

Σύγχρονες τάσεις στην εκτίμηση ακραίων βροχοπτώσεων

Δημήτρης Κουτσογιάννης

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΕΜΠ

Νίκος Μαμάσης

Λέκτορας, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΕΜΠ

Λέξεις κλειδιά: ακραίες βροχοπτώσεις, κατανομή Gumbel, όμβριες καμπύλες

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η μοντελοποίηση των ακραίων βροχοπτώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και κατά συνέπεια το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση των υπερχειλιστών. Σήμερα, παρά την εκτεταμένη έρευνα και την αυξημένη διαθεσιμότητα βροχογραφικών δεδομένων, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των ακραίων βροχοπτώσεων παραμένει ιδιαίτερα υψηλή. Προφανώς, η αβεβαιότητα αυτή έχει μεγαλύτερη επίδραση στην κατασκευή μεγάλων έργων (υπερχειλιστές) από ότι σε μικρής κλίμακας αντιπλημμυρικά έργα. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια σύντομη αναδρομή στις μέχρι τώρα επικρατούσες μεθοδολογίες εκτίμησης ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διεθνείς τάσεις και οι αντίστοιχες νέες μέθοδοι οι οποίες έχουν εφαρμοστεί και στην Ελλάδα σε υδρολογικές μελέτες φραγμάτων. Το σύνολο των μεθόδων αξιολογείται ως προς το θεωρητικό του υπόβαθρο, ενώ γίνεται και η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Ακόμη παρουσιάζεται το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ που υποστηρίζει την στατιστική διερεύνηση των μετρήσεων και την υλοποίηση μεθοδολογιών κατάρτισης όμβριων καμπυλών.

ABSTRACT: The extreme rainfall modeling is essential for the evaluation of the flood risk and the design of spillways. Despite the intense research and the accumulating availability of rainfall data, the uncertainty in the evaluation of the extreme rainfalls, continues to be high. Obviously, this uncertainty has a greater influence to the design of large-scale structures (dam spillways) than to the design of smaller flood control hydraulic works. This paper provides a review of the most recent methods for extreme rainfall estimation and presents their theoretical setting and their results in comparison with more classical methods, based on some applications in the design of hydraulic works in Greece. Finally, a software package (Hydrognomon) that supports the use of the methods is presented.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση πολλών υδραυλικών κατασκευών και ιδίως των φραγμάτων, απαιτεί αξιόπιστη εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών που αντιστοιχούν σε μεγάλες περιόδους επαναφοράς (μεγαλύτερες των 1000 ετών). Η εκτίμηση αυτή για να είναι αξιόπιστη απαιτεί την διαθεσιμότητα μεγάλου μήκους χρονοσειρών μέγιστων παροχών σε μικρή χρονική κλίμακα (ημερήσια, ωριαία).

Η διαθεσιμότητα των παραπάνω χρονοσειρών προϋποθέτει την ύπαρξη σημαντικής μετρητικής και οργανωτικής υποδομής (λειτουργία σταθμηγράφου, συχνή διενέργεια υδρομετρήσεων). Στους ελληνικούς ποταμούς οι μετρήσεις αυτές συνήθως είναι σποραδικές αλλά και όταν είναι συστηματικές δεν διενεργούνται τόσα χρόνια, ώστε να καταρτιστούν μεγάλου μήκους δείγματα. Η χρήση δειγμάτων μικρού μήκους (20-30 έτη) επιτρέπει την αξιόπιστη εκτίμηση τιμών που αντιστοιχούν σε μικρές περιόδους επαναφοράς (2-10 έτη), αλλά η αξιοπιστία αυτή μειώνεται σημαντικά όταν επιζητείται η εκτίμηση του μεγέθους ιδιαίτερα σπάνιων πλημμυρών, όπως αυτές με τις οποίες σχεδιάζονται οι υπερχειλιστές των μεγάλων φραγμάτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για να εκτιμηθεί αξιόπιστα η πλημμύρα δεκαετίας, απαιτούνται χρονοσειρές μήκους πολλών δεκαετιών. Δεδομένου ότι τα δεδομένα παροχής ποτέ δεν είναι αρκετά, ώστε να υποστηρίξουν την εκτίμηση σπάνιων πλημμυρών, χρησιμοποιούνται δεδομένα βροχοπτώσεων, τα οποία μετατρέπονται σε πλημμυρικές παροχές με τη χρήση απλών εμπειρικών μεθόδων ή περισσότερο σύνθετων υδρολογικών μοντέλων. Οι χρονοσειρές βροχόπτωσης που διατίθενται, σε σχέση με αυτές των παροχών, έχουν συχνά πολύ μεγαλύτερο μήκος και είναι πιο αξιόπιστες, αφού η μέτρηση των πρωτογενών δεδομένων βροχής είναι κατά πολύ ευκολότερη και τεχνικά πιο απλή από την μέτρηση των δεδομένων παροχής. Τέλος, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου διατίθεται χρονοσειρά μέγιστων παροχών, η μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εφαρμογή υδρολογικών μεθόδων, όπως για παράδειγμα η κατασκευή συνθετικών καταιγίδων σχεδιασμού, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της πλημμύρας σχεδιασμού μεγάλων υδραυλικών έργων.

