

# Εξατμισοδιαπνοή Evapotranspiration

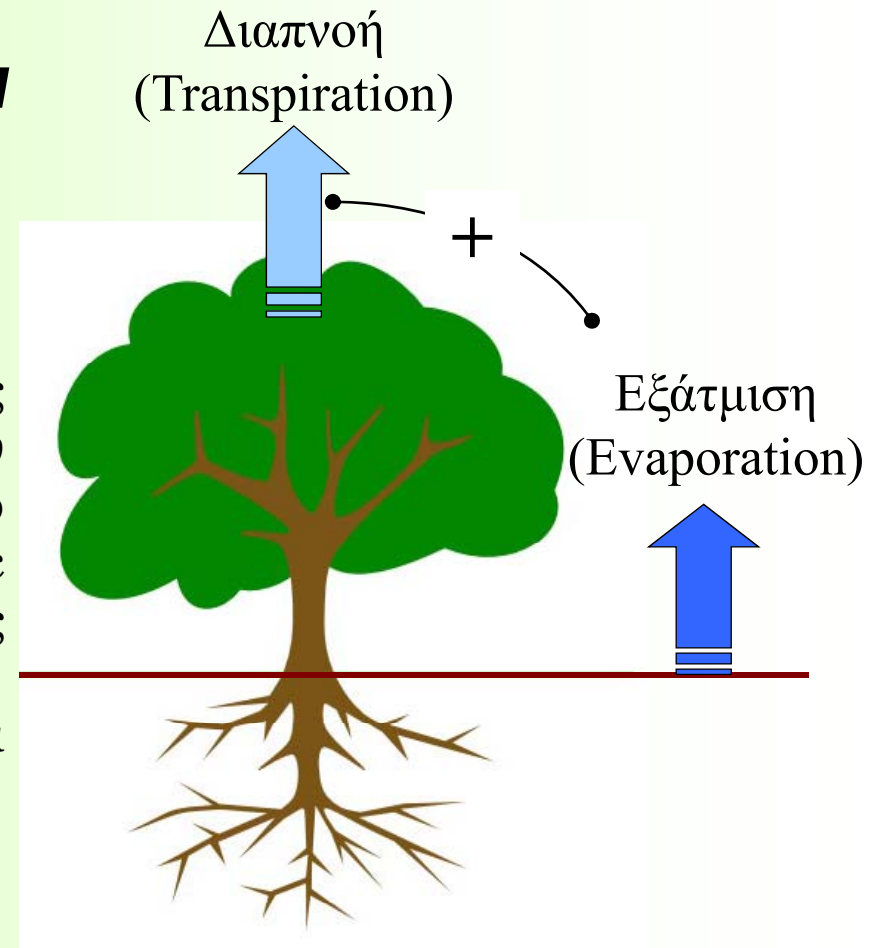
# Εξατμισοδιαπνοή

Συμβολίζεται ως :  $ET$

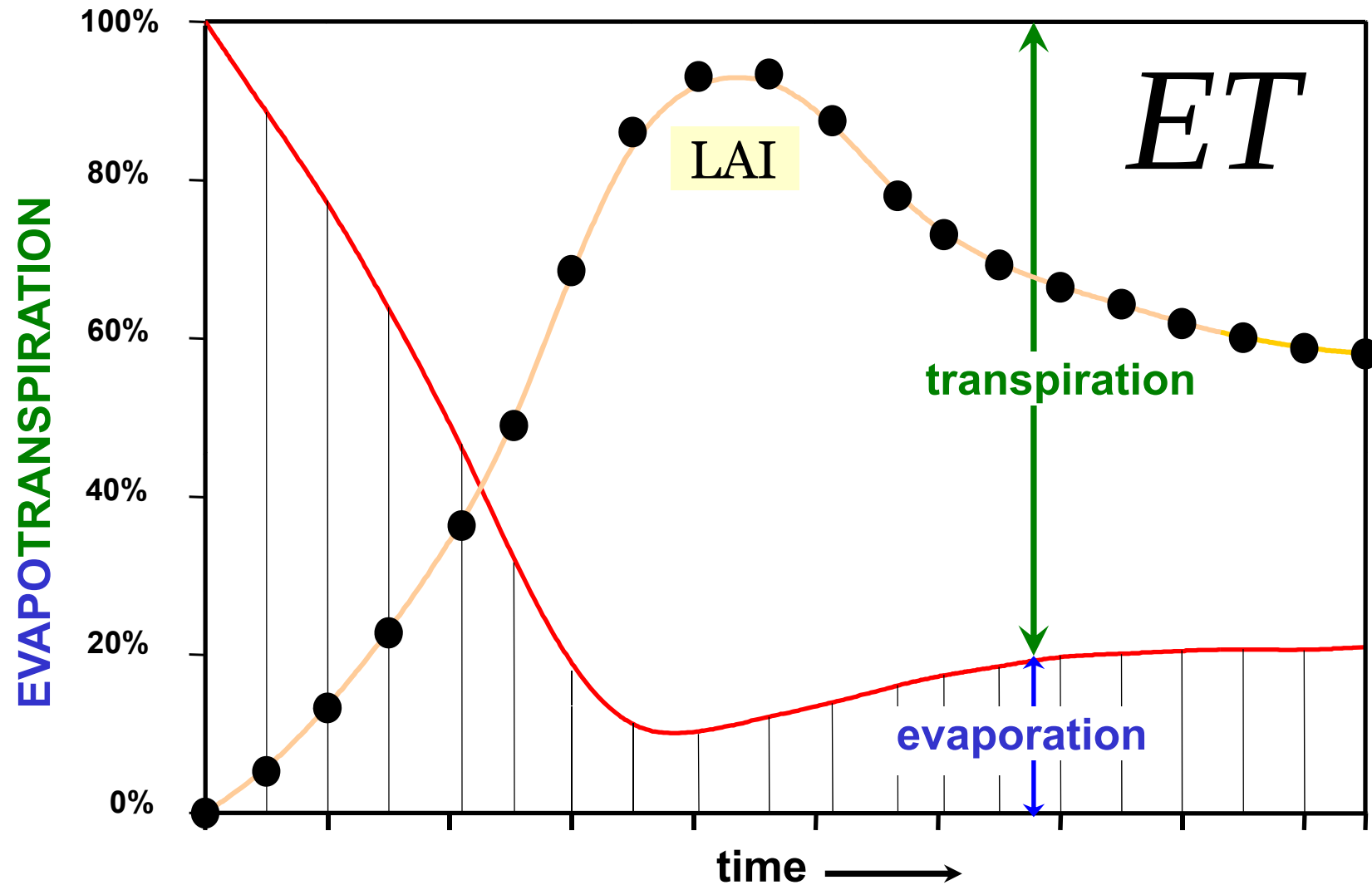
Η έννοια που είναι γνωστή ως εξατμισοδιαπνοή (ET), είναι η απώλεια του νερού που επιτυγχάνεται με την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και των φυτών με την συνδυασμένη απώλεια νερού μέσω της φυτοκόμης (διαπνοής).

Είναι παράμετρος μεγάλης σπουδαιότητας για πολλές επιστήμες, συμπεριλαμβανομένου και :

