

ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

Δρ Μ.Σπηλιώτης

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

1) 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

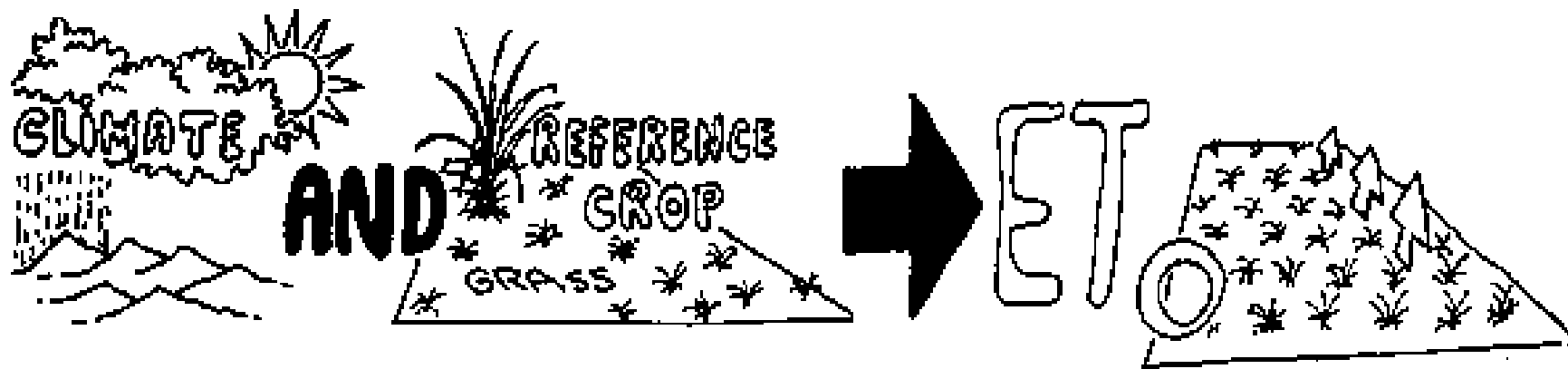
- Εξάτμιση: νερό από υγρή σε αέρια φάση (π.χ. ταμιευτήρας)
- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή: μεταφορά νερό προς την ατμόσφαιρα από τη διαπνοή των φυτών και από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και των φύλλων όταν αυτά είναι υγρά
- **Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή: εξατμισοδιαπνοή σε συνθήκες πλήρους 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

Μέθοδος BLANEY –GRIDDLE (στην Ελλάδα χρησιμοποιείται δια νόμου για τις αρδευτικές ανάγκες)

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

- Μέθοδος υδατικού ισοζυγίου με λυσίμετρο
- Εξατμισίμετρο
- Υπολογιστικά:
 - Penman-Monteith (FAO), πλέον ακριβής, απαιτεί πολλά δεδομένα
 - Blaney-Griddle, με διαδεδομένη χρήση στην Ελλάδα, μηνιαίο βήμα, αλλά σε mm/d
 - Hargreaves θεωρείται αξιόπιστη με λιγοστά δεδομένα και αποτελέσματα παραπλήσια με Penman-Monteith μηνιαίο βήμα, αλλά σε mm/d

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_{mean} αντιστοιχεί για τη μέση θερμοκρασία για το θεωρούμενο διάστημα.

Οι συντελεστές a , b εξαρτώνται από τη μέση ελάχιστη σχετική υγρασία RH_{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.

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

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

όπου F κλιματικός παράγοντας υπολογιζόμενος από την εξίσωση:

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

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

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

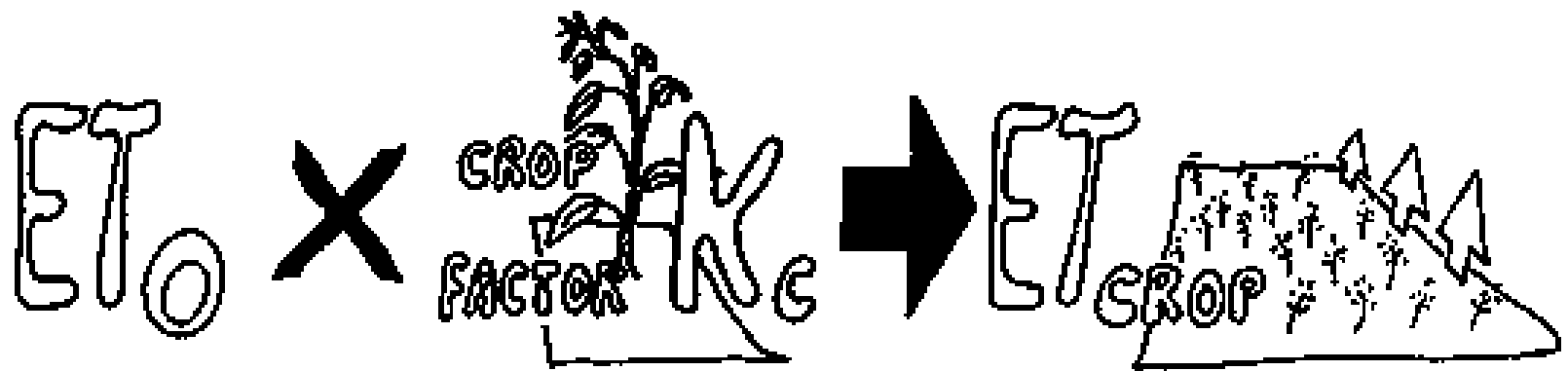
Πιν. 4.8 Η παράμετρος γ σαν συνάρτηση του Γεωγραφικού Πλάτους και του χρόνου

Μέσο ημερήσιο ποσοστό της συνολικής ετήσιας διάρκειας των ωρών ημέρας (p).

[illegible]

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	$u_2 = 0 \text{ m/sec}$
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	$u_2 = 2 \text{ m/sec}$
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	$u_2 = 4 \text{ m/sec}$
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	$u_2 = 6 \text{ m/sec}$
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	$u_2 = 8 \text{ m/sec}$
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	$u_2 = 10 \text{ m/sec}$
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 ανάπτυξεως.

Μήνες Καλλιεργείες	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 δένδρωδών καλλιεργειών πλήρους παραγωγής (με κρύο χειμώνα και ελαφρά παγωνιά).

Μήνες Καλλιεργείες	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	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Ροδιεκινιά	0.85	0.95	1.05	1.15	1.15	1.15	1.10	0.90	0.85
Αχλαδιά	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Αμέλι	-	0.45	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.35

Εφαρμογή

Δεδομένα: Περιοχή γεωγρ. πλάτους 41°B
Μήνας: Ιούλιος
Μέση θερμοκρασία; 25.5°C

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

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

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

$$b = 1.255 \quad (\text{Πίν. 4.9})$$

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

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 δένδρωδών 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

Πιο κοντά στη καλά θεμελιωμένη εξίσωση PENMAN MONTHIEITH

**ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ
(ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ)
HARGREAVES**

ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ) HARGREAVES

Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου θα πρέπει αυτά να εκτιμηθούν μέσω υπολογιστικών προσεγγίσεων.

Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Hargreaves γίνεται με βάση την εξίσωση:

$$ET_0 = 0.0023(T_{\max} - T_{\min})^{0.5}(T_{\text{mean}} + 17.8)R_a$$

ET_0 = εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day)

$T_{\max}$ = μέγιστη μέση μηναία θερμοκρασία (°C)

$T_{\min}$ = ελάχιστη μέση μηναία θερμοκρασία (°C)

R_a = προσπίπτουσα ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας (mm/day)

μονάδες (mm/d)

Ra= προσπίπτουσα ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας (mm/day)

Βόρειο ημισφαίο (values in MJ m⁻² day⁻¹)²

Northern Hemisphere												Lat. deg.
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
0	2.6	10.4	23	35.2	42.5	39.4	28	14.9	4.9	0.1	0	70
0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42	38.9	28.6	16.1	6	0.7	0	68
0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1	66
1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30	18.4	8.5	2.4	0.6	64
2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3	62
3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2	60
4.3	9.6	17.7	28.4	37	41.3	39.4	32	21.7	12.1	5.5	3.1	58
5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2	56
6.5	12	20	30	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2	54
7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9	6.4	52
8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5	50
10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7	48
11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9	46
12.5	18	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1	44
13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4	42
15	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30	22.5	16.3	13.6	40
16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37	30.7	23.6	17.5	14.8	38
17.5	22.6	29	35.7	40	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.2	36
18.7	23.7	29.9	36.1	40	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3	34
19.9	24.8	30.7	36.5	40	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5	32
21.1	25.8	31.4	36.8	40	41.2	40.6	38	33.4	27.6	22.2	19.8	30
22.3	26.8	32.2	37.1	40	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21	28
23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2	26
24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3	24
25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40	39.6	38.4	35.4	31	26.6	24.5	22
26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6	20
27.9	31.5	35.2	38	39	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8	18
28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9	16
29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38	36.7	33.9	30.6	28.9	14
30.9	33.8	36.5	38	38	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30	12
31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31	10
32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32	8
33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9	6
34.6	36.4	37.6	37.4	36	35	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9	4
35.4	37	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37	35.6	34.8	2
36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6	0

Μετατροπή μονάδων ->0.408

$$1 \text{ Watt} = \frac{J}{\text{sec}} \rightarrow 1 \frac{\text{Watt}}{m^2} = \frac{\frac{J}{\text{sec}}}{m^2} = \frac{\frac{10^{-6} \text{ MJ}}{1}}{86400 m^2} \text{ day} = 0.0864 \text{ MJ}/m^2 \text{ day}$$

$$1 \frac{\text{mm}}{\text{day}} = \lambda \cdot \frac{\text{MJ}}{m^2 \text{ day}} = 2.45 \frac{\text{MJ}}{m^2 \text{ day}} (T_{\text{air}} = 20^\circ \text{C}) \quad \left[\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) T_{\text{air}} \right]$$

$$1 \text{ MJ}/m^2 \text{ day} = 0.408 \text{ mm/day} \quad (0.408 = 1/2.45, \quad 20^\circ \text{C})$$

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J} = 4.1868 \times 10^{-6} \text{ MJ} \rightarrow 1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ day}} = \frac{4.1868 \times 10^{-2} \text{ MJ}}{m^2 \text{ day}}$$

TABLE 2.6. Daily extraterrestrial radiation (R_a) for different latitudes for the 15th day of the month ¹

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_s [\sin \theta_s \sin(\delta) + \cos \theta_s \cos(\delta) \sin(\alpha_s)] \quad (\text{Eq. 21})$$