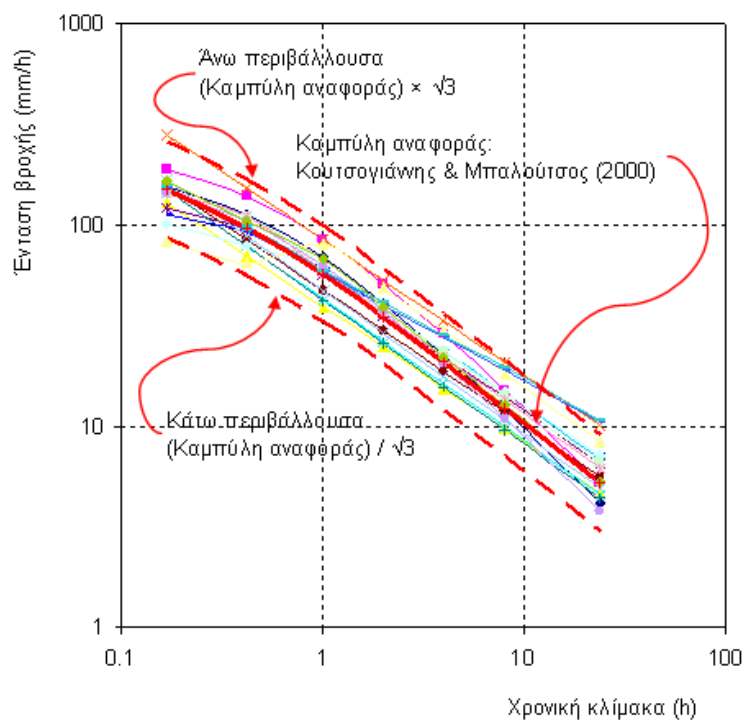
Η μεγάλη πρακτική χρησιμότητα της εκτίμησης των ακραίων βροχοπτώσεων και το πολύπλοκο φυσικό και στατιστικό πλαίσιο που τις διέπει, οδήγησε στη διεξοδική διερεύνηση όλων των πτυχών από πολλούς επιστήμονες, ενώ συναντάται μεγάλος αριθμός σχετικών εργασιών στη διεθνή βιβλιογραφία. Παρά τη δραστηριότητα αυτή, η αβεβαιότητα που υπάρχει στην εκτίμηση των ακραίων βροχοπτώσεων παραμένει ιδιαίτερα υψηλή (Klemes, 2000), ειδικότερα όταν πρόκειται για βροχοπτώσεις που αντιστοιχούν σε μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Στην πράξη η αβεβαιότητα αυξάνεται όταν δεν χρησιμοποιούνται από τους μελετητές εμπειριστατωμένες σύγχρονες μέθοδοι, οι οποίες να ενσωματώνουν τη διεθνή εμπειρία και έρευνα. Στην παρούσα εργασία, αναδεικνύεται η έλλειψη τυποποίησης που υπάρχει στην κατάρτιση των όμβριων καμπυλών από τους μελετητές των υδραυλικών έργων, με αποτέλεσμα πολλές φορές για την ίδια τοποθεσία να διατίθεται μια μεγάλη ποικιλία καμπυλών, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Έχοντας ως στόχο την τυποποίηση της κατάρτισης των όμβριων καμπυλών, παρουσιάζεται μια σχετικά πρόσφατη μεθοδολογία (Koutsoyiannis 2004a; 2004b), η οποία είναι μαθηματικά συνεπής, περιγράφει ικανοποιητικά μεγάλου μήκους χρονοσειρές ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα σε υδρολογικές μελέτες φραγμάτων. Η μεθοδολογία έχει ενσωματωθεί σε ειδικό λογισμικό (ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ) με τη χρήση του οποίου γίνεται η διαχείριση και στατιστική επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων βροχής, καθώς και η παραγωγή των όμβριων καμπυλών.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Η πιθανοτική προσέγγιση στην εκτίμηση των ακραίων υδρολογικών γεγονότων εφαρμόζεται τα τελευταία 50 χρόνια από πολλούς ερευνητές. Παρά τις μέχρι τώρα σημαντικές αβεβαιότητες και μεθοδολογικές ασάφειες, η προσέγγιση αυτή κινείται προς τη σωστή κατεύθυνση, αφού εισάγει την ποσοτικοποίηση της διακινδύνευσης κάθε έργου, σε αντίθεση με άλλες λανθασμένες προσεγγίσεις «μηδενικού κινδύνου», όπως αυτές της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης (ΠΜΚ) και πλημμύρας (ΠΜΠ). Ακόμη, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην έρευνα