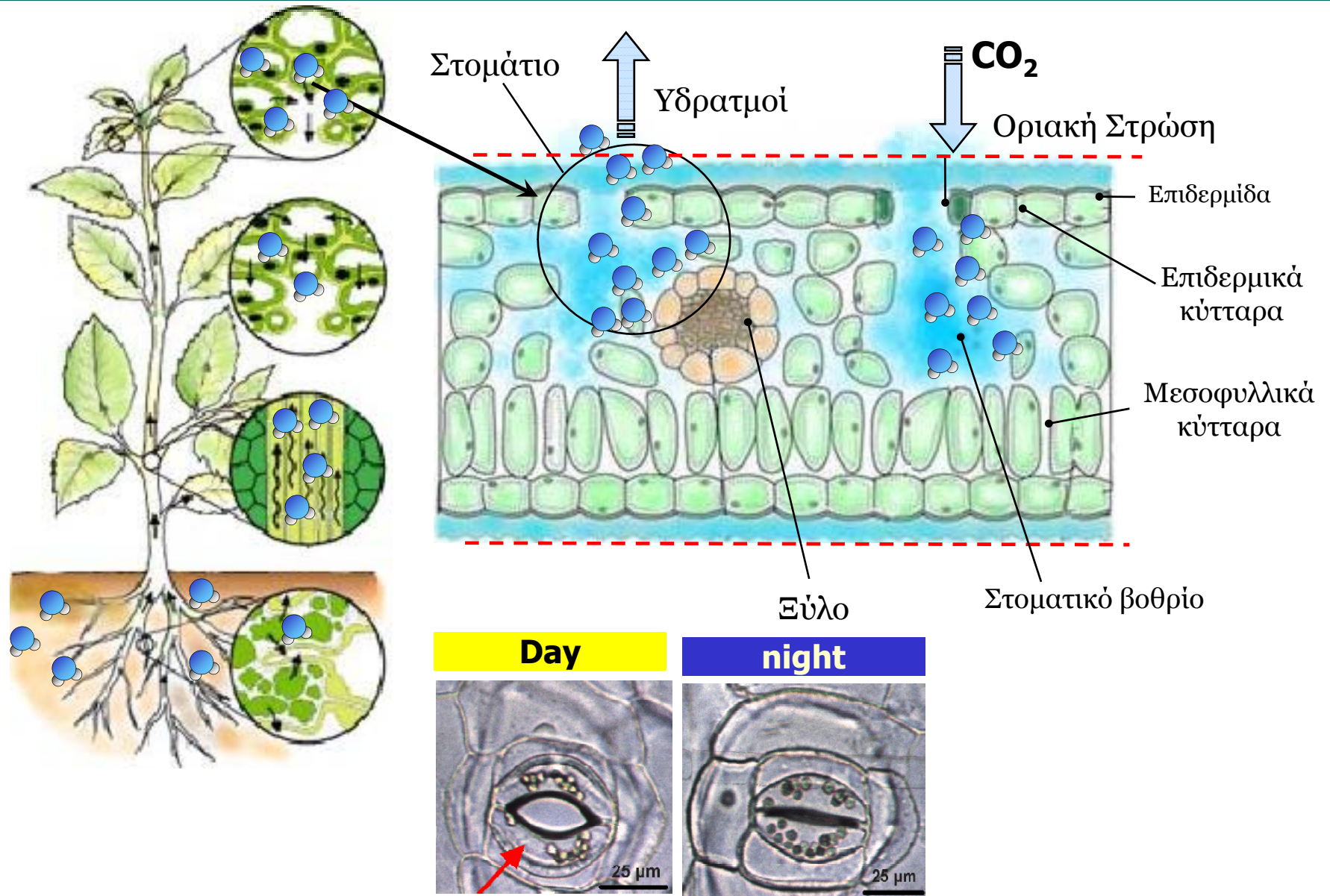
- Της σχεδίασης συστημάτων άρδευσης
- Του προγραμματισμού άρδευσης
- Των στραγγίσεων
- Των υδρολογικών μελετών



# Εξάτμιση & Διαπνοή



# Διαπνοή



# Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή (Potential)

Συμβολίζεται ως :  $ET_p$

Η έννοια της δυνητικής (potential) εξατμισοδιαπνοής εισήχθη αρχικά προς το τέλος της δεκαετίας του '40 και στις αρχές της δεκαετίας του 50 από τον Penman και ορίζεται ως "το ποσό του νερού που διαπνέεται και εξατμίζεται σε έναν δεδομένο χρόνο από μια **χαμηλή πράσινη βλάστηση**, που καλύπτει εντελώς το έδαφος, ομοιόμορφου ύψους και με επάρκεια εδαφικού νερού.

Επισημάνεται ότι στον καθορισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής δεν συσχετίζεται με μια **συγκεκριμένη καλλιέργεια**.



# Εξαμυσοδιαπνοή Αναφοράς (Reference)

Οι περισσότερες από τις επιδράσεις των διάφορων κλιματικών συνθηκών ενσωματώνονται στην εκτίμηση της ΕΤο. Επομένως, η ΕΤο αντιπροσωπεύει ένα δείκτης των κλιματικών απαιτήσεων.

Οι μόνοι παράγοντας που έχουν επιπτώσεις στην ΕΤο είναι οι κλιματικές παράμετροι

Ορισμοί δύο καλλιεργειών αναφοράς

ΕΤο για μια χαμηλή καλλιέργεια  
κατά προσέγγιση ύψος  
**0.12 m**  
(όμοια με κουρεμένο γρασίδι).



$ET_o$

ΕΤr για μια υψηλή καλλιέργεια  
κατά προσέγγιση με ύψος  
**0.50 m**  
(παρόμοια με την μηδική,  
ή αλφalfa).



$ET_r$

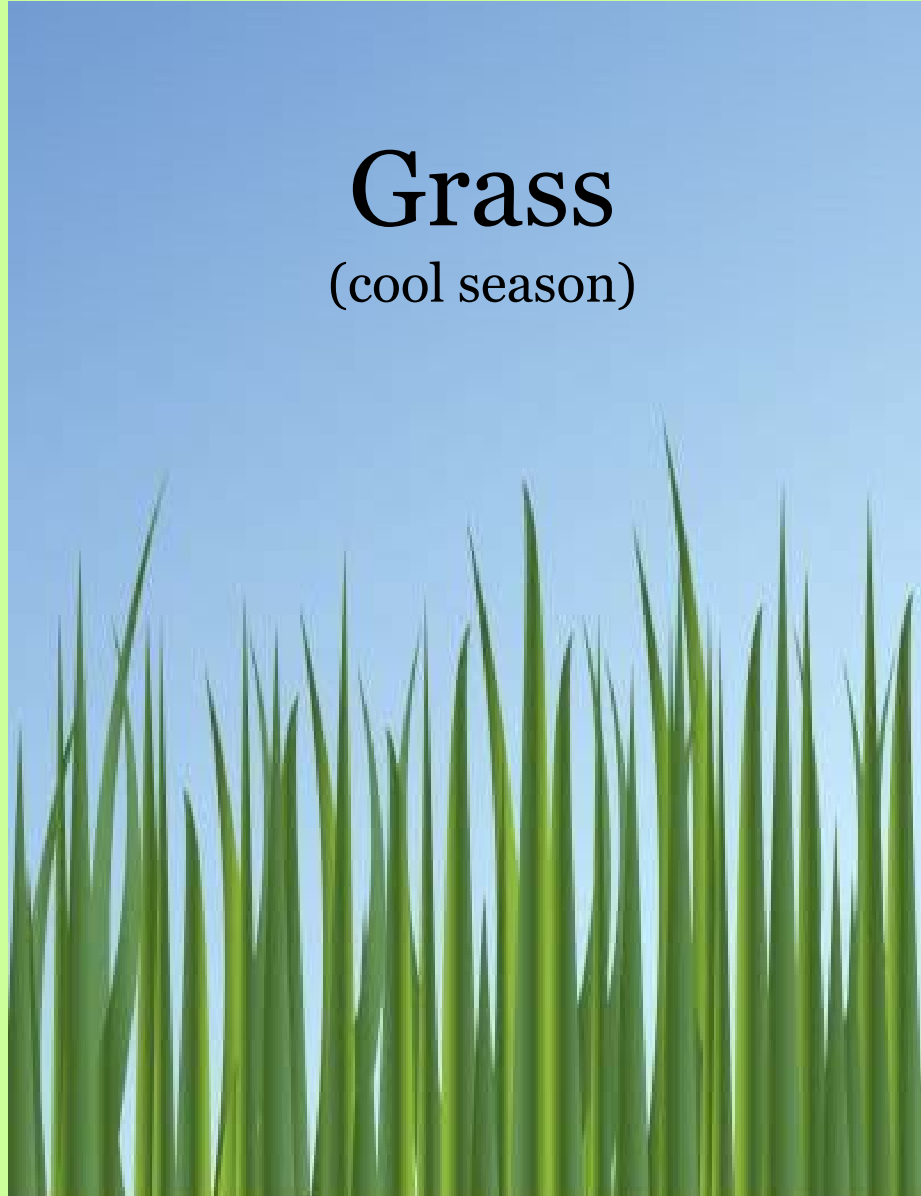
# Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς γρασιδιού

Συμβολίζεται ως :  $ET_o$

Η  $ET_o$  ορίζεται ως: "Ο ρυθμός εξάτμισης από μία υποθετική καλλιέργεια αναφοράς με ύψος 0.12 m, με σταθερή συνολική αντίσταση επιφάνειας 70 sec/m και albedo 0.23, δηλαδή με συνθήκες παρόμοιες ρυθμού εξατμισοδιαπνοής που προέρχεται από μια εκτεταμένη πράσινη επιφάνεια γρασιδιού (ψυχρού τύπου) ομοιόμορφου ύψους 8-12 cm, δυναμικά αυξανόμενη, επαρκώς αρδευόμενη, και με πλήρη κάλυψη του εδάφους "



Grass  
(cool season)



# Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς ή Βασική

Συμβολίζεται ως :  $E T_r$

Η  $E T_o$  ορίζεται ως: "Ο ρυθμός εξάτμισης από μία υποθετική καλλιέργεια αναφοράς με ύψος 0.50 m, με σταθερή συνολική αντίσταση επιφάνειας 45 sec/m και albedo 0.23, δηλαδή με συνθήκες παρόμοιες ρυθμού εξατμισοδιαπνοής που προέρχεται από μια εκτεταμένη πράσινη επιφάνεια μηικής (alfalfa) ομοιόμορφου ύψους 50 cm, δυναμικά αυξανόμενη, επαρκώς αρδευόμενη, και με πλήρη κάλυψη του εδάφους "



# Εξατμισοδιαπνοή Καλλιέργειας (crop)

Συμβολίζεται ως :  $ET_c$

(τυποποιημένες συνθήκες)

Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας  $ET_c$  είναι η μέγιστη εξατμισοδιαπνοή που παρατηρείται από μια δυναμικά αναπτυσσόμενη καλλιέργεια κάτω από τυποποιημένες συνθήκες με καλή λίπανση απαλλαγμένη ασθενειών, εγκατεστημένη σε μεγάλο αγρό και με βέλτιστες συνθήκες εδαφικής υγρασίας και η οποία θα μπορούσε να αποδώσει την μέγιστη παραγωγή, κάτω από συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες.



