



# ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ: ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΜΟΥΡΟΥΤΟΓΛΟΥ  
ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

# Αρχές και ορισμοί

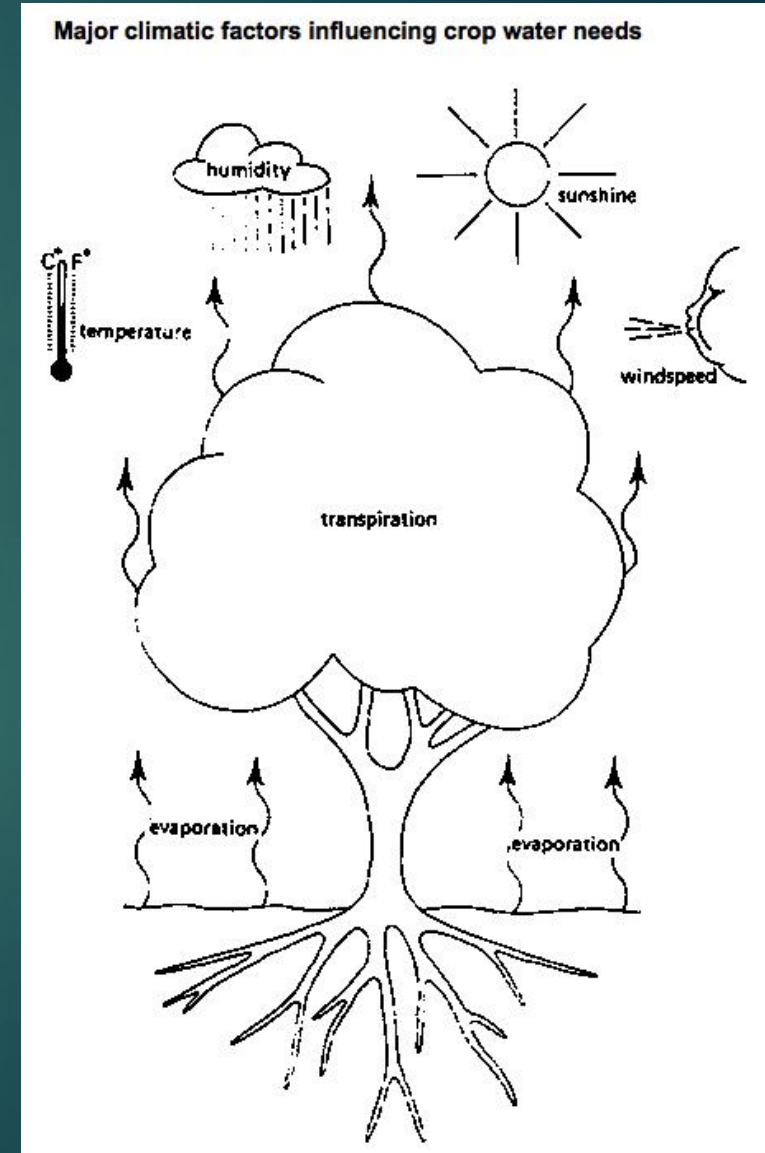
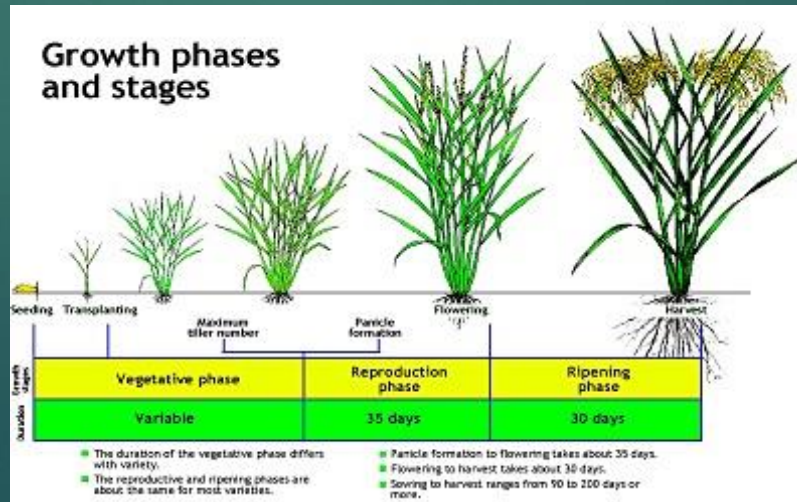
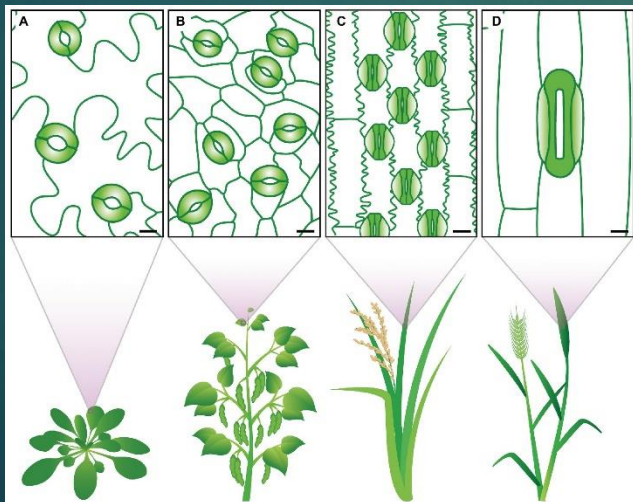
- ▶ Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων
- ▶ Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με την διαπνοή από τα φυτά και την εξάτμιση από το έδαφος κάτω από ορισμένες συνθήκες υγρασίας, κλιματικές συνθήκες και συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας αποτελεί την *εξατμισοδιαπνοή*.



# Αρχές και ορισμοί

## ▶ Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται:

- Από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμά της.
- Από κλιματικούς παράγοντες (όπως η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας).



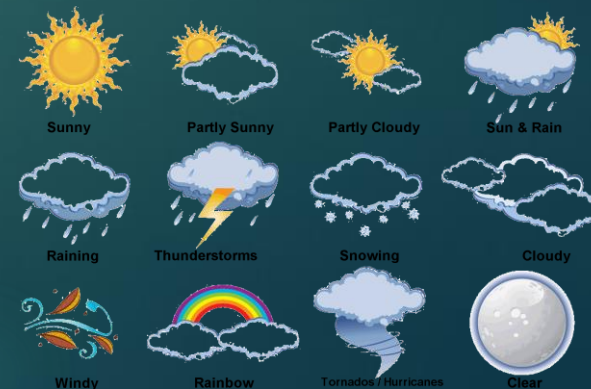
# \*Ορισμοί

ET =  
Evapotranspiration

- ▶ Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ( $ET_c$ ): Το νερό που χρειάζεται για την κανονική ανάπτυξη και **βέλτιστη απόδοση** μιας καλλιέργειας και εκφράζεται με τον όρο *ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας*.

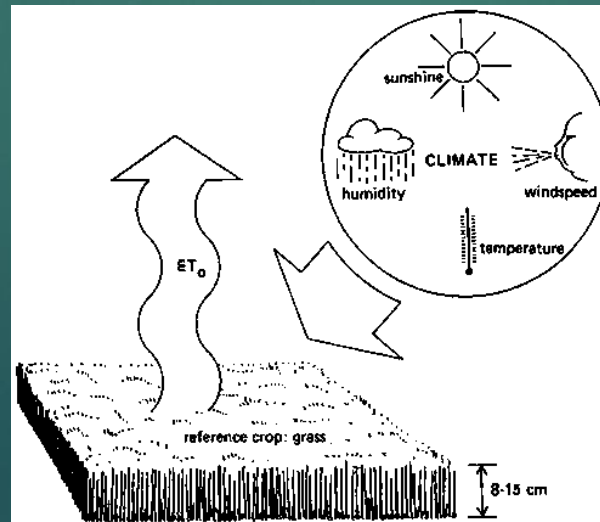


- ▶ Μέγιστη εξατμισοδιαπνοή ( $ET_{max}$ ): Το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια που είναι ελεύθερη από κάθε είδους φυτικής ασθένειας, αναπτύσσεται σε μεγάλα χωράφια, χωρίς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων και επιτυγχάνει το μέγιστο της απόδοσης κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται.



# Ορισμοί

- ▶ Πραγματική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_a$ ): Το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια κάτω από τις **συγκεκριμένες συνθήκες** ενός χωραφιού (πλήρης ή μερική διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας, προσβολή ή όχι από ασθένειες, γονιμότητα του χωραφιού κ.ά.)
- ▶ Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ή βασική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_r / ET_o$ ): Η εξατμισοδιαπνοή από μια καλλιέργεια "αναφοράς ή βάσης" που αναπτύσσεται **δυναμικά** κάτω από συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού.

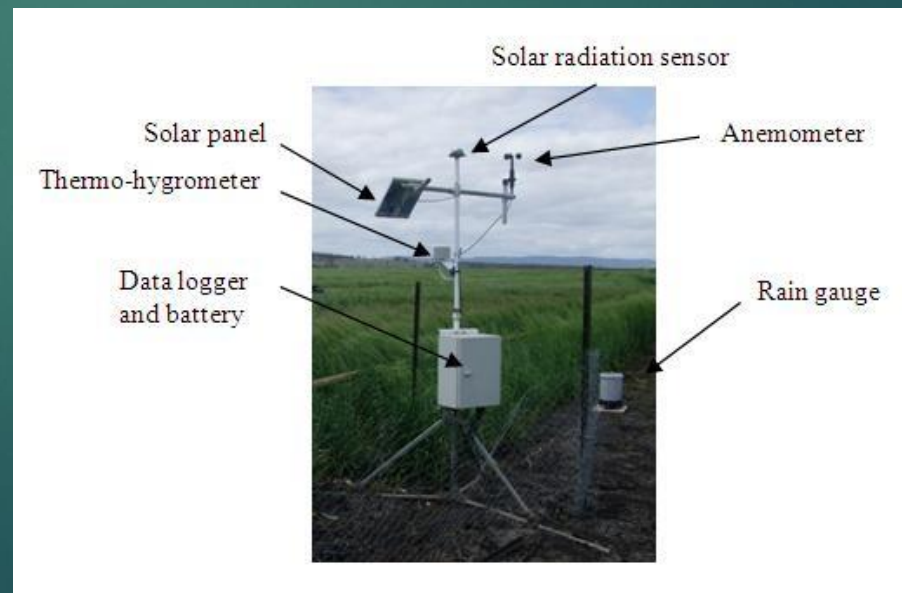
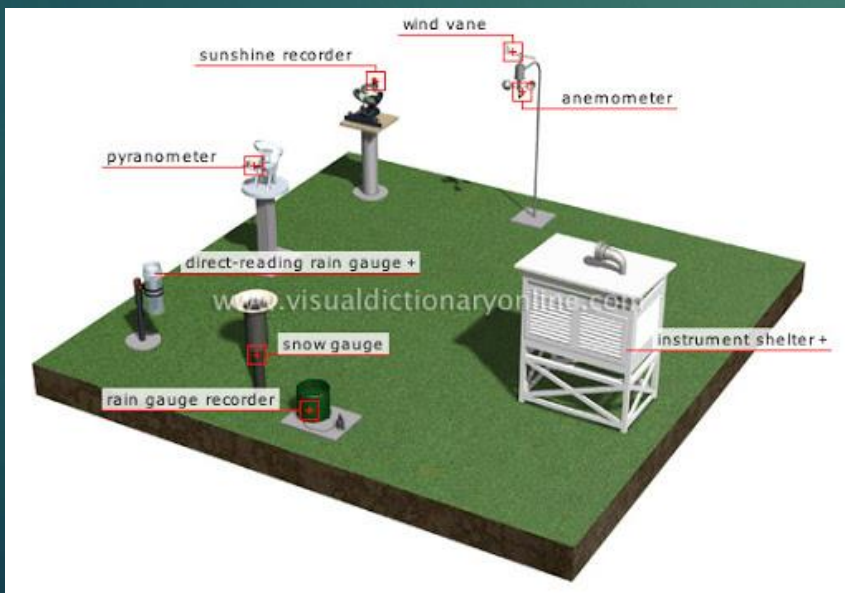


