

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για λόγους επιχειρησιακής στρατηγικής που σχετίζονται με την εν γένει ορθολογικότερη χρήση του νερού, κρίνεται σκόπιμο να γνωρίζουμε την τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Προς τούτο, έχουν αναπτυχθεί διάφορες πειραματικές και θεωρητικές μέθοδοι που έχουν, όμως, για διαφορετικούς λόγους, περιορισμένη αξία. Το υπολογιστικό μοντέλο Morton, παρότι είναι σχετικά απλό καθώς απαιτεί ελάχιστα, εύκολα αποκτήσιμα γεωγραφικά και κλιματολογικά στοιχεία, δεν έτυχε μέχρι σήμερα ευρείας χρήσης. Στη συγκεκριμένη εργασία διαφαίνεται καθαρά η χρηστική αξία του υπολογιστικού μοντέλου Morton που, όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς και τις συγκρίσεις, προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική εξατμισοδιαπνοή στη θεσσαλική πεδιάδα.

ABSTRACT

For operational strategy reasons, which are related to the overall most rational use of water supplies, is considered appropriate to know the value of the real evapotranspiration. Thus, various experimental and theoretical methods have been developed, which have, though, limited value different reasons. The Morton model, although it is relatively simple and requires only limited and easily acquired geographical and climatological data, hasn't been widely used until today. In this paper, the value of usage of the Morton model becomes clear, as it emerges from calculations and comparisons and approaches in a satisfactory level the real values of evapotranspiration in the plains of Thessaly.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ορθολογική χρήση νερού, Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή, Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς, Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή, Κλιματολογικά στοιχεία, Μοντέλο Morton.

KEYWORDS: Rational use of water, Dynamic Evapotranspiration, Areal Evapotranspiration, Real Evapotranspiration, Climatological data, Morton model.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επειδή η απώλεια σε νερό από την εξάτμιση του εδάφους είναι δύσκολο να διακριθεί από εκείνη που οφείλεται στο φαινόμενο της διαπνοής των φυτών, επικράτησε να αντιμετωπίζεται ενιαία ως «εξατμισοδιαπνοή». Προφανώς, η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζει το υδατικό περιεχόμενο του εδάφους. Πρώτος ο Thornthwaite(1948), θεώρησε ότι στο έδαφος δεν υπάρχει έλλειψη νερού και εισήγαγε έναν νέο όρο, τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή εκφράζει τη μέγιστη δυνατή εξατμισοδιαπνοή με επάρκεια νερού και βλάστησης. Το αποτέλεσμα του Thornthwaite ήταν μια εμπειρική σχέση μεταξύ της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της μέσης θερμοκρασίας του αέρα που χρησιμοποιήθηκε κατά το παρελθόν για κλιματική ταξινόμηση. Την ίδια εποχή ο Penman(1948) όρισε ως δυνητική εξατμισοδιαπνοή, την εξατμισοδιαπνοή που προκύπτει από έδαφος με συνεχή χαμηλή βλάστηση και επάρκεια νερού. Η εξίσωση που ανέπτυξε απαιτεί μετρήσεις πολλών κλιματολογικών μεγεθών, εξελίχθηκε στο πέρασμα του χρόνου και εμπλουτίστηκε αρκετά, ώστε να έχει ευρεία απήχηση μέχρι σήμερα.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιήθηκε κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές με την ίδια ή παρόμοια ορολογία. Σημειώνεται ότι οι Doorenbos & Pruitt(1977) εισήγαγαν τον παρεμφερή όρο της «εξατμισοδιαπνοής αναφοράς». Ο συγκεκριμένος όρος είναι ο περισσότερο πρόσφορος στη διατύπωση και επεξεργασία προβλημάτων που σχετίζονται κυρίως με γεωργικές εφαρμογές. Από τις διάφορες μεθόδους που κατά καιρούς αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, η τροποποιημένη μέθοδος FAO-24 Penman χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα και αποτελούσε για πολλά χρόνια μία από τις πιο ολοκληρωμένες και αξιόπιστες

1:THE OPTIMUM, ACCORDING TO MORTON, ESTIMATION OF THE EVAPOTRANSPIRATION

2:ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - 38221 ΒΟΛΟΣ

μεθόδους. Ώσπου, η επιτροπή εμπειρογνομόνων του FAO το 1994, μετά από ενδελεχή αξιολόγηση των συναφών μεθόδων με στοιχεία ερευνητικών εργασιών και δεδομένων που μέχρι τότε είχαν δει το φως της δημοσιότητας, πρότειναν την τροποποιημένη μέθοδο FAO Penman-Montieth η οποία θεωρείται δημοφιλής μέχρι σήμερα.

Όμως, η εν γένει ορθολογική χρήση του νερού, εξαρτάται κυρίως από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος προσδιορισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι εκείνη που βασίζεται στην εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και στην καλύτερη περίπτωση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Ο Bouchet (1963), διατύπωσε τη λεγόμενη συμπληρωματική σχέση μεταξύ της δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εκτεταμένων επιφανειών, που έκτοτε αποτελεί την βάση ανάπτυξης απλών μοντέλων για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μεγάλων επιφανειών. Το κύριο πλεονέκτημα όλων των μεθόδων που βασίζονται σ' αυτή τη σχέση, είναι ότι απαιτούν μόνο μετεωρολογικά δεδομένα και έτσι απλοποιείται η διαδικασία αναγωγής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Τσακίρης-Παπαϊωάννου κ.α. 1995).

