



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Φυσικοί και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι (Εργαστήριο)

Ενότητα 8 Πλημμύρες – όμβριες καμπύλες
Δρ. Θεοχάρης Μενέλαος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

3.5.2 Όμβριες καμπύλες

Οι όμβριες καμπύλες, όπως απλούστερα έχει καθιερωθεί να αποκαλούνται στην ελληνική τεχνική ορολογία οι καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς βροχόπτωσης, αποτελούν ένα από τα βασικότερα εργαλεία του υδρολόγου για το σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων. Πρόκειται για απλές αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχής i συναρτήσει της διάρκειας d και της περιόδου επαναφοράς T . Για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών πρέπει να είναι διαθέσιμες ιστορικές σειρές μέγιστων εντάσεων βροχής ξεκινώντας από την ελάχιστη διάρκεια που επιτρέπει η ευκρίνεια των παρατηρήσεων (π.χ. 5 min - 1 h) και φθάνοντας μέχρι τη μέγιστη διάρκεια βροχής που ενδιαφέρει στα τυπικά προβλήματα υδάτινων πόρων.

Η χρησιμότητα των όμβριων καμπυλών είναι άμεση σε όλα τα προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού που αφορούν στην αντιπλημμυρική προστασία. Ουσιαστικά η χρήση τους συνίσταται στην πρόγνωση της έντασης βροχής i , για δεδομένη διάρκεια d , η οποία έχει σχέση με τα χαρακτηριστικά του υδατορεύματος ή αγωγού που μελετάται, και για δεδομένη περίοδο επαναφοράς T , που έχει σχέση με τη σημασία του έργου που μελετάται. Οι όμβριες καμπύλες αποτελούν τη βασική είσοδο σε όλα τα μοντέλα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή, ξεκινώντας από την απλή ορθολογική μέθοδο ($Q = c \cdot i \cdot A$) και φτάνοντας σε πιο σύνθετες μεθόδους, όπως αυτές του μοναδιαίου υδρογραφήματος, και των υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων διόδευσης.

Στην απλούστερη περίπτωση, για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς T , οι όμβριες καμπύλες $i = g \cdot T(d)$ εκφράζονται ως υπερβολικές συναρτήσεις της διάρκειας, σε μια από τις ακόλουθες διαδοσόμενες μορφές όπου ω , θ και η είναι παράμετροι που οι τιμές τους εξαρτώνται από την περίοδο επαναφοράς.

Η μέθοδος προσδιορισμού των όμβριων καμπυλών εφαρμόζεται σε δύο ξεχωριστά στάδια. Το πρώτο στάδιο αντιστοιχεί στην προσαρμογή μιας συνάρτησης κατανομής και το δεύτερο στην εκτίμηση των παραμέτρων των σχέσεων 3.4 – 3.5.

$$i = \frac{a}{(b+t)} \quad (\text{σχέση Talbot}) \quad (3.4)$$

$$i = \frac{a \cdot t}{b} \quad (\text{σχέση Montana}) \quad (3.5)$$

A) Στο πρώτο στάδιο επιλέγεται, προσαρμόζεται και ελέγχεται με βάση τις γνωστές μεθόδους της στατιστικής, μια κατάλληλη συνάρτηση κατανομής (π.χ. Gumbel ή Log Pearson III), ξεχωριστά για κάθε δείγμα δεδομένης διάρκειας.

Η κατανομή μεγίστων τύπου I ή κατανομή Gumbel προκύπτει όταν οι μεταβλητές είναι ισόνομες και ανεξάρτητες με διάστημα τιμών το $(-\infty, +\infty)$ και η κοινή συνάρτηση πιθανότητας υπέρβασής τους εμφανίζει, τουλάχιστον από μια τιμή της μεταβλητής και πάνω, εκθετική μείωση, δηλαδή μπορεί να εκφραστεί σύμφωνα με τη σχέση (3.6). Τα διάφορα χαρακτηριστικά της κατανομής φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

$$x_u = c - \frac{\ln(-\ln u)}{\lambda} \quad (3.6)$$

Λόγω της απλής μαθηματικής έκφρασης της συνάρτησης κατανομής, οι τυπικοί υπολογισμοί είναι άμεσοι και δεν προϋποθέτουν τη χρήση πινάκων ή αριθμητικών μεθόδων. Τα στατιστικά στοιχεία που απαιτούνται για την εφαρμογή της κατανομής Gumbel δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις (3.7):

$$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{6} s_x} = \frac{1}{0.78 s_x} \quad c = \bar{x} - \frac{\gamma}{\lambda} = \bar{x} - \frac{0.577}{\lambda} = \bar{x} - 0.45 s_x \quad (3.7)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i, \quad s_x = \left[\sum \left(\frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \right) \right]^{1/2}$$