(values in MJ m₋₂ day⁻¹)²

Northern Hemisphere												Lat	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	deg	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0	70	41.4	28.6	15.8	4.9	0.2	0.0	0.0	2.2	10.7	23.5	37.3	45.3
0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0	68	41.0	29.3	16.9	6.0	0.8	0.0	0.0	3.2	11.9	24.4	37.4	44.7
0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1	66	40.9	30.0	18.1	7.2	1.5	0.1	0.5	4.2	13.1	25.4	37.6	44.1
1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6	64	41.0	30.8	19.3	8.4	2.4	0.6	1.2	5.3	14.4	26.3	38.0	43.9
2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3	62	41.2	31.5	20.4	9.6	3.4	1.2	2.0	6.4	15.5	27.2	38.3	43.9
3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2	60	41.5	32.3	21.5	10.8	4.4	2.0	2.9	7.6	16.7	28.1	38.7	43.9
4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1	58	41.7	33.0	22.6	12.0	5.5	2.9	3.9	8.7	17.9	28.9	39.1	44.0
5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2	56	42.0	33.7	23.6	13.2	6.6	3.9	4.9	9.9	19.0	29.8	39.5	44.1
6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2	54	42.2	34.3	24.6	14.4	7.7	4.9	6.0	11.1	20.1	30.6	39.9	44.3
7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4	52	42.5	35.0	25.6	15.6	8.8	6.0	7.1	12.2	21.2	31.4	40.2	44.4
8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5	50	42.7	35.6	26.6	16.7	10.0	7.1	8.2	13.4	22.2	32.1	40.6	44.5
10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7	48	42.9	36.2	27.5	17.9	11.1	8.2	9.3	14.6	23.3	32.8	40.9	44.5
11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9	46	43.0	36.7	28.4	19.0	12.3	9.3	10.4	15.7	24.3	33.5	41.1	44.6
12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1	44	43.2	37.2	29.3	20.1	13.5	10.5	11.6	16.8	25.2	34.1	41.4	44.6
13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4	42	43.3	37.7	30.1	21.2	14.6	11.6	12.8	18.0	26.2	34.7	41.6	44.6
15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6	40	43.4	38.1	30.9	22.3	15.8	12.8	13.9	19.1	27.1	35.3	41.8	44.6
16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8	38	43.4	38.5	31.7	23.3	16.9	13.9	15.1	20.2	28.0	35.8	41.9	44.5
17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1	36	43.4	38.9	32.4	24.3	18.1	15.1	16.2	21.2	28.8	36.3	42.0	44.4
18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3	34	43.4	39.2	33.0	25.3	19.2	16.2	17.4	22.3	29.6	36.7	42.0	44.3
19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5	32	43.3	39.4	33.7	26.3	20.3	17.4	18.5	23.3	30.4	37.1	42.0	44.1
21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8	30	43.1	39.6	34.3	27.2	21.4	18.5	19.6	24.3	31.1	37.5	42.0	43.9
22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0	28	43.0	39.8	34.8	28.1	22.5	19.7	20.7	25.3	31.8	37.8	41.9	43.6
23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2	26	42.8	39.9	35.3	29.0	23.5	20.8	21.8	26.3	32.5	38.0	41.8	43.3
24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3	24	42.5	40.0	35.8	29.8	24.6	21.9	22.9	27.2	33.1	38.3	41.7	43.0
25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5	22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6	20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8	18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9	16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9	14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0	12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0	10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0	8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9	6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9	4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8	2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	35.2	37.1	37.7	37.0	36.4
36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6	0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

¹ Values for R_a on the 15th day of the month provide a good estimate (error < 1 %) of R_a averaged over all days within the month. Only for high latitudes greater than 55° (N or S) during winter months deviations may be more than 1%.

² Values can be converted to equivalent values in mm/day by dividing by Lambda = 2.45.

<https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e0j.htm#annex%202.%20meteorological%20tables>

Σύγκριση μεθόδων

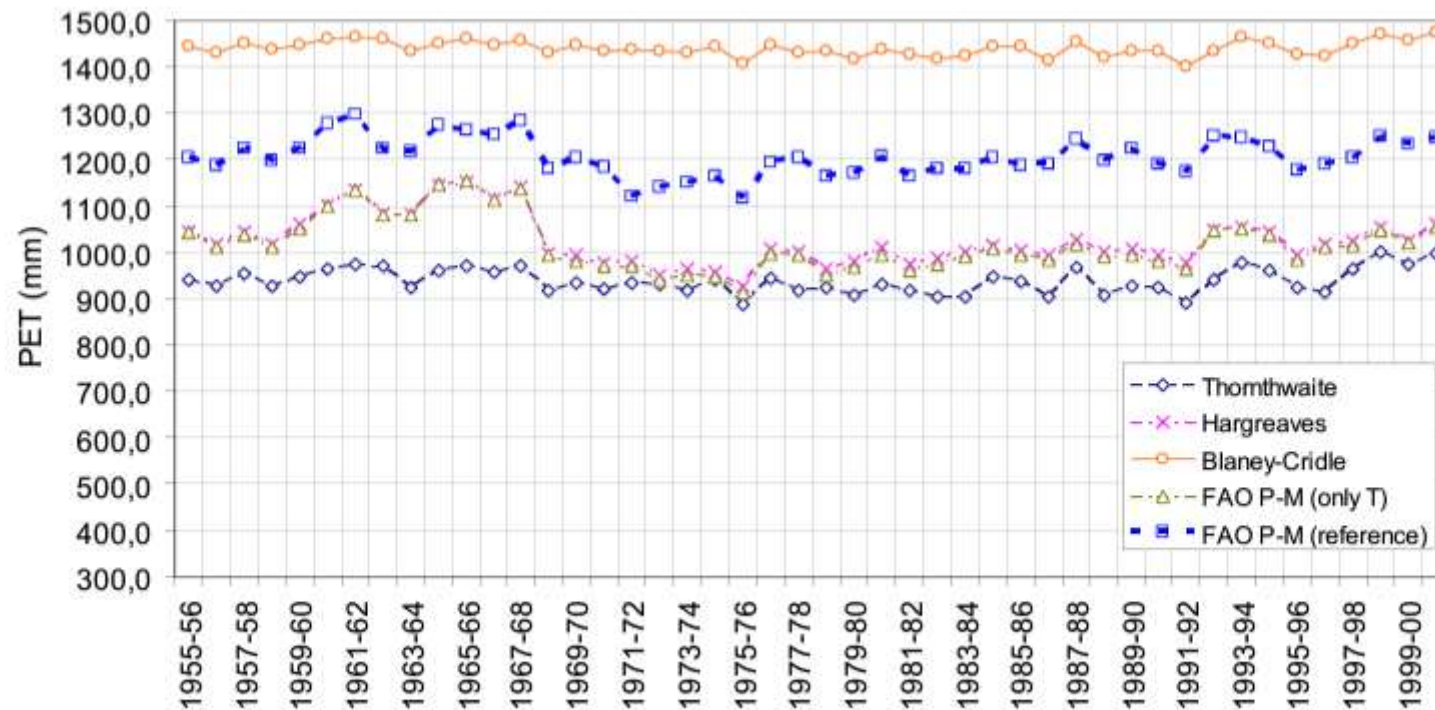


Fig. 2. Potential evapotranspiration calculated by various methods for the coastal station.

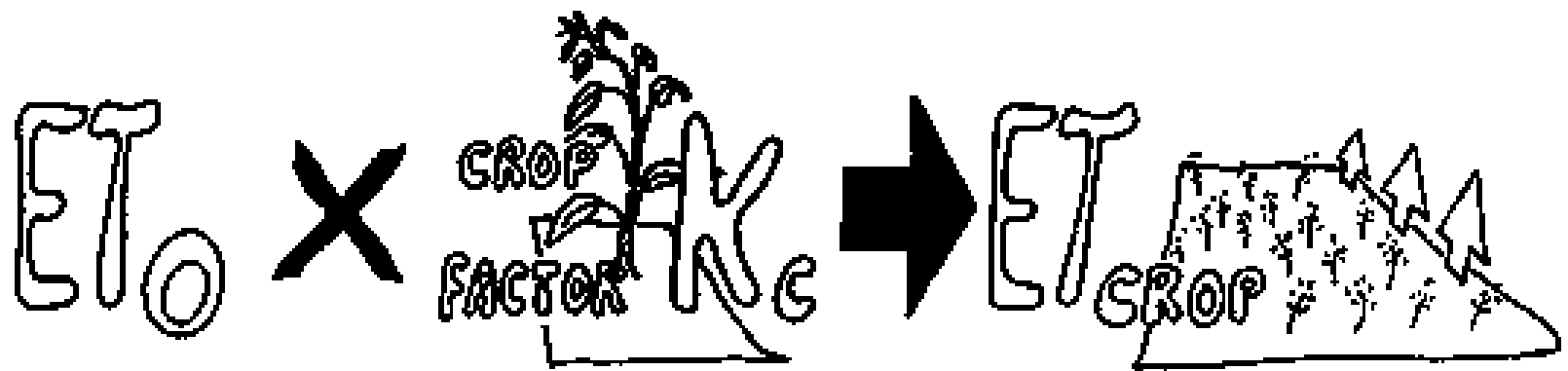
Journal of Arid Environments 98 (2013) 136–140

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Arid Environments

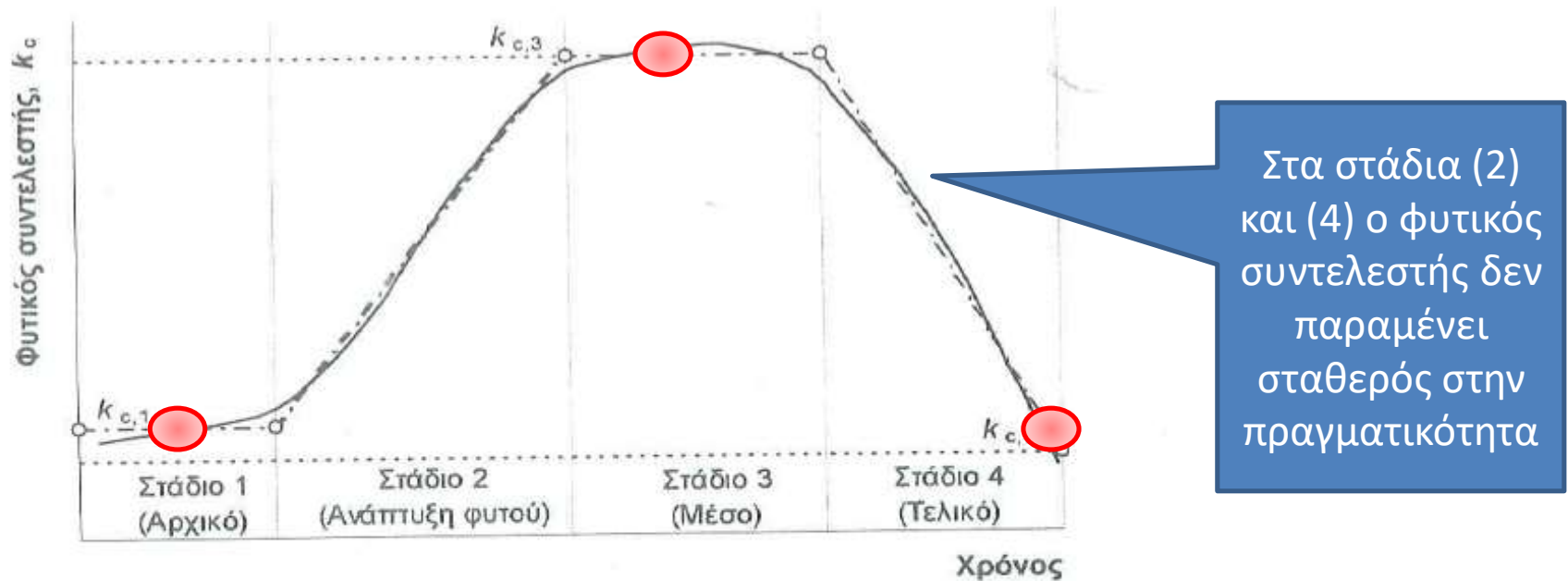
journal homepage: www.elsevier.com/locate/jaridenv





Φυτικός συντελεστής

Μεταβλητότητα φυτικού συντελεστή



Σχ. 3.8 Σχηματικό διάγραμμα της τυπικής εποχιακής μεταβολής του φυτικού συντελεστή k_c για μια αρδευόμενη ετήσια καλλιέργεια. Με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η πραγματική μεταβολή και με διακεκομμένη η απλοποιημένη υπολογιστική μεταβολή.

