
Δεδομένου ότι η εξάτμιση από μικρές επιφάνειες είναι μεγαλύτερη από την εξάτμιση μεγάλων υδάτινων επιφανειών, η εκτίμηση της εξάτμισης από ταμειυτήρα η λίμνη πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή, που ονομάζεται *συντελεστής λεκάνης εξάτμισης*. Η τιμή του συντελεστή αυτού σε ετήσια βάση κυμαίνεται από 0.60 έως 0.80, με μέση τιμή 0.70.

Ατμόμετρο: Ένα άλλο όργανο μέτρησης της εξάτμισης είναι το ατμόμετρο. Η λειτουργία του ατμόμετρου είναι ανάλογη με αυτήν του εξατμισίμετρου, με τη διαφορά ότι στο όργανο αυτό δεν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια νερού, αλλά μια πορώδης επιφάνεια που τροφοδοτείται από δοχείο. Και πάλι η ελάττωση της στάθμης του νερού στο δοχείο, συνδέεται με την εξάτμιση με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών. Τα ατμόμετρα είναι απλά, οικονομικά και εύχρηστα όργανα, αλλά ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να δίνεται στην καθαριότητα της πορώδους επιφάνειας από την οποία εξατμίζεται το νερό.

3.3.2 Μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου

Το υδατικό ισοζύγιο για την εκτίμηση της εξάτμισης μπορεί να διατυπωθεί ως εξής (Σακκάς, 1985):

$$E = I + P - O - O_s + \Delta S \quad (3.15)$$

όπου E είναι η εξάτμιση, I η εισροή, P η κατακρήμνιση, O η εκροή, O_s η διήθηση και ΔS η μεταβολή στην αποθήκευση. Η διήθηση O_s μπορεί να μετρηθεί ή να υπολογιστεί άμεσα και ο βαθμός που αυτή η ποσότητα είναι ακριβής επηρεάζει την ακρίβεια μέτρησης της πραγματικής ποσότητας εξάτμισης. Η εισροή, η εκροή, η κατακρήμνιση και η μεταβολή στην αποθήκευση αντίθετα, μπορούν να μετρηθούν με αρκετή ακρίβεια. Αυτή η μέθοδος για τη μακρόχρονη εκτίμηση της εξάτμισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη σύγκριση άλλων μεθόδων.

3.3.3 Μέθοδοι ισοζυγίου ενέργειας

Όπως δείχτηκε στην παράγραφο 3.2.2 η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης είναι:

$$R_n = S_n - L_n \quad (3.16)$$

Η ποσότητα αυτή ενέργειας, μετατρέπεται σε *λανθάνουσα θερμότητα* Λ , ενέργεια δηλαδή που δαπανάται για την εξάτμιση του νερού και *αισθητή θερμότητα* H , ποσότητα δηλαδή ενέργειας που επάγεται από το υδάτινο σώμα στην ατμόσφαιρα. Αμελώντας τις μικρότερες απώλειες ενέργειας (π.χ. αγωγή προς το έδαφος, βιοχημικές διαδικασίες, προσωρινή αποθήκευση κτλ.) μπορεί να διατυπωθεί προσεγγιστικά η εξίσωση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997):

$$R_n = H + \Lambda \quad (3.17)$$

Το μέγεθος που ενδιαφέρει κυρίως στις ενεργειακές μεθόδους είναι η λανθάνουσα θερμότητα Λ , μια και αυτή παρέχει στο νερό την απαιτούμενη ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η εξάτμιση. Ο λόγος Bowen συνδέει τη λανθάνουσα θερμότητα με την αισθητή θερμότητα, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$B = \frac{H}{\Lambda} \quad (3.18)$$

Συνδυάζοντας τις τελευταίες εξισώσεις, μπορεί να υπολογιστεί η εξάτμιση, ως λόγος της λανθάνουσας θερμότητας Λ προς τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού Λ :

$$E_t = -\frac{dh}{dt} = \frac{\Lambda}{\lambda} = \frac{R_n}{\lambda(1+B)} \quad [kg/(m^2d)] \quad (3.19)$$

όπου:

- $E_t = dh/dt$ = η εξάτμιση σε kg νερού ανά ημέρα και m^2 επιφάνειας
- λ = η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού [kJ/Kg]
- R_n = η καθαρή ακτινοβολία στη μάζα του νερού [$kJ/(m^2d)$]
- B = ο λόγος Bowen (αδιάστατο μέγεθος)

3.3.4 Μέθοδοι μεταφοράς μάζας

Η μέθοδοι αυτές θεωρούν την εξάτμιση ως μεταφορά μάζας ή διάχυση των υδρατμών από μεγαλύτερες προς μικρότερες συγκεντρώσεις. Ως διεργασία διάχυσης, λοιπόν, μπορεί να περιγραφεί από το νόμο διάχυσης του Fick, ο οποίος στην περίπτωση της εξάτμισης λαμβάνει τη μορφή:

$$E_a = -M \frac{de}{dz} \quad (3.20)$$

όπου:

- E_a = ο ρυθμός εξάτμισης
- e = η μερική πίεση υδρατμών
- M = ο συντελεστής μεταφοράς και
- z = το τοπογραφικό υψόμετρο

