

Ερευνητικό έργο: **Αποτίμηση της οικολογικής κατάστασης του ρέματος Πικροδάφνης και προτάσεις αποκατάστασης, ανάδειξης και διαχείρισης του**

Ανάθεση: Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών

Σύνταξη:

Νίκος Μαμάσης, Κάτια Πιπλή και Δημήτρης Κουτσογιάννης

**Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Ερευνητικό έργο:

Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	1
1.1	Αντικείμενο και διάρθρωση της μελέτης	1
1.2	Περιγραφή λεκάνης απορροής	2
1.3	Θέσεις ενδιαφέροντος	10
2.	Μεθοδολογικό πλαίσιο	12
2.1	Όμβριες καμπύλες	12
2.2	Μοναδιαίο υδρογράφημα	14
2.3	Καταιγίδες σχεδιασμού	17
2.4	Απώλειες - Ωφέλιμη βροχή	18
2.5	Περίοδοι επαναφοράς	19
3.	Μοναδιαία υδρογραφήματα περιοχής μελέτης	20
4.	Το επεισόδιο της 22/2/2013	23
4.1	Χωροχρονική κατανομή βροχόπτωσης	23
4.2	Υπολογισμός καθαρών νετογραμμάτων	31
4.3	Πλημμυρογραφήματα της 22/2/2013	31
5.	Πλημμύρες σχεδιασμού	35
5.1	Θεώρηση άπειρης παροχτευτικότητας	35
5.2	Θεώρηση παροχτευτικότητας οχετών	37
6.	Συμπεράσματα	39
	Αναφορές	40

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και διάρθρωση της μελέτης

Το ρέμα Πικροδάφνης είναι ένα από τα ελάχιστα εναπομείναντα αστικά ρέματα στην Αττική. Πηγάζει από το νοτιοδυτικό τμήμα του Υμηττού και διέρχεται από τους Δήμους Βύρωνα, Ηλιούπολης, Αγίου Δημητρίου, Αλίμου και Παλαιού Φαλήρου. Έχει μήκος περίπου 9 km εκ των οποίων στα 6 km περίπου, διατηρεί την φυσική του κοίτη. Έχει υποστεί σημαντικό αριθμό παρεμβάσεων και αλλοιώσεων διαχρονικά με κυρίαρχες το μπάζωμα των πρανών, την καταστροφή και κατάληψη της παρόχθιας ζώνης για οικιστική εξάπλωση καθώς και την ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων και αστικών λυμάτων.

Ο σκοπός του έργου είναι να:

1. καταγραφεί η οικολογική κατάσταση του ρέματος Πικροδάφνης και να χαρτογραφηθούν τα τμήματα του που μπορούν να αποκτήσουν μια καλή οικολογική κατάσταση.
2. αναγνωριστούν οι ρυπαντικές και υδρομορφολογικές πιέσεις που δέχεται το ρέμα σε όλο το μήκος του και να περιγραφούν συγκεκριμένα μέτρα προστασίας και αποκατάστασης του.
3. δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων για το ρέμα, με όλα τα απαραίτητα περιβαλλοντικά δεδομένα που προβλέπονται στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα.
4. σχεδιαστούν μέτρα αποκατάστασης, αξιοποίησης και περιβαλλοντικής εκπαίδευσης του ρέματος
5. υπάρξει ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με την περιβαλλοντική αξία και την ανάγκη διατήρησης του ρέματος

Η παρούσα υδρολογική μελέτη έχει στόχο την εκτίμηση των παροχών στις απαιτούμενες θέσεις για την υδραυλική προσομοίωση του τμήματος κατάντη της Λεωφόρου Βουλιαγμένης και μέχρι τις εκβολές, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, αλλά και ο προσδιορισμός των απαιτούμενων παρεμβάσεων. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μεθοδολογία η οποία περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Ανάπτυξη ενός ημικατενεμημένου υδρολογικού μοντέλου με 11 υπολεκάνες σε κάθε μία από τις οποίες μετασχηματίζεται η βροχόπτωση σε απορροή.
2. Για κάθε υπολεκάνη:
 - Υπολογίζονται συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα με υδρολογικές και υδραυλικές μεθόδους και το καθαρό υετογράφημα. Οι παράμετροι εκτιμώνται με βάση τα φυσιογραφικά (ανάγλυφο, χρήσεις, γεωλογία) χαρακτηριστικά της υπολεκάνης. Στις αστικές λεκάνες που έχουν καλυμμένα τμήματα υδατορεύματος κατασκευάζονται δύο μοναδιαία υδρογραφήματα, ένα για επιφανειακή ροή και ένα για ροή σε οχετό.
 - Σχηματίζεται το υετογράφημα μελέτης το οποίο μπορεί να είναι εκτιμημένο από σημειακές μετρήσεις ή συνθετικό που αντιστοιχεί στην καταιγίδα σχεδιασμού υπολογισμένη με τη χρήση υδρολογικών μεθόδων,
 - Εκτιμώνται οι απώλειες βροχόπτωσης και υπολογίζονται το καθαρό υετογράφημα. Οι παράμετροι υπολογισμού των απωλειών εκτιμώνται με βάση τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της υπολεκάνης (ανάγλυφο, χρήσεις, γεωλογία).
3. Διαδικασία σύνθεσης και διόδευσης των πλημμυρογραφημάτων των υπολεκανών με στόχο τον υπολογισμό παροχών σε 10 θέσεις ενδιαφέροντος.
4. Εφαρμογή του μοντέλου για την προσομοίωση του πλημμυρικού επεισοδίου της 22/2/2013 με βάση τις χρονοσειρές δεκάλεπτης βροχόπτωσης επτά γειτονικών σταθμών. Έγινε χωρική ολοκλήρωση της βροχόπτωσης για κάθε δεκάλεπτο και υπολογίστηκαν χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης για κάθε υπολεκάνη και για το σύνολο της

- λεκάνης. Το μοντέλο έτρεξε με δύο διαφορετικά υετογραφήματα δεκάλεπτης επιφανειακής βροχόπτωσης θεωρώντας ενιαία ή διαφορετική βροχόπτωση για κάθε υπολεκάνη.
5. Αξιολόγηση των εξαγόμενων πλημμυρογραφήματων στις θέσεις ενδιαφέροντος με βάση πληροφορίες για τις μέγιστες στάθμες και το χρόνο που αυτές παρατηρήθηκαν στις διάφορες θέσεις.
 6. Κατάρτιση καταγίδων σχεδιασμού δεκαετίας στις υπολεκάνες με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού.
 7. Υπολογισμός των πλημμυρογραφήματων σχεδιασμού δεκαετίας στις 10 θέσεις ενδιαφέροντος θεωρώντας άπειρη παροχετευτικότητα των οχετών
 8. Υπολογισμός των πλημμυρογραφήματων σχεδιασμού δεκαετίας στις 10 θέσεις λαμβάνοντας υπόψη την παροχετευτικότητα των οχετών. Τα νερά που υπερχειλίζουν σε συγκεκριμένες θέσεις διοδεύονται επιφανειακά.

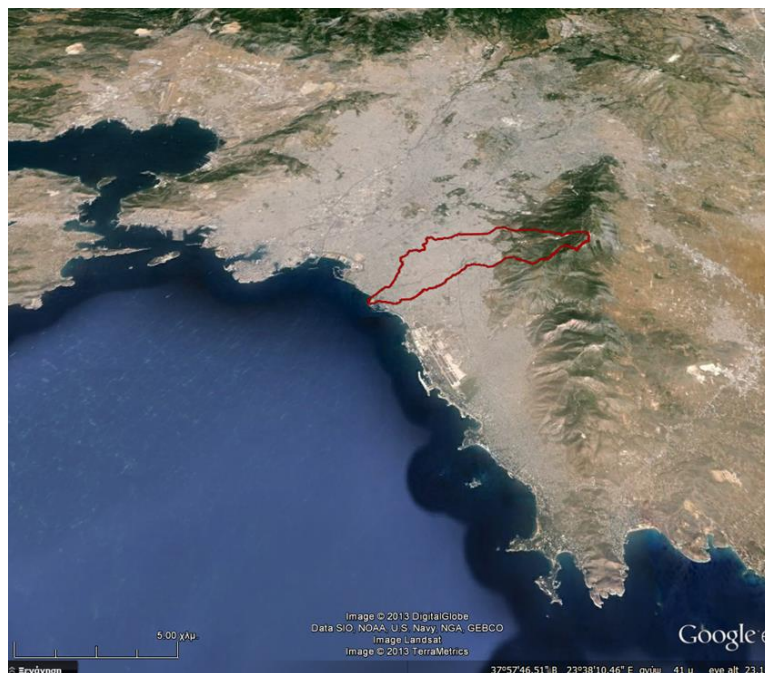
Η περιγραφή της λεκάνης απορροής και οι θέσεις ενδιαφέροντος δίνονται στην συνέχεια του Κεφαλαίου 1. Το μεθοδολογικό πλαίσιο για την κατασκευή των όμβριων καμπυλών, των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφήματων και των πλημμυρών σχεδιασμού παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η κατασκευή των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφήματων στην περιοχή μελέτης. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το πλημμυρικό επεισόδιο της 22/2/2013 και υπολογίζονται τα πλημμυρογραφήματα στις θέσεις ενδιαφέροντος. Στο Κεφάλαιο 5 εκτιμώνται οι πλημμύρες σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς 10 ετών για τις περιπτώσεις (α) άπειρης και (β) περιορισμένης παροχετευτικότητας των οχετών, ενώ στο Κεφάλαιο 6 καταγράφονται ορισμένα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

1.2 Περιγραφή λεκάνης απορροής

Το ρέμα της Πικροδάφνης εντοπίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου της Αττικής (Σχήμα 1.1). Αποτελεί μαζί με τον Κηφισό και τον Ιλισό ένα από τα μεγαλύτερα σε μήκος ρέματα της περιοχής. Οι πηγές του εντοπίζονται στις ανατολικές υπώρειες του Υμηττού στην περιοχή του Καρέα και οι εκβολές του στο Φαληρικό κόλπο παρά την Μαρίνα Αλίμου («ΕΔΕΜ») μέσω έργου εξόδου κατάντη της Λεωφόρου Ποσειδώνος. Η διεύθυνση της λεκάνης είναι βορειοανατολική - νοτιοδυτική και είναι ανοικτή νοτιοδυτικά στον Σαρωνικό κόλπο, ενώ βορειοανατολικά οριοθετείται από τον Υμηττό.

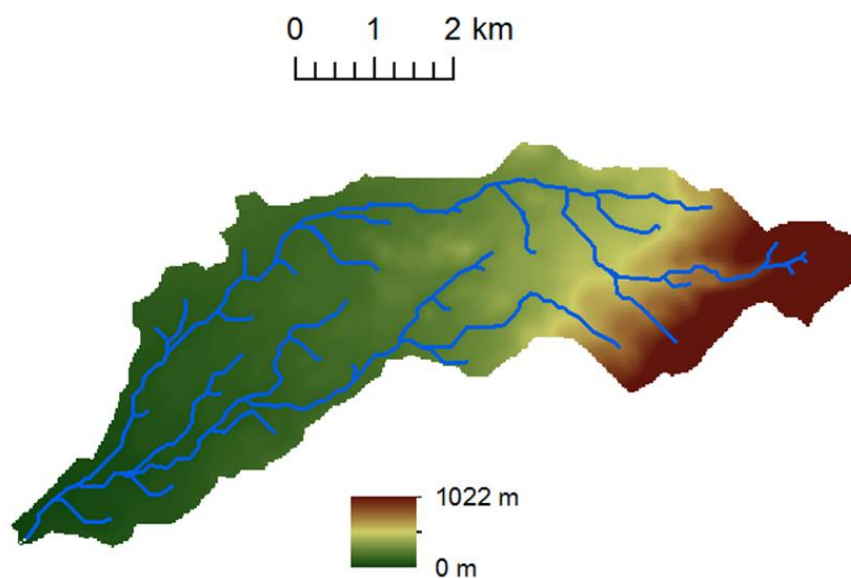
Από το συνολικό μήκος του κυρίως κλάδου του ρέματος (9.3 km περίπου), τα 5 km περίπου κατάντη της Λεωφόρου Βουλιαγμένης διατηρούν ακόμα την φυσική του κοίτη, ενώ τα υπόλοιπα είναι εγκιβωτισμένα. Δεν συμβαίνει το ίδιο και με τους συμβάλλοντες σε αυτό κλάδους οι οποίοι πρακτικά στο σύνολό τους έχουν μετατραπεί σε κλειστούς αγωγούς πλην των τμημάτων αμέσως ανάντη της συμβολής τους με τον κύριο κλάδο.

