

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΞΑΝΘΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ: 3. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΥΤΗΒΑΛ (ΛΟΥΚΑΣ ΕΤ ΑΛ., 2006)

Συντάξαντες:

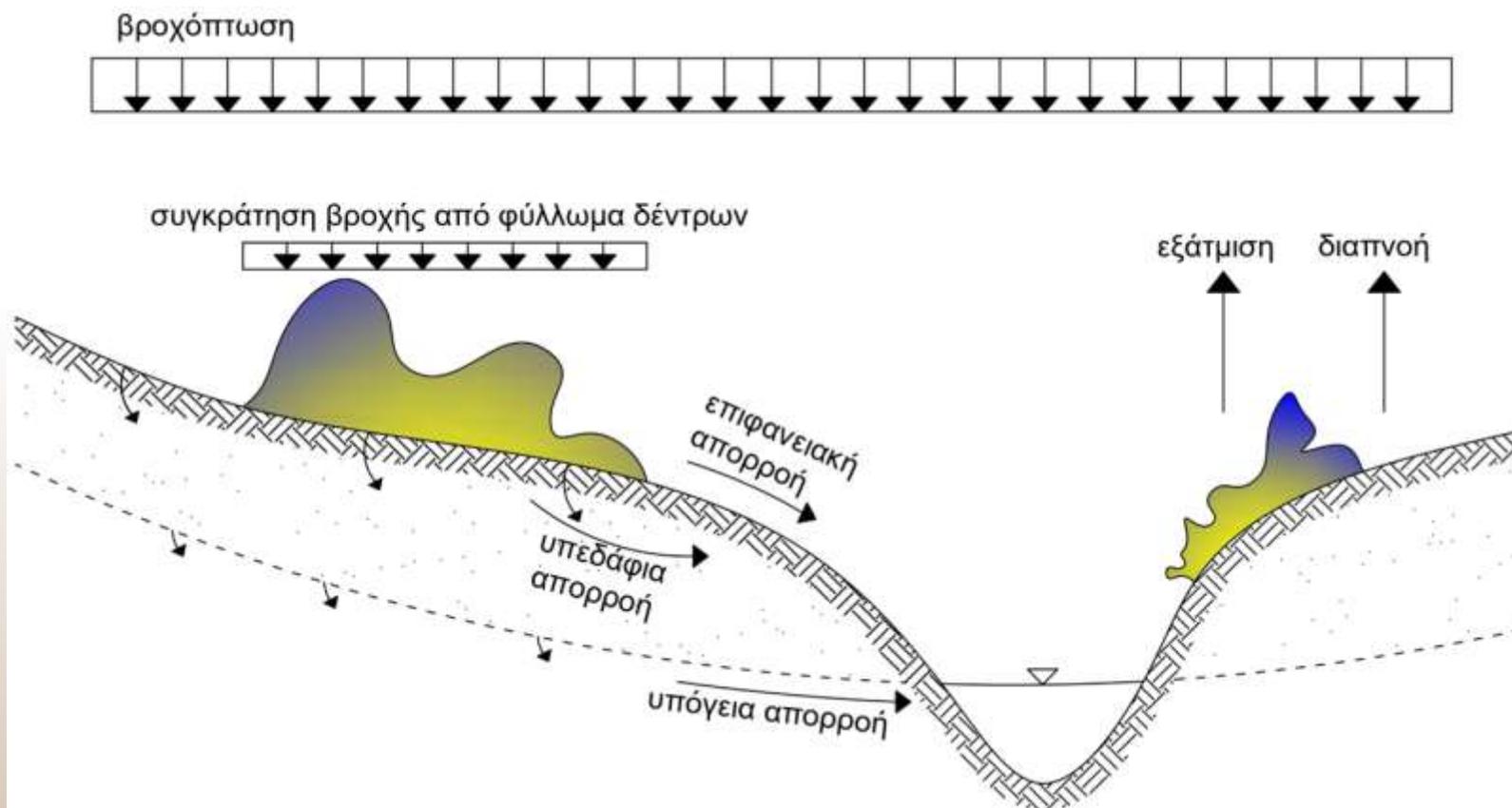
1. Μιχαήλ Σπηλιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ
2. Σταμάτης Σταυρής, Διπλ. Πολ. Μηχ/κός Δ.Π.Θ. (Μ.Eng. – Υποψήφιος διδάκτορας ΔΠΘ)



ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

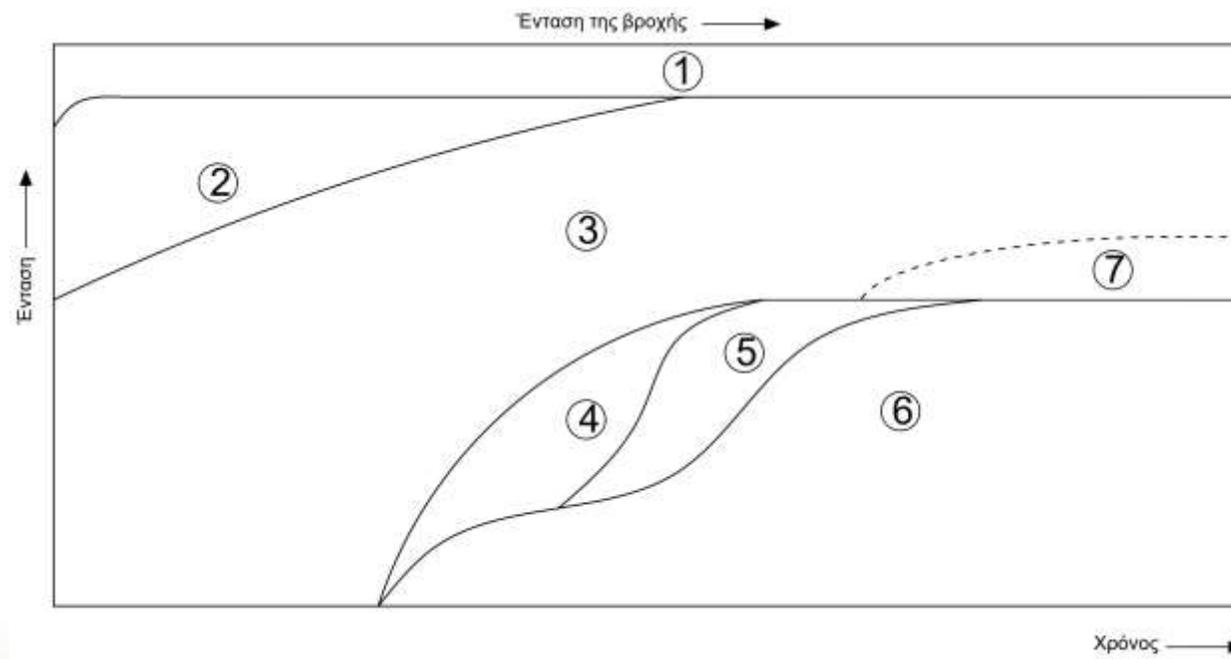
Ο όρος Υδρολογία μπορεί να αντιμετωπιστεί ως σημαντικό θέμα για τους ανθρώπους και το περιβάλλον τους. Αντιμετωπίζει το νερό της γης, την εμφάνιση, την κυκλοφορία και την κατανομή του, τις χημικές και φυσικές του ιδιότητες και την αντίδρασή του με το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της σχέσης του με τα έμβια όντα (Ray, 1975).

Με τον όρο υδατικό ισοζύγιο νοείται το ισοζύγιο που προκύπτει από μια ποσότητα νερού, που εισέρχεται σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια (υδρολογική λεκάνη ή υπολεκάνη), εξαιτίας κατακρημνισμάτων Pt (mm) (βροχόπτωση, χιονόπτωση κλπ.):





ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ ΒΡΟΧΗΣ (ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ)



Σχήμα 2:

Διάγραμμα τυπικής κατανομής του νερού μεμονωμένου συμβάντος βροχής

1. Εξάτμιση και διαπνοή
2. Συγκράτηση από τη φυτοκομή
3. Διήθηση
4. Συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες
5. Επιφανειακή αποθήκευση
6. Επιφανειακή απορροή
7. Ταχεία υπεδάφια απορροή (ή ενδορροή)



ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ ΒΡΟΧΗΣ

Κατά την εξέλιξη του φαινομένου της βροχόπτωσης παρατηρείται η επιφανειακή απορροή, που είναι απαλλαγμένη από τις προαναφερθείσες απώλειες και ονομάζεται **Καθαρή Βροχή (Net Precipitation)**.

Για την **άμεση απορροή** προστίθεται στην ποσότητα της καθαρής βροχής η ταχεία υπεδάφια απορροή, οπότε μαζί οι δύο αυτές συνιστώσες αναφέρονται απλοποιητικά ως **Περίσσευμα Βροχής (Rainfall Excess)**.

- Σύμφωνα με τους *Sorooshian et al. (2008)*, ένα μοντέλο είναι μια απλοποιημένη αναπαράσταση του συστήματος του πραγματικού κόσμου.

Το μοντέλο αυτό είναι πλέον ενδεδειγμένο, όταν εξετάζεται συγκεκριμένη βροχόπτωση.

- Αν αφαιρεθούν η ταχεία (6) και η υπεδάφια απορροή (7), ο σημαντικότερος παράγοντας απωλειών γίνεται η διήθηση (3).
- Ωστόσο, είναι δύσκολο να προσομοιωθεί κάθε επεισόδιο βροχόπτωσης ξεχωριστά.



ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

- Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, μηνιαία μοντέλα υδατικού ισοζυγίου, π.χ. μηνιαίου βήματος, ο παράγοντας της εξατμισοδιαπνοής γίνεται σημαντικότερος, δεδομένου ότι προϊόντος του χρόνου μέρος της διήθησης θα μετατραπεί σε εξατμισοδιαπνοή.
- Τα μοντέλα μεμονωμένου πλημμυρικού γεγονότος χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, όπου ζητούμενο είναι η αιχμή της πλημμύρας.
- Τα εννοιολογικά μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση ότι μια υδρολογική λεκάνη συμπεριφέρεται ως ένας γραμμικός ταμιευτήρας. Σύμφωνα με τους Evans et al. (1972), ο ορισμός του γραμμικού ταμιευτήρα είναι ότι η αποθήκευση του νερού στον ταμιευτήρα είναι σε κάθε στιγμή t ποσοστό της παροχής, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$S(t) = Q(t) \quad (1)$$

