

Οριστική Μελέτη Αποχέτευσης Κορίνθου

Μελέτη Χειμάρρου Ξηριά

Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο και διάρθρωση της μελέτης	1
1.2 Περιγραφή λεκάνης απορροής	1
1.3 Γενικά κλιματικά δεδομένα	4
2. Κατάρτιση όμβριων καμπυλών	4
2.1 Γενική μεθοδολογία	4
2.2 Σταθμοί και δεδομένα	7
2.3 Επεξεργασία δεδομένων	10
2.4 Τελικά αποτελέσματα	16
2.5 Συγκρίσεις και συμπεράσματα	17
2.5.1 Σύγκριση με την πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση	17
2.5.2 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες των μεμονωμένων σταθμών	18
2.5.3 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της Αθήνας	20
2.5.4 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της μελέτης της Υδροεξυγιαντικής (1986)	21
2.5.5 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της μελέτης των Παπαναστασίου κ.ά. (1994)	23
2.5.6 Γενικό συμπέρασμα	24
3. Η ισχυρή βροχόπτωση του Ιανουαρίου 1997	25
4. Μοναδιαία υδρογραφήματα της λεκάνης	28
5. Πλημμύρες σχεδιασμού	32
5.1 Καταιγίδες σχεδιασμού	32
5.2 Απώλειες - Ωφέλιμη βροχή	33
5.3 Βασική ροή - Τήξη χιονιού	34
5.4 Περίοδοι επαναφοράς	34
5.5 Υπολογισμοί και αποτελέσματα	34
6. Εκτιμήσεις του μεγέθους και της περιόδου επαναφοράς της πλημμύρας του Ιανουαρίου 1997	35

Αναφορές.....	38
Ευχαριστίες	40
Ομάδα μελέτης	40

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Οριστική Μελέτη Αποχέτευσης Κορίνθου

Μελέτη Χειμάρρου Ξηριά

Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και διάρθρωση της μελέτης

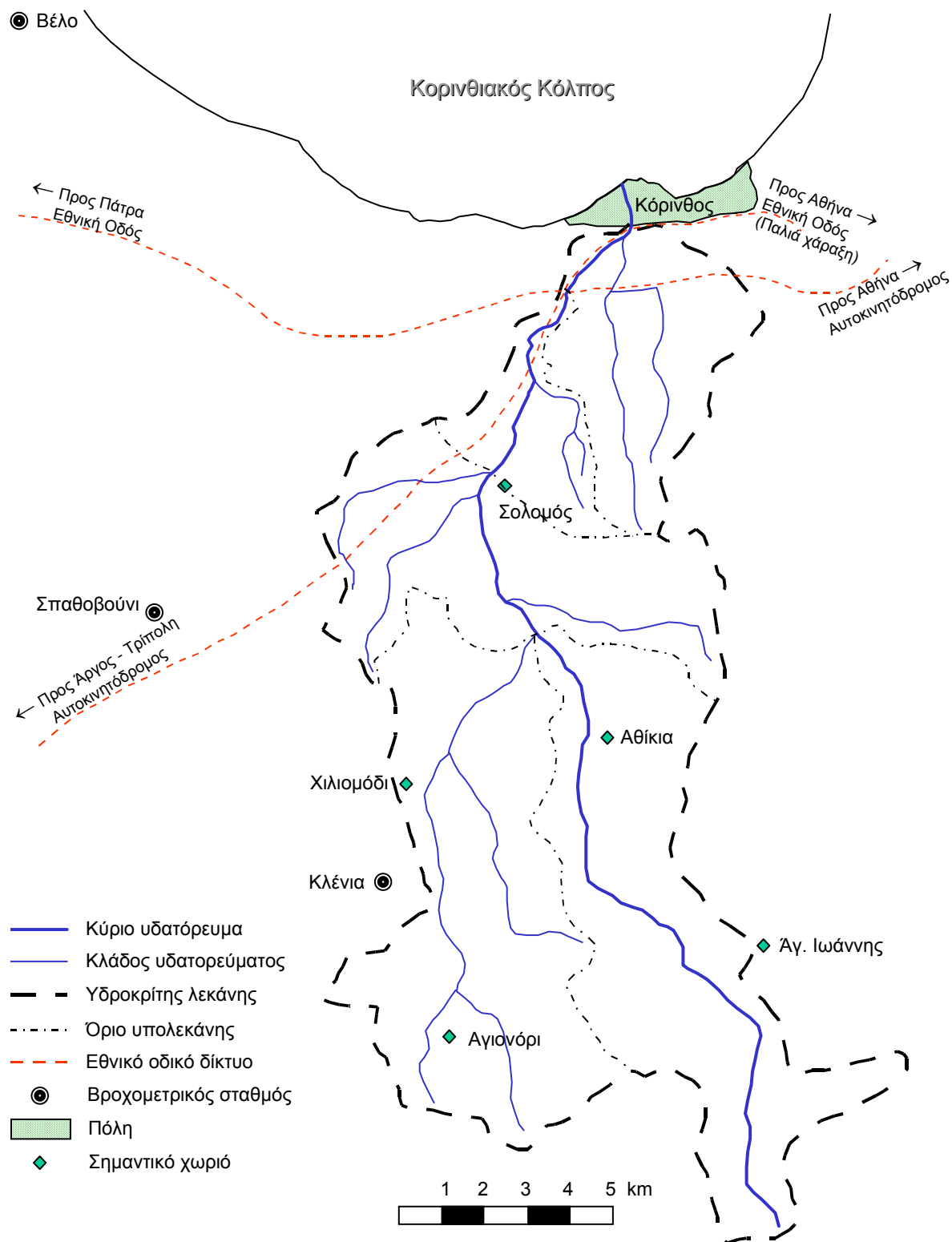
Αντικείμενο της Υδρολογικής Μελέτης Πλημμυρών του Χειμάρρου Ξηριά, η οποία εντάσσεται στην Οριστική Μελέτη Αποχέτευσης Κορίνθου, είναι η εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών του χειμάρρου σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της κοίτης του και για διάφορες περιόδους επαναφοράς σχεδιασμού. Οι παροχές αυτές χρησιμοποιούνται σε άλλα τεύχη της μελέτης για το σχεδιασμό των έργων διευθέτησης του χειμάρρου.

Επιπλέον, στην υδρολογική μελέτη αυτή γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην πλημμύρα που συνέβη πρόσφατα, στις 12-1-1997, στο χείμαρρο Ξηριά, η οποία είχε καταστροφικά αποτελέσματα για την πόλη της Κορίνθου και την ευρύτερη περιοχή.

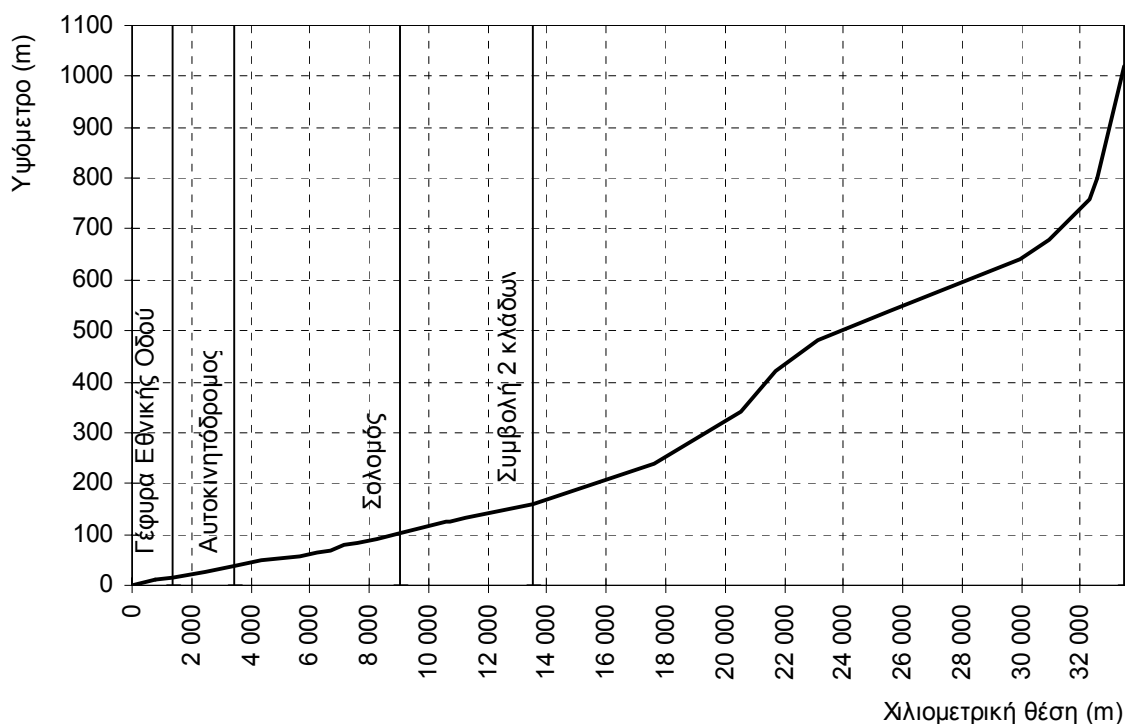
Η μελέτη στηρίζεται κατά βάση σε δεδομένα βροχοπτώσεων της ευρύτερης περιοχής, εφόσον δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής στο χείμαρρο (παρά μόνο ορισμένες εκτιμήσεις για την πρόσφατη πλημμύρα της 12-1-1997). Έτσι, στο κεφάλαιο 2 γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων με στόχο την κατάρτιση όμβριων καμπυλών της περιοχής. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στην καταστροφική βροχόπτωση του Ιανουαρίου 1997 και προσπάθεια εκτίμησης της περιόδου επαναφοράς της. Στο κεφάλαιο 4 καταρτίζονται συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα σε χαρακτηριστικές θέσεις της λεκάνης και, με βάση αυτά και τις όμβριες καμπύλες, στο κεφάλαιο 5 εκτιμώνται οι πλημμύρες σχεδιασμού σε αυτές τις χαρακτηριστικές θέσεις για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται εκτιμήσεις του μεγέθους της πλημμυρικής παροχής του Ιανουαρίου 1997 και γίνεται σύγκρισή τους με τις παροχές σχεδιασμού του κεφαλαίου 5.

1.2 Περιγραφή λεκάνης απορροής

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1, η λεκάνη απορροής του Ξηριά είναι επιμήκης με κατεύθυνση N-B και έχει έξοδο στον Κορινθιακό Κόλπο. Η έκταση της λεκάνης μέχρι τη θέση που ο Ξηριάς συναντά την Εθνική Οδό (παλιά χάραξη) είναι 168.4 km², ενώ το μήκος του κύριου κλάδου του χειμάρρου μέχρι την ίδια θέση είναι 32.1 km. Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης είναι 1137 m. Άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία της λεκάνης και διάφορων υπολεκανών της δίνονται στον Πίν. 7, ενώ η υδρολογική μηκοτομή του κύριου κλάδου του χειμάρρου δίνεται στο Σχ. 2.



Σχ. 1 Συνοπτικός υδρολογικός χάρτης λεκάνης χειμάρρου Ξηριά και ευρύτερης περιοχής μελέτης



Σχ. 2 Υδρολογική μηκοτομή του χειμάρρου Ξηριά.

Το γενικό σχήμα του υδρογραφικού δικτύου χαρακτηρίζεται από δύο σημαντικούς κλάδους, τον κλάδο Αθικίων (κύριος κλάδος) και τον κλάδο Αγιονορίου. Άλλοι λιγότερο σημαντικοί κλάδοι συμβάλλουν στο χειμάρρο πριν αυτός, περνώντας διαμέσου του Σολομού και στη συνέχεια της Κορίνθου, καταλήξει στη θάλασσα.

Οι διατομές κατά μήκος του κύριου κλάδου που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα στην παρούσα μελέτη είναι τέσσερις (βλ. Σχ. 1 και Σχ. 2): (α) η διατομή αμέσως κατάντη της συμβολής των δύο κλάδων, (β) η διατομή στο ύψος του Σολομού (γέφυρα), (γ) η διατομή στη θέση του αυτοκινητόδρομου (νέα χάραξη με παράκαμψη της Κορίνθου) και (δ) η διατομή στη γέφυρα της Εθνικής Οδού (παλιά χάραξη) λίγο πριν την είσοδο του χειμάρρου στην πόλη της Κορίνθου.

Από γεωλογικής άποψης, στις ψηλότερες (νότιες) περιοχές της λεκάνης κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι (ποσοστό περίπου 40% της λεκάνης) ενώ προς τα κατάντη κυριαρχούν οι τριτογενείς αποθέσεις (πρωτίστως μάργες σε ποσοστό πάνω από 40%), τα αλλούβια και κολλούβια. Από πλευράς φυτοκάλυψης και χρήσεων γης, οι δασώδεις εκτάσεις από χαλέπια πεύκη και αείφυλλα πλατύφυλλα (κυρίως πουρνάρι) καταλαμβάνουν ποσοστά 9% και 22% της έκτασης, αντίστοιχα. Περίπου το 50% της λεκάνης καταλαμβάνεται από γεωργικές καλλιέργειες, ενώ το υπόλοιπο τμήμα καλύπτεται από υποβαθμισμένα δάση και χορτολιβαδικές εκτάσεις (Μπαλούτσος κ.ά., 1998).

Διοικητικά, τη φροντίδα και επιμέλεια του χειμάρρου έχει το Δασαρχείο Κορίνθου, για το ορεινό τμήμα του μέχρι το Σολομό, και η Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών του Νομού Κορινθίας, για το υπόλοιπο πεδινό τμήμα (Επιτροπή Νομαρχίας Κορινθίας, 1997).

1.3 Γενικά κλιματικά δεδομένα

Από το μετεωρολογικό σταθμό που λειτούργησε την περίοδο 1960-81 στην Κόρινθο υπό την ευθύνη της ΕΜΥ πρέκυψαν τα κλιματικά δεδομένα που δίνονται στον Πίν. 1 και τον Πίν. 2. Γενικά το κλίμα της περιοχής μοιάζει πολύ με αυτό της Αθήνας.

Πίν. 1 Κλιματικά δεδομένα του σταθμού Κορίνθου (1960-81).

Μέση ετήσια θερμοκρασία	17.8°C
Μέση ετήσια σχετική υγρασία	68%
Μέση νέφωση	3.8 / 10
Άνεμοι που επικρατούν	Βόρειοι, Βορειοδυτικοί
Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδων	8.4 ημέρες
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής	423.1 mm
Μέγιστο καταγραμμένο ετήσιο ύψος βροχής	707.6 mm
Μέσο ύψος μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων	51.7 mm
Μέγιστο καταγραμμένο ύψος ημερήσιας βροχόπτωσης	120.2 mm

Πίν. 2 Μέσα μηνιαία ύψη βροχής του σταθμού Κορίνθου (1960-81).

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	ΕΤΟΣ
61.5	47.2	35.9	24.3	21.2	10.2	5.9	3.5	18.8	64.1	51.8	78.7	423.1

2. Κατάρτιση όμβριων καμπυλών

2.1 Γενική μεθοδολογία

Η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών στην περιοχή του χειμάρρου Ξηριά της Κορίνθου έχει αναπτυχθεί πρόσφατα και περιγράφεται λεπτομερώς αλλού (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998, Koutsoyiannis and Baloutsos, 1998, Koutsoyiannis, 1998). 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

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

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. Αποφεύγεται η χρήση εμπειρικών συναρτήσεων (π.χ. $a(T) = \lambda T^\kappa$) (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

$$x_T = \lambda \left\{ \psi + \frac{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^{-\kappa} - 1}{\kappa} \right\} = \lambda' \left\{ \psi' + \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^{-\kappa} \right\} \quad (4)$$

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, η μελέτη ενός δείγματος αρκετά μεγαλύτερου μήκους, του δείγματος ημερήσιων μεγίστων βροχοπτώσεων του Αστεροσκοπείου Αθηνών, μήκους 136 ετών, έδειξε ότι η κατανομή Gumbel απορρίπτεται στατιστικά, παρόλο που δεν θα απορρίπτονταν αν το μήκος του δείγματος ήταν μικρότερο. Αντίστοιχα είναι τα συμπεράσματα για την κατανομή μεγίστων τύπου II. Αντίθετα, η κατανομή ΓΑΤ με παράμετρο σχήματος $\kappa = 0.16$ έως 0.19 φάνηκε να είναι κατάλληλη για το υπόψη δείγμα (Koutsoyiannis and Baloutsos, 1998).
9. Από πρόσφατη στατιστική διερεύνηση (Koutsoyiannis, 1998) 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. Η σύγκριση της παραπάνω εναλλακτικής διατύπωσης της μεθόδου Hershfield με την κατανομή που προκύπτει από το δείγμα 136 ετών του Αστεροσκοπείου Αθηνών έδειξε πλήρη συμφωνία (Koutsoyiannis, 1998).
11. Τα παραπάνω συνηγορούν στην αποδοχή της ΓΑΤ ως κατάλληλης κατανομής για μέγιστες βροχοπτώσεις. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλο μήκος δείγμα, η παράμετρος σχήματος της κατανομής μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να εκτιμάται από την (7).
12. Η αποδοχή της κατανομής ΓΑΤ σε συνδυασμό με τις (1) και (2) οδηγεί στην ακόλουθη γενικευμένη έκφραση όμβριων καμπυλών

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

$$i(d, T) = \frac{\lambda \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] + \psi \right\}}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa = 0) \quad (9)$$

13. Στις εξισώσεις (8) και (9) 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 καταωφλίου, οπότε μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από 1 έτος, οι αντίστοιχες εξισώσεις προκύπτουν θεωρητικά ότι έχουν τις ακόλουθες απλούστερες εκφράσεις (Koutsoyiannis et al., 1998)

$$i(d, T) = \frac{\lambda' (T^\kappa + \psi')}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa \neq 0) \quad (10)$$

$$i(d, T) = \frac{\lambda (\ln T + \psi)}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa = 0) \quad (11)$$

Για μικρές περιόδους επαναφοράς, οι εξισώσεις (10) και (11) είναι προφανώς δυσμενέστερες από τις αντίστοιχές τους (8) και (9), ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς ($T > 10$ χρόνια) πρακτικώς οι πρώτες ταυτίζονται με τις δεύτερες, δεδομένου ότι για μικρές τιμές του $1/T$ ισχύει $\ln [1 - (1/T)] = -(1/T) - (1/T)^2 - \dots \approx -1/T$.