Πίνακας 3.2 Στατιστικά χαρακτηριστικά της κατανομής Gumbel

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας	$f_X(x) = \lambda e^{-\lambda(x-c)} e^{-e^{-\lambda(x-c)}}$
Συνάρτηση κατανομής	$F_X(x) = e^{-e^{-\lambda(x-c)}}$
Τιμές μεταβλητής	$-\infty < x < \infty$ (συνεχής)
Παράμετροι	c : παράμετρος θέσης $\lambda > 0$: παράμετρος κλίμακας
Μέση τιμή	$\mu_X = c + \frac{\gamma}{\lambda} = c + \frac{0.5772}{\lambda}$
Διασπορά	$\sigma_X^2 = \frac{\pi^2}{6\lambda^2} = \frac{1.645}{\lambda^2}$
Τρίτη κεντρική ροπή	$\mu_X^{(3)} = \frac{2.404}{\lambda^3}$
Τέταρτη κεντρική ροπή	$\mu_X^{(4)} = \frac{14.6}{\lambda^4}$
Συντελεστής ασυμμετρίας	$C_{s_x} = 1.1396$
Συντελεστής κύρτωσης	$C_{k_x} = 5.4$
Πιθανότερη τιμή	$x_p = c$
Διάμεσος τιμή	$x_{0.5} = c - \frac{\ln(-\ln 0.5)}{\lambda} = c + \frac{0.3665}{\lambda}$

Β) Ο προσδιορισμός των παραμέτρων a , b για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς T γίνεται στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων, όπως διευκρινίζεται στο Παράδειγμα 2 που ακολουθεί.

Παράδειγμα 1 (προσαρμογή κατανομής Gumbel)

Στον Πίνακα 3.3 δίνονται οι τιμές των ετήσιων μέγιστων εντάσεων βροχής στο σταθμό Ελληνικό (αεροδρόμιο Αθήνας) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, όπως έχουν προκύψει μετά από επεξεργασία βροχογραφημάτων 30 ετών, για διάρκειες βροχής από 5 min μέχρι 24 h (με ορισμένες ελλείψεις σε μερικές διάρκειες). Ζητείται ο υπολογισμός των όμβριων καμπυλών για περιόδους επαναφοράς $T = 5$ και $T = 50$.

Πίνακας 3.3 Καταγεγραμμένες ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής στο σταθμό Ελληνικό (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

Υδρολ. Έτος	Μέγιστη ένταση βροχής i (mm/h) για διάρκεια $d =$							
	5 min	10 min	30 min	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
1957-58	81.600	66.000	53.200	35.000	26.900	8.967	6.267	
1958-59	58.800	48.000	33.000	21.500	11.200	6.750	3.983	
1959-60	39.600	34.800	20.000	11.600	6.850	2.400	1.817	
1960-61	54.000	34.800	18.400	11.000	6.650	3.617	2.275	
1961-62	120.000	85.800	41.800	24.800	19.300	7.317	3.733	
1962-63	67.200	60.000	23.600	13.800	7.200	3.033	1.942	
1963-64	78.000	48.000	27.800	14.300	8.500	3.517	2.717	
1964-65	96.000	63.000	28.000	15.500	10.650	4.283	2.167	

1965-66	38.400	36.000	23.000	12.000	6.550	2.450	1.692	
1966-67	74.400	63.600	28.400	15.100	7.550	4.883	2.458	
1967-68	36.000	24.600	16.600	10.200	6.650	3.650	2.750	1.583
1968-69	126.000	69.000	43.200	26.800	15.150	5.933	2.967	1.483
1969-70	82.800	64.200	41.600	24.500	12.450	5.450	2.750	1.763
1970-71	42.000	42.000	25.200	17.700	8.950	3.700	3.092	1.546
1971-72	117.600	85.200	65.200	35.900	19.750	10.017	5.008	2.925
1972-73	68.400	49.800	39.400	33.500	17.750	6.783	5.267	2.679
1973-74	60.000	42.000	28.600	15.200	9.850	4.200	3.467	2.004
1974-75	48.000	48.000	30.600	15.900	8.300	4.267	2.600	1.300
1975-76	120.000	120.000	74.000	40.900	21.500	7.383	4.542	2.271
1976-77	115.200	87.600	41.400	23.200	14.900	6.117	3.300	1.650
1977-78	56.400	46.200	38.600	32.700	20.150	6.733	3.367	1.683
1978-79	78.000	66.600	47.600	30.000	19.550	11.933	6.117	3.371
1979-80	67.200	40.800	17.200	13.300	8.600	4.217	2.808	1.621
1980-81	58.800	56.400	30.400	19.400	11.100	5.583	3.267	1.950
1981-82	67.200	64.800	40.600	24.700	13.050	4.350	2.275	1.138
1982-83	141.600	79.800	49.600	36.200	22.900	7.633	4.517	2.292
1983-84	102.000	69.000	50.400	29.000	17.700	7.033	3.633	1.817
1984-85	40.800	31.800	16.400	12.900	12.150	9.867	6.000	3.400
1985-86	74.400	66.000	29.200	15.600	9.400	3.133	1.567	0.833
1986-87			32.200	29.100	18.550	9.500	7.242	3.846