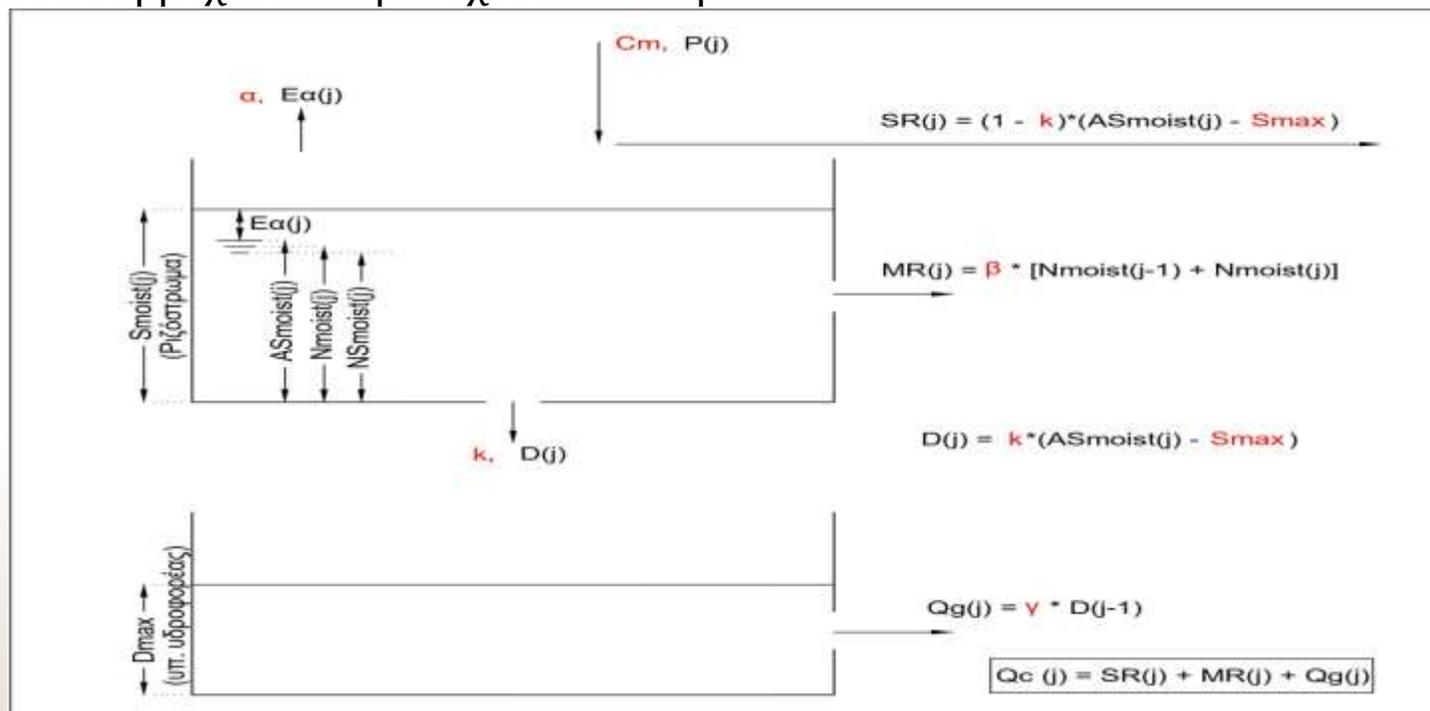


Σχήμα 3: Ένας εννοιολογικός ταμιευτήρας (Evans et al., 1972)



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

- Το ΥΤΗΒΑΛ είναι εννοιολογικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου βροχόπτωσης – απορροής μηνιαίας βάσης.
- Κατάλληλο να προσομοιώνει το υδρολογικό ισοζύγιο για ορεινές λεκάνες, καθώς πραγματοποιείται διαχωρισμός των κατακρημνισμάτων σε βροχόπτωση και χιονόπτωση.



Σχήμα 4: Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου βροχόπτωσης απορροής ΥΤΗΒΑΛ

- Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, το μοντέλο θεωρεί δυο γραμμικούς ταμιευτήρες που αντιστοιχούν στο ριζόστρωμα και τον υπόγειο υδροφόρο.



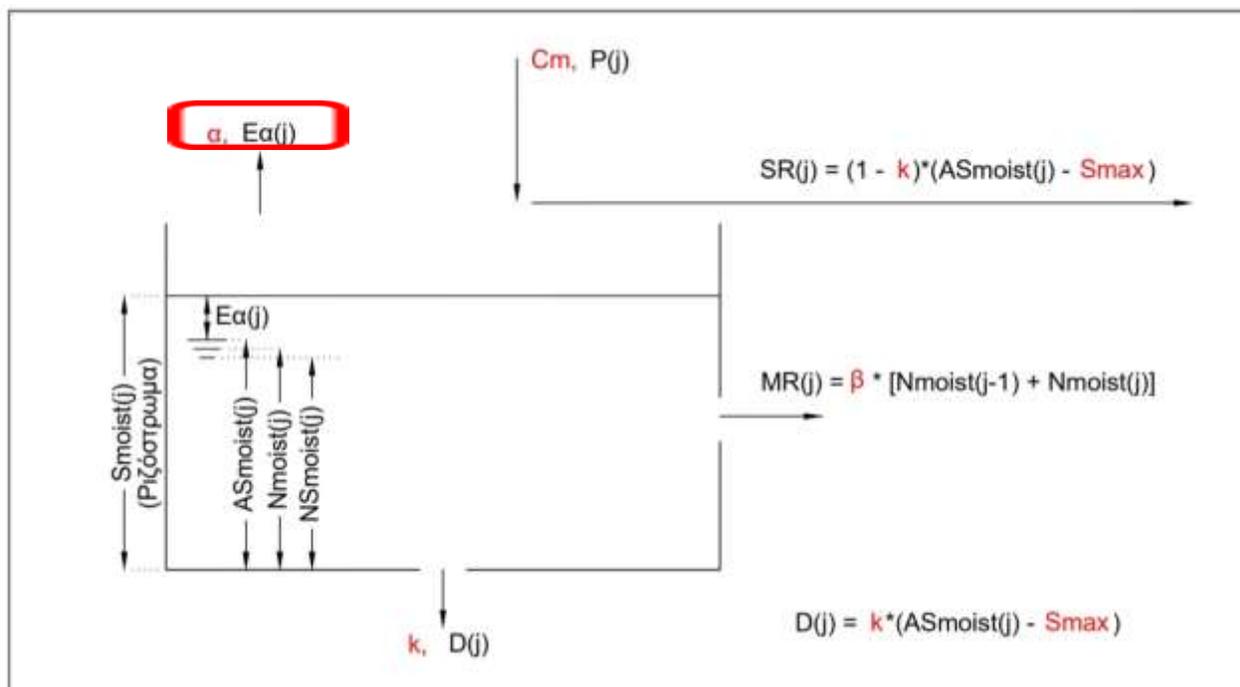
ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

