

# Υποβάθμιση εδαφών = Ερημοποίηση

Ερημοποίηση είναι η διαδικασία υποβάθμισης της γης στις ξηρές ή ημίξηρες περιοχές όπου οικοσυστήματα υποβαθμίζονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως:

## ΑΙΤΙΑ

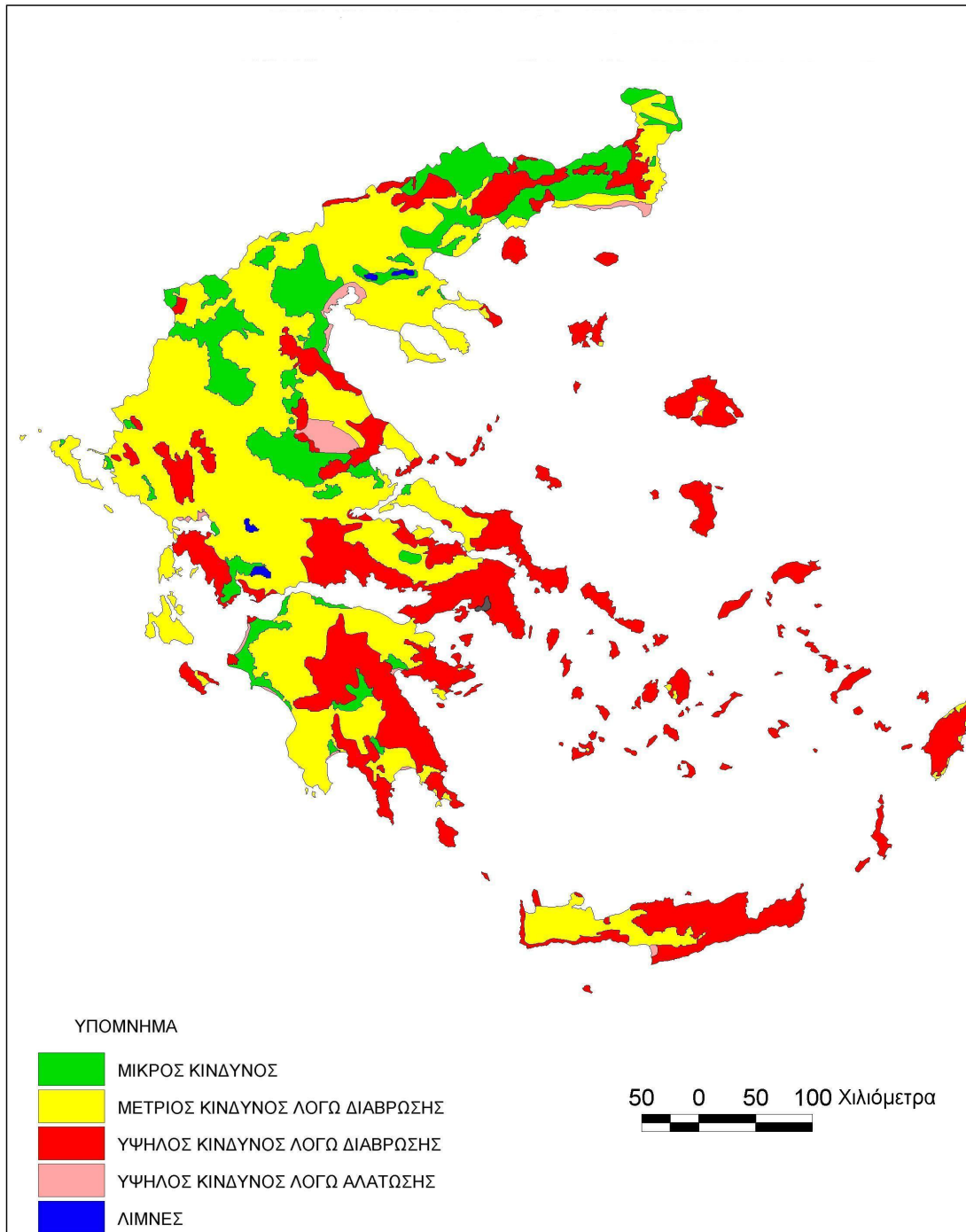
- διάβρωση,
- αλάτωση,
- αποψίλωση των δασικών εκτάσεων,
- υπερβόσκηση,
- εντατική καλλιέργεια,
- πλημμύρες

## ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

- επιδείνωση της ξηρασίας,
- ερήμωση της υπαίθρου και περιβαλλοντική μετανάσταση,
- εισαγωγές γεωργικών/κτηνοτροφικών προϊόντων (με συνέπεια την εξάρτηση),
- έλλειψη τροφίμων (με συνέπεια την πείνα)

# Ερημοποίηση

**35%** του ελλαδικού χώρου αντιμετωπίζει υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης, ενώ άλλο **35%** αντιμετωπίζει μέτριο κίνδυνο ερημοποίησης  
([βλέπε video Dry\\_land\\_documentary.mp4](#))



# Παράδειγμα υποβάθμισης εδαφών: Αλάτωση

Η συσσώρευση αλάτων (π.χ. χλωριούχο νάτριο) στην επιφάνεια του εδάφους.

Η αλάτωση μειώνει την προσρόφηση νερού από τις καλλιέργειες, και τελικά θανατώνει τα φυτά και καταστρέφει τη γη.



Επέρχεται λόγω:

- Νερού άρδευσης (ποιότητας και επέκτασης αρδεύσεων)
- Γεωγραφικής ή τοπογραφικής θέσης (δέλτα, χαμηλά σημεία, εδάφη μικρής διαπερατότητας)

# Μέτρα προστασίας από αλάτωση

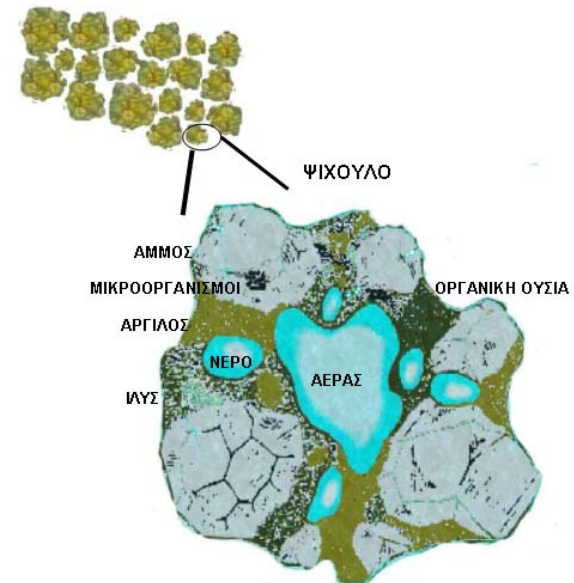
- ✓ Απόπλυση αλάτων από το έδαφος με τη χορήγηση περισσότερου νερού με χαμηλά άλατα.
- ✓ Συχνότερη άρδευση κατά τις νυκτερινές ή πρώτες πρωινές ώρες και όχι κατά τη διάρκεια της ημέρας με υψηλό κίνδυνο εξάτμισης.
- ✓ Χρήση ανθεκτικών στα άλατα καλλιεργειών (π.χ. βαμβάκι, ζαχαρότευτλα, σπαράγγι).
- ✓ Το αλατωμένο έδαφος αφήνεται σε αγρανάπαυση για 2-5 χρόνια και τοποθετούνται υπόγεια αποστραγγιστικά και παράλληλη άρδευση με μεγάλες ποσότητες νερού με χαμηλά άλατα.

# Έδαφος-Νερό-Φυτό

## Τι είναι το έδαφος

Το **έδαφος** είναι ένα σύνθετο μείγμα από διαβρωμένα πετρώματα (άμμο, ιλύ και άργιλλο), νερό, αέρα, όπως επίσης θρεπτικά στοιχεία και οργανική ύλη σε αποσύνθεση.

ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

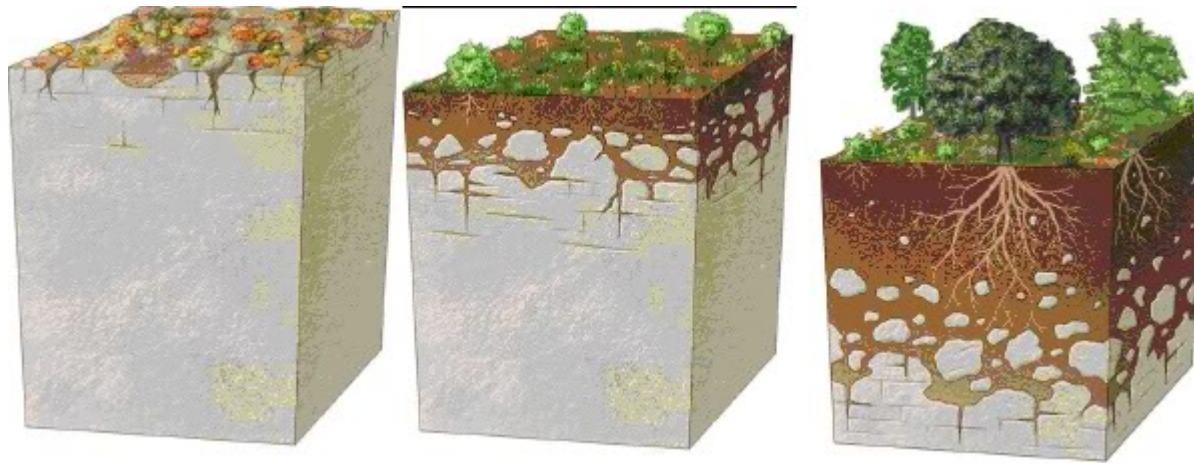


**Εδαφογένεση** είναι η δημιουργία του εδάφους από τα μητρικά υλικά (πυριγενή, ιζηματογενή, μεταμορφωσιγενή) ως αποτέλεσμα της επίδρασης

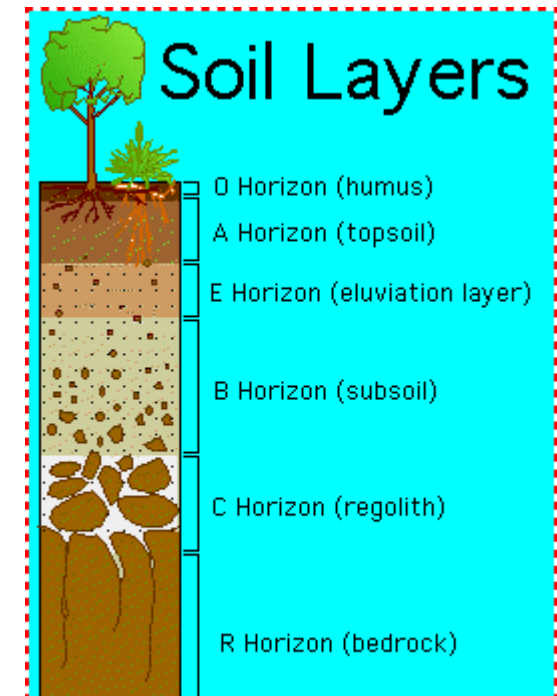
- του κλίματος,
- του ανάγλυφου,
- της βλάστησης, και
- των μικροοργανισμών.

# Τι είναι το έδαφος

**Εδαφογένεση** είναι μια αργή διαδικασία. Π.χ. για τη δημιουργία 1 cm εδάφους απαιτούνται 300-1000 χρόνια.



**Εδαφικοί ορίζοντες** είναι εύκολα διακρινόμενες λωρίδες εδάφους διαφορετικού χρώματος και υφής.





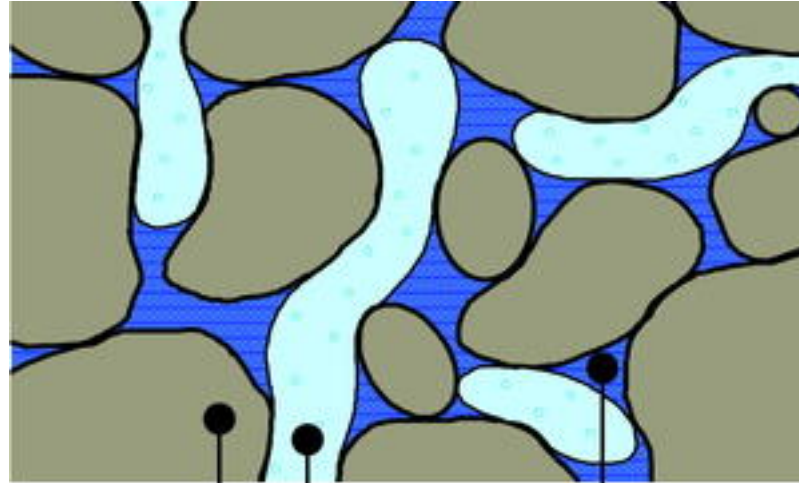
# Γονιμότητα εδάφους

**Γονιμότητα του εδάφους** είναι η ικανότητα παροχής θρεπτικών στοιχείων απαραίτητων για την θρέψη και ανάπτυξη των φυτών με τρόπους που οδηγούν στη μέγιστη απόδοση των φυτών.

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη γονιμότητα του εδάφους είναι:

- υφή του εδάφους (περιεκτικότητα σε άμμο, ιλύ και άργιλο)
- βάθος/ορίζοντες του εδάφους
- οργανική ύλη του εδάφους (μαζί με τη μικροβιακή βιομάζα)
- περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά
- ικανότητα αποθήκευσης και ανταλλαγής ιόντων
- απουσία τοξικών στοιχείων

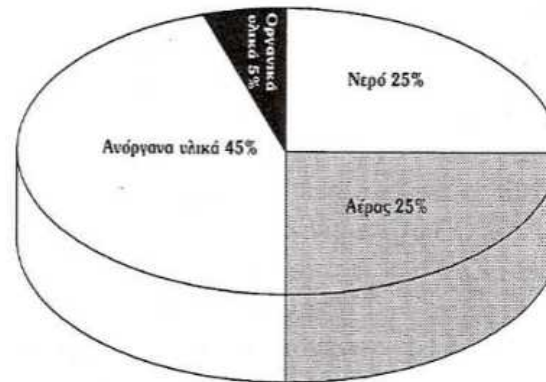
# Τα κύρια συστατικά του εδάφους



**Στερεά  
φάση**

**Αέρια  
φάση**

**Υγρή  
φάση**



Ιδανική σύσταση εδάφους κατάλληλου για την ανάπτυξη φυτών

Πηγή: Ανδρουλιδάκης κ.ά. 1981.

# Φυσικές ιδιότητες εδάφους

## 1) Υφή εδάφους

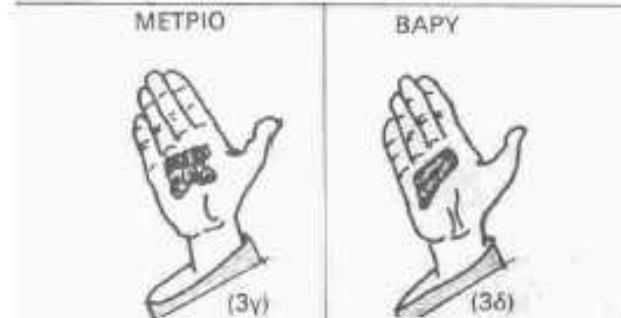
Το ποσοστό του εδάφους σε



Έδαφος ελαφρό: Δε γίνεται βόλος και αν το κινήσουμε μέσα στην παλάμη, δεν τρέχει ανάμεσα στα δάκτυλα



