

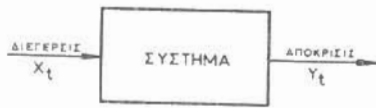
ΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΙΣ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΙΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Υ Π Ο
ΣΩΤΗΡΙΟΥ ΚΑΡΕΛΙΩΤΗ *

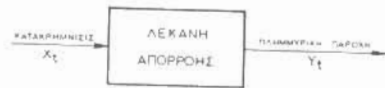
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύγχρονος τάσις εις την ανάλυσιν υδρολογικών φαινομένων είναι ή εισαγωγή τής ιδέας του συστήματος ή όποία χρησιμοποιείται εϋρέως υπό όλων των κλάδων των επιστημών. Μία άπλη γραφική παράστασις ενός συστήματος φαίνεται εις τό Σχ. 1, ένθα X_t είναι ή διέγερσις και Y_t είναι ή απόκρισις του συστήματος.

Όμοίως εις την ανάλυσιν των πλημμυρικών παροχών φυσικών ρευμάτων, ή λεκάνη άπορροής δύναται νά θεωρηθ ή έν σύστημα (Σχ. 2) του όποιου διέγερσις δύναται είναι ή κατακρήμνισις και απόκρισις ή πλημμυρική παροχή.



Σχ. 1. Γραφική παράστασις συστήματος.



Σχ. 2. Γραφική παράστασις του υδρολογικού συστήματος τής λεκάνης άπορροής.

Έκ τής θεωρίας των συστημάτων, ή απόκρισις Y_t συνδέεται μετά τής διεγέρσεως X_t διά τής γενικής σχέσεως

$$Y_t = \Phi(X_t) \tag{1}$$

ένθα Φ είναι ή συνάρτησις μεταφοράς.

Εις την όρθολογιστικήν μέθοδον ύπολογισμού τής πλημμυρικής αιχμής ($Q = CSI$), ή όποία παρουσιάσθη εις την προηγούμενην όμιλίαν, ή παροχή Q δύναται νά θεωρηθ ή ως απόκρισις του συστήματος, ή βροχόπτωσης I ως διέγερσις και τό γινόμενον CS ως συντελεστής άντιπροσωπεύων την συνάρτησιν μεταφοράς. Τό άντικείμενον τής παρούσης όμιλίας διαπραγματεύεται δύο θέματα έχοντα άμεσον σχέσιν μέ την ανάλυσιν του υδρολογικού συστήματος τής λεκάνης άπορροής πρός ύπολογισμόν των πλημμυρικών παροχών διά την μελέτην υδραυλικών έργων.

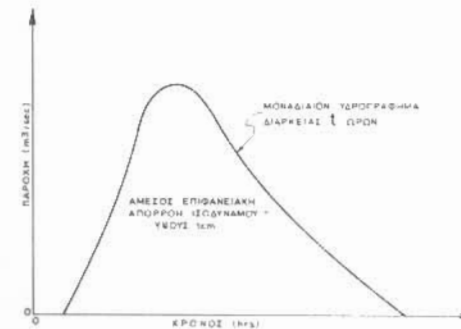
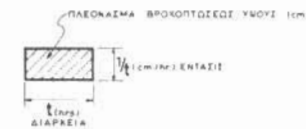
Τό πρώτον θέμα αναφέρεται εις την μέθοδον του μοναδιαίου υδρογραφήματος τό όποϊον δύναται νά θεωρηθ ή ως μία μορφή τής συναρτήσεως μεταφοράς του υδρολογικού συστήματος. Τό δεύτερον θέμα αναφέρεται εις την στατιστικήν ανάλυσιν των πλημμυρικών παροχών δηλ. εφαρμογήν των άρχών τής θεωρίας πιθανοτήτων διά την ανάλυσιν τής άποκρίσεως του υδρολογικού συστήματος.

Άμφότεραι αί μέθοδοι τυγχάνουν εύρειας χρήσεως υπό των υδρολόγων μηχανικών και ένεκα τούτων ή ανάπτυξις τής μεθοδολογίας εφαρμογής των θά είναι σύντομος, δίδουσα μεγαλυτέραν έμφασιν εις τάς βασικές παραδοχάς αυτών. Η καλύτερα κατανόησις των παραδοχών δύναται νά συμβάλη άφ' ένός μεν εις την όρθήν έκλογήν και ανάλυσιν των άπαιτουμένων υδρολογικών δεδομένων, άφ' έτέρου δέ εις την έκτίμησιν των πλεονεκτημάτων προτεινομένων νέων υδρολογικών μεθόδων αναλύσεως πλημμυρικών παροχών.

2. ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

2.1. Όρισμός.

Μοναδιαϊόν υδρογράφημα διαρκείας t ώρων μιās λεκάνης άπορροής καλεϊται τό υδρογράφημα τής άμέσου επιφανειακής άπορροής τό όποϊον προήλθε από



Σχ. 3. Σχηματική παράστασις όρισμού μοναδιαϊου υδρογραφήματος.

1 cm πλεονάσματος βροχοπτώσεως (effective rainfall) διαρκείας t ώρων, σταθεράς έντάσεως κατά την διάρκεια t και όμοιομόρφως κατανεμημένης επί τής λεκάνης άπορροής. Η σχηματική παράστασις του άνωτέρω όρισμού δίδεται εις Σχ. 3.