Με βάση την τελευταία εξίσωση, έχουν αναπτυχθεί αρκετά πολύπλοκες σχέσεις που υπολογίζουν το ρυθμό εξάτμισης, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό προφίλ της ταχύτητας του ανέμου κοντά στην επιφάνεια, που εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους. Στην πράξη χρησιμοποιείται η εμπειρικά προσδιορισμένη σχέση που αποδίδεται στον Dalton, ήδη από το 1802, σύμφωνα με την οποία ο ρυθμός εξάτμισης δίνεται από την εξίσωση:

$$E_a = (e_s - e)F(u) = D \cdot F(u) \quad [kg/(m^2 d)] \quad (3.21)$$

όπου:

- $D = e_s - e$ [hPa] το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών
- $F(u)$ η συνάρτηση του ανέμου

Η συνάρτηση ανέμου $F(u)$, περιέχει την ταχύτητα του ανέμου και κατά Penman δίνεται από τη γραμμική εξίσωση:

$$F(u) = 0.26(1 + 0.54u) \quad [kg/(hPa m^2 d)] \quad (3.22)$$

όπου το u είναι η ταχύτητα του ανέμου σε [m/s] μετρημένη σε ύψος 2 m από το έδαφος. Η τελευταία σχέση είναι μία μόνο από τις πολλές προσεγγίσεις που έχουν γίνει για τη γραμμική συσχέτιση του $F(u)$ με την ταχύτητα ανέμου u .

3.3.5 Μέθοδοι συνδυασμού – Η μέθοδος Penman

Οι μέθοδοι συνδυασμού για την εκτίμηση της εξάτμισης, συνδυάζουν τις μεθόδους ισοζυγίου ενέργειας, με τις μεθόδους μεταφοράς μάζας. Η πρώτη μέθοδος συνδυασμού για τον υπολογισμό της εξάτμισης από υδάτινη επιφάνεια, διατυπώθηκε από τον Penman το 1948. Αργότερα (1965) η εξίσωση Penman

τροποποιήθηκε από τον Monteith, ώστε να υπολογίζει και την εξατμισοδιαπνοή από εδαφικές επιφάνειες. Τα μετεωρολογικά στοιχεία που χρησιμοποιεί η μέθοδος Penman είναι μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, σχετικής ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου σε ύψος 2 μ από την επιφάνεια του εδάφους.

Σύμφωνα με τον Penman, η εξάτμιση από μια υδάτινη επιφάνεια δίνεται από την εξίσωση:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} F(u) D \quad [kg/(m^2 d)] \quad (3.23)$$

όπου:

- γ = ο ψυχομετρικός συντελεστής [$hPa/^\circ C$]
- Δ = η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών [$hPa/^\circ C$]
- R_n = η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας [$kJ/(m^2 d)$]
- λ = η λανθάνουσα θερμότητας εξάτμισης [kJ/kg]
- $F(u)$ = η συνάρτηση ταχύτητας του ανέμου [$kg/(hPa m^2 d)$]
- D = το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών [hPa]

Οι λόγοι $\Delta/(\Delta + \gamma)$ και $\gamma/(\Delta + \gamma)$ ουσιαστικά λειτουργούν ως συντελεστές βάρους, για τη συμμετοχή του ενεργειακού όρου και του όρου μεταφοράς μάζας στην εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια και αθροίζονται στη μονάδα.

Αν χρησιμοποιηθούν οι μονάδες μέτρησης που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες σχέσεις, η εξάτμιση δίνεται σε kg νερού ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας και ημέρα. Διαιρώντας με την πυκνότητα του νερού σε [kg/m^3], προκύπτει η εξάτμιση σε m/ημέρα. Συνήθως τα τελικά αποτελέσματα δίνονται σε mm/ημέρα ή mm/μήνα.

Παράδειγμα 3.1

Να εκτιμηθεί με τη μέθοδο Penman η εξάτμιση λίμνης κατά το μήνα Ιούνιο όταν:

- α) το γεωγραφικό πλάτος είναι 40° Βόρειο

β) η μέση θερμοκρασία του μήνα είναι 18°C

γ) η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m πάνω από το έδαφος είναι $u_2=10 \text{ km/h}$

δ) η σχετική υγρασία είναι $U=55\%$

ε) η μέση παρατηρηθείσα ηλιοφάνεια ανά ημέρα είναι 12 ώρες και

στ) ο συντελεστής ανάκλασης είναι $\alpha=0.06$.

Λύση

Η εξάτμιση σε μονάδες μάζας ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου, σύμφωνα με τον Penman δίνεται από την εξίσωση:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} F(u) D$$

όπου Δ , η κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237.3)^2}, \text{ σε } hPa/^{\circ}\text{C}$$

και
$$e_s = 6.11 e^{\frac{17.27 T}{T + 237.3}}$$

η πίεση κορεσμού των υδρατμών σε hPa . T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Για $T=18^{\circ}\text{C}$, προκύπτει:

$$e_s=20.65 \text{ hPa και } \Delta=1.30 \text{ hPa}/^{\circ}\text{C}.$$

Ο ψυχομετρικός συντελεστής γ , έχει τυπική τιμή: $\gamma=0.67 \text{ hPa}/^{\circ}\text{C}$ ενώ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης λ , προκύπτει ίση με:

$$\lambda = 2501 - 2.361 \cdot T = 2458.50 \text{ kJ/kg}$$

Η συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου $F(u)$ σε $\text{kg}/(\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d})$ δίνεται από τη σχέση:

$$F(u)=0.26(1+0.54 \cdot u_2)=0.65 \text{ kg}/(\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d})$$

όπου u_2 η ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2 m, εκφρασμένη σε m/s ($10 \text{ km/h}=2.78 \text{ m/s}$)

Το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών προκύπτει από την εξίσωση:

$$D=e_s-e=e_s-U\cdot e_s=9.29 \text{ hPa}$$

όπου $U=0.55$ είναι η σχετική υγρασία.

