

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΤΟΥ Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ

Κωτσόπουλος Σ. Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ/ΙΧΤΕΛ Θεοφράστου 1, 41335 Λάρισα kotsopoulos@nagref.gr	Αλεξίου Ι. Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ/ΙΧΤΕΛ Θεοφράστου 1, 41335 Λάρισα alexiou@nagref.gr	Λόκκας Φ. Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας ΣΤΕΦ, Τμήμα ΠΕΥ 41110 Λάρισα p.lokkas@teilar.gr	Γραβάνης Γ. Αναπλ. Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας ΣΤΕΦ, Τμήμα ΠΕΥ 41110 Λάρισα gravansg@teilar.gr	Μαγαλιός Σ. MSc Αγρονόμος Τοπ. Μηχ/κός Κοραή 13, 41223 Λάρισα
---	---	--	---	--

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Εξάτμιση, εξίσωση FAO 56 Penman-Monteith, στοχαστικό μοντέλο, ανάλυση Fourier

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης των επιφανειακών νερών για άρδευση ή και υδρευτικούς σκοπούς έχουν κατασκευαστεί στον ελλαδικό χώρο έργα ταμίευσης νερού (ταμιευτήρες, λιμνοδεξαμενές). Πολλά από τα έργα αυτά βρίσκονται σε πεδινά τμήματα όπου υπάρχουν αυξημένες τιμές εξάτμισης που μειώνουν σημαντικά τον ωφέλιμο όγκο τους όταν το βάθος τους είναι μικρό. Στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας του νομού Λάρισας λειτουργούν σήμερα 12 ταμιευτήρες με βάθη από 3.0 έως 4.5 μέτρα ενώ προβλέπεται και η κατασκευή νέων. Με βάση τις συνθήκες λειτουργίας των ταμιευτήρων, μπορεί η εκτίμηση της εξάτμισης να αποτελέσει βασικό στοιχείο του οικονομικού σχεδιασμού των τεχνικών χαρακτηριστικών τέτοιων έργων.

Στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται σειρές μηνιαίων κλιματικών στοιχείων από το μετεωρολογικό σταθμό της Ε.Μ.Υ. στη Λάρισα με στόχο την εκτίμηση της εξάτμισης, την ανάλυση της εποχικής διακύμανσής της και τη σύνθεση δεδομένων για την ορθολογικότερη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

ESTIMATION OF EVAPORATION LOSSES FROM THE RESERVOIRS OF THE PREFECTURE OF LARISSA

Kotsopoulos S. Researcher NAGREF/ISCML 1 Theophrastos Str. 41335 Larissa, GR kotsopoulos@nagref.gr	Alexiou I. Researcher NAGREF/ISCML 1 Theophrastos Str. 41335 Larissa, GR alexiou@nagref.gr	Lokkas P. Professor TEI Larissa STA, Dept CIW 41110 Larissa, GR p.lokkas@teilar.gr	Gravanis G. Assoc. Professor TEI Larissa STA, Dept CIW 41110 Larissa, GR gravansg@teilar.gr	Magalios S. MSc Surveyor Eng. 13, Korai Str., 41223 Larissa, GR
---	---	--	---	--

KEYWORDS: Evaporation, FAO 56 Penman-Monteith equation, stochastic model, Fourier analysis

ABSTRACT

In the frame of rational management of surface water resources, various water storage works (surface reservoirs, ponds) have been constructed all over Greece in order to support irrigation and or potable water supplies. Most of these works are situated on plains where the expected evaporation losses are high and affect the effective water volume especially when their depth is small. Today there are 12 small reservoirs in the area of the former lake Karla of the Prefecture of Larissa with depths that vary between 3.0 and 4.5m while the construction of

new ones is expected in the near future. Under the current operating conditions of reservoirs, the estimation of evaporation losses may be essential for the economical design of the technical characteristics of such works.

The present study utilises monthly climatic data series from the meteorological station of N.M.S. in Larissa for the estimation of evaporation series. Its seasonality is analysed and synthetic evaporation data are generated aiming at the rational management of the available water resources.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξάτμιση αποτελεί βασική συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου και οι απώλειές της (από υδάτινες επιφάνειες ή το έδαφος) όπως αυτές εκφράζονται από την ποσότητα του εξατμιζόμενου νερού μπορεί, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Σήμερα, σε πολλές περιοχές του ελλαδικού χώρου έχουν κατασκευαστεί έργα ταμίευσης νερού (ταμιευτήρες, λιμνοδεξαμενές) για την ορθολογική διαχείριση των επιφανειακών υδατικών πόρων για αρδευτικούς ή και υδρευτικούς σκοπούς. Τα έργα αυτά αποθηκεύουν νερό κατά τις περιόδους περίσσειας επιφανειακών υδάτων το οποίο αξιοποιείται κατά τις περιόδους έλλειψης (συνήθως τους θερινούς μήνες).