- Σε σύγκριση με το μοντέλο Γιακουμάκη διαπιστώνονται οι εξής διαφορές:

α) Στο μοντέλο **ΥΤΗΒΑΛ** υπολογίζεται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε συνάρτηση της δυνητικής και

- η διαθέσιμη υγρασία S_{moist} προς πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,
- η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία AS_{moist} ,
- η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα N_{moist} , καθώς και
- η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα NS_{moist} μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,

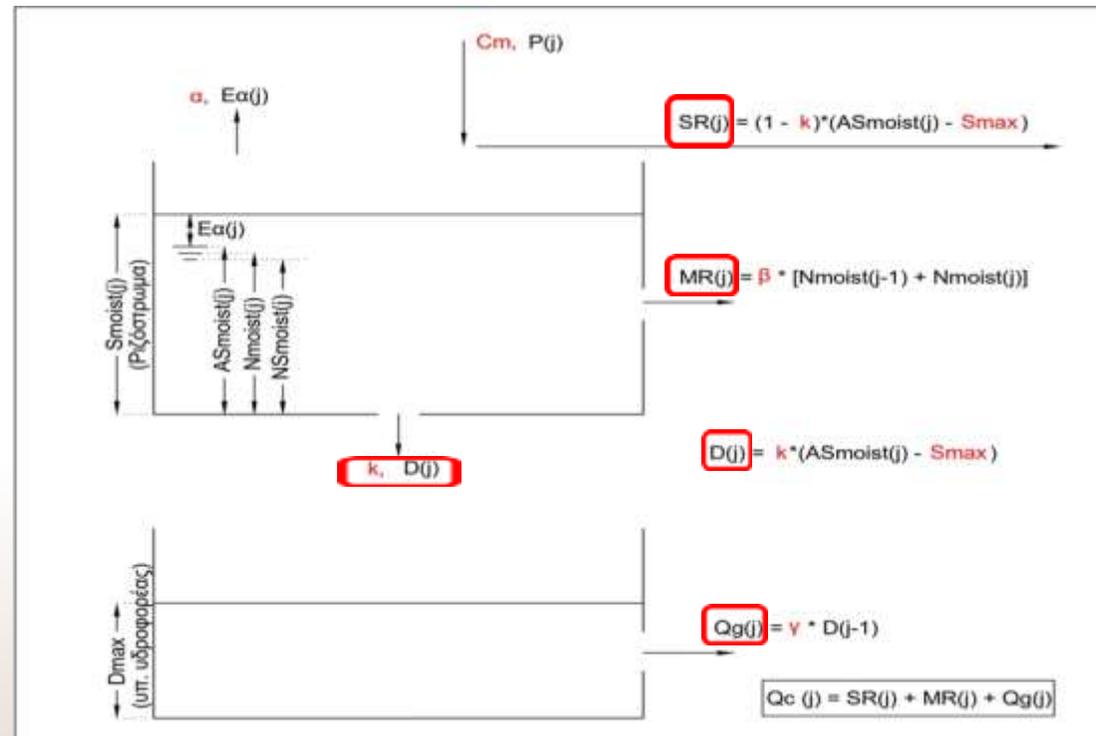
ενώ στο μοντέλο **Γιακουμάκη** λαμβάνεται υπόψη μόνο η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και η διαθέσιμη υγρασία εδάφους.





ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

β) Στο μοντέλο ΥΤΗΒΑΛ όπως και σε αυτό του Γιακουμάκη η απορροή (επιφανειακή και υπόγεια) ξεκινούν με την πλήρωση του κορεσμού του εδάφους. Στο μοντέλο ΥΤΗΒΑΛ, όμως, γίνεται διαχωρισμός της υπεδάφειας απορροής σε ενδιάμεση και βασική, κάτι που δε λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο του Γιακουμάκη.



- Για τις ορεινές λεκάνες, όπου οι χιονοπτώσεις είναι συχνές, απαιτείται να γίνεται διαχωρισμός των κατακρημνισμάτων βροχόπτωσης και χιονόπτωσης.