Το αλγεβρικό άθροισμα των εισερχόμενων-εξερχόμενων ακτινοβολιών είναι ίσο με $R_n=S_n-L_n$, όπου S_n το αλγεβρικό άθροισμα εισερχόμενης-ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας και L_n η καθαρή μακροκυματική ακτινοβολία.

Το αλγεβρικό άθροισμα της εισερχόμενης-ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας είναι:

$$S_n = (1-a)S_0(0.29 \cos \phi + 0.55 \frac{n}{N}) \text{ ή } S_n = (1-\alpha)S_0(a_s + b_s \frac{n}{N})$$

όπου α ο συντελεστής ανάκλασης (albedo) ίσος με 0.06 και με την πρώτη σχέση να αποτελεί την ευρύτερη μορφή της δεύτερης πλεονεκτώντας στο ότι γίνεται απ'ευθείας χρήση του γεωγραφικού πλάτους.

Η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας S_0 , είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους του μήνα που εξετάζεται. Διαβάζεται από τον Πίνακα 3.1 και για το μήνα Ιούνιο, σε γεωγραφικό πλάτος $\phi=40^\circ$, είναι:

$$S_0=41711 \text{ kJ/m}^2\text{ημ}$$

ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (σε μοίρες), n οι πραγματικές ώρες και N οι δυνατές ώρες ηλιοφάνειας. Οι δυνατές ώρες ηλιοφάνειας N δίνονται στον Πίνακα 3.2 (εδώ $N=14.8$ ώρες) και οι πραγματικές ώρες ηλιοφάνειας n , σύμφωνα με τα δεδομένα του προβλήματος, είναι 12. Με αντικατάσταση των τιμών στη σχέση του S_n υπολογίζεται η τιμή:

$$S_n=26195 \text{ kJ/m}^2\text{ημ}$$

Η καθαρή μακροκυματική ακτινοβολία L_n δίνεται από την εξίσωση:

$$L_n=\varepsilon_n \cdot f_L \cdot \sigma \cdot (T+273)^4$$

όπου σ η σταθερά του νόμου θερμικής εκπομπής $\sigma=4.9 \cdot 10^{-6} \text{ kJ/(m}^2 \text{ K}^4\text{d)}$ και ο αδιάστατος συντελεστής ε_n σύμφωνα με τον Penman, λαμβάνει την τιμή:

$$\varepsilon_n=0.56-0.08e^{0.5} = 0.29$$

όπου η τιμή της μερικής πίεσης των υδρατμών e δίνεται από την εξίσωση:

$$e = U \cdot e_s = 11.36 \text{ hPa}$$

Ο συντελεστής επίδρασης της νέφωσης είναι:

$$f_L = 0.1 + 0.9(\eta/M) = 0.83$$

και συνεπώς η τιμή της καθαρής μακροκυματικής ακτινοβολίας θα είναι:

$$L_n = 0.29 \cdot 0.83 \cdot (4.9 \cdot 10^{-6}) \cdot 291^4 = 8467 \text{ kJ/(m}^2\text{ημ)}$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές που υπολογίστηκαν στην αρχική εξίσωση, προκύπτει ότι η εξάτμιση κατά Penman θα είναι:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} F(u) D = 0.66 \cdot 7.21 + 0.34 \cdot 0.65 \cdot 9.29 = 6.82 \text{ kg/(m}^2\text{ημ)}.$$

και αν θεωρηθεί πυκνότητα νερού $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, η εξάτμιση είναι ίση με:

$$E' = 6.82/1000 = 0.00682 \text{ m/ημ ή } E' = 6.82 \text{ mm/ημ}$$

3.4 ΔΙΑΠΝΟΗ

Η διαπνοή επηρεάζεται από φυσιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τα στόματα ανοίγουν και κλείνουν, αντιδρώντας σε περιβαλλοντικές συνθήκες όπως είναι το φως, το σκοτάδι, η ζέστη, το κρύο κλπ. Σημαντικοί φυσιολογικοί παράγοντες είναι (α) η πυκνότητα και η συμπεριφορά των στομάτων, (β) η έκταση και τα χαρακτηριστικά των προστατευτικών καλυμμάτων, (γ) η δομή των φύλλων και (δ) οι ασθένειες των φύλλων. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή είναι ουσιαστικά οι ίδιοι με αυτούς της εξάτμισης, αλλά η θεώρησή τους πρέπει να γίνει λίγο διαφορετικά. Για πρακτικούς λόγους η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών, η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος και η διαθέσιμη εδαφική υγρασία είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή.

Οι μέθοδοι για τη μέτρηση της διαπνοής σχετίζονται με το μέγεθος και τη φύση των φυτών. Τα μικρά φυτά τοποθετούνται σε ένα μικρό κλειστό δοχείο, όπως είναι μια πλαστική σακούλα, και μετράται η ποσότητα υγρασίας που

διαπνέεται στο δοχείο αυτό. Η εκτίμηση της ποσότητας γίνεται με προσδιορισμό της αλλαγής του βάρους ενός ξηραντικού που έχει τοποθετηθεί στο δοχείο.

Άλλες μέθοδοι μέτρησης της διαπνοής χρησιμοποιούν το φυτόμετρο, το οποίο είναι ένα μεγάλο δοχείο γεμάτο με χώμα, στο οποίο αναπτύσσονται φυτά. Η εδαφική επιφάνεια του δοχείου είναι σφραγισμένη, συνεπώς η μοναδική διαφυγή υγρασίας γίνεται μέσω της βλάστησης. Η διαπνοή μετράται με αλλαγή του βάρους του οργάνου.