# \*Ορισμοί

- ▶ Η διαφοροποίηση της εξαμισοδιαπνοής καλλιέργειας ( $ET_c$ ) από τη βασική εξαμισοδιαπνοή ( $ET_r$ ) εκφράζεται από το *φυτικό συντελεστή* ( $K_c$ ), έτσι που να διαμορφώνεται η γενική σχέση:

$$ET_c = k_c \cdot ET_r \quad \text{ή} \quad k_c = \frac{ET_c}{ET_r}$$

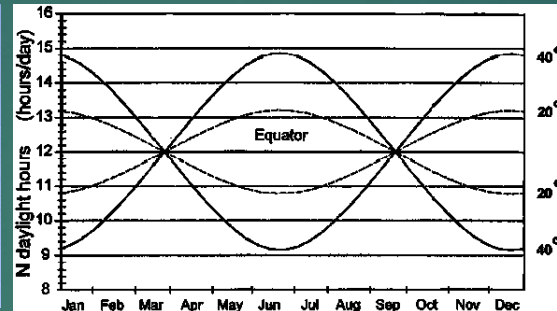
- ▶ Για τον υπολογισμό της βασικής εξαμισοδιαπνοής ( $ET_r$ ), χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι που βασίζονται σε **μετρήσιμες κλιματικές παραμέτρους**.



# Υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής

► Υπάρχουν π.χ. οι μέθοδοι:

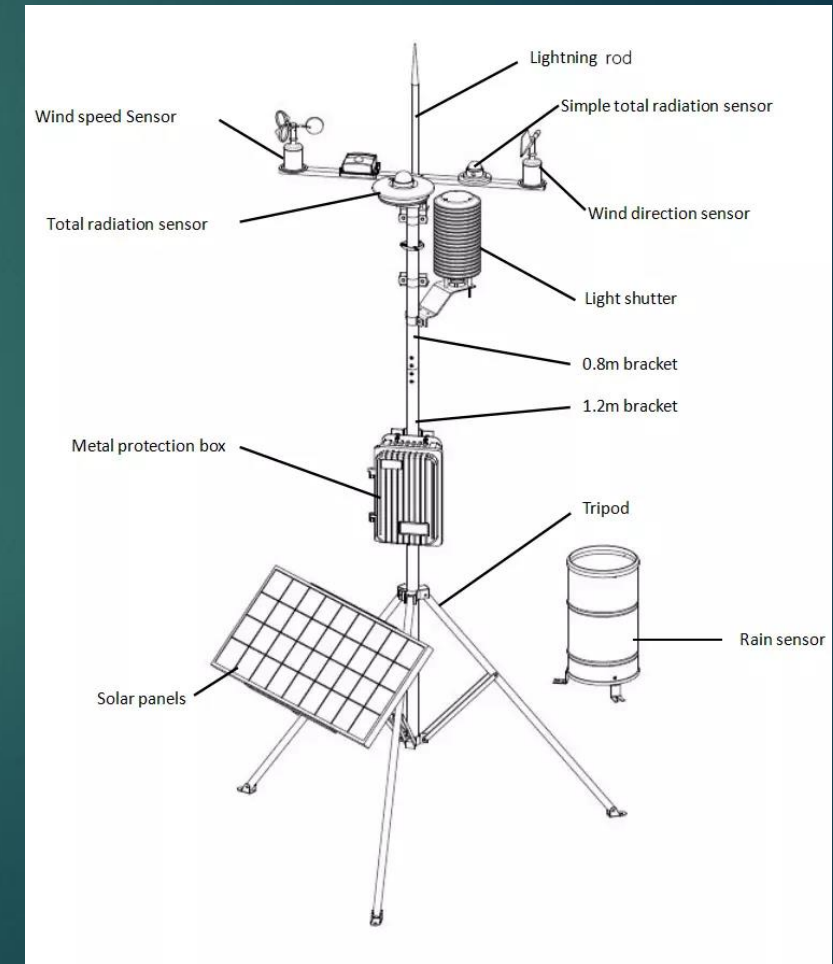
➤ Η τροποποιημένη μέθοδος των [Blaney –Criddle](#)



➤ Η τροποποιημένη μέθοδος του [Penman](#)



➤ Η συνδυασμένη μέθοδος των [Penman - Monteith](#)



# Η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney –Criddle

$$ET_r = a + bF$$

- ▶  $F = (0,46T + 8,13)p$
- ▶  $a = 0,0043 (RH_{min}) - n/N - 1,41$
- ▶  $b = a_0 + a_1(RH_{min}) + a_2 (n/N) + a_3(U_2) + a_4(RH_{min}) (n/N) + a_5(RH_{min})(U_2)$ 
  - Όπου:  $\alpha_0 = 0,81917$ ,  $\alpha_1 = -0,0040922$ ,  $\alpha_2 = 1,0705$ ,  
 $\alpha_3 = 0,065649$ ,  $\alpha_4 = -0,0059684$  και  $a_5 = -0,0005967$ .
  - $ET_r$  είναι η βασική εξαμισοδιαπνοή σε mm/day
  - $T$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε °C,
  - $RH_{min}$  η μέση ημερήσια ελάχιστη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας εκφρασμένη ως ποσοστό %



# Η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney –Criddle

- $n$ , η μέση ημερήσια πραγματική ηλιοφάνεια (σε h/day)
  - $N$  είναι η μέση ημερήσια θεωρητική ηλιοφάνεια που δίνεται από πίνακα σαν συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους (σε h/day)
  - $U_2$  η μέση ημερήσια ταχύτητα του αέρα σε ύψος 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σε m/sec
- ▶ Αν η ταχύτητα του αέρα έχει μετρηθεί σε διαφορετικό ύψος, μπορεί να αναχθεί στο ύψος των 2m με τη σχέση:
- Όπου  $U_z$  είναι η ταχύτητα του αέρα σε ύψος  $Z$  μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους.

$$U_2 = U_z \left( \frac{2}{z} \right)^{0,2}$$



## Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman

$$ET_r = c [ W \cdot R_n + (1 - W) f(u) (e_a - e_d) ]$$

Όπου:

- $ET_r$  είναι η βασική εξατμισοδιαπνοή σε mm/day
- $W$  είναι σταθμιστικός παράγοντας που αντιπροσωπεύει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην  $ET_r$  ενώ το  $1-w$  είναι επίδραση του ανέμου και της υγρασίας της ατμόσφαιρας στην  $ET_r$  (οι τιμές του δίνονται από πίνακα)
- $R_n$  είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο πάχος εξατμιζόμενου νερού σε mm/day

# Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman

$$ET_r = c [ W \cdot R_n + (1 - W) f(u) (e_a - e_d) ]$$

- $f(u)$  συνάρτηση που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου στην  $ET_r$  δίνεται :  $f(u) = 0.27 + 0.0027 U_2$
- $(e_a - e_d)$  είναι ένας παράγοντας που εκφράζει την επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στην  $ET_r$
- $c$  είναι διορθωτικός παράγοντας ενδεικτικός της διαφοράς των συνθηκών που επικρατούν σε έναν τόπο κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύκτας (είτε με τη χρήση πίνακα είτε με τη χρήση εξισώσεων...)

# Ο διορθωτικός παράγοντας c

$$\begin{aligned}c = & \alpha_0 + \alpha_1 U_d + \alpha_2 U_d R_s + \alpha_3 RH_{\max} R_s + \alpha_4 \left( \frac{U_d}{U_n} \right) U_d RH_{\max} \\ & + \alpha_5 \left( \frac{U_d}{U_n} \right) U_d RH_{\max} R_s + \alpha_6 (U_d)^2 RH_{\max} R_s + \alpha_7 \left( \frac{U_d}{U_n} \right)^2 U_d RH_{\max} \\ & + \alpha_8 \left( \frac{U_d}{U_n} \right) (U_d)^2 (RH_{\max})^2 R_s + \alpha_9 RH_{\max} (R_s)^2\end{aligned}$$

όπου  $\alpha_0 = 0,892$  ,  $\alpha_1 = -0,0781$  ,  $\alpha_2 = 0,00219$  ,  $\alpha_3 = 0,000402$  ,  $\alpha_4 = 0,000196$  ,  
 $\alpha_5 = 0,0000198$  ,  $\alpha_6 = 0,00000236$  ,  $\alpha_7 = -0,00000086$  ,  $\alpha_8 = -0,0000000292$  ,  
 $\alpha_9 = -0,0000161$  και  $U_d, U_n$  είναι σε  $m \cdot s^{-1}$  ,  $RH_{\max}$  είναι σε ποσοστά %  
και  $R_s$  είναι σε  $mm \cdot d^{-1}$ .

