

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΡΙΝΙΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ 20 ΕΤΩΝ (1981-2001) ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ

The screenshot shows the 'ETr Calculator' software interface, version 1.0. The window title is 'ETr Calculator Έκδοση 1.0 - [Εισαγωγή Δεδομένων]'. The menu bar includes 'Αρχείο', 'Επεξεργασία', 'Μέθοδος Penman', 'Μέθοδος Blaney-Criddle', 'Αποτελέσματα', 'Σχετικά', and 'DEMO'. The toolbar contains icons for file operations and data visualization. The main area is titled 'Εισαγωγή Δεδομένων' and contains several input sections:

- Επιλέξτε Έτος:** A dropdown menu with '2006' selected.
- Επιλέξτε Περιοχή:** Radio buttons for 'Γεωγραφικό Πλάτος από Λίστα' (selected) and 'Άλλο Γεωγραφικό Πλάτος:'. A dropdown menu shows 'Αγρίνιο'. Below it, 'Γεωγραφικό Πλάτος Περιοχής:' is set to '38ο 37'.
- Όνομα Περιοχής:** Radio buttons for 'Απο Λίστα:' (selected) and 'Άλλο:'. A text box contains 'Αγρίνιο'.
- Υψόμετρο Περιοχής:** Radio buttons for 'Υψόμετρο από Λίστα' (selected) and 'Άλλο Υψόμετρο:'. A dropdown menu shows '0 m'.
- Μέση Max και Min Σχετική Υγρασία RH:** Two sub-sections. The first has 'RHmin:' set to '45%' and radio buttons for 'Άλλο:' and 'Άρχική Τιμή'. The second has 'RHmax:' set to '80%' and radio buttons for 'Άλλο:' and 'Άρχική Τιμή'.
- Λόγος U ανέμου UHμέρας/UNύχτας:** A dropdown menu with '2' selected.

At the bottom right, there is a button labeled 'Αριθμητικά Δεδομένα' with a green play icon. The status bar at the bottom shows the date '3/2/2006' and time '10:27:09 μμ'.

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΚΑΛΤΣΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΚΛΗΜΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΚΑΠΡΑΝΗΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς από μελετητές πάρα πολλές μέθοδοι και απόψεις. Ανάμεσα στις μεθόδους αυτές είναι και οι μέθοδοι του Penman και του Blaney – Criddle για τις οποίες θα κάνουμε λόγο στην παρούσα εργασία. Οι παραπάνω μέθοδοι είναι έμμεσοι τρόποι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής. Στην συγκεκριμένη εργασία η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από ένα πρόγραμμα στην Visual Basic, το οποίο έχει και την δυνατότητα να συσχετίζει τις δύο αυτές μεθόδους καθώς και να εμφανίζει και κάποια στατιστικά αποτελέσματα.

Όσον αφορά την κατασκευή αυτού του προγράμματος θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον φίλο μας, πολιτικό μηχανικό, Νάνο Δημήτριο που με τις γνώσεις του πάνω στην Visual Basic με βοήθησε για την υλοποίηση αυτού του προγράμματος. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία που μας έδωσε τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής του Αγρινίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ.....	2
1.1 Γενικά.....	2
2. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ.....	4
2.1 Γενικά.....	4
2.2 Ορισμός της εξατμισοδιαπνοής.....	4
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.....	5
2.3.1 Φυτικοί παράγοντες.....	5
2.3.2 Βιολογικοί παράγοντες.....	9
2.3.3 Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.....	10
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	24
3.1 Γενικές αρχές και ορισμοί.....	24
3.2 Άμεσες μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής.....	25
3.2.1 Μέθοδος του λυσιμέτρου.....	25
3.2.2 Πειραματικοί αγροί.....	27
3.2.3 Μέθοδος του ισοζυγίου της μάζας.....	29
3.2.4 Μέθοδος του ισοζυγίου της ενέργειας ή ακτινοβολίας.....	30
3.2.5 Μέθοδος του εξατμισιμέτρου.....	31
3.3 Έμμεσες μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής.....	37
3.3.1 Η μέθοδος του Penman.....	37
3.3.2 Διαδικασία υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με την μέθοδο Penman.....	38
3.3.3 Περιγραφή μεταβλητών της μεθόδου Penman.....	40
3.3.4 Μέθοδος των Blaney – Criddle.....	58
3.4 Φυτικοί συντελεστές.....	64
3.4.1 Φυτικοί συντελεστές των ετήσιων καλλιεργειών.....	64
3.4.2 Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης των ετήσιων καλλιεργειών.....	66
3.4.3 Πίνακες με φυτικούς συντελεστές.....	68
4. Η ΕΝΕΡΓΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ.....	70
5. Η ΕΙΣΡΟΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΤΑΘΜΗ.....	72
6. ΟΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ.....	73
7. Ο ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ.....	75

8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΒΑΜΒΑΚΙ.....	78
9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΡΙΝΙΟΥ.....	85
9.1 Υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής ETr.....	85
9.2 Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETc για τρεις καλλιέργειες που είναι ιδιαίτερα ευρείς στην περιοχή του Αγρινίου...	104
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	113
Βιβλιογραφία.....	117

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι βασικό στοιχείο του κύκλου ζωής των φυτών. Νερό χρειάζεται για να φυτρώσουν οι σπόροι, νερό είναι απαραίτητο για τη διεκπεραίωση όλων των φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών και το νερό αποτελεί τον κύριο μηχανισμό μεταφοράς των θρεπτικών στοιχείων και των προϊόντων φωτοσύνθεσης στα διάφορα μέρη του φυτού. Από πολύ νωρίς ο άνθρωπος διαπίστωσε ότι στα ξερά κλίματα η πρόσθετη χορήγηση νερού, πέρα από αυτό που εξασφαλίζεται από τη φύση με τη μορφή βροχής, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής. Στη σύγχρονη εποχή, η άρδευση γνώρισε τεράστια εξάπλωση από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και μετά και συνέβαλε στην αλματώδη αύξηση της γεωργικής παραγωγής που ήταν αναγκαία για την κάλυψη των διατροφικών, και όχι μόνο, αναγκών του ραγδαία αυξανόμενου πληθυσμού της γης.

Η μεγάλη αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων στο πρόσφατο παρελθόν, η οποία συνεχίζεται και σήμερα με βραδύτερους ρυθμούς, ασκεί ισχυρότατη πίεση πάνω στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, επίγειους και υπόγειους. Η γεωργία κατέχει το 80% της συνολικής ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται στον πλανήτη μας. Το πρόβλημα εμφανίζεται περισσότερο

οξυμμένο σε ορισμένες περιοχές, λόγω της γεωγραφικής ανισοκατανομής των υδατικών πόρων.

Αρχή της προσπάθειας για την εκλογίκευση της χρήσης νερού στη γεωργία πρέπει να αποτελέσει ο σαφής προσδιορισμός των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αυτή κατά το ένα σκέλος της βασίζεται στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς που καθορίζεται από κλιματικούς παράγοντες και, κατά το άλλο σκέλος, σε φυτικούς συντελεστές που προσδιορίζονται πειραματικά για κάθε στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών.

1.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ

1.1. Γενικά

Ο σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της απόδοσής τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων. Ένα σε ανάπτυξη φυτό παίρνει με τις ρίζες του το νερό μαζί με τα διαλυμένα σ' αυτό θρεπτικά στοιχεία που, μετά μια διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς, καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί, όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοιχτά το νερό κινείται παραπέρα με την μορφή υδρατμών προς την περιβάουσα το φύλλωμα ατμόσφαιρα. Νερό επίσης χάνεται από το χωράφι με την διαδικασία της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή είναι υγρή. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με τις διαδικασίες αυτές αποτελεί την *εξατμισοδιαπνοή*. Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και των συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα.

Τα είδη των φυτών που απαρτίζουν τις διάφορες καλλιέργειες διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά τη βλαστική τους περίοδο, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα, την έκταση και την

ανακλαστικότητα του φυλλώματος και τον τρόπο που καλλιεργούνται. Οι διαφορές αυτές συνεπάγονται αντίστοιχες διαφοροποιήσεις της εξατμισοδιαπνοής από καλλιέργεια σε καλλιέργεια.

Γενικά, η εξατμισοδιαπνοή είναι ένα φαινόμενο εξάτμισης που γίνεται κάτω από κάποιες συνθήκες. Για να υπάρξει εξάτμιση χρειάζεται ενέργεια και, συγκεκριμένα, για την εξάτμιση ενός γραμμαρίου νερού χρειάζεται ενέργεια ίση περίπου με 590 cal. Στη φύση η πηγή που προμηθεύει την ενέργεια αυτή στις καλλιέργειες είναι ο ήλιος. Όταν οι υδρατμοί εγκαταλείψουν την καλλιέργεια γίνονται μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκειται σε όλες τις διαδικασίες ανάμιξης που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση σε ότι αφορά την πυκνότητα, τη σύνθεση και την θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το φύλλωμα. Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση της κινητικότητας των υδρατμών που, κατά κύριο λόγο, διαμορφώνεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

Το φυτό, αφού συγκρατήσει τα αναγκαία για να ζήσει θρεπτικά συστατικά, αποβάλλει νερό από τα φύλλα υπό την 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 την διαπνοή των φυτών, λαμβάνει χώρα και εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους της καλλιέργειας.

Με τον όρο **υδατοκατανάλωση**, των καλλιεργειών, εννοούμε την συνολική ποσότητα του νερού, που χρησιμοποιείται για την 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 την 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 την 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.

2. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

2.1 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 σημαντικότατο 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 εξεταστούν κατά προτεραιότητα οι ανάγκες εξατμισοδιαπνοής στις διάφορες επιμέρους εκτάσεις.

2.2 Ορισμός της εξατμισοδιαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή, είναι το άθροισμα των εξής παραγόντων:

1. Της διαπνοής, άρα 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, η οποία εκφράζει την ποσότητα του νερού, η 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 την δροσιά ή από την άρδευση με καταιονισμό και στην συνέχεια εξατμίζεται χωρίς να περάσει μέσα από τα φυτά, αποτελεί ένα μέρος της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή είναι δυνατό να εκφράζει τις απαιτήσεις μιας καλλιέργειας, ενός χωραφιού, ενός κτήματος ή και ολόκληρης πεδιάδας. Όταν είναι γνωστή η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών, είναι δυνατόν 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.

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από φυτικούς, βιολογικούς και κλιματολογικούς παράγοντες.

2.3.1. Φυτικοί παράγοντες.

2.3.1.1. Είδος φυτού.

Τα φυτά 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 περιβάλλοντος, μπορεί να διαφοροποιήσουν το μέγεθος και την κατανομή της εξατμισοδιαπνοής

από είδος σε είδος. Λόγω της σοβαρότητάς του, το θέμα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο πολύχρονης εντατικής έρευνας. Βασισμένος στα πορίσματα αυτής της έρευνας, ο Penman (1956) έκανε τις ακόλουθες δύο γενικές διαπιστώσεις:

A) 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 την διάρκεια της βλαστικής περιόδου, έχουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή ανεξάρτητα από το φυτικό είδος που ανήκουν και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο καλλιεργούνται.

B) 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.

2.3.1.2. Ανακλαστικότητα του φυλλώματος

Η ηλιακή ακτινοβολία η οποία απορροφάται από τις επιφάνειες που την δέχονται και μπορεί να συμβάλει στην αύξηση ή την μείωση της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται, άμεσα από την ανακλαστικότητα του φυλλώματος και του εδάφους. Οι παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν την ανακλαστικότητα ή να την μειώσουν είναι η τραχύτητα της επιφάνειας και το χρώμα της. Όσο πιο λεία είναι η επιφάνεια του φυλλώματος τόσο πιο μεγάλη ανακλαστικότητα έχουμε. Το ίδιο συμβαίνει και με τα φύλλα που έχουν ανοιχτό χρωματισμό. Όταν έχουμε τραχεία επιφάνεια φυλλώματος και χρώμα πολύ σκούρο έχουμε πολύ μικρή ανακλαστικότητα. Από πειραματικές εργασίες των Monthieth (1959) και Haise (1963) διαπιστώθηκε ότι:

A) Η ανακλαστικότητα για πυκνές φυτεμένες καλλιέργειες κυμαίνεται από 20% μέχρι 30%.

B) Για γυμνό έδαφος ανάλογα με το είδος του εδάφους και της περιερχόμενης υγρασίας κυμαίνεται από 11% μέχρι 23%.

Παρατηρήσεις σε μεμονωμένα φυτά έδειξαν ότι σαν συνέπεια της διαφορετικής ανακλαστικότητας η εξατμισοδιαπνοή επηρεάστηκε μέχρι 25%, σε πυκνή φύτευση η διαφορά περιορίστηκε στο ελάχιστο.

2.3.1.3. Ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμα

Το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα των καλλιεργειών ασκεί σημαντική επίδραση στην διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής. Προηγούμενα 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 θα είναι το ποσοστό κάλυψης από το φύλλωμα της επιφάνειας του εδάφους. Μια τέτοια κάλυψη όμως είναι ατελής. Σε σωστά συμπεράσματα θα καταλήξουμε αν συγκρίνουμε την εξάτμιση από το έδαφος και την 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 ξεραινεται ταχύτατα έτσι που μετά από 2-3 μέρες η εξάτμιση σχεδόν μηδενίζεται από έλλειψη υγρασίας. Αντίθετα, ο ρυθμός της διαπνοής διατηρείται αμείωτος σε όλη την διάρκεια της βλαστικής περιόδου, εφόσον το εδαφικό νερό διατηρείται στα όρια της ωφέλιμης υγρασίας. Επειδή, κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου, ο ρυθμός της διαπνοής διατηρείται αμείωτος ενώ η εξάτμιση από το έδαφος γίνεται αποσπασματικά και μόνο όταν η επιφάνεια είναι υγρή, τελικά η εξατμισοδιαπνοή γίνεται μεγαλύτερη όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό κάλυψης 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 (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%.

2.3.1.4. Το ύψος των φυτών

Γενικά από δεδομένα που υπάρχουν δεν φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από το ύψος των φυτών μιας καλλιέργειας. Από πειράματα που έγιναν διαπιστώθηκε ότι το ύψος των φυτών παίζει μικρό ρόλο στην αύξηση της εξατμισοδιαπνοής, παρατηρήσεις που έγιναν στα θερμοκήπια έδειξαν ότι, όσο πιο μεγάλο ύψος έχουν τα φυτά τόσο μεγαλύτερη παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή, το αντίθετο συμβαίνει όταν τα φυτά έχουν μικρό ύψος. 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 επιφάνεια του εδάφους, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην ακτινοβολία κάθε προελεύσεως που δέχονται, με συνέπεια να μην παρατηρείται διαφοροποίηση στην εξατμισοδιαπνοή.

2.3.1.5. Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος.

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 εξατμισοδιαπνοή τους όπως και τα φυτά με βαθιές και πυκνές ρίζες. Σε ξηρά και ημιξηρά 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.

2.3.1.6. Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Καθ' όλη την διάρκεια της βλαστικής περιόδου ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι σταθερός. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει γρήγορα από την σπορά μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, διατηρείται σταθερή μέχρι ένα χρονικό στάδιο και μετά ελαττώνεται. Η ταχεία αύξηση κατά την περίοδο ανάπτυξης οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μεταβολή του ποσοστού φυτοκαλύψεως του εδάφους που ξεκινάει από το μηδέν και φτάνει στο 100%. Η ελάττωση στα τελευταία στάδια της βλαστικής περιόδου οφείλεται σε φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών.

2.3.2. 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 μιας 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 μιας καλλιέργειας, είναι διαφορετική από μια άλλη.

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

Πίνακας 1

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ
Σιτάρι	Το προ του ξεσταχυάσματος 150ήμερο

Καλαμπόκι	15 ημέρες πριν και 15 ημέρες μετά από την εμφάνιση των αρρένων οργάνων
Ζαχαρότευτλα	Η περίοδος ανάπτυξης της ρίζας
Βαμβάκι	Ο προηγούμενος μήνας από την άνθηση
Πατάτες	Η περίοδος σχηματισμού των κονδύλων
Ροδακινιές	Έξι εβδομάδες πριν από την συγκομιδή
Μηλιές	Από τις αρχές Ιουνίου μέχρι την συγκομιδή

2.3.3. Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.

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 την διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Η μοναδική πηγή που προμηθεύει στις καλλιέργειες αυτή την ενέργεια είναι ο ήλιος.

Οι υδρατμοί μόλις εγκαταλείψουν την καλλιέργεια, γίνονται μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκεινται σε όλες τις διαδικασίες αναμίξεως που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση, όσον αφορά την σύνθεση και την 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.

Οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν ουσιαστικά το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής είναι δύο. Ο πρώτος είναι η διαθεσιμότητα ενέργειας (ηλιακής), γιατί χωρίς αυτή δεν μπορεί να γίνει εξάτμιση. 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.

2.3.3.1. Ισοζύγιο ηλιακής ενέργειας.

Η γη στην επιφάνειά της δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία και εκπέμπει ταυτόχρονα, ακτινοβολία προς το περιβάλλον. Αν η γη ήταν ένα μαύρο σώμα η θερμοκρασία της θα μπορούσε να υπολογιστεί από την σχέση των Stefan – Boltzman: $H = \sigma * T^4$, όπου:

H: η ροή θερμότητας σε cal / cm*min,

T: η απόλυτη θερμοκρασία σε K και

σ : η σταθερά των Stefan – Boltzman η οποία είναι ίση με $8,14 * 10^{-8}$ cal / cm*min*K.

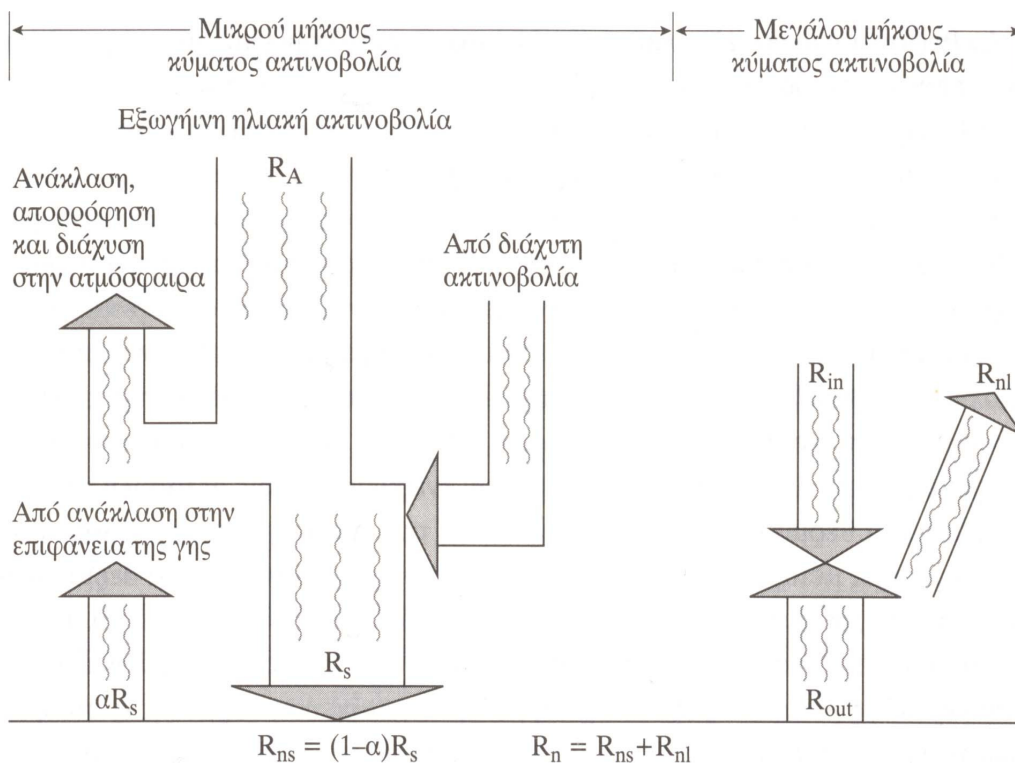
Το περισσότερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην γη ανήκει στο ορατό φάσμα, είναι δηλαδή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την γη προς την ατμόσφαιρα ανήκει στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος, είναι δηλαδή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

Εάν τοποθετήσουμε μία επιφάνεια ίση με 1cm στο απώτατο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας κάθετη προς τις ηλιακές ακτίνες, η ακτινοβολία που δέχεται σύμφωνα με τον Sellers (1965) ισούται με 2 cal / cm*min*K. Την ποσότητα αυτή την ονομάζουμε ηλιακή σταθερά. Στην θέση αυτή που έχουμε τοποθετήσει την επιφάνεια υπάρχει μία και μοναδική θέση για συγκεκριμένο χρόνο όπου η επιφάνεια είναι κάθετη στις ηλιακές ακτίνες. Στον συγκεκριμένο αυτό χρόνο εάν τοποθετήσουμε αλλού την επιφάνεια οι ηλιακές ακτίνες που θα δέχεται θα είναι υπό γωνία. Η γωνία αυτή είναι γνωστή σαν ηλιακή γωνία α. Μπορούμε να την υπολογίσουμε με την βοήθεια του γεωγραφικού πλάτους (L), την εποχιακή απόκλιση του ήλιου (δ) και της ωριαίας γωνίας (H) με την σχέση:

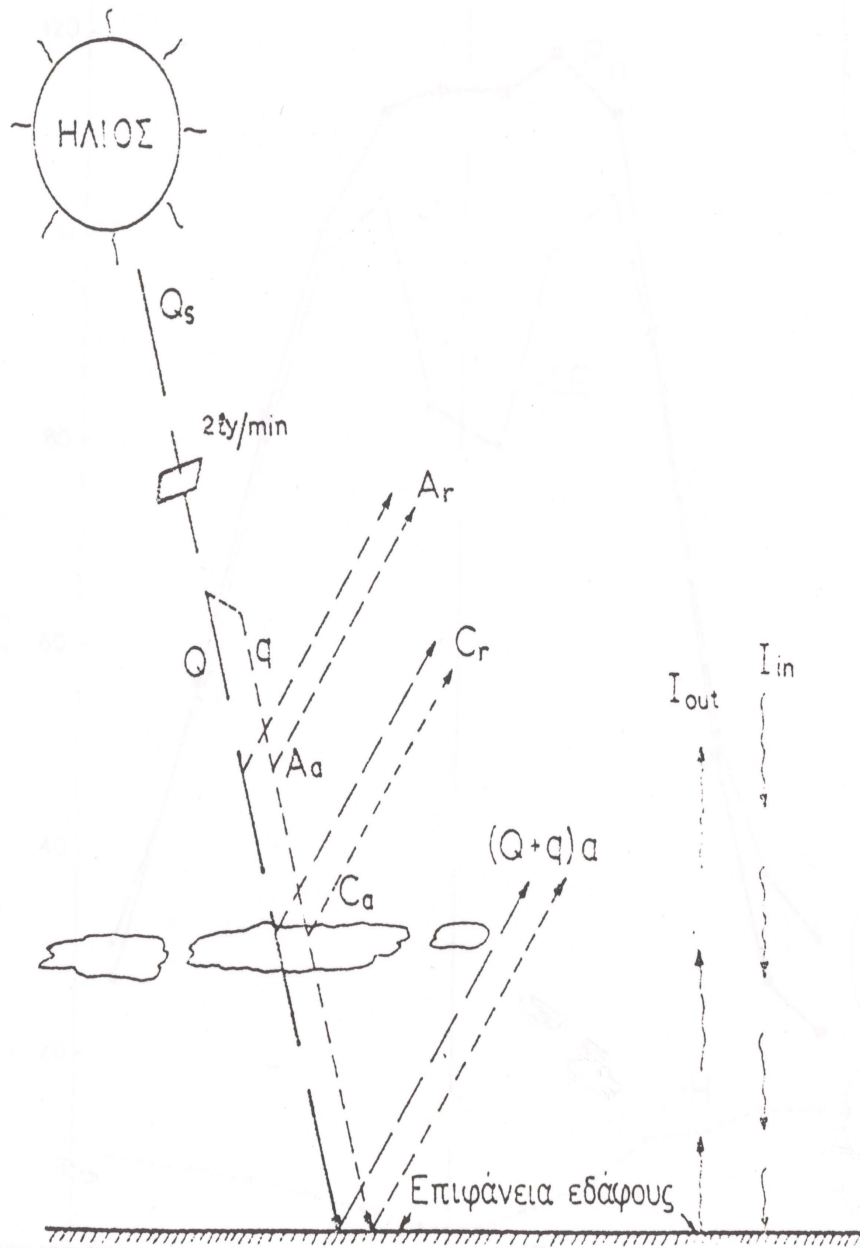
$$\text{συνα} = \eta\mu L * \eta\mu\delta * \eta\mu H + \text{συν}L * \text{συν}\delta$$

Η ακτινοβολία κατά την διαδρομή προς την επιφάνεια της γη περνά μέσα από την ατμόσφαιρα όπου υφίσταται ποιοτικές και ποσοτικές διαφοροποιήσεις οι οποίες φαίνονται στο σχήμα 1 και 2. Από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο απώτατο άκρο (Q_s), μετά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα ένα μέρος της συνεχίζει κανονικά την πορεία του προς την επιφάνεια της γης (Q), ένα άλλο μέρος φτάνει σ' αυτή αφού πρώτα διαχυθεί στην ατμόσφαιρα (q), μέρος ανακλάται και διαχέεται προς τα έξω από τα σύννεφα (Cr) και τα στερεά σωματίδια και υδρατμούς της ατμόσφαιρας (Ar), και ένα άλλο μέρος απορροφάται από τα σύννεφα (Ca) και τα στερεά σωματίδια (Aa). Όταν η απευθείας (Q) και η διάχυτη (q) ηλιακή ακτινοβολία φτάσουν στο έδαφος, ένα μέρος ανακλάται προς το περιβάλλον σαν συνέπεια της ανακλαστικότητας (a) της επιφάνειάς του. Με βάση τα παραπάνω το ισοζύγιο της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να εκφραστεί με την σχέση:

$$Q_s = Cr + Ar + Ca + Aa + (Q + q)(1 - a) + (Q + q)a.$$



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση του ισοζυγίου ακτινοβολίας.



Από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία → B

Σχήμα 2. Απεικόνιση των στοιχείων που απαρτίζουν το ισοζύγιο της ηλιακής ακτινοβολίας.

