

Το μοντέλο Ζυγός

A. Ευστρατιάδης & N. Μαμάσης





Δομή παρουσίασης

- Εισαγωγή
- Εννοιολογική δομή και διεργασίες
- Δεδομένα εισόδου
- Λειτουργία μοντέλου
- Παράμετροι και ερμηνεία τους
- Αυτόματη βαθμονόμηση
- Προσαρμογή σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις
- Πρακτική εκπαίδευση



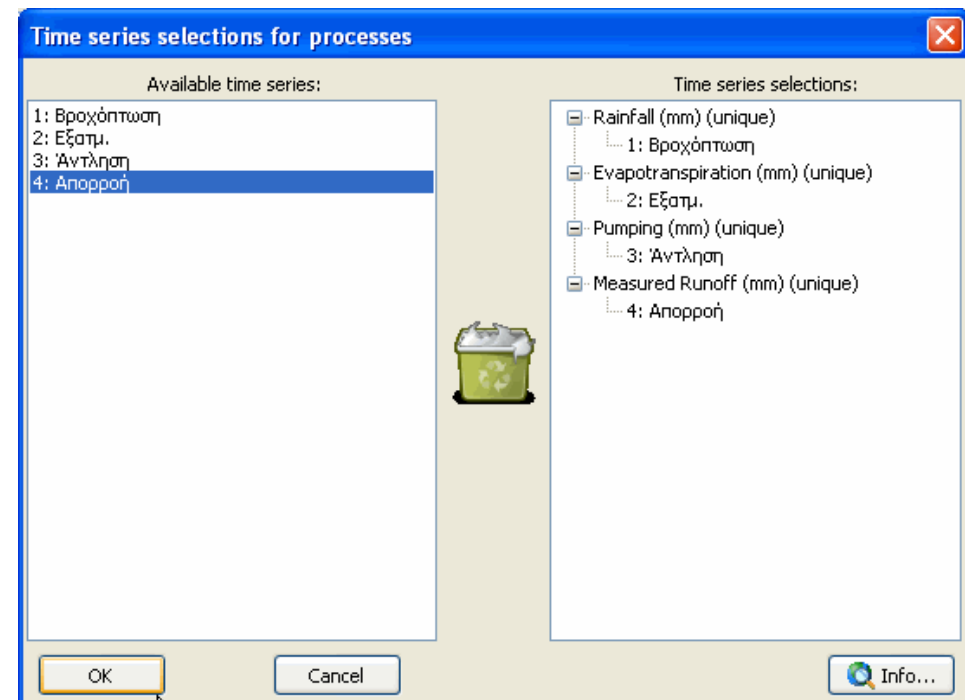
Τι είναι ο Ζυγός;

- Εννοιολογικό αδιαμέριστο μοντέλο μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου – Επέκταση του μοντέλου Thornthwaite.
- Αναπαριστά τις βασικές υδρολογικές διεργασίες του εδάφους, της ακόρεστης ζώνης και του υδροφορέα (κορεσμένη ζώνη) μιας λεκάνης απορροής.
- Ευέλικτη δομή – Ο χρήστης ενεργοποιεί από 1 έως 9 παραμέτρους, ανάλογα με τις διεργασίες που αναπαρίστανται.
- Προσφέρεται για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού λεκανών μικρής και μεσαίας κλίμακας, για τις οποίες δεν διατίθενται μετρήσεις απορροής, με χρήση εμπειρικών τιμών των παραμέτρων.
- Εφόσον υπάρχουν μετρήσεις απορροής στην έξοδο της λεκάνης, είναι δυνατή η αυτόματη εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου, μέσω βελτιστοποίησης.



Δεδομένα εισόδου

- Χρονοσειρές
 - Επιφανειακή βροχόπτωση
 - Δυνητική εξατμοδιαπνοή } Υποχρεωτικές
 - Απολήψεις από υπόγεια νερά (ζήτηση για άντληση)
 - Παρατηρημένη απορροή (για την αυτόματη βαθμονόμηση)
- Οι χρονοσειρές είναι μηνιαίες, καλύπτουν κοινή χρονική περίοδο και ανάγονται στην επιφάνεια της λεκάνης (σε mm)
- Αρχικές συνθήκες
 - Εδαφική υγρασία (μηδενική στην αρχή του υδρ. έτους)
 - Απόθεμα υπόγειου νερού





Λειτουργία μοντέλου: (α) Διεργασίες στην επιφάνεια του εδάφους

- Στην αρχή του χρονικού βήματος t (μήνας) είναι γνωστά το ύψος βροχής P_t , η δυνητική εξατμοδιαπνοή E_{p_t} και το αρχικό απόθεμα εδαφικής υγρασίας S_{t-1} .

