



Ελληνική Δημοκρατία  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό  
Ίδρυμα Ηπείρου

# Αρδεύσεις (Εργαστήριο)

Ενότητα 11 : Υπολογισμός των αναγκών των  
καλλιεργειών σε νερό  
Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ

---

---

## 6.1. Εξατμισοδιαπνοή

### 6.1.1 Γενικά

Τα φυτά, για να τραφούν, παίρνουν νερό από το έδαφος με τα ριζικά τους τριχίδια με την ακόλουθη τεχνική :

Το πρώτο κύτταρο του ριζικού τριχιδίου, το οποίο έρχεται σε επαφή με το εδαφικό νερό, επειδή έχει κυτταρικό χυμό πυκνότερο από το διάλυμα του εδαφικού νερού, απορροφά νερό από το έδαφος, με αυτό τον τρόπο όμως χάνει την ισορροπία του με το αμέσως επόμενο κύτταρο του φυτού.

Το επόμενο κύτταρο του φυτού, επειδή έχει κυτταρικό χυμό πυκνότερο από τον κυτταρικό χυμό του πρώτου κυττάρου, παίρνει από αυτό νερό και έτσι το πρώτο κύτταρο επειδή δεν μπορεί να ισορροπήσει το διάλυμα του κυτταρικού του χυμού με το διάλυμα του εδαφικού νερού, απορροφά συνεχώς νερό από το έδαφος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και στα επόμενα κύτταρα του φυτού.

Το φυτό, αφού συγκρατήσει τα αναγκαία για να ζήσει θρεπτικά συστατικά, αποβάλλει το νερό από τα φύλλα υπό μορφή υδρατμών.

Η αποβολή αυτή του νερού λέγεται **διαπνοή**. Τα φυτά αποβάλλουν με τη διαπνοή το 99,8 % του νερού, που απορροφούν με τις ρίζες και μόνο το 0, 2 % χρησιμοποιούν για την δημιουργία ιστών τους.

Παράλληλα, με τη διαπνοή των φυτών, λαμβάνει χώρα και εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους της καλλιέργειας.

Με τον όρο **υδατοκατανάλωση**, των καλλιεργειών, εννοούμε την συνολική ποσότητα νερού, που χρησιμοποιείται για τη διαπνοή των φυτών, την εξάτμιση από τις επιφάνειες φυτών και εδάφους, καθώς και την ποσότητα που χρειάζεται για κατασκευή των ιστών και του κορμού.

Με τον όρο **εξατμισοδιαπνοή**, ( *evapotranspiration* ) εννοούμε την ποσότητα του νερού, που καταναλώνεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου.

Η διαπνοή, που είναι γενικά αποτέλεσμα βιολογικών διεργασιών, και η εξάτμιση, που είναι φυσικό φαινόμενο, αναφέρονται μαζί για ευκολία επειδή είναι δύσκολο να διαχωριστούν ποσοτικά.

Έρευνες των τελευταίων ετών οδήγησαν στο διαχωρισμό της εξάτμισης του εδάφους από τη διαπνοή. (Ritchie, 1974).

Η πραγματική διαπνοή συσχετίσθηκε με επιτυχία με παραμέτρους όπως το μέγεθος των φύλλων του φυτού, την εδαφική υγρασία και την δυναμική διαπνοή.

Όμως τέτοια διάκριση δεν γίνεται για όλους τους πρακτικούς σκοπούς όπου η εξατμισοδιαπνοή θεωρείται ενιαία μεταβλητή και ίση με την υδατοκατανάλωση.

## **6.1.2 Η εξατμισοδιαπνοή.**

### **6.1.2.(i) Γενικά.**

Από την εξατμισοδιαπνοή εξαρτώνται όχι μόνο οι απαιτούμενες ποσότητες αρδευτικού νερού, ανεξάρτητα από την προέλευσή του, αλλά και γενικά η εφαρμογή των αρδεύσεων και η οικονομική ευστάθεια των έργων, που κατασκευάζονται για το σκοπό αυτό.

Έτσι, η πραγματοποιούμενη εξατμισοδιαπνοή, αποτελεί σημαντικότερο κριτήριο για την διευθέτηση των διαφορών, οι οποίες ανακύπτουν κατά την κατανομή των νερών των μεγάλων ποταμών, σε διάφορες περιοχές, ή κράτη.

Στις ξηρές και τις ημίξηρες περιοχές, πριν να επιχειρηθεί η εξασφάλιση της εκμετάλλευσης όλων των υδατικών πόρων που υπάρχουν, ενδείκνυται να εξετασθούν κατά προτεραιότητα οι ανάγκες εξατμισοδιαπνοής στις διάφορες επί μέρους εκτάσεις.

### **6.1.2.(ii) Ορισμός της εξατμισοδιαπνοής.**

Η εξατμισοδιαπνοή, είναι το άθροισμα των εξής δύο παραγόντων :

1. Της διαπνοής, ήτοι της ποσότητας του νερού η οποία απορροφάται από τις ρίζες των φυτών και στη συνέχεια χρησιμοποιείται είτε για την διάπλαση των ιστών των φυτών, είτε αποβάλλεται από το φύλλωμα στον ατμοσφαιρικό αέρα και
2. Της εξάτμισης, ή οποία εκφράζει την ποσότητα του νερού, ή οποία εξατμίζεται από το παρακείμενο έδαφος, από την ελεύθερη επιφάνεια των υδαταποθηκών, διωρύγων κλπ., και από την επιφάνεια των φύλλων των φυτών.

Το νερό, το οποίο παρέχεται από τις βροχοπτώσεις, από τη δροσιά, ή από την άρδευση με καταιονισμό, και στη συνέχεια εξατμίζεται χωρίς να περάσει μέσα από τα φυτά, αποτελεί ένα μέρος της εξατμισοδιαπνοής.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι δυνατό να εκφράζει τις απαιτήσεις μίας καλλιέργειας, ενός χωραφιού, ενός κήματος, μίας περιοχής, ή και ολόκληρης πεδιάδας.

Όταν είναι γνωστή η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών, είναι δυνατό με ευκολία να υπολογιστεί η αντίστοιχη τιμή, που αφορά στις διάφορες εκτάσεις.

Έτσι, ο όρος εξατμισοδιαπνοή και η σχετική ανάπτυξη που γίνεται παρακάτω, αναφέρονται γενικά στις καλλιέργειες.

### **6.1.2.(iii) Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.**

Η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από φυσικούς και βιολογικούς παράγοντες.

## **α. Φυσικοί παράγοντες.**

Οι φυσικοί παράγοντες είναι οι παρακάτω :

1. Ηλιακή ακτινοβολία.
2. Θερμοκρασία.
3. Σχετική υγρασία του αέρα.
4. Ταχύτητα του ανέμου.
5. Γεωγραφικό πλάτος.

## **β. Βιολογικοί παράγοντες.**

Πέρα από τους φυσικούς παράγοντες, που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή, σπουδαίο ρόλο επίσης παίζουν και οι βιολογικές καταστάσεις.

Πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τις βιολογικές καταστάσεις των φυτών και κατέστησαν προφανή την κριτική περίοδο των καλλιεργειών.

Κριτική περίοδο μίας καλλιέργειας εννοούμε τη χρονική περίοδο κατά την οποία η καλλιέργεια παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό και σε θρεπτικά στοιχεία.

Η κριτική περίοδος, ή κρίσιμη περίοδος άρδευσης μίας καλλιέργειας, είναι διαφορετική από μία άλλη.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η κριτική περίοδος ορισμένων καλλιεργειών με βάση τα ερευνητικά στοιχεία του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων.

### **Πίνακας 1. Κριτική περίοδος διαφόρων καλλιεργειών.**

Καλλιέργεια	Κριτική περίοδος
Σιτάρι	Το προ του ξεσταχυάσματος 15ήμερο.
Καλαμπόκι	15 ημέρες προ, και 15 ημέρες μετά από την εμφάνιση των αρρένων οργάνων.
Ζαχαρότευτλα	Η περίοδος ανάπτυξης της ρίζας.
Βαμβάκι	Ο προηγούμενος μήνας από την άνθιση.
Πατάτες	Η περίοδος Σχηματισμού των κονδύλων.
Ροδακινιές	Έξι εβδομάδες πριν από τη συγκομιδή.
Μηλιές	Από τις αρχές Ιουνίου μέχρι τη συγκομιδή.

## **6.2. Μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής.**

### **6.2.1 Άμεσες μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής.**

Οι μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, υποθέτουν ότι υπάρχει πάντοτε επαρκές διαθέσιμο νερό στο έδαφος, το οποίο καταναλώνεται με την εξατμισοδιαπνοή.

Συνήθως σαν καλλιέργεια αναφοράς παίρνεται το γρασίδι. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς είναι η εξατμισοδιαπνοή από μία επιφάνεια πλήρως καλυμμένη από γρασίδι ομοιόμορφου ύψους 8 έως 15 cm, ελεύθερου από οποιαδήποτε ασθένεια με επαρκές διαθέσιμο νερό για την ανάπτυξή του.

Προφανώς λόγω κυρίως των διαφορετικών αεροδυναμικών και ανακλαστικών χαρακτηριστικών των καλλιεργειών, η δυναμική εξατμισοδιαπνοή κάθε καλλιέργειας δεν είναι ίση με αυτή της καλλιέργειας αναφοράς.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας  $PET_c$  μπορεί να προβλεφτεί αν είναι γνωστή η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς,  $PET$ , πολλαπλασιασμένη με ένα φυτικό συντελεστή,  $k_c$ , ο οποίος χαρακτηρίζει την διαφορά των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας από την καλλιέργεια αναφοράς.

