

Υδρολογική διερεύνηση ισχυρών βροχοπτώσεων και στερεοαπορροών του Θριάσιου πεδίου

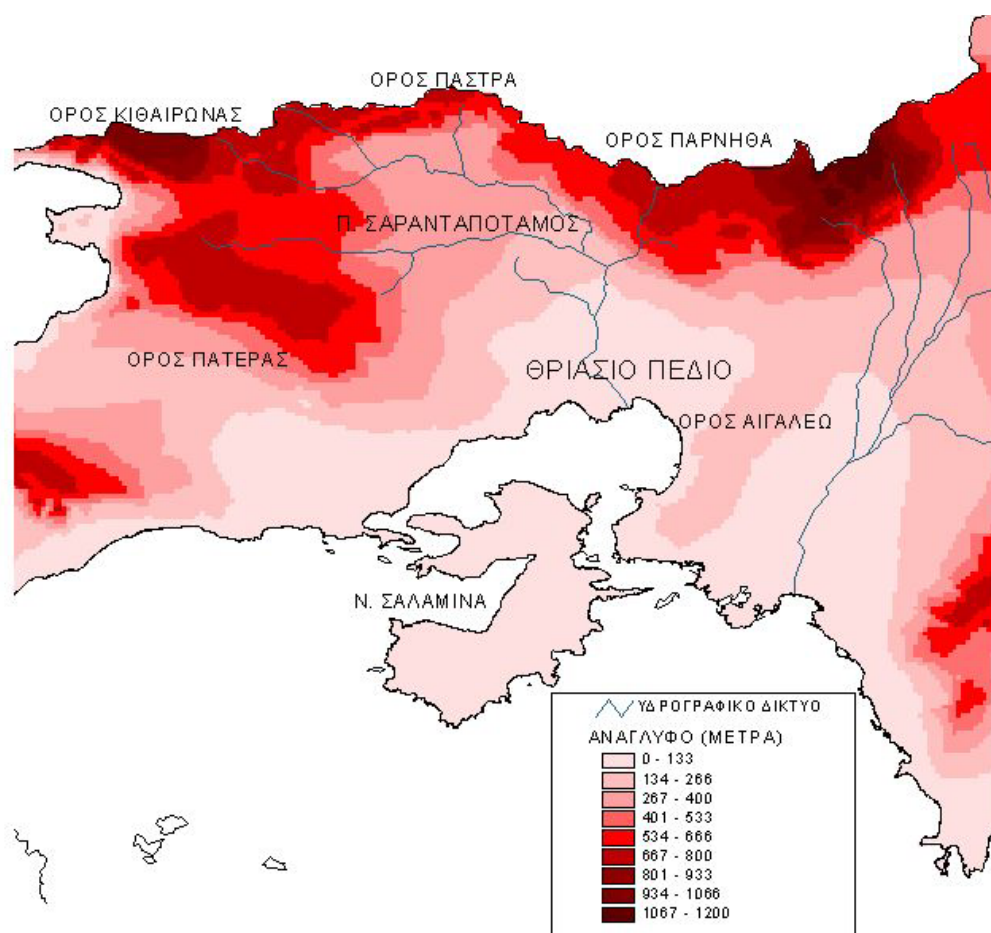
Δημήτρης Κουτσογιάννης και Νίκος Μαμάσης

Περιεχόμενα

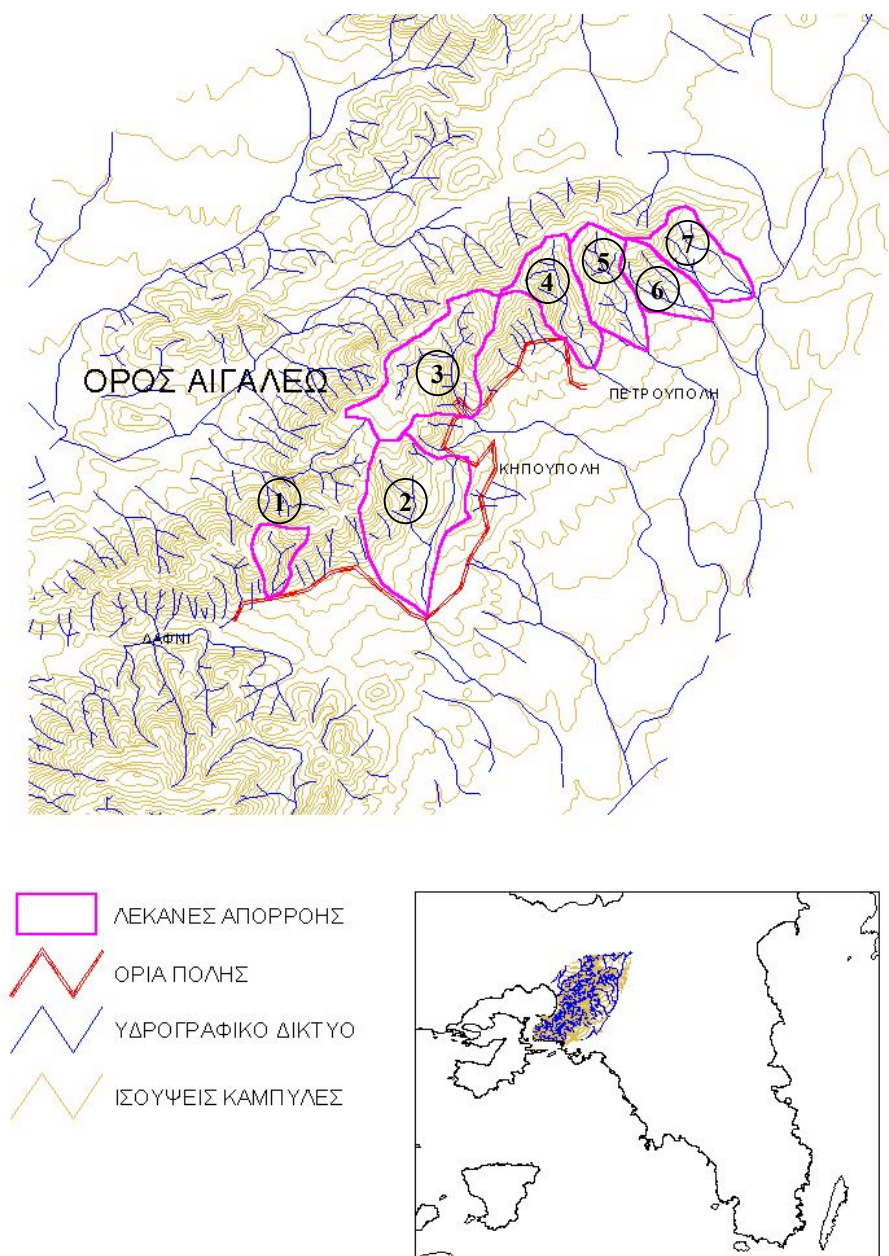
1.	Εισαγωγή	2
2.	Περιοχή μελέτης	3
3.	Κλιματικά δεδομένα	4
4.	Κατάρτιση όμβριων καμπυλών	9
4.1	Βροχομετρικά δεδομένα	9
4.2	Γενική μεθοδολογία	9
4.3	Εξίσωση όμβριων καμπυλών	12
4.4	Τελικά συμπεράσματα και συζήτηση	18
5.	Στερεοαπορροή	19
	Αναφορές	21

1. Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η γενική υδρολογική διερεύνηση της περιοχής του Θριάσιου πεδίου (Σχ. 1). Ειδικότερα αντικείμενα είναι η κατάρτιση των ομβρίων καμπυλών στην ευρύτερη περιοχή και η εκτίμηση των στερεοαπορροών των μικρών χειμάρρων που βρίσκονται στις ανατολικές πλαγιές του όρους Αιγάλεω. Οι θέσεις για τις οποίες εκτιμάται η στερεοαπορροή βρίσκονται στα όρια του πολεοδομικού ιστού των συνοικιών της Δυτικής Αττικής (Σχ. 2).



Σχ. 1 Περιοχή Θριάσιου πεδίου



Σχ. 2 Λεκάνες απορροής μικρών χειμάρρων όρους Αιγάλεω

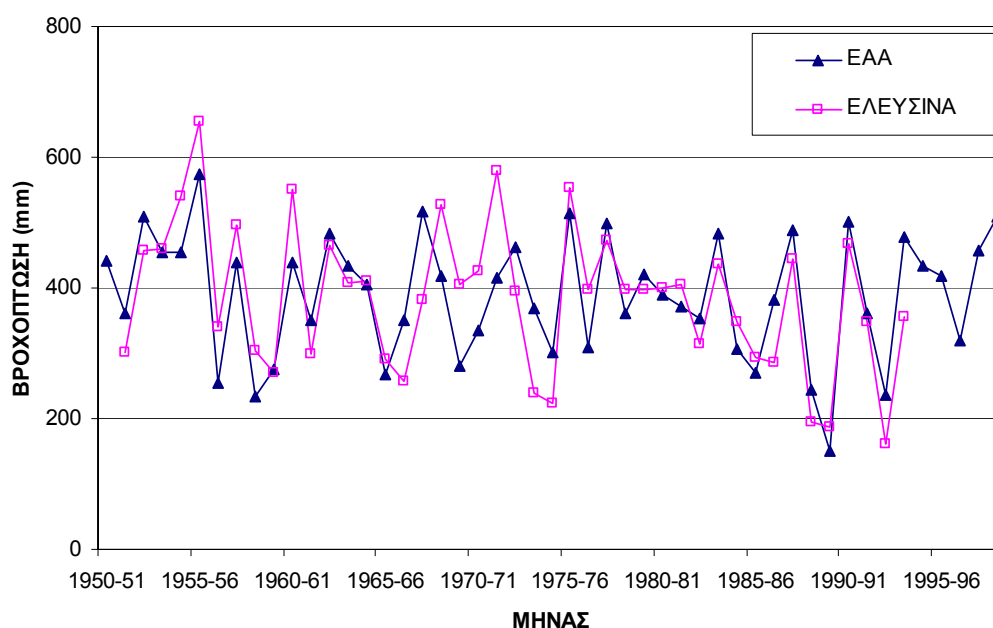
2. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή του Θριάσιου πεδίου υπάγεται διοικητικά στην επαρχία Μεγαρίδας του Νομού Αττικής (ένα μικρό τμήμα ανήκει στο νομό Βοιωτίας) και περιβάλλεται από τα όρη Πατέρας, Πάρνηθα και Αιγάλεω. Η περιοχή έχει εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές ζώνες και τα σημαντικότερα αστικά κέντρα είναι της Ελευσίνας, του Ασπροπύργου, της Μάνδρας και τη Μαγούλας με συνολικό πληθυσμό περίπου 50.000 κατοίκων (απογραφή 1991). Το κύριο υδατόρευμα της περιοχής είναι ο Σαρανταπόταμος (μήκος 43 χιλιόμετρα) που διασχίζει τη κοιλάδα της Οινόης και το Θριάσιο πεδίο και χύνεται στο κόλπο της

