

Περιστασιακά η διεργασία του Salinization μπορεί να λαμβάνει χώρα και με άλλες διαδικασίες ή και να αντικαθίσταται από αυτές.

- Desalinization

Είναι η αντίστροφη διαδικασία της Salinization, δηλαδή η απομάκρυνση (έκπλυση) των αλάτων από την εδαφοτομή. Καθορίζεται από την βροχόπτωση και τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Αύξηση της βροχόπτωσης ή μείωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της έκπλυσης των αλάτων (desalinization) και ένα αλατούχο έδαφος, με μεγάλες ποσότητες CaCO_3 και CaSO_4 , γίνεται μη αλατούχο.

Εάν το έδαφος δεν περιέχει άλατα του CaCO_3 και CaSO_4 , η desalinization συνοδεύεται και από μία άλλη διαδικασία (alkalization), η οποία και καθορίζει το σχηματισμό ενός αλκαλιωμένου εδάφους (sodic soil).

- **Alkalinization**

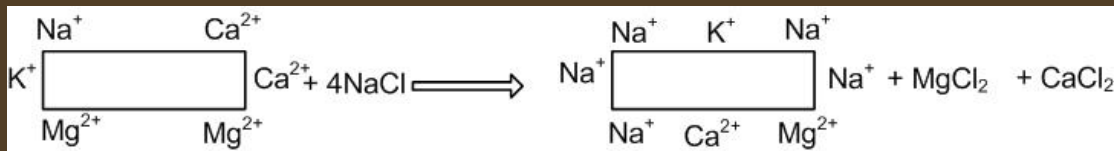
Είναι η εδαφογενετική διεργασία συγκέντρωσης αλκαλικών υδρολυομένων αλάτων στην εδαφοτομή ή η σχετική αύξηση του επί τοις % ποσοστού του ανταλλαξιμού Na στο έδαφος, με αποτέλεσμα τη δραστική αύξηση του pH.

Από τα άλατα αυτά τα σημαντικότερα είναι τα άλατα του Na που υπόκεινται σε υδρόλυση (NaHCO_3 , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3). Η παρουσία τους ακόμη και σε μικρές ποσότητες στο εδαφοδιάλυμα έχει σαν αποτέλεσμα υψηλές τιμές pH (pH > 8.5 συνήθως 9-10)

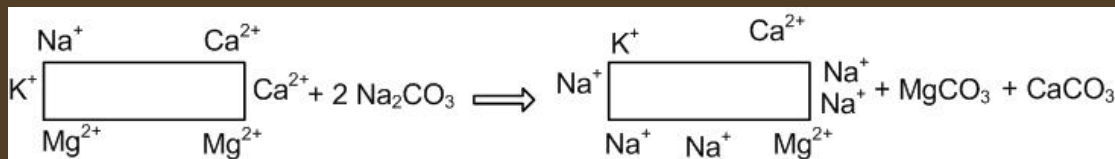
- Alkanization:

Διαδικασία αύξησης του ανταλλαξιμού Na στα εδάφη.

- Τα κυριότερα ανταλλάξιμα κατιόντα των κολλοειδών του εδάφους είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Όταν αυξάνεται η συγκέντρωση διαλυτών αλάτων νατρίου (Na) στο έδαφος, το Na^+ γίνεται συχνά το κυριότερο ανταλλάξιμο κατιόν, αντικαθιστώντας ένα μεγάλο μέρος των ανταλλαξιμων Ca^{2+} και Mg^{2+} , σύμφωνα με την αντίδραση:



- Η αντικατάσταση είναι πολύ γρήγορη, όταν τα διαλυτά άλατα είναι άλατα του Na. Πολλές φορές οι διαδικασίες alkalinization και alkalization λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα.



- Dealcanization

Διαδικασία αντικατάστασης του Na στα εδαφικά κολλοειδή από H.

Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα με έκπλυση των νατριωμένων εδαφών, έως του σημείου όπου το σύμπλοκο του εδαφικού κολλοειδούς είναι ασταθές. Η αντικατάσταση του Na από H συνοδεύεται και από υποβάθμιση (degradation) του εδαφικού συμπλόκου.

Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η συγκέντρωση άμορφου SiO_2 στην επιφάνεια. Αυτή είναι η τυπική διαδικασία σχηματισμού εδαφών solod.

- Resalinization

Η διαδικασία αυτή ακολουθεί μία προηγούμενη διαδικασία desalinization.

Παρατηρείται όταν η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα ενός εδάφους solod αυξηθεί, προκαλώντας έτσι τριχοειδή ανύψωση των διαλυτών αλάτων.

**ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
ΑΛΑΤΩΣΗΣ - ΑΛΚΑΛΙΩΣΗΣ**

SALINIZATION
Είναι η εδαφογενετική διεργασία συγκέντρωσης διαλυτών αλάτων, στην εδαφοτομή, ιδιαίτερα ουδέτερων αλάτων του Νατρίου (κυρίως NaCl και Na₂SO₄)

DESALINAZATION
Είναι η αντίστροφη διαδικασία της Salinization, δηλαδή η απομάκρυνση (έκπλυση) των αλάτων από την εδαφοτομή. Καθορίζεται από την βροχόπτωση και τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα

ALKALINIZATION
Εδαφογενετική διεργασία συγκέντρωσης αλκαλικών υδρολυομένων αλάτων στην εδαφοτομή ή η σχετική αύξηση του επί τοις % ποσοστού του ανταλλαξιμού Na στο έδαφος, με αποτέλεσμα τη δραστική αύξηση του pH

ALKANIZATION
Διαδικασία αύξησης του ανταλλαξιμού Na στα εδάφη.

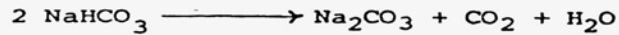
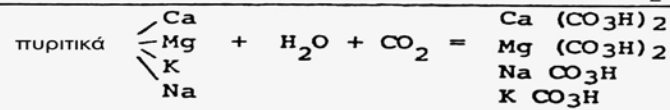
DEALKANIZATION
Διαδικασία αντικατάστασης του Na στα εδαφικά κolloειδή από H

RESALINIZATION
Η διαδικασία αυτή ακολουθεί μία προηγούμενη διαδικασία desalinization.