3.5 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η εξατμισοδιαπνοή περιλαμβάνει τόσο τη διαπνοή από τη βλάστηση όσο και την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες, το έδαφος, το χιόνι, τον πάγο και τη βλάστηση. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής εκ των οποίων άλλες είναι ακριβείς και αξιόπιστες και άλλες παρέχουν απλές προσεγγίσεις. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της υπό μελέτη επιφάνειας και το σκοπό για τον οποίο προορίζεται η πληροφορία. Κατά συνέπεια, η επιλογή της μεθόδου προσδιορίζει τις κλίμακες χρόνου και χώρου και τις απαιτήσεις ακρίβειας αντίστοιχα. Άλλοι εξίσου σημαντικοί παράγοντες είναι το κόστος, η ευκολία και η τεχνική της κάθε μεθόδου.

Η επιλογή κάθε μεθόδου πρέπει να γίνεται προσεκτικά σε κάθε περίπτωση, λαμβάνοντας πάντα υπόψη το υπόβαθρό της, τους περιορισμούς, τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες ισχύει και τις απαιτήσεις που έχει για τη χρησιμοποίησή της.

3.5.1 Άμεση εκτίμηση (μέτρηση) της εξατμισοδιαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να μετρηθεί άμεσα με (α) δεξαμενές, (β) λυσίμετρα και (γ) χρήση αγροτεμαχίων.

Δεξαμενές: Είναι στεγανά δοχεία που τοποθετούνται στο έδαφος, με το χείλος τους περίπου στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του εδάφους. Το μέγεθος των δοχείων ποικίλει, φτάνοντας σε πλάτος τα 10 μ και βάθος τα 3. Το μέγεθος αυτό πρέπει να είναι επαρκές για να προσομοιώσει τις φυσικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών, για το είδος της βλάστησης που εξετάζεται. Η εξατμισοδιαπνοή προσδιορίζεται μετρώντας την ποσότητα του νερού που

απαιτείται για τη διατήρηση σταθερών, βέλτιστων συνθηκών υγρασίας στο συγκεκριμένο δοχείο.

Λυσίμετρα: Μια ευρύτατα χρησιμοποιούμενη και δυνητικά ίσως η πιο ακριβής μέθοδος μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής είναι η μέτρηση της με τα ζυγιζόμενα λυσίμετρα, όπου κάθε συνιστώσα του υδατικού ισοζυγίου μετρίεται ακριβώς και η εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύεται άμεσα ως απώλεια βάρους.

Το λυσίμετρο είναι ένα κυλινδρικό δοχείο (βάθους 1-2 m και διαμέτρου 1-6 m) στο οποίο απομονώνεται ένα τμήμα χώματος και βλάστησης και ελέγχεται το υδατικό τους ισοζύγιο. Η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος εδάφους – βλάστησης και η απομόνωσή του με την ελάχιστη ενόχληση και τη μη τροποποίηση του μικροκλίματος της περιβάλλουσας επιφάνειας, είναι οι ουσιαστικοί παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται σοβαρά στη χρήση των λυσιμέτρων. Τα λυσίμετρα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, τα ζυγιζόμενα και τα μη ζυγιζόμενα. Από αυτά, τα ζυγιζόμενα έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα, παρά το υψηλό κόστος τους, επειδή μπορούν να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής σε ημερήσιες ή και μικρότερες χρονικές περιόδους. Με την πάροδο των χρόνων, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές προσεγγίσεις κατασκευής, τοποθέτησης και συστημάτων ζύγισης αυτών των λυσιμέτρων. Μερικές από αυτές επιτρέπουν τη μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής με ακρίβεια της τάξης των 0.01 mm νερού και για χρονικό διάστημα μικρότερο της μιας ώρας. Ως εκ τούτου, ένα κατάλληλα σχεδιασμένο λυσίμετρο μπορεί να παρέχει ένα ακριβές μέτρο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και να χρησιμοποιείται για τον ανεξάρτητο έλεγχο των μικρομετεωρολογικών μεθόδων και τη βαθμονόμηση των εμπειρικών μεθόδων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής.

Τα μη ζυγιζόμενα λυσίμετρα κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για την υδρολογική απομόνωση μιας μονάδας εδάφους – βλάστησης και μερικές φορές για τη μέτρηση της συνιστώσας της στράγγισης. Αυτός ο τύπος λυσιμέτρων είναι εύκολο να εγκατασταθεί, έχει χαμηλό κόστος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις μεγάλης χρονικής διάρκειας π.χ. για περιόδους που μεσολαβούν μεταξύ δύο βροχοπτώσεων (εάν τα λυσίμετρα δέχονται μόνο φυσική βροχή) ή

για εβδομαδιαίες (ή μεγαλύτερης διάρκειας περιόδους) εάν τα λυσίμετρα αρδεύονται.