Διοικητικά η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Πικροδάφνης υπάγεται στο κεντρικό και νότιο τομέα της Περιφέρειας Αττικής και στους δήμους Βύρωνος, Αγίου Δημητρίου, Ηλιούπολης, Παλαιού Φαλήρου, και Αλίμου.



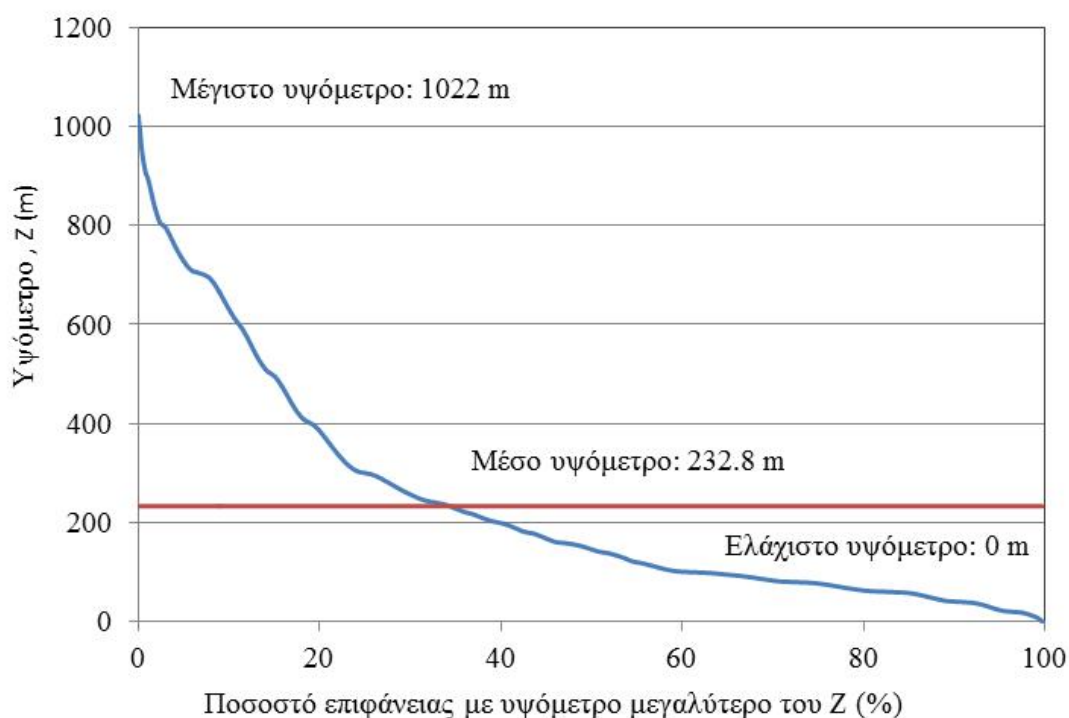
Σχήμα 1.1 Θέση λεκάνης Πικροδάφνης στο λεκανοπέδιο της Αττικής

Η φυσική υδρολογική λεκάνη της Πικροδάφνης απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2 ενώ ο υδροκρίτης της λεκάνης, όπως καθορίζεται από το φυσικό ανάγλυφο αποδόθηκε ψηφιακά σε Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας και ορίζει έκταση λεκάνης στη ίση με 20.9 km^2 .



Σχήμα 1.2 Υδρολογική λεκάνη Πικροδάφνης

Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής κυμαίνεται από 0 έως 1022 m (κορυφή Εύζωνος), με μέση τιμή 232.8 m. Η κατανομή υψομέτρων της λεκάνης δίνεται στο Σχήμα 1.3.



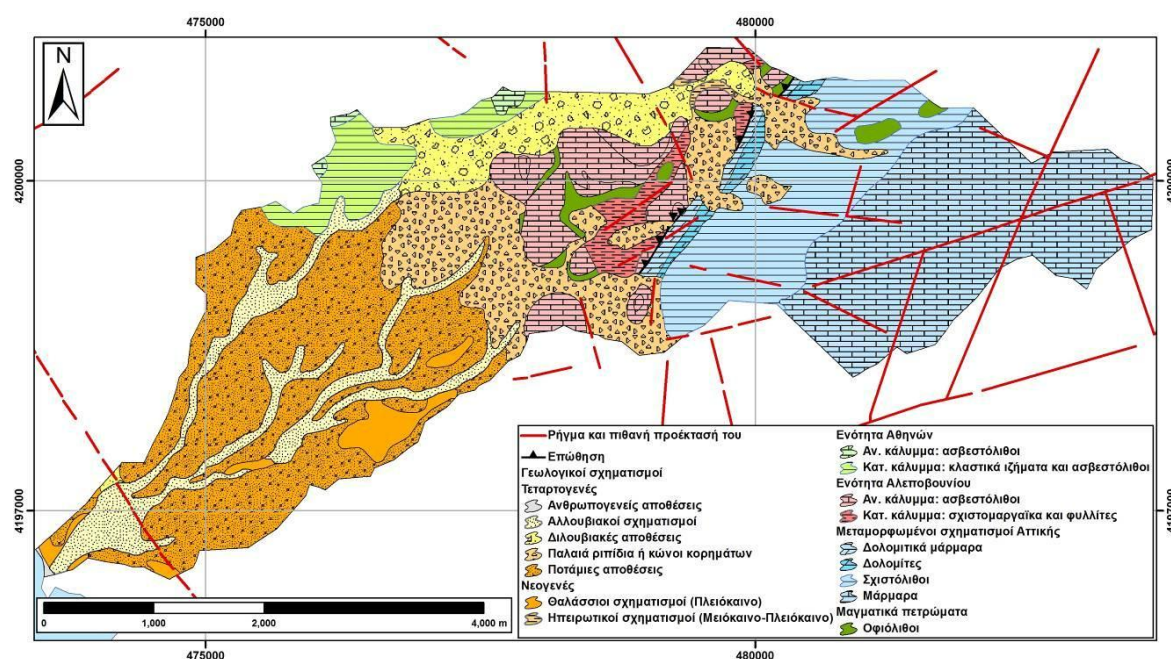
Σχήμα 1.3 Υψογραφική καμπύλη

Το ρέμα Πικροδάφνης αποτελεί βασικό μορφογενετικό παράγοντα του νοτιοδυτικού τμήματος του Υμηττού. Είναι περιοδικής ροής και το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του έχει δενδρική μορφή. Παράλληλα, το ρέμα εμφανίζει ασύμμετρη ροή, καθώς ο κεντρικός του κλάδος είναι μετατοπισμένος προς τα δυτικά, γεγονός που αποδίδεται στην προσφορά υλικού από τα δυτικά πρηνή του Υμηττού που τον αναγκάζει να μετατοπιστεί παράλληλα στον άξονά του και μακρύτερα από τον ορεινό όγκο.

Γεωλογικά η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Πικροδάφνη δομείται από μεταλλικούς και αλπικούς σχηματισμούς της ενότητας Αθηνών, της ενότητας Αλεποβουνίου και του μεταμορφωμένου αυτόχθονου της Αττικής (Μπάση, 2004-ΙΓΜΕ 1986, 1992, Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2012). Η κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών στο σύνολο της λεκάνης φαίνεται στον Πίνακα 1.1 ενώ στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής.

Πίνακας 1.1 Κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος Πικροδάφνης (Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2012)

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Έκταση	
	(km ²)	(%)
Τεταρτογενές		
Ανθρωπογενείς αποθέσεις	0.01	0.05%
Αλλουβιακοί σχηματισμοί	1.64	7.86%
Διλουβιακές αποθέσεις	1.27	6.06%
Παλαιά ριπίδια ή κώνοι κορημάτων	2.61	12.49%
Ποτάμιες αποθέσεις	4.98	23.83%
Νεογενές		
Θαλάσσιοι σχηματισμοί (Πλειόκαινο)	0.42	2.03%
Ηπειρωτικοί σχηματισμοί (Μειόκαινο - Πλειόκαινο)	0.04	0.19%
Ενότητα Αθηνών		
Αν. κάλυμμα: ασβεστόλιθοι	0.04	0.17%
Κατ. κάλυμμα: κλαστικά ιζήματα και ασβεστόλιθοι	0.79	3.76%
Ενότητα Αλεποβουνίου		
Αν. κάλυμμα: ασβεστόλιθοι	1.50	7.18%
Κατ. κάλυμμα: σχιστομαργαίκα και φυλλίτες	0.42	2.00%
Μεταμορφωμένη ενότητα Υμηττού		
Δολομιτικά μάρμαρα	0.18	0.87%
Δολομίτες	0.19	0.89%
Σχιστόλιθοι	2.30	11.03%
Μάρμαρα	4.18	20.03%
Μαγματικά πετρώματα		
Οφιόλιθοι	0.33	1.56%
Σύνολο	20.89	100.00%

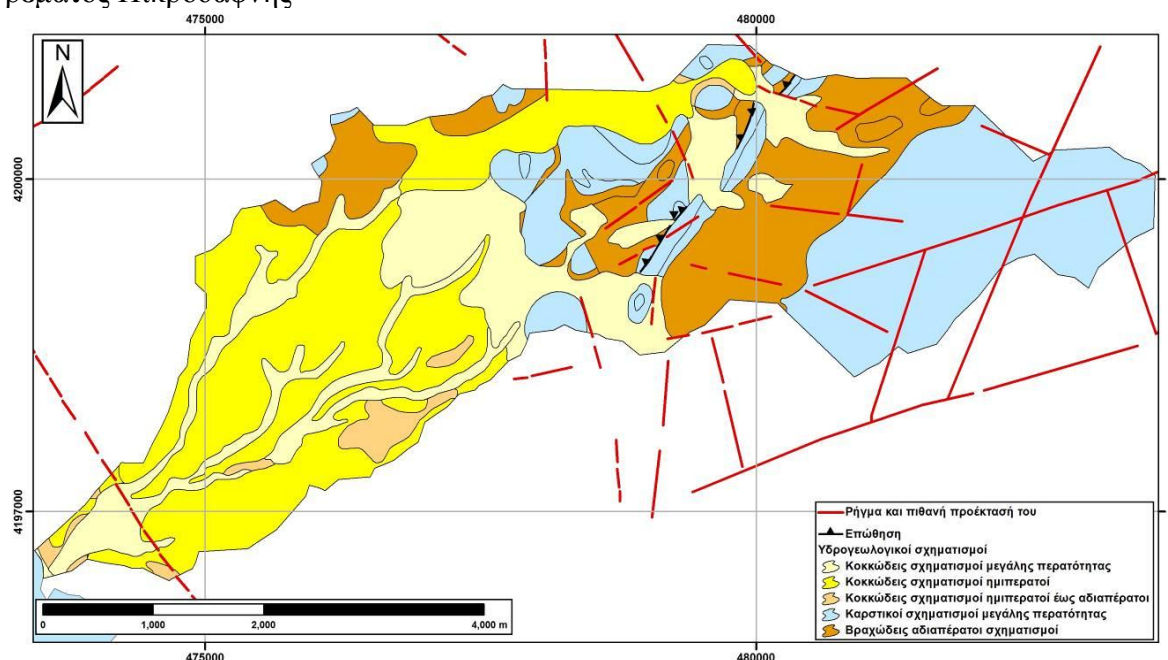


Σχήμα 1.4: Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πικροδάφνης (Μπάσης, 2004, Ι.Γ.Μ.Ε., 1986, Ι.Γ.Μ.Ε., 1992, Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., 2012)

Με βάση την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά οι γεωολογικοί σχηματισμοί της περιοχής διακρίνονται σε:

- χαμηλής περατότητας: αργιλομιγείς τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις, φυλλίτες και σχιστόλιθοι του αλπικού υπόβαθρου
- μέσης περατότητας: τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις στις αδρομερείς φάσεις τους και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι
- υψηλής περατότητας: δευτερογενούς περατότητας ανθρακικοί σχηματισμοί του αλπικού υπόβαθρου που περιλαμβάνουν τους ασβεστόλιθους και τα μάρμαρα καθώς και οι ψαμμιτικοί σχηματισμοί.