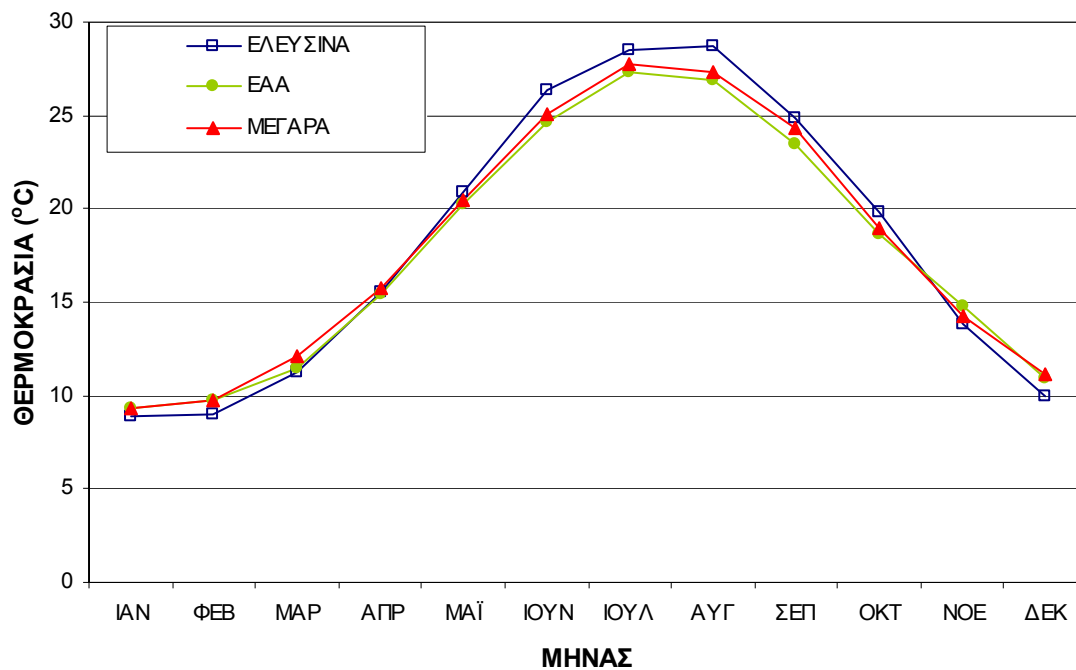
Ελευσίνας. Η λεκάνη απορροής του που ορίζεται από τα όρη Πατέρας, Κιθαιρώνας, Πάστρα και Πάρνηθα, έχει έκταση περίπου 250 km² και καταλαμβάνει περίπου την μισή έκταση του Θριάσιου πεδίου. Η κύρια πηγή του είναι στο όρος Κιθαιρώνα κοντά στο χωρίο Βίλια ενώ στον κύριο κλάδο συμβάλλουν και οι χείμαρροι Αγ. Βλάσιος, Ξηρόρεμα και Μεγάλο Κατερίνι.

3. Κλιματικά δεδομένα

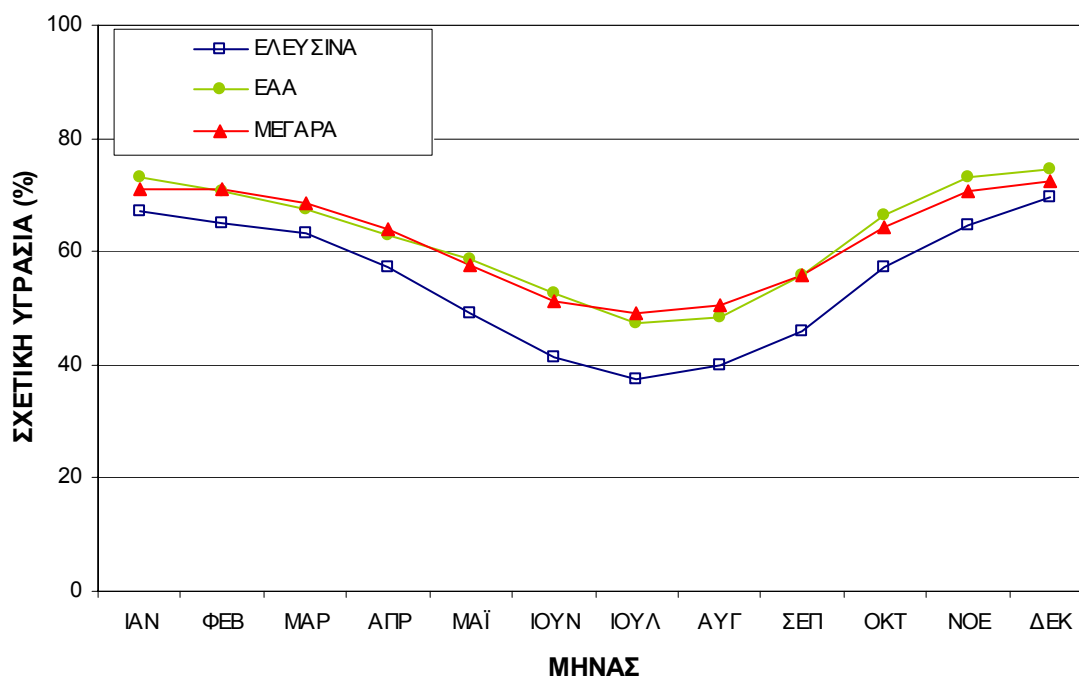
Το κλίμα χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με εξαίρεση τα υψηλά σημεία της λεκάνης όπου είναι ορεινό. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μέσες ετήσιες τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών στην Ελευσίνα, συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές στο Αστεροσκοπείο Αθηνών και στα Μέγαρα. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400 mm, ενώ οι ημέρες βροχής κυμαίνονται μεταξύ 50 μέχρι 100 ετησίως. Στους Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται οι μηνιαίες βροχοπτώσεις των σταθμών Ελευσίνα και Αστεροσκοπείο ενώ στο Σχ. 3 παρουσιάζονται συγκριτικά οι ετήσιες χρονοσειρές στους δύο σταθμούς. Η χιονόπτωση είναι σπάνια στις παράκτιες περιοχές, ενώ αυξάνει στα υψηλότερα σημεία της λεκάνης. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 17 °C και 19 °C ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από την θάλασσα, ενώ το ετήσιο θερμομετρικό εύρος είναι περίπου 19 °C. Στα Σχήματα 4, 5 και 6 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, σχετικές υγρασίες και βροχοπτώσεις των σταθμών Ελευσίνα, Αστεροσκοπείο και Μέγαρα.



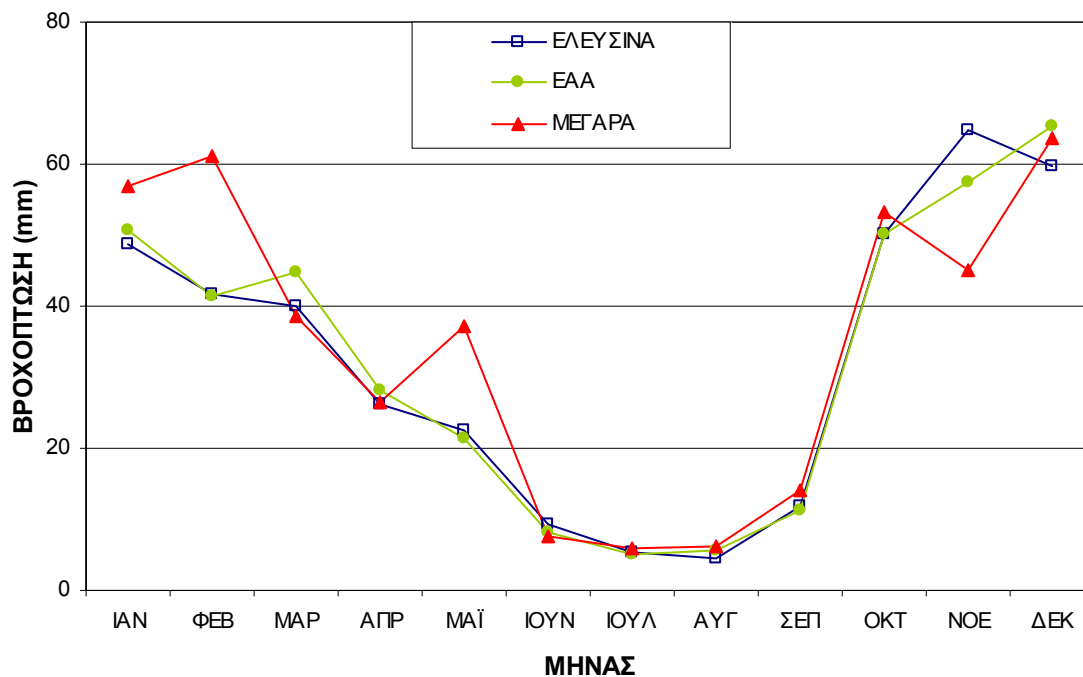
Σχ. 3 Χρονική εξέλιξη ετησίων βροχοπτώσεων σταθμών Αστεροσκοπείου Αθηνών και Ελευσίνας



Σχ. 4 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες σταθμών Ελευσίνας, Αστεροσκοπείου Αθηνών και Μεγάρων



Σχ. 5 Μέσες μηνιαίες σχετικές υγρασίες σταθμών Ελευσίνας, Αστεροσκοπείου Αθηνών και Μεγάρων