* ΣΩΤ. ΚΑΡΕΛΙΩΤΗΣ, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός παρά τη Δ. Ε. Η.

2.2. Βασικαί παραδοχαί.

Με βάσιν τόν ὀρισμὸν τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ἔχει θεμελιωθῆ ἡ λεγομένη μέθοδος τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος διὰ τόν ὑπολογισμὸν τοῦ ὑδρογραφήματος πλημμύρας. Κατὰ τὴν ἐφαρμογὴν τῆς μεθόδου αὐτῆς γίνονται αἱ ἀκόλουθοι βασικαί παραδοχαί :

- α) Τὸ πλεόνασμα βροχοπτώσεως ἐμφανίζει σταθεράν ἔντασιν καθ' ὅλην τὴν διάρκειάν του.
- β) Τὸ πλεόνασμα βροχοπτώσεως εἶναι ὁμοιομόρφως κατανεμημένον ἐφ' ὅλης τῆς λεκάνης ἀπορροῆς.
- γ) Ἡ χρονικὴ διάρκεια τοῦ ὑδρογραφήματος τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς ἐκ πλεονάσματος βροχοπτώσεως διαρκείας ἴσης πρὸς τὴν μονάδα εἶναι σταθερά.
- δ) Αἱ τεταγμένα ὑδρογραφήματα ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς τῆς αὐτῆς χρονικῆς διαρκείας εἶναι ἀνάλογοι πρὸς τὸν ὀλικὸν ὄγκον τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς ἐκάστου ὑδρογραφήματος.
- ε) Διὰ μίαν δεδομένην λεκάνην ἀπορροῆς τὸ ὑδρογράφημα ἀπορροῆς ἐκ μιᾶς βροχοπτώσεως δεδομένης διαρκείας εἶναι ἀνεξάρτητον τῆς χρονικῆς περιόδου καθ' ἣν λαμβάνει χώραν.

Εἰς τὸ σημεῖον αὐτὸ θὰ πρέπει νὰ τονισθῆ ὅτι αἱ ἀνωτέρω ὑποθέσεις σχετικᾶ μετὰ τὴν βροχοπτώσιν καὶ τὴν λεκάνην ἀπορροῆς οὐδέποτε ἰκανοποιοῦνται πλήρως εἰς τὸ φυσικὸν φαινόμενον ἀλλά, ὅταν τὰ ὑδρολογικὰ στοιχεῖα τὰ χρησιμοποιούμενα εἰς τὴν ἀνάλυσιν τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ἐκλεγοῦν προσεκτικᾶ, ὥστε αἱ ἀνωτέρω ὑποθέσεις νὰ ἰκανοποιοῦνται ὅσον τὸ δυνατόν πληρέστερα, τὰ ἀποτελέσματα ἐκ τῆς ἐφαρμογῆς τῆς θεωρίας τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ἀποδεικνύονται χρήσιμα. Σχετικῶς μετὰ τὴν παραδοχὴν (α) αἱ ἐκλεγόμενα καταιγίδες ὀφείλουν νὰ εἶναι μικρᾶς διαρκείας διότι τοιαῦται καταιγίδες ὡς ἐπὶ τὸ πλεῖστον δημιουργοῦν πλεόνασμα βροχοπτώσεως ὑψηλῆς ἐντάσεως καὶ ὁμοιομόρφως κατανεμημένον, τὸ ὅποιον ἐν συνεχείᾳ παρέχει ἐν ἀπλοῦν ὑδρογράφημα ἀπορροῆς μικρᾶς χρονικῆς διαρκείας. Ὅταν ἡ θεωρία τοῦ στιγμιαίου μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ἐφαρμόζεται, ἡ παραδοχὴ (α) παύει νὰ εἶναι ἀπαραίτητος.

Σχετικῶς μετὰ τὴν παραδοχὴν (β) ἡ θεωρία τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος δύναται νὰ ἀποδειχθῆ μὴ ἐφαρμόσιμος εἰς λεκάνας ἀπορροῆς σχετικῶς μεγάλας διότι μία ὁμοιομόρφως κατανεμημένη βροχοπτώσις ἐφ' ὅλης τῆς λεκάνης εἶναι ἕνα σπάνιον γεγονός. Εἰς τοιαύτας περιπτώσεις ἡ ἀρχικὴ λεκάνη ἀπορροῆς πρέπει νὰ διαιρεθῆ εἰς ἕνα ἀριθμὸν ὑπολεκάνων ἀπορροῆς ἐξ ὧν ἐκάστη νὰ καλύπτεται ὑπὸ ὁμοιομόρφου βροχοπτώσεως. Ὑπολογίζεται ἐν συνεχείᾳ τὸ μοναδιαῖον ὑδρογράφημα ἐκάστης ὑπολεκάνης καὶ βάσει αὐτῶν ὑπολογίζεται τὸ μοναδιαῖον ὑδρογράφημα ἢ τὸ ὑδρογράφημα τῆς πλημμύρας μελέτης ἐφ' ὀλοκλήρου τῆς λεκάνης διὰ διαφορῶν ὑδραυλικῶν μεθόδων.