Από την ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της γης ένα μέρος ακτινοβολείται πίσω προς το περιβάλλον. Η ακτινοβολία αυτή, γνωστή σαν γήινη ακτινοβολία (I_{out}), είναι μεγάλου μήκος κύματος, παρατηρείται μέρα και νύχτα και μπορεί να εκτιμηθεί με την σχέση των Stefan – Boltzman:

$$I_{out} = \varepsilon * \sigma * T,$$

όπου ε είναι ο λόγος της ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης προς την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα απόλυτα μαύρο σώμα. Από την ακτινοβολία αυτή ένα μέρος χάνεται στο διάστημα και το υπόλοιπο γυρίζει πίσω στην επιφάνεια της γης μετά από ανάκλαση και διάχυση στα σύννεφα, τα στερεά σωματίδια και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Η επανακάπτουσα στην επιφάνεια της γης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (I_{in}) μπορεί να εκτιμηθεί, κατά τον Swinbank, με την σχέση:

$$I_{in} = \sigma * T$$

Όπου $\sigma = 5,31 * 10 \text{ cal} / \text{cm}^2 * \text{min} * \text{K}$. Η ακτινοβολία που μένει στην γη και λέγεται καθαρή ακτινοβολία (R_n) είναι:

$$R_n = (Q + q)(1 - a) + I_{in} - I_{out}$$

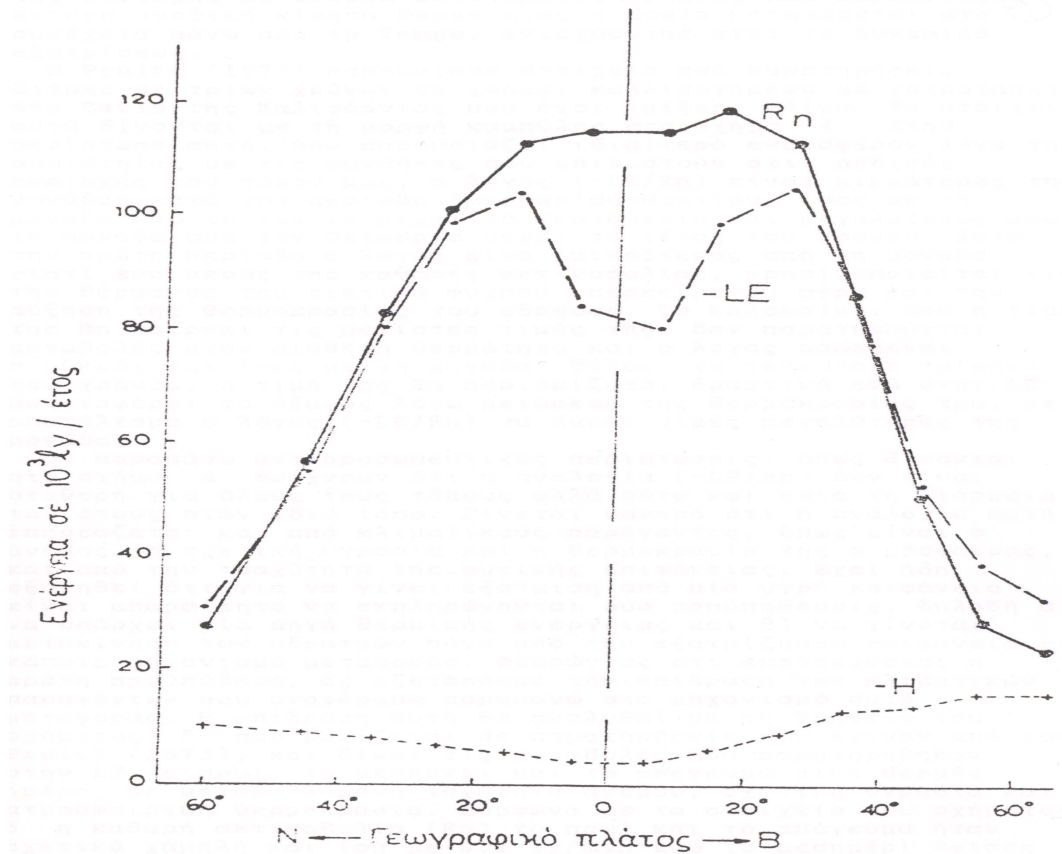
Αν θεωρήσουμε μια εδαφική στήλη με απεριόριστο βάθος στο οποίο η κατακόρυφη ανταλλαγή ενέργειας είναι μηδενική, από άποψη ενέργειας έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής: Η στήλη δέχεται στην επιφάνεια της ενέργειας από τον ήλιο ίση με την καθαρή ακτινοβολία. Στη στήλη μπορεί να προστεθεί ή αφαιρεθεί ενέργεια με την μορφή θερμότητας σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της θερμοκρασίας της. Η ενέργεια που προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας λέγεται αισθητή θερμότητα (H) και είναι αρνητική όταν έχουμε άνοδο της θερμοκρασίας και θετική όταν έχουμε πτώση. Μεταβολή της ενεργειακής καταστάσεως της εδαφικής στήλης παρατηρείται και όταν υπάρξει αλλαγή της καταστάσεως της περιεχόμενης υγρασίας. Η ενέργεια

αυτή, που δεν προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας, λέγεται λανθάνουσα θερμότητα (LE) και είναι αρνητική κατά την εξάτμιση του νερού και θετική κατά την υγροποίηση των υδρατμών. Στη στήλη παρατηρείται επίσης κατακόρυφη και οριζόντια, από την στήλη προς τον περιβάλλον έδαφος και αντίστροφα, μεταφορά ενέργειας, πάντοτε με την μορφή της θερμότητας. Η κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας (G) είναι αρνητική όταν γίνεται από την επιφάνεια της στήλης προς τα κάτω και θετική στην αντίστροφη περίπτωση. Αν F_{in} αντιπροσωπεύει τη μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον έδαφος προς την στήλη και F_{out} αντιπροσωπεύει το αντίστροφο, με βάση την αρχή της διατηρήσεως της ενέργειας, για την εδαφική στήλη μπορεί να διατυπωθεί η σχέση:

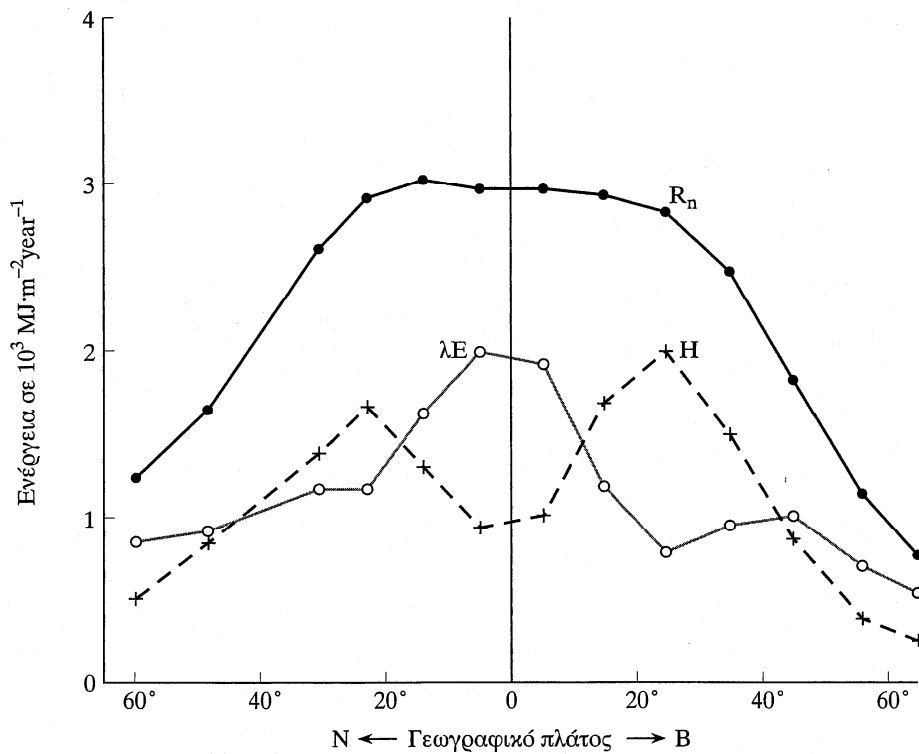
$$R_n + H + LE + G + F_{in} - F_{out} = 0$$

Αν θεωρήσουμε ότι η εισερχόμενη και εξερχόμενη κατά την οριζόντια διεύθυνση ενέργεια έχουν το ίδιο μέγεθος, αν δηλαδή $F_{in} - F_{out} = 0$, η σχέση γίνεται: $R_n + H + LE + G = 0$ και εκφράζει το γήινο ισοζύγιο ενέργειας. Η σχέση αυτή δείχνει ότι η εισερχόμενη στο έδαφος καθαρή ακτινοβολία κατανέμεται ανάμεσα στην αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα, ενώ ένα μέρος της μεταφέρεται κατακόρυφα προς τα κάτω. Βασική σημασία για την εξατμισοδιαπνοή είναι το μέρος εκείνο της καθαρής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα, θερμότητα δηλαδή που είναι άμεσα διαθέσιμη για εξάτμιση ισοζυγίου ενέργειας στους ωκεανούς και τη στεριά, βασισμένη σε στοιχεία του Sellers (1965) για γεωγραφικά πλάτη από μηδέν μέχρι 60, δίνεται αντίστοιχα στα σχήματα 3 και 4. Εκεί, αναφορικά με την καθαρή ακτινοβολία, φαίνεται ότι το μέγιστο της παρατηρείται σε μια ζώνη πλάτους 20 περίπου εκατέρωθεν του ισημερινού, τόσο πάνω από τους ωκεανούς όσο και τις στεριές. Αυτό οφείλεται στη σχεδόν κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών όλο το χρόνο στην ζώνη αυτή. Η μέση τιμή της καθαρής ακτινοβολίας στην ίδια ζώνη εμφανίζεται κατά 60% περίπου μεγαλύτερη στους ωκεανούς από την στεριά. Αυτό είναι συνέπεια της μικρής ανακλαστικότητας και της χαμηλής θερμοκρασίας του νερού των ωκεανών σε σχέση με την μεγάλη ανακλαστικότητα και υψηλή θερμοκρασία της

στεριάς, που στη ζώνη αυτή κατά μεγάλο μέρος αποτελείται από ερήμους. Από γεωγραφικό πλάτος περίπου 50 και μετά, η καθαρή ακτινοβολία εξισώνεται για τους ωκεανούς και την στεριά. Αυτό οφείλεται στη μικρή ηλιακή γωνία στα πλάτη αυτά, που έχει σαν συνέπεια την αύξηση της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του νερού των ωκεανών σε μεγαλύτερο βαθμό από την ανακλαστικότητα της βλαστήσεως που καλύπτει τη στεριά. Ακόμη, κατά μέσο όρο, το νερό των ωκεανών εκεί είναι θερμότερο από την στεριά, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη απώλεια ενέργειας προς το διάστημα μέσω της γήινης ακτινοβολίας.



Σχήμα 3. Κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών των παραμέτρων του ισοζυγίου ενέργειας στους ωκεανούς.



Σχήμα 4. Κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών των παραμέτρων του ισοζυγίου ενέργειας στη ξηρά σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος.

Η αισθητή θερμότητα στους ωκεανούς έχει την μικρότερη τιμή της στην περιοχή γύρω από τον ισημερινό και αυξάνει σταθερά με το πλάτος. Στην στεριά, η μέγιστη τιμή παρατηρείται στη ζώνη μεταξύ 20 και 30 ελαττώνεται σχετικά απότομα τόσο προς τους πόλους όσο και προς τον Ισημερινό.

Η λανθάνουσα θερμότητα στη στεριά είναι μέγιστη στην περιοχή του ισημερινού, ελαττώνεται σχετικά απότομα μέχρι πλάτος 20 με 25 σημειώνει μια μικρή αύξηση μέχρι πλάτους 40 με 45 και μετά ελαττώνεται ομαλά. Το ελάχιστο που παρατηρείται στην υποτροπική ζώνη στην περιοχή των 20 με 25, είναι πιο έντονο στο βόρειο ημισφαίριο και οφείλεται στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν οι έρημοι στην ζώνη αυτή. Στους ωκεανούς, οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στη ζώνη μεταξύ 20 και 30, δηλαδή συμβαίνει ακριβώς το αντίστροφο από ότι στην στεριά. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη διαθεσιμότητα νερού για εξάτμιση στους ωκεανούς σε αντίθεση με τη στεριά όπου η

υγρασία στη ζώνη αυτή είναι πολύ περιορισμένη, λόγω της υπάρξεως πολλών ερήμων. Γενικά, επειδή στη στεριά η υγρασία είναι πάντοτε πιο περιορισμένη από τους ωκεανούς, η λανθάνουσα θερμότητα στους τελευταίους είναι υπερδιπλάσια από της στεριάς. Πρέπει να τονιστεί ότι η κατανομή στην οποία αναφερόμαστε αφορά τις μέσες τιμές. Σημαντικές αποκλίσεις μπορεί να εμφανιστούν τοπικά, ανάλογα με την πυκνότητα της βλαστήσεως και το ύψος των βροχών.

2.3.3.2. Επίδραση των κλιματικών παραμέτρων στην εξατμισοδιαπνοή.

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 την διάρκεια του έτους κάτω από διαφορετικές συνθήκες φυτοκαλύψεως και κλίματος. Όπως έγινε αναφορά στα παραπάνω ότι η μετατροπή της καθαρής ακτινοβολίας στις άλλες μορφές ενέργειας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την διαθεσιμότητα νερού. Αν η διαθεσιμότητα αυτή είναι περιορισμένη, σειρά ολόκληρη 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 θερμότητα.

Η λανθάνουσα θερμότητα (LE) είναι ένας ποσοτικός εκφραστής της εξατμισοδιαπνοής (ET), αφού είναι γνωστό ότι για την εξάτμιση 1cm νερού απαιτούνται περίπου 590 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 το λόγω αυτό είναι χρήσιμο να εξεταστεί αν υπάρχει 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

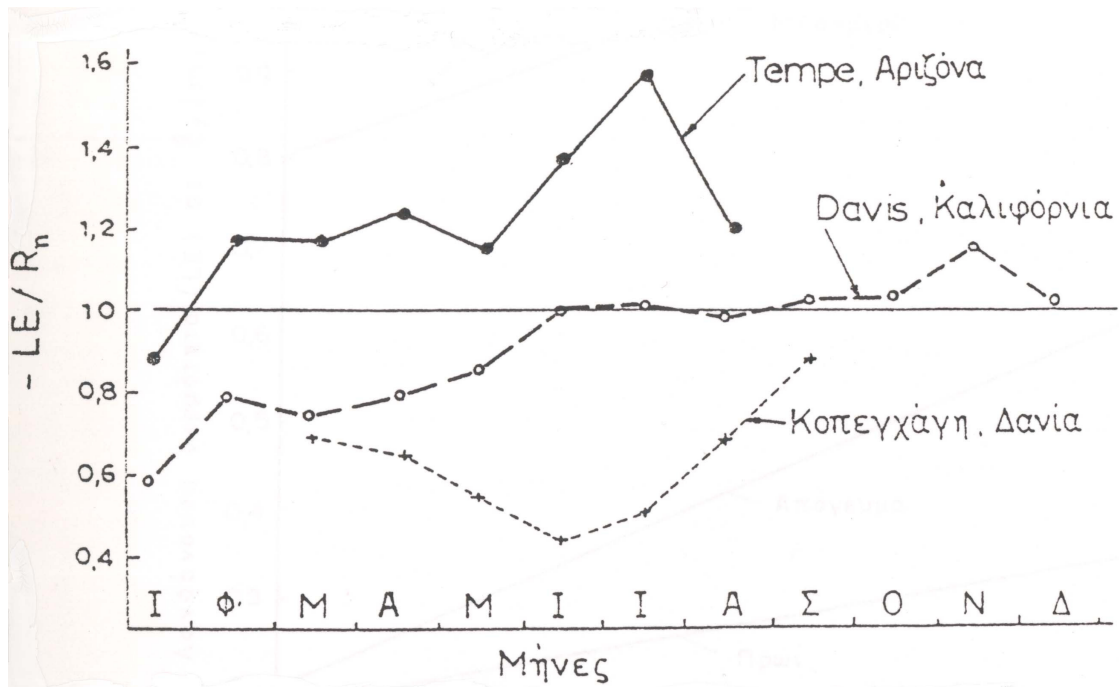
κόσμου. Τρεις από αυτές τις εργασίες θα αναλυθούν παρακάτω, που αντιπροσωπεύουν υγρά, ημιξηρά και ξηρά κλίματα.

Οι Aslyng και Jensen (1965) έκαναν ένα 10ετές πείραμα σε χωράφι με μικτή καλλιέργεια χόρτου και τριφυλλιού σε περιοχή κοντά στην Κοπεγχάγη της Δανίας, με χαρακτηριστικά υγρό κλίμα. Οι παρατηρήσεις επάρθηκαν κατά την περίοδο Μαρτίου – Σεπτεμβρίου και δείχνουν ότι ο λόγος $(-LE/R_n)$ είναι πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα. Άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται το καλοκαίρι. Η διακύμανση αυτή του λόγου $(-LE/R_n)$, που φαίνεται στο σχήμα 5 εξηγείται με το γεγονός ότι, στο μεγάλο σχετικά γεωγραφικό πλάτος της Δανίας, η R_n είναι έντονα αρνητική το χειμώνα και η LE , που είναι πολύ περιορισμένη εξασφαλίζεται από μεταφορά θερμότερων αερίων μαζών από τον ωκεανό. Την περίοδο αυτή ο λόγος $(-LE/R_n)$ δεν υφίσταται. Η R_n αρχίζει να παίρνει θετικές τιμές την άνοιξη και φτάνει στο μέγιστο κατά το Ιούνιο. Την περίοδο αυτή, αντίθετα από αυτό που γινόταν το χειμώνα, ένα μεγάλο μέρος της R_n χρησιμοποιείται για την θέρμανση των αερίων μαζών που έρχονται από τον ωκεανό και είναι τώρα 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 χαρακτηριστικά ξηρό κλίμα, που δίνονται με την μορφή καμπύλης στο σχήμα 5. Στην περίπτωση αυτή η συμπεριφορά του λόγου $(-LE/R_n)$ είναι ακριβώς αντίθετη απ' ό τι στην Κοπεγχάγη. Στην περιοχή του πειράματος αυτού, όχι μόνο η R_n είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή της Δανίας αλλά και ο λόγος $(-LE/R_n)$ είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα όλο το χρόνο, εκτός από το δίμηνο Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου. Αυτό οφείλεται στην γεινίαση 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 Pruitt (1973) παρουσίασε στοιχεία από παρατηρήσεις διάρκειας τριών χρόνων σε χωράφι καλλιεργημένο με χορτοτάπητα στο Davis της

Καλιφόρνιας που έχει ημίξηρο κλίμα. Τα στοιχεία αυτά δίνονται με την μορφή καμπύλης στο σχήμα 5. Στην περίπτωση αυτή, που 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 Ιανουάριο – Μαρτίου, ίσος με την μονάδα από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο και μεγαλύτερος από την μονάδα από τον Οκτώβριο μέχρι τέλος του χρόνου. Κατά την πρώτη περίοδο ο λόγος είναι μικρότερος από την μονάδα γιατί είναι μέρος της καθαρής ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται για την θέρμανση του σχετικά ψυχρού υπερκείμενου αέρα και της αύξησης της θερμοκρασίας του εδάφους. Το καλοκαίρι, που η R_n παίρνει τις μέγιστες τιμές της, δεν παρατηρούνται μεταβολές στην αισθητή θερμότητα και ο λόγος παραμένει σταθερός και ίσος με την 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 πάρει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας.

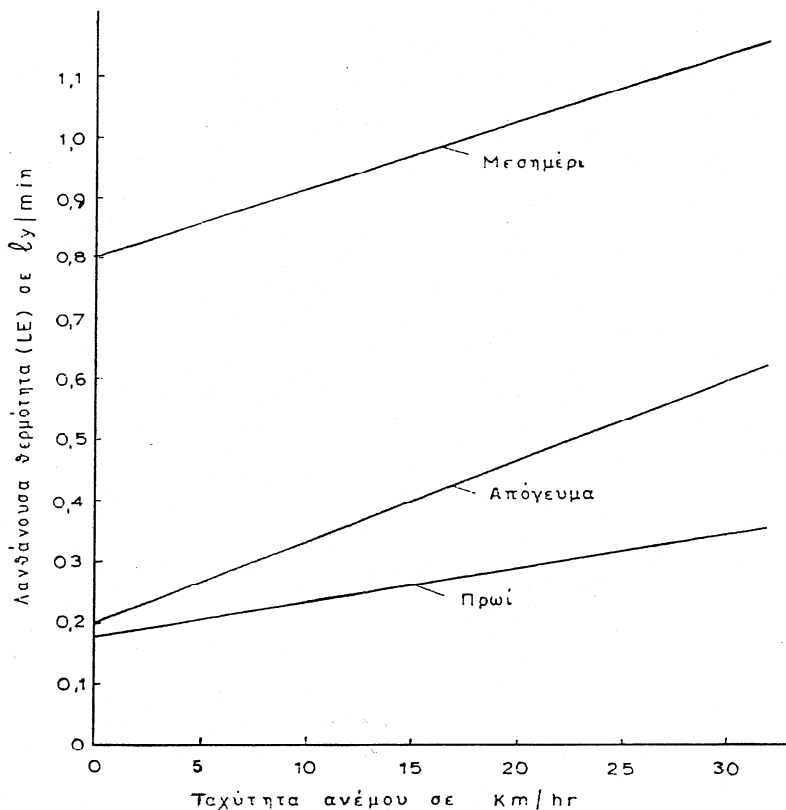


Σχήμα 5. Διακύμανση του λόγου $(-LE/R_n)$ κατά τη διάρκεια του έτους σε τρεις περιοχές της γης με υγρό, ημίξηρο και ξηρό κλίμα.

Οι παραπάνω αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις, όπως δίνονται στο σχήμα 5 δείχνουν ότι η αναλογία $(-LE/R_n)$ δεν είναι σταθερή για όλους τους τόπους αλλά ούτε και κατά την διάρκεια του έτους στο 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. Έχει ήδη εξηγηθεί ότι για γίνει εξάτμιση από μια υγρή επιφάνεια είναι απαραίτητο να εκπληρώνονται δύο προϋποθέσεις, δηλαδή α) να υπάρχει μια πηγή θερμικής ενέργειας και β) να γίνεται μετακίνηση των υδρατμών πάνω από την εξατμίζουσα επιφάνεια με κάποιο μηχανισμό μεταφοράς. Θεωρώντας ότι εκπληρώνεται η πρώτη προϋπόθεση, ας εξετάσουμε την επίδραση των κλιματικών παραγόντων που αναφέραμε παραπάνω στο μηχανισμό αυτό αναφοράς. Η επίδραση αυτή θα αναλυθεί με την βοήθεια του σχήματος 6 που βασίζεται σε παρατηρήσεις που έγινε από τον Pruitt (1973), και δίνει τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στην LE το πρωί, το μεσημέρι και το

απόγευμα μιας θερμής ημέρας με μεταβαλλόμενη ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία και ατμοσφαιρική θερμοκρασία.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του σχήματος 6 η καθαρή ακτινοβολία (R_n) το πρωί και το απόγευμα ήταν σχετικά χαμηλή και ίση με $0,2 \text{ ly / min}$ ενώ το μεσημέρι έφτασε τη $1,0 \text{ ly / min}$. Η θερμοκρασία T_a του αέρα στην περιοχή του φυλλώματος ήταν $24 \text{ }^\circ\text{C}$ το πρωί, $30,5 \text{ }^\circ\text{C}$ το μεσημέρι και $32 \text{ }^\circ\text{C}$ το απόγευμα, η διαφορά (D) μεταξύ των αναγνώσεων του ξηρού και του υγρού θερμομέτρου ήταν αντίστοιχα $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $11 \text{ }^\circ\text{C}$ και $12,5 \text{ }^\circ\text{C}$, υποδηλώνοντας ότι η σχετική υγρασία ήταν σημαντική το πρωί αλλά περιορίστηκε πολύ το μεσημέρι και ακόμα περισσότερο το απόγευμα. Η ταχύτητα του ανέμου κατά την διάρκεια της ημέρας ήταν μεταβαλλόμενη και κυμάνθηκε από μηδέν μέχρι 32 Km/h .



Σχήμα 6. Μεταβολές της λανθάνουσας θερμότητας κατά τη διάρκεια μιας θερμής ημέρας με μεταβαλλόμενη καθαρή ακτινοβολία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα ανέμου.

Ειδικότερα για κάθε μια από τις παραμέτρους που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή θα αναφερθούμε παρακάτω.

A. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του εδάφους και της ατμόσφαιρας επηρεάζει την κατανάλωση νερού από τα φυτά. Με χαμηλές θερμοκρασίες έχουμε μικρή κατανάλωση νερού αλλά και επιβράνδυση στην ανάπτυξη των φυτών, αντιθέτως με υψηλές θερμοκρασίες έχουμε υπερβολική κατανάλωση νερού και μπορεί να δημιουργηθούν ζημιές στις καλλιέργειες.

B. Σχετική υγρασία του αέρα.

Η υψηλή σχετική υγρασία του αέρα μειώνει την εξατμισοδιαπνοή ενώ αντιθέτως η χαμηλή σχετική υγρασία αυξάνει την εξατμισοδιαπνοή.

Γ. Ταχύτητα του ανέμου.

Όταν μια περιοχή είναι ανεμόπληκτη παρουσιάζει μεγάλη εξατμισοδιαπνοή σε σχέση με μία μη ανεμόπληκτη.

Δ. Γεωγραφικό πλάτος.

Το γεωγραφικό πλάτος δεν κατατάσσεται στους κλιματικούς παράγοντες, έχει όμως μεγάλη σχέση με το μήκος της ημέρας και συνεπώς με την εξατμισοδιαπνοή. Το καλοκαίρι η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη όσο απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό. Επειδή ο ήλιος είναι πηγή ενέργειας τόσο για την αύξηση των φυτών όσο και για την εξάτμιση και διαπνοή, οι ημέρες μεγάλης διάρκειας έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

3.1 Γενικές αρχές και ορισμοί

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 PE_T μπορεί να προβλεφτεί αν είναι γνωστή η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, PE_T , 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 την μέτρηση της ποσότητας του νερού, η οποία καταναλώνεται από τα καλλιεργούμενα φυτά και από την φυσική 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 συνδυασμός αυτών).

3.2 Άμεσες μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής

Οι κυριότερες μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος του λυσιμέτρου
- Πειραματικοί αγροί
- Μέθοδος του ισοζυγίου της μάζας
- Μέθοδος του ισοζυγίου της ενέργειας ή μέθοδος ακτινοβολίας και
- Μέθοδος του εξατμισιμέτρου.

3.2.1 Μέθοδος του λυσιμέτρου

Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση μιας εγκαταστάσεως που λέγεται λυσίμετρο με την οποία μπορεί με ακρίβεια να ελεγχθούν και να υπολογιστούν όλοι οι όροι της σχέσεως:

$ET = I_r + P - SRO - D + \Delta SM$, όπου

ET: η εξατμισοδιαπνοή

I_r : το νερό της άρδευσης

P: η βροχή

SRO: η επιφανειακή απορροή

D: η βαθιά διήθηση

ΔSM : η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας

Το κύριο σώμα του λυσιμέτρου είναι ένα μεγάλο, κατά προτίμηση κυλινδρικό, δοχείο από μέταλλο ή ενισχυμένο πλαστικό, που τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που το ελεύθερο άκρο του να ταυτίζεται με την επιφάνειά του. Το δοχείο είναι γεμάτο με χώμα και καλλιεργείται με τα φυτά των οποίων πρόκειται να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή. Το βάθος του δοχείου πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί ανεμπόδιστα το ριζικό σύστημα της καλλιέργειας και να έχει αρκετή επιφάνεια, όχι μικρότερη από 4 m. Σε μια τέτοια διάταξη είναι εύκολο να μηδενιστούν η επιφανειακή απορροή και η βαθιά διήθηση έτσι που η εξατμισοδιαπνοή να μπορεί να υπολογιστεί σαν διαφορά ανάμεσα στο νερό που δέχεται το λυσίμετρο και τη μεταβολή της υγρασίας του εδάφους που περιέχει.

Για να είναι αντιπροσωπευτικές και ακριβείς οι μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής πρέπει να εξασφαλίζονται προϋποθέσεις. Είναι βασικό και απαραίτητο το λυσίμετρο να τοποθετείται στο κέντρο ενός εκτεταμένου χωραφιού που, λυσίμετρο και χωράφι, πρέπει να έχουν την ίδια καλλιέργεια και να ποτίζονται, λιπαίνονται και γενικά να καλλιεργούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Οι θερμικές ιδιότητες του δοχείου πρέπει να είναι παραπλήσιες με αυτές του εδάφους. Διάφορα εμπόδια, φυτοφράχτες, κάθε είδους κατασκευές, δρόμοι και γενικά επιφάνειες γυμνές που δεν εξατμίζουν το νερό δεν επιτρέπεται να υπάρχουν στο χωράφι που περιβάλλει το λυσίμετρο. Τέτοιου είδους εμπόδια αλλοιώνουν σημαντικά το μικροκλίμα με αποτέλεσμα μη αντιπροσωπευτικές παρατηρήσεις. Η μέτρηση του νερού που μπαίνει στο δοχείο του λυσιμέτρου με άρδευση ή βροχή και του νερού που φεύγει με την εξατμισοδιαπνοή μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με αυτούς, τα λυσίμετρα διακρίνονται σε τρεις τύπους. Στον ένα τύπο, το δοχείο τοποθετείται μέσα σε ένα φρεάτιο υποδοχής που είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στον πυθμένα του φρεατίου τοποθετούνται εύκαμπτοι ασκοί, που είναι συνήθως από βυνίλιο μεγάλης αντοχής και διαμέτρου, γεμάτοι με νερό. Το δοχείο κάθετα πάνω στους ασκούς και ασκεί πίεση ανάλογη με το βάρος του. Η πίεση αυτή, με κατάλληλη διάταξη, καταγράφεται σε ένδειξη βάρους. Οι μεταβολές του βάρους που καταγράφονται μεταξύ των διαδοχικών αναγνώσεων αντιστοιχούν στην εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος αυτός αναφέρεται σαν υδραυλικό λυσίμετρο.

Ένας άλλος τύπος έχει την ίδια διάταξη με το υδραυλικό λυσίμετρο, μόνο που εδώ το δοχείο τοποθετείται πάνω σε ένα ζυγιστικό μηχανισμό, ο οποίος δίνει από απ' ευθείας τις μεταβολές του βάρους από τις οποίες υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος αυτός λέγεται ζυγιστικό λυσίμετρο.

Ο τρίτος τύπος διαφέρει ουσιαστικά από τους δύο προηγούμενους. Κατ' αυτόν στο έδαφος κατασκευάζεται μια δεξαμενή από σκυρόδεμα που στην συνέχεια γεμίζεται με χώμα. Στον πυθμένα της δεξαμενής

τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες μέσα σε μια στρώση από χονδρόκοκκο υλικό πάχους 30 cm περίπου. Οι διάτρητοι σωλήνες συνδέονται, με κατάλληλη διάταξη, με ένα ογκομετρικό δοχείο νερού έτσι που η στάθμη του νερού στη δεξαμενή να διατηρείται σταθερή και να ταυτίζεται με το πάνω όριο της στρώσης του χονδρόκοκκου υλικού. Το πάνω από την στρώση αυτή κανονικό έδαφος εφοδιάζεται με υγρασία με τριχοειδή ανύψωση. Το νερό που καταναλώνεται από τα φυτά που καλλιεργούνται μέσα στην δεξαμενή αναπληρώνεται από το ογκομετρικό δοχείο, που κρατάει σταθερή την στάθμη του νερού μέσα στην δεξαμενή. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου υπολογίζεται από την μεταβολή του όγκου του νερού στο δοχείο. Η διάταξη αυτή είναι γνωστή σαν ισοσταθμικό λυσίμετρο.

Αν η σχεδίαση και εγκατάσταση γίνει με σωστό τρόπο, το λυσίμετρο δίνει ακριβείς υπολογισμούς της εξατμισοδιαπνοής. Ειδικότερα οι δύο πρώτοι τύποι που αναφέρθηκαν υπολογίζουν με απόλυτη σχεδόν ακρίβεια την εξατμισοδιαπνοή και χρησιμοποιούνται σαν μέσα ελέγχου της ακρίβειας των υπολογισμών που δίνουν οι έμμεσες μέθοδοι.

3.2.2. Πειραματικοί αγροί.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε υπολογισμούς εξατμισοδιαπνοής για μικρές χρονικές περιόδους (2 – 5 ημερών) με διαδοχική λήψη εδαφοδειγμάτων σε πειραματικά κομμάτια. Αυτών των δειγμάτων προσδιορίζεται η υγρασία, οπότε η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση:

$$ET = SM1 - SM2 / 100 * ASW * D$$

όταν το έδαφος είναι ομοιόμορφο, ή με τη σχέση:

$$ET = \Sigma * M1i - M2i / 100 * ASW * D$$

όταν το έδαφος αποτελείται από στρώσεις.

