

# Διαθέσιμο ύψος νερού στο ριζόστρωμα

Επιμέλεια: Δρ Μ. Σπηλιώτης  
Κείμενα –σχήματα Καθ. Τσακίρης 2008,  
Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Εκδόσεις  
Συμμετρία

# Έδαφος

- Μέσο που αναπτύσσονται καλλιέργειες μεταφέροντας νερό και θρεπτικά από το έδαφος
- Λειτουργία ταμιευτήρα (ριζόστρωμα) όπως το σφουγγάρι
- Λειτουργία ρυθμιστή ροής (απορροή μετά από τον κορεσμό του εδάφους)
- Ενδιαίτημα για σημαντικό ποσοστό έμβιων οργανισμών

# Ζώνη Ριζοστρώματος

## Ζώνη Ριζοστρώματος

Η επιφανειακή ζώνη του εδάφους που καταλαμβάνεται από τον κύριο όγκο των ριζών της καλλιέργειας και από την οποία η καλλιέργεια αντλεί σχεδόν όλο το νερό για την ανάπτυξη της είναι γνωστή ως *ζώνη ριζοστρώματος* της καλλιέργειας. Η ζώνη αυτή λειτουργεί σαν αποθήκη-δεξαμενή. Η γνώση του βάθους της ζώνης αυτής είναι απαραίτητο στοιχείο για το σχεδιασμό και τη λειτουργία κάθε αρδευτικού δικτύου.

Βέβαια το βάθος του ριζοστρώματος μιας καλλιέργειας δεν μπορεί να εξαρτάται μόνο από την καλλιέργεια. Μια επίσης από τις βασικές ιδιότητες των ριζών της καλλιέργειας είναι ότι προσαρμόζονται στο περιβάλλον (conditioning). Αν δηλαδή συνηθίσουν να αντλούν νερό από μακρινά σημεία ή υπάρχει δυσκολία στην άντληση του νερού λόγω των μεγάλων αρνητικών πιέσεων του εδάφους, αναπτύσσεται ένα μεγάλο και ισχυρό ριζικό σύστημα. Αντίθετα, αν το νερό βρίσκεται εύκολα και στην επιφανειακή ζώνη, το ριζικό σύστημα που θα αναπτυχθεί είναι γενικά μικρό και αδύνατο.

λογούν αυτήν την επιλογή. Οι πιο αντιπροσωπευτικές τιμές για τις συνηθισμένες καλλιέργειες της Ελλάδας φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

**Πίν. 4.1:** Βάθος ριζοστρώματος διαφόρων καλλιεργειών που αναπτύσσονται σε αρδευόμενα, βαθιά, μέσης μηχανικής σύστασης εδάφη

Καλλιέργεια	Βάθος ριζοστρώματος σε cm	
	Μέσο	Μέγιστο
Μηδική	150	240
Καλαμπόκι	90	180
Σιτηρά	90	180
Βαμβάκι	120	200
Χορτοδοτικά	60	120
Φυλλοβόλα οπωροφόρα	150	240
Εσπεριδοειδή	150	–
Αμπέλια	150	–
Σακχαρότευτλα	90	150
Πατάτες	60	90
Ντομάτες	120	150
Καπνός	90	–
Ρύζι	60	–

# Είδη εδαφών

Πίνακας 1.2 Γενικές κατηγορίες εδαφών και αντίστοιχοι τύποι υφής

Κατηγορία	Αντίστοιχοι τύποι υφής
Αμμώδες ή ελαφρό	Άμμος, πηλώδης άμμος
Πηλώδες ή μέσο	Αμμώδης πηλός, Πηλός, Γλυοπηλώδες, Γλύς, Αργιλώδης πηλός, Αμμοαργιλώδης πηλός, Γλιοαργιλώδης πηλός.
Αργιλώδες ή βαρύ ή συνεκτικό	Αμμοαργιλώδες, Γλιοαργιλώδες, Άργιλος

Παπαζαφειρίου, 1999

Πίνακας 1.1 Τα χαρακτηριστικά των εδαφικών σωματιδίων

Χαρακτηρισμός	Διάμετρος, mm	Αριθμός σωματιδίων ανά g	Επιφάνεια σωματιδίων σε $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$
Άμμος	2,00-0,05		
πολύ χονδρή	2,00-1,00	90	11
χονδρή	1,00-0,50	720	23
ενδιάμεση	0,50-0,25	5.700	45
λεπτή	0,25-0,10	46.000	91
πολύ λεπτή	0,10-0,05	722.000	227
Ιλύς	0,05-0,002	5.776.000	454
Άργιλος	< 0,002	90.000.000	8.000.000

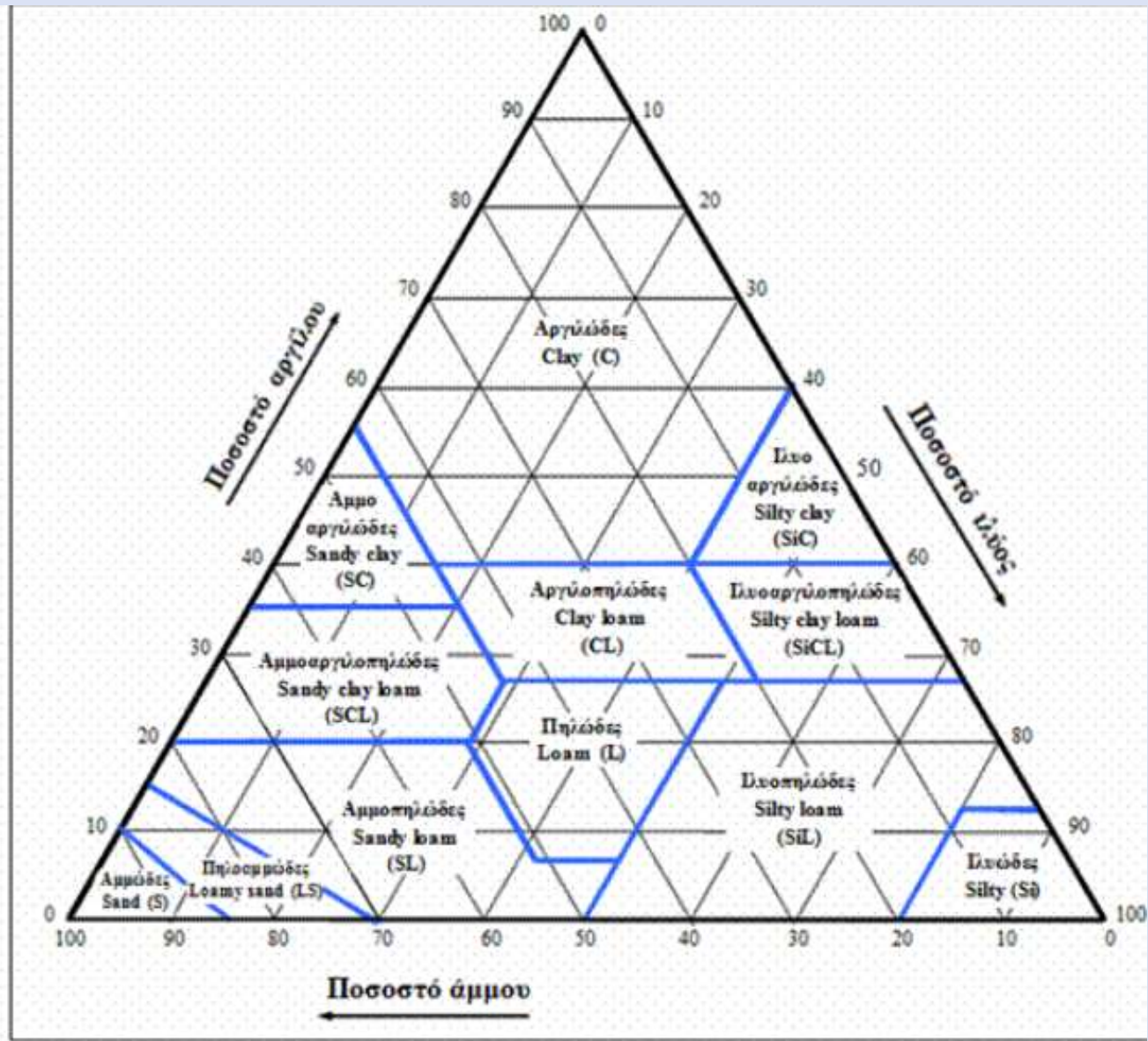
Ανάλογα με το ποσοστό του κάθε κλάσματος τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως ελαφρά, μέσα ή βαριά. Εδάφη στα οποία επικρατεί η άργιλος τείνουν να χαρακτηριστούν ως βαριά, ενώ αν επικρατεί η άμμος τείνουν να χαρακτηριστούν ως ελαφρά. Εδάφη στα οποία τα τρία κλάσματα μετέχουν περίπου ισόποσα χαρακτηρίζονται ως ηλιώδη.