Στο Νομό Λάρισας έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν αρκετά έργα ταμίευσης νερού. Ο μεγαλύτερος αριθμός τους, 12 στο σύνολο, αναφέρεται σε ταμιευτήρες που βρίσκονται στο πεδινό τμήμα του νομού (περιοχή τέως λίμνης Κάρλας) που γεμίζουν νωρίς την άνοιξη για να εξασφαλίσουν τις αναγκαίες ποσότητες νερού για την άρδευση των παρακείμενων καλλιεργειών. Στην περιοχή όπου τα έργα αυτά λειτουργούν επικρατούν συχνά κατά τους θερινούς μήνες ακραίες κλιματικές συνθήκες που έχουν ως επακόλουθο την αυξημένη τιμή των απωλειών νερού λόγω εξάτμισης. Οι απώλειες αυτές μπορεί να θεωρηθούν ιδιαίτερα υψηλές με δεδομένο ότι το βάθος των ταμιευτήρων είναι σχετικά μικρό, ποικίλει από 3.0–4.5 μέτρα, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο ωφέλιμος όγκος τους. Παράλληλα, η αυξημένη ζήτηση αρδευτικό νερού της περιοχής σε συνδυασμό με την εξάντληση των διαθέσιμων υπόγειων υδατικών πόρων υπαγορεύει τη μελέτη και κατασκευή νέων ταμιευτήρων. Με δεδομένες τις συνθήκες λειτουργίας τους θα πρέπει η εκτίμηση της εξάτμισης να αποτελεί βασικό στοιχείο για τον βέλτιστο σχεδιασμό των τεχνικών χαρακτηριστικών τέτοιων έργων.

Από τις πλέον γνωστές αναλυτικές μεθόδους εκτίμησης της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής είναι η αυτή του Penman [1] που έχει τροποποιηθεί παλαιότερα [2] αλλά και πιο πρόσφατα [3] για να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Από τις πλέον αξιόπιστες εκφράσεις για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής όπως και της εξάτμισης μπορεί να θεωρηθεί η τροποποιημένη κατά FAO 56 εξίσωση Penman-Monteith [3] [4]. Η εξίσωση αυτή έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στις ελληνικές συνθήκες για εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών [5].

Η εξάτμιση όπως και πολλές μετεωρολογικές και υδρολογικές παράμετροι παρουσιάζει εποχικότητα (περιοδικότητα) ενώ αναμένεται και απόκλιση των εκτιμήσεών της από τις αντίστοιχες περιοδικές μέσες. Ανάλυση χρονολογικών σειρών έχει γίνει στο παρελθόν για διάφορες υδρολογικές και κλιματικές παραμέτρους [6] [7] [8] [9] [10] [11] με βάση μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν συνεχείς ή ασυνεχείς μεταβλητές [6] [10] [12] [13] [14].

Στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται μηνιαία κλιματικά στοιχεία από το μετεωρολογικό σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στη Λάρισα με στόχο την

εκτίμηση της εξάτμισης, την ανάλυση της εποχικής διακύμανσής της και την παραγωγή συνθετικών δεδομένων με στόχο την ορθολογικότερη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Υπολογισμός της εξάτμισης

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Χωροθέτηση και εκτίμηση της υδρολογικής διακινδύνευσης με έμφαση στην ξηρασία και τις πλημμύρες σε αστικές και μη αστικές περιοχές της Θεσσαλίας και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων» του προγράμματος του ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ (ΕΕΟΤ) του ΤΕΙ Λάρισας κρίθηκε αναγκαία και η εκτίμηση της εξάτμισης από ταμειυτήρες της περιοχής μελέτης. Η περιοχή αυτή βρίσκεται πολύ κοντά στην πόλη της Λάρισας όπου λειτουργεί ο μετεωρολογικός σταθμός της ΕΜΥ. Η ευρύτερη περιοχή της Λάρισας χαρακτηρίζεται από θερμό και ξηρό καλοκαίρι, περίοδο ιδιαίτερα σημαντική για την ανάπτυξη των καλλιεργειών της που όμως απαιτούν αυξημένες ποσότητες νερού. Στο πεδινό τμήμα του νομού και ιδιαίτερα στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας τόσο οι επικρατούσες θερμοκρασίες όσο και οι άλλες κλιματικές παράμετροι που καθορίζουν το ύψος της εξάτμισης (ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου) μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά ίδιες με αυτές που καταγράφονται στο σταθμό της Λάρισας.

Για τον υπολογισμό της εξάτμισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύνθετες μέθοδοι όπως αυτή του Penman [1] όταν υπάρχουν διαθέσιμα τα αναγκαία για τον υπολογισμό της κλιματικά δεδομένα.

Σήμερα, ιδιαίτερη εφαρμογή για την αξιοπιστία της στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής και εξάτμισης παρουσιάζει η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως περιγράφεται από τον FAO-56 [3]. Για την εφαρμογή της, που γίνεται σε δύο στάδια, απαιτείται η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής της επιφάνειας (καλλιέργειας) αναφοράς και του συντελεστή επιφάνειας (φυτικού) όπως περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = K_c \cdot ET_o \quad (2.1)$$

όπου E η ημερήσια εξάτμιση (mm/d), K_c συντελεστής επιφάνειας που για αβαθείς επιφάνειες καλυμμένες με νερό λαμβάνει την τιμή 1.05 [3].

