



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Φυσικοί και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι (Εργαστήριο)

Ενότητα 7 Πλημμύρες – πλημμυρικές
απορροές
Δρ. Θεοχάρης Μενέλαος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

3.4 Πλημμυρικές απορροές

Πλημμυρικές απορροές θεωρούνται οι απορροές που ακολουθούν κάποια ραγδαία βροχόπτωση ή απότομη τήξη μεγάλων ποσοτήτων χιονιού και χαρακτηρίζονται από απότομη αύξηση της παροχής και οφείλονται κυρίως σε επιφανειακή απορροή.

Η διάρκεια τους κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι μερικές μέρες. Η απότομη αύξηση και οι μεγάλες τιμές των πλημμυρικών παροχών θέτουν σε δοκιμασία τη δυνατότητα διόδευσης των παροχών αυτών από τις υπάρχουσες κοίτες των ποταμών με αποτέλεσμα την πρόκληση καταστροφών. Για το λόγο αυτό η μελέτη των πλημμυρικών απορροών με σκοπό το βέλτιστο σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων είναι ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της Υδρολογίας. Παρακάτω αναλύονται οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής παροχής.

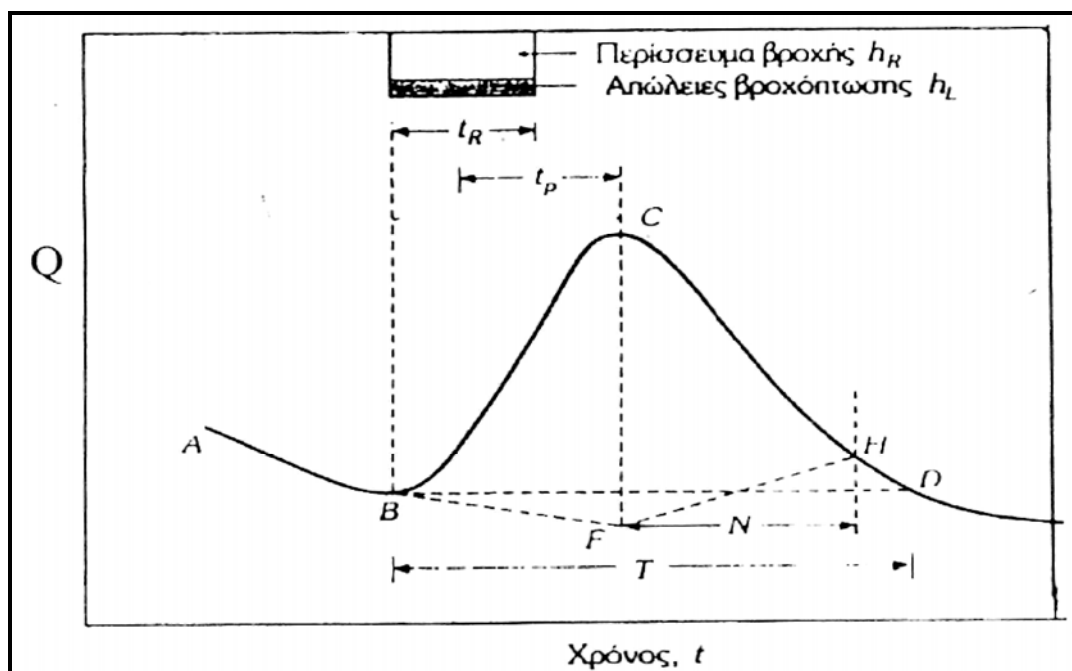
3.4.1 Το υδρογράφημα

Η μεταβολή της παροχής ενός ρεύματος (που είναι προϊόν της απορροής της υδρολογικής λεκάνης του) σε σχέση με το χρόνο αποτελεί το υδρογράφημά του και περιλαμβάνει το νερό που ρέει πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, το οποίο ήδη ονομάσαμε επιφανειακή απορροή, το νερό που κινείται πλευρικά αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και εκδηλώνεται μετά από κάποια απόσταση πάλι στην επιφάνεια ή απευθείας στην κοίτη του ρεύματος και λέγεται ενδορροή, το νερό που προέρχεται από υπόγεια ροή από την κορεσμένη ζώνη και λέγεται βασική απορροή και το νερό του κατακρημνίσματος που πέφτει μέσα στην κοίτη του ρεύματος και λέγεται απευθείας απορροή.