- Εκτιμάται η άμεση εξατμοδιαπνοή από τη σχέση:

$$E_{D_t} = \min (\varepsilon P_t, E_{p_t})$$

όπου ε παράμετρος που εκφράζει το ποσοστό της βροχής που είναι διαθέσιμο για την παραγωγή εξατμοδιαπνοής.

- Η περίσσεια της βροχόπτωσης μετατρέπεται κατά ένα ποσοστό κ σε άμεση απορροή:

$$Q_{D_t} = \kappa (P_t - E_{D_t})$$

- Η υπόλοιπη ποσότητα νερού διηθείται στο έδαφος, αυξάνοντας τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία σε:

$$S_t^* = S_{t-1} + P_t - E_{D_t} - Q_{D_t}$$



Λειτουργία μοντέλου: (β) Διεργασίες ακόρεστης ζώνης

- Εφόσον η διαθέσιμη υγρασία ξεπερνά τη χωρητικότητα του εδάφους K , παράγεται επίγεια απορροή:

$$Q_{St} = \max(0, S_t^* - K)$$

- Εκτιμάται η εδαφική εξατμοδιαπνοή, με βάση το έλλειμμα εξατμοδιαπνοής $\Delta E_{Pt} = E_{Pt} - E_{Dt}$ ως εξής:

$$E_{St} = S_t^* [1 - \exp(-\Delta E_{Pt} / K)]$$

- Εκτιμάται η υποδερμική ροή ως ποσοστό λ της υγρασίας που διατίθεται πάνω από ένα κατώφλι H_1 της δεξαμενής:

$$Q_{It} = \max[0, \lambda (S_t^* - H_1)]$$

- Εκτιμάται η κατείσδυση ως ποσοστό μ της εδαφικής υγρασίας:

$$\text{PERC}_t = \mu S_t^*$$

- Εκτιμάται το απόθεμα υγρασίας στο πέρας του μήνα:

$$S_t = S_t^* - Q_{St} - E_{St} - Q_{It} - \text{PERC}_t$$



Λειτουργία μοντέλου: (γ) Διεργασίες κορεσμένης ζώνης (υδροφορέας)

- Στην αρχή του χρονικού βήματος είναι γνωστό το αρχικό απόθεμα υπόγειου νερού Y_{t-1} και η άντληση $PUMP_t$
- Λόγω της κατείσδυσης και των αντλήσεων, το διαθέσιμο απόθεμα υπόγειου νερού είναι ίσο με:

$$Y_t^* = \max [0, Y_{t-1} + PERC_t - PUMP_t]$$

- Εκτιμάται η βασική απορροή ως ποσοστό ξ του αποθέματος που ξεπερνά ένα κατώφλι H_2 της δεξαμενής υπόγειου νερού:

$$Q_{Bt} = \max [0, \xi (Y_t^* - H_2)]$$

- Εκτιμώνται οι διαφυγές εκτός λεκάνης ως ποσοστό φ του υπόγειου αποθέματος:

$$Q_{OUTt} = \varphi Y_t^*$$

- Εκτιμάται το απόθεμα υπόγειου νερού στο πέρας του μήνα:

$$Y_t = Y_t^* - Q_{Bt} - Q_{OUTt}$$



Παράμετροι μοντέλου (1)

Σύμβολο	Περιγραφή	Φυσική ερμηνεία
ε	Ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για άμεση εξατμοδιαπνοή	Κλιματική παράμετρος, που εξαρτάται από τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης (μέσος αριθμός ημερών με βροχή)
κ	Ποσοστό άμεσης απορροής	Εξαρτάται από την έκταση των αδιαπέρατων εδαφικών σχηματισμών της λεκάνης και την κλίση του εδάφους
K	Χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας	Εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους (υδατοϊκανότητα) και τη φυτοκάλυψη
H_1	Κατώφλι παραγωγής υποδερμικής ροής	Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους
λ	Συντελεστής στείρευσης δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής	Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την ταχύτητα οριζόντιας ροής διαμέσου της ακόρεστης ζώνης



Παράμετροι μοντέλου (2)