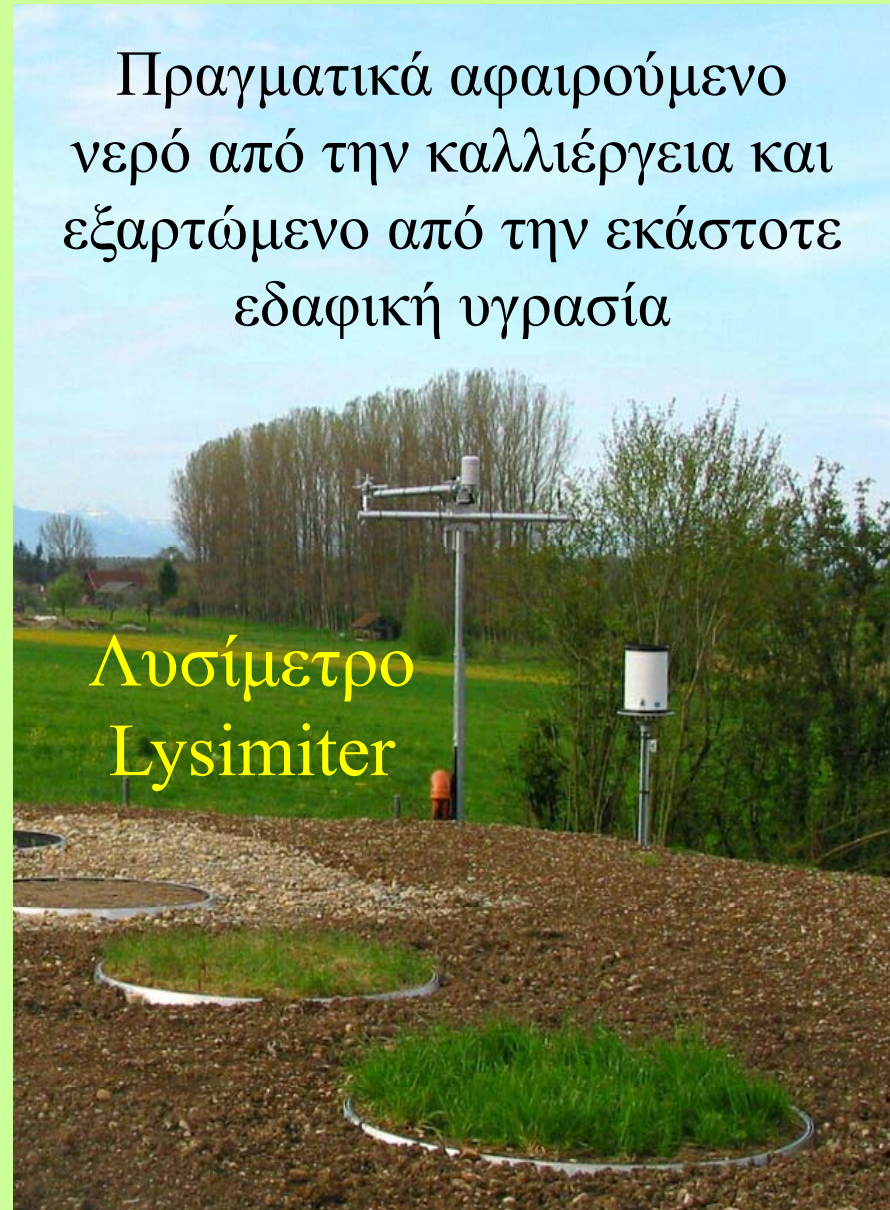
# Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή

Συμβολίζεται ως :  $ET_a$

Είναι το ποσό του νερού που αφαιρείται πραγματικά από μια καλλιεργούμενη επιφάνεια λόγω των διαδικασιών της εξάτμισης και της διαπνοής και κάτω από τις υπάρχουσες πραγματικές συνθήκες διάθεσης του εδαφικού νερού

Πραγματικά αφαιρούμενο νερό από την καλλιέργεια και εξαρτώμενο από την εκάστοτε εδαφική υγρασία

Λυσίμετρο  
Lysimeter



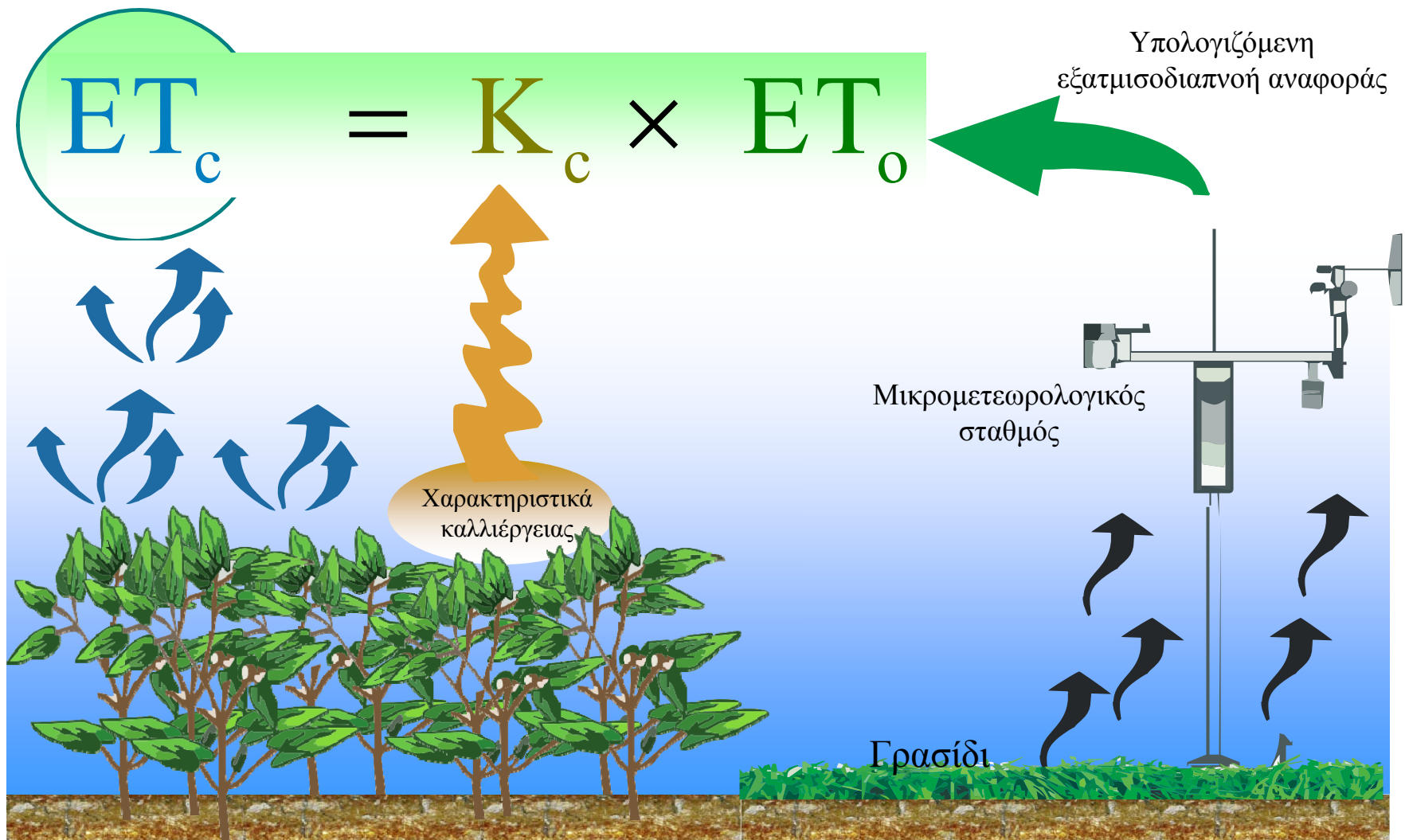
# Συντελεστής καλλιέργειας (Crop coefficient) $K_c$

Στην προσέγγιση  $K_c - ET_o$ , διαφορές στην φυτοκόμηση και στην αεροδυναμική αντίσταση σε σχέση με την καλλιέργεια αναφοράς λαμβάνονται υπόψη και ενσωματώνονται στον συντελεστή καλλιέργειας.