των πιθανοτικών κατανομών που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση των ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ σταδιακά έχει αυξηθεί ο όγκος και η ποιότητα των βροχομετρικών δεδομένων. Το πρακτικό αποτέλεσμα της πιθανοτικής προσέγγισης για την εκτίμηση των ακραίων βροχοπτώσεων είναι η δημιουργία των γνωστών όμβριων καμπυλών, οι οποίες συνδέουν την μέγιστη ένταση βροχής με τη διάρκεια και την περίοδο επαναφοράς. Οι όμβριες καμπύλες χρησιμοποιούνται ευρέως στον σχεδιασμό των αντιπλημμυρικών έργων και υπολογίζονται για την περιοχή μελέτης σε σημειακή και επιφανειακή βάση.

Όμως, σε μια συγκεκριμένη περιοχή εξαιτίας του ότι σταδιακά κατασκευάζονται υδραυλικά έργα, καταρτίζονται όμβριες καμπύλες από πολλούς μελετητές, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι όμβριες καμπύλες, οι οποίες έχουν κατά καιρούς κατασκευαστεί στην περιοχή της Αττικής από μελετητές για τις ανάγκες σχεδιασμού αντιπλημμυρικών έργων με περίοδο επαναφοράς 50 έτη. Η πιο πρόσφατη από αυτές (Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000) αναφέρεται σαν καμπύλη αναφοράς, ενώ έχουν σχεδιαστεί και δύο προσεγγιστικές περιβάλλουσες. Από το Σχήμα 1 είναι εμφανής η σημαντική απόκλιση μεταξύ των καμπυλών η οποία φτάνει και το 100%, απόκλιση που συνήθως μεταφέρεται αυτούσια και στις διαστάσεις του αντιπλημμυρικού έργου. Η απόκλιση αυτή κυρίως οφείλεται σε τρεις αιτίες: (α) στη χρήση δεδομένων από διαφορετικούς βροχομετρικούς σταθμούς της Αττικής, (β) στα διαφορετικά μήκη των χρονοσειρών μέγιστων βροχοπτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν και (γ) στις διαφορετικές μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν από τους μελετητές.



Σχήμα 1. Σύγκριση όμβριων καμπυλών της ευρύτερης περιοχής Αθηνών για περίοδο επαναφοράς 50 ετών (πηγή: Κουτσογιάννης, 2004)

Είναι φανερό ότι η κατασκευή ενός τόσο σημαντικού εργαλείου, με βάση το οποίο διαστασιολογούνται και κατασκευάζονται σημαντικά τεχνικά έργα, απαιτεί ορθή μεθοδολογία και τυποποίηση. Η τυποποίηση μπορεί να γίνει με τη διαχείριση και επεξεργασία των μετρήσεων από κεντρικές υπηρεσίες (π.χ. Υπηρεσία Υδάτων, ΕΜΥ), οι οποίες θα χρησιμοποιούν συγκεκριμένους σταθμούς, χρονοσειρές και μεθοδολογίες για να κατασκευάζουν, αλλά και να αναθεωρούν τις όμβριες καμπύλες καθώς θα προστίθενται νέα δεδομένα. Όμως εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο βάρος στις αποκλίσεις μεταξύ των όμβριων καμπυλών έχει η μεθοδολογία κατάρτισής τους.