14. 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.

2.2 Σταθμοί και δεδομένα

Μέσα στη λεκάνη του Ξηριά έχει υπάρξει ο βροχομετρικός σταθμός της Κορίνθου (υψόμετρο +15 m), εφοδιασμένος με βροχογράφο, ο οποίος λειτουργούσε υπό την ευθύνη της EMY μέχρι και το 1983, οπότε και σταμάτησε να λειτουργεί. Από το 1990 η EMY ίδρυσε μετεωρολογικό σταθμό στη θέση Βέλο, σε μικρή απόσταση (περί τα 15 km δυτικά) από την Κόρινθο, που βρίσκεται στη λεκάνη του Ασωπού Κορινθίας.

Από τους άλλους γειτονικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέρον παρουσιάζει ο σταθμός του ΥΠΕΧΩΔΕ στο Σπαθοβούνι (υψόμετρο +140 m) που βρίσκεται στη λεκάνη Ρέματος Ράχιανης, δυτικά της λεκάνης Ξηριά.

Για το σταθμό της Κορίνθου υπάρχουν αποκωδικοποιημένα δεδομένα ετήσιων μεγίστων υψών βροχής για διάρκειες 5 min - 6 h για την περίοδο 1960-1980 (21 χρόνια), τα οποία δημοσιεύονται από τον Υδροεξυγιαντική (1986)· στην ίδια μελέτη δημοσιεύονται τα ετήσια μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής από βροχόμετρο. Εξ άλλου, στη μελέτη Παπαναστασίου κ.ά. (1994) δημοσιεύονται δεδομένα που προκύπτουν από αποκωδικοποίηση βροχογράφου, όπως δίνονται από την EMY, τα οποία όμως καλύπτουν μόνο την 12ετή περίοδο 1970-81. Στη μελέτη της Υδροεξυγιαντικής (1986) δεν αποσαφηνίζεται ο τρόπος με τον οποίο προέκυψαν τα δεδομένα της ευρύτερης περιόδου 1960-1980· πάντως υπάρχει μια αναφορά (σ. 3) ότι χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα από βροχόμετρο, χωρίς να περιγράφεται ο τρόπος εξαγωγής των υψών για μικρές διάρκειες βροχής της τάξης των 5 min. Γενικά για την κοινή περίοδο 1970-80 οι πίνακες δεδομένων των δύο μελετών συμφωνούν, όχι όμως απόλυτα. Ως βάση για

την παρούσα μελέτη υιοθετήθηκαν τα δείγματα της Υδροεξυγιαντικής (1986) που καλύπτουν την ευρύτερη περίοδο 1960-1980. Τα δεδομένα του έτους 1981 της μελέτης Παπαναστασίου κ.ά. (1994) εμφανίζουν σημαντική ασυνέπεια του ημερήσιου ύψους βροχής με τα αντίστοιχα ύψη μικρότερων διαρκειών· έτσι τα δεδομένα αυτού του έτους αγνοήθηκαν. Αλλά και στα δεδομένα της Υδροεξυγιαντικής (1986) υπήρχαν ορισμένες ασυνέπειες μεταξύ των δεδομένων μικρών διαρκειών και των ημερήσιων δεδομένων, οι οποίες διορθώθηκαν με αναγωγή των πρώτων με βάση τα δεύτερα. Ειδικά για τα έτη 1977 και 1978 οι ασυνέπειες ήταν αρκετά σημαντικές και έτσι προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα της μελέτης Παπαναστασίου κ.ά. (1994). Τα τελικά δεδομένα που προέκυψαν μετά από αυτούς τους ελέγχους και την αποκατάσταση της συνέπειας δίνονται στον Πίν. 3.

Εξ άλλου, για το σταθμό Σπαθοβουνίου υπάρχουν αποκωδικοποιημένα δεδομένα βροχογράφου (ετήσια μέγιστα ύψη βροχής για διάρκειες 30 min - 24 h) για την περίοδο 1964-1989 (26 χρόνια), τα οποία δημοσιεύονται από τους Παπαναστασίου κ.ά. (1994). Στα δεδομένα αυτά υπήρχαν λίγες ασυνέπειες μεταξύ των δεδομένων διαφορετικών διαρκειών, οι οποίες διορθώθηκαν κατάλληλα, και προέκυψαν έτσι τα δεδομένα του Πίν. 4.

Λόγω των αβεβαιοτήτων που προκύπτουν για τα δεδομένα του σταθμού της Κορίνθου, στην παρούσα μελέτη, αφενός αποφύγαμε να βασίσουμε την εξαγωγή όμβριων καμπυλών αποκλειστικά σε αυτά τα δεδομένα, αφετέρου ελέγξαμε, σε όλα τα βήματα της υπολογιστικής πορείας, τα εξαγόμενα για το σταθμό της Κορίνθου με τα αντίστοιχα εξαγόμενα για το σταθμό Σπαθοβουνίου. Γενικά, όπως περιγράφεται στις επόμενες ενότητες, φάνηκε να υπάρχει καλή συμφωνία των εξαγομένων των δύο σταθμών, γεγονός που άμβλυνε τις αρχικές επιφυλάξεις μας για τα δεδομένα της Κορίνθου.

Για άλλους λόγους, αποφύγαμε επίσης να βασίσουμε την εξαγωγή όμβριων καμπυλών αποκλειστικά στα δεδομένα του Σπαθοβουνίου. Συγκεκριμένα, οι ταινίες του βροχογράφου της Κορίνθου είναι ημερήσιες, ενώ του Σπαθοβουνίου είναι εβδομαδιαίες. Έτσι, οι ενδείξεις που αποκωδικοποιούνται από το βροχογράφο Σπαθοβουνίου για 0.5 h έως και 1 h είναι μειωμένης ακρίβειας, ενώ δεν μπορούν να εκτιμηθούν ύψη βροχής για ακόμη μικρότερες διάρκειες (π.χ. 10 min)· σε αντίθεση, τα δεδομένα της Κορίνθου φτάνουν σε διακριτότητα τα 5 min.

Τελικώς, ο συνδυασμός των δεδομένων των δύο σταθμών αποτελεί την καταλληλότερη προσέγγιση στο συγκεκριμένο πρόβλημα της κατάρτισης των όμβριων καμπυλών της περιοχής. Η μεθοδολογία με την οποία έγινε ο συνδυασμός αυτός περιγράφεται στις παρακάτω ενότητες.

Πίν. 3 Ετήσια μέγιστα ύψη βροχής του Σταθμού Κορίνθου (mm) για διάφορες διάρκειες βροχής (Πηγές: Υδροεξυγιαντική, 1986· Παπαναστασίου κ.ά., 1994· μετά από προσαρμογή).

Έτος	Διάρκεια								
	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	4 h	6 h	24 h
1960	15.2	22.4	27.0	32.5	36.9	42.9	53.9	60.0	60.0
1961	5.1	7.5	9.1	10.9	12.4	14.4	18.1	20.1	30.2
1962	9.1	13.5	16.3	19.6	22.2	25.8	32.5	36.1	79.4
1963	8.1	12.0	14.4	17.4	19.7	22.9	28.8	32.0	46.4
1964	7.1	10.5	12.7	15.3	17.3	20.1	25.3	28.2	30.0
1965	7.4	10.9	13.1	15.8	17.9	20.8	26.2	29.1	66.4
1966	24.1	35.5	42.7	51.5	58.4	67.9	85.4	95.0	95.0
1967	13.1	19.3	23.3	28.1	31.8	37.0	46.6	51.8	51.8
1968	9.5	14.0	16.9	20.3	23.0	26.8	33.7	37.5	66.0
1969	6.3	9.4	11.3	13.6	15.4	17.9	22.5	25.0	25.0
1970	5.0	7.4	9.0	10.8	12.2	14.2	17.9	19.9	31.2
1971	5.1	7.6	9.2	11.0	12.5	14.5	18.2	20.3	20.3
1972	23.0	33.9	40.8	49.2	55.8	64.9	81.6	90.8	120.2
1973	9.7	14.3	17.3	20.8	23.6	27.4	34.5	38.3	51.5
1974	8.1	12.0	14.5	17.4	19.8	23.0	28.9	32.2	55.8
1975	6.1	9.0	10.8	13.0	14.7	17.1	21.5	23.9	25.6
1976	8.0	11.8	14.2	17.1	19.4	22.6	28.4	31.6	47.5
1977	2.9	4.3	5.2	9.0	9.5	11.8	12.0	12.8	13.4
1978	5.0	9.3	13.9	27.8	27.8	29.3	39.1	48.9	48.9
1979	7.5	11.1	13.3	16.7	18.2	21.2	26.7	29.7	41.8
1980	6.5	9.6	11.6	13.9	15.8	18.3	23.0	25.6	66.9
M.T.	9.1	13.6	16.5	20.6	23.1	26.7	33.6	37.6	51.1
T.A.	5.5	8.1	9.7	11.6	13.1	15.2	19.3	21.6	25.9

Πίν. 4 Ετήσια μέγιστα ύψη βροχής του Σταθμού Σπαθοβουνίου (mm) για διάφορες διάρκειες βροχής (Πηγή: Παπαναστασίου κ.ά., 1994· μετά από προσαρμογή).

Έτος	Διάρκεια					
	30 min	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
1964	20.0	32.1	56.8	63.7	63.7	63.7
1965	7.9	8.2	8.4	20.8	32.2	40.5
1966	6.4	11.9	23.8	36.1	63.1	64.3
1967	12.5	17.2	30.1	66.7	90.8	132.5
1968	20.4	28.2	46.2	56.6	60.3	62.6
1969	15.0	17.0	26.4	40.4	44.5	53.0
1970	8.0	10.5	16.5	34.3	51.1	55.7
1971	12.2	13.8	15.3	36.6	36.6	55.5
1972	13.4	20.4	24.2	40.5	63.7	107.6
1973	16.2	30.1	54.7	60.5	63.2	66.1
1974	17.4	32.3	48.4	53.7	63.4	63.5
1975	12.1	20.5	35.4	80.6	86.4	92.6
1976	14.0	20.0	24.5	68.7	68.7	68.7
1977	11.0	18.2	23.6	28.8	36.1	38.4
1978	9.8	14.6	24.3	46.0	55.3	63.2
1979	24.2	24.2	32.2	37.1	55.2	55.2
1980	10.5	12.4	14.5	23.5	28.4	49.3
1981	38.8	59.9	66.1	69.2	69.2	73.0
1982	6.5	10.1	19.8	24.6	31.9	40.2
1983	9.6	15.0	19.6	29.5	34.3	35.2
1984	9.6	17.6	21.7	36.8	59.2	90.0
1985	15.6	18.7	19.4	22.0	22.4	28.8
1986	13.8	21.0	27.9	31.0	46.9	60.1
1987	5.7	7.9	15.2	19.8	20.3	27.9
1988	14.1	22.3	36.8	46.8	46.8	46.8
1989	5.0	9.9	16.9	17.1	28.5	48.3
M.T.	13.5	19.8	28.8	42.0	50.9	60.9
T.A.	7.0	10.8	14.6	17.9	18.7	23.8

2.3 Επεξεργασία δεδομένων

Τα μεγέθη των δύο δειγμάτων των σταθμών Κορίνθου (21 χρόνια) και Σπαθοβουνίου (26 χρόνια) είναι αρκετά μικρά, ώστε δεν επιτρέπουν την ασφαλή εκτίμηση της παραμέτρου σχήματος k της συνάρτησης κατανομής ΓΑΤ. Έτσι προτιμήθηκε να εκτιμηθεί η παράμετρος αυτή από την εξίσωση (7). Για την Κόρινθο, με μέση τιμή του ετήσιου μέγιστου 24ωρου

ύψους βροχής $\bar{h} = 51.1$ mm προκύπτει $\kappa = 0.158$ ενώ για το Σπαθοβούνι με $\bar{h} = 60.9$ mm προκύπτει $\kappa = 0.154$. Στρογγυλεύοντας προς τα πάνω, υιοθετούμε την τιμή $\kappa = 0.16$ και για τους δύο σταθμούς. Σημειώνουμε ότι, στην περίπτωση του δείγματος του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών με μέγεθος 136 ετών εκτιμήθηκε ότι η τιμή του κ κυμαίνεται από 0.118 μέχρι 0.185, ανάλογα με τη μέθοδο εκτίμησης της παραμέτρου, όπου η κατώτερη τιμή (0.118) προκύπτει από τη μέθοδο των ροπών ενώ η ανώτερη (0.185) από τη μέθοδο των L-ροπών (Stedinger et al., 1993)· η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας δίνει την τιμή 0.161). Κατά συνέπεια η τιμή $\kappa = 0.16$ που εκτιμήσαμε για τους δύο σταθμούς της περιοχής μελέτης είναι γενικά σύμφωνη με αυτή του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (όπως θα δούμε πιο κάτω, και οι όμβριες καπύλες της περιοχής μελέτης συμφωνούν με αυτές της Αθήνας).

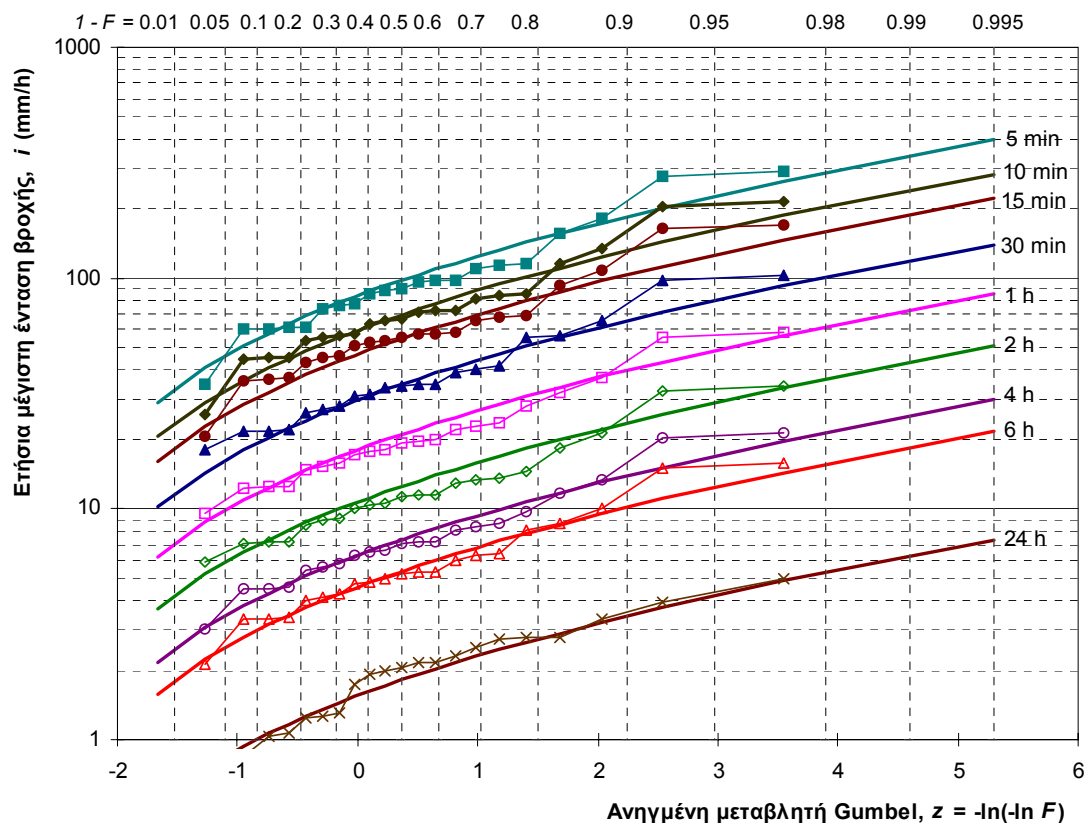
Οι υπόλοιπες παράμετροι των όμβριων καμπυλών (εξισώσεις (8) και (10)) εκτιμήθηκαν με την καθολική (σε ένα βήμα) μέθοδο εκτίμησης που περιγράφεται από τον Κουτσογιάννη (1997· βλ. και Koutsoyiannis et al., 1998) και βρέθηκαν οι τιμές που φαίνονται στον Πίν. 5.

Πίν. 5 Εκτιμημένες παράμετροι όμβριων καμπυλών (εξισώσεις (8) και (10)).

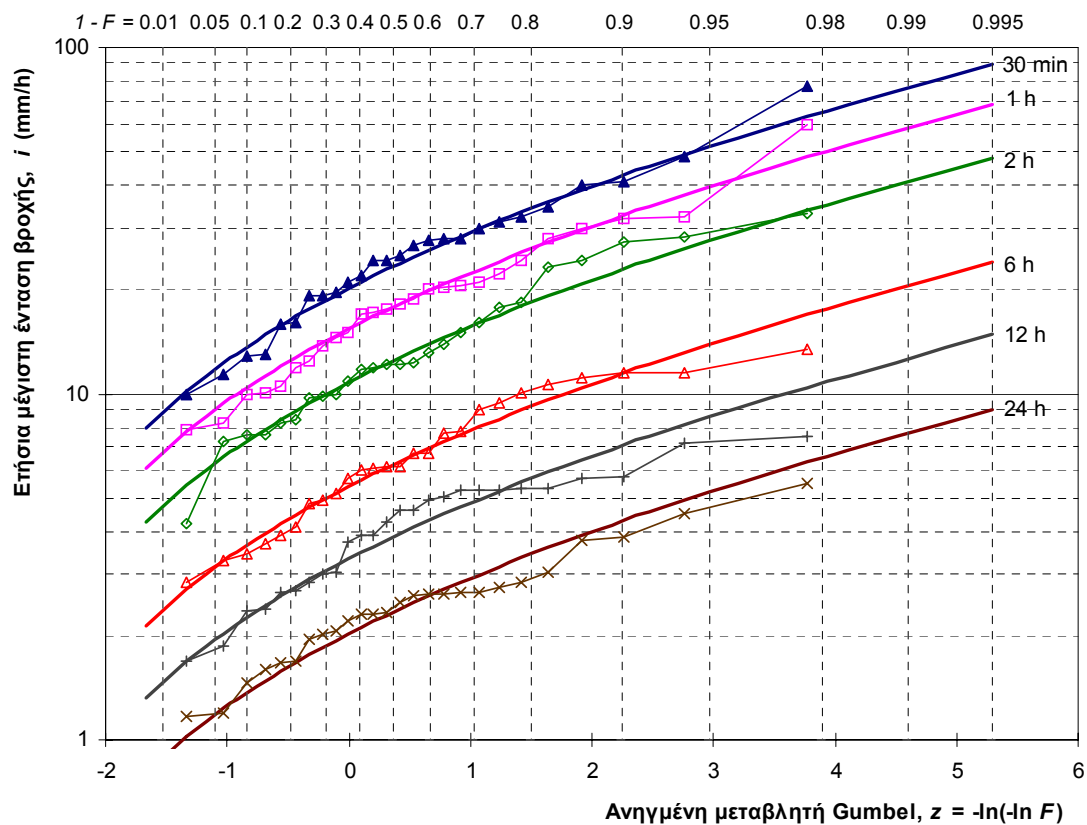
Παράμετρος	Κόρινθος	Σπαθοβούνι	Ενοποιημένο δείγμα
κ	0.16	0.16	0.16
λ (mm)	8.49	9.22	8.07
ψ	2.23	2.42	2.28
λ' (mm)	53.04	57.59	50.44
ψ'	-0.642	-0.613	-0.636
θ (h)	0.0679	0.641	0.0679
η	0.787	0.749	0.732

Οι συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ που ορίζονται από τα εκτιμημένα σύνολα παραμέτρων για διάφορες χαρακτηριστικές διάρκειες βροχής φαίνονται στο Σχ. 3 για το σταθμό της Κορίνθου και στο Σχ. 4 για το σταθμό Σπαθοβουνίου, σε χαρτί κατανομής μεγίστων τύπου Π*. Στα ίδια σχήματα έχουν χαραχτεί και οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής, εκτιμημένες με τον τύπο του Cunnane (Stedinger et al., 1993, p. 18.25· Κουτσογιάννης, 1997, σ. 117). Από τα δύο σχήματα προκύπτει ότι οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής βρίσκονται σε συμφωνία με τις εμπειρικές.

