



# Ατομικά Δίκτυα Αρδεύσεων

Ενότητα 4 : Μέθοδοι Penman, Thornwaite και Blaney-Criddle

Ευαγγελίδης Χρήστος  
Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# Μέθοδοι Penman, Thornwaite και Blaney-Criddle



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

---

1. Μέθοδος Penman.
2. Πορεία Υπολογισμού Penman.
2. Μέθοδος Thornwaite.
3. Μέθοδος Blaney-Criddle.



# Σκοποί ενότητας

Η ενότητα εισάγει τον ενδιαφερόμενο σε θέματα που αφορούν:

- Πρακτικές εφαρμογές σχετικά με τις τρεις μεθόδους που περιγράφονται.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Μέθοδοι Penman, Thornwaite και Blaney-Criddle

# Μέθοδος Penman (1/10)

Η μέθοδος γενικά δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με όλες τις μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενες έμμεσες μεθόδους και ισχύει με την κατάλληλη προσαρμογή σε οποιεσδήποτε συνθήκες όταν είναι γνωστά: η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία και η διάρκεια της ημέρας.





# Μέθοδος Penman (2/10)

- Η εξίσωση Penman όπως τροποποιήθηκε από τους Doorendos and Pruitt το 1977 αποτελείται από δυο μέρη:
- το **πρώτο μέρος** αναφέρεται στη διαθέσιμη ενέργεια (ακτινοβολία).
- και το **δεύτερο μέρος** στην αεροδυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας (ταχύτητα αέρα, υγρασία) και είναι:

$$ET_p = c \cdot (W \cdot R_n + (-W) \cdot f \cdot (e_a - e_d)) \text{ (mm/day)}$$



# Μέθοδος Penman (3/10)

Όπου  $c$  = διορθωτικός συντελεστής που δίνεται σε πίνακα, σαν συνάρτηση της μέγιστης υγρασίας  $RH_{\max}$ , της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος  $R_s$ , της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας  $U_d$  και του λόγου  $U_d/U_n$ , όπου  $U_n$  η ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια της νύχτας.

$R_n$  = Διαθέσιμη ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία.

$f(u)$  = Αεροδυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας, άνεμος υγρασία, θερμοκρασία.



# Μέθοδος Penman (4/10)

$W$  = συντελεστής βάρους «συμμετοχής» της ακτινοβολίας στην διαμόρφωση της τιμής της  $E_T$ , που εξαρτάται από την θερμοκρασία και την πίεση (από πίνακα).

Είναι ίσος με: 
$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$$

- $\Delta$  είναι η κλίση της ευθείας στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών – θερμοκρασίας σε  $\text{kPa}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ , και
- $\gamma$  είναι η ψυχομετρική σταθερά στις ίδιες μονάδες.



# Μέθοδος Penman (5/10)

- $R_n$  = καθαρή ηλιακή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος εξατμισμένου νερού (mm/day). Υπολογίζεται έμμεσα με τη βοήθεια της θεωρητικής ηλιακής ακτινοβολίας, της ηλιοφάνειας, της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, με την ακόλουθη διαδικασία:
- $R_{ns}$  = η καθαρή μικρού μήκους ακτινοβολία και

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_{ns} = 0.75 \cdot R_s$$



# Μέθοδος Penman (6/10)

$R_s$  = πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης και υπολογίζεται από:

$$R_s = \left[ 0.25 + 0.5 \cdot \left( \frac{n}{N} \right) \right] R_a$$

$R_a$  = θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία, είναι αυτή που φθάνει στο απώτατο όριο της ατμόσφαιρας και εξαρτάται μόνο από το γεωγραφικό πλάτος και την ημέρα του έτους (από πίνακα).

$n/N$  = σχετική ηλιοφάνεια, το  $N$  δίνεται από πίνακα.



# Μέθοδος Penman (7/10)

$R_{nl}$  = η καθαρή μεγάλου μήκους ηλιακή ακτινοβολία και αντιπροσωπεύει τη διαφορά της ενέργειας που ακτινοβολεί η γη προς το περιβάλλον και αυτής που δέχεται η γη από το περιβάλλον σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος και υπολογίζεται έμμεσα από τη σχέση:

$$R_{nl} = f_1(T) \cdot f_2(e_d) \cdot f_3 \left( \frac{h}{N} \right)$$



# Μέθοδος Penman (8/10)

$\sigma$  = σταθερά των Stefan – Boltzman =  $1.9867 \cdot 10^9$

$T$  = η θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$f_1(T) = \sigma \cdot (273 + T)^4$$

(συνάρτηση, που εκφράζει την επίδραση της πίεσως των υδρατμών στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος).

$$f_2(e_d) = 0.34 - 0.044 \cdot \sqrt{e_d}$$

$$e_d = e_a \cdot \frac{RH_{mean}}{100} \longrightarrow mbar$$

$e_a$  = πίεση των κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία του αέρα (από πίνακα).