Για λόγους επιχειρησιακής στρατηγικής που σχετίζονται με την ορθολογική χρήση του νερού, κρίνεται σκόπιμο να γνωρίζουμε το μέγεθος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Για τον πειραματικό υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής επινοήθηκαν διάφορα όργανα που δεν μπορούν όμως να δώσουν τις ακριβείς αντιπροσωπευτικές τιμές μιας περιοχής. Η δυσκολία βρίσκεται στο ότι είναι ακατόρθωτο να δημιουργηθεί μια φυσική επιφάνεια εξατμισοδιαπνοής (Ζαμπάκας 1981). Ακόμα και οι θεωρητικές μέθοδοι που αναπτύχθηκαν έχουν περιορισμένη αξία, αφού είναι οικονομικά ασύμφορες και προσεγγίζουν την πραγματικότητα για πολύ μικρούς χώρους.

Για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, εκτός από την μέθοδο που στηρίζεται στο εδαφικό ισοζύγιο ύδατος, χρησιμοποιούνται κι άλλες που βασίζονται μόνο σε μετεωρολογικές παραμέτρους. Από τις τελευταίες, η αεροδυναμική μέθοδος, η μέθοδος των κατακόρυφων αποκλίσεων και βέβαια η μέθοδος του εδαφικού ισοζυγίου ύδατος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, με τον περιορισμό η έκταση να είναι μικρή και το ύψος από την επιφάνεια ελάχιστο. Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εκτεταμένης επιφάνειας δεν υπάρχουν αναλυτικές μέθοδοι. Έχουν, όμως, αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές που φέρουν, ανάλογα της περίπτωσης εφαρμογής, ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η αξιοπιστία τους εξαρτάται κυρίως από το πλήθος και το είδος των στοιχείων που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, οι Thornthwaite & Mather (1955), αναθεωρώντας προηγούμενες εργασίες τους που βασίζονται στην εξίσωση του εδαφικού ισοζυγίου ύδατος, ανέπτυξαν μέθοδο για την εκτίμηση της μέσης μηνιαίας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Μια άλλου είδους μέθοδος, καθαρά υπολογιστική, που στηρίζεται στην συμπληρωματική σχέση Bouchet είναι αυτή που βασίζεται στο μοντέλο του Morton (1975, 1976). Η μέθοδος Morton χρησιμοποιεί την εξίσωση Penman (1948, 1961), λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των αλλαγών της θερμοκρασίας του εδάφους στην εκτίμηση της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (Kohler & Parmele 1971, Priestley & Taylor 1972) και αντικαθιστώντας σ' αυτήν τον αεροδυναμικό όρο από μια εμπειρική σταθερά. Με την συγκεκριμένη αντικατάσταση, δεν υφίσταται πλέον η ανάγκη για μετρήσεις ανέμου. Ο ίδιος ο Morton (1983, 1986) διαπιστώνει ότι η μέθοδος που προτείνει δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για μεγάλες περιοχές και υδρολογικές λεκάνες. Γενικά, το μοντέλο Morton το οποίο απαιτεί υποστήριξη H/Y, χαρακτηρίζεται από μαθηματικό φορμαλισμό, ενώ μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει διάχυτη η στοχαστική διαδικασία βελτίωσης των εμπειρικών σταθερών.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού της δυνητικής και κατόπιν της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, χρησιμοποιώντας το μοντέλο Morton. Παρότι το μοντέλο Morton απαιτεί λίγα γεωγραφικά δεδομένα (γεωγραφικό πλάτος για την εκτίμηση της συνολικής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας, υψόμετρο για εκτίμηση της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης) και βασικά κλιματολογικά στοιχεία (θερμοκρασία αέρα, σημείο δρόσου, κλάσμα ηλιοφάνειας), μέχρι σήμερα δεν έτυχε ευρείας χρήσης. Και τούτο, παρότι έχει βρεθεί ότι τα λάθη που συνοδεύουν τα απλά μοντέλα διαχείρισης νερού βρίσκονται μέσα στο όριο των στατιστικών λαθών (Rogers 1978). Η Θεσσαλική πεδιάδα επιλέχτηκε διότι αποτελεί κατεξοχήν γεωργική περιοχή με μεγάλες υδατοαπαιτήσεις και επειδή εμφανίζει έντονα προβλήματα διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Σημειώνεται ότι η παράθεση των εξισώσεων του μοντέλου Morton (Σταχτιάς 1998) αποφεύγεται για λόγους οικονομίας χώρου. Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εξής: Αρχικά το μοντέλο μετατρέπεται σε αλγόριθμο και στη συνέχεια προκύπτει το αντίστοιχο πρόγραμμα, οπότε γίνεται η εκτέλεσή του σε Η/Υ. Το πρώτο πράγμα που αναζητείται είναι η γραφική αποτύπωση της συμπληρωματικής σχέσης η οποία αποτελεί την ειδοποιό διαφορά του μοντέλου. Κατόπιν, με βάση το ίδιο πρόγραμμα, αντικαθίσταται η σταθερά του αεροδυναμικού όρου που υπάρχει στο μοντέλο με μια μέση τιμή που προήλθε από επεξεργασία τοπικών στοιχείων ανέμου και ελέγχεται γραφικά η τροποποίηση των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί συγκριτική γραφική μελέτη της σχέσης που μπορεί να έχει το συνολικό ύψος υετού με την εκτιμώμενη και στις δύο περιπτώσεις δυνητική και πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Ακόμη, επιχειρείται μια σύγκριση μεταξύ των τιμών της εξατμισοδιαπνοής που υπολογίστηκαν με αυτές που προκύπτουν από την προσέγγιση που βασίστηκε στις τιμές του εξατμισόμετρου.

ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη μελέτη χορηγήθηκαν από την ΕΜΥ, αφορούν την 15/ετία 1973-1987 και αναφέρονται στους τρεις κυριότερους σταθμούς της Θεσσαλίας, δηλαδή των Τρικάλων, της Λάρισας και του Βόλου. Αξίζει να σημειώσουμε ότι οι δύο πρώτοι μετεωρολογικοί σταθμοί αντιπροσωπεύουν μια ενιαία γεωμορφολογική λεκάνη, ενώ ο τρίτος είναι χαρακτηριστικός μιας άλλης πολύ μικρότερης και σχεδόν ανεξάρτητης. Τα δεδομένα αφορούν τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας, ξηρού και υγρού θερμομέτρου, καθώς επίσης και το συνολικό ποσό ηλιοφάνειας. Επίσης έχουμε στη διάθεσή μας τις τιμές του συνολικού ποσού υετού για την εξεταζόμενη περίοδο. Ακόμα μας έχουν παραχωρηθεί οι μετρήσεις του εξατμισόμετρου για το χρονικό διάστημα 1977-1987.

Οι αμελητέες αποκλίσεις στα γεωγραφικά πλάτη των τόπων των σταθμών, μας επιτρέπουν να θεωρήσουμε σταθερές τις μέσες μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (σε langley) στο όριο της ατμόσφαιρας, καθώς επίσης και τη θεωρητική ηλιοφάνεια. Η μετατροπή των μονάδων ακτινοβολίας από mm εξατμιζόμενου ύδατος σε langley γίνεται με βάση τη σχέση: $1 \text{ langley/day} = 1/59 \text{ mm/day}$. Όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις της πραγματικής ηλιοφάνειας, αυτή εκτιμάται για πρακτικούς λόγους, από την μέση τιμή των μέσων μηνιαίων διαθέσιμων τιμών του σταθμού της Λάρισας για την δεκαεξαετία 1959-1975.

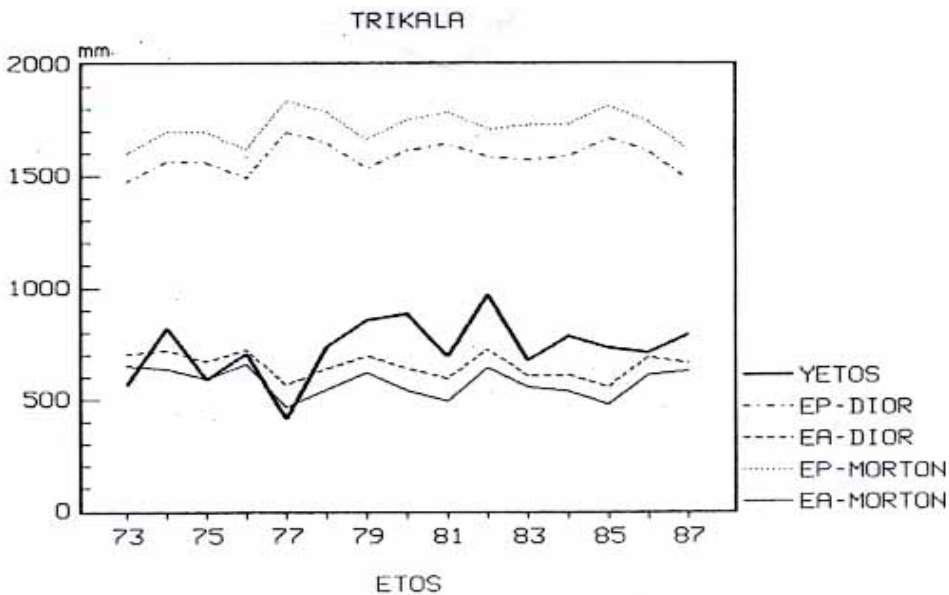
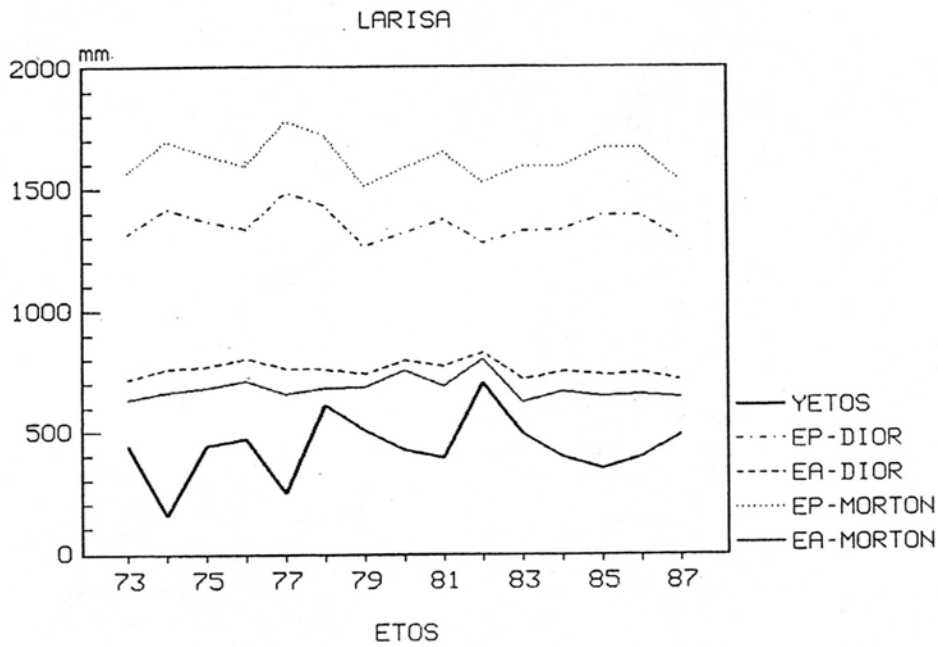
Λαμβάνεται πρόνοια, με την ενσωμάτωση ειδικού υποπρογράμματος, ακριβούς προσδιορισμού των ημερών κάθε μήνα, ακόμα κι όταν το έτος είναι δίσεκτο. Επίσης λαμβάνεται μέριμνα ώστε, να μην ισχύει κάποιος από τους περιορισμούς που θέτει το μοντέλο (Σταχτιάς 1998). Κάθε φορά που εμφανίζεται παρατυπία, εξισώνονται οι μεταβλητές με τις ιδιάζουσες τιμές. Το σημείο δρόσου υπολογίζεται σε °C με έμμεσο τρόπο (Σταχτιάς 1998) από τη σχετική υγρασία RH και την θερμοκρασία T του τόπου σύμφωνα με τη σχέση: $TD = (112 + 0,9 \cdot T) \cdot RH^{1/8} + 0,1 \cdot T - 112$.

