



## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1.....	1
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2.....	2
Περιγραφή του περιβάλλοντος εργασίας.....	2
2.1 Γενικά.....	2
2.2 Περιοχή 1 - Υπόβαθρο.....	4
2.3 Περιοχή 2 – Κατάλογος επιλογών (menu).....	4
2.4 Περιοχή 3 – Εισαγωγή δεδομένων.....	10
2.5 Περιοχή 4 – Επιλογή μεθόδου επίλυσης.....	15
2.6 Περιοχή 5 – Εκτέλεση υπολογισμών.....	16
2.7 Περιοχή 6 – Αποτελέσματα υπό μορφή καταλόγου.....	16
2.8 Περιοχή 7 – Αποτελέσματα υπό μορφή γραφήματος.....	17
Παράρτημα Α.....	18
Προσφερόμενες μέθοδοι υπολογισμού.....	18
Α.1 Μέθοδος Penmann.....	18
Α.2 Η συνδυασμένη μέθοδος FAO Penman – Monteith.....	19
Α.3 Η τροποποιημένη μέθοδος Penman κατά FAO-24 (ή μέθοδος των Doorenbos -Pruitt).....	20
Α.4 Η μέθοδος των Priestley-Taylor.....	21
Α.5 Η μέθοδος από τον Κουτσογιάννη.....	21
Α.6 Εμπειρικά μοντέλα.....	22
Α.6.1 Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά FAO-24.....	22
Α.6.2 Η μέθοδος Thornthwaite.....	23
Α.6.3 Η μέθοδος Hargreaves.....	24

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Το λογισμικό αναπτύχθηκε από της εταιρία ΥΔΡΟΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ Ε.Π.Ε. η οποία και διατηρεί τα εμπορικά δικαιώματα εκμετάλλευσης του. Για την ανάπτυξη και δοκιμαστική εφαρμογή του λογισμικού, η εταιρία ΥΔΡΟΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ συνεργάστηκε με ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Το λογισμικό αναπτύχθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «Διαχείριση Υδατικών Πόρων σε Επίπεδο Λεκάνης Απορροής υπό Συνθήκες Κλιματικών Αλλαγών», με ανάδοχο την εταιρία ΥΔΡΟΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ Ε.Π.Ε.

Το ερευνητικό πρόγραμμα χρηματοδοτήθηκε από το:

ΕΣΠΑ 2007-2013

μέσω της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας

στο πλαίσιο της δράσης Εθνικής Εμβέλειας «Ενίσχυση Νέων και Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων»

και της Πράξης «Υποστήριξη Νέων Επιχειρήσεων για Δραστηριότητες Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης»

του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα».

Πρόκειται για ένα έξυπνο λογισμικό το οποίο προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα εκτίμησης μιας από τις πιο σύνθετες, πολύπλοκες και με σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας παραμέτρους του υδατικού ισοζυγίου, αυτής της εξατμισοδιαπνοής.

Ανάμεσα στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ξεχωρίζουν τα εξής:

- επιτρέπει στον χρήστη (ή του απαγορεύει αντίστοιχα) την επιλογή μεθόδου ή μεθόδων εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής ανάλογα με τα δεδομένα που έχει στη διάθεση του, ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας τις αντίστοιχες επιλογές. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης γνωρίζει εκ των προτέρων τις μεθόδους που μπορεί να χρησιμοποιήσει και προσαρμόζει τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του, ανάλογα.
- μπορεί να αναλύσει μεγάλο πλήθος δεδομένων.
- είναι προσαρμοσμένο έτσι ώστε να δέχεται, μεταξύ άλλων, το πλήθος και την ποικιλία εκτιμήσεων από τα μοντέλα πρόβλεψης των κλιματικών αλλαγών.
- ενσωματώνει την απαραίτητη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που απαιτείται για την εφαρμογή ορισμένων από τις μεθόδους. Για παράδειγμα, όπου χρειάζονται μέσες μηνιαίες τιμές κάποιων παραμέτρων, το λογισμικό αναγνωρίζει και ομαδοποιεί, με βάση την ημερομηνία, τις αντίστοιχες καταχωρήσεις και εκφράζει στη συνέχεια τις μέσες μηνιαίες τιμές, ανεξάρτητα από την σειρά καταχώρησης τους στους πίνακες δεδομένων.

# Κεφάλαιο 2

## Περιγραφή του περιβάλλοντος εργασίας

### 2.1 Γενικά

Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος περιλαμβάνει μια εύχρηστη γραφική πλατφόρμα επικοινωνίας με τον χρήστη, τύπου GUI (Graphical User Interface), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.

Το γραφικό περιβάλλον εργασίας διακρίνεται σε επτά περιοχές.

- Η περιοχή 1 αποτελεί το γενικό υπόβαθρο του προγράμματος
- Η περιοχή 2 περιλαμβάνει τον κατάλογο επιλογών (menu)
- Η περιοχή 3 υποδεικνύει τις θέσεις καταχώρησης των δεδομένων
- Η περιοχή 4 παρουσιάζει τις θέσεις επιλογής της μεθόδου (ή των μεθόδων) εκτίμησης της εξαμυσοδιαπνοής
- Η περιοχή 5 εμφανίζει το πλήκτρο εκτέλεσης των υπολογισμών
- Η περιοχή 6 εμφανίζει υπό μορφή καταλόγου τα αποτελέσματα των υπολογισμών ανά μέθοδο
- Η περιοχή 7 εμφανίζει υπό μορφή γραφήματος τα αποτελέσματα των υπολογισμών ανά μέθοδο

Το περιεχόμενο, οι δυνατότητες και οι επιλογές της κάθε υποπεριοχής του περιβάλλοντος εργασίας περιγράφονται στα υποκεφάλαια που ακολουθούν.

**EvapoTranspiration Calculation Model**

Methods Edit Help Exit

Choose File Choose file containing the meteorological data

Choose the calculation methods-

1. Penman   
 3. Doorenbos - Pruitt   
 5. Koutsogiannis   
 7. Hargreaves  
 2. FAO Penman - Monteith   
 4. Priestley - Taylor   
 6. Thornthwaite   
 8. Blaney-Cridde

Upload So, N and p Additional parameters for method 5

Choose File a= 0.00005 b= 0 c= 0.025140 Calculate

	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	ET6	ET7	ET8
Jan								
Feb								
Mar								
Apr								
May								
June								
July								
Aug								
Sep								
Oct								
Nov								
Dec								

Graphical representation

1  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1  
0

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1

Index  
ET1 ET2 (α) ET3 ET4 ET5 (+) ET6 ET7 ET8

Εικόνα 1. Γραφικό περιβάλλον εργασίας

## 2.2 Περιοχή 1 - Υπόβαθρο

Η περιοχή 1 αποτελεί το γενικό υπόβαθρο του γραφικού περιβάλλοντος εργασίας. Ουσιαστικά πρόκειται για τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των διάφορων περιοχών επιλογής και εκτέλεσης του προγράμματος.

## 2.3 Περιοχή 2 – Κατάλογος επιλογών (menu)

Ο κατάλογος επιλογών περιλαμβάνει τέσσερεις κατηγορίες:

- Methods
- Edit
- Help
- Exit

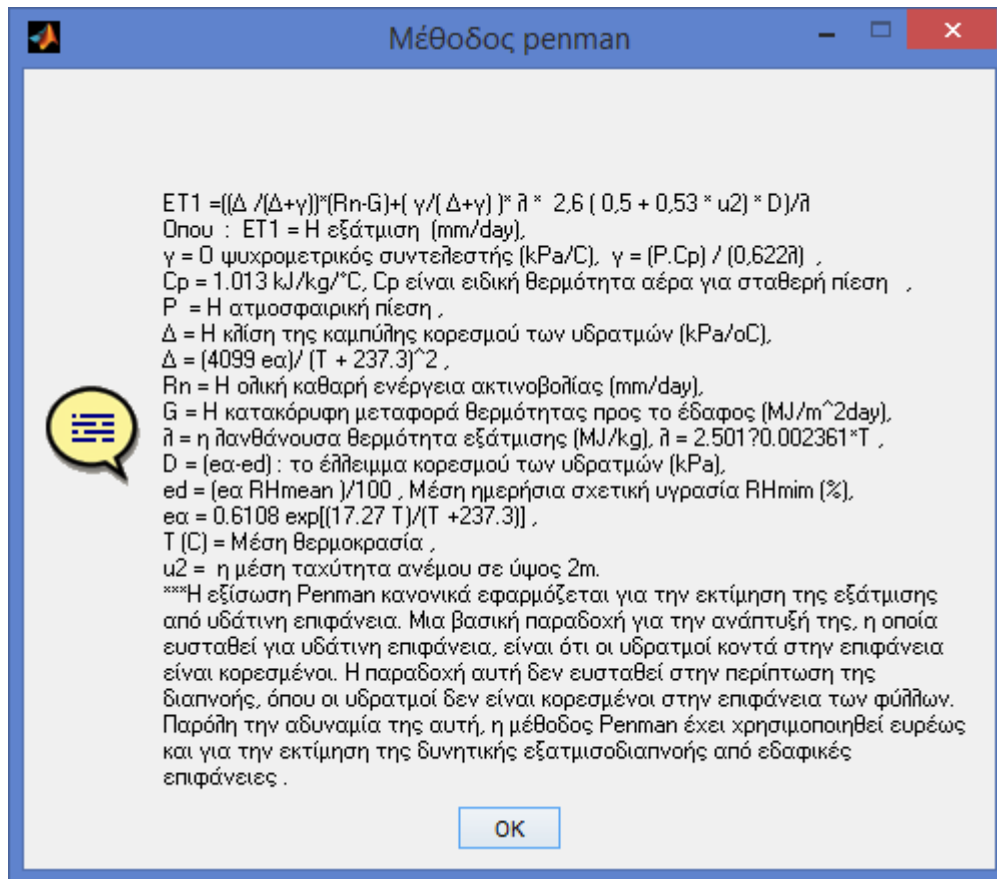
Κάτω από την επιλογή “**Methods**” εμφανίζονται υπό μορφή ενεργών επιλογών οι οκτώ μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής που προσφέρονται στον χρήστη. Οι μέθοδοι αυτές είναι οι εξής:

- Penman (ET1)
- FAO Penman – Monteith (ET2)
- Doorenbos – Pruitt (ET3)
- Priestley – Taylor (ET4)
- Koutsogiannis (ET5)
- Thornwaite (ET6)
- Hargreaves (ET7)
- Blaney – Criddle (ET8)

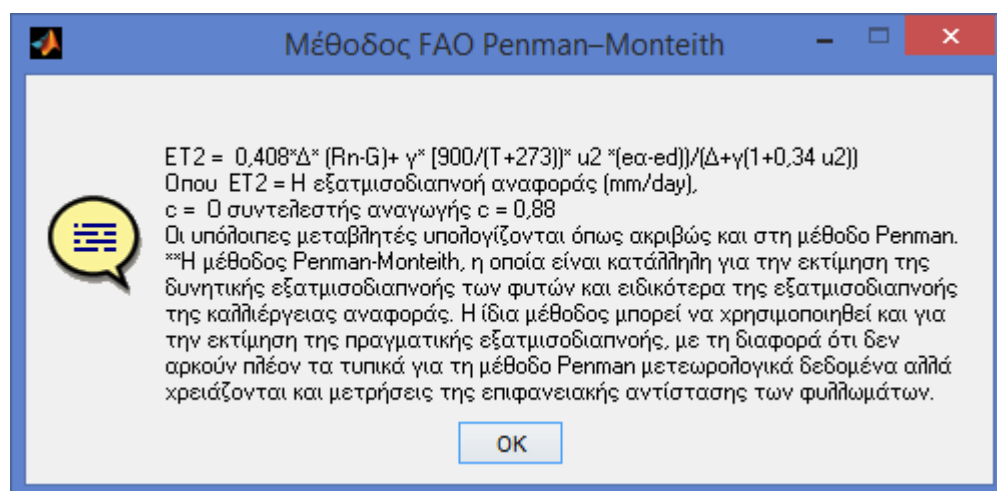
Με την επιλογή μιας από τις μεθόδους αυτές από τον ενεργό κατάλογο, εμφανίζεται ένα παράθυρο επεξήγησης των βασικών αρχών της μεθόδου όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.

Προσοχή, η επιλογή της μεθόδου υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής δεν γίνεται μέσω αυτού του καταλόγου, αλλά από την περιοχή 4, όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Ο κατάλογος επιλογών εμφανίζει απλώς τα χαρακτηριστικά της μεθόδου ώστε να γνωρίζει ο χρήστης εάν πρέπει να την επιλέξει στη συνέχεια ή όχι.

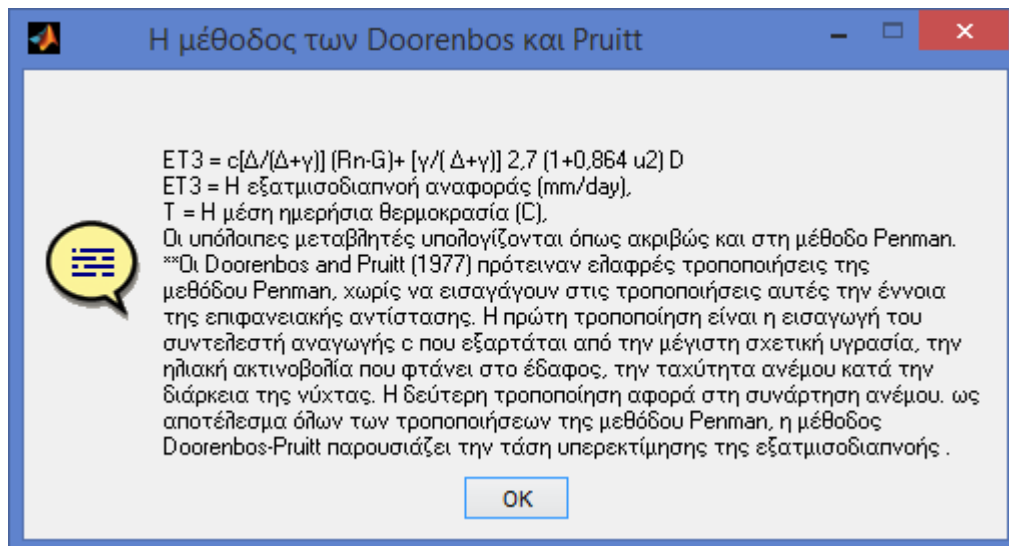
Αναλυτικότερα στοιχεία για τις προσφερόμενες μεθόδους, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α – «Μέθοδοι Υπολογισμού Εξατμισοδιαπνοής».



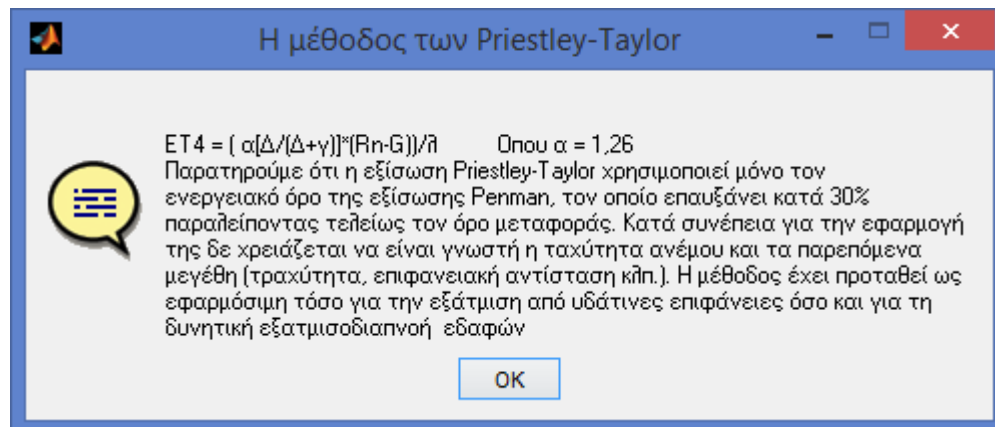
Εικόνα 2. Η μέθοδος Penman



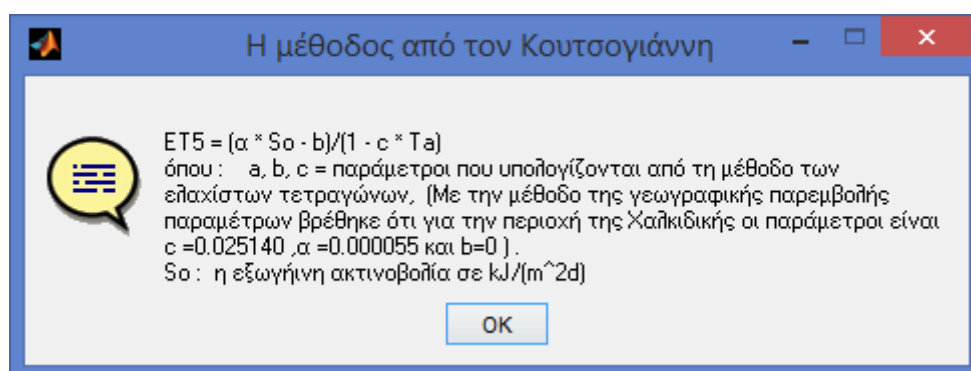
Εικόνα 3. Η μέθοδος FAO Penman – Monteith



