

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

A.1. Γενικά

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Μερικές από αυτές αποτελούν εμπειρικές εξισώσεις που απαιτούν περιορισμένο αριθμό κλιματικών παραμέτρων. Τέτοιες μέθοδοι αναμένεται να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο για περιοχές με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με αυτές από τις οποίες προήλθαν. Ορισμένες μέθοδοι χρησιμοποιούν σχετικά μεγάλο αριθμό κλιματικών παραμέτρων και είναι πιο αξιόπιστες σε μεγαλύτερο εύρος κλιματικών συνθηκών.

Οι μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε (Allen *et al.* 1998, Chow *et al.* 1988, Doorenbos and Pruitt 1977, Jensen *et al.* 1990, Παπαζαφειρίου 1984, Πουλοβασίλης 1983, Τσακίρης 1985):

- Αεροδυναμικές μέθοδοι
- Μεθόδους ισοζυγίου ενέργειας [ακτινοβολίας]
- Μεθόδους συνδυασμού (μικτές) [Penman κτλ]
- Εμπειρικές σχέσεις [Thorthwaite, Blaney-Criddle κτλ]
- Μεθόδους ισοζυγίου εδαφικού νερού [λυσίμετρα κτλ]
- Μεθόδους εξατμισιμέτρου [εξατμισόμετρο τύπου A κτλ]

Για την ευχερή εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από οποιαδήποτε φυτοκαλυμμένη ή όχι επιφάνεια (π.χ. γυμνό έδαφος) χρησιμοποιείται η μέθοδος του φυτικού συντελεστή που απαιτεί τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (Doorenbos and Pruitt 1977, Jensen *et al.* 1990, Allen *et al.* 1998, Kotsopoulos 1989) και του φυτικού συντελεστή (Doorenbos and Pruitt 1977, Allen *et al.* 1998, Παπαζαφειρίου 1984) ενώ λαμβάνεται υπόψη και η διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας στο βάθος του ριζοστρώματος ή και άλλοι παράγοντες (παρουσία αλάτων κτλ). Με βάση την παραπάνω γενικά αποδεκτή μεθοδολογία, ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής [evapotranspiration under non-standard conditions (Allen *et al.* 1998)] υπολογίζεται σε τρία βήματα :

- α) Αρχικά υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της επιφάνειας (καλλιέργειας) αναφοράς π.χ. γρασίδι (ET_o).
- β) Ακολούθως, μέσω της ET_o και του φυτικού συντελεστή υπολογίζεται η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της, ET_c , [crop evapotranspiration under standard conditions (Allen *et al.* 1998)]
- γ) Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της όποιας φυτοκαλυμμένης επιφάνειας (καλλιέργειας) υπό πραγματικές συνθήκες [crop evapotranspiration under non-standard conditions (Allen *et al.* 1998)] που αποκλίνουν από τις ιδεατές οπότε και υπεισέρχονται παράγοντες όπως: μικρή γονιμότητα εδάφους, τοξικότητα αλάτων, ασθένειες, προσβολές από έντομα, κακή στράγγιση, παρουσία σκληρών ή αδιαπέρατων εδαφικών οριζόντων στο βάθος του ριζοστρώματος, καθώς και η παρουσία αλάτων ή και η έλλειψη εδαφικής υγρασίας υπάρχει μείωση στην υδατοκατανάλωση των φυτών όπως αυτή διαμορφώνεται μέσω της ET_c .

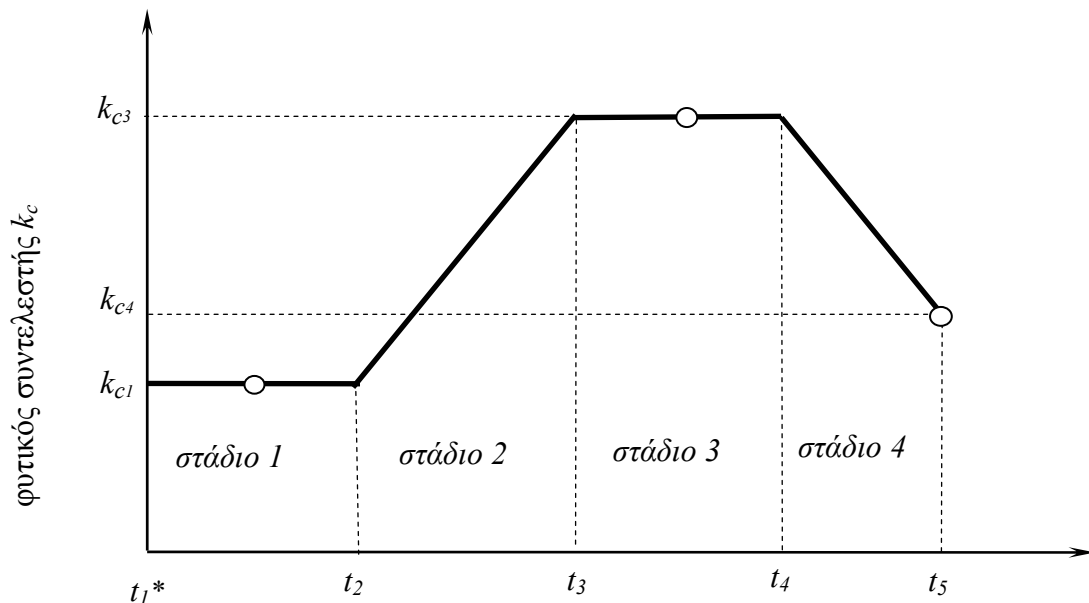
Έτσι ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να γίνει από μια εξίσωση της ακόλουθης μορφής:

$$ET_a = k_s \cdot k_c \cdot ET_o \quad (A.1)$$

όπου ET_a η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, k_c είναι ο λεγόμενος φυτικός συντελεστής ή συντελεστής επιφάνειας (Doorenbos & Pruitt 1977, Allen *et al.* 1998) και k_s συντελεστής που αναφέρεται στην υγρασιακή κατάσταση του εδάφους ή και σε άλλους παράγοντες ($0 < k_s \leq 1$).

Ο συντελεστής k_s για φυτοκαλυμμένο έδαφος μεταβάλλεται ανάλογα με το φαινολογικό στάδιο (στάδιο ανάπτυξης) της φυτοκάλυψης και διαγραμματικά παριστάνεται στο Σχήμα Α.1.

Ως εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, ET_o , θεωρείται αυτή που προέρχεται από μια υποθετική εκτεταμένη επιφάνεια υγιούς γρασιδιού, που αρδεύεται επαρκώς, έχει ομοιόμορφο ύψος 0.12 m, αναπτύσσεται δυναμικά και σκιάζει πλήρως το έδαφος (Doorenbos and Pruitt 1977, Allen *et al.* 1998). Καλλιέργεια αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί και η μηδική (Jensen 1983) οπότε οι φυτικοί συντελεστές που θα χρησιμοποιηθούν αναφέρονται στη συγκεκριμένη μεθοδολογία. Στις επόμενες ενότητες οι μέθοδοι που θα αναπτυχθούν θα αναφέρονται σε καλλιέργεια αναφοράς γρασίδι εκτός και αν δηλώνεται διαφορετικά. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (καλλιεργειών και φυτοκαλυμμένων επιφανειών γενικά), ET_c , αναφέρεται σε επιφάνειες μεγάλης έκτασης υπό άριστες αγρονομικές συνθήκες και συνθήκες εδαφικής υγρασίας.