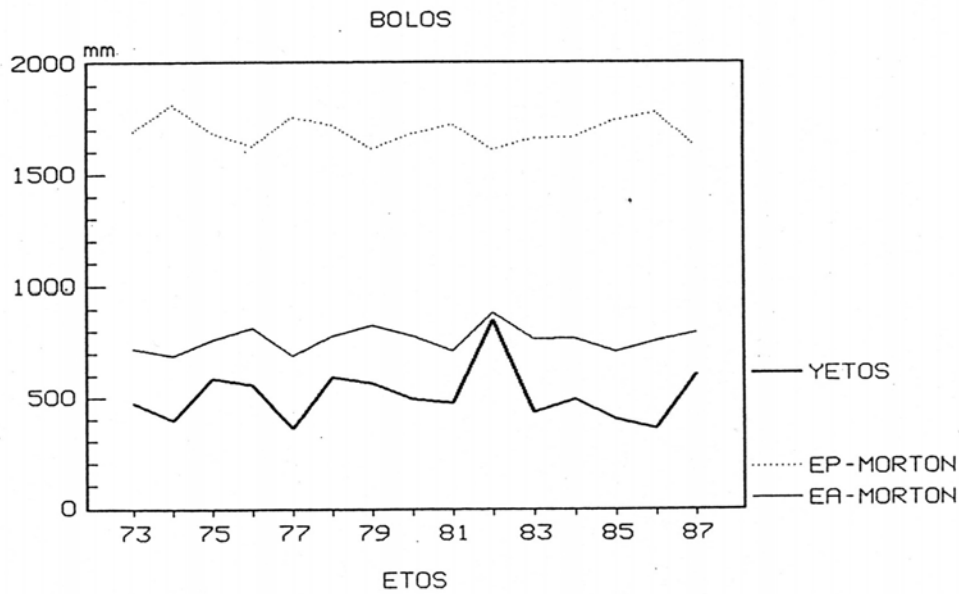
Το κύριο πρόγραμμα Η/Υ που κατασκευάστηκε για την επεξεργασία των στοιχείων, αποτελεί πιστή υλοποίηση του μοντέλου Morton (1976). Με το ίδιο πρόγραμμα εξαγονται και οι βελτιωμένες τιμές που προκύπτουν μετά την αντικατάσταση της εμπειρικής σταθεράς του αεροδυναμικού όρου από ειδικό συντελεστή που έχει εξαχθεί από τοπικά στοιχεία ανέμου.

Τα αποτελέσματα αφορούν τις μέσες τιμές δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για κάθε μήνα (σε mm/day) στη 15/ετία και για κάθε σταθμό. Αυτά συγκρίνονται με τα αντίστοιχα βελτιωμένα αποτελέσματα αλλά και με τις τιμές του εξατμισόμετρου. Οι τελευταίες, για τους συγκεκριμένους σταθμούς, θεωρείται ότι προσαρμόζονται στην πραγματικότητα χωρίς μεγάλη βλάβη, εάν πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή 0,8 (Pruitt 1966, Stewart-Rouse 1977, Tan-Fulton 1980). Από τις μέσες μηνιαίες τιμές εξάγεται και το συνολικό ποσό εξατμισοδιαπνοής κατ' έτος (σε mm) για το οποίο γίνονται ακριβώς οι ίδιες συγκρίσεις.