Σχ. 6 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις σταθμών Ελευσίνας, Αστεροσκοπείου Αθηνών και Μεγάρων

Πίνακας 1 Μέσες ετήσιες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών

	Αστεροσκοπείο	Ελευσίνα	Μέγαρα
Θερμοκρασία (°C)	17.7	18.1	18
Βροχόπτωση (mm)	389	385	440
Σχετ. Υγρασία (%)	62	55	62
Ημέρες με βροχή	60	75	65
Ημέρες με χιόνι	3.3	5.0	0.5
Ημέρες με χαλάζι	2.8	0.5	0.2

Πίνακας 2 Μηνιαίες βροχοπτώσεις Ελευσίνας (mm)

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1950-51				134.6	13.6	0.0	0.0	8.2	24.0	12.0	5.3	16.7	
1951-52	30.6	73.6	42.8	50.0	44.9	48.9	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	4.3	302.1
1952-53	17.2	94.0	91.5	68.5	12.3	30.1	20.8	92.0	29.0	0.0	0.0	0.5	455.9
1953-54	93.7	46.5	33.8	92.4	46.1	53.3	31.8	47.8	10.0	0.0	0.0	5.3	460.7
1954-55	86.2	82.4	42.0	127.7	49.3	4.5	62.0	0.0	23.1	0.9	5.9	56.8	540.8
1955-56	244.6	162.2	3.4	27.4	114.1	83.4	16.0	0.9	0.5	0.0	0.0	2.2	654.7
1956-57	10.4	73.9	45.0	34.2	25.0	14.4	29.9	79.6	3.4	0.0	0.0	25.1	340.9
1957-58	133.0	57.3	31.4	109.9	5.5	40.2	35.8	28.9	7.2	0.0	0.0	47.5	496.7
1958-59	23.5	97.1	5.8	34.2	3.2	31.8	22.3	18.9	41.7	11.9	0.0	12.2	302.6
1959-60	44.1	40.3	19.7	78.1	17.7	24.2	25.2	8.4	0.8	0.0	0.0	11.3	269.8
1960-61	16.1	107.3	155.1	93.6	29.8	105.8	24.0	5.8	10.2	1.8	2.2	0.0	551.7
1961-62	22.2	30.3	63.9	35.6	70.9	10.9	4.9	3.4	0.0	0.0	0.0	57.2	299.3
1962-63	43.0	97.5	146.8	36.5	30.5	11.4	33.3	53.4	0.0	13.5	0.0	0.0	465.9
1963-64	139.0	88.0	66.3	46.5	12.5	21.8	1.2	0.5	21.4	0.0	0.0	10.0	407.2
1964-65	19.6	16.9	49.3	60.3	97.8	65.0	44.2	20.0	18.4	0.0	19.4	0.0	410.9
1965-66	1.6	11.6	75.2	46.5	5.8	52.0	25.7	25.6	12.5	0.0	1.1	34.3	291.9
1966-67	20.4	40.1	51.8	22.4	22.7	23.8	28.0	19.4	5.2	0.0	2.0	21.6	257.4
1967-68	51.8	44.4	20.9	68.3	85.1	44.5	9.6	47.4	5.0	0.0	4.0	0.0	381.0
1968-69	73.1	141.3	113.4	43.1	23.7	78.8	8.0	8.4	4.7	0.0	0.0	32.5	527.0
1969-70	1.3	42.0	171.7	50.3	56.0	30.4	1.4	13.5	9.8	5.3	0.0	24.0	405.7
1970-71	57.3	10.8	67.1	44.7	59.6	98.9	12.2	11.1	2.5	36.7	7.9	16.2	425.0
1971-72	51.8	35.5	78.4	65.0	92.0	27.6	113.7	7.2	0.0	34.2	66.1	8.6	580.1
1972-73	169.1	3.1	15.4	56.9	54.3	43.1	11.9	3.4	5.1	30.4	0.7	2.1	395.5
1973-74	14.6	21.9	0.0	42.6	49.8	70.6	12.2	17.2	5.0	0.0	5.6	0.0	239.5
1974-75	18.3	44.2	35.0	42.3	24.0	7.3	12.6	23.3	9.1	0.0	6.5	0.0	222.6
1975-76	9.3	55.9	119.1	31.7	114.5	46.6	42.8	88.4	1.5	2.7	13.5	27.5	553.5
1976-77	116.9	165.8	24.8	28.8	7.7	10.3	4.7	1.8	15.6	0.0	0.0	20.5	396.9
1977-78	3.7	137.4	91.3	97.7	39.3	15.0	26.0	8.9	6.0	0.0	0.0	48.5	473.8
1978-79	103.3	30.2	116.8	25.9	69.0	11.8	0.0	39.4	1.0	0.8	0.0	0.0	398.2
1979-80	78.2	105.2	33.7	27.4	13.0	87.1	15.7	22.6	10.0	0.0	4.4	0.0	397.3
1980-81	108.8	31.3	57.4	99.4	32.1	16.1	36.6	12.8	0.0	2.5	2.3	0.0	399.3
1981-82	20.5	43.7	84.5	25.0	53.7	53.9	83.2	24.8	4.7	0.0	4.0	8.0	406.0
1982-83	20.2	76.5	63.2	0.0	88.6	22.4	2.4	10.5	3.0	26.0	1.1	0.5	314.4
1983-84	20.2	80.5	95.2	18.9	18.7	84.7	64.5	0.0	0.0	36.0	17.0	0.0	435.7
1984-85	1.8	124.6	28.4	63.3	11.7	71.6	28.4	7.1	2.7	5.7	0.1	2.6	348.0
1985-86	36.9	56.0	21.5	25.1	46.6	17.8	9.2	33.9	46.2	1.6	0.0	0.0	294.8
1986-87	36.2	15.0	23.4	20.6	26.3	66.8	67.8	1.0	15.1	0.0	12.7	0.1	285.0
1987-88	53.1	111.6	42.9	26.4	76.1	83.9	20.3	10.2	9.1	0.0	0.0	9.8	443.4
1988-89	3.4	75.6	70.8	1.8	4.0	10.9	2.5	14.9	7.8	0.0	0.2	3.4	195.3
1989-90	101.2	13.6	10.0	5.4	12.3	6.0	10.3	1.7	0.0	0.0	7.0	19.4	186.9
1990-91	16.3	37.1	114.6	59.7	67.4	34.7	72.2	56.9	0.0	0.0	8.2	0.5	467.6
1991-92	33.5	27.9	102.0	8.4	24.7	38.2	29.1	31.0	48.1	5.4	0.0	0.0	348.3
1992-93	12.1	35.4	24.0	8.7	29.1	4.0	22.6	25.2	0.0	0.0	0.0	0.0	161.1
1993-94	0.0	97.4	19.8	143.8	22.0	19.2	0.0	45.4	2.4	5.7	0.6	0.0	356.3
1994-95	49.4	20.2	0.0	89.9	14.6	44.7	7.9	0.7					
Μ. ΤΙΜΗ	50.2	64.7	59.7	48.7	41.6	40.1	26.2	22.6	9.3	5.3	4.5	11.9	384.8

Πίνακας 3 Μηνιαίες βροχοπτώσεις Αστεροσκοπείου Αθηνών (mm)

ΥΑΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1950-51	9.2	12.7	129.4	117.4	21.8	27.9	7.9	22.6	34.6	2.7	38.2	18.1	442.5
1951-52	35.2	68.5	49.8	39.3	51.3	73.9	0.2	34.7	3.7	1.4	0.0	2.7	360.7
1952-53	33.4	86.5	117.8	83.3	7.0	36.2	30.6	100.3	7.2	0.9	3.2	2.0	508.4
1953-54	126.2	15.6	49.0	72.2	60.8	24.8	53.8	40.9	1.1	0.0	0.0	9.3	453.7
1954-55	94.3	77.4	55.1	74.8	43.9	11.0	58.8	0.1	0.6	7.0	10.9	21.7	455.6
1955-56	260.9	112.9	9.4	30.8	56.5	71.2	20.0	3.8	2.4	0.0	0.0	5.4	573.3
1956-57	10.5	57.0	52.1	43.7	9.5	10.6	17.4	47.2	2.4	0.0	0.0	4.8	255.2
1957-58	112.4	46.8	37.0	91.5	7.5	36.1	30.1	17.1	12.2	0.0	0.0	49.4	440.1
1958-59	8.4	89.2	5.4	23.4	0.9	25.2	28.0	16.2	3.1	24.1	0.2	9.1	233.2
1959-60	27.0	32.4	38.5	71.7	19.6	22.8	24.4	4.4	6.6	0.0	18.5	9.3	275.2
1960-61	12.7	81.9	131.6	93.5	27.6	77.2	6.8	7.3	1.1	0.0	0.0	0.0	439.7
1961-62	14.3	85.5	44.0	44.8	43.4	10.6	20.5	6.9	1.8	0.5	0.0	78.7	351.0
1962-63	42.8	89.5	138.7	66.7	21.4	17.3	10.1	86.3	0.9	9.8	0.2	0.0	483.7
1963-64	143.7	47.1	55.7	73.4	36.6	18.8	10.8	3.4	32.3	0.0	0.0	12.4	434.2
1964-65	17.9	17.5	50.0	72.4	136.6	61.6	24.6	17.0	4.2	0.0	2.8	0.0	404.6
1965-66	3.7	23.7	32.4	37.0	13.6	60.6	25.7	22.5	10.5	0.0	0.9	38.0	268.6
1966-67	51.1	31.1	92.6	24.9	43.2	15.1	23.9	26.1	4.8	12.7	0.0	25.9	351.4
1967-68	112.0	56.7	61.5	80.9	52.8	30.7	9.8	48.7	60.0	0.0	3.6	0.2	516.9
1968-69	69.2	91.5	98.4	54.5	12.6	57.7	16.0	3.2	0.6	0.0	0.0	15.0	418.7
1969-70	0.1	18.3	122.9	30.1	47.0	26.3	0.9	15.9	3.8	1.5	0.0	14.9	281.7
1970-71	28.1	14.0	57.9	66.2	67.8	74.3	12.7	2.2	0.0	1.4	1.4	9.6	335.6
1971-72	20.1	24.9	79.6	70.0	62.9	12.9	91.9	10.5	0.0	12.0	23.1	7.3	415.2
1972-73	148.8	0.1	11.4	68.9	68.8	74.3	9.8	4.3	0.6	30.4	0.6	44.4	462.4
1973-74	16.2	27.5	52.3	38.1	78.2	67.3	16.0	32.8	25.1	0.0	3.6	12.6	369.7
1974-75	19.5	38.0	30.7	28.8	43.4	29.7	17.3	49.2	8.4	6.8	29.6	0.0	301.4
1975-76	22.5	73.0	144.2	38.8	117.8	30.1	38.4	15.7	2.6	0.1	17.2	13.5	513.9
1976-77	130.4	72.0	21.6	10.7	11.0	10.0	21.3	1.2	9.8	0.0	0.0	20.4	308.4
1977-78	5.8	153.9	109.6	58.6	57.7	21.0	32.9	9.6	2.3	0.0	0.0	47.3	498.7
1978-79	88.9	33.9	92.3	21.3	49.8	14.3	0.7	56.3	0.0	1.6	0.5	1.1	360.7
1979-80	101.7	78.5	36.3	33.0	12.8	86.0	34.0	12.1	23.7	0.0	2.1	0.6	420.8
1980-81	101.7	29.2	76.7	85.6	30.9	24.0	36.7	2.5	0.0	1.9	0.4	0.0	389.6
1981-82	23.1	31.9	86.5	29.4	56.7	51.7	53.2	26.6	0.3	9.8	1.2	0.1	370.5
1982-83	17.9	65.3	86.7	1.9	77.4	44.3	12.3	24.8	1.4	5.2	14.6	2.5	354.3
1983-84	22.3	73.0	76.6	39.9	34.3	85.4	116.3	1.4	0.0	23.0	9.8	0.0	482.0
1984-85	0.7	19.9	50.1	75.4	27.2	84.9	32.0	9.1	0.4	5.9	0.0	1.3	306.9
1985-86	24.2	29.3	39.4	30.5	61.2	11.5	13.3	19.0	39.7	0.9	0.0	0.0	269.0
1986-87	44.9	27.9	31.6	15.1	35.6	88.2	95.2	2.7	28.2	0.0	12.8	0.0	382.2
1987-88	69.4	100.7	37.6	37.7	97.3	67.3	27.4	17.5	23.5	0.0	0.0	9.0	487.4
1988-89	3.1	102.4	83.3	3.1	3.2	33.2	5.6	3.6	4.3	1.4	0.1	0.7	244.0
1989-90	66.6	11.8	17.0	4.8	15.8	0.0	17.4	0.8	0.0	0.0	14.8	1.8	150.8
1990-91	21.0	33.6	89.3	44.3	81.4	56.8	89.6	49.9	0.0	6.3	28.0	0.1	500.3
1991-92	40.5	34.5	87.4	2.7	32.7	78.7	31.3	35.8	11.7	4.9	0.0	0.0	360.2
1992-93	31.9	55.2	24.2	15.1	48.2	6.8	38.7	17.0	0.0	0.0	0.2	0.0	237.3
1993-94	0.0	154.4	24.0	102.0	30.6	36.6	21.5	62.9	21.9	23.5	0.0	0.0	477.4
1994-95	110.3	37.5	101.7	99.6	3.9	38.3	8.8	5.5	0.7	13.3	8.1	5.0	432.7
1995-96	8.1	75.5	57.9	104.3	65.6	33.5	21.4	20.3	0.0	0.0	9.3	22.1	418.0
1996-97	39.9	29.2	77.5	86.2	5.8	7.7	43.4	6.4	4.5	0.0	18.5	0.5	319.6
1997-98	37.3	56.9	116.8	18.4	23.7	156.0	20.2	21.3	0.5	0.0	0.0	5.2	456.3
1998-99	31.4	184.7	28.6	26.6	9.2	148.9	7.1	1.5	0.4	45.0	0.0	24.8	508.2
Μ. ΤΙΜΗ	50.2	57.4	65.3	50.7	41.3	44.7	28.3	21.4	8.2	5.2	5.6	11.2	389.4

4. Κατάρτιση όμβριων καμπυλών

4.1 Βροχομετρικά δεδομένα

Η μελέτη των ισχυρών καταγίδων έγινε με βάση τα δεδομένα των παρακάτω βροχομετρικών σταθμών.

Αστεροσκοπείο Αθηνών (Λόφος Νυμφών). Ο σταθμός ανήκει στο Αστεροσκοπείο και διαθέτει βροχόμετρο και βροχογράφο. Τα ημερήσια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τους Koutsoyiannis and Baloutsos [2000]. Δεδομένα με μικρότερη ανάλυση (1, 2, 3, 6, 12 ωρών) διατέθηκαν από το ΕΑΑ.

Ελευσίνα. Ο σταθμός ανήκει στην ΕΜΥ και διαθέτει βροχόμετρο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από μελέτη την ΕΥΔΑΠ (2000). Με βάση τις μετρήσεις του βροχομέτρου εξήχθησαν τα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής και οι αντίστοιχες διάρκειες των επεισοδίων για 33 υδρολογικά έτη.

Ελληνικό. Ο σταθμός ανήκει στην ΕΜΥ και διαθέτει βροχόμετρο και βροχογράφο. Τα ημερήσια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τα Μετεωρολογικά Δελτία της ΕΜΥ ενώ τα δεδομένα μικρότερης ανάλυσης από τον Κοζώνη (1995). Συγκεκριμένα από τις ταινίες του βροχογράφου αποκωδικοποιήθηκαν τα μέγιστα ύψη βροχής για 30 υδρολογικά έτη και για διάρκειες βροχής 1, 2, 3, 6, 12, 24 και 48 ωρών.

Νέα Φιλαδέλφεια. Ο σταθμός ανήκει στην ΕΜΥ και διαθέτει βροχόμετρο και βροχογράφο. Τα ημερήσια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τα Μετεωρολογικά Δελτία της ΕΜΥ ενώ τα δεδομένα μικρότερης ανάλυσης από τον Κοζώνη (1995). Συγκεκριμένα από τις ταινίες του βροχογράφου αποκωδικοποιήθηκαν τα μέγιστα ύψη βροχής για διάρκειες βροχής 1, 2, 3, 6, 12, 24 και 48 ωρών.

Νίκαια. Ο σταθμός ανήκει στο ΥΠΕΧΩΔΕ και διαθέτει βροχόμετρο και βροχογράφο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ (2000). Συγκεκριμένα οι ταινίες του βροχογράφου αποκωδικοποιήθηκαν τα μέγιστα ύψη βροχής για 27 υδρολογικά έτη και για τις διάρκειες 0.5, 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ωρών.

4.2 Γενική μεθοδολογία

Η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών έχει αναπτυχθεί πρόσφατα και περιγράφεται λεπτομερώς αλλού (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998, Koutsoyiannis, 1999, Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000). Τα γενικά χαρακτηριστικά της συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:

1. Η γενική συναρτησιακή σχέση όμβριων καμπυλών είναι της μορφής

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (1)$$

όπου i η μέγιστη ένταση βροχής διάρκειας d για περίοδο επαναφοράς T , και $a(T)$ και $b(d)$ κατάλληλες συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας, αντίστοιχα (Κουτσογιάννης, 1997).

2. Η συνάρτηση $b(d)$ είναι της ακόλουθης, εμπειρικά διαπιστωμένης, γενικής μορφής

$$b(d) = (d + \theta)^\eta \quad (2)$$

όπου θ και η αποτελούν παραμέτρους προς εκτίμηση ($\theta > 0$, $0 < \eta < 1$) (Κουτσογιάννης, 1997).

3. Η συνάρτηση $a(T)$ προκύπτει αναλυτικά από τη συνάρτηση κατανομής που ισχύει για την μέγιστη ένταση βροχής της υπό εξέταση περιοχής, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ αποφεύγεται η χρήση εμπειρικών συναρτήσεων (Κουτσογιάννης, 1997).
4. Μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχής σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων είναι η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ· διεθνώς General Extreme Value – GEV – distribution). Αυτή η κατανομή ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I, II, και III και έχει την έκφραση

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 + \kappa\left(\frac{x}{\lambda} - \psi\right)\right]^{-1/\kappa}\right\} \quad x \geq \lambda (\psi - 1/\kappa) \quad (3)$$

όπου $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής για τιμές της μεταβλητής x , και $\kappa > 0$, $\lambda > 0$ και ψ οι παράμετροι σχήματος, κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα. (Η περίπτωση $\kappa < 0$, αν και μαθηματικά είναι δυνατή, δεν είναι κατάλληλη για μέγιστες εντάσεις βροχής, γιατί συνεπάγεται άνω φραγμένη τιμή της έντασης, γεγονός που αντίκειται στη φυσική πραγματικότητα). Η μεταβλητή x αντιπροσωπεύει είτε την ένταση βροχής i είτε, ισοδύναμα, το γινόμενο $i b(d)$ (για δεδομένη έκφραση της $b(d)$)· στην τελευταία περίπτωση η επίλυση της (3) ως προς x δίνει αμέσως τη συνάρτηση $a(T)$ και, στη συνέχεια, η επίλυση ως προς i δίνει αμέσως την έκφραση της όμβριας καμπύλης χωρίς να απαιτείται καμιά πρόσθετη, εμπειρική ή όχι, παραδοχή (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998).

5. Η (3) επιλύεται άμεσα ως προς x , οπότε με την προϋπόθεση ότι $F(x) = 1 - 1/T$ (προϋπόθεση που ισχύει για σειρές ετήσιων μέγιστων) προκύπτει

$$x_T = \lambda \left\{ \psi + \frac{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right) \right]^{-\kappa} - 1}{\kappa} \right\} = \quad (4)$$

όπου για απλοποίηση έχει τεθεί $\lambda' = \lambda / \kappa$ and $\psi' = \kappa \psi - 1$ (Koutsoyiannis et. al., 1998).