Εικόνα 4. Η μέθοδος Doornbos – Pruitt

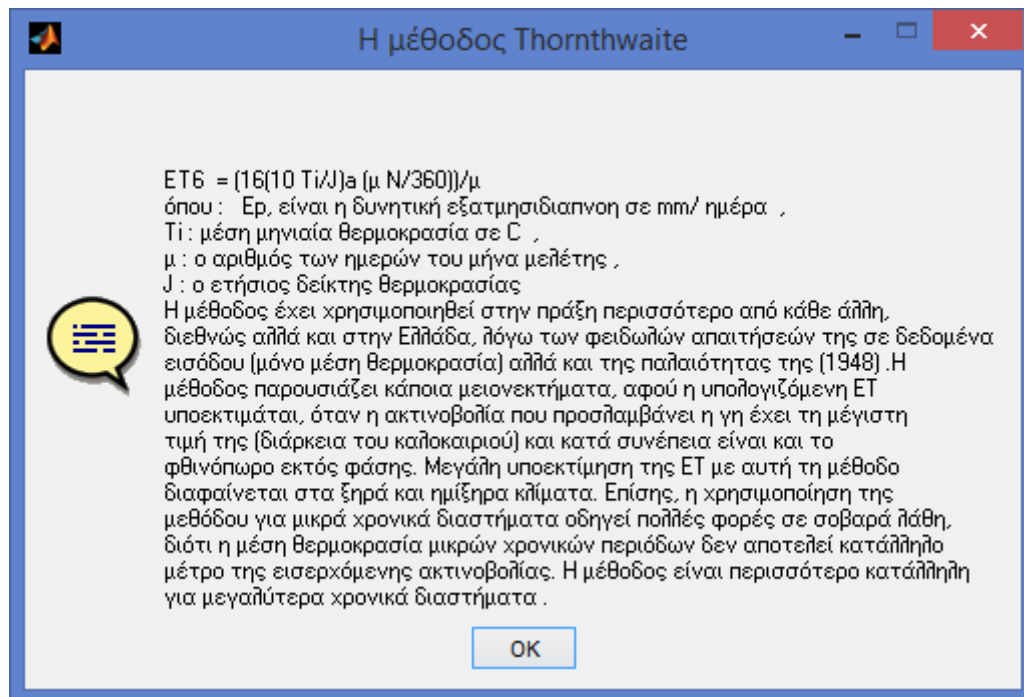


Εικόνα 5. Η μέθοδος Priestley – Taylor

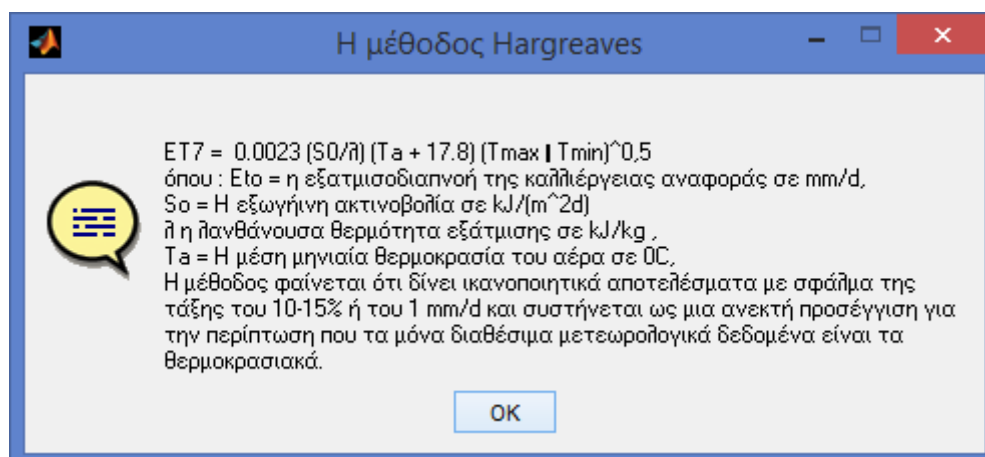


Εικόνα 6. Η μέθοδος Κουτσογιάννη

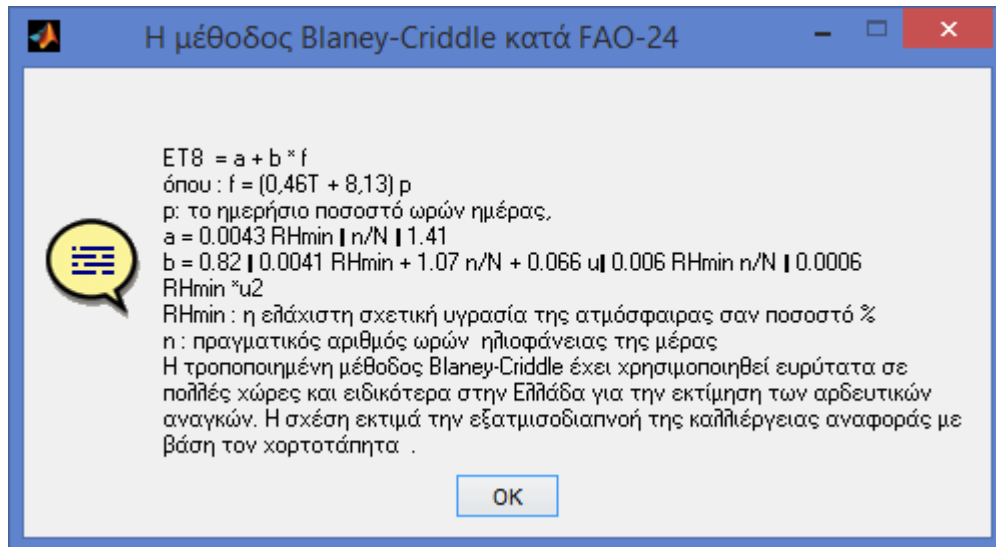




Εικόνα 7. Η μέθοδος Thornthwaite



Εικόνα 8. Η μέθοδος Hargreaves



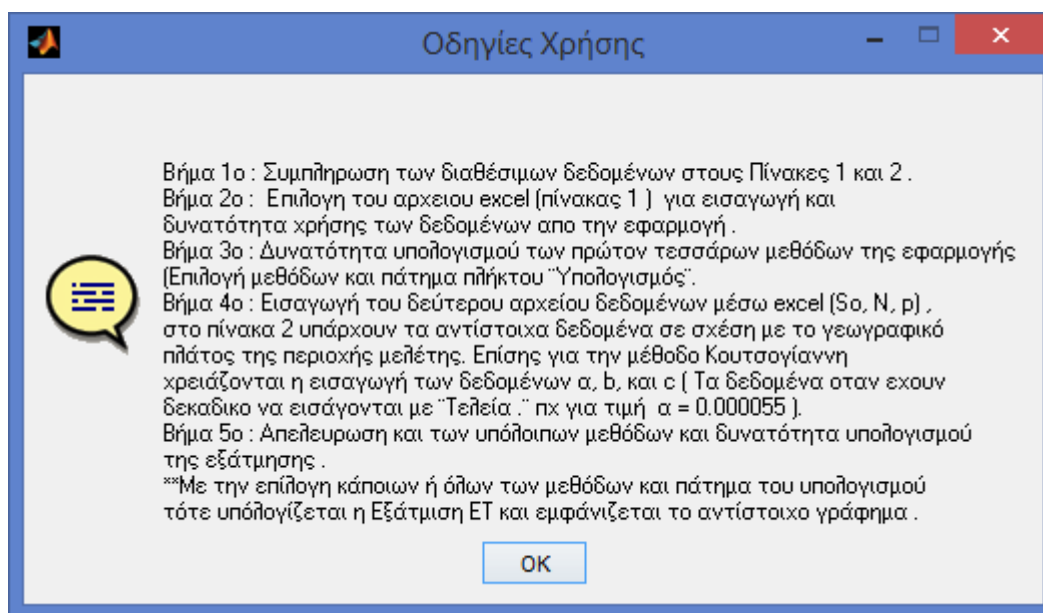
Εικόνα 9. Η μέθοδος Blaney-Criddle

Κάτω από την επιλογή “**Edit**” εμφανίζεται η δυνατότητα αντιγραφής των αποτελεσμάτων για την εύκολη επικόλληση τους σε άλλο πρόγραμμα, μέσω του clipboard.

Η επιλογή “**Help**” προσφέρει δύο δυνατότητες: τον οδηγό χρήσης (guidelines) και τα σχετικά (about).

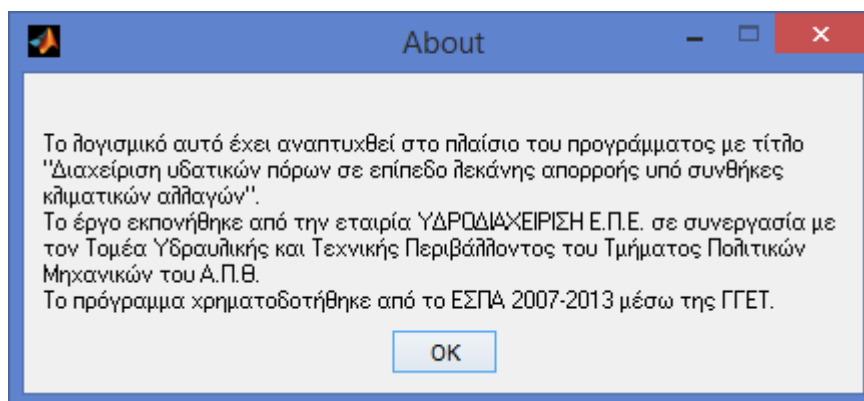
Ο οδηγός χρήσης προσφέρει κάποιες βασικές κατευθύνσεις για την εκτέλεση του προγράμματος. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης καλείται να εκτελέσει τα ακόλουθα βήματα:

- Βήμα 1<sup>ο</sup>: Ο χρήστης καλείται να εισάγει να συμπληρώσει, σύμφωνα με τις οδηγίες, τους πίνακες δεδομένων 1 και 2.
- Βήμα 2<sup>ο</sup>: Ο χρήστης εισάγει μέσω των κουμπιών εισαγωγής (buttons) τον πίνακα 1 στο πρόγραμμα.
- Βήμα 3<sup>ο</sup>: Μετά την ανάγνωση του αρχείου ενεργοποιούνται οι τέσσερις πρώτες μέθοδοι της εξατμισοδιαπνοής
- Βήμα 4<sup>ο</sup>: Ο χρήστης εισάγει μέσω των κουμπιών εισαγωγής (buttons) τον πίνακα 2 στο πρόγραμμα και συμπληρώνει τα στοιχεία που απαιτούνται ειδικά για την μέθοδο 5.
- Βήμα 5<sup>ο</sup>: Μετά την ανάγνωση του αρχείου ενεργοποιούνται και οι υπόλοιπες τέσσερις μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής



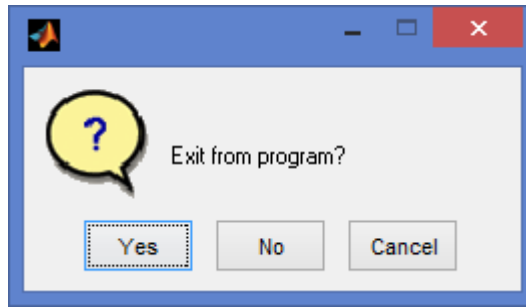
Εικόνα 10. Οδηγίες χρήσης

Η επιλογή "**About**" αναδεικνύει ένα παράθυρο που πληροφορεί τον χρήστη για τον φορέα ανάπτυξης και τον φορέα χρηματοδότησης του λογισμικού.



Εικόνα 11. Σχετικά (About)

Τέλος η επιλογή "Exit" μπορεί να οδηγήσει στο κλείσιμο του προγράμματος. Για την αποφυγή κατά λάθος επιλογής της συγκεκριμένης δυνατότητας που θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια των δεδομένων που έχουν καταχωρηθεί, το πρόγραμμα απαιτεί από τον χρήστη την επαλήθευση της συγκεκριμένης επιλογής μέσω του παραθύρου της εικόνας 12.