Σχήμα Α.1. Σχηματική παράσχεση του φυτικού συντελεστή ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας

* t_1 ημερομηνία σποράς ή μεταφύτευσης ή έναρξης της βλαστικής περιόδου

A.2. Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς

Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (γρασίδι ή μηδική), ET_o , μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων και τα διαθέσιμα κλιματικά στοιχεία. Αρκετές από τις μεθόδους αυτές έχουν προέλθει από τροποποίηση σε προϋπάρχουσες (π.χ. μέθοδος Penman, μέθοδος Blaney-Criddle κτλ) για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πέραν των κλιματικών περιοχών για τις οποίες αρχικά εφαρμόστηκαν. Γενικά, από τις μεθόδους υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς οι πλέον γνωστές

(Doorenbos and Pruitt 1977, Allen, *et al.* 1998, Jensen *et al.* 1990, Kotsopoulos 1991, Παπαζαφειρίου 1984) είναι οι:

- Τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith (FAO-56)
- Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle (FAO-24)
- Τροποποιημένη μέθοδος ακτινοβολίας (FAO-24)
- Τροποποιημένη μέθοδος Penman (FAO-24)
- Μέθοδος Priestley & Taylor
- Μέθοδος Hargreaves
- Τροποποιημένη μέθοδος Jensen-Haise και
- Τροποποιημένη μέθοδος εξατμισιμέτρου (FAO-24).

A.2.1. Τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith (FAO-56)

Από τις παραπάνω αναφερόμενες μεθόδους η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith θεωρείται η πλέον ακριβής μετά από αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της σε διάφορες περιοχές του κόσμου (Jensen *et al.* 1990, Allen *et al.* 1996, Smith *et al.* 1996). Με βάση τη μέθοδο αυτή που περιγράφεται λεπτομερώς από τον FAO-56 (Allen *et al.* 1998) η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, ET_o , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (\text{A.2})$$

όπου ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (γρασίδι) σε mm/d, R_n η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), G η ροή θερμότητας στο έδαφος ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) που για ημερήσια χρονικά διαστήματα μπορεί να θεωρηθεί $G \approx 0$, T η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m ($^{\circ}\text{C}$), u_2 η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m (m s^{-1}), e_s η πίεση των κορεσμένων υδρατμών (kPa), e_a πραγματική πίεση υδρατμών (kPa), $e_s - e_a$ το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών (kPa), Δ η κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών στη θερμοκρασία T ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) και γ ψυχρομετρική σταθερά ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Όλες οι παράμετροι στην εξ. (A.2) πρέπει να είναι γνωστές (μετρημένες) ή να υπολογιστούν από προσεγγιστικές εξισώσεις.

Οι παράμετροι e_s και Δ εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του αέρα, T , και για τον υπολογισμό τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες εξισώσεις (Allen *et al.*, 1998):

$$e_s(T) = 0.6108 \cdot e^{\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right)} \quad (\text{kPa}) \quad (\text{A.3})$$

$$\Delta(T) = \frac{4098}{(T + 237.3)^2} \cdot e_s \quad (\text{kPa}/^{\circ}\text{C}) \quad (\text{A.4})$$

όπου T η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}\text{C}$) σε ύψος 2m από την επιφάνεια του εδάφους.

Εναλλακτικά για τα e_s και Δ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι εξισώσεις (Kotsopoulos and Babajimopoulos, 1997) :

$$e_s(T) = 0.61051 \cdot e^{\left(\frac{18.0788T - 0.00254T^2}{248.57 + T}\right)} \quad (\text{kPa}) \quad (\text{A.3a})$$

$$\Delta(T) = e_s \cdot \left(\frac{4650.79}{(T + 248.57)^2} - 0.00254\right) \quad (\text{kPa}/^{\circ}\text{C}) \quad (\text{A.4a})$$

Για τις απαιτήσεις της εξ. (A.2) ως e_s χρησιμοποιείται η μέση τιμή που προκύπτει για τις θερμοκρασίες T_{max} και T_{min} και οι οποίες αναφέρονται σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο (ημέρα, εβδομάδα, δεκαήμερο, μήνα) :

$$e_s = \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2} \quad (\text{kPa}) \quad (\text{A.5})$$

ενώ στην εξ.(A.4) ή την (A.4a) χρησιμοποιείται η μέση θερμοκρασία του αέρα (T_{mean} , $^{\circ}\text{C}$) που μπορεί να υπολογιστεί και ως :

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (\text{A.6})$$

Η πραγματική πίεση υδρατμών e_a (kPa), υπολογίζεται από την πίεση των κορεσμένων υδρατμών e_s και την σχετική υγρασία του αέρα RH (%) ως :

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (\text{A.7})$$

Στην εξ. (A.2) η παράμετρος e_a μπορεί να υπολογιστεί εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία μέγιστης και ελάχιστης σχετικής υγρασίας (RH_{max} , RH_{min}) ως:

$$e_a = \frac{e_s(T_{max}) \frac{RH_{min}}{100} + e_s(T_{min}) \frac{RH_{max}}{100}}{2} \quad (\text{A.8})$$

ενώ αν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία μέσης σχετικής υγρασίας (RH_{mean}) ως :

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \left[\frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2} \right] \quad (\text{A.9})$$

Η ψυχομετρική σταθερά γ (kPa/ $^{\circ}\text{C}$) υπολογίζεται ως :

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{\lambda \cdot \varepsilon} = 0.00163 \cdot \frac{P}{\lambda} \quad (\text{A.10})$$

όπου C_p ειδική θερμότητα υγρού αέρα ($=1.013 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)

P ατμοσφαιρική πίεση (kPa),

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065 \cdot z}{293} \right)^{5.26}, \quad z = \text{υψόμετρο (m)} \quad (\text{A.11})$$

ϵ λόγος μοριακού βάρους υδρατμών προς μοριακό βάρος ξηρού αέρα, $\epsilon = 0.622$

λ λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (MJ kg^{-1})

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \cdot 10^{-3}) \cdot T, \quad T \text{ σε } ^\circ\text{C} \quad (\text{A.12})$$

Εναλλακτικά για το λ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η εξίσωση (Κωτσόπουλος και Μπαμπατζιμόπουλος, 1995) :

$$\lambda = 2.501 - (2.378 \cdot 10^{-3}) \cdot T, \quad T \text{ σε } ^\circ\text{C} \quad (\text{A.12a})$$

Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, R_n , ισούται με τη διαφορά της εισερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μικρού μήκους, R_{ns} , και της εξερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους, R_{nl} :

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{A.13})$$

Η εισερχόμενη καθαρή ακτινοβολία μικρού μήκους R_{ns} ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) υπολογίζεται ως:

$$R_{ns} = (1 - a) \cdot R_s \quad (\text{A.14})$$

όπου a συντελεστής ανακλαστικότητας της καλλιέργειας αναφοράς ή albedo ($a = 0.23$) και R_s η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, R_s ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), σε περίπτωση που δεν μετράται, υπολογίζεται από τη σχέση :

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \quad (\text{A.15})$$

όπου n η πραγματική (λαμπρή) ημερήσια ηλιοφάνεια σε ώρες,

N η μέγιστη δυνατή (θεωρητική) ημερήσια ηλιοφάνεια σε ώρες,

n/N η σχετική ημερήσια ηλιοφάνεια,

R_a η ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

a_s, b_s σταθερές παλινδρόμησης. Σε περίπτωση που δεν μπορούν να

υπολογιστούν συνιστώνται οι τιμές $a_s = 0.25$ και $b_s = 0.50$.

Η ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας, R_a , και η μέγιστη δυνατή ημερήσια ηλιοφάνεια, N , μπορούν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες εξισώσεις (Duffie & Beckman 1980, Allen *et al.* 1998, Jensen *et al.* 1990):

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)] \quad (\text{A.16})$$

$$N = \omega_s \cdot \left(\frac{24}{\pi} \right) \quad (\text{A.17})$$

όπου G_{sc} ηλιακή σταθερά ($0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$),
 d_r η σχετική απόσταση μεταξύ γης και ήλιου,
 ω_s η ωριαία γωνία σε rad,
 φ το γεωγραφικό πλάτος σε rad,
 δ η απόκλιση του ήλιου σε rad.

Τα d_r , δ , και ω_s υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις :

$$d_r = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (\text{A.18})$$

$$\delta = 0.409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (\text{A.19})$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad (\text{A.20})$$

όπου J η Ιουλιανή ημέρα του έτους [$J=1, 2, \dots, 365$ (366)].