Μεταβλητότητα φυτικού συντελεστή (2)

- Στα στάδια (2) και (4) ο φυτικός συντελεστής δεν παραμένει σταθερός
- Στα στάδια (1) και (3) ο φυτικός συντελεστής είναι σταθερός
- Οι φυτικοί συντελεστές του σταδίου (1), (3) και η απόληξη του σταδίου (4) δίνονται
- Για τα στάδια (2) και (4) μία πρώτη εκτίμηση είναι αυτή του μέσου όρου.

Φυτικός συντελεστής



- Ανά **στάδιο ανάπτυξης** και «μοντάρεται» ανά μήνα μεσοσταθμικά
- Έμφαση σε εγχώρια πανεπιστημιακά βιβλία και ινστιτούτα
 - Για αρδευόμενες **ελιές** στην Κρήτη: Στην περίπτωση μας, η καλλιέργεια είναι τα ελαιόδεντρα και οι τιμές του φυτικού συντελεστή που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές που προέκυψαν από πειραματικές εργασίες στην Κρήτη από το Ινστιτούτο Ελιάς, Υποτροπικό φυτών, από Μάιο έως Σεπτέμβριο, και κυμάνθηκαν από 0,4 έως 0,45 (Kourgialas κα 2018, Χαρτζουλάκης κ.ά., 1999, 2001). Για τη χειμερινή περίοδο ο συντελεστής προσδιορίσθηκε σε 0,2 με βάση τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας ελαιοδένδρων της Μεσογείου (Allen et al, 1998).

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

Σύμφωνα με ένα εμπειρικό τύπο το ύψος ενεργού βροχόπτωσης P_e υπολογίζεται

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

όπου P : είναι το συνολικό μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης $P \geq 7 \text{ mm}$

c : είναι εμπειρική σταθερά μεταξύ 10 και 20

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

$c = 20$ προτείνεται για ηπειρωτικές επικλινείς περιοχές.

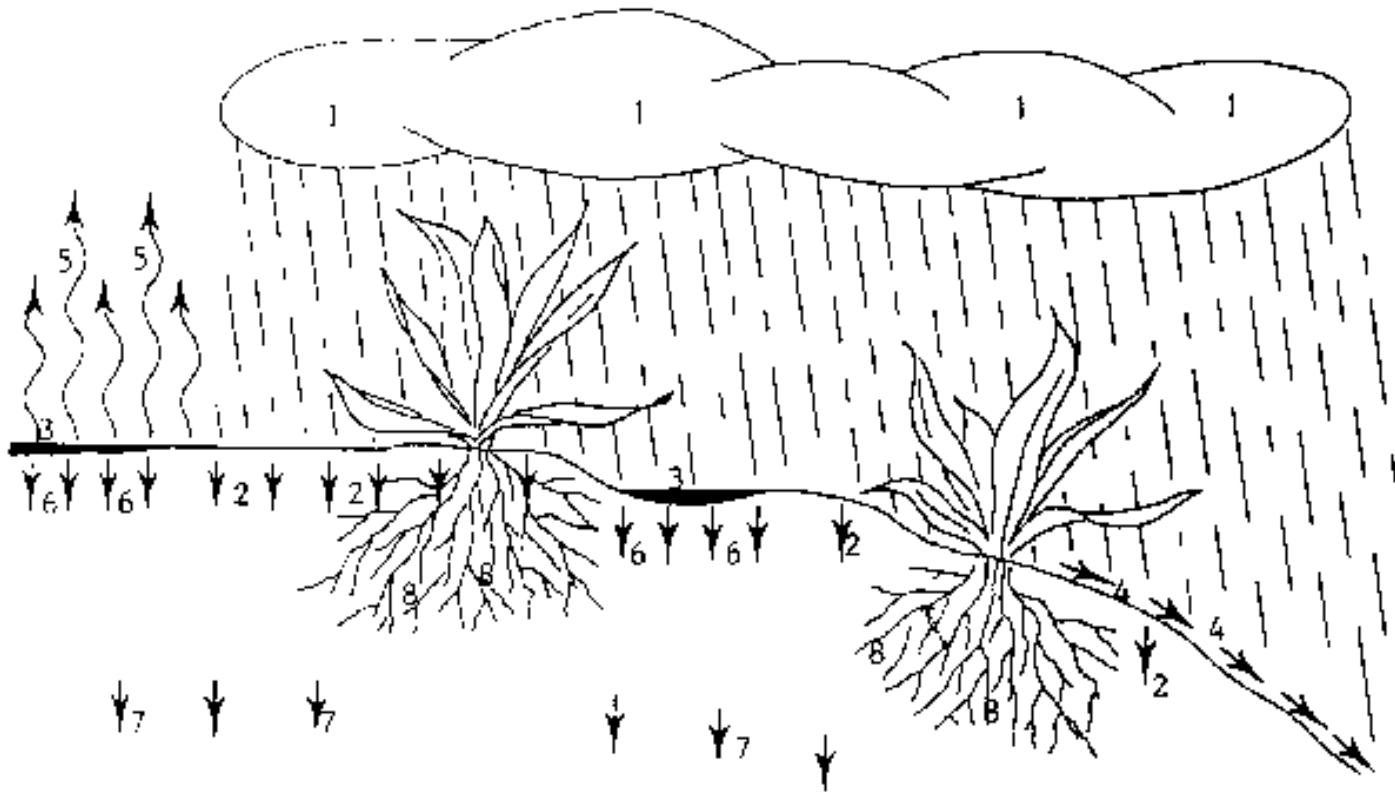
Η μέθοδος που προτάθηκε από την υπηρεσία Bureau of Reclamation των ΗΠΑ (Stamm, 1967) φαίνεται στον Πίνακα 6.4 και αναφέρεται σε μηνιαίες τιμές. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για περιοχές ξηρού και ημίξηρου κλίματος.

Πιν. 6.4: Υπολογισμός της μηνιαίας ενεργού βροχόπτωσης (Μέθοδος U.S. Bureau of Reclamation)

Μηνιαία βροχόπτωση (κατά κλάσεις)	Ποσοστό ενεργού βροχόπτωσης (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

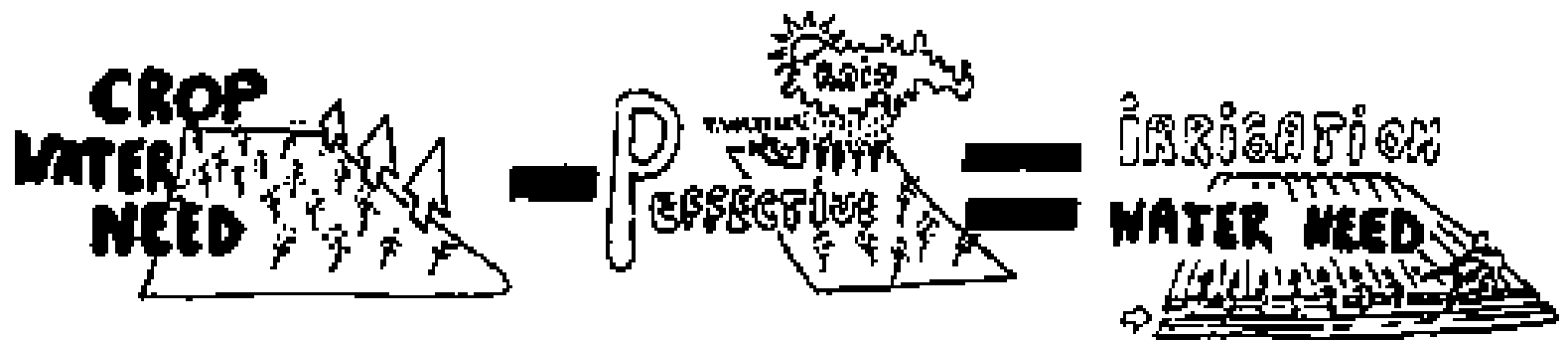
$$\left\{ \begin{array}{ll} P_e = 0 & \text{for } P \leq 12.5\text{mm} \\ P_e = 0.6 \cdot P - 10 & \text{for } 12.5\text{mm} < P \leq 70\text{mm} \\ P_e = 0.8 \cdot P - 25 & \text{for } P > 70\text{mm} \end{array} \right\}$$

Τι ισχυει?

- Θα έπρεπε να πάμε σε χρονική κλίμακα επεισοδίου βροχής και να συγκρίνουμε την ένταση βροχής με την διηθητικότητα του εδάφους και να προσδιοριστεί η πραγματική διήθηση, μελετητικά δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα (βλπ. Επόμενο κεφάλαιο διήθηση)

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	M	I	I	A	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.