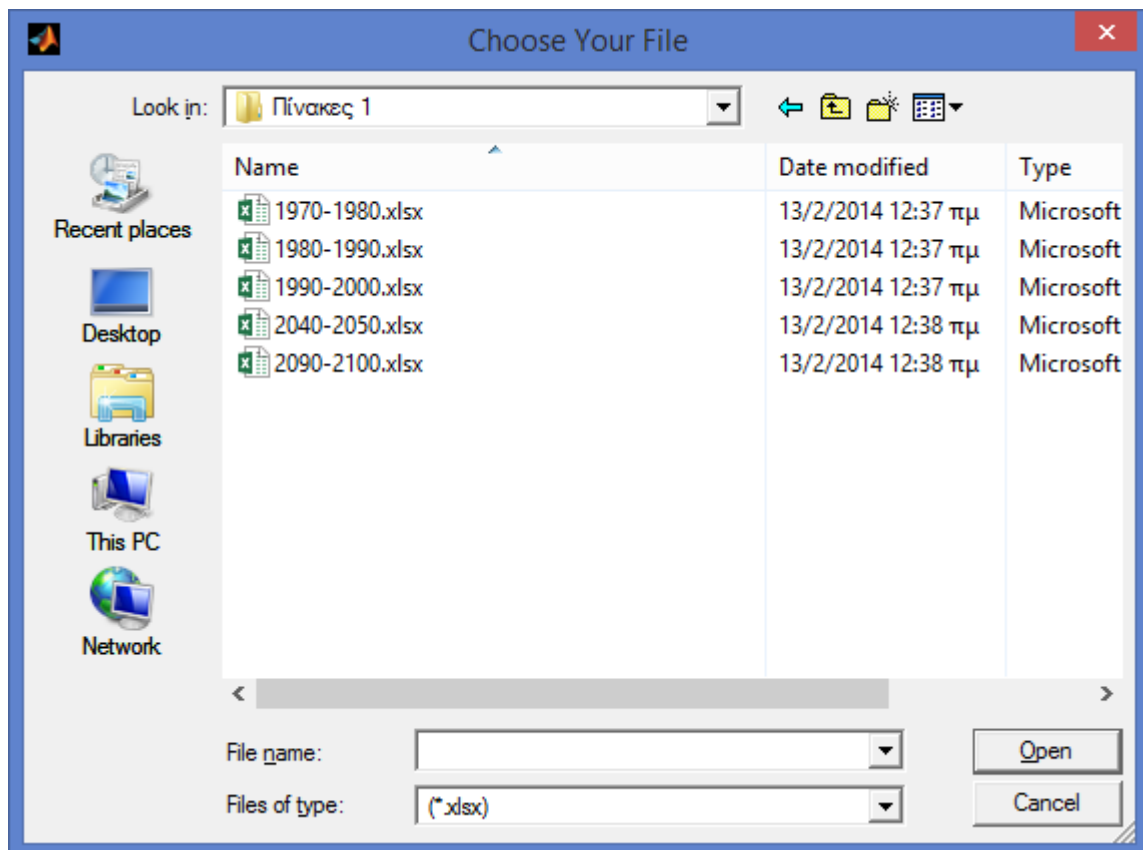


Εικόνα 12. Παράθυρο επιβεβαίωσης εξόδου από το πρόγραμμα

## 2.4 Περιοχή 3 – Εισαγωγή δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω των επιλογών που βρίσκονται στην περιοχή 3.

Στο άνω μέρος της περιοχής 3, εμφανίζεται ένα κουμπί επιλογής συνοδευόμενο από την επεξήγηση "Choose file containing the meteorological data".



Εικόνα 13. Παράθυρο επιλογής αρχείων δεδομένων

Η επιλογή του κουμπιού, οδηγεί σε ένα παράθυρο επικοινωνίας με τον υπολογιστή. Μέσω του συγκεκριμένου παραθύρου, ο χρήστης επιλέγει το κατάλληλο αρχείο δεδομένων.

Το αρχείο δεδομένων πρέπει να έχει την ακόλουθη μορφή:

1970-1980.xlsx - Excel

FILE HOME INSERT PAGE LAYOUT FORMULAS DATA REVIEW VIEW

N1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Day	Month	Year	Rn	Rh	u	G	P	Tmax	Tmin	T	Ta	n		
2	1	1	1970	6.153	0.74	2.61	0.10503	101.71	8.6	7	7.8	6.674	7.34		
3	2	1	1970	6.4	0.78	2.18	0.10503	101.82	7.9	5.6	6.75	6.674	7.48		
4	3	1	1970	3.793	0.8	4.07	0.10503	101.65	10.4	6.5	9.075	6.674	4.84		
5	4	1	1970	2.152	0.9	6.33	0.10503	100.24	12.5	9.7	11.1	6.674	2.67		
6	5	1	1970	4.949	0.89	4.36	0.10503	100.14	9.8	5.4	7.6	6.674	6.84		
7	6	1	1970	1.47	0.84	3.82	0.10503	100.66	7.3	4.7	6.25	6.674	1.33		
8	7	1	1970	0.379	0.87	4.11	0.10503	100.97	7.7	6.5	7.1	6.674	0		
9	8	1	1970	0.19	0.86	6.9	0.10503	100.75	8.9	6.6	7.75	6.674	0		
10	9	1	1970	3.224	0.79	4.31	0.10503	101.53	7.6	3.2	3.55	6.674	0		
11	10	1	1970	6.884	0.81	5.02	0.10503	102.88	5.7	1.7	3.7	6.674	7.5		
12	11	1	1970	7.13	0.68	4.94	0.10503	102.71	7	2.5	4.75	6.674	7.66		
13	12	1	1970	6.94	0.76	4.47	0.10503	101.7	9.2	4.8	6.25	6.674	7.66		
14	13	1	1970	6.921	0.79	5.94	0.10503	101.1	11.6	5.5	8.55	6.674	7.66		
15	14	1	1970	6.884	0.73	6.89	0.10503	101.09	12.4	5.1	8.75	6.674	7.34		
16	15	1	1970	7.415	0.6	7.01	0.10503	101.38	7.6	5.2	3.75	6.674	7.66		
17	16	1	1970	7.49	0.65	10.34	0.10503	101.01	7.7	1.1	4.4	6.674	7.66		
18	17	1	1970	6.684	0.65	3.83	0.10503	101.09	11.8	0.8	6.3	6.674	6.01		
19	18	1	1970	6.343	0.75	5.31	0.10503	100.18	13.5	11.8	12.175	6.674	7.32		
20	19	1	1970	5.869	0.79	5.13	0.10503	100.13	13.1	11.7	12.4	6.674	7.5		
21	20	1	1970	6.296	0.82	5	0.10503	99.93	12.3	5.1	8.7	6.674	7.34		
22	21	1	1970	0.711	0.88	5.59	0.10503	99.91	5.1	0.5	1	6.674	0		
23	22	1	1970	2.996	0.69	3.1	0.10503	101.46	2	-0.8	0.6	6.674	4.66		
24	23	1	1970	6.409	0.69	3.38	0.10503	102.25	2.3	0.6	1.45	6.674	6.01		
25	24	1	1970	8.42	0.69	3.19	0.10503	102.15	2.7	-2.3	0.05	6.674	8.16		

**Rn** : Καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ( W/m<sup>2</sup>)  
**Rh** = Σχετική υγρασία (%)  
**u** = Ταχύτητα Ανέμου (m/sec)  
**G** = Ηλιοφάνεια (Hours)  
**P** = Ατμοσφαιρική πίεση (bars)  
**Tmax** = Μέγιστη θερμοκρασία (kelvin)  
**Tmin** = Ελάχιστη θερμοκρασία (kelvin)  
**T** = Μέση ημερήσια θερμοκρασία (kelvin)  
**Ta** = Μέση μηνιαία θερμοκρασία (kelvin)  
**n** = Η πραγματική ηλιοφάνεια σε ώρες

\* Εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη :  
 Day, Month , year, Rn, Rh, u,P, Tmax, Tmin, n

\* Τα δεδομένα G, T, Ta υπολογίζονται μέσω του  
 excel , με την βοήθεια συνάρτησης .

Sheet1 | Sheet2 | Sheet3

READY 100%

Εικόνα 14. Πίνακας εισαγωγής δεδομένων 1

Όπως φαίνεται και στον πίνακα της εικόνας 14, τα απαιτούμενα δεδομένα περιλαμβάνουν τα εξής:

- Ημερομηνία (ημέρα, μήνας, έτος)
- $R_n$  : Καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ( $W/m^2$ )
- $R_h$  = Σχετική υγρασία (%)
- $u$  = Ταχύτητα Ανέμου (m/sec)
- $G$  = Ηλιοφάνεια (Hours)
- $P$  = Ατμοσφαιρική πίεση (bars)
- $T_{max}$  = Μέγιστη θερμοκρασία (kelvin)
- $T_{min}$  = Ελάχιστη θερμοκρασία (kelvin)
- $T$  = Μέση ημερήσια θερμοκρασία (kelvin)
- $T_a$  = Μέση μηνιαία θερμοκρασία (kelvin)
- $n$  = Η πραγματική ηλιοφάνεια σε ώρες

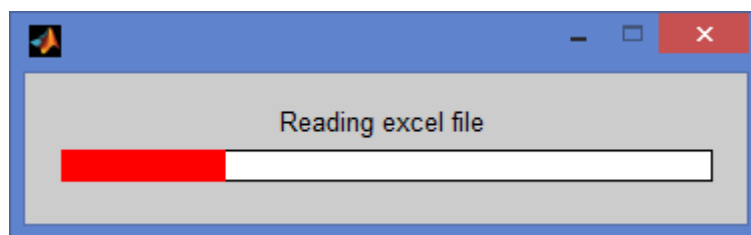
\* Από τα παραπάνω δεδομένα, ο χρήστης εισάγει τα:

Day, Month , year,  $R_n$ ,  $R_h$ ,  $u$ ,  $P$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $n$

\* Ενώ μέσω του φύλλου εργασίας excel υπολογίζονται μέσω του, με την βοήθεια ενσωματωμένης συνάρτησης, τα:

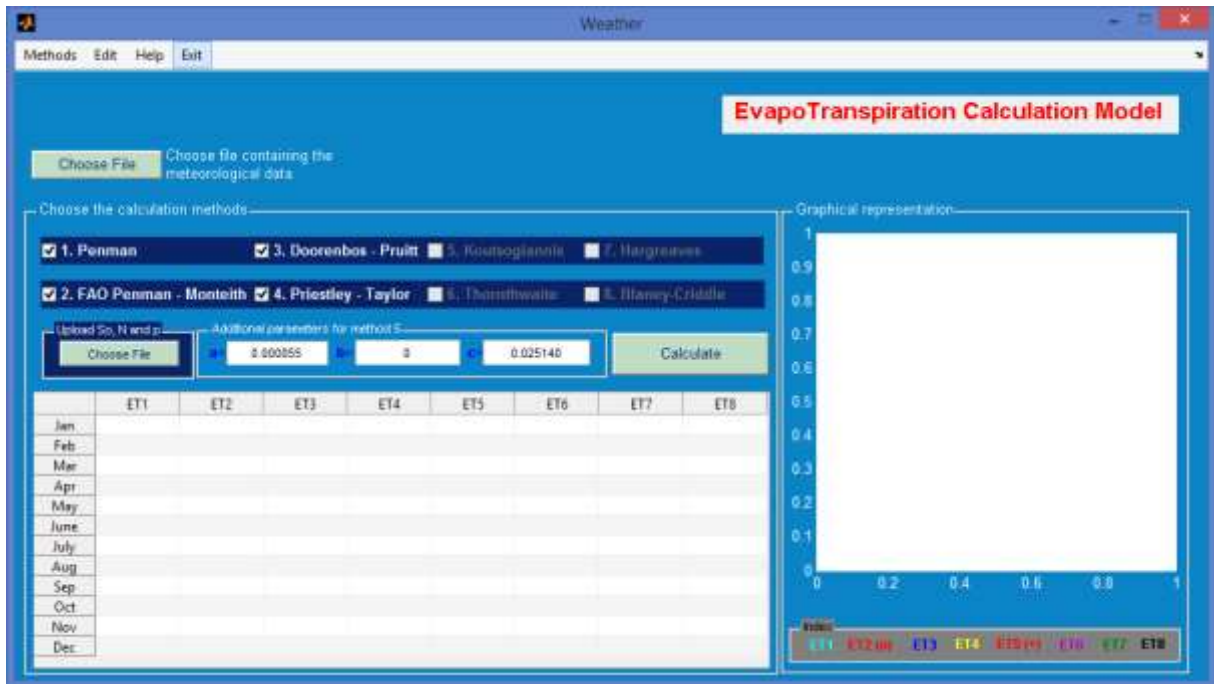
$G$ ,  $T$ ,  $T_a$

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων, το πρόγραμμα προσφέρει στον χρήστη μια μπάρα που παρακολουθεί την πορεία ανάγνωσης τους από το πρόγραμμα.



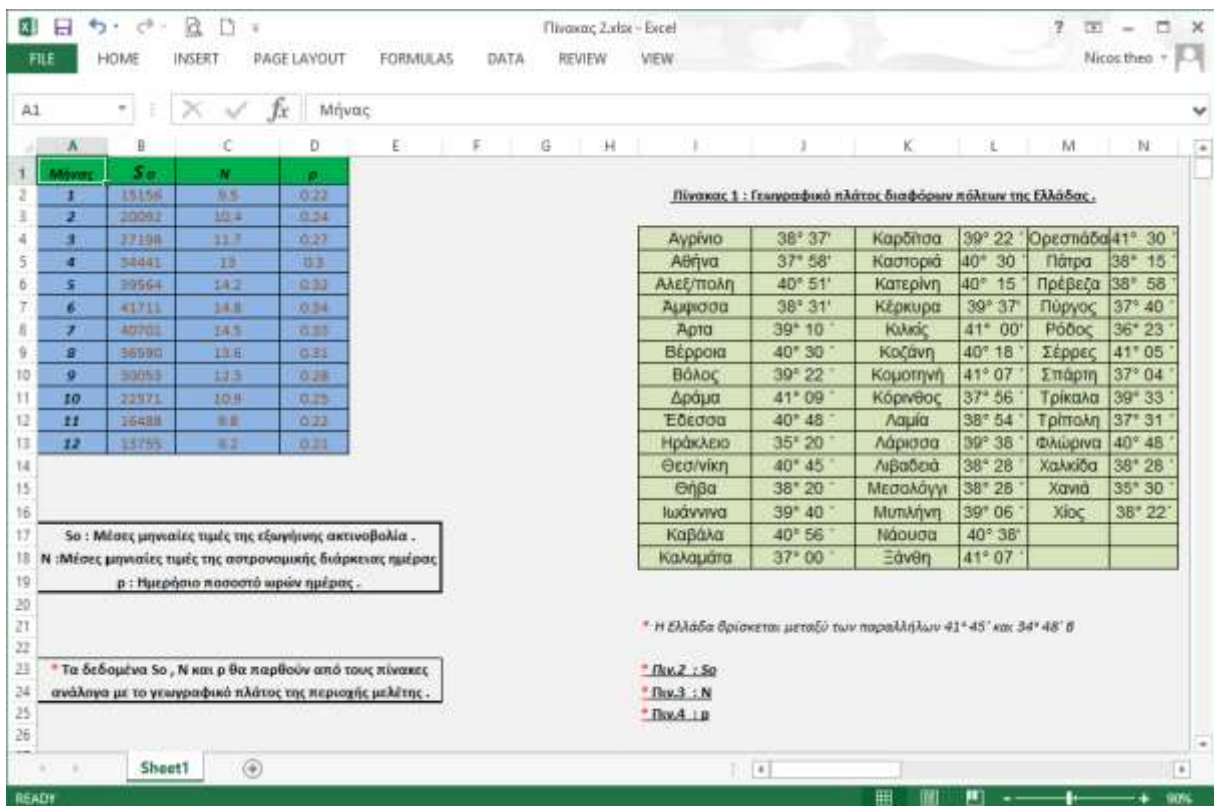
Εικόνα 15. Πορεία εισαγωγής δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, η εισαγωγή των δεδομένων του πίνακα 1 ενεργοποιεί την δυνατότητα επιλογής των τεσσάρων πρώτων μεθόδων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις, παραμένουν ανανεργές, δηλαδή ο χρήστης δεν μπορεί να τις επιλέξει, μέχρι να εισάγει και τα υπόλοιπα απαραίτητα δεδομένα.



Εικόνα 16. Επιλογή μεθόδων μετά την εισαγωγή των δεδομένων του πίνακα 1

Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να εισάγει ένα ακόμα αρχείο δεδομένων, μέσω του αντίστοιχου κουμπιού που συνοδεύεται από την επεξήγηση “Upload So, N and p”.



Εικόνα 17. Πίνακας εισαγωγής δεδομένων 2

Τα δεδομένα του πίνακα 2 περιλαμβάνουν τις παραμέτρους (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης):

- $S_0$  : Μέσες μηνιαίες τιμές της εξωγήινης ακτινοβολία .
- $N$  : Μέσες μηνιαίες τιμές της αστρονομικής διάρκειας ημέρας
- $\rho$  : Ημερήσιο ποσοστό ωρών ημέρας .

Οι τιμές των παραμέτρων δίνονται από τους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 2 : Μέσες μηνιαίες τιμές της εξωγήινης ακτινοβολίας $S_0$ σε $KJ/m^2/d$ για γεωγραφικά πλάτη ( $\varphi$ ) $36^\circ-46^\circ$ στο βόρειο ημισφαίριο .						
Μήνας / $\varphi$ (°)	36	38	40	42	44	46
Ιανουάριος	17604	16383	15156	13926	12696	11470
Φεβρουάριος	22349	21230	20092	18935	17762	16575
Μάρτιος	28967	28100	27198	26265	25300	24305
Απρίλιος	35447	34964	34441	33878	33278	32641
Μάιος	39820	39711	39564	39830	39161	38908
Ιούνιος	41571	41658	41711	41730	41718	41677
Ιούλιος	40725	40731	40701	40637	40359	40410
Αύγουστος	37255	36942	36590	36199	35771	35306
Σεπτέμβριος	31510	30800	30053	29271	28453	27601
Οκτώβριος	24651	23624	22571	21494	20395	19274
Νοέμβριος	18879	17689	16488	15279	14065	12849
Δεκέμβριος	16230	14993	13755	12519	11289	10069

Πίνακας 3 : Μέσες μηνιαίες τιμές της αστρονομικής διάρκειας ημέρας $N$ για γεωγραφικά πλάτη $36^\circ-46^\circ$ στο βόρειο ημισφαίριο						
Μήνας / $\varphi$ (°)	32 °	34 °	36 °	38 °	40 °	42 °
Ιανουάριος	10.3	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4
Φεβρουάριος	11.3	11.0	10.9	10.8	10.7	10.6
Μάρτιος	12.0	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
Απρίλιος	13.0	13.1	13.1	13.2	13.3	13.4
Μάιος	13.8	13.9	14.1	14.3	14.4	14.6
Ιούνιος	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2
Ιούλιος	14.1	14.2	14.4	14.6	14.7	14.9
Αύγουστος	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.9
Σεπτέμβριος	12.4	12.4	12.4	12.5	12.5	12.6
Οκτώβριος	11.4	11.3	11.3	11.2	11.2	11.1
Νοέμβριος	10.5	10.4	10.2	10.1	10.0	9.8
Δεκέμβριος	10.0	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1