Κατά καιρούς έχουν εφαρμοστεί διάφορες μέθοδοι για τη μέτρηση της ποσότητας του νερού, ή οποία καταναλώνεται από τα καλλιεργούμενα φυτά και από την της φυσικής αυτοφυή βλάστηση.

Ανεξάρτητα από την μέθοδο, που ακολουθείται, τα προβλήματα, που αντιμετωπίζονται κάθε φορά, είναι πολλά.

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για κάθε περίπτωση, μπορεί να γίνει ανάλογα με την προέλευση του νερού που χρησιμοποιείται από τα φυτά ( βροχοπτώσεις, άρδευση, φρεάτιος ορίζοντας ή και συνδυασμός αυτών).

Οι κυριότερες μέθοδοι είναι:

- Πειραματικές δεξαμενές και λυσιμετρικά δοχεία,
- Πειραματικοί αγροί,
- Μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους,
- Ολοκληρωτική μέθοδος και
- Υπολογισμός εισροών - εκροών.

Έμμεσες μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής.

Πολλοί ερευνητές μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας, της υγρασίας του αέρα, της τάσης των υδρατμών, της ταχύτητας του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην εξατμισοδιαπνοή.

Στην Αγγλία, ο H. Penman έκανε την πληρέστερη ανάλυση του θέματος, βασιζόμενος σε διάφορες μεταβλητές κλιματικών παραγόντων. Επίσης, οι έρευνες του C. Thornthwaite στις υγρές περιοχές των ανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών, των R. Lowry και A. Johnson και των H. Blaney και W. Criddle

στις ξηρές περιοχές των δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών, βασίστηκαν κυρίως στην επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας στην εξατμισοδιαπνοή.

### **6.2.1.(i) Η Μέθοδος του Penman.**

Ο Η. L. Penman εκτέλεσε την πληρέστερη θεωρητική διερεύνηση του θέματος, από την οποία προκύπτει ότι η υδατοκατανάλωση ευρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας  $ET_c$  μπορεί να προβλεφτεί αν είναι γνωστή η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς,  $ET_r$ , πολλαπλασιασμένη με ένα φυτικό συντελεστή,  $K_c$ , ο οποίος χαρακτηρίζει την διαφορά των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας από την καλλιέργεια αναφοράς.

Ο τύπος του Penman δίνει τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (υδατοκατανάλωση) από τη σχέση :  $ET_c = K_c \cdot ET_r$ .

όπου :

$ET_c$  = η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, σε mm / ημέρα.

$K_c$  = φυτικός συντελεστής και

$ET_r$  = η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ή βασική εξατμισοδιαπνοή, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση :

$$ET_r = C \cdot [ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) ] \text{ mm / ημέρα.}$$

Για να βρούμε επομένως τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή, με τη μέθοδο του Penman, πρέπει προηγουμένως να υπολογίσουμε τα  $K_c$  και  $ET_r$ .

## **6.3. Οι φυτικοί συντελεστές των καλλιεργειών.**

### **6.3.1.(i) Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης των ετήσιων καλλιεργειών**

#### **α) Καλαμπόκι.**

Ποικιλίες καλαμποκιού με πλήρη βιολογικό κύκλο σπέρνονται στα πεδινά από 15 Απριλίου έως 5 Μαΐου και συγκομίζονται από 5 έως 20 Σεπτεμβρίου. Στα ορεινά η σπορά γίνεται 10 - 15 ημέρες αργότερα. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου είναι 150 ημέρες και τα στάδια ανάπτυξης είναι τέσσερα, τα εξής:

1<sub>0</sub> στάδιο : 25 ημέρες.

2<sub>0</sub> στάδιο : 40 ημέρες.

3<sub>0</sub> στάδιο : 60 ημέρες.

4<sub>0</sub> στάδιο : 25 ημέρες.

### **β) Βαμβάκι.**

Καλλιεργείται μόνο στα πεδινά και η ιδανική ημερομηνία σποράς είναι η 20η Απριλίου, που μπορεί να παραταθεί μέχρι 15 Μαΐου. Συγκομιδή από 1 έως 20 Σεπτεμβρίου, που μπορεί να παραταθεί μέχρι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Νοεμβρίου. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου είναι 160 ημέρες και τα στάδια ανάπτυξης είναι τέσσερα, τα εξής:

1<sub>0</sub> στάδιο : 30 ημέρες.

2<sub>0</sub> στάδιο : 60 ημέρες.

3<sub>0</sub> στάδιο : 45 ημέρες.

4<sub>0</sub> στάδιο : 25 ημέρες

### **γ) Βιομηχανική ντομάτα.**

Στα πεδινά μεταφυτεύεται στο χωράφι από 15 Απριλίου μέχρι 5 Μαΐου και συγκομίζονται από 5 Αυγούστου. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου είναι 115 ημέρες και τα στάδια ανάπτυξης είναι τέσσερα, τα εξής:

1<sub>0</sub> στάδιο : 25 ημέρες.

2<sub>0</sub> στάδιο : 35 ημέρες.

3<sub>0</sub> στάδιο : 35 ημέρες.

4<sub>0</sub> στάδιο : 20 ημέρες.

### **δ) Ζαχαρότευτλα.**

Η σπορά γίνεται, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες από 1 Μαρτίου μέχρι 30 Απριλίου. Συγκομιδή γίνεται όταν τα τεύτλα φτάσουν στη μέγιστη περιεκτικότητα σε σάκχαρο. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου είναι 160 ημέρες και τα στάδια ανάπτυξης είναι τέσσερα, τα εξής:

1<sub>0</sub> στάδιο : 25 ημέρες.

2<sub>0</sub> στάδιο : 35 ημέρες.

3<sub>0</sub> στάδιο : 90 ημέρες.

4<sub>0</sub> στάδιο : 10 ημέρες.

### **6.3.1.(ii) Οι Φυτικοί Συντελεστές.**

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται οι τιμές των φυτικών συντελεστών για τις ετήσιες καλλιέργειες και για τους οπωρώνες - αμπελώνες.

**Πίνακας 6.1.** Τιμές του φυτικού συντελεστή,  $K_c$ , για ετήσιες καλλιέργειες.

Καλλιέργεια	Στάδιο ανάπτυξης			
	1 <sub>0</sub>	2 <sub>0</sub>	3 <sub>0</sub>	4 <sub>0</sub>
Αραβόσιτος	0,35	0,60	0,85	0,40
Βαμβάκι	0,30	0,60	0,90	0,45
Βιομηχανική ντομάτα	0,40	0,65	0,85	0,40
Ζαχαρότευτλα	0,35	0,60	0,85	0,70
Μηδική	Μέσος Συντελεστής: 0,85			
Χλοοτάπητες	Μέσος Συντελεστής: 1,00			

**Πίνακας 6.2.** Τιμές του φυτικού συντελεστή,  $K_c$ , για οπωρώνες και αμπελώνες.

Καλλιέργεια	Μήνας						
	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ
Αχλαδιά							
Βερικοκιά							
Δαμασκηλιά	----	0,45	0,50	0,80	0,65	0,60	----
Ροδακινιά							
Φιστικιά							
Καρυδιά							
Κερασιά	----	0,45	0,65	0,80	0,65	0,6	----
Μηλιά							
Εσπεριδοειδή	0,55	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,80
Αμπελώνες	----	0,30	0,35	0,50	0,4	0,35	----
Ελαιώνες	----	0,25	0,35	0,45	0,45	0,30	----

#### 6.4. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ή βασική εξατμισοδιαπνοή.

Ο υπολογισμός της  $ET_r$ , ακολουθεί την επόμενη διαδικασία:

α. Με βάση την μέση θερμοκρασία και το υψόμετρο της εξεταζόμενης περιοχής, υπολογίζουμε από τον πίνακα 4 την τιμή του συντελεστή  $W$ , που αντιπροσωπεύει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη βασική εξατμισοδιαπνοή.

Υπολογίζουμε επίσης το  $1 - W$ , που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου και της υγρασίας στη βασική εξατμισοδιαπνοή.

β. Υπολογίζουμε τη θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία  $R_a$ , σαν συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους, από τον πίνακα 5.

γ. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 6 την μέση θεωρητική ηλιοφάνεια  $N$ , που αντιστοιχεί στο μήνα και το γεωγραφικό πλάτος.

δ. Η πραγματική ηλιοφάνεια  $n$  παίρνεται από στατιστικά δεδομένα ή εκτιμάται.



ε. Υπολογίζουμε την πραγματική ηλιακή ακτινοβολία  $R_s$  (εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος εξατμιζόμενου νερού) από τη σχέση :

$$R_s = R_a \cdot \left[ 0,25 + 0,50 \cdot \left( \frac{n}{N} \right) \right] \text{ mm / ημέρα.}$$

στ. Από τη σχέση  $R_{ns} = 0,75 R_s$  (mm / ημέρα), ευρίσκουμε την καθαρή μικρού μήκους ακτινοβολία που απομένει μετά την ανάκλαση μέρους της  $R_s$  προς το περιβάλλον.

ζ. Από τον πίνακα 7 υπολογίζουμε την ποσότητα  $f(T) = \sigma (273 + T)^4$ , mm / ημέρα, όπου  $\sigma = 1,9867 \cdot 10^{-9}$  και  $T = \eta$  θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου.

η. Από τον πίνακα 8 υπολογίζουμε την πίεση κορεσμού των υδρατμών  $e_a$  και από τη σχέση :  $e_d = e_a \cdot RH_{min}$ , όπου  $RH_{min}$  είναι η μέση σχετική υγρασία του αέρα %, η οποία παίρνεται από τον πίνακα 9.

