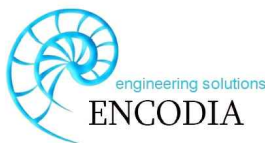


ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΟ

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΤΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ
ΡΕΜΑΤΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ - ΚΟΥΒΑΡΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΑΝΑΔΟΧΟΣ



Φ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ
Κ. ΜΟΝΟΚΡΟΥΣΟΥ
Μ. ΚΟΣΣΙΔΑ
Α. ΓΑΒΑΘΑΣ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ
ΑΓΡ. ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΜΕΛΕΤΗ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ -
ΠΡΟΤΑΣΗ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΥΧΟΥΣ

ΘΕΜΑ
ΤΕΥΧΟΥΣ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

T2

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΣΥΝΤΑΧΘΗΚΕ

Φ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ

07/2023

ENCODIA
ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ι.Κ.Ε.
ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
Υψητού 5 - Χολαργός Τ.Κ. 155 61
Τ: 210 6512487 - email: info@encodia.gr
Α.Φ.Μ. 800339138 - Δ.Ο.Υ. ΧΟΛΑΡΓΟΥ

ΕΛΕΓΧΘΗΚΕ

ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ

ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ

Περιεχόμενα

1. Υδρολογική ανάλυση – Υετογράφημα καταιγίδας	3
1.1. Όμβρια καμπύλη	3
1.1.1. Μεθοδολογία κατάρτισης ομβρίων καμπυλών	3
1.1.2. Εκτίμηση παραμέτρων όμβριων καμπυλών.....	7
1.1.3. Σύγκριση όμβριων καμπυλών στην περιοχή μελέτης	11
1.1.4. Κουτσογιάννης και Μπαλούτσος (1998).....	12
1.1.5. Προμελέτη διευθέτησης ρέματος Ραφήνας (ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ10, 2008).....	13
1.1.6. Όμβρια καμπύλη για τον Σταθμό Μαρκόπουλο (ΣΔΥΚΠ, 2017)	13
1.1.7. Εκτίμηση παραμέτρων όμβριας καμπύλης στην περιοχή μελέτης.....	13
1.2. Διάρκεια καταιγίδας – βήμα υπολογισμών	15
1.3. Επιλογή περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού	16
1.4. Αναγωγή σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή	16
1.5. Χρονική κατανομή συνολικού ύψους βροχής	17
2. Υδρολογική ανάλυση – Ενεργός βροχόπτωση	19
2.1. Μέθοδος SCS.....	19
3. Λοιπές παράμετροι σχεδιασμού	24
3.1. Χρόνος συγκέντρωσης.....	24
3.1.1. Carter.....	24
3.1.2. Espey / Winslow	24
3.1.3. Giandotti.....	25
3.1.4. Kerby / Hathaway.....	25
3.1.5. Kirpich και Kirpich (PA)	26
3.1.6. Επιλογή Μεθόδου	26
3.2. Μοναδιαία υδρογραφήματα	27
3.2.1. Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS	27
3.3. Διόδευση Πλημμύρας	29
3.3.1. Μοντέλο Muskingum-Cunge	30
4. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα	31

4.1.	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής.....	31
4.2.	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά	31
4.3.	Εκτίμηση πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού	34

1. Υδρολογική ανάλυση – Υετογράφημα καταιγίδας

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει η ΚΥΑ 140055/2017 για την εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών στην περιοχή μελέτης θα γίνει εκτίμηση του υετογραφήματος σχεδιασμού με βάση τις όμβριες καμπύλες της περιοχής και ακολούθως θα εκτιμηθεί το πλημμυρογράφημα σχεδιασμού για τις ανάντη λεκάνες απορροής των τμημάτων ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά υπό μελέτη.

1.1. Όμβρια καμπύλη

Η μεθοδολογία για την εκτίμηση της όμβριας καμπύλης που αναλύεται ακολούθως αλλά και η τελική της έκφραση που χρησιμοποιείται για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης έχουν προέλθει από τη μελέτη «Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (ΕΛ06)».

1.1.1. Μεθοδολογία κατάρτισης ομβρίων καμπυλών

Η κατάρτιση των όμβριων καμπυλών συνίσταται στη στατιστική ανάλυση των ισχυρών βροχοπτώσεων μιας συγκεκριμένης περιοχής. Οι καμπύλες αυτές ουσιαστικά αποτελούν αναλυτικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχόπτωσης i συναρτήσει της διάρκειας καταιγίδας d και της περιόδου επαναφοράς T . Οι μετρήσεις (καταγραφές) προέρχονται από καταγεγραμμένα επεισόδια βροχόπτωσης μέσω βροχομέτρων και βροχογράφων.

Για κάθε τέτοια αναλυτική έκφραση απαιτούνται ιστορικές χρονοσειρές μέγιστων εντάσεων βροχόπτωσης για διάφορες διάρκειες που (επιθυμητά) ξεκινούν από τα 5 min και καταλήγουν στη μέγιστη διάρκεια βροχής που αφορά τη διαστασιολόγηση και τον υδραυλικό έλεγχο τεχνικών έργων (2 έως 4 ημέρες). Συνεπώς, η κατάρτιση των όμβριων καμπυλών προϋποθέτει την ύπαρξη μετρήσεων υψηλής χρονικής ευκρίνειας, η οποία υφίσταται συνήθως σε καταγραφές βροχογράφων ή σύγχρονων ψηφιακών αισθητήρων.

Αντίθετα, τα βροχόμετρα έχουν μειωμένη χρονική ευκρίνεια, της τάξης των 12 ή 24 ωρών και επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία όμβριων καμπυλών υψηλής αξιοπιστίας. Παρόλα αυτά, εάν συναξιολογηθούν οι καταγραφές βροχομέτρων με δεδομένα προερχόμενα από γειτονικούς βροχογράφους, είναι δυνατή η εξαγωγή όμβριων καμπυλών με έμμεσο

τρόπο, παρόλο που δεν υφίσταται μέχρι σήμερα ενιαία καθιερωμένη μεθοδολογία για το σκοπό αυτό.

Στην παρούσα έκθεση υιοθετείται η γενική μεθοδολογία για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών, η οποία αναπτύχθηκε πρόσφατα και έχει εφαρμοστεί σε πολλές μελέτες και ερευνητικές εργασίες με επιτυχία (Koutsoyiannis et al, 1998, Koutsoyiannis, 1999).

Οι όμβριες καμπύλες περιγράφονται αναλυτικά από τη γενική σχέση (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et al, 1998, Koutsoyiannis, 1999):

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

όπου:

i: η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης διάρκειας d για περίοδο επαναφοράς T

a(T): κατάλληλη συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς

b(d): κατάλληλη συνάρτηση της διάρκειας βροχόπτωσης

Έχει διαπιστωθεί ότι η κατάλληλη συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς δίδεται από την εμπειρικά διαπιστωμένη σχέση:

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

όπου:

b(d): κατάλληλη συνάρτηση της διάρκειας βροχόπτωσης

d: η διάρκεια της βροχόπτωσης

θ: παράμετρος προς εκτίμηση ($\theta > 0$)

η: παράμετρος προς εκτίμηση $0 < \eta < 1$

Όσον αφορά την κατάλληλη συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς, αυτή προκύπτει από τη συνάρτηση κατανομής που ισχύει για τη μέγιστη ένταση βροχής της υπό εξέταση περιοχής, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων. Έχει διαπιστωθεί ότι μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχής σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων είναι η κατανομή ΓΑΤ (Γενική Ακραίων Τιμών, General Extreme Value distribution), η οποία ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I, II και III:

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

με τον περιορισμό:

$$x \geq \lambda \left(\psi - \frac{1}{\kappa} \right)$$

Όπου:

F(x): η συνάρτηση κατανομής για τιμές της μεταβλητής x

κ: παράμετρος σχήματος με κ>0

λ: παράμετρος κλίμακας με λ>0

ψ: παράμετρος θέσης με τον προαναφερόμενο περιορισμό

Επειδή για σειρές μεγίστων ισχύει F(x)=1-1/T, η παραπάνω σχέση επιλύεται ως προς x με ρητό τρόπο:

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

Εάν κ=0, τότε η παραπάνω σχέση ταυτίζεται με την κατανομή μεγίστων τύπου I (Gumbel), ενώ εάν κ=1/ψ, τότε η παραπάνω σχέση ταυτίζεται με την κατανομή μεγίστων τύπου II.

Η κατανομή Gumbel έχει γίνει αποδεκτή ευρύτατα στην Ελλάδα και διεθνώς για την περιγραφή μέγιστων εντάσεων βροχής, χρησιμοποιώντας συνήθως δείγματα μήκους λίγων δεκάδων ετών. Ωστόσο, η μελέτη ενός δείγματος αρκετά μεγαλύτερου μήκους, του δείγματος ημερήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων του Αστεροσκοπείου Αθηνών, μήκους 136 ετών, έδειξε ότι η κατανομή Gumbel απορρίπτεται στατιστικώς, 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 κ = 0.16 έως 0.19 φάνηκε να είναι κατάλληλη για το υπόψη δείγμα (Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000).

Από πρόσφατη στατιστική διερεύνηση (Koutsoyiannis, 1999) των δεδομένων από 2645 σταθμούς όλου του κόσμου, με συνολικό πλήθος μετρήσεων 95 000 σταθμών-ετών, τα οποία είχαν μελετηθεί

παλιότερα από τον Hershfield (1961, 1965) και αποτέλεσαν τη βάση για τη διατύπωση της φερώνυμης μεθόδου εκτίμησης της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης (ΠΜΚ· probable maximum precipitation – PMP) διαπιστώθηκε ότι:

- (α) η κατανομή ΓΑΤ είναι γενικά κατάλληλη για ετήσιες σειρές μέγιστων βροχοπτώσεων,
- (β) η τιμή που υπολογίζεται τη μέθοδο Hershfield (1961, 1965) ως ΠΜΚ, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς περίπου 60000 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:

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

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, 1999).

Τα παραπάνω συνηγορούν στην αποδοχή της ΓΑΤ ως κατάλληλης κατανομής για μέγιστες βροχοπτώσεις. Αντίθετα, η χρήση της κατανομής Gumbel (μεγίστων τύπου I) θα πρέπει να αποφεύγεται, δεδομένου ότι οδηγεί σε σοβαρή υπεκτίμηση των εντάσεων βροχής για μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλου μήκους δείγμα, η παράμετρος σχήματος της κατανομής ΓΑΤ μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να εκτιμάται από την προαναφερόμενη στατιστική διερεύνηση.

Η αποδοχή της κατανομής ΓΑΤ σε συνδυασμό με τη γενική αναλυτική έκφραση των όμβριων καμπυλών οδηγεί στην ακόλουθη γενικευμένη έκφραση:

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

Στην εξίσωση αυτή, η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται σε σειρές ετήσιων μεγίστων και κατά συνέπεια παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 1 έτος. Αν η περίοδος επαναφοράς οριστεί με αναφορά σε σειρές υπεράνω κατωφλίου, οπότε μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από 1 έτος, η αντίστοιχη

εξίσωση προκύπτει θεωρητικά ότι έχει την ακόλουθη απλούστερη έκφραση (Koutsoyiannis et al., 1998):

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

Για μικρές περιόδους επαναφοράς, η τελευταία εξίσωση είναι προφανώς δυσμενέστερη από την αντίστοιχή της γενικότερη, ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς ($T > 10$ χρόνια) πρακτικώς οι δυο εξισώσεις ταυτίζονται, δεδομένου ότι για μικρές τιμές του $1 / T$ ισχύει:

$$\ln \left[1 - \left(\frac{1}{T} \right) \right] = - \left(\frac{1}{T} \right) - \left(\frac{1}{T} \right)^2 - \dots \cong - \frac{1}{T}$$

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.

1.1.2. Εκτίμηση παραμέτρων όμβριων καμπυλών

Στο πρώτο βήμα γίνεται η εκτίμηση των παραμέτρων της συνάρτησης $b(d)$ (των θ και η) από τα δεδομένα των βροχογράφων και στο δεύτερο αυτών της $a(T)$ (των λ , ψ και κ της κατανομής ΓΑΤ) από τα δεδομένα των βροχομέτρων.

Υποθέτουμε πως είναι γνωστές οι παράμετροι η και θ . Οι βέλτιστες τιμές η και θ προκύπτουν με την ελαχιστοποίηση μιας στατιστικής παραμέτρου H . Έστω οι k χρονοσειρές ετησίων μεγίστων που αντιστοιχούν σε διάρκειες d_j , $j=1..k$. Αν n_j το μέγεθος κάθε δείγματος (χρονοσειράς) τότε ενοποιώντας όλα τα δείγματα, παράγουμε ένα δείγμα μεγέθους:

$$m = \sum_{j=1}^k n_j$$

Με βάση το δείγμα αυτό, καταταγμένο σε φθίνουσα σειρά, μπορούμε να αντιστοιχίσουμε αύξοντες αριθμούς ή βαθμούς (ranks) r_{ji} σε όλες τις m τιμές y_{ji} (Για την περίπτωση που έχουμε ταυτόσημες τιμές y_{ji} χρησιμοποιούμε το μέσο όρο των αντίστοιχων βαθμών). Επανερχόμενοι στα αρχικά επιμέρους δείγματα των ξεχωριστών χρονικών κλιμάκων υπολογίζουμε για κάθε χρονική κλίμακα d_j το μέσο βαθμό:

$$\bar{r}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^k r_{ji}$$

Αν όλα τα επιμέρους δείγματα έχουν την ίδια κατανομή τότε κάθε \bar{r}_j θα πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή $\bar{r} = (m+1)/2$, διαφορετικά οι τιμές \bar{r}_j θα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Αυτό μας οδηγεί στη χρήση της στατιστικής παραμέτρου Kruskal - Wallis (βλ. π.χ. Hirsch et al., 1993, σελίδα 17.25), η οποία συνδυάζει τους μέσους βαθμούς από όλα τα επιμέρους δείγματα:

$$H = \frac{6}{\bar{r}(2\bar{r}-1)} \sum_{j=1}^k n_j (\bar{r}_j - \bar{r})^2$$

Κατά συνέπεια, το πρόβλημα του προσδιορισμού των παραμέτρων θ και η μπορεί να αναχθεί στην ελαχιστοποίηση της στατιστικής παραμέτρου H .

Σημειώνεται ότι αν τα επιμέρους δείγματα είναι ανεξάρτητα, τότε η στατιστική συνάρτηση \bar{H} , της οποίας η σημειακή εκτίμηση είναι η παραπάνω τιμή H , ακολουθεί κατανομή χ^2 με $k - 1$ βαθμούς ελευθερίας. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατός ο έλεγχος της υπόθεσης $\bar{H} = 0$, που ισοδυναμεί με την υπόθεση ότι όλα τα δείγματα προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό. Ο έλεγχος αυτός είναι μη παραμετρικός με την έννοια ότι δεν κάνει καμιά υπόθεση σχετικά με την κατανομή που ακολουθεί η μεταβλητή y . Ωστόσο, στην περίπτωση που εξετάζουμε, τα επιμέρους δείγματα που αναφέρονται σε διαφορετικές διάρκειες δεν είναι ανεξάρτητα, αλλά, αντίθετα, ισχυρώς συσχετισμένα. Έτσι δεν είναι γνωστή η κατανομή της \bar{H} και δεν είναι δυνατός ο στατιστικός έλεγχος. Πάντως, ο στόχος της ελαχιστοποίησης της τιμής H εξακολουθεί να έχει νόημα και σε αυτή την περίπτωση.

Η αναλυτική ελαχιστοποίηση δεν είναι δυνατή και γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αριθμητική μέθοδος βελτιστοποίησης. Για λόγους καλύτερης προσαρμογής της συνάρτησης $b(d)$

στην περιοχή των υψηλότερων εντάσεων, είναι σκόπιμο να μη χρησιμοποιείται σε αυτό το πρώτο στάδιο υπολογισμού το σύνολο των δεδομένων κάθε επιμέρους δείγματος, αλλά ένα μέρος αυτών των δεδομένων. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο το υψηλότερο 1/2 ή 1/3 των δεδομένων από κάθε χρονική κλίμακα, αφού τα δεδομένα καταταχτούν σε φθίνουσα σειρά (σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιείται το υψηλότερο 1/3 των δεδομένων).

