

# Ανάγκες (ημερήσιες σε νερό) «υδρολογία των αρδεύσεων»

Δρ Μ.Σπηλιώτης

Με βάση κύρια του σύγγραμμα του  
Γ.Τσακίρη, Εγγειοβελτιωτικά Έργα και  
τις παραδόσεις του

# Εξατμισοδιαπνοή

- Εξάτμιση: νερό από υγρή σε αέρια φάση (π.χ. ταμιευτήρας)
- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή: μεταφορά νερό προς την ατμόσφαιρα από τη διαπνοή των φυτών και από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και των φύλλων όταν αυτά είναι υγρά
- **Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή: εξατμισοδιαπνοή σε συνθήκες πλήρους διαθεσιμότητας νερού (κλιματικοί παράγοντες θερμοκρασία, μικροκλίμα κ.ά) (πιο γενικό, μοντέλα υδατικού ισοζυγίου)**
- Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς: εξατμισοδιαπνοή σε συνθήκες πλήρους διαθεσιμότητας νερού για μία καλλιέργεια αναφοράς (π.χ. μηδική) που αναπτύσσεται δυναμικά (Παπαμηχαήλ, 2001)(αρδεύσεις)
- Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας : υπολογισμός σε σχέση με τη Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς
- Συνήθως η διαστασιολόγηση σε ταμιευτήρες γίνεται με βάση τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή, δυσκολία αποτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

# Δυνητική και Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή

- Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή: Εξατμισοδιαπνοή σε συνθήκες άπειρης επάρκειας νερού,
  - ισχυρή εξάρτηση (και όχι μόνο) από θερμοκρασία.
- Σε πραγματικές συνθήκες το καλοκαίρι για μη αρδευόμενες εκτάσεις στον Ελληνικό χώρο η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη της δυνητικής
- Αρδευόμενες εκτάσεις: Πραγματική εξατμισοδιαπνοή προσεγγίζει τη δυνητική

# Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

- Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ETc)
- Το απαιτούμενο για την ανάπτυξη των καλλιεργειών νερό εκφράζεται με τον όρο **υδατοκατανάλωση καλλιεργειών ή ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών** και αντιπροσωπεύεται από την **Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ETc)**
- Είναι το νερό που καταναλώνεται από μία καλλιέργεια η οποία αναπτύσσεται χωρίς κανένα περιορισμό σε νερό, χωρίς προσβολές από ασθένειες και εχθρούς και δίνει το μέγιστο της παραγωγής για τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται



## Δυναμική Εξατμισοδιαπνοή Καλλιέργεια Αναφοράς

Κυρίαρχη εξάρτηση από τη θερμοκρασία

# Χρ. Μέθοδος

## δυναμική εξ. (ανά ημέρα για την καλλιέργεια αναφοράς)

### 6.5.3 Τροποποιημένη Μέθοδος Blaney-Criddle, FAO-24 Method (Doorenbos και Pruitt, 1977)

Η τροποποιημένη μορφή της αρχικής μεθόδου εμπεριέχει και άλλες μετρούμενες παραμέτρους και παρέχει τη μέση ημερήσια  $ET_0$  (mm) για το χρονικό διάστημα που θεωρούμε από τη σχέση

$$ET_0 = a + b \cdot F \quad (6.104)$$

όπου  $F$  λαμβάνεται από την εξίσωση (6.102) και η τιμή της  $T_{\text{mean}}$  αντιστοιχεί για τη μέση θερμοκρασία για το θεωρούμενο διάστημα.

Οι συντελεστές  $a$ ,  $b$  εξαρτώνται από τη μέση ελάχιστη σχετική υγρασία  $RH_{\text{min}}$  (%), το μέσο κλάσμα ηλιοφάνειας  $n/N$ , και ο  $b$  πρόσθετα από τη μέση ημερήσια ταχύτητα του ανέμου στα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια  $U_2$  (m/s) για το θεωρούμενο διάστημα, υπολογιζόμενοι από τις σχέσεις:

$$a = 0.0043 \cdot RH_{\text{min}} - n/N - 1.41 \quad (6.105)$$

όπου  $n$  πραγματική ηλιοφάνεια.