θ. Υπολογίζουμε το  $f(e_d)$  από τη σχέση:

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 (e_d)^{1/2}$$

ι. Υπολογίζουμε το  $f(n/N) = 0,1 + 0,9 (n/N)$ .

ια. Από τη σχέση  $R_{nl} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N)$ , mm / ημέρα, την  $R_{nl}$  που είναι η καθαρή μεγάλου μήκους ηλιακή ακτινοβολία και αντιπροσωπεύει τη διαφορά της ενέργειας που ακτινοβολεί η γη προς το περιβάλλον και αυτής που δέχεται η γη από το περιβάλλον σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

ιβ. Υπολογίζουμε το  $R_n = R_{ns} - R_{nl}$ , που είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος νερού (mm / ημέρα).

ιγ. Υπολογίζουμε το  $u_z = u_z \cdot \left( \frac{2}{z} \right)^{0,2}$  όπου  $z$  είναι το υψόμετρο και  $u_z$  η ταχύτητα του ανέμου στο υψόμετρο  $z$ .

ιδ. Υπολογίζουμε τη συνάρτηση  $f(u)$  που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου στην εξατμισοδιαπνοή, από τη σχέση :

$$f(u) = 0,27 \cdot \left( 1 + \frac{u_2}{100} \right)$$

ιε. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 10 το συντελεστή  $C$  σαν συνάρτηση του  $R_s$ , του  $RH_{max}$ , του  $u_2$  και του λόγου  $u_d/u_n$  όπου  $u_n$  είναι η ταχύτητα του ανέμου τη νύχτα σε m/sec και  $u_d$  η ταχύτητα του ανέμου την ημέρα.

ιστ. Τέλος από τη σχέση:

$E_{Tr} = C [ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) ]$ , υπολογίζουμε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς.

**Πίνακας 6.1.** Τιμές του σταθμιστικού παράγοντα  $W$ , που αντιπροσωπεύει την επίδραση της  $R_s$  στην  $E_{Tr}$ , για διάφορες θερμοκρασίες και υψόμετρα.

Θερμοκρασία	Υψόμετρο (m)				Θερμοκρασία	Υψόμετρο (m)			
°C	0	500	1000	2000	°C	0	500	1000	2000
2	0,43	0,45	0,46	0,49	22	0,71	0,72	0,73	0,75
4	0,46	0,48	0,49	0,52	24	0,73	0,74	0,75	0,77
6	0,49	0,51	0,52	0,55	26	0,75	0,76	0,77	0,79
8	0,52	0,54	0,55	0,58	28	0,77	0,78	0,79	0,81
10	0,55	0,57	0,58	0,61	30	0,78	0,79	0,80	0,82
12	0,58	0,60	0,61	0,64	32	0,80	0,81	0,82	0,84
14	0,61	0,62	0,64	0,66	34	0,82	0,82	0,84	0,85
16	0,64	0,65	0,66	0,69	36	0,83	0,84	0,85	0,86
18	0,66	0,67	0,69	0,71	38	0,84	0,85	0,86	0,87
20	0,68	0,70	0,71	0,73	40	0,85	0,86	0,87	0,88

**Πίνακας 5.** Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία,  $R_a$ , σαν συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους.

Μήνας	Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος					
	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Ιανουάριος	8,3	7,9	7,4	6,9	6,4	5,9
Φεβρουάριος	10,2	9,8	9,4	9,0	8,6	8,1
Μάρτιος	12,8	12,4	12,1	11,8	11,4	11,0
Απρίλιος	15,0	14,8	14,7	14,5	14,3	14,0
Μάιος	16,5	16,5	16,4	16,4	16,4	16,2
Ιούνιος	17,0	17,1	17,2	17,2	17,3	17,3
Ιούλιος	16,8	16,8	16,7	16,7	16,7	16,7
Αύγουστος	15,6	15,5	15,4	15,3	15,2	15,0
Σεπτέμβριος	13,6	13,4	13,1	12,8	12,5	12,2
Οκτώβριος	11,2	10,8	10,6	10,0	9,6	9,1
Νοέμβριος	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5
Δεκέμβριος	7,8	7,2	6,6	6,1	5,7	5,2

**Πίνακας 6.** Μέση θεωρητική ηλιοφάνεια,  $N$ , που αντιστοιχεί στο μήνα και το γεωγραφικό πλάτος.

Μήνας	Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος
-------	--------------------------

	32 <sup>ο</sup>	34 <sup>ο</sup>	36 <sup>ο</sup>	38 <sup>ο</sup>	40 <sup>ο</sup>	42 <sup>ο</sup>
Ιανουάριος	10,3	10,2	10,0	9,8	9,6	9,4
Φεβρουάριος	11,3	11,0	10,9	10,8	10,7	10,6
Μάρτιος	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Απρίλιος	13,0	13,1	13,1	13,2	13,3	13,4
Μάιος	13,8	13,9	14,1	14,3	14,4	14,6
Ιούνιος	14,2	14,4	14,6	14,8	15,0	15,2
Ιούλιος	14,1	14,2	14,4	14,6	14,7	14,9
Αύγουστος	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,9
Σεπτέμβριος	12,4	12,4	12,4	12,5	12,5	12,6
Οκτώβριος	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,1
Νοέμβριος	10,5	10,4	10,2	10,1	10,0	9,8
Δεκέμβριος	10,0	9,9	9,7	9,5	9,3	9,1

**Πίνακας 7.** Τιμές της σχέσης  $f(T) = \sigma (273 + T)^4$ , mm / ημέρα, όπου  $\sigma = 1,9867 \cdot 10^{-9}$  και  $T = \eta$  θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου.

Θερμοκρασία °C	$\sigma (273 + T)^4$ mm / ημέρα	Θερμοκρασία °C	$\sigma (273 + T)^4$ mm / ημέρα
-3	10,73	21	14,84
0	11,03	22	15,05
1	11,20	23	15,25
2	11,36	24	15,46
3	11,53	25	15,67
4	11,70	26	15,88
5	11,87	27	16,09
6	12,04	28	16,31
7	12,21	29	16,53
8	12,39	30	16,75
9	12,56	31	16,97
10	12,74	32	17,19
11	12,92	33	17,42
12	13,10	34	17,65
13	13,29	35	17,88
14	13,48	36	18,11
15	13,67	37	18,35
16	13,86	38	18,59
17	14,05	39	18,82
18	14,25	40	19,07
19	14,44	41	19,31
20	14,64	42	19,56

**Πίνακας 8.** Πίεση κορεσμού των υδρατμών,  $e_a$ , για διάφορες θερμοκρασίες του αέρα, σε mbar.

Θερμοκρασία °C	$e_a$ mbar	Θερμοκρασία °C	$e_a$ mbar	Θερμοκρασία °C	$e_a$ mbar	Θερμοκρασία °C	$e_a$ mbar
0	6,1	10	12,3	20	23,4	30	42,4
1	6,6	11	13,1	21	24,9	31	44,9
2	7,1	12	14,0	22	26,4	32	47,6
3	7,6	13	15,0	23	28,1	33	50,3
4	8,1	14	16,0	24	29,8	34	53,2
5	8,7	15	17,1	25	31,7	35	56,2
6	9,3	16	18,2	26	33,6	36	59,4
7	10,0	17	19,4	27	35,7	37	62,8
8	10,7	18	20,6	28	37,8	38	66,3
9	11,5	19	22,0	29	40,1	39	69,9

**Πίνακας 9.** Μέση σχετική υγρασία και μέση μέγιστη σχετική υγρασία διαφόρων περιοχών της Ελλάδας (κατά προσέγγιση).

Πόλεις	Μέση ελάχιστη σχετική υγρασία $RH_{\min}$ ( % )	Μέση μέγιστη σχετική υγρασία $Rh_{\max}$ ( % )
Αγρίνιο	45	80
Αθήνα	36	75
Αλεξ/πολη	40	85
Αργοστόλι	45	80
Άρτα	50	80
Βόλος	55	85
Δράμα	45	88
Έδεσσα	55	90
Ηράκλειο	53	75
Θεσ/νίκη	42	83
Θήβα	40	85
Ιωάννινα	40	90
Καβάλα	48	95
Καλαμάτα	50	85
Καρδίτσα	40	85
Καστοριά	55	90
Κατερίνη	55	80
Κέρκυρα	54	80
Κυκίς	40	80
Κοζάνη	40	85

Κομοτηνή	40	80
Κόρινθος	45	75
Λαμία	40	85
Λάρισα	40	85
Λιβαδειά	40	85
Μεσολόγγι	45	90
Μυτιλήνη	45	85
Νάουσα	50	85
Ξάνθη	40	80
Ορεστιάδα	48	85
Πάτρα	46	75
Πρέβεζα	61	85
Πύργος	45	75
Ρόδος	45	85
Σέρρες	50	88
Σπάρτη	50	80
Τρίκαλα	40	85
Τρίπολη	35	85
Φλώρινα	50	88
Χαλκίδα	40	85
Χανιά	52	78
Χίος	40	80

**Πίνακας 10.** Συντελεστής,  $C$ , σαν συνάρτηση του  $R_s$ , του  $Rh_{max}$ , του  $u_2$  και του λόγου  $u_d/u_n$  όπου  $u_n$  είναι η ταχύτητα του ανέμου τη νύχτα σε m/sec και  $u_d$  η ταχύτητα του ανέμου την ημέρα.