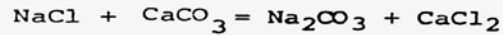
<p>1. Salinization</p>	<p style="text-align: center;">↑</p> $\frac{\text{Na Cl}}{\text{Ca SO}_4}$ $\frac{\text{Ca CO}_3}{\text{Ca CO}_3}$
<p>2. Desalinization</p>	<p style="text-align: center;">↓</p> $\frac{\text{Ca CO}_3}{\text{Ca SO}_4}$ $\frac{\text{Na Cl}}{\text{Na Cl}}$
<p>3. Alkalinization</p>	<p style="text-align: center;">↗</p> $\frac{\text{Na}_2 \text{ CO}_3}{\text{Na Cl}}$ $\frac{\text{Ca CO}_3}{\text{Ca CO}_3}$
<p>4. Alkanization</p>	$\text{Soil} \left[\begin{array}{c} \text{Mg} \\ \text{Ca} \\ \text{K} \end{array} \right] + 2 \text{Na Cl} \rightarrow \text{Ca Cl}_2 + \text{Na} \left[\begin{array}{c} \text{Mg} \\ \text{Na} \\ \text{K} \end{array} \right] \text{Soil}$
<p>5. Dealkanization</p>	$\text{Soil} \left[\begin{array}{c} \text{Mg} \\ \text{Na} \\ \text{Na} \\ \text{Na} \\ \text{K} \end{array} \right] + \text{H}_2 \text{ CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2 \text{ CO}_3 + \text{H} \left[\begin{array}{c} \text{Mg} \\ \text{H} \\ \text{K Na} \end{array} \right] \text{Soil}$
<p>6. Resalinization</p>	$\frac{\text{Na Cl}}{\text{Ca SO}_4}$ $\frac{\text{Ca CO}_3}{\text{Ca CO}_3}$

U. S. Salinity Laboratory	Eastern Europe	7TH APPROXIMATION			USSR
		Order	Suborder	Great Group	
<u>SALINE</u> ECe > 4 mmho ESP < 15 pH < 8.5	Solonchak and Salinized Soils	Aridisols	Orthids	Salorthids	Solonchak
<u>SALINE-SODIC</u> ECe > 4 mmho ESP > 15 pH ≤ 8.5	Solonetz-Solonchak and Solonetz without B Horizon	Mollisols Inceptisols	Ustolls Aquepts	Salorthidic-Calciustols Salorthidic-Haplustols Halaouedts	Solonetz-Solonchak
<u>NONSALINE-SODIC</u> ECe < 4 mmho ESP > 15 pH ~	Solonetz with B Horizon	Aridisols Alfisols	Argids Boralfs Udalfs Ustalfs Xeralfs	Nadurargids Natrargids Natriboralfs Natrudalfs Natrustalfs Natrixeralfs	Solonetz (arid and semiarid zones)
		Mollisols Alfisols	Albols Borals Ustolls Xerolls Aqualfs Aqualfs	Natralbolls Natriborals Natriustolls Natrixerolls Natraquolls Natraqualfs	Solonetz (prairies and meadows) Soloos

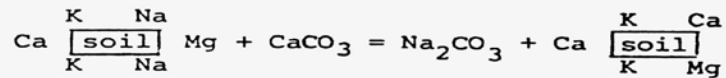
1. Αντιδράσεις μεταξύ υδρολυομένων πυριτικών ορυκτών και CO₂



2. Αντιδράσεις μεταξύ αλάτων - Na και CaCO₃



3. Αντικατάσταση αντ. Na από H και Ca



4. Αποσύνθεση φυτικών υπολειμμάτων που περιέχουν Na

5. Βιολογική αναγωγή του Na₂SO₄ σε Na₂S

I. Μικροοργανισμοί του εδάφους (αναερόβιοι, χλωρή οργανική ουσία)

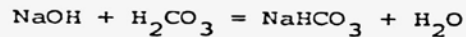


c. χρήση οργανικής ουσίας σαν πηγή ενέργειας και απελευθέρωση CO₂

II. Υδρόλυση σουλφιδίων σε υδροξειδία



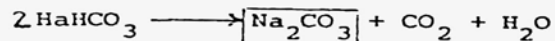
III. Αντίδραση υδροξειδίων με H₂CO₃



IV. Αντίδραση H₂S με Fe⁺⁺



V. Με συμπήκνωση



ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ – ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

- Τα αλατούχα εδάφη ανήκουν στην τάξη των Aridisols, έστω και αν δεν έχουν καθεστώς εδαφικής υγρασίας aridic. Διαγνωστικός ορίζοντας είναι ο Salic (αλατούχος) ορίζοντας.

Salic ορίζοντας είναι ο ορίζοντας που παρουσιάζει συσσώρευση αλάτων. Έχει πάχος μεγαλύτερο από 15 cm και για 90 συνεχείς ημέρες για 6 ή περισσότερο από 10 χρόνια παρουσιάζει:

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα εκχυλίσματος κορεσμού μεγαλύτερη από 3 S m^{-1} .
- Το γινόμενο της αγωγιμότητας επί το πάχος του ορίζοντα είναι μεγαλύτερο από 900.
- Η υπόταξη των αλατούχων εδαφών είναι τα **Salids** και υποδιαιρείται στις εξής μεγάλες
- **Aquisalids**, εδάφη είναι κορεσμένα με νερό για χρονική περίοδο μεγαλύτερη του μήνα
- **Haplosalids**, εδάφη καλώς αποστραγγιζόμενα