Στις σχέσεις αυτές SM1 και SM2 είναι η υγρασία του εδάφους αντίστοιχα στην αρχή και το τέλος της χρονικής περιόδου εκφρασμένη στα % ξερού βάρους, ASW είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος και D η ζώνη δειγματοληψίας σε mm.

Η εφαρμογή της μεθόδου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Τα πειραματικά κομμάτια πρέπει να διαλέγονται σε περιοχές όπου η υπόγεια στάθμη του νερού είναι κάτω από την ζώνη του ριζοστρώματος της καλλιέργειας. Αυτό πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα γιατί μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά σφάλματα. Αναφέρεται περίπτωση όπου σε χωράφι με υψηλή υπόγεια στάθμη καλλιεργημένο με μηδική, οι υπολογισμοί με τη μέθοδο αυτή έδειξαν μηδέν εξατμισοδιαπνοή κατά την διάρκεια του πρώτου 10ήμερου του Ιουλίου, ενώ μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής με ένα λυσίμετρο εγκατεστημένο στο ίδιο χωράφι, έδωσε 65 mm για την ίδια περίοδο. Αυτή βέβαια είναι μια ακραία περίπτωση. Είναι επίσης γνωστό ότι οι καλλιέργειες χρησιμοποιούν το νερό κατά την διάρκεια της άρδευσης ή της βροχής, όπως επίσης και κατά την διάρκεια της ανακατανομής του στο έδαφος. Το νερό αυτό δεν μπορεί να υπολογιστεί με την μέθοδο αυτή και για το λόγο αυτό οι δειγματοληψίες πρέπει να αρχίζουν 3 – 4 ημέρες μετά από την άρδευση ή βροχή. Πρέπει ακόμη δείγματα να παίρνονται και κάτω από το ριζόστρωμα γιατί, μεταξύ δύο αρδεύσεων, νερό μπορεί να κινηθεί προς τη ζώνη κάτω από το ριζόστρωμα ή αντίστροφα, ανάλογα με την κατά περίπτωση υφιστάμενη υδραυλική κλίση. Τέλος, το πειραματικό κομμάτι πρέπει να διαμορφώνεται κατάλληλα και η εφαρμογή του νερού να γίνεται με τρόπο που να μην παρατηρείται επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση.

Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι για την εγκατάσταση πειραματικών που προορίζονται για την ET με την μέθοδο αυτή πρέπει να διαλέγονται θέσεις με υπόγεια στάθμη πολύ κάτω από το ριζόστρωμα, να μην παρατηρείται επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση και οι δειγματοληψίες να αρχίζουν 3 – 4 ημέρες μετά από άρδευση ή βροχή και να εκτείνονται σε κάποιο βάθος κάτω από το ριζόστρωμα.

3.2.3. Μέθοδος του ισοζυγίου της μάζας.

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 το 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, 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 θα 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 πια 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 το υπολογισμό της μετατοπίσεως αυτής όταν δεν είναι γνωστή η θέση του μηδενικού επιπέδου.

Μια από τις εξισώσεις, από όσες έχουν προταθεί έχει την ακόλουθη μορφή: $ET = c (a + bu) * (ea - ad)$, όπου:

- ET: είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (mm / ημέρα).
- a, b, c: είναι σταθερές που προσδιορίζονται εμπειρικά
- bu: είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ένα ορισμένο ύψος πάνω από την επιφάνεια. Συνήθως παίρνεται η ταχύτητα σε ύψος 2m. (m/sec).
- ea–ed: είναι η διαφορά μεταξύ της πίεσεως των κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία (T_{mean}).

Ένα σοβαρό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι οι σταθερές a, b, c μεταβάλλονται με το χρόνο και την τοποθεσία καλλιέργειας, ακόμα και μέσα στην ίδια περιοχή.

3.2.4. Μέθοδος του ισοζυγίου της ενέργειας ή ακτινοβολίας.

Το ισοζύγιο ενέργειας στο έδαφος, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εκφράζεται από την σχέση:

$$R_n + H + LE + G = 0$$

Α ήταν βολικό και εύκολο να υπολογιστεί 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 υπολογιστεί 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 υπολογιστεί ο λόγος H/LE που είναι γνωστός σαν αναλογία του Bowen (1926).

Είναι κατάλληλη για περιοχές όπου τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα περιλαμβάνουν μετρημένη θερμοκρασία αέρα και ηλιοφάνεια, συννεφιά ή ακτινοβολία αλλά όχι μετρημένο άνεμο και υγρασία. Απαιτείται γνώση των γενικών επιπέδων υγρασίας και ανέμου τα οποία πρέπει να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας δημοσιευμένες περιγραφές καιρού σε συσχετισμό με κοντινές περιοχές ή με τοπικές πηγές. Από τις σχέσεις που δίδονται μεταξύ του παρόντος τύπου ακτινοβολία και της εξάτμισης της καλλιέργειας (ET)

λαμβάνοντας υπόψη, γενικά επίπεδα της μέσης υγρασίας και του ημερήσιου ανέμου. Στην πραγματικότητα στις ζώνες του Ισημερινού, στα μικρά νησιά ή στα μεγάλα ύψη, η μέθοδος της ακτινοβολίας μπορεί να είναι διαθέσιμα τα δεδομένα (μετρήσεις) ηλιοφάνειας ή συννεφιάς. Σε αυτή την περίπτωση οι χάρτες ηλιακής ακτινοβολίας προπαρασκευασμένοι, για περισσότερες τοποθεσίες στον κόσμο θα προμηθευτούν τα απαραίτητα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας.

Επειδή η σχέση του ισοζυγίου της ενέργειας στην επιφάνεια του εδάφους περικλείει ποσότητες που μετριούνται σχετικά δύσκολα, δίνεται η απλοποιημένη μέθοδος της ακτινοβολίας με την ακόλουθη σχέση:

$$ET = c (W * Rs)$$

όπου: ET: είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (mm/ημέρα).

c: διορθωτικός παράγοντας, ο οποίος εξαρτάται από τις συνθήκες της μέσης σχετικής υγρασίας και της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου.

W: είναι ο όρος που εξαρτάται από την θερμοκρασία και το υψόμετρο.

Rs: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια εκφρασμένη σε ισοδύναμη εξάτμιση (mm/ημέρα).

3.2.5.Μέθοδος του εξατμισιμέτρου

Τα εξατμισίμετρα με ελεύθερη επιφάνεια νερού, γνωστά σαν εξατμισίμετρα τύπου λεκάνης, παρέχουν ένα μέτρο της συνδυασμένης επιδράσεως που ασκούν η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα πάνω στην εξάτμιση από μια συγκεκριμένη ελεύθερη επιφάνεια νερού. Οι καλλιέργειες αντιδρούν, σε γενικές γραμμές, στους παραπάνω κλιματικούς παράγοντες με ανάλογο τρόπο. Για το λόγο αυτό,

εξατμισόμετρα του τύπου αυτού χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς εδώ και χρόνια για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Όμως, η εξάτμιση από ένα εξατμισόμετρο τύπου λεκάνης και η εξατμισοδιαπνοή από ένα καλλιεργημένο χωράφι δεν ταυτίζονται απόλυτα. Πολλοί παράγοντες διαφοροποιούν την μια από την άλλη, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι :

1) Η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το ποσοστό που ανακλάται από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού ανέρχεται σε 5 - 7% ενώ από τις περισσότερες καλλιέργειες το ποσοστό αυτό είναι 20 - 30%. Έτσι, για τις ίδιες κατά τα άλλα συνθήκες, το νερό έχει περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια για εξάτμιση από ότι οι καλλιέργειες.

2) Η αποθήκευση θερμότητας μέσα στο εξατμισόμετρο μπορεί να είναι σημαντική, με αποτέλεσμα να έχουμε σχεδόν ίση εξάτμιση κατά την ημέρα και τη νύχτα. Αυτό βρίσκεται σε αντίθεση με όλες σχεδόν τις καλλιέργειες που διαπνέουν κατά τη διάρκεια της ημέρας.

3) Μπορεί να υπάρξει μεταφορά θερμότητας από ή προς το εξατμισόμετρο μέσω των τοιχωμάτων του, με ανάλογη επίδραση στην εξάτμιση. Ο παράγοντας αυτός είναι κατ' εξοχή σημαντικός στα βυθισμένα εξατμισόμετρα.

4) Το χρώμα των εσωτερικών τοιχωμάτων της συσκευής διαφοροποιεί επίσης το ύψος της εξατμίσεως.

5) Η θέση, ο τρόπος εγκαταστάσεως και το περιβάλλον του τόπου εγκαταστάσεως του οργάνου επηρεάζουν σημαντικά το τελικό μέγεθος της εξατμίσεως. Τα εξατμισόμετρα τύπου λεκάνης για να δώσουν αξιόπιστες εκτιμήσεις των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό πρέπει να σχεδιαστούν και να τοποθετηθούν έτσι που να ελαχιστοποιούν την επίδραση των παραγόντων αυτών.

Τύποι εξατμισόμετρων υπάρχουν πολλοί. Σήμερα περισσότερο χρησιμοποιείται το εξατμισόμετρο Α Τάξεως της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και λιγότερο το βυθισμένο εξατμισόμετρο του Κολοράντο. Το εξατμισόμετρο Α τάξεως είναι μία κυλινδρική λεκάνη

κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος και να απέχει 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5 cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5 cm κάτω από το χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει από 7.5 cm από το χείλος αυτό. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου.

Το εξατμισόμετρο τύπου Κολοράντο είναι τετράγωνο με πλευρά 92 cm και βάθος 46 cm. Είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα και τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που να είναι 5 cm πάνω από την επιφάνεια του περιβάλλοντος εδάφους. Η στάθμη του νερού μέσα στο εξατμισόμετρο διατηρείται περίπου στο ίδιο επίπεδο με το έδαφος. Η σχέση που δίνει τη βασική εξατμισοδιαπνοή στη μέθοδο αυτή είναι :

$$ET = K_p * E_{pan}$$

όπου :

E_{pan} : είναι η μέση εξάτμιση του 24ώρου από το εξατμισόμετρο σε mm / ημέρα και

K_p : είναι ο συντελεστής του εξατμισόμετρου.

Τιμές του K_p για εξατμισόμετρα Α τάξεως και για εξατμισόμετρα τύπου Κολοράντο δίνονται πίνακες (2) και (3), για διάφορες συνθήκες υγρασίας, ανέμου και περιβάλλοντος του οργάνου.

Κατά την επιλογή της τιμής του K_p ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην κάλυψη του εδάφους που είναι εγκατεστημένο το όργανο, την κατάσταση του εδάφους που περιβάλλει τη θέση εγκατάστασής και τις γενικές συνθήκες ανέμου και υγρασίας. Σαν υγρασία στους πίνακες (2) και (3), χρησιμοποιείται η RH_{mean} , η δε ταχύτητα του αέρα είναι σε Km / ημέρα. Αν το εξατμισόμετρο είναι τοποθετημένο σε θέση με φτωχή φυτοκάλυψη ή σε γυμνό έδαφος ή σε επιφάνεια καλυμμένη με τσιμέντο ή ασφαλτο (περίπτωση που πρέπει απόλυτα να αποφεύγεται), η

θερμοκρασία του αέρα στη θέση του οργάνου μπορεί να είναι 2 – 5 C ψηλότερη και η σχετική υγρασία 20 - 30 % χαμηλότερη από την σύνταξη των πινάκων (2) και (3) από τους Doorehdos και Pruitt (1977). Για μη γεωργικά εδάφη και για εκτεταμένες περιοχές με γυμνά εδάφη, οι τιμές του Kp που δίνονται στους πίνακες πρέπει να παίρνονται μειωμένες κατά 20 % όταν επικρατεί χαμηλή σχετική υγρασία και δυνατός αέρας, κατά 5 – 10 % για μέσες συνθήκες ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας και να μην μεταβάλλονται καθόλου όταν επικρατεί χαμηλή θερμοκρασία και σχετική υγρασία.

Ανάλογα με το περιβάλλον της θέσεως που είναι τοποθετημένο το εξατμισόμετρο, στους πίνακες (2) και (3) διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Η περίπτωση α) αφορά εξατμισόμετρα που είναι τοποθετημένα σε έδαφος καλυμμένο με χαμηλή βλάστηση που περιβάλλεται από ξερό ακαλλιέργητο έδαφος. Η περίπτωση β) αναφέρεται σε εξατμισόμετρο τοποθετημένο σε ξερό χωράφι που όμως περιβάλλεται από αρδευόμενες εκτάσεις.

Αν η θέση του εξατμισόμετρου περιβάλλεται από καλλιέργειες που το ύψος τους ξεπερνά το 1m, όπως στην περίπτωση αραβόσιτου που το ύψος του μπορεί να φθάσει τα 2.5 m, οι συντελεστές Kp των πινάκων πρέπει να αυξηθούν μέχρι και 30 % για ξερές, με δυνατό αέρα συνθήκες, ενώ η αύξηση αυτή περιορίζεται σε 5 – 10 % όταν η υγρασία είναι υψηλή και η ταχύτητα του αέρα μικρή. Οι συντελεστές των πινάκων (2) και (3) αναφέρονται σε εξατμισόμετρα που βάφονται με χρώμα αλουμινίου κάθε χρόνο. Μικρή διαφορά στην Epan θα παρατηρηθεί αν βαφούν με άσπρο χρώμα. Αύξηση μέχρι 10% θα παρατηρηθεί αν βαφούν με μαύρο χρώμα.

Η στάθμη στην οποία διατηρείται το νερό μέσα στα εξατμισόμετρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Σφάλματα μέχρι 15% μπορεί να παρατηρηθούν αν η στάθμη του νερού πέσει 10 cm κάτω από τα χείλη του οργάνου. Τοποθέτηση πλεγμάτων πάνω από το όργανο, για την αποφυγή χρησιμοποίησεως του νερού από τα πουλιά, περιορίζει την Epan μέχρι 10%. Για να αποφεύγεται η χρήση του νερού του εξατμισόμετρου από τα πουλιά, κοντά σ' αυτό μπορεί να τοποθετηθεί μια λεκάνη γεμάτη με νερό μέχρι το

χείλος της, οπότε τα πουλιά κατά κανόνα την προτιμούν. Η θολότητα του νερού μπορεί να επηρεάσει την Εραν μέχρι 5 %.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Τιμές του συντελεστή κρ εξατμισίμετρο Α τάξεως για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος του οργάνου, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου.

Ταχύτητα ανέμου Km/h	Περίπτωση Α:Εξατμισίμετρο τοποθετημένο σε φυτοκαλυμμένο έδαφος				Περίπτωση Β:Εξατμισίμετρο τοποθετημένο σε ξερό έδαφος			
	Απόσταση από φυτοκαλυμμένο όριο (m)	RHmean %			Απόσταση από φυτοκαλυμμένο όριο (m)	RHmean %		
		Χαμηλή < 40	Μέση 40-70	Υψηλή > 70		Χαμηλή < 40	Μέση 40-70	Υψηλή > 70
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Μικρή <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Μέτρια 175-425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Μεγάλη 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Πολύ μεγάλη >700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τιμές του συντελεστή k_r εξατμισόμετρο τύπου Κολοράντο για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος του οργάνου, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου.

Ταχύτητα ανέμου Km/h	Περίπτωση Α:Εξατμισόμετρο τοποθετημένο σε φυτοκαλυμμένο έδαφος				Περίπτωση Β:Εξατμισόμετρο τοποθετημένο σε ξερό έδαφος			
	Απόσταση από φυτοκαλυμμένο όριο (m)	RHmean %			Απόσταση από φυτοκαλυμμένο όριο (m)	RHmean %		
		Χαμηλή < 40	Μέση 40-70	Υψηλή > 70		Χαμηλή < 40	Μέση 40-70	Υψηλή > 70
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Μικρή <175	1	0,75	0,75	0,80	1	1,10	1,10	1,10
	10	1,00	1,00	1,00	10	0,85	0,85	0,85
	100	1,10	1,10	1,10	100	0,75	0,75	0,80
					1000	0,70	0,70	0,75
Μέτρια 175-425	1	0,65	0,70	0,70	1	0,95	0,95	0,95
	10	0,85	0,85	0,90	10	0,75	0,75	0,75
	100	0,95	0,95	0,90	100	0,65	0,65	0,70
					1000	0,60	0,60	0,65
Μεγάλη 425-700	1	0,55	0,60	0,65	1	0,80	0,80	0,80
	10	0,75	0,75	0,75	10	0,65	0,65	0,65
	100	0,80	0,80	0,80	100	0,55	0,60	0,65
					1000	0,50	0,55	0,60
Πολύ μεγάλη >700	1	0,50	0,55	0,60	1	0,70	0,75	0,75
	10	0,65	0,70	0,70	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,70	0,75	0,75	100	0,50	0,55	0,60
					1000	0,45	0,50	0,55

3.3 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 Η. Penman έκανε την πληρέστερη ανάλυση του θέματος, βασιζόμενος σε διάφορες μεταβλητές κλιματικών παραγόντων. Επίσης, οι ερευνητές 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.

3.3.1 Η μέθοδος του Penman.

Ο Η. Penman εκτέλεσε την πληρέστερη θεωρητική διερεύνηση του θέματος, από την οποία προκύπτει ότι η υδατοκατανάλωση βρίσκεται 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 την 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 .

3.3.2 Διαδικασία υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ή βασικής εξατμισοδιαπνοής με την μέθοδο Penman

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 10 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 11.

γ. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 19 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 την σχέση:

$$R_s = R_a \cdot [0.25 + 0.50 \cdot (n / N)], \text{ mm / ημέρα.}$$

στ. Από την σχέση $R_{ns} = 0.75 R_s$ (mm / ημέρα), βρίσκουμε την καθαρή μικρού μήκους ακτινοβολία που απομένει μετά την ανάκλαση μέρους της R_s προς το περιβάλλον.

ζ. Από τον πίνακα 20 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 °C.

η. Από τον πίνακα 4 υπολογίζουμε την πίεση κορεσμού των υδρατμών e_a και από τη σχέση: $e_d = e_a \cdot RH_{\text{mean}}$, όπου RH_{mean} είναι η μέση σχετική υγρασία του αέρα %.

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

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

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 $u_2 = u_z \cdot (2 / z)^{0,2}$ 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 την σχέση:

$$f(u) = 0,27 \cdot (1 + u_2 / 100)$$

ιε. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 8 το συντελεστή 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:

$ET_r = C [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)]$, υπολογίζουμε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς

3.3.3 Περιγραφή μεταβλητών.

3.3.3.1 Η διαφορά μεταξύ της πίεσεως των κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία (T_{mean}) και της πραγματικής πίεσεως των υδρατμών. ($e_a - e_d$).

Η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία του αέρα. Η υγρασία του αέρα εκφράζεται ως πίεση κορεσμένων υδρατμών ($e_a - e_d$) που είναι η διαφορά μεταξύ της μέσης πίεσης των κορεσμένων υδρατμών (e_a) και της μέσης πραγματικής πίεσης των υδρατμών (e_d).

Τα δεδομένα της υγρασίας του αέρα αναφέρονται ως σχετική υγρασία (RH_{max} και RH_{min} σε αναλογία τοις εκατό), σε ψυχομετρικούς πίνακες ή ως θερμοκρασία υδροποίησης υδρατμών. Η πραγματική πίεση των υδρατμών είναι ένα σχεδόν σταθερό στοιχείο και μία μέτρηση κάθε ημέρα επαρκεί για τον τύπο της εφαρμογής που μελετάμε.

Η πίεση των υδρατμών πρέπει να εκφράζεται σε mbar. Εάν η e_d δίδεται σε mmHg, πολλαπλασιάζουμε με 1.33 και η πίεση των υδρατμών μετατρέπεται σε mbar.

Για τον υπολογισμό της πίεσης των κορεσμένων υδρατμών (e_a) στη μέση θερμοκρασία (T_{mean}), χρησιμοποιείται ο παρακάτω πίνακας (4) στον οποίο για κάθε τιμή T_{mean} έχουμε την αντίστοιχη τιμή του e_a .

Πίνακας 4. Πίεση κορεσμού των υδρατμών e_a , για διάφορες θερμοκρασίες του αέρα, σε mbar.

Θερμοκρασία °C	e_a mbar	Θερμοκρασία °C	e_a mbar
0	6.1	20	23.4
1	6.6	21	24.9
2	7.1	22	26.4
3	7.6	23	28.1
4	8.1	24	29.8
5	8.7	25	31.7
6	9.3	26	33.6
7	10	27	35.7
8	10.7	28	37.8
9	11.5	29	40.1
10	12.3	30	42.4
11	13.1	31	44.9
12	14	32	47.6
13	15	33	50.3
14	16	34	53.2
15	17.1	35	56.2
16	18.2	36	59.4
17	19.4	37	62.8
18	20.6	38	66.3
19	22	39	69.9

Για τον υπολογισμό της πραγματικής πίεσης των υδρατμών (e_d) χρησιμοποιούνται οι παρακάτω πίνακες (5) και (6). Ο πίνακας (5) είναι για θερμοκρασίες που έχουν ληφθεί από απορροφητικό θερμόμετρο ενώ ο (6) για αυτές που έχουν ληφθεί από όχι αεριζόμενο θερμόμετρο, στους οποίους υπάρχει διαχωρισμός ανάλογα με το υψόμετρο. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα θερμοκρασίας ξηρού βολβού βρίσκουμε το e_d . Η πραγματική πίεση των υδρατμών (e_d) ακόμα μπορεί να υπολογιστεί αν χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$e_d = e_a * RH_{mean} / 100 \text{ (mbar)}$$

όπου:

RH_{mean} = είναι η μέση σχετική υγρασία.

e_a = είναι η μέση πίεση κορεσμένων υδρατμών στην μέση θερμοκρασία (T_{mean}).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Προσδιορισμός της πραγματικής πίεσης των υδρατμών (ea) σε σχέση με τις θερμοκρασίες υγρού (t_{wb}) και ξηρού (t_{db}) βολβού (αναρροφητικό θερμόμετρο).

t_{db} σε °C	Θερμοκρασία υγρού βολβού (t_{wb}) σε °C									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	6.1	4.0	2.0							
2	7.1	4.8	2.8	0.8						
4	8.1	5.7	3.4	1.6						
6	9.3	6.8	4.4	2.1						
8	10.7	8.0	5.5	3.1	0.8					
10	12.3	9.4	6.7	4.1	1.7					
12	14.0	10.9	8.1	5.3	2.8					
14	16.0	12.7	9.6	6.7	4.0	1.5				
16	18.2	14.6	11.4	8.3	5.4	2.7				
18	20.6	16.8	13.3	10.0	6.9	4.1	1.4			
20	23.4	19.3	15.5	12.0	8.7	5.6	2.7			
22	26.4	22.0	18.0	14.2	10.6	7.4	4.3	1.4		
24	29.8	25.1	20.7	16.6	12.8	9.3	6.0	2.9		
26	33.6	28.5	23.8	19.4	15.3	11.5	8.0	4.7	1.6	
28	37.8	32.3	27.2	22.4	18.0	14.0	10.2	6.7	3.4	
30	42.4	36.5	30.9	25.8	21.1	16.7	12.6	8.8	5.3	
32	47.5	41.1	35.1	29.6	24.5	19.8	15.4	11.3	7.5	4.0
34	53.2	46.2	39.8	33.8	28.3	23.2	18.4	14.0	10.0	6.2
36	59.4	51.9	44.9	38.4	32.5	26.9	21.8	17.1	12.7	8.6
38	66.3	58.1	50.5	43.6	37.1	31.1	25.6	20.5	15.8	11.4

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Προσδιορισμός της πραγματικής πίεσης των υδρατμών (e_a) σε σχέση με τις θερμοκρασίες υγρού (t_{wb}) και ξηρού (t_{db}) βολβού (μη αεριζόμενο θερμόμετρο).

t_{db} σε °C	Θερμοκρασία υγρού βολβού (t_{wb}) σε °C									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	6.1	3.7	1.5							
2	7.1	4.5	2.3							
4	8.1	5.5	2.9	0.9						
6	9.3	6.5	3.9	1.5						
8	10.7	7.7	4.9	2.3						
10	12.3	9.1	6.1	3.3	0.7					
12	14.0	10.7	7.5	4.6	1.7					
14	16.0	12.4	9.1	5.9	3.0	0.1				
16	18.2	14.4	10.8	7.5	4.3	1.4				
18	20.6	16.6	12.8	9.2	5.9	2.7				
20	23.4	19.0	15.0	11.2	7.6	4.3	1.1			
22	26.4	21.8	17.4	13.4	9.6	6.0	2.7			
24	29.8	24.8	20.2	15.8	11.8	8.0	4.4	1.1		
26	33.6	28.2	23.2	18.6	14.2	10.2	6.4	2.8		
28	37.8	32.0	26.6	21.6	17.0	12.6	8.6	4.8	1.2	
30	42.4	36.2	30.4	25.0	20.0	15.4	11.0	7.0	3.2	
32	47.5	40.8	34.6	28.8	23.4	18.4	13.8	9.4	5.4	1.6
34	53.2	45.9	39.2	33.0	27.2	21.8	16.8	12.2	7.8	3.8
36	59.4	51.6	44.4	37.6	31.4	25.6	20.2	15.2	10.6	6.2
38	66.3	57.8	50.0	42.8	36.0	29.8	24.0	18.6	13.6	9.0

3.3.3.2 Συνάρτηση ανέμου $f(u)$.

Με την κίνηση των αερίων μαζών ευνοείται η εξάτμιση. Η ξηροί άνεμοι προκαλούν αυξημένη εξατμισοδιαπνοή με αποτέλεσμα την γρήγορη εξάντληση των αποθεμάτων τις εδαφικής υγρασίας, έτσι μία ανεμόπληκτη περιοχή παρουσιάζει μεγάλη εξατμισοδιαπνοή σε σχέση με μία που δεν είναι ανεμόπληκτη. Η επίδραση του ανέμου στην εξατμισοδιαπνοή εκφράζεται με την εξίσωση:

$$f(u) = 0.27 (1 + U / 100)$$

όπου:

U = η ημερήσια ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m (Km/ημέρα)

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την συνάρτηση του ανέμου πρέπει να γνωρίζουμε την ημερήσια ταχύτητα εκφρασμένη σε Km/ημέρα και μετρημένη σε ύψος 2m. Όταν τα δεδομένα του ανέμου δεν είναι υπολογισμένα στα 2m ύψος, γίνονται διορθώσεις με διάφορους παράγοντες ανάλογα με το ύψος μέτρησης του ανέμου. Δίνεται ο παρακάτω πίνακας με τους παράγοντες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Ύψος μέτρησης	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Παράγοντες διόρθωσης	1,35	1,15	1,03	1,00	0,93	0,88	0,85	0,83

Με δεδομένα την ταχύτητα του ανέμου και το υψόμετρο, από τον παρακάτω πίνακα (8), βρίσκουμε την συνάρτηση $f(u)$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Προσδιορισμός της συνάρτησης ανέμου $f(u)$ σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου U_2 .

Ταχ/τα U_2 (km/ημ.)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0,00	0,30	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46	0,49	0,51
100	0,54	0,57	0,59	0,62	0,65	0,67	0,70	0,73	0,76	0,78
200	0,81	0,84	0,86	0,89	0,92	0,94	0,97	1,00	1,03	1,05
300	1,08	1,11	1,13	1,16	1,19	1,21	1,24	1,27	1,30	1,32
400	1,35	1,38	1,40	1,43	1,46	1,49	1,51	1,54	1,57	1,59
500	1,62	1,65	1,67	1,70	1,73	1,76	1,78	1,81	1,84	1,87
600	1,89	1,92	1,94	1,97	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,15
700	2,16	2,19	2,21	2,24	2,27	2,29	2,32	2,35	2,38	2,40
800	2,43	2,46	2,48	2,51	2,54	2,56	2,59	2,62	2,64	2,65

3.3.3.3 Παράγοντας (I-W) .

Αυτός ο παράγοντας αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου και της υγρασίας στην εξατμισοδιαπνοή, ο οποίος εξαρτάται από την θερμοκρασία και το υψόμετρο. Οι τιμές του δίνονται από τον παρακάτω πίνακα (9):

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Προσδιορισμός του παράγοντα (1-W) σε σχέση με την μέση θερμοκρασία (T_{mean}) και το υψόμετρο.

Υψόμε- τρο (m)	Μέση θερμοκρασία (T_{mean}) σε °C									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	0,57	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,32
500	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30
1000	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29
2000	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27
3000	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25
4000	0,46	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23
Υψόμε- τρο (m)	Μέση θερμοκρασία (T_{mean}) σε °C									
	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15
500	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14
1000	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13
2000	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12

3000	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11
4000	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10

3.3.3.4 Σταθμικός παράγοντες W .

Ο παράγοντας αυτός αντιπροσωπεύει την επίδραση της ακτινοβολίας στην εξατμισοδιαπνοή, εξαρτάται από την θερμοκρασία και το υψόμετρο. Οι τιμές του δίνονται από τον παρακάτω πίνακα (10):

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Προσδιορισμός του σταθμικού παράγοντα (W) σε σχέση με την μέση θερμοκρασία (T_{mean}) και το υψόμετρο.

Υψόμε- τρο (m)	Μέση θερμοκρασία (T_{mean}) σε °C									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69
500	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70
1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71
2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73
3000	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,77
4000	0,54	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77
Υψόμε- τρο (m)	Μέση θερμοκρασία (T_{mean}) σε °C									
	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85
500	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
1000	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
2000	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
3000	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
4000	0,79	0,81	0,82	0,84	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90

3.3.3.5 Καθαρή ηλιακή ακτινοβολία R_n .