Σχετικῶς μετὰ τὴν παραδοχὴν (γ) ἡ χρονικὴ διάρκεια τοῦ ὑδρογραφήματος τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς εἶναι ἄγνωστος, ἀλλ' ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν μέθοδον

διαχωρισμοῦ τῆς βασικῆς ροῆς. Συνήθως ἡ διάρκεια εἶναι μικρά, ἐὰν ἡ ἀμεσὸς ἀπορροὴ θεωρεῖται ὅτι περιλαμβάνει μόνον τὴν ἐπιφανειακὴν ἀπορροὴν καὶ εἶναι μεγάλη, ἐὰν ἡ ἀμεσὸς ἀπορροὴ περιλαμβάνη ἐπίσης καὶ τὴν ὑπόγειον ἀπορροὴν. Θεωρητικῶς, εἰς τὸν κατερχόμενον κλάδον ἐνὸς ὑδρογραφήματος ἡ παροχὴ μειοῦται ἐκθετικῶς συναρτῆσει τοῦ χρόνου καὶ ὡς ἐκ τούτου ἡ χρονικὴ διάρκεια εἶναι ἄπειρος.

Ἡ παραδοχὴ αὐτὴ παύει ἰσχύουσα, ὅταν χρησιμοποιοῦνται μοντέλα ὑδρογραφήματων, ὅπου συνήθως θεωρεῖται ὅτι ἡ παροχὴ εἰς τὸν κατερχόμενον κλάδον τοῦ ὑδρογραφήματος μειοῦται ἐκθετικῶς συναρτῆσει τοῦ χρόνου.

Σχετικῶς μετὰ τὴν παραδοχὴν (δ) ἡ ἀρχὴ ἢ ὁποῖα τὴν διέπει εἶναι ποικιλοτρόπως γνωστὴ, εἴτε ὡς ἀρχὴ τῆς γραμμικότητος, εἴτε ὡς ἀρχὴ τῆς ἀναλογίας, ἐφ' ὅσον αἱ τεταγμένα τοῦ ὑδρογραφήματος τῆς ἀμέσου ἐπιρροῆς εἶναι μεταξὺ τῶν ἀνάλογοι καὶ ἐπομένως μποροῦν νὰ προστεθοῦν ἀριθμητικῶς εἰς ἀναλογίας πρὸς τὸν ὀλικὸν ὄγκον τῆς ἀμέσου ἀπορροῆς. Ἡ συνήθης θεωρία τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ἢ ὁποῖα βασίζεται ἐπ' αὐτῆς τῆς παραδοχῆς εἶναι εἰδικῶς γνωστὴ ὡς θεωρία τοῦ γραμμικοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος (linear unit hydrograph theory). Ὑπάρχει ἀντιθέτως καὶ ἡ θεωρία τοῦ μὴ γραμμικοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος (nonlinear unit hydrograph theory) ἢ ὁποῖα δὲν βασίζεται ἐπὶ ταύτης τῆς παραδοχῆς.

Διὰ μίαν δεδομένην λεκάνην ἀπορροῆς, ἡ τεταγμένη τὴν χρονικὴν στιγμὴν t τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος διαρκείας Δt_0 συμβολίζεται διὰ $u(\Delta t_0, t)$, ἐνθα t εἶναι ἡ ἐκάστοτε χρονικὴ στιγμὴ μετὰ τὴν ἐναρξιν τοῦ πλεονάσματος τῆς βροχοπτώσεως. Τὸ πλεόνασμα βροχοπτώσεως διὰ μίαν δεδομένην βροχοπτώσιν δύναται νὰ θεωρηθῆ ὅτι ἀποτελεῖται ἀπὸ n τμήματα διαφορετικῆς ἐντάσεως I_i καὶ τῆς αὐτῆς διαρκείας, ἴσης πρὸς Δt_0 ἐνθα ὁ δείκτης i ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀριθμὸν τὸν ἀντιπροσωπεύοντα ἕκαστον τμήμα. Συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν τῆς γραμμικότητος, ἡ τεταγμένη τοῦ ὑδρογραφήματος τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς, διὰ μίαν δεδομένην βροχοπτώσιν, δύναται νὰ ἐκφρασθῆ διὰ τῆς ἐξίσωσως.

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n u[\Delta t_0, t - (i-1)\Delta t] I_i \Delta t$$

Τὸ ἀνωτέρω ἄθροισμα τὸ ἐκφράζον τὴν τεταγμένην τοῦ ὑδρογραφήματος τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς εἶναι μία μορφή τοῦ συνελκτικτοῦ ὀλοκληρώματος ἢ ὀλοκληρώματος Duhamel, τὸ ὅποιον ἀποτελεῖ τὴν βάσιν διὰ τὴν θεωρίαν τοῦ στιγμιαίου μοναδιαίου ὑδρογραφήματος.

