



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ: Σ.Τ.Ε.Γ
ΤΜΗΜΑ: ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΦΥΤΩΝ-ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
Η/Υ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ
ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

**·ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
·Χ.ΜΟΥΡΟΥΤΟΓΛΟΥ**

**·ΗΛΙΑΣ ΚΑΤΕΡΤΖΗΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ:2004-197**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Φυτικής Παραγωγής της σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας (Σ.Τ.Ε.Γ.) του Α.Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας.

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο τη μελέτη του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής, τον προσδιορισμό των παραγόντων-παραμέτρων που την επηρεάζουν καθώς και την παρουσίαση βασικών εξισώσεων υπολογισμού της. Οι όροι αυτοί αναπτύσσονται στο θεωρητικό μέρος της εργασίας, ενώ στο δεύτερο μέρος αναπτύσσετε ένα λογισμικό, το οποίο θα εξυπηρετήσει εκπαιδευτικούς σκοπούς του εργαστηρίου γεωργικών υδατικών πόρων και γεωργικού περιβάλλοντος, για τον υπολογισμό της ET_c.

Πολλοί ήταν αυτοί που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου, για αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον καθηγητή του τμήματος μου κύριο Μουρούτογλου Χρήστο, για την ανάθεση του θέματος και την επίβλεψη της εργασίας μου. Η επιστημονική του βοήθεια .ήταν απαραίτητη για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Τελειώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την εταιρία SRORTSLAND(μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή, Κλειδιού Βοιωτίας) που μέσω του γεωπόνου της κυρίου Προύτσου μας διατέθηκαν τα στοιχεία για τη διακρίβωση της λειτουργίας του εκπαιδευτικού προγράμματος, τον οποίο ευχαριστούμε ιδιαίτερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
1.1 Ορισμός	3
1.2 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής	6
1.2.1 Μέθοδοι υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς	7
1.2.2 Μέθοδοι υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας	9
1.2.3. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	14
2.1 Το μοντέλο Penman-Montieth	14
2.2 Προσέγγιση του συντελεστή φυτοκαλλιέργειας(Kc)	15
2.3 Η εξίσωση FAO Penman-Montieth	17
2.4 Ισοζύγιο νερού	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	22
3.1 Κατανάλωση νερού από τις καλλιέργειες	22
3.2 Φυτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	23
3.3 Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	27
3.4 Επίδραση των κλιματικών παραμέτρων στην εξατμισοδιαπνοή	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	30
4.1 Έμμεσες μικροκλιματικές μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής-Δυναμική εξατμισοδιαπνοή	30
4.2 Αεροδυναμικές μέθοδοι	31
4.3 Μέθοδος του ισοζυγίου ενέργειας	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	33
5.1 Εξοικονόμηση και αποτελεσματική χρήση αρδευτικού νερού	33

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Πρόγραμμα Excel για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξάτμιση νερού είναι η φυσική διεργασία μετατροπής φάσης του από την υγρή στην αέρια με κατανάλωση ενέργειας και στην συνέχεια μεταφοράς των υδρατμών από την εξατμίζουσα επιφάνεια προς την ατμόσφαιρα με την βοήθεια παρουσίας αρνητικής βαθμίδας συγκέντρωσης ή τάσης υδρατμών κοντά στην επιφάνεια. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η βασική πηγή ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης και ο άνεμος ο βασικός παράγοντας διατήρησης της απαιτούμενης κλίσης υδρατμών.

Το περισσότερο από το νερό που εξατμίζεται από φυτικές επιφάνειες, είναι νερό που μετά από την απορρόφηση από τις ρίζες και μέσω φυτών απομακρύνεται προς τον περιβάλλοντα αέρα μέσω κυρίως των στοματίων των φύλων αποτελώντας την διαπνοή. Στην φύση άμεση εξάτμιση από το έδαφος και διαπνοή συμβαίνουν ταυτόχρονα.

Επειδή δεν υπάρχει εύκολος τρόπος διαχωρισμού των υδρατμών που παράγονται από τις δύο διεργασίες χρησιμοποιείται ο όρος εξατμισοδιαπνοή για να περιγράψει το άθροισμα και των δύο.

Τέλος, η εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια μελετάται με την αρχική εξίσωση Penman και αναπτύσσεται μέθοδος υπολογισμού της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής για συγκεκριμένη καλλιέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και βέλτιστη απόδοσή τους, σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα των παραγομένων προϊόντων. Η ποσοτική εκτίμηση του νερού αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την σωστή εφαρμογή και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων, όπως επίσης και για τη μελέτη και σχεδιασμό των αρδευτικών δικτύων. Ένα καλλιεργούμενο χωράφι χάνει νερό με τη διαδικασία της διαπνοής από τα φυτά και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Ακόμη, μετά από βροχή ή άρδευση με καταιονισμό, το νερό που συγκρατείται από το υπέργειο μέρος των φυτών εξατμίζεται προς την ατμόσφαιρα. Αθροιστικά, το νερό που χάνεται από ένα χωράφι με διαπνοή από τα φυτά, εξάτμιση από το έδαφος και εξάτμιση από το φύλλωμα, όταν αυτό είναι υγρό, αναφέρεται ως εξατμισοδιαπνοή ET και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φυτών και του εδάφους, τη διαθέσιμη ενέργεια και τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση του νερού απαιτεί μεγάλες σχετικά ποσότητες ενέργειας.

Η εξατμισοδιαπνοή, ET, είναι μια διαδικασία που κυριαρχείται από την ανταλλαγή ενέργειας στη φυτική επιφάνεια και έχει σαν περιοριστικό παράγοντα την ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας. Εξ αιτίας αυτού του περιορισμού, είναι δυνατό να προγνωστεί η ένταση της ET από το καθαρό ισοζύγιο των των ενέργειας στο σύστημα που αποκαλούμαι καλλιέργεια.

Οι κύριοι ενεργειακοί παράγοντες που προμηθεύουν (ή αφαιρούν) ενέργεια από τη φυτική επιφάνεια είναι η καθαρή ακτινοβολία που προέρχεται από την ατμόσφαιρα R_n , η αισθητή θερμότητα στην ατμοσφαιρική στρώση που βρίσκεται σε επαφή και πάνω από τη φυτική επιφάνεια (οριακή στιβάδα), H, και η αισθητή θερμότητα του εδάφους, G.

Το ισοζύγιο ενέργειας, με βάση τους παράγοντες αυτούς, μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση, $\lambda ET = R_n - H - G$

όπου λET είναι η πυκνότητα ροής λανθάνουσας θερμότητας που είναι θετική προς τα πάνω από την φυτική επιφάνεια.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το είδος της φυτικής επιφάνειας διαδραματίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής. Η

όποια σχέση υπολογισμού της ET πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της φυτοκόμης.

Επειδή το γεγονός αυτό θα οδηγούσε σε μια μεγάλη ποικιλία σχέσεων, αλλά και σε μεγάλες δυσκολίες ή και αδυναμίες για την πειραματική επιβεβαίωσή τους, η τάση που σήμερα επικρατεί είναι η διαμόρφωση σχέσεων που αναφέρονται σε καλλιέργειες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, οι οποίες αναφέρονται σαν καλλιέργειες αναφοράς. Σαν τέτοιες καλλιέργειες χρησιμοποιούνται ο αειθαλής χορτοτάπητας και η μηδική. Η ET που υπολογίζεται για τις καλλιέργειες αυτές είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_r .

Προσπαθώντας να ορίσουν με ακρίβεια τις διαδικασίες μέτρησης και υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής οι Doorenbos και Pruitt (1977) και οι Jensen et al. (1990) ομαδοποίησαν τους ορισμούς που παραθέτονται πιο κάτω,

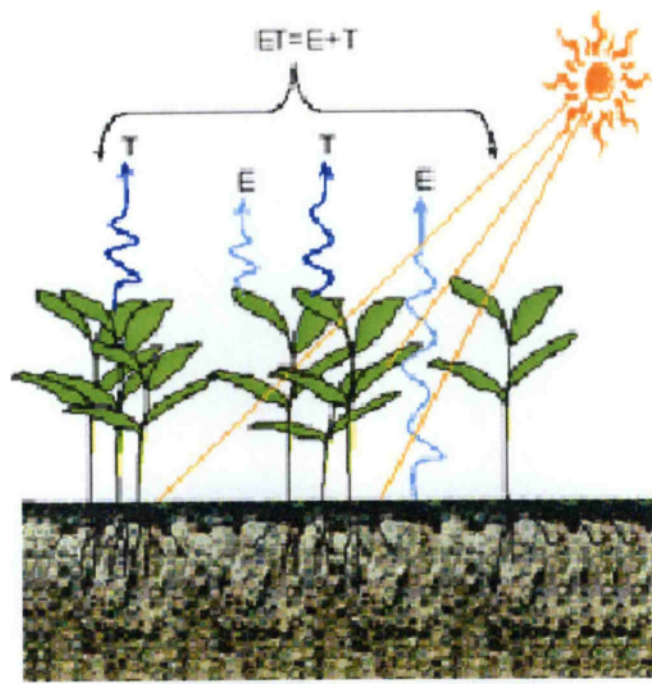
Εξάτμιση E, είναι η φυσική διαδικασία με την οποία ένα στερεό ή υγρό σώμα μεταπίπτει στην αέρια φάση. Στις αρδεύσεις οι εξάτμιση περιορίζεται στην μεταβολή του νερού από την υγρή στην αέρια φάση.

Εξατμισοδιαπνοή ET, είναι η συνδυασμένη διαδικασία με την οποία νερό μεταφέρεται προς την ατμόσφαιρα με την διαπνοή από τα φυτά και την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και την επιφάνεια των φύλλων, όταν αυτά είναι υγρά.

Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς ή βάσης ET_r είναι η ένταση με την οποία νερό, εφόσον είναι άμεσα διαθέσιμο, απομακρύνεται από τις εδαφικές και φυτικές επιφάνειες μιας καλλιέργειας αναφοράς. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς ή απλώς, εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, εκφράζεται είτε σαν ροή λανθάνουσας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, λET_p , είτε σαν ισοδύναμο πάχος εξατμιζόμενου νερού ανά μονάδα χρόνου, ET_r .

Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ET_c είναι η ένταση με την οποία το νερό, εφόσον είναι άμεσα διαθέσιμο, απομακρύνεται από τις εδαφικές και φυτικές επιφάνειες μιας καλλιέργειας που αναπτύσσεται δυναμικά και επιτυγχάνει το μέγιστο της ανάπτυξης και απόδοσης κάτω από τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος που αναπτύσσεται.

Με τον όρο δυναμική ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία η καλλιέργεια είναι ελεύθερη από ασθένειες και οποιουδήποτε άλλους παράγοντες που λειτουργούν ανασταλτικά για την πλήρη ανάπτυξη της.



1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΙΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Είναι πολλοί οι παράγοντες που επιδρούν στην εξατμισοδιαπνοή και οι κυριότεροι είναι οι εξής:

α) οι μετεωρολογικοί όπως ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία του αέρα, σχετική υγρασία του αέρα και ταχύτητα του ανέμου

β) οι εδαφολογικοί όπως εδαφική σύσταση, δομή, πυκνότητα και χημικές ιδιότητες του εδάφους και

γ) οι φυτικοί όπως είδος φυτών, βάθος της ρίζας, φυλλική πυκνότητα, ύψος και στάδιο ανάπτυξης των φυτών.

Αν και η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να μετρηθεί άμεσα στον αγρό με διάφορες μεθόδους, όπως με τα λυσίμετρα (μεγάλα κυλινδρικά δοχεία εγκαταστημένα στο έδαφος), η έμμεση εκτίμησή της με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων είναι μία κοινή πρακτική, αφού ο τρόπος αυτός είναι χαμηλού κόστους και όχι χρονοβόρος. Οι περισσότερες εξισώσεις εκτίμησης της τιμής της εξατμισοδιαπνοής αναπτύχθηκαν με το συσχετισμό των άμεσα μετρημένων τιμών της εξατμισοδιαπνοής με συγκεκριμένες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων που επιδρούν στο μέγεθος της. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της εξατμισοδιαπνοής, είναι εξαιρετικά δύσκολο να διατυπωθεί μία εξίσωση που να μπορεί να εκτιμήσει την εξατμισοδιαπνοή κάτω από διαφορετικές συνθήκες, γι' αυτό αναπτύχθηκε από τους ερευνητές η ιδέα της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς. Η καλλιέργεια αναφοράς είναι συνήθως επιφάνεια γρασιδιού. Η εξατμισοδιαπνοή είναι αναλογική της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (reference evapotranspiration, ET_r) και εκφράζεται σε χιλιοστόμετρα (mm).