Εναλλακτικά τα d_r , δ , και N υπολογίζονται από τις εξισώσεις (Kotsopoulos and Babajimopoulos, 1997) :

$$d_r = 1 + 0.0334 \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (J - 3)}{365}\right) \quad (\text{A.18}\alpha)$$

$$\delta = 0.409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot (J + 283)}{365}\right) \quad (\text{A.19}\alpha)$$

$$N = \omega_s \cdot \left(\frac{24}{\pi} \right) + M \quad (\text{A.17}\alpha)$$

όπου $M=0.01172+0.0008936 \cdot \varphi^* + 7.4152 \cdot 10^{-7} \cdot \varphi^{*3}$ [φ^* το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες ($^\circ$)], ενώ για το ω_s χρησιμοποιείται η εξ. (A.20).

Αν οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο άνω όριο της ατμόσφαιρας, R_a , και της μέγιστης δυνατής ημερήσιας ηλιοφάνειας, N , απαιτούνται σε μηνιαία βάση τότε ή λαμβάνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές τους από τις παραπάνω εξισώσεις ή χρησιμοποιείται ως μέση τιμή αυτή που προκύπτει για τις ημερομηνίες του Πίνακα A.1.1.

Η εξερχόμενη καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους, R_{nl} ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), υπολογίζεται ως (Allen *et al.*, 1998) :

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \cdot (0.34 - 0.14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (A.21)$$

όπου: σ = σταθερά Stephan - Boltzman ($4.903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ } ^\circ\text{K}^4 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)
 $T_{max,K}$ = μέγιστη απόλυτη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας [$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$]
 $T_{min,K}$ = μέγιστη απόλυτη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας [$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$]
 e_a = η πραγματική πίεση των υδρατμών στον αέρα (kPa)
 R_s = η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
 R_{so} = η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία όταν δεν υπάρχει νέφωση ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
που για οποιοδήποτε υψόμετρο z (m) πάνω από το επίπεδο της θάλασσας υπολογίζεται ως :

$$R_{so} = (a_s + b_s + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot R_a \quad (A.22)$$

Ο λόγος της σχετικής ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος R_s/R_{so} είναι πάντα ≤ 1 .

Πίνακας Α.1. Ημερομηνίες για τον υπολογισμό των μέσων
μηνιαίων τιμών R_a και N

Μήνας	Ημερομηνία	Ημέρα του έτους (Ιουλιανή ημέρα)
Ιανουάριος	17 / 1	17
Φεβρουάριος	15 / 2	46
Μάρτιος	16 / 3	75
Απρίλιος	15 / 4	105
Μάιος	15 / 5	135
Ιούνιος	11 / 6	162
Ιούλιος	17 / 7	198
Αύγουστος	16 / 8	228
Σεπτέμβριος	16 / 9	259
Οκτώβριος	16 / 10	289
Νοέμβριος	15 / 11	319
Δεκέμβριος	11 / 12	345

Όταν η ταχύτητα του ανέμου u δίνεται σε διαφορετικό των 2m ύψος από την επιφάνεια του εδάφους τροποποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (Allen *et al.*, 1998):

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8 \cdot z - 5.42)} \quad (A.23)$$

όπου u_2 η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m από το έδαφος (m s^{-1}),

u_z η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z m από το έδαφος ($m s^{-1}$),

z το υψόμετρο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου (m).

Εναλλακτικά για το u_2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (Doorenbos & Pruitt 1977) :

$$u_2 = u_z \left[\frac{2}{z} \right]^a \quad (\text{A.23a})$$

όπου a εκθέτης που λαμβάνει την τιμή 0.17 όταν $z > 2m$ και 0.22 όταν $z < 2m$, ενώ γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή $a=0.2$ (Jensen 1974).

A.2.2. Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle (FAO-24)

Η αρχική μέθοδος Blaney-Criddle όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 6 έχει κανονικά περιορισμένη εφαρμογή και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους κλιματικούς τύπους. Για το λόγο αυτό οι Doorenbos & Pruitt (1977) τροποποίησαν την αρχική εξίσωση των Blaney-Criddle που μπορεί να εφαρμοστεί και για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σε ημερήσια βάση όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

$$ET_o = a + b \cdot p \cdot (0.46 \cdot T + 8.16) \quad (\text{A.24})$$

όπου: ET_o = εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (γρασιδί) σε mm/d

T = μέση ημερήσια θερμοκρασία σε $^{\circ}C$

P = ημερήσιο ποσοστό των ετήσιων ωρών ηλιοφάνειας (%)

a, b = συντελεστές προσαρμογής της αρχικής εξίσωσης B-C που εξαρτώνται από την υγρασία του αέρα, τις ώρες πραγματικής ηλιοφάνειας και την ταχύτητα του ανέμου

Η τιμή του συντελεστή a υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$a = 0.0043 \cdot RH_{min} - n/N - 1.41 \quad (\text{A.25})$$

όπου: RH_{min} = ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα (%)

n, N = ώρες πραγματικής και μέγιστης ημερήσιας ηλιοφάνειας (ώρες)

Ενώ ο συντελεστής b λαμβάνεται από πίνακες (Doorenbos & Pruitt 1977) ή υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$b = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot RH_{min} + \alpha_2 \cdot \frac{n}{N} + \alpha_3 \cdot U_2 + \alpha_4 \cdot RH_{min} \cdot \frac{n}{N} + \alpha_5 \cdot RH_{min} \cdot U_2 \quad (\text{A.25a})$$

όπου $\alpha_0 = 0,81917$, $\alpha_1 = -0,0040922$, $\alpha_2 = 1,0705$

$\alpha_3 = 0,065649$ $\alpha_4 = -0.0059684$ $\alpha_5 = -0.0005967$

Στην παραπάνω σχέση U_2 είναι η μέση ταχύτητα του αέρα σε ύψος 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σε $m s^{-1}$. αν η ταχύτητα του αέρα έχει μετρηθεί σε διαφορετικό ύψος, μπορεί να αναχθεί στο ύψος των 2 m με τη σχέση

$$U_2 = U_z \left(\frac{2}{z} \right)^{0,2} \quad (\text{A.25}\beta)$$

όπου U_z είναι η ταχύτητα του αέρα σε ύψος z μέτρων πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

A.2.3. Τροποποιημένη μέθοδος ακτινοβολίας (FAO-24)

Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί την αρχική εξίσωση Makink που έχει τη μορφή:

$$ET_o = b \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_s - a \quad (\text{A.26})$$

όπου: ET_o = εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (γρασίδι) σε mm/d
 Δ = κλίση της καμπύλης κορεσμένων υδρατμών στη θερμοκρασία T σε mbar/°C
 γ = ψυχομετρική σταθερά σε mbar/°C
 R_s = εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (mm/d), υπολογίζεται από την εξ. (A.15) και
 a, b = συντελεστές προσαρμογής

Στην αρχική εξίσωση $b=0.61$ και $a=0.12$. Οι τιμές αυτές ισχύουν για την Ολλανδία. Για γενική χρήση η τιμή του b λαμβάνεται από πίνακες (Doorenbos & Pruitt 1977) ενώ η τιμή του συντελεστή $a=0.30$ για όλες τις τοποθεσίες.