Αφού προσδιοριστούν οι παράμετροι θ και η , η εκτίμηση των παραμέτρων της συνάρτησης $a(T)$ είναι απλή και γίνεται στο δεύτερο στάδιο υπολογισμού. Συγκεκριμένα, οι τελευταίες παράμετροι εκτιμώνται με τις τυπικές μεθόδους της στατιστικής, χρησιμοποιώντας το ενοποιημένο δείγμα που περιέχει όλα τα m δεδομένα y_j . Είναι βέβαια αυτονόητο ότι σε αυτό το δεύτερο στάδιο υπολογισμού πρέπει να χρησιμοποιείται το σύνολο των δεδομένων, και όχι ένα τμήμα τους.

Ειδικότερα, η εκτίμηση των παραμέτρων λ , ψ και κ της κατανομής ΓΑΤ μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους της στατιστικής, από τις οποίες εδώ παρουσιάζονται οι δύο συνηθέστερες.

Η πρώτη είναι η διαδεδομένη μέθοδος των ροπών, η οποία βασίζεται στις εξισώσεις:

$$C_s = \frac{\Gamma(1-3\kappa) - 3\Gamma(1-2\kappa)\Gamma(1-\kappa) + 2\Gamma^3(1-\kappa)}{[\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)]^{3/2}}$$
$$\lambda = \frac{\kappa\sigma}{\sqrt{\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)}}$$
$$\psi = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa) - 1}{\kappa}$$

όπου μ η μέση τιμή, σ η τυπική απόκλιση και C_s ο συντελεστής ασυμμετρίας της κατανομής, ενώ $\Gamma(\cdot)$ είναι η συνάρτηση γάμα. Η εξίσωση C_s λύνεται μόνο αριθμητικά και δίνει την παράμετρο κ . Μια πολύ καλή προσέγγιση δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Koutsoyiannis, 2004b):

$$\kappa = \frac{1}{3} - \frac{1}{0.31 + 0.91C_s + \sqrt{(0.91C_s)^2 + 1.8}}$$

Στην περίπτωση που εξετάζουμε σχετικά μικρά δείγματα υψών βροχής, αντί να χρησιμοποιούμε τη γενική εξίσωση του C_s , μπορούμε να χρησιμοποιούμε βιβλιογραφικές τιμές του κ , όπως

αναφέρθηκε παραπάνω, δεδομένου ότι η εκτίμηση του συντελεστή ασυμμετρίας της κατανομής είναι επισφαλής.

Η δεύτερη είναι η μέθοδος των L-ροπών, μια σχετικά νεότερη μέθοδος εκτίμησης παραμέτρων. Σε αντίθεση με την κλασική μέθοδο ροπών, η μέθοδος των L-ροπών αποφεύγει την ύψωση στο τετράγωνο ή στον κύβο των τιμών του δείγματος· για το λόγο αυτό οδηγεί σε πιο εύρωστες εκτιμήσεις, αφού δεν αποδίδει υπερβολική σημασία σε τυχόν εμφάνιση μίας ή περισσότερων εξαιρετικά ασυνήθων τιμών στο δείγμα.

Η μέθοδος στηρίζεται στις ακόλουθες εξισώσεις (Koutsoyiannis, 2004a,b), η πρώτη από τις οποίες είναι προσεγγιστική:

$$\kappa = 7.8c - 1.43c^2$$
$$\lambda = \frac{\kappa \lambda_2}{\Gamma(1-\kappa)(2^\kappa - 1)}$$
$$\psi = \frac{\lambda_1}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa) - 1}{\kappa}$$

όπου:

$$c = \frac{\ln 2}{\ln 3} - \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2}$$

και λ_1 , λ_2 και λ_3 οι τρεις πρώτες L-ροπές της κατανομής. Αμερόληπτες εκτιμήσεις των τριών πρώτων L-ροπών δίνονται από τις εξισώσεις (βλ. Stedinger et al., 1993, σ. 18.6):

$$\hat{\lambda}_1 = b_0$$
$$\hat{\lambda}_2 = 2b_1 - b_0$$
$$\hat{\lambda}_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

όπου b_0 , b_1 και b_2 οι εκτιμήσεις των πιθανοτικά σταθμισμένων ροπών (probability-weighted moments). Οι τελευταίες δίνονται από τις εξισώσεις:

$$b_0 = \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

$$b_1 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)x_j$$
$$b_2 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-2} (n-j)(n-j-1)x_j$$

όπου n το μέγεθος του δείγματος και $x(j)$ ($j = 1, \dots, n$) η τιμή του δείγματος που έχει σειρά j στο καταταγμένο σε φθίνουσα σειρά δείγμα.

1.1.3. Σύγκριση όμβριων καμπυλών στην περιοχή μελέτης

Προκειμένου να δοθεί η τελική εξίσωση της όμβριας καμπύλης που θα χρησιμοποιηθεί για την εξεταζόμενη περιοχή, κρίνεται σκόπιμο να συγκριθούν οι όμβριες καμπύλες που έχουν εξαχθεί σε παλαιότερες μελέτες στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

1.1.3.1 Μαχαίρας – Παιανία (1983)

Στην Τεχνική Έκθεση για τις όμβριες καμπύλες που αποτελεί παραδοτέο του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας για το ΥΔ Αττικής και προκειμένου για την εξαγωγή της όμβριας καμπύλης για την περιοχή του Μαρκόπουλου (που βρίσκεται πλησίον της περιοχής μελέτης) δίνεται συγκριτικά η όμβρια καμπύλη από Μαχαίρα (1983).

Κατά την “Προμελέτη Διευθέτησως Ρέματος Ραφήνας” η οποία εκπονήθηκε από το Γραφείο Μαχαίρα για λογαριασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ (Δ3) το 1983, υπολογίστηκε όμβρια καμπύλη για την περιοχή της Παιανίας χρησιμοποιώντας στοιχεία παρατηρήσεων ύψους - διάρκειας από βροχόμετρο, για τα έτη 1952-56, 1958-59 και 1963-66 από σταθμό του Υπουργείου Γεωργίας ο οποίος λειτούργησε κατά την περίοδο 1949-66, καθώς και του βροχογράφου της ΕΜΥ για τα έτη 1973-75. Η όμβρια καμπύλη έχει τη μαθηματική έκφραση:

$$i(d, T) = \frac{14,37 (T^{0,306})}{d^{0,537}}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη ορεινής περιοχής στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, η προαναφερθείσα Προμελέτη Διευθέτησως Ρέματος Ραφήνας προτείνει προσαύξηση κατά 20-25%

προκειμένου να βρεθεί η όμβρια καμπύλη της όλης λεκάνης. Η τελικά προτεινόμενη σχέση για την λεκάνη ρέματος Ραφήνας είναι:

$$i(d, T) = \frac{18,0 (T^{0,306})}{d^{0,537}}$$

Η ίδια πρακτικώς καμπύλη (μετά από στρογγύλευση κατά 1 δεκαδικό ψηφίο των συντελεστών) χρησιμοποιήθηκε και για τη λεκάνη Ερασίνου και στα πλαίσια μελετών της Αττικής Οδού.

1.1.3.2 ΥΔΡΟΜΕΤ ΕΠΕ (1984)

Η ΥΔΡΟΜΕΤ ΕΠΕ (1984) εξήγαγε μία όμβρια καμπύλη για το ρέμα Πικροδάφνης και έχει προκύψει από υδρολογική επεξεργασία 22 ετών του βροχομετρικού σταθμού της ΕΜΥ στο Αεροδρόμιο του Ελληνικού. Χρησιμοποιήθηκε επίσης και στη μελέτη της ΕΥΔΑΠ (1996) για περιοχές της Νότιας και Ανατολικής Αττικής.

- $T=10 \rightarrow i = 3077/(t+25)$
- $T=20 \rightarrow i = 3740/(t+26)$
- $T=50 \rightarrow i = 4833/(t+28)$

Όπου t σε min και i σε mm/h.

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν και για τον προσδιορισμό των παροχών του ρέματος Κιτέζας του Δήμου Καλυβίων. Η λεκάνη του ρέματος Κιτέζας συνορεύει με το ρέμα Καλυβίων και βρίσκεται νότια αυτού.

1.1.4. Κουτσογιάννης και Μπαλούτσος (1998)

Οι Κουτσογιάννης και Μπαλούτσος έχουν προτείνει τη σχέση:

$$i(d, T) = \frac{40,6 (T^{0,185} - 0,45)}{(d + 0,189)^{0,796}}$$

Η εξαγωγή αυτής της όμβριας καμπύλης βασίστηκε αφενός στο δείγμα ετήσιων 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 του Ελληνικού. Η όμβρια καμπύλη αυτή αφορά την περιοχή των Αθηνών.

1.1.5. Προμελέτη διευθέτησης ρέματος Ραφήνας (ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ10, 2008)

Στα πλαίσια της εκπονούμενης προμελέτης του ρ. Ραφήνας προσδιορίστηκε νέα όμβρια καμπύλη, ως σταθμισμένη μέση μεταξύ αυτής του Ζωγράφου και αυτής του άνω ορίου του Μαρκόπουλου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ως ακολούθως:

- $T=10 \rightarrow i = 38,463 t^{-0,619}$
- $T=20 \rightarrow i = 45,585 t^{-0,613}$
- $T=50 \rightarrow i = 51,348 t^{-0,609}$

Όπου t σε min και i σε mm/h.

1.1.6. Όμβρια καμπύλη για τον Σταθμό Μαρκόπουλο (ΣΔΥΚΠ, 2017)

Σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση για τις όμβριες καμπύλες, η εξαγόμενη όμβρια καμπύλη για τον πλησιέστερο στην περιοχή μελέτης σταθμό (αυτόν του Μαρκόπουλου), έχει την ακόλουθη μορφή:

$$i(d, T) = \frac{275,81 (T^{0,07} - 0,805)}{\left(1 + \frac{d}{0,124}\right)^{0,622}}$$

Ο σταθμός βρίσκεται σε απόσταση μόλις 1,3 km βορειότερα από την συμβολή των ρεμάτων Κουβαρά και Καλυβίων.

1.1.7. Εκτίμηση παραμέτρων όμβριας καμπύλης στην περιοχή μελέτης

Με βάση τα ανωτέρω, εκτιμήθηκαν οι παράμετροι της συνάρτησης $b(d)$. Στο δεύτερο βήμα εκτιμήθηκαν οι παράμετροι της συνάρτησης $a(T)$ χρησιμοποιώντας ένα ενοποιημένο δείγμα των ετήσιων μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής. Σημειώνεται ότι η διαδικασία που ακολουθήθηκε και η εκτίμηση των παραμέτρων για την όμβρια καμπύλη είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ

ΚΥΑ 140055/2017. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων για την περιοχή μελέτης φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 1.1 Εκτιμημένες παράμετροι όμβριας καμπύλης στην περιοχή μελέτης

Παράμετρος	Τιμή
κ	0,07
λ' (mm)	275,8
ψ'	0,74
ϑ (h)	0,124
η	0,622

Η τελική έκφραση των όμβριων καμπυλών για το σύνολο παραμέτρων που αντιστοιχεί στο ενοποιημένο δείγμα, είναι:

$$i(d, T) = \frac{275,81 (T^{0,07} - 0,74)}{\left(1 + \frac{d}{0,124}\right)^{0,622}}$$

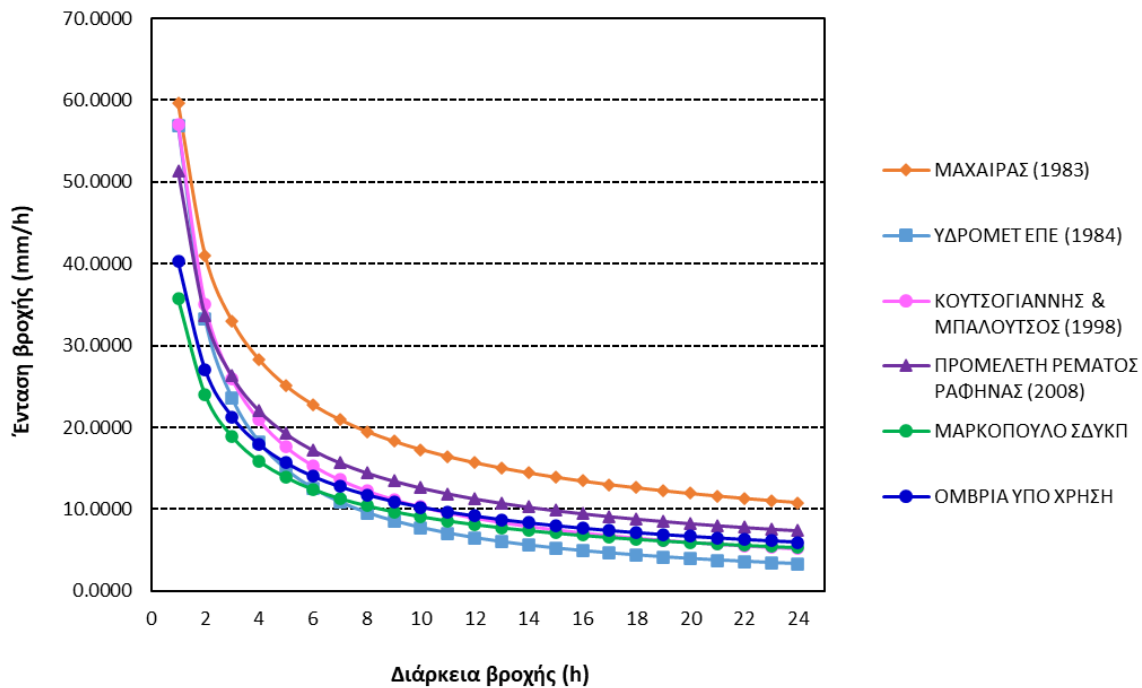
όπου **i**: η ένταση της βροχόπτωσης σε mm/h

d: ο χρόνος συγκέντρωσης σε h

T: η περίοδος επαναφοράς σε έτη

Στο επόμενο σχήμα γίνεται σύγκριση των όμβριων καμπυλών στην ευρύτερη περιοχή. Παρατηρείται ότι όλες οι όμβριες καμπύλες σε μελέτες πρϋφιστάμενες του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας για το ΥΔ Αττικής υπερεκτιμούν αρκετά την ένταση βροχής, ειδικότερα σε μεγαλύτερες διάρκειες βροχής, ανώ της ώρας. Σε μεγαλύτερες λεκάνες απορροής όπου ο χρόνος συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος στην έξοδο της λεκάνης όπου μελετώνται έργα διευθέτησης/αντιπλημμυρικής προστασίας, η διαφορά αυτή μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση των έργων.

Η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη δίνει τιμές μεταξύ της όμβριας καμπύλης για τον σταθμό του Μαρκόπουλου (ΣΔΥΚΠ, 2017) και της όμβριας καμπύλης που χρησιμοποιήθηκε στην προμελέτη του ρέματος Ραφήνας (2008), η οποία αποτελεί και την όμβρια που χρησιμοποιήθηκε στην Υδραυλική Μελέτη της Μελέτης Οριοθέτησης, στο πλαίσιο του έργου «Μελέτη Διευθέτησης Κατάντη Τμημάτων των Ρεμάτων Κουβαρά και Καλυβίων» (Υδροεξυγιαντική, 2014).



Σχήμα 1.1: Σύγκριση όμβριων καμπυλών στην ευρύτερη περιοχή

1.2. Διάρκεια καταιγίδας – βήμα υπολογισμών

Η επιλογή της διάρκειας βροχόπτωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Γενικά η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού πρέπει να είναι τουλάχιστο ίση με το χρόνο συρροής της λεκάνης ώστε να «πιάνουμε» την πλημμυρική αιχμή.

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές των προαναφερθέντων σχεδίων διαχείρισης πλημμυρών: “Για την κατάρτιση των υετογραφημάτων για καταιγίδες με τις προαναφερθείσες περιόδους επαναφοράς, η διάρκεια βροχής λαμβάνεται ως πολλαπλάσιο του χρόνου συγκέντρωσης της ανάντη λεκάνης απορροής”.

Στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος Δευκαλίων (2014), συστήθηκε η διάρκεια του υετογραφήματος σχεδιασμού, να επιλέγεται ίση με το τριπλάσιο, τουλάχιστον, του χρόνου συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης. Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με τη σύγχρονη βιβλιογραφία, ο χρόνος του υετογραφήματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο συγκέντρωσης. Μελετήθηκε η συνολική ανάντη λεκάνη απορροής για τα ρέματα Καλυβίων και Κουβαρά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε **καταιγίδα 15 ωρών** (ο χρόνος συρροής της συνολικής ανάντη λεκάνης είναι 4,28 ώρες).