Το πιο σημαντικό ίσως στοιχείο ενός υδρογραφήματος, που είναι ουσιώδες κατά τη μελέτη υδραυλικών κατασκευών οι οποίες κατά κύριο λόγο αποσκοπούν στην αντιπλημμυρική προστασία, είναι η εκτίμηση του μεγέθους της αιχμής του. Η ιστορία είναι γεμάτη από περιστατικά πλημμύρων που προκάλεσαν μεγάλες ζημιές σε αγαθά αλλά και απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Έτσι, εμφανίστηκε επιτακτική η ανάγκη για την ανάπτυξη μεθόδων εκτίμησης του μεγέθους μελλοντικών

πλημμυρικών αιχμών. Οι πρώτες μέθοδοι που διερευνήθηκαν για το σκοπό αυτό ήταν εμπειρικές, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο οι μέθοδοι του μοναδιαίου υδρογραφήματος και η ανάλυση συχνότητας εμφάνισης των πλημμυρών.

Η επιλογή της μεθόδου που σε κάθε περίπτωση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μια τέτοιου είδους ανάλυση γίνεται με βάση ορισμένα κριτήρια, από τα οποία τα βασικότερα είναι:



Σχήμα 3.8 Τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας

1. Ο επιδιωκόμενος σκοπός. Αν ένα υδραυλικό έργο πρέπει να σχεδιαστεί με βάση την αιχμή πλημμύρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια μέθοδος ενώ, αν ο καθοριστικός παράγοντας είναι ο συνολικός όγκος νερού μιας πλημμύρας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άλλη μέθοδος.
2. Τα διαθέσιμα δεδομένα. Αν υπάρχουν μακροχρόνιες υδρολογικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στατιστικές διαδικασίες ανάλυσης, ενώ η επιτυχία τέτοιων μεθόδων είναι περιορισμένη όταν τα διαθέσιμα δεδομένα είναι περιορισμένα.
3. Η έκταση και τα άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Τα χαρακτηριστικά αυτά διαμορφώνουν το σχήμα του υδρογραφήματος γενικά και ειδικότερα το μέγεθος και το χρόνο εμφάνισης της αιχμής.

Στο παραπάνω Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται είναι τυπικό υδρογράφημα πλημμυρικής απορροής, το οποίο και είναι το διάγραμμα της παροχής συναρτήσει του χρόνου που αφορά ένα πλημμυρικό γεγονός. Το υδρογράφημα αυτό (Σχήμα 3.8) χαρακτηρίζεται από το ανιόν σκέλος, την κορυφή και το κατιόν σκέλος. Το πλάτος της βάσης του σε μονάδες χρόνου αποτελεί τη χρονική βάση του υδρογραφήματος η οποία προφανώς ισούται με το άθροισμα του χρόνου συγκεντρώσεως της λεκάνης απορροής συν την διάρκεια βροχόπτωσης ($T = t_c + t_R$). Χρονική επιβράδυνση λέγεται το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ του κέντρου βάρους του υετογράμματος της βροχόπτωσης μέχρι τη χρονική στιγμή που συμβαίνει το μέγιστο της παροχής.

Ορισμένες έννοιες της οποίες θα πρέπει να έχουμε υπόψη κατά τον προσδιορισμό ενός υδρογραφήματος είναι:

A) Χρόνος συγκέντρωσης (t_c): είναι ίσος με αυτόν τον χρόνο που χρειάζεται το νερό για να φτάσει από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι το σημείο εξόδου του ρεύματος και που λέγεται χρόνος συγκέντρωσης.

B) Διάρκεια της βροχόπτωσης (D): ο χρόνος στον οποίο διαρκεί ένα επεισόδιο βροχόπτωσης.

Γ) Υετογράφημα: διάγραμμα που στον άξονα x έχει το χρόνο και στον y την ένταση της βροχόπτωσης. Ουσιαστικά περιγράφει ποσοτικά το φαινόμενο της βροχόπτωσης.