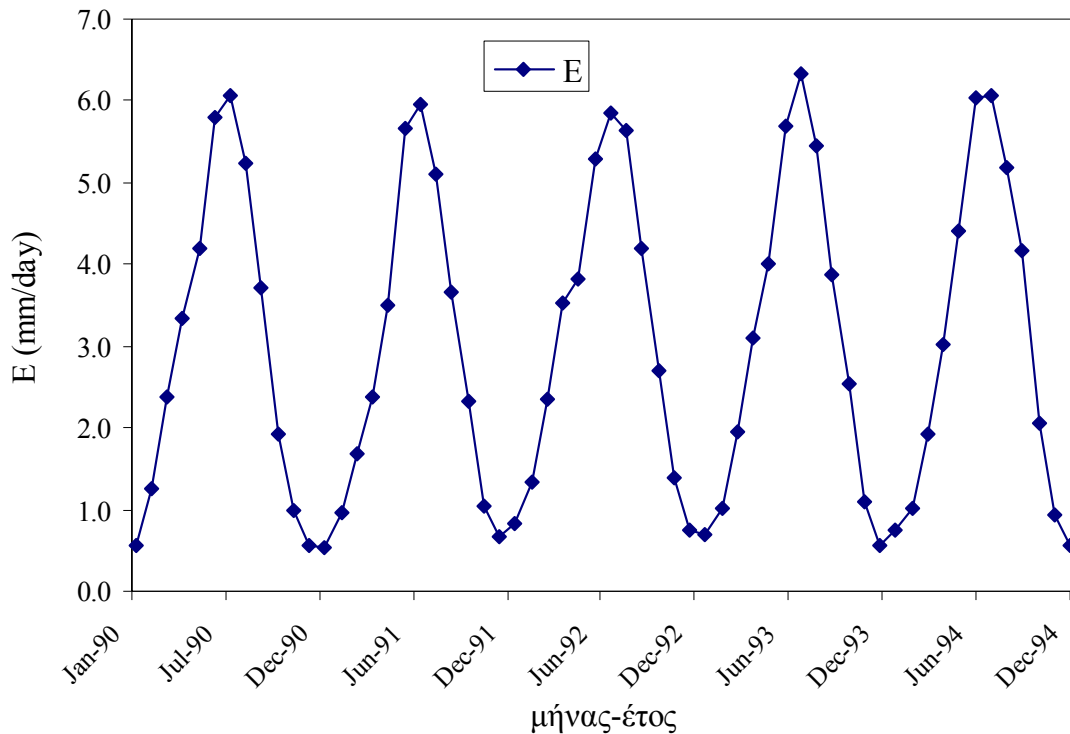
Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως περιγράφεται από τον FAO-56 [3] και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (2.2)$$

όπου ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (mm/d), R_n η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$), G η ροή θερμότητας στο έδαφος ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$) που μπορεί να θεωρηθεί $G \approx 0$, T η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m ($^{\circ}\text{C}$), u_2 η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m (ms^{-1}), e_s πίεση κορεσμένων υδρατμών (kPa), e_a πραγματική πίεση υδρατμών (kPa), Δ κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών στη θερμοκρασία T ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$) και γ ψυχομετρική σταθερά ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Για τον υπολογισμό του R_n απαιτείται η εκτίμηση των ημερήσιων τιμών της ακτινοβολίας στο άνω όριο της ατμόσφαιρας (R_a) και της θεωρητικής ηλιοφάνειας (N) που γίνεται με περιοδικές συναρτήσεις [15].

Από τις εξ. (2.1) και (2.2) και τις μηνιαίες τιμές κλιματικών παραμέτρων των ετών 1955-1997 από το σταθμό της Λάρισας υπολογίζονται οι μηνιαίες τιμές εξάτμισης για περίοδο 43 ετών και παρουσιάζονται ενδεικτικά στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Υπολογισμένες τιμές εξάτμισης (mm/d) στη Λάρισα κατά τα έτη 1990–94.

2.2. Ανάλυση και σύνθεση μηνιαίων τιμών εξάτμισης

Γενικά, αν δεν υπάρχουν αξιόλογες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, οι υδρολογικές και μετεωρολογικές χρονοσειρές μπορούν να περιγραφούν από περιοδικούς και στοχαστικούς όρους [7] [8] [9] [10] [16] [17] [18] [19]. Αναφορικά με τις μηνιαίες τιμές της εξάτμισης αυτές μπορεί να υπολογιστούν από μια εξίσωση της μορφής:

$$E_{p,t} = \bar{E}_t + e_{p,t} \quad (2.3)$$

όπου $E_{p,t}$ = μηνιαία εξάτμιση (t μήνας του p έτους), $\bar{E}_t = 0$ περιοδικός μέσος των μηνιαίων τιμών εξάτμισης και $e_{p,t}$ = το απομένον σφάλμα, ένας εξαρτημένος περιοδικός και στοχαστικός όρος.

Το σφάλμα $e_{p,t}$ παρουσιάζει περιοδικότητα ως προς τη διασπορά και μπορεί να εκφραστεί ως:

$$e_{p,t} = \bar{s}_t a_{p,t} \quad (2.4)$$

όπου \bar{s}_t = περιοδική τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών εξάτμισης και $a_{p,t}$ = σφάλμα, σχεδόν τυχαίο αλλά όχι κανονικό που μπορεί συνήθως να προσομοιωθεί από μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί περίπου την κατανομή γάμμα όπως παρακάτω:

$$a_{p,t} = \bar{a} + r_{1a} (a_{p,t-1} - \bar{a}) + \eta_{p,t} s_a \sqrt{1 - r_{1a}^2} \quad (2.5)$$