Ονομάζουμε καθαρή ακτινοβολία (R_n) την διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης και αυτής που την εγκαταλείπει. Η ακτινοβολία μπορεί μετρηθεί απευθείας, αλλά τέτοιες παρατηρήσεις σπάνια υπάρχουν. Η ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα με την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολία, της ηλιοφάνειας και των δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας της ατμοσφαιράς.

Η ακτινοβολία που φθάνει στο απώτερο άκρο της ατμόσφαιρας (R_a) εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την ημέρα του έτους και βρίσκεται

από τον πίνακα (11).

Ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται και διαχέεται στην ατμόσφαιρα και το υπόλοιπο φθάνει στην επιφάνεια της γης και αποτελεί την πραγματική ηλιακή ακτινοβολία (R_s) η οποία υπολογίζεται με την σχέση:

$$R_s = (0.25 + 0.5 n/N) * R_a$$

όπου:

n/N = είναι ο λόγος της πραγματικής ηλιοφάνειας σε (h/ημέρα) προς την μέγιστη ηλιοφάνεια του μήνα (h/ημέρα).

R_a = είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Παίρνουμε τις τιμές της πραγματικής ηλιοφάνειας από παρακείμενο Μετεωρολογικό Σταθμό. Ενώ τις τιμές της μέγιστης ηλιοφάνειας του μήνα τις παίρνουμε από τον παρακάτω πίνακα (12).

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Προσδιορισμός της συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Ra) σε (mm/ημέρα) σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος (γ.π.) και τον μελετούμενο μήνα.

γ.π.	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	14,7	15,3	15,6	15,3	15,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
4	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
6	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
12	12,8	13,9	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,4	13,3	12,5
14	12,4	13,6	14,9	15,7	15,8	15,7	15,7	15,7	15,1	14,1	12,8	12,0
16	12,0	13,3	14,9	15,6	16,0	15,9	15,9	15,7	15,0	13,9	12,4	11,6
18	11,6	13,0	14,6	15,6	16,1	16,1	16,1	15,8	14,9	13,6	12,0	11,1
20	11,2	12,7	14,4	15,6	16,3	16,4	16,3	15,9	14,8	13,3	11,6	10,7
22	10,7	12,3	14,2	15,5	16,3	16,4	16,4	15,8	14,6	13,0	11,1	10,2
24	10,2	12,3	14,2	15,5	16,4	16,6	16,5	15,8	14,5	12,6	10,7	9,7
26	9,8	11,5	13,7	15,3	16,4	16,7	16,6	15,7	14,3	12,3	10,3	9,3
28	9,3	11,1	13,4	15,3	16,5	16,8	16,7	15,7	14,1	12,0	9,9	8,8
30	8,8	10,7	13,1	15,2	16,5	17,0	16,8	15,7	13,9	11,6	9,5	8,3
32	8,3	10,2	12,8	15,0	16,5	17,0	16,8	15,6	13,6	11,2	9,0	7,8
34	7,9	9,8	12,4	14,8	16,5	17,1	16,8	15,5	13,4	10,8	8,5	7,2
36	7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8,0	6,6
38	6,9	9,0	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10,0	7,5	6,1
40	6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7,0	5,7
42	5,9	8,1	11,0	14,0	16,2	17,3	16,7	15,0	12,2	9,1	6,5	5,2
44	5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6,0	4,7
46	4,9	7,1	10,2	13,3	16,0	17,2	16,6	14,5	11,5	8,3	5,5	4,3
48	4,3	6,6	9,8	13,0	15,9	17,2	16,5	14,3	11,2	7,8	5,0	3,7
50	3,8	6,1	9,4	12,7	15,8	17,1	16,4	14,1	10,9	7,9	4,5	3,2

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Προσδιορισμός της μέγιστης μηνιαίας ηλιοφάνειας σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος (γ.π.) και το μελετούμενο μήνα.

γ.π.	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13,0	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
46	9,1	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
50	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	12,7	9,1	8,1

Ένα μέρος της R_s ανακλάται από το έδαφος, το νερό ή τις καλλιέργειες και χάνεται στην ατμόσφαιρα. Η ανακλαστικότητα εξαρτάται από το είδος της επιφανείας και για τις καλλιέργειες είναι περίπου 25%. Το υπόλοιπο που απομένει είναι η καθαρή μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία (R_{ns}) και σύμφωνα με τα πιο πάνω είναι:

$$R_{ns} = 0.75 R_n.$$

Η επιφάνεια της γης έχει μία επιπλέον απώλεια ενέργεια, εφόσον η γη ακτινοβολεί προς το διάστημα, μέρος από την ενέργεια που απορροφά σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Η γη δέχεται επίσης, ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος από αυτή που βρίσκεται διάχυτη στο περιβάλλον. Η διαφορά μεταξύ των δύο μορφών ηλιακής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (R_{nl}), αποτελεί την καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους και είναι κατά κανόνα αρνητική. Η (R_{nl}) μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα από την σχέση:

$$R_{nl} = f(\tau) * f(ed) * (f(n/N)).$$

C: συναρτήσεις του δευτέρου μέρους μπορούν να υπολογιστούν από τις σχέσεις:

$$f(T) = \sigma * T_k$$

όπου:

σ = είναι η σταθερά των Stefan - Boltzman ίση με $8.14 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T_k = είναι η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Kelvin

Το $f(T)$ μπορεί να προσδιοριστεί από τον παρακάτω πίνακα (13), αφού γνωρίζουμε την θερμοκρασία σε C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Προσδιορισμός της συνάρτησης της θερμοκρασίας $f(T)$ για την εύρεση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (R_{nl}).

T(°C)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
f(T)	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2
T(°C)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40
f(T)	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1	18.6

$$f(ed) = 0.34 - 0.44 * ed$$

όπου:

ed = είναι η πραγματική πίεση των υδρατμών (mbar).

Το $f(ed)$ μπορεί να προσδιοριστεί από τον παρακάτω πίνακα (14), γνωρίζοντας την πραγματική πίεση των υδρατμών(mbar).

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Προσδιορισμός της συνάρτησης της μέσης πραγματικής πίεσης των υδρατμών (ed) σε σχέση με την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (R_{nl}).

ed(mbar)	6.00	8.00	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0
f(ed)	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13
ed(mbar)	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0
f(ed)	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9 (n/N)$$

Η καθαρή ακτινοβολία που χρησιμοποιείται στον αρχικό τύπο, βρίσκεται από την διαφορά:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Ανάλογα με τα προηγούμενα, και γνωρίζοντας το λόγο n/N από τον παρακάτω πίνακα (15), προσδιορίζουμε τη συνάρτηση $f(n/N)$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Προσδιορισμός της συνάρτησης του λόγου της πραγματικής ηλιοφάνειας προς την μέγιστη ηλιοφάνεια του μήνα (n/N) για την εύρεση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (R_{nl}).

n/N	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
f(n/N)	0.10	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.37	0.42	0.46
n/N	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.67	0.75	0.80	0.90

f(n/N)	0.51	0.55	0.60	0.64	0.69	0.73	0.78	0.82	0.87
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

3.3.3.6 Διορθωτικός παράγοντας c.

Για να ισχύει η εξίσωση του PENMAN θα πρέπει στην ατμόσφαιρα να υπάρχουν συγκεκριμένες συνθήκες τέτοιες ώστε το επίπεδο ακτινοβολίας να είναι από μέσο και προς τα υψηλά επίπεδα. Όσο αφορά την μέγιστη σχετική υγρασία θα πρέπει να είναι μέση προς υψηλή και ο άνεμος μέτριος, όπου η ταχύτητα του την ημέρα είναι περίπου διπλάσια από αυτήν που έχει την νύκτα. Οι προϋποθέσεις αυτές δεν ισχύουν πάντοτε.

Οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά σε παραλίες παρουσιάζουν το εξής φαινόμενο, την ημέρα κυριαρχούν οι θαλάσσιες αύρες ενώ την νύκτα έχουμε άπνοια. Έτσι ο λόγος Ημέρας/Υνύκτας κυμαίνεται από 3 έως 5. Αυτές οι συνθήκες σε συνδυασμό με την μέγιστη σχετική υγρασία που προσεγγίζει το εκατό τοις εκατό και σε συνδυασμό με την υψηλή ακτινοβολία η εξίσωση του PENMAN μας δίνει λανθασμένη εξατμισοδιαπνοή συνήθως 15 έως 30% λιγότερη από την κανονική. Αντίθετα η σχέση μας δίνει μεγαλύτερα αποτελέσματα από τα κανονικά όταν στην περιοχή επικρατούν μέτριοι ισχυροί άνεμοι και η διαφορά της ταχύτητας των ανάμεσα στην ημέρα και την νύκτα είναι πολύ μικρή, και πάντοτε σε συνδυασμό με την RH_{max} και R_n οι οποίες είναι χαμηλές.

Για να αποφύγουμε αυτές τις ατασθαλίες στην εξίσωση του PENMAN χρησιμοποιούμε τον διορθωτικό παράγοντα c. Οι τιμές του c παίρνονται σε συνάρτηση με την R_s , RH_{max} και με την Ημερας/Υνυκτας από τον παρακάτω πίνακα (16).

Οι πληροφορίες για τον λόγο ανέμου μεταξύ ημέρας και νύκτας μπορεί να ληφθούν από περιγραφές του κλίματος ή από αυτογραφικές ταινίες ταχύτητας του ανέμου.

Πίνακας 16. Συντελεστής C , σαν συνάρτηση του R_s , του $R_{h_{max}}$, του u_2 και του λόγου u_d/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	$R_{h_{max}} = 30 \%$				$R_{h_{max}} = 60 \%$				$R_{h_{max}} = 90 \%$			
	Πραγματική ηλιακή ακτινοβολία, R_s , σε mm / ημέρα											
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
1. $u_d / u_n = 1$												
0	0.86	0.90	1	1	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	0.7	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1
9	0.27	0.41	0.59	0.7	0.5	0.6	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96
2. $u_d / u_n = 2$												
0	0.86	0.90	1	1	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.99	0.98	1.1	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.7	0.8	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.7	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	0.06
3. $u_d / u_n = 3$												
0	0.86	0.90	1	1	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
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	1.1	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	0.86	0.90	1	1	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1	1.11	1.19	0.99	1.1	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.1	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

Πίνακας 17. Τιμές του σταθμικού παράγοντα W , που αντιπροσωπεύει την επίδραση της R_s στην ET_r , για διάφορες θερμοκρασίες και υψόμετρα.

Θερμοκρασία Υψόμετρο (m)				
°C	0	500	1000	2000
2	0.43	0.45	0.46	0.49
4	0.46	0.48	0.49	0.52
6	0.49	0.51	0.52	0.55
8	0.52	0.54	0.55	0.58
10	0.55	0.57	0.58	0.61
12	0.58	0.60	0.61	0.64
14	0.61	0.62	0.64	0.66
16	0.64	0.65	0.66	0.69
18	0.66	0.67	0.69	0.71
20	0.68	0.70	0.71	0.73
22	0.71	0.72	0.73	0.75
24	0.73	0.74	0.75	0.77
26	0.75	0.76	0.77	0.79
28	0.77	0.78	0.79	0.81
30	0.78	0.79	0.81	0.82
32	0.80	0.81	0.82	0.84
34	0.82	0.82	0.84	0.85
36	0.83	0.84	0.85	0.86
38	0.84	0.85	0.86	0.87
40	0.85	0.86	0.87	0.88

Πίνακας 18. 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	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
Δεκέμβριος	7,8	7,2	6,6	6,1	5,7	5,2

Πίνακας 19. 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

Πίνακας 20. 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 °C

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	11.2	23	15.25
2	11.36	24	15.46
3	11.53	25	15.67
4	11.7	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	13.1	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 21. Μέση ελάχιστη σχετική υγρασία και μέση μέγιστη σχετική υγρασία διαφόρων περιοχών της Ελλάδας (κατά προσέγγιση)

Πόλεις	Μέση ελάχιστη σχετική υγρασία RHmin (%)	Μέση μέγιστη σχετική υγρασία RHmax (%)
Αγρίνιο	45	80
Αθήνα	36	75
Αλεξ/πόλη	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
Κιλκίς	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

3.3.4 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.

3.3.4.1 Τροποποιημένη μέθοδος των Blaney – Criddle.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή έχουμε:

$$ET_c = K_c \cdot ET_r$$

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

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 23.

P = μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών του έτους, που παίρνεται από τον πίνακα 24.

μ = ο αριθμός ημερών του μελετώμενου μήνα.

RH_{min} = ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα %, που παίρνεται από τον πίνακα 21.

n = πραγματική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα.

N = θεωρητική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 21.

b = συντελεστής, που παίρνεται από τον πίνακα 25, σαν συνάρτηση του RH_{min} , του n/N και του u_2 , που είναι η ταχύτητα του ανέμου 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Όπως και στην μέθοδο του Penman έτσι και στην μέθοδο των Blaney – Criddle, ο φυτικός συντελεστής K_c παίρνεται από τους ίδιους αναλυτικούς πίνακες.

Πίνακας 22. Γεωγραφικό πλάτος διαφόρων πόλεων της Ελλάδας.

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων $41^\circ 45'$ και $34^\circ 48' B$

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

**Πίνακας 23. Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε °C
(Συντελεστής T)**

Πόλεις	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	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
Αθήνα	9,8	10,5	11,9	15,9	20,7	24,9	27,4	27,6	23,8	19	15,9	12	18
Αλεξ/πόλη	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	14,5	9,9	17
Βόλος	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
Ηράκλειο	12,2	12,7	13,8	16,5	20,2	24	25,9	25	23,9	19,8	17,3	14,2	18,8
Θεσ/νίκη	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	27,2	27,4	23,9	19,5	16	12	18,4
Ιωάννινα	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
Καλαμάτα	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	12,2
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
Κιλκίς	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	25,2	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	22,4	27,4	27,6	23,8	19	15,9	12	18
Λαμία	7,9	9	10,5	15,6	20,4	23,9	26,9	26,8	22,9	18	14,4	9,8	17,2
Λάρισα	5,1	6,9	8,9	13,3	18,2	22	25,5	25,2	21,4	16,2	11,6	6,7	15
Λιβαδειά	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
Νάουσα	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
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	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	22,7	18,9	15,5	12,2	17,9
Πύργος	10,5	10,7	12,3	15	18,9	22,5	24,8	25,5	22,9	19,2	15,6	11,9	17,5
Ρόδος	11,4	11,7	13	16	20	24,2	26,5	27	24,1	20,1	16,6	13,3	18,7
Σέρρες	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	18,2
Τρίκαλα	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
Τρίπολη	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
Φλώρινα	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	17,3	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 24. Μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους για γεωγραφικά πλάτη $34^{\circ} \sim 42^{\circ}$ βόρειου ημισφαιρίου. (Συντελεστής P)

Γεωργ	Πλατ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	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	9,93	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 25. 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
Ταχύτητα ανέμου $u_2 = 0$ m/sec						
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
Ταχύτητα ανέμου $u_2 = 2$ m/sec						
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

Ταχύτητα ανέμου $u_2 = 4$ m/sec						
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
Ταχύτητα ανέμου $u_2 = 6$ m/sec						
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
Ταχύτητα ανέμου $u_2 = 8$ m/sec						
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
Ταχύτητα ανέμου $u_2 = 10$ m/sec						
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

3.3.4.2 Απλοποιημένη μέθοδος των Blaney – Criddle.

Με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney – Criddle υπολογίζουμε την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή από την σχέση:

$$ET = K \cdot (8,13 + 0,46 \cdot T) P,$$

όπου: ET = μηνιαία δυνατή εξατμισοδιαπνοή σε mm

K = φυτικός συντελεστής που παίρνεται από τον πίνακα 27

P = ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας, που εκφράζεται σε εκατοστά των ωρών ημέρας του έτους, το οποίο παίρνεται από τον πίνακα 24.

T = η μέση θερμοκρασία του μήνα σε °C που παίρνεται από τον πίνακα 16.

ΠΙΝΑΚΑΣ 26. Προσδιορισμός του μηνιαίου ποσοστού (%) των ωρών ημέρας του χρόνου (P) σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος (γ.π.) και το μελετούμενο μήνα.

Γ.Π.	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
0	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
5	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,28	0,27	0,27
10	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,27	0,28	0,26	0,26
15	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,28	0,26	0,25
20	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,26	0,28	0,25	0,25
25	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,26	0,28	0,25	0,24
30	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,26	0,28	0,24	0,23
35	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,25	0,28	0,23	0,22
38	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,25	0,28	0,22	0,21
40	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,25	0,28	0,22	0,21
42	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,25	0,28	0,22	0,21
44	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,25	0,28	0,22	0,20
46	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,24	0,28	0,21	0,20
48	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,24	0,28	0,21	0,19
50	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,24	0,28	0,20	0,18
52	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,24	0,28	0,20	0,17
54	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,23	0,28	0,19	0,17
56	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,23	0,28	0,18	0,16
58	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,23	0,28	0,18	0,15
60	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,22	0,28	0,17	0,13

3.4 Φυτικοί συντελεστές

Οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, αλλά και για την ίδια καλλιέργεια παρουσιάζουν διακύμανση κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Οι τιμές τους διαμορφώνονται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που αναπτύσσεται, την καλλιεργητική πρακτική και την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Για τις ετήσιες καλλιέργειες, επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν το kc είναι ο χρόνος σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης και η συχνότητα των βροχών και αρδεύσεων κατά το αρχικό στάδιο της ανάπτυξής τους. Λόγω των διαφοροποιήσεων αυτών η διερεύνηση των φυτικών συντελεστών γίνεται κατά κατηγορίες καλλιεργειών.

3.4.1. Οι φυτικοί συντελεστές των ετήσιων καλλιεργειών

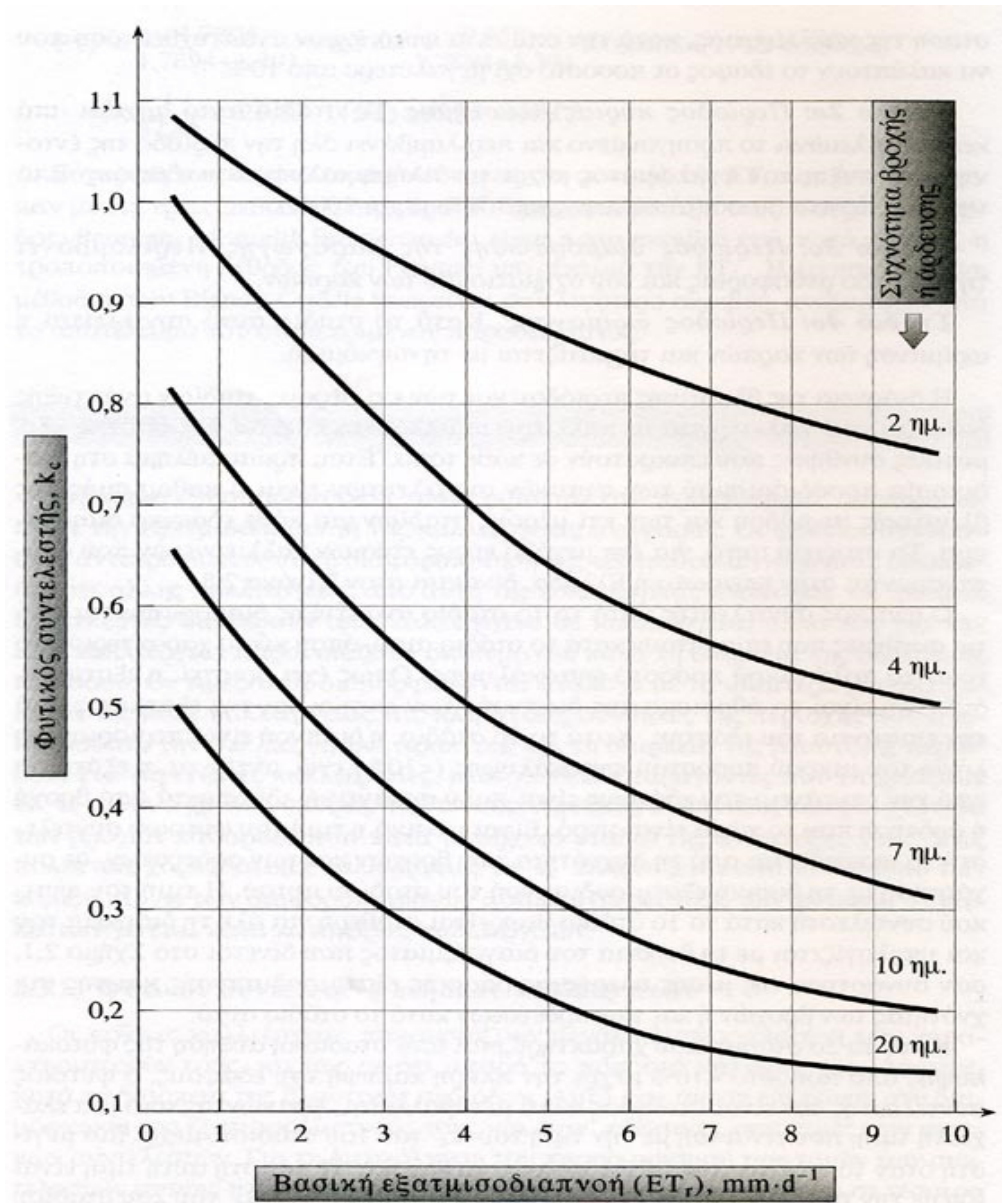
Οι ετήσιες καλλιέργειες παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών τους, κυρίως σε ότι αφορά το ποσοστό κάλυψης του εδάφους, κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής τους και, κατ' επέκταση, στις τιμές των φυτικών συντελεστών. Για τη διευκόλυνση του προσδιορισμού των τιμών των συντελεστών αυτών, η βλαστική περίοδος κάθε καλλιέργειας χωρίζεται σε τέσσερα κύρια στάδια ανάπτυξης. Τα στάδια αυτά είναι:

Στάδιο 1^ο: *Περίοδος εγκατάστασης της καλλιέργειας*. Το στάδιο αυτό αρχίζει με τη σπορά ή μεταφύτευση και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της καλλιέργειας, κατά την οποία τα φυτά έχουν αναπτυχθεί τόσο που να καλύπτουν το έδαφος σε ποσοστό όχι μεγαλύτερο από 10%.

Στάδιο 2^ο: *Περίοδος κύριας βλάστησης*. Το στάδιο αυτό αρχίζει από 'κει που τελειώνει το προηγούμενο και περιλαμβάνει όλη την περίοδο της έντονης ανάπτυξης του φυλλώματος μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια (ποσοστό κάλυψης από 70% μέχρι 100%).

Στάδιο 3^ο: *Περίοδος διαμόρφωσης της παραγωγής*. Περιλαμβάνει την περίοδο ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών.

Στάδιο 4^ο: Περίοδος ωρίμανσης. Κατά το στάδιο αυτό συντελείτε η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με τη συγκομιδή.



Σχήμα 7: Τιμές του συντελεστή k_c για το 1^ο στάδιο ανάπτυξης σε συνάρτηση με τη βασική εξατμισοδιαπνοή και τη συχνότητα βροχής ή άρδευσης.

3.4.2. Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης των ετήσιων καλλιεργειών.

3.4.2.1. 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^ο στάδιο: 25 ημέρες

2^ο στάδιο: 40 ημέρες

3^ο στάδιο: 60 ημέρες

4^ο στάδιο: 25 ημέρες

3.4.2.2 Βαμβάκι

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

1^ο στάδιο: 30 ημέρες

2^ο στάδιο: 60 ημέρες

3^ο στάδιο: 45 ημέρες

4^ο στάδιο: 25 ημέρες

3.4.2.3 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^ο στάδιο: 25 ημέρες

2^ο στάδιο: 35 ημέρες

3^ο στάδιο: 35 ημέρες

4^ο στάδιο: 20 ημέρες

3.4.2.4 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^ο στάδιο: 25 ημέρες

2^ο στάδιο: 35 ημέρες

3^ο στάδιο: 90 ημέρες

4^ο στάδιο: 10 ημέρες

3.4.3 Πίνακες με φυτικούς συντελεστές

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

Πίνακας 27. Εποχιακός φυτικός συντελεστής (K) που χρησιμοποιείται στην μέθοδο Blaney – Criddle.

Καλλιέργεια	Βλαστική περίοδος	Φυτικός συντελεστής K	
		Περίοδος ανάπτυξης των φυτών	Μέσος όρος περιόδου K
Αμπέλι	5 – 7 μήνες	0,50 – 0,60	0,55
Αραβόσιτος	4 μήνες	0,75 – 0,85	0,75
Βαμβάκι	7 μήνες	0,60 – 0,70	0,65
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	0,80 – 0,85	0,59
Λειμώνες ψυχανθών	Μεταξύ παγετών	0,80 – 0,85	0,80
Μηδική	Μεταξύ παγετών	0,80 – 0,90	0,85
Μπιζέλια	3 μήνες	0,50 – 0,75	0,53
Οπωροφόρα	Μεταξύ παγετών	0,65 – 0,75	0,65
Πατάτες	3 μήνες	0,65 – 0,75	0,70
Πεπονοειδή	3 μήνες	1,00 – 1,20	0,74
Ρύζι	4 – 5 μήνες	1,00 – 1,10	1,10
Σόργο	-----	-----	0,59
Σιτηρά (εαρινά)	3 – 4 μήνες	-----	0,68
Ντομάτες	4 μήνες	0,65 – 0,70	0,70
Φασόλια	3 μήνες	0,60 – 0,70	0,65
Φράουλες	4 μήνες	-----	0,66
Χλοοτάπητες	-----	-----	1,00

Πίνακας 28. Τιμές φυτικών συντελεστών, Κc ετήσιων καλλιεργειών, προσαρμοσμένων στις κλιματικές συνθήκες της ηπειρωτικής Ελλάδος, για χρήση με την τροποποιημένη μέθοδο του Penman.

Καλλιέργεια	Στάδιο ανάπτυξης			
	1 ^ο	2 ^ο	3 ^ο	4 ^ο
Αραβόσιπος	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			

Πίνακας 29. Τιμές φυτικών συντελεστών, Κc για οπωρώνες και αμπελώνες, προσαρμοσμένων στις κλιματικές συνθήκες της ηπειρωτικής Ελλάδος, για χρήση με την τροποποιημένη μέθοδο του Penman.

Καλλιέργεια	Μήνας						
	Απρ.	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.
Αχλαδιά Βερικοκιά Δαμασκηλιά Ροδακινιά Φιστικιά	----	0,45	0,55	0,75	0,65	0,60	----
Καρυδιά Κερασιά Μηλιά	----	0,45	0,65	0,75	0,65	0,60	----
Εσπεριδοειδή	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,60	0,80
Αμπελώνες	----	0,30	0,35	0,45	0,45	0,35	----
Ελαιώνες	----	0,30	0,35	0,40	0,40	0,30	----

4. Η ΕΝΕΡΓΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

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 της 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, 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 υπέρβασης 80 ή 75%. Δηλαδή κατά μέσο όρο, προκειμένου για πιθανότητα υπέρβασης 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 σαν:

$$R = B - (c + B/8)$$

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

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 30 και αναφέρεται σε μηνιαίες τιμές. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για περιοχές ξηρού και ημιξηρού κλίματος. Σύμφωνα με τον Stamm η μέθοδος πρέπει να εφαρμόζεται στα 5 πιο ξηρά διαδοχικά έτη.

Πίνακας 30. Υπολογισμός της μηνιαίας ενεργού βροχόπτωσης (μέθοδος U.S. Bureau of Reclamation).

Μηνιαία βροχόπτωση (κατά κλάσεις) mm	Ποσοστό βροχόπτωσης (κατά κλάσεις) %	ενεργού
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 15 ως εξής:

$$R = 25,4 \cdot 0,95 + (50,8 - 25,4)0,90 + (76,2 - 50,8) 0.825 \Leftrightarrow$$

$$R = 67,95 \text{ mm.}$$

5. Η ΕΙΣΡΟΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΤΑΘΜΗ

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. Στα συνεκτικά εδάφη το νερό μπορεί να φτάσει πολύ ψηλά πάνω από την υπόγεια στάθμη με βραδύ όμως ρυθμό ενώ, στα ελαφρά εδάφη, το ύψος ανόδου του νερού είναι μεν μικρό αλλά ο ρυθμός είναι ταχύς. Γενικά, χρειάζονται πολύ λεπτομερείς μετρήσεις για να υπολογιστεί η ποσοτική συμβολή του υπόγειου νερού σε κάθε περιοχή που πρόκειται να αρδευτεί.

6. ΟΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ

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 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.