## Rn Υπολογισμός της καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας

Η διαδικασία υπολογισμού αρχίζει με τον προσδιορισμό της θεωρητικής ακτινοβολίας  $R_a$  (mm/day). Είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους του υπό εξέταση τόπου και της ημέρας του έτους (βρίσκεται από πίνακα). Γνωρίζοντας την θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί η προσπίπτουσα στην επιφάνεια της γης ηλιακή ακτινοβολία  $R_s$  :

$$R_s = \left[ \alpha + \beta \left( \frac{n}{N} \right) \right] R_a \quad \text{ή} \quad R_s = \left[ 0,25 + 0,50 \left( \frac{n}{N} \right) \right] R_a$$

Το  $n/N$  είναι η σχετική ηλιοφάνεια:

- $n$  η πραγματική και
- $N$  η θεωρητική ηλιοφάνεια (δίνεται από πίνακα)

# Υπολογισμός της καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας

- Η προσπίπτουσα στην επιφάνεια της γης ηλιακή ακτινοβολία  $R_s$  (mm/day) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας  $R_{ns}$  (mm/day)
- Η καθαρή μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία  $R_{ns}$  είναι αυτή που μένει μετά την ανάκλαση μέρους της  $R_s$  από την επιφάνεια της γης

$$R_{ns} = (1-a)R_s \quad \text{ή} \quad R_{ns} = 0,75 R_s$$

$a$  είναι ο συντελεστής ανακλαστικότητας (albedo) της επιφάνειας, ο οποίος λαμβάνει την τιμή 0,75 σε φυτοκαλυμμένες επιφάνειες

# Υπολογισμός της καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας

■ Η καθαρή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία  $R_{nl}$  είναι η διαφορά ανάμεσα σ' αυτή που ακτινοβολεί η γη στο διάστημα και σ' αυτή που δέχεται από το διάστημα. Υπόλογίζεται από τη σχέση:

$$R_{nl} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f\left(\frac{n}{N}\right)$$

Όπου:

- $f(T) = \sigma T_k^4$ ,  $\sigma = 1,9867 \times 10^{-9} \text{ mm d}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$
- $f(e_d) = 0.34 - 0.044 (e_d)^{1/2}$
- $f(n/N) = 0.1 + 0.9 (n/N)$

$T_k$  η απόλυτη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε  $^\circ\text{K}$ ,  $\sigma$  η σταθερά των Stefan-Boltzmann και  $e_d$  η πίεση υδρατμών της ατμόσφαιρας σε mb.

# Υπολογισμός της καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας

Έτσι, η καθαρή ακτινοβολία  $R_n$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad \text{σε mm/day}$$





## Επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στην ETr ( $e_a - e_d$ )

- ▶  $e_a$  είναι η πίεση κορεσμού των υδρατμών που αντιστοιχεί στη μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε mb. Οι τιμές της δίνονται από πίνακα.
- ▶  $e_d$  είναι η πραγματική πίεση των υδρατμών που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία αυτή σε mb. Μπορεί να υπολογιστεί είτε με χρήση πίνακα (*εάν είναι γνωστό το σημείο δρόσου*) ή με γνωστή τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας  $RH_{mean}$  τότε υπολογίζεται από τη σχέση:

$$e_d = e_a \cdot RH_{mean} / 100$$



# Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_1 \frac{0,622 \lambda_0}{P} \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

- Η παράμετρος  $G$  εκφράζει την κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας στο έδαφος, συνεπώς για έδαφος καλυμμένο με χλοοτάπητα ή μηδική λαμβάνει πολύ μικρή τιμή και παραλείπεται.
- Το  $K_1 \left( 0,622 \frac{\lambda_0}{P} \right)$  όπου  $K_1$  συντελεστής εξίσωσης

μονάδων,  $\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης,  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα και  $P$  η πίεση του αέρα σε θερμοκρασία  $^{\circ}T$ , μπορεί να προσεγγιστεί με τη σχέση:

$$K_1 \left( 0,622 \frac{\lambda_0}{P} \right) = 1710 - 6,85 T, \quad T \text{ σε } ^{\circ}C$$

## Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_u (1710 - 6,85T) \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

Όπου:

- $K_u$  είναι συντελεστής που εξασφαλίζει ότι οι δύο όροι έχουν τις ίδιες μονάδες ( $K_u = 1$  όταν  $ET_r$  μετράται σε  $Mj\ m^{-2}\ d^{-1}$ ,  $e_a$  και  $e_d$  σε  $kPa$  &  $K_u \sim 0.048$  όταν  $ET_r$  είναι σε  $mm\ d^{-1}$  και  $e_a$  και  $e_d$  είναι σε  $mb$ )
- $\Delta$  η κλίση της γραμμής στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας σε  $mb$  ανά  $^{\circ}C$ . Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta = 2(0,00738T + 0,8072)^7 - 0,00116, \quad T \text{ σε } ^{\circ}C$$

# Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_u (1710 - 6,85T) \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

Όπου:

- $\gamma^*$  είναι μια παράμετρος που δίνεται από τη σχέση

$$\gamma^* = \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right)$$

Όπου  $\gamma$  είναι η ψυχομετρική σταθερά σε mb ανά βαθμό °C και υπολογίζεται από τη σχέση

$$\gamma = 1,608 c_p \frac{P}{\lambda}$$

$c_p$  είναι η ειδική θερμότητα του υγρού αέρα σε σταθερή πίεση και είναι ίση με  $0,242 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$  ανά βαθμό °C,  $P$  η μέση πίεση της ατμόσφαιρας σε mb και  $\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε  $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$  και που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\lambda = 597,3 - 0,564 T, \quad T \text{ σε } ^\circ\text{C}$$

## Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_u (1710 - 6,85T) \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

$$\gamma^* = \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right)$$

Όπου  $r_c$  εκφράζει την αντίσταση της επιφάνειας (φυτοκόμης) στη μεταφορά υδρατμών σε  $s \cdot m^{-1}$  και ημερήσιες ή μηνιαίες τιμές του υπολογίζονται από τη σχέση:

$$r_c = \frac{100}{(0,5 LAI)}$$

Όπου LAI είναι ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$LAI = 0,24 h_c \quad \text{ή} \quad LAI = 1,5 \ln(h_c) - 1,4$$

Ανάλογα με το ύψος  $h_c$  (<15cm) του χορτοτάπητα επιλέγουμε τον 1<sup>ο</sup> ή 2<sup>ο</sup> τύπο (>3cm)

## Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_u (1710 - 6,85T) \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

$$\gamma^* = \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right)$$

Όπου  $r_a$  εκφράζει την αεροδυναμική αντίσταση στη μεταφορά αισθητής θερμότητας και υδρατμών σε  $s \cdot m^{-1}$  και δίνεται από τη σχέση:

$$r_a = \frac{\ln \left[ \frac{(z_w - d)}{z_{om}} \right] \ln \left[ \frac{z_p - d}{z_{ov}} \right]}{(0,41)^2 U_z}$$

Όπου  $z_w$  είναι το ύψος σε m στο οποίο μετράται η ταχύτητα του ανέμου,  $z_p$  είναι το ύψος που γίνεται η μέτρηση της υγρασίας (ψυχρόμετρο) και της θερμοκρασίας του αέρα,  $U_z$  σε  $m \cdot s^{-1}$  σε ύψος  $z_w$  ...

# Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

...d η μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου σε m και  $Z_{om}$  και  $Z_{ov}$  παράμετροι που εκφράζουν την τραχύτητα της φυτοκόμης σε m. Οι παράμετροι αυτοί υπολογίζονται από τις εξής σχέσεις:

$$d = \frac{2}{3} h_c$$

$$z_{om} = 0,123 h_c$$

$$z_{ov} = 0,1z_{om} = 0,0123 h_c$$

## Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman - Monteith

$$ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_u (1710 - 6,85T) \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

- $R_n$  είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία σε  $mm\ d^{-1}$  όπως υπολογίζεται στην τροποποιημένη μέθοδο του Penmann (αναφέρθηκε ανωτέρω)
- $e_a$  και  $e_d$  αναφέρονται στην πίεση υδρατμών της ατμόσφαιρας (ορίστηκαν ανωτέρω)
- Εάν δεν είναι γνωστή η ατμοσφαιρική πίεση, τότε μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

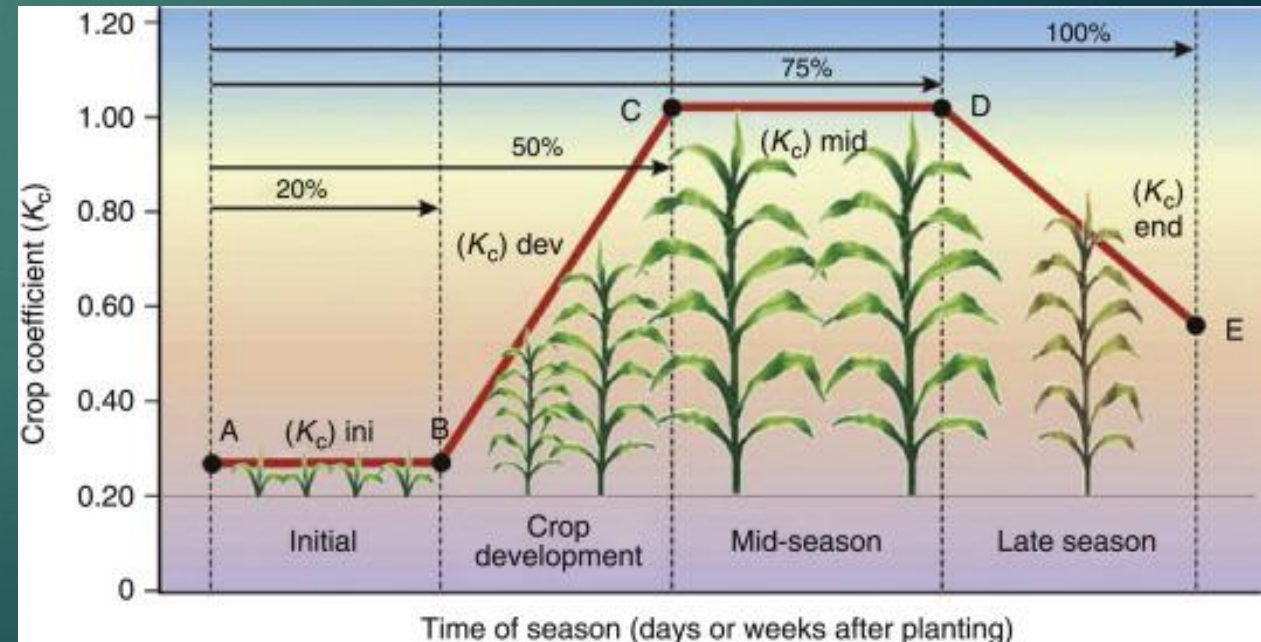
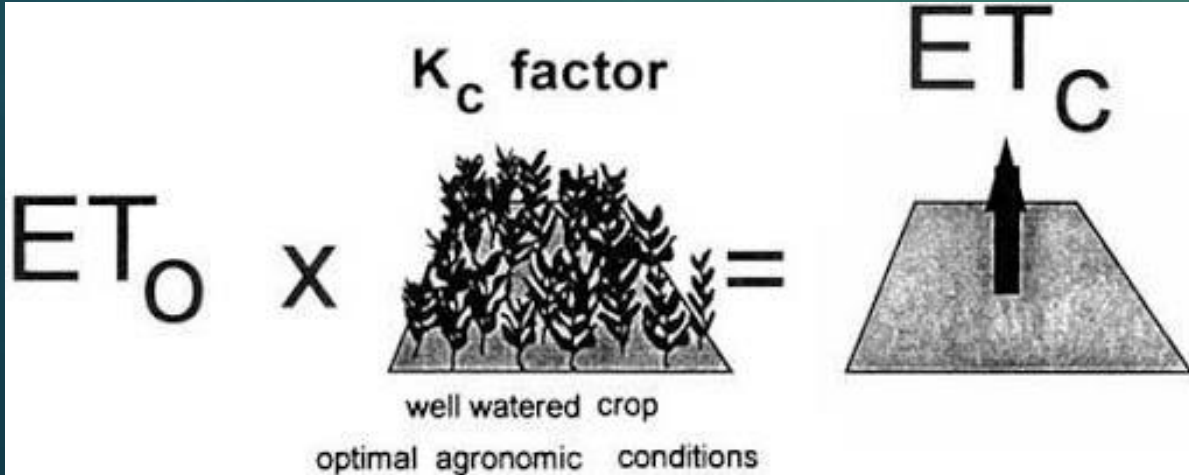
$$P = 1013 - 0,1055 (EL)$$