Στον Πίνακα 3.4 έχουν εξαχθεί τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων των επιμέρους διαρκειών και έχουν γίνει οι αναγκαίοι υπολογισμοί προσαρμογής της συνάρτησης κατανομής Gumbel σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.7)

Πίνακας 3.4 Στατιστικά χαρακτηριστικά και παράμετροι κατανομής Gumbel των μέγιστων εντάσεων βροχής στο σταθμό Ελληνικό (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

Παρά- μετρος	Διάρκεια $d =$							
	5 min	10 min	30 min	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
n	29	29	30	30	30	30	30	20
\bar{x}	76.221	58.407	35.173	22.043	13.325	5.823	3.520	2.058
s_x	29.144	20.318	13.877	8.889	5.660	2.433	1.464	0.786
λ	0.0440	0.0631	0.0924	0.1442	0.2265	0.5270	0.8758	1.6310
c	63.104	49.263	28.928	18.043	10.778	4.728	2.861	1.704
$\psi = \lambda c$	2.776	3.108	2.672	2.602	2.441	2.492	2.505	2.779

Έχοντας εκτιμήσει τις παραμέτρους των κατανομών Gumbel μπορούμε να υπολογίσουμε για καθεμιά από τις δεδομένες διάρκειες την μέγιστη ένταση που αντιστοιχεί σε κάποια περίοδο επαναφοράς T . Για το σκοπό αυτό εφαρμόζουμε την εξίσωση (3.8):

$$i = c - \ln[-\ln(1 - 1/T)] / \lambda \quad (3.8)$$

Για παράδειγμα, για $d = 5 \text{ min}$ και $T = 5$ έχουμε

$$i = (1 / 0.0440) \{2.776 - \ln[-\ln(1 - 1/5)]\} = 97.180 \text{ mm/h}$$

Παράδειγμα 2 (προσαρμογή κατανομής Gumbel, και υπολογισμός καμπύλων, Talbot και Montana)

Στον Πίνακα 3.5 που ακολουθεί, δίνονται τα μέγιστα ύψη βροχής από το υδρολογικό έτος 1989-91 μέχρι το υδρολογικό έτος 2000-01 για διάρκεια βροχής 3, 6, 12 και 24 hr. Ζητούνται να υπολογιστούν και να σχεδιαστούν οι όμβριες καμπύλες Talbot και Montana για περιόδους επαναφοράς 2, 5 και 10 ετών με την χρήση της κατανομής των ακραίων τιμών I (Gumpel).

Πίνακας 3.5 Μέγιστα ύψη βροχόπτωσης για διάρκεια βροχής 3, 6, 12, 24 hr για την περίοδο (1989-01)

Υδρολογικό έτος	Ύψος βροχής (mm) Διάρκεια βροχής (hr)			
	3	6	12	24
1989 - 90	28	42.6	62	58
1990 - 91	27	30	58.1	63
1991 - 92	24	34	35.3	42
1992 - 93	27	30	38	35
1993 - 94	35	54	74	80
1994 - 95	40	42.2	56	51
1995 - 96	23	31.7	34	41.5
1996 - 97	21	25	25	20
1997 - 98	26	29	40	38.8
1998 - 99	32	34	51	46
1999 - 00	36	36	53	48
2000 - 01	25	29	57	51

ΛΥΣΗ

Με χρήση των παραπάνω τιμών του ύψους βροχής συναρτήσει του υδρολογικού έτους προκύπτει ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση από τους τύπους:

$$\bar{x} = \sum x_i / N$$

$$\sigma = (\sum (x_i - \bar{x})^2 / (N-1))^{1/2}$$

Στη συνέχεια μέσω αυτών των τιμών, προκύπτουν οι τιμές α και β από τους τύπους:

$$\lambda = \sigma / 1.283$$

$$c = \bar{x} - 0.45 \cdot \sigma$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 3.6:

Πίνακας 3.6 Προσαρμογή της κατανομής Gumbel στα δεδομένα

Υδρολογικό έτος	Ύψος βροχής (mm) Διάρκεια βροχής (hr)			
	3	6	12	24
1989 - 90	28	42.6	62	58
1990 - 91	27	30	58.1	63
1991 - 92	24	34	35.3	42
1992 - 93	27	30	38	35
1993 - 94	35	54	74	80
1994 - 95	40	42.2	56	51
1995 - 96	23	31.7	34	41.5
1996 - 97	21	25	25	20
1997 - 98	26	29	40	38.8
1998 - 99	32	34	51	46
1999 - 0	36	36	53	48
2000 - 1	25	29	57	51
M.O.	28.67	34.79	48.62	47.86
T.A.	5.82	8.01	14.14	15.04
λ	4.537	6.244	11.020	11.719
c	26.047	31.187	42.255	41.092

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις τιμές των υψών βροχής (x) και έντασης ($i=x/\text{χρόνος}$) για τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς $T=2$ έτη $T=5$ έτη και $T=10$ έτη και τις πιθανότητες σύμφωνα με τον τύπο I (Gumbel).