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

ARIDISOLS

SALIDS

AQUISALIDS

Typic

Calcic

Gypsic

HAPLOSALIDS

Typic

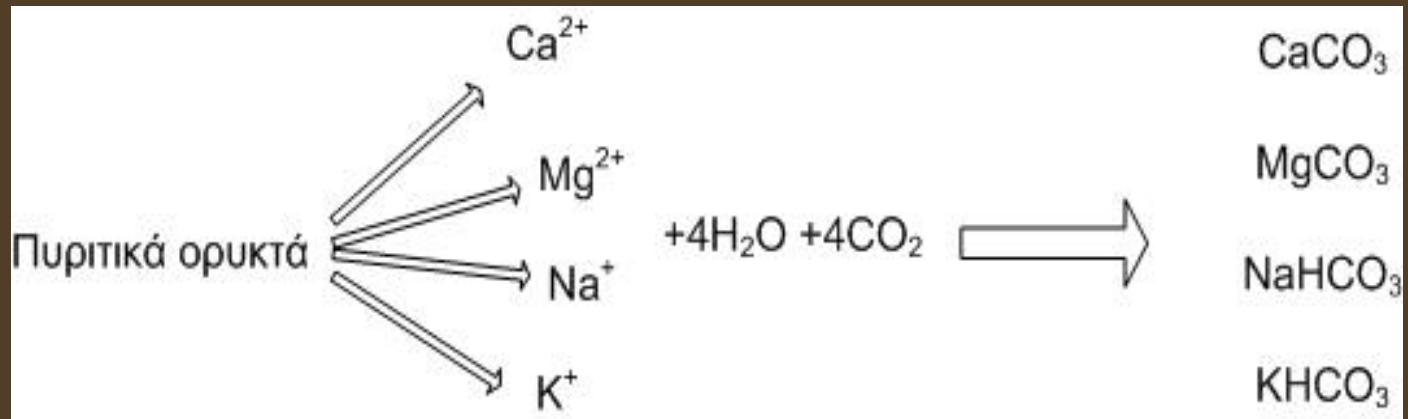
Calcic

Petrogypsic

Gypsic

Duric

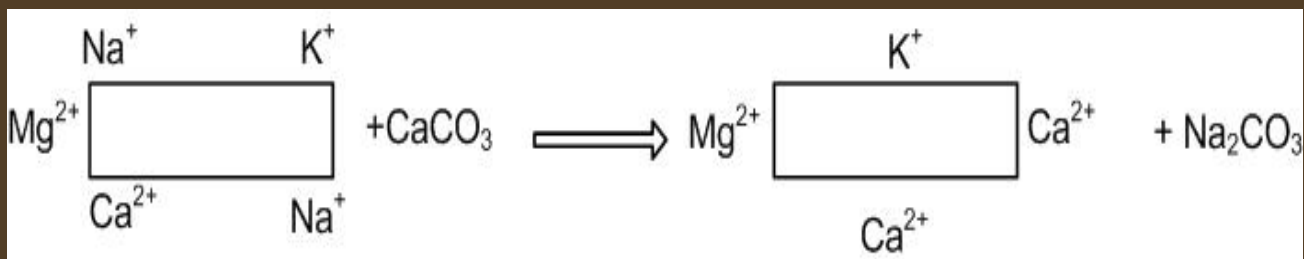
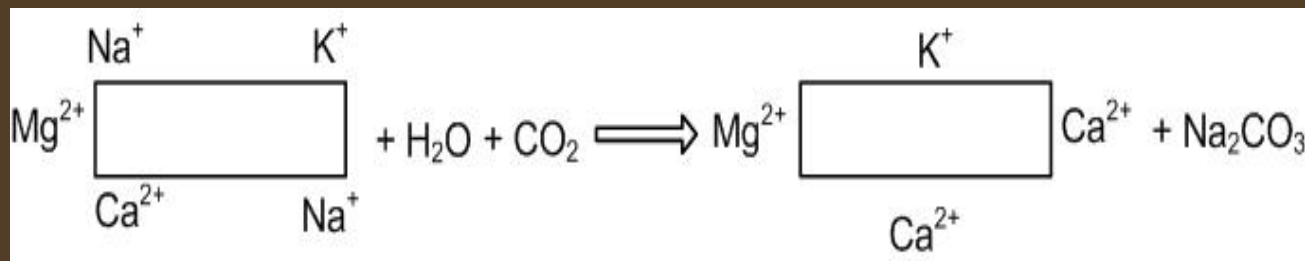
- Η διεργασία της alkalization (ο σχηματισμός αλάτων Na_2CO_3 και NaHCO_3 , που έχει σαν αποτέλεσμα δραστική αύξηση του pH), είναι απαραίτητα για το σχηματισμό νατριωμένων εδαφών (sodic soils). Ο σχηματισμός Na_2CO_3 και ως εκ τούτου sodic soils μπορεί να είναι αποτέλεσμα :
- 1. Αντίδρασης μεταξύ υδρολυομένων πυριτικών αλάτων και CO_2 , όπου απελευθερώνονται Ca, Mg, K, Na και σχηματίζεται HCO_3^- . Εξάτμιση του διαλύματος που προκύπτει, έχει σαν αποτέλεσμα την κατακρήμνιση του CaCO_3 και MgCO_3 , ενώ αυξάνεται βαθμιαία η συγκέντρωση του NaHCO_3 , οπότε με απώλεια CO_2 (αέριο) και H_2O μετατρέπεται σε Na_2CO_3



- 2. Αντίδραση μεταξύ ουδέτερων αλάτων του Na και CaCO_3 .



- 3. Αντικατάσταση του ανταλλαξιμού Na^+ από H^+ ή Ca^{2+}

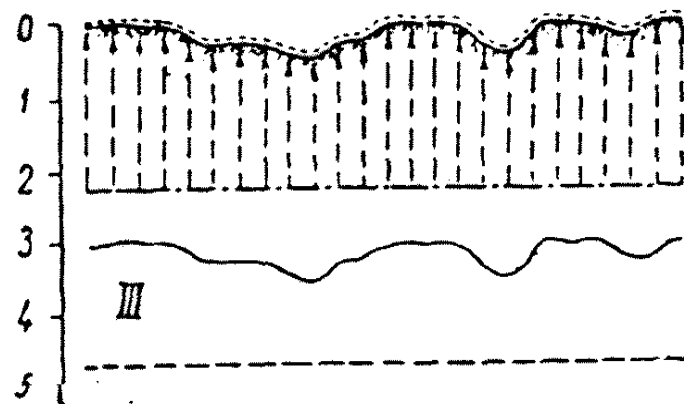
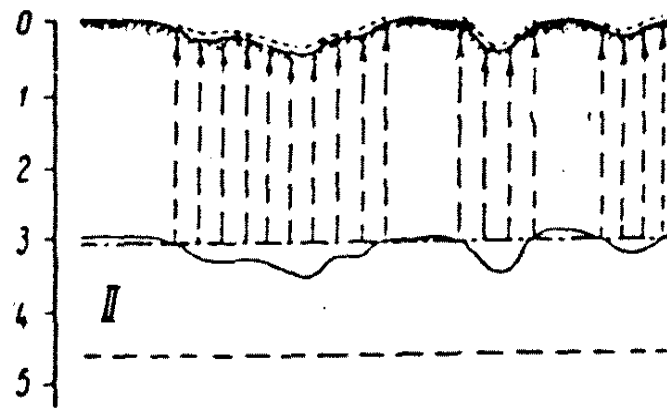
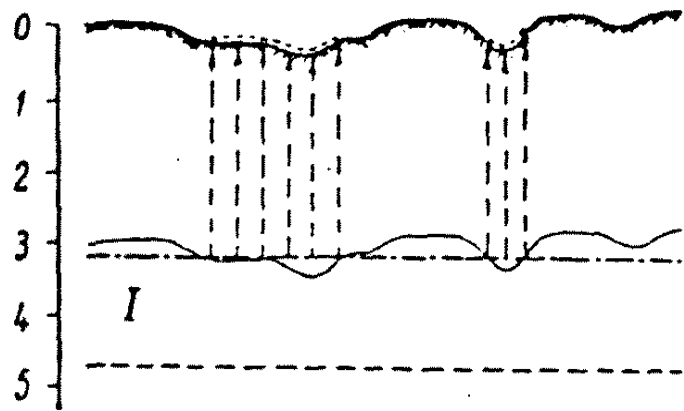


- 4. Αποσύνθεσης φυτικών υπολειμμάτων που περιέχουν Na.
- 5. Βιολογικής αναγωγής του Na_2SO_4 σε Na_2S και της αντίδρασης που ακολουθεί μεταξύ Na_2S και carbonated water.