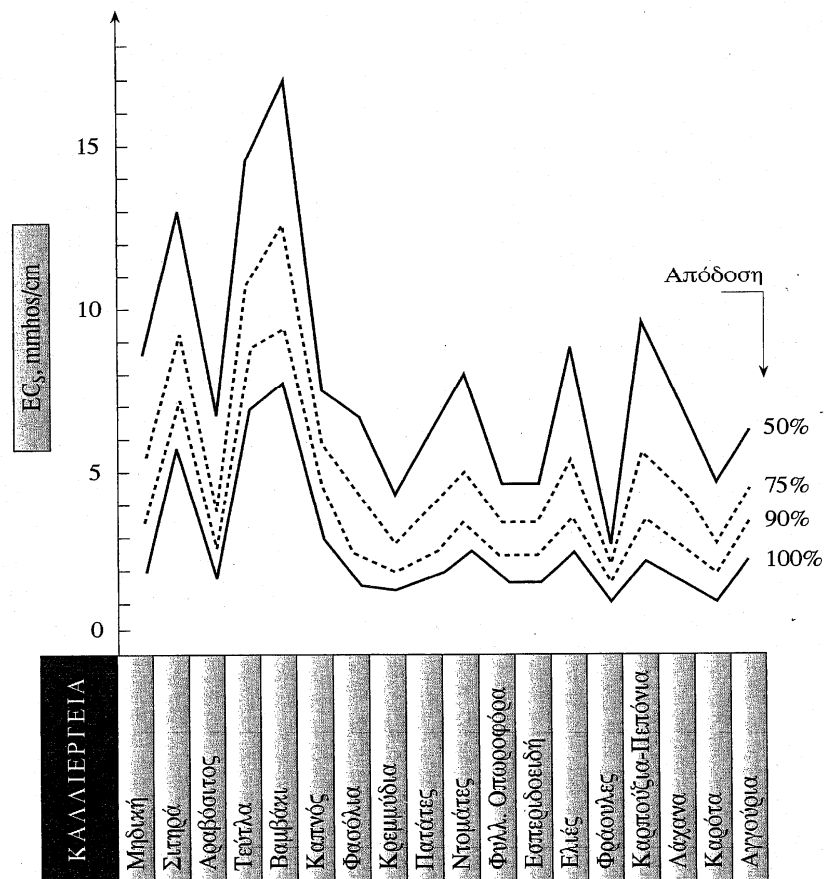
R = ενεργός βροχόπτωση σε mm ή m^3 / στρέμμα / μήνα

μ = ο αριθμός των ημερών του μήνα.

Πέρα όμως από τις καθαρές σε νερό ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν με άρδευση, πρόσθετες ποσότητες νερού χρειάζονται για την έκπλυση των αλάτων που συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα σαν συνέπεια της άρδευσης και για την κάλυψη των απωλειών κατά την μεταφορά του νερού και την εφαρμογή του στο χωράφι.

Η αλατότητα του εδάφους των χωραφιών διαμορφώνεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, την ποιότητα του αρδευτικού νερού, τον τρόπο εφαρμογής του και το μέγεθος και την κατανομή των βροχών. Η αλατότητα

αυξάνει με την πρόοδο της βλαστικής περιόδου και για να κρατηθεί σε επιτρεπτά επίπεδα είναι απαραίτητη η έκπλυση του εδάφους με νερό πριν, κατά την διάρκεια ή μετά το πέρας της βλαστικής περιόδου, με την προϋπόθεση ότι σε καμιά περίπτωση η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος δεν θα ξεπεράσει τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια. Η άρδευση λοιπόν συνεπάγεται πάντοτε αύξηση της αλατότητας του εδάφους που, αν δεν προσεχθεί από την αρχή, μπορεί να προκαλέσει σοβαρό υποβιβασμό της γονιμότητας της γεωργικής γης. Το σχήμα 8 δείχνει τα όρια συγκέντρωσης των αλάτων στο εκχύλισμα κορεσμού εκφρασμένα σε $\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ και τα αντίστοιχα επίπεδα απόδοσης διαφόρων καλλιεργειών.



Σχήμα 8. Επίδραση της συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος στην απόδοση διαφόρων καλλιεργειών με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού (ECs)

7. ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ

Η θεωρητική συνεχής παροχή, q_0 , 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 την 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 αυτόν 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 (σκάλισμα, καταπολέμηση ασθενειών κ.λ.π.)

Αν η έκταση του κτήματος είναι αρκετά μεγάλη όπως συμβαίνει σε άλλες χώρες (200 – 300 στρέμματα ή 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.λ.π.). 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/στρέμμα = 400 lit/sec), θα προτείνει για κατασκευή το αμέσως επόμενο μέγεθος, π.χ. 60 lit/sec. Έτσι η περιοχή της τριτεύουσας αυτής αποκτά, 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 διώρυγα 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 αρδεύσει μόνο ένας παραγωγός ο βαθμός ελευθερίας γίνεται $60 / (62,5 \times 0,08) = 12$, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε παραγωγός θα ασχολείται 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 οποιεσδήποτε 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.

8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΒΑΜΒΑΚΙ.

Πρόκειται να αρδευτεί μια καλλιέργεια με βαμβάκι με τα παρακάτω στοιχεία:

α. Περιοχή:	Ημιορεινή (υψόμετρο 150 m)	Άρτα
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 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.

α. Υπολογισμός των αναγκών με την μέθοδο του Penman.

$$\text{Είναι } E_D = ET_c - R/\mu$$

α₁. Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της ET_c , της καλλιέργειας

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (υδατοκατανάλωση) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ET_c = K_c \cdot ET_r$$

Όπου: $K_c = 0,90$ είναι ο φυσικός συντελεστής, ο οποίος από τον πίνακα 28

ET_r = η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ή βασική εξατμισοδιαπνοή σε mm / ημέρα, είναι:

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

A. Από τον πίνακα 23 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 17 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 18. Το γεωγραφικό πλάτος από τον πίνακα 22 είναι $39^{\circ} 10'$ οπότε:

$$R_a = 16,7 \text{ mm / ημέρα}$$

Γ. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 19 την μέση θεωρητική ηλιοφάνεια N , που αντιστοιχεί στο μήνα και το γεωγραφικό πλάτος, άρα:

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

Δ. Η πραγματική ηλιοφάνεια n εκτιμάται:

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

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

$$R_s = R_a \cdot (0,25 + 0,50 \cdot n / N) = 16,7 \cdot (0,25 + 0,50 \cdot 12 / 14,65) = 11,015 \text{ mm / ημέρα}$$

ΣΤ. Από τη σχέση $R_{ns} = 0,75 R_s$ (mm / ημέρα), βρίσκουμε 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 20 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 4 υπολογίζουμε την πίεση κορεσμού των υδρατμών $e_a = 33,6$ mbar και από τον πίνακα 21 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 την 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 διάφορα της ενέργειας που ακτινοβολεί η γη προς το περιβάλλον και αυτής που δέχεται η γη από το περιβάλλον σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

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

ΙΒ. 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 $u_2 = u_z \cdot (2 / z)^{0,2}$ όπου z είναι το υψόμετρο και u_z η ταχύτητα του ανέμου στο υψόμετρο z .

$$u_2 = u_z \cdot (2 / z)^{0,2} = 180 \cdot (2 / z)^{0,2} = 130,5 \text{ Km / ημ.} = 1,51 \text{ m / sec}$$

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

$$f(u) = 0,27 \cdot (1 + 130,5 / 100) = 0,622$$

ΙΕ. Υπολογίζουμε από τον πίνακα 16 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.

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

$$C = 1,104$$

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

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

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

$$ET_r = 7,945 \text{ mm / ημέρα}$$

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

$$ET_c = K_c \cdot ET_r = 0,90 \cdot 7,945 = 7,15 \text{ mm / ημέρα}$$

α₂. Υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης.

Η ενεργός βροχόπτωση υπολογίζεται από τη σχέση:

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

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

c = είναι εμπειρική σταθερά, που παίρνει την τιμή 10

α₃. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό

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

$$E_D = ET_c - R/\mu = 7,15 - 5,75/31 = 6,96 \text{ mm / ημέρα}$$

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

$$\text{Είναι } E_D = ET_c - R / \mu$$

β₁. Υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ET_c , της καλλιέργειας.

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

$$ET_c = k_c \cdot ET_r$$

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

Όπου:

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

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

$$b = 1,275$$

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

$$\text{και } ET_c = 0,65 \cdot 6,18 = 4,017 \text{ mm / ημέρα}$$

Στις παραπάνω σχέσεις:

$T = 26$ °C είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 23.

$P = 10,16$ είναι μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους, που παίρνεται από τον πίνακα 24.

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

$RH_{\min} = 50\%$ είναι η ελάχιστη υγρασία του αέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 21.

$n = 12$ είναι πραγματική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα

$N = 14,65$ είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια σε h / ημέρα, που παίρνεται από τον πίνακα 19.

$b = 1,275$ είναι συντελεστής, που παίρνεται από τον πίνακα 25, σαν συνάρτηση του RH_{\min} , του n/N , και του u_2 , που είναι η ταχύτητα του ανέμου 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

$K_c = 0,65$ είναι ο φυτικός συντελεστής που παίρνεται από τον πίνακα 27.

β₂. Υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης.

Η ενεργός βροχόπτωση όπως υπολογίστηκε παραπάνω, είναι:

$$R = 5,75 \text{ mm / ημέρα}$$

β₃. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό

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

$$E_D = ET_c - R / \mu = 4,017 - 5,75 / 31 = 3,83 \text{ mm / ημέρα}$$

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

γ₁. Υπολογισμός της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής

Την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή υπολογίζουμε από την σχέση:

$$ET = K \cdot (8,13 + 0,46 T) P = 0,65 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 26) \cdot 10,16 = 132,674 \text{ mm}$$

Όπου:

$K = 0,65$ είναι ο φυτικός συντελεστής που παίρνεται από τον πίνακα 27.

$P = 10,16$ είναι ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας, που εκφράζεται σε εκατοστά των ωρών ημέρας του έτους, το οποίο παίρνεται από τον πίνακα 24.

$T = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ είναι η μέση θερμοκρασία του μήνα που παίρνεται από τον πίνακα 23.

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

γ₂. Υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης

Η ενεργός βροχόπτωση όπως υπολογίστηκε παραπάνω, είναι:

$$R = 5,75 \text{ mm / ημέρα}$$

γ₃. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών των φυτών σε νερό.

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

$$E_D = (ET - R) / \mu = (132,674 - 5,75) / 31 = 4,09 \text{ mm / ημέρα}$$

9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΡΙΝΙΟΥ

9.1 Υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής ETr

Στο προηγούμενο κεφάλαιο στο παράδειγμα έγινε ανάλυση της μεθολογίας υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής μέσω τύπων και πινάκων ακολουθήσαμε Αυτή την μέθοδο και δημιουργήσαμε ένα πρόγραμμα υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής σε γλώσσα Visual Basic, το πρόγραμμα διαβάζει μετεωρολογικά δεδομένα και πίνακες. Στα παρακάτω κεφάλαια της εργασίας θα υπολογίζεται μηνιαία εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο είκοσι χρόνων (1981 – 2001) στην περιοχή Αγρινίου με την μέθοδο Penman και Blaney - Criddle και στη συνέχεια θα κάνουμε σύγκριση των δύο μεθόδων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μετεωρολογικά στοιχεία: μέση μηνιαία σχετική υγρασία (RHmean) σε ποσοστό %, μέση μηνιαία θερμοκρασία (Tmean) σε °C, μέση μηνιαία ηλιοφάνεια (n) σε ώρες (hr), μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (U) σε m/sec, τα οποία πήραμε από την Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

Για την μέθοδο Blaney – Criddle η μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου σε μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου ημέρας. Η μετατροπή αυτή γίνεται με τους παρακάτω συντελεστές.

Uday/Unight	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Συντελεστής για Uday	1,00	1,20	1,33	1,43	1,50	1,56	1,60

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με τις παραπάνω μεθόδους είναι κατασκευασμένο με την γλώσσα προγραμματισμού VISUAL BASIC.

Οι πίνακες που χρειάζονται για τον υπολογισμό κάποιων παραγόντων που υπάρχουν στους τύπους του Penman και Blaney-Criddle, έχουν περαστεί με εντολές και δίνοντας κάποια δεδομένα το πρόγραμμα τρέχει στο

κατάλληλο πίνακα. Σε περίπτωση που η τιμή κάποιων δεδομένων δεν υπάρχει ακριβείς στον πίνακα, το πρόγραμμα κάνει γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο πλησιέστερων τιμών για πιο ακριβές αποτελέσματα.

Στην εισαγωγή των δεδομένων στο παραπάνω πρόγραμμα δίνεται το όνομα, το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο της περιοχής, την μέγιστη και ελάχιστη σχετική υγρασία, το λόγο των ταχυτήτων ανέμου ημέρας προς νύχτας (που για την περιοχή μας είναι 2) και το έτος που θα υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή. Να σημειώσουμε εδώ ότι το πρόγραμμα όσο αφορά το υψόμετρο της περιοχής αναγνωρίζει τιμές μόνο αυτές που υπάρχουν στο αντίστοιχο πίνακα, δηλαδή 0, 500, 1000, 2000, 3000, 4000. Για παράδειγμα αν το υψόμετρο μιας περιοχής είναι ανάμεσα στο 0 και το 500, το πρόγραμμα θα πάρει την πιο κοντινή τιμή.

Όταν δοθούν τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας (RHmean) σε ποσοστό %, της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (Tmean) σε °C, της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (n) σε ώρες (hr) και της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου (U) σε m/sec. Αυτά τα στοιχεία υπάρχουν σε αρχεία για κάθε έτος από το 1981 έως και το 2001. Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να υπολογίσει την εξατμισοδιαπνοή για άλλο έτος, τότε δημιουργεί ένα νέο αρχείο για το έτος αυτό και εισάγει τα παραπάνω στοιχεία. Το πρόγραμμα δέχεται στοιχεία μέχρι το έτος 2030.

The screenshot shows the 'Εισαγωγή Δεδομένων' (Data Entry) window of the ETr Calculator software. The window title is 'ETr Calculator Έκδοση 1.0 - [Εισαγωγή Δεδομένων]'. The menu bar includes 'Αρχείο', 'Επεξεργασία', 'Μέθοδος Penman', 'Μέθοδος Blaney-Criddle', 'Αποτελέσματα', 'Σχετικά', and 'DEMO'. The toolbar contains icons for file operations, calculation methods, and data visualization. The main area is divided into several sections:

- Επιλέξτε Έτος:** A dropdown menu showing '2006'.
- Επιλέξτε Περιοχή:** Radio buttons for 'Γεωγραφικό Πλάτος από λίστα' (selected) and 'Άλλο Γεωγραφικό Πλάτος:'. A dropdown menu shows 'Αγρίνιο'. Below it, 'Γεωγραφικό Πλάτος Περιοχής:' is '38o 37'.
- Όνομα Περιοχής:** Radio buttons for 'Από λίστα:' (selected) and 'Άλλο:'. A text box contains 'Αγρίνιο'.
- Υψόμετρο Περιοχής:** Radio buttons for 'Υψόμετρο από λίστα' (selected) and 'Άλλο Υψόμετρο:'. A dropdown menu shows '0 m'.
- Μέση Max και Min Σχετική Υγρασία RH:** Two columns of input fields. The first column has 'RHmin:' set to '45%' and a radio button for 'Άλλο:'. The second column has 'RHmax:' set to '80%' and a radio button for 'Άλλο:'. Below each column is a radio button for 'Άρχική Τιμή'.
- Λόγος U ανέμου UHμέρας/UNύχτας:** A dropdown menu showing '2'.
- Αριθμητικά Δεδομένα:** A large green play button.

The status bar at the bottom shows '3/2/2006' and '10:27:09 μμ'.

Υπάρχουν 2 τρόποι εισαγωγής των δεδομένων στο πρόγραμμα.

1. Εισαγωγή των δεδομένων από το χρήστη πληκτρολογώντας τα ανάλογα δεδομένα απ' ευθείας στον πίνακα.
2. Εισαγωγή των δεδομένων από αρχείο *.kal

Τα αρχεία *.kal είναι τα αρχεία ανάγνωσης και αποθήκευσης δεδομένων του ETr Calculator.

Ο χρήστης δύναται να πληκτρολογήσει τα δεδομένα, είτε να κάνει χρήση της τεχνικής Copy & Paste (Αντιγραφή και Επικόλληση), αρχικά και στην συνέχεια να αποθηκεύσει αυτό το αρχείο ως αρχείο *.kal.

ETr Calculator Έκδοση 1.0 - [Εισαγωγή Αριθμητικών Δεδομένων]

Αρχείο Επεξεργασία Μέθοδος Penman Μέθοδος Blaney-Criddle Αποτελέσματα Σχετικά DEMO

Πίνακας Αριθμητικών Δεδομένων

2006	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
RHmin												
RHmax												
Tmean												
U												
n												

Επιλογές Εισαγωγής τιμών για το RHmin

- Τυπική μέση τιμή RHmin από τη λίστα για όλους τους μήνες του έτους
- Εισαγωγή τιμών RHmin για κάθε μήνα από το χρήστη

Επιλογές Εισαγωγής τιμών για το RHmax

- Τυπική μέση τιμή RHmax από τη λίστα για όλους τους μήνες του έτους
- Εισαγωγή τιμών RHmax για κάθε μήνα από το χρήστη

Τιμές Tmean (Μέθοδος Blaney-Criddle)

- Από πίνακα για την περιοχή Αγρίνιο
- Από το χρήστη

Επιστροφή

Εισαγωγή από Αρχείο

Έλεγχος Δεδομένων

Αποθήκευση Δεδομένων

Υπολόγισμός

3/2/2006 10:27:20 μμ

ETr Calculator Έκδοση 1.0 - [Εισαγωγή Αριθμητικών Δεδομένων]

Αρχείο Επεξεργασία Μέθοδος Penman Μέθοδος Blaney-Criddle Αποτελέσματα Σχετικά DEMO

Πίνακας Αριθμητικών Δεδομένων

1984	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
RHmin	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
RHmax	81,8	80,4	75,9	75,8	62,2	51,7	49,8	62,9	67,8	67,1	72,2	70,0
Tmean	8,8	9,3	10,7	13,4	20,6	24,3	26,3	24,3	22,0	18,9	13,1	8,7
U	1,2	1,7	1,3	1,4	1,4	1,6	1,3	1,0	0,4	0,2	0,7	0,4
n	3,8	3,0	5,1	4,7	9,2	11,6	12,6	10,2	8,7	7,5	5,1	4,1

Επιλογές Εισαγωγής τιμών για το RHmin

- Τυπική μέση τιμή RHmin από τη λίστα για όλους τους μήνες του έτους
- Εισαγωγή τιμών RHmin για κάθε μήνα από το χρήστη

Επιλογές Εισαγωγής τιμών για το RHmax

- Τυπική μέση τιμή RHmax από τη λίστα για όλους τους μήνες του έτους
- Εισαγωγή τιμών RHmax για κάθε μήνα από το χρήστη

Τιμές Tmean (Μέθοδος Blaney-Criddle)

- Από πίνακα για την περιοχή Αγρίνιο
- Από το χρήστη

Επιστροφή

Εισαγωγή από Αρχείο

Έλεγχος Δεδομένων

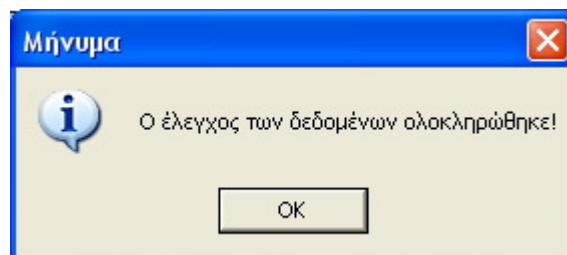
Αποθήκευση Δεδομένων

Υπολόγισμός

3/2/2006 10:27:26 μμ

Μετά το τέλος της πληκτρολόγησης των αριθμητικών δεδομένων προτείνεται να γίνεται πάντα ο έλεγχος που παρέχει το πρόγραμμα για την ορθότητά τους και την εξασφάλιση των σωστών υπολογισμών και αποτελεσμάτων.

Το πρόγραμμα εντοπίζει κενές θέσεις δεδομένων στον πίνακα (αν υπάρχουν) και αντικαθιστά τις τιμές τους με το μηδέν (0). Ακόμα τιμές με διαχωριστικό δεκαδικών το χαρακτήρα (.) μετατρέπονται αυτόματα σε (,).



ETr Calculator Έκδοση 1.0 - [Πίνακας Αποτελεσμάτων - Μέθοδος Penman]

Αρχείο Επεξεργασία Μέθοδος Penman Μέθοδος Blaney-Criddle Αποτελέσματα Σχετικά DEMO

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
RHmin	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
RHmax	81,8	80,4	75,9	75,8	62,2	51,7	49,8	62,9	67,8	67,1	72,2	70,0
Tmean	8,8	9,3	10,7	13,4	20,6	24,3	26,3	24,3	22,0	18,9	13,1	8,7
U2	1,2	1,7	1,3	1,4	1,4	1,6	1,3	1,0	0,4	0,2	0,7	0,4
n	3,8	3,0	5,1	4,7	9,2	11,6	12,6	10,2	8,7	7,5	5,1	4,1
w	0,532	0,5395	0,5605	0,601	0,696	0,733	0,753	0,733	0,71	0,6735	0,5965	0,5305
1-W	0,468	0,4605	0,4395	0,399	0,311	0,267	0,247	0,267	0,29	0,331	0,4035	0,4695
ea	11,34	11,74	12,86	15,44	24,3	30,37	34,23	30,37	26,4	21,86	15,11	11,26
Ra	6,9	9	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10	7,5	6,1
RnI	1,286	1,025	1,455	1,237	1,957	2,181	2,38	2,041	2,02	1,929	1,521	1,363
N	10,48	11,24	12	13,52	14,28	15,04	14,28	14,28	12,76	12	11,24	10,48
f(T)	12,528	12,618	12,87	13,367	14,762	15,521	15,943	15,521	15,046	14,423	13,311	12,511
c	0,968	1,015	1,025	1,1	1,119	1,05	1,05	1,113	1,1	1,055	1,041	1,003
Rs	2,976	3,451	5,458	6,145	9,383	10,933	11,543	9,289	7,564	5,625	3,577	2,718
Rns	2,232	2,588	4,093	4,609	7,037	8,2	8,657	6,967	5,673	4,219	2,682	2,039
ed	5,103	5,283	5,787	6,948	10,935	13,667	15,404	13,667	11,88	9,837	6,8	5,067
ea-ed	6,237	6,457	7,073	8,492	13,365	16,704	18,826	16,704	14,52	12,023	8,31	6,193
f(ed)	0,241	0,239	0,234	0,224	0,195	0,177	0,167	0,177	0,188	0,202	0,225	0,241
f(n/N)	0,426	0,34	0,483	0,413	0,68	0,794	0,894	0,743	0,714	0,662	0,508	0,452
Rn	0,946	1,563	2,638	3,372	5,08	6,019	6,277	4,926	3,653	2,29	1,161	0,676
f(u)	0,273	0,273	0,273	0,274	0,276	0,278	0,278	0,277	0,276	0,276	0,274	0,273
ETr	1,259	1,68	2,385	3,25	5,24	5,934	6,32	5,399	4,136	2,786	1,677	1,156

Επιστροφή Κράτησε τα Αποτελέσματα Αποτελέσματα Μεθόδου Blaney-Criddle

3/2/2006 10:27:38 μμ

Μετά το πρόγραμμα πατώντας το κουμπί “κράτησε τα αποτελέσματα” αποθηκεύει τις τιμές και με το εικονίδιο που απεικονίζει την γραφική παράσταση δημιουργεί το γράφημα. Μπορούμε να έχουμε το γράφημα σε γραμμές, σε στήλες και σε πίτες. Επίσης μπορούμε να έχουμε γράφημα μόνο για την μέθοδο Penman ή μόνο για την μέθοδο Blaney-Griddle ή και συσχέτιση αυτών, καθώς και γράφημα για τους χειμερινούς και για του θερινούς μήνες.

The screenshot shows the 'ET Calculator Έκδοση 1.0' window. The main display area contains a table titled 'Αποτελέσματα Υπολογισμών Βασικής Εξαμιοδιαπονής ETi ανα Περιοχή, Έτος και Μέθοδο Υπολογισμού'. The table lists monthly ET values for the region 'Αγρίνιο (P)' in the year 1984. Below the table, there is a control panel for selecting the region and year, and options for chart generation. At the bottom, there are buttons for 'Επιστροφή', 'Πίνακας Μέσων Όρων', and 'Αποθήκευση Πίνακα'.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΈΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αγρίνιο (P)	1984	1,259	1,68	2,385	3,25	5,24	5,934	6,32	5,399	4,136	2,786	1,677	1,156

Επιλέξτε γράφημα Περιοχής και Έτους

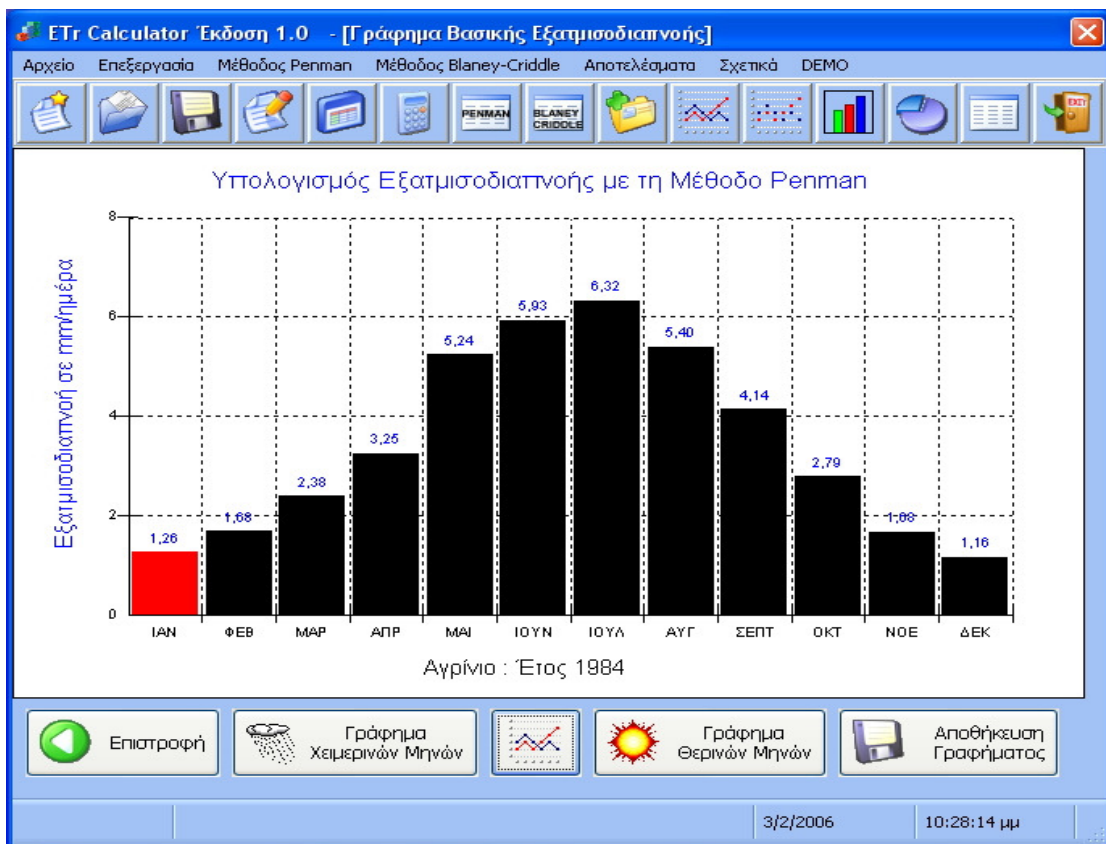
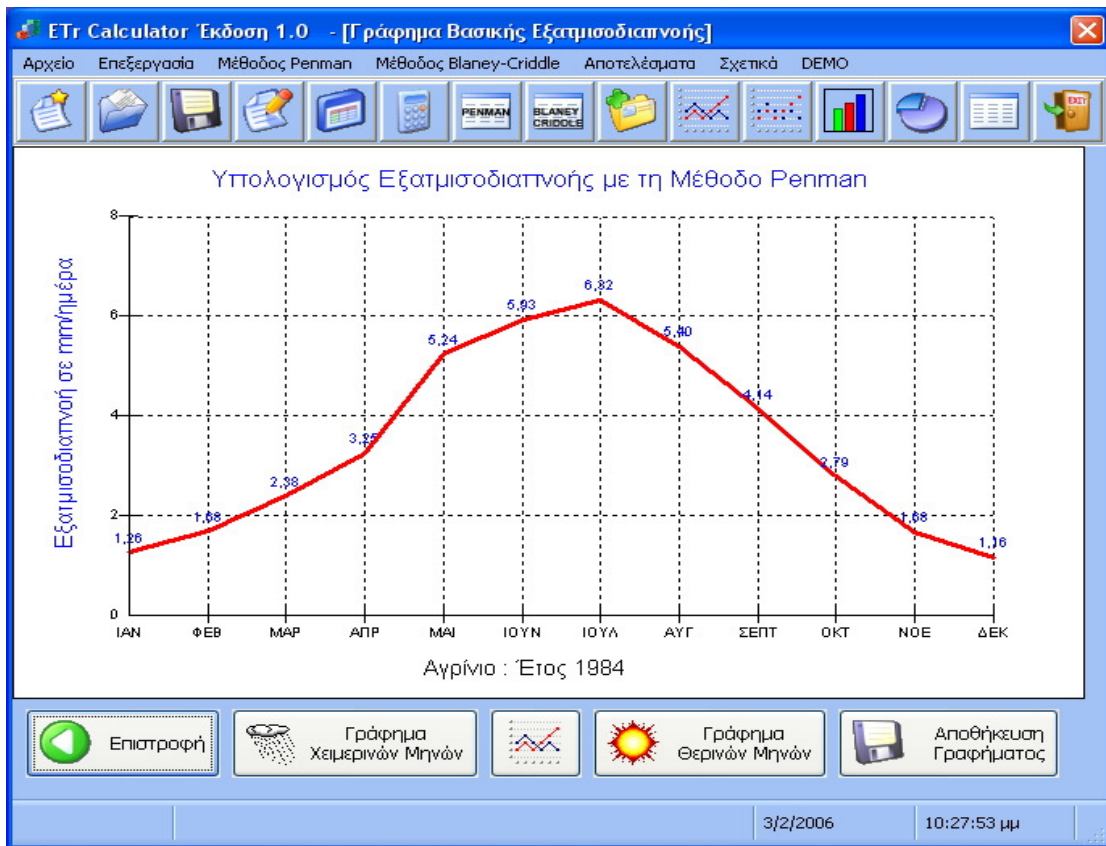
Αγρίνιο (P) 1984