Πίνακας 4 : Ημερήσιο ποσοστό ωρών ημέρας, $p$ συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και του χρόνου						
Μήνας / $\varphi$ (°)	35 °	40 °	42 °	44 °	46 °	48 °
Ιανουάριος	0.23	0.22	0.21	0.21	0.2	0.2
Φεβρουάριος	0.25	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23
Μάρτιος	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Απρίλιος	0.29	0.3	0.3	0.3	0.3	0.31
Μάιος	0.31	0.32	0.33	0.33	0.34	0.34
Ιούνιος	0.32	0.34	0.34	0.35	0.35	0.36
Ιούλιος	0.32	0.33	0.33	0.34	0.34	0.35
Αύγουστος	0.3	0.3	0.31	0.31	0.32	0.32
Σεπτέμβριος	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Οκτώβριος	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
Νοέμβριος	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21
Δεκέμβριος	0.22	0.21	0.21	0.2	0.2	0.19

Συμπληρωματικά, για την μέθοδο 5 - “Μέθοδος Κουτσογιάννη” απαιτούνται συμπληρωματικά ακόλουθα δεδομένα, τα οποία, με την μέθοδο της γεωγραφικής παρεμβολής βρέθηκε ότι για την περιοχή της Χαλκιδικής είναι:

$$c = 0,025140$$

$$a = 0,000055 \text{ και}$$

$$b = 0$$

## 2.5 Περιοχή 4 – Επιλογή μεθόδου επίλυσης

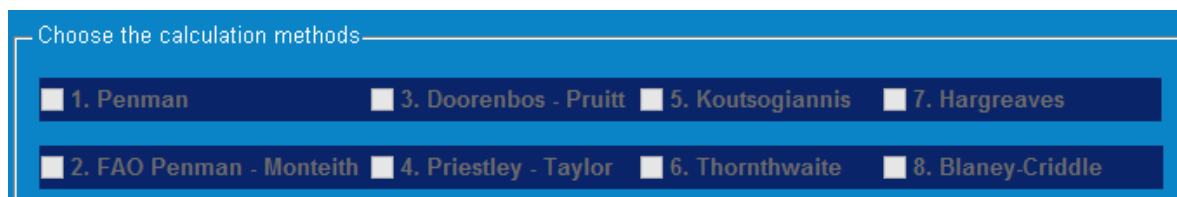
Στην περιοχή 4 εμφανίζεται ένας πίνακας με τις προσφερόμενες προς τον χρήστη, μεθόδους εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής. Συνολικά προσφέρονται οκτώ διαφορετικές μέθοδοι οι οποίες ποικίλουν ως προς την ακρίβεια, την εφαρμοσιμότητα και την πολυπλοκότητα τους.

Οι μέθοδοι αυτές είναι οι:

- Penman (ET1)
- FAO Penman – Monteith (ET2)
- Doorenbos – Pruitt (ET3)
- Priestley – Taylor (ET4)
- Koutsogiannis (ET5)
- Thornwaite (ET6)
- Hargreaves (ET7)
- Blaney – Criddle (ET8)

Ο πίνακας έχει τη μορφή «λίστας επιλογής». Ο χρήστης επιλέγει το αντίστοιχο κουτάκι που βρίσκεται δίπλα στο όνομα της μεθόδου και το πρόγραμμα την περιλαμβάνει στην επίλυση. Προϋπόθεση για την επιλογή αυτή είναι, να είναι η μέθοδος ενεργοποιημένη. Αυτό γίνεται

αυτόματα από το πρόγραμμα ανάλογα με τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.



Εικόνα 18. Λίστα επιλογής μεθόδων επίλυσης

## 2.6 Περιοχή 5 – Εκτέλεση υπολογισμών

Στην περιοχή αυτή βρίσκεται το κουμπί «Calculate». Με την επιλογή αυτή το πρόγραμμα εκτελείται. Χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα από τις θέσεις εισαγωγής στην περιοχή 3 και εφαρμόζονται οι μέθοδοι που έχουν επιλεγεί, από την λίστα επιλογής στην περιοχή 4.

Ο κώδικας του προγράμματος ο οποίος έχει συνταχθεί στο περιβάλλον προγραμματισμού MatLab, εκτελείται και αποδίδει τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

## 2.7 Περιοχή 6 – Αποτελέσματα υπό μορφή καταλόγου

Μετά την εκτέλεση του προγράμματος σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα παραγόμενα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον πίνακα που περιλαμβάνεται στην περιοχή 6.

Στον πίνακα αυτόν εμφανίζονται για κάθε μια από τις οκτώ μεθόδους που επιλέχθηκαν στην λίστα επιλογής της περιοχής 4, οι μέσες μηνιαίες τιμές της εξτμισοδιαπνοής για την περίοδο φυσικά που καλύπτεται από τα δεδομένα που εισήχθησαν από τον χρήστη.

	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	ET6	ET7	ET8
Jan	65.8694	52.5222	80.1534	49.9455	31.3720	21.7726	19.0549	72.4130
Feb	70.7782	54.5179	77.8494	63.1087	37.0906	20.3399	22.4329	75.3493
Mar	107.7427	80.1480	105.0136	105.9294	59.1947	33.2448	34.6227	120.8791
Apr	149.9659	113.6968	139.9836	158.7493	79.5494	47.1065	45.6622	160.9507
May	207.2304	163.2322	191.6580	217.8405	109.3885	71.4689	62.6833	218.1898
June	259.7932	215.5809	242.4884	264.8654	139.7425	95.4245	74.7303	281.6996
July	290.0775	248.8743	280.3764	292.8997	167.4247	111.5139	81.8760	310.7707
Aug	258.1905	222.6439	263.4338	258.0368	145.1346	101.0716	75.3209	275.1350
Sep	206.0182	176.6823	224.3512	205.9835	102.7722	81.0951	60.1650	218.3799
Oct	136.3789	115.4932	160.0057	129.3204	63.5137	56.3704	40.9124	151.4139
Nov	82.9491	69.7349	102.3809	70.6921	39.7669	39.1145	23.9272	99.9457
Dec	73.7108	59.8682	98.1053	54.6444	29.9497	26.1602	19.2179	76.0089

Εικόνα 19. Αποτελέσματα υπό μορφή καταλόγου

Ο χρήστης έχει επίσης την δυνατότητα, επιλέγοντας από το menu του προγράμματος την επιλογή “Edit” να αντιγράψει τα αποτελέσματα στο clipboard και από εκεί να τα επικολλήσει σε οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα.

Το λογισμικό, εκτός από την εμφάνιση των αποτελεσμάτων στον πίνακα που φαίνεται στην εικόνα 19, δημιουργεί και ένα αρχείο στον υπολογιστή, στον φάκελο απ’ όπου αναγνωστήκαν τα δεδομένα, όπου υπό μορφή ascii καταγράφει τα ίδια αποτελέσματα για χρήση σε άλλο πρόγραμμα.

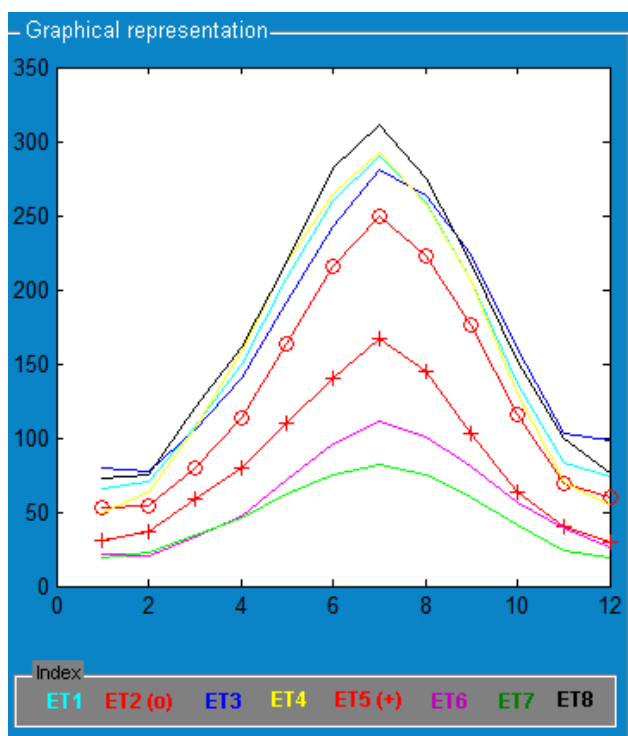
## 2.8 Περιοχή 7 – Αποτελέσματα υπό μορφή γραφήματος

Μετά την εκτέλεση του προγράμματος σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα παραγόμενα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον χώρο γραφήματος που περιλαμβάνεται στην περιοχή 7.

Στον χώρο αυτόν εμφανίζονται για κάθε μια από τις οκτώ μεθόδους που επιλέχθηκαν στην λίστα επιλογής της περιοχής 4, οι μέσες μηνιαίες τιμές της εξτμισοδιαπνοής για την περίοδο φυσικά που καλύπτεται από τα δεδομένα που εισήχθησαν από τον χρήστη υπό μορφή γραφικής παράστασης.

Τα αποτελέσματα από την κάθε μέθοδο, παριστώνται με διαφορετικό χρώμα σύμφωνα με το υπόμνημα που φαίνεται και στην εικόνα 20.

Σημειώνεται ότι η κλίμακα του γραφήματος δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται αυτόματα από το πρόγραμμα ανάλογα με την έκταση των αποτελεσμάτων, δημιουργώντας κάθε φορά ένα ευανάγνωστο και κατανοητό γράφημα.