Στο Σχήμα 1.5 παρουσιάζεται ο υδρογεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πικροδάφνης

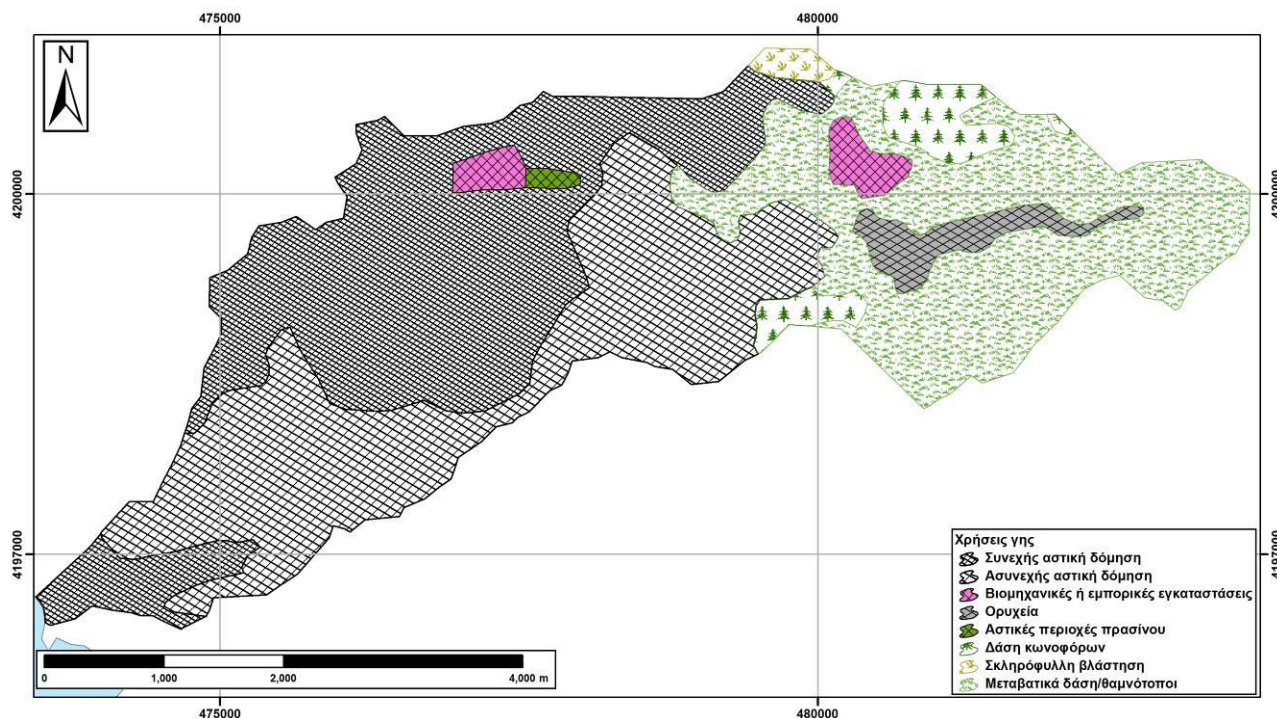


Σχήμα 1.5: Υδρογεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πικροδάφνης (Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., 2012)

Βασικό χαρακτηριστικό της υπό μελέτη υδρολογικής λεκάνης αποτελεί ο πυκνός οικιστικός ιστός που έχει αναπτυχθεί (Πίνακας 1.2, Σχήμα 1.6).

Πίνακας 1.2: Χρήσεις γης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πικροδάφνης (European Environmental Agency, CORINE Land Cover 2006, Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., 2012)

Χρήσεις γης	Κωδικός CORINE	Έκταση (km ²)	Έκταση (%)
Συνεχής αστική δόμηση	111	7.30	34.9%
Ασυνεχής αστική δόμηση	112	6.19	29.6%
Βιομηχανικές ή εμπορικές εγκαταστάσεις	121	0.46	2.2%
Ορυχεία	131	0.61	2.9%
Αστικές περιοχές πρασίνου	141	0.07	0.3%
Δάση κωνοφόρων	312	0.80	3.8%
Σκληρόφυλλη βλάστηση	323	0.15	0.7%
Μεταβατικά δάση/θαμνότοποι	324	5.35	25.6%
Σύνολο		20.93	100,0%



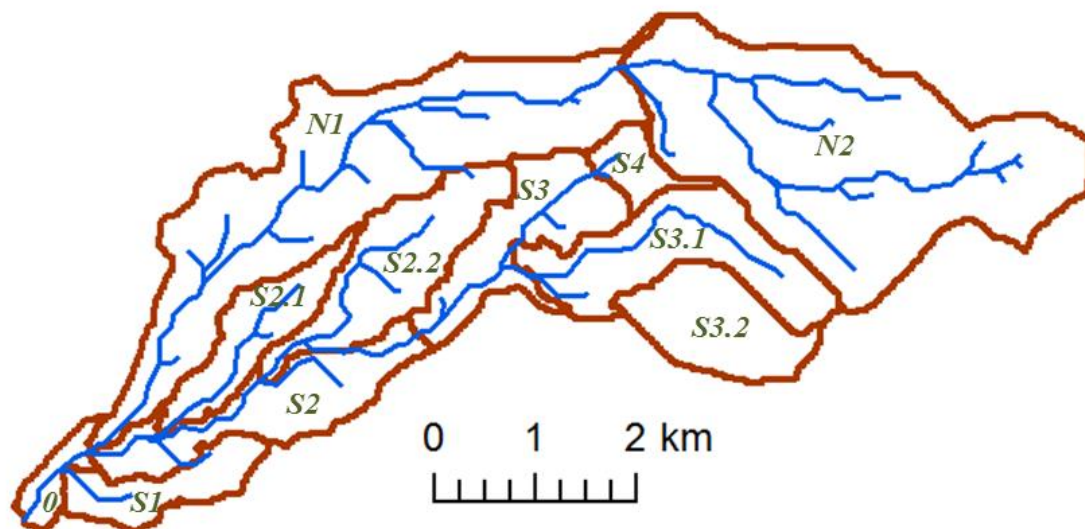
Σχήμα 1.6: Χρήσεις γης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πικροδάφνης (πηγή: European Environmental Agency, CORINE Land Cover 2006, Ι.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., 2012)

Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η αστική δόμηση καταλαμβάνει το 64.5% του συνόλου της έκτασης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πικροδάφνης (34.9% συνεχής αστική δόμηση και 29.6% ασυνεχής αστική δόμηση).

Σημαντικό ποσοστό της υδρολογικής λεκάνης καταλαμβάνουν οι περιοχές με φυσική βλάστηση. Πρόκειται κυρίως για τις μεταβατικές εκτάσεις δασών και θαμνότοπων (ποσοστό 25.6%) και πρόκειται θαμνώδεις περιοχές και εκτάσεις που προήλθαν από υποβάθμιση δασών. Παράλληλα, στην περιοχή συναντώνται δάση κωνοφόρων σε ποσοστό 3.8% και σκληρόφυλλη βλάστηση σε ποσοστό μόλις 0.7%. Οι αστικές περιοχές πρασίνου που καταλαμβάνουν το 0.3% της υδρολογικής λεκάνης (Άλσος Αλέξανδρου Άρη). Σημαντικό τμήμα των ανάντη περιοχών είχε καεί το 1998.

Τα παραπάνω στοιχεία χρησιμοποιούνται στο καθορισμό των παραμέτρων της απορροής στη λεκάνη.

Για τον προσδιορισμό της παροχής στις θέσεις ενδιαφέροντος η λεκάνη χωρίστηκε σε 11 υπολεκάνες. Κριτήριο για το διαχωρισμό πέρα από τις θέσεις ενδιαφέροντος αποτέλεσε και η ανάπτυξη των δικτύων ομβρίων, καθώς από αυτήν εξαρτάται τόσο ο χρόνος συγκέντρωσης (διαδρομής) μέχρι το σημείο υπολογισμού όταν η παροχή δεν ξεπερνά την παροχεταιυτικότητα του αγωγού, αλλά και το τμήμα της ενεργούς βροχόπτωσης που θα συρρεύσει επιφανειακά κατά μήκος των χαμηλών σημείων του οδικού δικτύου. Οι υπολεκάνες εμφανίζονται στο Σχήμα 1.7, ενώ στο Σχήμα 1.8 φαίνεται η ανάπτυξη των αγωγών αποχέτευσης ομβρίων εντός της λεκάνης απορροής.



Σχήμα 1.7 Υπολεκάνες μελέτης



Σχήμα 1.8 Ανάπτυξη αγωγών αποχέτευσης ομβρίων εντός της λεκάνης απορροής

Αναλυτικότερα:

Η υπολεκάνη Πικροδάφνης S4, εκτάσεως 0.41 km^2 , αποτελεί το πλέον ανάντη τμήμα του κύριου κλάδου. Είναι κατά το ήμισυ αστική και εκτείνεται από τη Λ. Καρέα μέχρι την οδό Αρτεμισίου όπου ξεκινά το κλειστό τμήμα.

Η υπολεκάνη S3, εκτάσεως 1.47 km^2 , αφορά στο τμήμα του κυρίως κλάδου μέχρι τη Λ. Βουλιαγμένης που έχει μερικώς διευθετηθεί/καλυφθεί. Συγκεκριμένα έχει διευθετηθεί με κλειστό αγωγό υπό την οδό Πατριάρχου Γρηγορίου Ε' σε μήκος 800 m ($2.50 \times 3.50 - 4.20$), στο τμήμα μεταξύ των οδών Αρτάκης και Σαρανταπόρου σε μήκος 80 m , και με ανοικτή διευθετημένη τραπεζοειδή διατομή ($4.00 \times 3.50 \text{ m}/5:1$) από την οδό Σαρανταπόρου έως την Βουλιαγμένης πλην των 200 m . περίπου ανάντη της Βουλιαγμένης. Διέρχεται κάτω από την λεωφόρο με οχετό ($4.20 \times 4.00 \text{ m}$).

Οι υπολεκάνες S3.1 και S3.2, έκτασης 1.93 km^2 και 1.29 km^2 αντίστοιχα συρρέουν με κλειστό αγωγό στο κλειστό τμήμα ανάντη της Λ. Βουλιαγμένης στο ύψος της οδού Ιωαννίνων και συλλέγουν τις απορροές περιοχών της Ηλιούπολης.

Η λεκάνη S3.2 αποτελεί το ανάντη ημιορεινό τμήμα το οποίο καλύπτει επίσης μικρή αστική περιοχή του Δ. Ηλιουπόλεως. Η S3.1 καλύπτει κατά το ήμισυ αστική περιοχή. Σημειώνεται ότι τμήμα της λεκάνης S3.2 έχει προστεθεί στη φυσική λεκάνη λόγω της κατασκευής από τον Δήμο της Ηλιούπολης του αγωγού Σ1 (και του συμβάλλοντά σε αυτόν Σ1.3) με βάση μελέτη της ΕΥΔΑΠ (ΕΝΜ ΕΠΕ, ΥΔΡΟΤΕΚ ΕΠΕ, ΑΔΚ Α.Ε., 2000). Στην μελέτη αυτή προβλέπεται η εκτροπή άλλων δύο υπολεκάνων της Ηλιούπολης προς το ρέμα Πικροδάφνης με την κατασκευή των αγωγών Σ2 και Σ3 που συμβάλλουν με το κλειστό τμήμα της Πικροδάφνης στο ύψος της οδού Γαβρηλίδου συνολικής επιπέδον έκτασης 2.5 km^2 . Στο τμήμα της λεκάνης απορροής που έχει συμπεριληφθεί στην παρούσα περιλαμβάνεται και έκταση περίπου 0.78 km^2 η οποία, εφόσον κατασκευαστεί ο Σ2, θα καταλήγει σε αυτόν και τελικά στο ρέμα αφού διανύσει μεγαλύτερη απόσταση.

Η υπολεκάνη S2 έκτασης 1.56 km^2 απορρέει απευθείας ή με μικρού μήκους κλειστά τμήματα στον κύριο κλάδο και είναι πλήρως αστικοποιημένη. Στο τμήμα αυτό το ρέμα διατηρεί τη φυσική του κοίτη.

Στο μήκος του ρέματος εντός αυτής της υπολεκάνης συρρέουν 3 κλάδοι και οι αντίστοιχες υπολεκάνες είναι οι εξής:

Η S2.2 ή λεκάνη ρέματος Αμαλίας (ή Αγ. Δημητρίου), έκτασης 1.68 km^2 . Το ρέμα αυτό βρίσκεται εντός πλήρως αστικοποιημένης περιοχής και έχει υποκατασταθεί από κλειστό αγωγό μήκους 2.2 km , μέγιστης διατομής σκουφοειδούς $2.00 \times 2.30 \text{ m}$ που διέρχεται από τις οδούς Κύπρου, Β. Αμαλίας και Ναυπλίου, ενώ υπάρχει μικρό τμήμα ελεύθερης κοίτης λίγο ανάντη της Λεωφόρου Αγ. Δημητρίου πριν τη συμβολή.