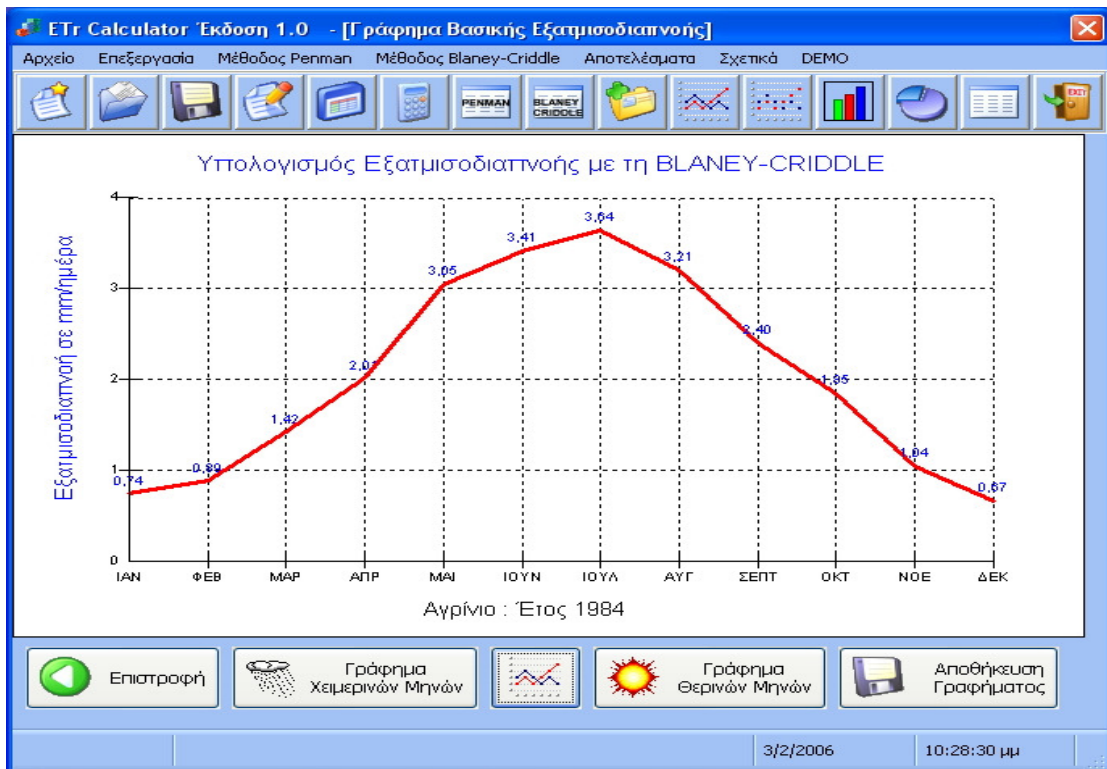
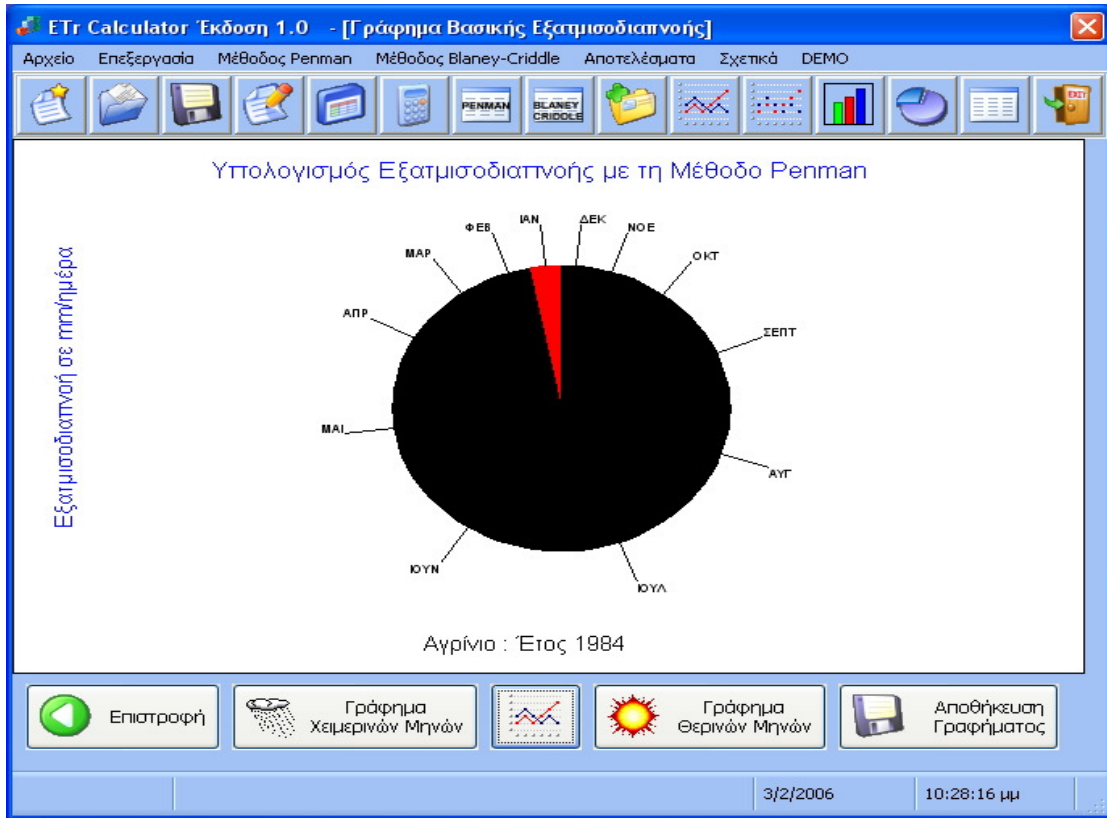
Επιλογές

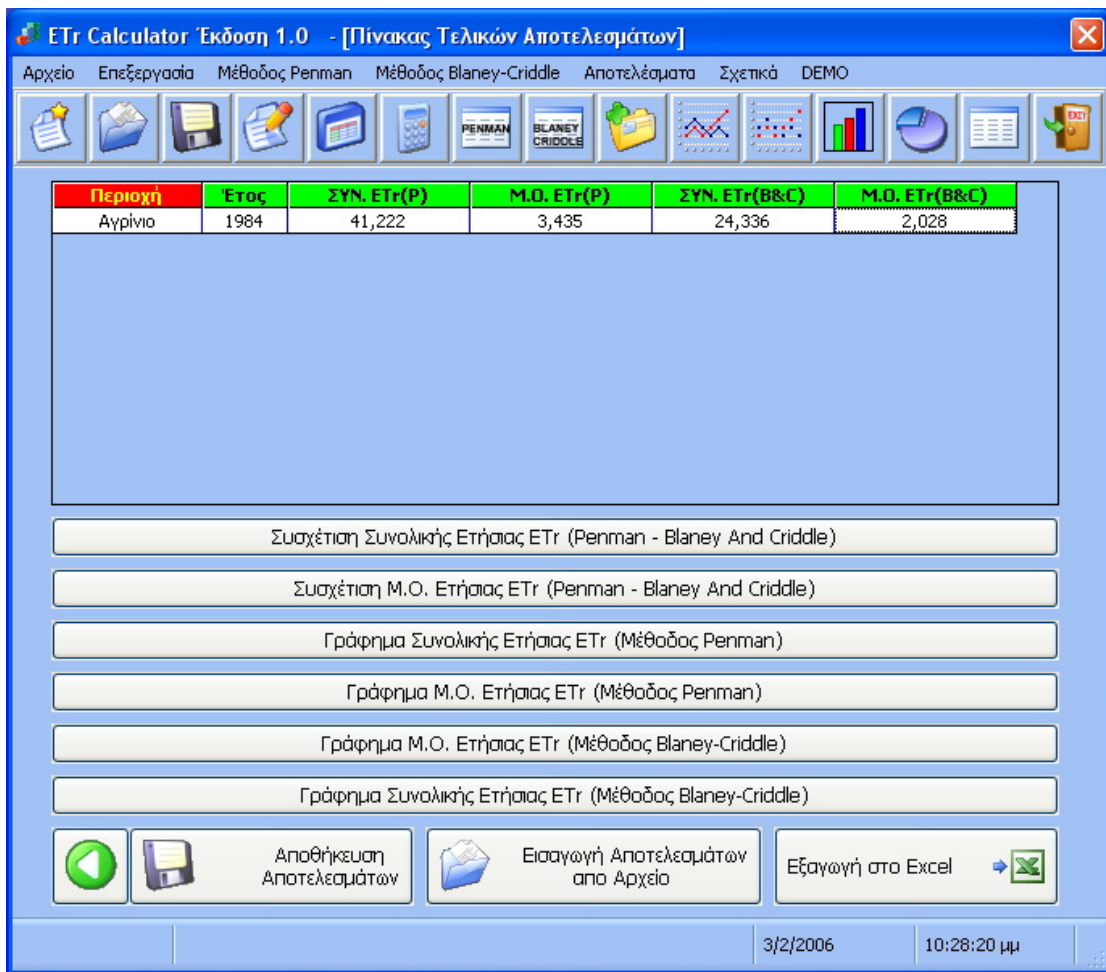
- Μεμονομένο Γράφημα Περιοχής
- Συσχέτιση Αποτελεσμάτων

Επιστροφή Πίνακας Μέσων Όρων Αποθήκευση Πίνακα

3/2/2006 10:27:45 μμ




















Τέλος το πρόγραμμα αποθηκεύει τα αποτελέσματα και υπολογίζει το μέσο όρο της εξατμισοδιαπνοής για κάθε χρόνο και για τις δύο μεθόδους, έτσι μπορούμε να έχουμε την γραφική παράσταση της μεταβολής της μέσης ετήσιας εξατμισοδιαπνοής για την περίοδο 1981-2001 με την μέθοδο Penman, την μέθοδο Blaney-Griddle καθώς και την σύγκριση αυτών όπως φαίνεται παρακάτω . Επίσης μπορούμε να κάνουμε και εξαγωγή των αποτελεσμάτων στο Excel και να γίνει γράφημα από εκεί. Ακόμη μπορούμε να έχουμε και στατιστικά αποτελέσματα όπως: διάγραμμα μέσου όρου, ελάχιστου - μέγιστου και τυπικής απόκλισης.

ETr Calculator Έκδοση 1.0 - [Πίνακας Τελικών Αποτελεσμάτων]

Αρχείο Επεξεργασία Μέθοδος Penman Μέθοδος Blaney-Criddle Αποτελέσματα Σχετικά DEMO

Περιοχή	Έτος	ΣΥΝ. ETr(P)	M.O. ETr(P)	ΣΥΝ. ETr(B&C)	M.O. ETr(B&C)
Αγρίνιο	1981	41,74	3,478	24,945	2,079
Αγρίνιο	1982	41,171	3,431	24,469	2,039
Αγρίνιο	1983	40,67	3,389	24,146	2,012
Αγρίνιο	1984	41,222	3,435	24,336	2,028
Αγρίνιο	1985	41,094	3,424	24,95	2,079
Αγρίνιο	1986	40,794	3,4	25,081	2,09
Αγρίνιο	1987	40,417	3,368	24,964	2,08
Αγρίνιο	1988	49,323	4,11	24,384	2,032
Αγρίνιο	1989	40,203	3,35	24,279	2,023
Αγρίνιο	1990	41,924	3,494	24,858	2,072
Αγρίνιο	1991	40,273	3,356	24,217	2,018
Αγρίνιο	1992	40,20	3,358	24,012	2,026

Συσχέτιση Συνολικής Ετήσιας ETr (Penman - Blaney And Criddle)





Συσχέτιση M.O. Ετήσιας ETr (Penman - Blaney And Criddle)

Γράφημα Συνολικής Ετήσιας ETr (Μέθοδος Penman)

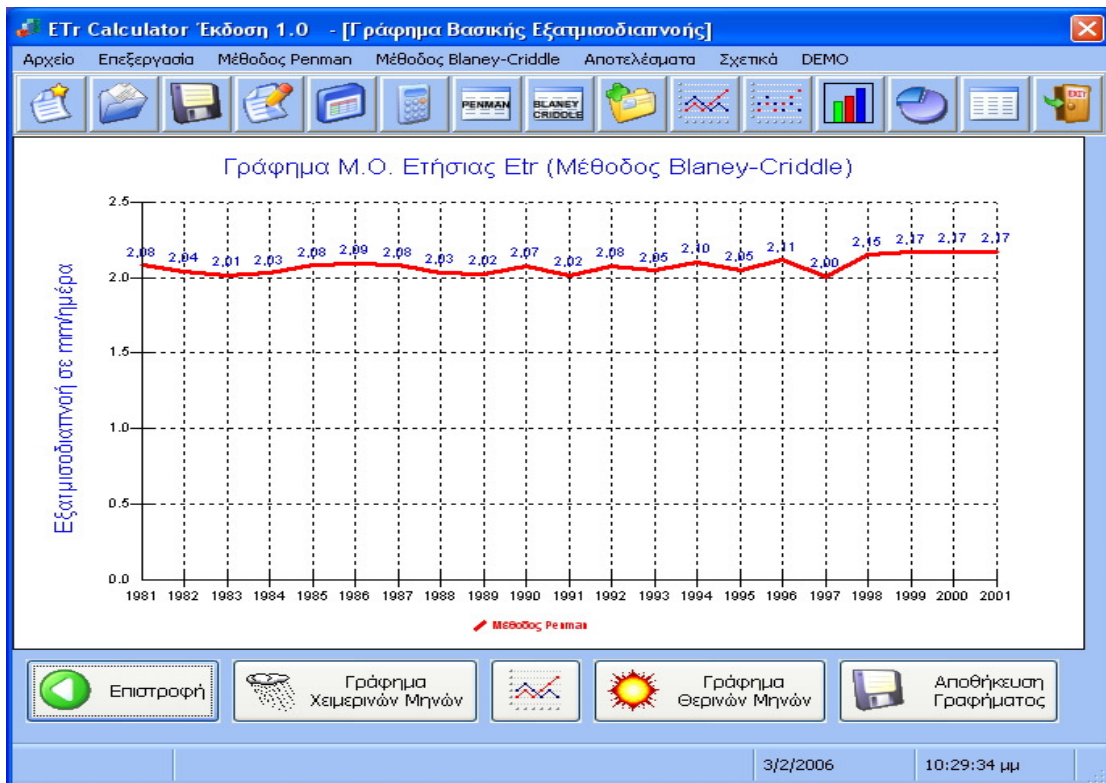
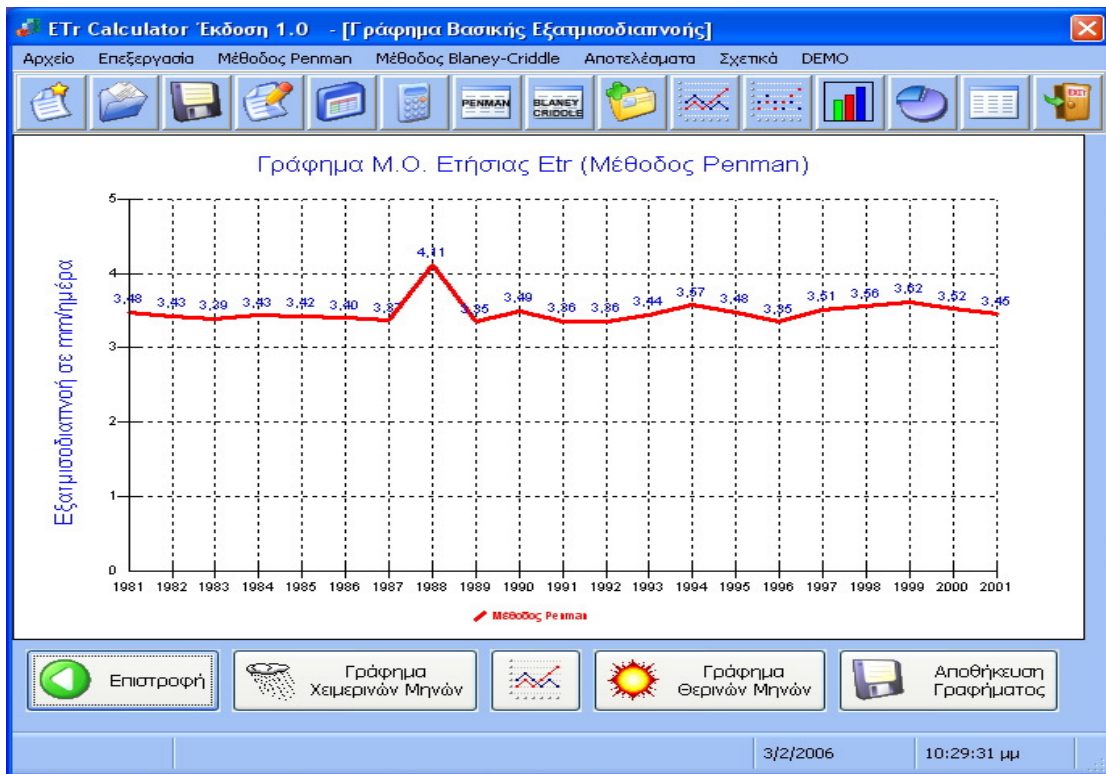
Γράφημα M.O. Ετήσιας ETr (Μέθοδος Penman)

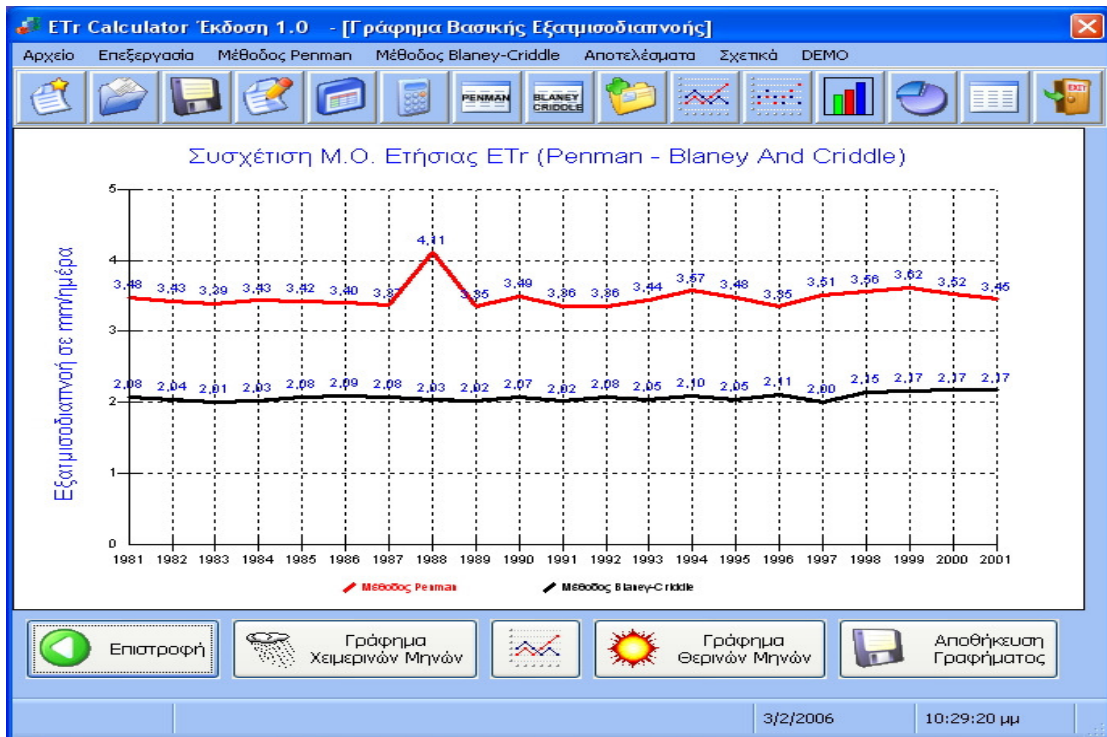
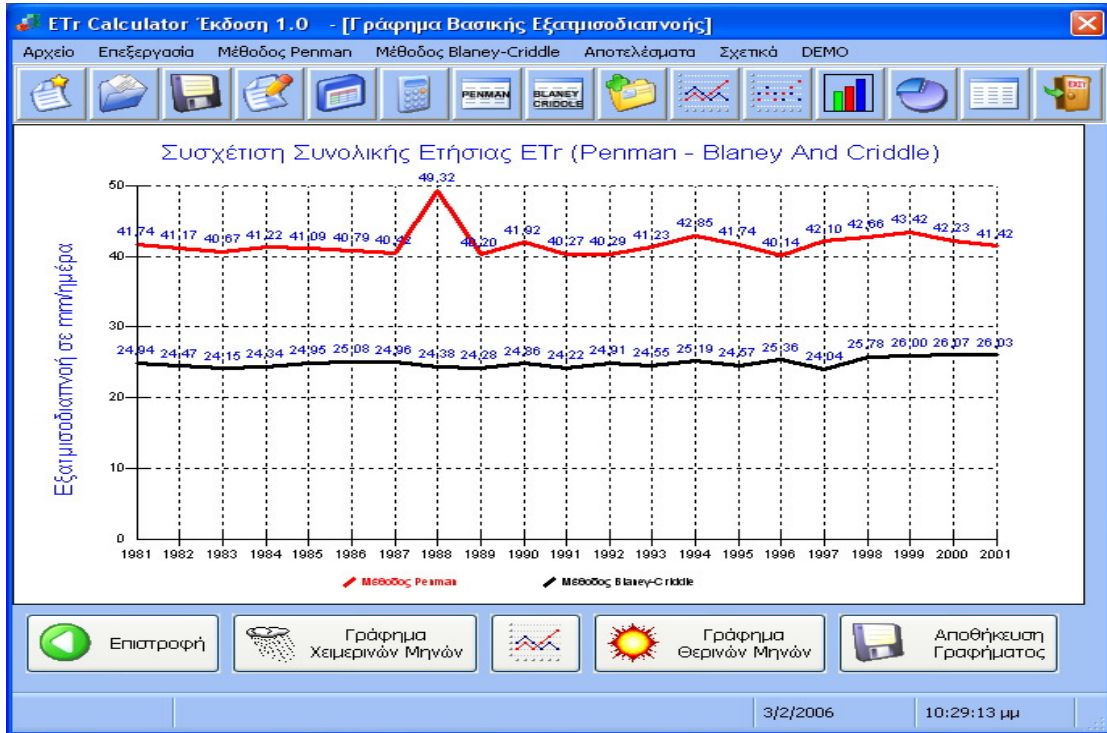
Γράφημα M.O. Ετήσιας ETr (Μέθοδος Blaney-Criddle)

Γράφημα Συνολικής Ετήσιας ETr (Μέθοδος Blaney-Criddle)


 Αποθήκευση Αποτελεσμάτων
  Εισαγωγή Αποτελεσμάτων απο Αρχείο
  Εξαγωγή στο Excel

3/2/2006 10:29:10 μμ





Αυτά όσον αφορά την λειτουργία του προγράμματος. Στους παρακάτω πίνακες 31, 32, 33, 34 αναγράφονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας (RH_{mean}) σε ποσοστό %, της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (T_{mean}) σε °C, της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (h) σε ώρες (hr) και της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου (U) σε m/sec που μας έδωσε η Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) για την περιοχή του Αγρινίου για μια περίοδο 20 ετών (1981 – 2001), και χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής (ET).

Πίνακας 31. Δεδομένα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (T_{mean}),σε °C.

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
1981	6.0	8.6	13.3	16.0	19.0	25.9	26.3	25.5	22.9	19.1	10.3	10.7
1982	9.0	7.1	10.3	14.4	20.1	25.2	26.6	26.2	23.9	17.8	11.7	9.3
1983	6.7	6.9	11.1	16.4	21.6	22.4	26.4	24.9	22.1	17.0	12.8	9.6
1984	8.8	9.3	10.7	13.4	20.6	24.3	26.3	24.3	22.0	18.9	13.1	8.7
1985	9.0	8.2	11.2	15.6	21.8	24.6	26.8	26.4	23.0	16.3	13.9	10.3
1986	8.8	9.5	11.8	16.4	20.8	24.3	25.8	26.6	23.3	17.6	11.2	6.4
1987	9.2	9.7	7.6	13.8	18.1	24.0	27.7	25.9	24.8	17.3	12.8	9.2
1988	0.4	8.3	10.3	15.0	21.0	24.5	29.0	27.3	22.8	17.2	10.0	7.9
1989	5.8	9.1	13.3	17.0	19.1	22.6	26.5	26.0	22.5	15.7	12.2	9.2
1990	5.9	9.6	13.2	15.9	20.8	25.0	27.8	26.1	22.3	19.4	14.5	9.1
1991	6.7	8.9	13.2	14.4	17.4	25.1	25.5	25.4	22.8	18.6	13.0	5.1
1992	6.6	6.9	10.2	15.1	19.8	24.0	26.0	27.8	22.5	19.9	13.3	8.5
1993	7.1	6.1	10.3	15.5	20.3	25.4	26.7	27.4	22.3	19.4	12.7	10.8
1994	9.7	9.4	12.4	16.1	21.2	24.8	27.4	28.0	25.0	19.3	12.3	8.1
1995	8.8	11.1	10.6	14.0	19.7	25.4	26.8	25.5	21.8	16.1	10.5	11.1
1996	8.9	9.0	9.3	13.8	21.4	25.5	27.0	26.6	20.6	16.3	13.2	10.9
1997	9.1	9.0	10.8	11.7	22.0	25.8	27.1	24.8	22.5	16.9	14.0	9.5
1998	8.8	10.7	9.3	16.1	20.6	26.5	28.8	28.8	22.2	18.5	13.0	8.1
1999	8.3	7.9	11.3	15.5	22.1	26.7	27.5	27.9	23.5	19.9	13.8	11.5
2000	5.8	9.1	11.3	17.4	22.3	27.0	28.1	28.0	23.0	18.3	15.0	10.2
2001	10.1	9.7	14.4	15.0	21.5	25.1	28.1	28.3	23.1	19.5	12.9	7.3

Πίνακας 32. Δεδομένα της μέσης ταχύτητας ανέμου σε m/sec.

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
1981	2.1	1.9	1.3	1.7	1.3	1.3	1.4	1.0	1.2	0.8	0.7	1.5
1982	1.3	1.9	1.6	1.3	1.3	1.6	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4
1983	0.4	1.6	1.9	1.2	1.5	1.0	1.1	1.4	0.9	1.0	1.4	1.3
1984	1.2	1.7	1.3	1.4	1.4	1.6	1.3	1.0	0.4	0.2	0.7	0.4
1985	1.3	0.6	1.2	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	1.2	0.7
1986	1.3	2.6	1.0	1.6	0.7	0.8	0.7	0.5	0.8	0.6	0.3	0.5
1987	1.5	2.2	1.8	1.7	1.5	1.1	0.5	0.8	0.4	0.5	1.4	0.4
1988	1.1	1.6	1.2	1.5	1.6	0.7	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8
1989	0.6	1.7	1.7	1.7	1.4	1.6	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7
1990	0.2	1.0	1.5	1.6	1.8	1.8	1.6	1.0	1.3	1.1	1.3	1.4
1991	1.0	0.9	1.2	1.4	1.2	0.8	1.4	0.6	0.5	1.4	1.0	0.6
1992	0.7	0.9	1.0	0.9	1.8	1.7	1.4	1.2	1.2	1.6	0.8	1.6
1993	1.3	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.2	0.9	1.0	1.3	1.4	0.8
1994	0.9	1.5	0.8	1.7	1.3	1.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
1995	1.0	0.6	1.9	1.4	1.9	1.6	0.8	1.4	1.2	0.6	0.9	2.0
1996	1.7	1.7	2.0	1.5	1.8	1.0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	1.1
1997	0.8	0.8	1.7	1.4	1.8	1.3	1.3	0.8	0.7	1.3	1.1	0.5
1998	0.5	0.6	1.4	1.5	2.1	1.3	0.9	0.8	0.6	0.5	1.2	0.9
1999	0.8	1.3	1.1	0.8	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.8	1.3	1.0
2000	0.5	1.4	1.3	0.9	1.0	0.7	0.9	0.7	1.2	0.4	0.5	0.8
2001	1.0	1.2	1.3	1.2	0.9	1.4	1.0	0.7	0.7	0.4	1.0	0.9

Πίνακας 33. Δεδομένα της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (h) σε ώρες

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
1981	2,8	4,8	6,6	8,0	8,6	11,2	11,9	10,2	8,8	6,6	5,8	2,3
1982	4,7	5,2	5,5	5,7	8,4	11,7	11,5	10,2	9,1	5,9	5,1	3,6
1983	5,2	4,6	5,9	7,9	9,6	8,9	10,8	10,2	8,9	6,8	3,3	3,4
1984	3,8	3,0	5,1	4,7	9,2	11,6	12,6	10,2	8,7	7,5	5,1	4,1
1985	3,2	4,3	4,6	6,7	8,5	12,2	11,8	11,4	9,8	7,5	3,6	4,6
1986	3,1	3,1	4,0	7,9	8,2	9,7	11,2	11,1	8,4	6,1	6,9	4,1
1987	2,9	3,6	5,3	7,1	7,6	10,5	10,8	10,9	8,6	5,1	3,7	4,3
1988	3,3	4,7	5,1	5,8	8,4	9,4	10,9	11,0	8,3	5,9	4,6	3,4
1989	3,7	4,6	5,6	6,4	8,8	10,2	11,1	11,0	8,2	6,6	4,7	4,2
1990	5,7	4,9	8,0	6,3	7,7	11,2	11,6	10,3	8,9	7,0	4,4	2,1
1991	5,5	3,7	5,5	5,6	7,1	11,3	10,1	10,3	8,1	5,2	4,3	4,8
1992	4,3	5,0	3,5	6,7	7,0	8,9	11,1	10,3	9,2	5,1	5,4	3,0
1993	5,8	5,6	5,8	7,6	8,2	11,1	11,7	10,3	8,1	6,8	5,3	2,8
1994	4,3	4,4	7,6	5,9	10,0	12,6	11,8	11,0	10,1	6,2	6,0	4,5
1995	3,0	5,9	6,1	8,3	9,2	11,8	11,2	10,0	7,6	8,2	3,9	2,6
1996	3,7	3,2	4,0	5,8	8,3	9,8	12,5	11,2	7,7	5,9	4,4	3,7
1997	5,5	5,9	6,9	6,9	11,2	11,0	12,0	11,0	8,8	6,3	4,2	3,8
1998	3,9	6,9	6,5	7,4	7,8	11,7	12,6	11,4	7,6	7,0	4,0	4,0
1999	2,8	4,8	6,6	8,0	8,6	11,2	11,9	10,2	8,8	6,6	5,8	2,3
2000	4,7	5,2	5,5	5,7	8,4	11,7	11,5	10,2	9,1	5,9	5,1	3,6
2001	5,2	4,6	5,9	7,9	9,6	8,9	10,8	10,2	8,9	6,8	3,3	3,4

Πίνακας 34. Δεδομένα της μέσης μηνιαίας υγρασίας (RH).