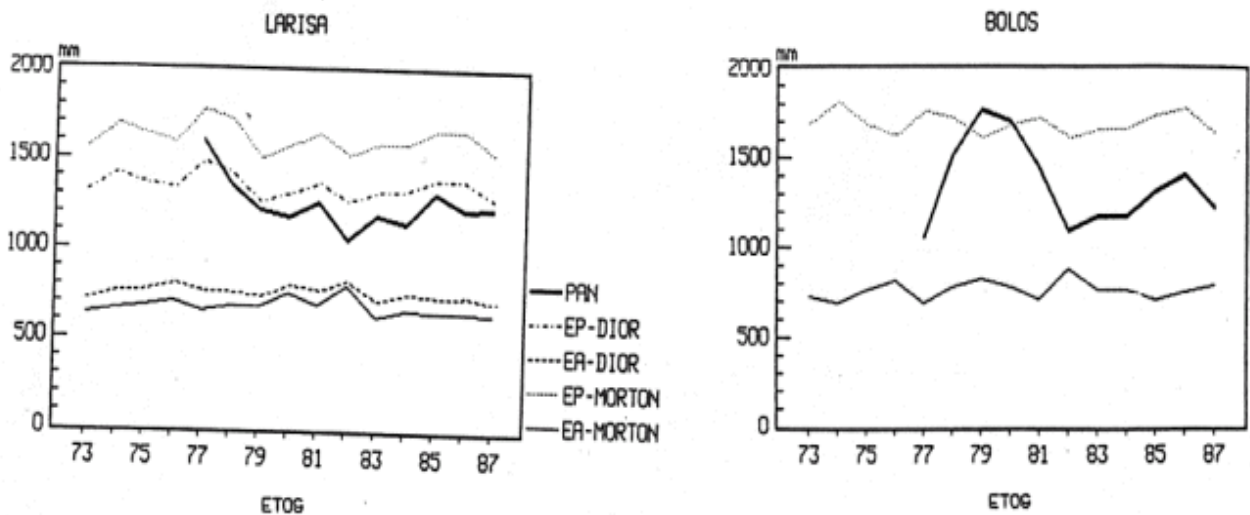
Οι γραφικές παραστάσεις που παρουσιάζονται και χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων χαράχθηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου PC SPSS. Σ' αυτές, τα σύμβολα "EP" και "EA" δηλώνουν τη δυνητική και πραγματική εξατμισοδιαπνοή, αντίστοιχα. Όπου υπάρχει η ένδειξη "MORTON" απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αρχική πιστή εκτέλεση του ομώνυμου μοντέλου, ενώ όπου υπάρχει η ένδειξη "DIOR" απεικονίζονται αυτά ύστερα από την προσαρμογή της σταθεράς του αεροδυναμικού όρου. Η ένδειξη "PAN" δείχνει την εξατμισοδιαπνοή, έτσι όπως αυτή εξάγεται με βάση τις τιμές από το εξατμισόμετρο. Η ένδειξη "YETOS" δείχνει το συνολικό ποσό υετού.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα επεξεργασίας των στοιχείων με τη μορφή γραφικών παραστάσεων. Το περιεχόμενο των γραφικών παραστάσεων δηλώνεται από τις αντίστοιχες επεξηγήσεις που συνοδεύουν τα γραφήματα.