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μπορεί να εκτιμηθεί με την τοποθέτηση μετεωρολογικών σταθμών σε τυποποιημένες επιφάνειες αναφοράς για τις οποίες οι περισσότερες από τις βιολογικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις της εξατμισοδιαπνοής είναι γνωστές. Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραμέτρους η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εκτιμάται για τέτοιες επιφάνειες. Κατόπιν ένας φυτικός παράγοντας, γνωστός σαν φυτικός συντελεστής (k_c), χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (crop evapotranspiration, ET_c) για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια στο ίδιο μικροκλίμα με την θέση του μετεωρολογικού σταθμού.

1.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΤΓ

Μέθοδος Blaney-Criddle

Η διαδικασία των Blaney-Criddle (1950, 1962) για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών αναπτύχθηκε κατ' αρχή στις δυτικές ΗΠΑ, αλλά γρήγορα έτυχε παγκόσμιας αποδοχής. Η αρχική διαδικασία βασίστηκε σε μετρήσεις εξατμισοδιαπνοής που έγιναν τις δεκαετίες 1920 και 1930, με παρακολούθηση των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας σε δείγματα εδάφους. Η σχέση που δημιούργησαν οι Blaney-Criddle αναφερόταν στον υπολογισμό της εποχιακής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, με τη βασική παραδοχή ότι αυτή άμεσα διαμορφώνεται από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και των μέσων μηνιαίων ποσοστών των ωρών ημέρας του έτους, για μια δυναμικά αναπτυσσόμενη καλλιέργεια υπό συνθήκες επαρκούς εδαφικής υγρασίας. Η πλήρης σχέση των Blaney-Criddle έχει την μορφή, $U=K \sum (0,46T_i + 8,13)p_i$

όπου, U είναι η εποχιακή αναγκαία κατανάλωση σε mm πάχους υδάτινου στρώματος, T_i είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία για κάθε μήνα της βλαστικής περιόδου σε °C και p_i είναι το μηνιαίο ποσοστό των ωρών ημέρας του έτους για κάθε μήνα της βλαστικής περιόδου.

Σήμερα, η κλασσική μέθοδος των Blaney-Criddle δεν χρησιμοποιείται λόγω των σημαντικών αποκλίσεων που παρουσιάζει από την πραγματικότητα.

Πολυκριτηριακή ανάλυση με χρήση συμβιβαστικού προγραμματισμού. Εφαρμογή σε αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. ο Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά SCS Η Soil Conservation Service των ΗΠΑ (USDA, 1970) εισήγαγε μια συνθετική σχέση για τον υπολογισμό μηνιαίων τιμών του συντελεστή αναγκαίας κατανάλωσης που περιλαμβάνει έναν κλιματικό, k_i , και έναν φυτικό k_c συντελεστή. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή, $k=k_t * k_c$ όπου το k_t είναι η συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και δίνεται από τη σχέση, $k_t = 0,03114T + 0,240$ όπου T είναι η θερμοκρασία του αέρα σε °C. Τιμές του k_c δόθηκαν από την SCS για διάφορες καλλιέργειες με την μορφή διαγραμμάτων. Η μέθοδος των Blaney-Criddle, όπως αυτή διαμορφώνεται με την εισαγωγή των συντελεστών της SCS, αναφέρεται σαν μέθοδος Blaney-Criddle κατά SCS και μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από χορτοτάπητα ή μηδική, χρησιμοποιώντας αντίστοιχα τα k_c από τις παραπάνω σχέσεις.

Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά FAO-24 Οι Doorenbos και Pruitt (1977) τροποποίησαν ριζικά την αρχική σχέση των Blaney-Criddle και της έδωσαν μια νέα μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από χορτοτάπητα. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σαν τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά FAO-24 και βασίζεται στη γραμμική σχέση που παρατηρήθηκε μεταξύ μετρημένων τιμών της ET_r και του παράγοντα f των Blaney-Criddle σε διάφορες πειραματικές θέσεις σε πολλά μέρη του κόσμου. Η σχέση αυτή έχει την μορφή, $ET_r = a + bf$ όπου ET_r είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με βάση τον χορτοτάπητα, $f = [p(0.46T + 8.13)]$.

Μέθοδος Hargreaves

Ο Hargreaves το 1974, (Μπαλάς, 2004), ανέπτυξε μια μέθοδο για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς που είναι πολύ απλή και απαιτεί ελάχιστα κλιματικά δεδομένα. $ET_r = 0,0023 Ra (T_{mean} + 17,8) TD^{0,5}$.

Πολυκριτηριακή ανάλυση με χρήση συμβιβαστικού προγραμματισμού. Εφαρμογή σε αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. όπου Ra είναι η θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο πάχος εξατμισμένου νερού σε mm/d, T_{mean} είναι η μέση θερμοκρασία αέρα σε C και TD είναι η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας σε C. Η μέθοδος Hargreaves αναφέρεται στην παρούσα εργασία γιατί χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των καθαρών αναγκών νερού των καλλιεργειών.

1.2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΤc

Για τη μελέτη, σχεδιασμό και λειτουργία αρδευτικών δικτύων, όπως και για την εφαρμογή των αρδεύσεων, είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ΕΤc προκύπτει με πολλαπλασιασμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ΕΤr επί έναν φυτικό συντελεστή kc που είναι χαρακτηριστικός της κάθε καλλιέργειας. Ο φυτικός συντελεστής προσδιορίζεται πειραματικά, μεταβάλλεται από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, δηλαδή δεν είναι σταθερός και μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. $E_Tc = k_c * E_{Tr}$ όπου, ΕΤc και ΕΤr σε mm.

1.2.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες :

1. Την ηλιακή ακτινοβολία

Η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής καθορίζεται από το ποσό της διαθέσιμης ενέργειας για την εξάτμιση του νερού. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας και είναι ικανή να αλλάξει μεγάλες ποσότητες υγρού νερού σε υδρατμούς. Το δυνατό ποσό της ακτινοβολίας το οποίο μπορεί να φθάσει την επιφάνεια εξάτμισης καθορίζεται από την τοποθεσία του και τη χρονική στιγμή. Εξαιτίας των διάφορων θέσεων του ήλιου, η δυνατή ακτινοβολία διαφέρει στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη και στις διάφορες εποχές.

Η πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια εξάτμισης εξαρτάται από την θολρότητα της ατμόσφαιρας και την παρουσία των σύννεφων όπου ανακλούν και απορροφούν μεγάλα μέρη ακτινοβολίας. Για την αξιολόγηση της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην εξατμισοδιαπνοή, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν χρησιμοποιείται όλη η διαθέσιμη ενέργεια για να εξατμίσει το νερό. Μέρος της ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της ατμόσφαιρας και της εδαφοτομής.

2.Θερμοκρασία αέρα

Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από την ατμόσφαιρα και η θερμότητα που εκπέμπεται από τη γη, αυξάνουν τη θερμοκρασία του αέρα. Η θερμότητα που αντιστοιχεί σε διαφορά θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα μεταφέρει ενέργεια στη φυτική κόμη και ασκεί μια ελεγχόμενη επίδραση στο ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής. Σε ηλιόλουστο, θερμό καιρό η απώλεια νερού μέσω εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερη από ότι σε συννεφιασμένο και κρύο καιρό.

3.Υγρασια αέρα

Ενώ η ενέργεια από τον ήλιο και τον περιβάλλοντα αέρα είναι η κύρια προωθητική δύναμη για την εξάτμιση του νερού, η διαφορά μεταξύ της πίεσης υδρατμών στην επιφάνεια εξατμισοδιαπνοής και του περιβάλλοντα αέρα, είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την μετακίνηση του ατμού. Καλά ποτισμένα τμήματα

σε ζεστές και ξηρές περιοχές, καταναλώνουν μεγάλα ποσά νερού οφειλόμενα στην αφθονία της ενέργειας και της αποξηραντικής ικανότητας της ατμόσφαιρας.

Σε υγρές τροπικές περιοχές, παρά την υψηλή εισαγωγή ενέργειας, η υψηλή υγρασία του αέρα θα μειώσει την απαίτηση για εξατμισοδιαπνοή. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον ο αέρας είναι κίτλας κοντά σε κορεσμό, έτσι ώστε λιγότερο πρόσθετο νερό να μπορέσει να αποθηκευτεί, με αποτέλεσμα το ποσοστό εξατμισοδιαπνοής να είναι χαμηλότερο σε ξηρές περιοχές.

4. Ταχύτητα ανέμου

Η διαδικασία της μετακίνησης του ατμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αναταραχή στον άνεμο, η οποία μεταφέρει μεγάλες ποσότητες αέρα σε όλη την επιφάνεια εξάτμισης.

Όταν το νερό εξατμίζεται, ο αέρας πάνω από την επιφάνεια εξάτμισης γίνεται βαθμιαία κορεσμένος σε υδρατμούς. Εάν αυτός ο αέρας δεν αντικαθίσταται συνεχώς από ξηρό αέρα, η δύναμη ώθησης για την μετακίνηση των υδρατμών καθώς και το ποσοστό εξατμισοδιαπνοής συνεχώς θα μειώνονται.

Η απαίτηση για εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη σε ζεστό και υγρό καιρό λόγω της ξηρότητας του αέρα και του ποσού της διαθέσιμης ενέργειας ως άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και λανθάνουσας θερμότητας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες μεγάλη ποσότητα υδρατμών μπορεί να αποθηκευτεί στον αέρα, ενώ παράλληλα ο άνεμος μπορεί να προάγει τη μεταφορά του νερού προς λήψη υδρατμών. Από την άλλη μεριά, κάτω από υγρές καιρικές συνθήκες, η υψηλή υγρασία του αέρα και η παρουσία σύννεφων προκαλούν χαμηλότερο ποσοστό εξατμισοδιαπνοής. Η ταχύτητα του ανέμου επιδρά στο ποσοστό εξατμισοδιαπνοής, όσον αφορά τις υγρές συνθήκες, σε πολύ μικρότερο βαθμό από ότι σε ξηρές συνθήκες, όπου μικρές διαφορές στην ταχύτητα του ανέμου μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερες διαφορές στο ποσοστό εξατμισοδιαπνοής.

2. Το φυτικό είδος.

3. Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος.

4. Το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από την καλλιέργεια.

5. Το ύψος της καλλιέργειας και η τραχύτητα του φυλλώματος.

6. Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

7. Το έδαφος από την άποψη της υφής, δομής, φαινομένου ειδικού βάρους, μακρο και μικροπορώδους και γημικές ιδιότητες.

Λόγω των πολλών παραγόντων που υπεισέρχονται στην τιμή της εξατμισοδιαπνοής και της δυσκολίας στη διατύπωση εξίσωσης που να εκτιμά την εξατμισοδιαπνοή σε διαφορετικές συνθήκες εφαρμόζεται από τους ερευνητές η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (ET_r), με την διεθνώς γνωστή εξίσωση του FAO Penman-Montieth (Allen et al., 1998), η οποία χρησιμοποιεί δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας αέρα.

Είναι έμμεσος τρόπος υπολογισμού των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό και ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής (ET_c) της καλλιέργειας, προκύπτει από τη σχέση :

$$ET_c = K_c \times ET_r$$

όπου:

(K_c) είναι ο φυτικός συντελεστής που χρησιμοποιείται με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r) για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό των διαφόρων καλλιεργειών.

Ο φυτικός συντελεστής (K_c) για κάθε καλλιέργεια επηρεάζεται από το είδος του φυτού, το στάδιο και το ρυθμό ανάπτυξης, τις εδαφοκλιματικές συνθήκες και το ποσοστό φυτοκάλυψης του εδάφους.

Είναι αδιάστατος αριθμός, παίρνει τιμές από 0,1 έως 1,2. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και ο φυτικός συντελεστής παίρνονται από πίνακες προσαρμοσμένους στις ελληνικές συνθήκες από Έλληνες ερευνητές.

Άμεσος τρόπος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής (ET_r) είναι ο τρόπος μέτρησης με την βοήθεια λυσιμέτρου. Το λυσίμετρο είναι μία διάταξη κυλινδρικού δοχείου, εγκατεστημένου στο έδαφος η οποία περιλαμβάνει μία ζυγαριά ακριβείας, στην οποία τοποθετείται ένα ώριμο φυτό ή δένδρο με όλο του το ριζικό σύστημα και έδαφος, η οποία μετρά συνεχώς την ποσότητα του νερού που προστίθεται με την άρδευση ή την βροχή και αυτή που αφαιρείται με τη διαπνοή και εξάτμιση. Είναι πολυδάπανη και χρονοβόρος κατασκευή που χρησιμοποιείται μόνο από ερευνητικά ιδρύματα.