όπου \bar{a} μέση τιμή του σφάλματος $\alpha_{p,t}$, $\bar{a} \approx 0$, r_{1a} συντελεστής αυτοσυσχέτισης του $\alpha_{p,t}$, s_a^2 διασπορά του $\alpha_{p,t}$, $n_{p,t}$ κανονικοποιημένη τυχαία μεταβλητή. Το $n_{p,t}$ μπορεί να τροποποιηθεί για να συμπεριλάβει την όποια ασυμμετρία υπάρχει στα δεδομένα χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Wilson-Hilferty [14] [16] [20] [21] [22] που εκφράζεται με την εξίσωση:

$$n_{p,t} = 2 \left[\left[1 + \frac{g_a t_{p,t}}{6} - \frac{g_a^2}{36} \right]^3 - 1 \right] / g_a \quad (2.6)$$

$$g_a = \frac{(1 - r_{1a}^3) \gamma_a}{(1 - r_{1a})^{1.5}} \quad (2.7)$$

όπου γ_a κύρτωση του $\alpha_{p,t}$

Οποιοσδήποτε περιοδικός όρος, $x_{p,t}$, μπορεί να προσεγγιστεί από μια σειρά Fourier που εκφράζεται ως:

$$X_t = \bar{X} + \sum_{j=1}^m \left(A_j \cos \frac{2\pi jt}{\omega} + B_j \sin \frac{2\pi jt}{\omega} \right) \quad (2.8)$$

όπου \bar{X} (γενική) μέση τιμή όλων των δεδομένων της σειράς, m = αριθμός των σημαντικών αρμονικών, ω = εύρος της περιοδικότητας ($\omega=12$ για μηνιαίες τιμές), A_j , B_j = συντελεστές Fourier ($j=1, 2, \dots, m$) και $t=1, 2, \dots, \omega$.

Οι συντελεστές A_j και B_j της παραπάνω εξίσωσης υπολογίζονται από τις $N=n\omega$ τιμές (n = τα έτη παρατηρήσεων) του όρου $x_{p,t}$ από τις εξισώσεις:

$$A_j = \frac{2}{n\omega} \sum_{p=1}^n \sum_{t=1}^{\omega} x_{p,t} \cos \frac{2\pi jt}{\omega} \quad (2.9)$$

$$B_j = \frac{2}{n\omega} \sum_{p=1}^n \sum_{t=1}^{\omega} x_{p,t} \sin \frac{2\pi jt}{\omega} \quad (2.10)$$

Για την εύρεση των σημαντικών αρμονικών απαιτούνται έλεγχοι [18] [23] ενώ ταυτόχρονα γίνεται έλεγχος για το κατά πόσο τυχαία είναι τα υπολειπόμενα σφάλματα. Ειδικά για τα εποχιακά μοντέλα, η χρήση του αθροιστικού περιοδογράμματος κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στον έλεγχο των σφαλμάτων [24]. Το αθροιστικό περιοδογράμμα του σφάλματος δηλώνει αν στο σφάλμα υπάρχει οποιαδήποτε περιοδικότητα. Για κάθε σειρά που αποτελείται από τυχαίους όρους και δεν είναι περιοδική το κανονικοποιημένο αθροιστικό περιοδογράμμα θα πρέπει να έχει αποκλίσεις που να βρίσκονται εντός των ορίων του *Kolmogorov-Smirnov test* [25].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

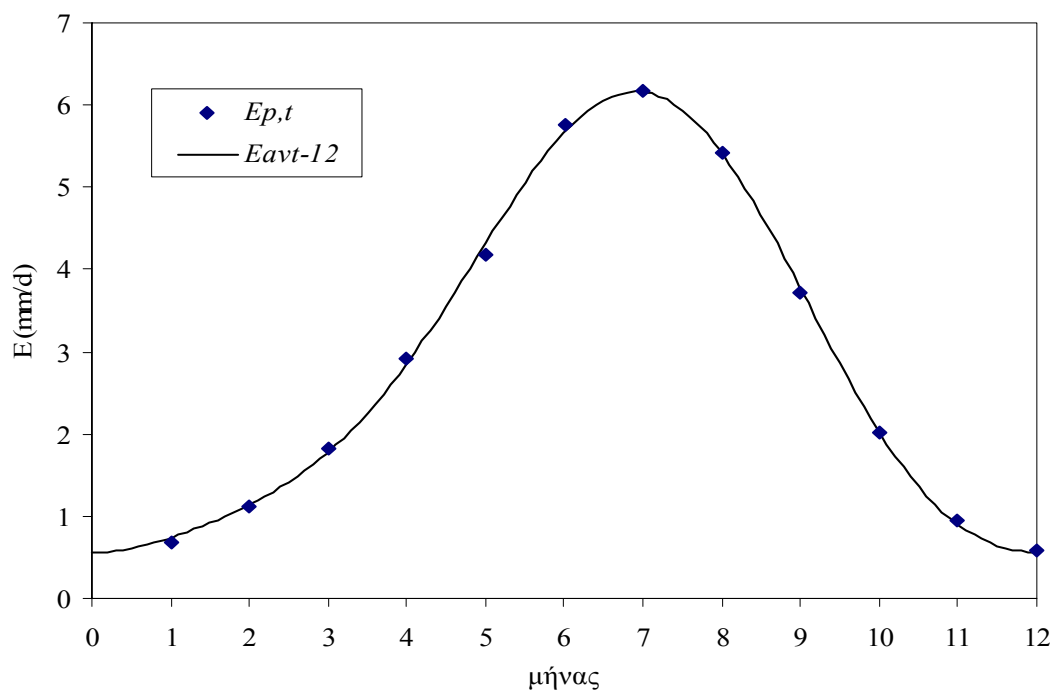
Τα αποτελέσματα υπολογισμών της μηνιαίας εξάτμισης αναφέρονται σε κλιματικά δεδομένα περιόδου 43 ετών (1955-1997) από το σταθμό της ΕΜΥ της Λάρισας. Οι τιμές αυτές της εξάτμισης αναλύονται σύμφωνα με την προαναφερόμενη μεθοδολογία και υπολογίζονται οι παράμετροι των περιοδικών και στοχαστικών όρων των εξ. (2.3) - (2.5). Στην προκειμένη περίπτωση, τόσο ο περιοδικός μέσος των μηνιαίων τιμών εξάτμισης, \bar{E}_t , όσο και η περιοδική τυπική της απόκλιση, \bar{s}_t , περιγράφονται ικανοποιητικά από περιοδικές συναρτήσεις Fourier δύο σημαντικών αρμονικών (Σχήματα 2, 3, 4, 5) με παραμέτρους που φαίνονται στους Πίνακες 1 και 2 αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Συντελεστές A_j , B_j και m του περιοδικού όρου \bar{E}_t