$U_2$ m/sec	$Rh_{max} = 30 \%$				$Rh_{max} = 60 \%$				$Rh_{max} = 90 \%$			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Πραγματική ηλιακή ακτινοβολία, $R_s$ , σε mm/ ημέρα												
1. $u_d/u_n = 1,0$												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,64	0,71	0,82	0,89	0,78	0,86	0,95	0,99	0,85	0,92	1,01	1,05
6	0,43	0,53	0,68	0,79	0,62	0,70	0,84	0,93	0,72	0,82	0,95	1,00
9	0,27	0,41	0,59	0,70	0,50	0,60	0,75	0,87	0,62	0,72	0,87	0,96
2. $u_d/u_n = 2,0$												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,69	0,76	0,85	0,92	0,83	0,91	0,99	1,05	0,99	0,98	1,10	1,14
6	0,53	0,61	0,74	0,84	0,70	0,80	0,94	1,02	0,79	0,92	1,05	1,12

9	0,37	0,48	0,65	0,76	0,59	0,70	0,84	0,95	0,71	0,81	0,96	0,06
3. $u_d/u_n = 3,0$												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,76	0,81	0,88	0,94	0,87	0,96	1,06	1,12	0,94	1,04	1,18	1,28
6	0,61	0,68	0,81	0,88	0,77	0,88	1,02	1,10	0,86	1,01	1,15	1,22
9	0,46	0,56	0,72	0,82	0,67	0,79	0,88	1,05	0,78	0,92	1,06	1,18
4. $u_d/u_n = 4,0$												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,79	0,84	0,92	0,97	0,92	1,00	1,11	1,19	0,99	1,10	1,27	1,32
6	0,68	0,77	0,87	0,93	0,85	0,96	1,11	1,19	0,94	1,10	1,26	1,33
9	0,55	0,65	0,78	0,90	0,76	0,88	1,02	1,14	0,88	1,01	1,16	1,27

## β. Η μέθοδος των Blaney - Criddle.

Οι Blaney - Criddle κατάρτισαν απλουστευμένους τύπους για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, η εφαρμογή των οποίων δεν απαιτεί την συλλογή μεγάλου αριθμού στατιστικών και μετεωρολογικών στοιχείων.

Για το λόγο αυτό έχουν γενικά επικρατήσει αυτοί οι τύποι στην Ελλάδα.

Έχουμε λοιπόν την τροποποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle, και την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle.

### β<sub>1</sub>. Τροποποιημένη μέθοδος των Blaney - Criddle.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή έχουμε :

$$ET_c = K_c \cdot ET_r.$$

$$ET_r = a + b \cdot F \text{ mm / ημέρα.}$$

$$\text{όπου: } F = (0,46 T + 8,16) \cdot (P : \mu).$$

$$a = 0,0043 (RH_{\min}) - (n/N) - 1,41$$

$T$  = η μέση θερμοκρασία του αέρα σε  $^{\circ}C$ , που παίρνεται από τον πίνακα 12.

$P$  = μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους, που παίρνεται από τον πίνακα 13.

$\mu$  = ο αριθμός ημερών του μελετώμενου μήνα.

$RH_{\min}$  = ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα %, που παίρνεται από τον πίνακα 9.

$n$  = πραγματική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα.

$N$  = θεωρητική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 6.

**b** = συντελεστής, που παίρνεται από τον πίνακα 14, σαν συνάρτηση του  $R_{h_{min}}$ , του  $n/N$  και του  $u_2$ , που είναι η ταχύτητα του ανέμου 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Και στην τροποποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle, ο φυτικός συντελεστής **Kc** παίρνεται από τους ίδιους αναλυτικούς πίνακες που χρησιμοποιούνται για τη μέθοδο του Penman.

**Πίνακας 11.** Γεωγραφικό πλάτος διαφόρων πόλεων της Ελλάδας (Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων  $41^{\circ}45'$  και  $34^{\circ}48'$  Β).

Αγρίνιο	$38^{\circ}37'$	Καρδίτσα	$39^{\circ}22'$	Ορεστιάδα	$41^{\circ}30'$
Αθήνα	$37^{\circ}58'$	Καστοριά	$40^{\circ}30'$	Πάτρα	$38^{\circ}15'$
Αλεξ/πολη	$40^{\circ}51'$	Κατερίνη	$40^{\circ}15'$	Πρέβεζα	$38^{\circ}58'$
Άμφισσα	$38^{\circ}31'$	Κέρκυρα	$39^{\circ}37'$	Πύργος	$37^{\circ}40'$
Άρτα	$39^{\circ}10'$	Κιλκίς	$41^{\circ}00'$	Ρόδος	$36^{\circ}23'$
Βέροια	$40^{\circ}30'$	Κοζάνη	$40^{\circ}18'$	Σέρρες	$41^{\circ}05'$
Βόλος	$39^{\circ}22'$	Κομοτηνή	$41^{\circ}07'$	Σπάρτη	$37^{\circ}04'$
Δράμα	$41^{\circ}09'$	Κόρινθος	$37^{\circ}56'$	Τρίκαλα	$39^{\circ}33'$
Έδεσσα	$40^{\circ}48'$	Λαμία	$38^{\circ}54'$	Τρίπολη	$37^{\circ}31'$
Ηράκλειο	$35^{\circ}20'$	Λάρισα	$39^{\circ}38'$	Φλώρινα	$40^{\circ}48'$
Θεσ/νίκη	$40^{\circ}45'$	Λιβαδειά	$38^{\circ}28'$	Χαλκίδα	$38^{\circ}28'$
Θήβα	$38^{\circ}20'$	Μεσολόγγι	$38^{\circ}22'$	Χανιά	$35^{\circ}30'$
Ιωάννινα	$39^{\circ}40'$	Μυτιλήνη	$39^{\circ}06'$	Χίος	$38^{\circ}22'$
Καβάλα	$40^{\circ}56'$	Νάουσα	$40^{\circ}38'$		
Καλαμάτα	$37^{\circ}00'$	Ξάνθη	$41^{\circ}07'$		

**Πίνακας 12.** Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε  $^{\circ}\text{C}$  (Συντελεστής T).

Πόλεις	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
Αγρίνιο	8,8	8,5	11,4	14,9	19,5	23,8	25,6	26,2	22,9	18,3	14,3	10,5	17,0
Αθήνα	9,8	10,5	11,9	15,9	20,7	24,9	27,4	27,6	23,8	19,0	15,9	12,0	18,0
Αλεξ/πολη	4,8	6,2	7,8	12,3	6,9	21,0	23,8	24,0	20,3	15,5	11,9	7,4	14,3
Αργοστόλι	11,5	11,7	12,9	15,5	19,4	23,2	25,4	26,0	23,3	19,7	16,4	13,1	18,2
Άρτα	9,2	9,8	11,7	15,6	19,6	23,1	26,0	26,4	23,0	18,3	14,5	9,9	17,0
Βόλος	8,0	9,6	11,2	15,2	19,6	23,4	25,8	25,8	22,3	18,0	14,6	10,0	17,0
Δράμα	3,7	6,0	9,0	13,9	16,9	22,8	24,9	25,0	20,9	15,6	10,7	5,6	14,8
Έδεσσα	3,5	5,3	8,1	13,3	18,1	22,0	24,4	24,6	19,8	14,5	10,2	5,5	14,1
Ηράκλειο	12,2	12,7	13,8	16,5	20,2	24,0	25,9	25,0	23,9	19,8	17,3	14,2	18,8
Θεσ/νίκη	5,4	7,7	9,0	14,1	19,0	23,1	25,5	25,7	21,8	16,8	12,5	7,5	15,7
Θήβα	9,8	10,5	12,0	16,0	21,1	25,2	27,2	27,4	23,9	19,5	16,0	12,0	18,4
Ιωάννινα	5,0	5,9	8,4	12,3	16,5	20,3	22,7	23,1	19,7	14,8	10,4	6,9	14,8
Καβάλα	3,8	5,7	7,7	12,2	16,8	20,6	22,5	22,8	19,1	14,2	10,4	5,8	14,0
Καλαμάτα	11,4	11,6	12,7	15,2	18,8	22,6	24,9	25,3	23,0	19,7	16,4	13,1	18,7