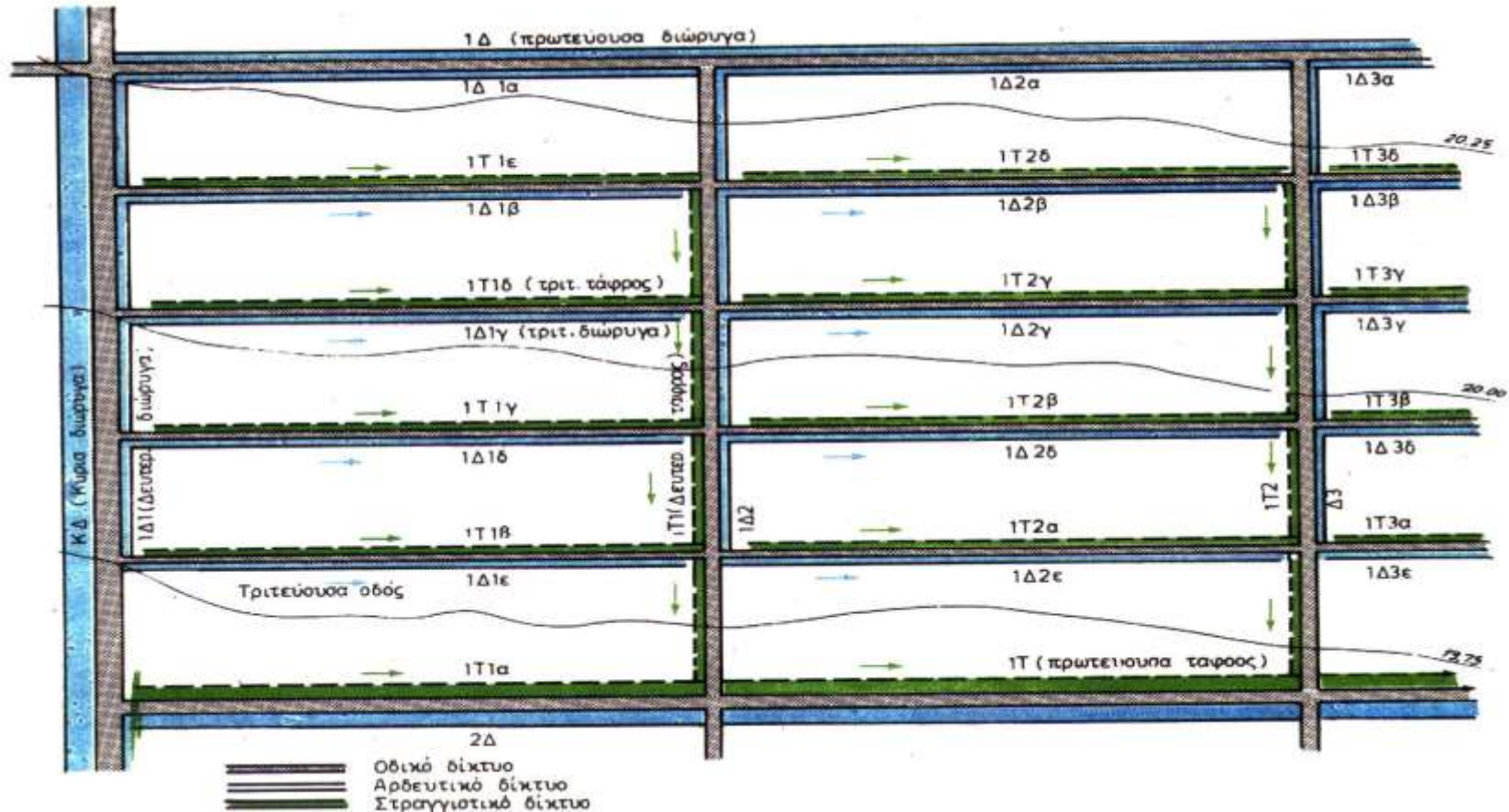
Αν δεν αναφέρεται ο αριθμός ωρών λειτουργίας συνήθως παίρνεται ίσος με 24 hr. Στο παρελθόν για την ασφαλή κάλυψη των αναγκών η ειδική παροχή στο αγροτεμάχιο πολλαπλασιάζετο με ένα συντελεστή προσαύξησης c , που για τις Ελληνικές συνθήκες ήταν από 1.10 έως 1.20.

2) Θα πρέπει αν ληφθούν
υπόψη και οι απώλειες νερού
στη μεταφορά

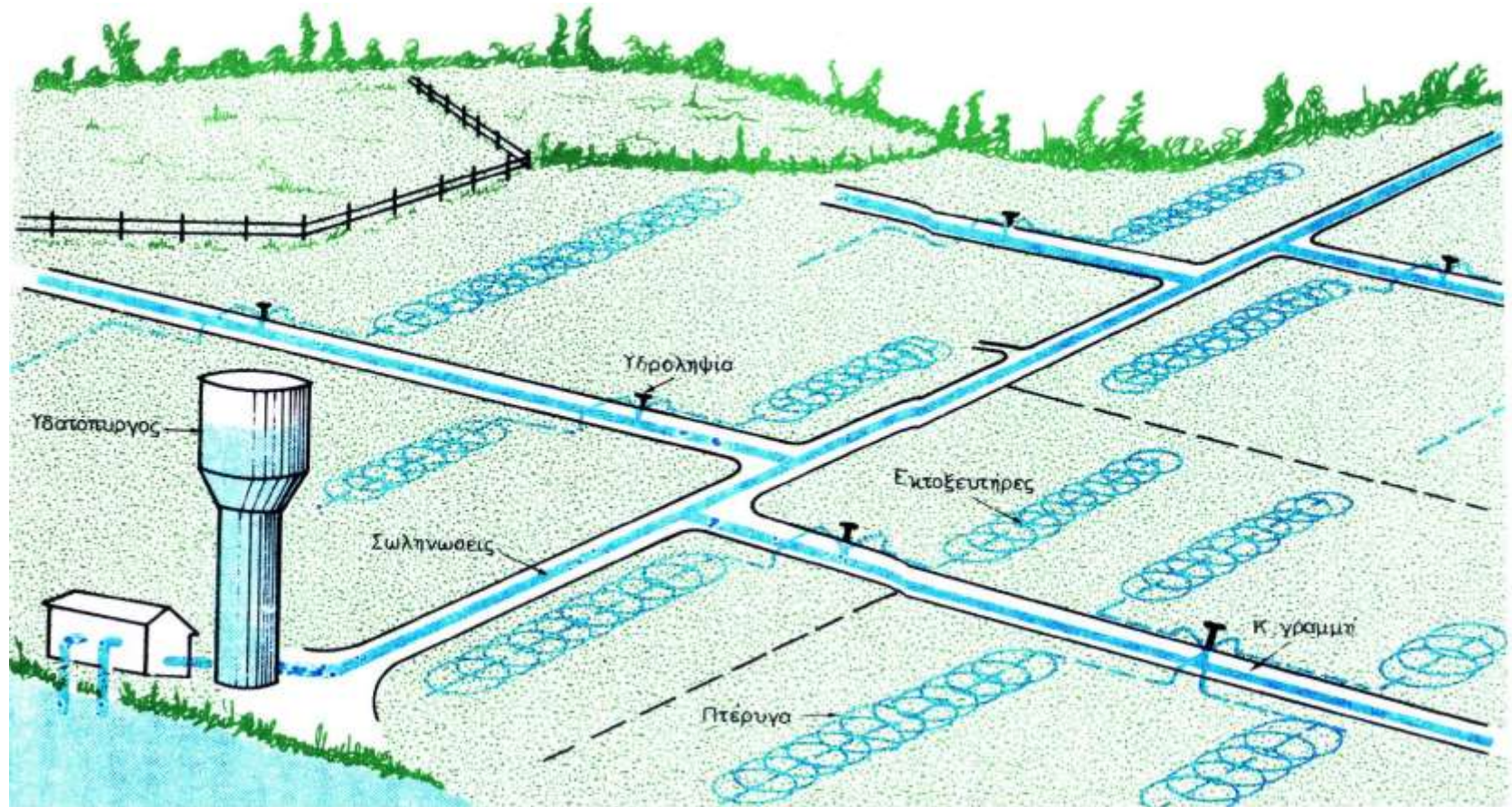
*Εξαρτάται από το είδους του
δικτύου και την άρδευση στο
αγροτεμάχιο*

Αποδοτικότητα άρδευσης

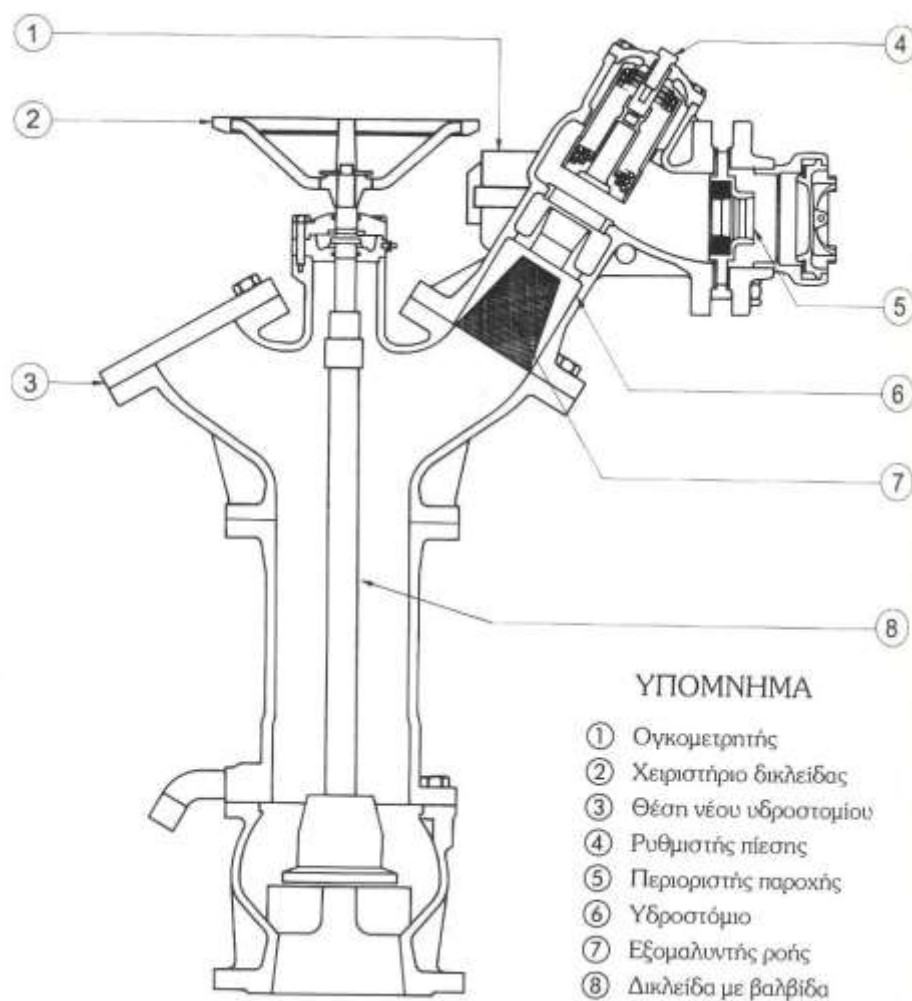
Επιφανειακό δίκτυο (ανοικτοί αγωγοί)