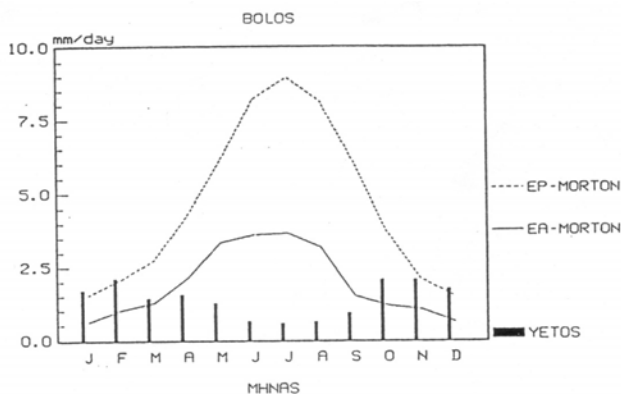


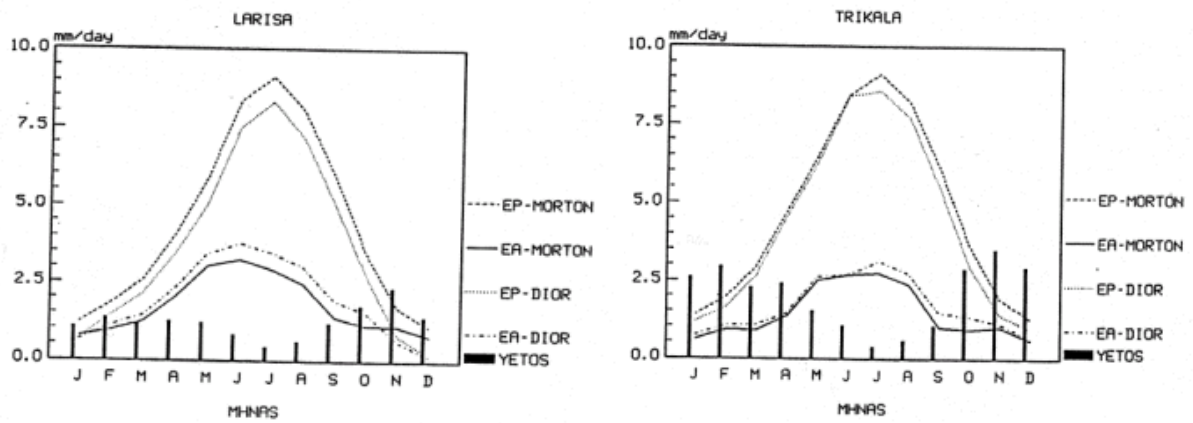


Σχήμα 1: 15/ετής πορεία των μεγεθών YETOS, EP-DIOR, EA-DIOR, EP-MORTON, EA-MORTON για τις περιοχές Λάρισας, Τρικάλων και Βόλου (Graphs of YETOS, EP-DIOR, EA-DIOR, EP-MORTON, EA-MORTON over a period of 15 years that concern Larisa, Trikala and Volos).

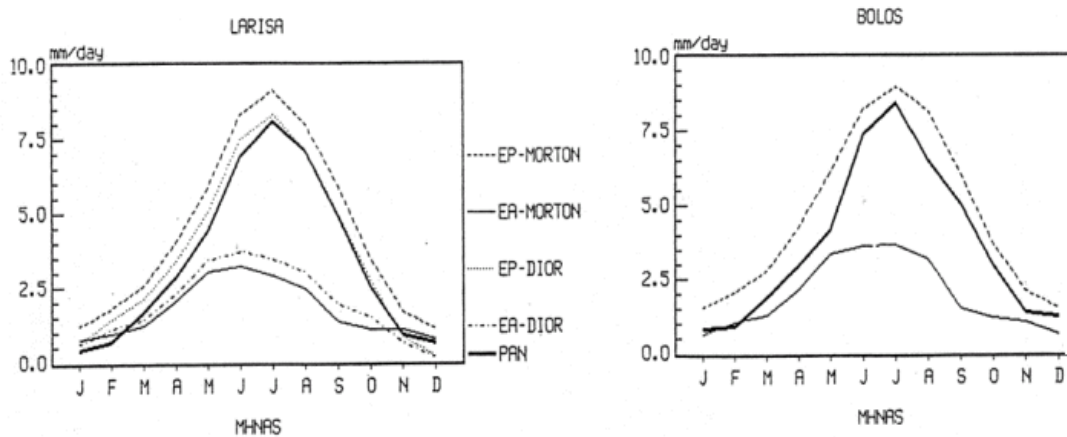


Σχήμα 2: 15/ετής πορεία των μεγεθών PAN, EP-DIOR, EA-DIOR, EP-MORTON, EA-MORTON για τη Λάρισα και το Βόλο (Graphs of PAN, EP-DIOR, EA-DIOR, EP-MORTON, EA-MORTON over a period of 15 years that concern Larisa and Volos).





Σχήμα 3: Ετήσια πορεία των μεγεθών EP-MORTON, EA-MORTON, EP-DIOR, EA-DIOR, YETOS για τον Βόλο, τη Λάρισα και τα Τρίκαλα (Graphs of EP-MORTON, EA-MORTON, EP-DIOR, EA-DIOR, YETOS over a period of one year that concern Volos, Larisa and Trikala).



Σχήμα 4: Ετήσια πορεία των μεγεθών EP-MORTON, EA-MORTON, EP-DIOR, EA-DIOR, PAN για τη Λάρισα και τον Βόλο (Graphs curve of EP-MORTON, EA-MORTON, EP-DIOR, EA-DIOR, PAN over a period of one year that concern Larisa and Volos).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις γραφικές παραστάσεις της 15ετούς πορείας της δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια και για όλους τους σταθμούς (σχ:1) διακρίνουμε με εποπτικό τρόπο την αποτύπωση της συμπληρωματικής σχέσης που, επειδή ενπεριέχεται στο μοντέλο, τις χαρακτηρίζει. Δηλαδή, διαπιστώνουμε ότι όταν η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι χαμηλή και αντιστρόφως.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, κατά Morton, παρουσιάζει ακριβώς την ίδια μορφή και για τους τρεις σταθμούς, με μέση απόκλιση άκρων τιμών περίπου 100 mm. Μετά την προσαρμογή της τιμής του αεροδυναμικού όρου, από στοιχεία ανέμου της κάθε περιοχής, προκύπτει ανάλογη καμπύλη με υποβιβασμένες τιμές.

Μεταξύ των σταθμών Τρικάλων και Λάρισας μεγαλύτερη πτώση τιμών παρουσιάζεται στον δεύτερο (σχεδόν διπλάσια από τον πρώτο), γεγονός που ερμηνεύεται από την ανεπάρκεια της σταθεράς που χρησιμοποιεί το μοντέλο να πλησιάσει αριθμητικά τον αεροδυναμικό όρο της εξίσωσης Penman. Εξάλλου, η Λάρισα είναι μια ξηρή περιοχή με σχετικά χαμηλή ένταση ανέμου.