Ο  $K_c$  χρησιμεύει ως μια συνάθροιση των φυσικών και φυσιολογικών διαφορών μεταξύ των καλλιεργειών

$$ET_c = K_c \times ET_{o(\text{grass})}$$

$$ET_c = K_c \times ET_{r(\text{alfalfa})}$$



# Χαρακτηριστικά του $K_c$

Ο συντελεστής  $K_c$  αντιπροσωπεύει την ολοκληρωμένη επίδραση τεσσάρων αρχικών χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν μια καλλιέργεια από την επιφάνεια αναφοράς (grass ή alfalfa) . **Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:**

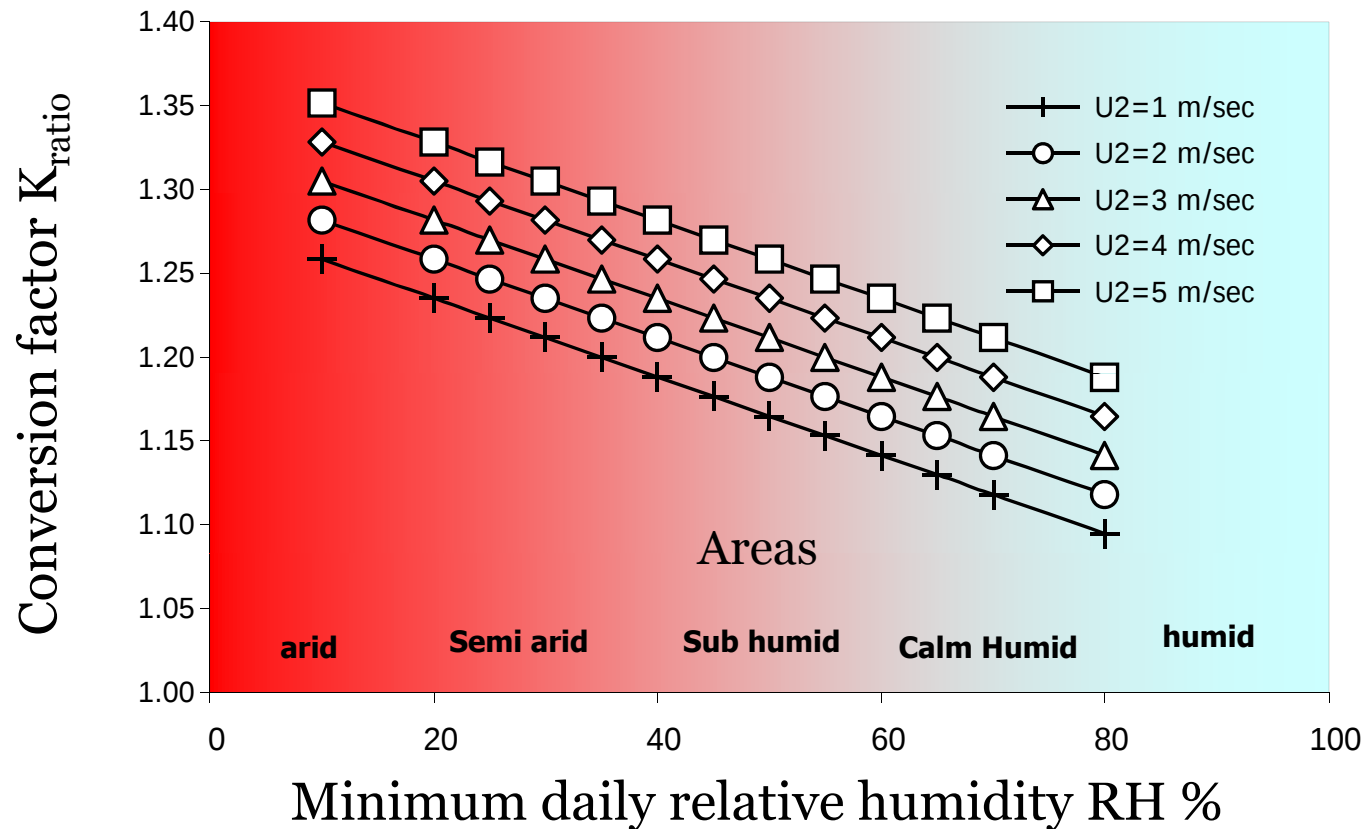
1. **Crop height.** Το ύψος καλλιέργειας επηρεάζει τον αεροδυναμικό όρο αντίστασης ,  $r_a$ , της εξίσωσης FAO Penman-Monteith και την στροβιλώδη μεταφορά των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.
2. **Albedo** (συντελεστής ανάκλασης) της καλλιέργειας και της επιφάνειας του εδάφους. Το albedo επηρεάζεται από το ποσοστό κάλυψης της βλάστησης και από την υγρασία εδαφικής επιφάνειας και συνεπώς άμεσα την καθαρή ακτινοβολία της επιφάνειας,  $R_{net}$ , η οποία η βασική πηγή της ενεργειακής ανταλλαγής στη διαδικασία της εξάτμισης.
3. **Αντίσταση φυτοκόμης.** Η αντίσταση της φυτοκόμης στη μεταφορά του υδρατμού ατμού επηρεάζεται από την φυλλική επιφάνεια LAI, τον αριθμό στοματίων, την ηλικία και τον μηχανισμό ελέγχου των στοματίων.
4. **Εξάτμιση από το γυμνό έδαφος** ειδικά το ποσοστό του ακάλυπτου από την καλλιέργεια.

# K<sub>ratio</sub>

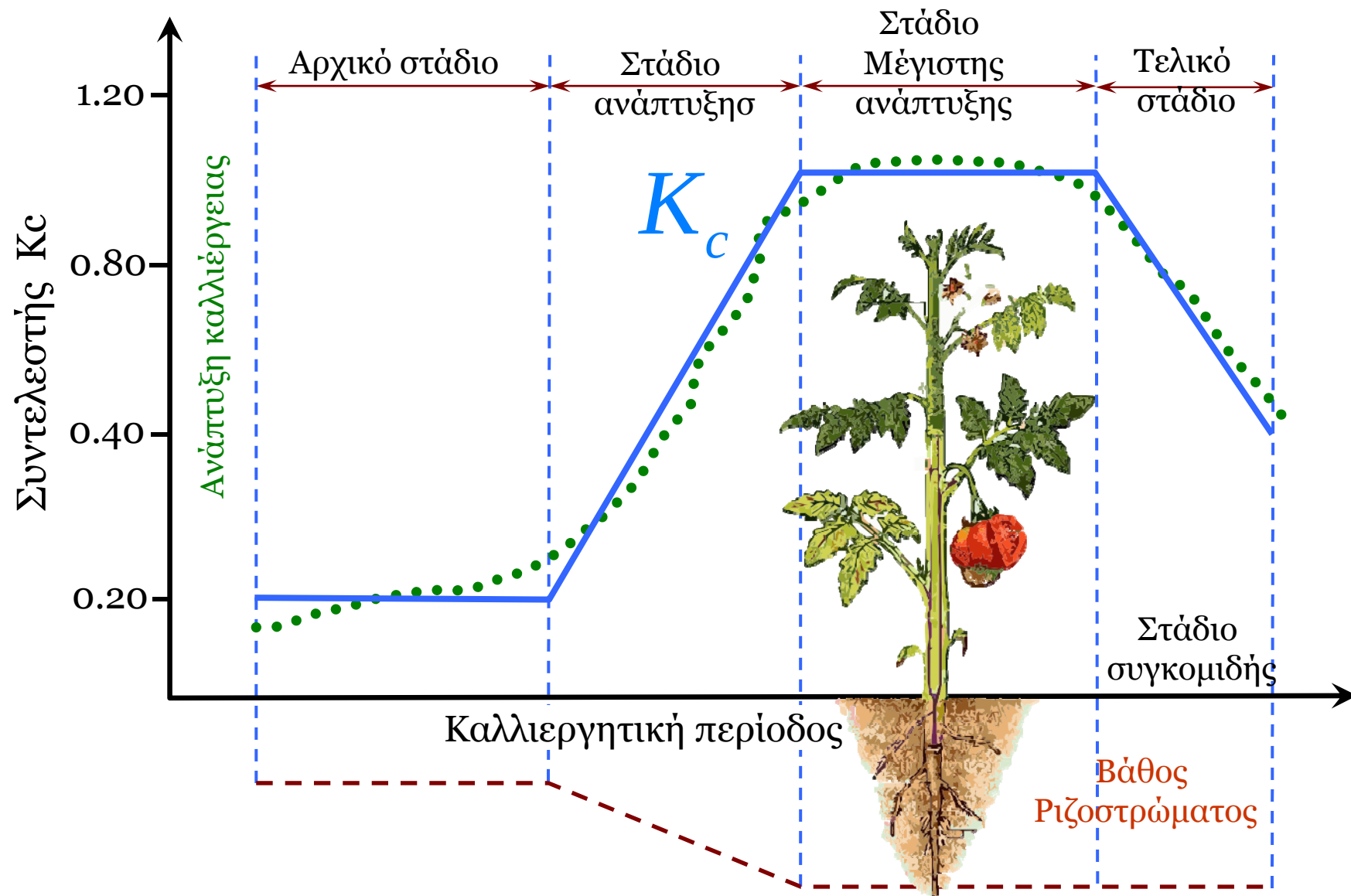
$$K_{c \text{ alfalfa}} = K_{\text{ratio}} \times K_{c \text{ grass}}$$