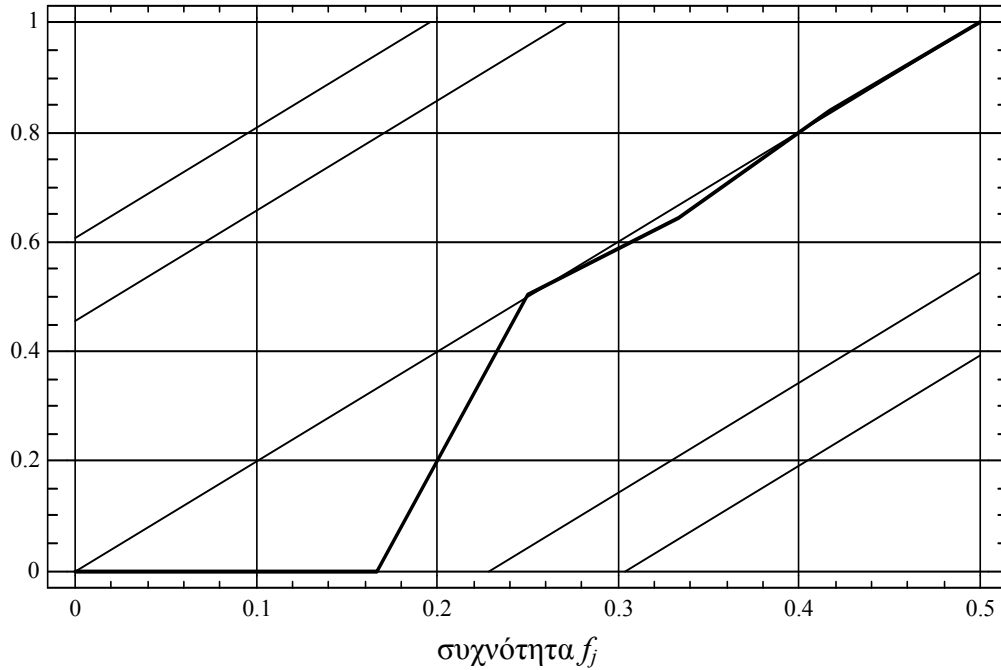
Αρμονικός j	Συντελεστής A_j	Συντελεστής B_j	Μέση τιμή m
1	-2.55304	-0.99660	2.94361
2	0.16976	0.48506	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συντελεστές A_k , B_k και m_s του περιοδικού όρου \bar{s}_t

Αρμονικός k	Συντελεστής A_k	Συντελεστής B_k	Μέση τιμή m_s
1	-0.130667	-0.037616	0.240979
2	-0.015334	-0.002542	



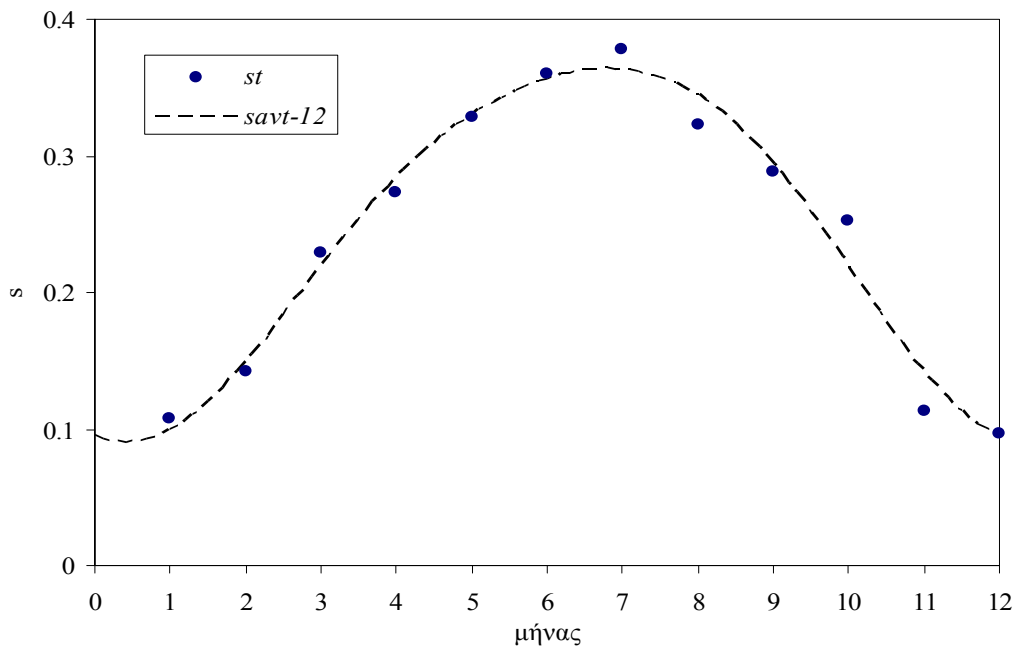
Σχήμα 2. Μέσες μηνιαίες τιμές εξάτμισης, $E_{p,t}$ και περιοδική μέση