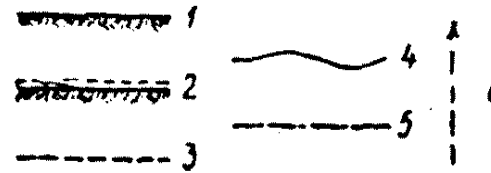






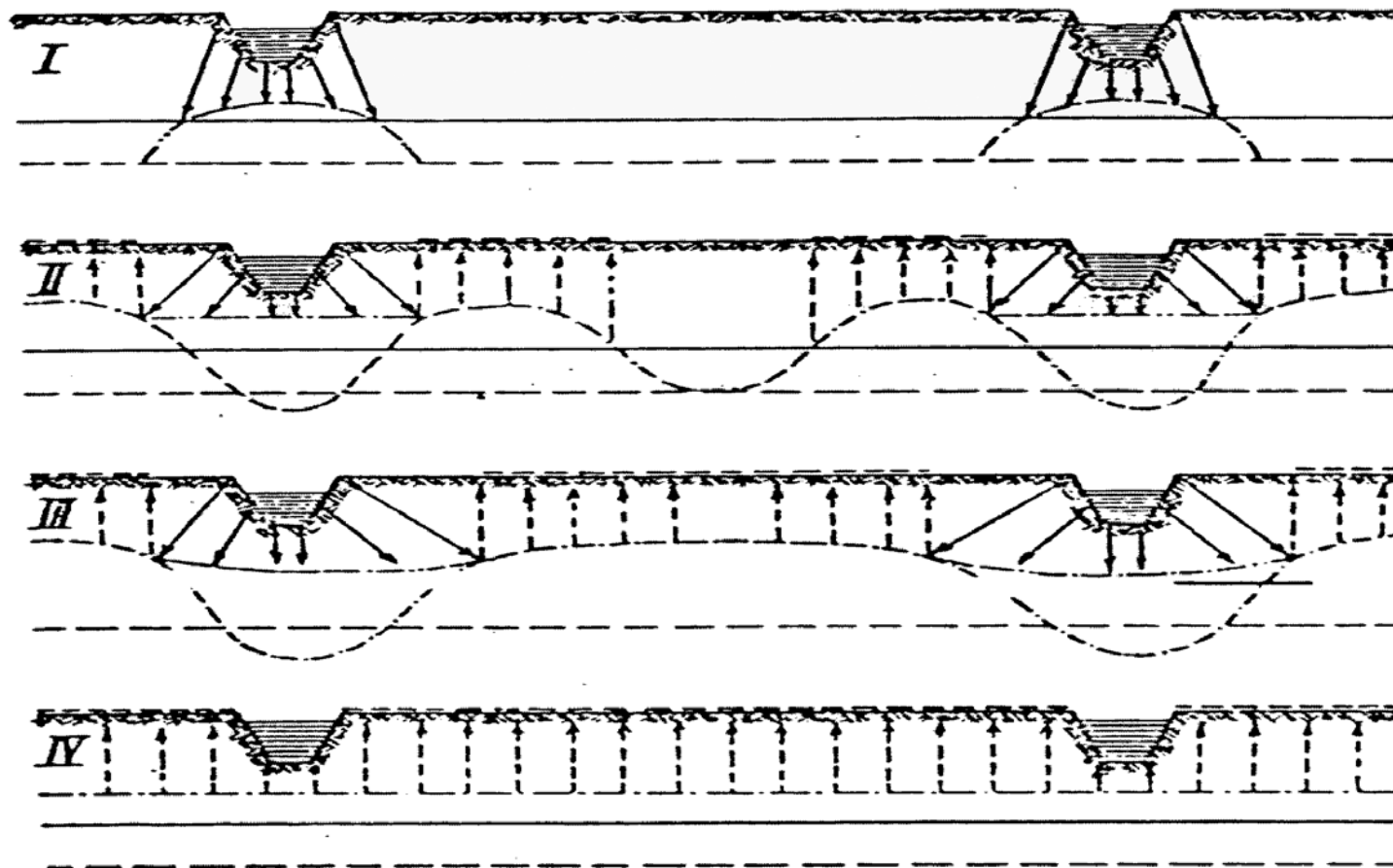


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

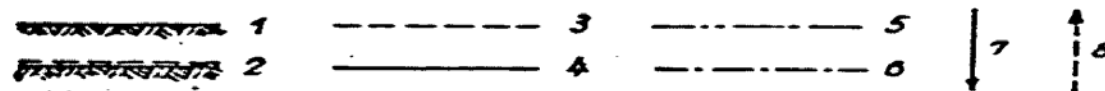


I, II, III ΣΤΑΔΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΩΣΗΣ

1. Μή αλατούχο έδαφος
2. Αλατούχο έδαφος
3. Βάθος υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα πριν την άρδευση
4. Κρίσιμο βάθος
5. Βάθος υδροφόρου ορίζοντα μετά την άρδευση
6. Τριχοειδής ανύψωση

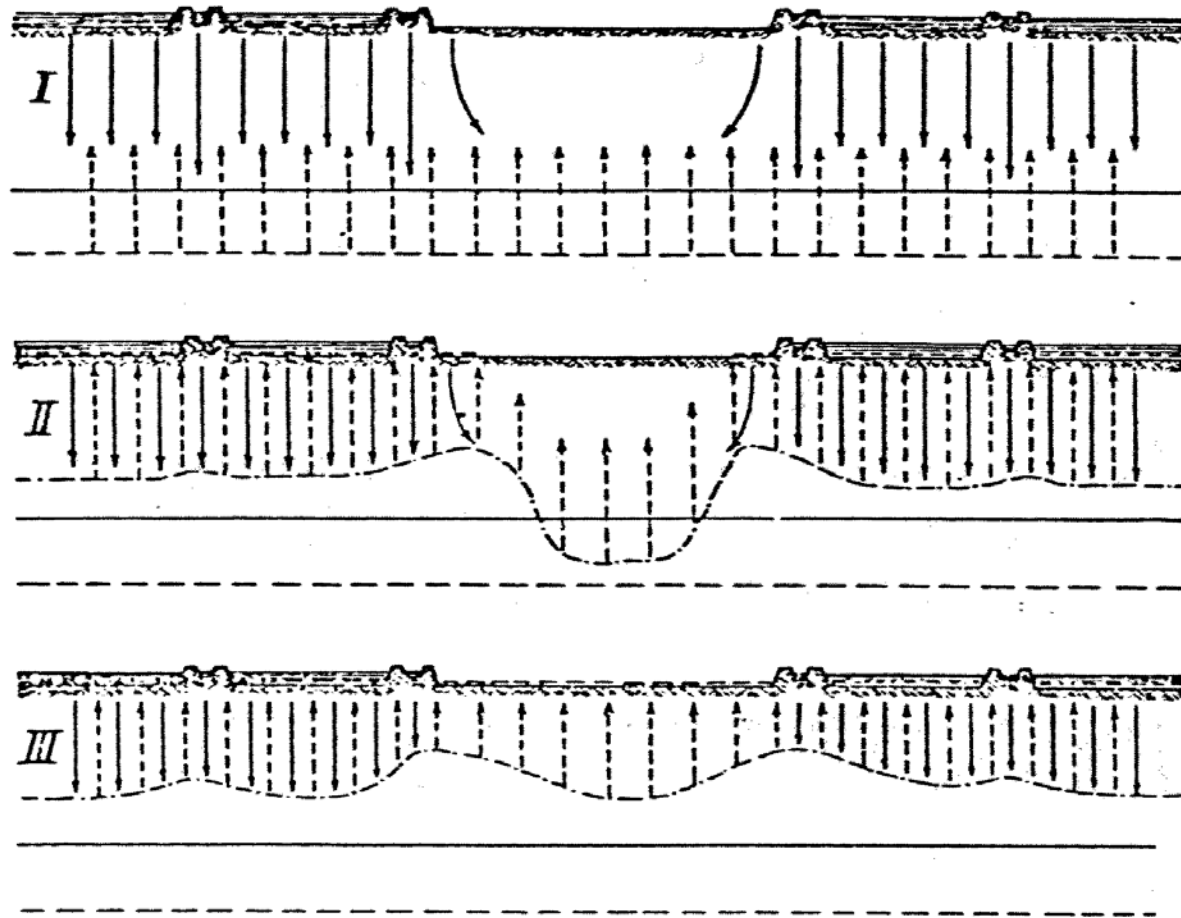


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

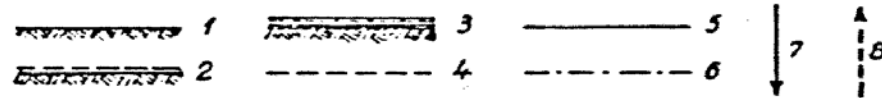


ii, II, III ΣΤΑΔΙΑ ΑΛΑΤΩΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

1. Μη αλατούχο έδαφος 2. Αλατούχο έδαφος 3. Βάθος υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα πριν την άρδευση 4. Κρίσιμο βάθος 5. Βάθος υδροφόρου ορίζοντα κάτω από τα κανάλια άρδευσης 6. Βάθος υδροφόρου μετά την άρδευση 7. Διήθηση 8. Τριχοειδής ανύψωση νερού