(Allen et al., 1998)

$$K_{\text{ratio}} = 1.2 + \left[ 0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45) \right] \cdot \left( \frac{h}{3} \right)^{0.3}$$



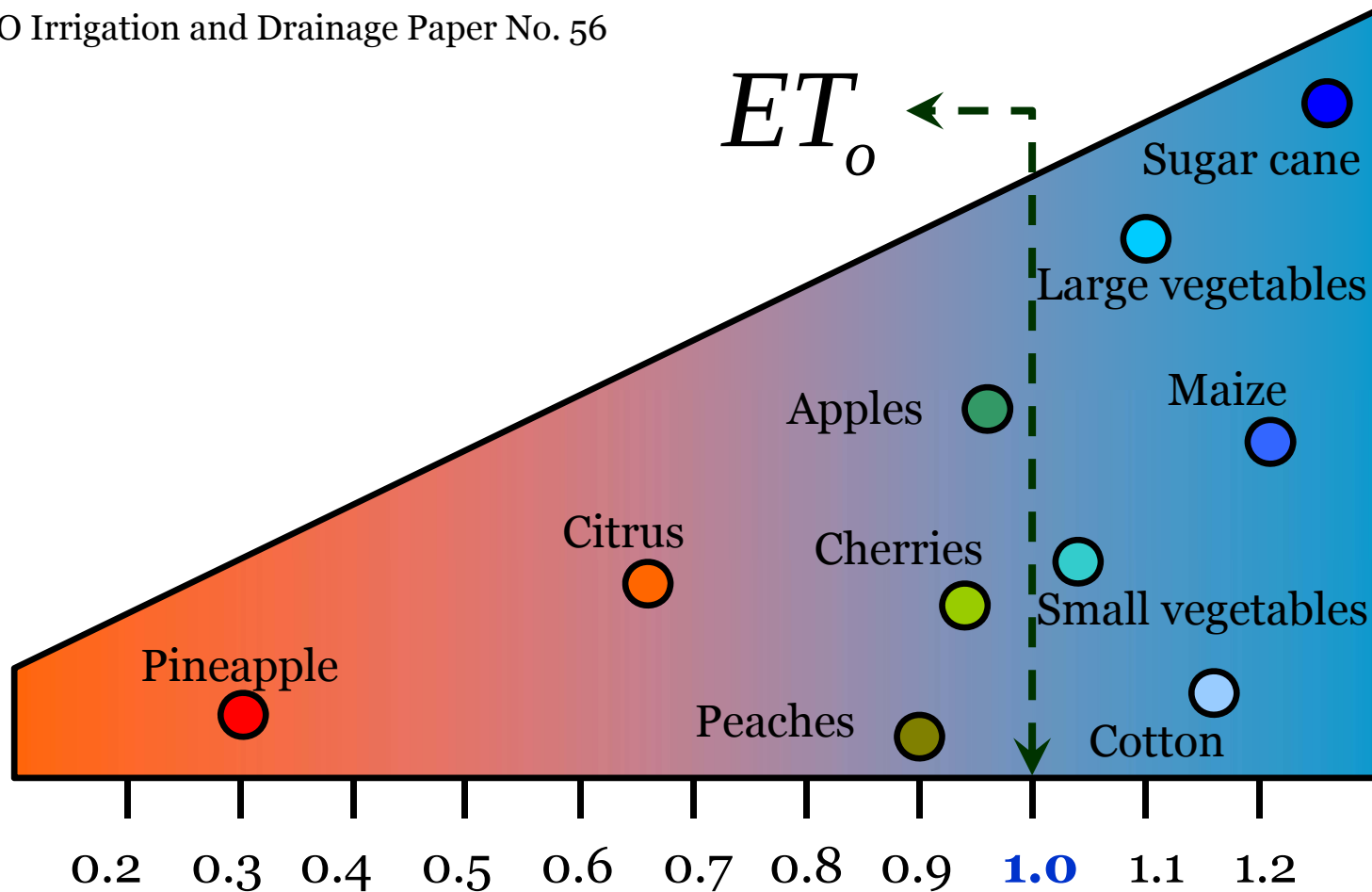
# Στάδια ανάπτυξης και $K_c$



# $K_c$ στο μέσο στάδιο ανάπτυξης

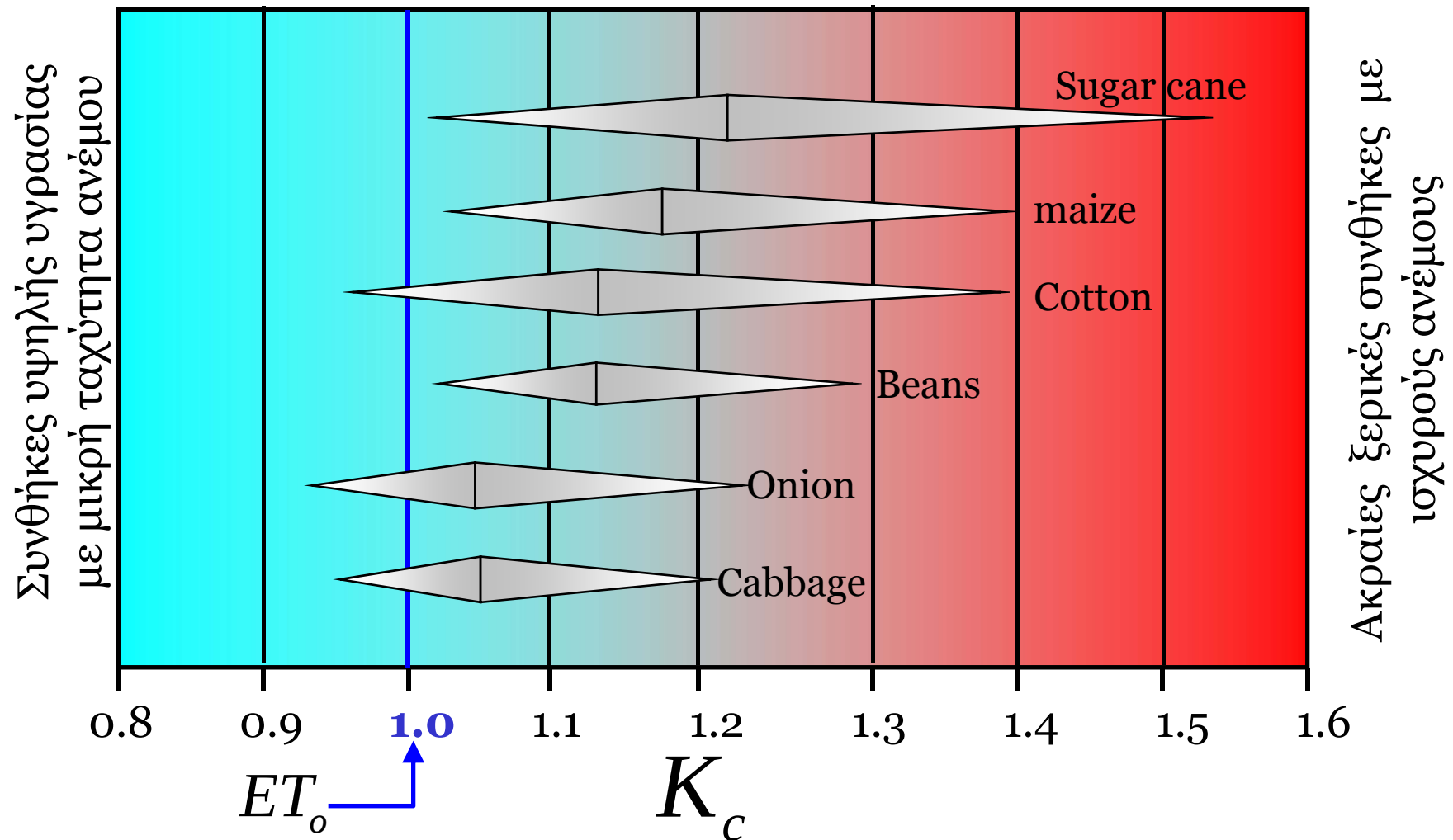
Τυπικές τιμές  $K_c$  για διαφορετικές καλλιέργειες σε πλήρη ανάπτυξη

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56



# Εύρος διακύμανσης $K_c$ λόγω διαφορετικών κλιματικών συνθηκών

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56



Μοντέλα Penman  
για την  
Εξατμισοδιαπνοή  
Αναφοράς  
(Συνδυαστικά Μοντέλα)