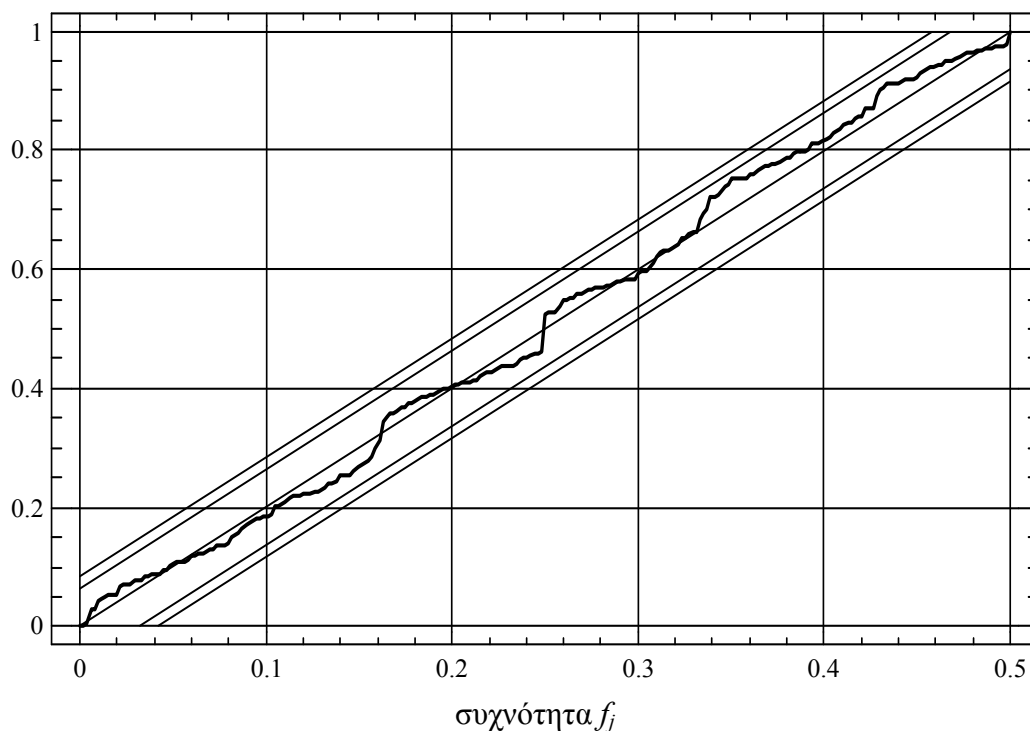
Σχήμα 3. Αθροιστικό περιοδόγραμμα όρου $(\bar{E}_{p,t} - \bar{E}_t)$

Αναφορικά με το σφάλμα $a_{p,t}$ αυτό εξηγείται από μια σχέση ανάλογη της εξ. (2.5) με $r_{1a} = 0.4069$, $\bar{a} = -0.007980$, $s_a = 1.031716$ και $\gamma_a = 0.444713$.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση γίνεται σύνθεση τιμών μηνιαίας εξάτμισης με στόχο τον προσδιορισμό καμπυλών συχνοτήτων [26]. Από την παραγωγή και την επεξεργασία των τιμών αυτών προκύπτουν οι καμπύλες του Σχήματος 6 όπου παρουσιάζονται οι πιθανότητες μη υπέρβασης των μέσων μηνιαίων τιμών εξάτμισης εκφρασμένες σε mm/ημέρα. Οι μέσες μηνιαίες τιμές εξάτμισης μεταβάλλονται μεταξύ 6.16 και 0.56 mm/ημέρα για τους μήνες Ιούλιο και Δεκέμβριο αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Μηνιαίες τιμές τυπικής απόκλισης και περιοδική μέση



Σχήμα 5. Αθροιστικό περιοδόγραμμα σφάλματος $\alpha_{p,t}$.

Παράλληλα γίνεται σύγκριση της εξάτμισης του μήνα αιχμής (Ιουλίου) με την εποχιακή εξάτμιση (περίοδο συνήθους λειτουργίας των ταμιευτήρων) που αναφέρεται στην περίοδο Απριλίου μέχρι μέσα Αυγούστου. Από τη συσχέτιση αυτή για τις υπολογισμένες τιμές εξάτμισης με βάση τα πρωτογενή στοιχεία προκύπτει η ακόλουθη γραμμική εξίσωση:

$$E_s = 298.19 + 1.9006 E_p, \quad R = 0.7373 \quad (3.1)$$

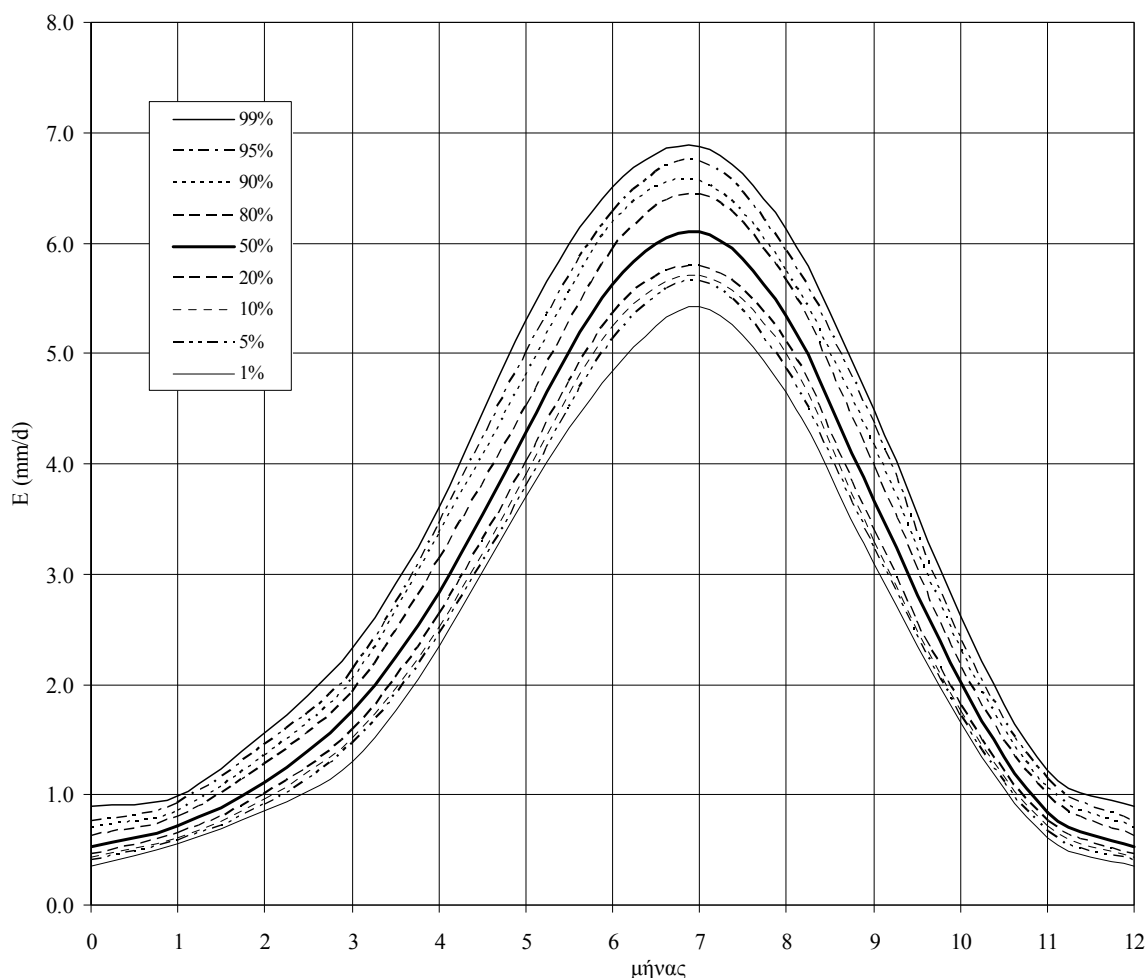
που υποδηλώνει ότι υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ εποχιακής εξάτμισης, E_s , (mm) και αυτής του μήνα αιχμής, E_p (mm/μήνα).

Έτσι με δεδομένη μια τιμή για την εξάτμιση κατά το μήνα αιχμής, με βάση ορισμένη πιθανότητα μη υπέρβασης, (Σχήμα 6) μπορεί να γίνει άμεσα ικανοποιητική εκτίμηση της εποχιακής εξάτμισης με χρήση της εξ. (3.1), αν δεν επιθυμούμε παραγωγή συνθετικής σειράς δεδομένων.

Τα συνθετικά δεδομένα για την εποχιακή εξάτμιση έδωσαν την παρακάτω παραπλήσια εξίσωση:

$$E_s = 261.34 + 2.1056 E_p, \quad R = 0.7370 \quad (3.2)$$

Ανάλυση των δύο παραπάνω εξισώσεων φανερώνει ότι δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς την κλίση και τον σταθερό όρο τους [27] [28] και επομένως η εξ. (3.1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 6. Καμπύλες συχνοτήτων μηνιαίων τιμών εξάτμισης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις υπολογισμένες τιμές μηνιαίας εξάτμισης 43 ετών από το σταθμό της Λάρισας προκύπτει ότι:

- α) υπάρχει εποχικότητα στην εξάτμιση με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της να παρατηρούνται περί τον Ιούλιο και Δεκέμβριο αντίστοιχα,
- β) οι μέσες μηνιαίες τιμές εξάτμισης μεταβάλλονται μεταξύ 6.16 mm/ημέρα (Ιούλιος) και 0.56 mm/ημέρα (Δεκέμβριος),
- γ) μπορεί να γίνει ανάλυση της εποχικότητας και της μεταβλητότητας των μηνιαίων τιμών εξάτμισης που περιγράφεται από περιοδικούς όρους δύο αρμονικών για τη μέση τιμή και την τυπική απόκλισή τους.
- δ) υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ εποχιακής εξάτμισης (περίοδος Απριλίου – μέσα Αυγούστου) και αυτής του μήνα αιχμής που μπορεί να εκφραστεί από μια εξίσωση γραμμικής μορφής.
- ε) Η μέση υπολογισμένη εποχική εξάτμιση (περίοδος Απριλίου – μέσα Αυγούστου) από τους ταμειντήρες της Λάρισας είναι αρκετά υψηλή, ~ 660 mm, όπως προκύπτει από τα ιστορικά στοιχεία ή τις εξ. (3.1) και (3.2).