Σχετικά με τη χρονική διακριτότητα της βροχόπτωσης, που καθορίζει και το χρονικό βήμα D των υπολογισμών της υδρολογικής προσομοίωσης, η σύγχρονη βιβλιογραφία συνιστά να επιλέγεται ίση με το 1/3 του μικρότερου από τους χρόνους συγκέντρωσης των υπολεκανών, για την υπόψη περίοδο επαναφοράς. Γενικά, το χρονικό βήμα του υετογράμματος προτείνεται να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο των 10min. Στην παρούσα μελέτη επιλέγεται χρονικό βήμα υπολογισμών **D=10 min**.

1.3. Επιλογή περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού

Η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού των έργων έχει ληφθεί ίση με 50 έτη, ακολουθώντας την καθιερωμένη λογική σχεδιασμού έργων αντιπλημμυρικής προστασίας σε ρέματα με λεκάνες απορροής της τάξεως των ρεμάτων υπό μελέτη και τις απαιτήσεις του Νόμου 4258/2014 (ΦΕΚ 94/Α/2014) και της ΚΥΑ 140055/2017 (ΦΕΚ 428/Β/2017). Σημειώνεται ότι περίοδος επαναφοράς 50 ετών έχει ληφθεί στον σχεδιασμό των έργων στο πλαίσιο της «Μελέτης Διευθέτησης Κατάντη Τμημάτων των Ρεμάτων Κουβαρά και Καλυβίων» (Υδροεξυγιαντική, 2014), όπως επίσης στα κατάντη έργα στο ρέμα του Αγίου Γεωργίου, μετά τη συμβολή των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά.

1.4. Αναγωγή σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή

Τα τμηματικά ύψη βροχής που προκύπτουν από τις όμβριες καμπύλες, θα πρέπει να αναχθούν σε ύψη επιφανειακής έντασης βροχόπτωσης. Η αναγωγή γίνεται με πολλαπλασιασμό της σημειακής έντασης επί τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής (areal reduction factor) ϕ , ο οποίος είναι επίσης γνωστός στην ελληνική τεχνική ορολογία και ως (επιφανειακός) μειωτικός συντελεστής καθώς και ως συντελεστής ομοιομόρφισης.

Ο προσδιορισμός του ϕ θα γίνει από την ακόλουθη εξίσωση (βλ. Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999):

$$\phi = \max \left\{ 1 - \frac{0,048A^{0,36-0,01\ln A}}{d^{0,35}}, 0,25 \right\}$$

όπου:

ϕ : Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής

A : Έκταση λεκάνης (km²)

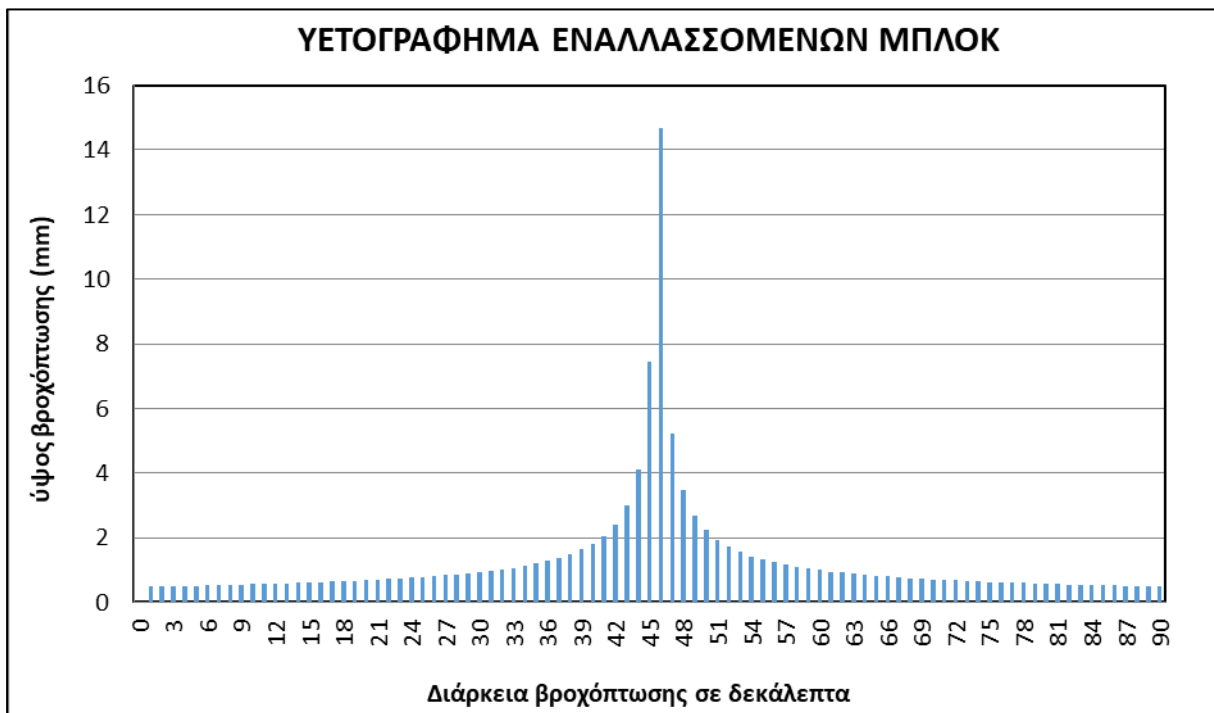
d : Διάρκεια βροχής (ώρες)

Η σχέση αυτή προέρχεται από προσαρμογή της μαθηματικής έκφρασης που βασίστηκε στα πινακοποιημένα αποτελέσματα του UK National Environmental Research Council (1975), τα οποία είναι και τα πληρέστερα σε ό,τι αφορά στο εύρος μεταβολής της χρονικής κλίμακας (1 min – 25 ημέρες) και της έκτασης (1 – 30 000 km²).

1.5. Χρονική κατανομή συνολικού ύψους βροχής

Έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες στις οποίες αποδεικνύεται ότι η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης είναι σημαντική για το παραγόμενο πλημμυρογράφημα. Πράγματι, δύο βροχοπτώσεις με ίδιο ύψος αλλά με διαφορετική κατανομή, στην ίδια διάρκεια, δίνουν διαφορετικά πλημμυρογραφήματα.

Το υετογράφημα σχεδιασμού παράγεται χρησιμοποιώντας τις σχετικές όμβριες καμπύλες της περιοχής και τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating block method) (Chow et al., 1988, σ. 466) για πλημμύρες μέσης και υψηλής πιθανότητας υπέρβασης, ήτοι με περιόδους επαναφοράς 50 και 100 χρόνια.



Σχήμα 4.1: Υετογράφημα εναλλασσόμενων μπλοκ

Αρχικά, για κάθε περίοδο επαναφοράς, υπολογίζονται τα τμηματικά ύψη βροχόπτωσης P_i , που προκύπτουν από την αντίστοιχη όμβρια καμπύλη, στα οποία εφαρμόζεται ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής. Στη συνέχεια, αυτά διατάσσονται στο χρόνο, έτσι ώστε η μεγαλύτερη τμηματική βροχόπτωση να βρίσκεται στο μέσον του υετογραφήματος και οι υπόλοιπες τιμές, κατά φθίνουσα σειρά, εναλλάξ δεξιά και αριστερά της μέγιστης τιμής μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επιμέρους διάρκειες.



Σχήμα 4.2: Αθροιστικό υετογράφημα εναλλασσόμενων μπλοκ

2. Υδρολογική ανάλυση – Ενεργός βροχόπτωση

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αποτυπώνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής από την προαναφερθείσα βροχόπτωση.

2.1. Μέθοδος SCS

Η ενεργός βροχόπτωση (ήτοι η βροχόπτωση που προκαλεί πλημμύρα μετά από την αφαίρεση των απωλειών από διήθηση κτλ.) προκύπτει με εφαρμογή της μεθόδου της Soil Conservation Service των ΗΠΑ (SCS, 1972). Η μέθοδος SCS (της Διεύθυνσης Soil Conservation Service του Αμερικανικού Υπουργείου Γεωργίας USDA) έχει μετονομαστεί σε μέθοδο NRCS (λόγω της μετονομασίας της Διεύθυνσης σε Natural Resources Conservation Service).

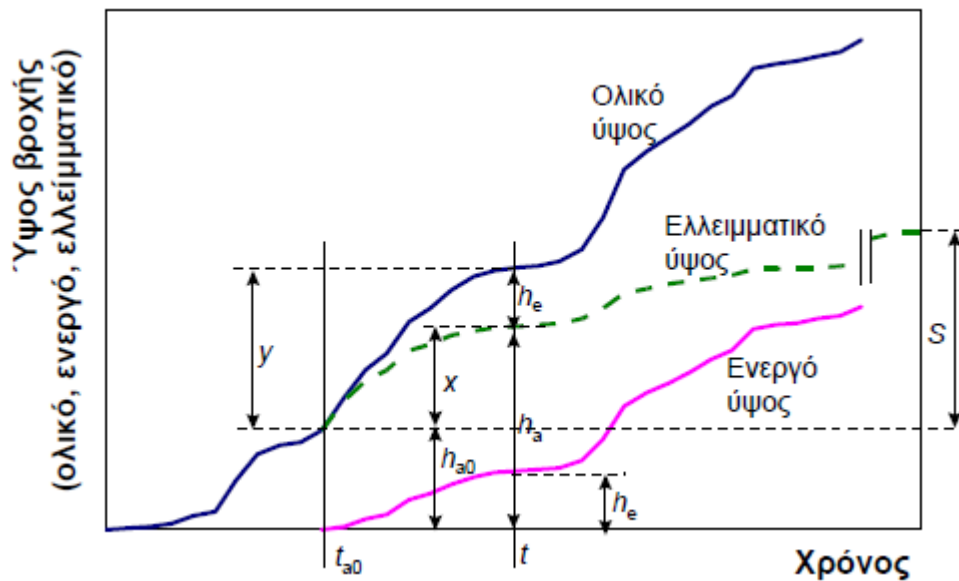
Στο πλαίσιο της εφαρμογής της μεθόδου NRCS, έχει εισαχθεί ο αριθμός καμπύλης απορροής (CN), προκειμένου να συμπυκνώσει τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής σε μία αντιπροσωπευτική τιμή. Συγκεκριμένα, η μέθοδος της NRCS υπολογίζει το ύψος του περισσεύματος βροχής από τρεις μεταβλητές: το ύψος βροχής, τα αρχικά έλλειμματα και το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους – φυτοκάλυψης που εκφράζεται από έναν αδιάστατο αριθμό, τον αριθμό καμπύλης απορροής CN (runoff curve number).

Η μέθοδος περιγράφει τη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών ελλειμμάτων στη διάρκεια του επεισοδίου βροχής, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{F}{S} = \frac{h_e}{h - h_{a0}}$$

Όπου,

- F: η πραγματική κατακράτηση,
- S: η μέγιστη δυνατή κατακράτηση (potential maximum retention),
- h_e : η ενεργός βροχόπτωση (απορροή),
- h: η συνολική βροχόπτωση και
- h_{a0} : το αρχικό έλλειμμα, λόγω κατακράτησης, διήθησης, επιφανειακής αποθήκευσης, κτλ.



Σχήμα 2.1: Σκαρίφημα για τη μέθοδο εκτίμησης ελλειμάτων σύμφωνα με την μέθοδο SCS-CN

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, και θέτοντας $F = h - h_e$, προκύπτει η εμπειρική σχέση:

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

Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιεί δύο παραμέτρους, τη μέγιστη δυνητική κατακράτηση S και τις αρχικές απώλειες h_{a0} , που μπορούν να εκφραστούν ως ποσοστό του S , ήτοι:

$$h_{a0} = \alpha S$$

όπου α το ποσοστό των αρχικών απωλειών. Στη βιβλιογραφία συστήνεται η γενική εφαρμογή ποσοστού 20%, οπότε $h_{a0} = 0.20 S$. Η τιμή αυτή έχει προκύψει ως μέσος όρος του 50% των παρατηρήσεων πεδίου (κυρίως από μετρήσεις διήθησης σε μικρές αγροτικές λεκάνες στις ΗΠΑ), που κυμαίνεται από 0.095 ως 0.38 (Ponce and Hawkins, 1996).

Με την έκφραση των αρχικών απωλειών ως ποσοστό α , η εμπειρική σχέση της ενεργούς βροχόπτωσης h_e γράφεται ως ακολούθως:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq \alpha S \\ \frac{(h - \alpha S)^2}{h + (1 - \alpha) S} & h > \alpha S \end{cases}$$

που για $\alpha = 0,20$ γράφεται:

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

Η παράμετρος S συνδέεται με ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος της λεκάνης, που καλείται αριθμός καμπύλης απορροής (curve number, CN), σύμφωνα με την εμπειρική σχέση:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Ο αριθμός CN προκύπτει με βάση τον υδρολογικό τύπο του εδάφους (διηθητικότητα), την κάλυψη, τον τρόπο διαχείρισης της γης καθώς και την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας (antecedent soil moisture, τύποι I, II και III). Οι τιμές του αριθμού αυτού λαμβάνονται από πίνακες για διάφορα σύμπλοκα εδαφικών τύπων και κάλυψης του εδάφους, για μέσες προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας II και θεωρητικά κυμαίνονται από 0 έως 100 (πρακτικά από 30 έως 98).

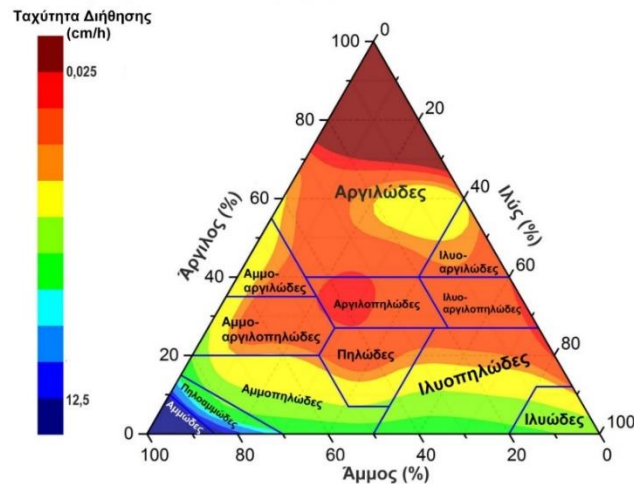
Εδαφικοί τύποι

Τα εδάφη έχουν ταξινομηθεί σε τέσσερις υδρολογικούς εδαφικούς τύπους (Hydrologic Soil Eloups-HSG) με βάση την εκτίμηση της δυνητικής απορροής τους. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με βάση την παραδοχή ότι η δυνητική απορροή είναι αντιστρόφως ανάλογη της Υδραυλικής Αγωγιμότητας Κορεσμού και συνεπώς της ταχύτητας διήθησης (cm/h).

- **Τύπος A:** Χαμηλή δυνητική απορροή. Το νερό κινείται ελεύθερα μέσα στο έδαφος, ακόμη και μετά από διαβροχή. Αφορά κυρίως βαθιά, καλά στραγγιζόμενα αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη. Ταχύτητα διήθησης $> 0,76$ cm/h. Τα ταξινομικά - διαγνωστικά όρια του τύπου A είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) όλων των οριζόντων να είναι μεγαλύτερη από 40 $\mu\text{m}/\text{sec}$, η αδιαπέραστη στρώση να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 50 cm και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα να είναι μεγαλύτερο από 60 cm. Τέλος, εδάφη βάθους άνω των 100 cm εντάσσονται στον Τύπο A, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων είναι μεγαλύτερη των 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$.
- **Τύπος B:** Εδάφη με χαμηλή έως μεσαία δυνητική απορροή, μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως εδάφη μετρίως βαθιά, μετρίως καλά στραγγιζόμενα με μέση έως λεπτή κοκκομετρία. Ταχύτητα διήθησης μεταξύ 0,4 και 0,76 cm/h. Τα ταξινομικά - διαγνωστικά όρια του τύπου B είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) στον ορίζοντα με τη χαμηλότερη περατότητα των

πρώτων 50 cm να κυμαίνεται μεταξύ 10 και 40 $\mu\text{m}/\text{sec}$, το βάθος της αδιαπέραστης στρώσης να είναι μεγαλύτερο των 50 cm και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα να είναι μεγαλύτερο των 60 cm. Τέλος εδάφη βάθους άνω των 100 cm εντάσσονται στον Τύπο Β, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων είναι μεγαλύτερη των 4 $\mu\text{m}/\text{sec}$, αλλά και μικρότερη των 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$.