Καρδίτσα	5,4	7,7	9,8	14,9	19,6	24,2	26,3	26,8	22,1	16,8	12,4	7,1	16,1
Καστοριά	1,7	3,4	6,3	11,3	15,7	19,5	22,0	22,4	18,5	13,2	9,1	3,8	12,2
Κατερίνη	7,9	9,0	10,5	15,6	20,4	24,7	26,9	26,8	22,9	18,0	14,4	9,8	17,2
Κέρκυρα	9,7	11,6	12,7	15,2	18,8	22,6	24,9	25,3	23,0	19,7	16,4	13,1	18,2
Κιλκίς	3,5	5,3	8,1	13,3	18,1	22,0	24,4	24,6	19,8	14,5	10,2	5,5	14,1
Κοζάνη	1,7	3,4	6,3	11,3	15,7	19,5	22,0	22,4	18,5	13,2	9,1	3,8	12,2
Κομοτηνή	5,2	6,4	8,2	12,8	17,6	21,5	24,3	24,1	20,2	15,4	11,7	7,3	14,6
Κόρινθος	9,8	10,5	11,9	15,9	20,7	24,9	27,4	27,6	23,8	19,0	15,9	12,0	18,0
Λαμία	7,9	9,0	10,5	15,6	20,4	24,7	26,9	26,8	22,9	18,0	14,4	9,8	17,2
Λάρισα	5,1	6,9	8,9	13,3	18,2	22,8	25,5	25,2	21,4	16,2	11,6	6,7	15,0
Λιβαδειά	9,8	10,5	12,0	16,0	21,1	25,2	27,2	27,4	23,9	19,5	16,0	12,0	18,4
Μεσολόγγι	10,4	10,5	12,1	15,3	19,1	22,4	24,4	25,0	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Μυτιλήνη	9,5	10,2	11,5	15,4	19,6	23,9	26,0	25,9	22,7	18,4	13,3	12,0	17,6
Νάουσα	3,5	5,3	8,1	13,3	18,1	22,0	24,4	24,6	19,8	14,5	10,2	5,5	14,1
Ξάνθη	5,2	6,4	8,2	12,8	17,6	21,5	24,3	24,1	20,2	15,4	11,7	7,3	14,6
Ορεστιάδα	2,7	5,1	7,7	13,3	18,3	22,2	24,4	24,9	20,1	14,9	10,8	5,3	14,1
Πάτρα	10,4	10,5	12,1	15,3	19,1	22,4	24,4	25,0	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Πρέβεζα	10,4	10,5	12,1	15,3	19,1	22,4	24,4	25,0	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Πύργος	10,5	10,7	12,3	15,0	18,9	22,5	24,8	25,5	22,9	19,2	15,6	11,9	17,5
Ρόδος	11,4	11,7	13,0	16,0	20,0	24,2	26,5	27,0	24,1	20,1	16,6	13,3	18,7
Σέρρες	3,7	6,0	9,0	13,9	16,9	22,8	24,9	25,0	20,9	15,6	10,7	5,6	14,8
Σπάρτη	9,0	10,0	12,1	15,9	20,3	25,4	28,2	28,2	25,2	18,4	14,5	10,7	18,2
Τρίκαλα	5,4	7,7	9,8	14,9	19,6	24,2	26,3	26,8	22,1	16,8	12,4	7,1	16,1
Τρίπολη	5,2	6,0	7,7	11,2	15,6	19,8	22,1	22,4	19,2	14,4	11,1	7,3	13,5
Φλώρινα	0,4	7,6	8,0	11,0	15,8	19,2	21,2	21,2	18,0	12,8	8,6	2,4	11,7
Χαλκίδα	9,8	10,5	12,0	16,0	21,1	25,2	27,2	27,4	23,9	19,5	16,0	12,0	18,4
Χανιά	12,2	12,7	13,8	16,5	20,2	24,0	25,9	25,0	23,9	19,8	17,3	14,2	18,8
Χίος	10,3	10,6	11,8	15,6	20,1	24,4	26,8	26,6	23,3	19,1	16,1	12,3	18,1

**Πίνακας 13.** Μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους για γεωγραφικά πλάτη 34<sup>0</sup> ~ 42<sup>0</sup> βόρειου ημισφαιρίου. ( Συντελεστής Ρ ).

Γεωγραφικό Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρι	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Σύνολο
34	7,10	6,91	8,36	8,80	9,71	9,70	9,88	9,33	8,36	7,90	7,02	6,92	100
35	7,05	6,88	8,35	8,82	9,76	9,77	,93	9,37	8,36	7,88	6,97	6,86	100
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	100
37	6,93	6,83	8,34	8,87	9,87	9,89	10,05	9,44	8,37	7,82	6,87	6,72	100
38	6,78	6,79	8,34	8,90	9,92	9,95	10,10	9,47	8,38	7,80	6,82	6,66	100
39	6,82	6,76	8,33	8,93	9,97	10,02	10,16	9,51	8,38	7,77	6,77	6,48	100



40	6,76	6,72	8,33	8,95	10,02	10,08	10,22	9,54	8,38	7,75	6,72	6,52	100
41	6,69	6,69	8,32	8,98	10,08	10,15	10,29	9,56	8,39	7,73	6,67	6,45	100
42	6,62	6,65	8,31	8,00	10,14	10,21	10,35	9,62	8,40	7,70	6,62	6,38	100

**Πίνακας 14.** Συντελεστής **b**, που παίρνεται σαν συνάρτηση του  $RH_{min}$ , του  $n/N$  και του  $u_2$ .

n/N	Ελάχιστη σχετική υγρασία, $Rh_{min}$ , του αέρα (%)					
	0	20	40	60	80	100
<b>Ταχύτητα ανέμου <math>u_2 = 0</math> m/sec</b>						
0,0	0,84	0,80	0,74	0,64	0,52	0,38
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
<b>Ταχύτητα ανέμου <math>u_2 = 2</math> m/sec</b>						
0,0	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
<b>Ταχύτητα ανέμου <math>u_2 = 4</math> m/sec</b>						
0,0	1,08	0,98	0,87	0,72	0,56	0,42
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
<b>Ταχύτητα ανέμου <math>u_2 = 6</math> m/sec</b>						
0,0	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
<b>Ταχύτητα ανέμου <math>u_2 = 8</math> m/sec</b>						
0,0	1,26	1,06	0,96	0,76	0,60	0,44
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
<b>Ταχύτητα ανέμου <math>u_2 = 10</math> m/sec</b>						
0,0	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

## β2. Απλοποιημένη μέθοδος των Blaney - Criddle.

Με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle υπολογίζουμε την **μηνιαία εξατμισοδιαπνοή** από τη σχέση :  $ET = K \cdot (8,13 + 0,46 \cdot T) \cdot P$

όπου: ET = μηνιαία δυναμική εξατμισοδιαπνοή σε mm

K = φυτικός συντελεστής που παίρνεται από τον πίνακα 15.

P = ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας, που εκφράζεται σε εκατοστά των ωρών ημέρας του έτους, το οποίο παίρνεται από τον πίνακα 13.

T = η μέση θερμοκρασία του μήνα σε °C που παίρνεται από τον πίνακα 10.

**Πίνακας 15.** Εμπειρικός συντελεστής K για τον υπολογισμό της υδατοκατανάλωσης κατά τη μέθοδο Blaney - Criddle.

		Φυτικός συντελεστής υδατοκατανάλωσης	
Καλλιέργεια	Βλαστική περίοδος	Περίοδος ανάπτυξης των φυτών	Μέσος όρος περιόδου K
Αμπέλι	-----	-----	0,73
Αραβόσιτος	4 μήνες	0,75 - 0,85	0,75
Βαμβάκι	7 μήνες	0,60 - 0,65	0,62
Εσπεριδοειδή	μεταξύ παγετών	0,50 - 0,65	0,56
Ζαχαρότευτλα	6 μήνες	0,65 - 0,75	0,70
Θερμοκήπια	7 μήνες	----	1,00
Καρότα	3 μήνες	-----	0,59
Λειμώνες ψυχανθών	μεταξύ παγετών	0,80 - 0,85	0,80
Μηδική	μεταξύ παγετών	0,80 - 0,85	0,81

Μπιζέλια	3 μήνες	----	0,53
Οπωροφόρα	μεταξύ παγετών	0,50 - 0,75	0,65
Πατάτες	3 μήνες	0,65 - 0,75	0,67
Πεπονοειδή	3 μήνες	----	0,74
Ρύζι	4 - 5 μήνες	1,00 - 1,20	1,11
Σόργο	-----	----	0,59
Σιτηρά (εαρινά)	3 - 4 μήνες	----	0,68
Ντομάτες	4 μήνες	----	0,70
Φασόλια	3 μήνες	----	0,65
Φράουλες	4 μήνες	----	0,66
Χλοοτάπητες	-----	----	1,00

## 6.5. Η ενεργός βροχόπτωση.

Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου η βροχόπτωση αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την κάλυψη των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών. 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 κυριότεροι 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 έλλειμμα υγρασίας πριν τη βροχόπτωση που καθορίζεται από το καθεστώς της υγρασίας (αρδευόμενες περιοχές).
- η εξάτμιση

Επειδή η βροχόπτωση διαφέρει 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 εμφάνισης, ή υπερβάσης 80 ή 75%. Δηλαδή κατά μέσο όρο, προκειμένου για πιθανότητα υπερβάσης 75 %, σε 3 από τα 4 έτη εμφανίζεται το ύψος αυτό βροχόπτωσης ή μεγαλύτερο.

Αν η ανάλυση αναφέρεται στον κρίσιμο μήνα, από πλευράς αναγκών, και οι καλλιέργειες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έλλειψη νερού σ' αυτό το διάστημα, πρέπει να εκλέγεται ακόμα μεγαλύτερη τιμή πιθανότητας υπερβάσης.

Για την εύρεση του ύψους βροχόπτωσης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργού βροχόπτωσης είναι καλύτερα να γίνεται ανάλυση συχνότητας με τη χρησιμοποίηση παρατηρήσεων πολλών ετών.

Σύμφωνα με ένα εμπειρικό τύπο το ύψος ενεργού βροχόπτωσης υπολογίζεται ως:

$$R = B - \left[ c + \frac{B}{8} \right]$$

όπου:

B = το συνολικό μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης και  $B \geq 7$  mm

c = είναι εμπειρική σταθερά, που παίρνει τιμές από 10 μέχρι 20.

c = 10 προτείνεται για πεδινές περιοχές κοντά στη θάλασσα.

c = 20 προτείνεται για ηπειρωτικές επικλινείς περιοχές.

Η μέθοδος που προτάθηκε από την υπηρεσία U.S. Bureau of Reclamation (Stamm, 1967) φαίνεται στον πίνακα 16 και αναφέρεται σε μηνιαίες τιμές. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για περιοχές ξηρού και ημίξηρου κλίματος.

Σύμφωνα με τον Stamm η μέθοδος πρέπει να εφαρμόζεται στα 5 πιο ξηρά διαδοχικά έτη.

**Πίνακας 16.** Υπολογισμός της μηνιαίας ενεργού βροχόπτωσης

(Μέθοδος U.S. Bureau of Reclamation).