Ελαφρύ έδαφος



Βαρύ έδαφος





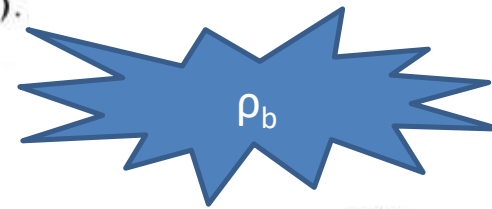
- Οι εκφράσεις έδαφος βαρύ και ελαφρό χρησιμοποιούνται στην πράξη γιατί ένα έδαφος αμμώδες αερίζεται εύκολα και είναι εύκολο να καλλιεργηθεί.
  - Αντίθετα, το αργιλώδες έδαφος απορροφά πολύ νερό και είναι σκληρό και συμπαγές στη ξηρή κατάσταση
  - Ανεπιτυχείς εκφράσεις:
    - Χονδρόκοκα πιο πυκνά με μικρό πορώδες (35 με 50% πορώδες)
    - Λεπτόκοκκα: μεγαλύτερο πορώδες (40 με 60% πορώδες)
- Πορώδες  $(V_{\alpha}+V_w)/V_t$

# Φαινόμενη πυκνότητα λαμβάνεται υπόψη και οι πόροι

## Φαινομενική Πυκνότητα

Η φαινομενική ή φαινόμενη πυκνότητα ή φαινόμενη ξηρή πυκνότητα (dry bulk density -  $\rho_b$ ) ορίζεται ως λόγος της μάζας του ξηρού εδάφους στη φυσική του κατάσταση δια του συνολικού όγκου του εδάφους περιλαμβανομένων και των πόρων  $V_t$  (Σχήμα 4.1).

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_s}{V_s + V_a + V_w}$$



(4.2)

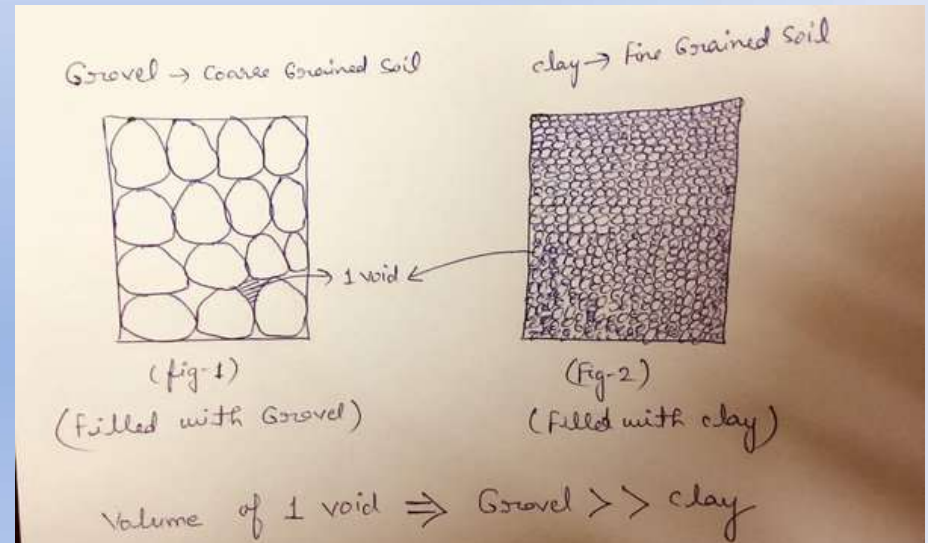


Σκ. 4.1: Διάγραμμα διαχωρισμού του συστήματος των τριών φάσεων του εδάφους.

# Φαινόμενη πυκνότητα

- 1.1-1.3 gr/cm<sup>3</sup> λεπτόκοκκα
- 1.4-1.8 gr/cm<sup>3</sup> χονδρόκοκκα
- Χαμηλή τιμή φαινόμενης πυκνότητας-> μεγάλο όγκο πόρων (Χαρτζουλάκης, 2019)

- Ας πάρουμε ένα χονδρόκοκκο χώμα και λεπτόκοκκο χώμα ως άργιλο
- όγκος του 1 κενού είναι μεγαλύτερος για το χαλίκι και χαμηλότερος για τον πηλό
- Όμως, ο αριθμός των κενών στον πηλό είναι πολύ μεγαλύτερος από το χαλίκι.
- Δεδομένου ότι ο αριθμός των κενών στον πηλό είναι πολύ υψηλός, επομένως στον πηλό ο συνολικός όγκος των κενών είναι πολύ μεγάλος. Επομένως, ο πηλός έχει περισσότερο όγκο κενών από το ->ότι τα κενά του λεπτόκοκκου εδάφους είναι μικρά σε μέγεθος αλλά πολύ μεγάλα σε αριθμό που αυξάνει τον όγκο των κενών στο λεπτόκοκκο χώμα.



# Χαρακτηριστικά εδαφών

- Αμμώδη:
  - μεγάλο όγκο μη τριχοειδών μακροπόρων: καλή αποστράγγιση και αερισμός
  - Μειωμένη συγκράτηση νερού
- Λεπτόκοκκα:
  - Αργή κίνηση, κακή αποστράγγιση
  - Περισσότερη ικανότητα συγκράτησης νερού

# Εδαφικό νερό

τρείς αποδοτικές κατηγορίες:

α. Το νερό βαρύτητας που έχει άνω όριο το σημείο κορεσμού και κάτω όριο την υδατοϊκανότητα και απομακρύνεται από την εδαφική ζώνη του ριζοστρώματος με την επίδραση της βαρύτητας.

β. Το τριχοειδές νερό που συγκρατείται στο έδαφος με την αρνητική πίεση και αποτελεί την κύρια πηγή νερού για τις καλλιέργειες. Το άνω όριο του είναι η υδατοϊκανότητα και το κάτω είναι η ξηρότητα στον αέρα.

γ. Το υγροσκοπικό νερό που συγκρατείται με προσρόφηση σε μορφή λεπτού φιλμ γύρω από τους κόκκους και δεν είναι διαθέσιμο για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

# Νερό στο έδαφος

- α. Ελεύθερο νερό, ή νερό βαρύτητας (δεν συνεισφέρει).
- β. Τριχοειδές νερό. Έτσι χαρακτηρίζεται το νερό που συγκρατείται στους τριχοειδείς πόρους του εδάφους κάτω από την επίδραση δυνάμεων επιφανειακής τάσεως και μοριακής έλξεως. (κύρια πηγή για φυτά)
- γ. Υγροσκοπικό νερό. Συγκρατείται με τη μορφή λεπτότατων μεμβρανών γύρω από την επιφάνεια των κόκκων του (δε λαμβάνεται υπόψη)

# Εδαφική υγρασία

## α. Περιεκτικότητα κατά βάρος ( $\theta_g$ )

Η περιεχόμενη ποσότητα νερού κατά βάρος (gravimetric water content) εκφράζεται ως λόγος της μάζας του νερού,  $m_w$  δια της μάζας του ξηρού εδάφους του δείγματος,  $m_s$ :

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_s}$$

*ξηρή οφθαλμική  
κατά βάρος*

(4.6)

## β. Περιεκτικότητα κατ' όγκο ( $\theta$ ή $\theta_v$ )

Η περιεχόμενη ποσότητα νερού κατ' όγκο εκφράζεται από το λόγο του όγκου του νερού  $V_w$  δια του όγκου του δείγματος (εδάφους και πόρων)  $V_t$ :

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$

(4.7)



# Σχέση περιεκτικότητας κατά βάρους και κατ όγκο

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{\frac{m_w}{\rho_w}}{\frac{m_s}{\rho_b}} = \frac{m_w}{m_s} \frac{\rho_b}{\rho_w} = \theta_{gr} \frac{\rho_b}{\rho_w}$$

## Φαινομενική Πυκνότητα

Η φαινομενική ή φαινόμενη πυκνότητα ή φαινόμενη ξηρή πυκνότητα (dry bulk density -  $\rho_b$ ) ορίζεται ως λόγος της μάζας του ξηρού εδάφους στη φυσική του κατάσταση δια του συνολικού όγκου του εδάφους περιλαμβανομένων και των πόρων  $V_t$  (Σχήμα 4.1).