$$b = a_0 + a_1 \cdot RH_{\text{min}} + a_2 \cdot (n/N) + a_3 \cdot U_2 + a_4 \cdot RH_{\text{min}} \cdot (n/N) + a_5 \cdot RH_{\text{min}} \cdot U_2 \quad (6.106)$$

$$\begin{aligned} \text{όπου } a_0 &= 0.81917 & a_1 &= -0.0040922 & a_2 &= 1.705 \\ a_3 &= 0.065649 & a_4 &= -0.0059684 & a_5 &= -0.0005967. \end{aligned}$$

όπου  $F$  κλιματικός παράγοντας υπολογιζόμενος από την εξίσωση:

$$F = (0.46 \cdot T_{\text{mean}} + 8.13) \cdot p \quad (6.102)$$

$T_{\text{mean}}$  : μέση μηνιαία θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )

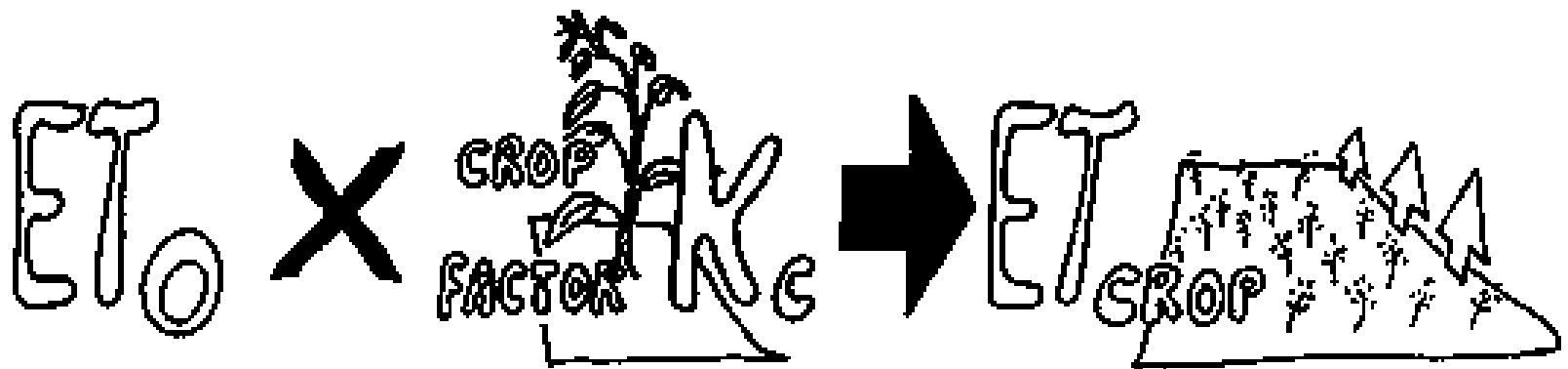
$p$  : το ποσοστό των ωρών ημέρας του μήνα προς τις ώρες ημέρας τους έτους.





Πιν. 4.9 Τιμές της σταθεράς b της σχέσεως  $PET = a + bf$

n/N	RHmin [%]						
	0	20	40	60	80	100	
0	0.84	0.80	0.74	0.64	0.52	0.38	$u_2 = 0$ m/sec
0.2	1.03	0.95	0.87	0.76	0.63	0.48	
0.4	1.22	1.10	1.01	0.88	0.74	0.57	
0.6	1.38	1.24	1.13	0.99	0.85	0.66	
0.8	1.54	1.37	1.25	1.09	0.94	0.75	
1.0	1.68	1.50	1.36	1.18	1.04	0.84	
0	0.97	0.90	0.81	0.68	0.54	0.40	
0.2	1.19	1.08	0.96	0.84	0.66	0.50	
0.4	1.41	1.26	1.11	0.97	0.77	0.60	
0.6	1.60	1.42	1.25	1.09	0.89	0.70	
0.8	1.79	1.59	1.39	1.21	1.01	0.79	
1.0	1.98	1.74	1.52	1.31	1.11	0.89	
0	1.08	0.98	0.87	0.72	0.56	0.42	$u_2 = 4$ m/sec
0.2	1.33	1.18	1.03	0.87	0.69	0.52	
0.4	1.56	1.38	1.19	1.02	0.82	0.62	
0.6	1.78	1.56	1.34	1.15	0.94	0.73	
0.8	2.00	1.74	1.50	1.28	1.05	0.83	
1.0	2.19	1.90	1.64	1.39	1.16	0.92	
0	1.18	1.06	0.92	0.74	0.58	0.43	
0.2	1.44	1.27	1.10	0.91	0.72	0.54	
0.4	1.70	1.48	1.27	1.06	0.85	0.64	
0.6	1.94	1.67	1.44	1.21	0.97	0.75	
0.8	2.18	1.86	1.59	1.34	1.09	0.85	
1.0	2.39	2.03	1.74	1.46	1.20	0.95	
0	1.26	1.11	0.96	0.76	0.60	0.44	$u_2 = 8$ m/sec
0.2	1.52	1.34	1.14	0.93	0.74	0.55	
0.4	1.79	1.56	1.32	1.10	0.87	0.66	
0.6	2.05	1.76	1.49	1.25	1.00	0.77	
0.8	2.30	1.96	1.66	1.39	1.12	0.87	
1.0	2.54	2.14	1.82	1.52	1.24	0.98	
0	1.29	1.15	0.98	0.78	0.61	0.45	
0.2	1.58	1.38	1.17	0.96	0.75	0.56	
0.4	1.86	1.61	1.36	1.13	0.89	0.68	
0.6	2.13	1.83	1.54	1.28	1.03	0.79	
0.8	2.39	2.03	1.71	1.43	1.15	0.89	
1.0	2.63	2.22	1.86	1.56	1.27	1.00	