Η πορεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής δεν παρουσιάζει, μεταξύ των σταθμών, την ομοιότητα της δυνητικής. Σημαντική διαφοροποίηση διαπιστώνεται, ειδικότερα, στη Λάρισα.

Η προσαρμογή της σταθεράς του αεροδυναμικού όρου, αυξάνει τις τιμές της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μέση τιμή της βελτίωσης των αποτελεσμάτων είναι σημαντικά μικρότερη απ' αυτή που αντιστοιχεί στη βελτίωση των τιμών της

δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (περίπου η μισή). Περισσότερη ομοιομορφία μεταξύ αρχικών και βελτιωμένων τιμών παρουσιάζει ο σταθμός των Τρικάλων.

Παρατηρώντας την πορεία του υετού στην 15/ετία, εκείνο που διαπιστώνεται αμέσως, είναι η ταύτιση των ετών όπου παρουσιάζεται σε κάθε σταθμό το μέγιστο (1982) και το ελάχιστο (1977). Ιδιαίτερα στα Τρίκαλα εμφανίζεται σημαντικά μεγάλο ποσό υετού και μάλιστα, σχεδόν πάντα υψηλότερο από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Στη Λάρισα και στον Βόλο η μορφή ομοιάζει αρκετά, ενώ το ποσό υετού είναι πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Σ' αυτούς τους δύο σταθμούς, το 1982, διαπιστώνεται μηδαμινή διαφορά μεταξύ πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και υετού.

Από κλιματολογικής πλευράς, οι σταθμοί των Τρικάλων και της Λάρισας διαφέρουν. Ο πρώτος είναι ημίυγρος με μέτριο πλεόνασμα νερού, ενώ ο δεύτερος είναι ξηρός με ασημαντο πλεόνασμα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, θα περίμενε κανείς να διαπιστώσει κάποια αντίθεση στην πορεία της εξατμισοδιαπνοής, μεταξύ των δύο σταθμών. Προφανώς, όμως, τούτο δεν συμβαίνει εξαιτίας της ελάχιστης κλιματολογικής διαφοράς, αλλά κυρίως της μικρής απόστασης.

Η εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από στοιχεία του εξατμισίμετρου μετά την προσαρμογή (σχ:2), φαίνεται σε κάποιες περιόδους να δίνει καμπύλη συμβιβαστή με την καμπύλη της εκτιμώμενης εξατμισοδιαπνοής, αλλά υπάρχουν και ορισμένες ακανόνιστες μορφές που δεν μπορούν να ερμηνευθούν.

Εξετάζοντας, στη συνέχεια, την ετήσια πορεία της δυναμικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (σχ:3), παρατηρούμε ότι αυτή είναι όμοια για όλους τους σταθμούς. Εμφανίζεται, δηλαδή, ένα μέγιστο κατά τη θερινή περίοδο κι ένα ελάχιστο κατά τη χειμερινή. Η ύπαρξη αυτών των μεγίστων στη διάρκεια του καλοκαιριού ερμηνεύεται από την αύξηση της καθαρής ακτινοβολίας και του κοροπληρώματος που παρατηρείται αυτή την περίοδο.

Η μορφή των καμπύλων της δυναμικής, αλλά κυρίως της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, προσεγγίζει στατιστικά την κανονική κατανομή. Το μέγιστο, για κάθε σταθμό, παρουσιάζεται τον μήνα Ιούλιο, ενώ το ελάχιστο μεταξύ των μηνών Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου. Η απόκλιση μεταξύ των τιμών της δυναμικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, γίνεται μέγιστη κατά την θερινή περίοδο και ελάχιστη κατά την χειμερινή.

Σε όλους τους σταθμούς, η τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, κατά την περίοδο Μαρτίου-Οκτωβρίου, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή του υετού. Η τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερη από τον υετό κατά την περίοδο Μαρτίου-Σεπτεμβρίου στη Λάρισα, Μαΐου-Σεπτεμβρίου στα Τρίκαλα και Απριλίου-Σεπτεμβρίου στο Βόλο.

Η προσαρμογή της σταθεράς του αεροδυναμικού όρου από στοιχεία ανέμου, υποβιβάζει τις τιμές της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, περίπου κατά 0,5 mm/day. Ο υποβιβασμός αυτός είναι σχεδόν ανύπαρκτος από τον Μάρτιο μέχρι και τον Ιούνιο στο σταθμό των Τρικάλων. Τούτο θα μπορούσε να ερμηνευτεί από τα εποχικά χαρακτηριστικά του ανέμου στο συγκεκριμένο σταθμό.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, για τον σταθμό της Λάρισας, η βελτιωμένη τιμή υπερέχει περίπου κατά 1,2 mm/day, από εκείνη που υπολογίζεται με βάση μόνο την εξίσωση Penman. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η ετήσια πορεία των προσαρμοσμένων τιμών του εξατμισίμετρου (σχ:4), πλησιάζει πολύ την πορεία των βελτιωμένων τιμών της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής.