Πίνακας 3.7 Υπολογισμός της έντασης και του ύψους βροχής σύμφωνα με την κατανομή Gumbel στα δεδομένα

T	Ένταση βροχής			
	3	6	12	24
2	9.24	5.58	3.86	3.78
5	10.95	6.76	4.90	4.89
10	12.09	7.54	5.59	5.62
T	Ύψος βροχής			
	3	6	12	24
2	33.48	46.29	45.39	33.48
5	40.55	58.78	58.67	40.55
10	45.24	67.05	67.46	45.24

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε τις αντίστοιχες τιμές των λ και c , που έχουμε βρει παραπάνω και με αυτές βρίσκουμε την ένταση και το ύψος βροχής, για την αντίστοιχη διάρκεια βροχόπτωσης, που θα αντιστοιχούσε σε βροχή περιόδου επαναφοράς ίση 2, 5 και 10 έτη (Πίνακας 3.7), χρησιμοποιώντας τους παρακάτω τύπους:

Έχω για κάθε T (περίοδο) και για κάθε d (διάρκεια) την i (ένταση) από την σχέση (3.9):

$$i = c - \ln[-\ln(1 - 1/T)] / \lambda \quad (3.9)$$

Το ύψος της βροχόπτωσης που αντιστοιχεί στην δεδομένη ένταση δίνεται από το πηλίκο της έντασης με τη διάρκεια της βροχής (σχέση 3.10):

$$h = i/d \quad (3.10)$$

Στη συνέχεια προχωράμε στον προσδιορισμό των καμπυλών Talbot και Montana χρησιμοποιώντας για δεδομένη περίοδο επαναφοράς της αντίστοιχη ένταση της βροχόπτωσης για δεδομένη διάρκεια.

Για την εξίσωση Talbot ισχύει:

$$i = a/(b+t)$$

$$\text{όπου } a = [N \cdot (\sum x_j \cdot z_j) \cdot (\sum x_j) \cdot (\sum z_j)] / [N \cdot (\sum z_j^2) - \sum (z_j^2)], z_j = 1/i_j$$

$$b = [(\sum x_j \cdot z_j) \cdot (\sum z_j) - (\sum x_j) \cdot (\sum z_j^2)] / [N \cdot (\sum z_j^2) - (\sum z_j)^2]$$

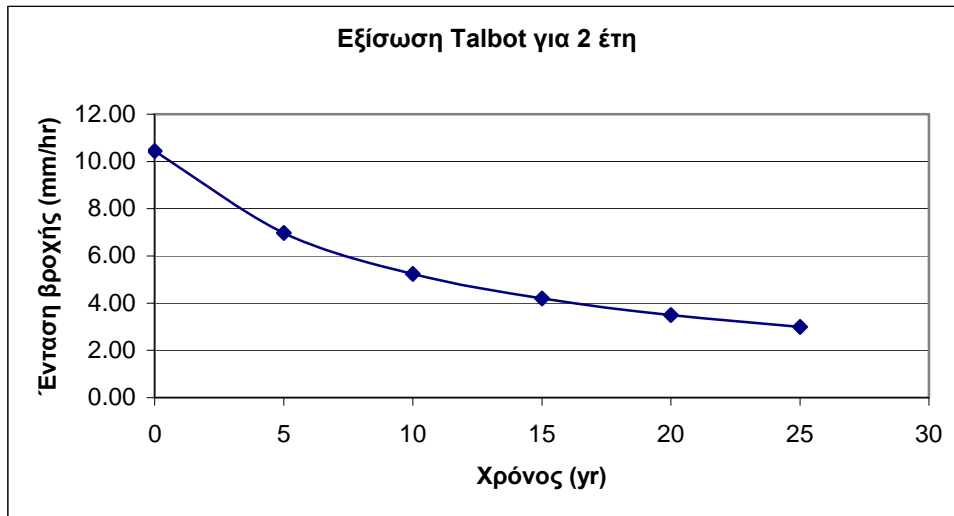
Για περίοδο επαναφοράς $T=2$ έτη έχουμε:

t (hr) = x_j	i (mm/hr)	$z_j = 1/i_j$	$x_j \cdot z_j$	z_j^2
3	9.24	0.108	0.325	0.012
6	5.58	0.179	1.075	0.032
12	3.86	0.259	3.111	0.067
24	3.78	0.264	6.345	0.070
$\sum(x_j \cdot z_j)$	$\sum(x_j)$	$\sum(z_j)$	$\sum(z_j^2)$	N
10.856	45.000	0.811	0.181	4
a	105.12	b	10.07	