6. Για $\kappa = 0$ η κατανομή ΓΑΤ μεταπίπτει στην κατανομή μεγίστων τύπου I (Gumbel), οπότε η (3) παίρνει τη ειδική μορφή

$$F(x) = \exp(-e^{-x/\lambda + \psi}) \quad (5)$$

όπου λ και ψ είναι οι παράμετροι κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα, της κατανομής. Αντίστοιχα, η (4) παίρνει τη μορφή (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998)

$$x_T = \lambda \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

7. Για $\kappa = 1 / \psi$ (ή ισοδύναμα $\psi' = 0$) η κατανομή ΓΑΤ μεταπίπτει στην κατανομή μεγίστων τύπου II.
8. Η κατανομή Gumbel έχει γίνει αποδεκτή ευρύτατα στην Ελλάδα και διεθνώς για την περιγραφή μεγίστων εντάσεων βροχής, χρησιμοποιώντας συνήθως δείγματα μήκους λίγων δεκάδων ετών. Ωστόσο, νεότερες μελέτες βασισμένες σε στατιστικά δείγματα αρκετά μεγαλύτερου μήκους δείχνουν ότι η κατανομή Gumbel δεν είναι κατάλληλη για το σκοπό αυτό. Αντίθετα, κατάλληλη φαίνεται να είναι για την πλειονότητα των περιπτώσεων η κατανομή ΓΑΤ.
9. Από πρόσφατη στατιστική διερεύνηση (Koutsoyiannis, 1999) των δεδομένων από 2645 σταθμούς όλου του κόσμου, με συνολικό πλήθος μετρήσεων 95 000 σταθμών-ετών, τα οποία είχαν μελετηθεί παλιότερα από τον Hershfield (1961, 1965) και αποτέλεσαν τη βάση για τη διατύπωση της φερώνυμης μεθόδου εκτίμησης της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης (ΠΜΚ· probable maximum precipitation – PMP) διαπιστώθηκε ότι (α) η κατανομή ΓΑΤ είναι γενικά κατάλληλη για ετήσιες σειρές μεγίστων βροχοπτώσεων, (β) η τιμή που υπολογίζεται τη μέθοδο Hershfield (1961, 1965) ως ΠΜΚ, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς περίπου 60 000 ετών, και (γ) η τιμή της παραμέτρου σχήματος της κατανομής ΓΑΤ δίνεται ως συνάρτηση της μέσης τιμής της ετήσιας μέγιστης 24ωρης βροχόπτωσης \bar{h} , από τη σχέση

$$\kappa = 0.183 - 0.00049 \bar{h} \quad (\bar{h} \text{ σε mm}) \quad (7)$$

10. Τα παραπάνω συνηγορούν στην αποδοχή της ΓΑΤ ως κατάλληλης κατανομής για μέγιστες βροχοπτώσεις. Αντίθετα, η χρήση της κατανομής Gumbel (μεγίστων τύπου I) θα πρέπει να αποφεύγεται, δεδομένου ότι οδηγεί σε σοβαρή υπεκτίμηση των εντάσεων βροχής για μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλο μήκος δείγμα, η παράμετρος σχήματος της κατανομής ΓΑΤ μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να εκτιμάται από την (7).
11. Η αποδοχή της κατανομής ΓΑΤ σε συνδυασμό με τις (1) και (2) οδηγεί στην ακόλουθη γενικευμένη έκφραση όμβριων καμπυλών

$$i(d, T) = \frac{\lambda' \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-\kappa} + \psi' \right\}}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa \neq 0) \quad (8)$$

12. Στην εξίσωση (8) η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται σε σειρές ετήσιων μεγίστων και κατά συνέπεια παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 1 έτος. Αν η περίοδος επαναφοράς οριστεί με αναφορά σε σειρές υπεράνω κατωφλίου, οπότε μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από 1 έτος, η αντίστοιχη εξίσωση προκύπτει θεωρητικά ότι έχει την ακόλουθη απλούστερη έκφραση (Koutsoyiannis et al., 1998)

$$i(d, T) = \frac{\lambda' (T^\kappa + \psi')}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa \neq 0) \quad (9)$$

Για μικρές περιόδους επαναφοράς, η εξίσωση (9) είναι προφανώς δυσμενέστερη από την αντίστοιχη της (8), ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς ($T > 10$ χρόνια) πρακτικώς η πρώτη ταυτίζεται με τη δεύτερη, δεδομένου ότι για μικρές τιμές του $1/T$ ισχύει $\ln [1 - (1/T)] = -(1/T) - (1/T)^2 - \dots \approx -1/T$.

13. Για την εκτίμηση των παραμέτρων λ , ψ (ή ισοδύναμα λ' , ψ'), θ και η των παραπάνω εκφράσεων όμβριων καμπυλών έχουν διατυπωθεί από τον Κουτσογιάννη (1997· βλ. και Koutsoyiannis et al., 1998) δύο συνεπείς στατιστικές μέθοδοι, οι οποίες αποφεύγουν τη χρήση εμπειρικών τεχνικών που χρησιμοποιούνταν παλιότερα.

4.3 Εξίσωση όμβριων καμπυλών

Πρόσφατα (Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000) εκτιμήθηκε η ακόλουθη έκφραση όμβριων καμπυλών για την περιοχή της Αθήνας

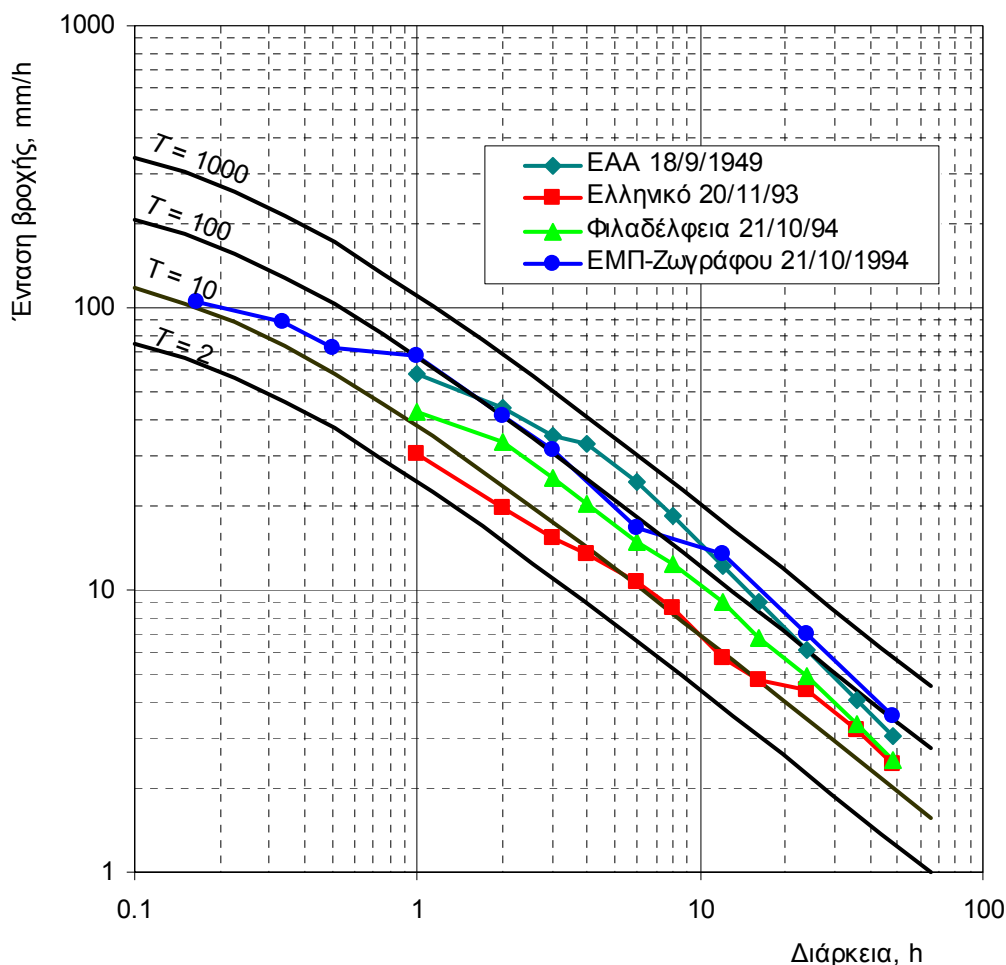
$$i(d, T) = \frac{40.6 (T^{0.185} - 0.45)}{(d + 0.189)^{0.796}} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (10)$$

όπου η περίοδος επαναφοράς T αναφέρεται σε σειρές υπεράνω κατωφλίου, οπότε, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από 1 έτος. Αν θεωρηθεί ότι η περίοδος επαναφοράς T αντιστοιχεί σε σειρές ετήσιων μεγίστων, οπότε παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 1 έτος, η εξίσωση παίρνει τη μορφή

$$i(d, T) = \frac{40.6 \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-0.185} - 0.45 \right\}}{(d + 0.189)^{0.796}} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (11)$$

Η εξαγωγή αυτών των εξισώσεων βασίστηκε αφενός στο δείγμα ετήσιων μεγίστων ημερήσιων βροχοπτώσεων του σταθμού Λόφου Νυμφών (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών), μεγέθους 136 ετών (το μεγαλύτερο σε μέγεθος δείγμα της Ελλάδας) και αφετέρου σε δείγματα ετήσιων μεγίστων βροχοπτώσεων μικρότερων διαρκειών (5 min – 24 h), μεγέθους 30 ετών, του σταθμού Ελληνικού (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

Γραφική παράσταση της εξίσωσης (10), υπό τη μορφή σχέσης έντασης-διάρκειας για διάφορες περιόδους επαναφοράς δίνεται στο Σχ. 7, στο οποίο έχουν αποτυπωθεί, επιπλέον, τα χαρακτηριστικά γραφήματα μερικών από τις πιο ισχυρές καταιγίδες που έχουν καταγραφεί σε διάφορους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής.