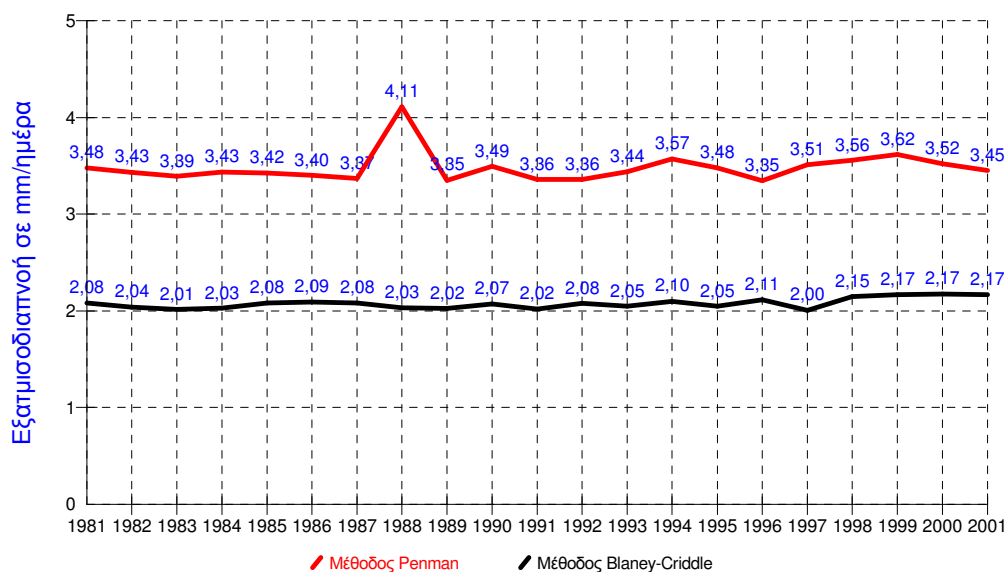
ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
1981	69,8	73,4	73,0	67,2	67,6	57,6	53,6	58,8	65,8	76,1	78,0	84,6
1982	73,9	70,3	70,6	72,7	64,6	56,5	57,3	62,1	62,8	75,3	77,1	79,6
1983	74,8	72,9	69,1	65,4	59,4	64,0	64,1	61,0	66,7	71,8	79,6	79,2
1984	81,8	80,4	75,9	75,8	62,2	51,7	49,8	62,9	67,8	67,1	72,2	70,0
1985	76,0	70,2	71,9	67,1	59,4	53,7	53,8	51,6	55,4	62,0	79,5	73,9
1986	76,8	75,0	71,9	59,6	63,4	60,2	61,5	57,9	56,4	67,8	69,3	72,3
1987	73,9	69,9	67,1	63,7	63,8	58,1	57,0	60,5	61,7	73,1	77,0	77,9
1988	75,8	68,9	70,7	66,4	57,5	54,8	54,0	56,1	63,2	68,3	75,8	76,5
1989	64,7	67,3	65,9	64,1	59,0	59,1	58,6	56,8	64,6	69,5	73,7	75,6
1990	68,2	64,6	60,2	69,2	61,9	53,7	51,8	57,0	66,7	71,3	81,8	86,5
1991	75,8	74,8	71,5	72,6	66,1	57,4	65,9	64,5	67,3	67,0	79,3	69,9
1992	71,7	64,9	70,4	71,5	58,6	62,0	61,4	57,5	63,3	72,0	78,4	74,5
1993	74,2	70,7	71,5	68,4	67,5	57,0	55,5	56,9	64,4	64,0	76,7	82,5
1994	80,3	75,9	73,3	67,4	64,4	55,0	58,0	61,9	62,6	74,1	75,8	78,8
1995	80,0	75,4	75,5	69,9	61,3	56,9	61,9	68,9	74,4	70,9	82,3	83,1
1996	75,1	78,8	76,3	73,5	63,2	54,8	55,2	62,1	70,9	73,8	79,9	83,5
1997	79,1	72,8	65,9	71,1	54,5	57,7	57,0	65,1	64,9	73,5	79,6	84,9
1998	82,0	74,5	63,3	62,6	60,0	52,5	54,2	60,2	74,6	74,9	83,9	81,5
1999	79,5	79,3	76,6	70,4	61,3	55,4	62,5	60,3	74,4	73,4	78,9	83,6
2000	77,0	79,3	73,3	71,4	61,5	52,2	55,8	57,9	64,5	77,2	82,6	81,8
2001	81,9	77,0	77,3	71,7	61,3	54,8	55,5	57,2	65,3	65,3	75,2	76,2

Τα αποτελέσματα της εξατμισοδιαπνοής κατά την χρονική περίοδο 1981 – 2001, σύμφωνα με το πρόγραμμα είναι τα εξής:

Περιοχή	Έτος	ΣΥΝ. ETr(P)	M.O. ETr(P)	ΣΥΝ. ETr(B&C)	M.O. ETr(B&C)
Αγρίνιο	1981	41.74	3.478	24.945	2.079
Αγρίνιο	1982	41.171	3.431	24.469	2.039
Αγρίνιο	1983	40.67	3.389	24.146	2.012
Αγρίνιο	1984	41.222	3.435	24.336	2.028
Αγρίνιο	1985	41.094	3.424	24.95	2.079
Αγρίνιο	1986	40.794	3.4	25.081	2.09
Αγρίνιο	1987	40.417	3.368	24.964	2.08
Αγρίνιο	1988	49.323	4.11	24.384	2.032
Αγρίνιο	1989	40.203	3.35	24.279	2.023
Αγρίνιο	1990	41.924	3.494	24.858	2.072
Αγρίνιο	1991	40.273	3.356	24.217	2.018
Αγρίνιο	1992	40.29	3.358	24.912	2.076
Αγρίνιο	1993	41.226	3.436	24.545	2.045
Αγρίνιο	1994	42.853	3.571	25.19	2.099
Αγρίνιο	1995	41.739	3.478	24.569	2.047
Αγρίνιο	1996	40.142	3.345	25.363	2.114
Αγρίνιο	1997	42.097	3.508	24.044	2.004
Αγρίνιο	1998	42.66	3.555	25.783	2.149
Αγρίνιο	1999	43.417	3.618	26	2.167
Αγρίνιο	2000	42.231	3.519	26.066	2.172
Αγρίνιο	2001	41.424	3.452	26.027	2.169

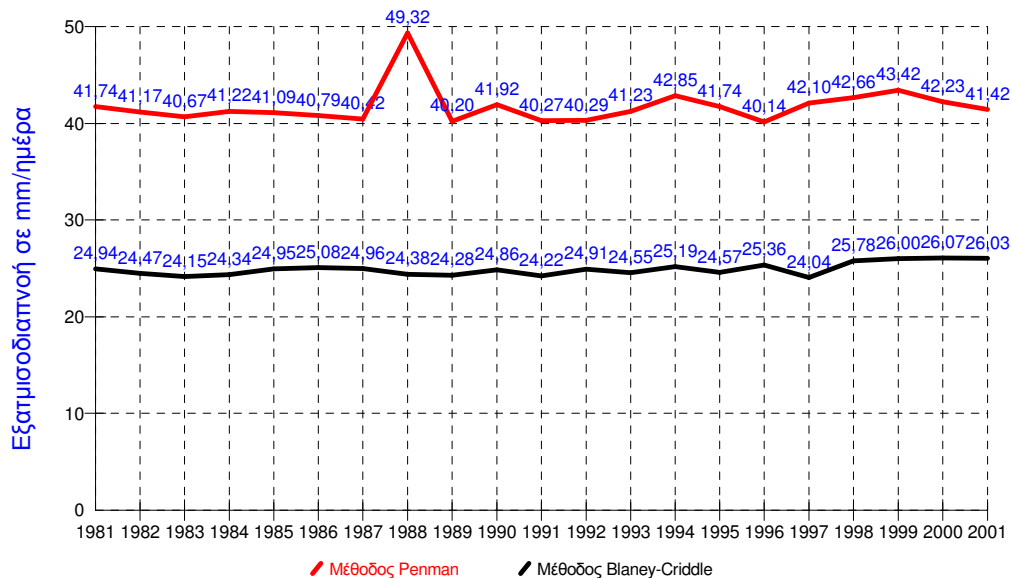
Η σύγκριση των ετήσιων M.O. των δύο μεθόδων φαίνεται παρακάτω, καθώς και οι γραφικές παραστάσεις του μέσου όρου, του ελάχιστου και μέγιστου και της τυπικής απόκλισης.

Συσχέτιση Μ.Ο. Ετήσιας ETr (Penman - Blaney And Criddle)

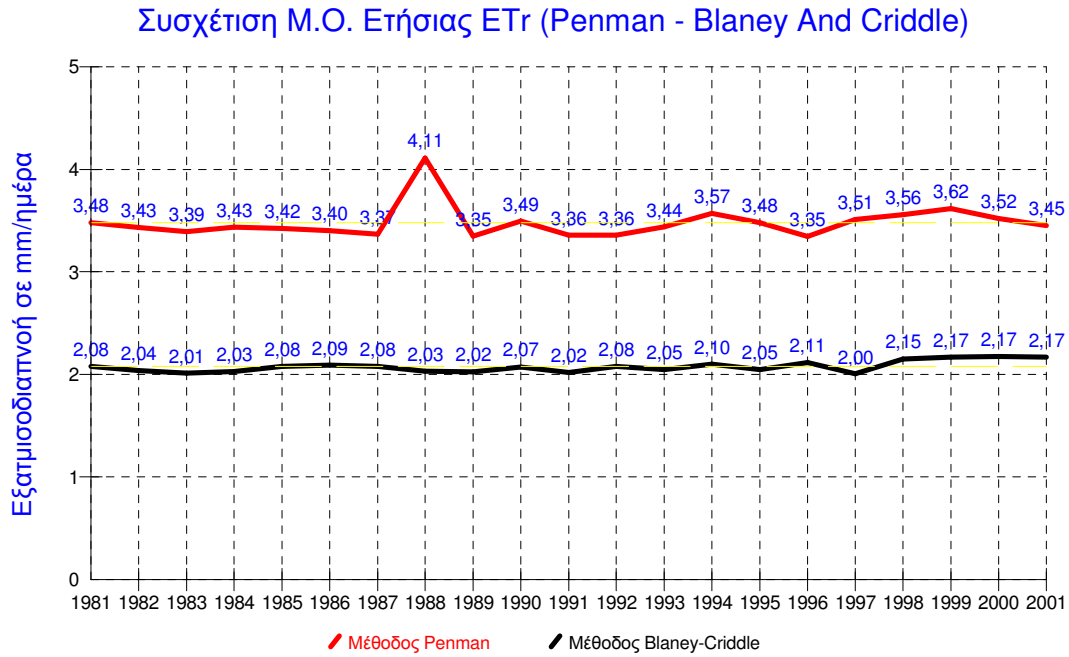


Σχήμα 9. Σύγκριση του μέσου όρου ετήσιας εξατμισοδιαπνοής των μεθόδων Penman και Blaney-Criddle για μια περίοδο 20 ετών (1981-2001).

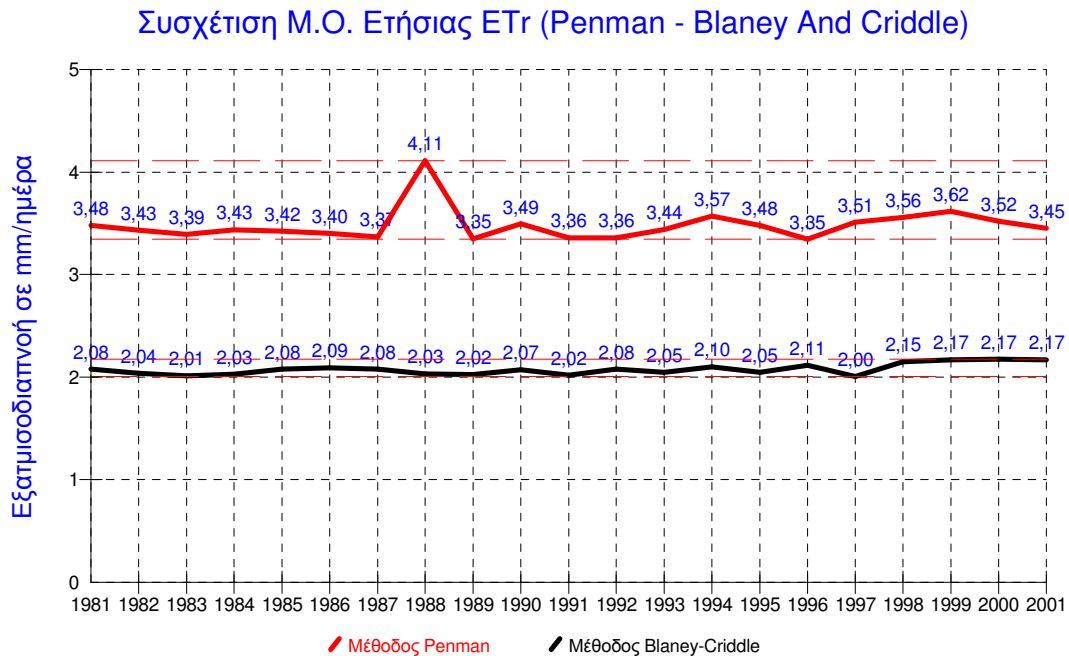
Συσχέτιση Συνολικής Ετήσιας ETr (Penman - Blaney And Criddle)



Σχήμα 10. Σύγκριση του μέσου συνολικής ετήσιας εξατμισοδιαπνοής των μεθόδων Penman και Blaney-Criddle για μια περίοδο 20 ετών (1981-2001).

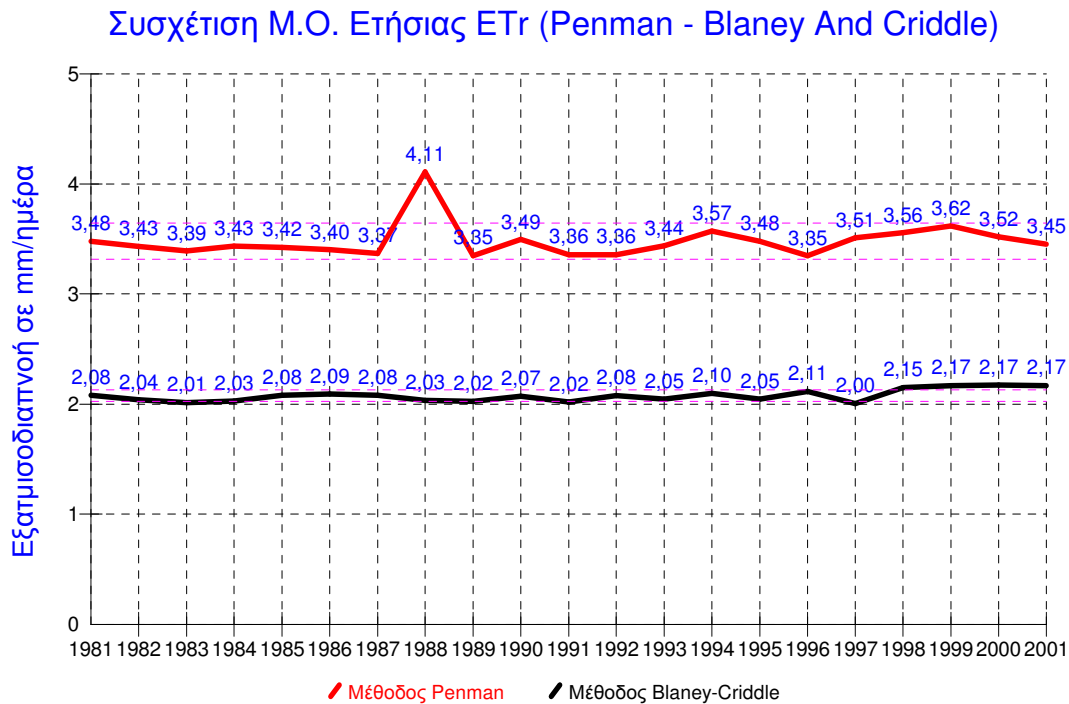


Σχήμα 11. Διάγραμμα μέσου όρου ετήσιας εξατμισοδιαπνοής των μεθόδων Penman και Blaney-Criddle.



Σχήμα 12. Διάγραμμα ελάχιστης και μέγιστης τιμής ετήσιας εξατμισοδιαπνοής των μεθόδων Penman και Blaney-Criddle.

Προσοχή: Στα διαγράμματα πρέπει να βγει ο όρος συσχέτιση διότι δεν είναι συσχέτιση αλλά μεταβολή.



Σχήμα 13. Διάγραμμα τυπικής απόκλισης ετήσιας εξατμισοδιαπνοής των μεθόδων Penman και Blaney-Criddle.

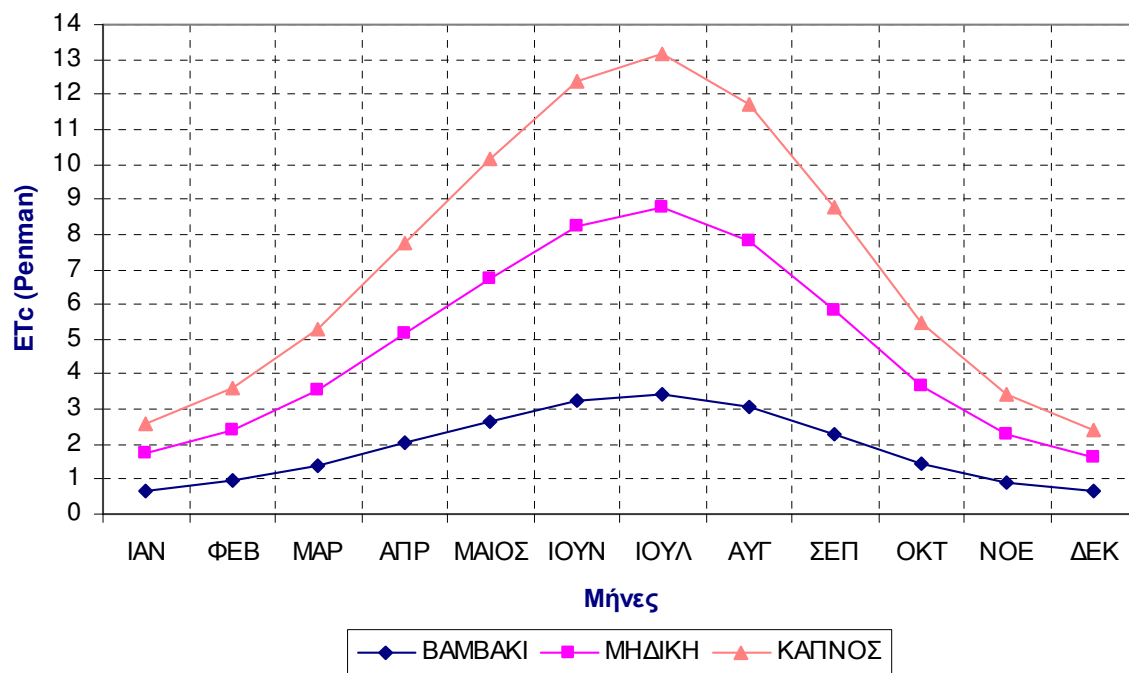
Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής με βάση την μέθοδο του Penman είναι μεγαλύτερες από αυτές της μεθόδου των Blaney-Criddle και έχουν μεγαλύτερη απόκλιση (σχήμα 12). Ενώ με βάση την μέθοδο των Blaney-Criddle οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι πιο κοντά στο μέσο όρο (σχήμα 10) και βλέπουμε ότι η μέθοδος αυτή είναι πιο κατάλληλη στις περιπτώσεις που οι ποσότητες νερού που έχουμε για άρδευση είναι περιορισμένες.

9.2 Υπολογισμός δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETc για τρεις καλλιέργειες που είναι ιδιαίτερα ευρείς στην περιοχή του Αγρινίου

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τον τύπο $ET_c = K_c \cdot ET_r$. Οι ιδιαίτερα ευρείς καλλιέργειες στην περιοχή του Αγρινίου είναι το βαμβάκι, η μηδική και ο καπνός και για κάθε καλλιέργεια παίρνουμε τον φυτικό συντελεστή για τον υπολογισμό της βασικής εξατμισοδιαπνοής. Για την μέθοδο του Penman οι φυτικοί συντελεστές είναι οι εξής: βαμβάκι: 0,55, μηδική:0,85, καπνός: 0,70, ενώ για την μέθοδο των Blaney-Griddle, βαμβάκι: 0,65, μηδική:0,80, καπνός: 0,70. Τις τιμές για τους φυτικούς συντελεστές τις πήραμε από το βιβλίο των Τερζίδη-Παπαζαφειρίου, Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

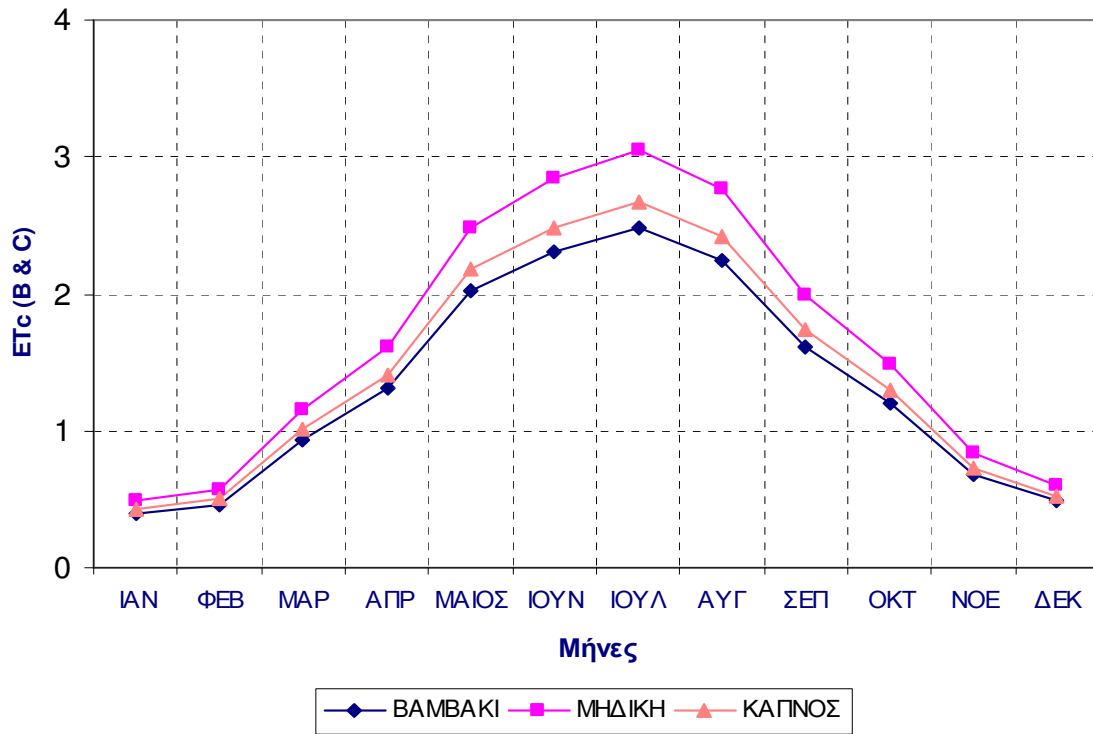
Η μηνιαία βασική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο 1981-2001 για την περιοχή του Αγρινίου σύμφωνα με το πρόγραμμα φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

Penman	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1981	1,097	1,690	2,908	4,000	4,930	6,037	6,170	5,219	4,234	2,700	1,544	1,211
1982	1,335	1,617	2,376	3,476	4,959	6,057	6,115	5,604	4,371	2,534	1,588	1,139
1983	1,255	1,600	2,439	3,973	4,716	5,494	6,309	5,495	4,170	2,538	1,521	1,160
1984	1,259	1,680	2,385	3,250	5,240	5,934	6,320	5,399	4,136	2,786	1,677	1,156
1985	1,266	1,707	2,387	3,721	4,643	6,088	6,203	5,531	4,126	2,542	1,688	1,192
1986	1,257	1,654	2,391	3,677	4,977	5,870	6,291	5,496	3,963	2,556	1,607	1,055
1987	1,265	1,698	2,152	3,615	4,555	5,667	6,097	5,701	4,385	2,484	1,625	1,173
1988	0,472	1,683	2,367	3,538	4,663	5,507	6,272	5,563	4,159	2,503	1,521	1,113
1989	1,159	1,720	2,596	3,805	4,685	5,461	6,021	5,412	4,113	2,449	1,623	1,159
1990	1,224	1,789	3,029	3,697	4,882	5,930	6,280	5,299	4,189	2,729	1,717	1,162
1991	1,235	1,716	2,611	3,461	4,400	5,967	6,070	5,511	4,131	2,529	1,651	0,991
1992	1,248	1,642	2,239	3,672	4,299	5,714	6,348	5,476	4,252	2,603	1,688	1,109
1993	1,243	1,596	2,395	3,840	4,938	5,955	6,175	5,436	4,079	2,700	1,627	1,242
1994	1,387	1,738	2,923	3,652	4,648	6,195	6,278	5,926	4,630	2,711	1,652	1,113
1995	1,274	1,922	2,424	3,794	5,173	6,101	6,427	5,524	3,789	2,588	1,533	1,190
1996	1,235	1,670	2,166	3,439	4,501	5,700	6,378	5,825	3,900	2,450	1,668	1,210
1997	1,353	1,798	2,725	3,378	5,414	5,979	6,289	5,592	4,195	2,485	1,700	1,189
1998	1,360	1,936	2,576	3,868	4,475	6,215	6,635	6,148	4,004	2,695	1,641	1,107
1999	1,266	1,671	2,742	3,897	5,228	6,131	6,685	5,779	4,290	2,761	1,695	1,272
2000	1,215	1,753	2,465	3,736	5,150	6,269	6,298	5,476	4,281	2,611	1,774	1,203
2001	1,392	1,778	2,725	3,832	4,893	5,468	6,141	5,514	4,267	2,775	1,553	1,086
Μ. Ο.	1,228	1,717	2,525	3,682	4,827	5,892	6,276	5,568	4,174	2,606	1,633	1,154
ΒΑΜΒΑΚΙ	0,676	0,944	1,389	2,025	2,655	3,241	3,452	3,062	2,296	1,433	0,898	0,635
ΜΗΔΙΚΗ	1,044	1,459	2,146	3,130	4,103	5,008	5,335	4,733	3,548	2,215	1,388	0,981
ΚΑΠΝΟΣ	0,860	1,202	1,767	2,577	3,379	4,125	4,393	3,898	2,922	1,824	1,143	0,808

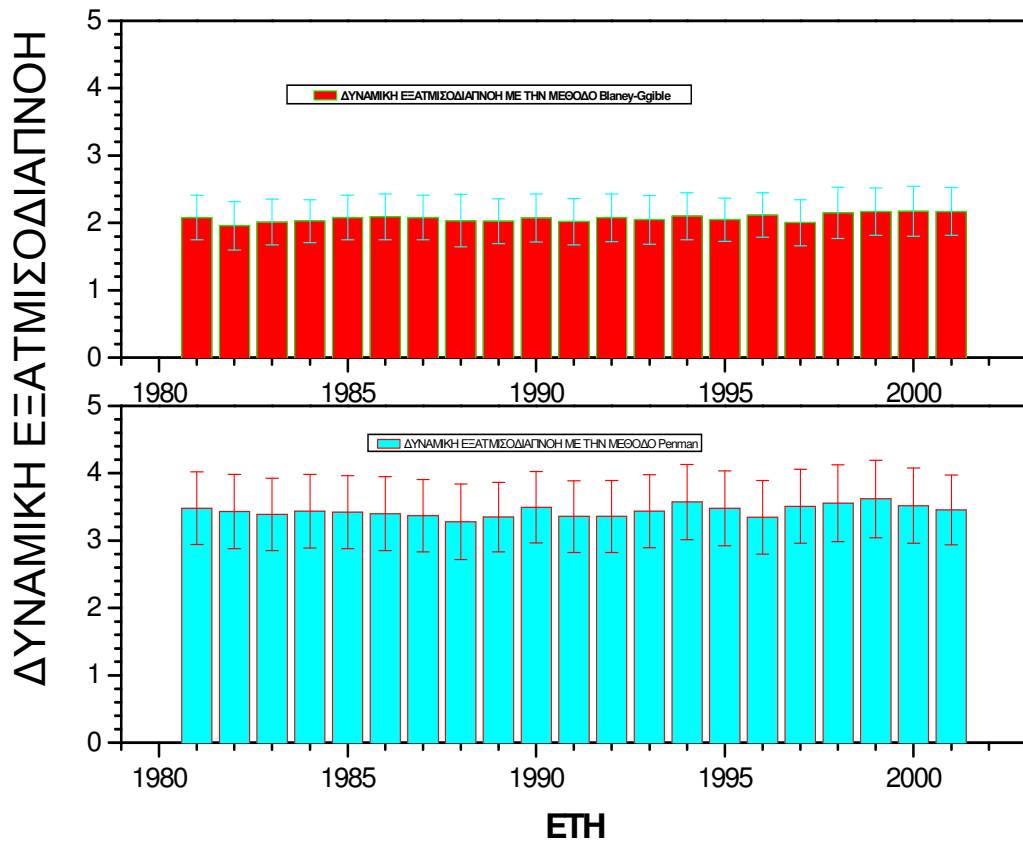


Σχήμα 14. Διάγραμμα μεταβολής των μέσων μηνιαίων τιμών μηνιαίας δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETc υπολογισμένη με την μέθοδο Penman για τις καλλιέργειες βαμβάκι, μηδική, καπνός.