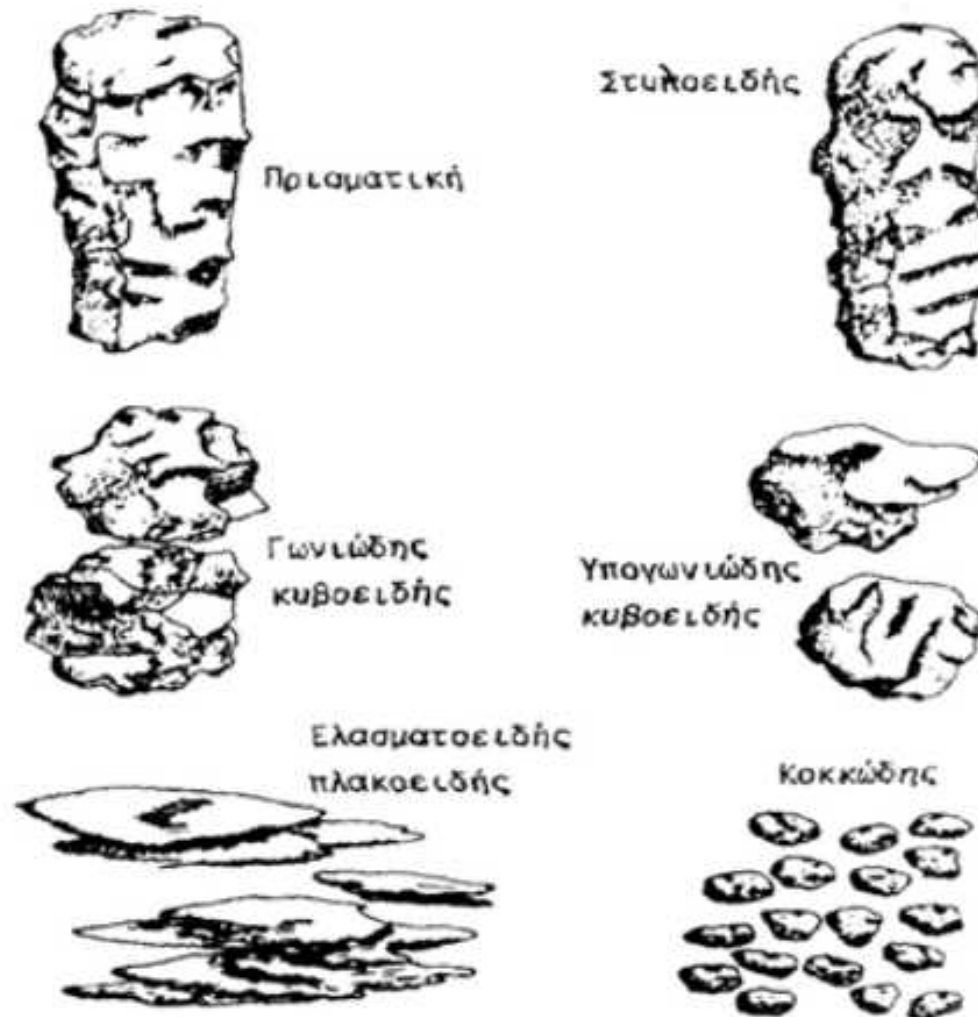
Έδαφος μέτριο: Σχηματίζεται βόλος που με την παραμικρή κίνηση της παλάμης σκορπάει



Έδαφος Βαρύ: Σχηματίζεται βόλος που σκορπάει και όταν ακόμα τον μετακινήσουμε μέσα στην παλάμη

## 2) Δομή εδάφους

Εξαρτάται από το σχήμα, τη σταθερότητα και το μέγεθος των συσσωματωμάτων.



### 3) Πορώδες

Το **πορώδες του εδάφους** αντιπροσωπεύει το ποσοστό του όγκου του εδάφους το οποίο καταλαμβάνουν οι πόροι (voids), όπου βρίσκεται η υγρή και η αέρια φάση του εδάφους.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$$

Καθορίζει τις ιδιότητες του εδάφους να συγκρατεί νερό, να αερίζεται, να στραγγίζει.

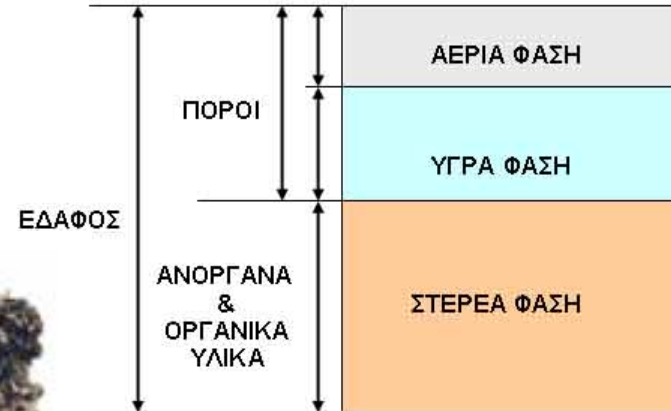
Το μέσο μέγεθος των πόρων σ' ένα έδαφος προσδιορίζει την **εδαφική διαπερατότητα**, δηλαδή τη δυνατότητα κίνησης του νερού και του αέρα.

(βλέπε [video Water\\_Movement\\_in\\_soil.mp4](#))

Το πορώδες κυμαίνεται: **αμμώδη εδάφη** 30-50%, **αργιλώδη** 35-65%

# Πορώδες

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ  
ΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΙΩΝ ΦΑΣΕΩΝ



Good condition, score 2  
Lots of pores between soil particles.



Moderate condition, score 1  
Few pores clearly visible



Poor condition, score 0  
Few cracks or holes, no pores visible.

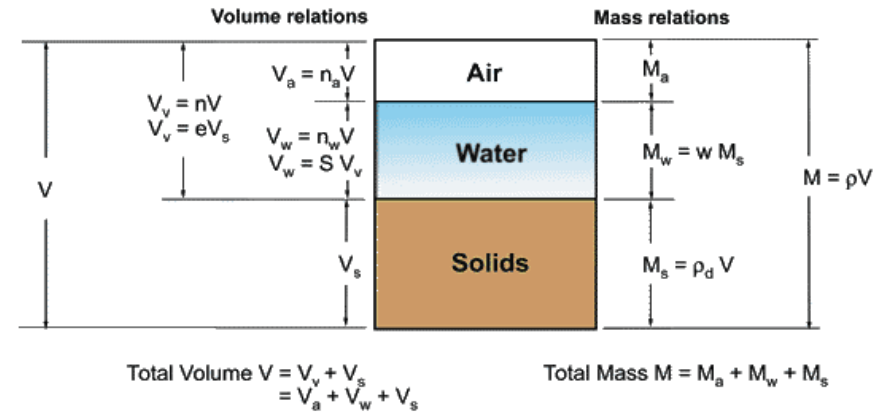
Σε αδιατάρακτο έδαφος (στον αγρό) το πορώδες καθώς και οι εμπειέχουσες φάσεις (υγρή και αέρια) εξαρτώνται από:

- Καιρικές συνθήκες
- Καλλιεργητικές φροντίδες

# 4) Πυκνότητα ή ειδικό βάρος εδάφους

Είναι η μάζα (ή το βάρος) ξηρού εδάφους ανά μονάδα όγκου.