# Γενική μορφή μεθόδου Penman

$$ET_o = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + K_w \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot W_f \cdot VPD \right] \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Καθαρή ροή ακτινοβολίας

Ροή θερμότητας στο έδαφος

Έλλειμμα κορεσμού στην ατμόσφαιρα

Λανθάνουσα θερμότητα εξατμησης

Κλίση καμπύλης κορεσμένων υδρατμών

Ψυχομετρική σταθερά

Συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου

Συντελεστής μετατροπής μονάδων

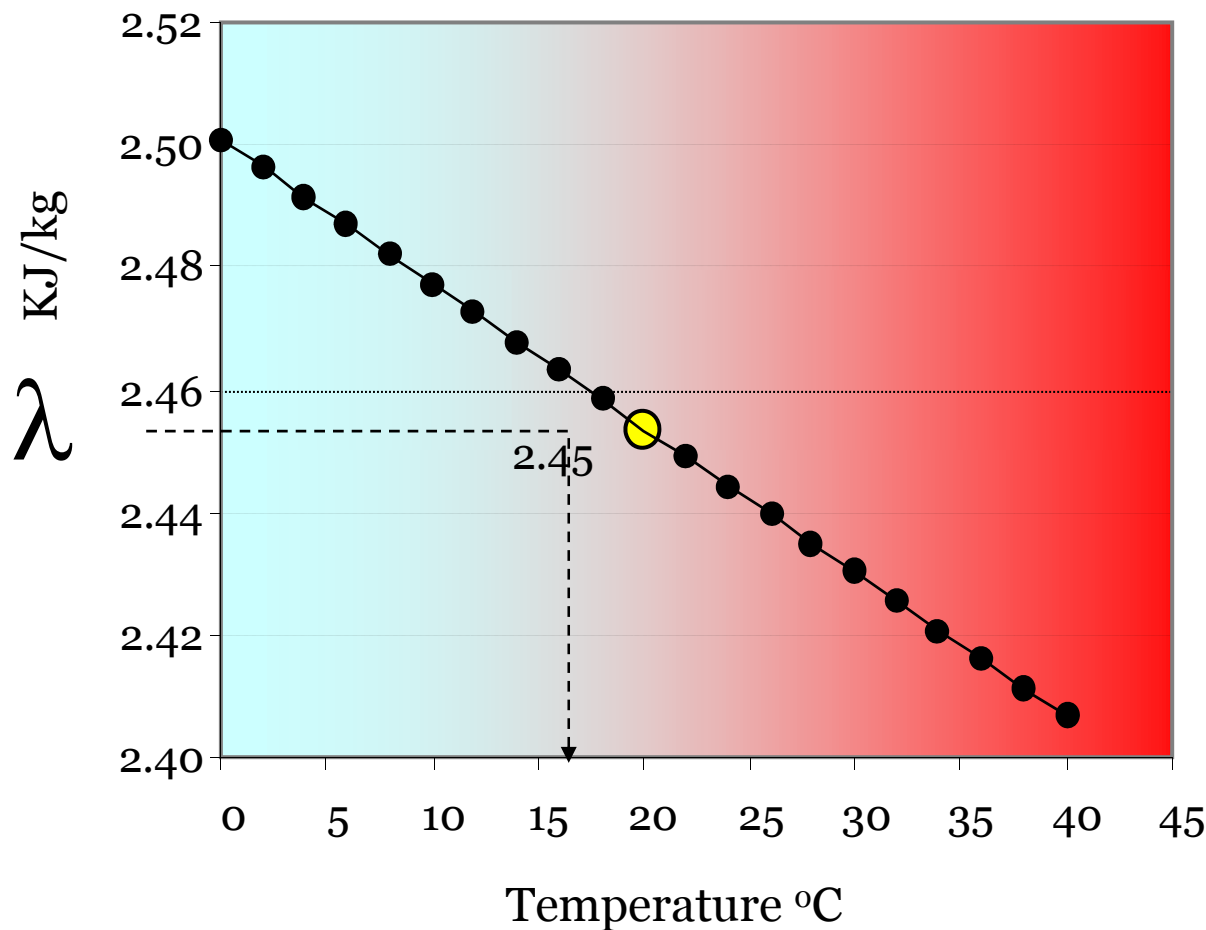
$K_w = 6.43$  Ημερήσιο βήμα εκτίμησης mm/day

$K_w = 0.268$  Ωριαίο βήμα εκτίμησης mm/hour

# Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

(Harrison, 1963)

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \times T_{air} \quad MJ / kg$$



$\lambda = 2.45 \text{ MJ} / \text{kg}$   
at  $20^\circ \text{C}$

# Έλλειμμα κορεσμού στην ατμόσφαιρα

$$e_s = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right)$$
$$e_a = e_s \frac{RH_{hr}}{100}$$

For Hourly  
time step  
calculation

$$VPD = (e_s - e_a)$$

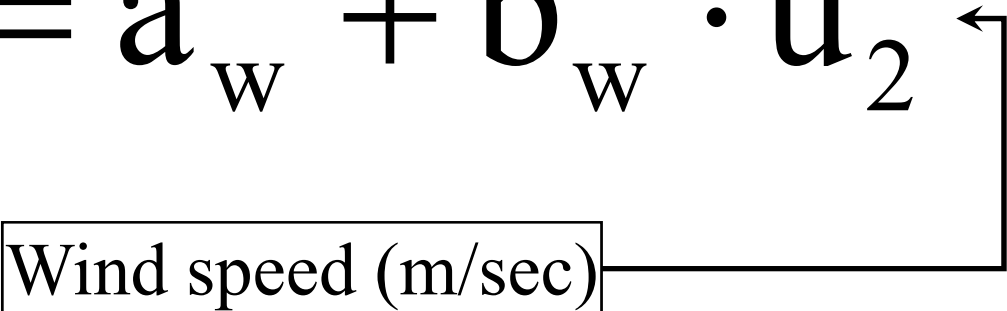
$$\left\{ \begin{array}{l} e_s(T_{\max}) = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_{\max}}{T_{\max} + 237.3}\right) \\ e_s(T_{\min}) = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_{\min}}{T_{\min} + 237.3}\right) \end{array} \right\} \Rightarrow e_s = \frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2}$$
$$e_a = \frac{1}{2} \cdot \left( e_s(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e_s(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100} \right)$$

For Daily  
time step  
calculation

## Συνάρτηση Ταχύτητας του Ανέμου

$$w_f = a_w + b_w \cdot u_2$$

Wind speed (m/sec)



## Ροή θερμότητας στο έδαφος

For **daily**  
time step calculation  $\Rightarrow G = 0$

For **hourly**  
time step calculation  $\Rightarrow$

|                   |               |                         |
|-------------------|---------------|-------------------------|
| For $R_{net} > 0$ | $\Rightarrow$ | $G = 0.1 \cdot R_{net}$ |
| For $R_{net} < 0$ | $\Rightarrow$ | $G = 0.5 \cdot R_{net}$ |

**1. Μέθοδος ET<sub>o</sub> Penman 1963 (Original Penman 1963)**

grass reference

PEN-1963

$$W_f = 1 + 0.537 \cdot u_2$$

Hourly  
Daily

**2. Kimberly Penman 1972. (Wright and Jensen ,1972)**

alfalfa reference

KPEN-1982

$$W_f = 0.75 + 0.993 \cdot u_2$$

Hourly  
Daily

**3. FAO-24 Penman. (Doorenbos & Pruitt, 1977)**

alfalfa reference

FAO24-PEN

$$W_f = 1 + 0.862 \cdot u_2$$

Hourly  
Daily

#### 4. Μέθοδος Kimberly Penman 1982 (Wright, 1982)

$$a_w = 0.4 + 1.4 \cdot \exp \left[ \left( - \left\{ \frac{J - 173}{58} \right\}^2 \right) \right]$$
$$b_w = 0.605 + 0.345 \cdot \exp \left[ - \left( \left\{ \frac{J - 243}{80} \right\}^2 \right) \right]$$

Hourly  
Daily

$$w_f = a_w + b_w \cdot u_2$$

alfalfa reference

(Wright, 1982)

KPEN-1982

#### 5. Μέθοδος Kimberly Penman 1982 (Wright, 1996)

$$a_w = 0.3 + 0.58 \cdot \exp \left[ \left( - \left\{ \frac{J - 170}{45} \right\}^2 \right) \right]$$
$$b_w = 0.32 + 0.54 \cdot \exp \left[ - \left( \left\{ \frac{J - 228}{67} \right\}^2 \right) \right]$$

Hourly  
Daily

$$w_f = a_w + b_w \cdot u_2$$

grass reference

(Wright, 1996)

KPEN-1996

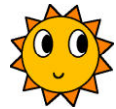
## 6. CIMIS-Penman

California Irrigation Management Information System

(George et al., 1985; Snyder and Pruitt, 1985; Snyder and Pruitt, 1992 )