Μηνιαία βροχόπτωση (κατά κλάσεις) mm	Ποσοστό ενεργού βροχόπτωσης (κατά κλάσεις) %
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

Δηλαδή η ενεργός βροχόπτωση ενός μήνα με συνολικό ύψος βροχής 76,2 mm βρίσκεται σύμφωνα με τα μέσα ποσοστά του πίνακα 16 ως εξής:

$$R = 25,4 \cdot 0,95 + (50,8 - 25,4) \cdot 0,90 + (76,2 - 50,8) \cdot 0,825 = 67,95 \text{ mm}$$

## 6.6. Η εισροή από την υπόγεια στάθμη.

Συχνά σημαντική είναι και η συμβολή της υπόγειας στάθμης στο υδατικό ισοζύγιο στη ζώνη του ριζοστρώματος.

Η συμβολή αυτή είναι δύσκολο να εκτιμηθεί και γι' αυτό πολλές φορές δεν λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτίμηση των αναγκών σε αρδευτικό.

Γενικά η εισροή εξαρτάται από το βάθος της υπόγειας στάθμης κάτω από το ριζόστρωμα, από τις ιδιότητες του εδάφους και από την περιεκτικότητα του εδάφους του ριζοστρώματος σε νερό.

## 6.7. Οι καθαρές ανάγκες των φυτών σε νερό.

Από όσα έχουν εκτεθεί πιο πάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι καθαρές ανάγκες των φυτών σε νερό μπορεί να υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_D = ET_c - R : \mu$$

εφ' όσον για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται η μέθοδος του Penman, ή η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney - Criddle, ή από τη σχέση :

$$E_D = ( ET - R ) : \mu$$

εφ' όσον για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται η απλοποιημένη μέθοδος των Blaney - Criddle.

Στις παραπάνω σχέσεις είναι :

$E_D$  = οι καθαρές ημερήσιες ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό σε mm, ή  $m^3$  / στρέμμα.

$ET_c$ ,  $ET$  = εξατμισοδιαπνοή ( ημερήσια ή μηνιαία, αντίστοιχα ) σε mm ή  $m^3$  / στρέμμα.

$R$  = ενεργός βροχόπτωση σε mm ή  $m^3$  / στρέμμα / μήνα.

$\mu$  = ο αριθμός των ημερών του μήνα.

## 6.8. Βαθμός ελευθερίας των αρδεύσεων.

Η θεωρητική συνεχής παροχή,  $q_0$ , μίας έκτασης, που αρδεύεται, είναι το γινόμενο της έκτασης αυτής επί την θεωρητική ειδική παροχή άρδευσης.

Π.χ. για την άρδευση ενός κτήματος 20 στρεμμάτων με θεωρητική ειδική παροχή 0,06 lit / sec /στρέμμα χρειάζεται θεωρητική συνεχής παροχή 1,2 lit /sec.

Δηλαδή η θεωρητική συνεχής παροχή είναι η παροχή, που πρέπει συνεχώς να διοχετεύεται στο κτήμα (επί 24 ώρες το 24ωρο ) για να καλυφτούν οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό.

Αν η παροχή (d), που χορηγείται στο κτήμα, ισούται με τη θεωρητική συνεχή παροχή,  $q_0$ , δηλαδή  $d = q_0$ , ο καλλιεργητής θα έχει στη διάθεσή του νερό μέρα - νύχτα.

Για να ικανοποιήσει όμως τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό τον κρίσιμο μήνα, θα πρέπει να χορηγεί συνεχώς μέρα - νύχτα νερό στο κτήμα. Με αυτό τον τρόπο όμως χάνει ο παραγωγός την ελευθερία να ασχοληθεί με άλλες εργασίες της εκμετάλλευσής του, ενώ ταυτόχρονα η ανάπτυξη της καλλιέργειας μέσα στο ίδιο κτήμα θα είναι ανομοιόμορφη.

Επίσης, λόγω της συνεχούς απασχόλησής του στην άρδευση, δε θα μπορεί να προχωρήσει στις άλλες καλλιεργητικές φροντίδες των φυτών ( σκαλίσματα, καταπολέμηση ασθενειών κ.λπ.).

Αν η έκταση του κτήματος είναι αρκετά μεγάλη όπως συμβαίνει σε άλλες χώρες ( 200- 300 στρέμματα ή και περισσότερα ) ο παραγωγός εφαρμόζει στο ίδιο κτήμα του διάφορες καλλιέργειες, που παρουσιάζουν μία διασπορά ζήτησης στην άρδευση και έτσι με το μέγεθος της παροχής, που χορηγείται στην κεφαλή του κτήματος, αρδεύει περιοδικά τις διάφορες καλλιέργειές του.

Με τον τρόπο αυτό αποφεύγει το μειονέκτημα της ανομοιόμορφης ανάπτυξης των φυτών της κάθε μιας καλλιέργειας χωριστά, γιατί σε κάθε καλλιέργεια πολλαπλάσια ποσότητα της θεωρητικής συνεχούς παροχής, δεν έχει όμως ελευθερία για τις υπόλοιπες απασχολήσεις του ή την ανάπαυσή του.

Στα αρδευτικά δίκτυα με επιφανειακές μεθόδους άρδευσης, οι τελευταίου βαθμού διώρυγες (τριτεύουσες), από τις οποίες παροχετεύεται το νερό στα κτήματα, συνήθως είναι τυποποιημένου μεγέθους ( π.χ. 30 lit/sec ή 60 lit/ sec κ.λπ.).

Ο μελετητής, μετά τον υπολογισμό της θεωρητικής συνεχούς παροχής μίας τριτεύουσας διώρυγας, με βάση την έκταση που εξυπηρετείται

κατά την άρδευση, (π.χ. 500 στρ. x 0,08 lit / sec / στρέμμα = 400 lit/sec ), θα προτείνει για κατασκευή το αμέσως επόμενο μέγεθος, π.χ. 60 lit/ sec.

Έτσι η περιοχή της τριτεύουσας αυτής απόκτά, για κατασκευαστικούς λόγους, βαθμό ελευθερίας 60 : 40 = 1,5.

Αυτό σημαίνει ότι η διώρυγα αυτή θα απασχολείται κατά το μήνα της αιχμής το 67 % χρόνου που χρειάζεται.

Είναι φανερό όμως πως, κάτω από τις δικές μας συνθήκες των μικρών αγροτεμαχίων, θα υπάρχουν στην ίδια διώρυγας περισσότεροι από ένας καλλιεργητές και επομένως θα υπάρχουν διάφορες καλλιέργειες και διασπορά ζητήσεων.

Έτσι, θα υπάρχει ευχέρεια να χρησιμοποιείται το σύνολο της παροχής από έναν ή δύο ή τρεις μόνο παραγωγούς και με αυτό τον τρόπο ο ελεύθερος χρόνος του παραγωγού πολλαπλασιάζεται.

Αν για παράδειγμα, στην τριτεύουσα διώρυγα βρίσκονται 8 παραγωγοί με 62,5 στρέμματα ο καθένας, τότε αν αρδεύει μόνο ένας παραγωγός ο βαθμός ελευθερίας γίνεται  $60 : (62,5 \times 0,08) = 12$ , πράγμα που σημαίνει ότι κάθε παραγωγός θα απασχολείται για την άρδευση μόνο το 8,33 % του χρόνου.

Με άλλα λόγια, αν ο παραγωγός χρειάζεται να αρδεύει το κτήμα του κάθε 15 ημέρες, θα χρησιμοποιεί την παροχή 1 ή 2 ημέρες και τις άλλες ημέρες θα είναι ελεύθερος για τις υπόλοιπες εργασίες του, ενώ το νερό θα το χρησιμοποιούν οι γείτονες (όμοροι) παραγωγοί.

Στην άρδευση με καταιονισμό η παροχή που χορηγείται σε κάθε αγροτεμάχιο καθορίζεται από την παροχή του στομίου της υδροληψίας.

Συνήθως οι καλλιεργητές επιθυμούν υψηλό βαθμό ελευθερίας, γιατί υψηλός βαθμός ελευθερίας σημαίνει άνεση στην άρδευση. Ο υψηλός όμως βαθμός ελευθερίας επιβαρύνει το κόστος εγκατάστασης του δικτύου μεταφοράς και διανομής του νερού.

Πάντως νομίζουμε ότι, κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες, στην άρδευση με καταιονισμό, ο βαθμός ελευθερίας πρέπει να είναι 3 έως 5, δηλαδή να διατίθεται για την άρδευση το 20 έως 35 % του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων.

Αυθαίρετος καθορισμός του μεγέθους της παροχής της υδροληψίας, που δεν προσαρμόζεται στις παραμέτρους των εδαφικών συνθηκών, μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά σφάλματα του δικτύου.

Η παροχή ελευθερίας στον καλλιεργητή είναι συγχρόνως και βαθμός ασφάλειας της καλής λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου.

## **6.9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΕΝΟΣ ΕΛΑΙΩΝΑ.**

Πρόκειται να αρδευτεί ένας ελαιώνας με τα παρακάτω στοιχεία ήτοι :

- α. Περιοχή: Ημιορεινή Άρτα (υψόμετρο 150 m).
- β. Μήνας: Ιούλιος.
- γ. Πραγματική ηλιοφάνεια: 12 ώρες την ημέρα.
- δ. Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10 μέτρα πάνω από το έδαφος: 180 Km / 24 ωρο.
- ε. Λόγος  $u_d : u_n = 2$ .
- στ. Πραγματική μηνιαία βροχόπτωση : 18 mm.

Ζητείται να υπολογιστούν οι καθαρές ημερήσιες ανάγκες τις καλλιεργείας σε νερό σύμφωνα :

- α. Με την μέθοδο του Penman.
- β. Με την τροποποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle και
- γ. Με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle.

Λύση.

