



**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

# **ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ**

**Ενότητα 1:** Εισαγωγή στις υδρολογικές διεργασίες -  
Ασκήσεις

**Καθ. Αθανάσιος Λουκάς**

Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή

# ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

## ΒΑΣΙΚΗ ΕΙΣΩΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

$$\Delta S / \Delta t = P - R - G - E - T - N$$

όπου:

- P** η κατακρήμνιση (βροχόπτωση και χιονόπτωση)
- E** η εξάτμιση
- T** η διαπνοή (συνήθως  $E+T = EPT =$  εξατμισοδιαπνοή)
- Q** η άμεση επιφανειακή απορροή
- G** η υπόγεια απορροή
- N** λοιπές απώλειες (πχ διαφυγές)



# ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

## ΒΑΣΙΚΗ ΕΙΣΩΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

$$\Delta S = P - R - G - E - T - N$$

Μονάδες χρήσιμες για τα υδατικά ισοζύγια

Μονάδα	Αντιστοιχία
Στρέμμα (στρ)	1000 m <sup>2</sup>
Εκτάριο (ha)	10000 m <sup>2</sup>
Εκατομμύρια κυβικά (hm <sup>3</sup> )	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

Από χιλιοστά (h) είναι πολύ εύκολο να μετατραπούν οι μονάδες σε κυβικά μέτρα (V) και αντίστροφα, εάν γνωρίζουμε την επιφάνεια αναφοράς (A). Είναι:

$$A * h = V$$



# ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

## ΕΞΙΣΩΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

$$V_{t+1} = V_t + Q_{\text{obs},t} + P_t - EPT_t - a_i W - N_t$$

όπου:

$V_{t+1}$  ο όγκος που είναι αποθηκευμένος στην αρχή του μήνα  $t$

$V_t$  ο όγκος που είναι αποθηκευμένος στο τέλος του μήνα  $t$

$Q_{\text{obs},t}$  η μηνιαία εισροή στον ταμιευτήρα

$P_t$  η μηνιαία κατακρήμνιση πάνω στην επιφάνεια του ταμιευτήρα

$EPT_t$  η μηνιαία εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα

$W$  η ποσότητα ύδατος που εκρέει

$a_i$  ο μηνιαίος συντελεστής κατανομής του  $W$  με  $\sum_{i=1}^{12} a_i = 1$

$N_t$  οι μη ελεγχόμενες μηνιαίες διαφυγές (απώλειες) από τον ταμιευτήρα



# ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Μιμίκου Μ.Α. & Ε.Α. Μπαλτάς. «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 5<sup>η</sup> Έκδοση, 2012.

## Παράδειγμα 1.1

Βροχόπτωση έντασης 5 mm/h έπεσε σε λεκάνη απορροής έκτασης 4 km<sup>2</sup> για 6 ώρες. Στην έξοδο της λεκάνης μετρήθηκε απορροή κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ίση με 70 000 m<sup>3</sup>.

Πόση από την ποσότητα της βωρης βροχόπτωσης μετατράπηκε σε υδρολογικές απώλειες;

(Πηγή: Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012)



## Παράδειγμα 1.1 - Λύση

Η συνολική εισροή στη λεκάνη απορροής κατά τη διάρκεια του επεισοδίου βροχόπτωσης, σε μονάδες όγκου ήταν:

$$I = 0.005 \text{ m / hr} \cdot 6 \text{ hr} \cdot 4 \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 120000 \text{ m}^3$$

ενώ η εκροή που μετρήθηκε στην έξοδο ήταν:

$$O = 70000 \text{ m}^3$$

Η διαφορά μεταξύ της εκροής και της εισροής δίνει τις ζητούμενες υδρολογικές απώλειες, δηλαδή:

$$\text{Απώλειες} = I - O = 120000 - 70000 = 50000 \text{ m}^3$$

Οι απώλειες αυτές συνίστανται κυρίως στην ποσότητα νερού που διηθήθηκε στο έδαφος και λιγότερο σε αυτές της εξάτμισης και διαπνοής, που είναι αρκετά μικρές για το χρονικό διάστημα των 6 hr.