$$\rho = \frac{m_s}{V} \quad \eta' \quad \gamma = \frac{B_s}{V}$$



α) πραγματική πυκνότητα (particle density)  
**χωρίς** τους πόρους

$$\rho_p = \frac{m_s}{V_s}$$

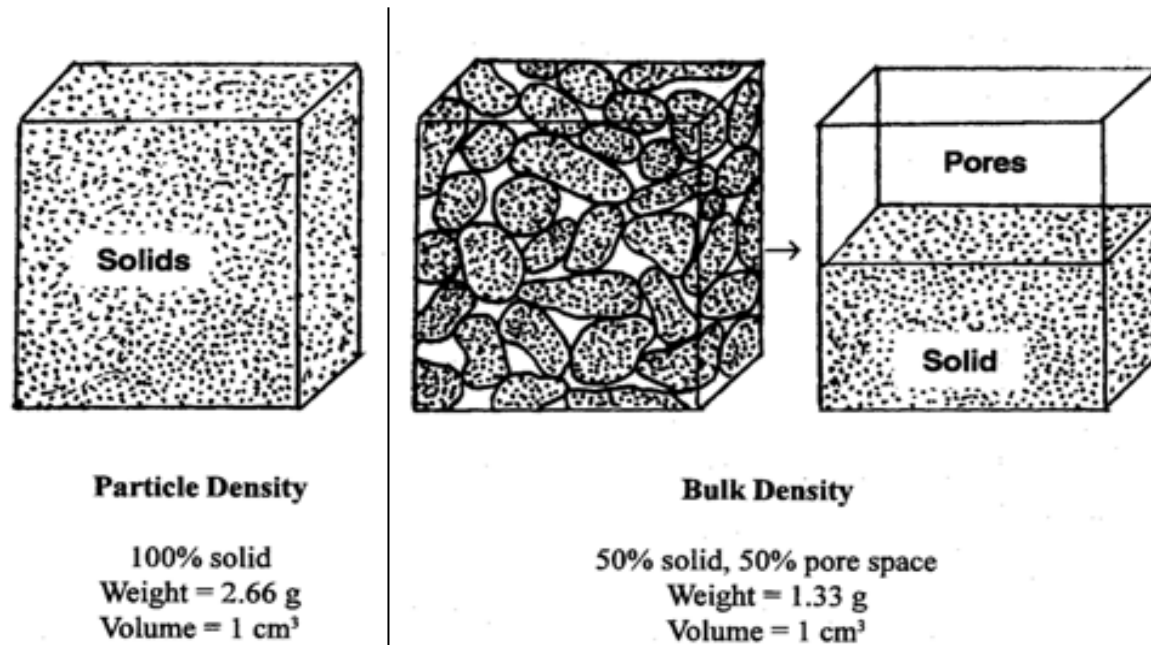
2.66 g/cm<sup>3</sup>

β) φαινομενική πυκνότητα (bulk density)  
**με** τους πόρους για ξηρό έδαφος (χωρίς μάζα νερού)

$$\rho_b = \frac{m_s}{V}$$

1.33 g/cm<sup>3</sup>

# Πυκνότητα ή ειδικό βάρος εδάφους



$$n = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες τόσο μικρότερη η φαινομενική πυκνότητα.

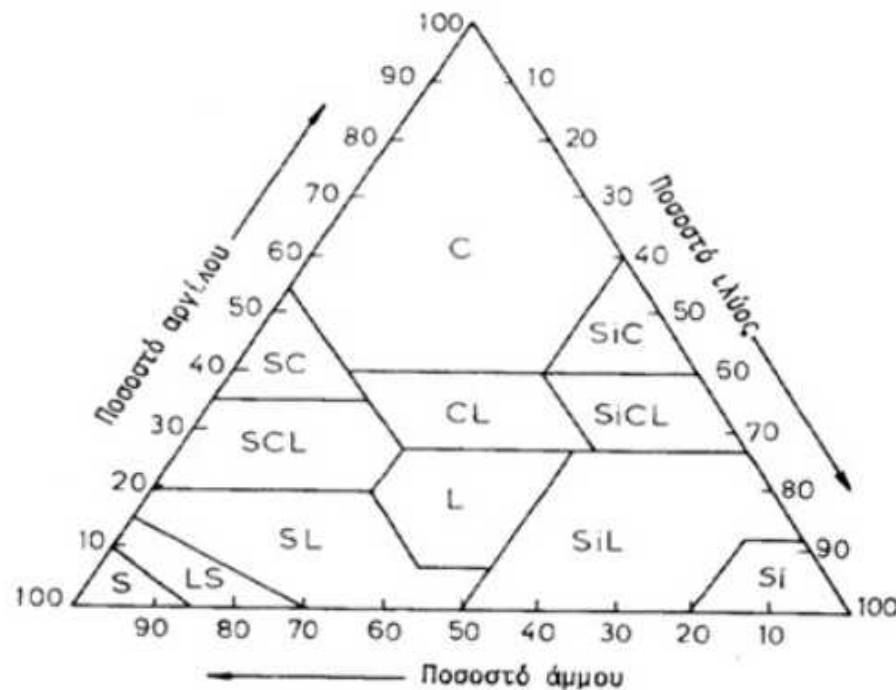
Τα **αμμώδη** εδάφη παρουσιάζουν μεγαλύτερη φαινομενική πυκνότητα (1.6 g/cm<sup>3</sup>) από τα **αργιλώδη** (1.2 g/cm<sup>3</sup>).

# A1) Τα στερεά ανόργανα συστατικά

**Άμμος:** με διάμετρο (D) 2-0.05 χιλιοστά (mm)

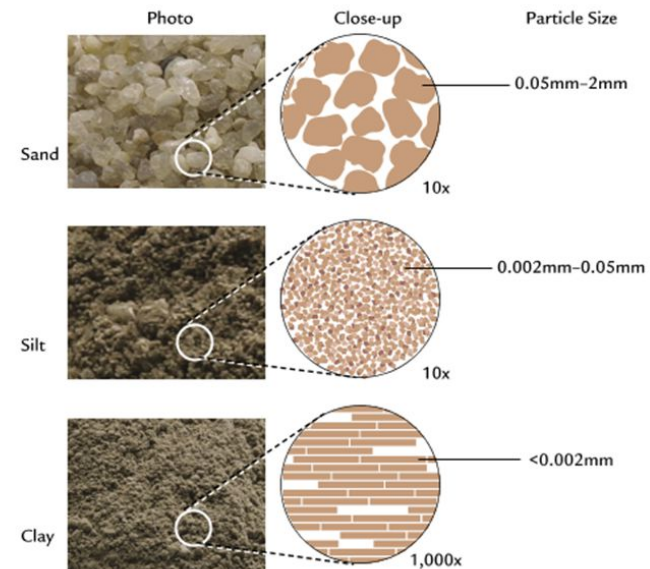
**Ιλύς:** με D 0.05-0.002 mm

**Άργιλος:** με D <0.002 mm



S = αμμώδες	SiCL = ιλυοαργιλοπηλώδες
LS = πηλοαμμώδες	CL = αργιλοπηλώδες
SL = αμμοπηλώδες	SCL = αμμοαργιλοπηλώδες
L = πηλώδες	SC = αμμοαργιλώδες
SiL = ιλυοπηλώδες	SiC = ιλυοαργιλώδες
Si = ιλυώδες	C = αργιλώδες

## Sand, Silt, and Clay



		<u>% άργιλος</u>
• Αμμώδη	ελαφριάς σύστασης	0-15
• Πηλώδη	μέσης σύστασης	15-35
• Αργιλώδη	βαριάς σύστασης	> 35

# Τα στερεά ανόργανα συστατικά



Αμμώδες έδαφος



Αργιλώδες έδαφος

**Άμμος**: Παρουσιάζει μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων. Λόγω μεγάλης ταχύτητας διάχυσης του νερού μέσα στην άμμο δημιουργούνται καλές συνθήκες αερισμού και στράγγισης για την ανάπτυξη των φυτών.

**ΐλύς**: Έχει αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού αλλά μειωμένη ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων. Προκαλεί δυσμενείς συνθήκες αερισμού για την ανάπτυξη των φυτών.

**Άργιλος**: Παρουσιάζει αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων. Λόγω μειωμένης ταχύτητας διάχυσης του νερού μέσα στην άργιλο προκαλεί δυσμενείς συνθήκες αερισμού για το φυτό.