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

1. Το ύψος χιονόπτωσης (Snowfall - S) του μήνα j [L - mm] υπολογίζεται από τις σχέσεις των Knight et al. (2001).

• Εάν $T(j) \geq 12,22$ °C, τότε $S(j) = 0$ (2)

• Εάν $-10^\circ\text{C} \leq T(j) \leq 12,22$ °C, τότε $S(j) = \frac{P_t(j)}{(1,61*1,35^{T(j)+1})}$ (3)

• Εάν $T(j) \leq -10^\circ\text{C}$, τότε $S(j) = P_t(j)$ (4)

όπου:

$T(j)$: Η μέση θερμοκρασία του μήνα j [M⁰L⁰T⁰ - °C]

$P_t(j)$: Τα συνολικά κατακρημνίσματα (total Precipitations) του μήνα j [L - mm].



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

2. Το δυναμικό λιώσιμο χιονιού (**Potential Melt - MP**) [L - mm], δηλαδή το ύψος του χιονιού που δύναται να λιώσει και να οδηγήσει σε άμεση απορροή υδάτων κατά μέγιστο βαθμό, εκτιμάται από την εξίσωση απλού βαθμού του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας World Meteorological Organization (WMO, 1986):

$$\text{Εάν } T(j) \geq 0, \quad \text{τότε } MP(j) = C_m * T(j) \quad (5)$$

$$\text{Εάν } T(j) < 0, \quad \text{τότε } MP(j) = 0 \quad (6)$$

όπου:

$$C_m: \quad \text{Συντελεστής τήξης μηνιαίας βάσης} \quad [L^{-1} T^{-1} - ^\circ C / (mm * month)].$$

3. **Συσσώρευση και πραγματικό λιώσιμο χιονιού (Snowfall accumulation – S_{acc} and actual melt – M)** του μήνα j [L - mm] υπολογίζονται ως εξής:

• Εάν $S(j) - MP(j) - S_{acc}(j - 1) > 0$, τότε:

$$S_{acc}(j) = S(j) - MP(j) - S_{acc}(j - 1) \quad (7)$$

$$M(j) = MP(j) \quad (8)$$

• Εάν $S(j) - MP(j) - S_{acc}(j - 1) \leq 0$, τότε:

$$S_{acc}(j) = 0 \quad (9) \quad \text{και}$$

$$M(j) = S(j) + S_{acc}(j - 1) \quad (10)$$



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

4. Η πραγματική βροχόπτωση (actual Raindrop - R_{da}) [L - mm] του μήνα j υπολογίζεται από την παρακάτω ισότητα:

$$R_{da}(j) = P_t(j) - S(j), \quad (11)$$

5. Τα κατακρημνίσματα που οδηγούν σε άμεση απορροή (Precipitation for the runoff - P) [L - mm] του μήνα j υπολογίζεται από την παρακάτω ισότητα:

$$P(j) = R_{da}(j) + M(j), \quad (12)$$

Η συνολική απορροή διακρίνεται σε τρεις συνιστώσες:

- α) Επιφανειακής απορροής,
- β) ενδιάμεσης ή επιδερμικής απορροής και
- γ) βασικής απορροής ή απορροής που προέρχεται από την εκροή υδροφορέα.



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

6. Η Μηνιαία Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή (ΜΠΕ) του μήνα j , $E_a(j)$ [L - mm] εξαρτάται από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα j [L - mm] και τη μέση επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j $E_p(j)$ [L - mm], που υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite.

Η ΜΠΕ υπολογίζεται από τη σχέση των Vandewiele & Win (1998):

$$E_a(j) = \min \left\{ E_p(j) * \left[1 - \alpha \frac{S_{moist}}{E_p(j)} \right], S_{moist}(j) \right\} \quad (13)$$

όπου:

- $S_{moist}(j)$: Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα j για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ΜΠΕ) [L - mm].
- α : Συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής [0 < α < 1, M⁰ L⁰ T⁰].
- $E_p(j)$: Δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j [L - mm].



ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

7. Η επιφανειακή απορροή (Surface Runoff - SR) [L - mm] υπολογίζεται ως εξής:

• Εάν $AS_{moist}(j) > S_{max}$, τότε $SR(j) = (1 - k) * (AS_{moist}(j) - S_{max})$ (14)

• Εάν $AS_{moist}(j) \leq S_{max}$, τότε $SR(j) = 0$ (15)

όπου:

• $SR(j)$: Η επιφανειακή απορροή του μήνα j [L - mm].