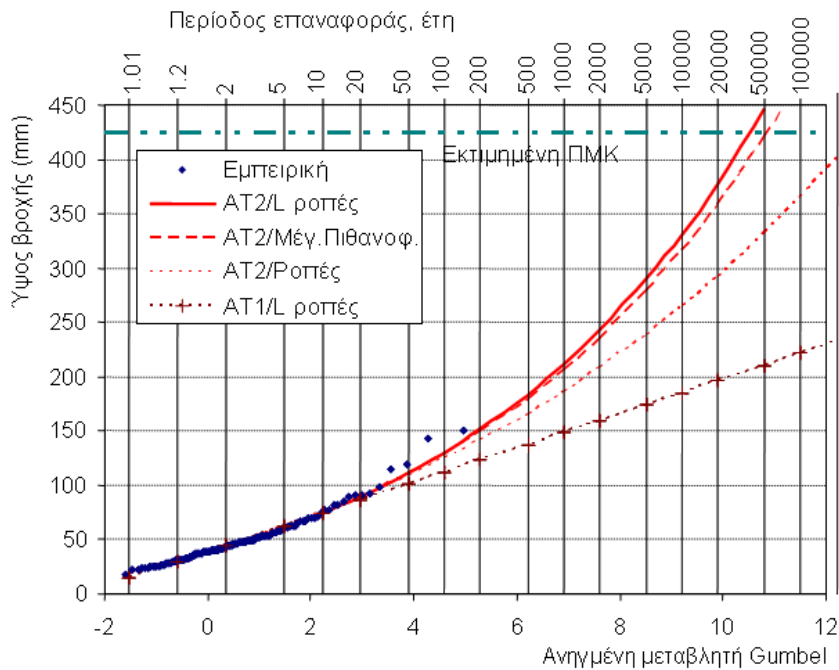
Σε πρόσφατες εργασίες (Koutsoyiannis 2004a; 2004b) έχει καταδειχτεί ότι η σημερινή μεθοδολογία κατασκευής των όμβριων καμπυλών έχει σημαντικά θεωρητικά προβλήματα, ενώ οι καμπύλες που παράγονται υπεκτιμούν την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αντιπλημμυρικά έργα που σχεδιάζονται για μεγάλες περιόδους επαναφοράς να υποδιαστασιολογούνται. Το κύριο πρόβλημα που υπάρχει στην επικρατούσα πρακτική είναι η χρήση της κατανομής Gumbel στην μοντελοποίηση των ακραίων βροχοπτώσεων, όπου αποδεικνύεται ότι η χρήση της δεν είναι αιτιολογημένη και ότι θα έπρεπε να χρησιμοποιείται η κατανομή ακραίων τιμών τύπου II (AT2).

Η ευρέως διαδεδομένη η χρήση της κατανομής Gumbel ακόμη και σήμερα, πιθανόν να προέρχεται από την δυσκολία πραγματοποίησης μαθηματικών υπολογισμών που υπήρχε πριν μερικές δεκαετίες εξαιτίας της περιορισμένης χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Έτσι, ο εύκολος μαθηματικός χειρισμός, η ακρίβεια εκτίμησης των δύο μόνο παραμέτρων, η δυνατότητα παραγωγής του τυποποιημένου γραμμικού πιθανοτικού διαγράμματος (που είναι γνωστό και ως χαρτί κατανομής Gumbel) αλλά και η ευρύτερη χρήση στην υδρολογία θεωρητικών κατανομών (κανονική, εκθετική, γάμα κ.α.) οι οποίες ανήκουν στο πεδίο έλξης της κατανομής Gumbel, είναι οι σημαντικότεροι λόγοι επικράτησής της.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία (Koutsoyiannis 2004a; 2004b) χρησιμοποιεί την κατανομή AT2, ενώ η διαδικασία εκπόνησης των όμβριων καμπυλών έχει τυποποιηθεί με την υλοποίηση εξειδικευμένου λογισμικού. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι όμβριες καμπύλες που εξάγονται με αυτή τη μεθοδολογία δίνουν περίπου τα ίδια αποτελέσματα με αυτά της παραδοσιακής προσέγγισης, όταν αφορούν μικρές περιόδους επαναφοράς (2-20 έτη). Όμως, σε μεγάλες περιόδους επαναφοράς η κατανομή AT2 δίνει τιμές βροχόπτωσης σχεδιασμού ακόμη και διπλάσιες από τις αυτές που υπολογίζονται με την κατανομή Gumbel.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται σε πιθανοτικό διάγραμμα Gumbel, η εμπειρική κατανομή του ετήσιου μέγιστου ημερησίου ύψους βροχής της Αθήνας (σταθμός Αστεροσκοπείου) χρονοσειράς που έχει μήκος 143 έτη (Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000). Ακόμη, είναι προσαρμοσμένες οι κατανομές AT1 και AT2 με διάφορες μεθόδους εκτίμησης των παραμέτρων (ροπών, μέγιστης πιθανοφάνειας, L-ροπών).