A.2.4. Τροποποιημένη μέθοδος Penman (FAO-24)

Η αρχική μέθοδος Penman (Penman 1948, 1956) όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 6 έχει τροποποιηθεί από τους Doorenbos & Pruitt (1977) για γενική χρήση. Στην εξίσωση αυτή έχει τροποποιηθεί ο αεροδυναμικός όρος και έχει συμπεριληφθεί η επίδραση της διαφοροποίησης των καιρικών συνθηκών μεταξύ ημέρας και νύχτας. Η τροποποιημένη μέθοδος Penman κατά FAO-24 (Doorenbos & Pruitt 1977) έχει την ακόλουθη μορφή:

$$ET_o = c \cdot \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f(U) \cdot (e_s - e_a) \right] \quad (\text{A.28})$$

όπου: ET_o = εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (γρασίδι) σε mm/d
 c = συντελεστής προσαρμογής για τη διαφοροποίηση των καιρικών συνθηκών μεταξύ ημέρας και νύχτας, λαμβάνεται από πίνακα (Doorenbos & Pruitt 1977) ή υπολογίζεται από προσαρμοσμέ-νες εξισώσεις (π.χ. Kotsopoulos & Babajimopoulos 1997)
 Δ = κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών στη θερμοκρασία T (°C) σε mbar/°C
 γ = ψυχομετρική σταθερά σε mbar/°C
 R_n = καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (mm/d), αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας

$f(U)$ = συνάρτηση ταχύτητας του αέρα σε mm/(mbar·day)

e_s = πίεση κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία T του αέρα σε mbar, υπολογίζεται π.χ. από εξ. (6.13)

$e_s - e_a$ = το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών (mbar)

Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, R_n , της παραπάνω εξίσωσης υπολογίζεται ως:

$$R_n = R_a \cdot (1 - r) \cdot \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) - \sigma \cdot T_a^4 \cdot \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \cdot (0.34 - 0.044 \sqrt{e_a}) \quad (\text{A.29})$$

όπου: R_a = ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας (mm/d), λαμβάνεται από πίνακες (Πίνακας 6.4) ή υπολογίζεται από εξισώσεις [π.χ. εξ. (A.16)]

r = συντελεστής ανακλαστικότητας (albedo), $r=0.25$ για φυτοκαλυμμένες επιφάνειες

a_s, b_s = συντελεστές που λαμβάνουν τις τιμές $a_s=0.25$ και $b_s=0.50$ όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι για τις τοπικές κλιματικές συνθήκες

n, N = ώρες πραγματικής και μέγιστης ημερήσιας ηλιοφάνειας (ώρες)

σ = σταθερά Stephan - Boltzman ($2.01 \cdot 10^{-9}$ mm/day / $^{\circ}\text{K}^4$)

T_a = απόλυτη θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Kelvin ($^{\circ}\text{K}$),

$$T_a = 273.16 + T$$

e_a = πραγματική πίεση υδρατμών (mbar), $e_a = e_s \cdot RH/100$, RH = σχετική υγρασία του αέρα (%)

Για τον υπολογισμό του Δ σε mbar/ $^{\circ}\text{C}$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξ. (A.4) ή η (A.4α) όπου όμως το e_s είναι σε mbar.

Για να εκφραστεί η ψυχομετρική σταθερά γ σε mbar/ $^{\circ}\text{C}$ μπορεί τροποποιηθεί η εξ. (A.10) ως :

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{\lambda \cdot \varepsilon} = 0.38585 \cdot \frac{P}{\lambda} \quad (\text{mbar}/^{\circ}\text{C}) \quad (\text{A.10}\alpha)$$

όπου C_p ειδική θερμότητα υγρού αέρα ($\sim 0.24 \text{ cal gm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

P ατμοσφαιρική πίεση (mbar),

$$P = 1013 \cdot \left(\frac{293 - 0.0065 \cdot z}{293} \right)^{5.26}, \quad z = \text{υψόμετρο (m)} \quad (\text{A.11}\alpha)$$

ε λόγος μοριακού βάρους υδρατμών προς μοριακό βάρος ξηρού αέρα, $\varepsilon = 0.622$

λ λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ($\text{cal} \cdot \text{gm}^{-1}$)

Το λ μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (Κωτσόπουλος και Μπαμπατζιμόπουλος, 1995) :

$$\lambda = 597.4 - 0.569 \cdot T \quad (\text{cal} \cdot \text{gm}^{-1}), \quad T \text{ σε } ^{\circ}\text{C} \quad (\text{A.12}\beta)$$

Αναφορικά με τη συνάρτηση ταχύτητας του αέρα αυτή λαμβάνεται:

$$f(U) = 0.27 \cdot \left[1 + \frac{U_2}{100} \right] \quad (\text{A.29}\alpha)$$

όπου U_2 η 24ωρη διαδρομή του αέρα σε ύψος 2m από την επιφάνεια του εδάφους (km/day). Όταν το U δίνεται σε διαφορετικό ύψος των 2m τότε τροποποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι εξ. (A.23) ή (A.23α).

A.2.5. Μέθοδος Priestley & Taylor

Η μέθοδος που προτάθηκε από τους Priestley & Taylor (1972) είναι μια απλοποιημένη έκφραση των μεθόδων συνδυασμού χρησιμοποιεί για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (γρasiδι), ET_o , μόνο μετρήσεις θερμοκρασίας

$$ET_o = a \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G) \quad (\text{A.30})$$

όπου: ET_o = εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (γρasiδι) σε mm/d

Δ, γ = παράμετροι που υπολογίζονται όπως παραπάνω (mbar/°C)

γ = ψυχομετρική σταθερά σε mbar/°C

R_n = καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (mm/d), υπολογίζεται από την εξ. (A.15)

G = ροή θερμότητας στο έδαφος (mm/d) που για ημερήσια χρονικά διαστήματα μπορεί να θεωρηθεί $G \approx 0$

a = συντελεστής, συνήθως $a=1.26$

A.2.6. Μέθοδος Hargreaves

Η μέθοδος χρησιμοποιεί για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (γρasiδι), ET_o , μόνο μετρήσεις θερμοκρασίας (Hargreaves & Samani 1982, Hargreaves & Samani 1987) και εκφράζεται ως:

$$ET_o = 0.0023 \cdot (T_{av} + 17.8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot R_a \quad (\text{A.31})$$

όπου ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (mm/d) κατά Hargreaves, T_{av} , T_{max} και T_{min} η μέση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (°C) αντίστοιχα και R_a ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας (mm).

A.2.7. Τροποποιημένη μέθοδος Jensen-Haise

Η μέθοδος υπολογίζει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (μηδική), ET_o , από τη σχέση:

$$ET_o = C_t \cdot (T_{av} - T_x) \cdot R_s \quad (\text{A.32})$$

όπου: R_s = εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (mm/d), υπολογίζεται από την εξ. (A.15)

T_{av} = η μέση θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (°C)

$$\text{για } C_t = \frac{1}{C_1 + 7.30 \cdot C_h} \quad (\text{A.33})$$

$$C_h = \frac{50}{e_2 - e_1} \quad (\text{A.34})$$

$$C_1 = 38 - \frac{2 \cdot z}{305} \quad (\text{A.35})$$

$$T_x = -2.5 - 0.14 \cdot (e_2 - e_1) - \frac{z}{550} \quad (\text{A.36})$$

όπου: e_2, e_1 = πίεση κορεσμένων υδρατμών (mbar) στην μέση και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα του θερμότερου μήνα του έτους
 z = υψόμετρο της περιοχής (m)

A.2.8. Τροποποιημένη μέθοδος εξατμισιμέτρου (FAO-24).

Τα εξατμισιμέτρα (λεκάνες εξάτμισης) δείχνουν την συνολική επίπτωση των κλιματικών παραμέτρων όπως: ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια, άνεμος, θερμοκρασία και υγρασία του αέρα στην εξάτμιση από συγκεκριμένη ελεύθερη υδάτινη επιφάνεια. Η τιμή αυτή της εξάτμισης μπορεί να συσχετιστεί με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (γρασίδι) ως:

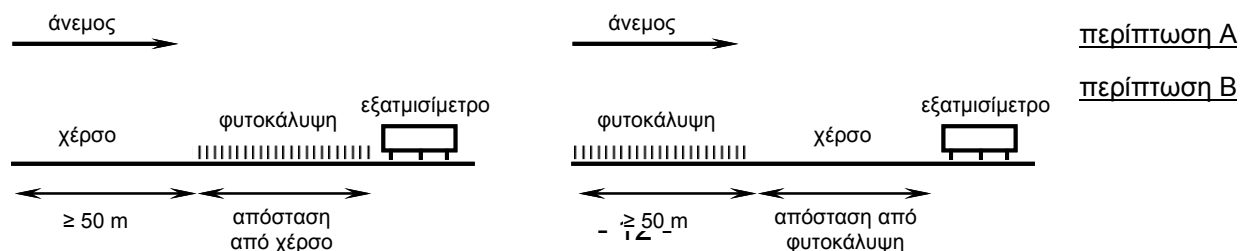
$$ET_o = k_{pan} \cdot E_{pan} \quad (\text{A.37})$$

όπου: ET_o = εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (γρασίδι) σε mm/d
 E_{pan} = εξάτμιση από εξατμισιμέτρο σε mm/d
 k_{pan} = αδιάστατος συντελεστής εξατμισιμέτρου

Ο συντελεστής k_{pan} περιλαμβάνει την επίδραση διαφόρων παραγόντων που διαφοροποιούν την εξάτμιση από εξατμισιμέτρο και από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια όπως:

- Η διαφορά στην ανακλαστικότητα φυτοκαλυμμένης και υδάτινης επιφάνειας
- Η μεταφορά θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων του εξατμισιμέτρου
- Το χρώμα του εξατμισιμέτρου
- Η θέση του εξατμισιμέτρου και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες
- Το γεγονός ότι η εξάτμιση από εξατμισιμέτρο συμβαίνει ημέρα και νύχτα ενώ η διαπνοή των φυτοκαλυμμένων επιφανειών γίνεται την ημέρα.