## A2) Τα στερεά οργανικά συστατικά



Έδαφος με **λίγη** οργανική ουσία



Έδαφος με **σημαντική** οργανική ουσία

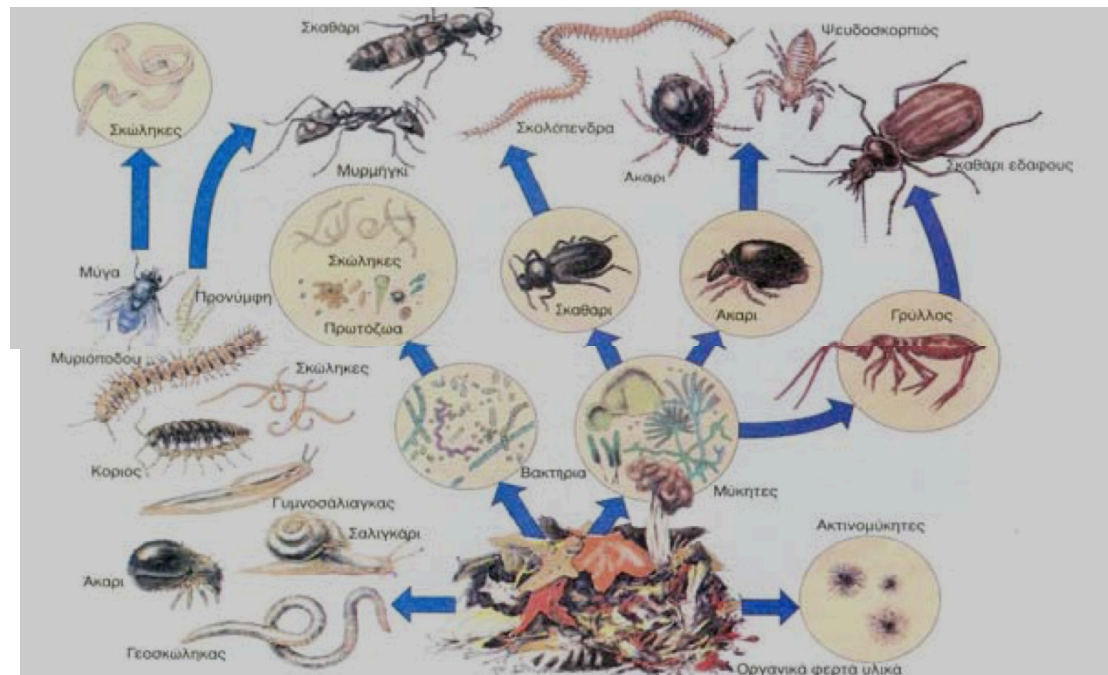
Στα πρώτα στρώματα εδάφους αναπτύσσουν τις ρίζες τα φυτά και ζουν δισεκ. έμβιοι οργανισμοί. Είναι η οργανική ουσία του εδάφους που θα πρέπει να είναι **περίπου 5%**.

Ο κύριος ρόλος των μικροοργανισμών είναι να διασπούν την οργανική ουσία που υπάρχει στο έδαφος σε απλούστερα ανόργανα στοιχεία, τα οποία στη συνέχεια προσλαμβάνονται από τα φυτά.

# Τα στερεά οργανικά συστατικά

Επίσης άλλοι ρόλοι των μικροοργανισμών είναι:

- Αυξάνουν τη διαλυτότητα των ανόργανων θρεπτικών ουσιών (CO<sub>2</sub>).
- Δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου (Rhizobium).
- Ανάμιξη εδάφους, βελτιώνουν την εδαφική δομή και **πορώδες**.



# Οργανική ουσία

## Οργανικά Εδάφη



- Κοντά σε λίμνες ή αποξηραμένες λίμνες
- Πλούσια σε οργανική ουσία
- Μεγάλη υδατοϊκανότητα
- Ευκατέργαστα
- Πλούσια σε άζωτο
- Φτωχά σε φώσφορο & κάλιο



**Η οργανική ουσία μπορεί να αυξηθεί με τους παρακάτω τρόπους:**

- επιστροφή στο έδαφος των εδαφικών υπολειμμάτων
- ρηχά και λίγα οργώματα
- διαδοχή καλλιεργειών
- προσθήκη κομπόστ και άλλης οργανικής ύλης
- αζωτούχα λίπανση



# Οργανικά Λιπάσματα

Είναι πλούσια, φυσικά λιπάσματα που προσδίδουν αέρα στο έδαφος, βελτιώνουν την ικανότητά του να κατακρατεί το νερό και τα θρεπτικά συστατικά, βοηθούν στην πρόληψη της διάβρωσης και έκπλυσης.

Έχουν αργή απορρόφηση σε σχέση με τα ανόργανα λιπάσματα.

Διακρίνονται σε:

1) Η **ζωική κοπριά (N,P)** περιλαμβάνει τα περιττώματα των ζώων. Βελτιώνει τη δομή του εδάφους, προσθέτει σε οργανικό άζωτο και διεγείρει τα ευεργετικά για το έδαφος βακτηρίδια και μύκητες.

2) Η **φυτική κοπριά (C)** είναι φρέσκια ή ξηρή βλάστηση που καλλιεργείται στο έδαφος για να αυξήσει τον χούμο (ξηρόχορτα, γρασίδι ή ψυχανθή).

3) Το **Κοπρόχωμα (compost)**, παράγεται γεμίζοντας εναλλακτικά στρώματα αποβλήτων πλούσιων σε άζωτο (όπως ζωική κοπριά) με φυτικά απόβλητα πλούσια σε άνθρακα (άχυρα και πριονίδι) και επιφανειακό έδαφος.

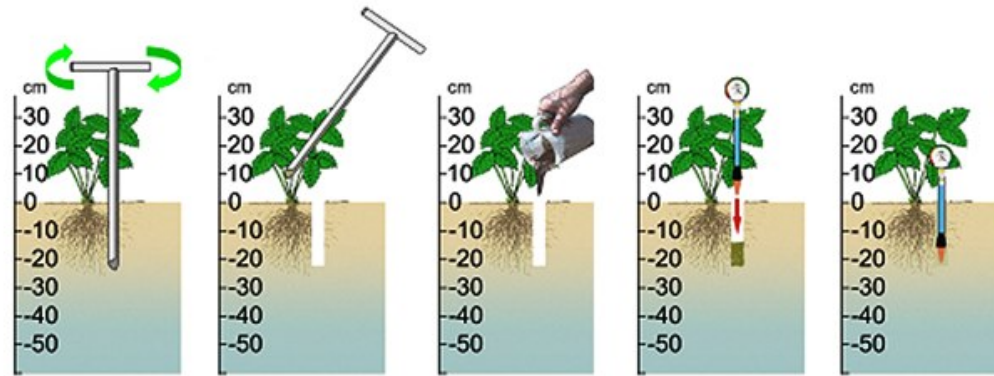


# Νερό-Φυτό

Το φυτό παίρνει το απαραίτητο για την ανάπτυξή του νερό και τα διαλυμένο σε αυτό θρεπτικά από το έδαφος.



# Εδαφικό νερό διαθέσιμο στα φυτά

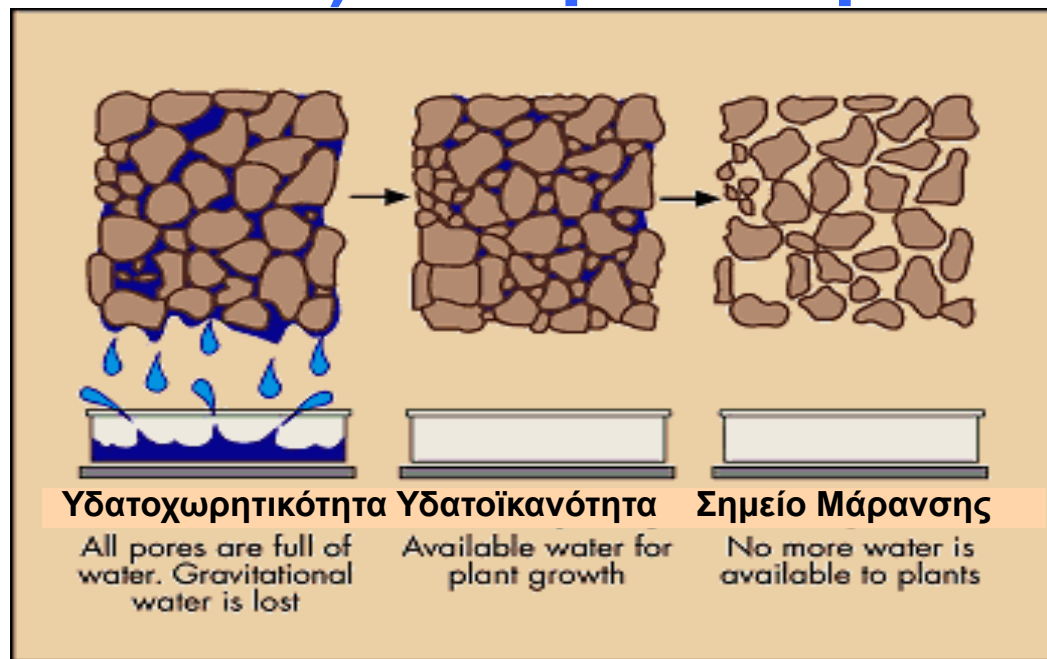


Σπαργή



Έλλειψη νερού

## B) Εδαφικό νερό



ΥΔΑΤΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ: Είναι η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να χωρέσει ένα έδαφος όταν όλοι οι πόροι του γεμίσουν με νερό (όταν αποκλείεται η στράγγιση).