Η S2.1 ή λεκάνη ρέματος Κοψαχειλά. (ή Καλογραιών, ή Καλαμών), έκτασης 1.00 km^2 . Είναι ένα μικρό πλήρως εγκιβωτισμένο ρέμα μήκους 2.8 km μέγιστης ορθογωνικής διατομής $2.00 \times 2.00 \text{ m}$ που αποχετεύει πυκνά δομημένες, και διέρχεται από τις οδούς Θουκυδίδου, Μενελάου, Πέλλης, και Βεργίνας. Και αυτή η συμβολή διαμορφώνεται με ανοικτή φυσική διατομή.

Η υπολεκάνη S1 έκτασης 0.80 km^2 που αποτελεί τη λεκάνη απορροής κλειστού αγωγού μήκους 1.7 km και μέγιστης ορθογωνικής διατομής $2.50 \times 1.60 \text{ m}$ που συμβάλει στη γέφυρα Αμφιθέας.

Οι υπολεκάνες N1 και N2 που συνθέτουν το ρέμα Καλογήρων (ή Ζωοδόχου Πηγής στο ανάντη τμήμα του), τον μεγαλύτερο συμβάλλοντα κλάδο. Η υπολεκάνη N2, έκτασης 6.32 km^2 , αφορά στο τμήμα που διατηρεί φυσική απορροή και είναι ορεινό και η N1, έκτασης 5.53 km^2 , στο τμήμα που είναι αστικοποιημένο και διευθετημένο με κλειστό αγωγό. Ο αγωγός διέρχεται από τις οδούς Καραολή και Δημητρίου, Κερκύρας, Ταταύλων, Βοσπόρου, Βρουύλων, Βλαχερνών, Κων/πόλεως και Ελευθερωτών, Ηλιουπόλεως, Ειδομένης, Τριπόλεως, Αίνου, Ηρακλείτου, Ελλησπόντου, Αγησιλάου και Σωκράτους με μέγιστη διατομή σκουφοειδή $3.40 \times 3.86 \text{ m}$ και μήκος 6.7 km .

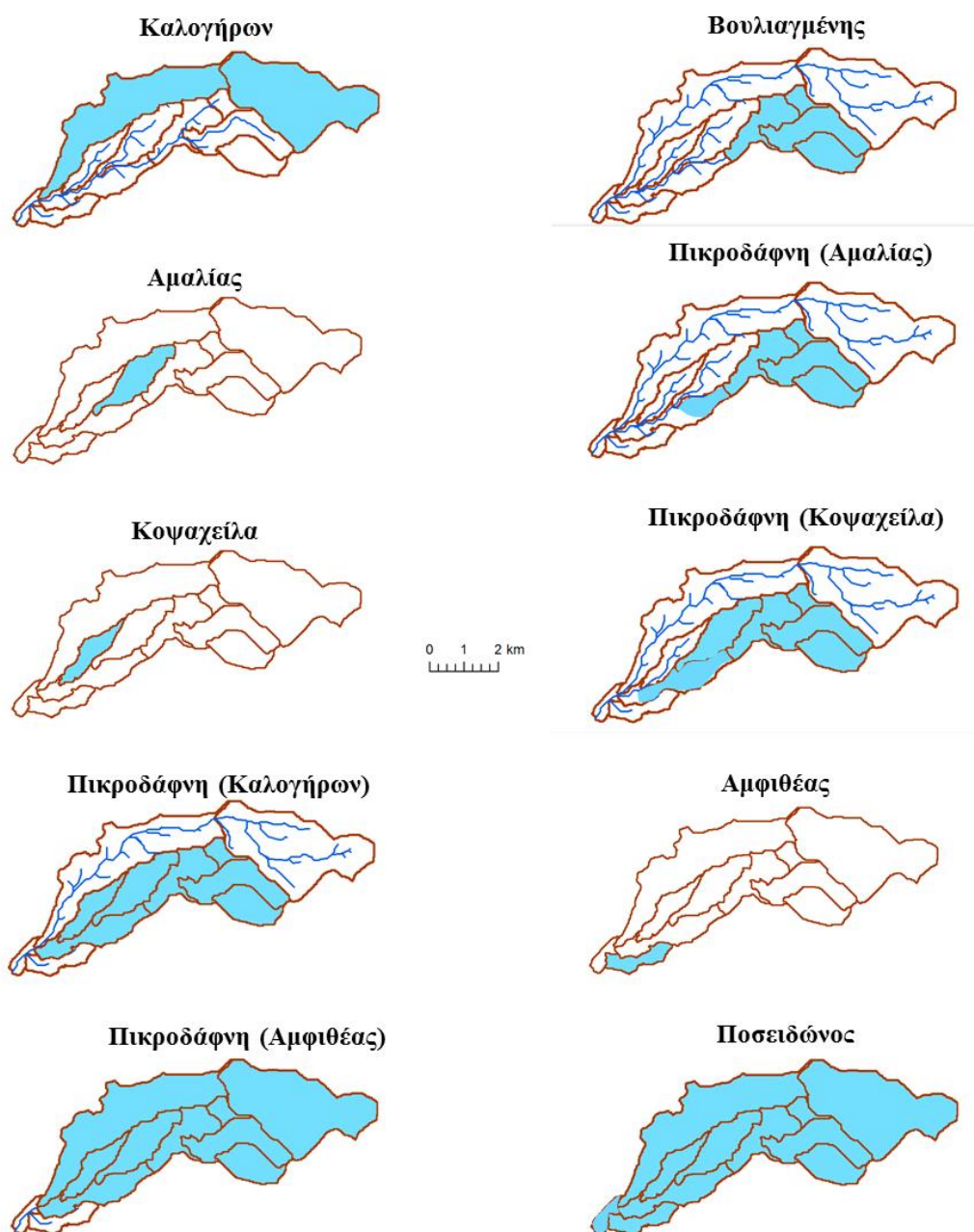
Η υπολεκάνη O είναι ενδιάμεση αστική υπολεκάνη, έκτασης 0.34 km^2 , μεταξύ συμβολής ρ. Καλογήρων και Λ. Ποσειδώνος. Το τμήμα κατάντη της Ποσειδώνος δεν συμπεριλαμβάνεται λόγω εγκιβωτισμού της εκβολής με αναχώματα. Στο τμήμα αυτό η διατομή σταδιακά διευρύνεται και το τελευταίο της τμήμα είναι επενδεδυμένο με σκυρόδεμα.

Με βάση τα παραπάνω το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής ως αυτή έχει σήμερα, λαμβάνοντας υπόψη την παρούσα ανάπτυξη των υπόγειων δικτύων αποχέτευσης ομβρίων, ανέρχεται σε 22.3 km^2 .

1.3 Θέσεις ενδιαφέροντος

Οι θέσεις ενδιαφέροντος (10) για τις οποίες υπολογίστηκαν πλημμυρογραφήματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.9. Οι θέσεις αυτές έχουν επιλεγεί με κριτήριο πέραν της δενδριτικής δομής της λεκάνης και τις παροχές υπολογισμού που απαιτούνται στο υδραυλικό μοντέλο. Ακόμη είναι σημαντική για την επιλογή και η διαθεσιμότητα πληροφοριών σχετικά με συγκεκριμένα επεισόδια βροχής και παρατηρημένες στάθμες.

Στο Σχήμα 1.9 φαίνεται η έκταση που συμμετέχει σε κάθε επιμέρους θέση υπολογισμού. Για τον καλύτερο υπολογισμό στις θέσεις ενδιαφέροντος οι υπολεκάνες S2 και 0 υποδιαιρέθηκαν περαιτέρω. Έτσι στη θέση «Πικροδάφνη (Αμαλία)» θεωρείται ότι έχει συμβάλει η μισή από την S3 κ.ο.κ. Στον Πίνακα 1.3 τα αντίστοιχα εμφανίζονται τα ποσοστά επί της έκτασης των υπολεκανών που συρρέουν σε κάθε θέση ενδιαφέροντος.



Σχήμα 1.9 Συμμετοχή υπολεκανών στις θέσεις ενδιαφέροντος

2. Μεθοδολογικό πλαίσιο

2.1 Όμβριες καμπύλες

Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν όμβριες καμπύλες που έχουν δημοσιευτεί από τους Koutsoyiannis et. al. (2010). Η γενική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών περιγράφεται λεπτομερώς αλλού (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998, Koutsoyiannis, 1999, Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000), ενώ έχει επιβεβαιωθεί σε πρόσφατη εκτεταμένη μελέτη που περιλαμβάνει βροχομετρικά δεδομένα από όλο τον κόσμο (Koutsoyiannis, 2004a, b). Τα γενικά χαρακτηριστικά της συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:

1. Η γενική συναρτησιακή σχέση όμβριων καμπυλών είναι της μορφής

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (1)$$

όπου i η μέγιστη ένταση βροχής διάρκειας d για περίοδο επαναφοράς T , και $a(T)$ και $b(d)$ κατάλληλες συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας, αντίστοιχα (Κουτσογιάννης, 1997).

2. Η συνάρτηση $b(d)$ είναι της ακόλουθης, εμπειρικά διαπιστωμένης, γενικής μορφής

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

όπου θ και η αποτελούν παραμέτρους προς εκτίμηση ($\theta > 0$, $0 < \eta < 1$) (Κουτσογιάννης, 1997).

3. Η συνάρτηση $a(T)$ προκύπτει αναλυτικά από τη συνάρτηση κατανομής που ισχύει για την μέγιστη ένταση βροχής της υπό εξέταση περιοχής, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ αποφεύγεται η χρήση εμπειρικών συναρτήσεων (Κουτσογιάννης, 1997).
4. Μια συνάρτηση κατανομής κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχής σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων είναι η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ· διεθνώς General Extreme Value – GEV – distribution). Αυτή η κατανομή ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I, II, και III και έχει την έκφραση

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 + \kappa\left(\frac{x}{\lambda} - \psi\right)\right]^{-1/\kappa}\right\} \quad x \geq \lambda (\psi - 1/\kappa) \quad (3)$$

όπου $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής για τιμές της μεταβλητής x , και κ , $\lambda > 0$ και ψ οι παράμετροι σχήματος, κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα. Η μεταβλητή x αντιπροσωπεύει είτε την ένταση βροχής i είτε, ισοδύναμα, το γινόμενο $i b(d)$ (για δεδομένη έκφραση της $b(d)$)· στην τελευταία περίπτωση η επίλυση της (3) ως προς x δίνει αμέσως τη συνάρτηση $a(T)$ και, στη συνέχεια, η επίλυση ως προς i δίνει αμέσως την έκφραση της όμβριας καμπύλης χωρίς να απαιτείται καμιά πρόσθετη, εμπειρική ή όχι, παραδοχή (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998).

5. Η (3) επιλύεται άμεσα ως προς x , οπότε με την προϋπόθεση ότι $F(x) = 1 - 1/T$ (προϋπόθεση που ισχύει για σειρές ετήσιων μέγιστων) προκύπτει

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

όπου για απλοποίηση έχει τεθεί $\lambda' = \lambda / \kappa$ and $\psi' = \kappa \psi - 1$ (Koutsoyiannis et. al., 1998).