P σε mb και EL το υψόμετρο του τόπου σε m



# Φυτικοί συντελεστές $K_c$

- ▶ Αντιπροσωπεύουν τη διαφοροποίηση της εξαμισοδιαπνοής μιας οποιασδήποτε άλλης καλλιέργειας από την εξαμισοδιαπνοή αναφοράς.
- ▶ \*Διαφέρουν ανα καλλιέργεια, και για την ίδια καλλιέργεια παρουσιάζουν διακύμανση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.



# \*Φυτικοί συντελεστές $K_c$

- ▶ Οι τιμές τους διαμορφώνονται ανάλογα με: *(για όλες τις καλλιέργειες)*
  - Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας
  - Τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που αναπτύσσεται
  - Την καλλιεργητική πρακτική
  - Τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου,
- ▶ Για τις **ετήσιες καλλιέργειες** επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν το  $K_c$  είναι:
  - Ο χρόνος σποράς / φύτευσης
  - Ο ρυθμός ανάπτυξης και
  - Η συχνότητα των βροχοπτώσεων κατά το αρχικό στάδιο της ανάπτυξής τους.
- ▶ Για τις **χορτοδοτικές καλλιέργειες** το  $K_c$  επηρεάζεται τον αριθμό των κοπών

# \*Φυτικοί συντελεστές ετήσιων καλλιεργειών

- ▶ Μεγάλη διαφοροποίηση εξαιτίας της μεγάλης διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών τους, (κυρίως για το ποσοστό κάλυψης εδάφους)
- ▶ Διαίρεση της βλαστικής περιόδου σε 4 κύρια στάδια ανάπτυξης:

- Περίοδος εγκατάστασης της καλλιέργειας

*Κάλυψη του εδάφους όχι μεγαλύτερο του 10%*

- Περίοδος κύριας βλάστησης

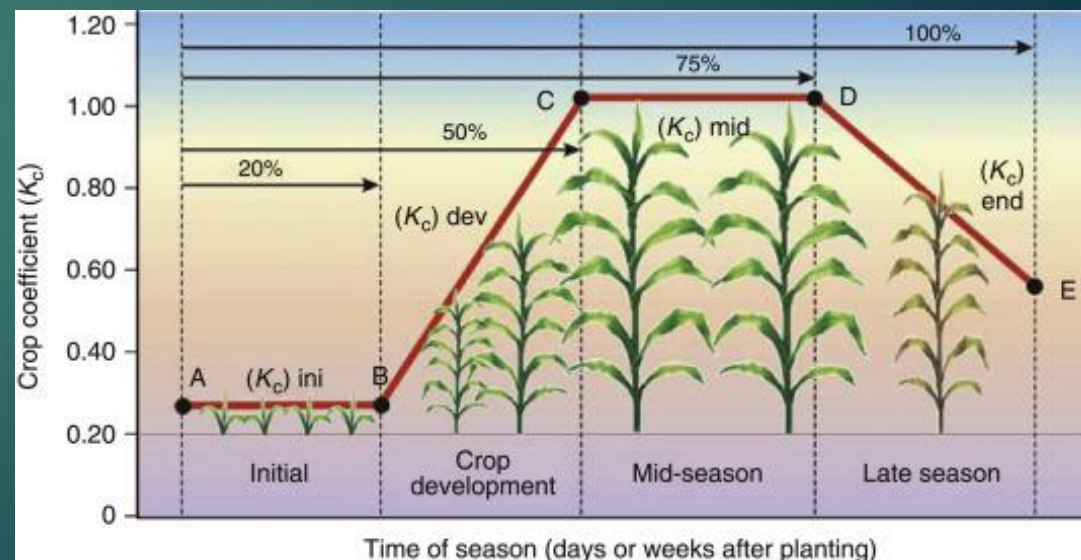
*Κάλυψη του εδάφους από 70 - 100%*

- Περίοδος διαμόρφωσης της παραγωγής

*Ανθοφορία μέχρι σχηματισμού των καρπών*

- Περίοδος ωρίμανσης

*Ωρίμανση μέχρι συγκομιδή*



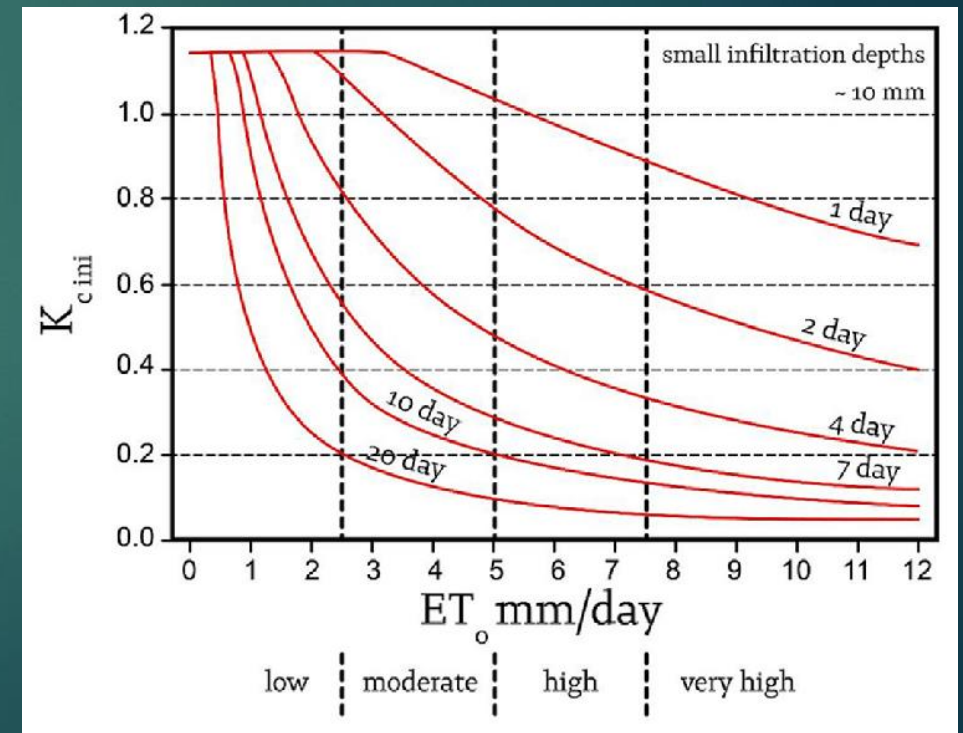
# Σύνταξη πίνακα για τα στάδια ανάπτυξης ετήσιων καλλιεργειών

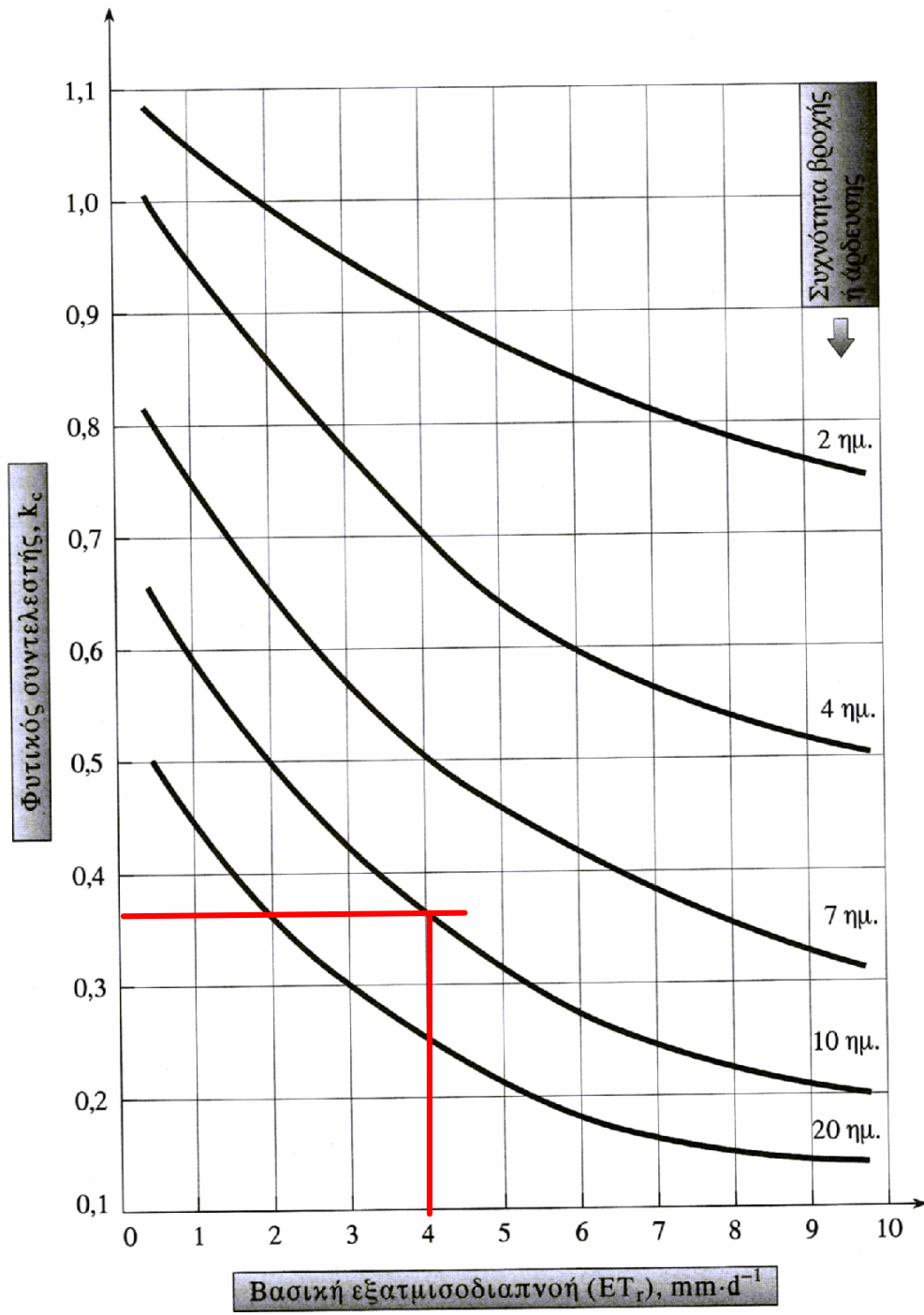
*Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης ετήσιων καλλιεργειών  
όπως διαμορφώνονται στην ηπειρωτική Ελλάδα*