* Η απεικόνιση σε χαρτί κατανομής μεγίστων τύπου Π 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 Π, Gumbel, Gauss), επειδή η εν λόγω κατανομή έχει μεταβλητή παράμετρο σχήματος.



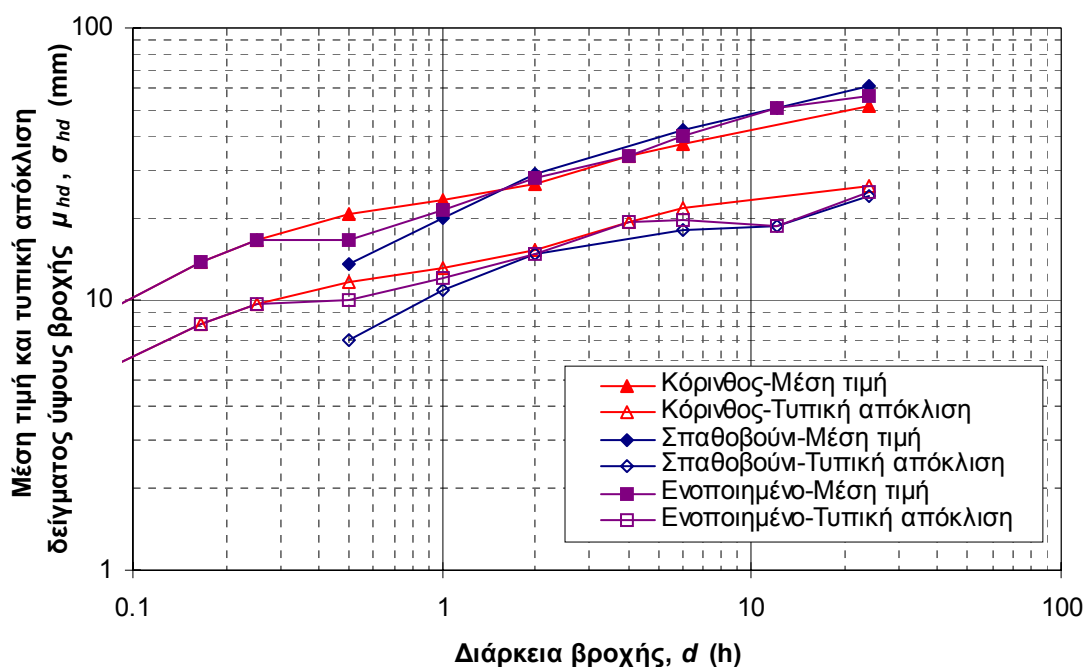
Σχ. 3 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Cunnane (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Κορίνθου.



Σχ. 4 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του σταθμού Σπαθοβουνίου.

Στον Πίν. 5 παρατηρούμε ότι οι τιμές των παραμέτρων για τους σταθμούς Κορίνθου και Σπαθοβουνίου είναι παρόμοιες, με εξαίρεση την παράμετρο θ , στην οποία εμφανίζεται σημαντική ποσοστιαία διαφορά. Η εγγύτητα των τιμών των παραμέτρων είναι εύλογη, δεδομένου ότι οι δύο σταθμοί είναι γειτονικοί, δεν έχουν ουσιαστική διαφορά ως προς το υψόμετρο, και υπόκεινται στις ίδιες κλιματικές συνθήκες. Η διαφορά στην παράμετρο θ θα πρέπει να αποδοθεί στη διαφορετική ακρίβεια μετρήσεων (διακριτότητα ανάγνωσης) στους δύο βροχογράφους, στην περιοχή των μικρών διαρκειών, παρά σε διαφοροποίηση κλιματικών παραγόντων (βλ. ενότητα 2.2).

Η στατιστική συγγένεια των δειγμάτων των δύο σταθμών επιβεβαιώνεται και από το Σχ. 5, στο οποίο έχουν απεικονιστεί οι μέσες τιμές (μ_{hd}) και τυπικές αποκλίσεις (σ_{hd}) των δειγμάτων ετήσιου μέγιστου ύψους βροχής συναρτήσει της διάρκειας d . Παρατηρούμε ότι τα αντίστοιχα διαγράμματα των δύο σταθμών παρουσιάζουν ταυτόσημη εικόνα, με εξαίρεση μια διαφοροποίηση στις διάρκειες 0.5 h και 1 h, η οποία εξηγήθηκε παραπάνω.



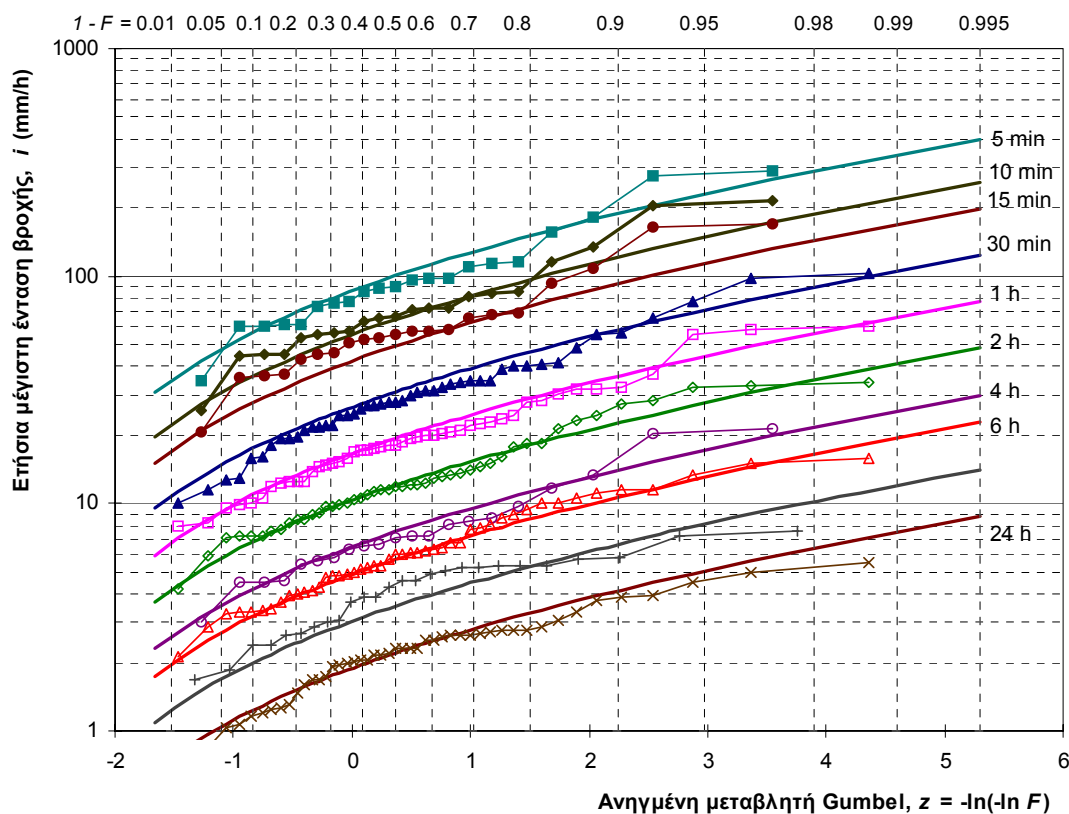
Σχ. 5 Μεταβολή των στατιστικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων ύψους βροχής στην Κόρινθο και το Σπαθοβούνι συναρτήσει της διάρκειας βροχής.

Η ομοιότητα των στατιστικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων των δύο σταθμών υποδεικνύει ότι αυτά αντιπροσωπεύουν τον ίδιο στατιστικό πληθυσμό και επομένως επιτρέπει την ενοποίησή τους. Αυτή η ενοποίηση έχει το πλεονέκτημα ότι οδηγεί σε ένα ενιαίο σύνολο παραμέτρων και συνακόλουθα ένα ενιαίο σύνολο όμβριων καμπυλών, αντιπροσωπευτικό για την περιοχή μελέτης, ενώ παράλληλα οδηγεί σε αύξηση της αξιοπιστίας των εκτιμήσεων. Έτσι, προκύπτουν ενοποιημένα δείγματα μεγέθους $21 + 26 = 47$ ετών· επειδή, όμως, οι διάρκειες για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις δεν συμπίπτουν σε όλες τις περιπτώσεις για τους δύο σταθμούς (βλ. Πίν. 3 και Πίν. 4)

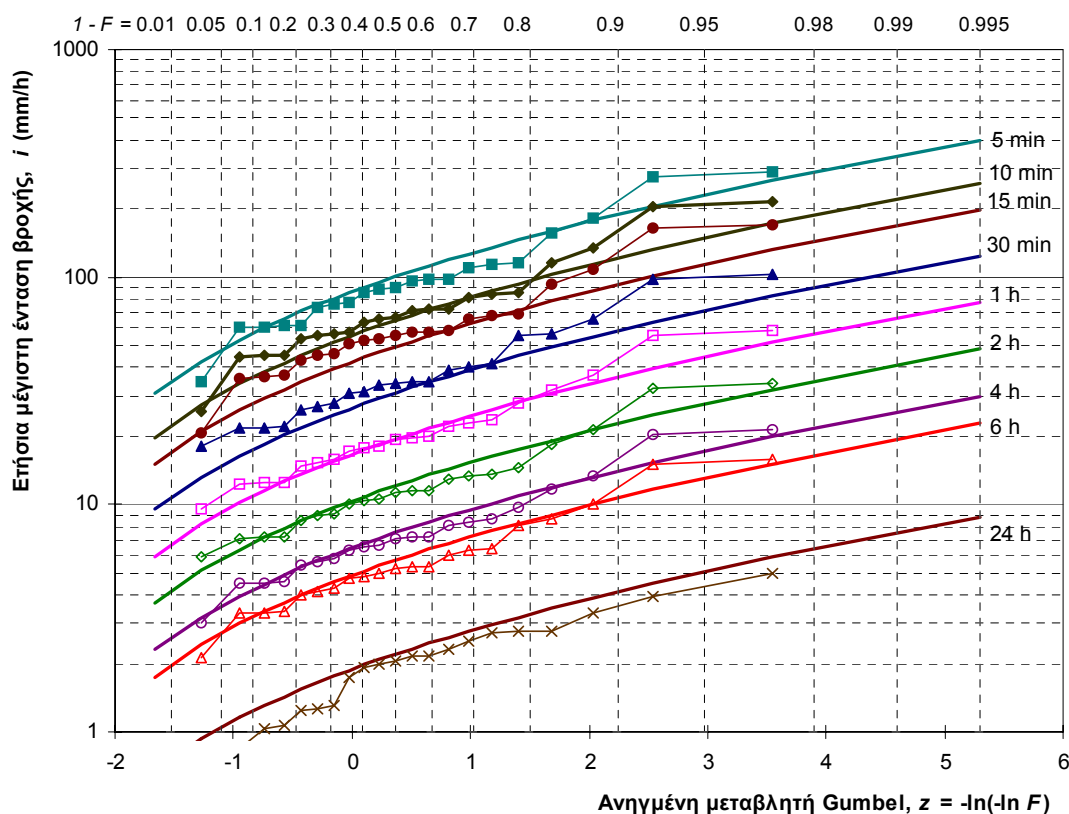
παραμένουν ορισμένα δείγματα με μέγεθος 21 ή 26 ετών. Θα πρέπει πάντως να τονίσουμε ότι ένα δείγμα 47 ετών που παράγεται από ενοποίηση των ξεχωριστών δειγμάτων των δύο σταθμών δεν είναι ισοδύναμο από στατιστικής πλευράς με ένα δείγμα 47 ετών ενός μοναδικού σταθμού. Για να συμβεί αυτό θα έπρεπε τα δύο επιμέρους δείγματα να είναι στατιστικώς ανεξάρτητα, προϋπόθεση που δεν μπορεί να εξασφαλιστεί, ιδίως για μεγάλες διάρκειες βροχής, δεδομένου ότι τα έντονα επεισόδια βροχής καταγράφονται ως μέγιστα και στους δύο γειτονικούς σταθμούς. Πράγματι, η σύγκριση των ημερομηνιών που αντιστοιχούν στις μέγιστες καταγραφές 24 ωρών στους σταθμούς Κορίνθου και Σπαθοβουνίου δείχνει ότι σε πολλά έτη αυτές ταυτίζονται. Εξ άλλου, ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δειγμάτων για διάρκεια βροχής 24 h είναι αρκετά μεγαλύτερος από μηδέν (0.30). Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η ενοποίηση των δειγμάτων των δύο σταθμών είναι μεν επιτρεπτή, αφού τα δύο δείγματα αντιπροσωπεύουν την ίδια τυχαία μεταβλητή (ή τον ίδιο πληθυσμό) αλλά το μέγεθος δείγματος 47 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτίμηση ορίων εμπιστοσύνης των διάφορων στατιστικών παραμέτρων του δείγματος.

Όπως έγινε και με τα μεμονωμένα δείγματα, η παράμετρος κ θεωρήθηκε και για το ενοποιημένο δείγμα ίση 0.16. Για την παράμετρο θ υιοθετήθηκε η τιμή της Κορίνθου ($\theta = 0.0679$ h) για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι υπόλοιπες παράμετροι των όμβριων καμπυλών (εξισώσεις (8) και (10)) εκτιμήθηκαν από τα ενοποιημένα δείγματα με την καθολική (σε ένα βήμα) μέθοδο εκτίμησης που περιγράφεται από τον Κουτσογιάννη (1997· βλ. και Koutsoyiannis et al., 1998) και βρέθηκαν οι τιμές που φαίνονται στον Πίν. 5. Ας σημειωθεί ότι, αν η παράμετρος κ δεν είχε θεωρηθεί δεδομένη αλλά είχε εκτιμηθεί και αυτή με την ίδια μέθοδο, η τιμή της θα προέκυπτε ίση με 0.176, δηλαδή πρακτικώς όχι διαφορετική από αυτή που θεωρήθηκε ως δεδομένη.

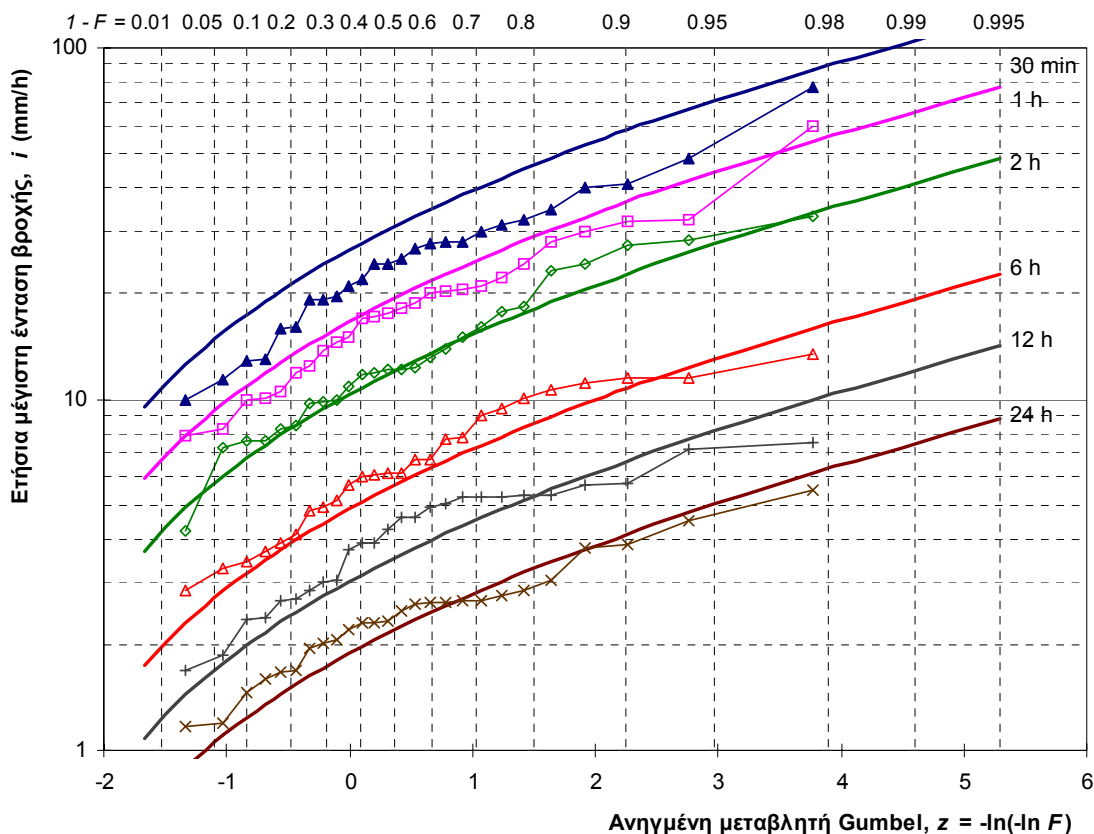
Οι συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ που ορίζονται από τις παραμέτρους του ενοποιημένου δείγματος για διάφορες χαρακτηριστικές διάρκειες βροχής φαίνονται στο Σχ. 6, σε χαρτί κατανομής μεγίστων τύπου II. Στο ίδιο σχήμα έχουν χαραχτεί και οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής, εκτιμημένες με τον τύπο του Cunnane, οι οποίες, όπως προκύπτει από το σχήμα, βρίσκονται σε συμφωνία με τις θεωρητικές. Τέλος, στο Σχ. 7 και το Σχ. 8 έχουν απεικονιστεί οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής των μεμονωμένων δειγμάτων των σταθμών Κορίνθου και Σπαθοβουνίου, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις θεωρητικές συναρτήσεις ΓΑΤ του ενοποιημένου δείγματος. Η παρατηρούμενη συμφωνία επιβεβαιώνει τη στατιστική συγγένεια των δειγμάτων των δύο σταθμών (η σχετική απόκλιση που παρατηρείται για διάρκεια 30 min στο Σπαθοβούνι εξηγείται απ' όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω).