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_s}{V_s + V_a + V_w}$$

Φαινόμενη  
πυκνότητα

# Εφαρμογή

- Παράδειγμα: Έστω ότι έδαφος με βάρος 130 gr στη φυσική του κατάσταση, έχασε, ξηραινόμενο μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος, 30 gr και ότι το φαινόμενο ειδικό του βάρος είναι  $\rho_b = 1,30 \text{ gr} / \text{cm}^3$ .
- Βρίσκουμε:  $\theta_g = 30 / (130 - 30) \% \text{ κ.β}$
- $\theta = 30 \% * 1,3 / 1 = 0,39 \% \text{ κ.ο του συνολικού όγκου}$

# Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού

## Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού ( $\theta_h$ )

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό μπορεί επίσης να εκφραστεί με διάσταση μήκους, οπότε εκφράζει το ισοδύναμο πάχος υδάτινου στρώματος στην επιφάνεια του εδάφους (όγκος νερού δια του εμβαδού της επιφάνειας). Το ισοδύναμο ύψος νερού συνδέεται με την περιεκτικότητα κατ' όγκο με τη σχέση:

$$\theta_h = \theta_v \cdot d \quad \theta_h = \theta_{\text{νερό}} \times (1 \kappa \times d) \quad (4.9)$$

*↑ στοιχειώδης όγκος*

όπου  $\theta_h$  και  $d$  μετρούνται στις αυτές μονάδες μήκους και  $d$  είναι το βάθος της εδαφικής ζώνης που εξετάζουμε. Αν το  $d$  εκφράζεται σε cm και το ύψος  $\theta_h$  σε mm, όπως συνήθως συμβαίνει στην πράξη, η (4.9) γίνεται:

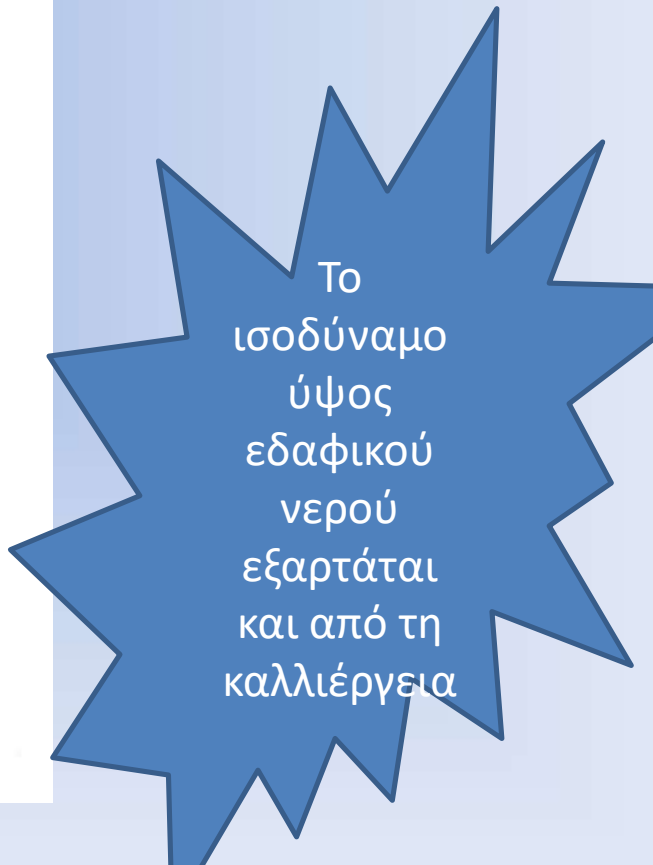
$$\theta_h = 10 \cdot \theta_v \cdot d \quad (4.9a)$$

*μονάδες (σε mm)*

Το ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού,  $\theta_h$  μπορεί να υπολογιστεί από την κατά βάρος περιεκτικότητα σε νερό,  $\theta_g$ . Αν το ύψος  $\theta_h$  υπολογίζεται σε mm, το βάθος  $d$  σε cm και αν η φαινομενική πυκνότητα  $\rho_b$  δίνεται σε  $\text{gr/cm}^3$ , τότε ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$\theta_h = 10 \cdot \frac{\theta_g \cdot \rho_b}{e_w} \cdot d, \quad \rho_w = 1 \text{ gr/cm}^3 \quad \text{σε mm} \quad (4.10)$$

Το ύψος νερού σε mm αντιστοιχεί σε  $1 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$  ή  $10 \text{ m}^3/\text{Ha}$ .



Το  
ισοδύναμο  
ύψος  
εδαφικού  
νερού  
εξαρτάται  
και από τη  
καλλιέργεια

# Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού

## Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού ( $\theta_h$ )

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό μπορεί επίσης να εκφραστεί με διάσταση μήκους, οπότε εκφράζει το ισοδύναμο πάχος υδάτινου στρώματος στην επιφάνεια του εδάφους (όγκος νερού δια του εμβαδού της επιφάνειας). Το ισοδύναμο ύψος νερού συνδέεται με την περιεκτικότητα κατ' όγκο με τη σχέση:

$$\theta_h = \theta_v \cdot d \quad \theta_h = \theta_{\text{νερό}} \times (1 \kappa \times d) \quad (4.9)$$

*↑ στοιχειώδης όγκος*

όπου  $\theta_h$  και  $d$  μετρούνται στις αυτές μονάδες μήκους και  $d$  είναι το βάθος της εδαφικής ζώνης που εξετάζουμε. Αν το  $d$  εκφράζεται σε cm και το ύψος  $\theta_h$  σε mm, όπως συνήθως συμβαίνει στην πράξη, η (4.9) γίνεται:

$$\theta_h = 10 \cdot \theta_v \cdot d \quad (4.9a)$$

*μονάδες (σε mm)*

Το ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού,  $\theta_h$  μπορεί να υπολογιστεί από την κατά βάρος περιεκτικότητα σε νερό,  $\theta_g$ . Αν το ύψος  $\theta_h$  υπολογίζεται σε mm, το βάθος  $d$  σε cm και αν η φαινομενική πυκνότητα  $\rho_b$  δίνεται σε  $\text{gr/cm}^3$ , τότε ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$\theta_h = 10 \cdot \frac{\theta_g \cdot \rho_b}{e_w} \cdot d, \quad \rho_w = 1 \text{ gr/cm}^3 \quad \text{σε mm} \quad (4.10)$$

Το ύψος νερού σε mm αντιστοιχεί σε  $1 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$  ή  $10 \text{ m}^3/\text{Ha}$ .