<i>Καλλιέργεια</i>	<i>Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης</i>
(1)	(2)
Σιτάρι	Σπορά από 15/10 μέχρι 30/11 ή και αργότερα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Συγκομιδή από 5-25/6 στα πεδινά και 1-20/7 στα ορεινά. Αντίστοιχες βλαστικές περίοδοι (μέσες) 205 και 230 ημέρες. Διάρκεια σταδίων ανάπτυξης στα πεδινά 20/115/50/20 και στα ορεινά 20/140/50/20 (οι αριθμοί αναφέρονται κατά σειρά στα τέσσερα στάδια).
Κριθάρι	Ημερομηνίες σποράς αντίστοιχες με του σιταριού. Συγκομιδή στα πεδινά από 30/5-15/6 και στα ορεινά από 10/6-10/7. Μέση βλαστική περίοδος 190 και 215 ημέρες αντίστοιχα. Στάδια ανάπτυξης στα πεδινά 20/105/45/20 και στα ορεινά 20/130/45/20.
Σίκαλι	Η καλλιέργειά της πολύ περιορισμένη. Σπορά στο σιτάρι, και κριθάρι, συγκομιδή 5 ημέρες πριν το κριθάρι. Στάδια ανάπτυξης στα πεδινά 20/100/45/20 (185) και στα ορεινά 20/125/45/20 (210). (Οι αριθμοί στις παρενθέσεις αναφέρονται στη μέση διάρκεια της βλαστικής περιόδου).
Αραβόσιτος	Ποικιλίες καλαμποκιού πρώιμες με πλήρη βιολογικό κύκλο σπέρνονται στα πεδινά από 10-30/4 και συγκομίζονται από 5-15/9. Τα στάδια ανάπτυξης είναι 25/40/60/25 (150). Στα ορεινά η σπορά γίνεται 10 ημέρες αργότερα. Στα τενάγη των Φιλιππων, λόγω ειδικών συνθηκών, η σπορά γίνεται το Μάιο και η συγκομιδή τον Οκτώβριο ή ακόμη και το Νοέμβριο. Το επίσπορο καλαμπόκι σπέρνεται γύρω στις 25/6 και χρησιμοποιούνται υβρίδια με βιολογικό κύκλο 100 ημερών. Τα στάδια είναι 15/25/45/15 (100). Καλλιεργείται μόνο στα πεδινά.

# $K_c$ 1<sup>ου</sup> σταδίου ανάπτυξης

- ▶ Διαμορφώνεται από τις συνθήκες που επικρατούν κατά το στάδιο αυτό (πολύ μικρό ποσοστό φυτοκάλυψης)
- ▶ Εξάτμιση μεγαλύτερη από τη διαπνοή
- ▶ Η τιμή του  $K_c$  επηρεάζεται από τη συχνότητα των βροχών και των αρδεύσεων σε συνάρτηση με τη βασική  $ET_r$





Τιμές του συντελεστή  $K_c$  για το 1<sup>ο</sup> στάδιο ανάπτυξης σε συνάρτηση με τη  $ET_r$  και τη συχνότητα άρδευσης και βροχόπτωσης

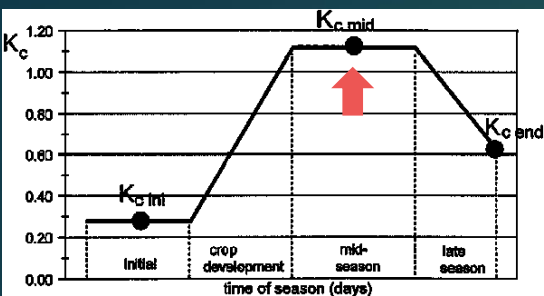
Π.χ. Η  $ET_r = 4 \text{ mm/day}$  (αν βρέχει / ποτίζω κάθε 10 ημέρες) => από το διάγραμμα υπολογίζω  $0,37 K_c$   
 $ET_c = K_c * ET_r = 0,37 * 4 = 1,48 \text{ mm / day}$

**ΑΡΑ: ΘΑ ΠΟΤΙΣΩ ΜΕ  $1,48 \text{ m}^3$  /στρέμμα ΓΙΑ ΝΑ ΚΑΛΥΨΩ ΤΙΣ ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

## \* $K_c$ 2<sup>ου</sup> σταδίου ανάπτυξης

- ▶ Σταδιακή αύξηση της φυτοκάλυψης  $\Rightarrow$  μεταβαλλόμενος φυτικός συντελεστής.
- ▶ Η ελάχιστη τιμή του είναι η τιμή του  $K_c$  του 1<sup>ου</sup> σταδίου ανάπτυξης.
- ▶ Η μέγιστη τιμή του είναι ίση με την τιμή του  $K_c$  του 3<sup>ου</sup> σταδίου.
- ▶ **Η μέση τιμή του  $K_c$  του 2<sup>ου</sup> σταδίου είναι το ημιάθροισμα των  $K_c$  του 1<sup>ου</sup> και του 3<sup>ου</sup> σταδίου.**

# $K_c$ 3<sup>ου</sup> σταδίου ανάπτυξης



- ▶ Η τιμή του  $K_c$  υπολογίζεται **πειραματικά** για κάθε καλλιέργεια και τόπο αφού οι επικρατούσες συνθήκες του εκάστοτε τόπου ασκούν σημαντική επίδραση στη διαμόρφωσή της.

<http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e0b.htm#TopOfPage>

$$K_{c\text{mid}} = K_{c\text{mid}(Tab)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

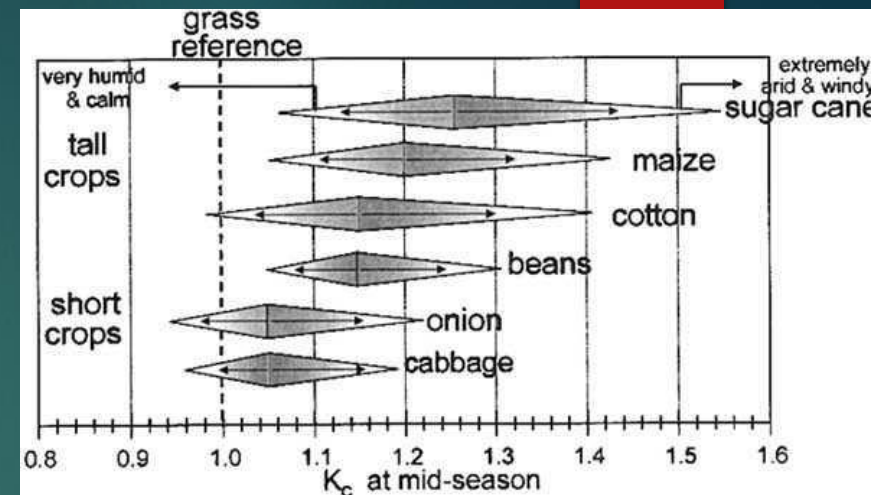
Το  $K_{c\text{mid}}(Tab)$  λαμβάνεται από τον πίνακα 12 της υπερσύνδεσης

$u_2$  η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους κατά την περίοδο διαμόρφωσης της παραγωγής

[m s<sup>-1</sup>], με την ταχύτητα  $1 \text{ m s}^{-1} \leq u_2 \leq 6 \text{ m s}^{-1}$ ,

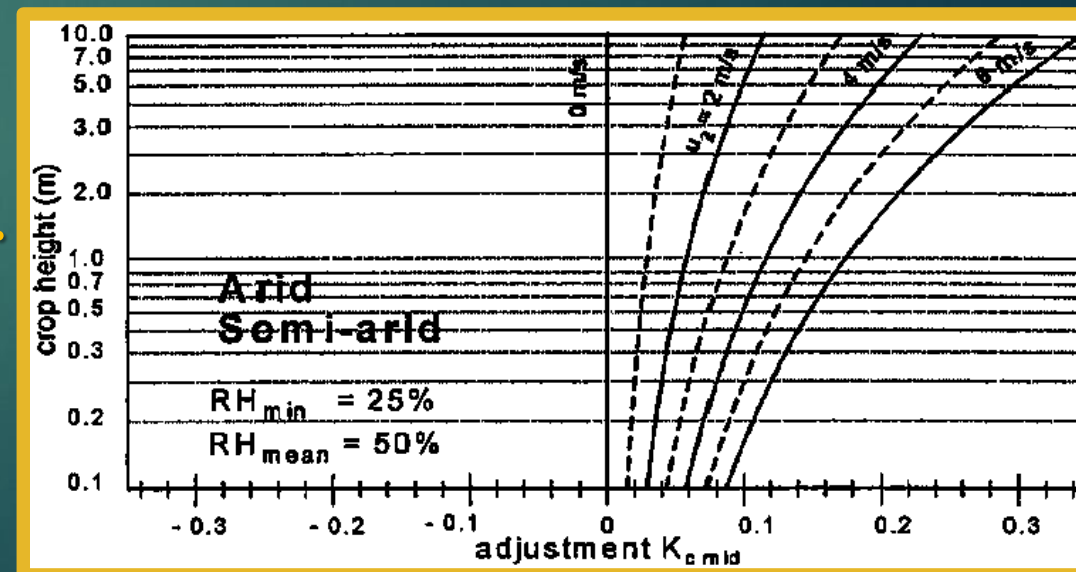
$RH_{\text{min}}$  Η μέση ελάχιστη σχετική υγρασία κατά την περίοδο διαμόρφωσης της παραγωγής [%] για  $20\% \leq RH_{\text{min}} \leq 80\%$

$h$  Το μέσο ύψος φυτού κατά την περίοδο διαμόρφωσης της παραγωγής [m] με τιμές  $0.1 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$ .