6. Για $\kappa = 0$ η κατανομή ΓΑΤ μεταπίπτει στην κατανομή μεγίστων τύπου I (Gumbel), οπότε η (3) παίρνει τη ειδική μορφή

$$F(x) = \exp(-e^{-x/\lambda + \psi}) \quad (5)$$

όπου λ και ψ είναι οι παράμετροι κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα, της κατανομής. Αντίστοιχα, η (4) παίρνει τη μορφή (Κουτσογιάννης, 1997, Κουτσογιάννης et. al., 1998)

$$x_T = \lambda \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

7. Για $\kappa > 0$ προκύπτει η τριπαραμετρική κατανομή τύπου II. Η περίπτωση $\kappa < 0$ είναι μαθηματικά δυνατή και αντιστοιχεί στην κατανομή μεγίστων τύπου III, αλλά δεν είναι κατάλληλη για μέγιστες εντάσεις βροχής, γιατί συνεπάγεται άνω φραγμένη τιμή της έντασης, γεγονός που αντίκειται στη φυσική πραγματικότητα. Η ειδική περίπτωση $\kappa = 1/\psi$ (ή ισοδύναμα $\psi' = 0$) αντιστοιχεί στην κατανομή Fréchet (ειδική περίπτωση της κατανομής μεγίστων τύπου II), η οποία, ωστόσο, δεν έχει πρακτικό ενδιαφέρον.
8. 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, πρόσφατη μελέτη μεγάλου αριθμού δειγμάτων ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων απ' όλο τον κόσμο (163 σταθμοί, 18 000 σταθμοί-έτη) με μεγάλο μήκος (≥ 100 ετών) κατέδειξε ότι η κατανομή Gumbel είναι ακατάλληλη και πρέπει να αποφεύγεται γιατί οδηγεί σε υπεκτίμηση των μεγάλων βροχοπτώσεων. Αντίθετα, η τριπαραμετρική κατανομή μεγίστων τύπου II με παράμετρο σχήματος $\kappa \approx 0.15$ φαίνεται να είναι κατάλληλη για όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν (Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000· Koutsoyiannis, 2004a, b).
9. Επίσης, από πρόσφατη στατιστική διερεύνηση (Koutsoyiannis, 1999) των δεδομένων από 2645 σταθμούς διεσπαρμένους σε όλο τον κόσμο, 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 60 000 ετών, και (γ) η τιμή της παραμέτρου σχήματος της κατανομής ΓΑΤ είναι κατά μέσο όρο $\kappa = 0.13$.
10. Τα παραπάνω συνηγορούν στην αποδοχή της τριπαραμετρικής κατανομής μεγίστων τύπου II 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 μεγάλο μήκος δείγμα, η παράμετρος σχήματος της κατανομής ΓΑΤ μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να υιοθετείται η τιμή 0.15.
11. Η αποδοχή της κατανομής ΓΑΤ σε συνδυασμό με τις (1) και (2) οδηγεί στην ακόλουθη γενικευμένη έκφραση όμβριων καμπυλών

$$i(d, T) = \frac{\lambda' \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-\kappa} + \psi' \right\}}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa \neq 0) \quad (7)$$

12. Στην εξίσωση (7) η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται σε σειρές ετήσιων μέγιστων 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)

$$i(d, T) = \frac{\lambda' (T^\kappa + \psi')}{(d + \theta)^\eta} \quad (\kappa \neq 0) \quad (8)$$

Για μικρές περιόδους επαναφοράς, η εξίσωση (8) είναι προφανώς δυσμενέστερη από την αντίστοιχη της (7), ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς ($T > 10$ χρόνια) πρακτικώς η πρώτη ταυτίζεται με τη δεύτερη, δεδομένου ότι για μικρές τιμές του $1/T$ ισχύει $\ln [1 - (1/T)] = -(1/T) - (1/T)^2 - \dots \approx -1/T$.

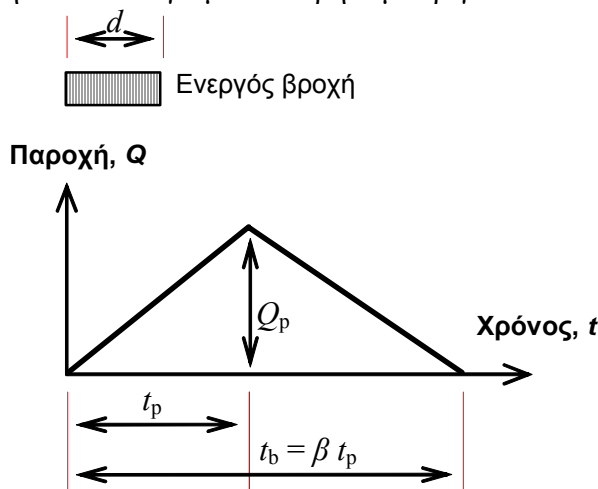
13. Για την εκτίμηση των παραμέτρων λ , ψ (ή ισοδύναμα λ' , ψ'), θ και η των παραπάνω εκφράσεων όμβριων καμπυλών έχουν διατυπωθεί από τον Κουτσογιάννη (1997· βλ. και Koutsoyiannis et al., 1998) δύο συνεπείς στατιστικές μέθοδοι, οι οποίες αποφεύγουν τη χρήση εμπειρικών τεχνικών που χρησιμοποιούνταν παλιότερα.

Η τελική έκφραση όμβριων καμπυλών που χρησιμοποιήθηκε για την περιοχή της Πικροδάφνης έχει εξαχθεί σε πρόσφατη μελέτη των βροχοπτώσεων της Αττικής (Κουτσογιάννης κ.ά., 2010) και έχει την έκφραση:

$$i(d, T) = \frac{237(T^{0.15} - 0.61)}{(1 + d/0.17)^{0.77}}, \quad (d \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h, } T \text{ σε έτη}) \quad (9)$$

2.2 Μοναδιαίο υδρογράφημα

Για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού υιοθετήσαμε τη μέθοδο του μοναδιαίου υδρογραφήματος αντί της συνηθέστερης αλλά λιγότερο αξιόπιστης ορθολογικής μεθόδου. Η άμεση κατάρτιση μοναδιαίων υδρογραφημάτων, από υδρομετρικά/σταθμηγραφικά και βροχογραφικά δεδομένα δεν είναι δυνατή, επειδή σε καμιά θέση δεν έχουν υπάρξει υδρομετρήσεις. Έτσι, καταφύγαμε στην κατάρτιση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, το οποίο για απλοποίηση των υπολογισμών θεωρήσαμε τριγωνικό.



Σχήμα 2.1 Τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα και χαρακτηριστικά μεγέθη του.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, για δεδομένη διάρκεια βροχής d , το τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα ορίζεται πλήρως από δύο χρονικές παραμέτρους: το χρόνο ανόδου t_p και την ολική διάρκεια πλημμύρας t_b . Η τελευταία, ορίζεται συνήθως ως

$$t_b = \beta t_p \quad (9)$$

όπου β σταθερά με συνήθη τιμή $\beta \approx 2.5$. Η πλημμυρική παροχή αιχμής προκύπτει από την εξίσωση συνέχειας: $h_0 A = \frac{1}{2} t_b Q_p$, όπου $h_0 = 10$ mm το μοναδιαίο ύψος βροχής και A η έκταση της λεκάνης, ή ισοδύναμα

$$Q_p = \frac{2 h_0 A}{t_b} = \frac{2 h_0 A}{\beta t_p} \quad (10)$$

Σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος (που βασίζεται σε γενικές ιδιότητες των συνελίξεων) η απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους του ενεργού βροχογραφήματος και του πλημμυρογραφήματος είναι αναλλοίωτη. Εν προκειμένω, η τετμημένη του κέντρου βάρους του βροχογραφήματος είναι $d/2$ και αυτή του πλημμυρογραφήματος $(t_b + t_p)/3$, οπότε

$$(t_b + t_p)/3 - d/2 = ct \quad (11)$$

Αν θεωρήσουμε προσεγγιστικά ότι για διάρκεια $d' \neq d$ παραμένει το τριγωνικό σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος, τότε από τις (12) και (10) προκύπτει ότι ο χρόνος ανόδου για αυτή τη διάρκεια είναι

$$t'_p = t_p + \frac{d' - d}{2} \frac{3}{1 + \beta} \quad (12)$$

Προφανώς το τριγωνικό σχήμα παύει να θεωρείται εύλογο όταν η διάρκεια βροχής d' ξεπεράσει το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης t_c . Στην οριακή περίπτωση $d' = t'_p = t_c$, η εξίσωση (13) μπορεί να δώσει τη σχέση του χρόνου συγκέντρωσης t_c και του χρόνου ανόδου t_p για διάρκεια βροχής d , ήτοι

$$t_c = \frac{(2 + 2\beta) t_p - 3d}{2\beta - 1} \quad (13)$$

ή ισοδύναμα

$$t_p = \left(1 - \frac{3}{2 + 2\beta}\right) t_c + \frac{3}{2 + 2\beta} d \quad (14)$$

Για $\beta = 2.5$ η (15) γράφεται $t_p = 0.57 t_c + 0.43 d$, η οποία δεν απέχει από την συχνά χρησιμοποιούμενη εμπειρική εξίσωση

$$t_p \approx 0.6 t_c + d/2 \quad (15)$$

Για την κατάρτιση του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για το επιφανειακό πλημμυρικό φαινόμενο, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας και συμπληρωματικά τις μεθόδους Snyder και Giandotti.

Η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας χρησιμοποιεί τοπογραφικά, υδρολογικά και άλλα δεδομένα της λεκάνης, τα οποία φαίνονται μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον Πίν. 2. Τα δεδομένα κλίσεων προέκυψαν από τη μηκοτομή που φαίνεται στο Σχ. 5. Η μέθοδος Snyder χρησιμοποιεί δεδομένα μόνο από την οριζοντιογραφία της λεκάνης, τα οποία φαίνονται, μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον Πίν. 2. Η μέθοδος Giandotti χρησιμοποιεί οριζοντιογραφικά και υψομετρικά δεδομένα.

Πιο συγκεκριμένα, το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) συνιστά τη σύνθεση μοναδιαίου υδρογραφήματος (για διάρκεια βροχής $d = 1$ h) τριγωνικής μορφής, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, με χρόνο ανόδου (σε h)

$$t_p = \frac{46.6 L^{0.14}}{S_{1085}^{0.38} (1 + \text{URBAN})^{1.99} \text{RSMD}^{0.4}} \quad (16)$$

και διάρκεια πλημμύρας σύμφωνα με την εξίσωση (10) με $\beta = 2.52$. Στην (17), L είναι το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km και S_{1085} είναι η μέση κλίση υδατορεύματος σε m/km που υπολογίζεται μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του. Η παράμετρος URBAN είναι η αναλογία των αστικών περιοχών μέσα στη λεκάνη απορροής και η RSMD είναι παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί ίση με το ύψος της μέγιστης 24ωρης βροχής για περίοδο επαναφοράς 5 ετών (σε mm).

Εξ άλλου, το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder βασίζεται στις σχέσεις

$$t_p = C_t (L L_c)^{0.3} \quad (17)$$

$$Q_p = C_Q \frac{A}{t_p} \quad (18)$$

όπου L_c το μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης (km), και C_t και C_Q συντελεστές που βρέθηκε να έχουν μέσες τιμές 1.5 και 1.72 (στο μετρικό σύστημα μονάδων), αντίστοιχα, σε λεκάνες απορροής των Αππαλαχίων. Όμως ο ίδιος ο Snyder στην Ελλάδα (Αραχθος, Πουρνάρι) έχει υιοθετήσει πολύ δυσμενέστερες τιμές $C_t = 0.76$ και $C_Q = 2.0$, τιμές τις οποίες δεχτήκαμε και στην παρούσα μελέτη. Τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται σε μοναδιαίο υδρογράφημα με διάρκεια βροχής $t_p / 5.5$.

Ως μια περαιτέρω εναλλακτική προσέγγιση χρησιμοποιήσαμε τον τύπο του Giandotti, ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην Ελλάδα. Ο τύπος αυτός δίνει το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης και γράφεται

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{\Delta H}} \quad (19)$$

όπου ΔH η διαφορά του μέσου υψόμετρου της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου, σε m.