- **Τύπος C:** Εδάφη με μεσαία έως υψηλή δυνητική απορροή μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως εδάφη είτε με ορίζοντα ή στρώση που περιορίζει την κατείδυση είτε με μέση έως λεπτή κοκκομετρία. Ταχύτητα διήθησης μεταξύ 0,12 και 0,4 cm/h. Τα ταξινομικά-διαγνωστικά όρια του τύπου C είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) στον ορίζοντα με τη χαμηλότερη περατότητα των πρώτων 50 cm να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$ το βάθος της αδιαπέραστης στρώσης να είναι μεγαλύτερο από 50 cm και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα να είναι μεγαλύτερο από 60 cm. Εδάφη βάθους άνω των 100 cm εντάσσονται στον Τύπο C, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων στα πρώτα 100 cm είναι μεγαλύτερη των 0,4 $\mu\text{m}/\text{sec}$, αλλά και μικρότερη των 4 $\mu\text{m}/\text{sec}$.
- **Τύπος D:** Υψηλή δυνητική απορροή. Η κίνηση της υγρασίας στο πορώδες τους γίνεται με περιορισμούς ή/και παρεμποδίζεται μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως αργιλώδη εδάφη με υψηλή δυνητική διόγκωση, είτε με μόνιμο υδροφορέα σε μικρό βάθος, είτε με αργιλικό ορίζοντα ή στρώση που περιορίζει την κατείδυση σε μικρό βάθος. Ταχύτητα διήθησης μικρότερη των 0,12 cm/h. Όλα τα εδάφη με στρώση μη διαπερατή από το νερό σε βάθος μικρότερο των 50 cm και όλα τα εδάφη με βάθος υδροφόρου ορίζοντα μικρότερο των 60 cm, ανήκουν στον τύπο D. Όπως επίσης και εδάφη με βάθος αδιαπέραστης στρώσης μεταξύ 50 και 100 cm η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) στον ορίζοντα με τη χαμηλότερη περατότητα είναι μικρότερη από 1 $\mu\text{m}/\text{sec}$ και εδάφη βάθους άνω των 100 cm (μέχρι τη μη περατή στρώση ή τον υδροφορέα) εντάσσονται στον Τύπο D, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων στα πρώτα 100 cm είναι μικρότερη των 0,4 $\mu\text{m}/\text{sec}$.



Διάγραμμα 5.2: Συσχέτιση μηχανικής σύστασης και ταχύτητας διήθησης

Ενδεικτικές τιμές του CN παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, για διάφορες χρήσεις γης και για τις τέσσερις κατηγορίες εδαφών. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε υδρολογική κατάσταση τύπου II.

Πίνακας 2.1 Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS για αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999, Chow et al., 1988)

Περιγραφή χρήσης γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις	62 - 72	71 - 81	78 - 88	81 - 91
Λιβάδια, βοσκότοποι	30 - 68	58 - 79	71 - 86	78 - 89
Δάση	25 - 45	55 - 66	70 - 77	77 - 83
Ανοιχτοί χώροι, πάρκα, νεκροταφεία κτλ.				
με κάλυψη από πράσινο > 75%	39	61	74	80
με κάλυψη από πράσινο 50- 75%	49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές				
Μέσο μέγεθος οικοπέδου (στρ) Ποσοστό αδιαπέρα- της επιφάνειας (%)				
≤ 0.5 65	77	85	90	92
1 38	61	75	83	87
1.5 30	57	72	81	86
2 25	54	70	80	85
4 20	51	68	79	84
Δρόμοι				
με οδόστρωμα και δίκτυο ομβρίων χαλικόστρωτοι	98	98	98	98
χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
χωματόδρομοι	72	82	87	89

3. Λοιπές παράμετροι σχεδιασμού

3.1. Χρόνος συγκέντρωσης

Ο χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της έντασης της κρίσιμης βροχόπτωσης μέσω των ομβρίων καμπυλών.

Στην περίπτωση που αποχετεύονται μη αστικές λεκάνες απορροής, τότε ο χρόνος συγκέντρωσης πρέπει να εκτιμηθεί από τα εκάστοτε χαρακτηριστικά των εξυπηρετούμενων λεκανών απορροής. Μερικές από τις συνηθέστερα απαντώμενες εξισώσεις υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης σε λεκάνες απορροής παρατίθενται στη συνέχεια.

3.1.1. Carter

Η εξίσωση αυτή εφαρμόστηκε από τον Carter σε υπονόμους της Washington DC, για τον υπολογισμό του χρόνου συγκεντρώσεως σε εξυπηρετούμενες λεκάνες μικρότερες από 18 km² και με κλίσεις της τάξεως του 2%.

$$t_c = 0.2 \cdot \frac{L^{0.6}}{J^{0.3}}$$

όπου:

- t_c , ο χρόνος συγκέντρωσης (h)
- L , το μήκος της κύριας μισγάγγειας της λεκάνης (km)
- J , η μέση κατά μήκος κλίση της (m/m)

3.1.2. Espey / Winslow

Η μέθοδος αυτή, υπολογίζει το χρόνο συρροής με βάση το συντελεστή ρεμάτων κατά Espey, που είναι συνάρτηση του αριθμού Manning και του ποσοστού αδιαπέρατου εδάφους, του μήκους διαδρομής και της μέσης κλίσης του εδάφους.

$$t_c = 5.33 \cdot \Phi \cdot \frac{L^{0.29}}{IMP^{0.6} \cdot J^{0.145}}$$

όπου:

- t_c , ο χρόνος συγκέντρωσης (h)
- L , το μήκος της κύριας μισογάγγειας της λεκάνης (km)
- J , η μέση κατά μήκος κλίση της (m/m)
- IMP , το ποσοστό αδιαπέρατου εδάφους (%)
- Φ , ο αδιάστατος συντελεστής ρεμάτων κατά Esrey

3.1.3. Giandotti

Η σχέση αυτή προέρχεται από παρατηρήσεις σε μεγάλες λεκάνες απορροής.

Σύμφωνα με τη μέθοδο του Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_M - H_E}}$$

Όπου:

- t_c ο χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες (h)
- A η έκταση της λεκάνης απορροής (km²)
- L το μήκος της κύριας μισογάγγειας (km)
- H_M το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m)
- H_E το υψόμετρο της λεκάνης απορροής στην έξοδό της (m)

3.1.4. Kerby / Hathaway

Εάν είναι γνωστός ο συντελεστής τριβής κατά Manning για την επιφάνεια απορροής, μπορεί να γίνει χρήση της μεθόδου που προτάθηκε από τους Kerby και Hathaway:

$$t_c = 0.62 \cdot \frac{(L \cdot n)^{0.47}}{J^{0.235}}$$

όπου:

- t_c , ο χρόνος συγκέντρωσης (h)

- L , το μήκος της κύριας μισγάγγειας της λεκάνης (km)
- J , η μέση κατά μήκος κλίση της (m/m)
- n , ο συντελεστής τριβής κατά Manning

3.1.5. Kirpich και Kirpich (PA)

Πρόκειται για την ίδια μέθοδο που δίνεται με δυο παραλλαγές. Η πρώτη, είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ελλάδα. Οι δυο παραλλαγές δίνουν εν γένει διαφορετικά αποτελέσματα, αφού η παραλλαγή (PA) εφαρμόζεται μόνο για λεκάνες με πολύ μικρή κλίση.

$$t_c = 0.066 \cdot \frac{L^{0.77}}{J^{0.385}}$$

$$\text{PA: } t_c = 0.011 \cdot \frac{L^{0.77}}{J^{0.5}}$$

όπου:

- t_c , ο χρόνος συγκέντρωσης (h)
- L , το μήκος της κύριας μισγάγγειας της λεκάνης (km)
- J , η μέση κατά μήκος κλίση της (m/m)

3.1.6. Επιλογή Μεθόδου

Η σχέση Giandotti, που παράχθηκε από ανάλυση μετρήσεων σε 12 λεκάνες, με εύρος μεγεθών από 170 έως 70.000 km², είναι η πλέον διαδεδομένη προσέγγιση στην ελληνική πρακτική, και είναι αυτή που συστήνεται από τις προδιαγραφές των υδραυλικών έργων (ΠΔ 696/1974). Στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Δευκαλίων (2014) θεωρήθηκε ως η πιο ρεαλιστική μέθοδος, η οποία δίνει αποδεκτές προγνώσεις της παροχής αιχμής, σε σχέση με τις άλλες που αποκλίνουν δραματικά από τις ιστορικές τιμές. Επιπλέον, μετά από εκτεταμένες αναλύσεις πλημμυρικών δεδομένων στην Κύπρο, θεωρήθηκε ως η μοναδική μέθοδος, που αναπαράγει με ικανοποιητική ακρίβεια τις παρατηρημένες παροχές αιχμής, μέσω της ορθολογικής μεθόδου (Γαλιούνα, 2011).

Στο υδρολογικό μοντέλο των λεκανών απορροής του υδατικού διαμερίσματος χρησιμοποιείται ο χρόνος υστέρησης t_p του υδρογραφήματος, που είναι ο χρόνος μεταξύ του κέντρου βάρους της βροχόπτωσης και της αιχμής του υδρογραφήματος, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με τις σχέσεις που διέπουν τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την παραγωγή συνθετικού υδρογραφήματος.

Για επιφανειακή ροή σε λεκάνες απορροής που παρουσιάζουν διαμορφωμένη μισγάγγεια, ο χρόνος συγκέντρωσης (συρροής) υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο του Giandotti. Για τους λόγους αυτούς, η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου συρροής που επιλέγεται είναι αυτή του Giandotti. Εφαρμόζοντας τον τύπο Giandotti, ο χρόνος συγκέντρωσης συνολικά για την ανάντη λεκάνη των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά είναι ίσος με **$t = 4,28$ ώρες**.

3.2. Μοναδιαία υδρογραφήματα

Η μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή θα πραγματοποιηθεί μέσω της κατάρτισης του απλούστερου υδρολογικού μοντέλου μετατροπής, του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος “ΜΥ”. Το “ΜΥ” αναπαριστά την απορροή που προκύπτει από καθαρή (ή ενεργή ή ωφέλιμη) βροχόπτωση μοναδιαίου ύψους μέσα σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η χρήση και η εφαρμογή του στη σύνθεση των πλημμυρογραφήματων μιας λεκάνης απορροής, έμμεσα προϋποθέτει τις παραδοχές:

- Η ωφέλιμη βροχόπτωση κατανέμεται ομοιόμορφα στη λεκάνη απορροής και η ένταση είναι σταθερή στο χρονικό διάστημα “ Δt ”.
- Το ΜΥ αποτελεί ένα γραμμικό μοντέλο. Δηλαδή, διπλασιασμός του όγκου της ωφέλιμης βροχόπτωσης προκαλεί επίσης διπλασιασμό των τιμών του υδρογραφήματος.
- Το υδρογράφημα που προκύπτει από ένα συγκεκριμένο τμήμα της ωφέλιμης βροχόπτωσης είναι ανεξάρτητο από τη διάρκεια της βροχόπτωσης όσο και από την προηγούμενη βροχόπτωση.
- Ωφέλιμη βροχόπτωση ίδιας διάρκειας θα προκαλέσει υδρογραφήματα με ίδιους χρόνους βάσης ανεξάρτητα από την ένταση της βροχόπτωσης.

3.2.1. Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS

Ένα από τα γνωστότερα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα είναι εκείνο που αναπτύχθηκε από τη Soil Conservation Service (SCS) των ΗΠΑ (Chow et al., 1988). Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα

της Soil Conservation Service (SCS) έχει ως τιμές αξόνων τα ποσοστά του χρόνου ανόδου και της παροχής αιχμής (NRCS, National Engineering Handbook, Hydrology, Part 630, Chapter 16, 2007).

Ο χρόνος ανόδου (T_p) ως την αιχμή του “ΜΥ” δίνεται από τη σχέση:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_{lag}$$

όπου:

- T_p [h]: ο χρόνος ανόδου,
- t_{lag} [h]: ο χρόνος υστέρησης της λεκάνης,
- D [h]: η διάρκεια της μοναδιαίας βροχόπτωσης.

Ο χρόνος υστέρησης της λεκάνης (ο χρόνος από το κέντρο βάρους του ωφέλιμου υετογραφήματος έως το χρόνο εμφάνισης της πλημμυρικής αιχμής) συνδέεται με τον αντίστοιχο χρόνο συρροής με την ακόλουθη σχέση:

$$T_{lag} = 0,6 \cdot t_c$$

Συνεπώς, ο χρόνος ανόδου T_p υπολογίζεται ως εξής:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + 0,6t_c$$

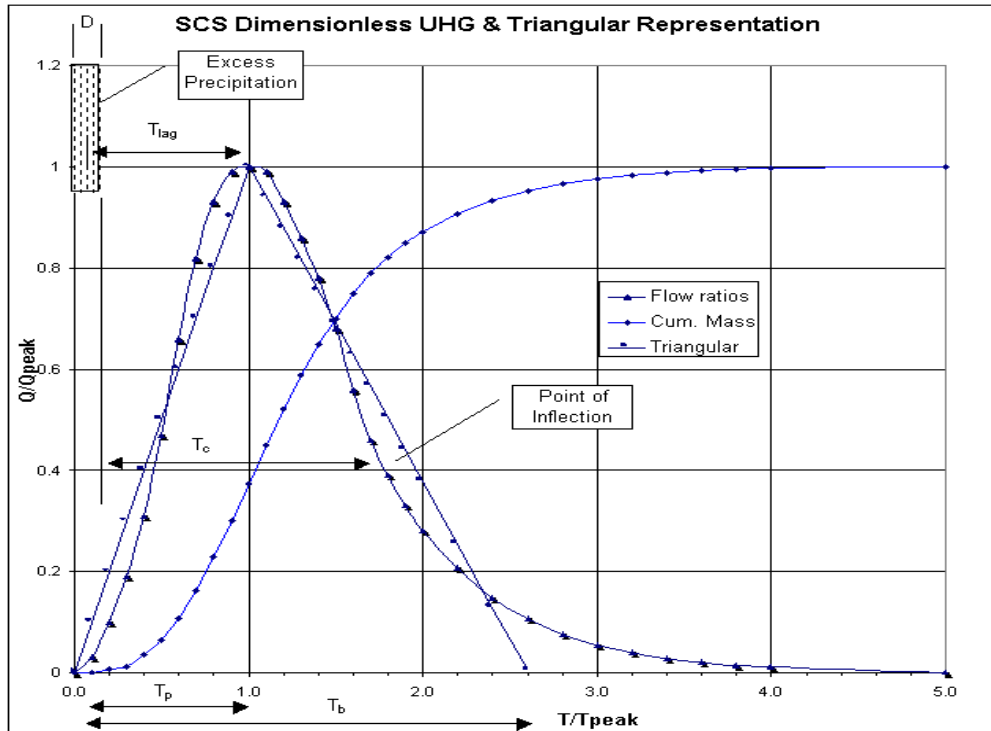
Η παροχή αιχμής Q_p του συνθετικού “ΜΥ” κατά SCS δίνεται από τη σχέση:

$$Q_p = \frac{2,08A}{T_p}$$

όπου:

- Q_p [m^3/s]: η παροχή αιχμής για μοναδιαία βροχόπτωση ύψους 1 cm
- A [km^2]: η έκταση της λεκάνης απορροής.

Η μέθοδος SCS προσφέρει και την εναλλακτική χρήση της πιο απλοποιημένης μορφής συνθετικού “ΜΥ”, αυτής του τριγωνικού “ΜΥ”, που έχει τις ίδιες παραμέτρους με το αδιάστατο “ΜΥ”, με τη διαφορά ότι, οι τετμημένες του έχουν μονάδες χρόνου με μέγιστη τιμή $T_b=2,67 \times T_p$ και οι τεταγμένες του έχουν μονάδες παροχής με μέγιστη τιμή Q_p (ή Q_{peak}). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το τριγωνικό και το αδιάστατο “ΜΥ” κατά SCS για σύγκριση.



Σχήμα 4.2: Αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS

Όπως προαναφέρθηκε, στην παρούσα μελέτη θα χρησιμοποιηθεί το αδιάστατο “MY” κατά SCS.

