

### Παράδειγμα 1.1

Βροχόπτωση έντασης 5 mm/h, έπεσε σε λεκάνη απορροής έκτασης 4 km<sup>2</sup> για 5 ώρες. Στην έξοδο της λεκάνης μετρήθηκε απορροή κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ίση με 70000 m<sup>3</sup>. Πόση από την ποσότητα της 5ωρης βροχόπτωσης μετατράπηκε σε υδρολογικές απώλειες;

#### Λύση

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

$$I = 0.006 \text{ m/hr} * 5\text{hr} * 4 * 10^6 \text{ m}^2 = 120000 \text{ m}^3$$

Ενώ η εκροή που μετρήθηκε στην έξοδο ήταν:

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

Η διαφορά μεταξύ εισροής και εκροής αποτελεί τις ζητούμενες υδρολογικές απώλειες (Losses), δηλαδή

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

Οι απώλειες αυτές αντιπροσωπεύουν την ποσότητα νερού που διηθήθηκε στο έδαφος και λιγότερο της εξάτμισης και διαπνοής γιατί το χρονικό διάστημα των 5 ωρών είναι πολύ μικρό.

Ο ρυθμός των απωλειών δύναται να εκφραστεί σε ισοδύναμο ύψος νερού, ανά επιφάνεια λεκάνης και χρόνο και ισούται με:

$$\text{Ρυθμός Απωλειών} = \frac{50000 \text{ m}^3}{4 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 5 \text{ hr}} = 0.0025 \text{ m/hr} = 2 \text{ mm/hr}.$$

## Παράδειγμα 1.2

Η επιφάνεια της λίμνης Κουρνά είναι  $1036000\text{m}^2$  και το έτος 2005 η εισροή ήταν  $0.1\text{ m}^3/\text{s}$  και η αντίστοιχη εκροή  $0.09\text{ m}^3/\text{s}$  και η αύξηση του αποθέματος ήταν  $198000\text{ m}^3$ . Ένας βροχογράφος που είναι δίπλα στη λίμνη μέτρησε για το έτος αυτό συνολική βροχόπτωση  $752\text{mm}$ . Αν υποθεθεί ότι οι διαφυγές από τη λίμνη δεν είναι σημαντικές, να προσδιοριστεί η ετήσια εξάτμιση της λίμνης.

### Λύση

Η γενική εξίσωση του ισοζυγίου της λίμνης Κουρνά παίρνει τη γενική μορφή:

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

Όπου:

$I$  = η εισροή στη λίμνη =  $0.1\text{ m}^3/\text{s}$ , ή  $3153600\text{m}^3$  στο έτος

$O$  = η εκροή από τη λίμνη =  $0.09\text{ m}^3/\text{s}$ , ή  $2838240\text{m}^3$  στο έτος

$P$  = η επιφανειακή βροχόπτωση =  $0.752\text{m} \cdot 1036000\text{m}^2 = 779072\text{m}^3$  στο έτος

$\Delta S$  = η αύξηση αποθέματος της λίμνης =  $198000\text{ m}^3$  στο έτος

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

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

$$E = (3153600 + 779072 - 2838240 - 198000)\text{m}^3 = 896432\text{m}^3$$

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:

$$E = \frac{896432\text{m}^3}{1036000\text{m}^2} = 0.865\text{m} = 865\text{mm} \text{ το έτος.}$$

### Παράδειγμα 1.3

Η λεκάνη απορροής του Κράθι ποταμού έχει συνολική έκταση  $149 \text{ km}^2$  και καλύπτεται από τρεις βροχομετρικούς σταθμούς της Ζαρούχλας, Τσιβλός και Ακράτας. Το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που αντιπροσωπεύει ο κάθε σταθμός είναι 36%, 43% και 21% αντίστοιχα. Κατά το υδρολογικό έτος 2003-4 οι τρεις σταθμοί κατέγραψαν τα ακόλουθα μηνιαία ύψη βροχής σε mm (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1 Μηνιαία ύψη βροχής σε 3 βροχομετρικούς σταθμούς