Δίνοντας τις τιμές a και b προκύπτει η εξίσωση: $i=105.12/(t+10.07)$

t (hr)	i (mm/hr)
0	10.44
5	6.98
10	5.24

15	4.19
20	3.50
25	3.00

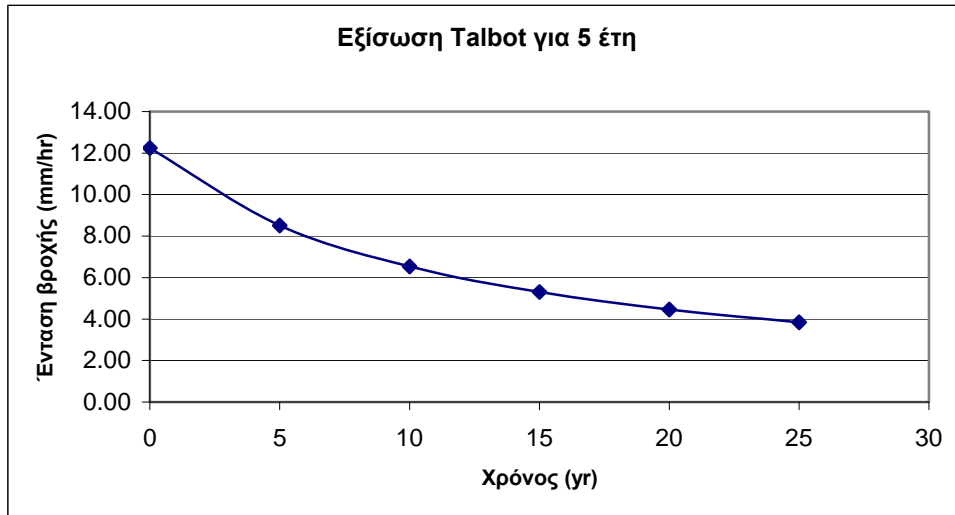


Ομοίως, για περίοδο επαναφοράς $T=5$ έτη έχουμε:

$t \text{ (hr)} = x_j$	$i \text{ (mm/hr)}$	$z_j = 1/i_j$	$x_j \cdot z_j$	z_j^2
3	10.95	0.091	0.274	0.008
6	6.76	0.148	0.888	0.022
12	4.90	0.204	2.450	0.042
24	4.89	0.205	4.909	0.042
$\Sigma(x_j \cdot z_j)$	$\Sigma(x_j)$	$\Sigma(z_j)$	$\Sigma(z_j^2)$	N
8.520	45.000	0.648	0.114	4
a	140.21	b	11.46	

Έτσι, προκύπτει η εξίσωση: $i=140.21/(t+11.46)$

$t \text{ (hr)}$	$i \text{ (mm/hr)}$
0	12.23
5	8.52
10	6.53
15	5.30
20	4.46
25	3.85

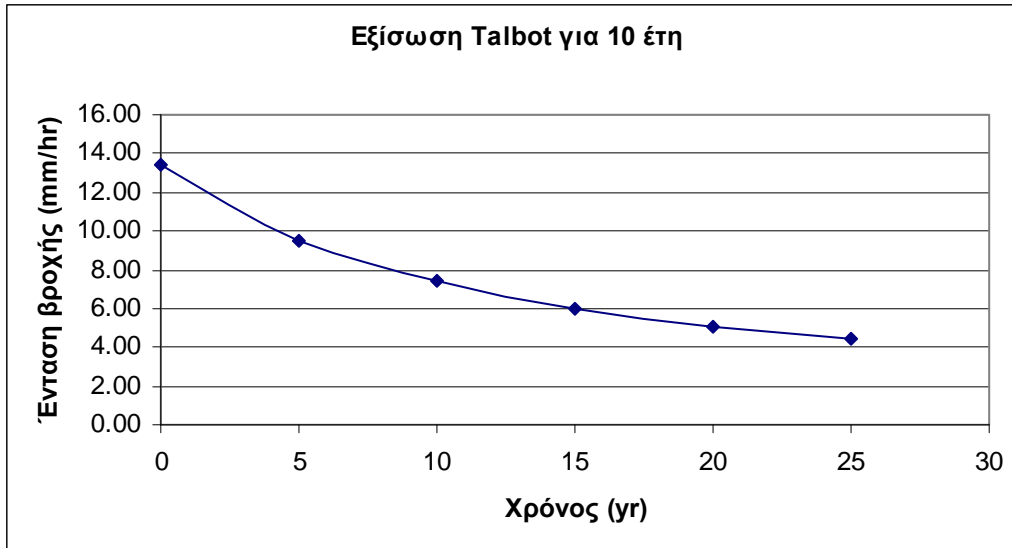


Ακόμη, για περίοδο επαναφοράς $T=10$ έτη έχουμε :

$t \text{ (hr)} = x_j$	$i \text{ (mm/hr)}$	$z_j = 1/i_j$	$x_j \cdot z_j$	z_j^2
3	12.09	0.083	0.248	0.007
6	7.54	0.133	0.796	0.018
12	5.59	0.179	2.148	0.032
24	5.62	0.178	4.269	0.032
$\Sigma(x_j \cdot z_j)$	$\Sigma(x_j)$	$\Sigma(z_j)$	$\Sigma(z_j^2)$	N
7.461	45.000	0.572	0.088	4
a	163.76	b	12.18	