Ο συντελεστής k_{pan} συνήθως λαμβάνεται από πίνακες (Doorenbos & Pruitt 1977) όπου λαμβάνεται υπόψη και η θέση του εξατμισιμέτρου όπως φαίνεται στο Σχήμα A.2 (περίπτωση A και B).



Σχήμα Α.2. Περιπτώσεις τοποθέτησης εξατμισιμέτρου

Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι τύποι εξατμισιμέτρων είναι το εξατμισόμετρο τύπου Α (U.S. class A pan) και το βυθισμένο εξατμισόμετρο Κολοράντο (Colorado sunken pan). Το εξατμισόμετρο τύπου Α που συνήθως χρησιμοποιείται στην Ελλάδα αποτελείται από ένα ανοιχτό κυλινδρικό δοχείο διαμέτρου 120.7 cm και βάθους 25 cm και κατασκευάζεται από γαλβανισμένο χάλυβα (Εικ. Α.1). Τοποθετείται πάνω σε οριζόντια ξύλινη βάση που απέχει 15 cm από το έδαφος. Η επιφάνεια νερού στη συσκευή πρέπει να βρίσκεται 5-7.5cm από το χείλος του εξατμισιμέτρου. Συνήθως οι μετρήσεις γίνονται με συσκευή ηρεμίας που περιλαμβάνει μικρόμετρο (σύστημα βερνιέρου) (Εικ. Α.1).

Υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση από τα εξατμισόμετρα που σχετίζονται με τη λειτουργία και συντήρησή τους όπως η στάθμη του νερού και το χρώμα τους.



Εικ. Α.1. Εξατμισόμετρο τύπου Α με μικρόμετρο για τη μέτρηση της εξάτμισης

Α.3. Εξατμισοδιαπνοή υπό συνθήκες επάρκειας νερού

Όταν υπάρχει επάρκεια νερού η εξατμισοδιαπνοή λαμβάνει τη δυναμική τιμή της. Για τον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, ET_c , χρησιμοποιείται ο φυτικός συντελεστής της φυτοκάλυψης και η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς όπως περιγράφεται από την εξίσωση (Doorenbos and Pruitt 1977, Jensen *et al.* 1990, Allen *et al.* 1998, Kotsopoulos 1989):

$$ET_c = k_c \cdot ET_o \quad (A.38)$$

όπου k_c ο φυτικός συντελεστής που εξαρτάται από το είδος της φυτοκάλυψης το στάδιο ανάπτυξής της και εν μέρει από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Οι τιμές του φυτικού συντελεστή των φυτοκαλυμμένων επιφανειών (καλλιεργειών, βοσκοτόπων, δασικής βλάστησης) συνήθως υπολογίζονται κατά τα τέσσερα στάδια ανάπτυξής τους καθώς και την ημερομηνία σποράς ή (μετα) φύτευσης, ή έναρξης της βλαστικής περιόδου (Doorenbos and Pruitt 1977, Allen *et al.*, 1998, Παπαζαφειρίου 1984) όπως παρακάτω:

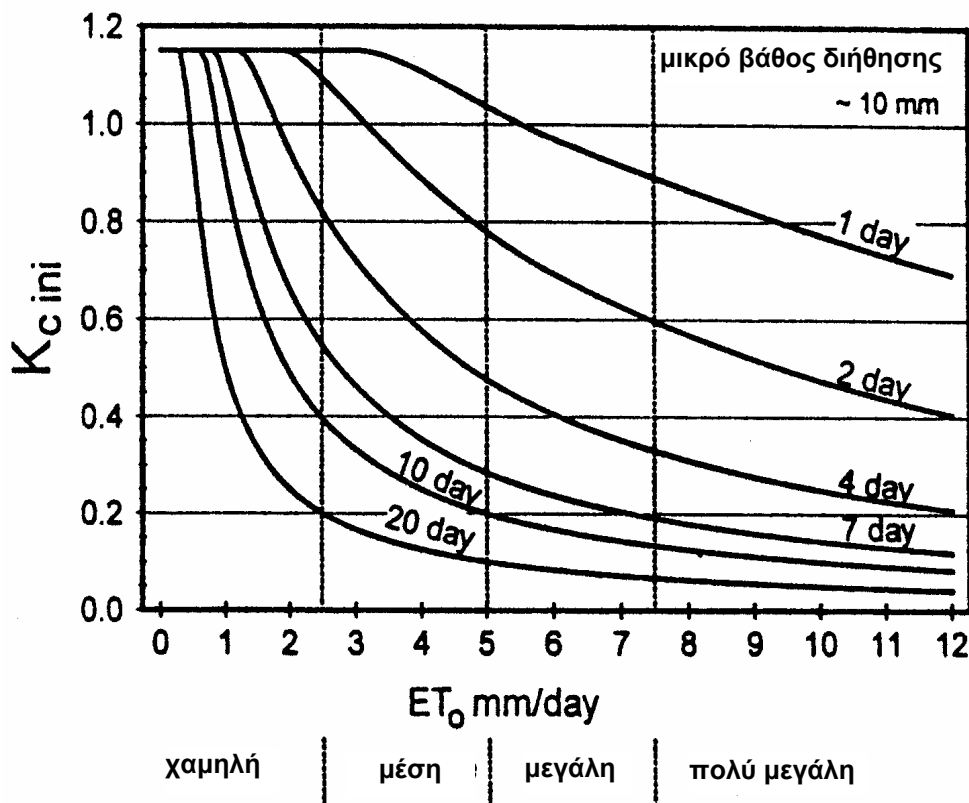
Στάδιο 1 (αρχικό): από την ημερομηνία σποράς, (μετα) φύτευσης ή έναρξη της βλαστικής (ή καλλιεργητικής) περιόδου μέχρι που η φυτοσκίαση είναι ~ 10%.

Στάδιο 2 (ανάπτυξης): από το τέλος του προηγούμενου σταδίου έως ότου η φυτοσκίαση είναι ~ 70-80%.

Στάδιο 3 (πλήρους ανάπτυξης): από το τέλος του σταδίου 2 μέχρι την έναρξη της ωρίμανσης.

Στάδιο 4 (τελικό): από το τέλος του σταδίου 3 μέχρι την πλήρη ωρίμανση ή συγκομιδή της καλλιέργειας.

Η διάρκεια των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης των φυτοκαλυμμένων επιφανειών (καλλιεργειών) αναφέρονται στον Πίνακα Α.2. Για το αρχικό στάδιο (1) οπότε και η εξατμισοδιαπνοή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εξατμηση από το γυμνό έδαφος, ο φυτικός συντελεστής, $k_c ini$, κατά κύριο λόγο εξαρτάται από τη συχνότητα διαβροχής της επιφάνειας του εδάφους (βροχόπτωση ή άρδευση) και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και μπορεί να υπολογιστεί με βάση π.χ. το Σχήμα Α.3 (Doorenbos and Pruitt, 1977, Allen *et al.*, 1998).