### **α. Υπολογισμός των αναγκών με την μέθοδο του Penman.**

Είναι  $E_D = E_{Tc} - R : \mu$

α1. Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της,  $E_{Tc}$ , της καλλιέργειας.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (υδατοκατανάλωση) υπολογίζεται από τη σχέση :

$$E_{Tc} = K_c \cdot E_{Tr} \text{ όπου :}$$

$K_c = 0,45$  είναι ο φυτικός συντελεστής, ο οποίος από τον πίνακα 3 και

$E_{Tr}$  = η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ή βασική εξατμισοδιαπνοή σε mm / ημέρα,

είναι :  $E_{Tr} = C \cdot [ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) ]$  mm / ημέρα και ο υπολογισμός της ακολουθεί την ακόλουθη πορεία:

A. Από τον πίνακα 12 βρίσκουμε ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία για την Άρτα τον μήνα Ιούλιο είναι 26 °C. Με βάση την μέση θερμοκρασία και το υψόμετρο της εξεταζόμενης περιοχής, που είναι 150 m, υπολογίζουμε από τον πίνακα 4 την τιμή του συντελεστή W, που αντιπροσωπεύει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη βασική εξατμισοδιαπνοή.

$$W = 0,753$$

Υπολογίζουμε επίσης το  $1 - W = 0,247$ , που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου και της υγρασίας στη βασική εξατμισοδιαπνοή.

B. Υπολογίζουμε τη θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία  $R_a$ , σαν συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους, από τον πίνακα 5. Το γεωγραφικό πλάτος από τον πίνακα 11 είναι 39° 10' οπότε :

$$R_a = 16,7 \text{ mm / ημέρα}$$

Γ. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 6 την μέση θεωρητική ηλιοφάνεια N, που αντιστοιχεί στο μήνα και το γεωγραφικό πλάτος ήτοι :

$$N = 14,65 \text{ h}$$

Δ. Η πραγματική ηλιοφάνεια n εκτιμάται :

$$n = 12,00 \text{ h}$$

Ε. Υπολογίζουμε την πραγματική ηλιακή ακτινοβολία  $R_s$  (εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος εξατμιζόμενου νερού) από τη σχέση :

$$n \qquad \qquad \qquad 12$$

$$R_s = R_a \cdot [ 0,25 + 0,50 \cdot \left( \frac{n}{N} \right) ] = 16,7 \cdot [ 0,25 + 0,50 \cdot \left( \frac{\quad}{\quad} \right) ] =$$

$$N \qquad \qquad \qquad 14,65$$

$$= 11,015 \text{ mm / ημέρα.}$$



ΣΤ. Από τη σχέση  $R_{ns} = 0,75 R_s$  (mm / ημέρα), ευρίσκουμε την καθαρή μικρού μήκους ακτινοβολία που απομένει μετά την ανάκλαση μέρους της  $R_s$  προς το περιβάλλον.

$$R_{ns} = 0,75 \cdot 11,015 = 8,26 \text{ mm / ημέρα}$$

Ζ. Από τον πίνακα 7 υπολογίζουμε την ποσότητα  $f(T) = \sigma (273 + T)^4$  mm / ημέρα, όπου  $\sigma = 1,9867 \cdot 10^{-9}$  και  $T = \eta$  θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου = 26 °C.

$$f(T) = 15,88 \text{ mm / ημέρα}$$

Η. Από τον πίνακα 8 υπολογίζουμε την πίεση κορεσμού των υδρατμών  $e_a = 33,6$  mbar και από τον πίνακα 9 υπολογίζουμε μέση ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα  $RH_{min} = 50 \%$  οπότε από τη σχέση :  $e_d = e_a \cdot RH_{min}$  βρίσκουμε :

$$e_d = 33,6 \cdot 50 \% = 16,8 \text{ mbar}$$

Θ. Υπολογίζουμε το  $f(e_d)$  από τη σχέση:

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 (e_d)^{1/2} = 0,34 - 0,044 (16,8)^{1/2} = 0,16$$

Ι. Υπολογίζουμε το  $f(n/N) = 0,1 + 0,9 (n/N)$ .

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9 (12 : 14,65) = 0,839$$

ΙΑ. Από τη σχέση  $R_{nl} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N)$ , mm / ημέρα, την  $R_{nl}$  που είναι η καθαρή μεγάλου μήκους ηλιακή ακτινοβολία και αντιπροσωπεύει τη διαφορά της ενέργειας που ακτινοβολεί η γη προς το περιβάλλον και αυτής που δέχεται η γη από το περιβάλλον σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

$$R_{nl} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N) = 15,88 \cdot 0,16 \cdot 0,837 = 2,13 \text{ mm / ημέρα}$$

IB. Υπολογίζουμε το  $R_n = R_{ns} - R_{nl}$ , που είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος νερού (mm / ημέρα).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = 8,26 - 2,13 = 6,13 \text{ mm / ημέρα}$$

ΙΓ. Υπολογίζουμε το  $u_z = u_z \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^{0,2}$  όπου  $z$  είναι το υψόμετρο και  $u_z$  η ταχύτητα του ανέμου στο υψόμετρο  $z$ .

$$u_z = u_{z_0} \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^{0,2} = 180 \cdot \left(\frac{2}{10}\right)^{0,2} = 130,5 \text{ Km/ημ.} = 1,51 \text{ m/sec}$$

ΙΔ. Υπολογίζουμε τη συνάρτηση  $f(u)$  που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου στην εξατμισοδιαπνοή, από τη σχέση :

$$f(u) = 0,27 \cdot \left(1 + \frac{130,5}{100}\right) = 0,622$$

ΙΕ. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 10 το συντελεστή  $C$  σαν συνάρτηση του  $R_s$ , του  $RH_{max}$ , του  $u_2$  και του λόγου  $u_d/u_n$  όπου  $u_n$  είναι η ταχύτητα του ανέμου τη νύχτα σε m/sec και  $u_d$  η ταχύτητα του ανέμου την ημέρα.

$$\text{Επειδή } R_s = 11,015 \text{ , } RH_{max} = 80 \% \text{ } u_2 = 1,51 \text{ και } u_d/u_n = 2 \Rightarrow$$

$$C = 1,104$$

ΙΣΤ. Τέλος υπολογίζουμε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς  $ET_r$  από τη σχέση:

$$ET_r = C [ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) ]$$

$$ET_r = 1,104 \cdot [ 0,753 \cdot 6,13 + 0,247 \cdot 0,756 \cdot (33,6 - 16,8) ]$$

$$ET_r = 7,945 \text{ mm /ημέρα}$$

**ΙΖ.** Υπολογίζουμε, επομένως τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή,  $ET_c$ , της καλλιέργειας από τη σχέση :

$$ET_c = K_c \cdot ET_r = 0,45 \cdot 7,945 = 3,57 \text{ mm /ημέρα}$$

**α<sub>2</sub>.** Υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης.

Η ενεργός βροχόπτωση υπολογίζεται από τη σχέση :

$$R = B - \left[ c + \frac{B - c}{8} \right] = 18 - \left[ 10 + \frac{18 - 10}{8} \right] = 5,75 \text{ mm / ημέρα}$$

όπου:

B = το συνολικό μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης και  $B \geq 7 \text{ mm}$

c = είναι εμπειρική σταθερά, που παίρνει την τιμή 10.

**α<sub>3</sub>.** Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό.

Οι καθαρές ανάγκες των φυτών σε νερό υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_D = ET_c - R : \mu = 3,57 - 5,75 : 31 = 3,39 \text{ mm /ημέρα}$$

**β.** Υπολογισμός των αναγκών με την τροποποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle.

Είναι  $E_D = E_{Tc} - R : \mu$

$\beta_1$ . Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της,  $E_{Tc}$ , της καλλιέργειας.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (υδατοκατανάλωση), σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, υπολογίζεται από τη σχέση :

$$E_{Tc} = K_c \cdot E_{Tr}$$

$$E_{Tr} = a + b \cdot F \text{ mm / ημέρα.}$$

όπου:

$$F = (0,46 T + 8,16) \cdot (P : \mu) = (0,46 \cdot 26 + 8,16) \cdot (10,16 : 31) = \\ = 6,594 \text{ mm/ημέρα.}$$

$$a = 0,0043 (RH_{\min}) - (n/N) - 1,41 = 0,0043 \cdot 0,50 - (12 : 14,65) - 1,41 = - 2,227$$

$$b = 1,275.$$

$$\text{Άρα : } E_{Tr} = - 2,227 + 1,275 \cdot 6,594 = 6,18 \text{ mm / ημέρα.}$$

$$\text{και } E_{Tc} = 0,45 \cdot 6,18 = 2,78 \text{ mm / ημέρα.}$$

Στις παραπάνω σχέσεις :

$T = 26 \text{ }^\circ\text{C}$  είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα σε, που παίρνεται από τον πίνακα 12.

$P = 10,16$  είναι μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους, που παίρνεται από τον πίνακα 13.

$\mu = 31$  ημέρες είναι ο αριθμός ημερών του μελετώμενου μήνα.

$R_{h_{\min}} = 50 \%$  είναι η ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 9.

$n = 12$  είναι πραγματική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα ( εκτίμηση ).

$N = 14,65$  είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 6.

$b = 1,275$  είναι συντελεστής, που παίρνεται από τον πίνακα 14, σαν συνάρτηση του  $R_{h_{\min}}$ , του  $n/N$  και του  $u_2$ , που είναι η ταχύτητα του ανέμου 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

$K_c = 0,45$  είναι ο φυτικός συντελεστής παίρνεται από τον πίνακα 2.