Το  
ισοδύναμο  
ύψος  
εδαφικού  
νερού  
εξαρτάται  
και από τη  
καλλιέργεια

# Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού

Έστω μοναδιαία επιφάνεια  
βάθους όσο το ριζόστρωμα  $d$

- $V_t = 1 \cdot d$  (ολικός όγκος)
- Ο όγκος νερού στη μοναδιαία επιφάνεια βάθους ίση με το ριζόστρωμα θα είναι:

$$V_W = 1 \cdot \theta_h$$

$\theta_h$ : το ύψος νερού (mm)  
στη μοναδιαία  
επιφάνεια βάθους  $d$ .

$$\theta = \frac{V_W}{V_t} \rightarrow V_W = \theta \cdot V_t$$

- Για μοναδιαία επιφάνεια βάθους  $d$ :
- $V_W = 1 \cdot \theta_h = \theta \cdot V_t = \theta \cdot 1 \cdot d =$

$$\theta_h = \left( \frac{\rho_b}{\rho_w} \theta_g \right) \cdot d$$

**Μονάδες:**  $\rho_w = 1 \text{ gr/cm}^3$

$\rho_b$  ( $\text{gr/cm}^3$ )

$d$  (cm)

$$\theta_h^{(mm)} = 10 \rho_b^{gr/cm^3} \theta_g \cdot d^{cm}$$

# Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού $\theta_h$

$$\theta_h^{(mm)} = 10 \rho_b^{gr/cm^3} \theta_g \cdot d^{cm}$$

$\rho_b$ : φαινόμενη πυκνότητα

$\theta_g$ : ξηρή περιεκτικότητα (νερού) κατά βάρος αδιάστατο

D: βάθος ριζοστρώματος (από πίνακα ανάλογα από τις καλλιέργειες)

# Υδατοϊκανότητα εδάφους

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων άρδευσης είναι χρήσιμη από πρακτικής άποψη η ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας σε κατηγορίες. Μετά από επαρκή βροχή ή άρδευση, το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού αέρα εκτοπίζεται από την εδαφική ζώνη που θεωρούμε, με αποτέλεσμα όλοι οι πόροι να γεμίσουν από νερό. Τότε λέμε ότι το έδαφος από άποψη υγρασίας έφθασε στον κορεσμό (saturation,  $\theta_s$ ). Ο κορεσμός εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να υπάρξει σε μια εδαφική ζώνη. Με την προϋπόθεση ότι προστατεύουμε την εδαφική ζώνη από την εξάτμιση, η περιεχόμενη ποσότητα νερού μειώνεται μόνο λόγω της επίδρασης της βαρύτητας και της στράγγισης που λαμβάνει χώρα και διαρκεί ένα αρκετά μεγάλο διάστημα. Στην πράξη θεωρούμε συνήθως ότι το σύστημα αποκτά ισορροπία, δηλαδή η στράγγιση τείνει να γίνει μηδενική 1.5 με 2 ημέρες μετά από την επαρκή βροχή ή άρδευση και η περιεχόμενη υγρασία τείνει σε ένα όριο. Το όριο αυτό είναι γνωστό ως υδατοϊκανότητα του εδάφους

(*field capacity, FC*). Η υδατοϊκανότητα είναι χαρακτηριστικό του εδάφους και εξαρτάται κυρίως από τη μηχανική σύσταση και τη δομή του.

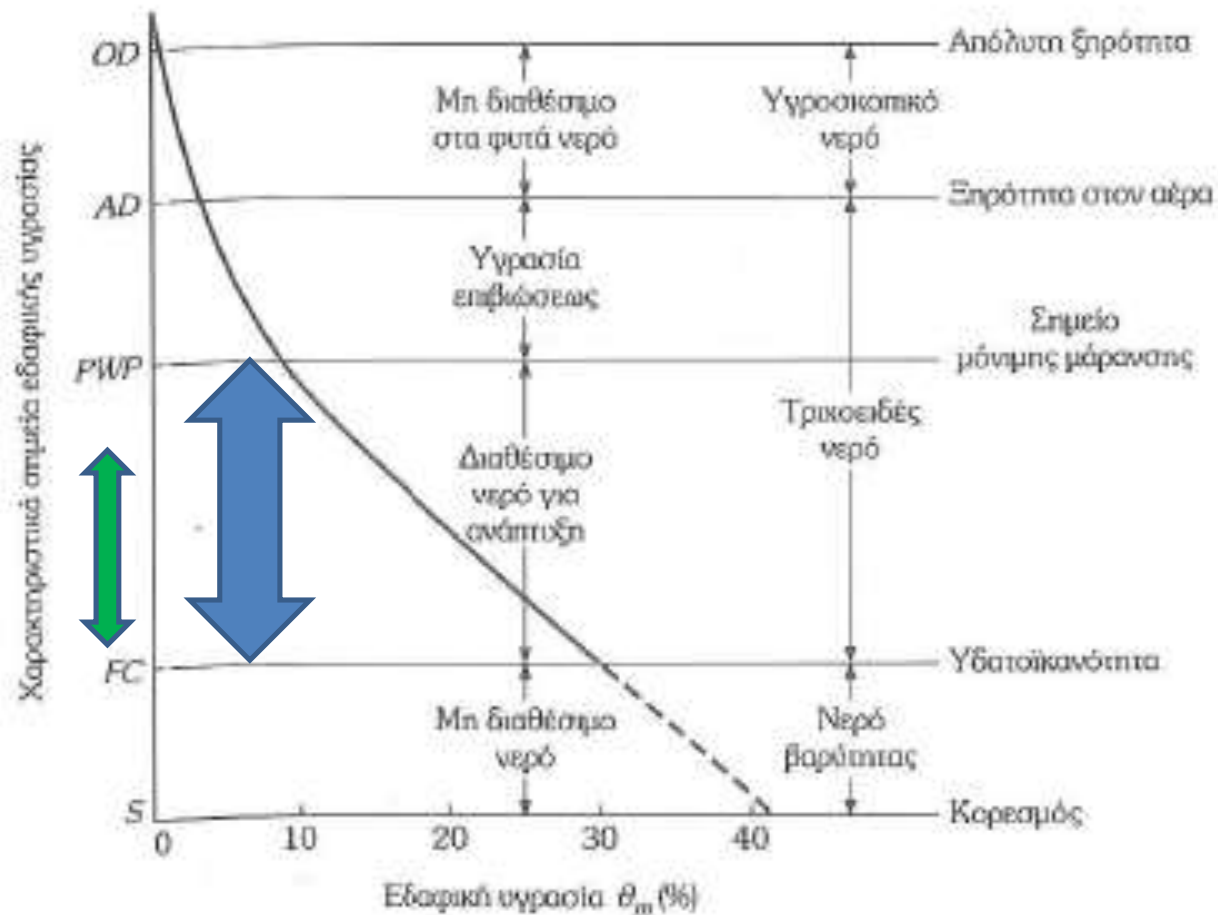
# Σημείο μόνιμης μαράνσεως

Στον σχεδιασμό των αρδευτικών έργων η υδατοϊκανότητα αποτελεί το άνω όριο αποθήκευσης νερού στο έδαφος για χρησιμοποίηση από τις καλλιέργειες. Συνήθως αντιστοιχεί σε μύζηση 0.1 έως 0.5 bar με την πρώτη τιμή για ελαφρά εδάφη και τη δεύτερη για συνεκτικά.

Για τον καθορισμό της υδατοϊκανότητας στο εργαστήριο προτείνεται συνήθως να εφαρμόζεται στο εδαφικό δείγμα μύζηση 1/3 bar για εδάφη μέσης σύστασης.

Οι καλλιέργειες καταναλώνουν νερό από μια εδαφική ζώνη μέχρι ενός κατώτερου ορίου υγρασίας. Το κατώτερο αυτό όριο του διαθέσιμου εδαφικού νερού λέγεται *Σημείο Μόνιμης Μάρανσης* (Permanent Wilting Point, PWP). Όταν η υγρασία φθάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης τότε τα φυτά δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους οπότε η ανάπτυξη τους διακόπτεται και μαραίνονται.





Σχ. 4.3: Διάγραμμα που δείχνει την ταξινόμηση του εδαφικού νερού και τα χαρακτηριστικά όρια της εδαφικής υγρασίας.