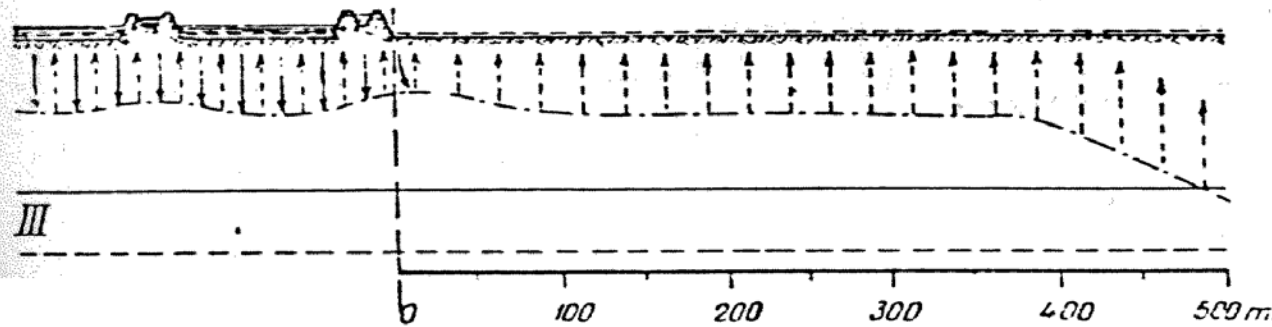
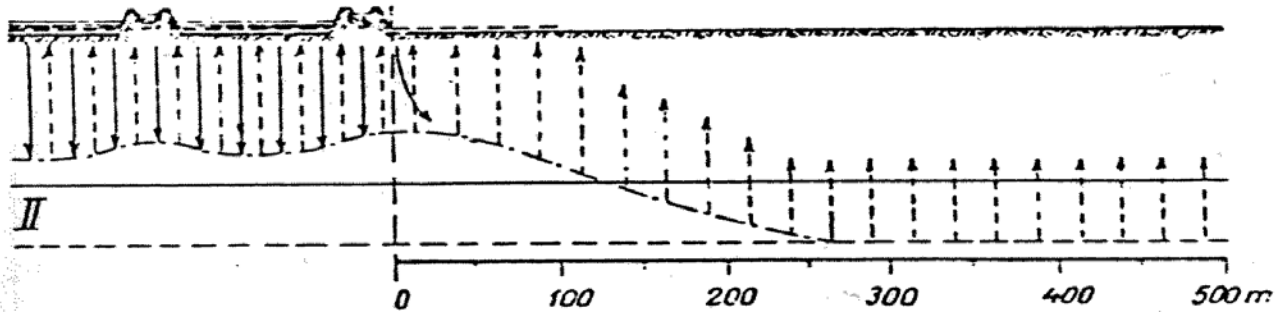
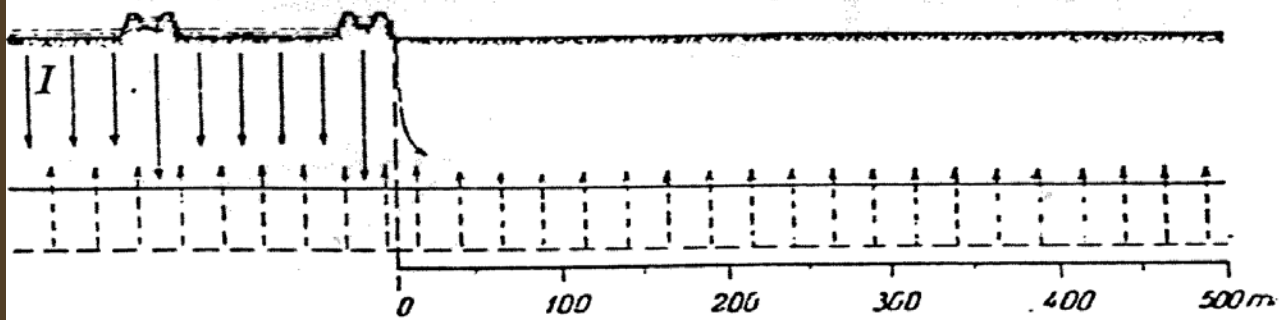


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

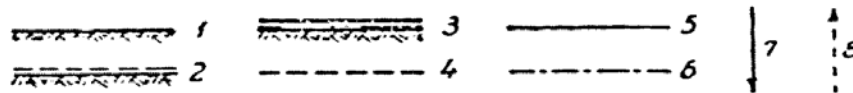


I, II, III ΣΤΑΔΙΑ ΑΛΑΤΩΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

1.. Μη αλατούχο έδαφος 2. Αλατούχο έδαφος 3. Νερό άρδευσης 4. Βάθος υδροφόρου ορίζοντα πριν την άρδευση 5. Κρίσιμο βάθος 6. Βάθος υδροφόρου ορίζοντα μετά την άρδευση 7. Διήθηση 8. Τριχοειδής ανύψωση νερού