Εικόνα 20. Αποτελέσματα υπό μορφή γραφήματος

# Παράρτημα Α

## Προσφερόμενες μέθοδοι υπολογισμού

Τα τελευταία 50 χρόνια αναπτύχθηκε ένας μεγάλος αριθμός λιγότερο ή περισσότερο εμπειρικών μεθόδων από πολυάριθμους επιστήμονες και ειδικούς παγκοσμίως για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής από διαφορετικές κλιματολογικές μεταβλητές.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν :

- α) Η μέθοδος Penman (1948),
- β) Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman FAO-24, (ή μέθοδος των Doorenbos –Pruitt, 1977),
- γ) Η συνδυασμένη μέθοδος FAO Penman –Monteith (1963-1964)
- δ) Η μέθοδος Priestley -Taylor (1972),
- ε) Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά FAO-24,
- ζ) Η μέθοδος Hargreaves (1989),
- η) Η μέθοδος από τον Κουτσογιάννη (1997),
- θ) Η μέθοδος Thornthwaite (1948) .

### A.1 Μέθοδος Penmann

Ο Penman (1948) ήταν ο πρώτος που έκανε εφικτή την εκτίμηση της εξάτμισης από μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου σε μία μόνο στάθμη της ατμόσφαιρας, μέσα από το συνδυασμό των δύο γνωστών τρόπων εκτίμησης της (εξίσωση μεταφοράς και εξίσωση ενεργειακού ισοζυγίου). Ως τότε η εκτίμηση της εξάτμισης προϋποθέτει τη μέτρηση όλων αυτών των παραγόντων σε δύο επίπεδα (επιφάνεια και ατμόσφαιρα). Η εξίσωση Penman κανονικά εφαρμόζεται για την εκτίμηση της εξάτμισης από υδάτινη επιφάνεια.

Μια βασική παραδοχή για την ανάπτυξή της, η οποία ευσταθεί για υδάτινη επιφάνεια, είναι ότι οι υδρατμοί κοντά στην επιφάνεια είναι κορεσμένοι. Η παραδοχή αυτή δεν ευσταθεί στην περίπτωση της διαπνοής, όπου οι υδρατμοί δεν είναι κορεσμένοι στην επιφάνεια των φύλλων. Παρόλη την αδυναμία της αυτή, η μέθοδος Penman έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από εδαφικές επιφάνειες (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Η εξίσωση του Penman είναι:

$$\lambda \cdot ET = [\Delta / (\Delta + \gamma)] \cdot (R_n - G) + [\gamma / (\Delta + \gamma)] \cdot \lambda \cdot 2,6 \cdot (0,5 + 0,53 \cdot u_2) \cdot D \quad (2.1)$$

**όπου:**

ET : η εξάτμιση (mm/day),

$\gamma$  : ο ψυχρομετρικός συντελεστής (kPa/°C)

$\Delta$  : η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών (kPa/°C) ,

Rn : η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας (mm/day),

G : η κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας προς το έδαφος (MJ/m<sup>2</sup>day)

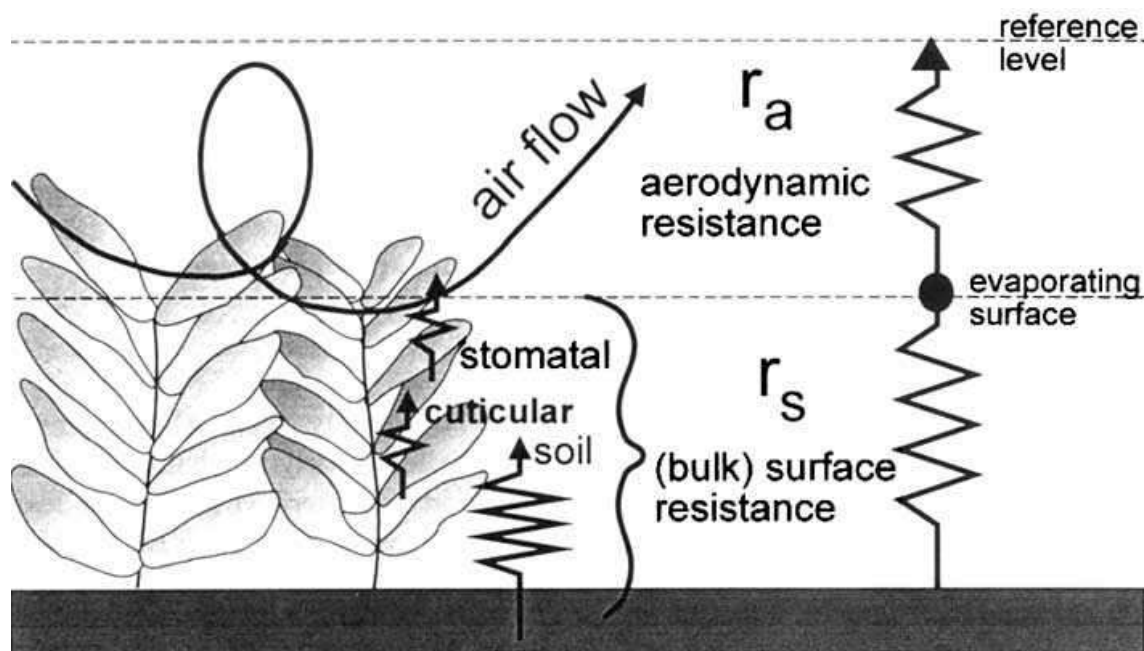
$\lambda$  : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (MJ/kg) ,

D = (ea-ed) : Το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών (kPa),

u2 : η μέση ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m.

## A.2 Η συνδυασμένη μέθοδος FAO Penman – Monteith

Για να αντιμετωπίσει την παραπάνω αδυναμία της μεθόδου Penman, ο Monteith (1965) αναδιατύπωσε τη μέθοδο εισάγοντας την επιφανειακή αντίσταση των στομάτων ( $r_s$ ) των φυλλωμάτων στην εξάτμιση. Προέκυψε έτσι η αποκαλούμενη μέθοδος Penman-Monteith, η οποία είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των φυτών και ειδικότερα της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, με τη διαφορά ότι δεν αρκούν πλέον τα τυπικά για τη μέθοδο Penman μετεωρολογικά δεδομένα αλλά χρειάζονται και μετρήσεις της επιφανειακής αντίστασης των φυλλωμάτων.



**Σχήμα A.1:** Απλοποιημένη αναπαράσταση της χοντροειδούς επιφανειακής και αεροδυναμικής αντίστασης για ροή υδρατμών (Πηγή: FAO, 1998. Ch. 2: 3)

Η χρήση της μεθόδου Penman-Monteith τείνει να γενικευτεί τα τελευταία χρόνια σε εκτιμήσεις εξατμισοδιαπνοής, λόγω της ακριβέστερης περιγραφής του φαινομένου (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Σύμφωνα με τον FAO (Food and Agriculture Organization), η μέθοδος FAO Penman-Monteith συστήνεται ως μόνη πρότυπη μέθοδος. Είναι μια μέθοδος με ισχυρή πιθανότητα σωστής εκτίμησης της ΕΤο σε μια ευρεία σειρά θέσεων και κλιμάτων και μπορεί να εφαρμοστεί και σε καταστάσεις μη πλήρων δεδομένων. (FAO, 1998.Ch. 2: 2).

Ο Monteith κατέληξε λοιπόν στην ακόλουθη τροποποιημένη σχέση Penman, γνωστή ως εξίσωση Penman-Monteith :

$$E_{to} = \{ 0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot [900 / (T + 273)] u^2 (e_a - e_d) \} / [\Delta + \gamma(1 + 0,34 u^2)] \quad (2.2)$$

Όπου :

ΕΤο : η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day),

T : η μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C),

e<sub>a</sub> : η πίεση κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία (kPa),

e<sub>d</sub> : η πραγματική πίεση υδρατμών της ατμόσφαιρας που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου (kPa),

(e<sub>a</sub>-e<sub>d</sub>) : έλλειμμα πίεσης κορεσμένων υδρατμών (kPa),

900 : συντελεστής της καλλιέργειας αναφοράς και 0.34=συντελεστής της ταχύτητας του ανέμου για την καλλιέργεια αναφοράς.

Οι υπόλοιπες μεταβλητές υπολογίζονται όπως ακριβώς και στη μέθοδο Penman.

## A.3 Η τροποποιημένη μέθοδος Penman κατά FAO-24 (ή μέθοδος των Doorenbos -Pruitt)

Οι Doorenbos and Pruitt (1977) πρότειναν ελαφρές τροποποιήσεις της μεθόδου Penman, χωρίς να εισαγάγουν στις τροποποιήσεις αυτές την έννοια της επιφανειακής αντίστασης. Η πρώτη τροποποίηση είναι η εισαγωγή του συντελεστή αναγωγής c που εξαρτάται από την μέγιστη σχετική υγρασία, την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος, την ταχύτητα ανέμου κατά την διάρκεια της νύχτας. Η δεύτερη τροποποίηση αφορά στη συνάρτηση ανέμου, η οποία είναι:

$$F(u) = 2,7 \cdot (1 + 0,86 \cdot u^2).$$

Από τη δεκαετία του 1970 μέχρι πρόσφατα η μέθοδος Doorenbos-Pruitt αποτέλεσε το διεθνές πρότυπο, γνωστό και ως πρότυπο F.A.O. (Food and Agriculture Organization), εκτίμησης των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών. Ως αποτέλεσμα όλων των τροποποιήσεων της μεθόδου Penman, η μέθοδος Doorenbos-Pruitt παρουσιάζει την τάση υπερεκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

Η μέθοδος των Doorenbos-Pruitt συνοψίζεται στην σχέση που δίνει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς για χορτοτάπητα και έχει τη μορφή:

$$E_{To} = c^* [\Delta/(\Delta+\gamma)] * (R_n - G) + [\gamma/(\Delta+\gamma)] * 2,7 * (1+0,864 * u_2) * D \quad (2.3)$$

όπου :

$E_{To}$  : η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day),

$c$  : ο συντελεστής αναγωγής,  $c = 0,88$  ,

$R_n$  : η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας (mm/day) ,

Οι υπόλοιπες μεταβλητές υπολογίζονται όπως ακριβώς και στη μέθοδο Penman.