Δ) Απώλειες βροχόπτωσης: είναι το σύνολο της βροχής το οποίο δεν μετασχηματίζεται σε επιφανειακή απορροή.

Η ανάλυση πλημμυρικών φαινομένων με τη χρήση υδρογραφημάτων είναι μια διαδικασία η οποία απαιτεί πλήθος στοιχείων (βροχοπτώσεις, μετρήσεις παροχής κ.α.) τα οποία πολλές φορές δεν τα έχουμε και αυξημένες τεχνικές γνώσεις υδρολογίας. Πολλές φορές επίσης γίνεται προσαρμογή ορισμένων μαθηματικών σχέσεων (μοντέλα) στην περιοχή μελέτης για τον προσδιορισμό τόσο του υετογράμματος όσο και του υδρογραφήματος. Η προσαρμογή αυτή θα πρέπει να γίνεται από έμπειρους επιστήμονες οι οποίοι θα είναι σε θέση να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Επίσης εκτός της μεθόδου του υδρογραφήματος έχουν αναπτυχθεί ορισμένες εμπειρικές σχέσεις που δίνουν την πλημμυρική παροχή ενός ποταμού ή ρέματος.

3.4.2 Εμπειρικές σχέσεις

Αναφορικά με τις εμπειρικές σχέσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών οι κυριότερες από αυτές είναι οι παρακάτω (Κωτούλας, 2001) (F είναι το μέγεθος της λεκάνης απορροής (km²), Q (m³/s)):

ο **Friedrich**: $Q_{\max} = 24,12 * F^{0,516}$

ο **Klement – Wunderlich**: $Q_{\max} = 5,5 * F^{5/6}$

ο **Wundt**: $Q_{\max} = 13,8 * F^{0,6}$

ο **Coutagne**: $Q_{\max} = a * F^{1/2}$

Όπου α = 20~40.

ο **Valentini**: $q_{\max} = \frac{30}{F^{1/2}}$

ο **Kurstreiner**: $q_{\max} = \frac{A}{F^{2/3}}$

Όπου A=9 για μεγάλες λεκάνες και A=12~15 για μικρές λεκάνες.

ο **Hoffbauer**: $q_{\max} = a * \frac{60}{F^{1/2}}$

Όπου α=0,35~0,50 για ημιορεινές λεκάνες και α=0,50~0,70 για ορεινές λεκάνες.

ο **Kresnik**: $q_{\max} = a * \frac{32}{0,5 * F^{1/2}}$

Όπου α=0,6~2,0.

ο **Muller**: $q_{\max} = y_m * \frac{40}{F^{1/3}}$

Όπου y_m είναι ο συντελεστής απορροής και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$y_m = \frac{F_1 * y_1 + F_2 * y_2}{F}$$

F₁: Δασοσκεπής έκταση.

F₂: Λιβαδική ή αγροκαλλιεργούμενη έκταση

y₁, y₂: Συντελεστές απορροής που προσδιορίζονται από τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 3.1 Συντελεστές απορροής κατά Muller

| Συντελεστές απορροής κατά Muller | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------|---------------|
| Περιοχή | Καλλιέργεια | Κλίση επιφάνειας | | |
| | | Μικρή (0-10%) | Μέση (10-20%) | Ισχυρή (>20%) |
| Περιοχές άνω των δασοορίων | Αγροί, λιβάδια | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| Μέσες περιοχές | Πυκνό δάσος | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| Χαμηλές περιοχές | Λιβάδια, γεωργικές καλλιέργειες | 0,1 | 0,2 | 0,4 |

$$\circ \text{ Fuller: } \max Q_N = Q_1 * (1 + \beta * \log_{10} T) * (1 + \frac{2,66}{F^{0,30}})$$

Όπου: $\beta=0,80$.

$$Q_1 = 1,80 * F^{0,80}$$

(Q_1 : Μέση παροχή πλημμυρικών υδάτων περιόδου επανάληψης ενός έτους)

T: Περίοδος επαναφοράς.

