

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων

Μάθημα: Τεχνική Υδρολογία

Άσκηση 3: Υπολογισμός μοναδιαίου υδρογραφήματος από πλημμυρογράφημα και κατασκευή πλημμυρογραφήματος από σύνθετη βροχόπτωση (κανονική εξέταση Φεβρουαρίου 2008)

Σύνταξη και επίλυση άσκησης: Ν. Μαμάσης και Α. Ευστρατιάδης

Δίνεται το συνολικό πλημμυρογράφημα ποταμού, που προκύπτει από καταιγίδα διάρκειας 2 ωρών και σταθερής έντασης, υποθέτοντας σταθερό ρυθμό ελλειμμάτων 8.0 mm/h. Η ένταση της βροχής έχει υπολογιστεί με βάση την όμβρια καμπύλη της λεκάνης, που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 ετών και δίνεται από τη σχέση $i = 48.8 d^{-0.65}$ (i σε mm/h, d σε h).

Χρόνος (h)	0	1	2	3	4	5	6	7
Παροχή (m ³ /s)	10	50	130	100	20	10	10	10

Ζητούνται:

- (α) Το μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης για διάρκεια βροχόπτωσης 2 ωρών.
- (β) Το μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης για διάρκεια βροχόπτωσης 1 ώρας.
- (γ) Το σύνθετο βροχογράφημα (ολικό και καθαρό) που προκύπτει εκτιμώντας τα ύψη βροχής της πρώτης και της δεύτερης ώρας με βάση τις εντάσεις που προβλέπει η όμβρια καμπύλη για διάρκειες 1 και 2 ώρες, αντίστοιχα, και θεωρώντας τον ίδιο σταθερό ρυθμό ελλειμμάτων.
- (δ) Το συνολικό πλημμυρογράφημα που προκύπτει από την παραπάνω σύνθετη βροχόπτωση.

Λύση

(α) Η ένταση της καταιγίδας που προκάλεσε το πλημμυρογράφημα υπολογίζεται με βάση την όμβρια καμπύλη, θέτοντας $d = 2$ h, οπότε προκύπτει $i = 31.1$ mm/h. Από την παραπάνω τιμή αφαιρούνται τα ελλείμματα (8.0 mm/h), οπότε η καθαρή ένταση της καταιγίδας ανέρχεται σε $i_e = 23.1$ mm/h, που αντιστοιχεί σε ύψος ενεργού βροχόπτωσης $h_e = 23.1 \times 2 = 46.2$ mm.

Το καθαρό πλημμυρογράφημα που παράγεται από την παραπάνω σταθερή βροχόπτωση, καθαρού ύψους 46.2 mm και διάρκειας 2 h, προκύπτει με αφαίρεση της βασικής ροής, που εκτιμάται σε 10 m³/s. Με βάση την αρχή της αναλογίας, το Μ.Υ. για την ίδια διάρκεια βροχής υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις τεταγμένες του αρχικού υδρογραφήματος με το λόγο των αντίστοιχων υψών (ή εντάσεων) ενεργού βροχής, δηλαδή $10.0 / 46.2 = 0.216$. Οι σχετικοί υπολογισμοί συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Χρόνος (h)	Ολικό πλημμυρογράφημα (m ³ /s)	Καθαρό πλημμυρογράφημα (m ³ /s)	Μοναδιαίο υδρογράφημα (m ³ /s)
0	10	0	0.0
1	50	40	8.7
2	130	120	26.0
3	100	90	19.5
4	20	10	2.2
5	10	0	0.0

(β) Το Μ.Υ. διάρκειας 1 h προκύπτει με βάση το Μ.Υ. διάρκειας 2 h, με χρήση της καμπύλης S διάρκειας 2 h. Η τελευταία αντιστοιχεί σε βροχή σταθερής έντασης και άπειρης διάρκειας και κατασκευάζεται με επαλληλία των Μ.Υ. διάρκειας 2 h, μετατοπισμένων κατά το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Οι σχετικοί υπολογισμοί φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Χρόνος (h)	M.Y. 2 h (m ³ /s)	M.Y. 2 h (m ³ /s)	M.Y. 2 h (m ³ /s)	Καμπύλη S 2 h (m ³ /s)
0	0.0			0.0
1	8.7			8.7
2	26.0	0.0		26.0
3	19.5	8.7		28.1
4	2.2	26.0	0.0	28.1
5	0.0	19.5	8.7	28.1