$$f_3\left(\frac{h}{N}\right) = 0.1 + 0.9 \cdot \left(\frac{h}{N}\right)$$



# Μέθοδος Penman (9/10)

$f(u)$  = συνάρτηση που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου επί της εξατμισοδιαπνοής και υπολογίζεται από:

$$f(u) = 0.27 \cdot \left(1 + \frac{U_2}{100}\right)$$

$U_2$  = η ταχύτητα του ανέμου ανά 24ωρο σε ύψος 2 m πάνω από το έδαφος σε (km/day).  
Αν η ταχύτητα μετράται σε ύψος διαφορετικό γίνεται αναγωγή από τη σχέση:

$$U_2 = U_z \cdot \left(\frac{2}{z}\right)^{0.2}$$





# Μέθοδος Penman (10/10)

$e_a - e_d$  = διαφορά μεταξύ της πίεσεως των κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία του αέρα και της πραγματικής πίεσεως των υδρατμών του αέρα (mbar).

$$ET_p = c \cdot (W \cdot R_n + (-W) \cdot f \cdot (e_a - e_d))$$



# Πορεία υπολογισμού Penman (1/7)

$$ET_p = c \cdot (W \cdot R_n + (-W) \cdot f \cdot (e_a - e_d))$$

1. Εύρεση της θεωρητικής ηλιακής ακτινοβολίας στο απώτατο όριο της ατμόσφαιρας:  $R_a$  σε mm/day από πίνακα.
2. Εύρεση της μέγιστης διάρκειας λαμπρής ηλιοφάνειας σε ώρες, από πίνακα,  $N$  και του λόγου  $n/N$ .



# Πορεία υπολογισμού Penman (2/7)

3. Εύρεση της πραγματικής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης:

$$R_s = \left[ 0.25 + 0.5 \cdot \left( \frac{h/N}{N} \right) \right] R_a$$

4. Εύρεση του συντελεστή  $c$  από πίνακα. Ο συντελεστής εξαρτάται από τις παραμέτρους  $R_h \max$ ,  $R_s$ ,  $U_d$ ,  $U_n$ .
5. Εύρεση του συντελεστή  $W$ , συντελεστής βάρους «συμμετοχής» της ακτινοβολίας στη διαμόρφωση της τιμής της  $E_T p$ , που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση (από πίνακα).



# Πορεία υπολογισμού Penman (3/7)

6. Εύρεση της καθαρής μικρού κύματος ακτινοβολίας.

$$R_{ns} = 0.75 \cdot R_s$$

7. Εύρεση της τιμής της συνάρτησης  $f_1$  που εξαρτάται από τη θερμοκρασία:

$$f_1(T) = \sigma \cdot (273 + T)^4$$

όπου  $\sigma = 1.9867 \cdot 10^9$  (σταθερά των Stefan – Boltzman).



# Πορεία υπολογισμού Penman (4/7)

8. Εύρεση της τιμής της συνάρτησης  $f_2$ , που εξαρτάται από την πίεση των υδρατμών της ατμόσφαιρας:

$$f_2(e_d) = 0.34 - 0.044 \cdot \sqrt{e_d}$$

όπου η πίεση των υδρατμών  $e_d$  εξαρτάται από την πίεση κορεσμού των υδρατμών:

$$e_d = e_a \cdot \frac{RH_{mean}}{100} \longrightarrow mbar$$

Η πίεση κορεσμού των υδρατμών  $e_a$  δίνεται από πίνακα.



# Πορεία υπολογισμού Penman (5/7)

9. Εύρεση της τιμής της συνάρτησης  $f_3$ , που εξαρτάται από τη σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας:

$$f_3 \left( \frac{e}{N} \right) = 0.1 + 0.9 \cdot \left( \frac{e}{N} \right)$$

10. Υπολογισμός της καθαρής μεγάλου μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας:

$$R_{nl} = f_1(T) \cdot f_2(e_d) \cdot f_3 \left( \frac{e}{N} \right)$$



# Πορεία υπολογισμού Penman (6/7)

11. Υπολογισμός της καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας σε ισοδύναμο ύψος εξατμισμένου νερού (mm/day), αφαιρώντας τη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία από αυτήν του μικρού μήκους:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

12. Υπολογισμός της τιμής της συνάρτησης που μας δίνει την επίδραση του ανέμου επί της εξατμισοδιαπνοής:

$$f = 0.27 \cdot \left( 1 + \frac{U_2}{100} \right)$$



# Πορεία υπολογισμού Penman (7/7)

13. Έχοντας πλέον τις τιμές όλων των απαραίτητων παραμέτρων, υπολογίζουμε τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή:

$$ET_p = c \cdot (W \cdot R_n + (-W) \cdot f \cdot (e_a - e_d))$$





# Μέθοδος Thornwaite (1/2)

Μαθηματική διατύπωση τύπου του Thornwaite:

$$ET_p = 1,6 \cdot L_d \cdot \left( \frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (\text{cm/month})$$

$ET_p$  = δυνητική ΕΤ για μήνες 30 ημερών με διάρκεια ωρών ημέρας 12 h.