Τέλος, ἡ παραδοχὴ (ε) ἐκφράζει τὴν ἀρχὴν τοῦ χρονικῶς ἀμεταβλήτου τῶν ἰδιοτήτων τῆς λεκάνης. Ἡ ἀρχὴ αὐτὴ ἰκανοποιεῖται μόνον ὅταν ὁ χρόνος καὶ αἱ συνθηκαὶ τῆς λεκάνης εἶναι δεδομένα ἢ εἰδικῶς καθορίζονται, διότι εἶναι γνωστὸν ὅτι τὰ χαρακτηριστικὰ τῆς λεκάνης ἀπορροῆς μεταβάλλονται λόγῳ ἐποχῶν, τεχνικῶν ἔργων ἐπὶ τῆς λεκάνης, συνθηκῶν ροῆς κλπ.

Ἡ γραμμικότης καὶ τὸ χρονικῶς ἀμετάβλητον εἶναι αἱ δύο βασικαὶ ἀρχαὶ τῆς θεωρίας τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος. Ἄλλαι παραδοχαὶ γίνονται συχνὰ διὰ πρακτικοῦς λόγους χωρὶς νὰ εἶναι βασικῶς καὶ θεωρητικῶς ἀπαραίτητοι.

2.3. Μέθοδοι 'Υπολογισμού Μοναδιαίου 'Υδρογραφήματος.

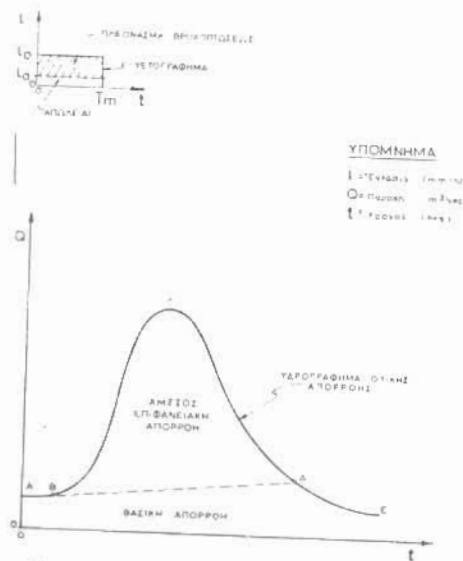
Διά τόν υπολογισμόν τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ὑπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αἱ ὁποῖαι ἐξαρτῶνται κυρίως ἀπό τήν ποσότητα καί μορφήν τῶν διατιθεμένων ὑδρολογικῶν στοιχείων. Αἱ μέθοδοι αὐταὶ δύναται νά διαιρεθοῦν εἰς δύο γενικάς κατηγορίας :

- Μέθοδοι δι' ἀναλύσεως ὑδρογραφημάτων τῆς λεκάνης ἀπορροῆς,
- Μέθοδοι ἄνευ ἀναλύσεως ὑδρογραφημάτων τῆς λεκάνης ἀπορροῆς.

Εἶναι φανερόν ἐκ τοῦ ἀνωτέρω διαχωρισμοῦ ὅτι αἱ μέθοδοι τῆς πρώτης κατηγορίας ἐφαρμόζονται ὅταν ὑπάρχουν ὑδρολογικά στοιχεῖα ἐνῶ τῆς δευτέρας ὅταν δέν ὑπάρχουν.

- Μέθοδοι δι' ἀναλύσεως ὑδρογραφημάτων τῆς λεκάνης ἀπορροῆς

Ἡ ἀπλουστέρα περίπτωσης ὑπολογισμοῦ τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος ἀνήκει εἰς τὰς μεθόδους τῆς πρώτης κατηγορίας καί ἀφορᾷ εἰς τήν περίπτωσιν καθ'



Σχ. 4. Παράδειγμα ἀναλύσεως μοναδιαίου ὑδρογραφήματος.

ἣν τὸ καταγραφὲν ὑδρογράφημα τῆς πλημμύρας εἶναι ἀπλοῦν δηλ. ἐμφανίζει μίαν μόνον αἰχμήν, ὡς τὸ εἰκονιζόμενον εἰς τὸ Σχ. 4 τὸ δὲ βροχογράφημα εἶναι καὶ αὐτὸ ἀπλοῦν δηλ. σταθερᾶς ἐντάσεως καθ' ὅλην τὴν διάρκειάν του.

Λαμβάνοντες τὰ εἰς τὸ Σχ. 4 ἐμφαινόμενα βροχογράφημα καὶ ὑδρογράφημα ὀλικῆς ἀπορροῆς ὡς δεδομένα, τὸ μοναδιαῖον ὑδρογράφημα διάρκειας T_m ὑπολογίζομεν ὡς ἀκρολούθως :

- Ἀπὸ τὸ ὑδρογράφημα ὀλικῆς ἀπορροῆς ἀφαιρεῖται ἡ μὴ ἄμεσος ἐπιφανειακὴ ἀπορροὴ δηλαδή ἡ βασικὴ ἀπορροὴ ΑΒΔΕ (Σχ. 4).
- Ἀπὸ τὸ βροχογράφημα ἀφαιροῦνται αἱ ἀπώλειαι αἱ ὁποῖαι εἰς τὸ παρὸν παράδειγμα θεωροῦνται σταθερᾶς ἐντάσεως i_a καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν T_m .
- Ἐλεγχος τῆς ἰσότητος τοῦ ὄγκου ὑδάτων ἐκ πλεονάσματος βροχοπτώσεως μετὰ τοῦ ὄγκου ὑδάτων ἐκ τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς. Εἰς περίπτωσιν μὴ ἰσότητος πρέπει νά γίνῃ ἐπανεκτίμησις εἴτε τῶν ἀπωλειῶν, εἴτε τῆς βασικῆς ἀπορροῆς, εἴτε ἀμφοτέρων.
- Ἐπολογισμὸς τεταγμένων μοναδιαίου ὑδρογραφήματος διάρκειας T_m , διὰ διαιρέσεως τῶν τεταγμένων τοῦ ὑδρογραφήματος τῆς ἀμέσου ἐπιφανειακῆς ἀπορροῆς (ΒΓΔΒ) διὰ τοῦ πλεονάσματος βροχοπτώσεως εἰς ἑκατοστομέτρα δηλ. $(i_0 - i_a) T_m / 10$.