# Διαθέσιμο ύψος νερού

## 4.3.3 Διαθέσιμο Εδαφικό Νερό

*προσέγγιση*

Το εδαφικό νερό, που είναι διαθέσιμο για τις καλλιέργειες, ορίζεται ως η διαφορά της υγρασίας που αντιστοιχεί στο σημείο μόνιμης μάρανσης από την υπάρχουσα εδαφική υγρασία. Αν η υγρασία που αντιστοιχεί σε ζώνη βάθους  $d$  (π.χ. ριζόστρωμα) εκφρασθεί σε ισοδύναμο ύψος νερού  $\theta_d$ , τότε το διαθέσιμο ύψος νερού δίδεται:

$$x_d = \theta_{d_i} - \theta_{d_h, PWP} \quad \text{όπου} \quad \theta_{h, PWP} < \theta_{d_i} < \theta_{d_h, FC} \quad (4.11)$$

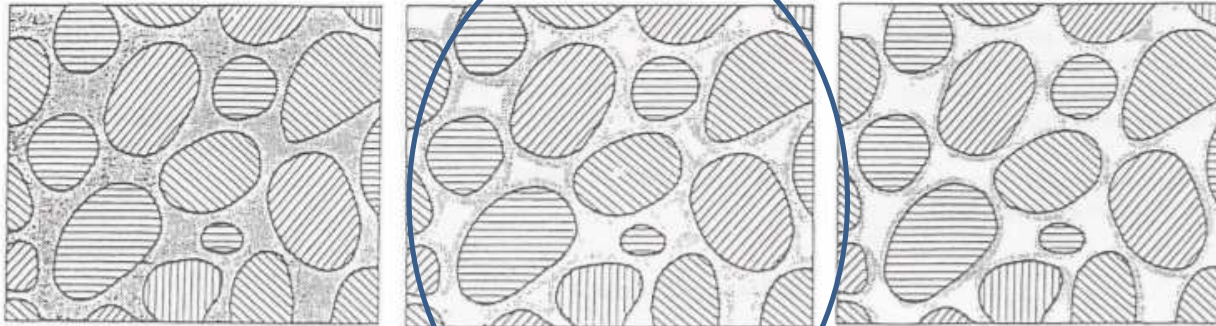
*από τις εξισώσεις*

Αν η εδαφική υγρασία στη ζώνη βρίσκεται στην υδατοϊκανότητα ( $\theta_{h, FC}$ ) τότε η διαθέσιμη υγρασία  $x$  παίρνει την μέγιστη της τιμή  $x_0$ :

$$x_0 = \theta_{d, FC} - \theta_{d, PWP} \quad (4.12)$$

Προφανώς η διαθέσιμη εδαφική υγρασία είναι μηδενική όταν η εδαφική υγρασία βρίσκεται στο σημείο μόνιμης μάρανσης.

Όσον αφορά τη μηχανική σύσταση των εδαφών τονίζεται ότι όσο συνεκτικότερα είναι αυτά τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη διαθέσιμη υγρασία  $x_0$ .



**α. Κορεσμός**

(Οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό).

**β. Υδατοϊκανότητα**

(Το νερό συγκρατείται από τους εδαφικούς κόκκους, μετά την απομάκρυνση με τη βαρύτητα του πλεονάζοντος νερού)

**γ. Σημείο μόνιμης μαρανσης**

(Το νερό συγκρατείται από τους εδαφικούς κόκκους πολύ σφιχτά και δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά.)

**Σχήμα 2.** Συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

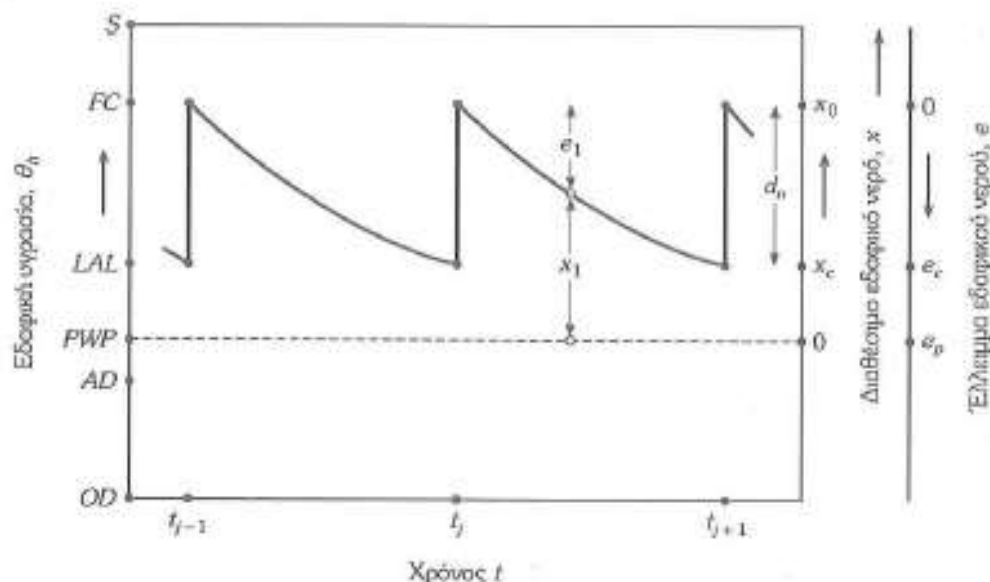
Θεοχάρης, σημειώσεις

## Εύρος

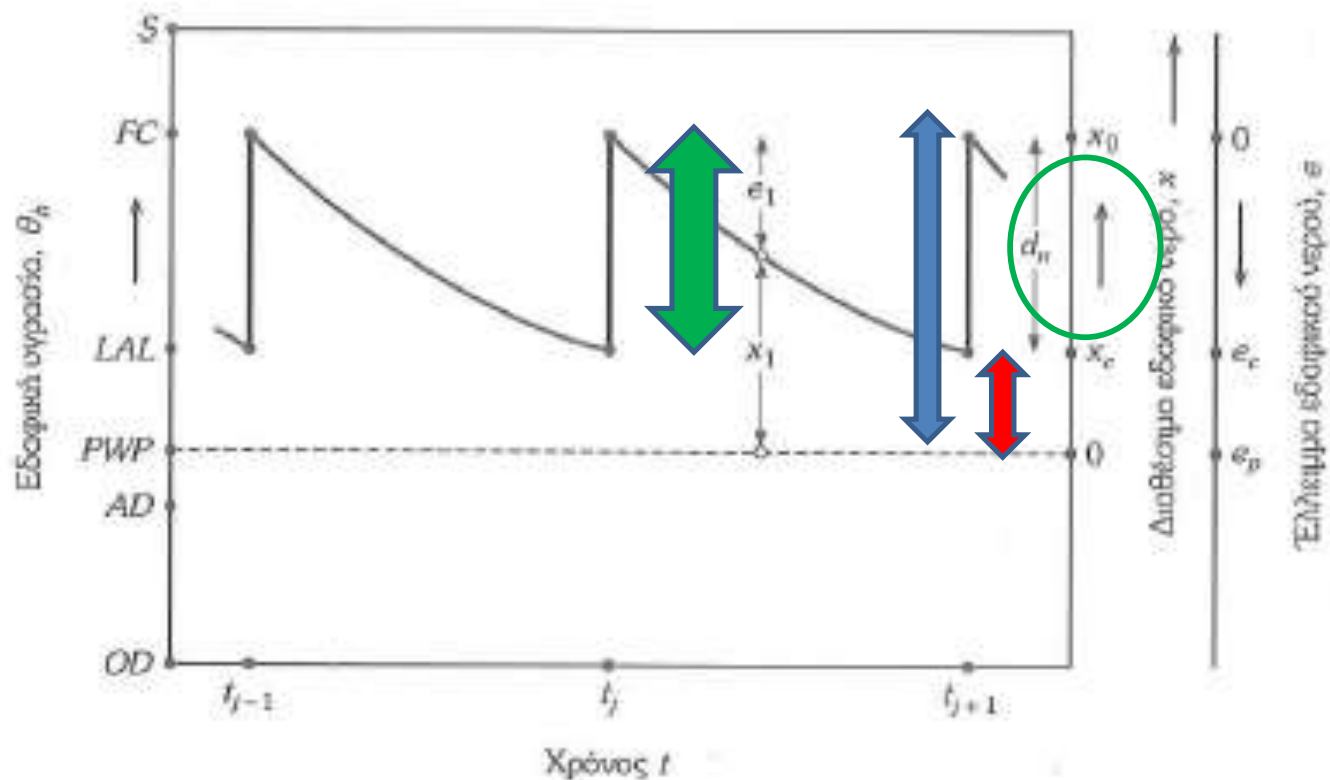
(ριζόστρωμα  $\approx$  λειτουργία ταμιευτήρα)