ΥΔΑΤΟΪΚΑΝΟΤΗΤΑ: Είναι η ποσότητα του νερού που παραμένει στο έδαφος από την κατάσταση κορεσμού μετά από 48ωρη στράγγιση. Είναι το νερό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να το διαθέσει για τα φυτά.

Η υδατοϊκανότητα ποικίλλει από 7% για τα αμμώδη εδάφη έως 40% στα αργιλώδη.

ΣΗΜΕΙΟ ΜΟΝΙΜΗΣ ΜΑΡΑΝΣΗΣ: Είναι το ποσοστό του νερού που υπάρχει στο έδαφος όταν τα φυτά μαραίνονται οριστικά. Είναι το νερό που δεν μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά από το έδαφος, αφού πρέπει να ασκήσουν **υποπίεση** μεγαλύτερη από 15 Atm.

# Εδαφικό νερό

## ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΝΕΡΟ

Η δύναμη της βαρύτητας υπερिशύει των δυνάμεων επιφανειακής τάσης (δυνάμεις συγκράτησης του νερού στην επιφάνεια των στερεών συστατικών του εδάφους) και το νερό απομακρύνεται εύκολα προς το υπέδαφος.

- Βρίσκεται στους μακροπόρους του εδάφους.

## ΤΡΙΧΟΕΙΔΕΣ ΝΕΡΟ

Οι δυνάμεις επιφανειακής τάσης εξισορροπούν τη δύναμη της βαρύτητας και το νερό συγκρατείται στο έδαφος.

- Βρίσκεται στους τριχοειδείς πόρους του εδάφους και σαν λεπτό στρώμα γύρω από τους εδαφικούς κόκκους. Είναι πολύ μεγάλη η σημασία του για τα φυτά αφού αποτελεί την κυριότερη πηγή νερού γι αυτά (διαθέσιμο νερό).

## ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟ ΝΕΡΟ

Οι δυνάμεις επιφανειακής τάσης είναι πολύ ισχυρές και το νερό δεν απομακρύνεται εύκολα από το έδαφος.

- Βρίσκεται στους λεπτούς πόρους του εδάφους και περιβάλλει σαν μεμβράνη τα εδαφικά μόρια. Δεν έχει καμία σημασία για τα φυτά αφού δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά.

## 5α) Εδαφικό νερό

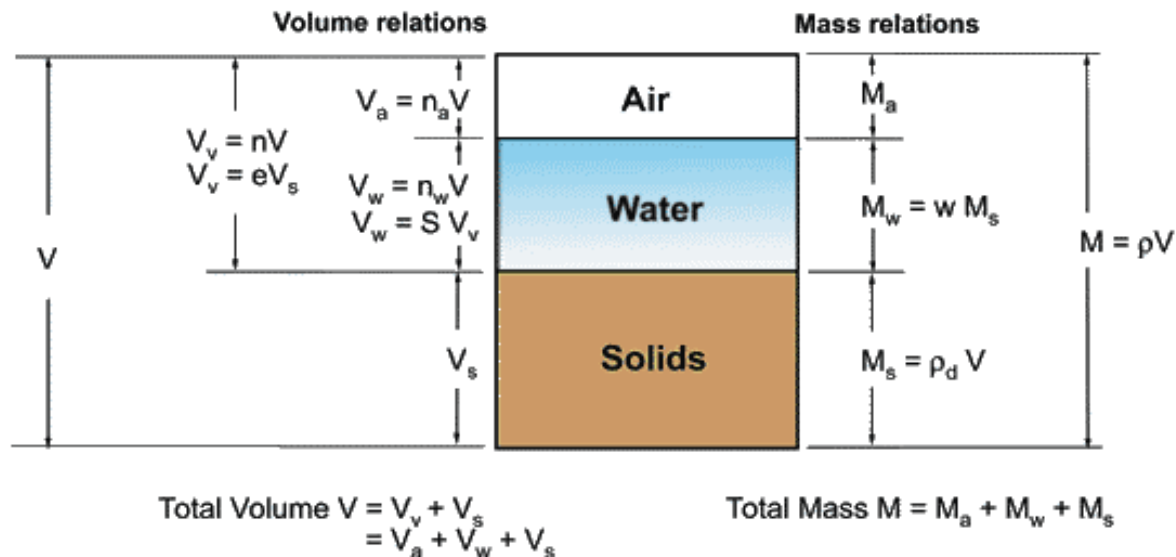
Υγρασία του εδάφους κατά βάρος κ.β. (g/g ή %): είναι η μάζα του εδαφικού νερού ανά μονάδα μάζας ξηρού εδάφους.

Υγρασία του εδάφους κατά όγκο κ.ο. (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> ή %): είναι ο λόγος του όγκου του νερού προς τον ολικό όγκο του εδάφους:

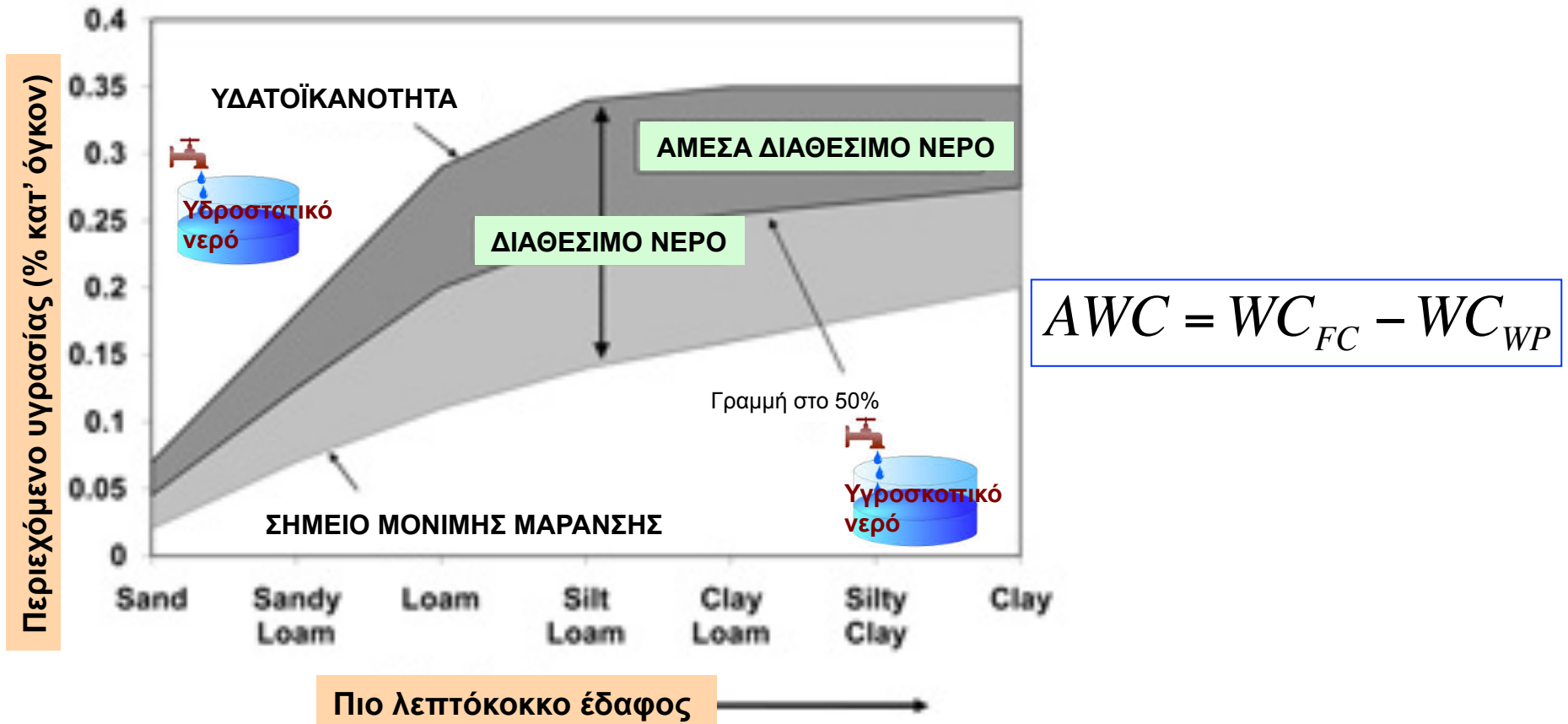
$$SM (\kappa.\beta.) = \frac{m_w}{m_s}$$