Συλλογικό Δίκτυο υπό πίεση

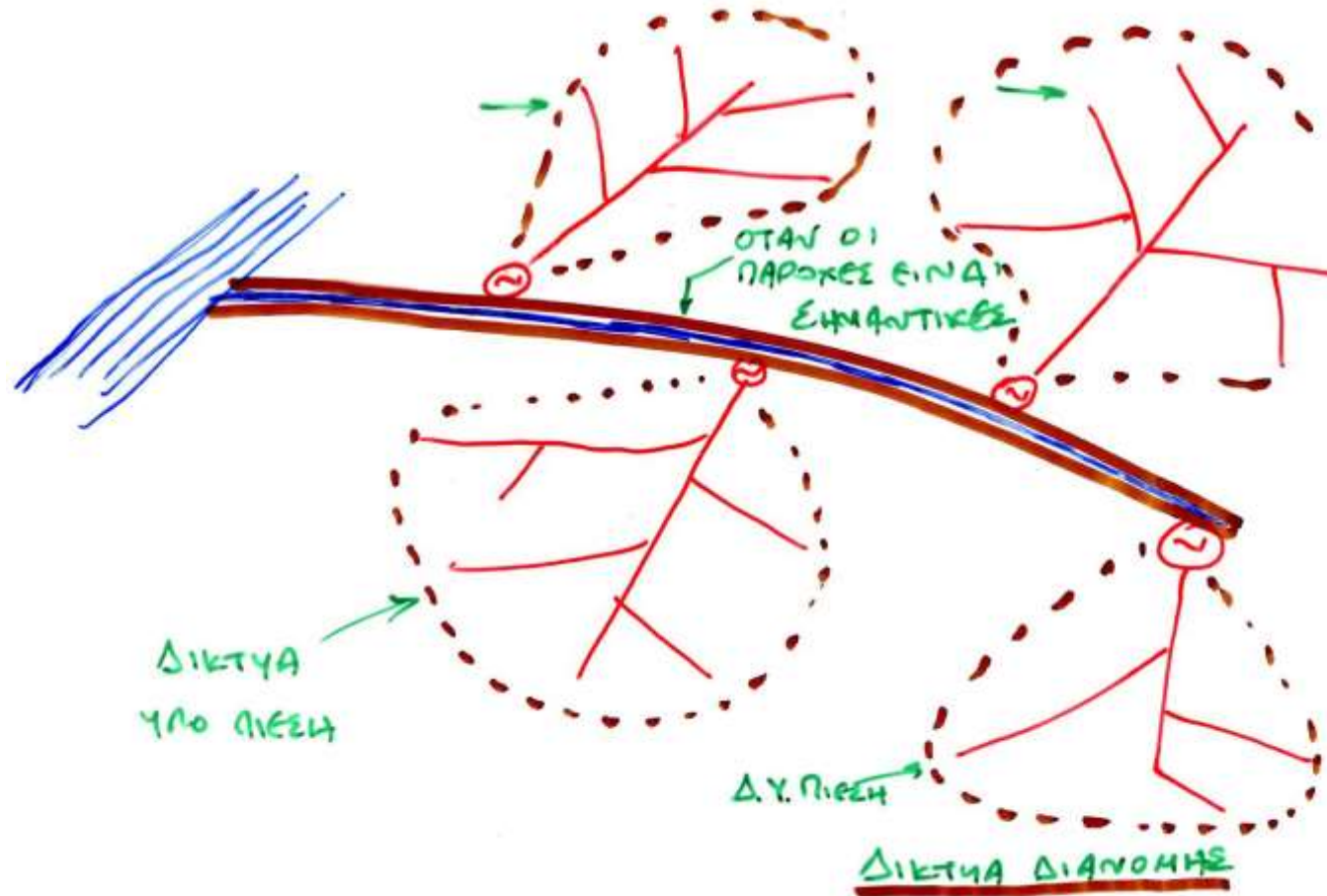


Υδροληψία δικτύου υπό πίεση





Συλλογικό δίκτυο όπου υπάρχει συνδυασμός ανοιχτών και κλειστών αγωγών



Το κείμενό σας

Επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης στο
αγροτεμάχιο
(πανάρχαιες μεθοδοι)

Τυπική ενδεικτική διάταξη τριτεύουσας αγροτικής οδού, διώρυγας και τάφρου



Μεγάλες απώλειες μάζας νερού σε απορροή και βαθιά διήθηση
Χαμηλή απαίτησή σε ενέργεια

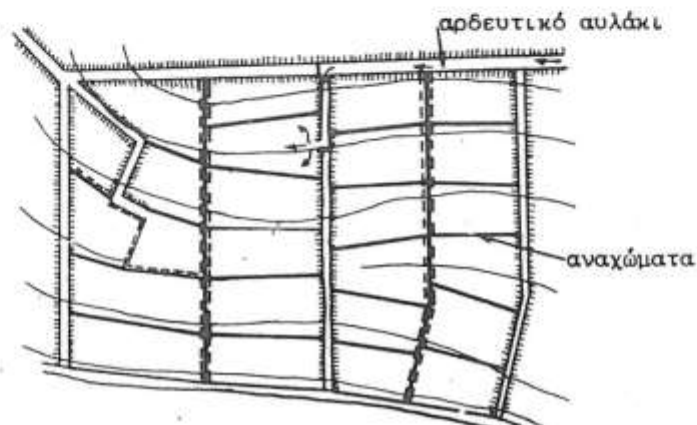
Λεκάνες κατάκλισης



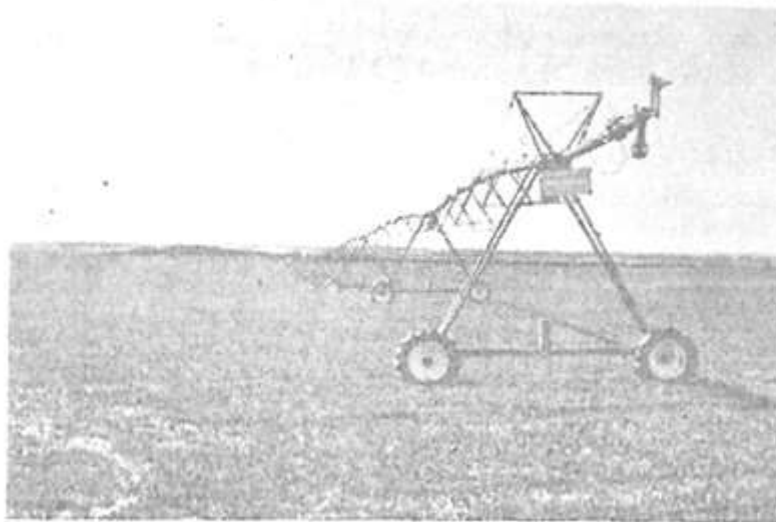
Σχήμα 9.4. Τυπικό σύστημα λεκανών.

Πιν. 6.1 Συνιστώμενα μεγέθη λεκανών στη μέθοδο της περιστροφής

Εύσταση Εδάφους	Έκταση λεκάνης, m ²		
	Αρδευτική Κεφαλή 30 lt/sec	Αρδευτική Κεφαλή 60 lt/sec	Αρδευτική Κεφαλή 120 lt/sec
Ελαφρά	100- 150	100- 150	100- 150
Μέση	200- 400	400- 800	400- 800
Βαρύ	500-1000	1500-2000	3000-5000



Καταιονισμός



Σχήμα 6: Μετακινούμενες σωληνώσεις



Σταγδην άρδευση: η πιο οικονομική μέθοδος από πλευράς κατανάλωσης νερού

Άρδευση στο αγροτεμάχιο

- Επιφανειακές μέθοδοι
 - Εύκολη εφαρμογή, απαραίτητη για κάποιες καλλιέργειες (π.χ. ρύζι), μικρή κατανάλωση ενέργειας
 - Μεγάλη απώλεια νερού
 - Κακή αποστράγγιση
 - Μεγάλη ευαισθησία σε ανάγλυφο
- Καταιονισμός
 - Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, αυξημένο κόστος εγκατάστασης, απαγορευτικό για κάποιες καλλιέργειες
 - Εξοικονόμηση νερού σε σχέση με τις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης
- Στάγδην άρδευση
 - αυξημένο κόστος εγκατάστασης
 - Εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τον καταιονισμό (χαμηλές πιέσεις)
 - Περίπλοκη εφαρμογή, κίνδυνος έμφραξης σταλλακτών
 - Η πλέον Εξοικονόμηση νερού, καλή γεωπονική απόδοση
 - Καλύτερη προσαρμογή στο ανάγλυφο

Απόδοση

(αυτή η ποσότητα μάζας νερού που τελικά καταλήγει στο ριζόστρωμα)

Απόδοση δικτύου

- Λόγος νερού που φτάνει στα όρια του αγροτεμαχίου προς το εφαρμοζόμενο νερό στην αρχή του δικτύου (ανάντη)
- *Μεταφορά με διώρυγες: μεγάλη απώλεια νερού λόγω διήθησης και εξάτμισης*

Απόδοση άρδευσης στο αγροτεμάχιο

- Λόγος νερού που φτάνει στο αγροτεμάχιο προς το λόγο νερού που εφαρμόζεται στο χωράφι

$$V_{\text{σχεδ}} (\text{ανάντη}) = \frac{V^*}{(E_d * E_f)}$$

$$1/(E_d * E_f) > 1$$

Οικονομία νερού:
-αγωγοί υπό πίεση
Όχι επιφανειακές –
μέθοδοι Άρδευσης

Μυλόπουλος και
Κολοκυθά, 2007

ΤΥΠΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (E_d)
Επιφανειακό	Πολύ καλή μέχρι άριστη	0,60-0,75
	Ικανοποιητική	0,50-0,60
	Ελλιπής	0,35-0,50
	Κακή	0,20-0,35
Υπό πίεση	Ικανοποιητική μέχρι άριστη	0,80-0,95
ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ		ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (E_f)
Κατάκλυση (λεκάνες)		0,06-0,80
Αυλάκια		0,50-0,75
Καταιονισμός: Κλασσικό σύστημα		0,60-0,80
Αυτοκινούμενος εκτοξευτήρας		
υψηλής πίεσης (καρούλι)		0,55-0,75
Αυτοκινούμενη γραμμή άρδευσης		0,75-0,90
Περιστρεφόμενο σύστημα (Pivot)		0,75-0,90
Στάγδην		0,80-0,95

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές αποδοτικότητας δικτύου σε οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα : $E_f * E_d$

ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Εκτός ύλης , για πληρότητα της παρουσίασης
- Στη διαχείριση εξετάζουμε τη μέση κατανάλωση νερού κάθε μήνα
- Στον υδραυλικό σχεδιασμό του δικτύου εξετάζουμε **το μήνα αιχμής και για την αιχμή μέσα στην ημέρα**. Για παράδειγμα η παροχή σχεδιασμού σε επιφανειακά δίκτυα άρδευσης συνεχούς λειτουργίας η παροχή σχεδιασμού προσδιορίζεται κυρίως με βάση τις καθαρές ανάγκες τον Ιούλιο:
- $Q = k/E * Q_{\text{ΜΙουλίου}}$, **E**: συντελεστής απωλειών νερού, **K**: **συντελεστής αιχμής που αυξάνει με την ομοιομορφία**

3) Πόσο συχνά ποτίζω?

*Πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο
εδαφικός πόρος*

ΕΙΔΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΥΡΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Έδαφος

- Μέσο ανάπτυξης καλλιεργειών
- Λειτουργεί ως σφουγγάρι αποθηκεύοντας νερό και θρεπτικά συστατικά στους πόρους του
- Λειτουργεί ως βάνα αφού πλησίον του κορεσμού εμφανίζει βαθιά διήθηση και απορροή
- Δίνει θρεπτικά στις καλλιέργειες
- Ενδιαίτημα για έμβιους οργανισμούς και συμβάλλουν στην καλλιέργεια
- Φυσική υποστήριξη για κάθε λειτουργία

Εδαφικό νερό

τρίες απομονωμένες κατηγορίες:

α. Το νερό βαρύτητας που έχει άνω όριο το σημείο κορεσμού και κάτω όριο την υδατοϊκανότητα και απομακρύνεται από την εδαφική ζώνη του ριζοστρώματος με την επίδραση της βαρύτητας.

β. Το τριχοειδές νερό που συγκρατείται στο έδαφος με την αρνητική πίεση και αποτελεί την κύρια πηγή νερού για τις καλλιέργειες. Το άνω όριο του είναι η υδατοϊκανότητα και το κάτω είναι η ξηρότητα στον αέρα.

γ. Το υγροσκοπικό νερό που συγκρατείται με προσρόφηση σε μορφή λεπτού φιλμ γύρω από τους κόκκους και δεν είναι διαθέσιμο για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Νερό στο έδαφος

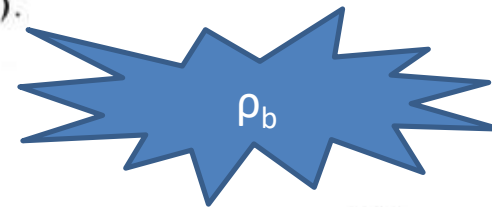
- α. Ελεύθερο νερό, ή νερό βαρύτητας (δεν συνεισφέρει).
- β. Τριχοειδές νερό. Έτσι χαρακτηρίζεται το νερό που συγκρατείται στους τριχοειδείς πόρους του εδάφους κάτω από την επίδραση δυνάμεων επιφανειακής τάσεως και μοριακής έλξεως. (κύρια πηγή για φυτά)
- γ. Υγροσκοπικό νερό. Έσγκρατείται με τη μορφή λεπτότατων μεμβρανών γύρω από την επιφάνεια των κόκκων του (δε λαμβάνεται υπόψη)

Φαινόμενη πυκνότητα λαμβάνεται υπόψη και οι πόροι

Φαινομενική Πυκνότητα

Η φαινομενική ή φαινόμενη πυκνότητα ή φαινόμενη ξηρή πυκνότητα (dry bulk density - ρ_b) ορίζεται ως λόγος της μάζας του ξηρού εδάφους στη φυσική του κατάσταση δια του συνολικού όγκου του εδάφους περιλαμβανομένων και των πόρων V_t (Σχήμα 4.1).

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_s}{V_s + V_a + V_w}$$



(4.2)



Σκ. 4.1: Διάγραμμα διαχωρισμού του συστήματος των τριών φάσεων του εδάφους.

Εδαφική υγρασία

α. Περιεκτικότητα κατά βάρος (θ_g)

Η περιεχόμενη ποσότητα νερού κατά βάρος (gravimetric water content) εκφράζεται ως λόγος της μάζας του νερού, m_w δια της μάζας του ξηρού εδάφους του δείγματος, m_s :

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_s}$$

ξηρή οφθαλμική
κατά βάρος

(4.6)

β. Περιεκτικότητα κατ' όγκο (θ ή θ_v)

Η περιεχόμενη ποσότητα νερού κατ' όγκο εκφράζεται από το λόγο του όγκου του νερού V_w δια του όγκου του δείγματος (εδάφους και πόρων) V_t :

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$

(4.7)

Υδατοϊκανότητα εδάφους

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων άρδευσης είναι χρήσιμη από πρακτικής άποψη η ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας σε κατηγορίες. Μετά από επαρκή βροχή ή άρδευση, το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού αέρα εκτοπίζεται από την εδαφική ζώνη που θεωρούμε, με αποτέλεσμα όλοι οι πόροι να γεμίσουν από νερό. Τότε λέμε ότι το έδαφος από άποψη υγρασίας έφθασε στον κορεσμό (saturation, θ_s). Ο κορεσμός εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να υπάρξει σε μια εδαφική ζώνη. Με την προϋπόθεση ότι προστατεύουμε την εδαφική ζώνη από την εξάτμιση, η περιεχόμενη ποσότητα νερού μειώνεται μόνο λόγω της επίδρασης της βαρύτητας και της στράγγισης που λαμβάνει χώρα και διαρκεί ένα αρκετά μεγάλο διάστημα. Στην πράξη θεωρούμε συνήθως ότι το σύστημα αποκτά ισορροπία, δηλαδή η στράγγιση τείνει να γίνει μηδενική 1.5 με 2 ημέρες μετά από την επαρκή βροχή ή άρδευση και η περιεχόμενη υγρασία τείνει σε ένα όριο. Το όριο αυτό είναι γνωστό ως υδατοϊκανότητα του εδάφους

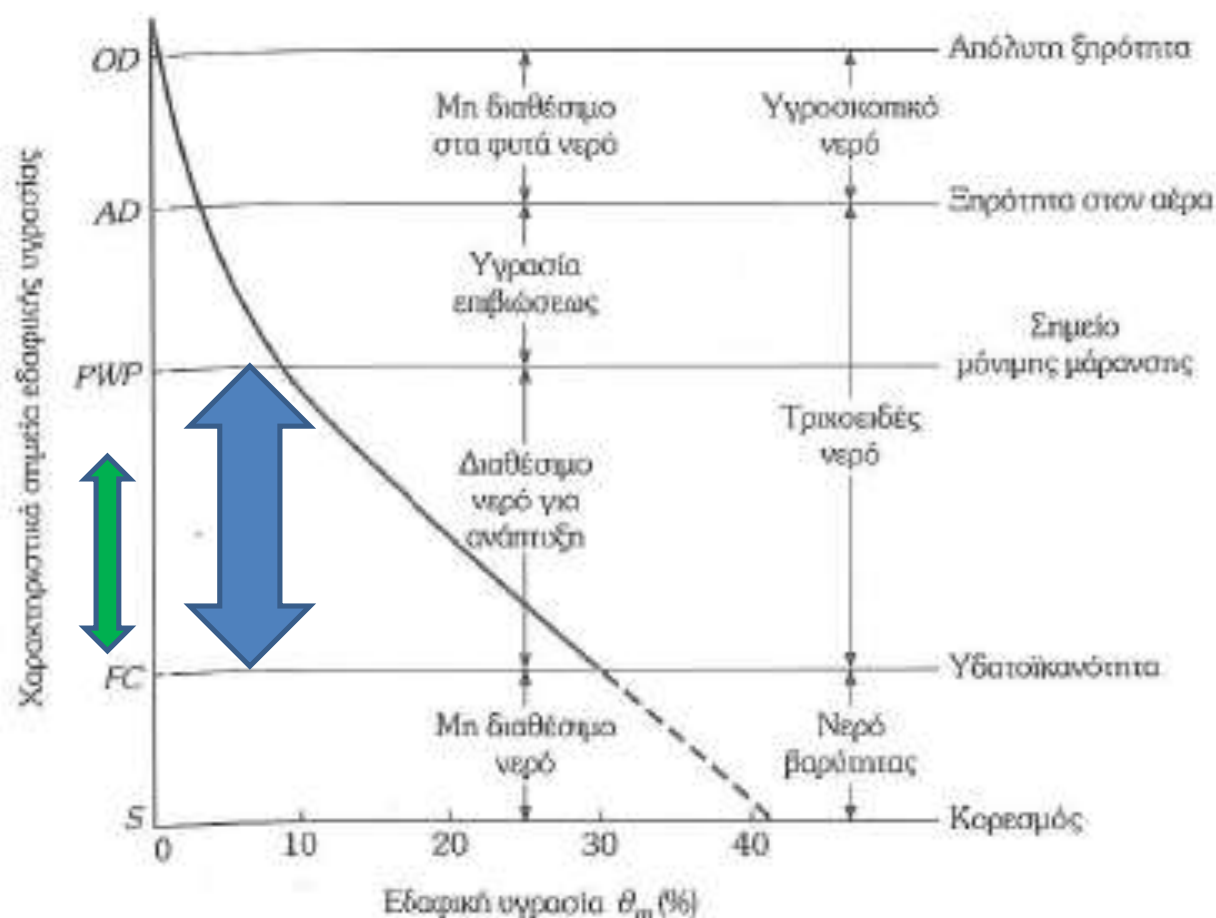
(*field capacity, FC*). Η υδατοϊκανότητα είναι χαρακτηριστικό του εδάφους και εξαρτάται κυρίως από τη μηχανική σύσταση και τη δομή του.

Σημείο μόνιμης μαράνσεως

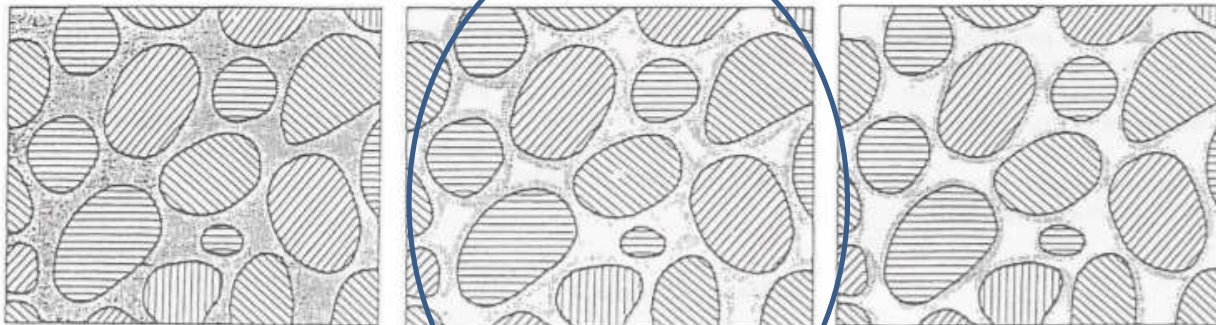
Στον σχεδιασμό των αρδευτικών έργων η υδατοϊκανότητα αποτελεί το άνω όριο αποθήκευσης νερού στο έδαφος για χρησιμοποίηση από τις καλλιέργειες. Συνήθως αντιστοιχεί σε μύζηση 0.1 έως 0.5 bar με την πρώτη τιμή για ελαφρά εδάφη και τη δεύτερη για συνεκτικά.