## A.4 Η μέθοδος των Priestley-Taylor

Η υπολογιστική πολυπλοκότητα των παραπάνω μεθόδων οδήγησε πολλούς ερευνητές στην αναζήτηση απλοποιήσεων της, χρησιμοποιώντας κατά το δυνατό λιγότερα δεδομένα πρωτογενών μετρήσεων. Μια αρκετά διαδεδομένη, εύχρηστη και ικανοποιητικά ακριβής απλοποίηση είναι αυτή των Priestley and Taylor (1972) που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\lambda * E_{To} = \alpha * [\Delta/(\Delta+\gamma)] * (R_n - G) \quad (2.4)$$

Για εκτεταμένες επιφάνειες ξηράς και επιφάνειες νερού χωρίς μεταφορά ενέργειας, οι Priestley και Taylor βρήκαν ότι η καλύτερη τιμή είναι  $\alpha=1,26$ . Υπάρχουν όμως και ενδείξεις ότι το  $\alpha$  μπορεί να είναι ελαφρά μεγαλύτερο, κοντά στην τιμή 1,28. Οι υπόλοιπες μεταβλητές υπολογίζονται όπως ακριβώς και στη μέθοδο Penman.

Παρατηρούμε ότι η εξίσωση Priestley-Taylor χρησιμοποιεί μόνο τον ενεργειακό όρο της εξίσωσης Penman, τον οποίο επαυξάνει κατά 30% παραλείποντας τελείως τον όρο μεταφοράς. Κατά συνέπεια για την εφαρμογή της δε χρειάζεται να είναι γνωστή η ταχύτητα ανέμου και τα παρεπόμενα μεγέθη (τραχύτητα, επιφανειακή αντίσταση κλπ.).

Η μέθοδος έχει προταθεί ως εφαρμόσιμη τόσο για την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες όσο και για τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή εδαφών (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

## A.5 Η μέθοδος από τον Κουτσογιάννη

Μια ακριβέστερη μέθοδος (Κουτσογιάννης, 1997) στηρίζεται στην εφαρμογή της παρακάτω εμπειρικής σχέσης. Οι άγνωστοι παράμετροι  $a$ ,  $b$ ,  $c$  υπολογίζονται από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, χρησιμοποιώντας τα υπολογισμένα με τη μέθοδο Penman δεδομένα της εξάτμισης  $E$  (mm/d) και τα αντίστοιχα δεδομένα θερμοκρασίας  $T_a$  ( $^{\circ}C$ ) και εξωγήινης ακτινοβολίας  $S_o$  ( $kJ/(m^2 d)$ ) σύμφωνα με την εξίσωση :



$$ET = (\alpha * So - b) / (1-c * Ta) \quad (2.5)$$

Με την μέθοδο της γεωγραφικής παρεμβολής παραμέτρων βρέθηκε ότι για την περιοχή της Χαλκιδικής οι παράμετροι είναι  $c = 0,025140$ ,  $\alpha = 0,000055$  και  $b = 0$ , (Τέγος, 2007). Η εξωγήινη ακτινοβολία  $So$  μπορεί να υπολογισθεί όπως θα αναφερθεί παρακάτω ενώ οι τιμές της θα παρθούν από τον σχετικό πίνακα.

## A.6 Εμπειρικά μοντέλα

Μια άλλη κατηγορία απλοποιημένων μεθόδων προέκυψε με καθαρά εμπειρικές θεωρήσεις, χωρίς τη θεωρητική βάση των μεθόδων συνδυασμού, που περιγράφηκαν παραπάνω, οι οποίες απαιτούν πολύπλοκους υπολογισμούς και πολλά δεδομένα εισόδου. Αρκετές από αυτές βασίζονται στη θερμοκρασία και μόνο, ενώ άλλες είναι πιο σύνθετες.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι πιο διαδεδομένες:

### A.6.1 Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά FAO-24

Η διαδικασία των Blaney-Criddle για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών αναπτύχθηκε κατ'αρχή στις δυτικές ΗΠΑ αλλά γρήγορα έτυχε παγκόσμιας αποδοχής στα χρόνια που ακολούθησαν. Η αρχική διαδικασία βασίστηκε σε μετρήσεις εξατμισοδιαπνοής που έγιναν τις δεκαετίες 1920 και 1930, με παρακολούθηση των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας σε δείγματα εδάφους. Οι Blaney και Morin (1942) ανέπτυξαν μια πρώτη εμπειρική σχέση που βρίσκεται στην συσχέτιση της εξατμισοδιαπνοής με τη μέση θερμοκρασία του αέρα, το μέσο ποσοστό των ωρών ημέρας και τη μέση σχετική υγρασία.

Η σχέση αυτή αργότερα τροποποιήθηκε από τους Blaney και Criddle (1950, 1962) και των Blaney et al (1952) με απαλοιφή του όρου της σχετικής υγρασίας, οπότε πήρε την τελική της μορφή.

Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε πολλές χώρες και ειδικότερα στην Ελλάδα για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών. Η σχέση εκτιμά την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς με βάση τον χορτοτάπητα και γράφεται:

$$ET_o = a + bf \quad (2.6)$$

όπου

$$f = (0,46T + 8,13) p$$

a και b συντελεστές που υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$a = (0.0043 * RH_{min}) - (n/N) - 1.41$$



$$b = 0.82 - (0.0041 \cdot RH_{min}) + 1.07 \cdot (n/N) + 0.066 \cdot u - 0.006 \cdot RH_{min} \cdot (n/N) - 0.0006 \cdot RH_{min} \cdot u$$

ET<sub>o</sub> : η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day),

RH<sub>min</sub> : η ελάχιστη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας σαν ποσοστό %

u : η ταχύτητα ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας σε m/s, μετρημένη σε ύψος 2 m

ρ : το ημερήσιο ποσοστό ωρών ημέρας, οι τιμές της θα παρθούν από τον σχετικό πίνακα

## A.6.2 Η μέθοδος Thornthwaite

Ο Thornthwaite το 1948, περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (ET<sub>p</sub>). Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί στην πράξη περισσότερο από κάθε άλλη, διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα, λόγω των φειδωλών απαιτήσεων της σε δεδομένα εισόδου (μόνο μέση θερμοκρασία) αλλά και της παλαιότητας της (1948). Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή κάποιου μήνα υπολογίζεται από την σχέση :

$$E_p = 16 \cdot (10 T_i/J)^\alpha \cdot (\mu \cdot N/360) \quad (2.7)$$

όπου :

T<sub>i</sub> : η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C,

μ : ο αριθμός των ημερών του μήνα μελέτης ,

N η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας , οι τιμές της θα παρθούν από τον σχετικό πίνακα,

J : ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας ,

α : μια εμπειρική παράμετρος που εξαρτάται από το δείκτη J .

$$\alpha = 0.016 \cdot J + 0.5$$

Ο δείκτης θερμοκρασίας J, δίνεται από τη σχέση:

$$J = \sum_{i=1}^{12} i_j$$

Ο μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας i<sub>j</sub> είναι συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας :

$$i_j = 0.09 T_{ij}^{3/2}$$

Η μέθοδος παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, αφού η υπολογιζόμενη ET υποεκτιμάται, όταν η ακτινοβολία που προσλαμβάνει η γη έχει τη μέγιστη τιμή της (διάρκεια του

καλοκαιριού) και κατά συνέπεια είναι και το φθινόπωρο εκτός φάσης. Αυτό αποδίδεται από πολλούς ερευνητές στη χρονική υστέρηση που παρουσιάζει η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ως προς την ακτινοβολία. Μεγάλη υποεκτίμηση της  $ET$  με αυτή τη μέθοδο διαφαίνεται στα ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Επίσης, η χρησιμοποίηση της μεθόδου για μικρά χρονικά διαστήματα οδηγεί πολλές φορές σε σοβαρά λάθη, διότι η μέση θερμοκρασία μικρών χρονικών περιόδων δεν αποτελεί κατάλληλο μέτρο της εισερχόμενης ακτινοβολίας.

Η μέθοδος είναι περισσότερο κατάλληλη για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τόσο η θερμοκρασία όσο και η  $ET$  είναι όμοιες συναρτήσεις της καθαρής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου αυτοσυσχετίζονται όταν οι θεωρούμενες χρονικές περίοδοι είναι μεγάλες (Τσακίρης, 1995).

### A.6.3 Η μέθοδος Hargreaves

Είναι μια σχετικά πρόσφατη εμπειρική μέθοδος εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, που απαιτεί μόνο την ύπαρξη χρονοσειράς θερμοκρασίας με μηνιαίο ή και ημερήσιο χρονικό βήμα, η δε τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς  $E_{to}$  σε mm/d υπολογίζεται από την σχέση :

$$E_{to} = 0.0023 (S_0/\lambda) (T_a + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (2.8)$$

όπου :

$E_{to}$  : η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/d,

$S_0$  : η εξωγήινη ακτινοβολία σε  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{ d})$ , από πίνακα 1 .

$\lambda$  : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,

$T_a$  : η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$T_{max} - T_{min}$  : η διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας σε ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Η μέθοδος φαίνεται ότι δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με σφάλμα της τάξης του 10-15% ή του 1 mm/d και συστήνεται ως μια ανεκτή προσέγγιση για την περίπτωση που τα μόνα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα είναι τα θερμοκρασιακά.