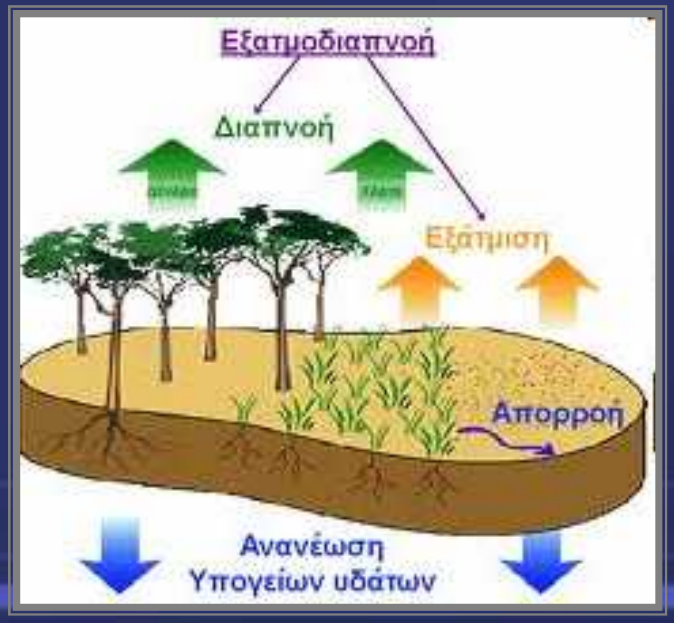
Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου
Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Τεχνική Υδρολογία (Ασκήσεις)

Κεφάλαιο 3ο : Εξάτμιση - Διαπνοή



Φώτιος Π. ΜΑΡΗΣ
Αναπλ. Καθηγητής

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 *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 r=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:

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

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

- Η πίεση κορεσμού των υδρατμών σε *hPa*. *T* είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Για Τ= 18 °C προκύπτει:

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

- Ο ψυχρομετρικός συντελεστής γ, έχει τυπική τιμή: γ=0.67 hPa/°C ενώ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης λ, προκύπτει ίση με:

$$\lambda = 2501 - 2.361 \cdot T = 2458.50\ kj/kg$$

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

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

- όπου u_2 η ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2 m, εκφρασμένη σε m/s (10 km/h=2.78 m/s)

Το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών προκύπτει από την εξίσωση:

$$D = e_s - e = e_s - U \cdot e_s = 9.29 \ hPa$$

όπου U =0.55 είναι η σχετική υγρασία.

Το αλγεβρικό άθροισμα των εισερχόμενων-εξερχόμενων ακτινοβολιών είναι ίσο με Rn=Sn-Ln, όπου Sn το αλγεβρικό άθροισμα εισερχόμενης- ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας και Ln η καθαρή μακροκυματική ακτινοβολίας.

Το αλγεβρικό άθροισμα της εισερχόμενης-ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας είναι:

$$S_n = (1 - r) S_0 (0.29 \cos\varphi + 0.55 \frac{n}{N})$$

Όπου r ο συντελεστής ανάκλασης (albeao) ίσος με0.06.

- 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 (φ=40° είναι:

$$S_0 = 41711 \ kj/m^2 \eta\mu$$

- φ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (σε μοίρες), η 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 Sn υπολογίζεται η τιμή:

$$S_n = 26195 \ kj/m^2 \eta\mu$$

- Η καθαρή μακροκυματική ακτινοβολία Ln δίνετε από την εξίσωση:

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

- όπου σ η σταθερά του νόμου θερμικής εκπομπής σ=4,9• 10^{-6} kj/(m^2 k^4d) και ο αδιάστατος συντελεστής ε_n σύμφωνα με τον Penman, λαμβάνει την τιμή:

$$\varepsilon_n = 0.56 - 0.09 e^{0.5} = 0.257$$

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

$$e = U \cdot e_s = 11.36 \ hPa$$

- Ο συντελεστής επίδρασης της νέφωσης είναι:

$$f_L = 0.1 + 0.9(n/N) = 0.83$$

- και συνεπώς η τιμή της καθαρής μακροκυματικής ακτινοβολίας θα είναι:

$$L_n = 0.257 \cdot 0.83 \cdot (4.9 \cdot 10^{-6}) \cdot 291^4 = 7495.13 \ kj/(m^2 \eta\mu)$$

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

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma}F(u)D = 0.66 \cdot 7.61 + 0.34 \cdot 0.65 \cdot 9.29 = 7.08 \ kg/(m^2 \eta\mu).$$

- και αν θεωρηθεί πυκνότητα νερού ρ=1000 kg/m^3, η εξάτμιση είναι ίση με:

$$E' = 7.08/1000 = 0.00708 \ m/\eta\mu \ \text{ή} \ E' = 7.08 \ mm/\eta\mu$$

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 :

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

και το αλγεβρικό άθροισμα εισερχομένων – εξερχόμενων ακτινοβολιών γίνεται:

$$R_n = 13405\ kj/(m^2 \eta\mu)$$

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

$$F(u) = \frac{90}{T+275}u_2,$$

- οπότε λαμβάνει την τιμή F(u)=0.854 *kg/ (hPa m^2d)*. Αντί της τιμής γ του ψυχρομετρικού συντελεστή, τίθεται η τιμή:

$$\gamma' = \gamma(1+0.33 \cdot u_2) = 0.67(1+0.33 \cdot 2.78) = 1.25 \ hPa/^{o}C.$$

- Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στην εξίσωση:

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

- προκύπτει:

$$E' = 6.67 \ kg/(m^2 \eta\mu) \ \text{ή} \ E = 6.67 \ mm/\eta\mu.$$

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 Thomthwaite.

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:

$$(PE)_x = 16\left(\frac{10\,t_i}{J}\right)^a$$

θερμοκρασίες ί δίνονται από τα δεδομένα της άσκησης, ενώ

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

και

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

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

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

- αφού πρώτα βρεθούν 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:

$$N = 1.46 \cdot P$$

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

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

Πίνακας 3.6 *Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιοπνοής κατά Thornthwaite*

Μήνας	**ti**	**ji**	**(PE)χ**	**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
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

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=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 εξίσωση:

$$(PE)_i = k\left(\frac{32 + 1.8 \cdot t_i}{3.94}\right)P$$

όπου k=0.85 ο συντελεστής καλλιέργειας.

Πίνακας 3.9 *Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Blaney-Criddle.*

Μήνας	**ti**	**P**	**PE**
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:**

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

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