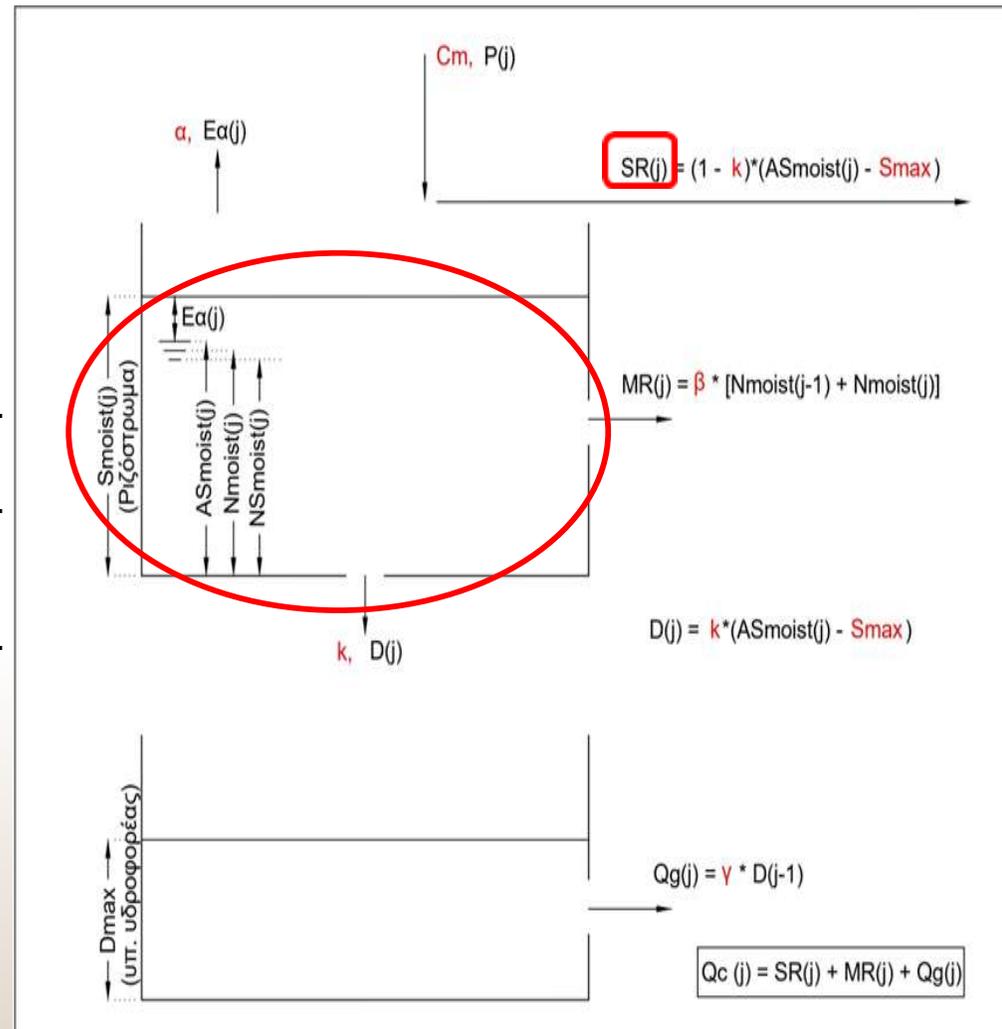
• S_{max} : Η μέγιστη διαθέσιμη υγρασία του μήνα j [L - mm].

• $AS_{moist}(j)$: Παράμετρος που αποτελεί την υπολειπόμενη εδαφική υγρασία j μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής [L - mm].

Προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$AS_{moist}(j) = S_{moist}(j) - E_a(j) \quad (16)$$

• k : Συντελεστής διήθησης $[0 < k < 1, M^0 L^0 T^0]$.





ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

8. Η υπόγεια ροή του διηθήμενου νερού (Deep infiltration - D)[L - mm] υπολογίζεται ως εξής:

- Εάν $AS_{moist}(j) > S_{max}$, τότε:

$$D(j) = k * (AS_{moist}(j) - S_{max}) \quad (17)$$

- Εάν $AS_{moist}(j) \leq S_{max}$, τότε:

$$D(j) = 0 \quad (18)$$

9. Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία (available soil moisture - N_{moist})[L - mm] του μήνα j υπολογίζεται ως εξής:

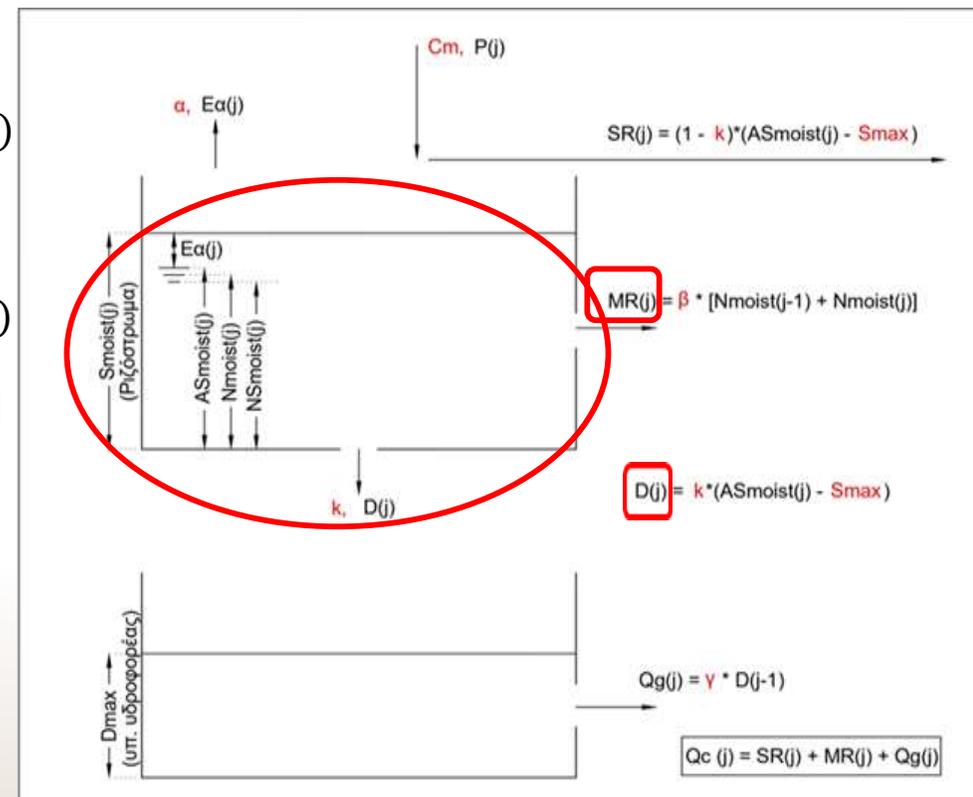
$$N_{moist}(j) = AS_{moist}(j) - SR(j) - D(j),$$