- Μέθοδοι ἄνευ ἀναλύσεως ὑδρογραφημάτων τῆς λεκάνης ἀπορροῆς

Ὅσον ἀφορᾷ τὴν δευτέραν κατηγορίαν μεθόδων διὰ τὸν υπολογισμόν τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος δηλαδή τὰς μεθόδους ἄνευ ἀναλύσεως ὑδρογραφημάτων, αὐταὶ εἶναι κυρίως ἐμπειρικαί. Βασίζονται δὲ ἐπὶ συσχετίσεων μεταξύ βασικῶν παραμέτρων τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος καὶ τῆς λεκάνης ἀπορροῆς. Αἱ συσχετίσεις αὐταὶ ὑπολογίζονται ἐξ ὁμοίων λεκανῶν ἀπορροῆς ὅπου ὑπάρχουν ὑδρολογικά στοιχεῖα καὶ κατόπιν ὑποτίθεται ὅτι ἰσχύουν καὶ διὰ τὴν ἐξεταζομένην λεκάνην ἀπορροῆς τῆς ὁποίας ζητεῖται ὁ ὑπολογισμὸς τοῦ μοναδιαίου ὑδρογραφήματος. Ἡ διεθνὴς βιβλιογραφία ἀναφέρει τοιαύτας μεθόδους ὡς π.χ. τοῦ MCCARTHY καὶ τοῦ SNYDER. Αἱ μέθοδοι τῆς δευτέρας κατηγορίας πρέπει νά ἐφαρμόζονται μόνον ὅταν ἡ ἔλλειψις ὑδρολογικῶν στοιχείων καθιστᾷ ἀδύνατον τὴν ἐφαρμογὴν τῶν μεθόδων τῆς πρώτης κατηγορίας, διότι ἡ ἀκρίβεια τῶν συσχετίσεων καὶ ἡ ὀρθότης τῶν ὑποθέσεων ἐφαρμογῆς τῶν εἶναι πάντοτε ὑπὸ ἀμφιβολίαν.

3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ

3.1. Γενικά.

Ἐντικειμενικὸς σκοπὸς εἰς τὴν στατιστικὴν ἀνάλυσιν τῶν πλημμυρικῶν παροχῶν εἶναι ἡ ἐκτίμησις τῆς πιθανότητος ἐμφάνισως πλημμυρικῶν παροχῶν δεδομένου μεγέθους ἢ καὶ ἀντιστρόφως βάσει τῶν ἀρχῶν τῆς θεωρίας πιθανότητων καὶ στατιστικῆς.

3.2. Βασικαί παραδοχαί.

Ἡ στατιστικὴ ἀνάλυσις τῶν πλημμυρικῶν παροχῶν βασίζεται ἐπὶ τριῶν παραδοχῶν, ἢ μὴ πλήρωσις τῶν ὁποίων δύναται νὰ ὀδηγήσῃ εἰς τελείως ἐσφαλμένα συμπεράσματα. Αἱ παραδοχαί αὗται ἔχουν ὡς ἀκολούθως :