Φυτικός συντελεστής

# Τελικά: $ET_c = k_c ET_0$ , $k_c$ από πινάκες

Πιν. 4.1. Φυτικός συντελεστής  $k_c$  για τους μήνες αναπτύξεως .

Μήνες Καλλιέργειες	A	M	I	I	A	Σ
Μηδική	1.05	1.14	1.18	1.20	1.18	1.15
Βαμβάκι	0.35	0.45	0.88	1.12	1.12	0.92
Καλαμπόκι	-	0.32	0.63	1.09	1.13	0.82
Σακχαρότευτλα	0.39	0.66	1.13	1.20	1.14	1.06
Σόργο	-	0.32	0.63	1.13	1.05	0.68

Πιν. 4.2. Φυτικός συντελεστής  $k_c$  δενδρωδών καλλιεργειών πλήρους παραγωγής (με κρύο χειμώνα και ελαφρά παγωνιά) .

Μήνες Καλλιέργειες	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N
Μηλιά	0.85	1.00	1.15	1.25	1.25	1.25	1.20	0.95	0.85
Κερασιά	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Ροδιακινιά	0.85	0.95	1.05	1.15	1.15	1.15	1.10	0.90	0.85
Αχλαδιά	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Αμπέλι	-	0.45	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.35

## Εφαρμογή

Δεδομένα: Περιοχή γεωγρ. πλάτους  $41^{\circ}\text{B}$   
Μήνας: Ιούλιος  
Μέση θερμοκρασία:  $25.5^{\circ}\text{C}$

Κατ'εκτίμηση:  $\text{RH}_{\text{min}} \approx 55\%$   
 $n/N \approx 0.80$   
 $u_2 \approx 2 \text{ m/sec}$

---

Υπολογισμός:  $p = 0.33$  (Πίν. 4.8)  
 $f = p (0.46T + 8) = 6.511 \text{ mm/ημέρα}$  (4.16)

$$a = -2.208 \quad (4.18)$$

$$b = 1.255 \quad (\text{Πίν. 4.9})$$

$$\text{PET} = a + b f = 5.96 \text{ mm/ημέρα} \quad (4.17)$$

Πιν. 4.1. Φυτικός συντελεστής  $k_c$  για τους μήνες ανάπτυξεως .

Μήνες Καλλιέργειες	A	M	I	I	A	Σ
Μηδική	1.05	1.14	1.18	1.20	1.18	1.15
Βαμβάκι	0.35	0.45	0.88	1.12	1.12	0.92
Καλαμπόκι	-	0.32	0.63	1.09	1.13	0.82
Σακχαρότευτλα	0.39	0.66	1.13	1.20	1.14	1.06
Σόργο	-	0.32	0.63	1.13	1.05	0.68

Πιν. 4.2. Φυτικός συντελεστής  $k_c$  δενδρωδών καλλιεργειών πλήρους παραγωγής (με κρύο χειμώνα και ελαφρά παγωνιά) .