Σχ. 6 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (τεθλασμένες) για τις ετήσιες μέγιστες εντάσεις βροχής του ενοποιημένου δείγματος.



Σχ. 7 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) του ενοποιημένου δείγματος ετήσιων μέγιστων εντάσεων βροχής και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (τεθλασμένες) του σταθμού Κορίνθου.



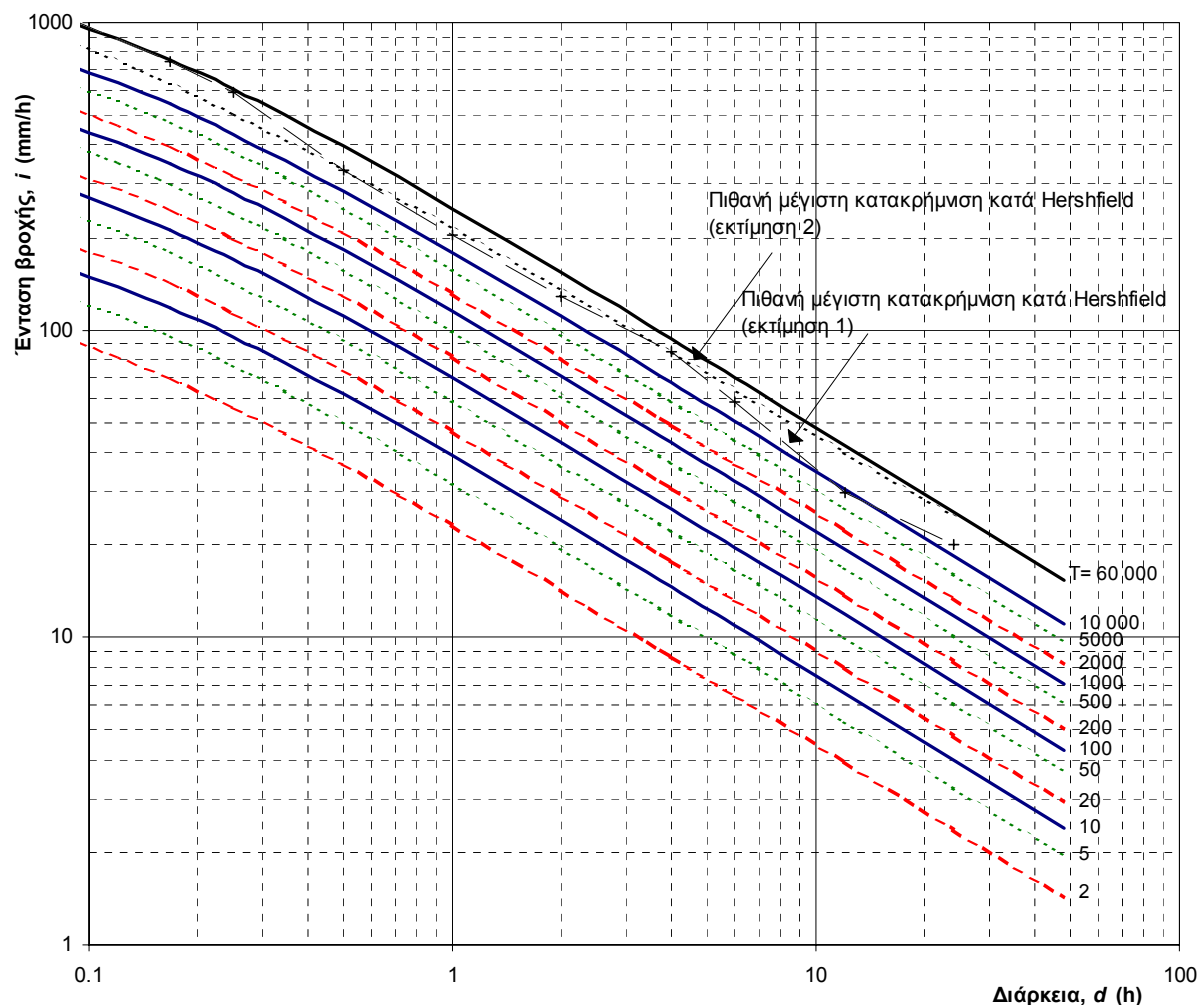
Σχ. 8 Συναρτήσεις κατανομής ΓΑΤ (καμπύλες) του ενοποιημένου δείγματος ετήσιων μέγιστων εντάσεων βροχής και εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (τεθλασμένες) του σταθμού Σπαθοβουνίου.

2.4 Τελικά αποτελέσματα

Η τελική έκφραση των όμβριων καμπυλών, όπως προκύπτει με εφαρμογή της εξίσωσης (10) για το σύνολο παραμέτρων του Πίν. 5 που αντιστοιχεί στο ενοποιημένο δείγμα, είναι

$$i(d, T) = \frac{50.44 (T^{0.16} - 0.636)}{(d + 0.0679)^{0.732}} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (12)$$

Όπως προαναφέρθηκε (ενότητα 2.1), στην παραπάνω έκφραση η περίοδος επαναφοράς αντιστοιχεί σε σειρά μεγίστων υπεράνω κατωφλίου (και επομένως μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από 1), παρόλο που οι παράμετροι εκτιμήθηκαν με βάση σειρές ετήσιων μεγίστων. Η τελική εξίσωση όμβριων καμπυλών (12) έχει παρασταθεί γραφικά σε άξονες $i - d$ στο Σχ. 9.



Σχ. 9 Τελικές όμβριες καμπύλες περιοχής με βάση τις παραμέτρους του ενοποιημένου δείγματος.

2.5 Συγκρίσεις και συμπεράσματα

2.5.1 Σύγκριση με την πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση

Στο Σχ. 9 έχουν παρασταθεί για λόγους σύγκρισης και οι εντάσεις της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης (ΠΜΚ), όπως αυτές προκύπτουν με εφαρμογή της μεθόδου Hershfield (1961, 1965· βλ. και World Meteorological Organization, 1986). Σύμφωνα με τη μέθοδο Hershfield το ύψος βροχής της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης $h_m = i_m d$ προκύπτει από την εξίσωση

$$h_m = \bar{h} + k_m s_h \quad (13)$$

όπου \bar{h} και s_h είναι η δειγματική μέση τιμή και η δειγματική τυπική απόκλιση, αντίστοιχα, του ετήσιου μέγιστου ύψους βροχής για διάρκεια d , και k_m είναι ένας συντελεστής συχνότητας που δίνεται από εμπειρικό νομογράφημα του Hershfield ως συνάρτηση των d και \bar{h} . Αυτό το νομογράφημα μπορεί να προσεγγιστεί από την απλή αναλυτική σχέση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997, σ.160)

$$k_m = 20 - 8.6 \ln \left(\frac{\bar{h}}{130} + 1 \right) \left(\frac{24}{d} \right)^{0.4} \quad (d \text{ σε h, } \bar{h} \text{ σε mm}) \quad (14)$$

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ενοποιημένου δείγματος και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί της ΠΜΚ, με εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων, φαίνονται στον Πίν. 6. Συγκεκριμένα έγιναν δύο εκτιμήσεις της ΠΜΚ: η πρώτη βασίστηκε στις μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις, όπως αυτές προκύπτουν άμεσα από τα ενοποιημένα δείγματα· η δεύτερη βασίστηκε στις θεωρητικές μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις, όπως αυτές προκύπτουν από την προσαρμοσμένη κατανομή ΓΑΤ (εξίσωση (8)) με βάση τις αντίστοιχες εξισώσεις (βλ. π.χ. Stedinger et al., 1994, σ. 18.13). Οι δύο ομάδες τιμών παρουσιάζουν κάποιες διαφοροποιήσεις αλλά κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Στο Σχ. 9, όπου έχουν χαραχτεί τα αποτελέσματα και των δύο εκτιμήσεων της ΠΜΚ, παρατηρούμε ότι οι εντάσεις της ΠΜΚ βρίσκονται περίπου στα επίπεδα των εντάσεων περιόδου επαναφοράς 60 000 ετών, όπως αναμέναμε σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.1.

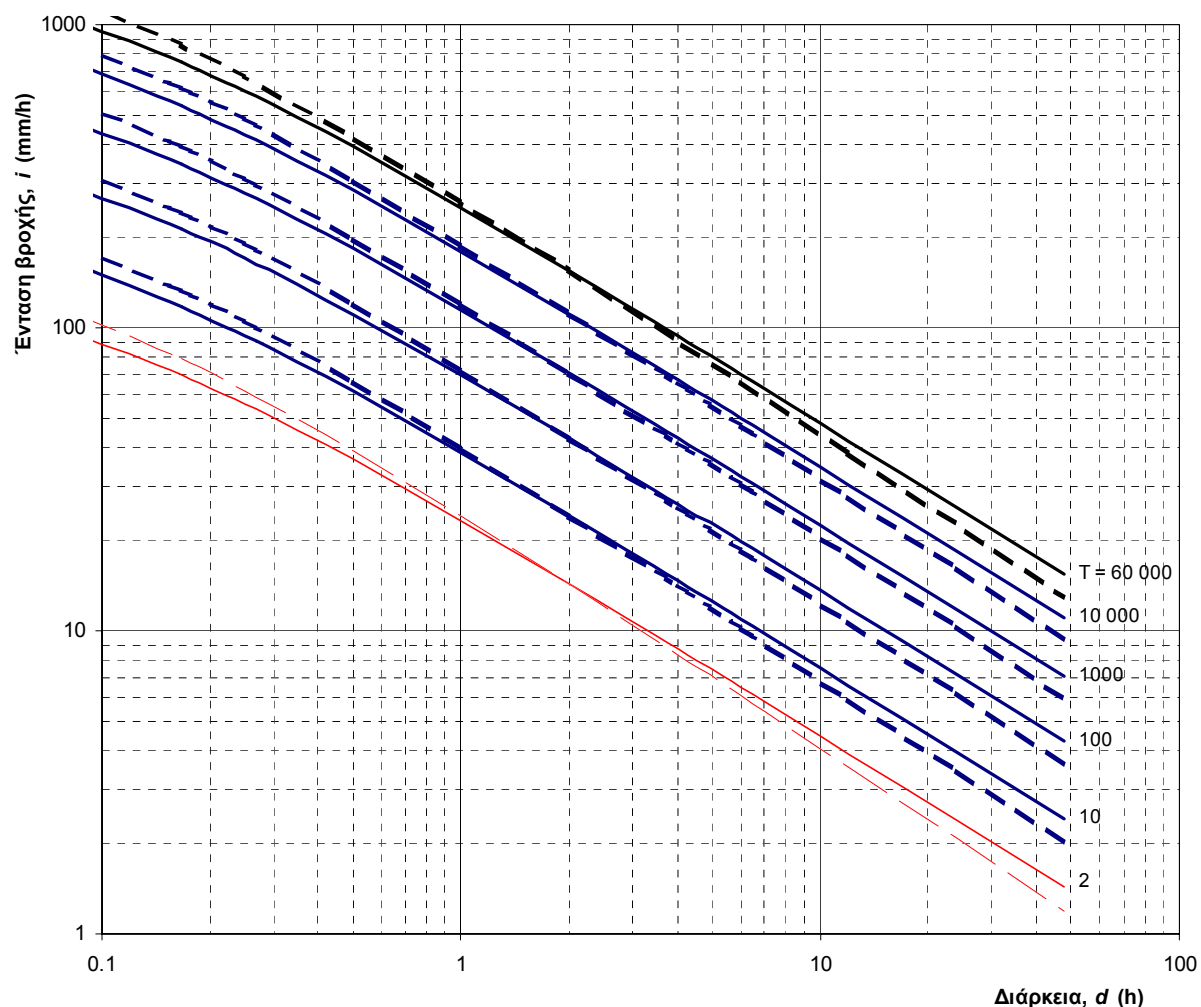
Πίν. 6 Στατιστικά χαρακτηριστικά ενοποιημένου δείγματος και υπολογισμός ύψους και έντασης πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης κατά Hershfield.

	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h	24 h
<i>Εκτίμηση 1: Απευθείας από τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος</i>										
\bar{h}	9.14	13.59	16.50	16.63	21.24	27.86	33.56	40.00	50.85	56.51
s_h	5.53	8.08	9.66	9.90	11.86	14.75	19.26	19.52	18.68	24.99
k_m	14.37	13.76	13.62	15.13	15.36	15.49	15.96	15.98	16.25	16.90
h_m	88.7	124.7	148.1	166.5	203.4	256.4	340.8	351.9	354.5	478.7
i_m	1063.9	748.4	592.3	332.9	203.4	128.2	85.2	58.7	29.5	19.9
<i>Εκτίμηση 2: Από τη θεωρητική μέση τιμή και τυπική απόκλιση*</i>										
\bar{h}	8.14	11.81	14.18	18.55	23.38	28.83	35.14	39.34	47.57	57.41
s_h	4.48	6.50	7.81	10.21	12.87	15.87	19.34	21.66	26.19	31.60
k_m	14.97	14.54	14.47	14.60	14.93	15.35	15.79	16.04	16.46	16.85
h_m	75.2	106.4	127.2	167.7	215.5	272.4	340.5	386.7	478.6	590.1
i_m	902.8	638.1	508.7	335.4	215.5	136.2	85.1	64.5	39.9	24.6

*Όπως προκύπτουν από τη συνάρτηση κατανομής ΓΑΤ για τις δεδομένες τιμές των παραμέτρων

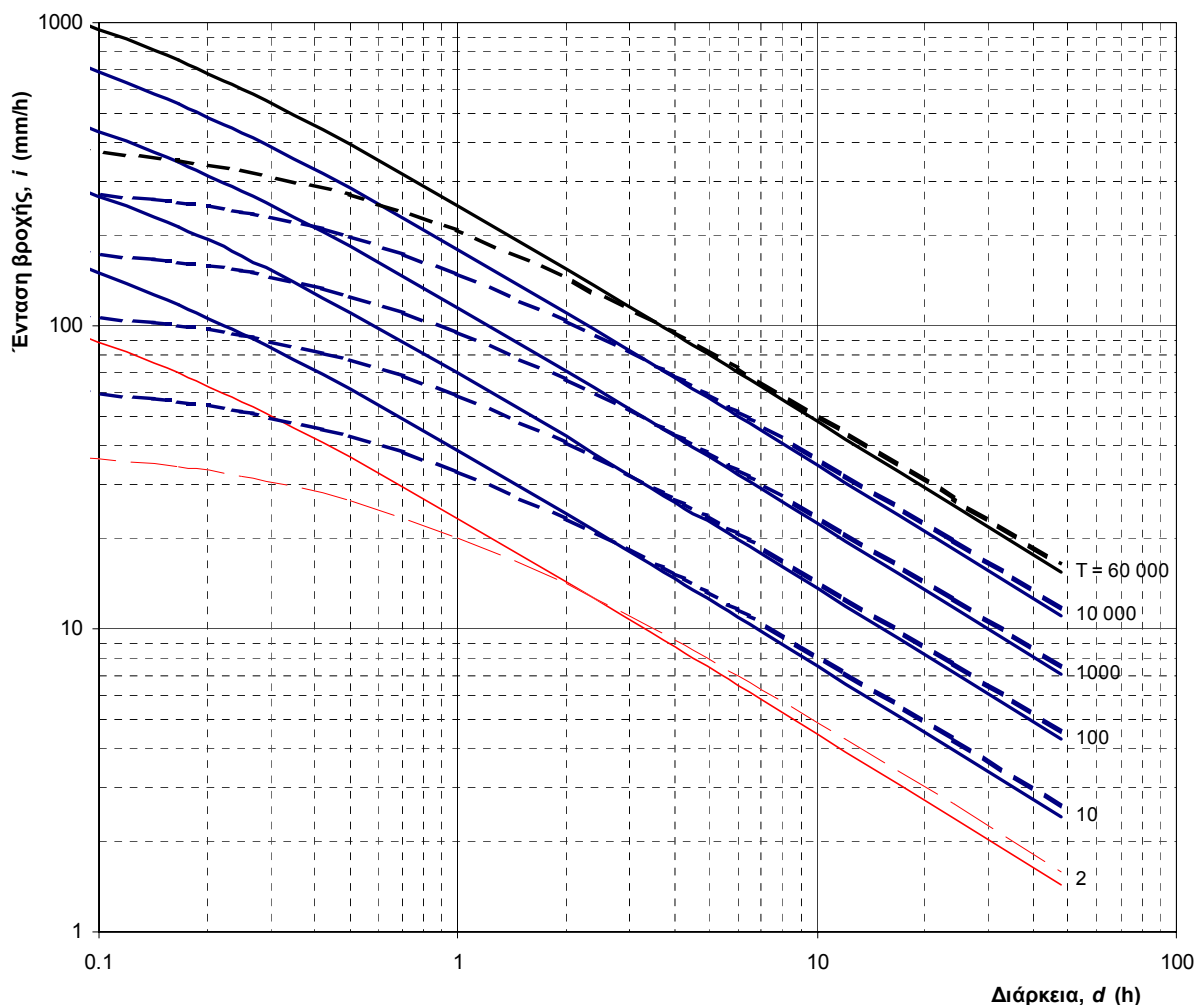
2.5.2 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες των μεμονωμένων σταθμών

Στο Σχ. 10 παρουσιάζεται γραφική σύγκριση των τελικών όμβριων καμπυλών της εξίσωσης (12) με τις όμβριες καμπύλες που προκύπτουν μόνο από τα δεδομένα της Κορίνθου, με βάση τις αντίστοιχες παραμέτρους που φαίνονται στον Πίν. 5. Όπως αναμέναμε, παρατηρείται καλή συμφωνία των δύο ομάδων καμπυλών



Σχ. 10 Σύγκριση των τελικών όμβριων καμπυλών με βάση τις παραμέτρους του ενοποιημένου δείγματος (συνεχείς γραμμές), με τις όμβριες καμπύλες που προκύπτουν με βάση μόνο τα δεδομένα του σταθμού Κορίνθου (διακεκομμένες γραμμές).