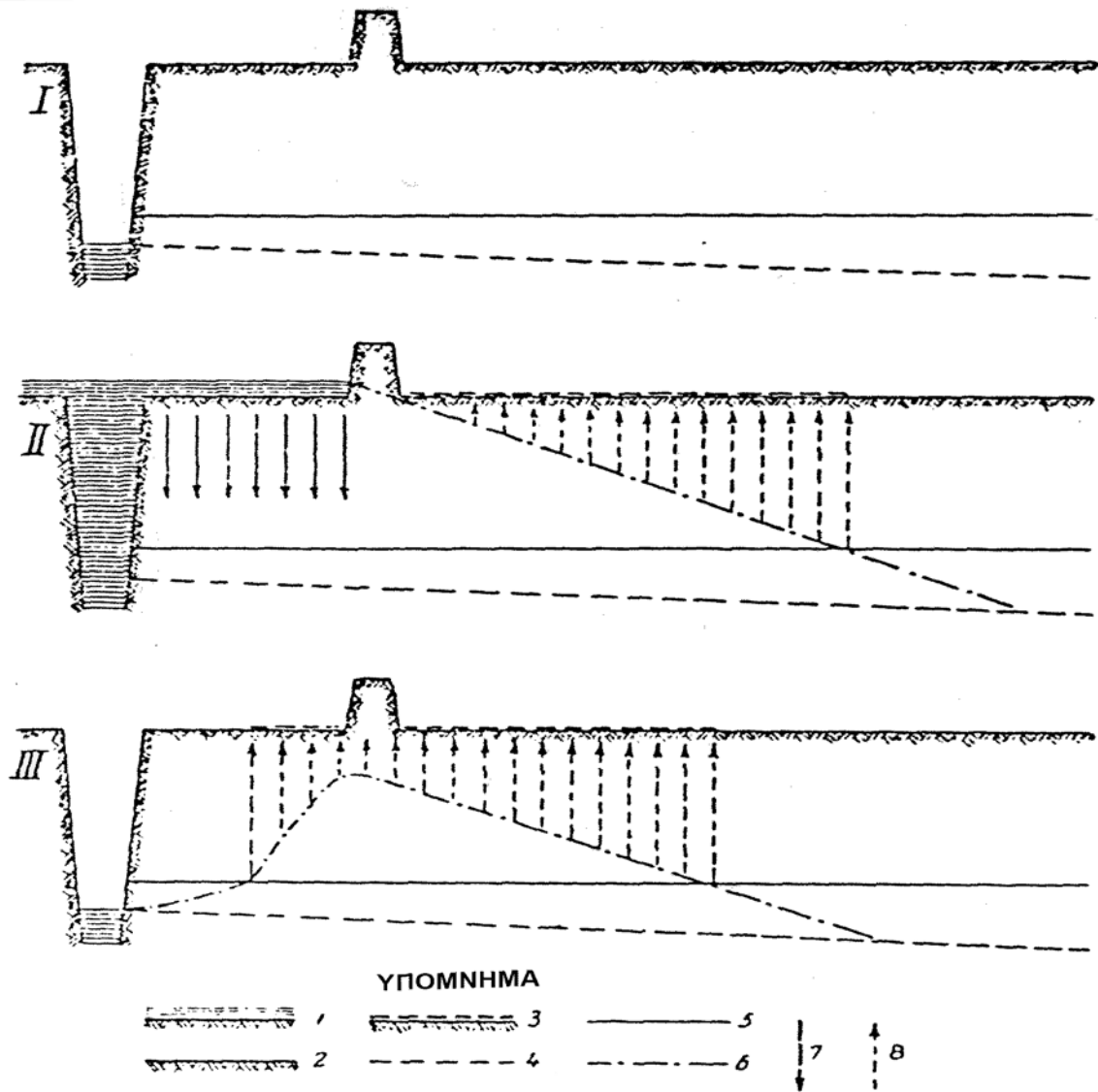


ΥΠΟΜΝΗΜΑ



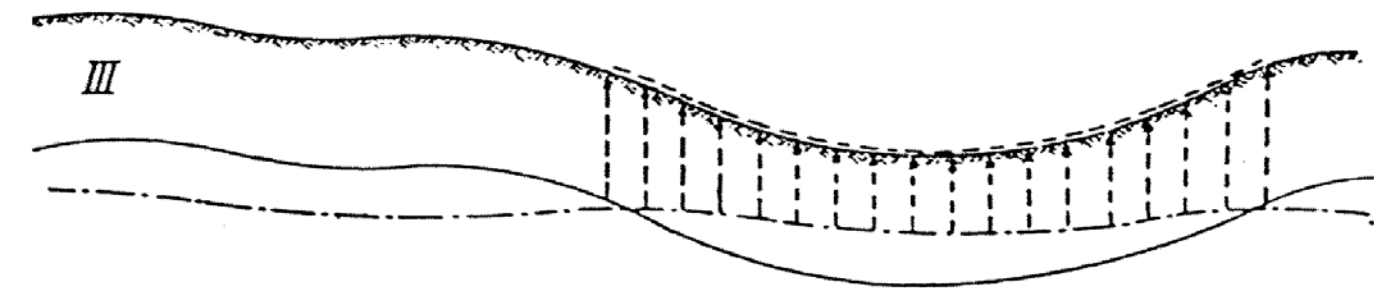
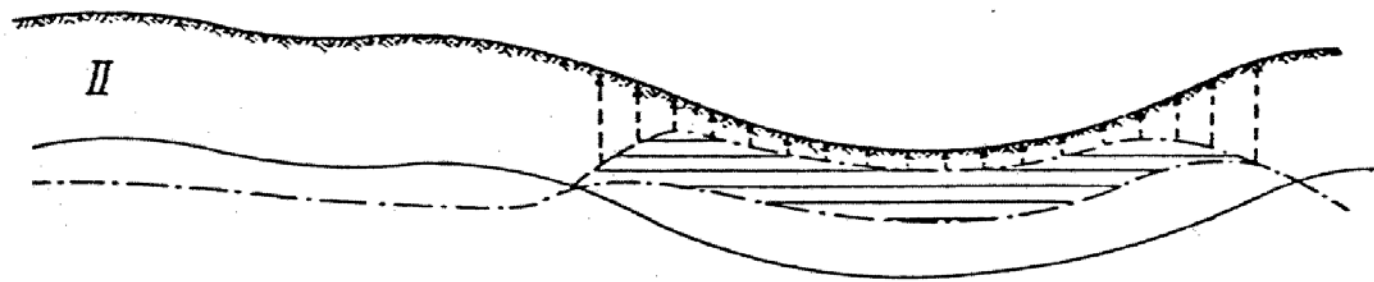
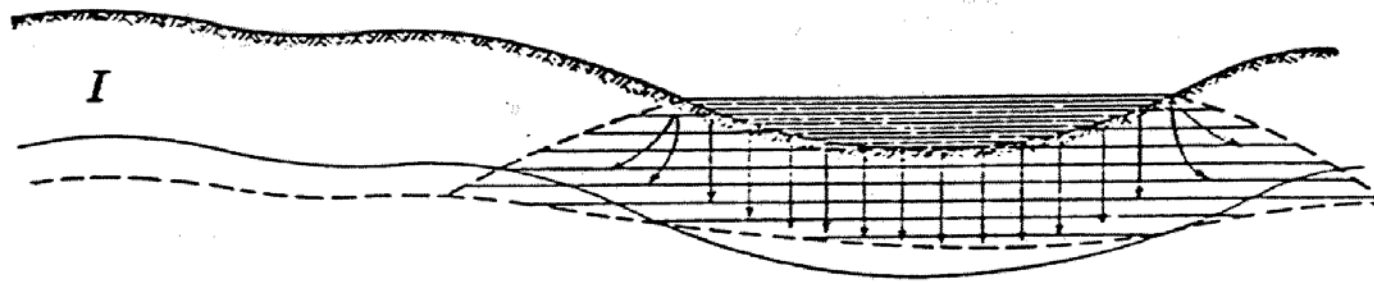
i, ii, iii ΣΤΑΔΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΩΣΗΣ

1. Μη αλατούχο έδαφος
2. Αλατούχο έδαφος
3. Νερό άρδευσης
4. Βάθος υπόγειου νερού πριν την άρδευση
5. Κρίσιμη βάθος
6. Βάθος υπόγειου νερού μετά την άρδευση
7. Διήθηση
8. Τριχοειδής ανύψωση