Σχεδιάζω ώστε η υγρασία στο ριζόστρωμα να κυμαίνεται μεταξύ της μέγιστης υδατοϊκανότητας (μετά το πότισμα) και θεωρητικά μέχρι το σημείο της μόνιμης μαράνσεως (στην πράξη με μικρότερο εύρος αφού για το σημείο μόνιμης μαράνσεως θεωρώ ένα συντελεστή ασφαλείας)

Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται επίσης η αντιστοιχία των τιμών  $\theta_0$ ,  $x$ , και  $e$ . Το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο μείωσης της υγρασίας (Lower Allowable Limit, LAL), που αναφέρεται στο σχήμα, είναι εξαιρετικά σημαντική παράμετρος για τον σχεδιασμό των αρδευτικών δικτύων και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων. Το όριο αυτό αποτελεί κατά ένα τρόπο ένα συντελεστή ασφαλείας για τις καλλιέργειες ώστε η περιεχόμενη υγρασία να μην υπάρχει κίνδυνος να κατέλθει στο επίπεδο του σημείου της μόνιμης μάρανσης με άμεσο κίνδυνο για την παραγωγή. Ανάλογα με την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών στην έλλειψη νερού (αγρονομικά στοιχεία) και την αξία της παραγωγής (οικονομικά στοιχεία) εκλέγεται το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο διαθέσιμης υγρασίας, που αντιστοιχεί σε διαθέσιμο ύψος νερού,  $x_c$ . Συνήθως  $0.25 x_0 < x_c < 0.80 x_0$ . Οι πιο συνήθεις τιμές του λόγου  $x_c/x_0$  είναι  $1/4$ ,  $1/3$ ,  $1/2$  και  $2/3$ .



**Σχ. 4.4:** Τυπική μεταβολή της μέσης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα με την εφαρμογή των αρδεύσεων στους χρόνους  $t_{j-1}$ ,  $t_j$  και  $t_{j+1}$  με θεαρητικό απαιτούμενο ύψος νερού  $d_n = e_c$ .



Σχ. 4.4: Τοπική μεταβολή της μέσης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα με την εφαρμογή των αρδεύσεων στους χρόνους  $t_{j-1}$ ,  $t_j$  και  $t_{j+1}$  με θεωρητικώς απαιτούμενο ύψος νερού  $d_n = e_c$ .

# Υπερ της ασφαλείας...

Το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο διαθέσιμης υγρασίας, για ένα μεγάλο αριθμό καλλιεργειών προτείνεται με βάση αγρονομικούς κυρίως παράγοντες από τους Doorenbos και Pruitt (1977). Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζεται ο προτεινόμενος λόγος  $x_c/x_0$  για τις πιο γνωστές καλλιέργειες του Ελληνικού χώρου.

**Πίν. 4.3:** Το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο μείωσης της εδαφικής υγρασίας ( $x_c/x_0$ ) για τις βασικές καλλιέργειες της Ελλάδας

Καλλιέργεια	Ελάχιστο όριο μείωσης της υγρασίας $x_c/x_0$
Μηδική	0.45
Καλαμπόκια	0.40 - 0.50
Βαμβάκι	0.35
Χορτοδοτικά	0.50
Αμπέλι	0.65
Ελιές	0.35
Πατάτες	0.75
Ζαχαρότευλα	0.50
Ντομάτες	0.60
Σιτηρά (αρχή)	0.45
(τέλος)	0.10

# Γιατί δεν χρησιμοποιείται το σημείο μόνιμης μαράνσεως?

- Γιατί δεν χρησιμοποιείται το σημείο μόνιμης μαράνσεως?
- Το έδαφος δεν αποξηραίνεται ομοιόμορφα, σε όλο το ύψος του->δημιουργείτε προφίλ υγρασίας ώστε στην επιφάνεια μπορεί να έχει φτάσει στο σημείο μόνιμης μαράνσεως, παρακάτω υπάρχει διαθέσιμη υγρασία
- Αδύνατος ο υπολογισμός της δόσης άρδευσης ανά ζώνη
- **Όριο ασφάλειας ώστε να μην κατέλθει η υγρασία του εδάφους κάτω από το σημείο μόνιμης μαράνσεως**



# Καθαρό ύψος διαθέσιμου νερού

Επομένως αν πριν την άρδευση το διαθέσιμο ύψος νερού στο ριζόστρωμα είναι  $x_c$ , το έλλειμμα θα έχει ύψος  $e_c$ , οπότε το καθαρό (θεωρητικό) ύψος νερού  $d_n$  που θα πρέπει να χορηγηθεί, αν οι απώλειες εφαρμογής θεωρηθούν μηδενικές, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$d_n = |e_c| = x_0 - x_c \quad (4.14)$$

Επειδή κατά κανόνα υπάρχουν απώλειες κατά την άρδευση, που από το ένα μέρος εξαρτώνται από τις εδαφικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες και από το άλλο από τη μέθοδο εφαρμογής, το πραγματικό ύψος εφαρμογής  $d$  είναι συνήθως μεγαλύτερο από το θεωρητικά απαιτούμενο και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$d = \frac{d_n}{E_a} \quad (4.15)$$

όπου  $E_a$  είναι ο συντελεστής απόδοσης κατά την εφαρμογή που κυμαίνεται κάτω από συνήθεις συνθήκες από 0.60 έως 0.90. Το πραγματικό ύψος εφαρμογής είναι γνωστό ως *δόση άρδευσης*. Όσο αφορά στις διαστάσεις των μεγεθών  $x$ ,  $e$ ,  $d_n$  και  $d$  όλα εκφράζονται σε μονάδες μήκους και κατά προτίμηση σε mm.

**Πίνακας. Ενδεικτικές τιμές υδατοϊκανότητας, σημείου μόνιμης μάρανσης και διαθέσιμου εδαφικού νερού για διάφορους τύπους εδαφών, σύμφωνα με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης κατά USDA (Ross and Hardy, 1997)**

Τύπος εδάφους	Μηχανική σύσταση	Υγρασία εδάφους (% κατ' όγκο)		
		Υδατοϊκα- νότητα	Σημείο μόνιμης μάρανσης	Διαθέσιμο εδαφικό νερό
Ελαφρά εδάφη	Αμμώδες	12	5	7
	Πηλοαμμώδες	17	7	10
Μετρίως ελαφρά εδάφη	Αμμοπηλώδες	22	9	13
	Πηλώδες	35	16	19
Μέσα εδάφη	Ιλοοπηλώδες	40	19	21
	Αμμοαργιλοπηλώδες	39	22	17
Μετρίως βαριά εδάφη	Ιλοαργιλοπηλώδες	40	21	19
	Αργιλοπηλώδες	39	24	15
Βαριά εδάφη	Ιλοαργιλώδες	39	26	13
	Αργιλώδες	39	28	11

# Εφαρμογή

## Διαθέσιμη υγρασία:

Η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους για την ανάπτυξη  $\theta_m$  προκύπτει όταν αφαιρούμε από την υδατοϊκανότητα του εδάφους  $Y_{FC}$ , την υγρασία στο σημείο μόνιμης μαράνσεως,  $Y_{PWP}$ . Έτσι για το συγκεκριμένο έδαφος είναι:

$$\theta_m = Y_{FC} - Y_{PWP} = 19 - 11 = 8\% \xi\beta$$

## Ισοδύναμο ύψος εδαφικού νερού:

Το ισοδύναμο ύψος νερού  $\theta_h$  για κάθε είδος καλλιέργειας δίνεται από την εξίσωση που ακολουθεί:

$$\theta_h = 10 \cdot \theta_m \cdot \rho_b \cdot d$$

όπου  $D_b$  είναι η φαινόμενη ξηρά πυκνότητα του εδάφους. Για το συγκεκριμένο έδαφος που είναι μέσο, ισούται με  $1,46 \text{g/cm}^3$ . Με αντικατάσταση στην παραπάνω εξίσωση, έχουμε για τα δύο είδη καλλιεργειών:

$$\text{Αραβόσιτος: } \theta_{h,\alpha} = 10 \cdot \theta_m \cdot \rho_b \cdot h_a = 10 \cdot \frac{8}{100} \cdot 1,46 \cdot 90 = 105,12 \text{mm}$$

$$\text{Σακχαρότευτλα: } \theta_{h,\sigma} = 10 \cdot \theta_m \cdot \rho_b \cdot h_a = 10 \cdot \frac{8}{100} \cdot 1,46 \cdot 90 = 105,12 \text{mm}$$