Εξ άλλου, στο Σχ. 11 παρουσιάζεται παρόμοια γραφική σύγκριση των τελικών όμβριων καμπυλών της εξίσωσης (12) με τις όμβριες καμπύλες που προκύπτουν μόνο από τα δεδομένα του Σπαθοβουνίου, με βάση τις αντίστοιχες παραμέτρους που φαίνονται στον Πίν. 5. Όπως αναμέναμε, η συμφωνία των δύο ομάδων καμπυλών είναι καλή για διάρκειες βροχής μεγαλύτερες της 1 h, αλλά υπάρχουν διαφοροποιήσεις για μικρότερες διάρκειες. Αυτές οφείλονται στην διαφοροποίηση της παραμέτρου θ που σχολιάστηκε πιο πάνω. Υπενθυμίζεται ότι αυτή η διαφοροποίηση έχει αποδοθεί στη μειωμένη ακρίβεια των αναγνώσεων του (εβδομαδιαίου) βροχογράφου του Σπαθοβουνίου για μικρές διάρκειες βροχής. Αυτή η μειωμένη ακρίβεια δεν μας επιτρέπει να θεωρήσουμε ως ορθές τις καμπύλες του Σπαθοβουνίου για διάρκειες μικρότερες της 1 h.



Σχ. 11 Σύγκριση των τελικών όμβριων καμπυλών με βάση τις παραμέτρους του ενοποιημένου δείγματος (συνεχείς γραμμές), με τις όμβριες καμπύλες που προκύπτουν με βάση μόνο τα δεδομένα του σταθμού Σπαθοβουνίου (διακεκομμένες γραμμές).

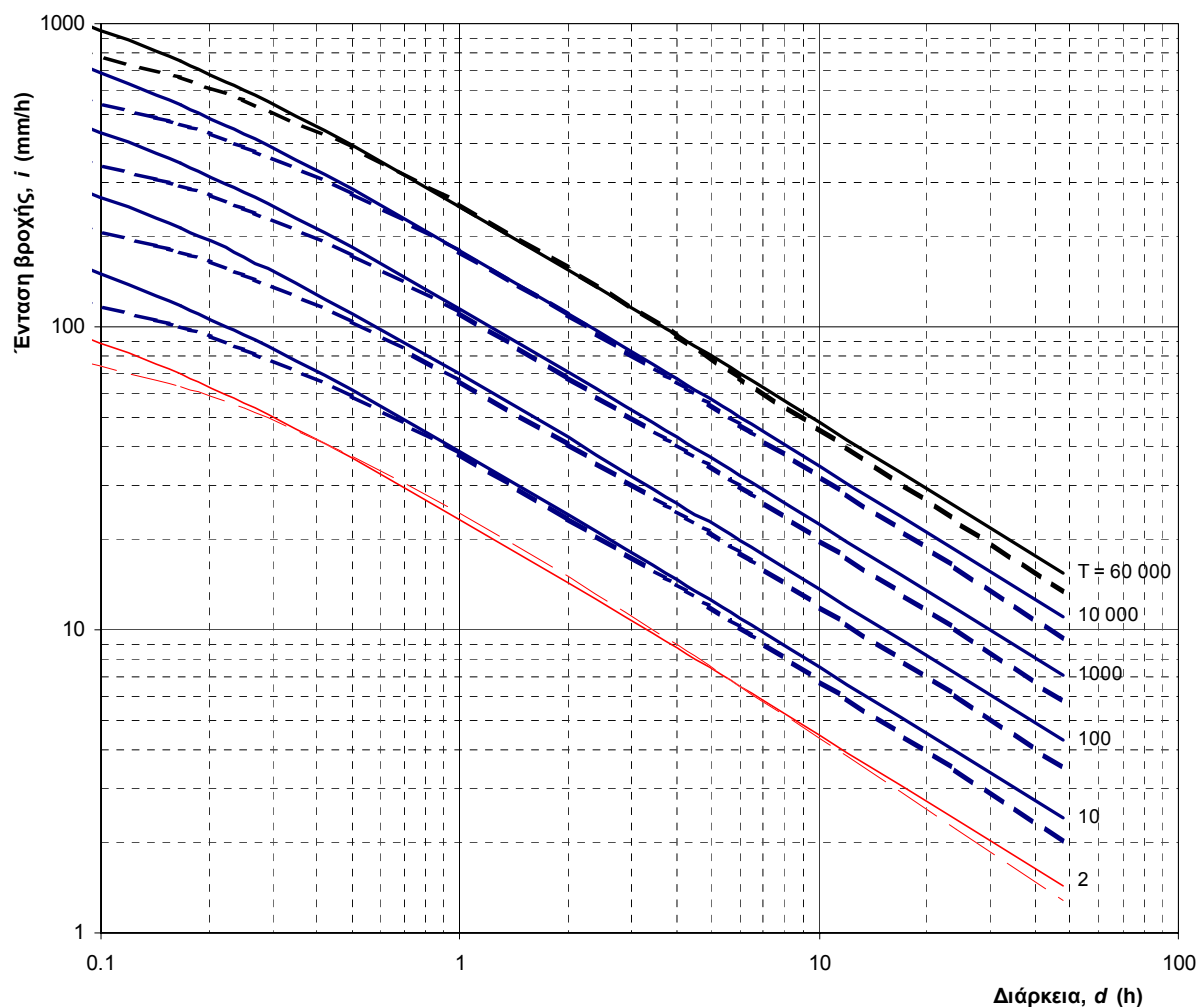
2.5.3 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της Αθήνας

Πρόσφατα (Koutsoyiannis and Baloutsos, 1998) εκτιμήθηκε η ακόλουθη έκφραση όμβριων καμπυλών για την περιοχή της Αθήνας

$$i(d, T) = \frac{40.6 (T^{0.185} - 0.45)}{(d + 0.189)^{0.796}} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (15)$$

Η εξαγωγή αυτής της εξίσωσης βασίστηκε αφενός στο δείγμα ετήσιων μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, μεγέθους 136 ετών (το μεγαλύτερο σε μέγεθος δείγμα της Ελλάδας) και αφετέρου σε δείγματα ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων μικρότερων διαρκειών, μεγέθους 30 ετών, του σταθμού Ελληνικού.

Η σύγκριση των δύο ομάδων όμβριων καμπυλών των περιοχών Κορίνθου και Αθήνας παρουσιάζεται γραφικά στο Σχ. 12. Παρατηρούμε ότι υπάρχει εντυπωσιακή συμφωνία των δύο ομάδων καμπυλών, γεγονός που υποδυναμίζει 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) με τις όμβριες καμπύλες της Αθήνας (διακεκομμένες γραμμές· Koutsoyiannis and Baloutsos, 1998).

2.5.4 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της μελέτης της Υδροεξυγιαντικής (1986)

Στη μελέτη της Υδροεξυγιαντικής (1986) είχαν καταστρωθεί όμβριες καμπύλες για το σταθμό της Κορίνθου χρησιμοποιώντας το δείγμα του σταθμού της Κορίνθου (βλ. ενότητα 2.2) και με μεθοδολογία που βασίζεται στη στατιστική επεξεργασία με την κατανομή Gumbel, συνδυασμένη με ορισμένες εμπειρικές θεωρήσεις. Οι εξισώσεις που προέκυψαν τελικώς είναι της μορφής

$$i = a / d^{0.707} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (16)$$

όπου ο συντελεστής a παίρνει τις τιμές 34.6, 43.1, 51.3, 61.9 και 69.8 για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 20, 50 και 100 χρόνια, αντίστοιχα.* Δεδομένου ότι οι τιμές του συντελεστή αυτού προέρχονται από επεξεργασία με τη συνάρτηση κατανομής Gumbel ($\kappa = 0$), η (16)

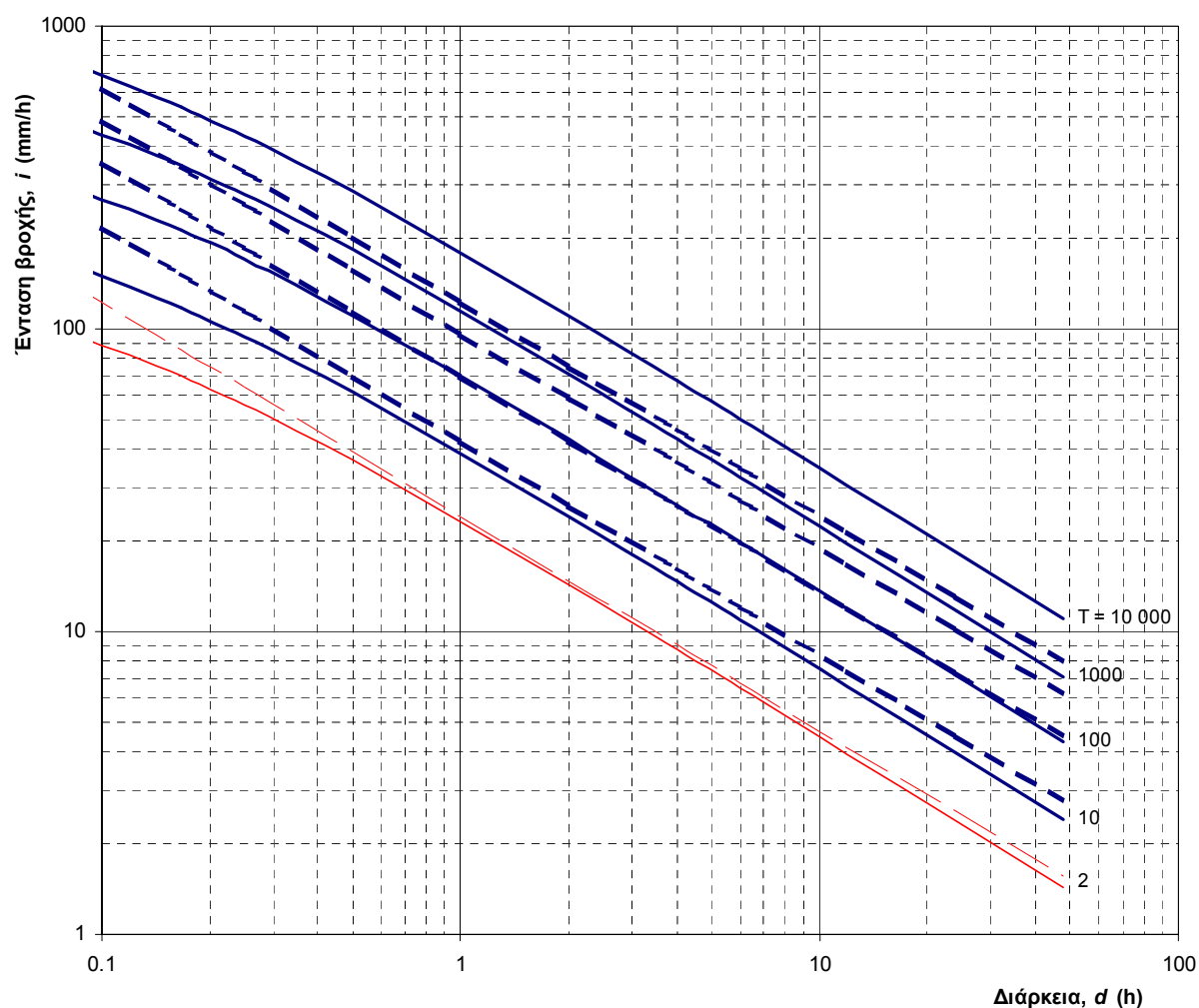
* Οι τιμές του συντελεστή, που στη μελέτη της Υδροεξυγιαντικής αναφέρονταν σε μονάδες d σε min και i σε mm/min, εδώ έχουν μετατραπεί κατάλληλα για τις μονάδες που αναφέρονται στη (16).

μπορεί να γραφεί με την έκφραση (11). Αν εκτιμήσουμε τις παραμέτρους λ και ψ της (11) με τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων παίρνουμε τη σχέση

$$i(d, T) = \frac{11.7 (\ln T + 1.36)}{d^{0.707}} \quad (17)$$

η οποία δίνει πρακτικώς τους ίδιους συντελεστές a για τις πιο πάνω περιόδους επαναφοράς.

Γραφική σύγκριση των εξισώσεων όμβριων καμπυλών (17) (ή ισοδύναμα (16)) της μελέτης της Υδροεξυγιαντικής, και (12) της παρούσας μελέτης δίνεται στο Σχ. 13. Παρατηρούμε ότι οι δύο ομάδες καμπυλών συμφωνούν για περιόδους επαναφοράς 2 έως 100 χρόνια, αλλά απέχουν για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς. Αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι η κατανομή Gumbel, για πολύ μεγάλες περιόδους επαναφοράς, αποκλίνει από την κατανομή ΓΑΤ με θετικό συντελεστή σχήματος κ .



Σχ. 13 Σύγκριση των τελικών όμβριων της περιοχής Κορίνθου (συνεχείς γραμμές) με τις όμβριες καμπύλες που έχουν υπολογιστεί για το σταθμό της Κορίνθου από την Υδροεξυγιαντική (1986· διακεκομμένες γραμμές).

2.5.5 Σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της μελέτης των Παπαναστασίου κ.ά. (1994)

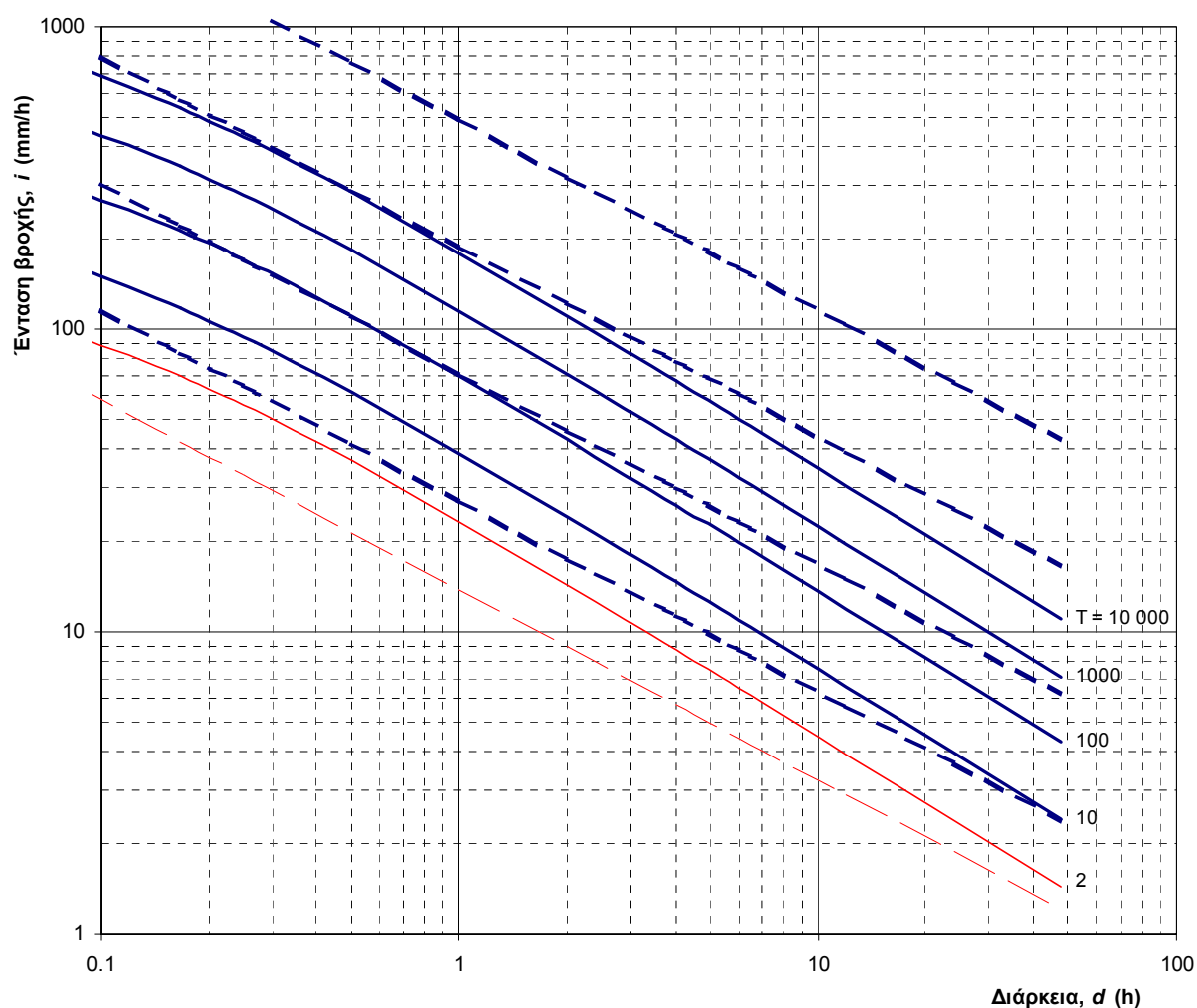
Στη μελέτη Παπαναστασίου κ.ά. δίνονται εκφράσεις όμβριων καμπυλών για τους σταθμούς της Κορίνθου και του Σπαθοβουνίου. Για την Κόρινθο έχει εξαχθεί από 12 χρόνια μετρήσεων η έκφραση

$$i = 10.2799 T^{0.4202} / d^{0.6281} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (18)$$

ενώ για το Σπαθοβούνι έχει εξαχθεί από 26 χρόνια μετρήσεων η έκφραση

$$i = 15.2512 T^{0.2889} / d^{0.6832} \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h}) \quad (19)$$