Επομένως, προκύπτει η εξίσωση: $i=163.76/(t+12.18)$

t (hr)	i (mm/hr)
0	13.44
5	9.53
10	7.38
15	6.03
20	5.09
25	4.40



Κατά τον ίδιο τρόπο εργαζόμαστε και για την εξίσωση Montana με τύπο:

$$i = a \cdot t/b.$$

$$\text{όπου } b = [N \cdot (\sum x_j \cdot y_j) - (\sum x_j) \cdot (\sum y_j)] / [N \cdot (\sum x_j^2) - (\sum x_j)^2]$$

$$a = \ln(A)$$

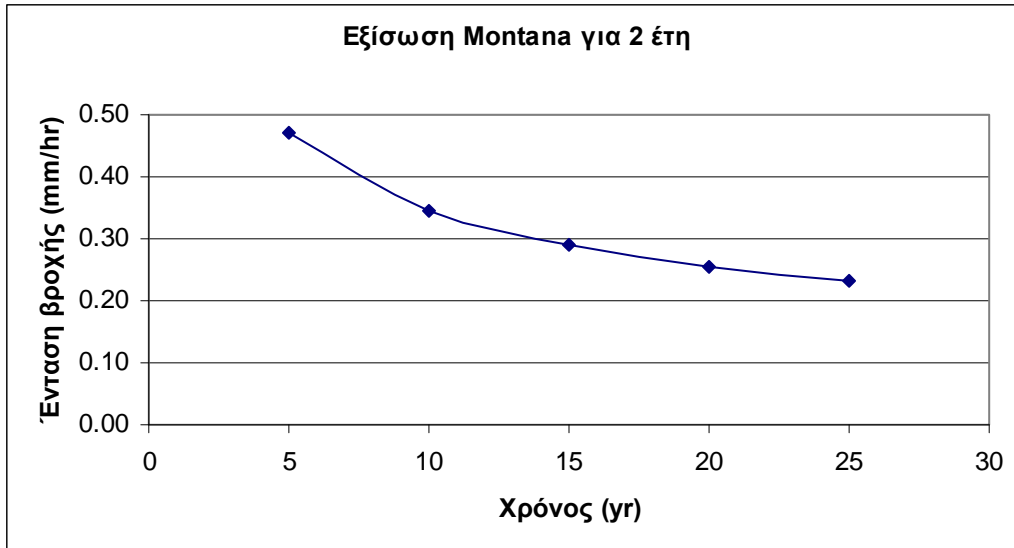
$$A = 1/N \cdot [(\sum y_j) - b \cdot (\sum x_j)]$$

Για περίοδο επαναφοράς $T=2$ έτη έχουμε:

t (hr)	i (mm/hr)	$x_j = \ln t$	$y_j = \ln i$	$x_j y_j$	x_j^2
3	9	1.10	2.22	2.44	1.21
6	6	1.79	1.72	3.08	3.21
12	4	2.48	1.35	3.35	6.17
24	4	3.18	1.33	4.23	10.10
$\sum(x_j \cdot y_j)$	$\sum(x_j)$	$\sum(y_j)$	$\sum(x_j^2)$	N	
13.11	8.55	6.62	20.69	4	
b	-0.440	a	0.954		

Άρα αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές προκύπτει $i = 0.954t^{-0.440}$

t (hr)	i (mm/hr)
0	-
5	0.47
10	0.35
15	0.29
20	0.26
25	0.23

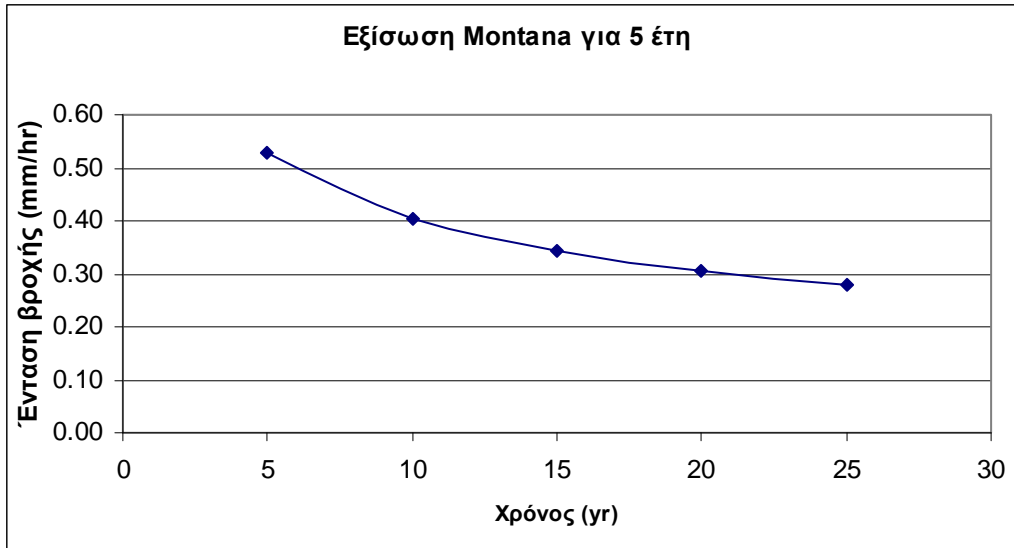


Αντίστοιχα για περίοδο επαναφοράς $T=5$ έτη:

t (hr)	i (mm/hr)	$x_j = \ln t$	$y_j = \ln i$	$x_j y_j$	x_j^2
3	11	1.10	2.39	2.63	1.21
6	7	1.79	1.91	3.42	3.21
12	5	2.48	1.59	3.95	6.17
24	5	3.18	1.59	5.04	10.10
$\Sigma(x_j \cdot y_j)$	$\Sigma(x_j)$	$\Sigma(y_j)$	$\Sigma(x_j^2)$	N	
15.05	8.55	7.48	20.69	4	
b	-0.395	a	0.999		

Άρα αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές προκύπτει $i = 0.999t^{-0.395}$

t (hr)	i (mm/hr)
0	-
5	0.53
10	0.40
15	0.34
20	0.31
25	0.28

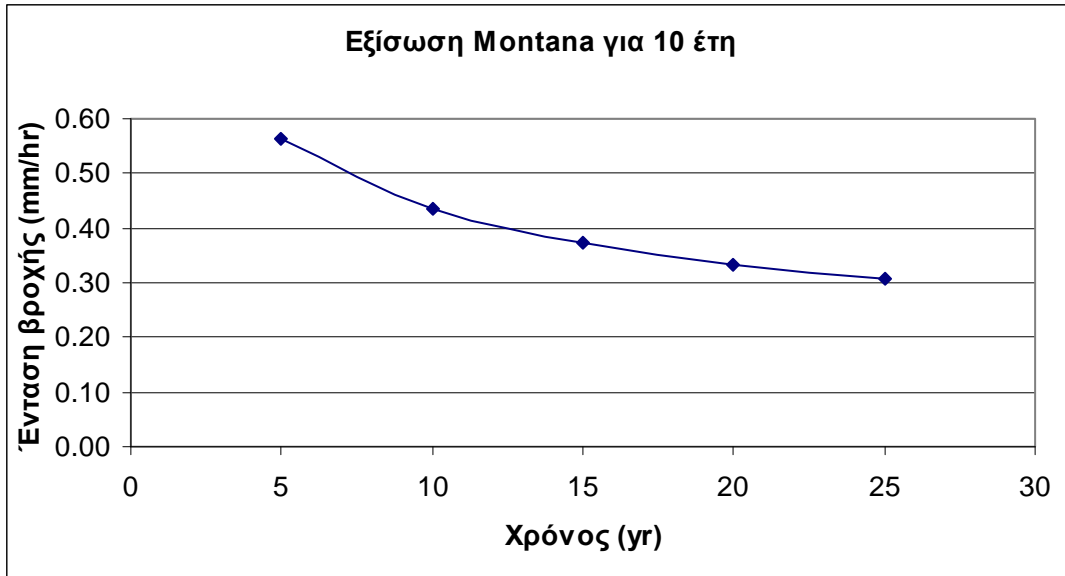


Για περίοδο επαναφοράς $T=10$ έτη έχουμε:

t (hr)	i (mm/hr)	$x_j=\ln t$	$y_j=\ln i$	$x_j y_j$	x_j^2
3	12	1.10	2.49	2.74	1.21
6	8	1.79	2.02	3.62	3.21
12	6	2.48	1.72	4.28	6.17
24	6	3.18	1.73	5.49	10.10
$\Sigma(x_j * y_j)$	$\Sigma(x_j)$	$\Sigma(y_j)$	$\Sigma(x_j^2)$	N	
16.12	8.55	7.96	20.69	4	
b	-0.374	a	1.026		

Άρα αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές προκύπτει $i = 1.026t^{-0.374}$

t (hr)	i (mm/hr)
0	-
5	0.56
10	0.43
15	0.37
20	0.33
25	0.31



3.5.3 Περίοδος Επαναφοράς

Περίοδος επαναφοράς μιας πλημμύρας είναι το χρονικό διάστημα σε έτη, στη διάρκεια του οποίου εμφανίζεται η πλημμύρα μία μόνο φορά με ένταση ίση ή μεγαλύτερη μιας δοθείσης τιμής. Δηλ. η πλημμύρα 50-ετών είναι το γεγονός εκείνο που η τιμή του ισοφαρίζεται ή ξεπερνιέται κάθε 50 χρόνια. Η περίοδος επαναφοράς ή το αντίστροφο αυτής, η πιθανότητα εμφάνισης μιας πλημμυρικής παροχής ορισμένης τιμής είναι σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων. Ένα αντιπλημμυρικό έργο διαστασιολογείται για $T=50-100$ έτη. Η περίοδος επαναφοράς T συνδέεται με την πιθανότητα υπέρβασης P με τη σχέση (3.11):

$$T = 1/P \quad \text{ή} \quad P(X \geq x) = 1/T \quad (3.11)$$

Ισχύει επίσης $P(X \geq x)^n = 1 - [1 - (1/T)]^n$, που δίνει την πιθανότητα υπέρβασης (έστω και μία φορά) στη διάρκεια n ετών ($n =$ περίοδος σχεδιασμού). Παρακάτω παρουσιάζονται δύο παραδείγματα εφαρμογής της περιόδου επαναφοράς.