Ένας επίσης άμεσος τρόπος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής (ET_r) στο χωράφι ου θα περιγραφεί παρακάτω είναι με την μέθοδο του κυλινδρικού

εξατμισμέτρου. Από την εμπειρία μας θεωρείται ότι είναι ο πλέον εύχρηστος τρόπος μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής (ETr), χωρίς ιδιαίτερη δαπάνη και γνώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PENMAN-MONTEITH

Ένας μεγάλος αριθμός από εμπειρικές και ημιεμπειρικές εξισώσεις έχουν αναπτυχθεί για την αξιολόγηση της εξατμισοδιαπνοής της φυτικής κόμης ή εξατμισοδιαπνοής αναφοράς της φυτικής κόμης από μετεωρολογικά δεδομένα. Μερικές από τις μεθόδους είναι έγκυρες κάτω από συγκεκριμένες κλιματικές και αγρονομικές καταστάσεις και δεν μπορούν να εφαρμοστούν κάτω από διαφορετικές από αυτές συνθήκες.

Η μέθοδος FAO Penman-Monteith προτείνεται ως η δεδομένη μέθοδος για τον προσδιορισμό και υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς E_{To} . Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας E_{Tc} κάτω από τυπικές συνθήκες μπορεί να υπολογισθεί από κλιματικά δεδομένα, εισάγοντας τις αντιστάσεις της φυτοκαλλιέργειας, το albedo και τους συντελεστές αντίστασης του αέρα στη μέθοδο Penman-Monteith.

Καθώς όμως η διαθεσιμότητα των παραπάνω παραμέτρων δεν είναι πάντοτε δυνατή για διάφορους τύπους καλλιεργειών και κάτω από συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες, η χρήση των συντελεστών καλλιέργειας K_c σε συνδυασμό με την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς E_{To} θα μπορούσε να οδηγήσει στην εκτίμηση της E_{Tc} από τον λόγο: $E_{Tc} / E_{To} = K_c$.

2.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΦΥΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ (Kc)

Στη προσέγγιση του Kc η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ETc υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET0 με το Kc.

$$ETc = Kc Eto$$

όπου ETc: εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Kc: συντελεστής καλλιέργειας

ET0: εξατμισοδιαπνοή αναφοράς

Οι περισσότερες επιρροές από τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι ενσωματωμένες στην εκτίμηση της ET0. Επομένως καθώς η Eto αντιπροσωπεύει τον δείκτη επίδρασης των κλιματικών συνθηκών ο Kc διαφοροποιείται με τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε καλλιέργειας και επηρεάζεται μόνο από περίπτωση ακραίων κλιματικών συνθηκών. Αυτό το γεγονός παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιείται το Kc σε διαφορετικές περιοχές και κλίματα. Αυτός είναι ο πρωταρχικός λόγος της εκτεταμένης αποδοχής του και της χρησιμότητας της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας. Ο συντελεστής καλλιέργειας συνεπώς αντιπροσωπεύει μια σφαιρική επιρροή τεσσάρων βασικών χαρακτηριστικών που τον διαφοροποιούν από την καλλιέργεια αναφοράς. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

1) Το ύψος της καλλιέργειας, το οποίο επηρεάζει τον όρο της αεροδυναμικής αντίστασης r_a , (ο οποίος εισάγεται στην εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με τη μέθοδο Penman-Monteith και την στροβιλώδη μεταφορά των υδρατμών από την καλλιέργεια στην ατμόσφαιρα.

2) Η ανακλαστικότητα α (albedo) της φυτικής κόμης και του εδάφους η οποία επηρεάζεται από το βαθμό φυτοκάλυψης και της κατάστασης επιφανειακής υγρασίας του εδάφους. Η ανακλαστικότητα έχει άμεση επιρροή στην ροή της καθαρής ακτινοβολίας R_n η οποία θεωρείται η βασική πηγή ενέργειας στη διαδικασία εξάτμισης (Alves,1995; Alves et al.,1998).

3) Η αντίσταση της φυτοκόμης στην μεταφορά των υδρατμών από την καλλιέργεια στο περιβάλλον η οποία επηρεάζεται από την επιφάνεια του φυλλώματος, την ηλικία των φύλλων και τον έλεγχο και ρυθμό του ανοίγματος των στοματίων.

4) Την εξάτμιση από το έδαφος και ειδικότερα στη περίπτωση έκθεσης του εδάφους.

Η υγρασιακή κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και το ποσοστό κάλυψής του από την καλλιέργεια επηρεάζει την τιμή της επιφανειακής αντίστασης r_s . Ο συνδυασμός της αντίστασης της φυτοκόμης με εκείνη του εδάφους προσδιορίζει την συνολική αντίσταση της επιφάνειας r_s (bulk surface resistance).

Συνεπώς ο συντελεστής καλλιέργειας K_c ενσωματώνει όλα τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν μια τυπική καλλιέργεια από την καλλιέργεια αναφοράς η οποία έχει πάντα σταθερά χαρακτηριστικά και πλήρη εδαφική κάλυψη και επιπρόσθετα το K_c δεν διαφοροποιείται μόνο από τον τύπο κάθε καλλιέργειας αλλά επηρεάζεται φυσικά και από τα στάδια ανάπτυξης κάθε καλλιέργειας.

2.3 Η ΕΞΙΣΩΣΗ FAO PERMAN-MONTEITH

Η επιτροπή εμπειρογνομίωνων πρότειναν την υιοθέτηση της συνδυαστικής μεθόδου Penman-Monteith ως μια νέα πρότυπη μέθοδο για την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς. Με τον καθορισμό της φυτικής κόμης αναφοράς ως υποθετικής φυτικής κόμης με υποθετικό ύψος των 0.12m, να έχει αντίσταση επιφάνειας 70 s/m, που μοιάζει αρκετά με την εξάτμιση μιας επιφάνειας επέκτασης πράσινου γρασιδιού με ομοιόμορφο ύψος, αναπτυσσόμενης ενεργά και ποτισμένης, η FAO Penman-Monteith μέθοδος αναπτύχθηκε. Από την αυθεντική εξίσωση Penman-Monteith, και τις εξισώσεις της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης επιφάνειας, η μέθοδος Penman-Monteith για τον προσδιορισμό της ΕΤο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$ET_r = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Όπου:

Ετο: η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [mm/day]

R_n: η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια φυτικής κόμης [MJ/m² day]

G: η πυκνότητα θερμικής ροής του εδάφους [MJ/m² day]

T: η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε ύψος 2m [°C]

u₂: η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m [m/sec]

e_s: τάση κορεσμένων υδρατμών [kPa]

e_a: η πραγματική πίεση υδρατμών [kPa]

Δ: η κλίση της καμπύλης της πίεσης του ατμού [kPa °C]

γ: η ψυχομετρική σταθερά [kPa °C]

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ΕΤο παρέχει:

A) Εξατμισοδιαπνοή σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου ή σε άλλες περιοχές μπορεί να συγκριθεί.

B) Η εξατμισοδιαπνοή από άλλες φυτικές κόμης μπορεί να συσχετιστεί.

Η εξίσωση χρησιμοποιεί πρότυπες κλιματολογικές καταγραφές της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιοφάνεια), της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου. Για διασφάλιση της ακεραιότητας των υπολογισμών, οι

καιρικές μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται στα 2m πάνω από μια επεκτεινόμενη επιφάνεια πράσινου γρασιδιού, σκιάζοντας το έδαφος και όχι κοντά στο νερό.

Δεδομένα

Εκτός από την τοποθεσία, η εξίσωση FAO Penman-Monteith απαιτεί πληροφορίες για τη θερμοκρασία αέρα, την υγρασία, την ακτινοβολία και ταχύτητα του ανέμου, με εβδομαδιαίες, δεκαήμερες ή μηνιαίες μετρήσεις. Είναι σημαντικό να εντοπίσουμε τις μονάδες στις οποίες γίνονται οι καταγραφές των καιρικών πληροφοριών.

Τοποθεσία

Το ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (m) και το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας θα πρέπει να διευκρινιστεί. Αυτές οι πληροφορίες χρειάζεται να προσαρμόσουν κάποιες καιρικές παραμέτρους για τη μέση τοπική τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης και να υπολογίσουν την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας (R_a) και σε μερικές περιπτώσεις τις ώρες του φωτός της ημέρας (N). Στις υπολογιστικές διεργασίες για τα R_a , N, το γεωγραφικό πλάτος εκφράζεται σε ακτίνια. Θετική τιμή χρησιμοποιείται για το βόρειο ημισφαίριο και μια αρνητική τιμή για το νότιο.

Θερμοκρασία

Οι (μέσες) ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) είναι αναγκαίες. Μόνο όπου οι (μέσες) κύριες ημερήσιες θερμοκρασίες είναι διαθέσιμες, οι υπολογισμοί μπορούν ακόμη γίνουν, μα μερική υποτίμηση της ΕΤο πιθανόν να παρατηρηθεί οφειλόμενη στη μη γραμμικότητα της σχέσης κορεσμού πίεσης-θερμοκρασίας ατμού. Χρησιμοποιώντας τη μέση θερμοκρασία αέρα αντί των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών αέρα, παράγεται χαμηλότερη κορεσμένη πίεση ατμού e_s και ως εκ τούτου χαμηλότερη διαφορά πίεσης ατμού ($e_s - e_a$), και χαμηλότερη υπολογίσιμη εξατμισοδιαπνοή αναφοράς.

Υγρασία

Η (μέση) ημερήσια πραγματική πίεση ατμού e_a σε kPa είναι αναγκαία. Η πραγματική πίεση ατμού όπου μη διαθέσιμη, μπορεί να χωριστεί σε μέγιστη και ελάχιστη σχετική υγρασία (%), σε ψυχομετρική πληροφορία ή σε θερμοκρασία σημείου δρόσου.

Ακτινοβολία

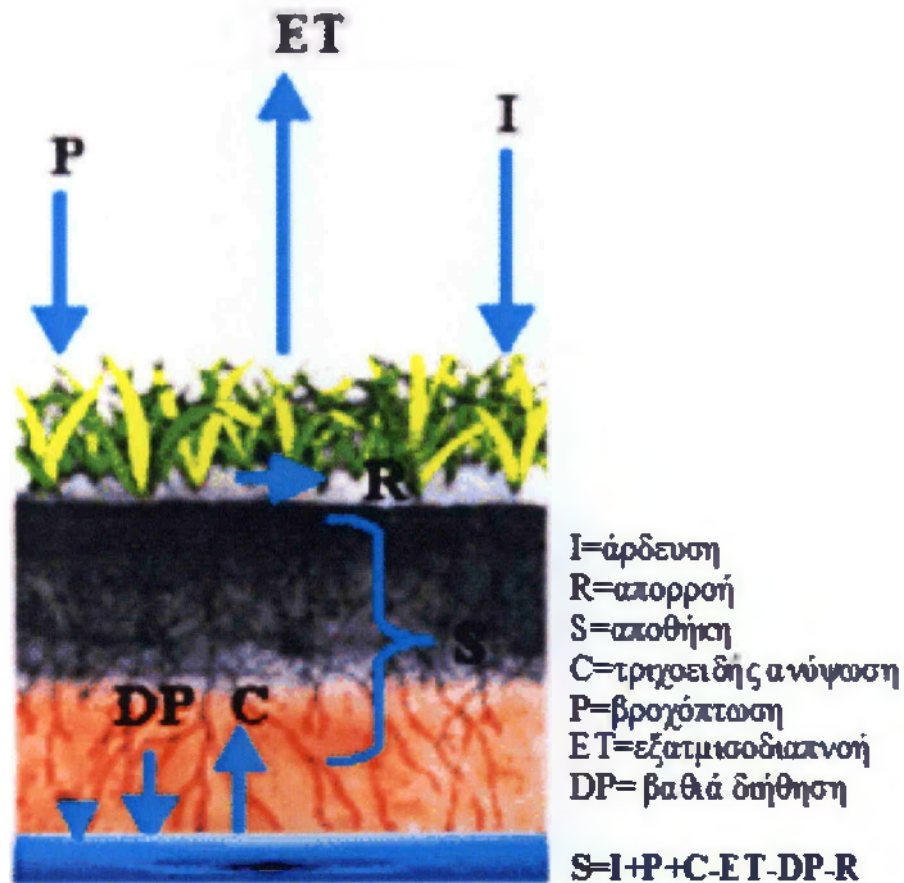
Η (μέση) ημερήσια καθαρή ακτινοβολία εκφρασμένη σε MJ/m²day είναι αναγκαία. Αυτές οι πληροφορίες δεν είναι συνήθως διαθέσιμες, αλλά μπορούν να παραχθούν από τη (μέση) μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία μετρημένη με πυρανόμετρο, ή από τη (μέση) ημερήσια πραγματική διάρκεια της ηλιοφάνειας (ώρες ανά μέρα) μετρημένη με καταγραφέα ηλιοφάνειας.