Μήνες Καλλιέργειες	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N
Μηλιά	0.85	1.00	1.15	1.25	1.25	1.25	1.20	0.95	0.85
Κερασιά	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Ροδιακινιά	0.85	0.95	1.05	1.15	1.15	1.15	1.10	0.90	0.85
Αχλαδιά	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Αμπέλι	-	0.45	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.35

Τσακίρης, 1987

Προσδιορισμός μέσης ημερήσια  
εξατμισοδιαπνοής, ξεχωριστά για κάθε  
μήνα και κατόπιν, για κάθε  
καλλιέργεια

# Ενεργός βροχόπτωση

γειών. Η ενεργός βροχόπτωση είναι το μέρος εκείνο της βροχόπτωσης που εισχωρεί στο ριζόστρωμα και χρησιμοποιείται από τις καλλιέργειες για την ανάπτυξή τους. Προφανώς η ενεργός βροχόπτωση εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, οι κυριώτεροι από τους οποίους είναι:

- το ύψος και η ένταση βροχόπτωσης
- η αποθηκευτικότητα του ριζοστρώματος της καλλιέργειας
- η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους (ξηρό έδαφος, φύλλωμα δένδρων)
- η διηθητικότητα του εδάφους
- το έλλειμα υγρασίας πριν τη βροχόπτωση που καθορίζεται από το καθεστώς της υγρασίας (αρδευόμενες περιοχές)
- η εξάτμιση.

Επειδή η βροχόπτωση μεταβάλλεται από έτος σε έτος η πρόβλεψή της θα πρέπει να συνδυάζεται με την πιθανότητα εμφάνισής της. Στις μελέτες των αρδευτικών έργων το ύψος βροχόπτωσης που λαμβάνεται υπόψη είναι αυτό που έχει συχνότητα υπέρβασης 80 ή 75%. Δηλαδή κατά μέσο όρο (προκειμένου για πιθανότητα υπέρβασης 75%) σε 3 από τα 4 έτη εμφανί-

# Ενεργός βροχόπτωση προσεγγιστικός υπολογισμός

Μετά τον καθορισμό του ύψους βροχοπτώσης, η ενεργός βροχοπτώση, που υπεισέρχεται στον προσδιορισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε αρδευτικό νερό, εκτιμάται συνήθως εμπειρικά. Σε μια πρώτη προσέγγιση το ύψος ενεργού βροχοπτώσης είναι περίπου 80% του συνολικού ύψους βροχοπτώσης.

Σύμφωνα με ένα εμπειρικό τύπο το ύψος ενεργού βροχοπτώσης  $P_e$  υπολογίζεται

$$P_e = \left[ P - \left( c + \frac{P}{8} \right) \right] \quad (6.126)$$

όπου  $P$  : είναι το συνολικό μηνιαίο ύψος βροχοπτώσης  $P \geq 7$  mm

$c$  : είναι εμπειρική σταθερά μεταξύ 10 και 20

$c = 10$  προτείνεται για πεδινές περιοχές κοντά στη θάλασσα

$c = 20$  προτείνεται για ηπειρωτικές επικλινείς περιοχές.

Η μέθοδος που προτάθηκε από την υπηρεσία Bureau of Reclamation των ΗΠΑ (Stamm, 1967) φαίνεται στον Πίνακα 6.4 και αναφέρεται σε μηνιαίες τιμές. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για περιοχές ξηρού και ημίξηρου κλίματος.