Τα απαιτούμενα δεδομένα και οι σχετικοί υπολογισμοί για τη σύνθεση του μοναδιαίου υδρογραφήματος για διάρκεια βροχής $d = 0.08$ h δίνονται στον Πίνακα 2.1

Πίνακας 2.1 Φυσιογραφικά δεδομένα λεκάνης απορροής και παράμετροι εκτίμησης συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος της λεκάνης με διάφορε μεθόδους

Ιδιότητα
Εκταση, A (km ²)
Μήκος υδατορεύματος, L (km)
Μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κ.β. της λεκάνης, L_c (km)
Υψόμετρο υδατορεύματος στην έξοδο της λεκάνης, z_E (m)
Υψόμετρο υδατορεύματος στην αρχή του, z_A (m)
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, z_{10} (m)
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, z_{85} (m)
Κλίση υδατορεύματος μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του, S_{1085} (m/km)
Παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, RSMD (mm)
Παράμετρος αστικοποίησης, URBAN
Χρόνος ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $d = 1$ h, t_p (h)
Προσαρμογή του χρόνου ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας για $d = 0.08$ h, Bt_p (h)
Χρόνος ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Snyder, Αρχική τιμή t_{p0} (h)
Τελική τιμή κατά Snyder για βροχή $d = 0.08$ h, St_p (h)
Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti, t_σ (h)
Εκτίμηση χρόνου ανόδου κατά Giandotti για $d = 0.08$ h, Gt_p (h)
Τελική τιμή χρόνου ανόδου για βροχή $d = 0.08$ h, t_p (h)
Διάρκεια πλημμύρας, T_b (h)
Τελική διάρκεια πλημμύρας (στρογγ.), T_b (h)
Παροχή αιχμής, Q_p (m ³ /s)

2.3 Καταιγίδες σχεδιασμού

Η βασικότερη παραδοχή στην κατάρτιση της καταιγίδας σχεδιασμού στις λεκάνες αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες απλοποιημένες μέθοδοι, μια κατάταξη των οποίων δίνεται στην εργασία Koutsoyiannis (1994), όπου εισάγεται και μια συνθετότερη στοχαστική μέθοδος. Από τις απλοποιημένες μεθόδους της πράξης θεωρείται ως πλέον δόκιμη αυτή της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού (ή worst profile· US Department of the Interior, 1977, σ. 817· Koutsoyiannis, 1994) και η παραλλαγή της, γνωστή ως μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating block method· Sutcliffe, 1978, σσ. 31-35, Chow et al., 1988, σ. 466). Άλλες μέθοδοι που στηρίζονται σε αδιάστατες χρονικές κατανομές είναι περισσότερο ή λιγότερο αυθαίρετες και αδόκιμες.

Η μέθοδος της δυσμενέστερης διάταξης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συνήθων μεθόδων της πράξης, τα οποία μεταφέρονται και στην παραλλαγή των εναλλασσόμενων μπλοκ. Πρώτο, βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης (όμβριες καμπύλες) και όχι σε διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Δεύτερο, οδηγεί σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού χωρίς να απαιτείται καμιά πρόσθετη παραδοχή. Τρίτο, έχει δειχτεί μέσω σύγκρισης με πληρέστερα στοχαστικά μοντέλα (Koutsoyiannis, 1994) ότι τα αποτελέσματά της είναι σαφώς πιο εύλογα και συνεπή, σε σχέση με αυτά άλλων μεθόδων.

Η βασική παραδοχή της μεθόδου του δυσμενέστερου συνδυασμού είναι ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια το ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. Βεβαίως, η παραδοχή αυτή δεν είναι ρεαλιστική, πράγμα που αποτελεί και το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός των τμηματικών υψών προκύπτει με την εξής μεθοδολογία: Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται σε χρονική αντιστοιχία με τις τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε τρόπο ώστε το μέγιστο ύψος βροχής να είναι απέναντι από τη μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος, το αμέσως μικρότερο απέναντι από την αμέσως μικρότερη τεταγμένη κ.ο.κ. Η διάταξη αυτή στη συνέχεια αντιστρέφεται και έτσι προκύπτει το τελικό υετογράφημα. Η τεχνική αυτή αποδεικνύεται θεωρητικά ότι πράγματι δίνει τη μέγιστη παροχή αιχμής όταν συνδυαστεί με το μοναδιαίο υδρογράφημα. Στην παραλλαγή των εναλλασσόμενων μπλοκ δεν χρησιμοποιείται το μοναδιαίο υδρογράφημα για τη χρονική διάταξη των τμηματικών υψών βροχής, αλλά αυτά διατάσσονται κατά το δυνατόν συμμετρικά και ταυτόχρονα σε φθίνουσα σειρά γύρω από την κεντρική τιμή, η οποία συμπίπτει με το μέγιστο τμηματικό ύψος βροχής.

Όταν υιοθετείται αυτή η μέθοδος κατάρτισης της καταιγίδας σχεδιασμού, η διάρκεια βροχής θεωρείται σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου υστέρησης της λεκάνης. Για την παρούσα μελέτη υιοθετήσαμε ολική διάρκεια βροχής 9 ωρών και χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ για την κατάρτιση της καταιγίδας σχεδιασμού.

2.4 Απώλειες - Ωφέλιμη βροχή

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

$$h_e = \frac{[\max(0, h - h_{a0})]^2}{h - h_{a0} + S} \quad (20)$$

όπου h το ολικό και h_e το αντίστοιχο ενεργό ύψος βροχής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, h_{a0} το αρχικό έλλειμμα, δηλαδή μια αρχική ποσότητα βροχής που μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα, και S η δυνητικά μέγιστη κατακράτηση (potential maximum retention), δηλαδή το επιπλέον, πέραν του αρχικού h_{a0} , ελλειμματικό ύψος που μπορεί κατά μέγιστο να πραγματοποιηθεί σε μια βροχόπτωση με μεγάλο ολικό ύψος h . Για περαιτέρω απλοποίηση, υιοθετείται η επιπλέον παραδοχή ότι $h_{a0} = 0.2 S$, η οποία θεωρείται ως η βέλτιστη προσέγγιση από δεδομένα παρατηρήσεων, οπότε η μέθοδος χρησιμοποιεί τελικώς μία μόνο παράμετρο, την S . Με αυτή την επιπλέον παραδοχή, η (21) τελικώς γράφεται

$$h_e = \frac{[\max(0, h - 0.2 S)]^2}{h + 0.8 S} \quad (21)$$

Η σχέση (22) εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το τελικό ύψος ελλειμμάτων μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά (για βροχόπτωση μεγάλου ύψους) την τιμή $0.2 S + S = 1.2 S$.

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

$$S [\text{mm}] = 254 \left(\frac{100}{\text{CN}} - 1 \right) \quad (22)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και χρήσης γης στη λεκάνη απορροής, καθώς τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας: οι τελευταίες συναρτώνται με τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από προηγούμενες. Η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με τη διαπερατότητά τους και ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας, I, II, και III. Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης, ενώ για τις άλλες συνθήκες δίνει τύπους αναγωγής των συνθηκών τύπου II (βλ. και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

2.5 Περίοδοι επαναφοράς

Για την πληρότητα της μελέτης εξετάσαμε ένα εύρος περιόδων επαναφοράς, από 10 μέχρι 100 χρόνια. Δεν υποθέσαμε διαφοροποίηση των περιόδων επαναφοράς βροχής και παροχής. Αν και κατά μία άποψη (π.χ. Sutcliffe, 1978) χρειάζεται να γίνεται διάκριση των περιόδων επαναφοράς βροχής και πλημμύρας, η εμπεριστατωμένη μελέτη των Larson and Reich (1973) έδειξε ότι αυτή η διαφοροποίηση δεν είναι ορθή, δεδομένου ότι *κατά μέσο όρο* οι δύο περίοδοι επαναφοράς συμπίπτουν (πράγμα που άλλωστε είναι σχεδόν προφανές). Έτσι, στην παρούσα μελέτη δεν έγινε τέτοια διάκριση.

3. Μοναδιαία υδρογραφήματα περιοχής μελέτης

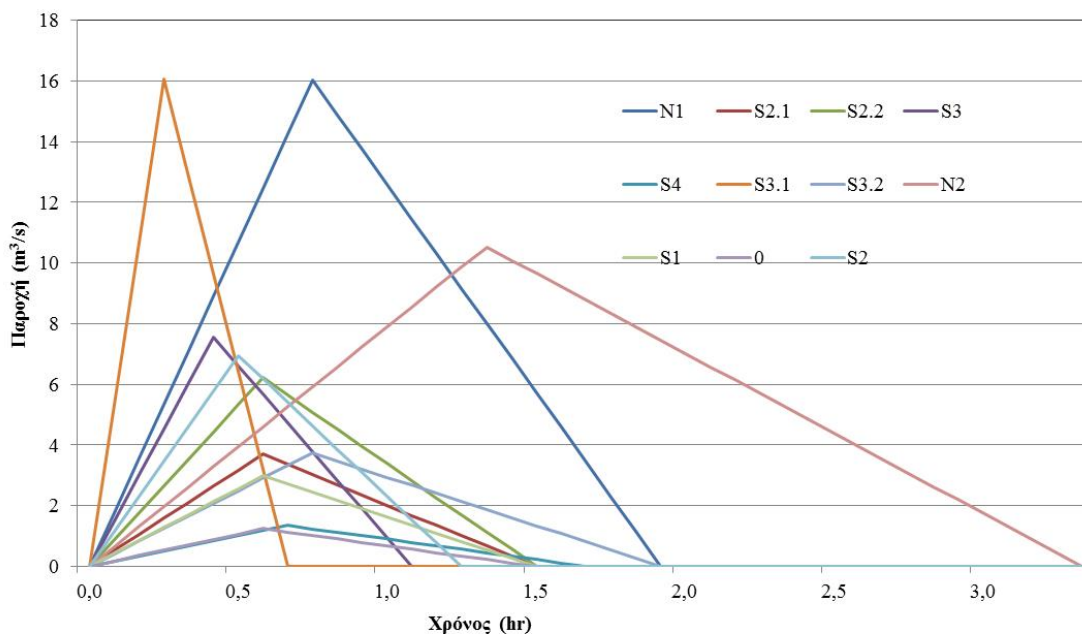
Υπολογίστηκαν τα μοναδιαία υδρογραφήματα των 11 υπολεκανών για χρονική διάρκεια βροχόπτωσης 5 min (0.08 hr). Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής (βλέπε Πίνακα 2.1) και οι τιμές των χαρακτηριστικών παραμέτρων

Πίνακα 3.1 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των λεκάνων απορροής και τιμές παραμέτρων

	N1	S2.1	S2.2	S3	S4	S3.1	S3.2	N2	S1	0	S2
A (km ²)	5.53	1.00	1.68	1.47	0.41	1.93	1.29	6.32	0.80	0.34	1.56
L (km)	8.0	3.1	4.0	2.9	1.3	4.1	2.4	5.7	2.5	1.3	2.8
L_c (km)	2.3	1.5	1.9	0.8	0.5	1.3	1.0	1.7	0.9	0.5	1.7
z_E (m)	12	20	49	91	175	134	205	179	8	0	12
z_A (m)	282	101	162	256	309	709	703	994	81	21	101
z_{10} (m)	21	28	57	99	180	144	219	202	15	0	15
z_{85} (m)	158	80	125	186	280	542	685	702	56	16	81
S_{1085} (m/km)	22.9	22.4	22.6	40.1	102.0	129.7	255.1	116.0	22.2	16.3	31.6
RSMD (mm)	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
URBAN	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0	0.9	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9
t_p (h)	0.9	0.8	0.8	0.6	1.4	0.4	1.1	1.7	0.8	0.8	0.7
t_σ (h)	1.6	1.2	1.3	0.9	0.5	0.6	0.5	0.8	1.1	1.2	1.2
t_{p0} (h)	1.8	1.2	1.4	1.0	0.7	1.2	1.0	1.5	1.0	0.7	1.2
$d=$ (hr)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Bt_p (h)	0.5	0.4	0.4	0.2	1.0	0.0	0.7	1.3	0.4	0.4	0.3
St_p (h)	1.76	1.16	1.35	0.96	0.66	1.21	0.98	1.47	0.96	0.66	1.18
Gt_p (h)	1.0	0.7	0.8	0.5	0.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7
T_b (h)	1.89	1.47	1.47	1.05	1.68	0.63	1.89	3.36	1.47	1.47	1.26
Τελικές τιμές											
t_p (h)	0.75	0.58	0.58	0.42	0.67	0.25	0.75	1.33	0.58	0.58	0.50
T_b (h)	1.92	1.50	1.50	1.08	1.67	0.67	1.92	3.33	1.50	1.50	1.25
Q_p (m ³ /s)	16.0	3.7	6.2	7.6	1.4	16.0	3.7	10.5	3.0	1.2	6.9

Για κάθε υπολεκάνη υπολογίστηκε ο χρόνος συρροής ή ο χρόνος διαδρομής.

Εφόσον η λεκάνη απορρέει φυσικά ο χρόνος συρροής υπολογίζεται με βάση τα φυσιογραφικά της δεδομένα. Αν απορρέει μέσω τεχνητού αγωγού ο χρόνος ροής με την υπόθεση ολικής πλήρωσης του αγωγού και κλίσης ενέργειας ίσης με την κλίση πυθμένα (όπως στην ομοιόμορφη ροή). Ο χρόνος ροής εντός του αγωγού αποτελεί και το χρόνο υστέρησης του επιμέρους πλημμυρογραφήματος της συρρέουσας λεκάνης στο συντιθέμενο πλημμυρογράφημα της θέσης ενδιαφέροντος. Στον Πίνακα 3.2. φαίνονται οι συνολικοί χρόνοι ροής μέσα στους αγωγούς, οι χρόνοι εισόδου και τα χαρακτηριστικά των τριγωνικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων.