Ταχύτητα ανέμου

Η (μέση) ημερήσια ταχύτητα ανέμου (σε m/sec) μετρημένη σε ύψος 2m πάνω από το έδαφος είναι αναγκαία. Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί το ύψος στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου θα μετρείται καθώς οι ταχύτητες του ανέμου μετρούμενες σε διαφορετικά ύψη διαφέρουν.

2.4 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΝΕΡΟΥ

Το ισοζύγιο νερού στο ριζόστρωμα του φυτού απεικονίζει μια ισορροπία μεταξύ των εισροών και των εκροών του νερού. Οι εισροές του ισοζυγίου περιλαμβάνουν την βροχόπτωση, την άρδευση και την τριχοειδή ανύψωση από τον υπόγειο υδροφόρο. Οι εκροές του ισοζυγίου περιλαμβάνουν την εξατμισοδιαπνοή, την απορροή και τη βαθιά διήθηση.



Το ERMIS παρέχει τις εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από τις μετρήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, κ.λπ. χρησιμοποιώντας την εξίσωση

των Penman -Monteith. Το ERMIS παρέχει επίσης τις μετρημένες τιμές της βροχόπτωσης στους σταθμούς του. Ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τα υπόλοιπα τμήματα ισοζυγίου νερού του εδάφους που απαιτούνται για να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος. Η απορροή, η βαθιά διήθηση και η τριχοειδής ανύψωση μπορούν να υπολογιστούν με βάση τους τοπικούς παράγοντες όπως οι εδαφικές ιδιότητες και η κλίση. Η εκτίμηση των δύο τελευταίων παραμέτρων (βαθιά διήθηση και τριχοειδής ανύψωση) είναι αρκετά πολύπλοκη. Επειδή όμως αυτές οι τιμές είναι σχετικά μικρές (εξαρτώμενες από τη συγκεκριμένη κατάσταση) μπορούν να αγνοηθούν για πρακτικούς λόγους. Επίσης, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων δεν παρατηρήθηκε υπόγεια στάθμη και άρα τριχοειδής ανύψωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΣ

Αντικειμενικός σκοπός της αρδεύσεως είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της αποδόσεως τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων. Ένα σε ανάπτυξη φυτό παίρνει με τις ρίζες του νερό μαζί με τα διαλυμένα σε αυτό θρεπτικά στοιχεία που, μετά από μία διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς, καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί, όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοιχτά, το νερό κινείται παραπέρα με τη μορφή υδρατμών προς την περιβάλλουσα το φύλλωμα ατμόσφαιρα. Νερό επίσης χάνεται με τη διαδικασία της εξατμίσεως από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή είναι υγρή. Τέλος, μετά από βροχή ή άρδευση με καταιονισμό, το νερό που συγκρατείται από τα υπέργεια μέρη του φυτού εξατμίζεται και αυτό προς την ατμόσφαιρα. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με όλες αυτές τις διαδικασίες, αναφέρεται σαν εξατμισοδιαπνοή.

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που μαζί με την ωφέλιμη υγρασία, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για το σωστό προγραμματισμό των αρδεύσεων. Το τελικό μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φυτών και τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά τους.

3.2 ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ

Τα φυτικά είδη διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά την εποχή που αναπτύσσονται, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα και έκταση του φυλλώματος, το ύψος, και όταν αυτά καλλιεργούνται ομαδικά, τον τρόπο σποράς και τις μεταξύ τους αποστάσεις. Οι διαφορές αυτές, σε συνδυασμό με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, μπορεί να διαφοροποιήσουν το μέγεθος και την κατανομή της εξατμισοδιαπνοής από είδος σε είδος. Λόγω της σοβαρότητας του, το θέμα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο πολύχρονης εντατικής έρευνας. Βασισμένος στα πορίσματα αυτής της έρευνας, ο Penman (1956) έκανε τις ακόλουθες δύο γενικές διαπιστώσεις : α) καλλιέργειες που διαμορφώνουν το φύλλωμά τους σε χαμηλά επίπεδα, με παραπλήσια χαρακτηριστικά, που καλύπτουν πρακτικά όλη την επιφάνεια του εδάφους, που αναπτύσσονται σε χωράφια με επαρκή υγρασία σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, έχουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή ανεξάρτητα από το φυτικό είδος που ανήκουν και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο καλλιεργούνται, β) στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες της ατμόσφαιρας στην περιοχή του φυλλώματος και μόνο από αυτές. Εκτεταμένες μεταγενέστερες μελέτες που έγιναν σε πολλά μέρη του κόσμου επιβεβαιώνουν, με μικρές μόνο παρεκκλίσεις, την ορθότητα των διαπιστώσεων αυτών.

Η ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ

Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος, αλλά και του εδάφους, καθορίζει το ύψος της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάτε από τις επιφάνειες που τη δέχονται και επηρεάζει κατά ανάλογο τρόπο το ύψος της εξατμισοδιαπνοής. Η ανακλαστικότητα επηρεάζεται από το χρώμα και την τραχύτητα της επιφάνειας που δέχεται την ακτινοβολία. Εκτεταμένες παρατηρήσεις που έγιναν από τους Monthieth (1959) και Haise et al. (1963) έδειξαν ότι για τις περισσότερες πυκνά φυτεμένες καλλιέργειες το albedo κυμαίνεται από το 20-30% και το γυμνό έδαφος, ανάλογα με

τη σύστασή του και την περιεχόμενη υγρασία, από το 11-23%. Παρατηρήσεις σε μεμονωμένα φυτά έδειξαν ότι, σαν συνέπεια της διαφορετικής ανακλαστικότητάς τους, η εξατμισοδιαπνοή επηρεάστηκε σε ποσοστό μέχρι 25%. Όταν τα φυτά αυτά καλλιεργήθηκαν σε πυκνή διάταξη, η διαφορά περιορίστηκε στο ελάχιστο.

ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΕΩΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΛΛΩΜΑ

Το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα των καλλιεργειών ασκεί σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής. Προηγουμένως αναφέρθηκε ότι η ανακλαστικότητα του γυμνού εδάφους γενικά είναι μικρότερη από αυτή του φυλλώματος. Αυτό σημαίνει ότι το έδαφος απορροφά μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που είναι διαθέσιμο για εξάτμιση. Με βάση την ανακλαστικότητα και μόνο, αν η επιφάνεια του εδάφους είναι υγρή, η εξατμισοδιαπνοή θα είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερο είναι το ποσοστό καλύψεως από το φύλλωμα της επιφάνειας του εδάφους. Μια τέτοια ανάλυση όμως είναι ατελής. Σε σωστά συμπεράσματα θα καταλήξουμε αν συγκρίνουμε την εξάτμιση από το έδαφος και τη διαπνοή από τα φυτά κάτω από τις συνθήκες υγρασίας που επικρατούν στο χωράφι. Μετά από βροχή ή άρδευση, το επιφανειακό έδαφος είναι υγρό και η εξάτμιση από αυτό υπερτερεί της διαπνοής. Όμως η επιφάνεια του εδάφους ξεραίνεται ταχύτατα έτσι που μετά από δύο με τρεις ημέρες η εξάτμιση σχεδόν μηδενίζεται από έλλειψη υγρασίας. Αντίθετα, ο ρυθμός της διαπνοής διατηρείται αμείωτος σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, εφόσον το εδαφικό νερό διατηρείται στα όρια της ωφέλιμης υγρασίας. Επειδή, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, ο ρυθμός της διαπνοής διατηρείται αμείωτος ενώ εξάτμιση από το έδαφος γίνεται αποσπασματικά και μόνο όταν η επιφάνεια είναι υγρή, τελικά η εξατμισοδιαπνοή γίνεται μεγαλύτερη όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό καλύψεως της επιφάνειας του εδάφους από την καλλιέργεια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εξατμισοδιαπνοή γίνεται μέγιστη όταν η κάλυψη του εδάφους από το φύλλωμα είναι 100%. Αυτό όμως δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Μετά από πολλές μακροχρόνιες παρατηρήσεις οι Marlatt (1961), Tanner (1963) και Swan et al. (1963) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για τις περισσότερες καλλιέργειες, όταν το ποσοστό καλύψεως είναι 50-60% της επιφάνειας του εδάφους, η εξατμισοδιαπνοή λίγο διαφέρει από όταν το ποσοστό είναι 100%.

ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Γενικά, από τα δεδομένα που υπάρχουν, δεν φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από το ύψος των φυτών μιας καλλιέργειας. Σε πειράματα όμως που έγιναν σε θερμοκήπια, πράγματι παρατηρήθηκε ότι ψηλά φυτά παρουσίασαν πιο έντονη διαπνοή από χαμηλά. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα ψηλά μεμονωμένα φυτά, πέρα από την άμεση, δέχονται περισσότερη έμμεση ανοδική ακτινοβολία από το έδαφος που χρησιμοποιείται για διαπνοή. Στην περίπτωση όμως όχι μεμονωμένων φυτών αλλά καλλιεργειών που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του εδάφους, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην ακτινοβολία κάθε προελεύσεως που δέχονται με συνέπεια να μη παρατηρείται διαφοροποίηση στην εξατμισοδιαπνοή.

ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΡΙΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή κατά τρόπο έμμεσο, σε σχέση με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Σε υγρά εδάφη με ανοιχτή δομή όπου τα φυτά έχουν άφθονη υγρασία στη διάθεσή τους, φυτά με αβαθές και αραιό ριζικό σύστημα μπορούν να αντλούν, το ίδιο εύκολα, τις απαραίτητες ποσότητες νερού για την ικανοποίηση της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής τους όπως και τα φυτά με βαθιές και πυκνές ρίζες. Σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα και συνεκτικά εδάφη, φυτά με βαθύ και πυκνό ριζικό σύστημα εκμεταλλεύονται εύκολα όλη την εδαφική υγρασία σε αντίθεση με φυτά που έχουν επιπόλαιο και αραιό ριζικό σύστημα, με συνέπεια τα πρώτα να παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή από τα δεύτερα.

ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει με γρήγορο ρυθμό από το φύτευμα μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, διατηρείται σταθερή για ένα χρονικό διάστημα και μετά ελαττώνεται. Η ταχεία αύξηση κατά την περίοδο αναπτύξεως οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεταβολή του ποσοστού φυτοκαλύψεως του εδάφους

που ξεκινάει από μηδέν και φτάνει στο 100%. Η ελάττωση στα τελευταία στάδια της βλαστικής περιόδου οφείλεται σε φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών.

3.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Είναι γνωστό από τη φυσική ότι για την εξάτμιση ενός γραμμαρίου νερού χρειάζεται ενέργεια ίση περίπου με 590 cal. Η ίδια αυτή ενέργεια απαιτείται και για κάθε γραμμάριο νερού που μπαίνει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Η μοναδική πηγή που προμηθεύει στις καλλιέργειες αυτή την ενέργεια είναι ο ήλιος.

Μόλις εγκαταλείψουν την καλλιέργεια, οι υδρατμοί γίνονται μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκεινται σε όλες τις διαδικασίες αναμίξεως που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση, όσον αφορά τη σύνθεση και τη θερμοκρασία, του αέρα που περιβάλλει το φύλλωμα. Οι διαδικασίες αυτές εκφράζουν την αεροδυναμική συμπεριφορά της ατμόσφαιρας. Η ένταση της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση της κινητικότητας των υδρατμών που εξασφαλίζει η δυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας.

Δύο, κατά συνέπεια είναι οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν ουσιαστικά τι φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Ο πρώτος είναι η **διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας**, γιατί χωρίς αυτή δεν μπορεί να γίνει εξάτμιση και ο δεύτερος είναι η **αεροδυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας** που ρυθμίζει την ταχύτητα με την οποία απομακρύνονται οι υδρατμοί από την περιοχή του φυλλώματος και προσδιορίζει το ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής.

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Αν και η γνώση της κατανομής των τιμών των παραμέτρων που απαρτίζουν το ισοζύγιο ενέργειας πάνω στην γη είναι ενδιαφέρουσα, από πρακτική άποψη εκείνο που κατά κύριο λόγο ενδιαφέρει είναι οι μεταβολές που παρουσιάζουν οι παράμετροι αυτές κατά τη διάρκεια του έτους κάτω από διαφορετικές συνθήκες φυτοκαλύψεως και κλίματος. Η μετατροπή της καθαρής ακτινοβολίας στις άλλες μορφές ενέργειας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα νερού. Αν η διαθεσιμότητα αυτή είναι περιορισμένη, σειρά ολόκληρων παρατηρήσεων έδειξε ότι το ίδιο περιορισμένη είναι η λανθάνουσα θερμότητα και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα. Αντίθετα όταν υπάρχει άφθονη υγρασία στο έδαφος, το μεγαλύτερο μέρος της καθαρής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε λανθάνουσα και το μικρότερο σε αισθητή θερμοκρασία.