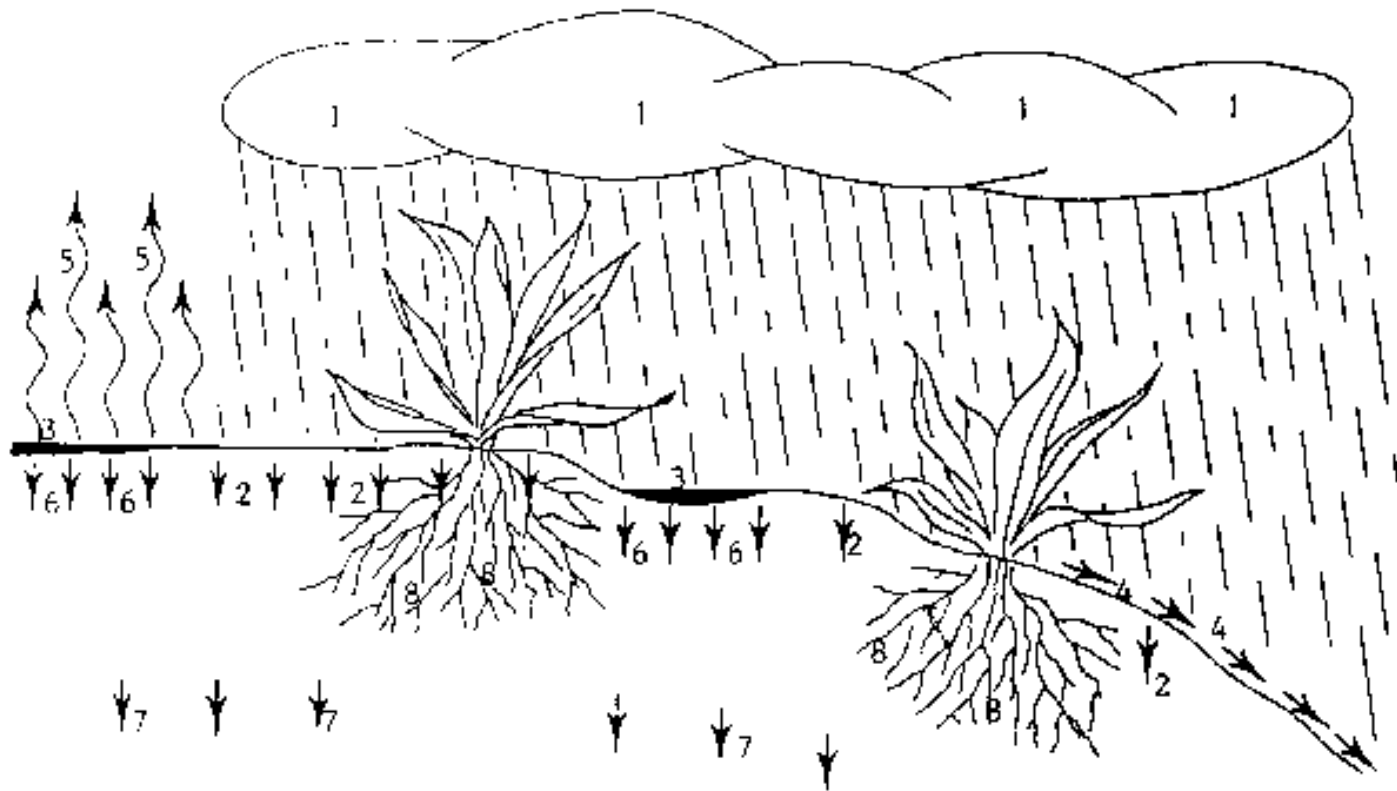
**Πίν. 6.4:** Υπολογισμός της μηνιαίας ενεργού βροχοπτώσης (Μέθοδος U.S. Bureau of Reclamation)

Μηνιαία βροχόπτωση (κατά κλάσεις)	Ποσοστό ενεργού βροχοπτώσης (κατά κλάσεις)
mm	%
0.0 - 25.4	90 - 100
25.4 - 50.8	85 - 95
50.8 - 76.2	75 - 90
76.2 - 101.6	50 - 80
101.6 - 127.0	30 - 60
127.0 - 152.4	10 - 40
> 152.4	0 - 10



# Ενεργός βροχόπτωση

- Ενεργός βροχόπτωση = (1) - (4) - (5) - (7)



# παράδειγμα

Δηλαδή η ενεργός βροχόπτωση ενός συγκεκριμένου μήνα με συνολικό ύψος βροχής 76.2 mm βρίσκεται σύμφωνα με τα μέσα ποσοστά του Πίνακα 6.4 ως εξής:

$$\begin{aligned} 25.4 \cdot 0.95 + (50.8 - 25.4) \cdot 0.90 + (76.2 - 50.8) \cdot 0.825 \\ = 67.95 \approx 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

Μια πιο αναλυτική μέθοδος που χρησιμοποιείται από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. φαίνεται στον Πίνακα 6.5. Στον πίνακα η μέση μηνιαία ενεργός βροχόπτωση προκύπτει ως συνάρτηση του μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης και μηνιαίας τιμής της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, με την προϋπόθεση ότι το μέγιστο έλλειμμα υγρασίας στο ριζόστρωμα είναι ίσο με 75 mm. Αν το διαθέσιμο ύψος αποθηκευτικότητας του ριζοστρώματος είναι διαφορετικό από 75 mm γίνεται η σχετική διόρθωση (Πίνακας 6.5).