Only Hourly time step calculation **PEN-CIMIS**  
grass reference

$$ET_o(\text{mm} / \text{h}) = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_n (\text{mm} / \text{h}) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot w_f \cdot VPD$$



$$R_n \geq 0$$

$$w_f = 0.030 + 0.0576 \cdot u_2$$



$$R_n \leq 0$$

$$w_f = 0.125 + 0.0439 \cdot u_2$$

**R<sub>net</sub>** calculation (Dong et al., 1992)

$$\gamma = 0.000646(1 + 0.000946 \cdot T_a) \cdot P$$

$$P = 101.3 - 0.0115 \cdot z + 5.44 \times 10^{-7} \cdot z^2$$

**8. FAO-24 FAO-24 Corrected Penman** (Doorenbos and Pruitt , 1977)  
grass reference

$$w_f = 1 + 0.862 \cdot u_2$$

Daily  
FAO24-PENC

**9. FAO-24 FAO-24 Corrected Penman** (Doorenbos and Pruitt , 1977)

$$ET_o = c \cdot \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + K_w \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot w_f \cdot VPD \right] \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Frevert et al.,1983  
grass reference

Daily

$$c = 0.68 + 0.0028 \cdot RH_{\max} + 0.018 \cdot R_s + 0.068 \cdot U_d + 0.013 \cdot \frac{U_d}{U_n}$$

FAO24-PENC1

$$+ 0.0097 \cdot U_d \frac{U_d}{U_n} + 0.430 \times 10^{-4} \cdot RH_{\max} \cdot R_s \cdot U_d$$

$$0.5 \leq \frac{U_d}{U_n} \leq 4.0 \quad 3.0 \leq R_s \leq 12.0 \quad 30 \leq RH_{\max} \leq 90 \quad U_d \leq 9.0$$

**D****FAO24-PENC2****Allen and Pruitt .1989 C2**

$$\begin{aligned}
 c_1 = & 0.892 - 0.0781 \cdot U_d + 0.00219 \cdot U_d \cdot R_s + 0.000402 \cdot RH_{\max} \cdot R_s \\
 & + 0.000196 \cdot \frac{U_d}{U_n} \cdot U_d \cdot RH_{\max} + 0.0000198 \frac{U_d}{U_n} \cdot U_d \cdot RH_{\max} \cdot R_s \\
 & + 0.00000236 \cdot U_d^2 \cdot RH_{\max} \cdot R_s - 0.0000086 \cdot \left( \frac{U_d}{U_n} \right)^2 \cdot U_d \cdot RH_{\max} \\
 & - 0.0000000292 \cdot \frac{U_d}{U_n} \cdot U_d^2 \cdot RH_{\max}^2 \cdot R_s - 0.0000161 \cdot RH_{\max} \cdot R_s^2
 \end{aligned}$$

# General form of Penman-Monteith Model

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \left[ K_{\text{time}} \rho \cdot c_p (e_a - e_d) \right] \cdot \frac{1}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

Latent heat flux density for evaporation

Net Radiation flux density

Soil heat flux density

Factor for conversion

Atmospheric Density

Specific heat moist air

Vapor pressure deficit

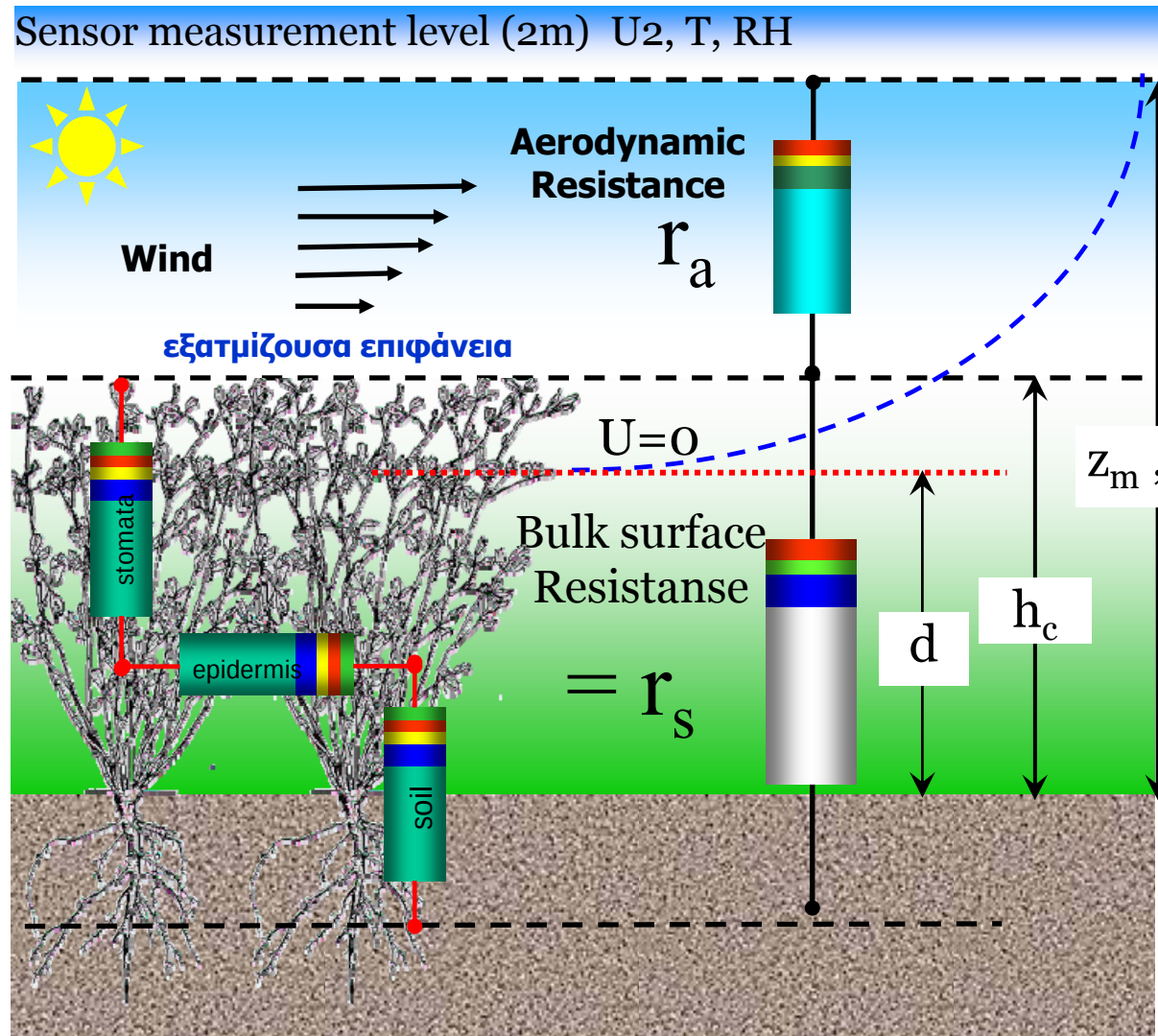
Slope of the saturation vapor curve

Psychrometric constant

Bulk surface resistance For the canopy and soil

Aerodynamic resistance

# Aerodynamic and Crop surface resistance

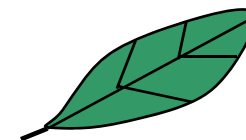


$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 U_z}$$

$$d = 2/3 h_c \quad z_{om} = 0.123 h_c$$

$$z_{oh} = 0.1 z_{om}$$

$$r_s = \frac{r_1}{LAI_{active}} \frac{r_1}{0.5 LAI}$$



$r_1$   
Bulk stomata  
resistance

$\frac{\text{sec}}{m}$

$Z_{om}$  = roughness parameter for momentum  
 $Z_{oh}$  = roughness parameter for heat and vapor

# ASCE-Penman Monteith

ASCE Committee on evapotranspiration in Irrigation and Hydrology, January 2000



Daily and Hourly time step

$$ET_{ref} = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{T + 273} \cdot u_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + C_d \cdot u_2)}$$

| Calculation time step |                      | ET <sub>o</sub> (grass) |                | ET <sub>r</sub> (alfalfa) |                |
|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
|                       |                      | C <sub>n</sub>          | C <sub>d</sub> | C <sub>n</sub>            | C <sub>d</sub> |
| Daily                 |                      | 900                     | 0.34           | 1600                      | 0.38           |
| Hourly                | ☀ R <sub>n</sub> > 0 | 37                      | 0.24           | 66                        | 0.25           |
|                       | ☾ R <sub>n</sub> < 0 | 37                      | 0.96           | 66                        | 1.70           |

# Empirical methods of Potential & Reference Evapotranspiration

# 1. Blaney-Criddle corrected, FAO-24 Blaney-Criddle (Doorenbos and Pruitt, 1977)

$$ET_o = a + b \cdot F$$

$$F = (0.46 \cdot T_m + 8.13) \cdot p$$

$$a = 0.0043 \cdot RH_{\min} - \frac{n}{N} - 1.41 \quad p = 100 \left[ \frac{\sum_{i=d_1}^{d_2} N_i}{\sum_{i=1}^{365} N_i} \right]$$