	Ακράτα	Τσιβλός	Ζαρούχλα
Οκτώβριος	70.6	126.37	122.14
Νοέμβριος	23.1	41.35	39.96
Δεκέμβριος	105.6	189.02	182.69
Ιανουάριος	134.6	240.93	232.86
Φεβρουάριος	34.9	62.47	60.38
Μάρτιος	37.8	67.66	65.39
Απρίλιο	45.4	81.27	78.54
Μάιο	19.4	34.73	33.56
Ιούνιο	5.5	9.85	9.52
Ιούλιο	1.3	2.33	2.25
Αύγουστος	0.0	0.00	0.00
Σεπτέμβριος	1.5	2.69	2.60

Να υπολογιστούν:

1. Το σημειακό ετήσιο ύψος βροχής στον κάθε σταθμό.
2. Το ετήσιο ύψος βροχής και ο ετήσιος όγκος βροχής στη λεκάνη απορροής.
3. Εάν η μέση ετήσια απορροή είναι  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  να υπολογιστεί ο ετήσιος όγκος απορροής και το ισοδύναμο ύψος απορροής της λεκάνης σε mm.
4. Ο ετήσιος συντελεστής απορροής.
5. Ο όγκος υδρολογικών απωλειών και το ισοδύναμο ύψος υδρολογικών απωλειών στη λεκάνη.
6. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή εάν οι υδρολογικές απώλειες από διήθηση και υπόγειες διαφυγές είναι το 35% της συνολικής βροχής.
7. Το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής στη λεκάνη απορροής.

## Λύση

1. Το σημειακό ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού προκύπτει σαν άθροισμα των 12 μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης. Τα αποτελέσματα δίνονται στην τελευταία στήλη του Πίνακα 1.4.

2. Για τον υπολογισμό του ετήσιου ύψους βροχής, γίνεται αρχικά επιφανειακή αναγωγή των σημειακών μηνιαίων τιμών, πολλαπλασιάζοντας τη σημειακή μέτρηση κάθε μήνα με το ποσοστό επιφάνειας που αντιπροσωπεύει κάθε σταθμός. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην τελευταία στήλη του Πίνακα 1.2.

Το ζητούμενο ετήσιο ύψος βροχής προκύπτει ως άθροισμα των 12 μηνιαίων τιμών που υπολογίστηκαν και είναι ίσο με 768.72mm. Η ίδια ποσότητα πολλαπλασιασμένη με την επιφάνεια της λεκάνης απορροής, δίνει τον ετήσιο όγκο βροχής, που είναι ίσος με:  
 $V_{\text{βροχής}} = 768.72\text{mm} \cdot 149 \cdot 10^6 \text{m}^2 = 114 \cdot 10^6 \text{m}^3$ .

**Πίνακας 1.2** Υπολογισμός σημειακών ετήσιων και μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης.

	Ακράτα	Τσιβλός	Ζαρούχλα	Επιφανειακό ύψος βροχής
Οκτώβριος	70.6	126.37	122.14	113.14
Νοέμβριος	23.1	41.35	39.96	37.02
Δεκέμβριος	105.6	189.02	182.69	169.22
Ιανουάριος	134.6	240.93	232.86	215.70
Φεβρουάριος	34.9	62.47	60.38	55.93
Μάρτιος	37.8	67.66	65.39	60.57
Απρίλιο	45.4	81.27	78.54	72.75
Μάιο	19.4	34.73	33.56	31.09
Ιούνιο	5.5	9.85	9.52	8.82
Ιούλιο	1.3	2.33	2.25	2.08
Αύγουστο	0.0	0.00	0.00	0.00
Σεπτέμβριος	1.5	2.69	2.60	2.41
<b>Σημειακό ετήσιο ύψος</b>	<b>479.7</b>	<b>858.66</b>	<b>829.89</b>	<b>768.72</b>