**Πίν. 6.5:** Μέση μηνιαία ενεργός βροχόπτωση  $P_e$  σε mm για ύψος αποθηκευτικότητας ριζοστρώματος  $e = 75$  mm

Μηνιαία βροχόπτωση (mm)	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	122.5	175	187.5	200	
Μηνιαία τιμή $ET_c$ (mm)	25	8	16	24													
	50	8	17	25	32	39	46										
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

Διόρθωση για ύψος αποθηκευτικότητας  $e \neq 75$  mm

Αποθηκευτικότητα (mm)	20	25	37.55	50	62.5	75	100	125	150	175	200
Συντελεστής διόρθωσης	0.73	0.77	0.86	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08

# Εναλλακτικά

- Εναλλακτικά, FAO, εμπειρική μέθοδος

$$\left\{ \begin{array}{ll} P_e = 0 & \text{for } P \leq 12.5\text{mm} \\ P_e = 0.6 \cdot P - 10 & \text{for } 12.5\text{mm} < P \leq 70\text{mm} \\ P_e = 0.8 \cdot P - 25 & \text{for } P > 70\text{mm} \end{array} \right\}$$

# Διήθηση

- Περιορισμός βαθείας διήθησης
- Ομοιομορφία άρδευσης στο αγροτεμάχιο σε δίκτυο καταιονισμού
- Ορθός σχεδιασμός σε άρδευση με αύλακες κλπ



**Ανάγκες σε νερό**

# Καθαρό ύψος σε αρδευτικό νερό (ημερήσιες ανάγκες)

Καθαρό ύψος σε αρδευτικό νερό:

Το καθαρό ύψος σε αρδευτικό νερό υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$IR_n = PET_c - \frac{P_e}{n_d}$$

όπου  $PET_c$  είναι η δυναμική εξατμισοδιαπνοή όπως υπολογίστηκε προηγουμένως,  $P_e$  η ενεργός βροχόπτωση και  $n_d$  ο αριθμός των ημερών του αντίστοιχου μήνα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της εξίσωσης για κάθε μήνα:

Μήνας	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
$n_d$	31	30	31	31	30

# Συνεχή παροχή διάκριση στο είδος της διώρυγας, παροχή ανά στρέμμα

## 6.10 ΕΙΔΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Οι ανάγκες σε αρδευτικό νερό εκφράζονται συνήθως σε ισοδύναμο ύψος υδάτινου στρώματος ανά ημέρα ή σε όγκο νερού ανά μονάδα έκτασης και ανά ημέρα. Αν οι ανάγκες σε αρδευτικό νερό της μονάδας έκτασης κατά την περίοδο αιχμής εκφραστούν σε συνεχή παροχή οδηγούμαστε στην έννοια της ειδικής παροχής άρδευσης (hydromodule ή water duty ή water modulus ή specific discharge).

Η ειδική παροχή άρδευσης του δικτύου ορίζεται ως η συνεχής παροχή σε  $L/s \cdot \text{στρέμμα}$  (ή  $L/s \cdot \text{ha}$ ) της υπό άρδευση έκτασης στο σημείο εκτροπής ή γενικότερα στην αρχή του αρδευτικού δικτύου.



# Ειδική παροχή δικτύου

Η ειδική παροχή του δικτύου χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο της επάρκειας μιας δεδομένης διαθέσιμης παροχής ή για τον καθορισμό του μεγέθους της έκτασης που μπορεί να αρδευθεί από τη διαθέσιμη παροχή. Πιο χρήσιμη για τη διαστασιολόγηση του δικτύου είναι η ειδική παροχή στο αγροτεμάχιο.

Η ειδική παροχή στο αγροτεμάχιο υπολογίζεται:

$$q_0 = \frac{IR_n}{3.6 t_d E_a} = \frac{IR}{3.6 t_d} \quad (\text{L/s} \cdot \text{στρέμμα}) \quad (6.131)$$

όπου  $IR_n$  : καθαρό ύψος αναγκών σε αρδευτικό νερό σε mm/ημέρα κατά το μήνα αιχμής

$IR$  : ύψος αναγκών σε αρδευτικό νερό σε mm/ημέρα κατά το μήνα αιχμής

$E_a$  : συντελεστής απόδοσης κατά την εφαρμογή

$t_d$  : αριθμός ωρών λειτουργίας του δικτύου ανά 24ωρο.

Αν δεν αναφέρεται ο αριθμός ωρών λειτουργίας συνήθως παίρνεται ίσος με 24 hr. Στο παρελθόν για την ασφαλή κάλυψη των αναγκών η ειδική παροχή στο αγροτεμάχιο πολλαπλασιάζετο με ένα συντελεστή προσαύξησης  $c$ , που για τις Ελληνικές συνθήκες ήταν από 1.10 έως 1.20.