- α) Τὸ δείγμα τῶν ὑδρολογικῶν δεδομένων (αἰχμαὶ πλημμυρῶν) πρέπει νὰ εἶναι ἀντιπροσωπευτικὸν τῆς ὑδρολογικῆς καταστάσεως.
Π.χ. τὸ δείγμα πρέπει νὰ περιλαμβάνῃ γεγονότα ἐκ ξηρῶν καὶ ὑγρῶν ὑδρολογικῶν ἐτῶν. Ὁ ἔλεγχος καὶ πιθανὴ συμπλήρωσις ἐνὸς δείγματος πρὸς πλήρωσιν τῆς ἀνωτέρω παραδοχῆς εἶναι δύσκολος. Γενικὰ ὅταν τὸ δείγμα περιλαμβάνῃ ἓνα ἱκανοποιητικὸν ἀριθμὸν γεγονότων πρὸς στατιστικὴν ἀνάλυσιν, ὑποθέτομεν ὅτι εἶναι ἀντιπροσωπευτικόν, λόγω τῆς μικρᾶς πιθανότητος ὑπάρξεως ἐπὶ μακρὰν σειρὰν ἐτῶν τῆς αὐτῆς ὑδρολογικῆς καταστάσεως ἐπὶ μιᾶς δεδομένης λεκάνης ἀπορροῆς.
- β) Τὰ ὑδρολογικὰ γεγονότα τοῦ δείγματος πρέπει νὰ εἶναι ἀνεξάρτητα ἀλλήλων. Ἡ παραδοχὴ ὀφείλεται εἰς βασικὴν προϋπόθεσιν τοῦ κλάδου τῆς μαθηματικῆς θεωρίας πιθανοτήτων ὅστις ἐφαρμόζεται μέχρι σήμερον διὰ τὴν ἀνάλυσιν πλημμυρικῶν αἰχμῶν καὶ ἀφορᾷ ἀνεξάρτητα γεγονότα. Π.χ. πλημμυρικαὶ αἰχμαὶ αἱ ὅποια προῆλθον ἀπὸ τὴν αὐτὴν καταιγίδα ἢ καταιγίδας μὲ μικρὸν χρονικὸν διάστημα μεταξύ τοῦ πέρατος τῆς μιᾶς καὶ τῆς ἀρχῆς τῆς ἄλλης, δὲν εἶναι ἀνεξάρτητοι, διότι προέρχονται ἐκ βροχοπτώσεων μὲ ὑψηλὸν βαθμὸν συσχετίσεως.
- γ) Τὰ ὑδρολογικὰ γεγονότα τοῦ δείγματος πρέπει νὰ εἶναι ὁμοιογενῆ. Π.χ. ἡ σοβαρὰ μεταβολὴ τῆς βλαστήσεως ἐπὶ τῆς λεκάνης ἀπορροῆς ἢ ἡ κατασκευὴ τεχνικῶν ἔργων τὰ ὅποια ἐπηρεάζουν τὴν φυσικὴν ροὴν ἐπὶ τῆς λεκάνης ἀπορροῆς, πιθανὸν νὰ δημιουργήσουν ἀνομοιογενῆ γεγονότα.

3.3. Μέθοδοι ἀναλύσεως συχνότητος πλημμυρικῶν παροχῶν.

Αἱ μέθοδοι ἀναλύσεως συχνότητος πλημμυρικῶν παροχῶν διακρίνονται βασικῶς ἐκ τοῦ τρόπου ἐκλογῆς τῶν πρὸς ἀνάλυσιν ὑδρολογικῶν γεγονότων, χωρὶς περαιτέρω νὰ παρουσιάζουν μεταξύ των οὐσιαστικὴν τινὰ διαφορὰν εἰς τὴν διαδικασίαν ἀναλύσεως. Οὕτω διακρίνομεν δύο βασικὰς μεθόδους ἀναλύσεως :

- α) Μέθοδον ἀναλύσεως δείγματος μεγίστων ἐτησίων πλημμυρῶν, δηλαδή χρησιμοποίησιν τῆς μεγίστης σημειωθείσης πλημμυρικῆς παροχῆς καθ' ἕκαστον ὑδρολογικὸν ἔτος.
- β) Μέθοδον ἀναλύσεως δείγματος βασικῆς στάθμης, δηλαδή χρησιμοποίησιν πλημμυρικῶν παροχῶν μεγαλύτερων μιᾶς δεδομένης βασικῆς τιμῆς.

Ἀμφότεροι αἱ μέθοδοι δίδουν οὐσιαστικῶς τὰ ἴδια ἀποτελέσματα καὶ ὑφίστανται διαφοραὶ τινὰ εἰς τιμὰς μικροῦ μεγέθους. Συνήθως προτιμᾶται ἡ πρώτη μέθοδος διότι ἀπαιτεῖ ἀπλούστερους ὑπολογισμούς.

Ἡ διαδικασία ἀναλύσεως συχνότητος πλημμυρικῶν παροχῶν δι' ἀμφοτέρους τοὺς ἀνωτέρω τύπους δειγμάτων περιλαμβάνει τὰ ἀκόλουθα στάδια :

1. Ἐλεγχον τῶν πλημμυρικῶν αἰχμῶν πρὸς πλήρωσιν τῶν βασικῶν παροχῶν καὶ διόρθωσιν αὐτῶν. Γενικῶς διὰ τὸν ἔλεγχον δειγμάτων πρὸς πλήρωσιν τῶν βασικῶν παραδοχῶν ὑπάρχουν διάφοροι μαθηματικαὶ μέθοδοι συσχετίσεως καὶ ὁμοιογενείας αἱ ὅποια ἐφαρμόζονται εἰς δείγματα μὲ μέγαν ἀριθμὸν γεγονότων. Εἰς τὴν περίπτωσιν δειγμάτων πλημμυρικῶν αἰχμῶν ὁ ἀριθμὸς τῶν γεγονότων εἶναι συνήθως μικρὸς καὶ ἔνεκα τούτου μία ἀναδρομὴ εἰς τὴν ὑδρολογικὴν ἱστορίαν αὐτῶν πρὸς ἔλεγχον πληρώσεως τῶν βασικῶν παραδοχῶν εἶναι σχετικὰ σύντομος. παρέχει δὲ τὴν δυνατότητα ἀναθεωρήσεως ὀρισμένων γεγονότων τοῦ δείγματος βάσει ὑδρολογικῶν δεδομένων, καὶ οὐχὶ βάσει μιᾶς στατιστικῆς παραμέτρου, ἢ ἀξιοπιστία τῆς ὁποίας εἶναι πάντοτε ὑπὸ ἀμφισβήτησιν.