ενώ

$$SM (\kappa.ο.) = \frac{V_w}{V} = SM (\kappa.\beta.) \times \left( \frac{\rho_b}{\rho_w} \right)$$



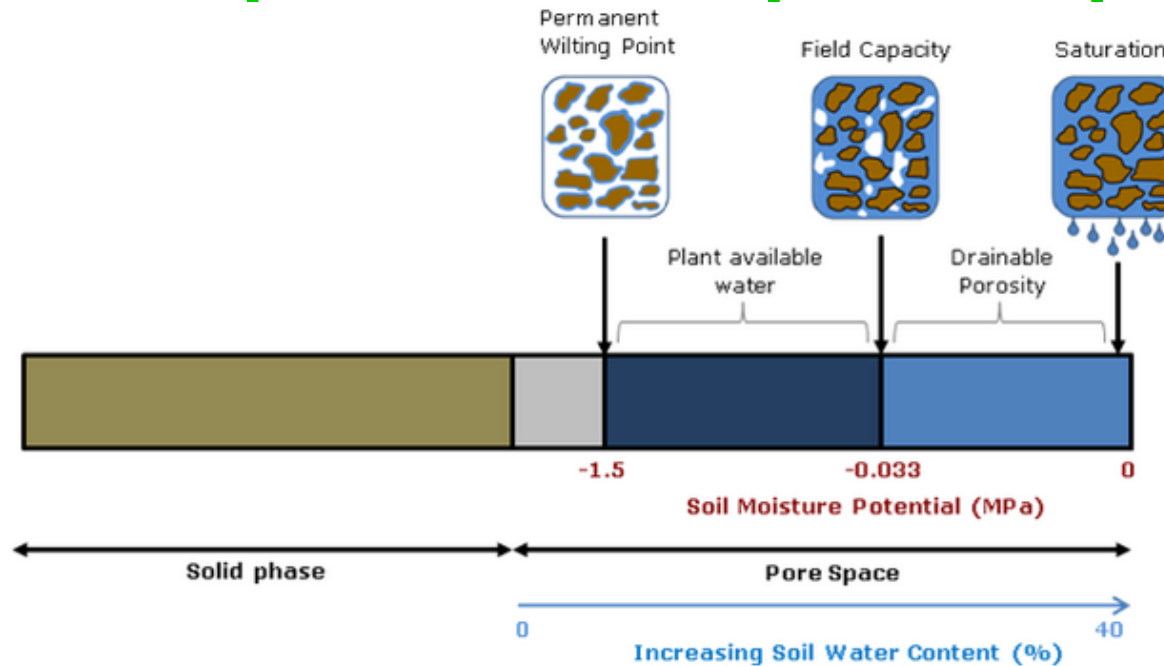
## 5β) Εδαφικό νερό διαθέσιμο στα φυτά (AWC)



Ο σκοπός ενός κατάλληλου αρδευτικού συστήματος είναι να παρέχει εδαφική υγρασία που είναι **τουλάχιστον ίση με το άμεσα διαθέσιμο νερό**. Το άμεσα διαθέσιμο νερό εξαρτάται από:

- την υφή και οργανική ουσία του εδάφους,
- το ενεργό βάθος του ριζικού συστήματος.

## 6) Δυναμικό του εδαφικού νερού



Το δυναμικό του εδαφικού νερού εκφράζει την ικανότητά του να παράγει ωφέλιμο έργο (π.χ. να μετακινείται) ή την ικανότητα του νερού να μετέχει σε αντιδράσεις. Κάθε παράγοντας που τείνει να περιορίσει την ελευθερία και επομένως την ικανότητα του νερού να παράγει έργο, μειώνει το δυναμικό του.

Η κύρια συνιστώσα του δυναμικού του εδαφικού νερού είναι εκείνη που οφείλεται στη στερεή φάση του εδάφους (μύζηση).

Η μύζηση του εδαφικού νερού εκφράζει τη δύναμη συγκράτησής του από το έδαφος ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους, δηλαδή είναι ένα **δυναμικό πίεσης** ( $\psi_s = F/S = p$ ).

# Δυναμικό του εδαφικού νερού

Το ολικό δυναμικό του νερού στο έδαφος διαμορφώνεται από 3 συνιστώσες:

$$\psi_t = \psi_g + \psi_s + \psi_o$$

$\psi_g$  είναι το **δυναμικό βαρύτητας**, το οποίο είναι σημαντικό στα αμμώδη εδάφη.

Στην περίπτωση των αλατούχων εδαφών στο ολικό δυναμικό του νερού συνεισφέρει και η οσμωτική πίεση των αλάτων που ισούται με το **οσμωτικό δυναμικό** ( $\psi_o$ ).

Στην περίπτωση των βαριών εδαφών με λεπτόκοκκα εδαφικά σωματίδια και μικροπόρους, το δυναμικό της στερεάς φάσης ( $\psi_s$ ) είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι στα αμμώδη εδάφη γιατί:

- Η επιφανειακή τάση που ασκείται στους μηνίσκους του νερού είναι μεγαλύτερη.
- Η άργιλος προσροφά κατιόντα με τη μορφή ενυδατώματος.

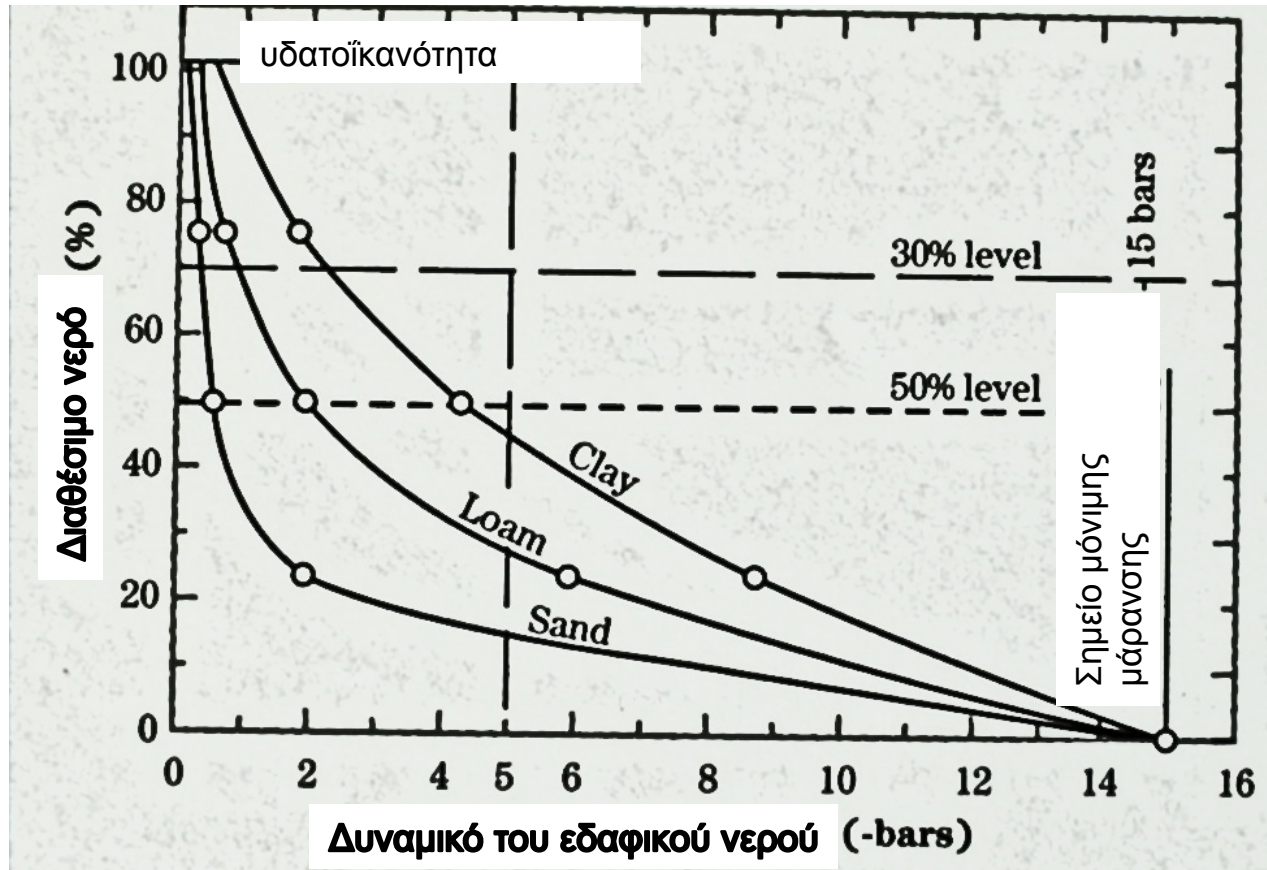
Μονάδα μέτρησης δυναμικού είναι το 1 bar=0.987 Atm=10 m H<sub>2</sub>O.