3. Ο όγκος απορροής στην έξοδο της λεκάνης προκύπτει ως γινόμενο της παροχής επί τον αντίστοιχο χρόνο, δηλαδή:

$$V_{\text{απορροής}} = 1.5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 365 \text{ days} \cdot 86400 \text{ sec/day} = 47.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Το ισοδύναμο ύψος απορροής προκύπτει ως πηλίκο αυτού του όγκου προς την αντίστοιχη έκταση λεκάνης, ως εξής:

$$h_{\text{απορροής}} = V_{\text{απορροής}} / A = 47.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / 149 \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 0.317 \text{ m} = 317 \text{ mm}$$

4. Ο ετήσιος συντελεστής απορροής προκύπτει ως πηλίκο του ύψους (ή όγκου) νερού που απέρρευσε προς αυτό που έπεσε κατά τη διάρκεια του έτους και είναι ίσος με:

$$c = 317/768.72 = 0.412$$

5. Ο όγκος υδρολογικών απωλειών σε  $m^3$  είναι:

$$V_{\text{απώλειες}} = V_{\text{βροχής}} - V_{\text{απορροής}} = 114 \cdot 10^6 m^3 - 47.3 \cdot 10^6 m^3 = 67.1 \cdot 10^6 m^3$$

$$h_{\text{απώλειες}} = V_{\text{απώλειες}} / A = 67.1 \cdot 10^6 m^3 / 149 \cdot 10^6 m^2 = 0.450m = 450mm$$

6. Το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής εκφράζεται από την εξίσωση:

$$P - E - (G + DS) - R = 0$$

Όπου

$$P = \text{βροχόπτωση} = 768.72mm$$

$$R = \text{απορροή} = 317mm$$

$$G + DS = \text{διήθηση και υπόγειες διαφυγές} = 0,35 \times P = 768.72mm \cdot 0.35 = 269mm$$

$$E = \text{εξατμισοδιαπνοή, που από το ισοζύγιο προκύπτει ίση με } 182.72mm.$$

7. Το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής στη λεκάνη απορροής, φαίνεται στην τελευταία στήλη του Πίνακα 1.2 και είναι ίσο με 215.7mm τον μήνα Ιανουάριο.

## Άσκηση

Πέντε χιλιόμετρα πριν τις εκβολές του Κράθι ποταμού πρόκειται να κατασκευαστεί φράγμα για την αποθήκευση νερού, ώστε να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες του κάμπου της Ακράτας. Η λεκάνη απορροής ανάντι του φράγματος έχει έκταση  $149 \text{ km}^2$  και θεωρείται στεγανή. Στον Πίνακα 1.3 δίνονται τα ιστορικά δείγματα (α) της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης και (β) της μέσης ετήσιας παροχής  $Q$  στη θέση του φράγματος για μια περίοδο 12 υδρολογικών ετών.

**Πίνακας 1.3** Στοιχεία μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης και μέσης ετήσιας παροχής.

Υδρολογικό έτος	P (mm)	Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1993-1994	601.3	1.6
1994-1995	716.6	1.5
1995-1996	522.4	1.8
1996-1997	537.9	1.8
1997-1998	415.9	1.5
1998-1999	743	1.9
1999-2000	347.6	1.2
2000-2001	425.5	1.7
2001-2002	642	1.8
2002-2003	719.6	2.1
2003-2004	508.5	1.9
1993-1994	601.3	1.6

Ζητούνται:

1. Ο όγκος της απορροής σε  $\text{m}^3$  και mm για κάθε χρόνο.
2. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET) στη λεκάνη σε  $\text{m}^3$  και mm για κάθε χρόνο.
3. Ο συντελεστής απορροής για κάθε χρόνο και για τη χρονική περίοδο του δείγματος.
4. Η αναμενόμενη ετήσια ποσότητα νερού (σε mm) που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αν οι ολικές απώλειες του υπό κατασκευή ταμιευτήρα (εξάτμιση, διαφυγές, υπερχειλίσεις) ανέρχονται σε ποσοστό 18% της μέσης υπερετήσιας εισροής στον ταμιευτήρα.
5. Η έκταση της καλλιεργήσιμης επιφάνειας που μπορεί να αρδευτεί με την παραπάνω ποσότητα νερού, αν η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά της διάρκεια της αρδευτικής περιόδου είναι 650mm και η βροχόπτωση την ίδια περίοδο αμελητέα.