Από το Σχήμα 2 φαίνεται ότι η απόκλιση στις εκτιμήσεις των διαφόρων καμπυλών είναι ασήμαντη στις μικρές περιόδους επαναφοράς (μέχρι 50 έτη) αλλά γίνεται ιδιαίτερα σημαντική στις μεγάλες, αφού για περίοδο επαναφοράς 20000 έτη η απόκλιση φτάνει το 100%. Ένα άλλο ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο του Σχήματος 2 είναι η συμφωνία της εμπειρικής κατανομής με την θεωρητική κατανομή AT2, συμφωνία που έχει ιδιαίτερη αξία αφού εξετάζεται το μεγαλύτερο δείγμα μέγιστων ημερησίων βροχόπτωσησεων στον Ελληνικό χώρο το οποίο έχει μήκος 143 έτη, κατά πολύ μεγαλύτερο από τα συνήθη δείγματα των 20-30 ετών. Ακόμη, στο ίδιο σχήμα γίνεται φανερό η αδυναμία της κατανομής Gumbel να περιγράψει τα παρατηρημένα δεδομένα.

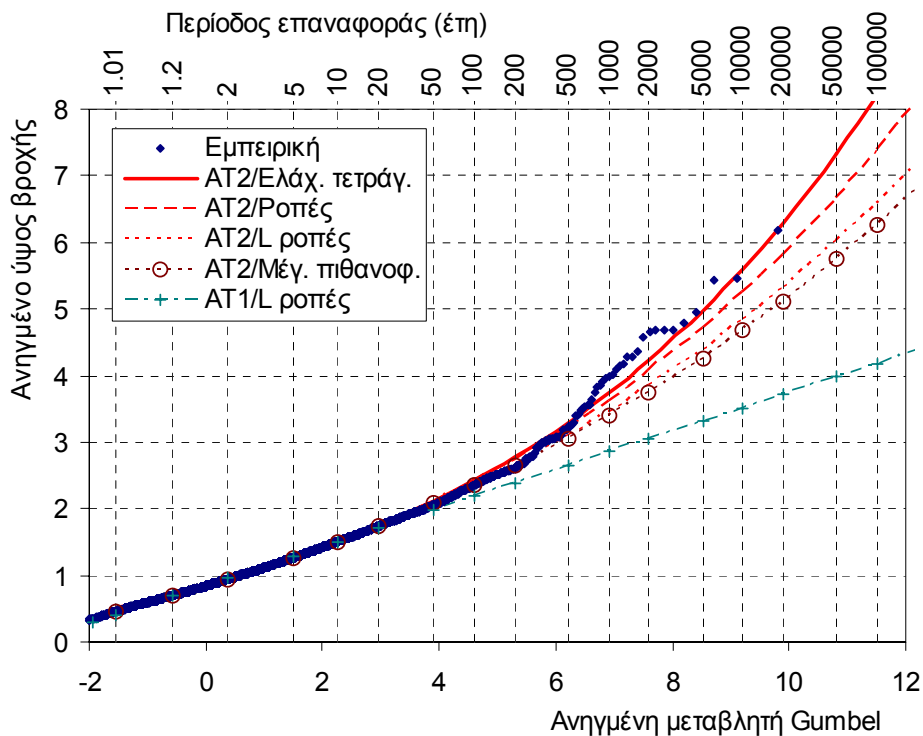


Σχήμα 2. Εμπειρική κατανομή του ετήσιου μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής της Αθήνας και προσαρμοσμένες σε αυτό κατανομές AT1 και AT2 (πηγή: Κουτσογιάννης, 2004).