Σήμερα ως μονάδα χρησιμοποιείται το 1 KPa=1 centibar =1/100 bar .

10-25 KPa	→	Έδαφος υγρό σε κατάσταση υδατοχωρητικότητας
70-80 KPa	→	Έδαφος σε ξηρασία

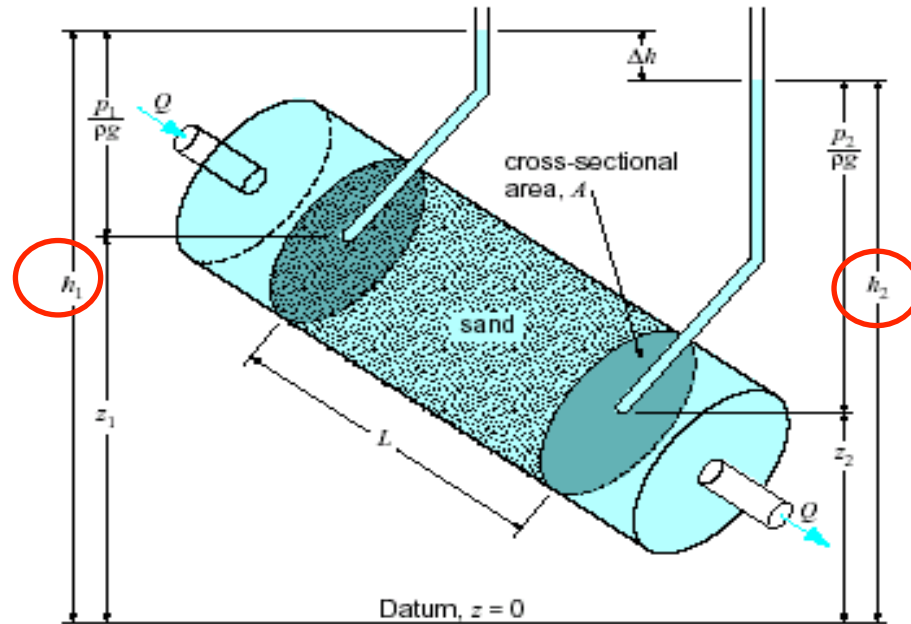
# Δυναμικό του εδαφικού νερού

Καθώς η υγρασία μειώνεται (το έδαφος ξηραίνεται), η μύζηση του εδαφικού νερού αυξάνεται.



Η μέτρηση της εδαφικής μύζησης (δυναμικού πίεσης) γίνεται με τα τασίμετρα.

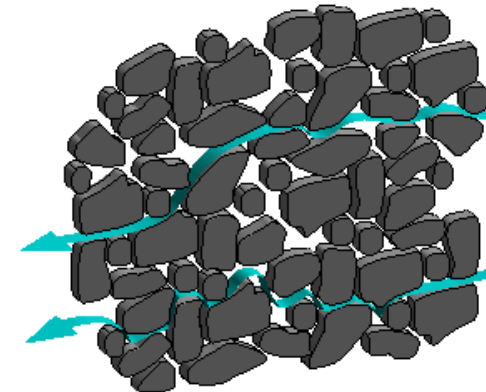
# 7) Υδραυλική αγωγιμότητα



$$Q \sim \Delta h/L$$

$$i = \Delta h/L = (h_2 - h_1)/L = \text{υδραυλική κλίση}$$

$$q = Q/A = \text{ειδική παροχή} = \text{ταχύτητα}$$



Η διαδρομή του νερού θεωρείται ευθεία (στρωτή ροή).

$$q = -K_s * i = -K_s * \Delta h / \Delta L$$

Νόμος του Darcy

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας  $K_s$  κορεσμένου εδάφους είναι **σταθερή** και διακυμαίνεται **ανάλογα** με το μέγεθος των πόρων του εδάφους ως εξής:

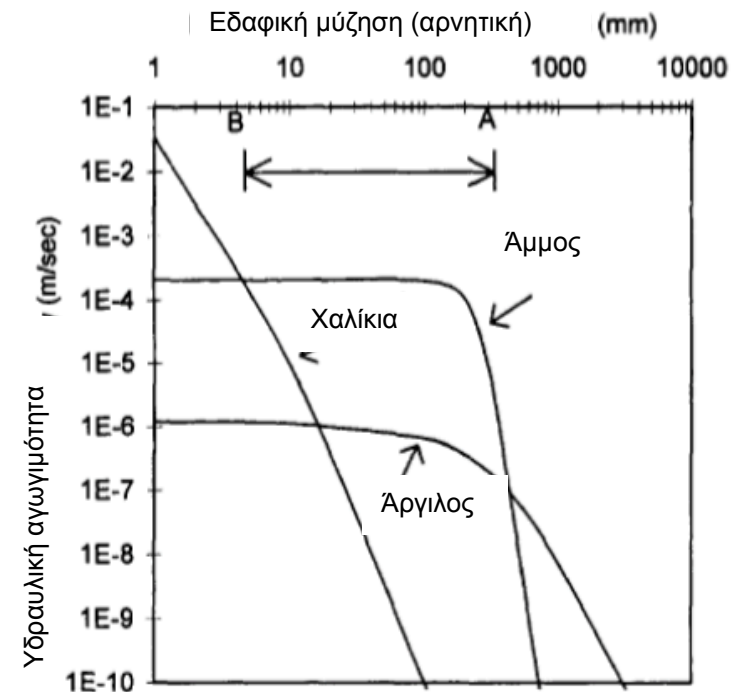
Αμμώδη > Ιλυώδη > Αργιλώδη

# Υδραυλική αγωγιμότητα

Έδαφος	Χαλίκια (Gravel)	$1 - 10^{-3}$
	Άμμος (Sand)	$10^{-2} - 10^{-5}$
	Ιλυούχα άμμος (Silty sand)	$10^{-5} - 10^{-7}$
	Ιλύς (Silt)	$10^{-7} - 10^{-9}$
	Άργιλος (Clay)	$<10^{-9}$

Τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας για γεωυλικά (Price, 2009) σε m/s.

Μολαταύτα, όταν το έδαφος γίνει ακόρεστο, η υδραυλική αγωγιμότητα μειώνεται **ανάλογα** με την μείωση της εδαφικής υγρασίας. Οι μεγάλοι πόροι αδειάζουν πρώτοι, και έτσι τα αμμώδη εδάφη γίνονται «υδραυλικά» ανενεργά νωρίτερα (σε μικρότερη μύζηση).



## Γ) Εδαφικός αέρας

❖ Οι ρίζες των φυτών αναπνέουν, χρειάζονται οξυγόνο, το οποίο βρίσκεται κυρίως στους μεγάλους πόρους.

❖ Ο εδαφικός αέρας περιέχει περισσότερο  $\text{CO}_2$  (τοξικό για τα φυτά σε μεγάλες συγκεντρώσεις) και λιγότερο  $\text{O}_2$ .



Το οξυγόνο μέσα στο έδαφος μπορεί να αυξηθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Άρδευση ή βροχή. Εκτοπίζεται ο εδαφικός αέρας και εισέρχεται ανανεωμένος ατμοσφαιρικός αέρας.
- Διάχυση λόγω διαφοράς συγκεντρώσεων  $\text{CO}_2$  (όπως και  $\text{O}_2$ ) μεταξύ εδάφους-ατμόσφαιρας.
- Οργώματα
- Μεταβολές θερμοκρασίας και πίεσης.