Χρήση αγροτεμαχίων: Ειδικά σχεδιασμένα αγροτεμάχια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής κάτω από διάφορες συνθήκες. Τα αγροτεμάχια αυτά, σχεδιάζονται έτσι ώστε το νερό που απορρέει από την επιφάνειά τους να μπορεί να συλλεχθεί και να μετρηθεί. Το νερό που κατεισδύει σε βαθύτερα στρώματα, συλλέγεται με υπόγειες στεγανωτικές στρώσεις. Για να καθοριστεί η εξατμισοδιαπνοή, μετράται ταυτόχρονα και η εισροή νερού από βροχόπτωση ή άρδευση. Οι απώλειες της απορροής ή της βαθιάς διήθησης, αφαιρούνται από το εισερχόμενο νερό, ενώ επίσης γίνεται διόρθωση για την εδαφική υγρασία.

3.5.2 Έμμεση εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής

Για την έμμεση εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι. Για λόγους ευκολίας της περιγραφής τους, οι μέθοδοι ανάλογα με το αν βασίζονται σε έννοιες της υδρολογίας ή της μικρομετεωρολογίας μπορούν να καταταχθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες (Τσακίρης, 1995). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι εκτίμησης που χρησιμοποιούν κλιματικά δεδομένα. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι δύο βασικές κατηγορίες εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής.

3.5.3 Μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου

Αυτές οι μέθοδοι σχετίζονται με την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου και συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα στον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής. Στις περισσότερες μελέτες που βασίζονται στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται σαν υπολειπόμενος όρος της εξίσωσης ενώ οι άλλες συνιστώσες είτε μετρούνται είτε υπολογίζονται. Όταν δεν υπάρχει άρδευση η εξατμισοδιαπνοή δίνεται από την εξίσωση:

$$ET = P + \Delta SW \pm RO - D \quad (3.24)$$

όπου: P είναι η κατακρήμνιση, ΔSW η μεταβολή της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, RO η επιφανειακή απορροή και D η βαθιά διήθηση. Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε κλίμακα και μέγεθος.

Η υδρολογική προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για τη συλλογή δεδομένων, με σκοπό τον υδρολογικό σχεδιασμό. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία μετρούνται η βροχόπτωση, η επιφανειακή απορροή και η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας. Τα σφάλματα στη μέτρηση αυτών των παραμέτρων είναι μερικές φορές πολύ σημαντικά. Οι υποθέσεις που αφορούν την βαθιά διήθηση χρειάζονται επαλήθευση.

Άλλες φορές, κυρίως στις μελέτες του υδατικού ισοζυγίου, το ΔSW υποτίθεται ότι είναι μηδέν, τα P και RO μετρούνται και το D είτε αγνοείται είτε μετρίεται με κάποιον τρόπο. Στην περίπτωση αυτή $ET = P - RO$. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται κυρίως για χρονικά διαστήματα στην διάρκεια των οποίων μπορεί να υποτεθεί ότι το περιεχόμενο εδαφικό νερό δεν μεταβάλλεται.

Μειονεκτήματά της μεθόδου είναι η χαμηλού επιπέδου ακρίβεια των μετρήσεων και οι δυσκολίες εκτίμησης της ET στη διάρκεια των περιόδων βροχής. Ακόμη και με τη χρησιμοποίηση προσεκτικών μετρήσεων είναι δύσκολο να ανιχνεύσει κανείς αλλαγές εδαφικού νερού με ακρίβεια μεγαλύτερη των ± 2 mm νερού. Τα σφάλματα που συνδέονται με τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου καθιστούν τη χρήση της σε ημερήσια βάση ανεπαρκή. Όταν η μέθοδος εφαρμόζεται σε μεγάλες εκτάσεις, το κύριο πρόβλημα δεν είναι αυτή καθ' αυτή η μέθοδος, αλλά η έλλειψη καλών μέσων τιμών (ως προς το χώρο) των συνιστωσών της, εξ αιτίας της μεταβλητότητας της βροχόπτωσης πάνω από μεγάλες επιφάνειες και της ανομοιογένειας της τοπογραφίας και των εδαφών που βρίσκονται κάτω από αυτές.

3.5.4 Μέθοδοι προσδιορισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από κλιματικά δεδομένα

Μέθοδος Penman – Monteith

Η μέθοδος Penman προϋποθέτει ότι οι υδρατμοί στο όριο της υδάτινης επιφάνειας είναι κορεσμένοι. Συνεπώς δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση της διαπνοής από φυτικές επιφάνειες. Για την αντιμετώπιση αυτής της αδυναμίας της μεθόδου Penman ο Monteith εισήγαγε την επιφανειακή αντίσταση των στομάτων των φυλλωμάτων στην εξάτμιση. Η μέθοδος Penman-

Monteith είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής από εδαφικές επιφάνειες και δίνεται απλοποιητικά από την εξίσωση:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma'}{\Delta + \gamma'} F(u) D \quad [kg/(m^2 d)] \quad (3.25)$$

όπου:

- $\gamma' = (1 + 0.33u)\gamma \quad [hPa/^{\circ}C]$ η τροποποιημένη έκφραση του ψυχομετρικού συντελεστή, ώστε να λαμβάνει υπόψη την αντίσταση των στομάτων. Η ταχύτητα ανέμου u δίνεται πάλι σε $[m/s]$
- $F(u) = \frac{90}{T + 275} u \quad [kg/(hPa \cdot m^2 d)]$ η τροποποιημένη μορφή της συνάρτησης ανέμου με T πάλι σε $[^{\circ}C]$ και u σε $[m/s]$

Οι υπόλοιπες μεταβλητές υπολογίζονται όπως ακριβώς και στη μέθοδο Penman, με τη διαφορά ότι τροποποιείται ο συντελεστής ανάκλασης a (albedo), λαμβάνοντας συνήθως μεγαλύτερες τιμές, αλλά και οι συντελεστές υπολογισμού του αδιάστατου αριθμού ε_n σε $a_e = 0.34$, $b_e = 0.044$ με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η καθαρή ακτινοβολία R_n .