Τα δέκα τελευταία υδρολογικά έτη οι μέγιστες παροχές (L/s) ενός ποταμού είχαν τις κάτωθι τιμές: 850, 900, 800, 1000, 600, 1100, 750, 1200, 1050, 650. Κατατάσσουμε τις τιμές σε φθίνουσα σειρά όπως φαίνεται στον κατωτέρω Πίνακα. Η πιθανότητα υπέρβασης δίνεται από τον τύπο του Weibull: $P = u/(N+1)$

Λύση

Πιθανότητα υπέρβασης $P_i=1/11$ σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα $1/11=9,1\%$ να ξεπερασθεί η τιμή 1200 L/s. Δηλαδή η θεωρητική συχνότητα υπέρβασης είναι η πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή (απορροή) να πάρει τιμή μεγαλύτερη από την X_i , $P_i=P(X \geq X_i)$.

a/a	Q (L/s)	$P_i=u/(N+1)$
1	1200	1/11
2	1100	2/11
3	1050	3/11
4	1000	4/11
5	900	5/11
6	850	6/11
7	800	7/11
8	750	8/11
9	650	9/11
10	600	10/11

Ποια είναι η πιθανότητα υπέρβασης στη διάρκεια 3 συνεχών ετών, έστω για μια φορά, της πλημμυρικής παροχής που έχει περίοδο επαναφοράς 20 έτη;

Λύση

Ισχύει $P(X \geq x)^n = 1 - [1 - (1/T)]^n$

Αντικαθιστώ τις τιμές $n=3$, $T=20$ και προκύπτει $P(X \geq x)^3 = 0,14 = 14\%$

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

Αναγνωστοπούλου Χ., 2003: *Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο, Διδακτορική διατριβή*, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 222.

Βορίσης Δ., 2001: Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών. Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, Διεύθυνση IV – Τμήμα Β, Χορηγός εκτύπωσης, Τυπογραφεία ΦΟΙΝΙΞ Α.Ε.

Γιαννόπουλος, Σ., 2005: Μαθήματα Τεχνικής Υδρολογίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εκδόσεις Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 155.

Γκιόκας, Ε., 2009: Κατάρτιση μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα, σελ. 114.

Δαλέζιος, Ρ., Ν., 1999: Σημειώσεις Φυσικών Περιβαλλοντικών Κινδύνων, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής & Ζωικής Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 290.

Δαμιανάκης, Ε., Σαμπαθανάκης, Ι., 2008: Ο παγετός και τα μέτρα ενεργητικής και παθητικής προστασίας του σε οπωρώνα και αμπελώνα στο Ν. Ηρακλείου, Σ.Τ.Ε.Γ. ΑΤΕΙ Κρήτης, σελ. 33.

Ε.Ο.Π. (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος), 2005: Μεταβολή του κλίματος και υπερχειλίση ποταμών στην Ευρώπη. ΕΕΑ Briefing No. 01.

Καιλίδης Δ., 1990: Δασικές Πυρκαγιές, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.

Καρακώστας, Θ. Σ., 1998: Σημειώσεις Φυσικής των Νεφών και Τροποποίησης Καιρού. Α.Π.Θ., Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη, σελ. 108.

Κατσούλης, Β.Δ. και Λ.Ν. Καραπιέρης, 1981: Συχνότητα εκδήλωσης και κατανομής της χαλάζης στην Ελλάδα. Δελτίον Ελληνικής Μετεωρολογικής Εταιρείας, 6, σελ. 44-58.

Κουτσογιάννης Δ., και Ξανθόπουλος Θ., 1999: Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Κωτούλας Δ., 2001: Διευθετήσεις χειμαρρικών ρευμάτων. Μέρος Ι, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 681.

Λέκκας, Ε., 2009: Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές - Εκπαιδευτικό υλικό κατάρτισης στελεχών τοπικής αυτοδιοίκησης, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Μαχαίρας, Π., 1992: Αίτια και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο, Πρακτικά Συμποσίου «Λειψυδρία και Πλημμύρες», Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, 17-18 Μαρτίου 1992, σελ. 159-169.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Τεχνολογικό Ίδρυμα Ηπείρου. Μενέλαος Θεοχάρης
Φυσικοί και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι (Εργαστήριο)

<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG117/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. 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-nd/4.0/deed.el>



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

Επεξεργασία: Χρήστος Μυριούνης
Άρτα 2015