Από την παραγωγή συνθετικών δεδομένων εξάτμισης που προκύπτουν από την ανάλυση ιστορικών στοιχείων μπορούν να δημιουργηθούν οι αντίστοιχες καμπύλες συχνοτήτων. Οι καμπύλες αυτές ή και τα συνθετικά δεδομένα εξάτμισης είναι δυνατό να αξιοποιηθούν στη μελέτη και το σχεδιασμό έργων ταμίευσης νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Penman, H. L. (1948) "Natural evaporation from open water, bare soil, and grass", **Royal Soc., London Proc. A**, 194, pp. 120-146.
2. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1977) "Crop Water Requirements", **FAO Irrigation and Drainage Paper No 24**, FAO, Rome.
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) "Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements", **FAO Irrigation and Drainage Paper No 56**, FAO, Rome.
4. Smith, M., Allen, R. and Pereira, L. (1996) "Revised FAO methodology for crop water requirements" Proc. Intl Conf. ASAE: **Evapotranspiration and Irrigation Scheduling**, San Antonio, Texas, pp. 116-123.
5. Kotsopoulos S., Kalfountzos D., Alexiou I., Zerva G., Karamaligas C. and Vyrlas P. (2003) "Actual evapotranspiration and soil moisture studies in irrigated cotton fields", **European Water** (e-bulletin of EWRA), Issue 3 / 4: 22-28.
6. Yevjevich, V. M. (1971) "Stochasticity in geophysical and hydrological time series", **Nordic Hydrology**, Vol. II, pp. 217-242.
7. Yevjevich, V. M. (1976) "General overview of application of stochastic methods to water resources systems", **Stochastic Approaches to Water Resources**, (ed. H. W. Shien), Fort Collins, Colorado, pp. 1.1-1.46.
8. Yevjevich, V. M. (1976) "Structure of natural hydrologic time series", **Stochastic Approaches to Water Resources**, (ed. H. W. Shien), Fort Collins, Colorado, pp. 2.1-2.59.
9. Yevjevich, V. M. (1976) "Structure of water use time series", **Stochastic Approaches to Water Resources**, (ed. H. W. Shien), Fort Collins, Colorado, pp. 3.1-3.45.
10. Kotsopoulos S. I. and Svehlik Z. J. (1989) "Analysis and synthesis of seasonality and variability of daily potential evapotranspiration", **Water Resour. Manage.** Vol. 3, pp. 259 - 269.
11. Yu, Y. S. and Knapp, H. V. (1985) "Weekly, monthly and annual evaporations for Elk City Lake", **J. Hydrology**, Vol. 80, 93-110.
12. Yevjevich, V. M. (1971) "The structure of inputs and outputs of hydrologic systems", **United States Japan Bi-Lateral Seminar in Hydrology**, Honolulu, Water Resources Publ., Fort Collins, Colorado.
13. Nicks, A. D. and Harp, J. (1980), "Stochastic generation of temperature and solar radiation data". **J. Hydrology**, Vol. 48, pp. 1-17.
14. Tsakiris, G. (1988) "Daily potential evapotranspiration modelling", **Agric. Water Manage.** Vol. 13, pp. 393-402.
15. Kotsopoulos, S. and Babajimopoulos C. (1997) "Analytical estimation of modified Penman equation parameters", **J. Irrig. and Drain. Engng.**, ASCE Vol. 123 (4), pp. 253 - 256.
16. Kotsopoulos S. I. (1989) "**On the evaluation of risk of failure in irrigation water delivery**", Ph.D. Thesis, Southampton University, UK.
17. Yevjevich, V. M., (1976) "Generation of hydrologic and water resources samples", **Stochastic Approaches to Water Resources**, (ed. H. W. Shien), Fort Collins, Colorado, pp. 4.1-4.41.

18. Yevjevich, V. (1982). “**Stochastic Processes in Hydrology**”, Water Resources Publications, Colorado.
19. Chatfield, C. (1987) “**The Analysis of Time Series**”, Chapman and Hall, London.
20. Haan, C. T. (1977) “**Statistical Methods in Hydrology**”, the Iowa State University Press, Ames, Iowa.
21. Kite G. W. (1985) “**Frequency and Risk Analyses in Hydrology**”, Water Resources Publications, Colorado.
22. Yevjevich, V. (1982) “**Probability and Statistics in Hydrology**”, Water Resources Publications, Colorado.
23. Yevjevich, V. M. (1974) “Significance tests of periodicity in hydrological time series”, Symposium on **Mathematical Models in Hydrology**, IAHS Publ. No.100, pp. 159-168.
24. Box, G. E. P. and Jenkins G. M. (1976) “**Time Series Analysis: Forecasting and Control**”, Holden-Day, San Francisco.
25. Benjamin, J. R. and Cornell, C. A. (1970) “**Probability, Statistics and Decisions for Civil Engineers**”. McGraw-Hill Intl Book Co., NY.
26. Κωτσόπουλος, Σ. (1972) “Σύνθεση καμπυλών συχνότητας εξαμυσοδιαπνοής”, **Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ**, Λάρισα, pp. 94-101.
27. Clewer, A. G. and Scarisbrick D. H. (2001) “**Practical Statistics and Experimental Design for Plant and Crop Science**”, J. Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
28. Chatfield, C. (1983) “**Statistics for Technology**”, Chapman and Hall, London.