Σχήμα 3.1 Τριγωνικά συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα λεκανών

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά των αστικών λεκανών απορροής και τιμές παραμέτρων

Ιδιότητα	N1	S2.1	S2.2	S3	S3.1	S1	0	S2
Έκταση, A (km ²)	5.53	1.00	1.68	1.47	1.93	0.80	0.34	1.56
Χρόνος ροής min	18	12	8	5	5	6.5	6	13
Χρόνος εισόδου min		10	10		15	10		
Χρόνος συγκέντρωσης (hr)	0.30	0.37	0.30	0.08	0.33	0.28	0.10	0.22
Διάρκεια βροχής (hr)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Χρόνος ανόδου (hr)	0.21	0.24	0.21	0.08	0.23	0.19	0.09	0.16
Χρόνος βάσης (hr)	0.52	0.62	0.52	0.21	0.57	0.49	0.23	0.40
Τελικές τιμές								
Χρόνος ανόδου (hr)	0.17	0.25	0.17	0.08	0.25	0.17	0.08	0.17
Χρόνος βάσης (hr)	0.50	0.58	0.50	0.25	0.58	0.50	0.25	0.42
Παροχή αιχμής (m ³ /s)	61.4	9.5	18.6	32.7	18.3	8.9	7.5	20.8

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι χρόνοι υστέρησης που υπολογίστηκαν για κάθε επιμέρους υπολεκάνη σε κάθε θέση ενδιαφέροντος. Σε αντιστοιχία με την υποδιαίρεση της επιφάνειας απορροής των υπολεκανών S2 (σε α,β, και γ) και 0 (σε α και β) στις θέσεις ενδιαφέροντος υποδιαίρεείται και ο χρόνος υστέρησης.

Πίνακας 3.3 Χρόνοι υστέρησης (min) συρρευσών υπολεκανών

	Καλο- γήρων	Βουλια γμένης	Πικροδάφνη (Αμαλίας)	Πικροδάφνη (Κοψαχείλα)	Πικροδάφνη (Καλογήρων)	Πικροδάφνη (Αμφιθέας)	Ποσει δώνος
N1						3.00	6.00
S2.1					3.75	6.75	9.75
S2.2				3.75	7.50	10.50	13.50
S3			7.50	11.25	15.00	18.00	21.00
S4		10.00	17.50	21.25	25.00	28.00	31.00
S3.1		5.00	12.50	16.25	20.00	23.00	26.00
S3.2		10.00	17.50	21.25	25.00	28.00	31.00
N2	18.00					21.00	24.00
S1							3.00
Oα							
Oβ							3.00
S2α						3.00	6.00
S2β					3.25	6.25	9.25
S2γ				3.75	6.50	9.50	12.50

Σε κάποιες από τις υπό μελέτη υπολεκάνες όταν η παροχή κατά τη διάρκεια ενός πλημμυρικού φαινομένου ξεπεράσει κάποια τιμή στην υπό μελέτη διατομή, τότε στην ανάντη λεκάνη θα έχει εμφανιστεί επιφανειακή πλημμυρική ροή κατά μήκος των χαμηλών σημείων του οδικού δικτύου, επειδή δεν θα μπορεί να παροχετευτεί από τον οχετό το σύνολο της απορροής ομβρίων. Στο επιφανειακό πλημμυρικό φαινόμενο οι ταχύτητες ροής θα είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές του οχετού και για το χειρισμό των υπερχειλίσεων χρησιμοποιούνται τα μοναδιαία υδρογραφήματα του Πίνακα 3.1 τα οποία προφανώς έχουν μεγαλύτερο χρόνο ανόδου και διάρκεια πλημμύρας.

4. Το επεισόδιο της 22/2/2013

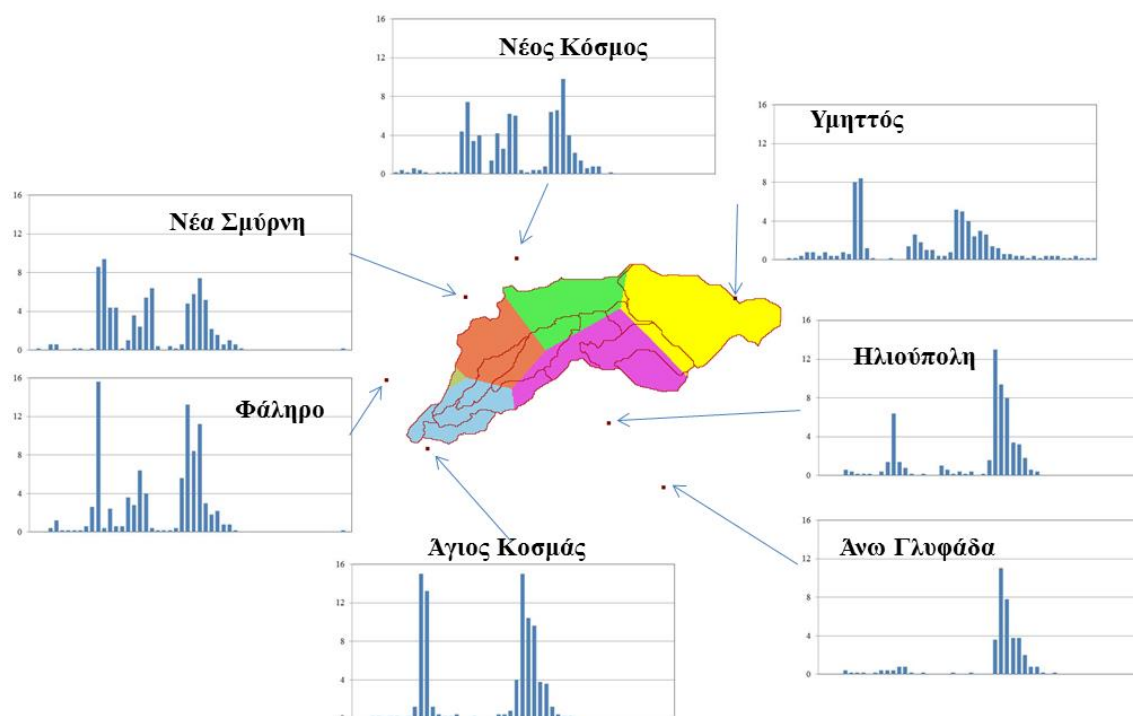
4.1 Χωροχρονική κατανομή βροχόπτωσης

Στην περιοχή της Πικροδάφνης λειτουργούν επτά αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί οι οποίοι καταγράφουν την βροχόπτωση σε δεκάλεπτη χρονική κλίμακα. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των βροχομετρικών σταθμών

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών

Όνομα	Υψόμετρο (m)	Ιδιοκτήτης	Ποσοστό επιρροής στη λεκάνη (%)
Άγιος Κοσμάς	5	HOA	13
Άνω Γλυφάδα	185	EAA	0
Ηλιούπολη	206	HOA	22
Νέα Σμύρνη	51	EAA	16
Νέος Κόσμος	50	EAA	17
Υμηττός	1011	EAA	31
Φάληρο	51	EAA	1

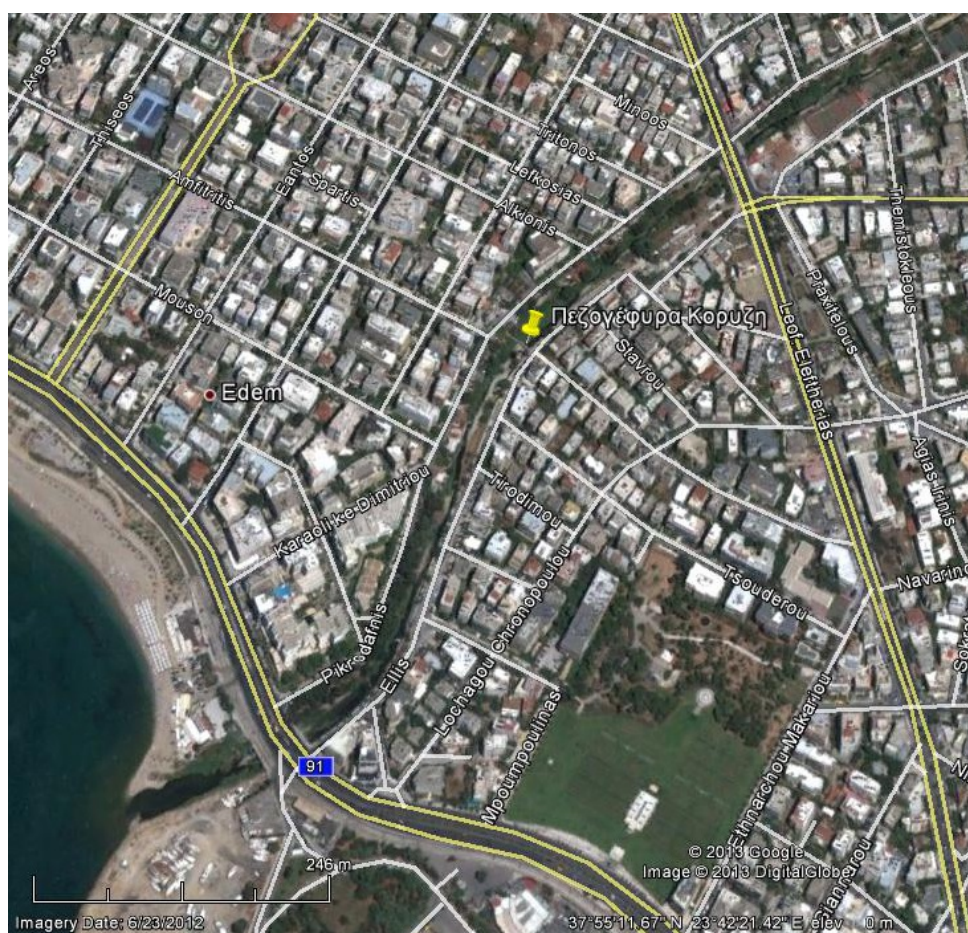
Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται οι θέσεις των σταθμών και η επιρροή τους στη συνολική λεκάνης καθώς και η χρονική εξέλιξη του ισχυρού επεισοδίου βροχής στις 22/2/2013 (mm/10 min) το οποίο προκάλεσε οριακές υπερχειλίσσεις σε συγκεκριμένες θέσεις του ρέματος.



Σχήμα 4.1 Θέση βροχομετρικών σταθμών, επιρροή τους στη λεκάνη και χρονική εξέλιξη βροχόπτωσης της 22/2/2013 (mm/10 min)

Συγκεκριμένα στη θέση της πεζογέφυρας της οδού Κορύζη κατάντη της Λεωφόρου Αμφιθέας (Σχήμα 4.2), προκλήθηκε υπερχειλίση (Φωτογραφία 4.1) ενώ μαρτυρίες στα

δημοσιογραφικά μέσα ανέφεραν ότι η στάθμη στην Ποσειδώνος έφτασε στο κάτω πέλαμα του φορέα. Η αιχμή της πλημμύρας σημειώθηκε περίπου στις 10:00 της 22/2/2013 (Φωτογραφία 4.2). Η υπερχειλίση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη των καλαμιών ανάντη της γέφυρας (Σχήμα 4.3). Στη Φωτογραφία 4.3 είναι εμφανής η μεταφορά καλαμιών (debris) η οποία προκάλεσε σοβαρή μείωση της παροχετευτικότητας, υπερχειλίση, έντονη τοπική διάβρωση και κατάρρευση ενός μεσόβαθρου στήριξης διάβασης αγωγών αμέσως κατάντη της γέφυρας.