Για τον καθορισμό της υδατοϊκανότητας στο εργαστήριο προτείνεται συνήθως να εφαρμόζεται στο εδαφικό δείγμα μύζηση 1/3 bar για εδάφη μέσης σύστασης.

Οι καλλιέργειες καταναλώνουν νερό από μια εδαφική ζώνη μέχρι ενός κατώτερου ορίου υγρασίας. Το κατώτερο αυτό όριο του διαθέσιμου εδαφικού νερού λέγεται *Σημείο Μόνιμης Μάρανσης* (Permanent Wilting Point, PWP). Όταν η υγρασία φθάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης τότε τα φυτά δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους οπότε η ανάπτυξη τους διακόπτεται και μαραίνονται.



Σχ. 4.3: Διάγραμμα που δείχνει την ταξινόμηση του εδαφικού νερού και τα χαρακτηριστικά όρια της εδαφικής υγρασίας.



α. Κορεσμός

(Οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό).

β. Υδατοϊκανότητα

(Το νερό συγκρατείται από τους εδαφικούς κόκκους, μετά την απομάκρυνση με τη βαρύτητα του πλεονάζοντος νερού)

γ. Σημείο μόνιμης μάρανσης

(Το νερό συγκρατείται από τους εδαφικούς κόκκους πολύ σφιχτά και δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά.

Σχήμα 2. Συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Θεοχάρης, σημειώσεις

Πίνακας 1.1 Τα χαρακτηριστικά των εδαφικών σωματιδίων

Χαρακτηρισμός	Διάμετρος, mm	Αριθμός σωματιδίων ανά g	Επιφάνεια σωματιδίων σε $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$
Άμμος	2,00-0,05		
πολύ χονδρή	2,00-1,00	90	11
χονδρή	1,00-0,50	720	23
ενδιάμεση	0,50-0,25	5.700	45
λεπτή	0,25-0,10	46.000	91
πολύ λεπτή	0,10-0,05	722.000	227
Ιλύς	0,05-0,002	5.776.000	454
Άργιλος	< 0,002	90.000.000	8.000.000

Είδη εδαφών

Πίνακας 1.2 Γενικές κατηγορίες εδαφών και αντίστοιχοι τύποι υφής

Κατηγορία	Αντίστοιχοι τύποι υφής
Αμμώδες ή ελαφρό	Άμμος, πηλώδης άμμος
Πηλώδες ή μέσο	Αμμώδης πηλός, Πηλός, Γλυοπηλώδες, Γλύς, Αργιλώδης πηλός, Αμμοαργιλώδης πηλός, Γλιοαργιλώδης πηλός.
Αργιλώδες ή βαρύ ή συνεκτικό	Αμμοαργιλώδες, Γλιοαργιλώδες, Άργιλος

Παπαζαφειρίου, 1999

Ανάλογα με το ποσοστό του κάθε κλάσματος τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως ελαφρά, μέσα ή βαριά. Εδάφη στα οποία επικρατεί η άργιλος τείνουν να χαρακτηριστούν ως βαριά, ενώ αν επικρατεί η άμμος τείνουν να χαρακτηριστούν ως ελαφρά. Εδάφη στα οποία τα τρία κλάσματα μετέχουν περίπου ισόποσα χαρακτηρίζονται ως ηλώδη.



Ελαφρύ έδαφος



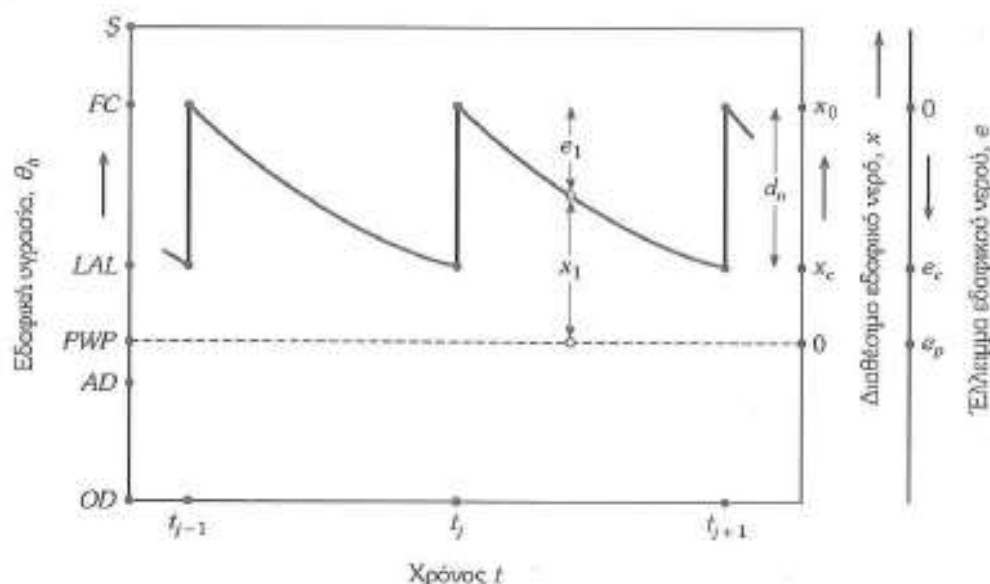
Βαρύ έδαφος

Εύρος

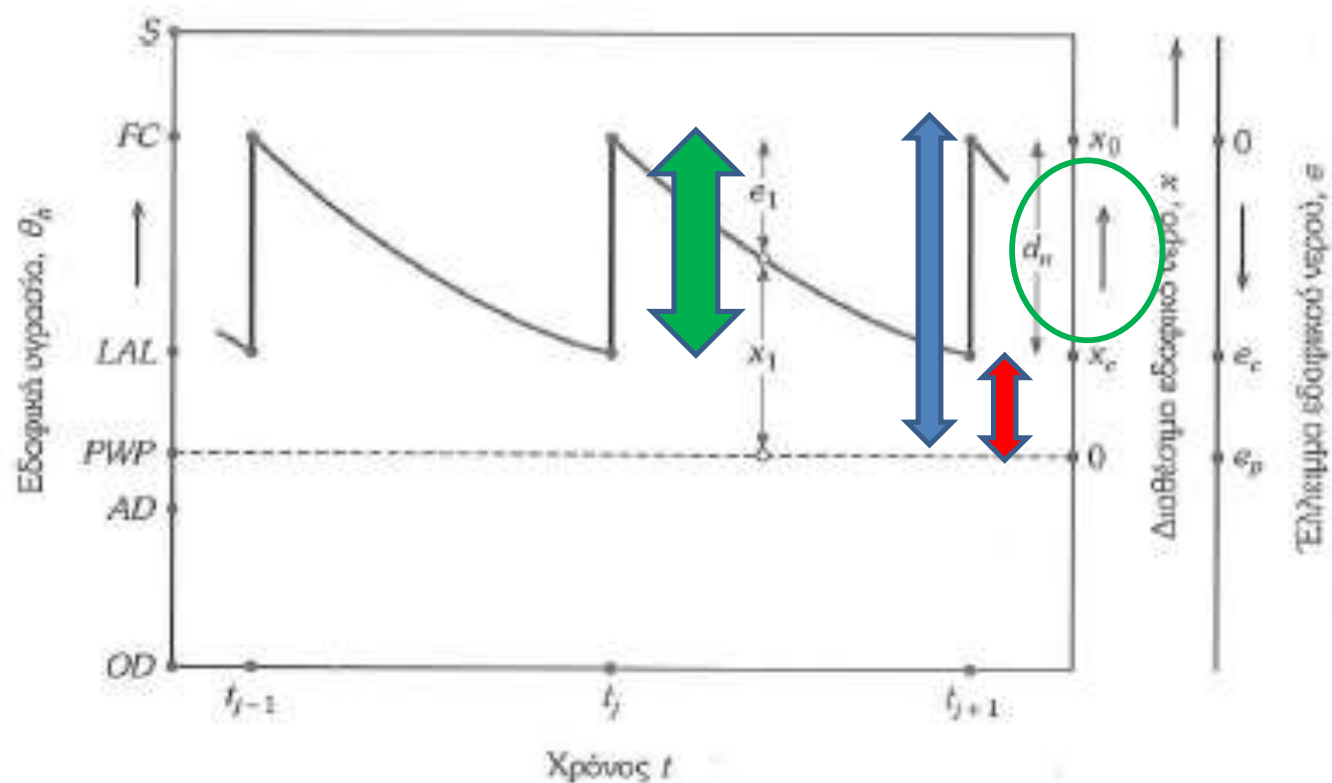
(ριζόστρωμα $\approx$ λειτουργία ταμιευτήρα)

Σχεδιάζω ώστε η υγρασία στο ριζόστρωμα να κυμαίνεται μεταξύ της μέγιστης υδατοϊκανότητας (μετά το πότισμα) και θεωρητικά μέχρι το σημείο της μόνιμης μαράνσεως (στην πράξη με μικρότερο εύρος αφού για το σημείο μόνιμης μαράνσεως θεωρώ ένα συντελεστή ασφαλείας)

Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται επίσης η αντιστοιχία των τιμών θ_d , x , και e . Το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο μείωσης της υγρασίας (Lower Allowable Limit, LAL), που αναφέρεται στο σχήμα, είναι εξαιρετικά σημαντική παράμετρος για τον σχεδιασμό των αρδευτικών δικτύων και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων. Το όριο αυτό αποτελεί κατά ένα τρόπο ένα συντελεστή ασφαλείας για τις καλλιέργειες ώστε η περιεχόμενη υγρασία να μην υπάρχει κίνδυνος να κατέλθει στο επίπεδο του σημείου της μόνιμης μάρανσης με άμεσο κίνδυνο για την παραγωγή. Ανάλογα με την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών στην έλλειψη νερού (αγρονομικά στοιχεία) και την αξία της παραγωγής (οικονομικά στοιχεία) εκλέγεται το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο διαθέσιμης υγρασίας, που αντιστοιχεί σε διαθέσιμο ύψος νερού, x_c . Συνήθως $0.25 x_0 < x_c < 0.80 x_0$. Οι πιο συνήθεις τιμές του λόγου x_c/x_0 είναι $1/4$, $1/3$, $1/2$ και $2/3$.



Σχ. 4.4: Τυπική μεταβολή της μέσης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα με την εφαρμογή των αρδεύσεων στους χρόνους t_{j-1} , t_j και t_{j+1} με θεωρητικώς απαιτούμενο ύψος νερού $d_n = e_c$.



Σχ. 4.4: Τοπική μεταβολή της μέσης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα με την εφαρμογή των αρδεύσεων στους χρόνους t_{j-1} , t_j και t_{j+1} με θεωρητικώς απαιτούμενο ύψος νερού $d_n = e_c$.