Μετατοπίζοντας την καμπύλη S διάρκειας 2 h κατά τη ζητούμενη χρονική υστέρηση (δηλαδή 1 h) και αφαιρώντας τα επιμέρους υδρογραφήματα, προκύπτει ένα ενδιάμεσο υδρογράφημα διάρκειας βροχής 1 h και έντασης $10 / 2 = 5$ mm/h. Το M.Y. διάρκειας 1 h έχει, εξ ορισμού, ένταση 10.0 mm/h, οπότε υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις τεταγμένες του ενδιάμεσου υδρογραφήματος με το λόγο των αντίστοιχων υψών βροχής, δηλαδή $10 / 5 = 2$.

Χρόνος (h)	Καμπύλη S διάρκειας 2 h (m ³ /s)	Καμπύλη S διάρκειας 2 h, μετατοπισμένη κατά 1 h (m ³ /s)	Ενδιάμεσο υδρογράφημα διάρκειας 1 h (m ³ /s)	M.Y. διάρκειας 1 h (m ³ /s)
0	0.0		0.0	0.0
1	8.7	0.0	8.7	17.3
2	26.0	8.7	17.3	34.6
3	28.1	26.0	2.1	4.3
4	28.1	28.1	0.0	0.0
5	28.1	28.1	0.0	0.0

(γ) Με βάση την όμβρια καμπύλη, η ένταση βροχής διάρκειας 2 h είναι ίση με 31.1 mm/h, που αντιστοιχεί σε αθροιστικό ύψος $31.1 \times 2 = 62.2$ mm, ενώ η ένταση για διάρκεια 1 h είναι 48.8 mm/h, που αντιστοιχεί σε ύψος $48.8 \times 1 = 48.8$ mm. Το επιμέρους ύψος βροχής μεταξύ της 1^{ης} και 2^{ης} ώρας ισούται με $62.2 - 48.8 = 13.4$ mm. Τα αντίστοιχα καθαρά ύψη για κάθε ώρα του επεισοδίου βροχής προκύπτουν με βάση τα ολικά, αφαιρώντας το ύψος των ελλειμμάτων που ανέρχεται σε 8.0 mm. Οι σχετικοί υπολογισμοί για την κατασκευή του συνθετικού βροχογραφήματος συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Χρόνος (h)	Ένταση βροχής (mm/h)	Αθροιστικό ύψος βροχής (mm)	Επιμέρους ύψος βροχής (mm)	Ύψος ελλειμμάτων (mm)	Καθαρό ύψος βροχής (mm)
1	48.8	48.8	48.8	8.0	40.8
2	31.1	62.2	13.4	8.0	5.4

(δ) Από το M.Y. διάρκειας 1 h υπολογίζονται, με βάση την αρχή της αναλογίας, τα καθαρά πλημμυρογραφήματα που παράγονται από τα θεωρούμενα ως ανεξάρτητα επεισόδια βροχής, καθαρού ύψους 40.8 και 5.4 mm, τα οποία πραγματοποιούνται την 1^η και 2^η ώρα, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το συνολικό πλημμυρογράφημα, με επαλληλία των επιμέρους πλημμυρογραφημάτων και προσθήκη της βασικής ροής των 10 m³/s.

Χρόνος (h)	Πλημμυρογράφημα καταιγίδας διάρκειας 1 h και ενεργού ύψους 40.8 mm (m ³ /s)	Πλημμυρογράφημα καταιγίδας διάρκειας 1 h και ενεργού ύψους 40.8 mm (m ³ /s)	Βασική ροή (m ³ /s)	Συνολικό πλημμυρογράφημα (m ³ /s)
0	0.0		10.0	10.0
1	70.7	0.0	10.0	80.7
2	141.3	9.3	10.0	160.7
3	17.7	18.7	10.0	46.4
4	0.0	2.3	10.0	12.3
5		0.0	10.0	10.0