3.3. Διόδευση Πλημμύρας

Σε ποταμούς με δεντροειδή διάταξη υδρολογικού δικτύου, στους οποίους έχουν χωριστεί υπολεκάνες και έχουν ορισθεί κόμβοι, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, τα υδρογραφήματα προστίθενται από κόμβο σε κόμβο, αφού πρώτα έχει πραγματοποιηθεί η διόδευση τους (χρονική υστέρηση, μειωμένη αιχμή και αυξημένη χρονική διασπορά). Η μαθηματική αναπαράσταση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης της στάθμης $y(x, t)$ και της παροχής $q(x, t)$ του υδατορεύματος, κατά κανόνα περιγράφεται ικανοποιητικά από τις διαφορικές εξισώσεις μονοδιάστατης μη μόνιμης ροής βαθμιαίας μεταβολής σε αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια (Κουτσογιάννης, 1999, σ. 113). Οι κύριες παραδοχές που διέπουν την εν λόγω προσέγγιση είναι οι ακόλουθες:

- ισχύουν οι εξισώσεις συνέχειας και διατήρησης της ποσότητας κίνησης (εξισώσεις St. Venant)
- η κατά μήκος κλίση του αγωγού είναι σχετικά ήπια, ώστε η ροή να μην είναι υπερκρίσιμη
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών του είναι σταθερά (δεν λαμβάνονται υπόψη μεταφορές φερτών, επικαθήσεις, κτλ.)

- τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του αγωγού είναι χρονικά αμετάβλητα, και συνεπώς μπορούν να εφαρμοστούν οι συντελεστές τριβών (π.χ. συντελεστές Manning) της μόνιμης ομοιόμορφης ροής
- η ροή είναι σχεδόν ευθύγραμμη, οπότε αγνοείται η συμβολή των μαιανδρισμών
- αγνοούνται οι απώλειες λόγω διαστολής και συστολής των διατομών του υδατορεύματος
- αγνοούνται οι πρόσθετες απώλειες τριβών που σχετίζονται με την εσωτερική απώλεια ιξώδους σε μη Νευτώνεια ρευστά
- ο αγωγός έχει αρχική μη μηδενική παροχή νερού (δεν επιτρέπεται να είναι ξηρός).

3.3.1. Μοντέλο Muskingum-Cunge

Το μοντέλο Muskingum-Cunge, αποτελεί εξέλιξη του μοντέλου Muskingum από τον Cunge, η οποία ξεπερνά τους περιορισμούς της αρχικής μεθόδου, που αφορούν, αφενός σε χρήση παραμέτρων οι οποίες είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, αφετέρου σε υποθέσεις οι οποίες συχνά παραβιάζονται στα φυσικά κανάλια.

Το μοντέλο Muskingum-Cunge μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε με τυπική διαμόρφωση διατομής, παρόμοιας με αυτής του κινηματικού κύματος, είτε με διαμόρφωση διατομής 8 σημείων (περιγραφή της ακανόνιστης διατομής με 8 σημεία, με χρήση τιμών x, γ). Επιπλέον, απαιτούνται στοιχεία για το μήκος και την κλίση του καναλιού/ποταμού καθώς και οι συντελεστές Manning. Αν οι ιδιότητες του καναλιού αλλάζουν σημαντικά κατά το μήκος του, το κανάλι πρέπει να υποδιαιρεθεί τμηματικά ως μια σειρά συνδεδεμένων καναλιών, με τις ιδιότητες του κάθε τμήματος να ορίζονται ξεχωριστά. Για τις ανάγκες της παρούσας, θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Muskingum-Cunge.

4. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα

4.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής

Οι λεκάνες απορροής των ρεμάτων Κουβαρά και Καλυβίων αποτελούν τμήμα της συνολικής λεκάνης απορροής του ρέματος Ερασίνου που εκβάλλει στον όρμο της Βραυρώνας. Ο καθορισμός των λεκανών απορροής έγινε χαράζοντας τον τοπικό υδροκρίτη, ο οποίος συμπεριλαμβάνει κορυφές των ορεινών όγκων Λαυρεωτικής (π.χ. Πάνειο Όρος, Μερέντα). Η λεκάνη απορροής του ρ. Καλυβίων στα ανάντη (στο νότο) από κορυφές του Πάνειου Όρους, διέρχεται στα δυτικά από την περιοχή της κορυφής «Κέδρος», στα Β-ΒΔ από την κορυφή «Στρογγυλοπούλα» και την περιοχή Καμάρα. Στα Ν-ΝΑ περνάει από την περιοχή του Νέου Κουβαρά και διέρχεται από την κορυφή «Χελώνη». Ανατολικά διέρχεται μέσα από τον οικισμό Καλυβίων και στη συνέχεια, ακολουθώντας περίπου παράλληλη πορεία με την Λεωφόρο Λαυρίου, καταλήγει νότια του Μαρκόπουλου Αττικής, όπου τα ρ. Καλυβίων και Κουβαρά συμβάλλουν στο ρέμα Αγίου Γεωργίου. Η λεκάνη απορροής του ρέματος Κουβαρά στα ανατολικά μοιράζεται τον υδροκρίτη της λεκάνης του ρ. Καλυβίων, ο οποίος αποτελεί κοινό σύνορο των δύο λεκανών. Το όριο της λεκάνης στα Ν-ΝΑ διέρχεται γειτονικά της Κερατέας Αττικής, συνεχίζει ανατολικά στην περιοχή «Φανάρι» και διέρχεται από την κορυφή της Μερέντας (ύψος +613,80 m) και του Κάστρου. Κατόπιν, καταλήγει στη συμβολή των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά. Η συνολική έκταση της ΛΑΠ Καλυβίων είναι 17,75 km² ενώ της ΛΑΠ Κουβαρά 19,95 km².

Για την εύρεση των μέσων υψομέτρων των λεκανών απορροής υιοθετήθηκε η μεθοδολογία σταθμισμένου μέσου υψομέτρου. Πιο συγκεκριμένα, οι ΛΑΠ σχεδιάστηκαν σε χάρτες κλίμακας 1:5000 και 1:50000 της ΓΥΣ και χωρίστηκαν σε λωρίδες μεταξύ ισοϋψών. Στη συνέχεια, μετρήθηκε η έκταση κάθε λωρίδας και με βάση τους υπολογισμούς αυτούς και το μέσο υψόμετρο της κάθε λωρίδας υπολογίστηκε το τελικό μέσο υψόμετρο των ΛΑΠ.

4.2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά

Τα ρέματα Καλυβίων και Κουβαρά διέρχονται εν γένει από πεδινή – λοφώδη περιοχή. Το μήκος κύριας μισγάγγειας για το ρ. Καλυβίων είναι 9.430,90 m, με μέγιστο υψόμετρο 398 m ενώ για το ρ. Κουβαρά 9.869,15 m, με μέγιστο υψόμετρο 532 m. Η μέση κλίση της κύριας μισγάγγειας του ρ. Καλυβίων σε όλη της την έκταση είναι της τάξης του 6%, ενώ της κύριας μισγάγγειας του ρ. Κουβαρά της τάξης των 4,5%.

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής ρέματος Καλυβίων

Συνολικά στοιχεία ΛΑΠ ρ. Καλυβίων	Λ (ΚΑΛ) 1.1	Λ (ΚΑΛ) 1.2	Λ (ΚΑΛ) 1.3	Λ (ΚΑΛ) 1.4	Λ (ΚΑΛ) 1.5
Εμβαδόν λεκάνης (km ²)	5,12	4,20	1,28	3,66	3,49
Μήκος κύριας μισγάγγειας (m)	3.184,87	2.934,72	2.369,79	4.081,58	3.771,05
Υψόμετρο εξόδου	63,00	79,00	79,00	76,00	136,00
Μέγιστο υψόμετρο λεκάνης	206,00	296,10	191,30	471,00	595,00
Μέσο υψόμετρο λεκάνης	86,48	142,22	115,49	151,29	289,90
Μέγιστο υψόμετρο μισγάγγειας	79,00	220,00	132,00	340,00	398,00
Μέση κλίση κοίτης μισγάγγειας	0,0049	0,0942	0,0251	0,1266	0,0996
Χρόνος συγκέντρωσης (h) Giandotti	3,57	1,98	1,67	1,98	1,32
Συντελεστής διόρθωσης Giandotti	0,95	0,94	0,96	0,94	0,93
Ένταση βροχοπτώσης Giandotti (mm/h)	19,22	27,25	30,08	27,21	34,40
Διορθωμένη ένταση βροχόπτωσης Giandotti (mm/h)	18,18	25,56	28,77	25,60	32,08

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής ρέματος Κουβαρά

Συνολικά στοιχεία ΛΑΠ ρ. Κουβαρά	Λ(ΚΟΥΒ) 1.1	Λ(ΚΟΥΒ) 1.2	Λ(ΚΟΥΒ) 1.3	Λ(ΚΟΥΒ) 1.4	Λ(ΚΟΥΒ) 1.5	Λ(ΚΟΥΒ) 1.6	Λ(ΚΟΥΒ) 1.7	Λ(ΚΟΥΒ) 1.8	Λ(ΚΟΥΒ) 1.9	Λ(ΚΟΥΒ) 1.10
Εμβαδόν λεκάνης (km ²)	0,91	1,29	2,25	1,46	1,81	1,39	2,17	3,12	1,26	4,29
Μήκος κύριας μισγάγγειας (m)	1.672,56	1.463,05	2.123,05	1.911,61	2.370,50	2.170,32	2.170,32	3.554,39	1.979,57	3.355,06
Υψόμετρο εξόδου	63,00	70,00	82,00	100,00	100,00	118,00	116,00	136,00	160,00	144,00
Μέγιστο υψόμετρο λεκάνης	429,87	429,87	429,87	613,82	303,80	613,82	313,27	613,82	313,27	647,90
Μέσο υψόμετρο λεκάνης	142,32	126,99	158,06	236,80	155,99	249,84	186,51	294,93	205,10	324,01
Μέγιστο υψόμετρο μισγάγγειας	228,00	82,00	316,00	208,00	200,00	440,00	260,00	540,00	212,00	532,00
Μέση κλίση κοίτης μισγάγγειας	0,1698	0,0094	1,6369	0,1034	0,0538	0,2161	0,2613	0,1529	0,0526	0,1961
Χρόνος συγκέντρωσης (h) Giandotti	0,89	1,12	1,32	0,82	1,49	0,87	1,36	1,23	1,39	1,24
Συντελεστής διόρθωσης Giandotti	0,95	0,95	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,93	0,95	0,93
Ένταση βροχοπτώσης Giandotti (mm/h)	42,96	37,88	34,49	44,76	32,10	43,52	33,84	35,86	33,49	35,68
Διορθωμένη ένταση βροχόπτωσης Giandotti (mm/h)	40,88	35,96	32,49	42,12	30,45	41,06	31,93	33,48	31,93	33,05

4.3. Εκτίμηση πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού

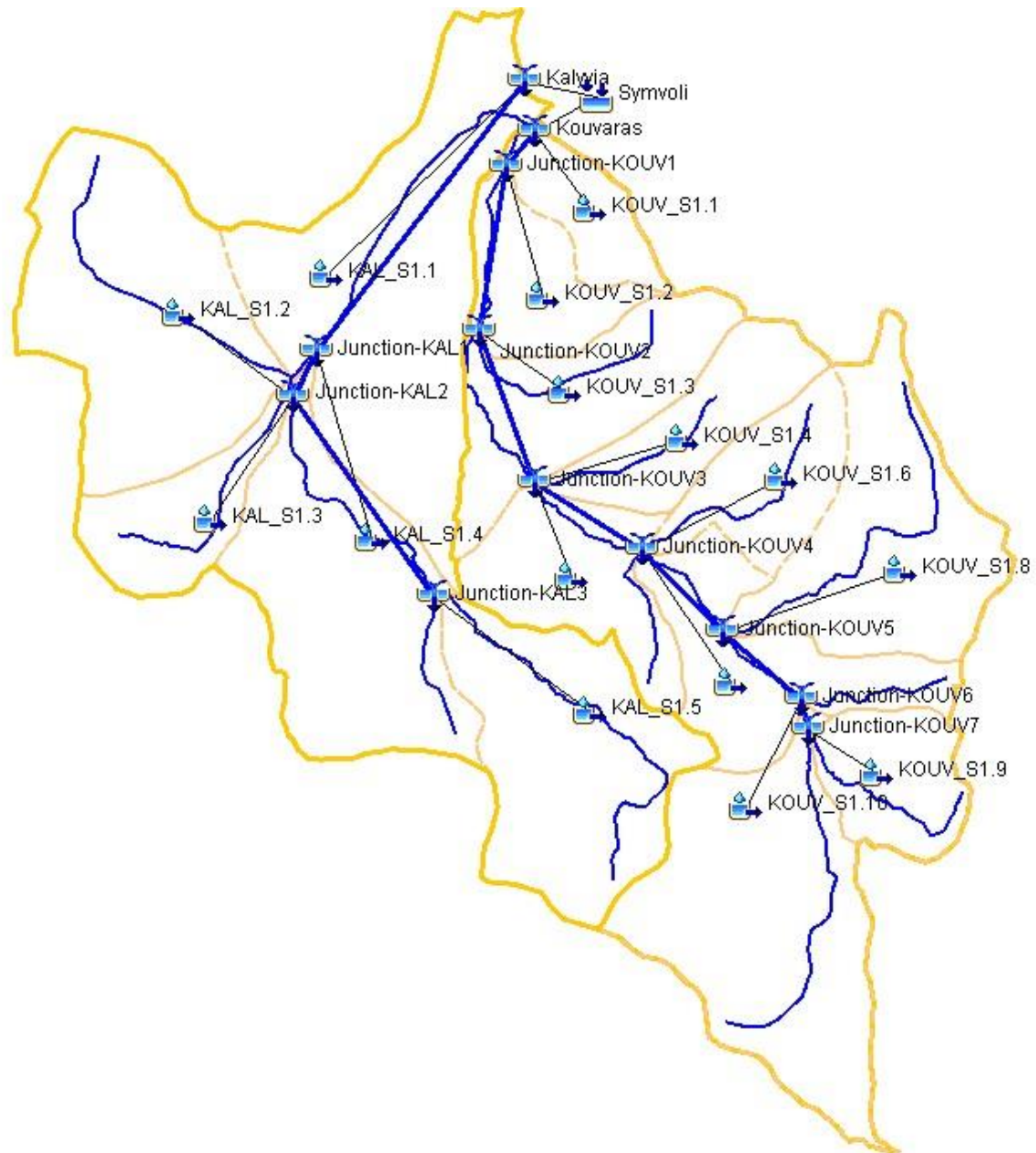
Το πλέον διαδεδομένο και εύχρηστο εργαλείο για υπολογισμό όλων των σεναρίων της υδρολογικής προσομοίωσης για τις επιμέρους λεκάνες απορροής είναι το HEC-HMS, το οποίο αναπτύχθηκε από το U.S. Army Corp of Engineers, και αποτελεί εξέλιξη του μοντέλου HEC-1.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται η έκδοση HEC-HMS 4.8 (Νοέμβριος 2018). Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε από το Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας (Hydrologic Engineering Center) του σώματος μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (U.S. Army Corps of Engineers). Στην πραγματικότητα, δεν πρόκειται για μεμονωμένο μοντέλο αλλά υπολογιστική πλατφόρμα, η οποία υποστηρίζει εναλλακτικές εκδοχές μοντέλων για τις διάφορες διεργασίες του κύκλου μιας πλημμύρας (κατά κανόνα σε επίπεδο επεισοδίου), συγκεκριμένα:

- μοντέλα εκτίμησης υδρολογικών ελλειμμάτων
- μοντέλα εκτίμησης άμεσης απορροής
- μοντέλα εκτίμησης βασικής απορροής
- μοντέλα διόδευσης πλημμυρών.