Η λανθάνουσα θερμότητα (LE) είναι ένας ποσοτικός εκφραστής της εξατμισοδιαπνοής (ET), αφού είναι γνωστό ότι για την εξάτμιση 1 cm³ νερού απαιτούνται 590 περίπου cal. Αν η ET εκφράζεται σε mm πάχους υδάτινου στρώματος και η LE σε cal, η σχέση που τους ενώνει είναι : $ET=LE/59$.

Για τον λόγο αυτό είναι χρήσιμο να εξετασθεί αν υπάρχει η μπορεί, ή μπορεί να βρεθεί, κάποια σχέση ανάμεσα στην LE και την καθαρή ακτινοβολία (Rn). Πειραματικές εργασίες πάνω στο αντικείμενο αυτό έγιναν σε πολλά μέρη του κόσμου. Κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθούν εδώ τρεις από αυτές που αντιπροσωπεύουν υγρά, ημίξηρα και ξηρά κλίματα.

Οι Aslyng και Jensen (1965) έκαναν ένα δεκαετές πείραμα σε χωράφι με μικτή καλλιέργεια χόρτου και τριφυλλιού σε περιοχή κοντά στην Κοπεγχάγη της Δανίας, με χαρακτηριστικό υγρό κλίμα. Παρατηρήσεις πάρθηκαν κατά την περίοδο Μαρτίου-Σεπτεμβρίου και δείχνουν ότι ο λόγος (-LE/Rn) είναι πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα. Άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται το καλοκαίρι. Η μεγάλη διακύμανση που παρατηρήθηκε στον λόγο αυτό εξηγείται με το γεγονός ότι, στο μεγάλο σχετικά γεωγραφικό πλάτος της Δανίας, η Rn είναι έντονα αρνητική το χειμώνα και η LE, που είναι πολύ περιορισμένη, εξασφαλίζεται από μεταφορά θερμότερων αέριων μαζών από τον ωκεανό. Την περίοδο αυτή ο λόγος (-LE/Rn) δεν υφίσταται. Η Rn αρχίζει να παίρνει θετικές τιμές την άνοιξη και φτάνει

στο μέγιστο κατά τον Ιούνιο. Την περίοδο αυτή αντίθετα από αυτό που γινόταν τον χειμώνα, ένα μεγάλο μέρος της R_n χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των αέριων μαζών που έρχονται από τον ωκεανό και είναι συγκριτικά ψυχρότερες. Αυτό συντελεί ώστε ο λόγος ($-LE/R_n$) να παίρνει μικρές τιμές.

Ο van Bavel (1966) παρουσίασε στοιχεία από ένα χωράφι καλλιεργημένο με μηδική στο Tempe της Αριζόνας, με χαρακτηριστικό ξηρό κλίμα. Στην περίπτωση αυτή η συμπεριφορά του λόγου ($-LE/R_n$) είναι ακριβώς αντίθετη από ότι στην Κοπεγχάγη. Στην περιοχή το πειράματος αυτού, όχι μόνο η R_n είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή της Δανίας αλλά και ο λόγος ($-LE/R_n$) είναι μεγαλύτερος της μονάδας όλο τον χρόνο, εκτός από το δίμηνο Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου. Αυτό οφείλεται στη γειτονίαση της περιοχής με αρκετά εκτεταμένες ερήμους που παρουσιάζουν έντονη ανοδική κίνηση θερμότητας η οποία μεταφέρεται στη συνέχεια πάνω από το Tempe, ενισχύοντας έτσι το δυναμικό εξατμίσεως.

Ο Pruiitt (1973) παρουσίασε στοιχεία από παρατηρήσεις διάρκειας τριών χρόνων σε χωράφι καλλιεργημένο με χορτοτάπητα στο Davis της Καλιφόρνιας που έχει ημίξηρο κλίμα. Η περίπτωση αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της ομοιότητας με τις συνθήκες που επικρατούν στις πεδινές περιοχές του τόπου μας, ο λόγος ($-LE/R_n$) είναι μικρότερος της μονάδας κατά την περίοδο Ιανουαρίου-Μαΐου, ίσος με τη μονάδα από τον Ιούνιο μέχρι και το Σεπτέμβριο και μεγαλύτερος από την μονάδα από τον Οκτώβριο μέχρι το τέλος του χρόνου. Κατά την πρώτη περίοδο ο λόγος είναι μικρότερος από τη μονάδα γιατί ένα μέρος της καθαρής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του σχετικά ψυχρού υπερκείμενου αέρα και την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους. Το καλοκαίρι που η τιμή της R_n παίρνει τις μέγιστες τιμές της, δεν παρατηρούνται μεταβολές στην αισθητή θερμότητα και ο λόγος παραμένει σταθερός και ίσος με τη μονάδα. Τέλος, το τελευταίο τρίμηνο του χρόνου, η τιμή της R_n περιορίζεται δραστικά ενώ στην LE συνεισφέρει το έδαφος λόγω μείωσης της θερμοκρασίας του, με αποτέλεσμα ο λόγος ($-LE/R_n$) να παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας.

Οι παραπάνω αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις δείχνουν ότι η αναλογία ($-LE/R_n$) δεν είναι σταθερή για όλους τους τόπους αλλά ούτε και κατά την διάρκεια του έτους στον ίδιο τόπο. Γίνεται φανερό ότι η αναλογία αυτή επηρεάζεται και από κλιματικούς παράγοντες, όπως είναι ο άνεμος, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, και από την τραχύτητα της φυτικής επιφάνειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ
4.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διάφορες ημιθεωρητικές μέθοδοι που υπολογίζουν με έμμεσο τρόπο την εξατμισοδιαπνοή για μικρές χρονικές περιόδους. Οι μέθοδοι αυτές επικράτησε να αναφέρονται σαν μικροκλιματικές και βασίζονται στο ισοζύγιο ενέργειας και τις σχέσεις που περιγράφουν τους μηχανισμούς που απομακρύνουν τους υδρατμούς από την περιοχή του φυλλώματος των καλλιεργειών. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μεθόδων αυτών, η καλλιέργεια πρέπει να καλύπτει όλη την επιφάνεια του εδάφους και να έχει στην διάθεσή της όσο νερό χρειάζεται για την ικανοποίηση των αναγκών της. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ο όρος της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής. Συγκεκριμένα, δυναμική εξατμισοδιαπνοή (PET) είναι η ποσότητα του νερού που καταναλίσκεται από μία καλλιέργεια με μικρό και ομοιόμορφο ύψος, δυναμική ανάπτυξη, φύλλωμα που καλύπτει όλη την επιφάνεια του εδάφους και έχει πάντοτε στη διάθεσή της όσο νερό της χρειάζεται. Κάτω από τις συνθήκες αυτές, η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται μόνο από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του υπέργειου τμήματος των φυτών.

Οι μικροκλιματικές μέθοδοι που υπολογίζουν τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις κλιματικές παραμέτρους που χρησιμοποιούν. Οι αεροδυναμικές μέθοδοι δίνουν κατά κύριο λόγο έμφαση στο μηχανισμό μεταφοράς των υδρατμών από την περιοχή του φυλλώματος των καλλιεργειών, οι μέθοδοι του ισοζυγίου ενέργειας έχουν σαν βάση την εκτίμηση της λανθάνουσας θερμότητας με την εξίσωση του ισοζυγίου ενέργειας και οι μικτές μέθοδοι αποτελούν συνδυασμό των δύο προηγούμενων.

4.2 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Είναι γνωστό από την αεροδυναμική ότι η ταχύτητα του κινούμενου μέσα σε ένα αγωγό αέρα είναι ίση με το μηδέν σε επαφή με τα τοιχώματα του αγωγού. Το ίδιο συμβαίνει και με τον αέρα που βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Όταν όμως το έδαφος καλύπτεται από καλλιέργειες, το επίπεδο στο οποίο η ταχύτητα του αέρα είναι ίση με το μηδέν, και για το λόγο αυτό λέγεται μηδενικό επίπεδο, δεν συμπίπτει με την επιφάνεια του εδάφους αλλά βρίσκεται κάπου ψηλότερα. Η απόσταση ανάμεσα στο έδαφος και το μηδενικό επίπεδο λέγεται μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου.

Αν στην ατμόσφαιρα επικρατούν αδιαβατικές συνθήκες, αν δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα είναι αμετάβλητη με το ύψος, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια λογαριθμική σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και την κατακόρυφη απόσταση πάνω από το μηδενικό επίπεδο. Αν σε ένα ημιλογαριθμικό χαρτί σχεδιαστεί η καμπύλη που σχετίζει την ταχύτητα του ανέμου με την απόσταση από το μηδενικό επίπεδο, αυτή πρέπει να είναι ευθεία γραμμή. Αν στο ίδιο χαρτί, σχεδιαστεί η καμπύλη που σχετίζει την ταχύτητα με την απόσταση από το έδαφος, η καμπύλη αυτή δεν είναι ευθεία αλλά παρουσιάζει μια καμπυλότητα που οφείλεται στο γεγονός ότι η επιφάνεια του εδάφους και το μηδενικό επίπεδο δεν ταυτίζονται. Η κατακόρυφη όμως απόσταση ανάμεσα στις δύο αυτές καμπύλες είναι σταθερή και ίση με την μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου. Η διαπίστωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μετατοπίσεως αυτής όταν δεν είναι γνωστή η θέση του μηδενικού επιπέδου.

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το ισοζύγιο ενέργειας στο έδαφος, όπως είδαμε και παραπάνω εκφράζεται από την σχέση $R_n + H + LE + G = 0$. Αν ήταν βολικό και εύκολο να υπολογισθεί η καθαρή ακτινοβολία (R_n), η αισθητή θερμότητα (H) και η κατακόρυφη ροή θερμότητας στο έδαφος (G), η διαθέσιμη για εξάτμιση ενέργεια που εκφράζεται από την λανθάνουσα θερμότητα (LE) θα μπορούσε να εκτιμηθεί σαν υπόλοιπο με την παραπάνω σχέση. Ενώ η R_n είναι δυνατό να υπολογισθεί με σχετική ακρίβεια, είτε άμεσα είτε έμμεσα, και η G είναι κατά κανόνα πολύ μικρή σε εδάφη καλυμμένα με πυκνή βλάστηση, η μέτρηση της H είναι το ίδιο προβληματική όσο και της LE . Αντί αυτού, είναι δυνατό να υπολογισθεί ο λόγος H/LE που είναι γνωστός σαν *αναλογία του Bowen* (1926).

Από την θερμοδυναμική είναι γνωστό ότι η στροβιλώδης μεταφορά της αισθητής θερμότητας μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση $H = -\rho c_p K_h (\Theta T / \Theta z)$

όπου H είναι σε $\text{cal/cm}^2 \text{ sec}$, ρ είναι η πυκνότητα των υδρατμών της ατμόσφαιρας σε gr/cm^3 , c_p είναι η ειδική θερμότητα του ξερού αέρα υπό σταθερή πίεση που είναι ίση με $0,24 \text{ cal/gr. } ^\circ\text{C}$, K_h είναι ο συντελεστής στροβιλώδους μεταφοράς της θερμότητας σε cm^2 / sec και T είναι η θερμοκρασία του αέρα σε $^\circ\text{C}$ σε κάποιο ύψος $z \text{ cm}$ πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Ακόμη είναι γνωστό ότι η στροβιλώδης μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας εκφράζεται με τη σχέση

$$LE = -\rho L K_w (\Theta q / \Theta z)$$

όπου η LE είναι σε $\text{cal/cm}^2 \text{ sec}$, L είναι η ειδική θερμότητα εξατμίσεως του νερού ίση περίπου με 590 cal/gr , K_w είναι ο συντελεστής στροβιλώδους μεταφοράς των υδρατμών σε cm^2 / sec και q είναι η συγκέντρωση υδρατμών στην ατμόσφαιρα σε $(\text{gr υδρατμών}) / (\text{gr αέρα})$. Κάνοντας χρήση των παραπάνω σχέσεων ο λόγος H/LE ισούται με $\beta = H/LE \Rightarrow H = \beta LE$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η διαχείριση του αρδευτικού νερού στη γεωργία, με σκοπό την εξοικονόμηση και αποτελεσματική χρήση του, με παράλληλη βελτιστοποίηση της παραγωγής, ελαχιστοποίηση του κόστους άρδευσης και προστασία του περιβάλλοντος, πρέπει να βασίζεται σε κατάλληλες ενέργειες που περιλαμβάνουν:

Α)Ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού στα αρδευτικά δίκτυα

Η ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού στα αρδευτικά δίκτυα κατά τη μεταφορά διανομή του μπορεί να γίνει με την αποκατάσταση των φθορών των δικτύων, τη σωστή συντήρησή τους, τον εκσυγχρονισμό τους με συσκευές ρύθμισης και μέτρησης της ροής και τη μελέτη της μετατροπής των ανοικτών αρδευτικών δικτύων σε κλειστά υπό πίεση.