2. Ἐκλογὴν τοῦ καταλλήλου τύπου πρὸς ὑπολογισμὸν τοῦ μέσου χρονικοῦ διαστήματος ἐμφανίσεως (return period) ἐκάστης τῶν πλημμυρικῶν αἰχμῶν τοῦ δείγματος. Τὸ μέσον χρονικὸν διάστημα ἐμφανίσεως ἢ περίοδος ἐμφανίσεως ὀρίζεται ὑπὸ τῆς σχέσεως :

$$P(X \geq x) = 1/T \quad (2)$$

ἐνθα $P(X \geq x)$ εἶναι ἡ πιθανότης νὰ ἐμφανίσῃ τὸ γεγονὸς X τιμὴν μεγαλύτεραν ἢ ἴσην τῆς τιμῆς x , καὶ T ἡ περίοδος ἐμφανίσεως αὐτοῦ.

Ἐκ τῆς σχέσεως (2)

$$T = 1/P(X \geq x) = 1/[1 - P(X \leq x)] \quad (3)$$

Ἡ σχέσις (3) ἀποτελεῖ τὴν βάσιν διὰ τὴν ἐκτίμησιν τῆς πιθανότητος $P(X \leq x)$ ἢ ὅποια ἀπαιτεῖται εἰς τὸ ἐπόμενον στάδιον τῆς ἀναλύσεως.

Ἡ διεθνὴς βιβλιογραφία ἀναφέρει διαφόρους μεθόδους διὰ τὴν ἐκτίμησιν τῆς πιθανότητος $P(X \leq x)$ ἢ τῆς περιόδου ἐμφανίσεως T τῶν γεγονότων ἐνὸς δείγματος, αἱ ἀπλούστεροι δὲ ἐξ αὐτῶν εἶναι αἱ καθοριζόμεναι ὡς ἑξῆς :

$$\text{CALIFORNIA} \quad T = N/m \quad (4)$$

$$\text{HAZEN} \quad T = 2N/(2m - 1) \quad (5)$$

$$\text{WEIBULL} \quad T = (N + 1)/m \quad (6)$$

ἐνθα N εἶναι ὁ ἀριθμὸς τοῦ συνόλου τῶν γεγονότων τοῦ δείγματος καὶ m εἶναι ἡ τάξις μεγέθους τοῦ γεγονότος, ἦτοι $m = 1$ διὰ τὸ μεγαλύτερον, καὶ $m = N$ διὰ τὸ μικρότερον.

Ἐπὶ τῶν ἀνωτέρω τύπων ὑπάρχουν καὶ πολλοὶ ἄλλοι τύποι, κυρίως ἐμπειρικοί, καὶ ὅλοι δίδουν πρακτικῶς τὰ ἴδια ἀποτελέσματα διὰ τὰς μέσας τιμὰς μεγέθους τῶν γεγονότων. Διαφοραὶ ὑπάρχουν μόνον εἰς τὰς ἀκραίας τιμὰς, ὡς δύναται νὰ παρατηρηθῇ καὶ ἐκ τῶν τύπων (4), (5) καὶ (6).

Ἡ προτίμησις ἐνὸς τύπου ἐναντι ἄλλου ἐξαρτᾶται κυρίως ἐκ τῆς σκοπιμότητος τῆς γενικῆς μελέτης ἀναλύσεως τῶν πλημμυρικῶν αἰχμῶν. Θεωρητικῶς

έχει δειχθῆ ότι ο τύπος (4) είναι κατάλληλος διὰ δείγματα βασικής στάθμης, ἐνῶ ο τύπος (6) διὰ δείγματα μεγίστων ἐτησίων.

3. Ἐκλογὴν τῆς καταλλήλου κατανομῆς πιθανοτήτων διὰ τὰ γεγονότα τοῦ δείγματος. Ὡς γνωστὸν ἡ θεωρία πιθανοτήτων παρουσιάζει ποικιλίαν συναρτήσεων κατανομῆς πιθανοτήτων ὡς π.χ. τῶν Poisson, Gauss, Γάμμα, Pearson, Gumbel κλπ. Πρακτικῶς ἡ ἐκλογή τῆς καταλλήλου κατανομῆς πιθανοτήτων εἶναι μία διαδικασία προσαρμογῆς τῶν πλημμυρικῶν αἰχμῶν εἰς ἓνα μαθηματικὸν μοντέλο κατανομῆς πιθανοτήτων ὡς τὰ προαναφερθέντα. Εἰς πολλὰς περιπτώσεις ὀδηγοῦμεθα εἰς τὴν προτίμησιν μιᾶς κατανομῆς ἐναντι μιᾶς ἄλλης, βάσει διαφόρων θεωρητικῶν συλλογισμῶν περὶ τῆς φύσεως τῶν ὑδρολογικῶν φαινομένων. Αἱ θεωρητικαὶ αὐταὶ ὑποθέσεις εἶναι συνήθως πολλαὶ καὶ πιθανὸν εἰς τὴν πραγματικότητα νὰ μὴ συμβιβάζωνται μὲ τὸ ὑδρολογικὸν φαινόμενον. Ἐνεκα τούτου ἡ ἐκ τῶν προτέρων προτίμησις μιᾶς εἰδικῆς κατανομῆς, ἄνευ ἐλέγχου διὰ γεγονότων τῆς καταλληλότητός της, δὲν συνιστᾶται.