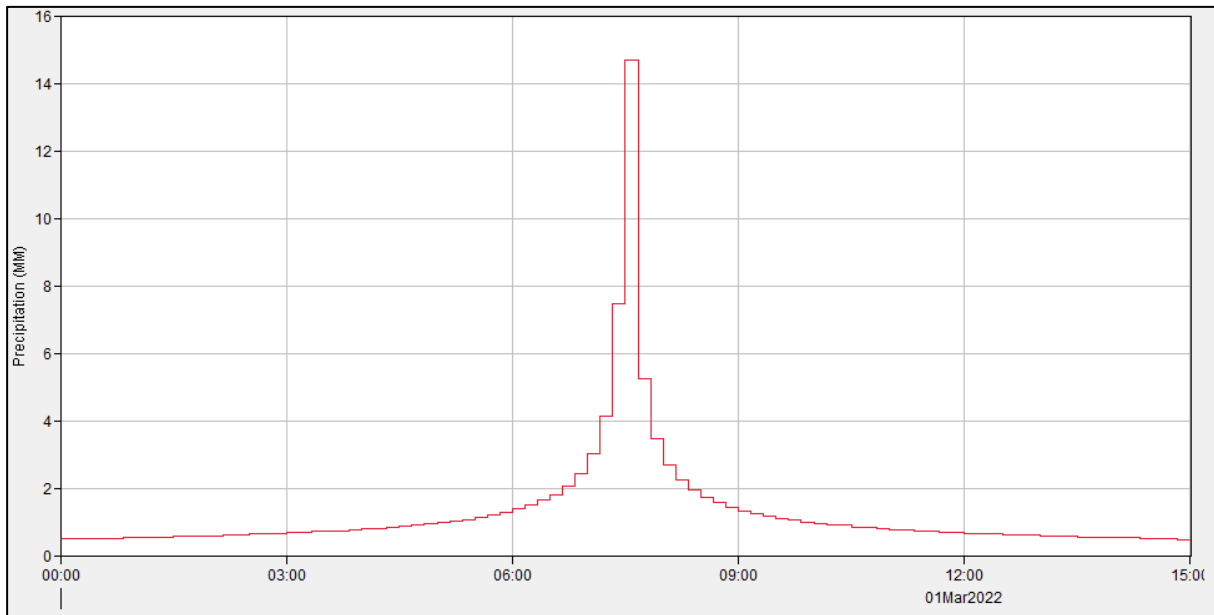
Το HEC-HMS χρησιμοποιείται για να πραγματοποιηθούν όλες οι διαδικασίες που αφορούν στο μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε απορροή δημιουργώντας στο περιβάλλον του την προσομοίωση της λειτουργίας της λεκάνης απορροής (με τις υπολεκάνες της, αν πρόκειται για λεκάνες δενδριτικού τύπου). Αυτή η προσομοίωση πραγματοποιείται με την εισαγωγή του χάρτη της λεκάνης (οπτικό βοήθημα) και στοιχείων, όπως η έκταση της, το υετόγραμμα, η μέθοδος υπολογισμού των απωλειών βροχόπτωσης (με τον συντελεστή απωλειών), το μοναδιαίο υδρογράφημα (με τα απαραίτητα στοιχεία για τη σύνθεσή του, όπως ο χρόνος συρροής), η βασική ροή και οι παράμετροι της διόδευσης του πλημμυρογραφήματος εφόσον απαιτείται.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι λεκάνες, οι κόμβοι και τα λοιπά τμήματα του μοντέλου προσομοίωσης.



Σχήμα 4.1 Σχηματοποίηση μοντέλου προσομοίωσης στο λογισμικό HEC-HMS

Όπως έχει προαναφερθεί, η καταιγίδα σχεδιασμού θα έχει διάρκεια 12 ωρών και εξάγεται με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Ακολούθως, παρουσιάζεται και εποπτικά.



Σχήμα 4.2 Καταιγίδα σχεδιασμού για τις λεκάνες απορροής ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά

Η μέθοδος SCS εφαρμόζεται στο λογισμικό HEC-HMS προκειμένου να υπολογιστεί το ενεργό ύψος βροχόπτωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις υδρολογικές απώλειες στο έδαφος. Σε αυτό το πλαίσιο, υπολογίζονται οι αριθμοί CN που ενσωματώνουν την επιρροή του αναγλύφου και της εκμετάλλευσης γης σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης απορροής. Αρχικά, για την υδρολογική κατάσταση II (μέση περίπτωση ετήσιων πλημμυρών), η κατηγορία εδάφους σε κάθε υπολεκάνη κατατάσσεται σε μία από τις κατηγορίες A – D ανάλογα με τον τύπο εδάφους. Κατόπιν, εξετάζονται οι χρήσεις γης και συνδυαστικά προκύπτει ο αριθμός καμπύλης CN στην κάθε περίπτωση. Ακολουθεί πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει ενδεικτικές τιμές του CN για διάφορες χρήσεις γης κατά CORINE Land Cover και στις τέσσερις κατηγορίες εδάφους για την υδρολογική κατάσταση II. Ακολούθως παρουσιάζονται ενδεικτικοί αριθμοί CN για υδρολογική κατάσταση τύπου II σε συνήθεις χρήσεις γης (κατά CORINE LAND COVER), οι οποίες εμφανίζονται και στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 4.3 Ενδεικτικοί αριθμοί καμπύλης CN για υδρολογική κατάσταση II (Chow et al., 1988, Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, Mockus et al., 2004)

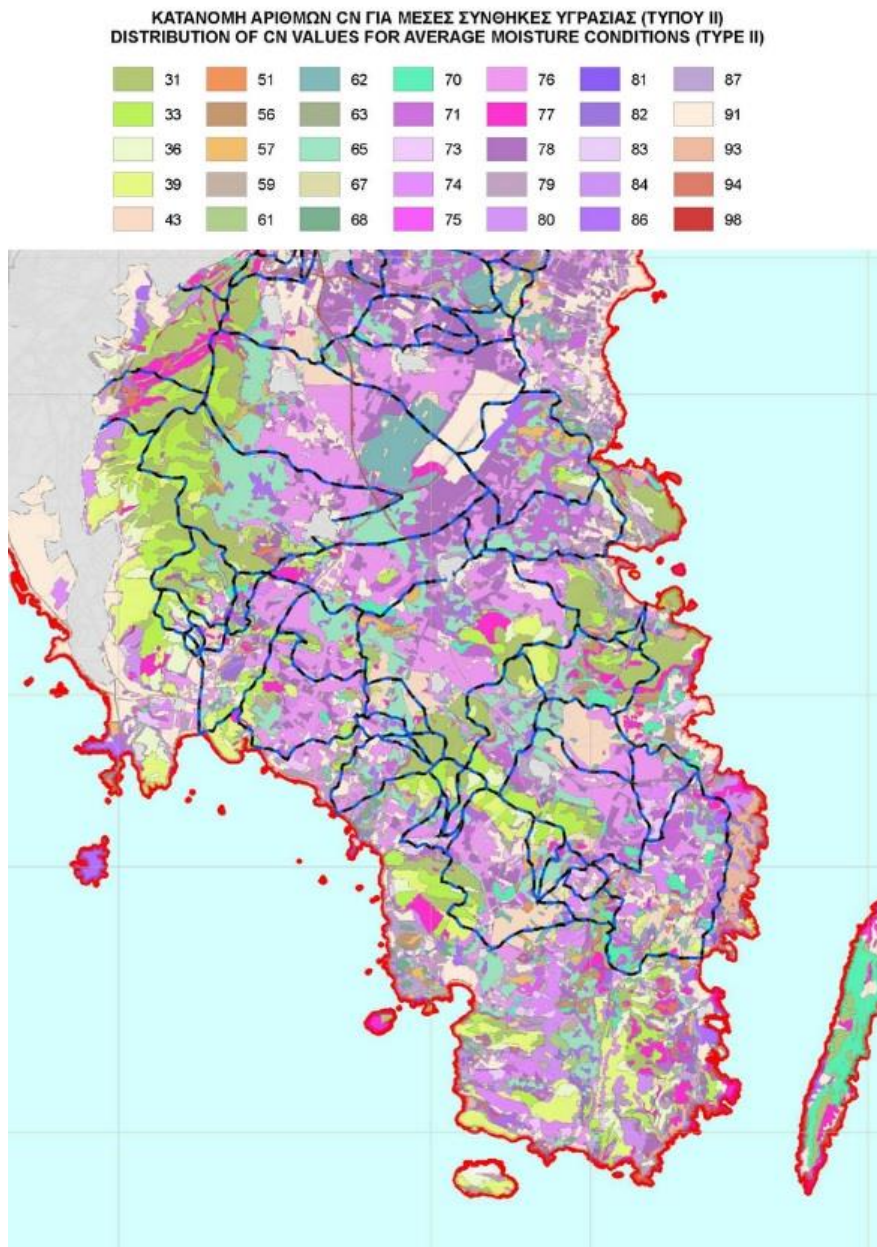
Περιγραφή	CN (II) ανά ομάδα διαπερατότητας εδάφους			
	A	B	C	D
Γη που καλύπτεται από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	78	83	86	88

Περιγραφή	CN (II) ανά ομάδα διαπερατότητας εδάφους			
	A	B	C	D
Σκληροφυλλική βλάστηση	33	55	70	77
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	30	58	71	78
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	54	70	80	85
Δάσος πλατύφυλλων	35	58	72	79
Μικτό δάσος	30	55	70	77
Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	85	90	92.5	94
Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	41	62	74	80
Λιβάδια	30	58	71	78
Ελαιώνες	49	67	78	83
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	80	87	91	93
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	72	81	88	90

Για την εκτίμηση των αριθμών CN στην εξεταζόμενη περιοχή λαμβάνεται υπόψη ο χάρτης κατανομής αριθμών CN για μέσες συνθήκες υγρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Αττικής, ο οποίος έχει εκπονηθεί στο πλαίσιο του Παραδοτέου 4 του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας για το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (EL06) και αποτελεί έναν από τους χάρτες που συνοδεύουν τα Πλημμυρικά Υδρογραφήματα του ΥΔ.

Πίνακας 4.4 Εκτίμηση αριθμών CN για τις υπολεκάνες των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά

Όνομασία υπολεκάνης	Αριθμός καμπύλης CN	Όνομασία υπολεκάνης	Αριθμός καμπύλης CN
Λεκάνη απορροής ρέματος Καλυβίων		Λεκάνη απορροής ρέματος Κουβαρά	
Λ(ΚΑΛ)_1.1	71	Λ(ΚΟΥΒ)_1.1	71
Λ(ΚΑΛ)_1.2	67	Λ(ΚΟΥΒ)_1.2	71
Λ(ΚΑΛ)_1.3	66	Λ(ΚΟΥΒ)_1.3	70
Λ(ΚΑΛ)_1.4	66	Λ(ΚΟΥΒ)_1.4	70
Λ(ΚΑΛ)_1.5	67	Λ(ΚΟΥΒ)_1.5	64
		Λ(ΚΟΥΒ)_1.6	65
		Λ(ΚΟΥΒ)_1.7	67
		Λ(ΚΟΥΒ)_1.8	66
		Λ(ΚΟΥΒ)_1.9	66
		Λ(ΚΟΥΒ)_1.10	68



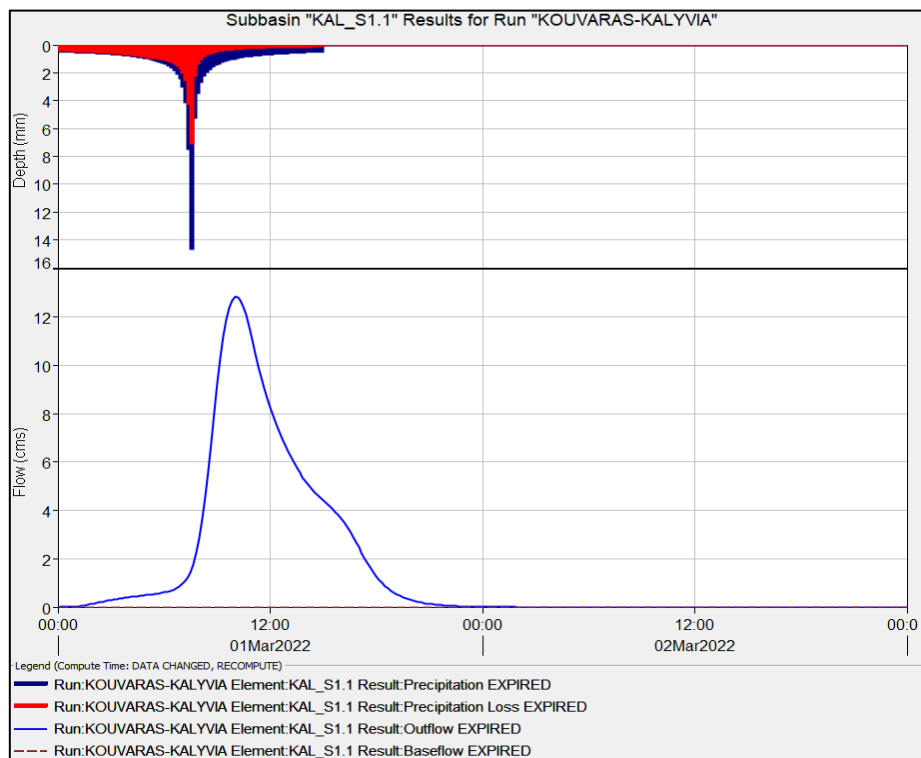
Σχήμα 4.3 Απόσπασμα χάρτη κατανομής αριθμών CN για μέσες συνθήκες υγρασίας στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (Παραδοτέο 4 ΣΔΥΚΠ, 201)

Όσον αφορά τον υπολογισμό του σύνθετου μοναδιαίου υδρογραφήματος στη λεκάνη απορροής του υπό εξέταση ρέματος, εφαρμόζεται η μέθοδος SCS. Υπολογίζονται οι βασικές παράμετροι της μεθοδολογίας και στη συνέχεια εισάγονται ως δεδομένα στο λογισμικό.

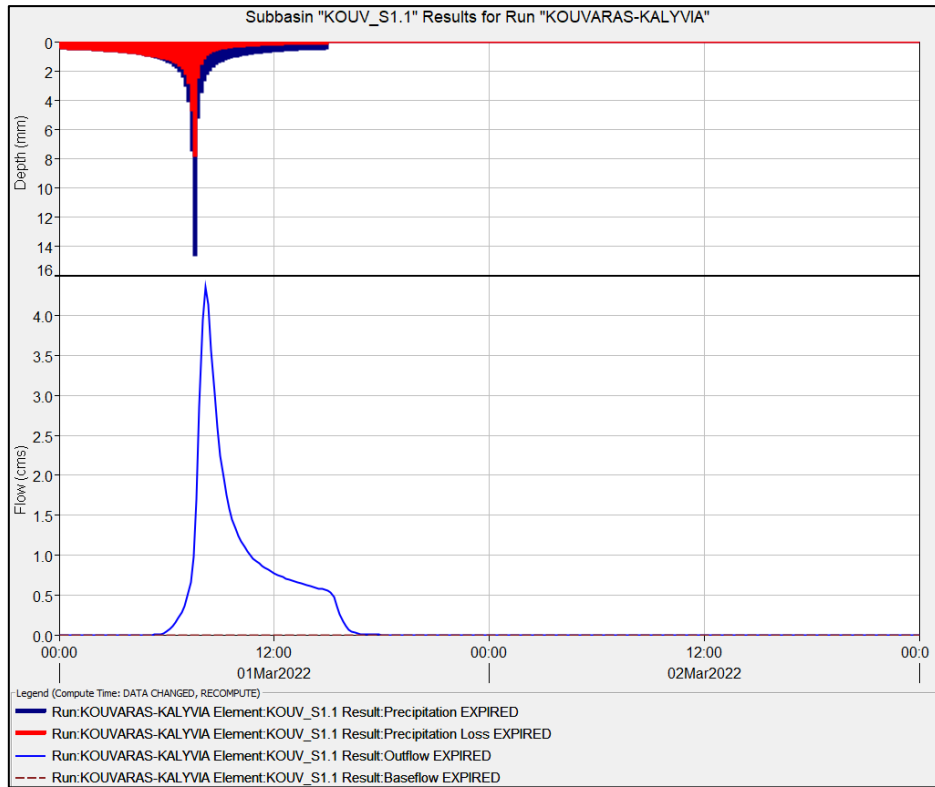
Πίνακας 4.5 Παράμετροι Μ.Υ. κατά SCS

	Όνομασία υπολεκάνης	Χρόνος συγκέντρωσης Giandotti (h)	Χρόνος υστέρησης (h)	Χρόνος υστέρησης (min)
Λεκάνη απορροής ρέματος Καλυβίων	Λ(ΚΑΛ)_1.1	3,57	2,14	128,39
	Λ(ΚΑΛ)_1.2	1,98	1,19	71,29
	Λ(ΚΑΛ)_1.3	1,67	1,00	60,16
	Λ(ΚΑΛ)_1.4	1,98	1,19	71,46
	Λ(ΚΑΛ)_1.5	1,32	0,79	47,64
Λεκάνη απορροής ρέματος Κουβαρά	Λ(ΚΟΥΒ)_1.1	0,89	0,53	31,98
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.2	1,12	0,67	40,16
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.3	1,32	0,79	47,41
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.4	0,82	0,49	29,70
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.5	1,49	0,90	53,75
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.6	0,87	0,52	31,22
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.7	1,36	0,82	49,01
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.8	1,23	0,74	44,25
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.9	1,39	0,83	49,93
	Λ(ΚΟΥΒ)_1.10	1,24	0,74	44,67