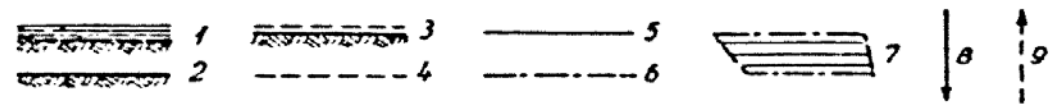


i, ii, iii ΣΤΑΔΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΩΣΗΣ

- 1. Νερό κατάκλισης 2. Μη αλατούχο έδαφος 3. Αλατούχο έδαφος
- 4. Βάθος υπόγειου νερού πριν την κατάκλιση 5, Κρίσιμι βάθος
- 6. Βάθος υπόγειου νερού μετά την κατάκλιση
- 7. Διήθηση 8. Τριχοειδής ανύψωση

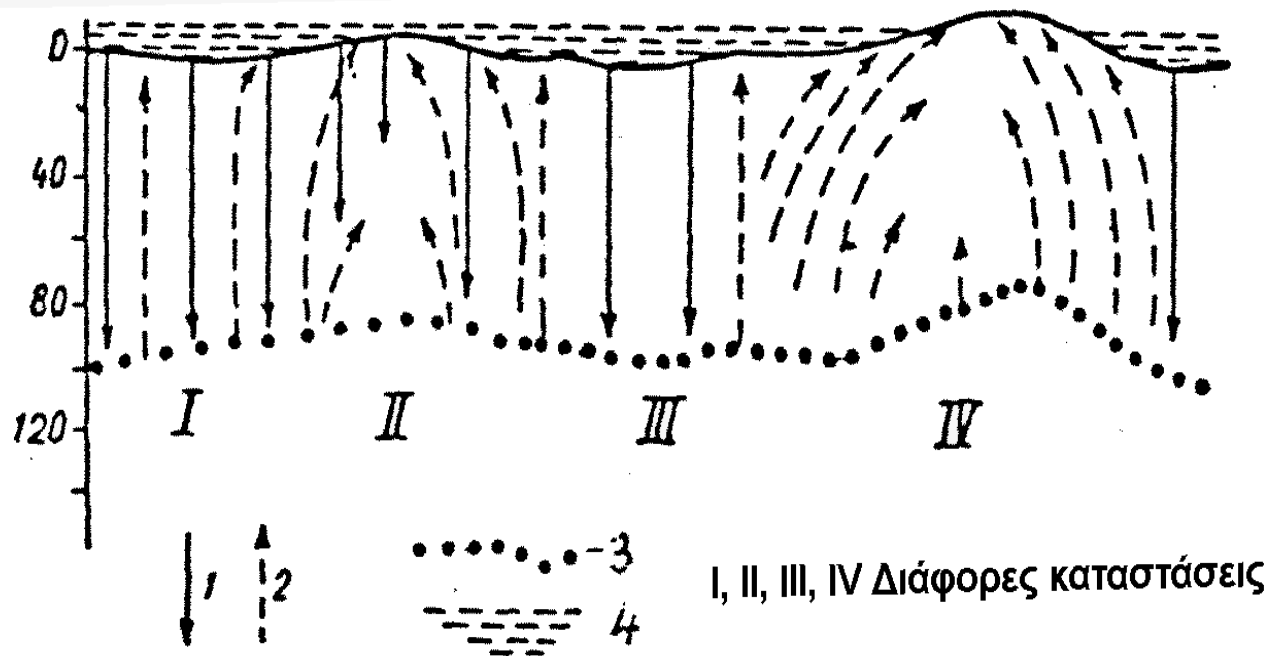


ΥΠΟΜΝΗΜΑ



i, ii, iii ΣΤΑΔΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΩΣΗΣ

1. Νερό κατάκλισης
2. Μη αλατούχο έδαφος
3. Αλατούχο έδαφος
4. Βάθος υπόγειου νερού πριν την κατάκλιση
5. Κρίσιμη βάθος
6. Βάθος υπόγειου νερού μετά την κατάκλιση
7. Μη αλατούχο νερό μετά την άρδευση ή την κατάκλιση
8. Διήθηση
9. Τριχοειδής ανύψωση



1. Διήθηση 2. Τριχοειδής ανύψωση νερού άρδευσης

3. Μέτωπο αλάτων 4. Νερό άρδευσης

Αλκαλιωμένα εδάφη

- Επηρεάζονται αρνητικά από την υπερβολική παρουσία αντ. Na
- Χαρακτηρισμός: Έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα πάστας κορεσμού (ECe) <4 dS/m και ESP $>15\%$.
- Επομένως για να χαρακτηρίσουμε ένα έδαφος αλκαλιωμένο, πρέπει να γνωρίζουμε την EC, το αντ. Na, και την I.A.K..