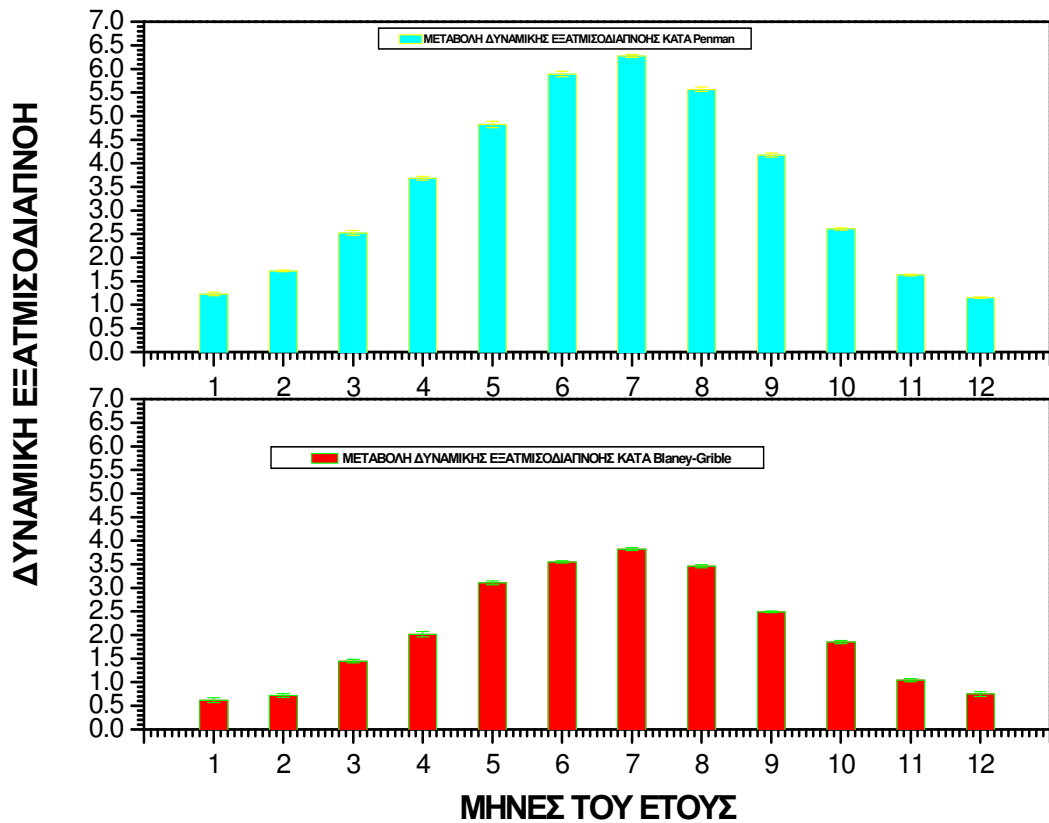
Blaney	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1981	0,808	0,665	1,576	2,137	2,887	3,643	3,692	3,356	2,490	1,944	0,737	1,010
1982	0,676	0,498	1,345	1,054	3,042	3,522	3,759	3,441	2,575	1,870	0,922	0,765
1983	0,427	0,534	1,397	2,123	3,150	3,348	3,783	3,283	2,396	1,715	1,179	0,811
1984	0,743	0,886	1,420	2,013	3,050	3,412	3,644	3,209	2,401	1,848	1,045	0,665
1985	0,819	0,673	1,515	2,119	3,251	3,411	3,765	3,383	2,423	1,586	1,250	0,755
1986	0,811	1,142	1,632	2,123	3,146	3,538	3,676	3,427	2,566	1,834	0,718	0,468
1987	0,864	1,118	1,070	1,882	2,842	3,448	3,953	3,355	2,712	1,886	1,144	0,690
1988	0,057	0,649	1,377	2,116	3,157	3,583	4,114	3,520	2,520	1,810	0,816	0,665
1989	0,490	0,726	1,658	2,302	2,886	3,288	3,774	3,361	2,493	1,601	1,002	0,698
1990	0,309	0,745	1,447	2,183	3,180	3,528	3,909	3,421	2,418	1,941	1,231	0,546
1991	0,397	0,790	1,657	2,062	2,786	3,535	3,714	3,336	2,534	2,009	1,107	0,290
1992	0,505	0,498	1,500	2,061	3,102	3,554	3,709	3,629	2,415	2,148	1,037	0,754
1993	0,404	0,376	1,319	2,041	3,081	3,587	3,759	3,580	2,480	1,957	0,992	0,969
1994	0,776	0,771	1,395	2,236	3,071	3,410	3,844	3,605	2,615	1,996	0,895	0,576
1995	0,821	0,786	1,327	1,817	2,935	3,539	3,806	3,370	2,466	1,508	0,922	1,272
1996	0,762	0,843	1,663	1,978	3,215	3,686	3,741	3,420	2,327	1,720	1,116	0,892
1997	0,607	0,602	1,282	1,657	3,088	3,644	3,790	3,215	2,447	1,746	1,204	0,762
1998	0,735	0,663	1,153	2,124	3,656	3,689	3,970	3,676	2,508	1,850	1,135	0,624
1999	0,795	0,603	1,361	2,011	3,284	3,746	3,849	3,649	2,555	2,024	1,045	1,078
2000	0,396	0,672	1,453	2,400	3,324	3,753	3,955	3,661	2,477	1,921	1,212	0,842
2001	0,725	0,780	1,752	1,962	3,137	3,695	4,005	3,699	2,504	1,967	1,188	0,613
Μ. Ο.	0,616	0,715	1,443	2,019	3,108	3,550	3,820	3,457	2,492	1,851	1,043	0,750
ΒΑΜΒΑΚΙ	0,400	0,465	0,938	1,312	2,020	2,308	2,483	2,247	1,619	1,203	0,678	0,487
ΜΗΔΙΚΗ	0,523	0,608	1,226	1,716	2,642	3,018	3,247	2,938	2,118	1,574	0,886	0,637
ΚΑΠΝΟΣ	0,462	0,536	1,082	1,514	2,331	2,663	2,865	2,593	1,869	1,389	0,782	0,562



Σχήμα 15. Διάγραμμα μεταβολής των μέσων μηνιαίων τιμών μηνιαίας δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETc υπολογισμένη με την μέθοδο Blaney-Criddle για τις καλλιέργειες βαμβάκι, μηδική, καπνός.



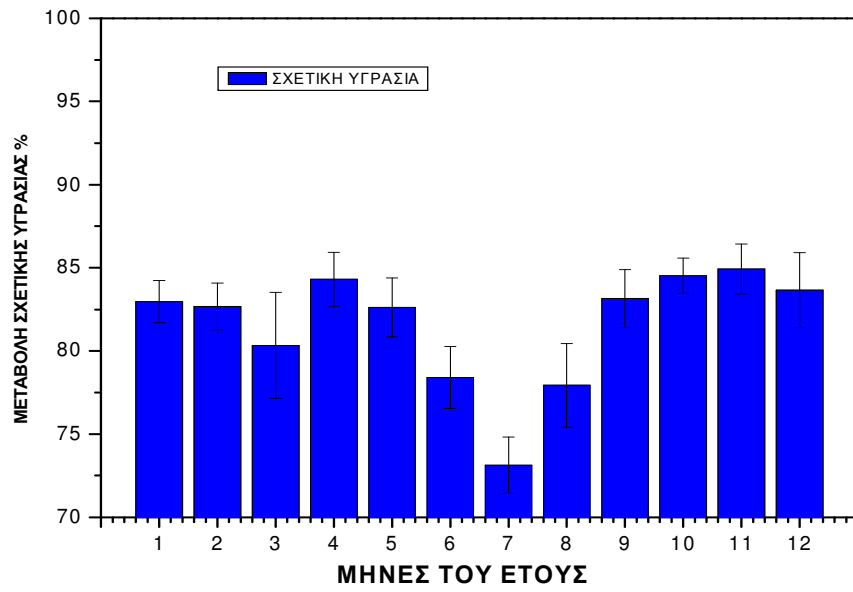
Σχήμα 16. Στατιστική ανάλυση της μεταβολής της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής κατά έτος και για τις δυο μεθόδους.



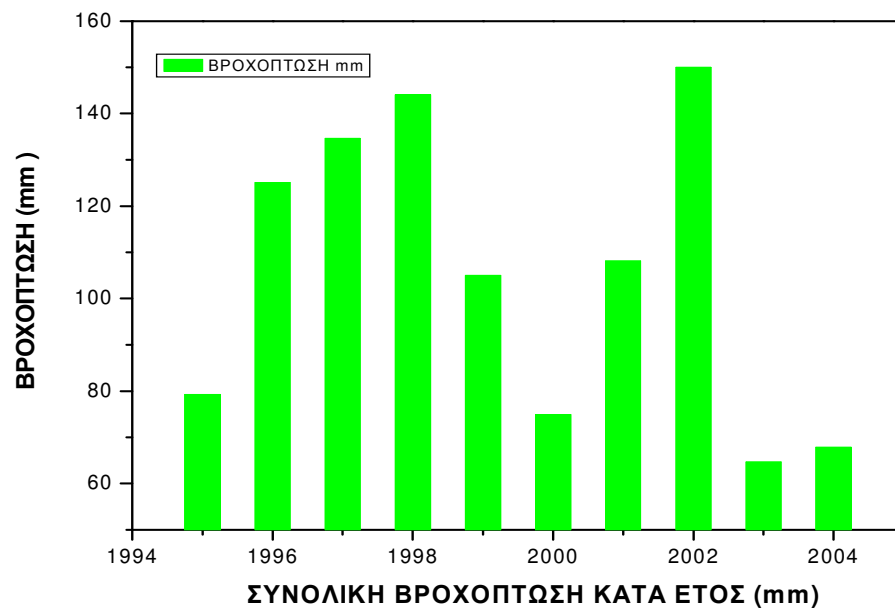
Σχήμα 17. Στατιστική ανάλυση της μεταβολής της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής κατά μήνα και για τις δυο μεθόδους.

Παρατηρούμε ότι και για κάθε έτος η διακύμανση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερη στην μέθοδο Penman από ότι στην Blaney-Griddle όπως επίσης και κατά την μηνιαία μεταβολή γίνεται μια υπερεκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής.

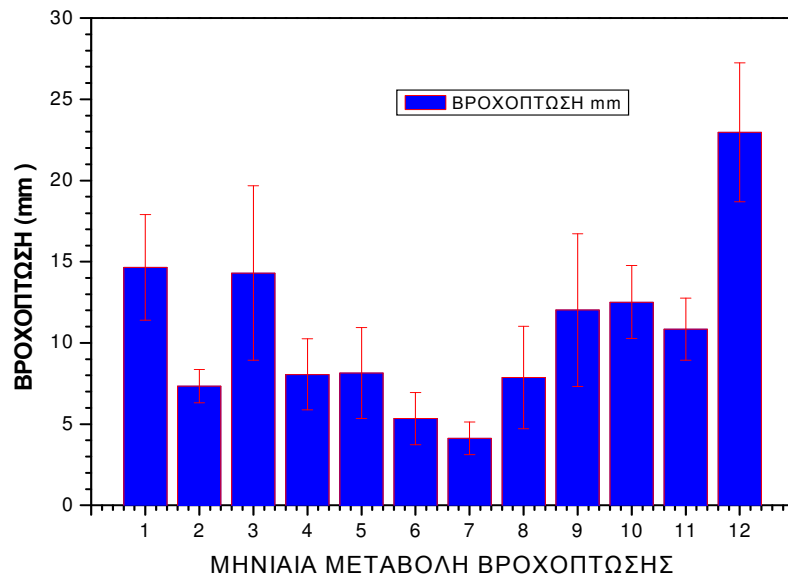
Επίσης από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων βγάλαμε τα παρακάτω διαγράμματα.



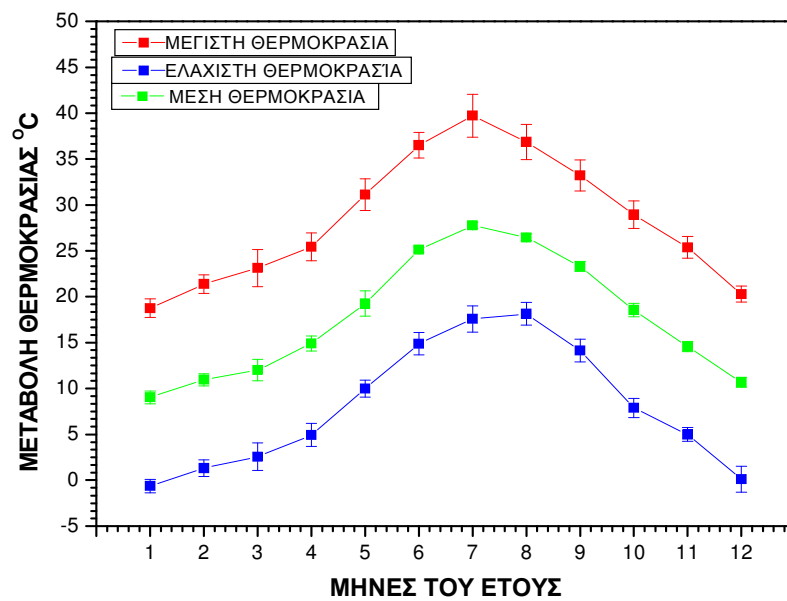
Σχήμα 18. Διάγραμμα μεταβολής της σχετικής υγρασίας στην διάρκεια του έτους.



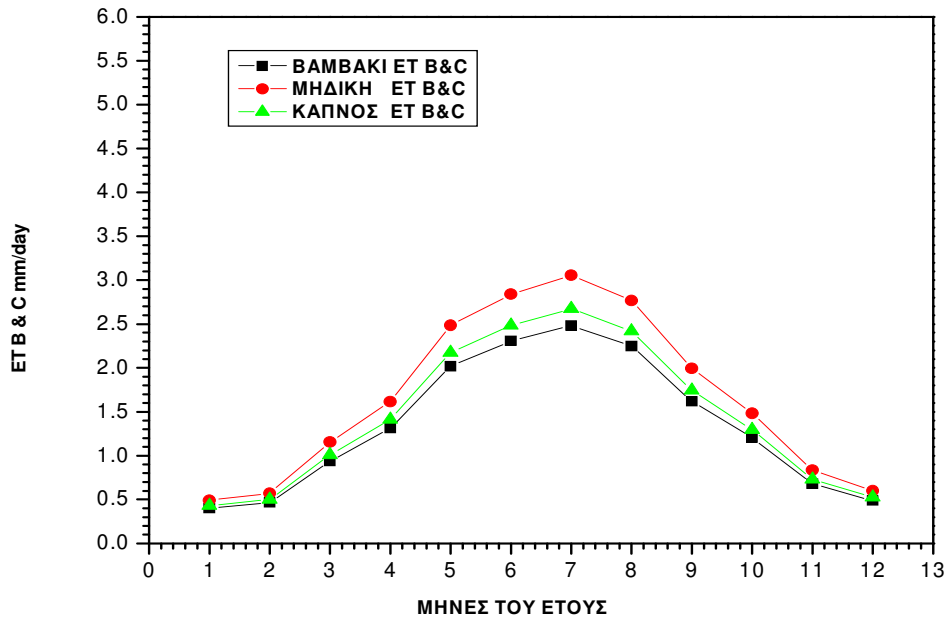
Σχήμα 19. Διάγραμμα βροχόπτωσης κατά έτος.



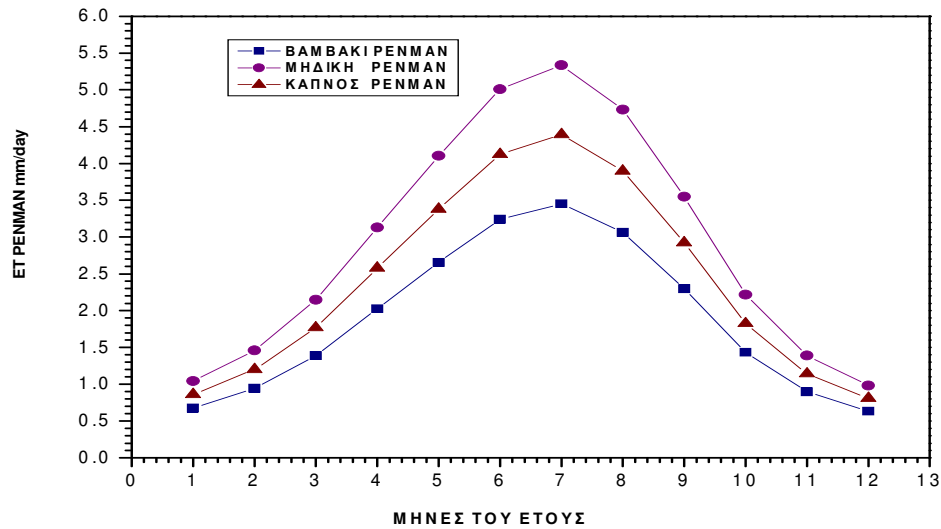
Σχήμα 20. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της βροχόπτωσης στην διάρκεια του έτους



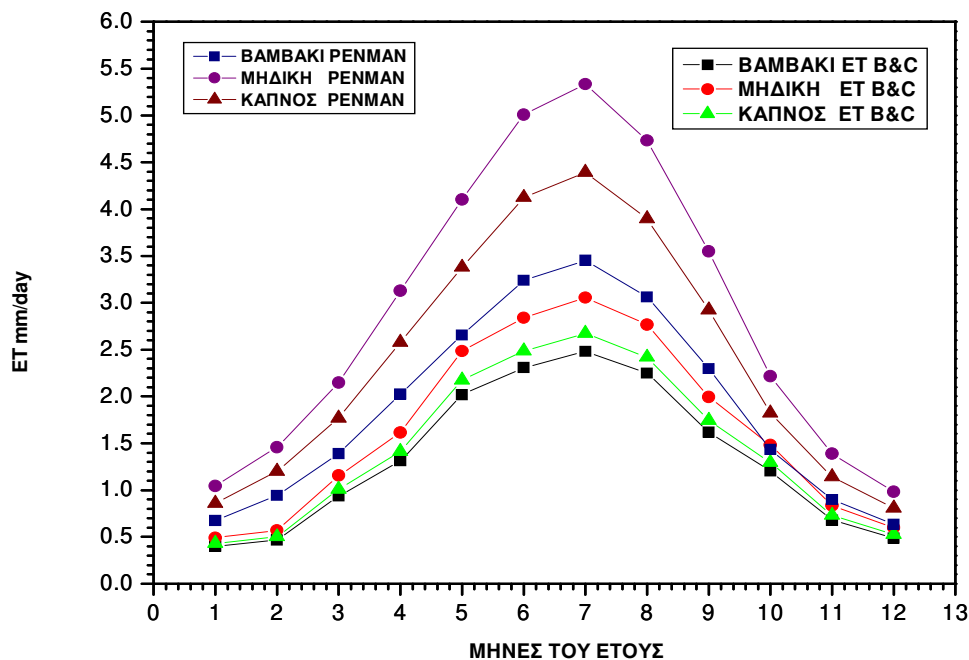
Σχήμα 21. Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας (μέγιστη, ελάχιστη, μέση) στην διάρκεια του έτους.



Σχήμα 22. Διάγραμμα δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETc υπολογισμένη με την μέθοδο Blaney-Cridde για τις καλλιέργειες βαμβάκι, μηδική, καπνός.



Σχήμα 23. Διάγραμμα δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ETc υπολογισμένη με την μέθοδο Penman για τις καλλιέργειες βαμβάκι, μηδική, καπνός.



Σχήμα 24. Διάγραμμα δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ET_c υπολογισμένη με τις μεθόδους Blaney-Criddle και Penman για τις καλλιέργειες βαμβάκι, μηδική, καπνός.

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε ξηρά και ημιξηρά 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.

Καθ' όλη την διάρκεια της βλαστικής περιόδου ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι σταθερός. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει γρήγορα από την σπορά μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, διατηρείται σταθερή μέχρι ένα χρονικό στάδιο και μετά ελαττώνεται. Η ταχεία αύξηση κατά την περίοδο ανάπτυξης οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μεταβολή του ποσοστού φυτοκαλύψεως του εδάφους που ξεκινάει από το μηδέν και

φτάνει στο 100%. Η ελάττωση στα τελευταία στάδια της βλαστικής περιόδου οφείλεται σε φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών.

Γενικά, επειδή στη στεριά η υγρασία είναι πάντοτε πιο περιορισμένη από τους ωκεανούς, η λανθάνουσα θερμότητα στους τελευταίους είναι υπερδιπλάσια από της στεριάς. Πρέπει να τονιστεί ότι η κατανομή στην οποία αναφερόμαστε αφορά τις μέσες τιμές. Σημαντικές αποκλίσεις μπορεί να εμφανιστούν τοπικά, ανάλογα με την πυκνότητα της βλαστήσεως και το ύψος των βροχών.

Η αναλογία (-LE/Rn) δεν είναι σταθερή για όλους τους τόπους αλλά ούτε και κατά την διάρκεια του έτους στο 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. Έχει ήδη εξηγηθεί ότι για γίνει εξάτμιση από μια υγρή επιφάνεια είναι απαραίτητο να εκπληρώνονται δύο προϋποθέσεις, δηλαδή: α) να υπάρχει μια πηγή θερμικής ενέργειας και

β) να γίνεται μετακίνηση των υδρατμών πάνω από την εξατμίζουσα επιφάνεια με κάποιο μηχανισμό μεταφοράς.

Με χαμηλές θερμοκρασίες έχουμε μικρή κατανάλωση νερού αλλά και επιβράνδυση στην ανάπτυξη των φυτών, αντιθέτως με υψηλές θερμοκρασίες έχουμε υπερβολική κατανάλωση νερού και πιο γρήγορη ανάπτυξη των φυτών λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας με αποτέλεσμα την αυξημένη φωτοσύνθεση και επομένως αυξημένη διαπνοή των φυτών. Αυτό μέχρι ενός σημείου διότι από εκεί και πέρα μπορεί να δημιουργηθούν ζημιές στις καλλιέργειες.

Η υψηλή σχετική υγρασία του αέρα μειώνει την εξατμισοδιαπνοή ενώ αντιθέτως η χαμηλή σχετική υγρασία αυξάνει την εξατμισοδιαπνοή. Έτσι όταν μια περιοχή είναι ανεμόπληκτη παρουσιάζει μεγάλη εξατμισοδιαπνοή σε σχέση με μία μη ανεμόπληκτη.

Τα παραπάνω δείχνουν ότι οι κλιματικοί παράγοντες μιας περιοχής ασκούν καθοριστική επίδραση στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής από μια καλλιέργεια. Κύριοι κλιματικοί παράγοντες είναι η καθαρή ακτινοβολία, ο

άνεμος, η υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, που διαμορφώνουν το μηχανισμό μετακίνησης των υδρατμών από την φυτική επιφάνεια.

Το γεωγραφικό πλάτος δεν κατατάσσεται στους κλιματικούς παράγοντες, έχει όμως μεγάλη σχέση με το μήκος της ημέρας, την συνολική διάρκεια ηλιοφάνειας και το συνολικό ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας που εκμεταλλεύονται τα φυτά για την φωτοσύνθεση και συνεπώς με την εξατμισοδιαπνοή. Το καλοκαίρι η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη όσο απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό. Επειδή ο ήλιος είναι πηγή ενέργειας τόσο για την αύξηση των φυτών όσο και για την εξάτμιση και την διαπνοή, οι ημέρες με μεγάλη διάρκεια έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή.

Επίσης παρατηρούμε ότι η τροποποιημένη μέθοδος Penman υπερεκτιμά κατά διάφορα ποσοστά την εξατμισοδιαπνοή και, κατά συνέπεια θα πρέπει να αναζητηθεί κάποια διαφορετική προσέγγιση της συνδυασμένης εξίσωσης για τον υπολογισμό της E_{Tr} .

Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Griddle χρησιμοποιεί σαν κύρια παράμετρο τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και δεν περιλαμβάνει όρο αντιπροσωπευτικό της ηλιακής ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό η χρησιμοποίησή της για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής πρέπει να γίνεται με πολύ περίσκεψη, ιδιαίτερα όταν αναφέρεται σε παράκτιες περιοχές όπου η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας επηρεάζεται σημαντικά από την θάλασσα, σε κλίματα όπου παρουσιάζεται έντονη διακύμανση της ηλιοφάνειας κατά τις μεταβατικές περιοχές (άνοιξη και φθινόπωρο) και σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία της ατμόσφαιρας πιέζεται προς τα κάτω λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά την διάρκεια της νύχτας.

Από τα αποτελέσματα της εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκε ότι οι τιμές της σύμφωνα με την μέθοδο Penman είναι μεγαλύτερες από αυτές που μας έδωσε η μέθοδος Blaney-Criddle (σχήμα 9). Άρα σε περίοδο που η ποσότητα του νερού για άρδευση είναι περιορισμένη η καταλληλότερη μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής είναι αυτή των Blaney-Criddle.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής με βάση την μέθοδο των Blaney-Criddle είναι πιο κοντά στο μέσο όρο και δεν έχουν μεγάλη απόκλιση, σε σχέση με την μέθοδο του Penman που η απόκλιση είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό καθιστά την μέθοδο Blaney-Criddle πιο αξιόπιστη.

Για τις τρεις καλλιέργειες, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται το εξής: με βάση την μέθοδο του Penman το βαμβάκι έχει τις λιγότερες απαιτήσεις σε νερό ενώ ο καπνός τις περισσότερες και σύμφωνα με την μέθοδο των Blaney-Criddle πάλι το βαμβάκι έχει τις λιγότερες απαιτήσεις σε νερό και τις περισσότερες τις έχει η μηδική. Επομένως όταν δεν έχουμε αρκετό νερό για άρδευση το βαμβάκι αποδεικνύεται ότι μπορεί να καλλιεργηθεί και να αναπτυχθεί καλύτερα από τις άλλες δύο καλλιέργειες σε περιοχές όπου δεν υπάρχει επάρκεια αρδευτικού νερού και να ασκηθεί καλύτερη πολιτική ως προς την διαχείριση του νερού σε αυτές τις περιοχές. Επίσης να γίνει προγραμματισμός των καλλιεργειών στην περιοχή την οποία μελετάμε και να οριστούν οι καλλιέργειες που θα καλλιεργηθούν καθώς επίσης και η έκταση που θα καταλαμβάνουν αυτές οι καλλιέργειες και σε ποια χρονική περίοδο του έτους πρέπει να καλλιεργηθούν.

Τέλος, μετά το πέρας της παραπάνω εργασίας συμπεραίνεται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως φαίνεται και από το σχήμα 20 έχουμε λίγες βροχοπτώσεις, ενώ η εξατμισοδιαπνοή την περίοδο αυτή παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές του έτους. Άρα θα πρέπει τους μήνες αυτούς να γίνεται σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Επίσης τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι υψηλή (σχήμα 21) και οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό αυξημένες (σχήμα 24), άρα θα πρέπει να γίνει και σωστή επιλογή καλλιέργειας, η οποία θα χρειάζεται λιγότερο νερό για άρδευση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ζ.Γ. Παπαζαφειρίου: Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων.
2. Ζ.Γ. Παπαζαφειρίου: Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη 1999.

3. Ζ.Γ. Παπαζαφειρίου, Γ.Α. Τερζίδη: Γεωργική υδραυλική. Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη 1997.
4. Β. Ζαρογιάννη: Σημειώσεις Αρδεύσεις Στραγγίσεις II.
5. FAO Irrigation and drainage paper: Crop water requirements
6. Solar Radiation and Radiation Balance Data: Roy time Observations for the Whole Word.
7. WMO, Data on the Intern. Geoph. Year: Forms E1, E2, E3.
8. J.N. Black (1956): Distribution of solar radiation over the earth' s surface.
9. H.E. Landsberg (several volumes): World Survey of Climatology.
- 10.N.A. Χαλκιά: Αρδεύσεις και συστηματοποίησης γαιών. Αθήνα 1968.
11. Ευάγγελος Πετρούτσος: Πλήρες εγχειρίδιο της Visual Basic 6.0. Εκδόσεις Γκιούρδας.
12. Hartman: Visual Basic 6.0 με εικόνες. Εκδόσεις Γκιούρδας.
13. Greg Perry: Εγχειρίδιο της Visual Basic 6.0. Εκδόσεις Γκιούρδας.
14. Aslyng H.C. and S.V. Jensen, 1965. Radiation and energy balance at Copenhagen, 1954-1964.
15. van Bavel, C.H.M.,1966. Evaporation and energy balance of alfalfa, momentum and mass transfer near the ground.
16. Pruitt W.O.,1973. Factors affecting potential evapotranspiration.