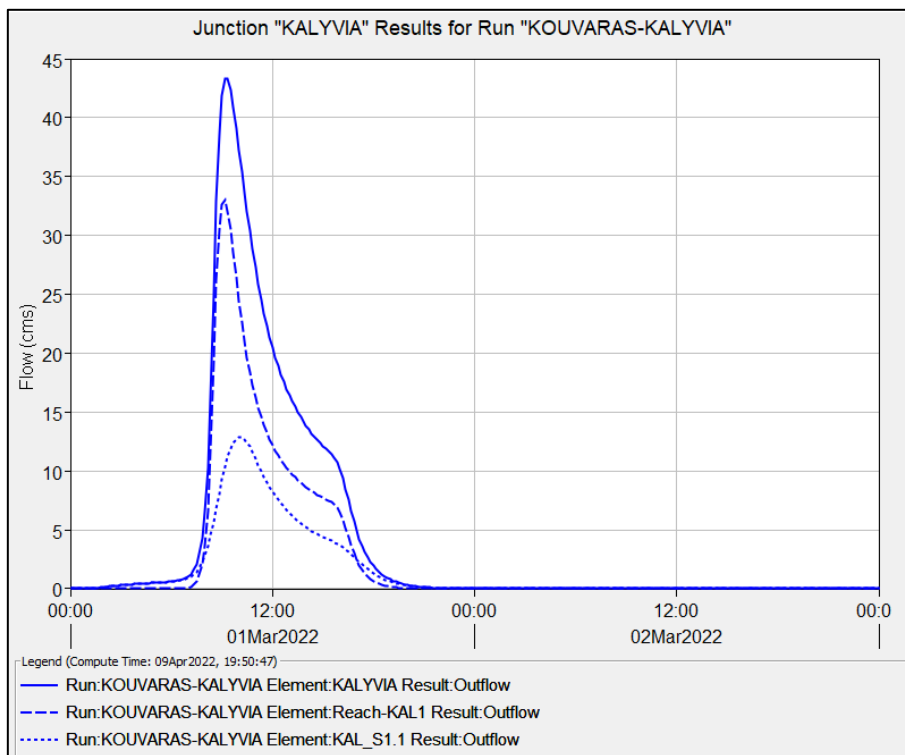
Αφού εισαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα στο λογισμικό HEC-HMS, υλοποιείται η διαδικασία της προσομοίωσης. Κάτωθι φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για χαρακτηριστικά στοιχεία και μεγέθη της συνολικής ανάντη λεκάνης απορροής για τα ρέματα Καλυβίων και Κουβαρά.



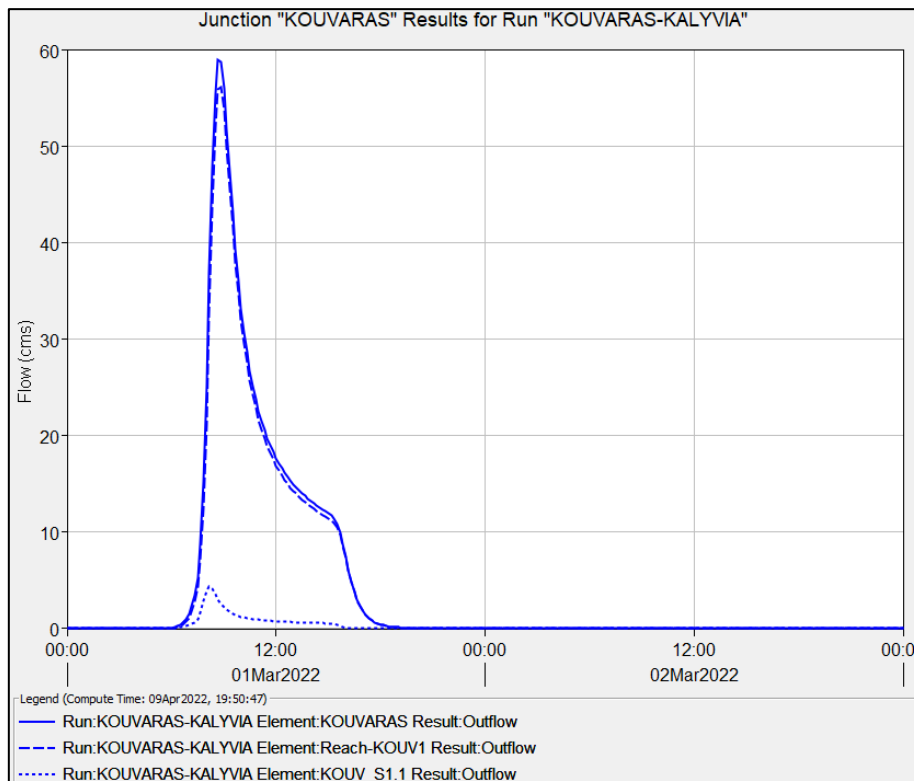
Σχήμα 4.4 Καθαρό υετογράφημα και πλημμύρα σχεδιασμού υπολεκάνης Λ(ΚΑΛ)_1.1 για T₅₀



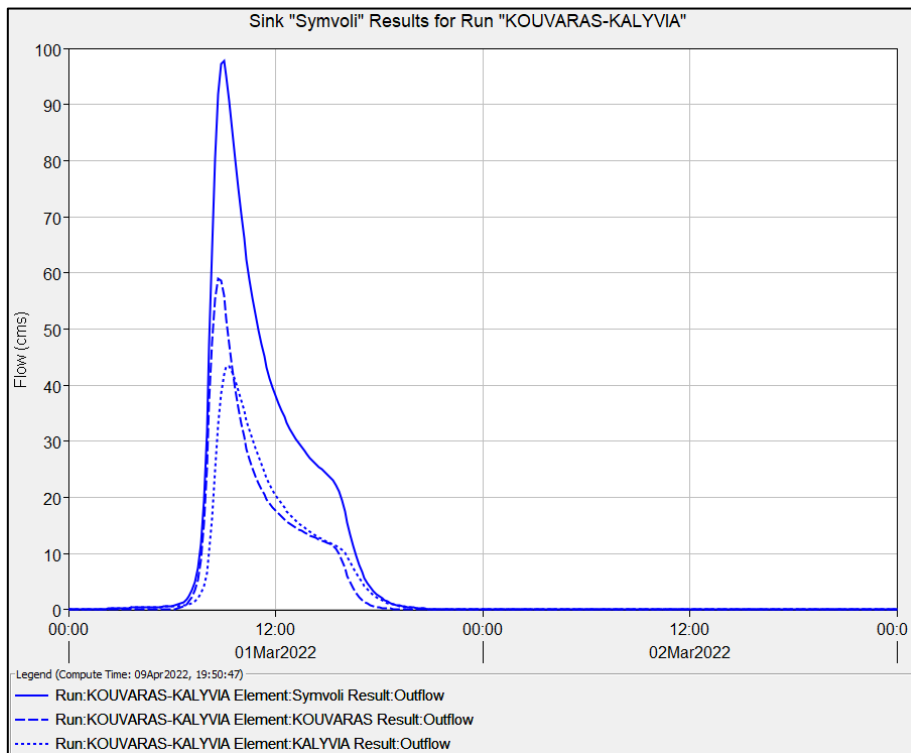
Σχήμα 4.5 Καθαρό υετογράφημα και πλημμύρα σχεδιασμού υπολεκάνης Λ(KOVB)_1.1 για T_{50}



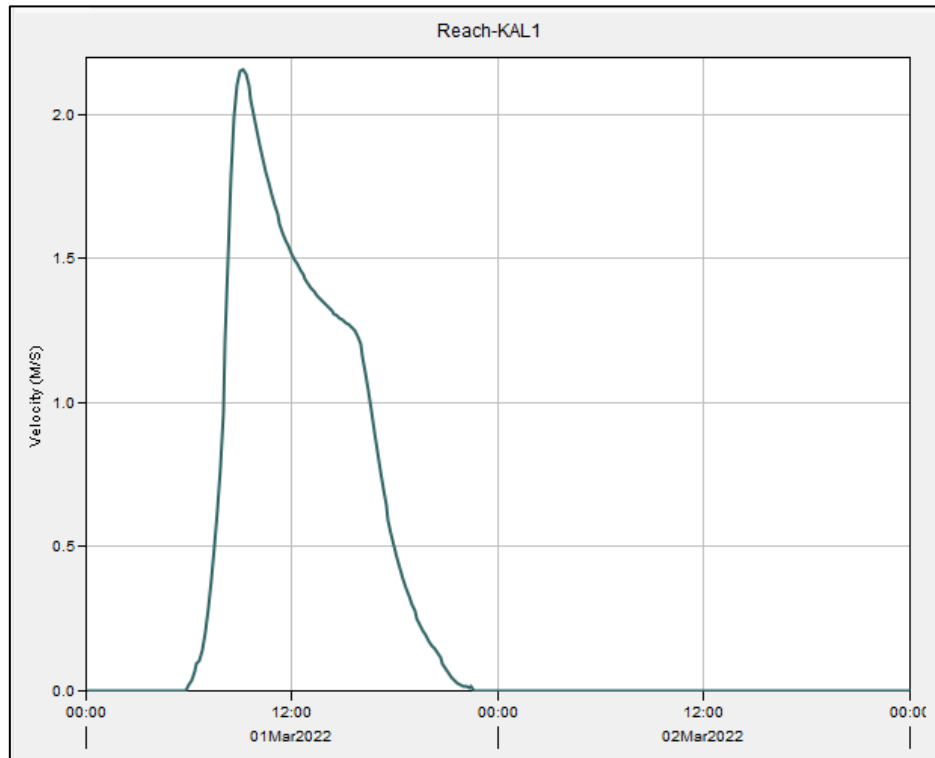
Σχήμα 4.6 Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού στην έξοδο της λεκάνης απορροής ρ. Καλυβίων ακριβώς ανάντη της συμβολής με το ρ. Κουβαρά



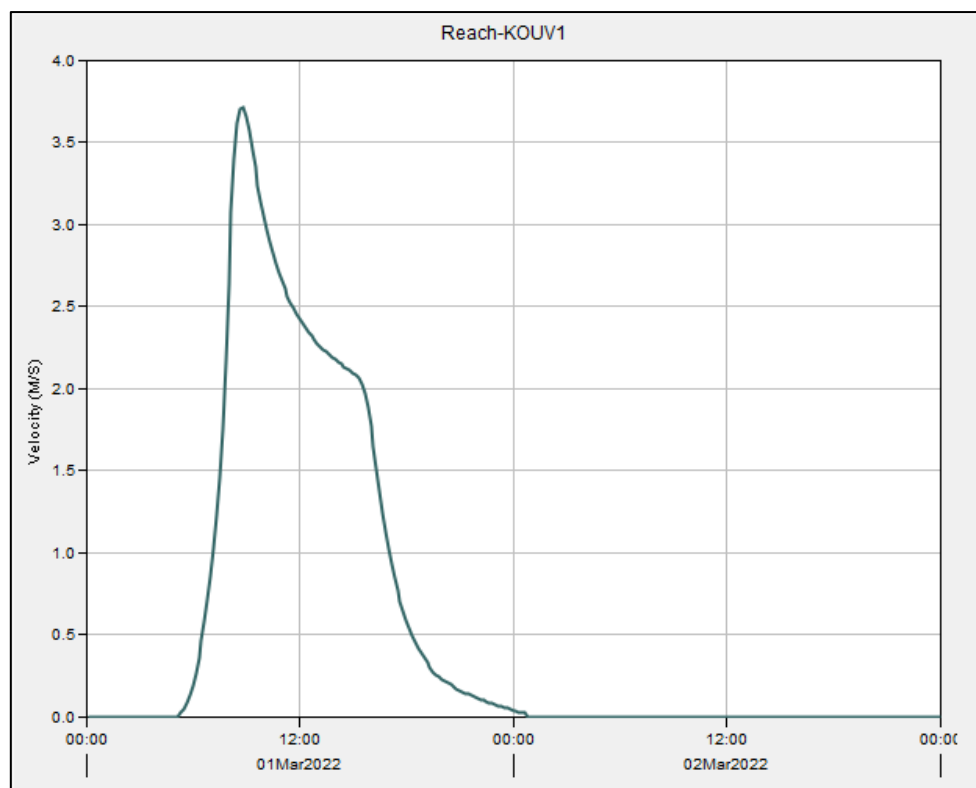
Σχήμα 4.7 Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού στην έξοδο της λεκάνης απορροής ρ. Κουβαρά ακριβώς ανάντη της συμβολής με το ρ. Καλυβίων



Σχήμα 4.8 Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού στην συμβολή των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά



Σχήμα 4.9 Ταχύτητα ροής πλημμυρικής απορροής στην έξοδο της λεκάνης απορροής του ρ. Καλυβίων



Σχήμα 4.10 Ταχύτητα ροής πλημμυρικής απορροής στην έξοδο της λεκάνης απορροής του ρ. Κουβαρά

Πίνακας 4.6 Συνολικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τις λεκάνες ρ. Καλυβίων και Κουβαρά

Project: KOUVARAS_KALYVIA Simulation Run: KOUVARAS-KALYVIA					
Start of Run: 01Mar2022, 00:00		Basin Model: Kouvaras_Kalyvia			
End of Run: 03Mar2022, 00:00		Meteorologic Model: Precipitation			
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications: KOUVRAS_KALYVIA			
Show Elements: All Elements ▾		Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)	
KOUV_S1.10	4.29	14.8	01Mar2022, 08:30	38.09	
KOUV_S1.9	1.26	3.6	01Mar2022, 08:30	34.67	
Junction-KOUV7	1.26	3.6	01Mar2022, 08:30	34.67	
Reach-KOUV7	1.26	3.6	01Mar2022, 08:40	34.68	
Junction-KOUV6	5.55	18.4	01Mar2022, 08:30	37.31	
Reach-KOUV6	5.55	18.2	01Mar2022, 08:30	37.32	
KOUV_S1.8	3.12	9.6	01Mar2022, 08:30	34.67	
Junction-KOUV5	8.67	27.8	01Mar2022, 08:30	36.36	
Reach-KOUV5	8.67	27.4	01Mar2022, 08:40	36.37	
KOUV_S1.7	2.17	6.8	01Mar2022, 08:30	36.36	
KOUV_S1.6	1.39	4.8	01Mar2022, 08:10	33.02	
Junction-KOUV4	12.23	38.1	01Mar2022, 08:30	35.99	
Reach-KOUV4	12.23	37.7	01Mar2022, 08:40	35.99	
KOUV_S1.5	1.81	4.5	01Mar2022, 08:40	31.39	
KOUV_S1.4	1.46	6.9	01Mar2022, 08:10	41.64	
Junction-KOUV3	15.50	47.0	01Mar2022, 08:30	35.99	
Reach-KOUV3	15.50	46.8	01Mar2022, 08:40	35.99	
KOUV_S1.3	2.25	8.4	01Mar2022, 08:30	41.64	
Junction-KOUV2	17.75	54.9	01Mar2022, 08:40	36.71	
Reach-KOUV2	17.75	54.5	01Mar2022, 08:40	36.71	
KOUV_S1.2	1.29	3.1	01Mar2022, 09:50	43.46	
Junction-KOUV1	19.04	56.4	01Mar2022, 08:40	37.17	
Reach-KOUV1	19.04	56.1	01Mar2022, 08:50	37.17	
KOUV_S1.1	0.91	4.4	01Mar2022, 08:10	43.46	
KOUVARAS	19.95	58.9	01Mar2022, 08:40	37.46	
KAL_S1.2	4.20	10.7	01Mar2022, 09:00	36.36	
KAL_S1.5	3.49	11.1	01Mar2022, 08:30	36.36	
Junction-KAL3	3.49	11.1	01Mar2022, 08:30	36.36	
Reach-KAL3	3.49	11.1	01Mar2022, 08:40	36.42	
Junction-KAL2	3.49	11.1	01Mar2022, 08:40	36.42	
KAL_S1.3	1.28	3.4	01Mar2022, 08:50	34.67	
Reach-KAL2	8.97	24.5	01Mar2022, 08:50	36.15	
KAL_S1.4	3.66	8.8	01Mar2022, 09:00	34.67	
Junction-KAL1	12.63	33.0	01Mar2022, 08:50	35.72	
Reach-KAL1	12.63	33.0	01Mar2022, 09:10	35.75	
KAL_S1.1	5.12	12.9	01Mar2022, 10:00	50.42	
KALYVIA	17.75	43.3	01Mar2022, 09:20	39.98	
Symvoli	37.70	97.8	01Mar2022, 09:00	38.65	