**Πρόσθεση των τιμών του πίνακα 12 (της υπερσύνδεσης στο  $K_{c\text{mid}}$  για διάφορα ύψη καλλιέργειας και μέσες ημερήσιες ταχύτητες  $u_2$**

‘H...



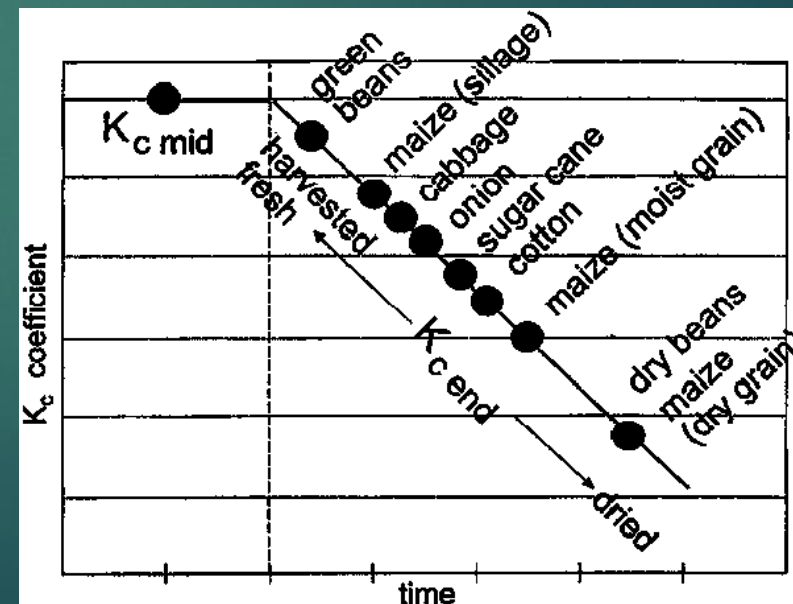


# $K_c$ 4<sup>ου</sup> σταδίου ανάπτυξης

- ▶ Η ποιότητα και η ποσότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων έχει άμεση σχέση με το επίπεδο υγρασίας του εδάφους και τις φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών (κατά το στάδιο αυτό)
- ▶ Μειώνεται κατά την προσέγγιση του τέλους του σταδίου αυτού.
- ▶ Προσδιορίζοντας πειραματικά τον  $K_c$  κατά την περίοδο της συγκομιδής, η μέση τιμή του καθ' όλη τη διάρκεια του σταδίου θα είναι το ημίθροισμα της τιμής αυτής και της τιμής του  $K_c$  του 3<sup>ου</sup> σταδίου.
- ▶ Η προσέγγιση του FAO <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e0b.htm#TopOfPage>

$$K_{c\text{end}} = K_{c\text{end}(\text{Tab})} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(\text{RH}_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

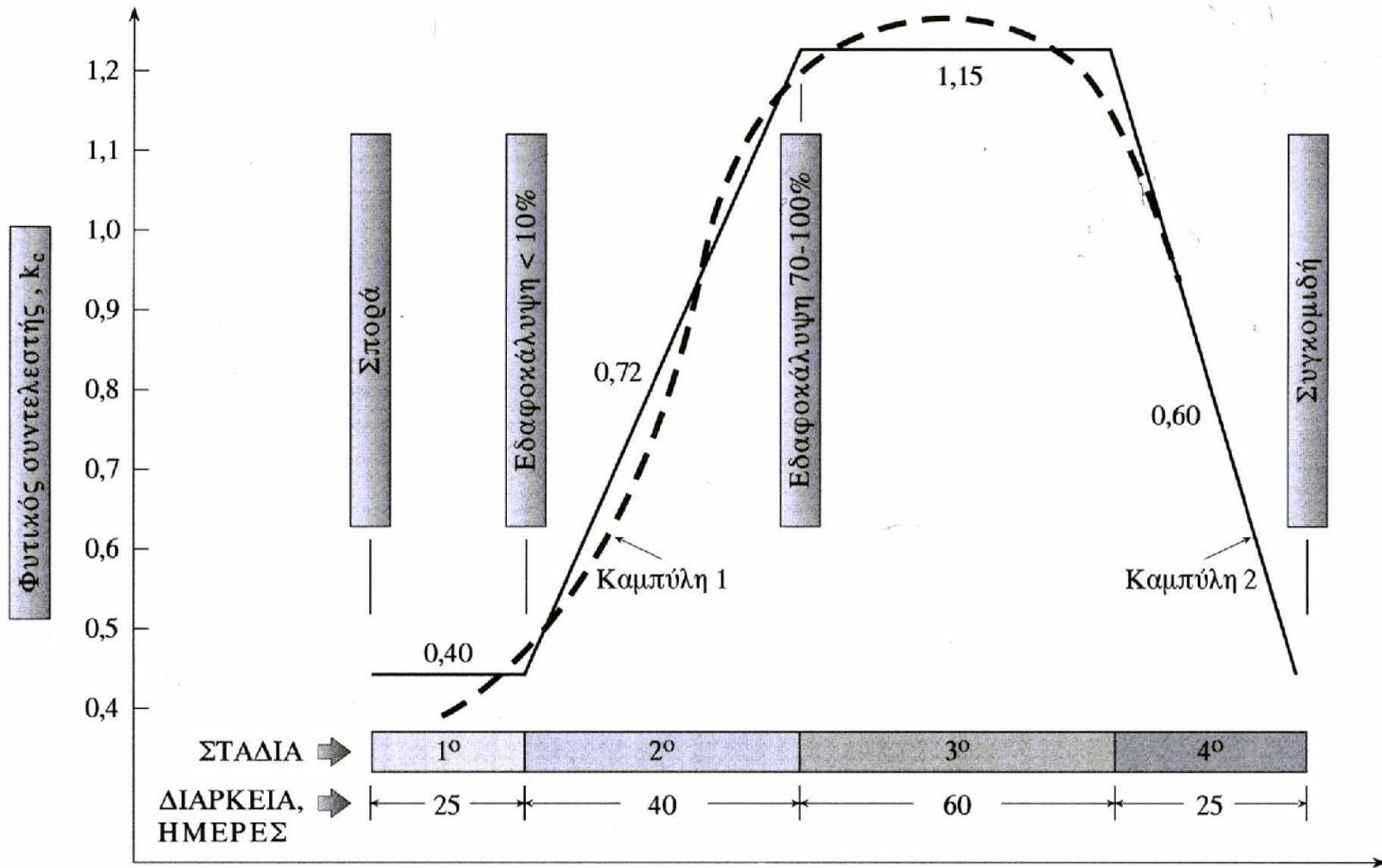
... όπως στην προηγούμενη διαφάνεια



# Γενικές παρατηρήσεις για τον Kc

- ▶ Στην πραγματικότητα οι Kc παρουσιάζουν μια συνεχή μεταβολή από το φύτευμα έως τη συγκομιδή.
- ▶ Παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση των τιμών της ETr με διάφορες μεθόδους.
- ▶ Διαφοροποιήσεις του Kc παρατηρούνται συνεπεία των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε έναν τόπο.
- ▶ ...Για τους παραπάνω λόγους, οι Kc θα πρέπει να προσδιορίζονται ξεχωριστά για εδαφικά διαμερίσματα με ομοιότητες κλιματικών συνθηκών, και επιβάλλεται η επισήμανση της μεθόδου προσδιορισμού της ETr.





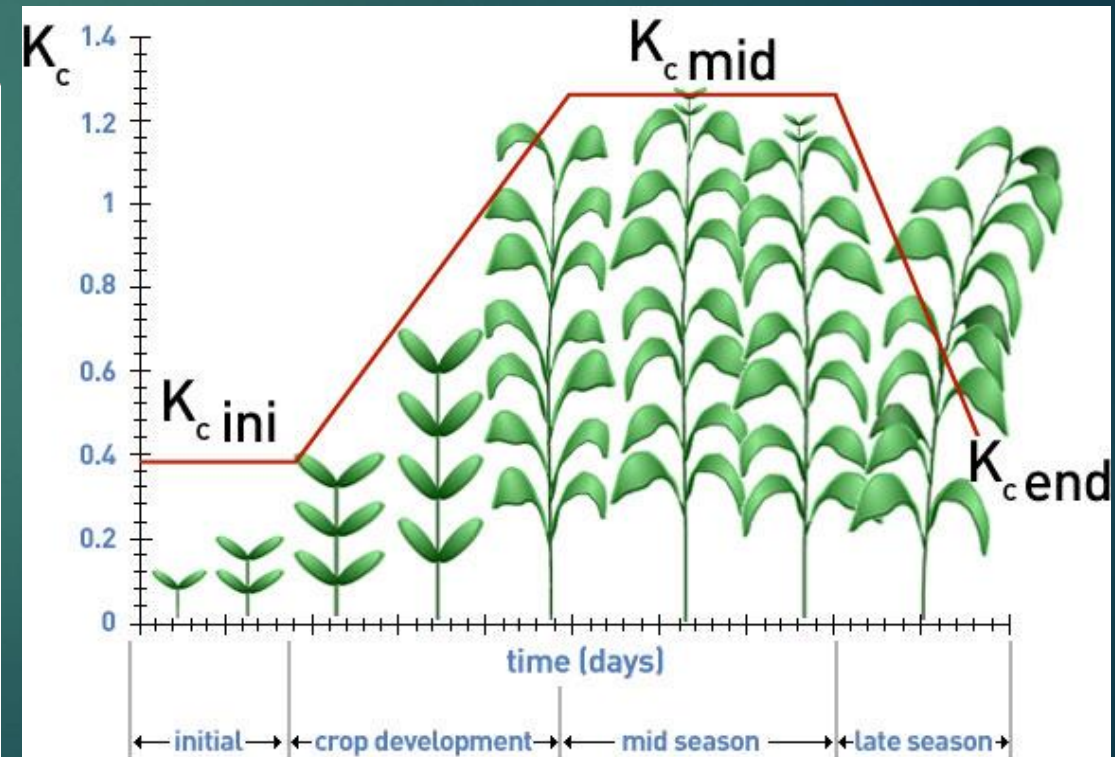
Διακύμανση του φυτικού συντελεστή  $k_c$  καλλιέργειας αραβόσιτου κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