10. Η ενδιάμεση απορροή (Medium Runoff - MR)[L - mm] του μήνα j προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$MR(j) = \beta * [N_{moist}(j - 1) + N_{moist}(j)], \quad (20)$$

όπου β : Συντελεστής ενδιάμεσης απορροής

$[0 < \beta < 1, M^0 L^0 T^0]$.





ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΠΗΒΑΛ

11. Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα j , (soil moisture - $NS_{moist}(j)$) [L - mm] δίνεται από την εξίσωση:

$$NS_{moist}(j) = N_{moist}(j) - MR(j), \quad (21)$$

12. Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα $j+1$, (soil moisture - $S_{moist}(j+1)$) [L - mm] δίνεται από την εξίσωση:

$$S_{moist}(j+1) = P(j+1) + NS_{moist}(j), \quad (22)$$

13. Η βασική απορροή από την εκροή του υδροφορέα (Quantity of ground outflow, Q_g) του μήνα j , [L - mm] δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_g(j) = \gamma * D(j-1), \quad (23)$$

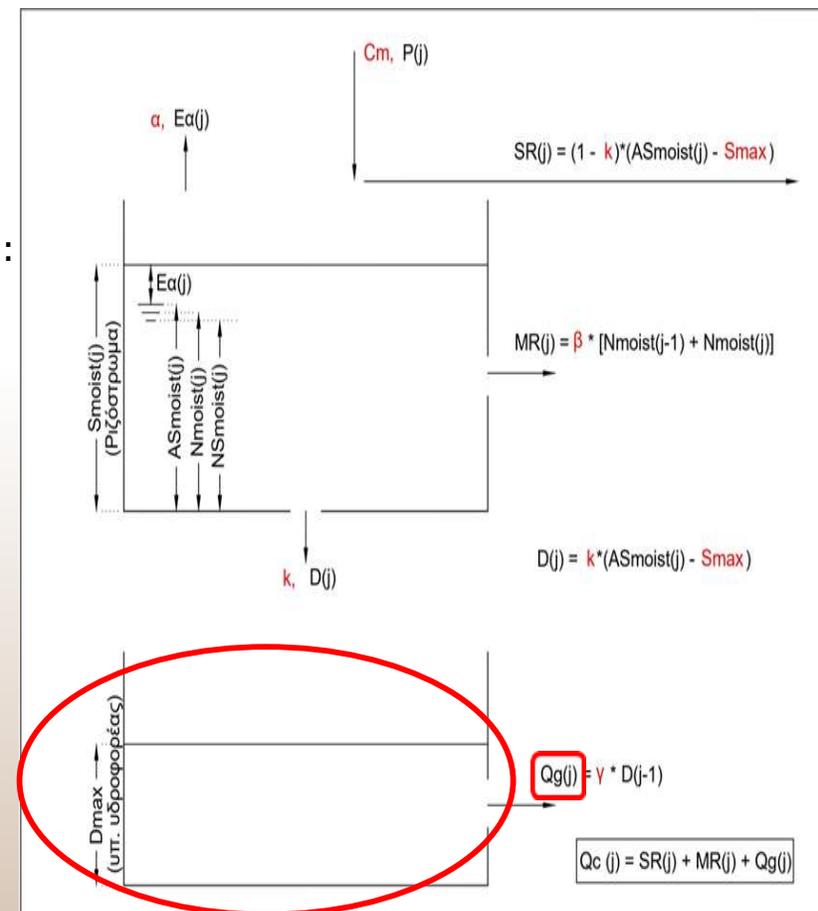
όπου:

γ : Συντελεστής βασικής απορροής εκροής του υδροφορέα $[0 < \beta < 1, M^0 L^0 T^0]$.

14. Η βασική επαναφόρτιση του υδροφορέα (Recharge of ground water, R_g)

του μήνα j , [L - mm] δίνεται από την εξίσωση:

$$R_g(j) = (1 - \gamma) * D(j-1), \quad (24)$$



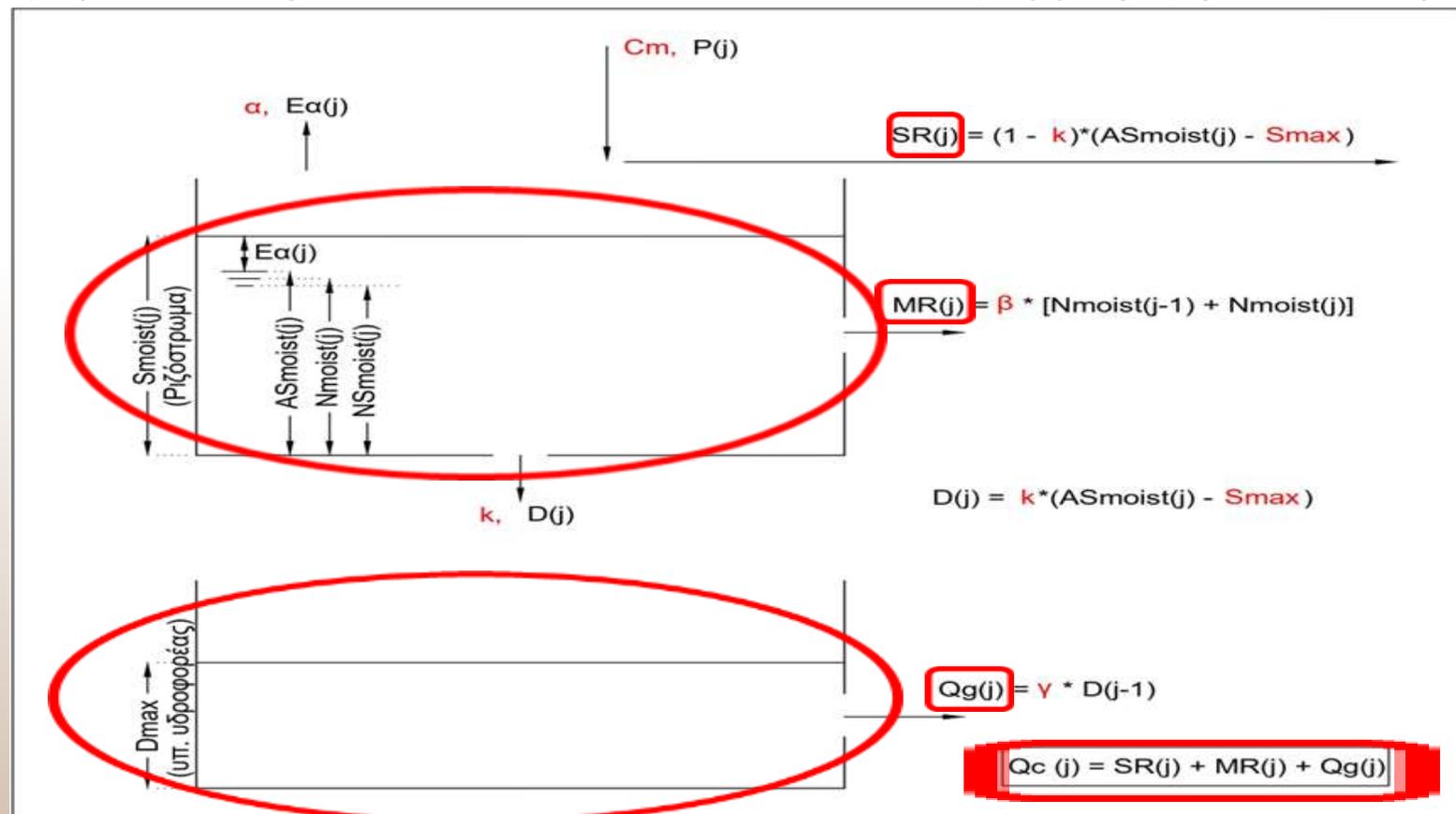


ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΥΤΗΒΑΛ

15. Η συνολική υπολογισθείσα απορροή (total quantity of calculated outflow, Q_c) του μήνα j , [L - mm] υπολογίζεται ως το άθροισμα των τριών επιμέρους συνιστωσών απορροής (επιφανειακής, ενδιάμεσης και βασικής) σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Q_c(j) = SR(j) + MR(j) + Q_g(j). \quad (25)$$

Εν κατακλείδι, το υδρολογικό μοντέλο UTHBAL χρησιμοποιεί ως εισροές, μηνιαίες χρονοσειρές κατακρημνισμάτων, μέση θερμοκρασία και δυνητική εξατμισοδιαπνοή και αποτελείται, ουσιαστικά, από έξι (6) προς βελτιστοποίηση παραμέτρους (C_m , α , β , γ , k και S_{max}).





ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ – ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΞΑΝΘΗΣ – ΤΜΗΜΑ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔ.ΙΣ_1

*Μιχαήλ Σπηλιωτης, Αν. Καθηγητής ΔΠΘ,
Σταμάτης Σταυρής, Διπλ. Πολ. Μηχ/κός ΔΠΘ, Μ.Eng., Υποψήφιος Διδάκτορας*

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Sorooshian, S., Hsu, K., - L., Coppola, E., Tomassetti, B., Verdecchia, M. and Visconti, G. (2008). Hydrological Modelling and the Water Cycle - Coupling the Atmospheric and Hydrological Models.

Hydrological Models. Knight, C., G., Chang, H., Staneva, P., M., Kostov, D., 2001. A simplified basin model for simulating runoff: the Struma River GIS. Profess Geogr 53(4):533–545.

Loukas, A., Mylopoulos, N., Vasiliades, L., 2007. Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece. Water Resource Management (2007) 21:1673–1702. DOI 10.1007/s11269-006-9120-5.

Loukas, A., Vasiliades, L., Lachanas, G., 2006. Climate change impacts on the components of hydrological cycle in Thessaly. In Gidarakos, E., Nikolaidis, N., Christodoulatos, C. (eds) Protection and restoration of the environment VIII, Chania, Greece.

Semadeni-Davies, A., 1997. Monthly snowmelt modelling for large-scale climate change studies using the degree day approach. Ecol Model 101:303–323.

Ψιλοβίκος, Α. (2020). Υδατικοί Πόροι

Ευχαριστούμε για την προσοχή σας!