**Πιν. 4.3:** Το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο μείωσης της εδαφικής υγρασίας ( $x_c/x_0$ ) για τις βασικές καλλιέργειες της Ελλάδας

Καλλιέργεια	Ελάχιστο όριο μείωσης της υγρασίας $x_c/x_0$
Μηδική	0.45
Καλαμπόκι	0.40 - 0.50
Βαμβάκι	0.35
Χορτοδοτικά	0.50
Αμπέλι	0.65
Ελιές	0.35
Πατάτες	0.75
Ζαχαρότευλα	0.50
Ντομάτες	0.60
Σιτηρά (αρχή)	0.45
(τέλος)	0.10

### Ελάχιστο όριο μείωσης της υγρασίας:

Το ελάχιστο όριο μείωσης της υγρασίας (LAL) δίνεται από πίνακα (Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων του Γ.Π. Τσακίρη, Πιν. 2.4, σελ. 2.18) και για τις δύο υπό μελέτη καλλιέργειες είναι:

$$\text{Αραβόσιτος: } \left( \frac{x_c}{x_0} \right)_\alpha = 0,45$$

$$\text{Σακχαρότευτλα: } \left( \frac{x_c}{x_0} \right)_\sigma = 0,50$$

όπου  $x_c$  είναι το διαθέσιμο ύψος νερού στο ριζόστρωμα πριν την εφαρμογή της άρδευσης:

$$\text{Αραβόσιτος: } x_{c,\alpha} = 0,45 \cdot x_{0,\alpha} = 0,45 \cdot 105,12 = 47,30 \text{ mm}$$

$$\text{Σακχαρότευτλα: } x_{c,\sigma} = 0,50 \cdot x_{0,\alpha} = 0,50 \cdot 105,12 = 52,56 \text{ mm}$$

## Καθαρό και πραγματικό ύψος ύδατος:

Αν οι απώλειες κατά την εφαρμογή της άρδευσης θεωρηθούν μηδενικές, τότε το καθαρό ύψος του ύδατος που πρέπει να εφαρμοστεί ώστε η υγρασία στο ρίζωμα από  $x_c$  να γίνει  $x_0$ , είναι:

$$d_n = x_0 - x_c$$

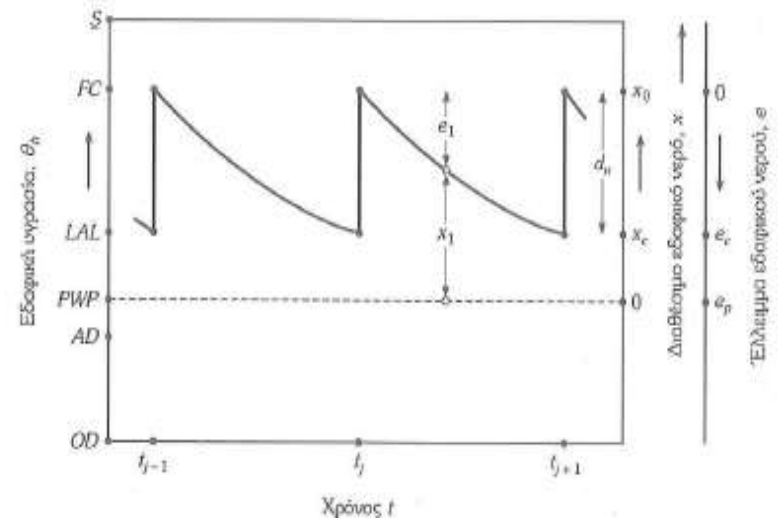
Αραβόσιτος:  $d_{n,\alpha} = x_{0,\alpha} - x_{c,\alpha} = 105,12 - 47,30 = 57,82mm$

Σακχαρότευτλα:  $d_{n,\sigma} = x_{0,\sigma} - x_{c,\sigma} = 105,12 - 52,56 = 52,56mm$

Οι τιμές βέβαια που βρέθηκαν είναι οι θεωρητικές, γιατί στην πραγματικότητα υπάρχουν απώλειες κατά την εφαρμογή της άρδευσης. Ο συντελεστής απόδοσης κατά την εφαρμογή της άρδευσης δίνεται,  $E_a=0,75$ . Άρα το πραγματικό ύψος για δύο καλλιέργειες είναι:

Αραβόσιτος:  $d_\alpha = \frac{d_{n,\alpha}}{E_a} = \frac{57,82}{0,75} = 77,09mm$

Σακχαρότευτλα:  $d_\sigma = \frac{d_{n,\sigma}}{E_a} = \frac{52,56}{0,75} = 70,08mm$



# Στρώσεις

## Μέγιστη εδαφική Υγρασία:

Η μέγιστη εδαφική υγρασία του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$x_0 = 10 \cdot \sum_n \left[ \left[ (\theta_{m,FC})_i - (\theta_{m,PWP})_i \right] \cdot \rho_{b,i} \cdot h_i \right]$$

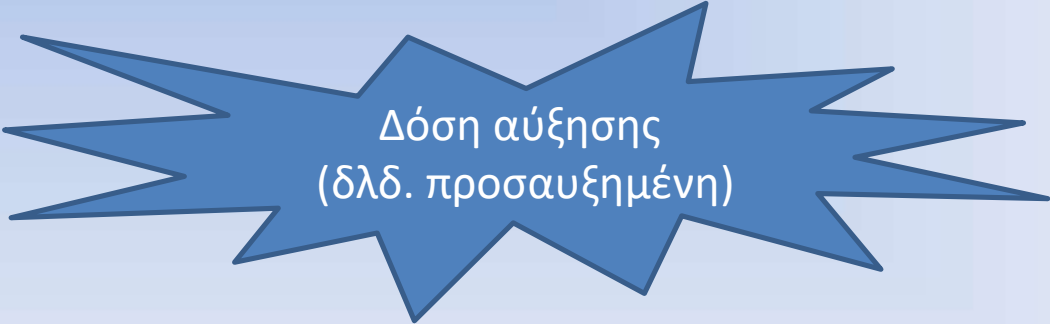
όπου  $n$ , είναι ο αριθμός των στρώσεων του εδάφους. Επειδή όμως το συγκεκριμένο έδαφος αποτελείται από μία στρώση, η μέγιστη εδαφική υγρασία ισούται με το ισοδύναμο ύψος του εδαφικού νερού.

**Θέματα που θα αναλυθούν στα  
δίκτυα καταιονισμού**

**Ο χρόνος παραμονής των  
εκτοξευτήρων στην ίδια θέση ώστε  
να «γεμίσει η εδαφική στρώση»  
δλδ. πόση διάρκεια ποτίζω**

Ο χρόνος παραμονής των εκτοξευτήρων στην  
ίδια θέση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t = \frac{d}{r}$$



Δόση αύξησης  
(δλδ. προσυζητημένη)



# Κάθε μέρα πόσες θέσεις μπορώ να καλύψω?

Ο υπολογισμός των θέσεων στις οποίες μπορεί να τοποθετηθεί η γραμμή άρδευσης σε μία ημέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_d = \frac{t_d (\text{ώρες λειτουργίας του δικτύου})}{t' \left( = \frac{d}{r} + 0.4h \right)}$$