Ο ρυθμός των απωλειών, εκφρασμένος σε μονάδες ισοδύναμου ύψους νερού, ανά επιφάνεια λεκάνης και χρόνο είναι:

$$\text{Ρυθμός απωλειών} = \frac{50000 \text{ m}^3}{4 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ hr}} = 0.002 \text{ m / hr} = 2 \text{ mm / hr}$$

(Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012)



## Παράδειγμα 1.2

Λίμνη σταθερής επιφάνειας  $1.11 \text{ km}^2$  έχει σε δεδομένο μήνα εισροή  $0.42 \text{ m}^3/\text{sec}$ , αντίστοιχη εκροή  $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$  και αύξηση του αποθέματος  $19800 \text{ m}^3$ . Ένας βροχογράφος που είναι εγκατεστημένος δίπλα στη λίμνη μέτρησε για τον εν λόγω μήνα συνολική βροχόπτωση  $27 \text{ mm}$ .

Αν υποτεθεί ότι οι διαφυγές από τη λίμνη είναι ασήμαντες, να προσδιοριστεί η μηνιαία εξάτμιση της λίμνης.

(Πηγή: Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012)



## Παράδειγμα 1.2 - Λύση

Θα εφαρμοστεί και εδώ η γενική εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, που στη συγκεκριμένη περίπτωση (περίπτωση λίμνης) λαμβάνει την εξής μορφή:

$$I + P - O - E = \Delta S$$

όπου:

$I =$  η εισροή στη λίμνη =  $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ , ή  $1088640 \text{ m}^3$  στο μήνα

$O =$  η εκροή από τη λίμνη =  $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , ή  $933120 \text{ m}^3$  στο μήνα

$P =$  η επιφανειακή βροχόπτωση =  $0.027 \text{ m} \cdot 1110000 \text{ m}^2 = 29970 \text{ m}^3$

$\Delta S =$  η αύξηση αποθέματος της λίμνης =  $19800 \text{ m}^3$

$E =$  η ζητούμενη εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης

Με αντικατάσταση των τιμών στην εξίσωση υδατικού ισοζυγίου, προκύπτει το ζητούμενο μέγεθος:

$$E = (1088640 + 29970 - 933120 - 19800) \text{ m}^3 \Rightarrow E = 165690 \text{ m}^3$$

Η εξάτμιση θα μπορούσε να δοθεί και σε μονάδες ισοδύναμου ύψους νερού (cm ή mm), διαιρώντας την ποσότητα που προέκυψε με την επιφάνεια της λίμνης, ως εξής:

$$E = \frac{165690 \text{ m}^3}{1110000 \text{ m}^2} = 0.149 \text{ m} = 149 \text{ mm}$$

(Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012)





### Παράδειγμα 1.3: Εκτίμηση υδρολογικού ισοζυγίου σε λεκάνη απορροής

Σε στεγανή λεκάνη απορροής επιφάνειας  $10 \text{ km}^2$ , κατά τη διάρκεια ενός εαρινού μήνα, η βροχόπτωση που μετράνε τα εγκατεστημένα όργανα είναι  $520 \text{ mm}$ . Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται περί τα  $3.85 \text{ hm}^3$ . Κατά τη διάρκεια του μήνα, η βασική ροή στο ποτάμι που καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης, είναι περίπου  $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ . Να υπολογιστεί η άνοδος ή η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα εάν είναι γνωστό ότι στην αρχή του μήνα αυτός βρίσκεται στο  $+51.68 \text{ m}$ . Ποιος ο συντελεστής απορροής το μήνα αυτό;

### Παράδειγμα 1.3: Λύση

$$\Delta S / \Delta t = P - R - G - E - T - N$$

$\Delta S$  είναι η μεταβολή στην αποθήκευση, που ισούται με τη μεταβολή  $\Delta h$  της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα επί το εμβαδόν  $A$  της λεκάνης. Επειδή ο χρονικός ορίζοντας είναι ο μήνας, μπορούμε να απλοποιήσουμε το  $\Delta t$ , φροντίζοντας ωστόσο να αναχθούν όλα τα μεγέθη σε μηνιαίο βήμα.