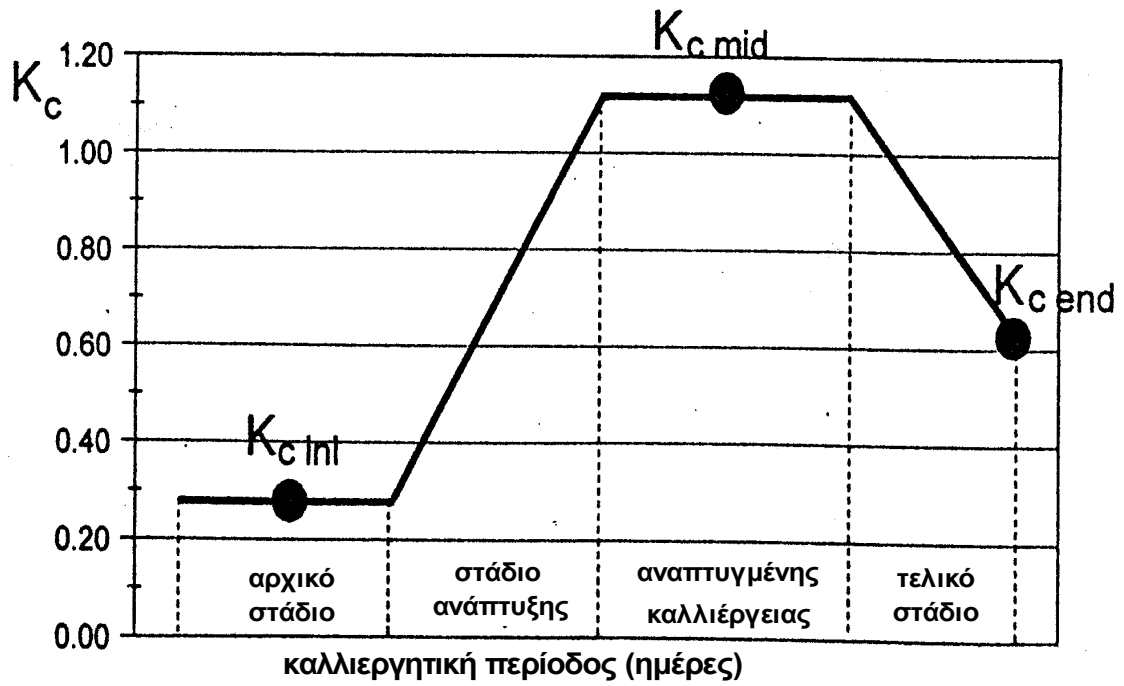
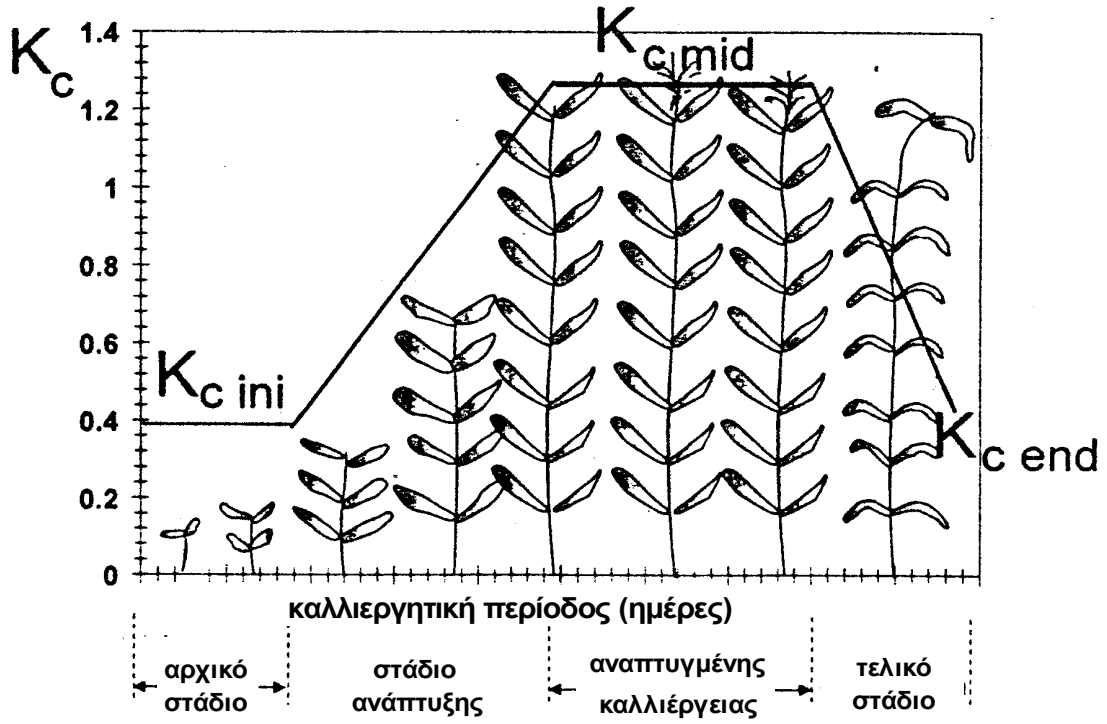
Σχήμα Α.3. Μέση τιμή k_c για το αρχικό στάδιο (από Allen *et al.*, 1998)

Ο φυτικός συντελεστής κατά το τρίτο και το τέλος του τέταρτου σταδίου, $k_c mid$ και $k_c end$, υπολογίζονται από τις αρχικά θεωρούμενες τιμές τους (Πίνακας Α.3) που τροποποιούνται ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (Α.39) και (Α.40) αντίστοιχα (Allen *et al.*, 1998) :

$$k_{c\ mid} = k_{c\ mid}^* + [0.04 \cdot (u_{2mid} - 2) - 0.004 \cdot (RH_{\min\ mid} - 45)] \cdot \left(\frac{h_{\max}}{3}\right)^{0.3} \quad (\text{A.39})$$

$$k_{c\ end} = k_{c\ end}^* + [0.04 \cdot (u_{2end} - 2) - 0.004 \cdot (RH_{\min\ end} - 45)] \cdot \left(\frac{h_{\max}}{3}\right)^{0.3} \quad (\text{A.40})$$

όπου $k_{c\ mid}$ και $k_{c\ end}$ οι τροποποιημένοι φυτικοί συντελεστές για το τρίτο και τέλος του τέταρτου σταδίου αντίστοιχα ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, $k_{c\ mid}^*$ και $k_{c\ end}^*$ οι φυτικοί συντελεστές που λαμβάνονται από τον Πίνακα Α.3 και εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας και u_{2mid} , u_{2end} , $RH_{\min\ mid}$, και $RH_{\min\ end}$, οι μέσες ημερήσιες ταχύτητες και ελάχιστες σχετικές υγρασίες στα αντίστοιχα στάδια ανάπτυξης. Οι τιμές του φυτικού συντελεστή κατά το στάδιο (3) και το τέλος του σταδίου (4) δίνονται σε πίνακες (Doorenbos and Pruiitt, 1977, Allen *et al.*, 1998, Πίνακας Α.1.3). Η τιμή του k_c θεωρείται σταθερή κατά τα στάδια (1) και (3) ενώ μεταβάλλεται γραμμικά στο στάδιο ανάπτυξης (2) και τελικό (4). Γραφική παράσταση του k_c καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο παρουσιάζεται στο Σχήμα Α.4.