Παράδειγμα 3.2

Να εκτιμηθεί με τη μέθοδο Penman-Monteith η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του εδάφους κατά το μήνα Ιούνιο με βάση τα στοιχεία που δόθηκαν στο Παράδειγμα 3.1. Ο συντελεστής ανάκλασης της εδαφικής επιφάνειας δίνεται ίσος με 0.25.

Λύση

Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής γίνεται με ανάλογο τρόπο με τον υπολογισμό τις εξάτμισης κατά Penman, με τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

- 1) Διαφοροποιείται ο συντελεστής ανάκλασης (albedo) σε 0.25, οπότε το αλγεβρικό άθροισμα εισερχόμενης – ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας, διαμορφώνεται σε:

$$S_n = (1 - a) S_0 (0.29 \cos \phi + 0.55 \frac{n}{N}) = 20900 \text{ } kj/(m^2 \eta \mu)$$

και το αλγεβρικό άθροισμα εισερχομένων – εξερχομένων ακτινοβολιών γίνεται:

$$R_n = 15310 \text{ } kj/(m^2 \eta \mu)$$

2) Τροποποιείται η συνάρτηση ταχύτητας ανέμου $F(u)$ σε:

$$F(u) = \frac{90}{T + 275} u^2,$$

οπότε λαμβάνει την τιμή $F(u) = 0.86 \text{ } kg/(hPa \text{ } m^2 d)$

3) Αντί της τιμής γ του ψυχρομετρικού συντελεστή, τίθεται η τιμή:

$$\gamma' = \gamma(1 + 0.33 \cdot u_2) = 0.67(1 + 0.33 \cdot 2.78) = 1.29 \text{ } hPa/^{\circ}C.$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στην εξίσωση:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma'} F(u) D$$

προκύπτει:

$$E' = 5.19 \text{ } kg/(m^2 \eta \mu) \text{ ή } E = 5.19 \text{ } mm/\eta \mu.$$

Μέθοδος Thornthwaite

Ο Thornthwaite (1948) δημιούργησε μια εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού. Η εξίσωση εκτιμά τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή με βάση τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και έχει τη μορφή:

$$PET = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^{\alpha} \frac{\mu N}{360} \quad (3.26)$$

όπου PET , είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε $mm/\mu\eta\eta\alpha$, t_i η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε $^{\circ}C$, μ ο αριθμός ημερών, N η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας, J ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας και α μια εμπειρική παράμετρος που εξαρτάται από το δείκτη J ($\alpha = 0.016 \cdot J + 0.5$). Ο δείκτης θερμοκρασίας J , δίνεται από τη σχέση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997):

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i \quad (3.27)$$

ενώ ο μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας j_i είναι συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά την εξίσωση:

$$j_i = 0.09t_i^{3/2} \quad (3.28)$$

Τα μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας επί τοις % ωρών ημέρας του έτους δίνονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4 Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας % των ωρών ημέρας του έτους.

	Μήνας											
Β.Γεωγ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.49	9.10	8.31	8.06	9.30	7.36	7.35
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	9.11	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
36	6.99	6.86	8.35	8.85	9.81	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.90	6.82	6.66
40	6.76	6.73	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.38	7.75	6.72	6.52
42	6.62	6.65	8.31	9.00	10.14	10.21	10.35	9.62	8.40	7.70	6.62	6.38
44	6.40	6.58	8.30	9.05	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.22
46	6.33	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.58	6.36	6.04
48	6.17	6.42	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.22	5.86
50	5.98	6.32	8.25	9.25	10.69	10.93	10.99	10.00	8.44	7.43	6.07	5.65

Παράδειγμα 3.3

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες περιοχής γεωγραφικού πλάτους 36° Βόρειο, σε βαθμούς Κελσίου. Να εκτιμηθούν οι μηνιαίες και η ετήσια τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite.

Πίνακας 3.5 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες περιοχής.

ΙΑΝ.	5.3	ΙΟΥΛ.	22.8
ΦΕΒΡ.	6.1	ΑΥΓ.	24.2
ΜΑΡΤ.	7.6	ΣΕΠΤ.	19.9
ΑΠΡ.	11.9	ΟΚΤ.	13.1
ΜΑΙΟΣ	14.2	ΝΟΕΜ.	11.4
ΙΟΥΝ.	20.3	ΔΕΚ.	5.1

Λύση

Οι μέσες μηνιαίες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα. Η αρχική τιμή της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, δίνεται από τη σχέση:

$$(PET)_x = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^\alpha$$

Οι θερμοκρασίες t_i δίνονται από τα δεδομένα της άσκησης, ενώ

$$j_i = 0.09 \cdot t_i^{1.5}, J = \sum j_i = 58.35$$

και

$$\alpha = 0.016 \cdot J + 0.5 = 1.43$$

Για τον υπολογισμό της διορθωμένης τιμής της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$PE = (PET)_x \frac{\mu N}{360}$$

αφού πρώτα βρεθούν οι τιμές της αστρονομικής διάρκειας της ημέρας από τον πίνακα 3.2 ή οι τιμές του ποσοστού ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα P , από τον Πίνακα 3.4 και ο αριθμός ημερών του μήνα μ και υπολογιστεί η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας ως εξής:

$$N = 1.46 \cdot P$$

Πίνακας 3.6 Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite.