Εύρος άρδευσης

Εύρος άρδευσης:

Το εύρος άρδευσης μετριέται σε ημέρες και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$T = \frac{x_0 - x_c}{IR_n} = \frac{d_n}{IR_n}$$

όπου T είναι το ζητούμενο εύρος άρδευσης, d_n **το καθαρό ύψος εφαρμογής** σε mm και IR_n το μέσο ημερήσιο ύψος αναγκών σε νερό σε mm/ημέρα.

Το εύρος άρδευσης προσδιορίζει πότε πρέπει να γίνει το επόμενο πότισμα και εξαρτάται από το τύπο του εδάφους, την καλλιέργεια και τους παράγοντες που επηρεάζουν την δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Εύρος άρδευσης

- Δόση άρδευσης (αριθμητής), πόσο ποτίζω, εξαρτάται κύρια από το έδαφος και λιγότερο από το βάθος ριζοστρώματος, με λίγο λάθος σταθερό
- Σε αμμώδη εδάφη η δόση άρδευσης είναι μικρή σε αντίθεση με τα λεπτόκοκκα εδάφη
- Για την ίδια καλλιέργεια για τις ίδιες ανάγκες (παρονομαστής) σε αμμώδη εδάφη ποτίζω πιο λίγο (μικρότερη δόση) και πιο συχνά (μικρότερο εύρος)
- Το εύρος άρδευσης διαφέρει από μήνα σε μήνα

ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΗ ΝΕΡΟΥ

Παραγωγικότητα νερού

- Όφελος (ή φυσικές μονάδες) (ετήσιο) ανά m^3 νερού (ετήσιο) NB/W, ($€/m^3$).
- Εξαρτάται:
 - είδος καλλιέργειας
 - συνθήκες εδάφους και κλίματος στην περιοχή
 - διαθεσιμότητα νερού
 - πρακτική αρδεύσεων
 - οικονομικές πρακτικές
- Διακύμανση παραγωγικότητας νερού ανά περιοχή, αντικειμενικές και υποκειμενικές συνθήκες

Παραγωγικότητα του Νερού

- μεγαλύτερη παραγωγή με λιγότερο νερό (More crop per drop)-

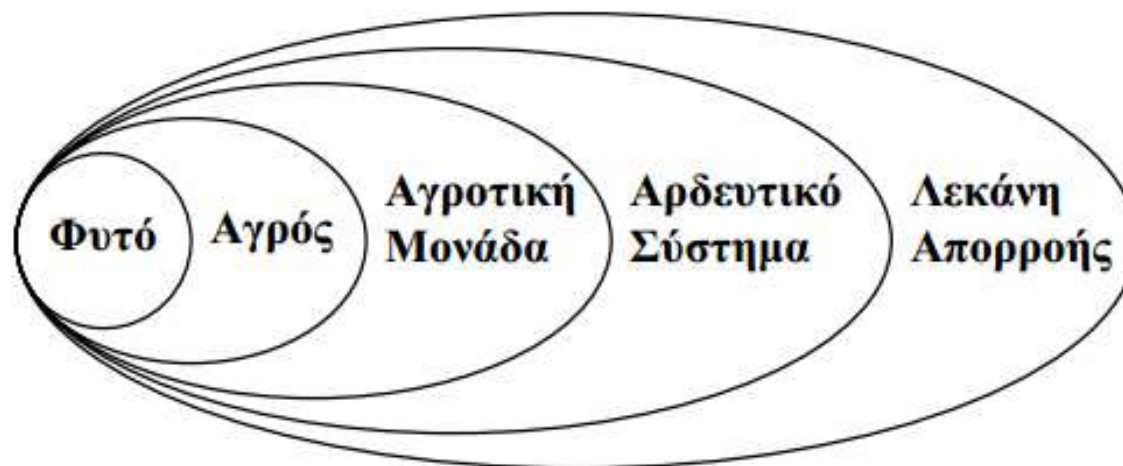
$$WP = \frac{\text{όφελος}}{\text{νερό}}$$

όφελος: σε φυσικούς ή οικονομικούς όρους

νερό: σε μονάδες όγκου νερού

Η κλίμακα επηρεάζει τον τρόπο υπολογισμού

- Κλίμακες για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας του νερού



Τσακίρης, 2014

Τι πρέπει να γίνει στα αρδευτικά δίκτυα;

- μείωση απωλειών στα δίκτυα
- βελτίωση μεθόδων άρδευσης
- καλύτερα αποτελέσματα με επιστημονική υποστήριξη

Μείωση καταναλώσεων
Αύξηση παραγωγικότητας

Αύξηση παραγωγικότητας

- Επιλογή του κατάλληλου συστήματος άρδευσης με βάση φυσικά κριτήρια (π.χ. τοπογραφία), την κοινωνική κατάσταση στην περιοχή μελέτης, και τις οικονομικές συνθήκες στην περιοχή
- Κατάλληλες υδραυλικές κατασκευές ρύθμισης της ροής και μετρητικός εξοπλισμός
- Τεχνολογίες μείωσης της εξάτμισης
- Χρήση αυτοματισμών για τον έλεγχο της ροής του νερού σε αρδευτικά συστήματα
- Νομοθετικά μέτρα
- Τιμολόγηση αρδευτικού νερού (είτε με βάση την καλλιεργούμενη έκταση, είτε -το σωστότερο- με βάση τον όγκο του νερού που χρησιμοποιείται)
- Ανακύκλωση
- Διαχείριση αποθεμάτων ταμιευτήρων.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

Διαχείριση της Αρδευτικής ζήτησης προβληματισμοί

- Η αρδευτική ζήτηση εξαρτάται κύρια από την θερμοκρασία
- Επιλογή καλλιεργειών λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα νερού
- Εκσυγχρονισμός δικτύων και πρακτικών στις αρδεύσεις (π.χ. αυτοματισμοί)
- Τιμολόγηση νερού
- Συνθήκες ξηρασίας
- Χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων

κυριότερα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης νερού για άρδευση

Τα κυριότερα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης νερού για άρδευση είναι:

- Η αύξηση της παραγωγικότητας των αρδευτικών έργων (εκσυγχρονισμός δικτύων, αυτοματισμοί, ενημέρωση αγρότη κλπ)
- Η ανάπτυξη της βέλτιστης σύνθεσης καλλιεργειών
- Η διαχείριση των εδαφικών πόρων
- Η επαναχρησιμοποίηση νερού αποβλήτων (συνήθως των αστικών)

Ήπιες εναλλακτικές από περιβαλλοντική σκοπιά

**Μέτρα εξοικονόμησης νερού χωρίς άμεσο
κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος**

- Εκσυγχρονισμός δικτύων ύδρευσης-άρδευσης
- Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Τιμολόγηση νερού

Επιλογή καλλιεργειών

Ανακύκλωση

«Ελαστικότητα της ζήτησης», συνθήκες ξηρασίας

- Μπορούν να αφήνονται ακαλλιέργητες γεωργικές εκτάσεις με μονοετείς καλλιέργειες (συνδυασμός με αγρανάπαυση) ή να καλλιεργούνται με ξηρικές καλλιέργειες, ενώ το διαθέσιμο νερό πρέπει να διατίθεται στις πολυετείς καλλιέργειες για την αποφυγή ζημιών μεγάλης κλίμακας. Είναι αυτονόητο ότι αυτού του τύπου οι διευθετήσεις πρέπει να συνδυάζονται με κατάλληλο σύστημα γεωργικών ασφαλίσεων και αποζημιώσεων (Κουτσογιάννης, 2014).
- Επιπλέον μπορεί να διερευνηθεί η ελλαττωματική άρδευση

ΚΑΘ Ν ΔΕΡΚΑΣ

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Τομείς που χρήζουν βελτίωσης

1. Λειτουργία, διαχείριση και συντήρηση των συλλογικών έργων
2. Τεχνική υποστήριξη των αγροτών
3. Μελέτη και προγραμματισμός συμπληρωματικών έργων
4. Εμπορική, διοικητική και οικονομική διαχείριση.

Απαιτούμενα μέτρα

- 1. Δημιουργία οργανισμών που θα διασφαλίζουν την αποτελεσματική διαχείριση του αρδευτικού νερού.**
- 2. Ανάταξη και εκσυγχρονισμός των υφισταμένων έργων και προγραμματισμός νέων.**
- 3. Αποτελεσματική τεχνική υποστήριξη των αγροτών**

Αναλυτικές προτάσεις βελτίωσης (1/2)

- **Σοβαρότερες μελέτες της γεωργικής ανάπτυξης και των αρδευτικών αναγκών των χρηστών** σε μελέτες νέων δικτύων και σε μελέτες Ανάταξης και Εκσυγχρονισμού εγγειοβελτιωτικών έργων εν λειτουργία.
- **Βελτίωση της διαχείρισης και συντήρησης** των συλλογικών έργων, σε επίπεδο Λεκάνης Απορροής.
- **Βελτίωση της οργανωτικής δομής:**
- Δημιουργία νέων ευέλικτων οργανισμών κοινής ωφέλειας που θα επικουρούν τους υπάρχοντες (με το κατάλληλο προσωπικό, την τεχνογνωσία και το μέγεθος για να φέρουν σε πέρας επιτυχώς το έργο της διαχείρισης των υδατικών πόρων).
- **Τεχνική καθοδήγηση των αγροτών από ειδικούς επιστήμονες** για μια αποτελεσματικότερη χρήση του αρδευτικού νερού (δημιουργία Γραφείων άρδευσης).
- **Χρέωση του νερού** σύμφωνα με τον καταναλισκόμενο όγκο και όχι σύμφωνα με την αρδευόμενη έκταση.

Αναλυτικές προτάσεις βελτίωσης(2/2)

- **Χρήση** συστημάτων **νέας τεχνολογίας** όπως οι υδροληψίες με ηλεκτρονικές κάρτες που θα συμβάλουν στην ορθολογικότερη κατανάλωση ύδατος.
- Δημιουργία **συστημάτων ηλεκτρονικής διακυβέρνησης**.
- **Εύρεση οικονομικών πόρων**. Η ενιαία διαχείριση των χρήσεων ύδατος (αγροτική, αστική, βιομηχανική) μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της οικονομικής κατάστασης των οργανισμών διαχείρισης και στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των έργων.
- **Εισαγωγή νέων καλλιεργειών** (ή νέων ποικιλιών) με καλύτερη αποτελεσματικότητα της χρήσης του νερού.
- Αυστηρός **έλεγχος στην αδειοδότηση νέων γεωτρήσεων** και στη **λειτουργία των υπαρχουσών**.
- **Εισαγωγή του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους φυσικών πόρων**.
- **Έρευνα**

Καινοτομίες στον τρόπο λειτουργίας

- Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής
- Ενιαίος φορέας για όλες τις χρήσεις
- Δίκαιη κατανομή και χρέωση ύδατος ανά χρήση
- Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων έργων πολλαπλής χρήσης.
- Επαναχρησιμοποίηση ανακτημένου ύδατος από τα απόβλητα μιας χρήσης στις επόμενες