Για να θεμελιωθεί η παραπάνω μεθοδολογία και με δεδομένο ότι στα συνήθη μικρά δείγματα αποκρύπτεται η πραγματική εικόνα της κατανομής μεγίστων, ο Κουτσογιάννης, 2004b, επεξεργάστηκε δείγματα ημερήσιας βροχής μεγάλου μήκους. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν 169 δείγματα με μεγάλο μήκος (το καθένα είχε τουλάχιστον 100 χρόνια μετρήσεων), τα οποία προέρχονταν από σταθμούς της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής, ταξινομημένους σε έξι κλιματικές ζώνες. Η στατιστική ανάλυση των 169 δειγμάτων έδειξε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις μέσες τιμές των επιμέρους σταθμών, τόσο μεταξύ των διάφορων κλιματικών ζωνών, όσο και μέσα στην κάθε ζώνη. Η προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στους επιμέρους σταθμούς έδειξε να είναι εν γένει ικανοποιητική, ενώ στο 92% των δειγμάτων προέκυψε θετικός συντελεστής σχήματος (η Gumbel έχει μηδενικό), γεγονός που αποτελεί σοβαρή ένδειξη για γενικευμένη εφαρμογή της κατανομής AT2. Ακόμη, η ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει αξιοσημείωτη διασπορά στις 169 επιμέρους τιμές μιας σειράς αδιάστατων στατιστικών χαρακτηριστικών, η οποία όμως δεν έδειξε να σχετίζεται με τις κλιματικές διαφοροποιήσεις. Η λεπτομερής διερεύνηση κατέδειξε ότι οι διασπορές που εμφανίζονται οφείλονται πρωτίστως σε στατιστικούς λόγους παρά σε κλιματικά αίτια. Εφαρμόζοντας τεχνικές στατιστικής προσομοίωσης, αποδείχτηκε ότι η διασπορά όλων των αδιαστατοποιημένων στατιστικών παραμέτρων εξηγείται, πρακτικά στο σύνολό της, από στατιστικούς (δειγματοληπτικούς) λόγους, ενώ οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στις μέσες τιμές δεν εξηγούνται από τη δειγματοληψία, αλλά χρειάζεται να εξεταστούν επιπρόσθετα φυσικά αίτια. Με βάση αναλύσεις που έγιναν στα 169 δείγματα προέκυψε το συμπέρασμα ότι αν οι τιμές κάθε σταθμού αναχθούν με διαίρεση με τη μέση τιμή του δείγματος του υπόψη σταθμού, τότε όλα τα ανηγμένα δείγματα έχουν πρακτικώς την ίδια κατανομή, ανεξάρτητα από την κλιματική ζώνη ή τη γεωγραφική και

υπομετρική θέση. Κατά συνέπεια, για αποκτηθεί ευκρινέστερη εικόνα για την ενιαία αυτή κατανομή, ενοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα σε ένα ανηγμένο (με τη μέση τιμή κάθε σταθμού) δείγμα που περιλαμβάνει 18065 σταθμο-έτη από τους 169 σταθμούς. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται εμπειρική κατανομή αυτού του ανηγμένου και ενοποιημένου δείγματος και οι προσαρμοσμένες σε αυτό θεωρητικές κατανομές AT2 και AT1. Από το Σχήμα 3 είναι φανερή η ακαταλληλότητα της κατανομής Gumbel να περιγράψει τα παρατηρημένα δεδομένα και η πολύ καλύτερη προσαρμογή της κατανομής AT2 σε αυτά.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό σημείο του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου κατάρτισης όμβριων καμπυλών είναι η συναξιολόγηση των δεδομένων από βροχόμετρα, στα πλαίσια μιας συνεπούς μεθοδολογίας εκτίμησης των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών (Κουτσογιάννης, 1997· Koutsoyiannis et al., 1998). Η αξιοποίηση των δεδομένων από βροχόμετρο (δηλαδή των μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής) έχει μεγάλη πρακτική αξία, αφού τα δείγματα έχουν μεγαλύτερο μήκος και ελλείψεις μετρήσεων, ενώ είναι πιο αξιόπιστα, επειδή συχνά (και ιδίως κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων) οι βροχογράφοι παρουσιάζουν προβλήματα λειτουργίας.