Μήνας	t_i	j_i	$(PE)_x$	μ	P	N	PE
Ιανουάριος	5.3	1.10	13.94	31	6.99	10.21	12.25
Φεβρουάριος	6.1	1.36	17.05	28	6.86	10.02	13.28
Μάρτιος	7.6	1.89	23.37	31	8.35	12.19	24.53
Απρίλιος	11.9	3.69	44.44	30	8.85	12.92	47.86
Μάιος	14.2	4.82	57.26	31	9.81	14.32	70.62
Ιούνιος	20.3	8.23	95.58	30	9.83	14.35	114.31
Ιούλιος	22.8	9.80	112.89	31	9.99	14.59	141.79
Αύγουστος	24.2	10.71	122.96	31	9.4	13.72	145.31

Μήνας	t_i	j_i	$(PE)_x$	μ	P	N	PE
Σεπτέμβριος	19.9	7.99	92.89	30	8.36	12.21	94.48
Οκτώβριος	13.1	4.27	51.01	31	7.85	11.46	50.34
Νοέμβριος	11.4	3.46	41.79	30	6.912	10.09	35.15
Δεκέμβριος	5.1	1.04	13.19	31	6.79	9.91	11.26

Η ετήσια τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, είναι ίση με το άθροισμα των μηνιαίων, δηλαδή:

$$PET = \sum_{i=1}^{12} (PET)_i = 761 mm$$

Μέθοδος Blaney-Criddle

Οι Blaney και Criddle (1962) ανέπτυξαν μια εμπειρική σχέση ανάμεσα στην εξατμισοδιαπνοή, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται άμεσα από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του αέρα και του ποσοστού ωρών ημέρας του μήνα, σε μια ενεργώς αναπτυσσόμενη καλλιέργεια με επαρκή εδαφική υγρασία, σύμφωνα με τη σχέση:

$$PET = k_c F = k_c \frac{(1.8t_i + 32)P}{3.94} \quad (3.29)$$

όπου PET είναι η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm , k_c είναι ένας εμπειρικός συντελεστής που αναφέρεται στη συγκεκριμένη καλλιέργεια (συντελεστής καλλιέργειας), t_i η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}C$ και P το ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα (Πίνακας 3.4). Εναλλακτικά το P δίνεται από τη σχέση:

$$P = 100 \frac{N \cdot \mu}{365 \cdot 12} \quad (3.30)$$

όπου N η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας σε h και μ ο αριθμός ημερών του συγκεκριμένου μήνα. Για το μέσο μήνα ($\mu=30$ ημέρες) εξάγεται η γνωστή σχέση $N=1,46P$. Οι τιμές του k_c δίνονται στον Πίνακα 3.7 για διάφορες καλλιέργειες όπως αυτές έχουν προσδιοριστεί από τους Blaney and Criddle. Η μέθοδος αναπτύχθηκε αρχικά από τους Blaney and Criddle για τον υπολογισμό

των εποχιακών αναγκών που αναφέρονται στη βλαστική περίοδο κάθε καλλιέργειας. Στον Πίνακα 3.8 δίνονται οι τιμές του εποχιακού φυτικού συντελεστή K_c για διάφορες καλλιέργειες. Από τη σύγκριση των Πινάκων 3.7 και 3.8 προκύπτει ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μηνιαίες τιμές και τις τιμές του εποχιακού φυτικού συντελεστή κάθε καλλιέργειας. Αυτό οφείλεται κυρίως στη διαφορετική ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και του υπέργειου τμήματος της καλλιέργειας ανάλογα με το στάδιο της ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται. Ως εκ τούτου για τον υπολογισμό των μηνιαίων αναγκών των καλλιεργειών σε νερό είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται οι μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές.

Πίνακας 3.7 Τιμές εποχιακού φυτικού συντελεστή K_c (σχέση Blaney –Criddle).

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	Διάρκεια βλαστικής Περιόδου σε μήνες	K_c
Μηδική	Μεταξύ Παγετών	0.80 - 0.85
Αραβόσιτος	4	0.75 - 0.85
Βάμβαξ	7	0.60 - 0.70
Σιτηρά	3	0.75 - 0.85
Εσπεριδοειδή	12	0.45 - 0.55
Φυλλοβόλα οπωροφόρα	Μεταξύ Παγετών	0.60 - 0.70
Φυτικό λιβάδι	Μεταξύ Παγετών	0.75 - 0.85
Πατάτα	3-5	0.65 - 0.75
Όρυζα	3-5	1.00 - 1.10
Σακχαρότευτλα	6	0.65 - 0.75
Τομάτα	4	0.65 - 0.70
Λαχανικά	2-4	0.60 - 0.70

Σημείωση: Οι μικρότερες τιμές του K_c ισχύουν για παραθαλάσσιες περιοχές και οι μεγαλύτερες για περιοχές με ξηρό κλίμα.

Πίνακας 3.8 Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αρδευόμενων καλλιεργειών (σχέση Blaney – Criddle).