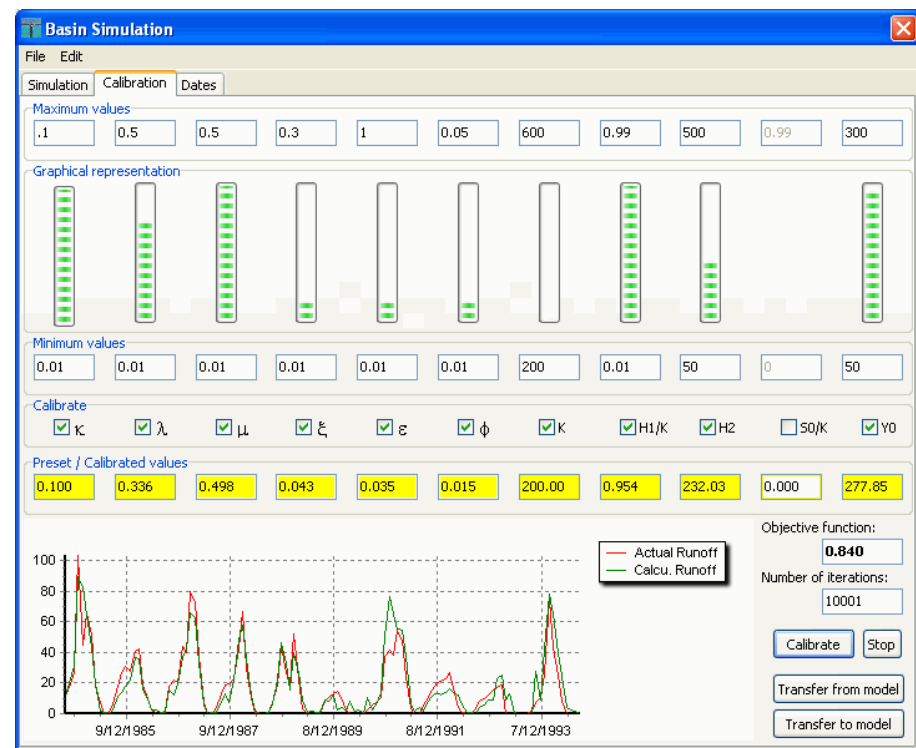
Σύμβολο	Περιγραφή	Φυσική ερμηνεία
μ	Συντελεστής στείρευσης δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για παραγωγή κατείσδυσης	Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του υδροφορέα (υδατοπερατότητα, γεωλογία)
H_2	Κατώφλι εκφόρτισης πηγών για την παραγωγή βασικής απορροής	Εξαρτάται από τα γεωμετρικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα, εκφράζει το «μέσο» ύψος εκφόρτισης των πηγών
ξ	Συντελεστής στείρευσης δεξαμενής υπόγειου νερού για παραγωγή βασικής ροής	Εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα (υδραυλική αγωγιμότητα)
φ	Ρυθμός εκφόρτισης δεξαμενής υπόγειου νερού για παραγωγή υπόγειων διαφυγών	Εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και τον βαθμό υδραυλικής επικοινωνίας του με γειτονικές λεκάνες ή τη θάλασσα

Αυτόματη βαθμονόμηση

- Επιλέγονται οι παράμετροι και οι αρχικές συνθήκες προς βελτιστοποίηση και το εύρος τιμών τους.
- Ως μέτρο ελέγχου της προσαρμογής της προσομοιωμένης στη μετρημένη απορροή χρησιμοποιείται η αποτελεσματικότητα:

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Όσο ο συντελεστής πλησιάζει στη μονάδα, τόσο καλύτερη είναι η επίδοση του μοντέλου.
- Για $R < 0$, η προσομοιωμένη χρονοσειρά είναι χειρότερη εκτιμήτρια σε σχέση με τη μέση παρατηρημένη τιμή.





Εκτίμηση παραμέτρων σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις

- Προϋποθέτει σημαντική εμπειρία – δεν συστήνεται η χρήση τυπικών τιμών της βιβλιογραφίας (οι παράμετροι δεν έχουν πλήρη φυσική αντιστοιχία).
- Για τον περιορισμό της αβεβαιότητας, κρίνεται σκόπιμη η χρήση όσο το δυνατό μικρότερου αριθμού παραμέτρων (2-3).
- Σχετικά ασφαλή (αλλά όχι εγγυημένα) αποτελέσματα μπορεί να προκύψουν με μεταφορά των τιμών των παραμέτρων από γειτονικές λεκάνες με κοινά χαρακτηριστικά, αν για τις συγκεκριμένες λεκάνες διατίθενται μετρήσεις απορροής και συνεπώς υπάρχει δυνατότητα βαθμονόμησης.
- Η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου ελέγχεται εξετάζοντας τη διακύμανση όλων των χρονοσειρών εξόδου και το υπερετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης – η πρακτική αυτή είναι αναγκαία ακόμα και αν υπάρχουν μετρήσεις απορροής!