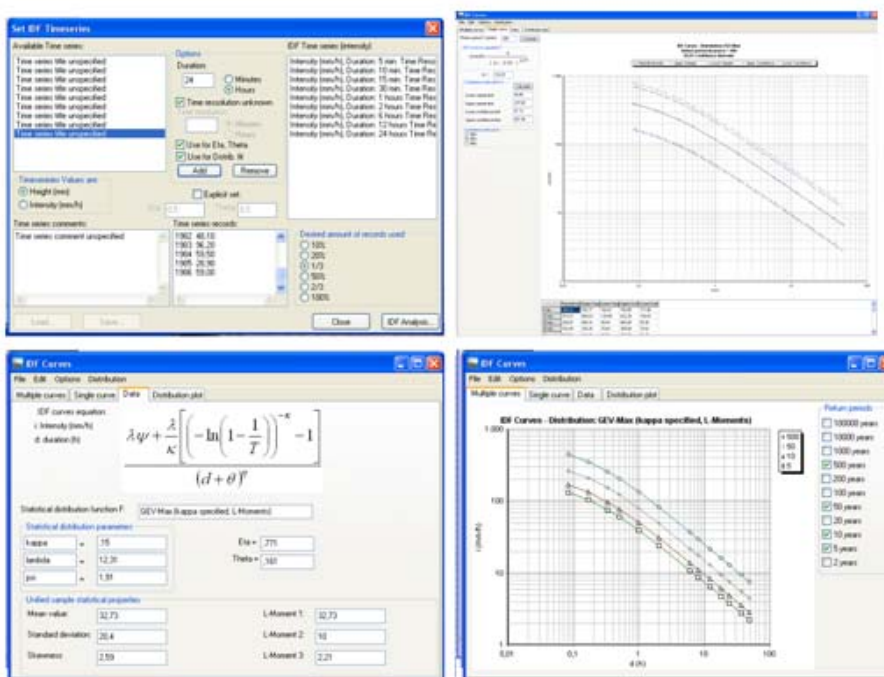


Σχήμα 3. Εμπειρική κατανομή του ανηγμένου και ενοποιημένου δείγματος όλων των 169 σταθμών και προσαρμοσμένες σε αυτό θεωρητικές κατανομές AT2 και AT1 (πηγή: Κουτσογιάννης, 2004).

3. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ

Ο αξιόπιστος σχεδιασμός των αντιπλημμυρικών έργων επιβάλλει τη διαχείριση πλήθους μετρήσεων ακραίων βροχοπτώσεων και την ενδελεχή στατιστική διερεύνησή τους. Σήμερα, η χρήση της πληροφορικής επιτρέπει να εξεταστούν προσεγγίσεις, οι οποίες παλαιότερα θα ήταν αδύνατο να διερευνηθούν, λόγω του μεγάλου υπολογιστικού φόρτου. Στα πλαίσια της υλοποίησης ενός λογισμικού (ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ) με το οποίο γίνεται η διαχείριση και η επεξεργασία υδρολογικών, μετεωρολογικών και ποιοτικών δεδομένων, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην υλοποίηση διαδικασιών που διευκολύνουν την επεξεργασία των ακραίων βροχοπτώσεων. Έτσι, εκτός από στοιχειώδεις λειτουργίες όπως ο έλεγχος των δεδομένων, η κατάρτιση διορθωμένων χρονοσειρών διαφορετικών χρονικών βημάτων και η διενέργεια στατιστικών επεξεργασιών, αναπτύχθηκαν και πιο προχωρημένες διαδικασίες, όπως η κατάρτιση όμβριων καμπυλών με τη χρήση των μεθοδολογιών που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η εφαρμογή υποστηρίζει την ενδελεχή διερεύνηση των ακραίων βροχοπτώσεων αφού προσφέρει δυνατότητες (α) αυτόματης κατάρτισης δειγμάτων μέγιστων βροχοπτώσεων, (β) εκτίμησης των στατιστικών χαρακτηριστικών τους με πολλές μεθόδους, (γ) προσαρμογής θεωρητικών κατανομών, (δ) διενέργειας ελέγχων για την καταλληλότητά τους στα εμπειρικά δείγματα και (ε) υπολογισμό ορίων εμπιστοσύνης. Ιδιαίτερα σημαντική από πρακτικής πλευράς είναι η εφαρμογή κατάρτισης όμβριων καμπυλών που προσφέρει τη δυνατότητα υλοποίησης διαφόρων μεθοδολογιών, συμπεριλαμβανομένης και αυτής που παρουσιάστηκε