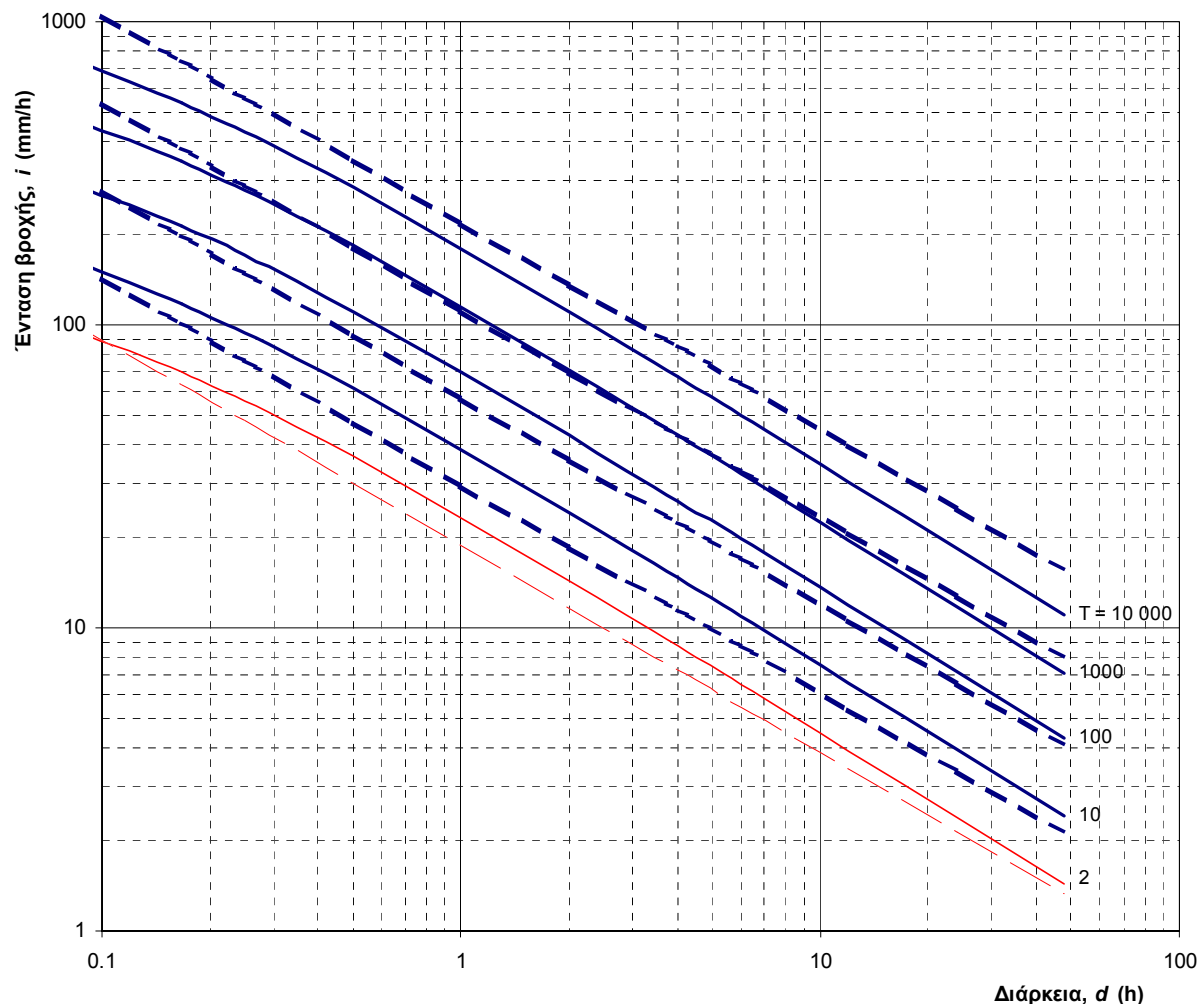
Γενικά, η στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων έγινε με την κατανομή Log-Pearson III.



Σχ. 14 Σύγκριση των τελικών όμβριων της περιοχής Κορίνθου (συνεχείς γραμμές) με τις όμβριες καμπύλες που έχουν υπολογιστεί για το σταθμό της Κορίνθου από τους Παπαναστασίου κ.ά (1994· διακεκομμένες γραμμές).

Στο Σχ. 14 δίνεται γραφική σύγκριση της έκφρασης (18) της Κορίνθου με τη (12) της παρούσας μελέτης, όπου παρατηρούμε μεγάλη ασυμφωνία των δύο εκφράσεων. Η

ασυμφωνία αυτή πρέπει να οφείλεται στο μικρό αριθμό δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη Παπαναστασίου κ.ά. Καλύτερη είναι η συμφωνία στην περίπτωση του Σπαθοβουνίου, όπως προκύπτει από το Σχ. 15 στο οποίο γίνεται γραφική σύγκριση των (19) και (12).



Σχ. 15 Σύγκριση των τελικών όμβριων της περιοχής Κορίνθου (συνεχείς γραμμές) με τις όμβριες καμπύλες που έχουν υπολογιστεί για το σταθμό του Σπαθοβουνίου από τους Παπαναστασίου κ.ά (1994· διακεκομμένες γραμμές).

2.5.6 Γενικό συμπέρασμα

Ο συνδυασμός των δεδομένων των σταθμών της Κορίνθου και του Σπαθοβουνίου και η εφαρμογή μιας εξελιγμένης μεθοδολογίας επέτρεψαν την αρκετά αξιόπιστη κατάρτιση όμβριων καμπύλων της περιοχής Κορίνθου. Παρόλο που τα δεδομένα και των δύο σταθμών εμφανίζουν ορισμένα αρχικά προβλήματα, τα οποία εκτέθηκαν στην ενότητα 2.2, φάνηκε να υπάρχει καλή συμφωνία των εξαγομένων των δύο σταθμών σε όλα τα βήματα της υπολογιστικής πορείας, ενώ ορισμένες διαφοροποιήσεις φαίνεται να εξηγούνται από τη σχετική ακρίβεια των δεδομένων. Η συμφωνία αυτή ενισχύει την αξιοπιστία των εξαγομένων. Εξ άλλου, οι όμβριες καμπύλες της περιοχής Κορίνθου συμφωνούν ικανοποιητικά με τις

αντίστοιχες καμπύλες της Αθήνας, η κατάρτιση των οποίων έγινε με πιο αξιόπιστο τρόπο, δεδομένου ότι βασίστηκε μεταξύ άλλων σε δείγμα ετήσιων μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων μεγέθους 136 ετών.

3. Η ισχυρή βροχόπτωση του Ιανουαρίου 1997

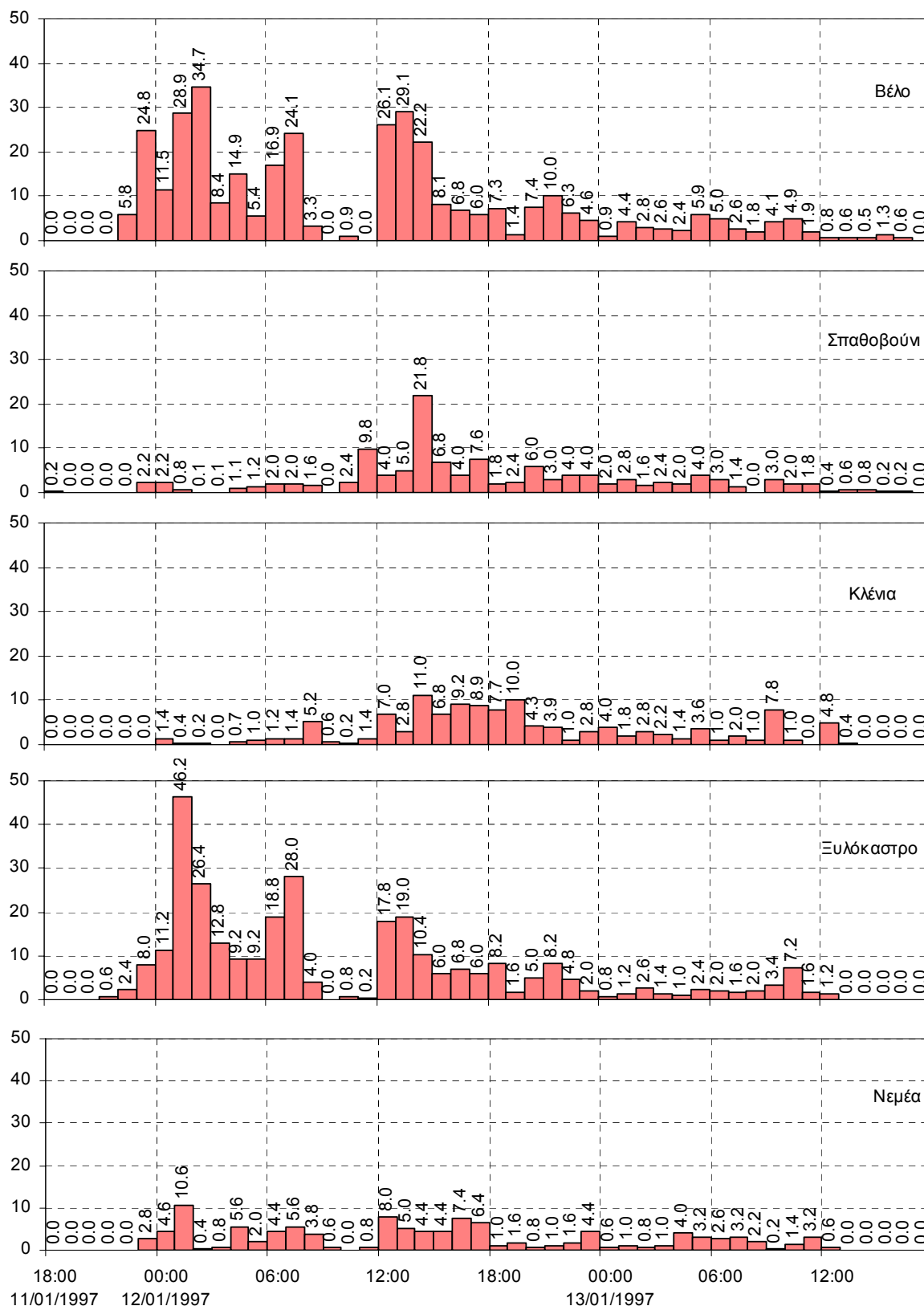
Στις 11/1/1997 εκδηλώθηκε στη Βορειοανατολική Πελοπόννησο ισχυρότατη βροχόπτωση η οποία διήρκεσε περί τις 48 ώρες. Η βροχόπτωση αυτή είχε συνέπεια ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλημμυρικό φαινόμενο στον χείμαρρο Ξηριά που προκάλεσε μεγάλες καταστροφές.

Όπως προαναφέραμε, μέσα στη λεκάνη του Ξηριά δεν λειτουργεί κανένας βροχομετρικός σταθμός και έτσι δεν μπορούμε να έχουμε σαφή εικόνα για τη χωροχρονική διακύμανση της έντασης βροχής στη λεκάνη. Πάντως μερικά χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από γειτονικούς βροχογράφους. Στο Σχ. 16 δίνονται τα υετογραφήματα του εν λόγω επεισοδίου βροχής όπως έχουν προκύψει από την αποκωδικοποίηση των ταινιών των βροχογράφων σε πέντε σταθμούς της ευρύτερης ποριοχής. Πρόκειται για τους ακόλουθους σταθμούς:

1. Βέλο, σε απόσταση περί τα 15 km από την Κόρινθο (βλ. Σχ. 1 και ενότητα 2.2).
2. Σπαθοβούνι, σε απόσταση περί τα 4 km (δυτικά) από τη λεκάνη στο ύψος του κέντρου βάρους της (βλ. Σχ. 1 και ενότητα 2.2).
3. Κλένια, σε απόσταση περί το 1 km (δυτικά) από τη λεκάνη στο ύψος του νότιου τμήματός της (βλ. Σχ. 1).
4. Ξυλόκαστρο, σε απόσταση περί τα 30 km (Βορειοδυτικά) από την Κόρινθο.
5. Νεμέα, σε απόσταση περί τα 20 km (δυτικά) από τη λεκάνη στο ύψος του νοτιότερου ορίου της.

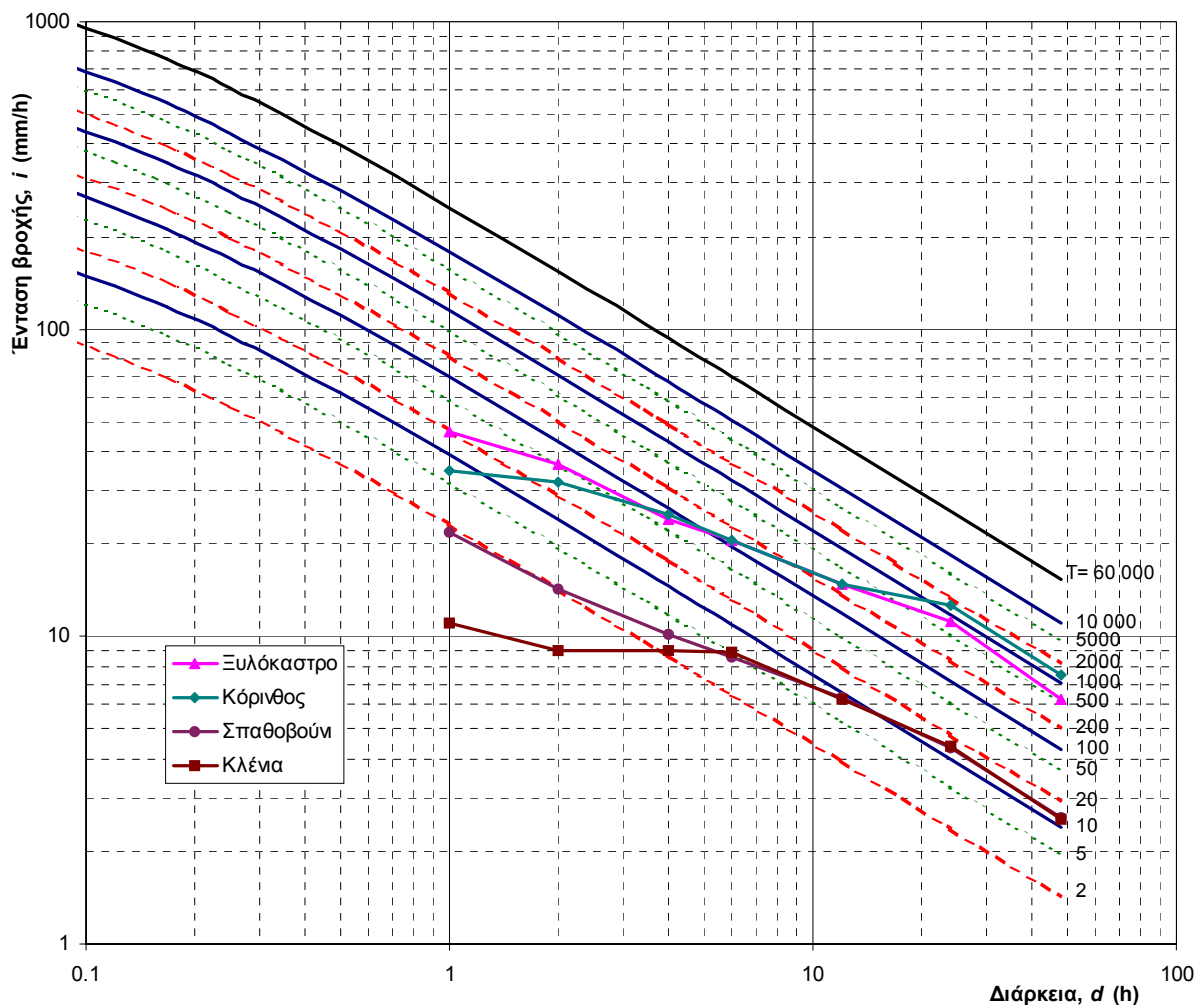
Στο Σχ. 16 είναι εμφανέστατο ότι το επεισόδιο βροχής εκδηλώθηκε με έντονη γεωγραφική μεταβλητότητα. Έτσι, στην παραλιακή ζώνη (Βέλο, Ξυλόκαστρο) το επεισόδιο εμφανίζεται με πολύ μεγάλες εντάσεις βροχής, ενώ στα ενδότερα (Σπαθοβούνι, Κλένια, Νεμέα) οι εντάσεις μικραίνουν σημαντικά. Οι μεγαλύτερες γεωγραφικές διαφορές καταγράφονται τις πρώτες πρωινές ώρες της 12/1/1997, όπου στην παραλιακή ζώνη έχουμε εμφάνιση σημαντικής καταιγίδας, ενώ στα ενδότερα έχουμε εμφάνιση μιας βροχής συνήθους έντασης που πρακτικώς δεν δημιουργεί πλημμυρική απορροή.

Με αυτά τα δεδομένα αδυνατούμε να αποφανθούμε για την πραγματική χωροχρονική μεταβολή της έντασης βροχής στο σύνολο της λεκάνης και σε επιμέρους υπολεκάνες της. Πάντως, παίρνοντας υπόψη τις μαρτυρίες ότι στον κλάδο Χιλιμοδίου τα φαινόμενα πλημμύρας δεν ήταν σημαντικά, ενώ στον κλάδο Αθικίων ήταν εντονότατα, μπορούμε να εικάσουμε ότι τα υετογραφήματα στα Κλένια και το Σπαθοβούνι είναι αντιπροσωπευτικά για τον κλάδο Χιλιμοδίου, ενώ στον κλάδο Αθικίων η βροχόπτωση θα πρέπει να είχε σχετικά μεγαλύτερη ένταση. Τέλος για το πιο πεδινό-παραλιακό τμήμα της λεκάνης θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικότερο το υετογράφημα του Βέλου.



Σχ. 16 Υετογραφήματα του επεισοδίου βροχής της 11-13/1/1997 σε διάφορους σταθμούς της περιοχής.