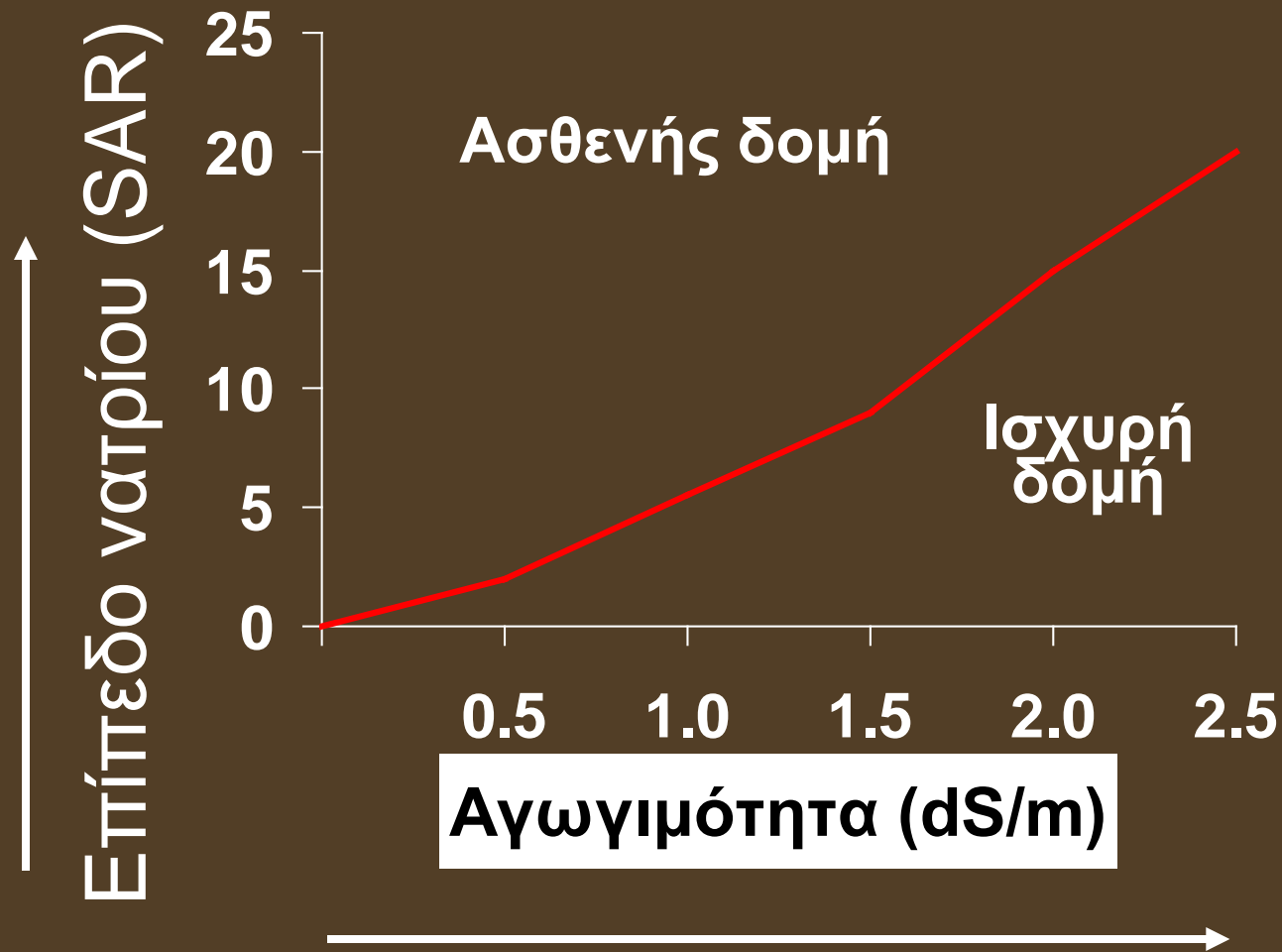
Ιδιότητες αλκαλιωμένων εδαφών

- Τα αλκαλιωμένα εδάφη :
 - Είναι ασθενώς θρομβωμένα (η παρουσία νατρίου διασπείρει την άργιλο)
 - Έχουν μικρές τιμές ταχύτητας διήθησης
 - Έχουν τιμές pH 8,4 και μεγαλύτερες . Αυτό οφείλεται στην παρουσία διαλυτού Na_2CO_3 .

Αλατούχα – Αλκαλιωμένα εδάφη

- Χαρακτηρισμός: Έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα πάστας κορεσμού (ECe) >4 dS/m και ESP $>15\%$.
- Επομένως για να χαρακτηρίσουμε ένα έδαφος σαν αλατούχο- αλκαλιωμένο πρέπει να γνωρίζουμε την EC, το αντ. Na, και την I.A.K..

Τα άλατα επηρεάζουν την δομή των εδαφών



Κίνδυνοι από την παρουσία αλάτων και αντ. νατρίου

- Η αλατότητα είναι επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών.
 - Τα περισσότερα φυτά, ειδικότερα οι ετήσιες καλλιέργειες, είναι ευαίσθητα στα άλατα.
 - Οι ιδιότητες των εδαφών μπορεί όμως να βελτιωθούν από την παρουσία αλάτων (θρόμβωση).
- Το νάτριο είναι επιβλαβές για τα φυτά και τα εδάφη
 - Το νάτριο δημιουργεί στα εδάφη ανεπιθύμητες φυσικές και χημικές ιδιότητες και μπορεί να προκαλέσει και τοξικότητα στα φυτά.
- Αλκαλικό pH (κυρίως στα εδάφη με υψηλές τιμές αντ. νατρίου), μπορεί να περιορίσει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά.

Επίδραση αλάτων στα φυτά

- Η παρουσία αλάτων προκαλεί μείωση του οσμωτικού δυναμικού και το νερό καθίσταται λιγότερο διαθέσιμο στα φυτά.
- Μερικά υδατοδιαλυτά άλατα έχουν τοξική επίδραση στα φυτά, όπως τα:
 - Na^+ , Cl^- , H_3BO_3





Αλκαλικά εδάφη και διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων

- $\text{pH} > 7.5$
- Η αλκαλικότητα συνοδεύεται με:
 - Νατριωμένα εδάφη
 - Ασβεστούχα εδάφη
 - Εδάφη πλούσια σε διαλυτά ανθρακικά άλατα
- Τα αλατούχα εδάφη μπορεί να είναι ή να μην είναι αλκαλικά.

Αλκαλικά εδάφη και διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων

- Ειδικές επιδράσεις:
 - Αυξανόμενου του pH η AEC μειώνεται, ενώ η CEC αυξάνεται.
 - Άζωτο: αυξανόμενου του pH, αυξάνεται η εξαέρωση της NH_3 .
 - Φώσφορος: Η διαθεσιμότητα του P μειώνεται σε $\text{pH} > 6$ λόγω των αντιδράσεων Ca-P και σχηματισμού αδιαλύτων ενώσεων.
 - Fe, Mn, Cu, Zn: η διαλυτότητα των στοιχείων αυτών μειώνεται 10-100 φορές για κάθε μονάδα αύξησης του pH.
 - B: μειώνεται η διαθεσιμότητα σε $\text{pH} > 7$.

1. → Δίδονται πέντε εδάφη με τα εξής χαρακτηριστικά. ¶

α	ΙΑΚα	αντ. Κα	αντ. Ναα	αντ. Καα	αντ. Μγα	ΕCεα	Φ.Ε.Παα
α	meg /·100·g·εδάφουςα					mS/cmα	Mg/m ³ α
Αα	20,0α	0,8α	0,1α	11,0α	1,0α	0,5α	1,4α
Βα	40,0α	0,5α	10,5α	20,0α	9,0α	16,7α	1,2α
Γα	17,0α	1,4α	0,3α	13,3α	2,0α	12,0α	1,4α
Δα	17,4α	0,4α	0,5α	12,7α	4,0α	0,81α	1,5α
Εα	18,0α	0,5α	10,1α	4,0α	0,8α	0,5α	1,5α
β	ΙΑΚα	αντ. Κα	αντ. Ναα	αντ. Καα	αντ. Μγα	ΕCεα	Φ.Ε.Παα
α	meg /·100·g·εδάφουςα					mS/cmα	Mg/m ³ α
Αα	20,0α	0,8α	0,1α	11,0α	1,0α	0,5α	1,4α
Βα	40,0α	0,5α	10,5α	20,0α	9,0α	16,7α	1,2α
Γα	17,0α	1,4α	0,3α	13,3α	2,0α	12,0α	1,4α
Δα	17,4α	0,4α	0,5α	12,7α	4,0α	0,81α	1,5α
Εα	18,0α	0,5α	10,1α	4,0α	0,8α	0,5α	1,5α

¶
Ζητούνται¶

➤ → Να εκτιμηθούν οι τιμές του pH των εδαφών και να χαρακτηρισθούν τα εδάφη. ¶

➤ → Σε περίπτωση που κάποιο από τα εδάφη είναι αλκαλιωμένο, να υπολογισθεί η απαιτούμενη ποσότητα γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), καθαρότητας 90% που απαιτείται για να κατέβει η ποσότητα του ανταλλάξιμου Na (ESP) στο 5%, για βάθος εδάφους 20 cm. (ΑΒ:Ca=40, S=32, O=16, Na=23) ¶