Οι βελτιωμένες τιμές της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι σαφώς ανώτερες από αυτές που προκύπτουν από την πιστή εφαρμογή του μοντέλου Morton. Η βελτίωση είναι περισσότερο αισθητή και σταθερή στο σταθμό της Λάρισας. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι οι βελτιωμένες τιμές δυναμικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε όλους τους σταθμούς, σχεδόν ταυτίζονται κατά την περίοδο του χειμώνα, γεγονός που διαπιστώνεται πειραματικά και είναι ενθαρρυντικό, σε ότι αφορά, τουλάχιστον, την αρχή λειτουργίας του μοντέλου.

Επειδή μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν αξιόπιστες μετρήσεις πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μεγάλης επιφάνειας, επιχειρώντας μια σύγκριση μεταξύ των τιμών της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (ακόμα και των βελτιωμένων), που προμηθεύει η εφαρμογή του μοντέλου Morton και αυτών που προκύπτουν από άλλες μεθόδους, διαπιστώνουμε μια υπερεκτίμηση που μπορεί να φτάνει ακόμη και μέχρι 3 mm/day. Το τελευταίο, όμως, δεν είμαστε σε θέση να διαγνώσουμε τι επιπτώσεις έχει στον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Γενικά, όμως, επειδή το μοντέλο είναι απλό και δεν δίνει απαράδεκτες τιμές, κρίνεται σκόπιμο να εφαρμοστεί, αρχικά πειραματικά και στη συνέχεια επιχειρησιακά, στον γενικότερο προγραμματισμό ύδατος για διάφορες χρήσεις. Ενδιαφέρον θα είχε επίσης να διερευνηθεί η δυνατότητα να εμπλουτιστεί με το υπολογιστικό μοντέλο ένα πληροφοριακό σύστημα ορθολογικής χρήσης νερού. Ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχουν επαρκή κλιματολογικά δεδομένα που απαιτούν άλλες μέθοδοι, είναι δυνατό να ενσωματωθεί σε πρότυπα βροχής-απορροής και να βελτιώσει την εκτίμηση υδατικών ισοζυγίων υδρολογικών λεκανών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]Bouchet, R.J., 1963. "Evapotranspiration reele, evapotranspiration potentielle, et production agricole". *Ann Agron*, 23, 31-49.
- [2]Doorenbos, J., & Pruitt, W.O., 1977. "Crop water requirements", *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 24, 156.
- [3]Kohler, M.A. & Parmele, L.H., 1971, "Generalized Estimates of free-water Evaporation", *Water Research*, Vol. 3, 4, 996-1005.
- [4]Morton, F.I., 1975. "Estimating Evaporation and Transpiration from Climatological Observations", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 14, 4, 488-497.
- [5]Morton, F.I., 1976. "Climatological Estimates of Evapotranspiration", *Journal of the Hydraulics Division*, HY3, 275-291.
- [6]Morton, F.I., 1983. "Operational Estimates of Areal Evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology", *Journal Hydrology*, 66, 1-76.
- [7]Morton, F.I., 1986. "Practical estimates of Lake Evaporation", *J.Clim. Applied. Meteorology.*, 25, 371-387.
- [8]Penman, H.L., 1948. "Natural Evaporation from Open water, Bare soil and Grass", *Processings of the Royal Society of London*, Series A, Vol. 193, 1032, 120-145.
- [9]Penman, H.L., 1961. "Weather, Plant and Soil factors in Hydrology", *Weather*, 16, 207-219.
- [10]Pristley, C.H.B. & Taylor, R.J., 1972. "On the assessment of surface heat flux and Evaporation using Large Scale Parameters", *Mon. Weather Rev.*, 100, 81-92.
- [11]Pruitt, W.O., 1966. "Empirical method of estimating evapotranspiration using primary evaporation pans" in "Evapotranspiration and its Role in Water Resources Management, Am. Soc Agric. Eng., St. Joseph, Mich., 57-61
- [12]Rogers, P., 1978. "On the choice of the appropriate model for water resources planning and management", *Water Resource Res.*, 14/6, 1003-1010.
- [13]Stewart, R.B. & Rouse, W.R., 1977. "Substantiation of the Priestley and Taylor parametera a for potential evaporation in high latitudes", *Journal Applied Meteorology*, 16, 649-650.
- [14]Tan, C.S. & Fulton, J.M., 1980. "Ratio between evapotranspiration of Irrigation crops from floating lysimeters and class A pan evaporation", *Can. J. Plant Sci.*, 60, 197-201.
- [15]Thornthwaite, C.W., 1948. "An approach evapotranspiration toward a rational classification of climate", *Geogr. Rev.*, 38, 55-94.
- [16]Thornthwaite, C.W., & Mather, J.R., 1955. "The water Balance", *Climatology*, 8, 1-104.
- [17]Ζαμπάκας Ι., 1981. "Γενική Κλιματολογία", σελ: 195, Αυτοέκδοση, Αθήνα.
- [18]Σταχτιάς Χ., 1998. "Εξατμισοδιαπνοή", σελ:29-58, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- [19]Τσακίρης Γ., Παπαϊωάννου Γ. κ.α., 1995. "Υδάτινοι Πόροι", Τόμος 1, σελ:167-221, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.