### Παράδειγμα 1.3: Λύση

$$\Delta S = P - R - G - E - T - N$$

Επειδή η εξάτμιση και η διαπνοή δίδονται ως εξατμισοδιαπνοή, μπορούμε να γράψουμε  $E+T=EPT$ . Η λεκάνη απορροής είναι στεγανή, επομένως  $N=0$ . Δεν αναφέρεται κίνηση του υδροφόρου ορίζοντα (οριζόντιος υδροφόρος ορίζοντας), επομένως  $G=0$ . Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αρχική εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου δύναται να απλοποιηθεί ως:

$$\begin{aligned}\Delta S &= \Delta h * A = P * A - EPT - Q \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta h &= 0.520 - \frac{3.85 * 10^6}{10 * 10^6} - 0.65 * \frac{30 * 86400}{10^7} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta h &= -0.033m\end{aligned}$$

Επειδή  $P < Q + EPT$ , συνεπάγεται ότι  $I < 0$ , επομένως υπάρχει τροφοδότηση από υπόγεια νερά (υδροφόρος ορίζοντας) και η στάθμη πρέπει να μειώνεται. Θα είναι τότε:

$$h_2 = 51.68 - 0.033 = 51.65 \text{ m.}$$

Ο συντελεστής απορροής κατά τον ορισμό θα είναι:

$$c = \frac{0.65 * \frac{30 * 86400}{10^7}}{0.520} = 0.32$$



### Παράδειγμα 1.4: Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου σε ταμιευτήρα

Ένας ταμιευτήρας έχει στις αρχές Ιουλίου αποθηκευμένο όγκο  $5000 \text{ m}^3$ . Κατά τη διάρκεια του μήνα, η βροχόπτωση μετρήθηκε ίση με  $300 \text{ m}^3$ , η εξάτμιση ίση με  $800 \text{ m}^3$ , ενώ η εισροή από το υδρογραφικό δίκτυο μετρήθηκε ίση με  $200 \text{ m}^3$ .

A) Εάν η ελάχιστη αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα είναι  $3000 \text{ m}^3$ , πόσο νερό για άρδευση μπορεί να ληφθεί κατά τη διάρκεια του εν λόγω μήνα; Θεωρίστε ότι ο ταμιευτήρας είναι στεγανός.

B) Τον επόμενο μήνα (Αύγουστος), η εξάτμιση μειώθηκε κατά 20%, δεν εκδηλώθηκαν βροχοπτώσεις και η εισροή από το υδρογραφικό δίκτυο παρέμεινε σταθερή. Εάν η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε για άρδευση τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ήταν  $600 \text{ m}^3/\text{μήνα}$ , ποιος θα είναι ο αποθηκευμένος όγκος νερού στις αρχές του Σεπτεμβρίου;

### Παράδειγμα 1.4: Λύση

$$V_{t+1} = V_t + Q_{\text{obs},t} + P_t - EPT_t - a_i W - N_t$$

A)

Επειδή ο ταμιευτήρας είναι στεγανός,  $N_t=0$ .

Ο ετήσιος συντελεστής κατανομής  $a_i$  δεν έχει νόημα, καθώς το ισοζύγιο θα γίνει για έναν μόνο μήνα. Επομένως η ποσότητα  $a_i W$  είναι ίση με  $W$ .



## Παράδειγμα 1.4: Λύση

$$V_{t+1} = V_t + Q_{\text{obs},t} + P_t - EPT_t - a_i W - N_t$$

A)

Η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορούμε να πάρουμε από τον ταμιευτήρα, θα προκύψει από την παραπάνω σχέση, εάν θέσουμε όπου  $V_{t+1}$  την ελάχιστη δυνατή στάθμη. Δηλαδή:

$$3000 = 5000 + 200 + 300 - 800 - W \text{ ή } \mathbf{W = 1700 m^3}.$$

B) Ισοζύγιο κατά το μήνα Ιούλιο:

$$V_{t+1} = V_t + Q_{\text{obs},t} + P_t - EPT_t - W \rightarrow V_{t+1} = 5000 + 200 + 300 - 800 - 600 = 4100 \text{ m}^3$$

Παρατηρούμε ότι ο υπολογισμένος όγκος είναι μεγαλύτερος από  $3000 \text{ m}^3$ , άρα ικανοποιείται ο περιορισμός.

Ισοζύγιο κατά το μήνα Αύγουστο:

$$V_{t+1} = V_t + Q_{\text{obs},t} + P_t - EPT_t - W \rightarrow \mathbf{V_{t+1} = 4100 + 200 + 0 - (1-0.2)*800 - 600 = 3060 \text{ m}^3}$$



# Βιβλιογραφία

Μιμίκου, Μ.Α. και Ε.Α. Μπαλτάς. «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 5<sup>η</sup> Έκδοση, 2012.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