Σχήμα Α.4. Γραφική παράσταση του k_c κατά την καλλιεργητική περίοδο (από Allen *et al.*, 1998)

Πίνακας Α.2. Διάρκεια σταδίων ανάπτυξης καλλιεργειών σε ημέρες για τις Ελληνικές συνθήκες

Καλλιέργεια	Στάδιο (1)	Στάδιο (2)	Στάδιο (3)	Στάδιο (4)	Σύνολο	Ημερομηνία σποράς ^{**1}
1. Χαμηλά Κηπευτικά						
Μπρόκολο	35	45	40	15	135	Σεπτέμβριος
Λάχανο	40	60	50	15	165	Σεπτέμβριος
Καρότα	30	40	60	20	150	Φεβ./Μάρτ.
Κουνουπίδι	35	50	40	15	140	Σεπτέμβριος
Σέλινο	25	40	45	15	125	Απρίλιος
Σκόρδα	20	35	110	45	210	Νοέμβ./ Ιαν.
Μαρούλια	20	30	15	10	75	Φεβρουάριος
Κρεμμύδια ξερά	20	35	110	45	210	Νοέμβ./ Ιαν.
φρέσκα	20	35	55		110	Ν.,Ι.,Μ.,Α.,Μ.
σπόρος	20	35	110	55	220	Νοέμβ./ Ιαν.
Σπανάκι	20	20	15/25	5	60/70	Απρ./Σεπ./Οκτ
Ρεπανάκια	5	10	15	5	35	Απρίλιος
2. Κηπευτικά – οικογένεια <i>Solanaceae</i>						
Μελιτζάνες	30	45	40	25	140	Απρίλιος
Πιπεριές	30	35	40	30	135	Απρίλιος
Ντομάτες	35	40	50	30	155	Απρίλιος
3. Κηπευτικά – οικογένεια <i>Cucurbitaceae</i>						
Αγγούρια	30	40	50	30	150	Απρίλιος
Κολοκύθα	25	40	50	30	155	Απρίλιος
Κολοκυθάκια	25	40	50	30	145	Απρίλιος
Πεπόνια	30	30	50	30	140	Μαρ./Απρ.
Καρπούζια	30	30	50	30	140	Μαρ./Απρ.
4. Κονδυλόριζα						
Πατζάρια	15	25	20	10	70	Απρ./Μάιος
	25	30	25	10	90	Φεβρ./Μάρτ.
Πατάτες	30	35	50	30	145	Απρ./Μάιος
Γλυκοπατάτες	20	30	60	40	150	Απρίλιος
Ζαχαρότευλα	30	45	90	15	180	Μάρτιος
5. Ψυχανθή (<i>Leguminosae</i>)						
Φασολάκια	20	30	30	10	90	Μαρ./Απριλ.
Φασόλια ξερά	20	30	40	20	110	Μάιος/Ιούν.

Πίνακας Α.2 (συνέχεια)

Ρεβύθια	20	30	40	20	110	Μάρτιος
Κουκκιά - φρέσκα	90	45	40	0	175	Νοέμβριος
- ξερά	90	45	40	60	235	Νοέμβριος
Αραχίδα	35	45	35	25	140	Μάιος
Φακές	20	30	60	40	150	Απρίλιος
Αρακάς	20	30	35	15	100	Μαρ./Απριλ.
Σόγια	25	30-40	60	25	140-145	Απρίλ./Μάιος
6. Υπερετήσια κηπευτικά						
Αγκινάρα	40	40	250	30	360	Απρ. 1 ^ο έτος
	20	25	250	30	325	Μάιος 2 ^ο έτος
Σπαράγγι	90	30	200	45	365	Φεβρουάριος
7. Ινώδεις καλλιέργειες						
Βαμβάκι	35	55	45	25	160	Απρίλιος
Λινάρι	25	35	50	40	150	Απρίλιος
8. Ελαιούχες καλλιέργειες (σπόροι)						
Σουσάμι	20	30	40	20	110	Μάιος/Ιούν.
Ηλίανθος	25	35	45	25	130	Απρίλ./Μάιος
9. Δημητριακά						
Κριθάρι	30	140	35	25	230	Οκτ./Νοέμ.
Βρώμη	30	140	40	30	240	Οκτ./Νοέμ.
Χειμερινά σιτηρά	30	140	40	30	240	Οκτ./Νοέμ.
Καλαμπόκι	30	40	50	30	150	Απρίλιος
Καλαμπόκι (γλυκό)	20	25	25	10	80	Μάιος
Κεχρί	20	30	55	35	140	Απρίλιος
Σόργο	20	35	40	30	125	Μάιος
Ρύζι	30	30	60	30	150	Μάιος
10. Χορτοδοτικά						
Μηδική - 1 ^η κοπή	10-15	20	20	10	60-65	Μάρτιος
- άλλες κοπές	5-6	10-12	10-12	5-7	30-35	Μάιος/Ιούν.
11. Σταφύλια και μούρα						
Βατόμουρα	20	50	90	40	200	Μαρ./Απρ.
Σταφύλια	20	40	90	60	210	Μαρ./Απρ.
Λυκίσκος	25	40	80	10	155	Απρίλιος
12. Οπωροφόρα δέντρα						
Αμυγδαλές	20	70	90	30	210	Μάρτιος
Μηλιές, Αχλαδιές, Κερασιές	20	70	90	30	210	Μάρτιος
Πίνακας Α.2 (συνέχεια)						
Βερικοκίες, Ροδακινιές, Δαμασκηνιές	20	70	90	30	210	Μάρτιος

Εσπεριδοειδή	60	90	120	95	365	Ιανουάριος
Ακτινίδια	20	40	100	60	220	Μάρτιος
Ελαιόδεντρα	30	90	60	90	270	Μάρτιος
Φυστικιές	20	60	60	40	180	Φεβ./Μάρ.
Καρυδιές	10	70	90	30	200	Απρίλιος
13. Υγρότοποι – ήπιο κλίμα						
Ψαθιά, παγετός	10	30	80	20	140	Μάιος
Ψαθιά, χωρίς παγετό	180	60	90	35	365	Νοέμβριος
Χαμηλή βλάστηση, χωρίς Παγετό	180	60	90	35	365	Νοέμβριος
Έλος με καλάμια, στάσιμα νερά	10	30	80	20	140	Μάιος
Έλος με καλάμια, υγρό έδαφος	10	30	80	20	140	Μάιος

*1 Ημερομηνία σποράς, φύτευσης, ή έναρξη της καλλιεργητικής ή βλαστικής περιόδου. Οι ημερομηνίες αυτές είναι ενδεικτικές για ορισμένες καλλιέργειες, π.χ. κηπευτικά, και μπορεί να γίνονται σε διάφορες εποχές του έτους. Από αυτές και τις επικρατούσες τοπικά καιρικές συνθήκες θα εξαρτηθεί και διάρκεια των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Πίνακας Α.3. Φυτικοί συντελεστές καλλιεργειών, k_c , σε διάφορα στάδια ανάπτυξης για την κατά
FAO 56 Penman - Monteith μέθοδο

Καλλιέργεια	$K_{c\ ini}$	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	H_{max} (m)
1. Χαμηλά Κηπευτικά	0.70	1.05	0.95	
Μπρόκολο		1.05	0.95	0.30
Λαχανάκι Βρυξελών		1.05	0.95	0.40
Λάχανο		1.05	0.95	0.40
Καρότα		1.05	0.95	0.30
Κουνουπίδι		1.05	0.95	0.40
Σέλινο		1.05	1.00	0.60
Σκόρδα		1.00	0.70	0.30
Μαρούλια		1.00	0.95	0.30
Κρεμμύδια ξερά		1.05	0.75	0.40
φρέσκα		1.00	1.00	0.30
σπόρος		1.05	0.80	0.50
Σπανάκι		1.00	0.95	0.30
Ραπανάκια		0.90	0.85	0.30
2. Κηπευτικά - οικογένεια <i>Solanaceae</i>	0.60	1.15	0.80	
Μελιτζάνες		1.05	0.90	0.80
Πιπεριές		1.05	0.90	0.70
Ντομάτες		1.15	0.7-0.9	0.60
3. Κηπευτικά - οικογένεια <i>Cucurbitaceae</i>	0.50	1.00	0.80	
Αγγούρια - φρέσκα	0.60	1.00	0.75	1.5 -2.0
- μηχανικής συλλογής	0.50	1.00	0.90	0.30
Κολοκύθα		1.00	0.80	0.40
Κολοκυθάκια		0.95	0.75	0.50
Πεπόνια		1.05	0.75	0.30
Καρπούζια	0.40	1.00	0.75	0.30
4. Κονδυλόριζα	0.50	1.10	0.95	
Πατζάρια		1.05	0.95	0.40
Πατάτες		1.15	0.75	0.60
Γλυκοπατάτες		1.15	0.65	0.40
Γογγύλι		1.10	0.95	0.60
Ζαχαρότευτλα	0.35	1.20	0.70	0.50
5. Ψυχανθή (<i>Leguminosae</i>)	0.40	1.15	0.55	
Φασολάκια	0.50	1.05	0.90	0.40
Φασόλια ξερά	0.40	1.15	0.35	0.40