**β<sub>2</sub>**. Υπολογισμός της ενεργού βροχόπτωσης.

Η ενεργός βροχόπτωση όπως υπολογίστηκε παραπάνω, είναι :

**$R = 5,75 \text{ mm} / \text{ημέρα}$**

**β<sub>3</sub>**. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό.

Οι καθарές ανάγκες των φυτών σε νερό υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_D = ET_c - R : \mu = 2,78 - 5,75 : 31 = 2,59 \text{ mm} / \text{ημέρα}$$

**γ. Υπολογισμός των αναγκών με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle.**

**γ<sub>1</sub>**. Υπολογισμός της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής

Την **μηνιαία εξατμισοδιαπνοή** υπολογίζουμε από τη σχέση :

$$ET = K. ( 8,13 + 0,46. T). P = 0,58. (8,13 + 0,46. 26). 10,16 ) = 114,30 \text{ mm}$$

όπου:

$K = 0,58$  είναι ο φυτικός συντελεστής που παίρνεται από τον πίνακα 15.

$P = 10,16$  είναι ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας, που εκφράζεται σε εκατοστά των ωρών ημέρας του έτους, το οποίο παίρνεται από τον πίνακα 13.

$T = 26 \text{ }^\circ\text{C}$  είναι η μέση θερμοκρασία του μήνα που παίρνεται από τον πίνακα 12.

$\mu = 31$  ημέρες είναι ο αριθμός ημερών του μελετώμενου μήνα.

γ<sub>2</sub>. Υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης.

Η ενεργός βροχόπτωση, όπως υπολογίστηκε παραπάνω, είναι :

$$R = 5,75 \text{ mm / ημέρα}$$

γ<sub>3</sub>. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό.

Οι καθαρές ανάγκες των φυτών σε νερό υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_D = ( E_T - R ) : \mu = ( 114,30 - 5,75 ) : 31 = 3,50 \text{ mm /ημέρα}$$

## 6.10. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΝΕΡΟ ΕΝΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ.

ΣΕ

Δίδεται μία κατασκευή χλοοτάπητα με τα παρακάτω στοιχεία ήτοι :

α. Περιοχή

: Εγκαταστάσεις ΤΕΙ Ηπείρου

στην Άρτα ( υψόμετρο 10 m )

β. Μήνας

: Ιούλιος.

γ. Πραγματική ηλιοφάνεια

: 12 ώρες την ημέρα.

δ. Ταχύτητα ανέμου σε ύψος

10 μέτρα πάνω από το έδαφος : 130 Km / 24 ωρο.

ε. Λόγος  $u_d : u_n = 2$ .

στ. Πραγματική μηνιαία βροχόπτωση : 10 mm.

Ζητείται να υπολογιστούν οι καθαρές ημερήσιες ανάγκες τις καλλιέργειας σε νερό σύμφωνα :

α. Με την μέθοδο του Penman.

β. Με την τροποποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle και

γ. Με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle.

Λύση.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την προηγούμενη περίπτωση, έχουμε :

### **α. Υπολογισμός των αναγκών με την μέθοδο του Penman.**

Είναι  $E_D = E_{Tc} - R : \mu$

α<sub>1</sub>. Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της,  $E_{T_e}$ , της καλλιέργειας.

$$E_{Tc} = K_c \cdot E_{T_r} \text{ όπου :}$$

$$K_c = 1,00 \text{ και: } E_{T_r} = C \cdot [ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) ] \text{ mm / ημέρα}$$

Βρίσκομε διαδοχικά :

$$W = 0,75$$

$$1 - W = 0,25.$$

$$R_\alpha = 16,7 \text{ mm / ημέρα}$$

$$N = 14,65 \text{ h}$$

$$n = 12,00 \text{ h}$$

$$\frac{n}{N} = \frac{12}{14,65}$$

$$R_s = R_\alpha \cdot [ 0,25 + 0,50 \cdot \left( \frac{n}{N} \right) ] = 16,7 \cdot [ 0,25 + 0,50 \cdot \left( \frac{12}{14,65} \right) ] = 11,015 \text{ mm / ημέρα.}$$

$$\frac{N}{N} = \frac{14,65}{14,65}$$

$$R_{ns} = 0,75 \cdot 11,015 = 8,26 \text{ mm / ημέρα}$$

$$f(T) = 15,88 \text{ mm / ημέρα}$$

$$e_d = 33,6 \cdot 50 \% = 16,8 \text{ mbar}$$

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 (e_d)^{1/2} = 0,34 - 0,044 (16,8)^{1/2} = 0,16$$

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9 (12 : 14,65) = 0,839$$

$$R_{nl} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N) = 15,88 \cdot 0,16 \cdot 0,837 = 2,13 \text{ mm / ημέρα}$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = 8,26 - 2,13 = 6,13 \text{ mm / ημέρα}$$

$$u_2 = u_z \cdot \left(\frac{2}{z}\right)^{0,2} = 10 \cdot \left(\frac{2}{10}\right)^{0,2} = 94,22 \text{ Km/ημ.} = 1,09 \text{ m/sec}$$

**94,22**

$$f(u) = 0,27 \cdot \left(1 + \frac{\quad}{100}\right) = 0,524$$

**100**

$$C = 1,087$$

$$ET_r = 7,39 \text{ mm / ημέρα}$$

$$ET_c = K_c \cdot ET_r = 1,00 \cdot 7,39 = 7,39 \text{ mm / ημέρα}$$

**α2.** Υπολογισμός της ενεργού βροχόπτωσης.

**B**

**10**

$$R = B - \left[ c + \frac{\quad}{8} \right] = 10 - \left[ 10 + \frac{\quad}{8} \right] = -1,25 \text{ mm / ημέρα} < 0$$

**8**

**8**

**α3.** Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό.

Οι καθαρές ανάγκες των φυτών σε νερό υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_D = ET_c - R : \mu = 7,39 \text{ mm / ημέρα}$$

## **β. Υπολογισμός των αναγκών με την τροποποιημένη μεθοδο των Blaney - Criddle.**

Είναι  $E_D = ET_c - R : \mu$

**β1.** Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της,  $ET_c$ , της

καλλιέργειας.

$$ET_c = K_c \cdot ET_r.$$

$$ET_r = a + b \cdot F \text{ mm / ημέρα.}$$

όπου:



$$F = (0,46 T + 8,16) \cdot (P : \mu) = (0,46 \cdot 26 + 8,16) \cdot (10,16 : 31) =$$

$$= 6,594 \text{ mm/ημέρα.}$$

$$a = 0,0043 (RH_{\min}) - (n/N) - 1,41 = 0,0043 \cdot 0,50 - (12 : 14,65) - 1,41 = - 2,227$$

$$b = 1,248.$$

$$\text{Άρα : } ET_r = - 2,227 + 1,248 \cdot 6,594 = 6,00 \text{ mm / ημέρα.}$$

$$\text{και } ET_c = 1,00 \cdot 6,00 = 6,00 \text{ mm / ημέρα.}$$

$$E_D = ET_c - R : \mu = 6,00 \text{ mm / ημέρα}$$

## γ. Υπολογισμός των αναγκών με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney - Criddle.

γ1. Υπολογισμός της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής

Την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή υπολογίζουμε από τη σχέση :

$$ET = K \cdot (8,13 + 0,46 \cdot T) \cdot P = 1,00 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 26) \cdot 10,16 = 204,11 \text{ mm}$$

γ2. Υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης.

Η ενεργός βροχόπτωση, όπως υπολογίστηκε παραπάνω, είναι :

$$R = - 1,25 \text{ mm / ημέρα} < 0 \text{ η οποία, επομένως, αμελείται.}$$

γ3. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό.

Οι καθαρές ανάγκες των φυτών σε νερό υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_D = (ET - R) : \mu = 204,11 : 31 = 6,58 \text{ mm / ημέρα}$$

# Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. Μενέλαος Θεοχάρης, "ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ", Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 2012.
2. Μενέλαος Θεοχάρης, "Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ", Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 1998.
3. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις ", Άρτα 1998
4. Θεοχάρης Μ.: " Η Άρδευση με Σταγόνες ", Άρτα 1998
5. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις , Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 1998
6. Καρακατσούλης Π. : " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις και Προστασία των Εδαφών ", Αθήνα 1993.
7. Κωνσταντινίδης Κ. : "Η μέθοδος αρδεύσεως δια καταιονήσεως ", Θεσσαλονίκη - Αθήνα 1975.
8. Μιχελάκης Ν. : "Συστήματα Αυτόματης Άρδευσης - Άρδευση με Σταγόνες"
9. Daugerty - Franzini : "Υδραυλική" Τόμοι I , II, Εκδόσεις Πλαίσιο , Αθήνα.
10. Davis- Sorensen : " Handbook of applied Hydraulics" Third edition McGraw-Hill Book Company, 1969.
11. Ουζούνης Δ. "Θεωρητική και Πρακτική Μέθοδος της Άρδευσης με Σταγόνες" Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 1997.
12. Τερζίδης Γ. : "Μαθήματα Υδραυλικής " , Τόμοι I ,II , III, Θεσσαλονίκη 1986.
13. Τερζίδης Γ. - Παπαζαφειρίου Ζ. : " Γεωργική Υδραυλική " Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1997.
14. Τζιμόπουλος Χ. : " Γεωργική Υδραυλική ", Τόμοι I , II, Εκδόσεις Ζήτη , Θεσ-σαλονίκη 1982.
15. Τσακίρης Γ. : "Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων " , Αθήνα
16. Hansen V. - Israelsen : "Αρδεύσεις. Βασικοί Αρχαί και Μέθοδοι . Μετάφραση από τους Α. Νικολαΐδη και Α. Κοκκινίδη ", Αθήνα 1968.

# Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Αρδεύσεις (Εργαστήριο). ΤΕΙ Ηπείρου.

Διαθέσιμο από:

<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG110/>

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



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

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