**Frevert et al., 1983 B1 FAO24BC-B1**

$$b = a_o + a_1 \cdot RH_{\min} + a_2 \cdot \frac{n}{N} + a_3 \cdot u_d + a_4 \cdot RH_{\min} \cdot \frac{n}{N} + a_5 \cdot RH_{\min} \cdot U_d$$

**Allen and Pruitt, 1989 B2 FAO24BC-B2**

$$\begin{aligned} b = & 0.908 - 0.00483 \cdot RH_{\min} + 0.7949 \cdot \frac{n}{N} + 0.0768 \cdot [\ln(U_d + 1)]^2 \\ & - 0.0038 \cdot RH_{\min} \cdot \frac{n}{N} - 0.000443 \cdot RH_{\min} \cdot U_d + 0.281 \cdot [\ln(U_d + 1)] \cdot \left[ \ln\left(\frac{n}{N} + 1\right) \right]^2 \\ & - 0.00975 \cdot [\ln(U_d + 1)] \cdot [\ln(RH_{\min} + 1)]^2 \cdot \left[ \ln\left(\frac{n}{N} + 1\right) \right] \end{aligned} \quad (B23)$$

**HAR-1974**

## 2. Hargreaves 1975 (Original)

$$ET_o = 0.0135 \cdot R_s \cdot (T_{\text{mean}} + 17.8)$$

$ET_o$  [mm/day]    $T_{\text{mean}}$  [°C]    $R_s$  [mm/day]

**HAR-1985**

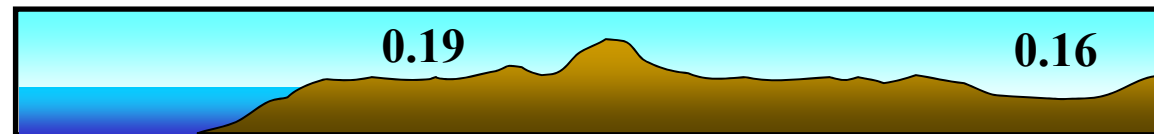
## 3. Hargreaves - Samani 1985

$$ET_o = 0.0023 \cdot (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} \cdot (T + 17.8) \cdot R_a$$

$ET_o$  [mm/day]    $T_{\text{mean}}, T_{\text{max}}, T_{\text{min}}$  [°C]    $R_a$  [mm/day]

$$R_s = k_{Rs} \cdot \sqrt{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} \cdot R_a$$

$k_{rs}$  correction factor 0.16 - 0.19 [°C<sup>-0.5</sup>]



$$T_{\text{max}} - T_{\text{min}} = \left( \frac{R_s}{k_{Rs} \cdot R_a} \right)^2$$

$$T_{\text{max}} = T_{\text{mean}} + \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2}$$

$$T_{\text{min}} = T_{\text{mean}} - \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2}$$

#### 4. Priestley-Taylor (1972)

PT-1972

$$ET_o = 1.26 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$$

$ET_o$  [mm/day]    $R_n, G$  [cal cm<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]    $\Delta, \gamma$  [mb/°C]    $\lambda$  [cal/gr]

$ET_o$  [mm/day]    $R_n, G$  [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]    $\Delta, \gamma$  [kPa/°C]    $\lambda$  [MJ/kg]

#### 5. Turc (1961)

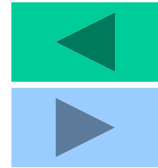
TURC

$$RH > 50\% \Rightarrow ET_o = 0.013 \frac{T}{(T+15)} (R_s + 50)$$

$$RH < 50\% \Rightarrow ET_o = 0.013 \frac{T}{T+15} (R_s + 50) \left( 1 + \frac{50 - RH}{70} \right)$$

$ET_o$  [mm/day]    $T$  [°C]    $R_s$  [cal cm<sup>-2</sup>day].

## 6. FAO-24 Radiation (Doorenbos and Pruitt, 1977)



$$ET_o = b \cdot \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_s \right) - 0.3$$

**Frevert et al., 1983 FAO24-RAD**

$$b = 1.066 - 0.1310^{-2} (RH_{\text{mean}}) + 0.045(U_d) - 0.2010^{-3} (RH_{\text{mean}} U_d) \\ - 0.31510^{-4} (RH_{\text{mean}})^2 - 0.1110^{-2}(U_d)^2$$

$ET_o$  [mm/d]  $RH_{\text{mean}}$  [0.5( $RH_{\text{max}}$  +  $RH_{\text{min}}$ )] (Doorenbos and Pruitt 1977)  $R_s$  [mm/d]  $U_d$  [m/sec]

$$10 \leq (RH_{\text{max}} + RH_{\text{min}}) \frac{1}{2} \leq 100\% \quad , \quad 0 \leq U_d \leq 10 \quad \text{m/sec}$$

## 7. Jensen-Haise Radiation Method (1963, 1966)

$$ET_r = 0.025 \cdot (T + 3) R_s \quad \text{JH-1963}$$

$$ET_r = 0.019 \cdot (T + 6.344) \cdot R_s \quad \text{JH-1963}$$

Fitted coefficients  
for central Greece

$ET_r$  [mm/day]  $T$  [°C]  $R_s$  [mm/day].

## 8. MAKKINK (1957)

$$\text{MAKKINK} \quad ET_0 = 0.61 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{\lambda} - 0.12$$

$ET_0$  [mm/day]    $R_s$  [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]    $\Delta, \gamma$  [kPa/°C]    $\lambda$  [MJ/kg]

## 9. Solar Thermal Unit Method (STU) ( Caprio, 1974 )

$$\text{STU} \quad ET_0 = 6.1 \cdot 10^{-9} \cdot R_s \cdot (1.8 \cdot T_m + 1)$$

$ET_0$  [mm/day]    $R_s$  [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]    $T_m$  [°C]

### Other methods:

Thornthwaite (1948) ♦ Modified Thornthwaite (Siebert and Schrodter, 1975) ♦ Linacre (1977) ♦ Modified Linacre (1992) ♦ Albrecht formula (1950) ♦ Antal formula (Muller et al, 1990; Wendling et al.,1991) ♦ Haude formula (Original, 1952) ♦ Haude (Heger 1978, hourly) ♦ Haude modified (Lopmeier,1994) ♦ Naumann formula (1987) ♦ Schendel formula (1968) ♦ Wendling formula (1991-1995) ♦ McCloud (1955)

**COST 711 REPORT (February 1998).** H. Friesland, K.-C. Kersebaum & F.-J. L pmeier. Operational use of irrigation models using medium range. Weather forecast working group on irrigation participants: Germany (ZALF e. V. M ncheberg, ZAMF, German Weather Service (2), Austria (Central Institute for Meteorology and Geodynamics,), Hungary (Orszagos Meteorologiai Szolgalat,),Italy (Nazionale delle Ricerche, I.A.T.A.,IATA)

# Method characteristics

| Method                   | ET <sub>o</sub> | ET <sub>r</sub> | H | D | M | n | T | RH | U <sub>2</sub> | R <sub>s</sub> | R <sub>n</sub> | G |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---|---|---|---|---|----|----------------|----------------|----------------|---|
| Penman 1963              | ✓               |                 | ⌚ | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              |                | ●              | ● |
| Kimberly 1972 Pen        |                 | ✓               | ⌚ | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              |                | ●              | ● |
| Kimberly 1982 Pen        | ✓               | ✓               | ⌚ | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              |                | ●              | ● |
| FAO24 Penman             | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              |                | ●              |   |
| FAO24 Penman corrected   | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●● | ●●             | ●              | ●              |   |
| CIMIS Penman             | ✓               |                 | ⌚ |   |   |   | ● | ●  | ●              |                | ●              |   |
| FAO56 PM                 | ✓               | ✓               | ⌚ | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              |                | ●              | ● |
| ASCE PM 2000             | ✓               | ✓               | ⌚ | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              |                | ●              | ● |
| FAO24 Blaney-Criddle     | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ | ● | ● | ●● | ●●             | ●              |                |   |
| Hargreaves 1974          | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● |    |                | ●              |                |   |
| Hargreaves 1985          | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● |    |                |                |                |   |
| Turc                     | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  |                |                | ●              |   |
| Priestley-Taylor         | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● |    |                |                | ●              | ○ |
| FAO24-Radiation          | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  | ●              | ●              |                |   |
| Jensen-Haise 1963-1966   |                 | ✓               |   | ⌚ | ⌚ |   | ● |    |                | ●              |                |   |
| Makkink                  | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● |    |                | ●              |                |   |
| Solar Thermal Unit (STU) | ✓               |                 |   | ⌚ | ⌚ |   | ● |    |                | ●              |                |   |
| COPAIS                   | ✓               |                 | ⌚ | ⌚ | ⌚ |   | ● | ●  |                | ●              |                |   |