Από τα υετογραφήματα του Σχ. 16 υπολογίσαμε τις μέγιστες εντάσεις βροχής για διάρκειες από 1 έως 48 ώρες και τα σχετικά αποτελέσματα τα απεικονίσαμε στο Σχ. 17, σε σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες της περιοχής, όπως αυτές δόθηκαν στο Σχ. 9. Παρατηρούμε ότι για διάρκειες βροχής 24-48 ωρών οι εντάσεις στο Βέλο και το Ξυλόκαστρο έχουν περίοδο επαναφοράς της τάξης των 1000 ετών, ενώ στο Σπαθοβούνι και τα Κλένια (που μάλιστα είναι κοντινότερα στη λεκάνη) η περίοδος επαναφοράς μόλις ξεπερνά τα 10 χρόνια. Εξ άλλου, όσο μικραίνει η διάρκεια, μικραίνει αντίστοιχα και η περίοδος επαναφοράς και, έτσι, για διάρκεια 1 ώρας η περίοδος επαναφοράς είναι της τάξης των 10 ετών για το Βέλο και το Ξυλόκαστρο και μικρότερη των 2 ετών για το Σπαθοβούνι και τα Κλένια.



Σχ. 17 Μέγιστες εντάσεις του επεισοδίου βροχής της 11-13/1/1997 για διάρκειες από 1 έως 48 ώρες σε διάφορους σταθμούς της περιοχής και σύγκρισή τους με τις όμβριες καμπύλες της περιοχής.

Συμπερασματικά, τόσο η βροχή όσο και η πλημμύρα της 11-13/1/1997 (όπως και άλλων καταστροφικών επεισοδίων που σημειώθηκαν στη χώρα) χαρακτηρίζονται από έντονη γεωγραφική μεταβλητότητα και η μόνη ασφαλής βάση για τη μελέτη τους θα ήταν μετρήσεις βροχής από ραντάρ, καθώς και σταθμηγραφήματα (ή έστω χρονικά πυκνές παρατηρήσεις στάθμης) σε κάποιες θέσεις του χειμάρρου. Επειδή τέτοια δεδομένα δεν

υπάρχουν, κάθε προσπάθεια αντικειμενικής εκτίμησης της εξέλιξης των φαινομένων θα αποτελεί κατ' ανάγκη εικασία.

Μερικά επιπλέον στοιχεία για το μέγεθος των πλημμυρικών φαινομένων δίνονται στο κεφάλαιο 6.

4. Μοναδιαία υδρογραφήματα της λεκάνης

Για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού υιοθετήσαμε τη μέθοδο του μοναδιαίου υδρογραφήματος αντί της συνηθέστερης αλλά λιγότερο αξιόπιστης ορθολογικής μεθόδου. Η άμεση κατάρτιση μοναδιαίων υδρογραφημάτων, από υδρομετρικά/σταθμηγραφικά και βροχογραφικά δεδομένα δεν είναι δυνατή στο χείμαρρο Ξηριά, επειδή σε καμιά θέση δεν υπάρχει υδρομετρικός σταθμός. Έτσι, καταφύγαμε στην κατάρτιση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων για τις τέσσερις θέσεις που ενδιαφέρουν (βλ. ενότητα 1.2), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, τα οποία επαληθεύσαμε και με τη μέθοδο Snyder.

Η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας χρησιμοποιεί τοπογραφικά, υδρολογικά και άλλα δεδομένα της λεκάνης, τα οποία φαίνονται μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον Πίν. 7. Τα δεδομένα κλίσεων προέκυψαν από τη μηκοτομή του ποταμού που φαίνεται στο Σχ. 2. Η μέθοδος Snyder χρησιμοποιεί δεδομένα μόνο από την οριζοντιογραφία της λεκάνης, τα οποία φαίνονται, μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον Πίν. 7.

Πιο συγκεκριμένα, το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) συνιστά τη σύνθεση μοναδιαίου υδρογραφήματος (για διάρκεια βροχής $d = 1$ h) τριγωνικής μορφής, όπως φαίνεται στο Σχ. 18, με χρόνο ανόδου (σε h)

$$t_p = \frac{46.6 L^{0.14}}{S_{1085}^{0.38} (1 + \text{URBAN})^{1.99} \text{RSMD}^{0.4}} \quad (20)$$

και διάρκεια πλημμύρας (ή χρόνο βάσης)

$$t_b = 2.52 t_p \quad (21)$$

Στην (20), L είναι το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km και S_{1085} είναι η μέση κλίση υδατορεύματος σε m/km που υπολογίζεται μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του. Η παράμετρος URBAN είναι η αναλογία των αστικών περιοχών μέσα στη λεκάνη απορροής και η RSMD είναι παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που πρακτικά για ορεινές ή ημιορεινές λεκάνες απορροής είναι ίση με το ύψος της μέγιστης 24ωρης βροχής για περίοδο επαναφοράς 5 ετών (σε mm).

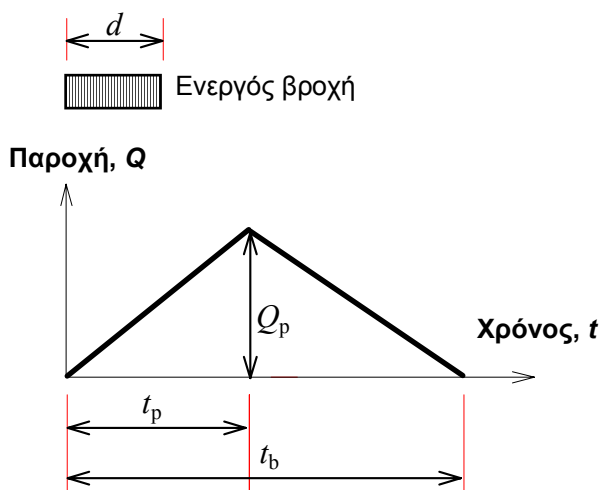
Η αναγωγή για διάρκεια βροχής $d = 0.5$ h, που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς είναι απλούστατη: ο χρόνος ανόδου μειώνεται κατά 0.25 h και ο χρόνος βάσης κατά 0.5 h.

Η πλημμυρική παροχή αιχμής, όπως προκύπτει από την εξίσωση συνέχειας ($h_0 A = \frac{1}{2} t_b Q_p$, όπου $h_0 = 10$ mm το μοναδιαίο ύψος βροχής), είναι, σε διαστατικά ομογενή μορφή,

$$Q_p = 0.794 \frac{h_0 A}{t_p} \quad (22)$$

ή, για Q_p σε m^3/s , A σε km^2 και t_p σε h,

$$Q_p = 2.2 \frac{A}{t_p} \quad (23)$$



Σχ. 18 Τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα σύμφωνα με το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας.

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder βασίζεται στις σχέσεις

$$t_p = C_t (L L_c)^{0.3} \quad (24)$$

$$Q_p = C_Q \frac{A}{t_p} \quad (25)$$

όπου L_c το μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης (km), και C_t και C_Q συντελεστές που βρέθηκε να έχουν μέσες τιμές 1.5 και 1.72 (στο μετρικό σύστημα μονάδων), αντίστοιχα, σε λεκάνες απορροής των Αππαλαχίων. Όμως ο ίδιος ο Snyder στην Ελλάδα (Αραχθος, Πουρνάρι) έχει υιοθετήσει πολύ δυσμενέστερες τιμές $C_t = 0.76$ και $C_Q = 2.0$, τιμές τις οποίες δεχτήκαμε και στην παρούσα μελέτη. Τα παραπάνω

μεγέθη αναφέρονται σε μοναδιαίο υδρογράφημα με διάρκεια βροχής $t_p/5.5$ και χρειάζονται κατάλληλη αναγωγή για διάρκεια βροχής 0.5 h.

Τα απαιτούμενα δεδομένα και οι σχετικοί υπολογισμοί για τη σύνθεση των μοναδιαίων υδρογραφημάτων στις τέσσερις θέσεις που ενδιαφέρουν δίνονται στον Πίν. 7. Σε όλες τις θέσεις θεωρήθηκε ότι η παράμετρος URBAN έχει πρακτικώς μηδενική τιμή. Τα τελικά τριγωνικά μοναδιαία υδρογραφήματα που συνθέσαμε για τις τέσσερις θέσεις φαίνονται στο Σχ. 19.

Πίν. 7 Φυσιογραφικά δεδομένα λεκάνης απορροής και εκτίμηση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων της λεκάνης σε χαρακτηριστικές θέσεις.

Θέση υπολογισμού (Εξοδος λεκάνης)	Γέφυρα Αυτοκινητό-		Σολομός	Συμβολή 2 κλάδων
	Εθν. Οδού	δρομος		
Εκταση, A (km ²)	168.4	145.1	131.8	98.7
Μήκος υδατορεύματος, L (km)	32.1	30	24.4	20
Μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κ.β. της λεκάνης, L_c (km)	16.3	14.2	10.8	11.2
Υψόμετρο υδατορεύματος στην έξοδο της λεκάνης, z_E (m)	11.8	32.4	102.2	160
Υψόμετρο υδατορεύματος στην αρχή του, z_A (m)	1020	1020	1020	1020
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, z_{10} (m)	48.2	66	136	190
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, z_{85} (m)	605	610	635	660
Κλίση υδατορεύματος μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του, S_{1085} (m/km)	23.13	24.18	27.27	31.33
Παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, RSMD (mm)	70	70	70	70
Χρόνος ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, t_p (h)	4.2	4.1	3.8	3.5
Αναγωγή του χρόνου ανόδου για $d = 0.5$ h	4.0	3.9	3.6	3.3
Επαλήθευση του χρόνου ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Snyder, Αρχική τιμή t_{p0} (h)	5.0	4.7	4.0	3.9
Τελική τιμή κατά Snyder για βροχή 0.5 h, t_p (h)	4.8	4.5	3.9	3.8
Τελική τιμή για βροχή 0.5 h (στρογγ.), t_p (h)	4.5	4.5	4.0	3.5
Διάρκεια πλημμύρας, t_b (h)	10.6	10.5	9.5	8.7
Τελική διάρκεια πλημμύρας (στρογγ.), t_b (h)	11.0	11.0	10.0	9.0
Παροχή αιχμής, Q_p (m ³ /s)	85.1	73.3	73.2	60.9

Γενικά παρατηρούμε ότι οι χρόνοι ανόδου t_p που υπολογίζονται με τη μέθοδο του Ινστιτούτου Υδρολογίας επαληθεύονται από τη μέθοδο Snyder. Ως μια περαιτέρω επαλήθευση χρησιμοποιήσαμε τον τύπο του Giandotti, ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί

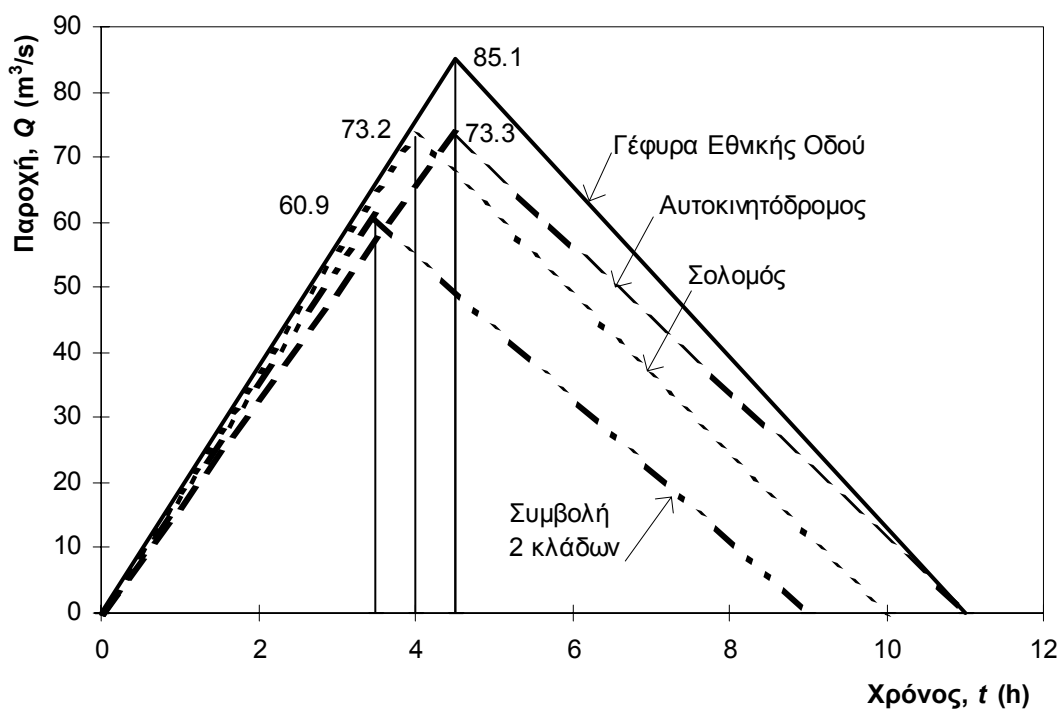
ευρύτητα στην Ελλάδα. Ο τύπος αυτός δίνει το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης και γράφεται

$$t_{\sigma} = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (26)$$

όπου t_{σ} ο χρόνος συγκέντρωσης σε h, A η έκταση της λεκάνης σε km^2 , L το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km, και ΔH η διαφορά του μέσου υψόμετρου της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου της, σε m. Η εφαρμογή του τύπου στη λεκάνη ανάντη της θέσης αυτοκινητόδρομου ($A = 145.1 \text{ km}^2$, $L = 30 \text{ km}$, $\Delta H = 425 \text{ m}$) δίνει $t_{\sigma} = 5.65 \text{ h}$. Από το γνωστό τύπο

$$t_p \approx 0.6 t_{\sigma} + d/2 \quad (27)$$

προκύπτει ότι ο χρόνος ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος για $d = 0.5 \text{ h}$ είναι $t_p = 3.7 \text{ h}$, τιμή πολύ κοντά σε αυτές που έχουν προκύψει από τις μεθόδους του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και του Snyder (4.3 h και 4.6 h αντίστοιχα).



Σχ. 19 Τριγωνικά συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα σε τέσσερις θέσεις του χειμάρρου Ξηριά, υπολισμένα με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας.

5. Πλημμύρες σχεδιασμού

5.1 Καταιγίδες σχεδιασμού

Η βασικότερη παραδοχή στην κατάρτιση της καταιγίδας σχεδιασμού στις λεκάνες αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες απλοποιημένες μέθοδοι, μια κατάταξη των οποίων δίνεται από τον Koutsoyiannis (1994), όπου εισάγεται και μια συνθετότερη στοχαστική μέθοδος. Από τις απλοποιημένες μεθόδους της πράξης θεωρείται ως πλεονεκτικότερη αυτή της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού (ή worst profile ή alternating block method· US Department of the Interior, 1977, σ. 817· Sutcliffe, 1978, σσ. 31-35, Chow et al., 1988, σ. 466· Koutsoyiannis, 1994).

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους διαρκειών με βάση την καμπύλη ύψους - διάρκειας βροχής (όμβρια καμπύλη) της υπό μελέτη λεκάνης, που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς μελέτης. Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται στη συνέχεια σε τρόπο ώστε να προκύπτει ο δυσμενέστερος δυνατός συνδυασμός, δηλαδή αυτός που προκαλεί τη δυσμενέστερη αιχμή της παραγόμενης πλημμύρας.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συνήθων μεθόδων της πράξης (π.χ. αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών). Πρώτο, βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης (όμβριες καμπύλες) και όχι σε διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Δεύτερο, οδηγεί σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού χωρίς να απαιτεί καμιά πρόσθετη παραδοχή. Τρίτο, έχει δειχτεί μέσω σύγκρισης με πληρέστερα στοχαστικά μοντέλα (Koutsoyiannis, 1994) ότι τα αποτελέσματά της είναι σαφώς πιο εύλογα και συνεπή, σε σχέση με αυτά της μεθόδου των αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών.

Η βασική παραδοχή της μεθόδου του δυσμενέστερου συνδυασμού είναι ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια το προκύπτον ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. (Βεβαίως, η παραδοχή αυτή δεν είναι ρεαλιστική, πράγμα που αποτελεί και το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου). Ο δυσμενέστερος συνδυασμός των τμηματικών υψών προκύπτει με την εξής μεθοδολογία: Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται σε χρονική αντιστοιχία με τις τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε τρόπο ώστε το μέγιστο ύψος βροχής να είναι απέναντι από τη μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος, το αμέσως μικρότερο απέναντι από την αμέσως μικρότερη τεταγμένη κ.ο.κ. Η διάταξη αυτή στη συνέχεια αντιστρέφεται και έτσι προκύπτει το τελικό υετογράφημα. Η τεχνική αυτή υπακούει βέβαια σε κάποια λογική και αποδεικνύεται θεωρητικά ότι πράγματι δίνει τη μέγιστη παροχή αιχμής όταν συνδυαστεί με το μοναδιαίο υδρογράφημα.

Όταν υιοθετείται αυτή η μέθοδος κατάρτισης της καταιγίδας σχεδιασμού, η διάρκεια βροχής θεωρείται σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου

υστέρησης της λεκάνης. Για την παρούσα μελέτη υιοθετήσαμε ολική διάρκεια βροχής 24 ωρών.

5.2 Απώλειες - Ωφέλιμη βροχή

Για το διαχωρισμό υδρολογικών απωλειών και καθαρού υετογραφήματος στο ολικό υετογράφημα χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση του U.S. Soil Conservation Service (1972· βλ. και USBR, 1978) ή μέθοδος SCS:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{h - h_{a0} + S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (28)$$

όπου h το ολικό και h_e το αντίστοιχο ενεργό ύψος βροχής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, h_{a0} το αρχικό έλλειμμα, δηλαδή μια αρχική ποσότητα βροχής που μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα, και S η δυνητικά μέγιστη κατακράτηση (potential maximum retention), δηλαδή το επιπλέον, πέραν του αρχικού h_{a0} , ελλειμματικό ύψος που μπορεί κατά μέγιστο να πραγματοποιηθεί σε μια βροχόπτωση με μεγάλο ολικό ύψος h . Για περαιτέρω απλοποίηση, υιοθετείται η επιπλέον παραδοχή ότι $h_{a0} = 0.2 S$, η οποία θεωρείται ως η βέλτιστη προσέγγιση από δεδομένα παρατηρήσεων, οπότε η μέθοδος χρησιμοποιεί τελικώς μία μόνο παράμετρο, την S . Με αυτή την επιπλέον παραδοχή, η (28) τελικώς γράφεται

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2 S \\ \frac{(h - 0.2 S)^2}{h + 0.8 S} & h > 0.2 S \end{cases} \quad (29)$$

Η σχέση (29) εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το τελικό ύψος ελλειμμάτων μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά (για βροχόπτωση μεγάλου ύψους) την τιμή $0.2 S + S = 1.2 S$.