Β)Συγκέντρωση και επεξεργασία στοιχείων

Στην περιοχή των αρδευόμενων καλλιεργειών είναι απαραίτητη η ύπαρξη μετεωρολογικού σταθμού. Στην περίπτωση μη ύπαρξης σταθμού, θα πρέπει να εγκατασταθεί σύγχρονος αυτόματος τηλεμετρικός μετεωρολογικός σταθμός στον οποίο να μετρούνται όλες οι κλιματικές παράμετροι, τουλάχιστον σε ημερήσιο χρονικό βήμα, που απαιτούνται για τον υπολογισμό των αρδευτικών παραμέτρων. Σε πιλοτικά πειραματικά χωράφια πρέπει να γίνονται δειγματοληψίες εδάφους σε διάφορα βάθη για τον προσδιορισμό του τύπου υφής του εδάφους, της υδατοϊκανότητας, του σημείου μόνιμης μάρανσης, του φαινόμενου ειδικού βάρους. Τέλος πρέπει να συγκεντρωθούν όλα τα στοιχεία που αφορούν την πηγή νερού (γεώτρηση κ.λ.π.) και την ποιότητά του. Γενικά, είναι απαραίτητη η δημιουργία βάσεων δεδομένων που αφορούν όλα τα παραπάνω στοιχεία, η επεξεργασία αυτών από τους αρμόδιους φορείς, η διάχυση της πληροφορίας και η εύκολη πρόσβαση σε αυτές κάθε ενδιαφερόμενου.

Γ)Υπολογισμός των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών

Οι καλλιέργειες, όταν έχουν στη διάθεσή τους νερό χωρίς κανένα περιορισμό, καταναλώνουν ποσότητες οι οποίες ρυθμίζονται από τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που τις περιβάλλει. Αυτό οδηγεί στη μεγιστοποίηση της βλάστησης, που δε σημαίνει κατ' ανάγκη μεγιστοποίηση και, πολύ περισσότερο, βελτιστοποίηση της απόδοσης. Το κείριο ερώτημα είναι τι προσδοκούμε από μια καλλιέργεια τη μεγιστοποίηση της φυτικής ύλης; τη μεγιστοποίηση της παραγωγής; ή τη μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος; Το ύψος των σε νερό αναγκών μιας καλλιέργειας διαφοροποιείται ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό. Η γεωργία αποβλέπει στη μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος και οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας πρέπει να προσδιορίζονται σαν αυτές που αποφέρουν το μέγιστο οικονομικό αποτέλεσμα σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Οι ανάγκες αυτές εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας. Κατά τα σήμερα κρατούντα, η εξατμισοδιαπνοή αυτή βασίζεται κατά το ένα σκέλος της στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και κατά το άλλο σε φυτικούς συντελεστές που αντιπροσωπεύουν τις ιδιαιτερότητες της κάθε καλλιέργειας. Ο σωστός υπολογισμός των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών πρέπει να βασίζεται στο τρίπτυχο (1) ακριβής υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής

καλλιέργειας, που αποσκοπεί στο μέγιστο οικονομικό αποτέλεσμα κάτω από τις συνθήκες της περιοχής, (2) ακριβέστερος δυνατός υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και (3) αντιπροσωπευτικοί φυτικοί συντελεστές, κάτω από τις ελληνικές συνθήκες.

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μιας καλλιέργειας (ET_c) γίνεται με τη βοήθεια της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (ET_r) και των φυτικών συντελεστών (k_c) [Doorenbos and Pruitt (1977), Wright (1982), Παπαζαφειρίου (1984, 1999), Jensen et al. (1990), Παπαμιχαήλ και Παπαζαφειρίου (1992), Παπαμιχαήλ (2000β, 2000γ), Allen et. al. (1998)] με μια σχέση της μορφής:

$$ET_c = K_c ET_r \quad (1)$$

όπου: ET_c και ET_r είναι αντίστοιχα η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και K_c είναι ο φυτικός συντελεστής.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r) έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές [Doorenbos and Pruitt (1977), Allen et al. (1989,1994,1998), Allen and Pruitt (1991), Michalopoulou and Papaioannou (1991), Παπαμιχαήλ κ.ά. (1994), Πουλοβασίλης κ.ά. (1995), Papazafiriou (1996), Paramichail and Terzidis (1996), Paramichail and Alexiou (1998), Παπαμιχαήλ και Γεωργίου (1999)]. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του FAO [Doorenbos and Pruitt (1977)] η ET_r διαμορφώνεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα τόπο και μόνο από αυτές και ορίζεται σαν η εξατμισοδιαπνοή από μία καλλιέργεια “αναφοράς” που αναπτύσσεται δυναμικά κάτω από συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού. Η επιλογή της καλλιέργειας αναφοράς αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας πολλών ερευνητών [Wright (1982), Jensen et al. (1990), Allen et al. (1994,1998)].

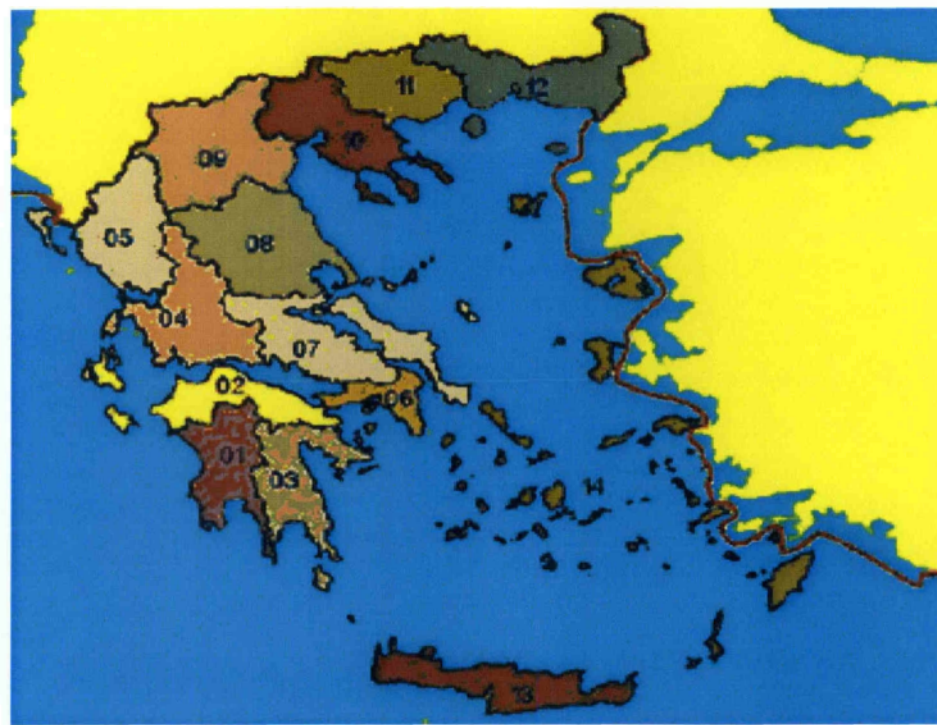
Η επιτροπή εμπειρογνομόνων του FAO [Smith et al. (1992), Allen et al. (1994)] μετά από ενδελεχή αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με στοιχεία ερευνητικών εργασιών και πειραματικά δεδομένα, πρότειναν τη μέθοδο FAO Penman-Monteith (P-M), η οποία είναι πιο ακριβής και ανταποκρίνεται καλά σε δεδομένα λυσιμέτρων.

Η εξίσωση που προτάθηκε από τους Smith et al.(1992) και Allen et al. (1994,1998), για να περιγράψει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_r που ορίζεται σαν ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής μίας υποθετικής καλλιέργειας αναφοράς, με μέσο ύψος 0,12m, σταθερή αντίσταση φυτικής κόμης 70sm^{-1} και σταθερό συντελεστή ανάκλασης ίσο με 0,23, η οποία προσομοιάζει την εξατμισοδιαπνοή από μια εκτεταμένη επιφάνεια γρασιδιού, ομοιόμορφου ύψους, που αναπτύσσεται δυναμικά, καλύπτει πλήρως το έδαφος και δεν υποφέρει από έλλειψη νερού, αναφέρεται σαν εξίσωση P-M.

Στην Ελλάδα, έγινε εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_r) με τη μέθοδο FAO Penman-Monteith (P-M) χρησιμοποιώντας μέσα μηνιαία κλιματικά δεδομένα, διαφόρων χρονικών περιόδων, 66 σταθμών της Ελλάδας [Γεωργίου κ. άλ., (2000)]. Σύμφωνα με το νόμο 1739/87, για τη διαχείριση των υδατικών πόρων [Υπουργείο Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας (1988), Παπαμιχαήλ (2001)], η Ελλάδα διαιρέθηκε σε 14 υδατικά διαμερίσματα, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 1, όπου δίνεται και η κατανομή των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, σε καθένα απ' αυτά. Όλοι οι σταθμοί, πλην δύο, ανήκουν στην Ε.Μ.Υ. και στις περιπτώσεις που

κάποιοι σταθμοί δεν διέθεταν το σύνολο των απαραίτητων κλιματικών παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά δεδομένα γειτονικών σταθμών.

Οι μέσοι όροι της ανά μήνα μέσης ημερήσιας τιμής της ET_r των σταθμών κάθε υδατικού διαμερίσματος, που εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο FAO Penman-Monteith (P-M) δίνονται στον Πίνακα 1.



01 Δυτ. Πελοποννήσου	06 Αττικής	11 Ανατ. Μακεδονίας
02 Βορ. Πελοποννήσου	07 Ανατ. Στερεάς	12 Θράκης
03 Ανατ. Πελοποννήσου	08 Θεσσαλίας	13 Κρήτης
04 Δυτ. Στερεάς Ελλάδας	09 Δυτ. Μακεδονίας	14 Νήσων Αιγαίου
05 Ηπείρου	10 Κεντρ. Μακεδονίας	

ΣΧΗΜΑ 1. Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας και κατανομή των σταθμών.

Μέσοι όροι της ανά μήνα μέσης ημερήσιας τιμής της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_r) των σταθμών κάθε υδατικού διαμερίσματος της Ελλάδας, που εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο FAO Penman-Monteith (P-M)

Πίνακας Ι

Υ. Δ.	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	
01	P- M	1,0 5	1,4 4	2,0 8	2,9 1	4,1 1	5,0 8	5,5 4	4,9 9	3,5 8	2,1 4	1,3 2	0,9 7
02	P- M	1,2 2	1,5 1	2,1 6	3,0 4	4,1 4	5,2 9	5,9 1	5,3 6	3,8 2	2,3 6	1,3 8	1,0 9
03	P- M	1,3 4	1,7 2	2,2 7	3,1 5	4,1 9	5,4 2	6,1 0	5,6 6	4,1 4	2,6 3	1,6 7	1,3 5
04	P- M	0,9 3	1,3 0	1,9 4	2,8 1	3,7 1	4,9 6	5,5 7	5,2 0	3,5 2	2,0 3	1,0 8	0,8 3
05	P- M	0,9 4	1,3 2	1,9 8	2,8 3	3,8 4	4,8 5	5,4 4	4,8 3	3,2 7	1,9 8	1,1 5	0,8 6
06	P- M	0,9 8	1,3 8	2,0 2	3,1 1	4,2 8	5,6 4	6,6 2	6,0 5	4,1 4	2,3 0	1,2 4	0,9 3
07	P- M	1,1 1	1,4 9	2,0 4	3,0 9	4,2 8	5,5 7	6,3 0	5,7 5	3,8 5	2,3 4	1,3 7	1,0 4
08	P- M	0,7 9	1,2 7	1,8 4	2,9 1	4,0 6	5,4 1	6,1 6	5,4 5	3,6 0	1,9 4	1,0 7	0,7 5
09	P- M	0,5 9	0,9 8	1,5 4	2,6 0	3,4 8	4,4 3	4,9 8	4,4 6	2,9 1	1,5 3	0,8 0	0,5 0
10	P- M	0,6 6	1,0 8	1,6 5	2,7 5	3,8 4	4,8 0	5,4 1	4,7 0	3,2 2	1,6 5	0,8 5	0,6 0
11	P- M	0,5 6	1,0 2	1,7 3	2,7 8	3,8 2	4,8 1	5,2 8	4,8 9	3,1 3	1,6 0	0,7 9	0,4 4
12	P- M	0,7 8	1,1 1	1,7 7	2,7 1	3,8 0	4,9 1	5,7 5	5,0 8	3,5 7	2,0 0	1,0 1	0,7 2
13	P- M	1,5 1	1,9 1	2,5 7	3,4 8	4,5 4	5,7 3	6,3 2	5,7 5	4,2 1	2,6 0	1,7 9	1,5 6
14	P- M	1,5 6	1,9 2	2,5 6	3,5 1	4,5 8	5,9 6	6,7 4	6,1 5	4,6 0	2,8 7	1,8 3	1,6 0

Δ) Υπολογισμό αρδευτικών παραμέτρων

Σκοπός της άρδευσης είναι να δοθεί στην καλλιέργεια συμπληρωματικά νερό, όταν αυτό που προέρχεται από τη βροχή και την ήδη αποθηκευμένη στο έδαφος υγρασία δεν είναι επαρκές για να καλύψει πλήρως τις ανάγκες των καλλιεργειών. Η ποσότητα, ο χρόνος και η διάρκεια της άρδευσης δίνονται από τις αρδευτικές παραμέτρους, που είναι η διαθέσιμη και η ωφέλιμη υγρασία, το καθαρό και ολικό βάθος άρδευσης, η αρδευτική δόση, η διάρκεια άρδευσης και το εύρος άρδευσης

Ε) Σχεδιασμό μεθόδων άρδευσης

Στην περίπτωση της τεχνητής βροχής και των επιφανειακών μεθόδων οι απώλειες μπορούν να περιοριστούν πάρα πολύ και η αποδοτικότητα εφαρμογής τους να αυξηθεί με το σωστό σχεδιασμό τους [Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ (1996), Παπαμιχαήλ και Παπαδήμος (1995, 1996α, 1996β), Παπαμιχαήλ (2000α)]. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την περίπτωση της μεθόδου άρδευσης με αυλάκια μηδενικής κλίσης που επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανημάτων ισοπέδωσης Λέηζερ και τον κατάλληλο σχεδιασμό η αποδοτικότητα εφαρμογής μπορεί να φθάσει και στο 90 %.