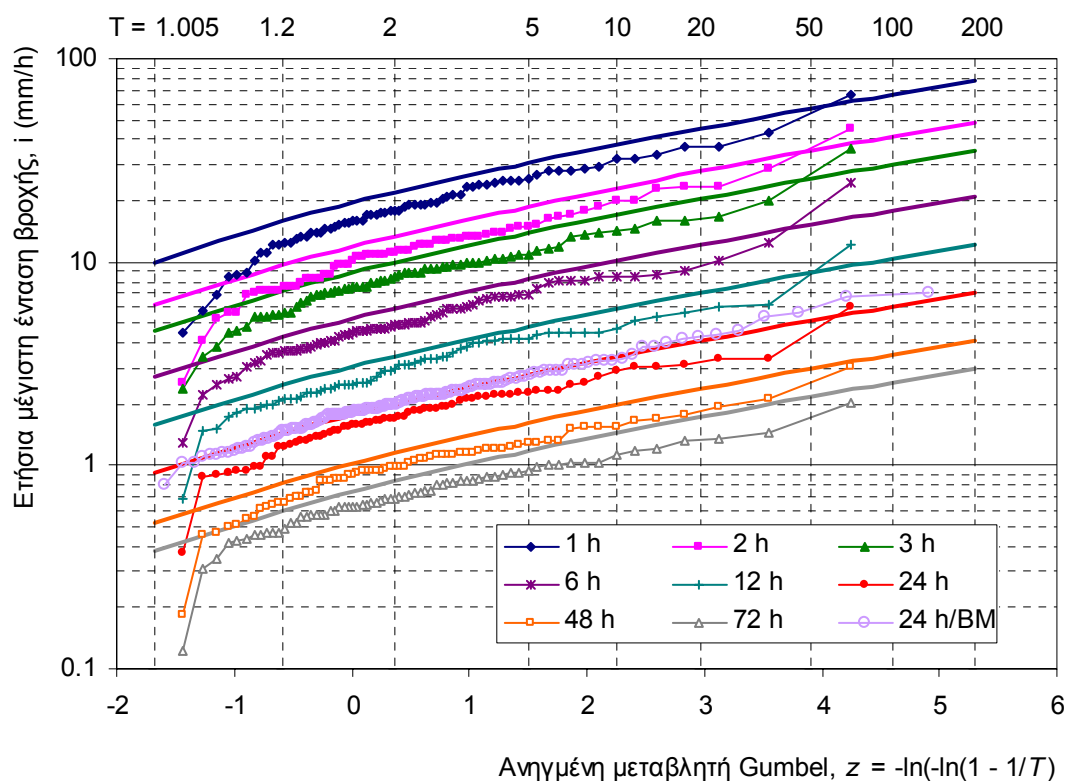


Σχ. 7 Ομβριες καμπύλες της Αθήνας με επίθεση χαρακτηριστικών γραφημάτων μερικών από τις πιο ισχυρές καταιγίδες που έχουν καταγραφεί σε διάφορους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής.

Στην παρούσα μελέτη ελέγχεται κατά πόσο η πιο πάνω εξίσωση μπορεί να καλύψει μια ευρύτερη περιοχή της Αττικής, συμπεριλαμβάνοντας και την υπόψη περιοχή μελέτης. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται βροχομετρικά και βροχογραφικά δεδομένα από τους σταθμούς Λόφου Νυμφών (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών), Ελληνικού (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία), Φιλαδέλφειας (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία), Νίκαιας και Ελευσίνας, ενώ γίνεται και σύγκριση με όμβριες καμπύλες της Κορίνθου.

Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα υπό τη μορφή ετήσιων μέγιστων χρονοσειρών, από τις οποίες προέκυψαν οι εμπειρικές πιθανότητες υπέρβασης με χρήση του τύπου του Weibull (βλ. Κουτσογιάννης, 1997). Στη συνέχεια οι εμπειρικές πιθανότητες συγκρίθηκαν με τις

θεωρητικές που αντιστοιχούν στην εξίσωση (11), η οποία αποτελεί μαθηματική έκφραση της αντίστροφης συνάρτησης της κατανομής ΓΑΤ.

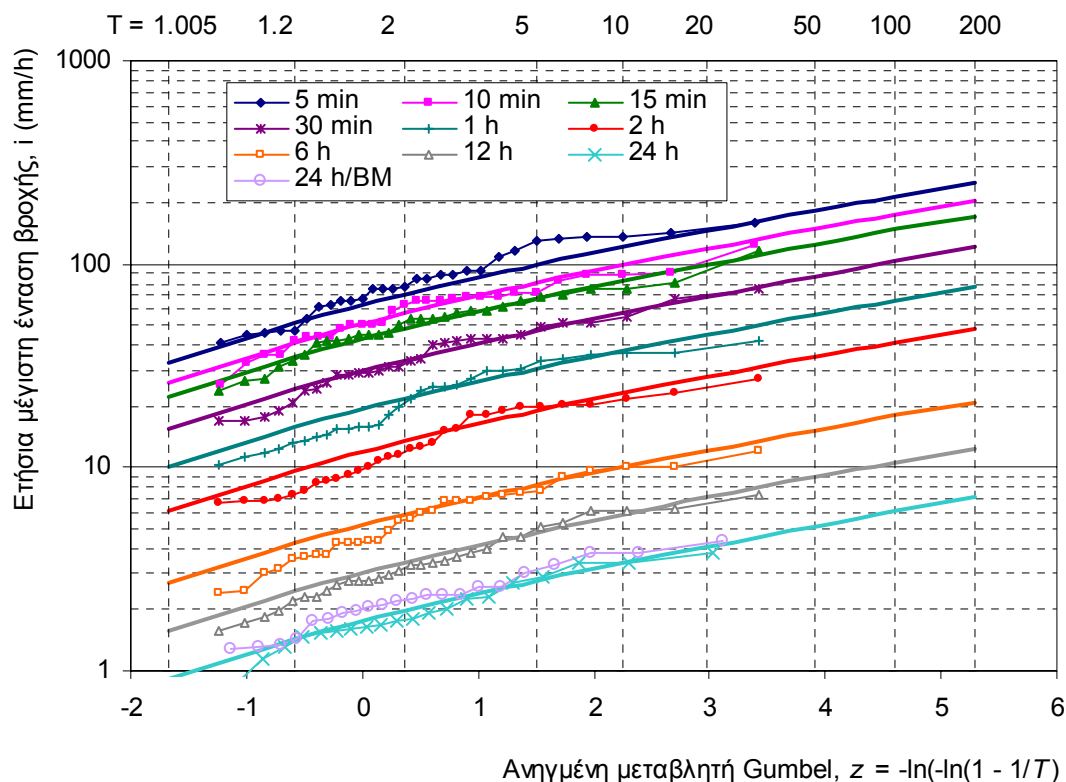


Σχ. 8 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Λόφου Νυμφών (ΕΑΑ).

Στο Σχ. 8, συγκρίνονται οι συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ, όπως προκύπτουν από την εξίσωση (11) για διάφορες χαρακτηριστικές τιμές της διάρκειας βροχής, με τις εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Λόφου Νυμφών (στατιστικά δείγματα 69 ετών) σε χαρτί κατανομής μεγίστων τύπου II*. Από το σχήμα προκύπτει ότι οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ βρίσκονται σε γενική συμφωνία με τις εμπειρικές. Ειδικότερα, παρατηρούμε ότι οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής υπερεκτιμούν ελαφρά τις εμπειρικές για περιόδους επαναφοράς μικρότερες των 50 ετών. Πιθανολογούμε ότι οι παρατηρούμενες αποκλίσεις δεν αντιστοιχούν σε πραγματικές ασυνέπειες των θεωρητικών συναρτήσεων κατανομής αλλά θα πρέπει μάλλον να αποδοθούν στα συνήθη συστηματικά σφάλματα των ευπαθών μηχανισμών των βροχογράφων (Koutsoyiannis et al., 1998). Ακόμη, οι σημαντικές διαφορές που εμφανίζονται για πολύ

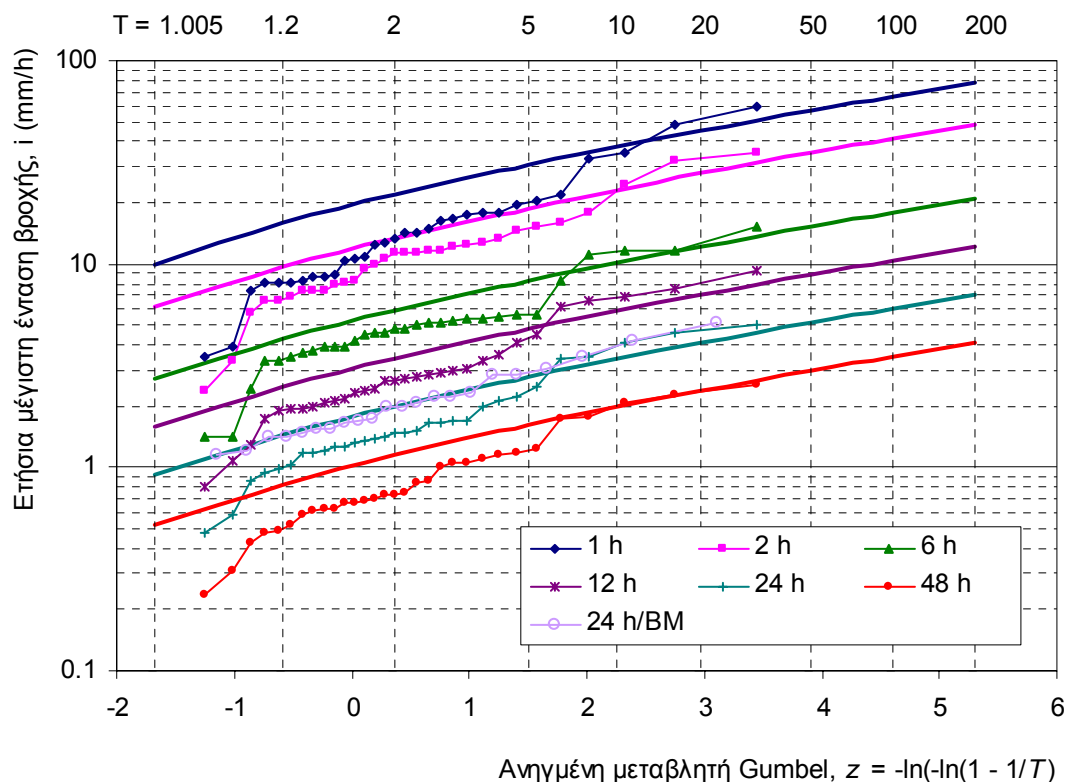
* Η απεικόνιση σε χαρτί κατανομής μεγίστων τύπου II είναι εύχρηστη και κατατοπιστική, λόγω της λογαριθμικής κλίμακας του άξονα τιμών της μεταβλητής, παρόλο που η συνάρτηση κατανομής ΓΑΤ δεν παριστάνεται ως ευθεία στο χαρτί αυτό. Σημειώνεται ότι δεν μπορεί να κατασκευαστεί γενικής χρήσης χαρτί κατανομής ΓΑΤ, όπου η κατανομή αυτή θα μπορούσε να παρασταθεί ως ευθεία (όπως μπορεί να κατασκευαστεί π.χ. για τις κατανομές μεγίστων τύπου II, Gumbel, Gauss), επειδή η εν λόγω κατανομή έχει μεταβλητή παράμετρο σχήματος.