Αν δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής, ακολουθείται η ακόλουθη εμπειρική μεθοδολογία εκτίμησης της S . Συγκεκριμένα, η παράμετρος S συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο, την CN, η οποία είναι γνωστή ως αριθμός καμπύλης απορροής (runoff curve number), με τη σχέση:

$$S [\text{mm}] = 254 \left(\frac{100}{\text{CN}} - 1 \right) \quad (30)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και χρήσης γης στη λεκάνη απορροής, καθώς τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας· οι τελευταίες συναρτώνται με τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από προηγούμενες. Η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με τη

διαπερατότητά τους και ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας, I, II, και III. Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης, ενώ για τις άλλες συνθήκες δίνει τύπους αναγωγής των συνθηκών τύπου II.

Στην παρούσα μελέτη υιοθετήθηκε η τιμή $CN = 78$ για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II, η οποία έχει προκύψει κατόπιν λεπτομερούς μελέτης της συγκεκριμένης λεκάνης (Μπαλούτσος κ.ά., 1998).

5.3 Βασική ροή - Τήξη χιονιού

Λόγω της χειμαρρικής δίαιτας του Ξηριά θεωρήσαμε μηδενική βασική ροή. Επίσης, αγνοήσαμε τη συνεισφορά της τήξης χιονιού στην πλημμυρική παροχή, η οποία, αν λαμβανόταν υπόψη, θα οδηγούσε σε επαύξηση της πλημμυρικής παροχής.

5.4 Περίοδοι επαναφοράς

Για την πληρότητα της μελέτης εξετάστηκε ένα εύρος περιόδων επαναφοράς, από 10 μέχρι 1000 χρόνια. Δεν υποθέσαμε διαφοροποίηση των περιόδων επαναφοράς βροχής και παροχής. Αν και κατά μία άποψη (π.χ. Sutcliffe, 1978) χρειάζεται να γίνεται διάκριση των περιόδων επαναφοράς βροχής και πλημμύρας, η εμπειριστατωμένη μελέτη των Larson and Reich (1973) έδειξε ότι αυτή η διαφοροποίηση δεν είναι ορθή, δεδομένου ότι κατά μέσο όρο οι δύο περίοδοι επαναφοράς συμπίπτουν (πράγμα που άλλωστε είναι σχεδόν προφανές). Έτσι, στην παρούσα μελέτη δεν έγινε τέτοια διάκριση.

5.5 Υπολογισμοί και αποτελέσματα

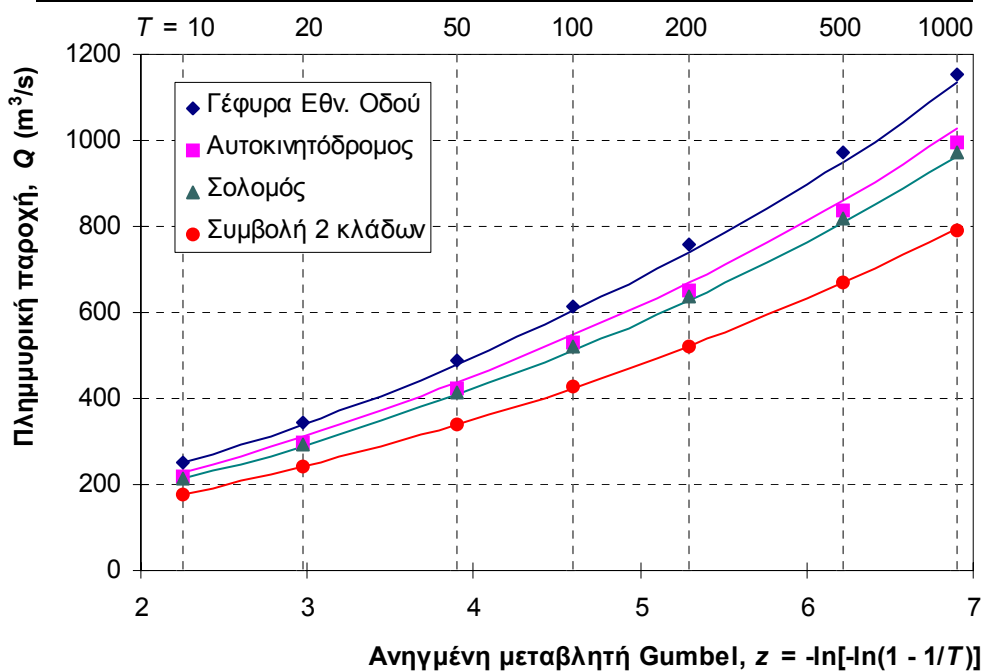
Οι υπολογισμοί, έγιναν με κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή που έχει αναπτύξει ο συγγραφέας. Το πρόγραμμα συνθέτει το υετογράφημα σχεδιασμού, υπολογίζει το ωφέλιμο υετογράφημα και συνδυάζοντας το τελευταίο με το μοναδιαίο υδρογράφημα εξάγει το πλημμυρογράφημα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις διάφορες θέσεις και περιόδους επαναφοράς παρουσιάζονται στο Παράρτημα της μελέτης. Τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των πλημμυρών σχεδιασμού φαίνονται στον Πίν. 8. Η μεταβολή της παροχής πλημμύρας στις διάφορες θέσεις συναρτήσεως της περιόδου επαναφοράς απεικονίζεται στο Σχ. 20.

Με βάση τις τιμές της πλημμυρικής παροχής που υπολογίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία και δίνονται στον Πίν. 8, προσαρμόστηκε (με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων) η ακόλουθη απλή εξίσωση, κατάλληλη για παρεμβολή της πλημμυρικής παροχής, Q , για διαφορετικές τιμές της περιόδου επαναφοράς, T , ή της έκτασης λεκάνης, A .

$$Q(A, T) = 16 A^{0.66} (T^{0.176} - 0.97) \quad (A \text{ σε km}^2, Q \text{ σε m}^3/\text{s}) \quad (31)$$

Πίν. 8 Τιμές της πλημμυρικής παροχής για τέσσερις θέσεις κατά μήκος του Ξηριά και για διάφορες περιόδους επαναφοράς, όπως υπολογίστηκαν με την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

Θέση υπολογισμού (Εξοδος λεκάνης) Έκταση, A (km ²)	Γέφυρα Εθν. Οδού	Αυτοκινη- τόδρομος	Σολομός	Συμβολή 2 κλάδων
	168.4	145.1	131.8	98.7
Πλημμυρική παροχή				
για $T=10$	253.2	218.8	216.1	178.3
20	345.2	298.3	293.9	241.6
50	488.5	422.2	414.6	339.8
100	614.3	530.8	520.4	425.6
200	756.0	653.3	639.5	522.1
500	970.2	838.4	819.3	667.6
1000	1154.4	997.6	973.9	792.5

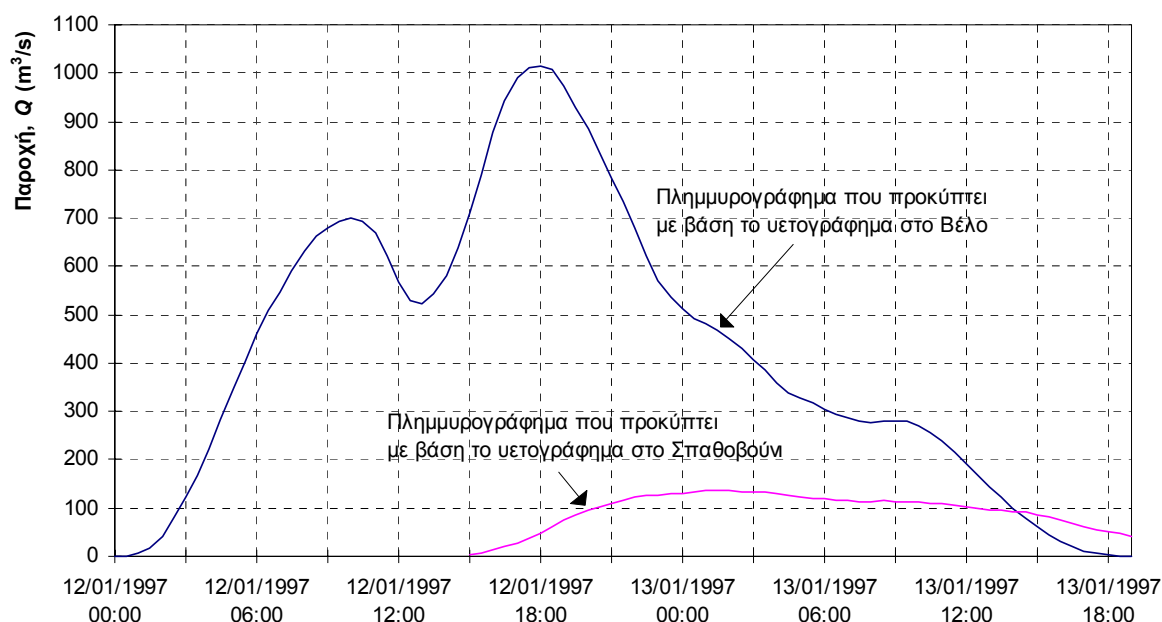


Σχ. 20 Σύγκριση των τιμών της πλημμυρικής παροχής στις τέσσερις θέσεις κατά μήκος του Ξηριά, όπως προκύπτουν στον Πίν. 8, με τις τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή της εξίσωσης (31).

6. Εκτιμήσεις του μεγέθους και της περιόδου επαναφοράς της πλημμύρας του Ιανουαρίου 1997

Στο κεφάλαιο 3 δώσαμε ορισμένα δεδομένα σχετικά με την ισχυρή βροχόπτωση του Ιανουαρίου 1997 και συμπεράναμε ότι η μεγάλη χωροχρονική μεταβλητότητα της βροχής σε συνδυασμό με την απουσία βροχομετρικών σταθμών μέσα στην υπό εξέταση λεκάνη, δεν

επιτρέπει την ασφαλή εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς της βροχόπτωσης. Για να δώσουμε μια ενδεικτική εικόνα της χωρικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης, υπολογίσαμε τα υποθετικά πλημμυρογραφήματα του χειμάρρου Ξηριά (θέση Γέφυρας Εθνικής Οδού) που θα προέκυπταν αν η επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη Ξηριά στις 12/1/1997 ήταν ίση με τη σημειακή βροχόπτωση που καταγράφηκε (α) στο Βέλο και (β) στο Σπαθοβούνι (βλ. Σχ. 16). Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήσαμε τα υετογραφήματα του Σχ. 16 και το μοναδιαίο υδρογράφημα που εκτιμήθηκε στο κεφάλαιο 4, ενώ δεχτήκαμε συνθήκες προηγούμενης εδαφικής υγρασίας τύπου Ι. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχ. 21 και δείχνουν ότι αν το υετογράφημα που καταγράφηκε στο Βέλο ήταν αντιπροσωπευτικό για το σύνολο της λεκάνης του Ξηριά, η παροχή θα ξεπερνούσε τα $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Αντίθετα, αν υετογράφημα που καταγράφηκε στο Σπαθοβούνι ήταν αντιπροσωπευτικό για το σύνολο της λεκάνης του Ξηριά, η παροχή θα ήταν μικρότερη από $150 \text{ m}^3/\text{s}$.



Σχ. 21 Υποθετικά πλημμυρογραφήματα του χειμάρρου Ξηριά (θέση Γέφυρας Εθνικής Οδού) που θα προέκυπταν αν η επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη στις 12/1/1997 ήταν ίση με τη σημειακή βροχόπτωση που καταγράφηκε (α) στο Βέλο και (β) στο Σπαθοβούνι.

Η πραγματικότητα βρίσκεται ανάμεσα στα δύο αυτά ακραία υποθετικά σενάρια. Έτσι, κατά τις εκτιμήσεις του Ασημίνα (1997), η παροχή στην Κόρινθο ήταν το πιθανότερο της τάξης των $500\text{-}700 \text{ m}^3/\text{s}$. Κατά τις ίδιες εκτιμήσεις, οι οποίες βασίζονται και σε μαρτυρίες των πρεσβυτέρων κατοίκων της περιοχής, η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας, ήταν της τάξης μεγέθους των 100 ετών. Η περίοδος επαναφοράς που αντιστοιχεί κατά την εξίσωση (31) για αυτό το εύρος διακύμανσης της παροχής ($500\text{-}700 \text{ m}^3/\text{s}$) κυμαίνεται από 55 έως 160 χρόνια.

Κατά τους υπολογισμούς της Οριστικής Μελέτης Αποχέτευσης Κορίνθου (στην οποία εντάσσεται και η παρούσα υδρολογική μελέτη· βλ. άλλο τεύχος της Μελέτης), η παροχή στον

Αυτοκινητόδρομο εκτιμάται περίπου σε $550 \text{ m}^3/\text{s}$. Από την εξίσωση (31) προκύπτει ότι για αυτή την τιμή της παροχής, η αντίστοιχη περίοδος επαναφοράς είναι περίπου 100 χρόνια.

Κατά τους υπολογισμούς των Μπαλούτσου κ.ά. (1998) σε διατομή που βρίσκεται περίπου 1 km ανάντη της Γέφυρας Σολομού, με έκταση λεκάνης απορροής 117 km^2 , η παροχή, όπως εκτιμάται από τον τύπο του Manning με βάση τα ίχνη της πλημμύρας, φτάνει τα $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Από την εξίσωση (31) προκύπτει ότι για αυτή την τιμή της παροχής, η αντίστοιχη περίοδος επαναφοράς είναι περίπου 60 χρόνια.

Κατά τις εκτιμήσεις της Επιτροπής Νομαρχίας Κορινθίας (1997) η παροχή 100 m ανάντη της Γέφυρας Σολομού έφτασε τα $680 \text{ m}^3/\text{s}$, τιμή που σύμφωνα με την εξίσωση (31) αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 260 χρόνια.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις (με εξαίρεση αυτή της Επιτροπής Νομαρχίας Κορινθίας, 1997) συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας του Ιανουαρίου 1997 ήταν της τάξης των 100 ετών.

Αναφορές

- Ασημίνας, Λ., Δεδομένα και εκτιμήσεις για την πλημμύρα στην Κόρινθο της 12-1-1997, Ανέκδοτη έκθεση, Κόρινθος, 1997.
- Επιτροπή Νομαρχίας Κορινθίας, Πορισματική Έκθεση της Επιτροπής Διερεύνησης Αιτιών Καταστροφής από την Πλημμύρα της 12-1-1997, Νομαρχία Κορινθίας, Κόρινθος, 1997.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.
- Μπαλούτσος, Γ., κ.ά., Μελέτη της απόκρισης της λεκάνης Ξηριά Κορίνθου στην καταιγίδα 11-13 Ιανουαρίου 1997 με τη μέθοδο SCS και συμβολή στην εξομάλυνση των επιπτώσεων από μελλοντικές βροχοπτώσεις, Ανέκδοτη έκθεση, Αθήνα, 1998.
- Παπαναστασίου, Γ., Σ. Στρατηγόπουλος και Δ. Παπακωνσταντίνου, Υδρολογικοί και Υδραυλικοί Υπολογισμοί, Τεύχος 2 της *Μελέτης Λιμνοδεξαμενών Νομού Κορινθίας*, Υπουργείο Γεωργίας, Αθήνα, 1994.
- Υδροεξυγιαντική, Υδρολογία, Τεύχος 2 της *Οριστικής Μελέτης Αποχέτευσης Πόλης Κορίνθου, Δίκτυα Ομβρίων και Ακαθάρτων*, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Αθήνα, 1986.
- Chow, V. T., D. R. Maidment, and L. W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
- 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 stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis, *Journal of Hydrology*, 156, 193-225, 1994.
- Koutsoyiannis, D., A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation, *Water Resour. Res.*, 1998 (submitted).
- Koutsoyiannis, D., and G. Baloutsos, Analysis of a long record of annual maximum rainfall at Athens, Greece, *Hydrology and Earth Systems Science*, 1998 (submitted).
- Koutsoyiannis, D., D. Kozonis and A. Manetas, A comprehensive study of rainfall intensity-duration-frequency relationship, *J. of Hydrol.*, 1998 (in press).
- Larson, C. L., and B. M. Reich, Relationship of observed rainfall and runoff recurrence intervals, in *Floods and Droughts*, Proc. 2nd Intern. Symp. in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, CO, 1973.
- Soil Conservation Service, *National Engineering Handbook*, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972.

- Stedinger, J. R., R. M. Vogel, and E. Foufoula-Georgiou, Frequency analysis of extreme events, Chapter 18 in *Handbook of Hydrology*, edited by D. R. Maidment, McGraw-Hill, 1993.
- Sutcliffe J.V., *Methods of Flood Estimation, A Guide to Flood Studies Report*, Report No 49, Institute of Hydrology, UK, 1978.
- US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, *Design of Arch Dams*, US Government Printing Office, Denver, CO, 1977.
- World Meteorological Organization (WMO), *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*, Operational Hydrology Report 1, 2nd edition, Publication 332, World Meteorological Organization, Geneva, 1986.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τους Λ. Ασημίνα της ΔΕΒ Κορίνθου και Γ. Μπαλούτσο του ΕΘΙΑΓΕ για τις πληροφορίες, τα στοιχεία και τα κείμενα που μας διέθεσαν.

Ομάδα μελέτης

Η έκθεση αυτή συντάχθηκε στα πλαίσια της Μελέτης Χειμάρρου Ξηριά, η οποία εντάσσεται στην Οριστική Μελέτη Αποχέτευσης Κορίνθου, που ανατέθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ (Διεύθυνση Δ6). Η υδρολογική μελέτη εκπονήθηκε από το Σύμβουλο Υδρολογίας Δ. Κουτσογιάννη, Δρ Πολιτικό Μηχανικό, Επ. Καθηγητή ΕΜΠ, σε συνεργασία με το μελετητή Λ. Λαζαρίδη. Στην συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων συμμετείχαν και οι Ε. Λαζαρίδου και Σ. Μίχας, Πολιτικοί Μηχανικοί.

Αθήνα, Φεβρουάριος 1998

Για τη σύνταξη της μελέτης

Δ. Κουτσογιάννης

Για τον Ανάδοχο

Λ. Λαζαρίδης