Στην περίπτωση των συστημάτων μικροάρδευσης, βασική αρχή για το σχεδιασμό τους είναι η γνώση της κατανομής της υγρασίας στο έδαφος μετά την έξοδο του νερού από το σταλακτήρα ή το μικροκαταιονιστήρα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η επιλογή της κατάλληλης διάταξης που αφορά τις αποστάσεις μεταξύ των αγωγών εφαρμογής και την απόσταση μεταξύ των σταλακτιών ή των μικροκαταιονιστήρων. Μετά την επιλογή της διάταξης, ο σωστός σχεδιασμός απαιτεί την εκτέλεση όλων εκείνων των υπολογισμών που αναφέρονται στις παροχές, στις διαμέτρους, στα μήκη, στις απώλειες φορτίου κ.λ.π. και αποσκοπούν στην καλή λειτουργία του δικτύου και την ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης (Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ, 1996).

ΣΤ) Προγραμματισμό αρδεύσεων

Ο προσδιορισμός των ημερομηνιών, αλλά και του καθαρού και ολικού βάθους άρδευσης κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, λέγεται προγραμματισμός αρδεύσεων. Ο προγραμματισμός είναι μια διαδικασία που παίρνει υπόψη της την εδαφική υγρασία που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου, το ύψος και την κατανομή των βροχών κατά τη βλαστική περίοδο, την τυχόν συμβολή από ανοδική κίνηση νερού όταν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη, την ωφέλιμη υγρασία του εδάφους στο βάθος του ριζοστρώματος και την ημερήσια τιμή της εξατμισοδιαπνοής.

Ζ) Σχέσεις νερού-παραγωγής

Η ανάπτυξη και η απόδοση μιας καλλιέργειας είναι συνάρτηση της διαθεσιμότητας νερού. Αν η διαθεσιμότητα νερού είναι επαρκής για την κάλυψη της

μέγιστης εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, η αναμενόμενη απόδοσή της θα είναι η μέγιστη, με την προϋπόθεση βέβαια ότι όλοι οι άλλοι παράγοντες που τη διαμορφώνουν δεν υπόκεινται σε κανένα περιορισμό. Αν η διαθεσιμότητα νερού δεν καλύπτει την ΕΤ_m τότε, όπως είναι φυσικό, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, ΕΤ_a, θα είναι μικρότερη της ΕΤ_m. Στην περίπτωση αυτή θα δημιουργηθεί αντίδραση στα φυτά που θα επηρεάσει, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, την ανάπτυξη και, τελικά, την απόδοσή τους. Το μέγεθος του επηρεασμού εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας, την ποικιλία, το μέγεθος και το χρόνο εμφάνισης του ελλείμματος υγρασίας. Η ποσοτική εκτίμηση του αποτελέσματος που έχει το έλλειμμα νερού πάνω στη μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας είναι μία πολύ σημαντική πληροφορία για τους φορείς διαχείρισης των υδατικών πόρων γιατί επιτρέπει την επιλογή των καταλληλότερων καλλιεργειών και τη σωστή κατανομή τους στην αρδευόμενη έκταση με βάση τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Η γνώση των σχέσεων νερού-παραγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση της αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών (Κ.Ο.Γ.Π., 2005, Υ.Α.Α.Τ., 2005).

Η) Χρήση μαθηματικών μοντέλων

Η εισαγωγή της σύγχρονης τεχνολογίας και της πληροφορικής με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων είναι απαραίτητη για τον ορθολογικό προγραμματισμό των αρδεύσεων και την καλύτερη διαχείριση του αρδευτικού νερού κάτω από τις Ελληνικές Συνθήκες. Τα μοντέλα επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους έτσι ώστε στο ενδεικνυόμενο επίπεδο εδαφικής υγρασίας να εφαρμόζεται η απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού. Η σύνδεση της απόδοσης της καλλιέργειας με την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους θα μπορεί να δώσει μία νέα θεώρηση στο πρόγραμμα άρδευσης και να οδηγήσει στην εξοικονόμηση νερού αφού είναι πολύ εύκολος ο έλεγχος διαφόρων προγραμμάτων άρδευσης σε συνδυασμό με την επίδρασή τους στην απόδοση της καλλιέργειας.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EXCEL ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Μέθοδος Blaney-Criddle

$$E_T = a + b \cdot F$$

$a = 0,467 + 0,113 \cdot F$

$$b = a_1 + a_2 \left(\frac{RH_{max}}{100} \right) + a_3 \left(\frac{U_a}{10} \right) + a_4 \left(U_a^2 \right) + a_5 \left(\frac{Z}{100} \right) + a_6 \left(\frac{Z^2}{100} \right)$$

Δεδομένα πρότυπα	Θεωρήσιμα
Πόλη	Θεσσαλονίκη
Μήνας	Ιούλιος
Γεωγραφικό Πλάτος	40o
Θερμοκρασία (T) (°C)	24
Μέση ημερήσια πραγματική ρυφήνεση (rh)	12,5
Ταχύτητα ανέμου (U _a) (m/s)	3,525
Υψος μέτρησης ταχύτητας ανέμου (z) (m)	6

Κλιματικά δεδομένα μεθόδου	Μετρήσιμα δεδομένα μεθόδου
Ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των εφών ημέρας (p)	0,33
Μέση ημερήσια θεωρητική ρυφήνεση (N)	14,7
Μέση ημερήσια ελάχιστη σχετική υγρασία (RH _{max})	42
Μέση ημερήσια ταχύτητα του αέρα σε ύψος 2m (U _a)	2,829664005

Υπολογισμός εξετμισοδιαπνοής	Αποτελέσματα
F	6,3281 mm ² d ⁻¹
a	-2,07974
b	1,459279
E_T	7,151804 mm²d⁻¹

Υπολογισμός εξετμισοδιαπνοής καλιέργειας	Αποτελέσματα
K _c	0,8
E_{Tc}	5,721443 mm²d⁻¹

Δεδομένα πρότυπα

Εισάγετε τις κλιματικές παραμέτρους που ζητούνται από τον πίνακα προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός της βασικής εξετμισοδιαπνοής. Προσοχή στην θερμοκρασία της επιφάνειας καθώς αποτελεί την κύρια κλιματική παράμετρο σε αυτή την μέθοδο υπολογισμού.

Κλιματικά δεδομένα μεθόδου

Τα κλιματικά δεδομένα μεθόδου είναι αυτά που απαιτούνται από την μέθοδο για τον υπολογισμό της εξετμισοδιαπνοής. Υπολογίζονται από τα δεδομένα χρήση σε συνδυασμό με σταθμούς που αντλούνται από τους πίνακες που βρίσκονται στο φύλλο εργασίας Data Πλο αναλυτικά:

- Οι συντελεστές p και N εφρύνονται από τον μήνα και το γεωγραφικό πλάτος.
- Ο συντελεστής RH_{max} εφρύνεται από την τοποθεσία.
- Ο συντελεστής U_a εφρύνεται από την ταχύτητα του ανέμου και το ύψος στο οποίο μετρήθηκε.

Υπολογισμός εξετμισοδιαπνοής

Τέλος η βασική εξετμισοδιαπνοή υπολογίζεται βάση των κλιματικών δεδομένων και με εφαρμογή του τύπου Blaney-Criddle όπως παρατίθεται στην αρχή του φύλλου εργασίας.

Παρατίθεται και ο φυσιολογικός συντελεστής K_c για τον υπολογισμό της εξετμισοδιαπνοής καλλιέργειας. Προσοχή ο συντελεστής είναι διαθέσιμος μόνο για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο εκτός από τα εστιακούς στα οποία διατίθενται και για Άνοιξη, Οκτώβριο.

Μέθοδος Hargreaves

$$ET_r = 0,0023 Ra (T_m + 17,8)TD^{0,5}$$

Δεδομένα χρήστη

Πόλη	Θεσ/νίκη
Μήνας	Ιούλιος
Γεωγραφικό Πλάτος	40ο
Ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	15
Μέγιστη θερμοκρασία (°C)	28

Δεδομένα χρήστη

Εισάγετε τις κλιματικές παραμέτρους που ζητούνται από τον πίνακα προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής.

Κλιματικά δεδομένα μεθόδου

Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία (R_s) (mm/d)	16,7
Μέση θερμοκρασία αέρα (T_{mean})	25,5
Διαφορά μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας	13

Κλιματικά δεδομένα μεθόδου

Τα κλιματικά δεδομένα μεθόδου είναι αυτά που απαιτούνται από την μέθοδο για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Υπολογίζονται από τα δεδομένα χρήστη σε συνδυασμό με σταθερές που αντλούνται από τους πίνακες που βρίσκονται στο φύλλο εργασίας Data. Πιο αναλυτικά:

- Οι συντελεστές R_s εξαρτάται από τον μήνα και το γεωγραφικό πλάτος.
- Ο συντελεστής T_{mean} εξαρτάται από την τοποθεσία και τον μήνα.
- Ο συντελεστής TD εξαρτάται από την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία.

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

ET_r	5,99658	mm*α ⁻¹
--------	---------	--------------------

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας

K_c	Αγλαδιά	0,8	
ET_c		4,79727	mm*α ⁻¹

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

Τέλος η βασική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται βάση των κλιματικών δεδομένων και με εφαρμογή του τύπου Hargreaves όπως παρατίθεται στην αρχή του φύλλου εργασίας.

Παρατίθεται και ο φυτικός συντελεστής K_c για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας. Προσοχή ο συντελεστής είναι διαθέσιμος μόνο για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο εκτός από τα εσπεριδοειδή στα οποία διατίθεται και για Απρίλιο, Οκτώβριο.

Μέθοδος Penman-Monteith

$$ET_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_c (1710 - 6,857) \frac{1}{T_a} (e_a - e_s)$$

Εσταθερές και επιμέρους παράμετροι

Ειδική θερμότητα υγρού αέρα (c_{pa}) (cal/g)	0,242
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	2,6620753
Αντίσταση επιφάνειας σε υδρατμούς (r_s)	79,129355
Μετατόπιση μηδενικού επιπέδου (d) (m)	0,1
Ταχύτητα φυτοκόμης (z_{0m})	0,01845
Ταχύτητα φυτοκόμης (z_{0h})	0,001845
Ατμοσφαιρική πίεση (P)	986,625
Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (λ) (cal/g)	589,764
Μέση ημερήσια θεωρητική ηλιοφάνεια (N)	14,7
Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία (R_{0t}) (mm/d)	16,7
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (R_{0c})	11,27534
καθαρή μικρού μήκους ακτινοβολία (R_{net})	8,4565051
Παράμετρος μεγάλου μήκους ακτινοβολίας (R _{nl})	15,45817
Παράμετρος μεγάλου μήκους ακτινοβολίας (R _{nl})	0,1701577
Παράμετρος μεγάλου μήκους ακτινοβολίας (R _{nl} /N)	0,0653061
καθαρή μεγάλου μήκους ακτινοβολία (R_{net})	2,2760381

Εσταθερές και επιμέρους παράμετροι

Οι παράμετροι αυτού του πίνακα αποτελούν συντελεστές στον υπολογισμό των κλιματικών δεδομένων της μεθόδου. Υπολογίζονται βάση των δεδομένων χρήστη, ή αντλούνται από τους πίνακες στο φύλλο εργασίας Data ή αποτελούν συνδυασμό και των δύο.