Πίνακας Α.3 (συνέχεια)

Ρεβύθια		1.00	0.35	0.40
Κουκκιά - φρέσκα	0.50	1.15	1.10	0.80
- ξερά	0.50	1.15	0.30	0.80
Αραχίδα		1.15	0.60	0.40
Φακές		1.10	0.30	0.50
Αρακάς - φρέσκος	0.50	1.15	1.10	0.50
- ξερός	0.50	1.15	0.30	0.50
Σόγια		1.15	0.50	0.50-1.00
6. Υπερετήσια κηπευτικά	0.50	1.00	0.80	
Αγκινάρα	0.50	1.00	0.95	0.70
Σπαράγγι	0.50	0.95	0.30	0.20-0.80
Μέντα	0.60	1.15	1.10	0.60-0.80
Φράουλες	0.40	0.85	0.75	0.20
7. Ινώδεις καλλιέργειες	0.35			
Βαμβάκι		1.15-1.20	0.70-0.50	1.00-1.50
Λινάρι		1.10	0.25	1.2
8. Ελαιούχες καλλιέργειες (σπόροι)	0.35			
Ελαιοκράμβη		1.00-1.15	0.35	0.60
Σουσάμι		1.10	0.25	1.00
Ηλίανθος		1.00-1.15	0.35	2.00
9. Δημητριακά	0.30			
Κριθάρι		1.15	0.25	1.00
Βρώμη		1.15	0.25	1.00
Χειμερινά σιτηρά	0.40	1.15	0.25	1.00
Καλαμπόκι		1.20	0.60, 0.35	2.50
Καλαμπόκι (γλυκό)		1.15	1.05	1.50
Κεχρί		1.00	0.30	1.5
Σόργο		1.00-1.10	0.55	1.00-2.00
Σόργο (γλυκό)		1.20	1.05	2.00-4.00
Ρύζι	1.05	1.20	0.90-0.60	1.00
10. Χορτοδοτικά				
Μηδική - μέση περίοδου	0.40	0.95	0.90	0.70
- μεταξύ κοπών	0.40	1.20	1.15	0.70
- για σπόρο	0.40	0.50	0.50	0.70
Τριφύλλι - μέση περίοδου	0.40	0.90	0.85	0.60
- μεταξύ κοπών	0.40	1.15	1.10	0.60
Λειμώνες - εναλλακτική βόσκηση	0.40	0.85-1.05	0.85	0.15-0.30
- εντατική βόσκηση	0.30	0.75	0.75	0.10
11. Σταφύλια και μούρα				
Βατόμουρα	0.30	1.05	0.50	1.50

Πίνακας Α.3 (συνέχεια)

Σταφύλια – επιτραπέζια ή σταφίδα - οينوποίηση	0.30 0.30	0.85 0.70	0.45 0.45	1.50-2.00 1.50-2.00
Λυκίσκος	0.30	1.05	0.85	5.00
12. Οπωροφόρα δέντρα				
Αμυγδαλές, χωρίς ζιζάνια	0.40	0.90	0.95	4.00-5.00
Μηλιές, Αχλαδιές, Κερασιές Χωρίς ζιζάνια, παγετός Με ζιζάνια, Παγετός	0.45 0.50	0.95 1.20	0.75 0.95	4.00-5.00 4.00-5.00
Βερικοκίες, Ροδακινίες, Δαμασκηνίες Χωρίς ζιζάνια, παγετός Με ζιζάνια, Παγετός	0.45 0.50	0.90 1.15	0.65 0.90	3.00 3.00
Αβοκάντο	0.60	0.85	0.75	3.00
Εσπεριδοειδή, χωρίς ζιζάνια - 70 % κάλυψη - 50 % κάλυψη - 20 % κάλυψη	0.70 0.65 0.50	0.65 0.60 0.45	0.70 0.65 0.55	4.00 3.00 2.00
Εσπεριδοειδή, με ζιζάνια - 70 % κάλυψη - 50 % κάλυψη - 20 % κάλυψη	0.75 0.80 0.85	0.70 0.80 0.85	0.75 0.80 0.85	4.00 3.00 2.00
Κωνοφόρα	1.00	1.00	1.00	10
Ακτινίδια	0.40	1.05	1.05	2.50-3.00
Ελαιόδεντρα (40 – 60 % κάλυψη)	0.65	0.70	0.70	3.00-5.00
Φυσιτικές, χωρίς ζιζάνια	0.40	1.10	0.45	3.00-5.00
Καρυδιές	0.50	1.10	0.65	4.00-6.00
13. Υγρότοποι – ήπιο κλίμα				
Ψαθιά, παγετός	0.30	1.20	0.30	2.00
Ψαθιά, χωρίς Παγετό	0.60	1.20	0.60	2.00
Χαμηλή βλάστηση, χωρίς παγετό	1.05	1.10	1.10	0.30
Έλος με καλάμια, στάσιμα νερά	1.00	1.20	1.00	1.00-3.00
Έλος με καλάμια, υγρό έδαφος	0.90	1.20	0.70	1.00-3.00
14. Νερά				
Υδάτινες επιφάνειες < 2 m βάθος		1.05	1.05	
Υδάτινες επιφάνειες > 5 m βάθος		0.65	1.25	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998, Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 56*, FAO, Rome.
- Allen, R., Smith, M., Pruitt, W.O. and Pereira, L., 1996. Modifications to the FAO crop coefficient approach. Proceedings of the International Conference of the ASAE on "Evapotranspiration and Irrigation Scheduling", November 3-6, San Antonio, Texas: 124-132.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H., 1979, Yield Response to Water, *FAO Irrigation and Drainage Paper No 33*, FAO, Rome.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977, Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 24*, FAO, Rome.
- Duffie, J. and Beckman, W. A., 1980. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons Inc. New York, N.Y.
- Hargreaves, G. H. and Samani, Z., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *J. Irrig. and Drain. Engng.* Vol. 108 (IR3): 225-230.
- Hargreaves, G. H. and Samani, Z., 1987. Simplified irrigation scheduling and crop selection for El Salvador. *J. Irrig. and Drain. Engng.* Vol. 113 (2): 224-232.
- Jensen, M. E. (ed.), 1974. Consumptive use of water and irrigation water requirements. *Rep. Tech. Com. on Irrigation Water Requirements*, Irrig. and Drain. Div., ASCE.
- Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allen, R. G. eds., 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.*, *ASCE Manuals and Rep. on Engng. Pract. No 70*, ASCE, New York.
- Kotsopoulos, S. I., 1989, On the evaluation of risk of failure in irrigation water delivery, PhD Thesis, Southampton Univ., UK.
- Kotsopoulos, S. I., 1991. Crop water requirements, Programme PHARE Seminar on: Irrigation and Mechanization of Small Farms, Mediterranean Agronomic Institute of Chania (MAICH), 11 November - 6 December 1991.
- Kotsopoulos S. and Babajimopoulos C., 1997. Analytical estimation of modified Penman equation parameters, *J. Irrig. and Drain. Engng.* Vol. 123 (4): 253-256.
- Smith, M., Allen, R. and Pereira, L., 1996. Revised FAO methodology for crop water requirements. Proceedings of the International Conference of the ASAE on "Evapotranspiration and Irrigation Scheduling", November 3-6, San Antonio, Texas: 116-123.
- Κωτσόπουλος Σ. και Μπαμπατζιμόπουλος Χ., 1995. Υπολογισμός παραμέτρων της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. *Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ*, Θεσσαλονίκη : 482 - 489.
- Κωτσόπουλος, Σ. Ι., 1995. Βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής σε σχέση με την κατανομή του νερού κατά την αρδευτική περίοδο, *Υδροτεχνικά*, 5, 3-16.
- Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., 1999, Σχέσεις νερού και παραγωγής βαμβακιού σε περιοχές της Θεσσαλίας. *Πρακτικά 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ: 'Διαχείριση Υδατικών Πόρων στις Ευαίσθητες Περιοχές του Ελλαδικού Χώρου'*, Βόλος, 177-182.
- Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1984. Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Πουλοβασίλης, Α., 1983. Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής, Αρδεύσεις Ι, Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ., 1986. Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.