μικρές περιόδους επαναφοράς (μικρότερες των 1.2 ετών) αποδίδονται σε μη πλήρη στατιστικά δείγματα μετρήσεων από βροχογράφο σε ορισμένα έτη. Οι παραπάνω εικασίες επιβεβαιώνονται αφού αν, αντί των μετρήσεων από βροχογράφο, χρησιμοποιηθούν οι τιμές από το βροχόμετρο (136 χρόνια), κατάλληλα ανηγμένες, παρατηρείται πλήρης ταύτιση θεωρητικών και εμπειρικών συναρτήσεων κατανομής για διάρκεια 24 ωρών (βλ. Σχ. 8, τεθλασμένη γραμμή με την ένδειξη 24 h/BM).



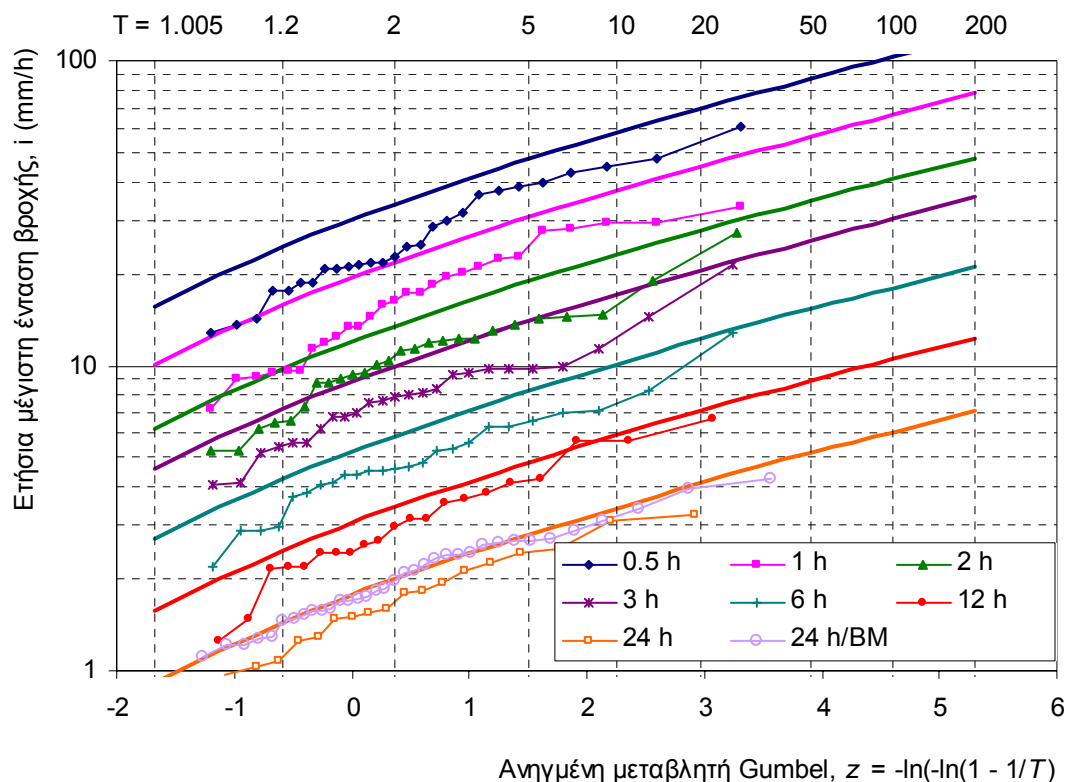
Σχ. 9 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Ελληνικού (EMY).

Κατά παρόμοιο τρόπο, στο Σχ. 9, συγκρίνονται οι συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ, όπως προκύπτουν από την εξίσωση (11) για διάφορες χαρακτηριστικές τιμές της διάρκειας βροχής, με τις εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού του σταθμού Ελληνικού (EMY). Από το σχήμα προκύπτει ότι οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τις εμπειρικές, τόσο αυτές που προέρχονται από βροχογράφους, όσο και αυτές από το βροχόμετρο (εδώ είχε γίνει ήδη από την ΕΜΥ αναγωγή των μετρήσεων βροχογράφου με βάση αυτές του βροχομέτρου).



Σχ. 10 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Φιλαδέλφειας (EMY).

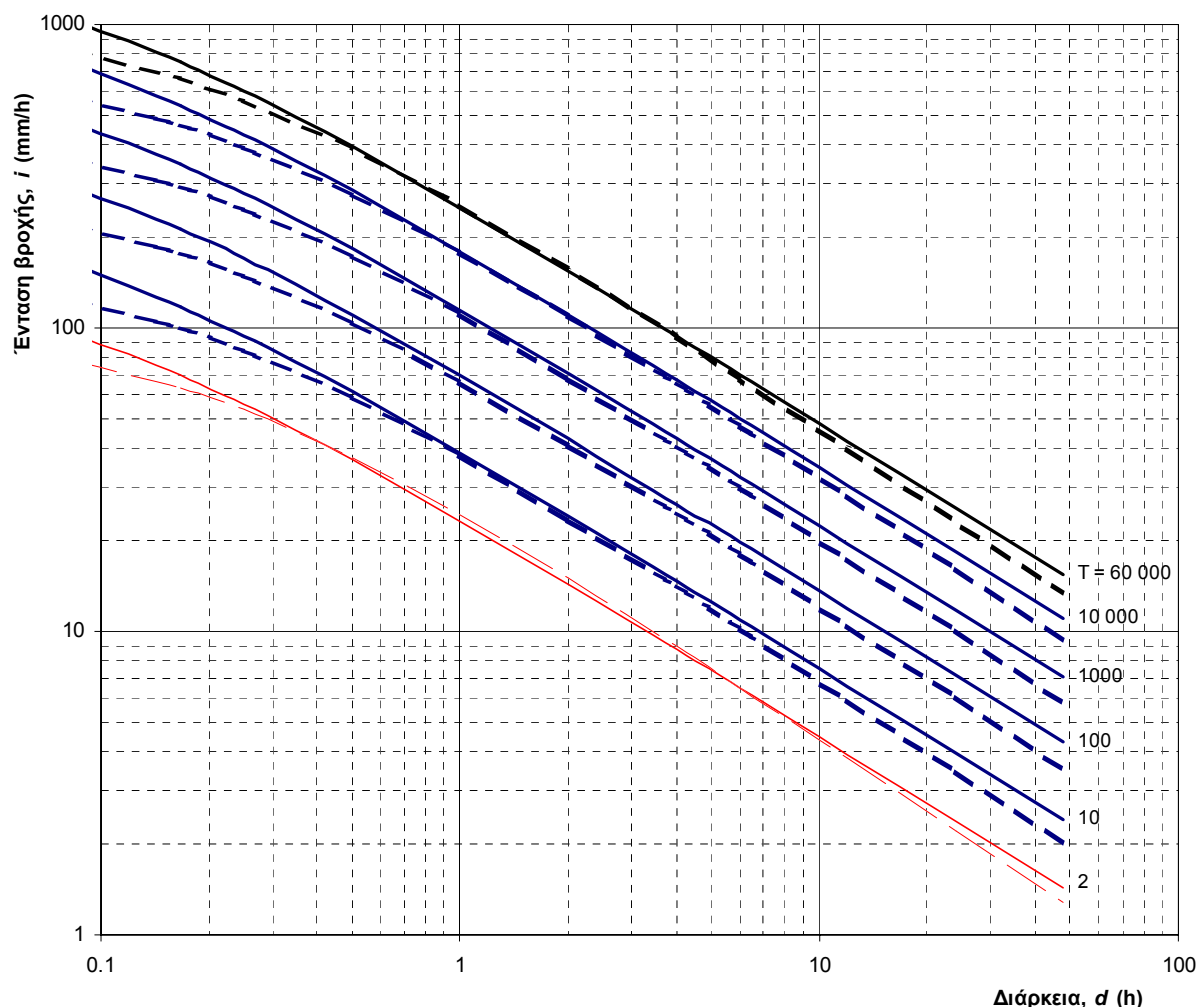
Στο Σχ. 10, συγκρίνονται οι συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ με τις εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Φιλαδέλφειας. Από τη σύγκριση φαίνεται ότι οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ υπερεκτιμούν ελαφρά τις εμπειρικές για περιόδους επαναφοράς μικρότερες των 10 ετών, αν και θα περίμενε κανείς κάποια αύξηση των εντάσεων βροχής στη Φιλαδέλφεια, λόγω του μεγαλύτερου υψομέτρου. Όπως και στην περίπτωση του σταθμού Λόφου Νυμφών, και εδώ πιθανολογούμε ότι οι παρατηρούμενες αποκλίσεις δεν αντιστοιχούν σε πραγματικές ασυνέπειες των θεωρητικών συναρτήσεων κατανομής αλλά θα πρέπει μάλλον να αποδοθούν στα συνήθη συστηματικά σφάλματα των ευπαθών μηχανισμών των βροχογράφων, ενώ οι πιο σημαντικές διαφορές που εμφανίζονται για πολύ μικρές περιόδους επαναφοράς (μικρότερες των 1.2 ετών) θα πρέπει και πάλι να αποδοθούν σε μη πλήρη στατιστικά δείγματα μετρήσεων από βροχογράφο τα αντίστοιχα έτη. Και εδώ οι εικασίες αυτές επιβεβαιώνονται. Έτσι, αν, αντί των μετρήσεων από βροχογράφο, χρησιμοποιηθούν οι τιμές από το βροχόμετρο, κατάλληλα ανηγμένες, παρατηρείται πλήρης ταύτιση θεωρητικών και εμπειρικών συναρτήσεων κατανομής για διάρκεια 24 ωρών (βλ. Σχ. 10, τεθλασμένη γραμμή με την ένδειξη 24 h/BM).