Δεδομένα χρήστη

Πόλη	Θεσ/νίκη
Μήνας	Ιούλιος
Γεωγραφικό πλάτος	40o
Θερμοκρασία (T) (°C)	24
Ταχύτητα ανέμου (U _a) (m/s)	3,525
Ύψος μέτρησης ταχύτητας ανέμου (z _u) (m)	6
Ύψος μέτρησης υγρασίας (z _p) (m)	2
Υψόμετρο (m)	250
Μέσο ύψος φυτοκόμης (h _c) (cm)	15
Μέση σχετική υγρασία (RH _{mean})	50
Μέση ημερήσια πραγματική ηλιοφάνεια (n)	12,5

Δεδομένα χρήστη

Εισάγετε τις κλιματικές παραμέτρους που ζητούνται από τον πίνακα προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός της βασικής εξάτμισιοδραστικής.

Κλιματικά δεδομένα μεθόδου

Τα κλιματικά δεδομένα μεθόδου είναι αυτά που απαιτούνται από την μέθοδο για τον υπολογισμό της εξάτμισιοδραστικής. Υπολογίζονται από τα δεδομένα χρήστη σε συνδυασμό με σταθερές που αντλούνται από τους πίνακες που βρίσκονται στο φύλλο εργασίας Data.

Κλιματικά δεδομένα μεθόδου

Κλίση της γραμμής στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών (Δ) (mb/°C)	1,78938
Ψυχρομετρική σταθερά (γ) (mb/°C)	0,65768
Παράμετρος γ(1+γ/r _s) (γ*)	1,38945
Καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (R _{nl}) (mm/d)	6,18047
Συντελεστής εξίσωσης μονάδων (K _c)	0,0408
Αεροδυναμική αντίσταση στην μεταφορά αισθητής θερμότητας και υδρατμών (r _a) (s/m)	67,5229
Πίεση κορεσμού υδρατμών (e _s) (mbar)	29,8
Πίεση υδρατμών ατμόσφαιρας (e _a)	14,9

Υπολογισμός εξάτμισιοδραστικής

ET_p 6,35801 mm*d⁻¹

Υπολογισμός εξάτμισιοδραστικής καλλιέργειας

K_c Αγλαδιά 0,8
ET_c 5,08641 mm*d⁻¹

Υπολογισμός εξάτμισιοδραστικής

Τέλος η βασική εξάτμισιοδραστική υπολογίζεται βάση των κλιματικών δεδομένων και με εφαρμογή του τύπου Penman-Monteith όπως παρατίθεται στην αρχή του φύλλου εργασίας.

Παρατίθεται και ο φυτικός συντελεστής K_c για τον υπολογισμό της εξάτμισιοδραστικής καλλιέργειας. Προσοχή ο συντελεστής είναι διαθέσιμος μόνο για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο και από τα εκπαίδευση στα οποία διατίθεται και για Απρίλιο, Οκτώβριο.

Ημερήσιο ποσοστό του ετήσιου αριθμού ωρών ημέρας, συντελεστής p

Μήνας	Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος					
	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Ιανουάριος	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21
Φεβρουάριος	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
Μάρτιος	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Απρίλιος	0,29	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3
Μάιος	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33
Ιούνιος	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34
Ιούλιος	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33
Αύγουστος	0,3	0,3	0,3	0,31	0,31	0,31
Σεπτέμβριος	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Οκτώβριος	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Νοέμβριος	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22
Δεκέμβριος	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21

Μέση θεωρητική ηλιοφάνεια N , που αντιστοιχεί στο μήνα και το γεωγραφικό πλάτος

Μήνας	Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος					
	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Ιανουάριος	10,3	10,2	10	9,8	9,6	9,4
Φεβρουάριος	11,3	11	10,9	10,8	10,7	10,6
Μάρτιος	12	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Απρίλιος	13	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	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	9,8
Δεκέμβριος	10	9,9	9,7	9,5	9,3	9,1

Μέση ετήσια σχετική υγρασία και μέση ετήσια σχετική υγρασία διαφόρων περιοχών της Ελλάδας κατά προέλευση

Περιοχή	Μέση ετήσια σχετική υγρασία	Μέση ετήσια σχετική υγρασία
	RH _{ετήσ} (%)	RH _{ετήσ} (%)
Αργόλις	45	80
Αθήνα	36	75
Αιολία	40	85
Αρκαδία	45	80
Άρκα	50	80
Βέροια	55	85
Δράμα	45	85
Έβρος	55	90
Εβρώτιδα	53	75
Θάκης	41	85
Θράκη	40	85
Ιόνια	40	90
Καβάλα	48	95
Καλαμάτα	50	85
Καζάντση	40	85
Καστοριά	55	90
Κεφαλονιά	55	80
Κίβρα	54	80
Κίρκη	40	80
Κοζάνη	40	85
Κοζιμωτή	40	80
Κόρινθος	45	75
Λαμία	40	85
Λάρισα	40	85
Λέζβη	40	85
Μακεδονία	45	90
Μακεδονία	45	85
Νάξος	50	85
Εύβοια	40	80
Ορεοπέλας	48	85
Πάτρα	46	75
Πελοπόννησος	61	85
Πέλοπος	45	75
Ροδός	45	85
Σάμος	50	85
Σάμω	50	80
Τριφυλία	40	85
Τριφυλία	35	85
Φθιώτιδα	50	80
Χαλκίδα	40	85
Χανιά	52	78
Ίωβος	40	80

Πίναξη κορεσμού των υδρατμών e_s , για διάφορες θερμοκρασίες του αέρα, σε mbar

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

Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία R_a ως 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	8,6	8,1
Μάρτιος	12,8	12,4	12,1	11,8	11,4	11
Απρίλιος	15	14,8	14,7	14,5	14,3	14
Μάιος	16,5	16,5	16,4	16,4	16,4	16,2
Ιούνιος	17	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
Σεπτέμβριος	13,6	13,4	13,1	12,8	12,5	12,2
Οκτώβριος	11,2	10,8	10,6	10	9,6	9,1
Νοέμβριος	9	8,5	8	7,5	7	6,5
Δεκεμβριος	7,8	7,2	6,6	6,1	5,7	5,2

Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε °C

Ποίη	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αυγούστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	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
Αθήνα	9,8	10,5	11,9	15,9	20,7	24,9	27,4	27,6	23,8	19	15,9	12	18
Αιγάλεω	4,8	6,2	7,8	12,3	6,9	21	23,8	24	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	23,3	19,7	16,4	13,1	18,2
Άρτα	9,2	9,8	11,7	15,6	19,6	23,1	26	26,4	23	18,3	14,3	9,9	17
Βολος	8	9,6	11,2	15,2	19,6	23,4	25,8	25,8	22,3	18	14,6	10	17
Δράμα	3,7	6	9	13,9	16,9	22,8	24,9	25	20,9	15,6	10,7	5,6	14,8
Έδεσσα	3,5	5,3	8,1	13,3	18,1	22	24,4	24,6	19,8	14,5	10,2	5,5	14,1
Ηρακλειο	12,2	12,7	13,8	16,5	20,2	24	25,9	25	23,9	19,8	17,2	14,2	18,8
Θεσσαλονίκη	5,4	7,7	9	14,1	19	23,1	25,5	25,7	21,8	16,8	12,5	7,5	15,7
Θήβα	9,8	10,5	12	16	21,1	25,2	27,4	27,4	23,9	19,5	16	12	18,4
Ιερίσση	5	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
Καλλιμαρία	11,4	11,6	12,7	15,2	18,8	22,6	24,9	25,3	23	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	22,4	18,5	13,2	9,1	3,8	12,7
Κατερίνη	7,9	9	10,5	15,6	20,4	21,5	26,9	26,8	22,9	18	14,4	9,8	17,2
Κέρκυρα	9,7	11,6	12,7	15,2	18,8	24,9	24,9	25,3	23	19,7	16,4	13,1	18,2
Κίλικα	3,5	5,3	8,1	13,3	18,1	24,7	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	22,8	22	22,4	18,5	13,2	9,1	3,8	12,2
Κομοτηνή	5,2	6,4	8,2	12,8	17,6	22,2	24,3	24,1	20,2	15,4	11,7	7,3	14,6
Κορinthos	9,8	10,5	11,9	15,9	20,7	22,4	27,4	27,6	23,8	19	15,9	12	18
Λάρισα	7,9	9	10,5	15,6	20,4	23,9	26,9	26,8	22,9	18	14,4	9,8	17,2
Λαμία	5,1	6,9	8,9	13,3	18,2	22	25,5	25,2	21,4	16,2	11,6	6,7	15
Λιβάδια	9,8	10,5	12	16	21,1	21,5	27,2	27,4	23,9	19,5	16	12	18,4
Μεσολόγγι	10,4	10,5	12,1	15,3	19,1	22,2	24,4	25	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Μυτιλήνη	9,5	10,2	11,5	15,4	19,6	23,9	26	25,9	22,7	18,4	13,3	12	17,6
Ναύσια	3,5	5,3	8,1	13,3	18,1	22	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
Ορεοκαστριά	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	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Πρεβεζα	10,4	10,5	12,1	15,3	19,1	22,4	24,4	25	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Πύργος	10,5	10,7	12,3	15	18,9	23,5	24,8	25,5	22,9	19,2	15,6	11,9	17,5
Ροδος	11,4	11,7	13	16	20	24,2	26,5	27	24,1	20,1	16,6	13,3	18,7
Σάμος	3,7	6	9	13,9	16,9	22,8	24,9	25	20,9	15,6	10,7	5,6	14,8
Σπάρτη	9	10	12,1	15,9	20,3	25,4	28,2	28,2	25,2	18,4	14,5	10,7	18,3
Τρικαλα	5,4	7,7	9,8	14,9	19,6	24,2	26,3	26,8	22,1	16,9	12,4	7,1	16,1
Τρικόλη	5,2	6	7,7	11,2	15,6	19,8	22,1	22,4	19,2	14,4	11,1	7,3	13,5
Φλωρίνα	0,4	7,6	8	11	15,8	19,2	21,2	21,2	18	12,8	8,6	2,4	11,7
Χαλκίδα	9,8	10,5	12	16	21,1	25,2	27,2	27,4	23,9	19,5	16	12	18,4
Χανιά	12,2	12,7	13,8	16,5	20,2	24	25,9	25	23,9	19,8	17,2	14,2	18,8
Χios	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

Τιμές του φορτίου συντήρησης Κε για σκοπόρνες και αμείλιχες

Κολλοεργασία	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Μήνας Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος
Αγλαδία		0,45	0,5	0,8	0,65	0,6	
Βερικοκιά		0,45	0,5	0,8	0,65	0,6	
Δαμασκηνιά		0,45	0,5	0,8	0,65	0,6	
Ροδακινιά		0,45	0,5	0,8	0,65	0,6	
Φύστικιά		0,45	0,5	0,8	0,65	0,6	
Καρυδιά		0,45	0,65	0,8	0,65	0,6	
Κερσιπιά		0,45	0,65	0,8	0,65	0,6	
Μηλιά		0,45	0,65	0,8	0,65	0,6	
Εσπεριδοειδή	0,55	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8
Αμπελιώνες		0,3	0,35	0,5	0,45	0,35	
Ελασιώνες		0,25	0,35	0,45	0,45	0,3	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A. and L.S. Pereira, 1994: An update for the definition and for the calculation of reference evapotranspiration. ICID BULLETIN, 43(2):1-92.
2. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and M. Smith, 1998: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
3. Wright J.L. 1982. New Evaporation Crop Coefficients. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 108: 57-74.
4. Παπαμιχαήλ, 2000α. Εξοικονόμηση νερού – Αρδευτικές μέθοδοι. Πρόγραμμα Γεωργίας. Διαχείριση Υδατικών και Ενεργειακών Πόρων. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., σελ. 25-37.
5. Παπαμιχαήλ, , 2000β. Ελλειμματικές συνθήκες διαθεσιμότητας νερού – διαχείριση στο αγροτεμάχιο. Πρόγραμμα Γεωργίας. Υδατικών και Ενεργειακών Πόρων. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., σελ. 38-52.
6. Αλεξίου, Ι., Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Καλφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., 2000. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μέσω συναρτήσεων διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας. Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ, Αθήνα, 493 – 500.
7. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρουδής, Ι. και Πογιαρίδης, Θ., 1996. Χάρτες κατανομής μέσης ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στους νομούς Καρδίτσας και Τρικάλων. Πρακτικά διεθνούς Επιστημονικού Συνεδρίου με θέμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Λάρισα 13-16 Νοεμβρίου, 1: 232-243.
8. Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38: 54-94.
9. Turc, L., 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise a jour. Annual Agronomy, 12: 13-49.
10. Γερζίδη – Παπαζαφειρίου, Γεωργική υδραυλική.