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι φόρμες με τις οποίες γίνεται η εκπόνηση των όμβριων καμπυλών με τη χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ. Το λογισμικό είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.odysseusproject.gr/>



Σχήμα 4. Λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ (φόρμες κατάρτισης όμβριων καμπυλών)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ο σχεδιασμός αντιπλημμυρικών έργων στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχει οδηγήσει κατά καιρούς τους μελετητές στην κατάρτιση διαφορετικών όμβριων καμπυλών για την ίδια γεωγραφική περιοχή. Σε πολλές περιπτώσεις οι καμπύλες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα αυτές που κατά καιρούς έχουν καταρτιστεί για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Η ποικιλομορφία των όμβριων καμπυλών εκτιμάται ότι οφείλεται πρωτίστως σε μεθοδολογικές διαφοροποιήσεις, και δευτερευόντως σε διαφοροποιήσεις των δεδομένων και του κλίματος.
- Η μεγάλη σημασία των όμβριων καμπυλών στη διαστασιολόγηση και διαχείριση των υδραυλικών έργων απαιτεί τη δημιουργία μιας σύγχρονης βάσης δεδομένων των σχετικών μετρήσεων και τη δημιουργία μιας οργανωμένης διαδικασίας κατάρτισης όμβριων καμπυλών για το σύνολο του Ελλαδικού χώρου. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να τυποποιεί την επεξεργασία των πρωτογενών μετρήσεων αλλά και το μεθοδολογικό πλαίσιο κατάρτισης των όμβριων καμπυλών.
- Θεμελιώδης συνθήκη για την αξιόπιστη κατάρτιση των όμβριων καμπυλών είναι η ύπαρξη πρωτογενών μετρήσεων που έχουν σημαντικό χρονικό μήκος και αξιοπιστία. Δεδομένου ότι η συνθήκη αυτή δεν υπάρχει πάντα, θα πρέπει να αξιοποιούνται πρόσθετες πληροφορίες όπως: (α) οι σημαντικές ομοιότητες των στατιστικών κατανομών των ακραίων βροχοπτώσεων που έχουν διαπιστωθεί σε όλο τον κόσμο, ώστε να βελτιωθεί η εκτίμηση των παραμέτρων και να αυξηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, και (β) τα δείγματα ημερήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων από βροχόμετρα, τα οποία συνήθως είναι μακρύτερα και πιο αξιόπιστα από τα δεδομένα των βροχογράφων.
- Το μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών βασίζεται σε συμπεράσματα πρόσφατων ερευνών. Σύμφωνα με αυτό θα πρέπει να εγκαταλειφθεί η χρήση της κατανομής Gumbel, η οποία μπορεί να αντικατασταθεί από την κατανομή ακραίων τιμών τύπου II. Ακόμη, η κατάρτιση των όμβριων καμπυλών και ειδικότερα εκτίμηση των παραμέτρων τους θα πρέπει να γίνεται με σύγχρονες θεωρητικά θεμελιωμένες και πιθανοτικά συνεπείς τεχνικές, αντί για τις επικρατούσες εμπειρικές πρακτικές.
- Το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ παρέχει όλες τις απαιτούμενες διαδικασίες για τη διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων ακραίων βροχοπτώσεων, καθώς και σημαντικά εργαλεία για τη στατιστική διερεύνηση των δειγμάτων και την κατάρτιση όμβριων καμπυλών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Κουτσογιάννης, Δ. (1997) Στατιστική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ. (2004), Μεθοδολογική προσέγγιση για τις όμβριες καμπύλες της Αθήνας, Αντιπλημμυρική προστασία Αττικής, Αθήνα, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
- Klemeš, V. (2000) Tall tales about tails of hydrological distributions, J. Hydrol. Engineering, 5(3), 227-231 & 232-239.
- Koutsoyiannis, D. (2004a) Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 1, Theoretical investigation, Hydrological Sciences Journal, 49(4), 575-590.
- Koutsoyiannis, D. (2004b) Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 2, Empirical investigation of long rainfall records, Hydrological Sciences Journal, 49(4), 591-610, 2004.
- Koutsoyiannis, D., and G. Baloutsos (2000), Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences, Natural Hazards, 22 (1), 31-51.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., Manetas, A. (1998) A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, Journal of Hydrology, 206(1-2), 118-135.