Καλλιέργ.	Περιοχή	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μηδική	Θερμή, Πεδινή	0.35	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.80	0.55	0.30
"	Παραθαλ. Υψηλή	-	-	-	0.37	0.56	0.75	0.92	1.00	1.03	0.98	0.82	-
"	Εσωτερική Πεδινή	-	-	0.57	0.78	0.93	1.02	1.01	0.95	0.84	0.63	0.42	-
Αβοκάντο	Παραθαλ.	0.15	0.25	0.40	0.52	0.63	0.73	0.75	0.69	0.60	0.48	0.32	0.19
Αραβόσιτος	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.12	0.40	0.60	0.62	0.45	-	-	-

Καλλιέργ.	Περιοχή	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Βαμβάκι	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.30	0.45	0.90	1.00	1.00	-	-	-
Χλοοτάπητας	Παραθαλ.	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35
Πεπόνια	- - -	-	-	-	-	-	0.45	0.70	0.74	0.64	-	-	-
Οπωροφόρα φυλλοβόλα	- - -	-	-	0.23	0.45	0.70	0.85	0.88	0.85	0.47	0.20	-	-
Λεμονιά	- - -	-	-	0.40	0.40	0.50	0.55	0.60	0.60	0.60	0.50	0.40	-
Πορτοκαλιά	Παραθαλ.	0.27	0.34	0.40	0.46	0.50	0.53	0.54	0.54	0.52	0.48	0.43	0.30
"	Ενδιάμεση	0.33	0.39	0.45	0.50	0.54	0.56	0.57	0.57	0.56	0.53	0.47	0.38
"	Εσωτερική	0.37	0.44	0.49	0.54	0.57	0.60	0.62	0.62	0.60	0.57	0.51	0.43
Καρυδιά	Εσωτερική	-	-	0.13	0.30	0.55	0.84	0.98	0.88	0.60	0.37	0.20	-
Βοσκές	Εσωτερική	-	-	0.10	0.27	0.42	0.52	0.57	0.55	0.35	0.15	-	-
"	Εσωτερική, Υψηλή	-	-	0.16	0.45	0.65	0.75	0.78	0.74	0.55	0.20	-	-
Πατάτα	Εσωτερική	-	-	-	0.45	0.80	0.95	0.90	-	-	-	-	-
Σόργον	Εσωτερική, Ξηρή	-	-	-	-	-	0.40	1.00	0.85	0.70	-	-	-
Σακχαρότ.	Εσωτερική	-	-	-	0.31	0.69	0.96	1.01	0.83	-	-	-	-
"	Ενδιάμεση	-	-	-	-	0.40	0.67	0.76	0.70	0.50	0.29	-	-
"	Παραθαλ.	-	-	-	0.37	0.42	0.43	0.44	0.43	0.38	-	-	-
Κριθάρι	- - -	0.32	0.60	0.98	1.08	0.45	-	-	-	-	-	-	0.15
Σιτάρι	Εσωτερική, Ξηρή	0.20	0.40	0.80	1.10	0.60	-	-	-	-	-	-	-
Τομάτα	Εσωτερική	-	-	-	-	0.41	0.74	0.93	0.98	0.89	-	-	-
Λαχανικά	Παραθαλ.	-	-	-	0.23	0.49	0.67	0.78	0.78	0.64	0.40	-	-

Παράδειγμα 3.4

Για τα δεδομένα του παραδείγματος 3.2 να εκτιμηθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της συγκεκριμένης καλλιέργειας κατά Blaney-Criddle. Ο συντελεστής καταναλωτικής χρήσης είναι $k_c=0.85$. Να σχολιασθεί η διαφορά των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Λύση

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αντίστοιχη με αυτήν της μεθόδου Thornthwaite, με τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή αυτήν τη φορά να δίνεται από την

$$\text{εξίσωση: } (PET)_i = k_c \left(\frac{32 + 1.8 \cdot t_i}{3.94} \right) P$$

όπου $k_c=0.85$ ο συντελεστής καλλιέργειας.

Πίνακας 3.9 Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Blaney-Criddle.

Μήνας	t_i	P	PET
Ιανουάριος	5.3	6.99	62.69
Φεβρουάριος	6.1	6.86	63.66
Μάρτιος	7.6	8.35	82.35
Απρίλιος	11.9	8.85	102.07
Μάιος	14.2	9.81	121.91
Ιούνιος	20.3	9.83	145.46
Ιούλιος	22.8	9.99	157.54
Αύγουστος	24.2	9.4	153.35
Σεπτέμβριος	19.9	8.36	122.41
Οκτώβριος	13.1	7.85	94.20
Νοέμβριος	11.4	6.92	78.47
Δεκέμβριος	5.1	6.79	60.37

Η ετήσια τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής θα είναι:

$$PET = \sum_{i=1}^{12} (PET)_i = 1244 \text{ mm}$$

παρατηρείται, δηλαδή, σημαντική απόκλιση από το αποτέλεσμα της μεθόδου Thornthwaite.

Μέθοδος Jensen-Haise

Αναλύοντας 3000 παρατηρήσεις της εξατμισοδιαπνοής που καθορίστηκαν από μια μέθοδο δειγματοληψίας εδαφών για περίοδο 35 ετών, οι Jensen και Haise (1963) ανέπτυξαν την ακόλουθη σχέση:

$$ET = C_T (T - T_x) R_s \quad (3.31)$$

όπου R_s είναι η ηλιακή ακτινοβολία σε *Ιγ/ημέρα*, C_T είναι μια σταθερά θερμοκρασίας ίση με 0.025, T_x είναι η τεταγμένη του θερμοκρασιακού άξονα στο μηδέν, ίση με -3, εάν η θερμοκρασία T δίνεται σε $^{\circ}\text{C}$. Οι συντελεστές αυτοί είναι σταθεροί σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το C_T ορίζεται ως εξής:

$$C_T = \frac{1}{C_1 + C_2 C_H} \quad C_H = \frac{50 \text{ mb}}{e_2 - e_1} \quad (3.32)$$