Πρὸς διευκόλυνσιν εἰς τὴν διαδικασίαν εὑρέσεως τῆς καταλλήλου κατανομῆς πιθανοτήτων τῶν γεγονότων τοῦ δείγματος ὑπάρχει ὁ γνωστὸς χάρτης σχεδιάσεως πιθανοτήτων διὰ κάθε τύπον κατανομῆς πιθανοτήτων. Ἡ κατασκευὴ τοῦ χάρτου αὐτοῦ βασίζεται ἐπὶ τῆς γενικῆς ἐξισώσεως διὰ τὴν ὑδρολογικὴν ἀνάλυσιν συχνότητος

$$x = \bar{x} + \sigma k \quad (7)$$

ἐνθα x εἶναι ἡ ὑδρολογικὴ μεταβλητὴ
 \bar{x} εἶναι ἡ μέση τιμὴ τῆς x
 σ εἶναι ἡ μέση ἀπόκλισις τῆς x
καὶ k εἶναι ὁ συντελεστὴς συχνότητος

Ὁ συντελεστὴς συχνότητος k εἶναι μία συνάρτησις τῆς περιόδου ἐμφάνισης T καὶ τοῦ τύπου τῆς συναρτήσεως κατανομῆς πιθανοτήτων. Ἐπομένως, διὰ κάθε συνάρτησιν κατανομῆς πιθανοτήτων ὁ ἀντίστοιχος χάρτης σχεδιάσεως δύναται νὰ κατασκευασθῆ μὲ συντεταγμένας τὴν μεταβλητὴν x καὶ τὴν μεταβλητὴν k , ἥτις ἐμμέσως ἀντιπροσωπεύει τὴν περίοδον ἐμφάνισης T ἢ τὰς πιθανότητας $P(X \geq x)$ καὶ $P(X \leq x)$ βάσει τῆς ἐξισώσεως (3).

Ὁ συντελεστὴς συχνότητος k διὰ διαφόρους κατανομὰς πιθανοτήτων δίδεται διὰ μαθηματικῶν συναρτήσεως, ἢ πινάκων ἢ διαγραμμάτων εἰς διάφορα συγγράμματα στατιστικῆς καὶ ὑδρολογίας. Π. χ. διὰ τὴν κατανομὴν Gauss ὁ συντελεστὴς συχνότητος k δίδεται ὑπὸ τῆς σχέσεως :

$$k = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (8)$$

διὰ τὴν κατανομὴν Gumbel,

$$k = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[\gamma + \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

ἐνθα $\gamma = 0,57721 \dots$ εἶναι ἡ σταθερὰ τοῦ Euler.

Οὕτω βάσει τῆς ἐξισώσεως (7) ἐκάστη συνάρτησις κατανομῆς πιθανοτήτων σχεδιάζεται ὡς εὐθεῖα γραμμὴ ἐπὶ τοῦ ἀντίστοιχου χάρτου σχεδιάσεως πιθανοτήτων. Ἐπομένως σχεδιάζοντας τὰ σημεῖα τὰ ἀντιστοιχοῦντα εἰς τὰ γεγονότα τοῦ δείγματος πλημμυρικῶν παροχῶν ἐπὶ διαφόρων εἰδῶν χάρτου σχεδιάσεως δύναται νὰ ἐκλεγῆ ἡ κατάλληλος κατανομὴ πιθανοτήτων τοῦ δείγματος. Ὡς κατάλληλος δὲ κατανομὴ πιθανοτήτων θεωρεῖται ἐκείνη διὰ τὴν ὁποῖαν τὰ σχεδιαζόμενα σημεῖα ἀκολουθοῦν ὡς ἔγγιστα εὐθεῖαν γραμμὴν.

4. Ὑπολογισμὸν τῶν ὁρίων ἐμπιστοσύνης (Confidence Limits). Τὸ τελευταῖον στάδιον εἰς τὴν ἀνάλυσιν συχνότητος εἶναι ὁ ὑπολογισμὸς τῶν ὁρίων ἐμπιστοσύνης διὰ τὴν ἐκλεγείσαν συνάρτησιν κατανομῆς πιθανοτήτων. Ὁ ὑπολογισμὸς αὐτὸς εἶναι ἀπαραίτητος διὰ κάθε σοβαρὰν στατιστικὴν ἀνάλυσιν, διότι δίδει εἰς τὸν μελετητὴν τὸν βαθμὸν ἐμπιστοσύνης ἐπὶ τῶν ἐξαγομένων ἀποτελεσμάτων τῆς ἀναλύσεως. Τὰ διάφορα συγγράμματα στατιστικῆς δίδουν μεθόδους ὑπολογισμοῦ τῶν ὁρίων ἐμπιστοσύνης διὰ κάθε συνάρτησιν κατανομῆς πιθανοτήτων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- CHOW, V. T.— Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York 1964.
- LINSLEY, R. K. - KOHLER, M. A. and PAULHUS, J. L. H.— Hydrology for Engineers, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1958.
- WISLER, C. O. and BRATER, E. F.— Hydrology, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1959.