Πίνακας 4.7 Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού στη συμβολή των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά

Ημερο- μηνία	Ώρα	Εισροή από ΚΟΥΒΑΡΑΣ (m3/s)	Εισροή από ΚΑΛΥΒΙΑ (m3/s)	Συνολική εισροή (m3/s)	Ημερο- μηνία	Ώρα	Εισροή από ΚΟΥΒΑΡΑΣ (m3/s)	Εισροή από ΚΑΛΥΒΙΑ (m3/s)	Συνολική εισροή (m3/s)
01-Mar-22	00:00	0	0	0	02-Mar-22	00:00	0	0	0
01-Mar-22	00:10	0	0	0	02-Mar-22	00:10	0	0	0
01-Mar-22	00:20	0	0	0	02-Mar-22	00:20	0	0	0
01-Mar-22	00:30	0	0	0	02-Mar-22	00:30	0	0	0
01-Mar-22	00:40	0	0	0	02-Mar-22	00:40	0	0	0
01-Mar-22	00:50	0	0	0	02-Mar-22	00:50	0	0	0
01-Mar-22	01:00	0	0	0	02-Mar-22	01:00	0	0	0
01-Mar-22	01:10	0	0	0	02-Mar-22	01:10	0	0	0
01-Mar-22	01:20	0	0,1	0,1	02-Mar-22	01:20	0	0	0
01-Mar-22	01:30	0	0,1	0,1	02-Mar-22	01:30	0	0	0
01-Mar-22	01:40	0	0,1	0,1	02-Mar-22	01:40	0	0	0
01-Mar-22	01:50	0	0,1	0,1	02-Mar-22	01:50	0	0	0
01-Mar-22	02:00	0	0,1	0,1	02-Mar-22	02:00	0	0	0
01-Mar-22	02:10	0	0,2	0,2	02-Mar-22	02:10	0	0	0
01-Mar-22	02:20	0	0,2	0,2	02-Mar-22	02:20	0	0	0
01-Mar-22	02:30	0	0,2	0,2	02-Mar-22	02:30	0	0	0
01-Mar-22	02:40	0	0,2	0,2	02-Mar-22	02:40	0	0	0
01-Mar-22	02:50	0	0,3	0,3	02-Mar-22	02:50	0	0	0
01-Mar-22	03:00	0	0,3	0,3	02-Mar-22	03:00	0	0	0
01-Mar-22	03:10	0	0,3	0,3	02-Mar-22	03:10	0	0	0
01-Mar-22	03:20	0	0,3	0,3	02-Mar-22	03:20	0	0	0
01-Mar-22	03:30	0	0,4	0,4	02-Mar-22	03:30	0	0	0
01-Mar-22	03:40	0	0,4	0,4	02-Mar-22	03:40	0	0	0
01-Mar-22	03:50	0	0,4	0,4	02-Mar-22	03:50	0	0	0
01-Mar-22	04:00	0	0,4	0,4	02-Mar-22	04:00	0	0	0
01-Mar-22	04:10	0	0,4	0,4	02-Mar-22	04:10	0	0	0
01-Mar-22	04:20	0	0,4	0,4	02-Mar-22	04:20	0	0	0
01-Mar-22	04:30	0	0,5	0,5	02-Mar-22	04:30	0	0	0
01-Mar-22	04:40	0	0,5	0,5	02-Mar-22	04:40	0	0	0
01-Mar-22	04:50	0	0,5	0,5	02-Mar-22	04:50	0	0	0
01-Mar-22	05:00	0	0,5	0,5	02-Mar-22	05:00	0	0	0
01-Mar-22	05:10	0	0,5	0,5	02-Mar-22	05:10	0	0	0
01-Mar-22	05:20	0	0,5	0,5	02-Mar-22	05:20	0	0	0
01-Mar-22	05:30	0	0,5	0,5	02-Mar-22	05:30	0	0	0
01-Mar-22	05:40	0	0,6	0,6	02-Mar-22	05:40	0	0	0
01-Mar-22	05:50	0	0,6	0,6	02-Mar-22	05:50	0	0	0
01-Mar-22	06:00	0,1	0,6	0,7	02-Mar-22	06:00	0	0	0
01-Mar-22	06:10	0,1	0,6	0,8	02-Mar-22	06:10	0	0	0
01-Mar-22	06:20	0,2	0,7	0,9	02-Mar-22	06:20	0	0	0
01-Mar-22	06:30	0,4	0,7	1,1	02-Mar-22	06:30	0	0	0
01-Mar-22	06:40	0,6	0,8	1,4	02-Mar-22	06:40	0	0	0
01-Mar-22	06:50	1	0,9	1,8	02-Mar-22	06:50	0	0	0
01-Mar-22	07:00	1,5	1	2,5	02-Mar-22	07:00	0	0	0
01-Mar-22	07:10	2,3	1,2	3,5	02-Mar-22	07:10	0	0	0
01-Mar-22	07:20	3,4	1,5	5	02-Mar-22	07:20	0	0	0
01-Mar-22	07:30	5,3	2,1	7,4	02-Mar-22	07:30	0	0	0
01-Mar-22	07:40	8,8	2,9	11,8	02-Mar-22	07:40	0	0	0

Ημερο- μηνία	Ώρα	Εισροή από ΚΟΥΒΑΡΑΣ (m3/s)	Εισροή από ΚΑΛΥΒΙΑ (m3/s)	Συνολική εισροή (m3/s)	Ημερο- μηνία	Ώρα	Εισροή από ΚΟΥΒΑΡΑΣ (m3/s)	Εισροή από ΚΑΛΥΒΙΑ (m3/s)	Συνολική εισροή (m3/s)
01-Mar-22	07:50	15,3	4,3	19,6	02-Mar-22	07:50	0	0	0
01-Mar-22	08:00	25,1	6,5	31,7	02-Mar-22	08:00	0	0	0
01-Mar-22	08:10	36,8	10,2	47,1	02-Mar-22	08:10	0	0	0
01-Mar-22	08:20	47,7	16,3	63,9	02-Mar-22	08:20	0	0	0
01-Mar-22	08:30	55,5	24,9	80,4	02-Mar-22	08:30	0	0	0
01-Mar-22	08:40	58,9	32,9	91,9	02-Mar-22	08:40	0	0	0
01-Mar-22	08:50	58,7	38,6	97,3	02-Mar-22	08:50	0	0	0
01-Mar-22	09:00	55,9	41,9	97,8	02-Mar-22	09:00	0	0	0
01-Mar-22	09:10	51,8	43,3	95,1	02-Mar-22	09:10	0	0	0
01-Mar-22	09:20	47,3	43,3	90,6	02-Mar-22	09:20	0	0	0
01-Mar-22	09:30	43,1	42,4	85,4	02-Mar-22	09:30	0	0	0
01-Mar-22	09:40	39,3	40,9	80,2	02-Mar-22	09:40	0	0	0
01-Mar-22	09:50	36	39,1	75,1	02-Mar-22	09:50	0	0	0
01-Mar-22	10:00	33,2	37,2	70,4	02-Mar-22	10:00	0	0	0
01-Mar-22	10:10	30,7	35,4	66,2	02-Mar-22	10:10	0	0	0
01-Mar-22	10:20	28,6	33,7	62,3	02-Mar-22	10:20	0	0	0
01-Mar-22	10:30	26,8	32,1	58,8	02-Mar-22	10:30	0	0	0
01-Mar-22	10:40	25,2	30,4	55,6	02-Mar-22	10:40	0	0	0
01-Mar-22	10:50	23,8	28,9	52,6	02-Mar-22	10:50	0	0	0
01-Mar-22	11:00	22,6	27,3	49,9	02-Mar-22	11:00	0	0	0
01-Mar-22	11:10	21,5	25,9	47,4	02-Mar-22	11:10	0	0	0
01-Mar-22	11:20	20,6	24,6	45,1	02-Mar-22	11:20	0	0	0
01-Mar-22	11:30	19,7	23,4	43,1	02-Mar-22	11:30	0	0	0
01-Mar-22	11:40	19	22,3	41,3	02-Mar-22	11:40	0	0	0
01-Mar-22	11:50	18,3	21,3	39,6	02-Mar-22	11:50	0	0	0
01-Mar-22	12:00	17,7	20,5	38,1	02-Mar-22	12:00	0	0	0
01-Mar-22	12:10	17,1	19,6	36,7	02-Mar-22	12:10	0	0	0
01-Mar-22	12:20	16,6	18,9	35,5	02-Mar-22	12:20	0	0	0
01-Mar-22	12:30	16,1	18,2	34,3	02-Mar-22	12:30	0	0	0
01-Mar-22	12:40	15,7	17,5	33,3	02-Mar-22	12:40	0	0	0
01-Mar-22	12:50	15,3	17	32,3	02-Mar-22	12:50	0	0	0
01-Mar-22	13:00	15	16,4	31,4	02-Mar-22	13:00	0	0	0
01-Mar-22	13:10	14,6	15,9	30,5	02-Mar-22	13:10	0	0	0
01-Mar-22	13:20	14,3	15,4	29,7	02-Mar-22	13:20	0	0	0
01-Mar-22	13:30	14	15	29	02-Mar-22	13:30	0	0	0
01-Mar-22	13:40	13,7	14,6	28,3	02-Mar-22	13:40	0	0	0
01-Mar-22	13:50	13,5	14,2	27,7	02-Mar-22	13:50	0	0	0
01-Mar-22	14:00	13,2	13,8	27,1	02-Mar-22	14:00	0	0	0
01-Mar-22	14:10	13	13,5	26,5	02-Mar-22	14:10	0	0	0
01-Mar-22	14:20	12,8	13,2	26	02-Mar-22	14:20	0	0	0
01-Mar-22	14:30	12,6	12,9	25,5	02-Mar-22	14:30	0	0	0
01-Mar-22	14:40	12,4	12,6	25	02-Mar-22	14:40	0	0	0
01-Mar-22	14:50	12,2	12,4	24,5	02-Mar-22	14:50	0	0	0
01-Mar-22	15:00	12	12,1	24,1	02-Mar-22	15:00	0	0	0
01-Mar-22	15:10	11,8	11,9	23,7	02-Mar-22	15:10	0	0	0
01-Mar-22	15:20	11,4	11,7	23,1	02-Mar-22	15:20	0	0	0
01-Mar-22	15:30	10,8	11,4	22,3	02-Mar-22	15:30	0	0	0
01-Mar-22	15:40	9,9	11,1	21,1	02-Mar-22	15:40	0	0	0
01-Mar-22	15:50	8,8	10,7	19,5	02-Mar-22	15:50	0	0	0

Ημερο- μηνία	Ώρα	Εισροή από ΚΟΥΒΑΡΑΣ (m3/s)	Εισροή από ΚΑΛΥΒΙΑ (m3/s)	Συνολική εισροή (m3/s)	Ημερο- μηνία	Ώρα	Εισροή από ΚΟΥΒΑΡΑΣ (m3/s)	Εισροή από ΚΑΛΥΒΙΑ (m3/s)	Συνολική εισροή (m3/s)
01-Mar-22	16:00	7,4	10,1	17,6	02-Mar-22	16:00	0	0	0
01-Mar-22	16:10	6,1	9,4	15,5	02-Mar-22	16:10	0	0	0
01-Mar-22	16:20	4,9	8,5	13,3	02-Mar-22	16:20	0	0	0
01-Mar-22	16:30	3,8	7,5	11,3	02-Mar-22	16:30	0	0	0
01-Mar-22	16:40	3	6,6	9,5	02-Mar-22	16:40	0	0	0
01-Mar-22	16:50	2,3	5,7	8	02-Mar-22	16:50	0	0	0
01-Mar-22	17:00	1,8	4,9	6,7	02-Mar-22	17:00	0	0	0
01-Mar-22	17:10	1,4	4,2	5,6	02-Mar-22	17:10	0	0	0
01-Mar-22	17:20	1,1	3,6	4,7	02-Mar-22	17:20	0	0	0
01-Mar-22	17:30	0,9	3,1	4	02-Mar-22	17:30	0	0	0
01-Mar-22	17:40	0,7	2,7	3,3	02-Mar-22	17:40	0	0	0
01-Mar-22	17:50	0,5	2,3	2,8	02-Mar-22	17:50	0	0	0
01-Mar-22	18:00	0,4	1,9	2,4	02-Mar-22	18:00	0	0	0
01-Mar-22	18:10	0,3	1,7	2	02-Mar-22	18:10	0	0	0
01-Mar-22	18:20	0,3	1,4	1,7	02-Mar-22	18:20	0	0	0
01-Mar-22	18:30	0,2	1,2	1,4	02-Mar-22	18:30	0	0	0
01-Mar-22	18:40	0,2	1	1,2	02-Mar-22	18:40	0	0	0
01-Mar-22	18:50	0,1	0,9	1	02-Mar-22	18:50	0	0	0
01-Mar-22	19:00	0,1	0,8	0,9	02-Mar-22	19:00	0	0	0
01-Mar-22	19:10	0,1	0,7	0,8	02-Mar-22	19:10	0	0	0
01-Mar-22	19:20	0,1	0,6	0,7	02-Mar-22	19:20	0	0	0
01-Mar-22	19:30	0,1	0,5	0,6	02-Mar-22	19:30	0	0	0
01-Mar-22	19:40	0,1	0,4	0,5	02-Mar-22	19:40	0	0	0
01-Mar-22	19:50	0	0,4	0,4	02-Mar-22	19:50	0	0	0
01-Mar-22	20:00	0	0,3	0,4	02-Mar-22	20:00	0	0	0
01-Mar-22	20:10	0	0,3	0,3	02-Mar-22	20:10	0	0	0
01-Mar-22	20:20	0	0,2	0,3	02-Mar-22	20:20	0	0	0
01-Mar-22	20:30	0	0,2	0,2	02-Mar-22	20:30	0	0	0
01-Mar-22	20:40	0	0,2	0,2	02-Mar-22	20:40	0	0	0
01-Mar-22	20:50	0	0,2	0,2	02-Mar-22	20:50	0	0	0
01-Mar-22	21:00	0	0,1	0,2	02-Mar-22	21:00	0	0	0
01-Mar-22	21:10	0	0,1	0,1	02-Mar-22	21:10	0	0	0
01-Mar-22	21:20	0	0,1	0,1	02-Mar-22	21:20	0	0	0
01-Mar-22	21:30	0	0,1	0,1	02-Mar-22	21:30	0	0	0
01-Mar-22	21:40	0	0,1	0,1	02-Mar-22	21:40	0	0	0
01-Mar-22	21:50	0	0,1	0,1	02-Mar-22	21:50	0	0	0
01-Mar-22	22:00	0	0,1	0,1	02-Mar-22	22:00	0	0	0
01-Mar-22	22:10	0	0,1	0,1	02-Mar-22	22:10	0	0	0
01-Mar-22	22:20	0	0	0,1	02-Mar-22	22:20	0	0	0
01-Mar-22	22:30	0	0	0	02-Mar-22	22:30	0	0	0
01-Mar-22	22:40	0	0	0	02-Mar-22	22:40	0	0	0
01-Mar-22	22:50	0	0	0	02-Mar-22	22:50	0	0	0
01-Mar-22	23:00	0	0	0	02-Mar-22	23:00	0	0	0
01-Mar-22	23:10	0	0	0	02-Mar-22	23:10	0	0	0
01-Mar-22	23:20	0	0	0	02-Mar-22	23:20	0	0	0
01-Mar-22	23:30	0	0	0	02-Mar-22	23:30	0	0	0
01-Mar-22	23:40	0	0	0	02-Mar-22	23:40	0	0	0
01-Mar-22	23:50	0	0	0	02-Mar-22	23:50	0	0	0
					03-Mar-22	00:00	0	0	0

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτουν τα εξής:

Πίνακας 4.8 Παροχή σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη στην έξοδο των ρεμάτων Καλυβίων και Κουβαρά και στη συμβολή αυτών

Παροχή σχεδιασμού για $T = 50$ έτη		
Ρέμα Καλυβίων	Ρέμα Κουβαρά	Συμβολή ρ. Καλυβίων – Κουβαρά
<u>Διατομές ΔΚΑ-1 ~ ΔΚΑ-27</u>	<u>ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΔΚΒ-141 ~ ΔΚΒ-33</u>	97,8 m³/s
43,30 m³/s	56,4 m³/s	
	<u>ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΔΚΒ-32 ~ ΔΚΒ-1</u>	
	58,9 m³/s	