# Γενικές παρατηρήσεις για τον Kc

- ▶ Ο υπολογισμός των Kc γίνεται μόνο στο 1<sup>ο</sup> στάδιο.
- ▶ Οι τιμές των 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> σταδίου δίνονται από πίνακες (FAO - 24 Crop Water Requirements)
- ▶ Η τιμή του 2<sup>ου</sup> σταδίου δίνεται από το ημιάθροισμα αυτών του 1<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> σταδίου

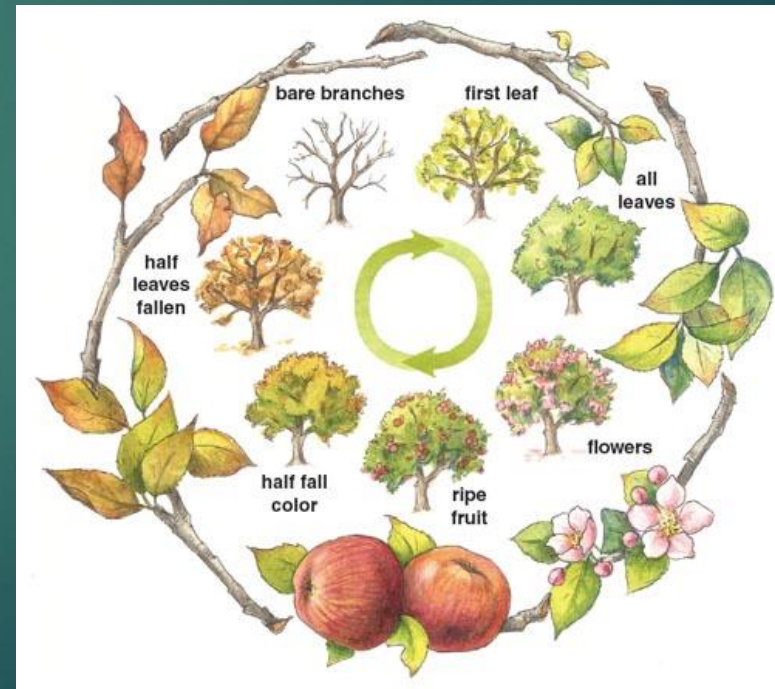
# Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών: Μηδική

- Οι τιμές του  $K_c$  μεταβάλλονται όπως και στις ετήσιες καλλιέργειες, απλά τα στάδια 1-4 επαναλαμβάνονται



# Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών: φυλλοβόλα οπωροφόρα

- Διαφέρουν ανάλογα με το είδος του δένδρου, το βαθμό κάλυψης του χωραφιού, τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, την παρουσία ή μη ζιζανίων.
- Διαμόρφωση της διάρκειας της βλ. περιόδου (γεωγραφικό πλάτος, υψόμετρο)



# Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών: εσπεριδοειδή

- Μηχανισμοί ελέγχου της διαπνοής με ρύθμιση της αντίστασης των στομάτων τους

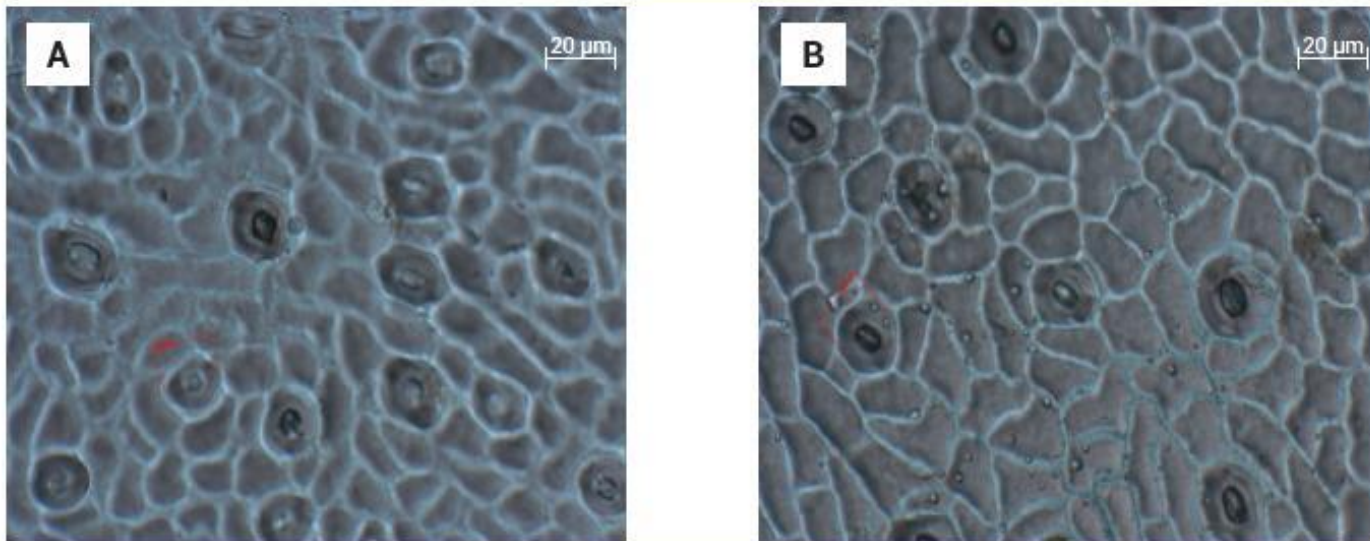


Figure 3. (A) Stomatal density in leaves of diploid (scale bar=20  $\mu\text{m}$ ); (B) stomatal density in leaves of triploid of *C. clementina* (scale bar=20  $\mu\text{m}$ ).

# Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών

## ▶ Ελαιόδενδρα

- Ανθεκτικά στην ξηρασία ⇒ *παράτασή της όμως...* μείωση στην απόδοση.
- Ετήσια βροχόπτωση 400-600mm
- Κρίσιμη περίοδος:
  - ❖ Πριν το δέσιμο του καρπού
  - ❖ Κατά το γέμισμα του καρπού

## ▶ Αμπέλια

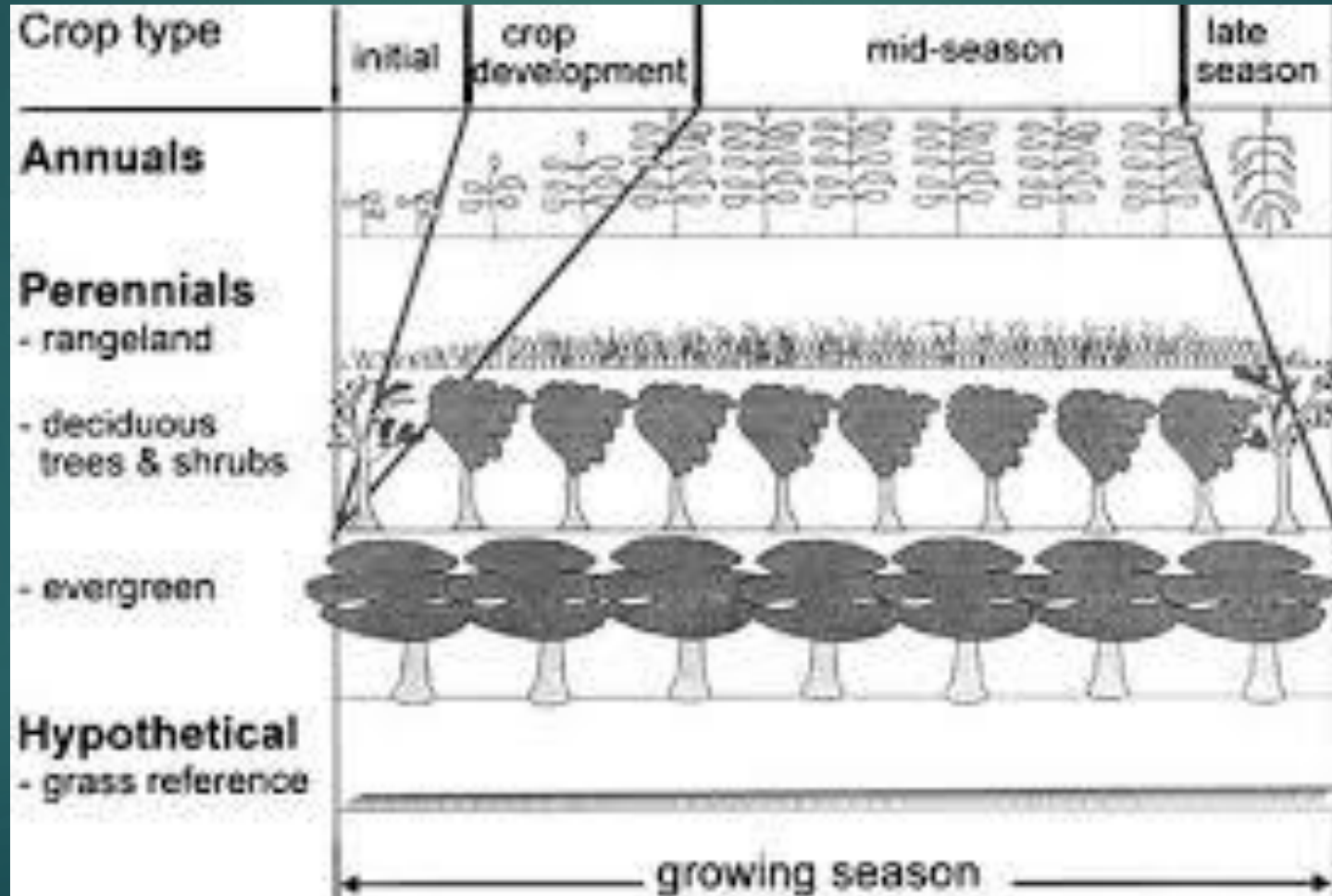
- Το Kc διαμορφώνεται ανάλογα με την καλλιεργητική πρακτική και τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των ποικιλιών.



# Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ETc

- ▶ Στις ετήσιες καλλιέργειες υπολογίζεται ανά στάδιο ανάπτυξης.
- ▶ Στις **υπόλοιπες ανά μήνα.**
- ▶ Για την κατάρτιση αρδευτικών προγραμμάτων χρησιμοποιούνται και 10ήμερα.
- ▶ **\*Οι αποκλίσεις της ETc στο ελληνικό κλίμα μπορεί να φτάσουν το 25% ή και περισσότερο**

# Διαφοροποίηση της διάρκειας των σταδίων καλλιέργειας ανάλογα με την κατηγορία



# Παράδειγμα υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας $ET_c$

	$ET_r(P-M)$	$k_c$	$ET_c, \text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$	$ET_c, (P)$	$k_c$	$ET_c, \text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$
Αραβόσιτος	6,18	1,15	7,11	9,45	0,80	7,56
Ζαχαρότευτλα	6,18	1,15	7,11	9,45	0,65	6,14
Μηλιές:						
χωρίς ζιζάνια	6,18	1,00	6,18	9,45	0,75	7,09
με ζιζάνια	6,18	1,25	7,72	–	–	–
Αχλαδιές:						
χωρίς ζιζάνια	6,18	0,90	5,56	9,45	0,75	7,09
με ζιζάνια	6,18	1,15	7,11	–	–	–
Αμπέλια	6,18	0,70	4,33	9,45	0,45	4,25

# Εκτίμηση της $ET_s$ με μετρήσεις στο χωράφι

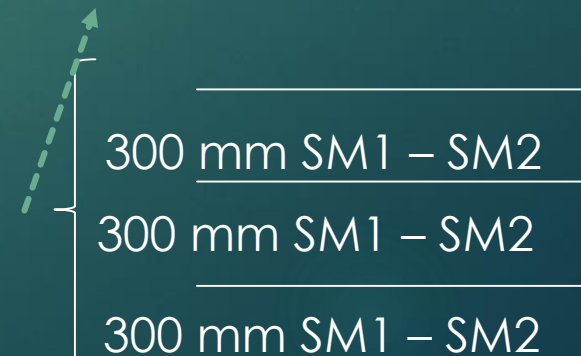
- ▶ Η μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων
  - Υπολογισμός της εποχιακής εξατμισοδιαπνοής
  - Προσδιορισμός της υγρασίας στην αρχή ( $SM_1$ ) και στο τέλος της βλαστικής περιόδου ( $SM_2$ )
  - Προσδιορισμός της ωφέλιμης βροχόπτωσης  $P$
  - Προσδιορισμός του νερού που εφαρμόστηκε με άρδευση  $IR$
  - Εφαρμογή της σχέσης:

$$ET_s = P + IR + \sum_{i=1}^n \frac{SM_{1i} - SM_{2i}}{100} ASW_i \cdot d_i$$

Όπου:  $ET_s$  η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή

$ASW$  το φαινόμενο ειδικό βάρος

$d_i$  το βάθος του ριζοστρώματος (mm)



# Εκτίμηση της ΕΤ με μετρήσεις στο χωράφι

- ▶ Η μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών
  - Υπολογίζεται η ΕΤ για μικρές χρονικές περιόδους (2-5 ημερών)

Για καλλιέργεια **βάθους ριζοστρώματος 800 mm**

$$ET = \sum_{i=1}^n \frac{SM_{1i} - SM_{2i}}{100} \cdot ASW_i \cdot D_i$$

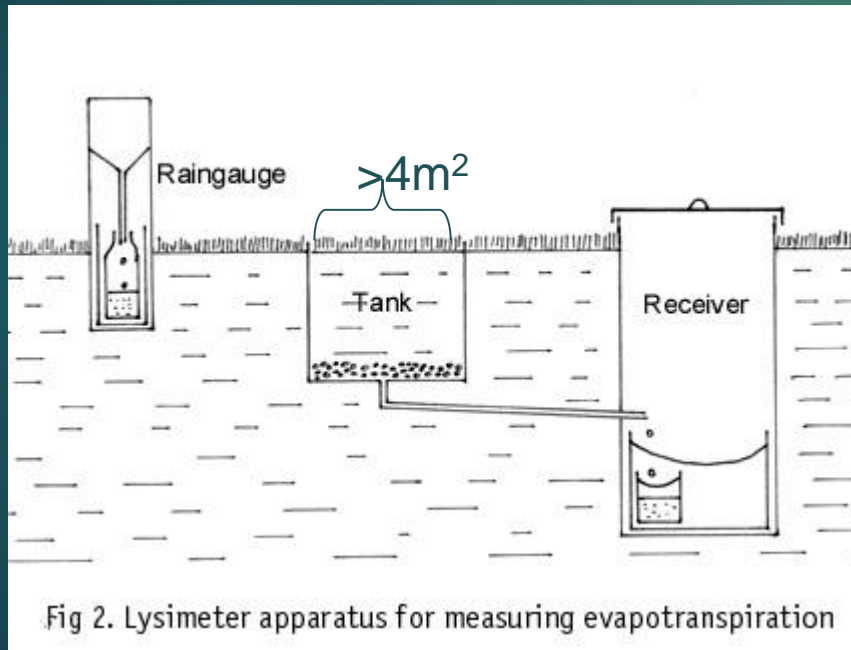
$$\begin{aligned} &+ \frac{SM_1 - SM_2}{100} \times ASW_1 \times 300 \text{ mm} \\ &+ \frac{SM_1 - SM_2}{100} \times ASW_2 \times 300 \text{ mm} \\ &+ \frac{SM_1 - SM_2}{100} \times ASW_3 \times 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

## Προσοχή στην επιλογή θέσεων:

- ❖ Η υπόγεια στάθμη να βρίσκεται πολύ κάτω από το ριζόστρωμα
- ❖ Να μην παρατηρείται επιφανειακή απορροή και βαθειά διήθηση
- ❖ Οι δειγματοληψίες να αρχίζουν 3-4 μέρες μετά από άρδευση ή βροχή
- ❖ Οι δειγματοληψίες να είναι βάθους κάτω από το ριζόστρωμα

# Εκτίμηση της ΕΤ με μετρήσεις στο χωράφι

- ▶ Λυσίμετρο
- Διάταξη από κυλινδρικό δοχείο από μέταλλο ή ενισχυμένο πλαστικό που τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που το ελεύθερο άκρο του να ταυτίζεται με την επιφάνειά του.



Το δοχείο είναι γεμάτο χώμα και καλλιεργείται με τα φυτά των οποίων θα υπολογιστεί η ΕΤc.

Μηδενίζεται η επιφανειακή απορροή και η βαθιά διήθηση

Η ΕΤ είναι η διαφορά μεταξύ του νερού που δέχεται το λυσίμετρο και η μεταβολή της υγρασίας του εδάφους που περιέχει

# Λυσίμετρο



Figure 3. Above ground and below ground view of a weighing lysimeter.

# Λυσιμετρο

## Waterbalance:

$$\Delta W(t) = P(t) - ET(t) - S(t) - R(t)$$



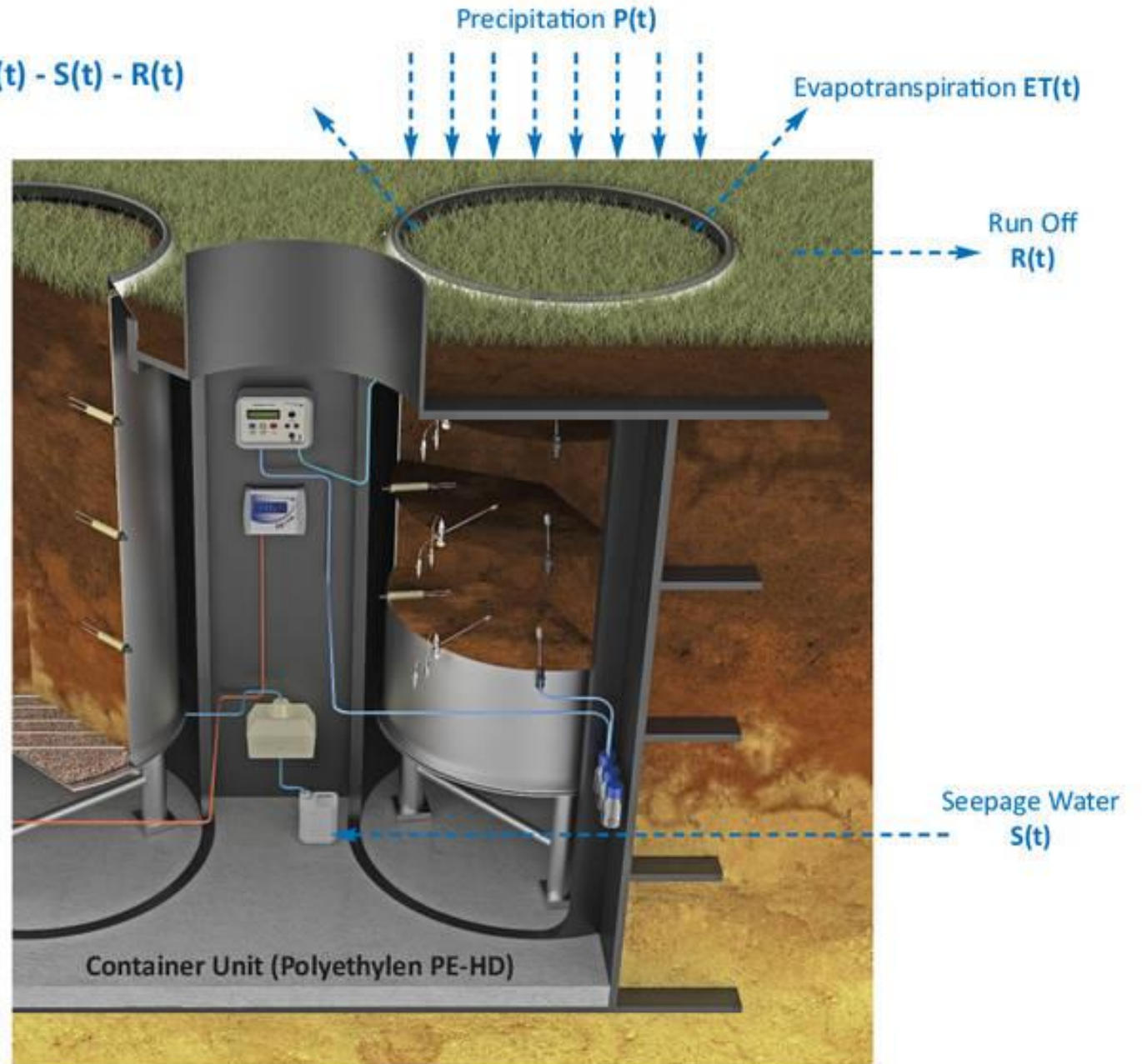
Lysimeter collar



Data logger



Weighing monitor





Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