↙  
Χρόνος αλλαγής θέσης

# Θεωρητική άσκηση με γνώση (παρακολούθηση της υγρασίας)

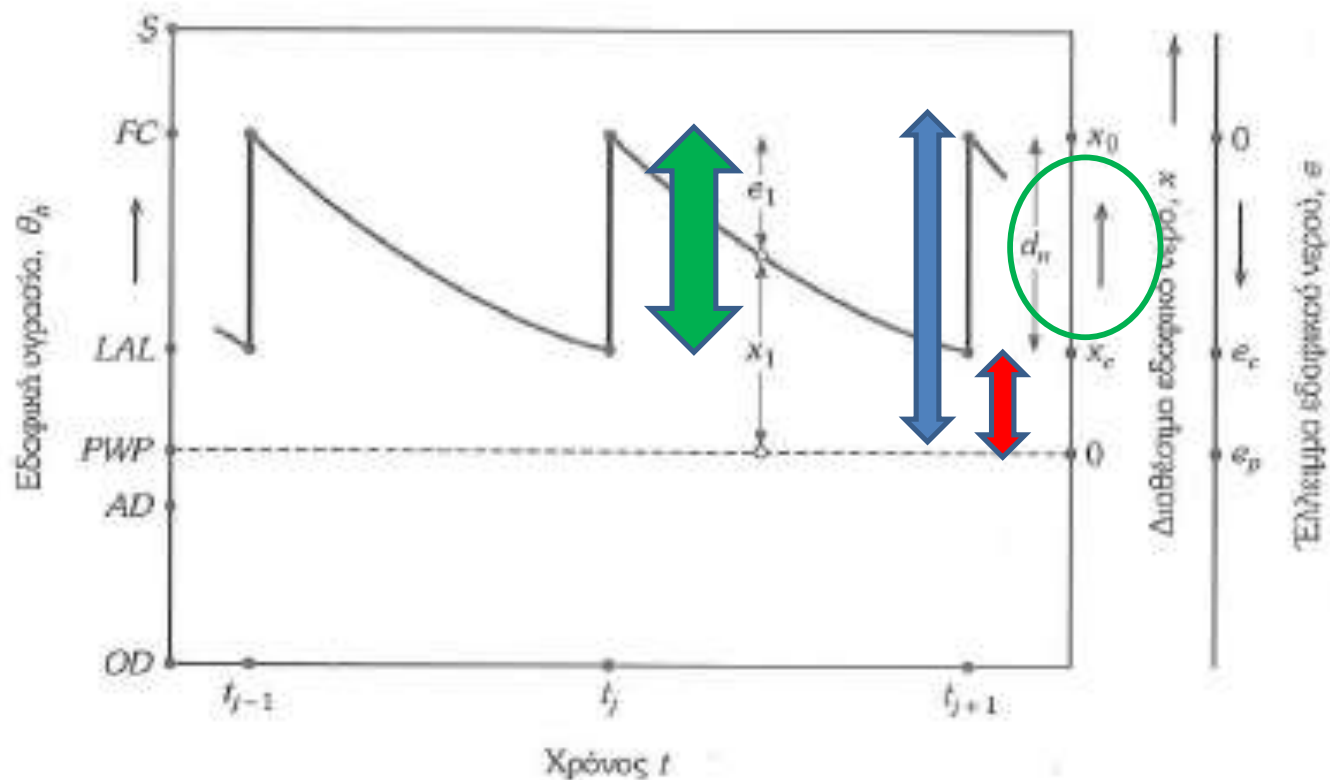
2. Ζητείται το έλλειμμα εδαφικής υγρασίας, αν η περιεκτικότητα σε υγρασία κατά βάρος στις τρεις ζώνες βάθους 30 cm η κάθε μία είναι αντίστοιχα  $\theta_{m,1} = 25\%$ ,  $\theta_{m,2} = 24\%$ ,  $\theta_{m,3} = 23,5\%$ . Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται η υδατοϊκανότητα, το σημείο μόνιμης μαράνσεως και η φαινόμενη πυκνότητα κάθε ζώνης.

Ζώνη (cm)	Υδατοϊκανότητα $\theta_{m,FC}$ %	Σημείο μόνιμης μαράνσεως $\theta_{m,PWP}$ %	Φαινόμενη Πυκνότητα $D_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )
0-30	33	18	1.3
30-60	30	16	1.4
60-90	25	13	1.45

Ζητούνται επιπλέον:

(α) το ύψος εφαρμογής που απαιτείται για βαθμό αποδόσεως  $E_a = 0.80$

(β) το εύρος αρδεύσεως αν το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο υγρασίας καθορίζεται  $x_c = 0.40$  και ο ρυθμός απομάκρυνσης του νερού  $IR_n = 6$  mm/ημέρα.



Σχ. 4.4: Τοπική μεταβολή της μέσης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα με την εφαρμογή των αρδεύσεων στους χρόνους  $t_{j-1}$ ,  $t_j$  και  $t_{j+1}$  με θεωρητικώς απαιτούμενο ύψος νερού  $d_n = e_c$ .

# $x_0$

## ΛΥΣΗ

$$(α) \quad x_o = \sum_{j=1}^m \left[ (\Theta_{m,FC})_j - (\Theta_{h,PWP})_j \right] = 10 \cdot \sum_{j=1}^m \left[ \left( (\Theta_{m,FC})_j - (\Theta_{m,PWP})_j \right) \cdot D_{h,j} \cdot h_j \right] \Rightarrow$$

$$x_o = 10 \cdot \left( \frac{33-18}{100} \cdot 1,30 \cdot 30 + \frac{30-16}{100} \cdot 1,40 \cdot 30 + \frac{25-13}{100} \cdot 1,45 \cdot 30 \right) = 169,5 \text{ mm}$$

ή

169,5m<sup>3</sup>/στρέμμα

όπου  $x_0$  συνολική διαθέσιμη εδαφική υγρασία.

# Β ερώτημα, διαστασιολόγηση (σχεδιασμός, θέμα)

$$x_c$$

(β) Το εύρος αρδεύσεως, το χρονικό διάστημα δηλαδή μεταξύ δυο διαδοχικών αρδεύσεων, υπολογίζεται ως εξής:

$$T = \frac{x_o - x_c}{IR_n} = \frac{x_o - 0,4 \cdot x_o}{IR_n} = \frac{0,6 \cdot x_o}{IR_n} = \frac{0,6 \cdot 169,5}{6} = 16,95 \text{ ημέρες}$$

**Α. ερώτημα, ακαδημαϊκό δε χρησιμοποιείτε  
στη διαστασιολόγηση δε μετρώ υγρασία  
εδάφους κατά το σχεδιασμό,  $x_c$  (πραγματικό  
άσκησης)α' τρόπος**

- Άρδευση μεταξύ του σημείου μέγιστης υδατοϊκανότητας και της υπάρχουσας υγρασίας

$$d_n' = \sum_{i=1}^3 10 \cdot (\theta_{m,FC} - \theta_m')_i \cdot \rho_{b,i} \cdot h_i =$$

$$\left[ \frac{33-25}{100} 10 \cdot 1.3 \cdot 30 + \frac{30-24}{100} 10 \cdot 1.4 \cdot 30 + \frac{25-23.5}{100} 10 \cdot 1.45 \cdot 30 \right]$$

# Αρχικό ερώτημα, β τρόπος

Πριν την άρδευση το διαθέσιμο ύψος νερού στο ριζόστρωμα είναι  $x_c$ :

$$x_c = \sum_{j=1}^m \left[ (\Theta_m)_j - (\Theta_{h,PWP})_j \right] = 10 \cdot \sum_{j=1}^m \left[ \left( (\Theta_m)_j - (\Theta_{m,PWP})_j \right) \cdot D_{h,j} \cdot h_j \right] \Rightarrow$$

$$x_c = 10 \cdot \left( \frac{25-18}{100} \cdot 1,30 \cdot 30 + \frac{24-16}{100} \cdot 1,40 \cdot 30 + \frac{25,3-13}{100} \cdot 1,45 \cdot 30 \right) = 106.5$$

Πραγματική  
ανάγκη με  
βάση τις  
μετρήσεις

Άρα το έλλειμμα εδαφικής υγρασίας είναι:

$$e_c = x_0 - x_c = 63 \quad \text{mm} = d_n$$

όπου  $d_n$  το ύψος νερού που πρέπει να εφαρμοστεί αν οι απώλειες εφαρμογής θεωρηθούν μηδενικές.

Επιπλέον το πραγματικό ύψος εφαρμογής  $d$  θα είναι:

$$d = \frac{d_n}{E_a} = \frac{d_n}{0,80} = \frac{63}{0,80}$$