(Για $T=100$ έτη, $1 + \beta * \log_{10} T = 2,60$)

Με βάση τα παραπάνω, η σχέση του Fuller, για τη μέγιστη πλημμυρική παροχή εκατονταετίας, γράφεται:

$$Q_{\max} = 4,68 * F^{0,8} * (1 + \frac{2,66}{F^{0,30}})$$

3.5 Ορθολογική μέθοδος

3.5.1 Εισαγωγή

Η ορθολογική μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ανάλυση της απορροής σε μικρές λεκάνες απορροής. Έχει ειδική εφαρμογή στην διόδευση πλημμύρας όπου χρησιμοποιείται για να υπολογίζει τις πλημμυρικές αιχμές των απορροών για τη διευθέτηση των χειμάρρων.

Μικρή υδρολογική λεκάνη θεωρείται μια λεκάνη με εμβαδόν μικρότερο από 2,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα και με χρόνο συγκέντρωσης μικρότερο της μιας ώρας περίπου $t_c < 1$ h και $A < 2,5$ km². Στη βιβλιογραφία μικρές υδρολογικές λεκάνες θεωρούνται οι λεκάνες με εμβαδόν μέχρι 10,0 km².

Για την υδρολογική ανάλυση μιας μικρής Υδρολογικής Λεκάνης γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- ✓ Η κατανομή της βροχής θεωρείται ομοιόμορφη χρονικά και χωρικά
- ✓ Η διάρκεια βροχής είναι μεγαλύτερη από το χρόνο συγκεντρώσεως
- ✓ Η απορροή είναι κυρίως επιφανειακή και όχι μέσω ρευμάτων
- ✓ Η αποθήκευση του συστήματος είναι αμελητέα

Η ορθολογική μέθοδος λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα υδρολογικά χαρακτηριστικά:

- ✓ την ένταση βροχόπτωσης,
- ✓ τη διάρκεια βροχόπτωσης,
- ✓ τη συχνότητα βροχόπτωσης,
- ✓ το εμβαδόν της λεκάνης απορροής,

- ✓ τις υδρολογικές απώλειες,

Γενικά, η ορθολογική μέθοδος παρέχει μόνο την παροχή αιχμής και λόγω ελλείψεως περισσοτέρων στοιχείων για τη διάχυση απορροής είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι τα υδρογραφήματα έχουν τη μορφή ισοσκελή τριγώνων. Η παροχή είναι συνάρτηση του συντελεστή απορροής, της έντασης της βροχόπτωσης και του εμβαδού της λεκάνης.

Η διάρκεια βροχόπτωσης, συσχετίζεται με το χρόνο συγκέντρωσης, δηλαδή, στις ιδιότητες της συγκέντρωσης της απορροής της λεκάνης. Κατ' αυτό τον τρόπο οι σημαντικότερες υδρολογικές διαδικασίες για την ανάλυση της απορροής ενσωματώνονται στον ορθολογικό τύπο.

Η ορθολογική μέθοδος δεν λαμβάνει σημαντικά υπόψη την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας της λεκάνης εκτός αν αυτό συνυπολογίζεται στο συντελεστή απορροής.

Η παροχή αιχμής πλημμύρας σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο και με την παραδοχή τριγωνικού υδρογραφήματος, που προέρχεται από βροχή ορισμένης συχνότητας και διάρκειας ίσης με το χρόνο συγκεντρώσεως της λεκάνης, είναι (σχέση 3.2):

$$Q_{\max} = C \cdot i \cdot A \quad (3.2)$$

όπου C = συντελεστής απορροής, ένας αδιάστατος εμπειρικός συντελεστής που εκφράζει το ποσοστό της απορροής ως προς τη συνολική βροχή που προσπίπτει στη λεκάνη

i = ένταση βροχής ορισμένης συχνότητας η οποία προσδιορίζεται με τη βοήθεια των όμβριων καμπυλών

A = εμβαδόν της λεκάνης

Για ένταση βροχόπτωσης σε χιλιοστά ανά ώρα (mm/h), λεκάνη απορροής σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2) και μέγιστη απορροή σε κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s), ο τύπος για την ορθολογική μέθοδο είναι ο ακόλουθος (σχέση 3.3):

$$Q_{\max} = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (3.3)$$

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Σημείωμα Αναφοράς

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

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

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



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

Επεξεργασία: Χρήστος Μυριούνης
Άρτα 2015