$L_d$  = διορθωτικός συντελεστής, του οποίου οι τιμές δίδονται από πίνακα σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος και τον μήνα του έτους

$T$  = μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα °C υπολογισμένη από τις ημερήσιες



# Μέθοδος Thornwaite (2/2)

$I$  = ετήσιος δείκτης θερμότητας που δίνεται από τη σχέση:

$$I = \sum_{j=1}^{12} I_j = \sum_{j=1}^{12} \left[ \frac{T_j}{5} \right]^{1,514}$$

$T_j$  = μηνιαία θερμοκρασία.

$I_j$  = αντίστοιχοι μηνιαίοι δείκτες θερμότητας υπολογισμένοι από πίνακες.

Ο εκθέτης  $a$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a = 0,000000675I^3 - 0,000077I^2 + 0,01792I + 0,49239$$



# Μέθοδος Blaney-Criddle (1/7)

Υπολογισμός εποχιακής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, με τη βασική παραδοχή ότι διαμορφώνεται άμεσα από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και των μέσων μηνιαίων ποσοστών των ωρών ημέρας του έτους, για μία δυναμικά αναπτυσσόμενη καλλιέργεια υπό συνθήκες επαρκούς εδαφικής υγρασίας.

$$U = KF = K \sum f$$



# Μέθοδος Blaney-Criddle (2/7)

Όπου  $U$  είναι η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, την οποία οι Blaney και Criddle ονομάζουν «αναγκαία κατανάλωση»,  $K$  είναι ένας εμπειρικός εποχιακός συντελεστής αναγκαίας κατανάλωσης και  $F$  είναι ένας εποχιακός παράγοντας αναγκαίας κατανάλωσης που είναι το άθροισμα των επί μέρους  $f$ . Οι μηνιαίοι παράγοντες αναγκαίας κατανάλωσης δίνονται από τη σχέση:

$$f = (0,46T + 8,13)p$$



# Μέθοδος Blaney-Criddle (3/7)

Όπου  $T$  είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε  $^{\circ}C$  και  $p$  είναι το μέσο μηνιαίο ποσοστό των ωρών ημέρας του έτους.

Η πλήρης σχέση των Blaney-Criddle έχει τη μορφή:

$$U = \sum_{i=1}^n (0,46T_i + 8,13) p_i$$



# Μέθοδος Blaney-Criddle (4/7)

Όπου  $U$  είναι η εποχιακή αναγκαία κατανάλωση σε mm πάχους υδάτινου στρώματος,  $T_i$  είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία για κάθε μήνα της βλαστικής περιόδου σε  $^{\circ}C$  και  $p_i$  είναι το μηνιαίο ποσοστό των ωρών ημέρας του έτους για κάθε μήνα της βλαστικής περιόδου.



# Μέθοδος Blaney-Criddle (5/7)

Οι Doorenbos και Pruitt τροποποίησαν ριζικά την αρχική σχέση των Blaney-Criddle και της έδωσαν μία νέα μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από χορτοτάπητα. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως **τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά FAO-24** και δίνεται από τη σχέση

$$ET_r = a + bf$$



# Μέθοδος Blaney-Criddle (6/7)

Όπου  $E_{tr}$  είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με βάση χορτοτάπητα,

$$f = (0,46T + 8,13)p$$

$a$  είναι ένας συντελεστής που δίνεται από τη σχέση:

$$a = 0,0043RH_{\min} - nN^{-1} - 1,41$$

και  $b$  είναι ένας συντελεστής που δίνεται από πίνακα.





# Μέθοδος Blaney-Criddle (7/7)

- $E_{Tr}$  [mm/day].
- $T$ = μέση ατμόσφαιρας [ $^{\circ}C$ ].
- $p$ =μέσο ημερήσιο ποσοστό ωρών ημέρας σε ετήσια βάση (πίνακας).
- $RH_{min}$ =ελάχιστη σχετική υγρασία ατμόσφαιρας [%].
- $n$ =πραγματ. πιθανή ηλιοφάνεια [ώρες].
- $N$ = μέγιστη πιθανή ηλιοφάνεια [ώρες] (πίνακας).
- $U_{d2}$ =ταχύτητα ανέμου κατά την διάρκεια της ημέρας στα 2m [m/sec].



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χρήστος Ευαγγελίδης.  
«Ατομικά Δίκτυα Αρδεύσεων. Μέθοδοι Penman, Thornwaite και Blaney-Criddle». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS196/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Δαλάκης Νικόλαος  
Θεσσαλονίκη, Εαρινό Εξάμηνο 2013-2014



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