Σχ. 11 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής των σταθμών Νίκαιας (βροχογράφος) και Ελευσίνας (βροχόμετρο).

Παρόμοια εμφανίζεται η κατάσταση σε σχέση και με τα δεδομένα των σταθμών Νίκαιας (βροχογράφος) και Ελευσίνας (βροχόμετρο), όπως φαίνεται στο Σχ. 11. Συγκεκριμένα, οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής που αναφέρονται σε δεδομένα από βροχογράφο εμφανίζουν τιμές ελαφρώς μικρότερες των αντίστοιχων θεωρητικών συναρτήσεων κατανομής. Όμως η εμπειρική συνάρτηση κατανομής που αναφέρεται σε δεδομένα από βροχόμετρο πρακτικώς ταυτίζεται με την αντίστοιχη θεωρητική συνάρτηση κατανομής για διάρκεια 24 h.

Μια περαιτέρω επιβεβαίωση του γεγονότος ότι οι ελεγχόμενες όμβριες καμπύλες καλύπτουν μια ευρεία γεωγραφική περιοχή δίνει η σύγκριση τους με τις όμβριες καμπύλες της ευρύτερης περιοχής Κορίνθου (Κουτσογιάννης και Λαζαρίδης, 1998) που παρουσιάζεται στο Σχ. 12. Παρατηρούμε ότι υπάρχει εντυπωσιακή συμφωνία των δύο ομάδων καμπυλών, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι δύο περιοχές υπόκεινται σε παρόμοιο κλιματικό καθεστώς σχετικά με την εκδήλωση ισχυρών καταιγίδων.



Σχ. 12 Σύγκριση των τελικών όμβριων της περιοχής Κορίνθου (συνεχείς γραμμές: Κουτσογιάννης και Λαζαρίδης, 1998) με τις όμβριες καμπύλες της Αθήνας (διακεκομμένες γραμμές: Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000).

4.4 Τελικά συμπεράσματα και συζήτηση

Η εξίσωση (10) αποτελεί μια αρκετά αξιόπιστη μαθηματική έκφραση των όμβριων καμπυλών της Αθήνας, δεδομένου ότι βασίζεται, ως προς το σκέλος που αφορά στην περίοδο επαναφοράς, σε δείγμα μέγιστων βροχοπτώσεων μεγέθους 136 ετών. Η σχέση αποδεικνύεται κατάλληλη για μια περιοχή αρκετά ευρύτερη του λεκανοπεδίου της Αθήνας, αφού επιβεβαιώνεται από τα δεδομένα των σταθμών Ελληνικού, Λόφου Νυμφών, Φιλαδέλφειας, Νίκαιας και Ελευσίνας, ενώ ακόμη και για την περιοχή της Κορίνθου οι τοπικές όμβριες καμπύλες εμφανίζουν μικρή μόνο απόκλιση σε σχέση με αυτές της εξίσωσης (10). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι στην εξίσωση (10) λήφθηκαν σοβαρά υπόψη και δεδομένα από βροχοόμετρα, όργανα που λόγω της απλότητάς τους δίνουν πιο αξιόπιστες μετρήσεις από αυτές των βροχογράφων. Όπως αποδεικνύεται και στην παρούσα ανάλυση αλλά όπως έχει επισημανθεί και αλλού (Koutsoyiannis et al., 1998) η χρήση αποκλειστικά δεδομένων από βροχογράφο χωρίς την επαλήθευση και αναγωγή τους με δεδομένα βροχομέτρου οδηγεί σε

υπεκτίμηση των εντάσεων βροχής. Ένα δεύτερο σημαντικό σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η εξίσωση (10) έχει βασιστεί στην κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών και όχι στη συνήθως χρησιμοποιούμενη κατανομή Gumbel, η οποία έχει πλέον αποδειχθεί ότι υπεκτιμά τις εντάσεις βροχής σε βαθμό που γίνεται επικίνδυνος για μεγάλες περιόδους επαναφοράς.

5. Στερεοαπορροή

Η εκτίμηση της στερεοαπορροής είναι ιδιαίτερα δυσχερής λόγω των πολλών παραμέτρων που υπεισέρχονται και των ιδιαίτερα πολύπλοκων γεωφυσικών διεργασιών που συμμετέχουν στο φαινόμενο. Στη φάση αυτή γίνεται μια προκαταρκτική χονδροειδής προσέγγιση, ενώ έχει προγραμματιστεί η αναλυτικότερη αντιμετώπιση του φαινομένου με χρήση κατανεμημένου προσδιοριστικού μαθηματικού μοντέλου, βασισμένου και σε τεχνικές Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ).

Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται μια εμπειρική εξίσωση, η οποία έχει εξαχθεί με βάση δεδομένα μετρήσεων στερεοαπορροής σε 7 μετρητικούς σταθμούς που έχουν λειτουργήσει σε 3 ποταμούς της βορειοδυτικής Ελλάδας (Κουτσογιάννης και Ταρλά, 1987). Η εν λόγω εξίσωση έχει τη μορφή:

$$G = 15 \gamma e^{3P} \quad (12)$$

όπου G η ετήσια στερεοαπορροή σε t/km^2 ,

P η μέση ετήσια βροχόπτωση σε m και

γ συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωλογία της λεκάνης και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\gamma = p_1 + 0.5 p_2 + 0.1 p_3 \quad (13)$$

όπου

p_1 το ποσοστό εμφάνισης στη λεκάνη των πετρωμάτων υψηλής διαβρωσιμότητας (αλλούβια, φλύσχης)

p_2 το ποσοστό εμφάνισης στη λεκάνη των πετρωμάτων μέτριας διαβρωσιμότητας (μάργες, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι)

p_3 το ποσοστό εμφάνισης στη λεκάνη των πετρωμάτων χαμηλής διαβρωσιμότητας (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μεταμορφωμένα, εκκριξηγενή)

Το μέγεθος G περιλαμβάνει κατά βάση φορτίο φερτών σε αιώρηση. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης το μέγεθος αυτό προσαυξάνεται κατά 50% ώστε να περιληφθούν και τα φερτά που μεταφέρονται με σύρση. Το υψηλό ποσοστό προσαύξησης δικαιολογείται από τον ορεινό χαρακτήρα των λεκανών (μεγάλες κλίσεις).

Εξάλλου, η εν λόγω μαθηματική εξίσωση έχει εξαχθεί με βάση δεδομένα λεκανών απορροής με επιφάνειες της τάξης των $1000 km^2$, ενώ οι λεκάνες απορροής της παρούσας μελέτης έχουν επιφάνειες της τάξης του $1 km^2$. Είναι δε γνωστό ότι ο συντελεστής στερεοαπορροής

είναι φθίνουσα συνάρτηση της επιφάνειας της λεκάνης που εκφράζεται με αναλογία της μορφής $D \sim A^{-0.2}$, όπου D ο συντελεστής στερεοαπορροής και A η έκταση της λεκάνης. Κατά συνέπεια, αναμένεται ότι στις υπό εξέταση λεκάνες απορροής, ο συντελεστής στερεοαπορροής θα είναι μεγαλύτερος κατά $(1/1000)^{-0.2}$ ή περίπου κατά 4 φορές. Για το λόγο αυτό, τα μεγέθη που υπολογίζονται από την εξίσωση (12), τετραπλασιάζονται.

Οι υπολογισμοί που έγιναν ανά λεκάνη απορροής (όπως αυτές ορίζονται στο Σχήμα 2) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4

Πίνακας 4 Εκτίμηση στερεοαπορροής ανά λεκάνη

A/A	Έκταση λεκάνης (km ²)	Γεωλογικός συντελεστής γ	Βροχόπτωση (m)	Αρχική εκτίμηση ειδικής ετήσιας στερεοαπορροής (t/km ²)	Συνολική προσαυξημένη μέση ετήσια στερεοαπορροή (t)
1	0.447	0.1	0.385	4.7	12.7
2	2.253	0.485	0.385	23.0	311.0
3	1.927	0.295	0.385	14.0	161.8
4	1.02	0.23	0.385	10.9	66.8
5	0.994	0.165	0.385	7.8	46.7
6	0.73	0.28	0.385	13.3	58.2
7	0.909	0.37	0.385	17.6	95.7

Αναφορές

- Κοζώνης, Δ., Κατάστροψη ομβρίων καμπυλών με ελλiptή δεδομένα, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα, 1995
- Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Έκδοση 4, 312 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Λ. Λαζαρίδης, Υδρολογική μελέτη πλημμυρών, *Οριστική μελέτη αποχέτευσης Κορίνθου, Μελέτη χειμάρρου Ξηριά, Εισαγωγικό μέρος*, Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Μελετητής: Υδροεξυγιαντική, 122 σελίδες, Αθήνα, 1998.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Κ. Ταρλά, Εκτιμήσεις στερεοαπορροής στην Ελλάδα, *Τεχνικά Χρονικά*, A-7(3), 127-154, 1987.
- ΕΥΔΑΠ, Μελέτη αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων ανατολικού τομέα Θριασίου πεδίου, Αθήνα, 2000.
- Hershfield, D. M., Estimating the probable maximum precipitation, *Proc. ASCE, J. Hydraul. Div.*, 87(HY5), 99-106, 1961
- Hershfield, D. M., Method for estimating probable maximum precipitation, *J. American Waterworks Association*, 57, 965-972, 1965.
- Koutsoyiannis, D., A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation, *Water Resources Research*, 35(4), 1313-1322, 1999.
- Koutsoyiannis, D., and G. Baloutsos, Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences, *Natural Hazards*, 22(1), 31-51, 2000.
- Koutsoyiannis, D., D. Kozonis, and A. Manetas, A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, *Journal of Hydrology*, 206(1-2), 118-135, 1998.