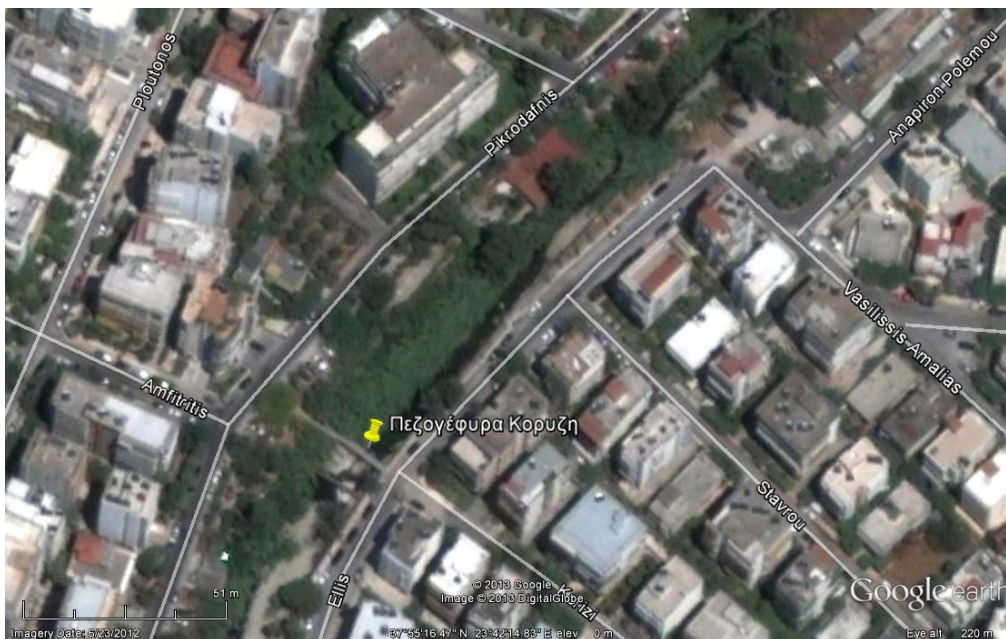
Σχήμα 4.2 Θέση πεζογέφυρας σε σχέση με την εκβολή (Google Earth, 23/6/2012)



Φωτογραφία 4.1 Ανώτατη στάθμη στη θέση πεζογέφυρας Κορυζή



Φωτογραφία 4.2 10:09, 500 m πριν την εκβολή



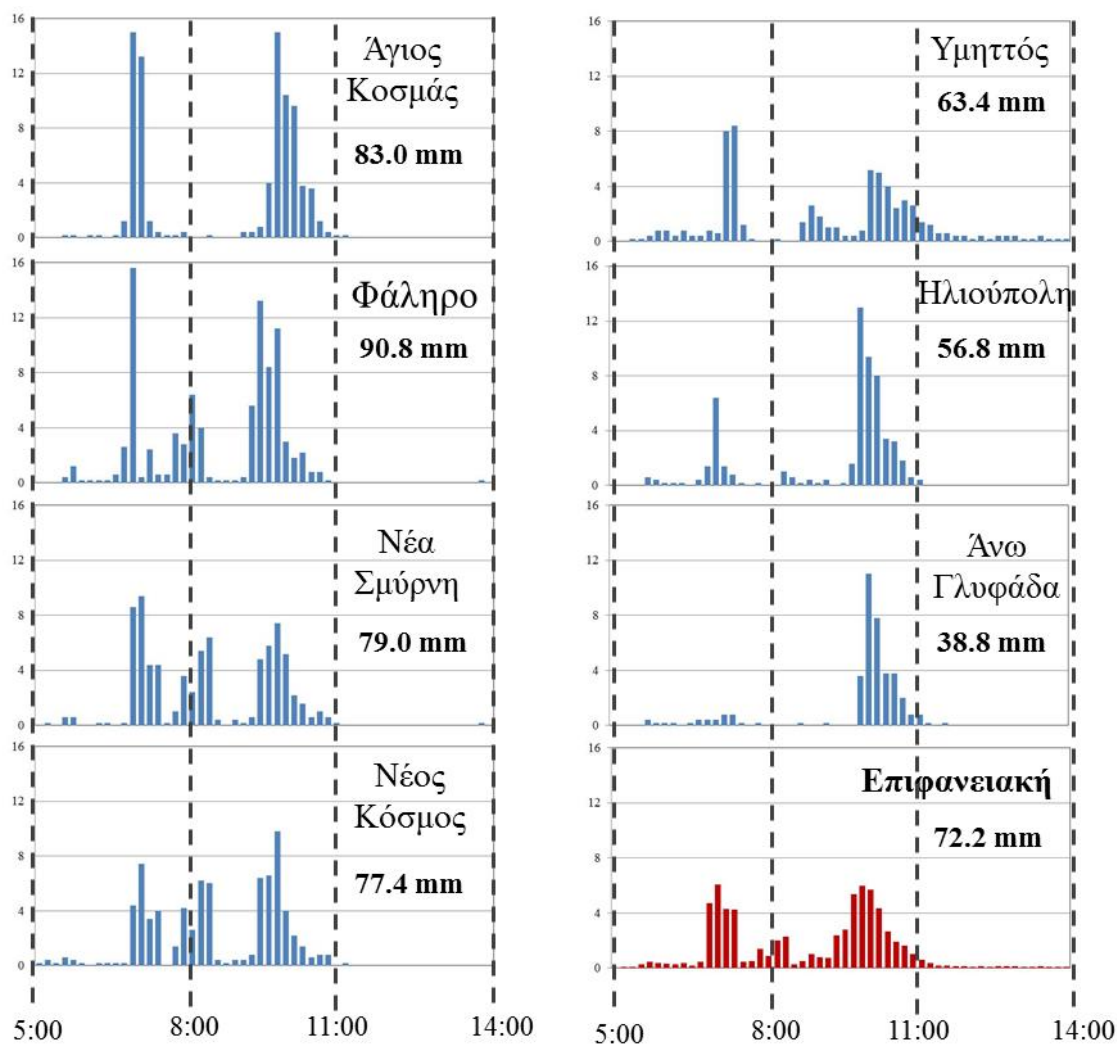
Σχήμα 4.3 Ανάπτυξη καλαμιών ανάντη της πεζογέφυρας (Google Earth, 23/6/2012)



Φωτογραφία 4.3 Πεζογέφυρα Κορούζη - Μετά την υπερχείλιση

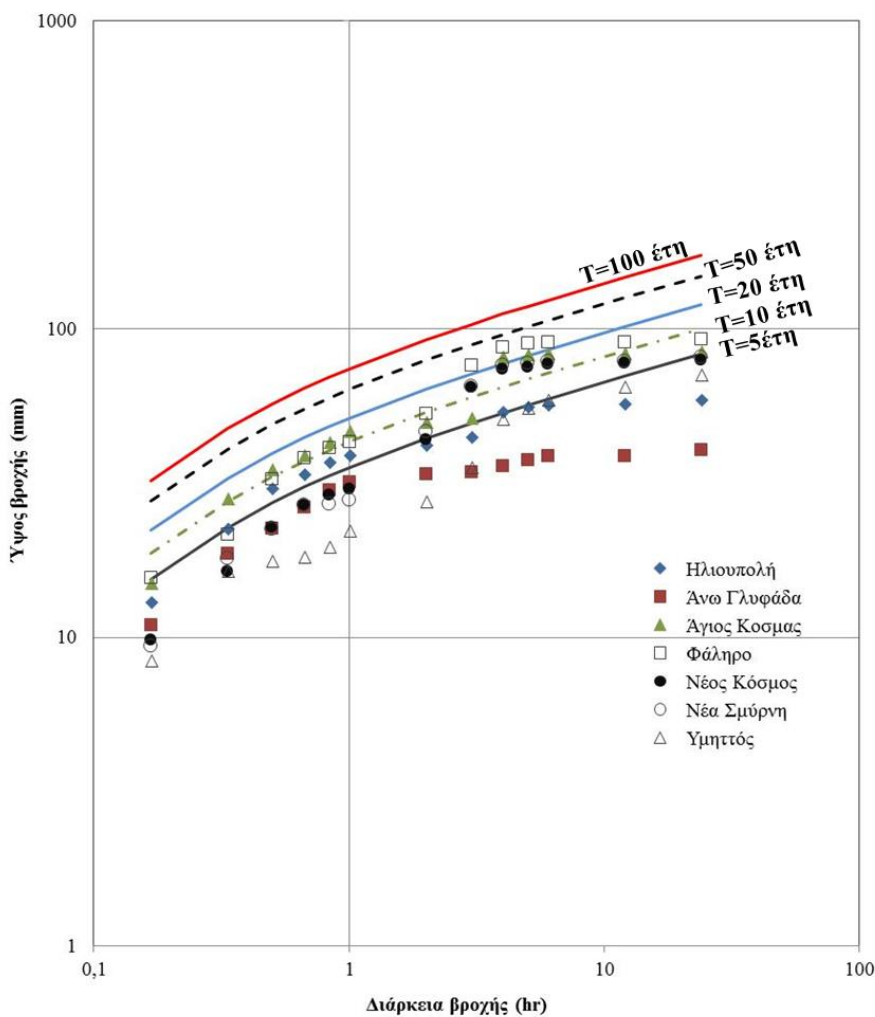
Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η χρονική εξέλιξη της βροχόπτωσης στους σταθμούς καθώς και της επιφανειακής βροχόπτωσης η οποία υπολογίστηκε με βάση τα ποσοστά επιρροής. Οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις παρατηρήθηκαν στους τέσσερις σταθμούς που βρίσκονται ανατολικά από το κέντρο βάρους της λεκάνης (77.4-90.8 mm), ενώ μικρότερα ύψη βροχής σημειώθηκαν στους υπόλοιπους τρεις σταθμούς με ελάχιστο της Άνω

Γλυφάδας (38.8 mm) η οποία όμως δεν λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης.



Σχήμα 4.4 Χρονική εξέλιξη σημειακής και επιφανειακής βροχόπτωσης επεισοδίου της 22/2/2013

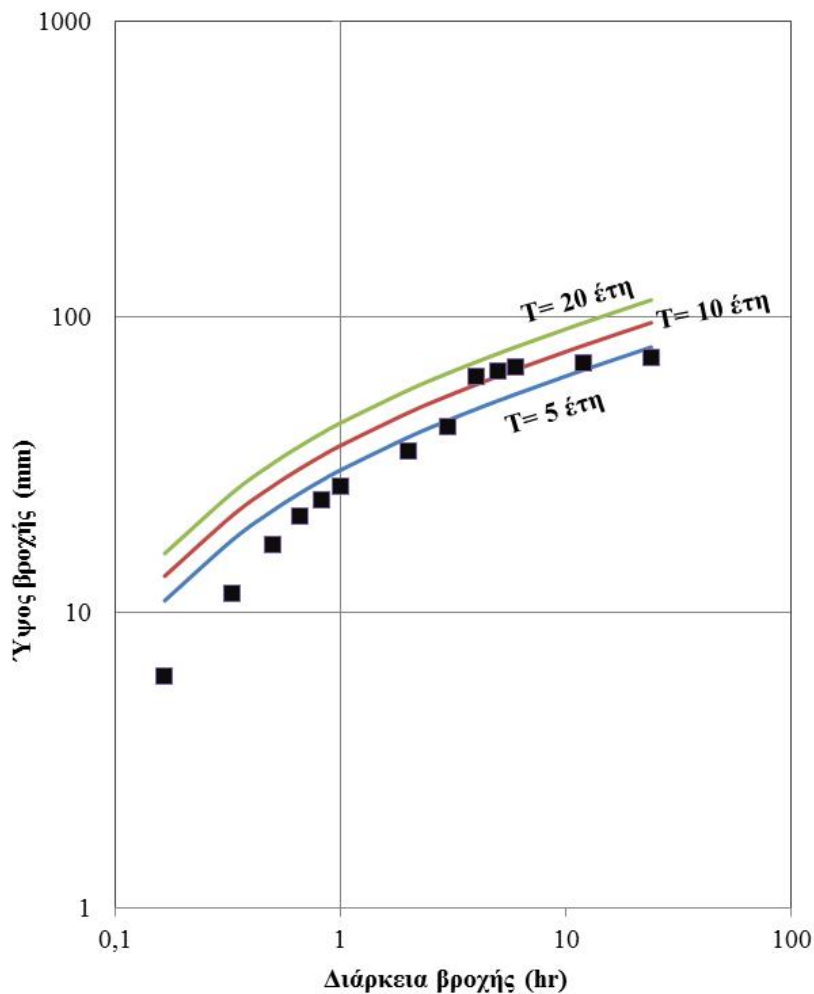
Η πιθανότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου επεισοδίου διερευνήθηκε με τη χρήση των ομβρίων καμπυλών της περιοχής (Εξίσωση 9). Συγκεκριμένα για κάθε παρατηρημένη σημειακή βροχόπτωση υπολογιστήκαν οι μέγιστες εντάσεις διάρκειας από 10 min έως 24 hr και παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.5 σε σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 20, 50 και 100 έτη.



Σχήμα 4.5 Περίοδος επαναφοράς εμφάνισης σημειακών βροχοπτώσεων για διάρκειες από 10 min έως 24 hr

Από το Σχήμα 4.5 είναι φανερό ότι οι βροχοπτώσεις που αντιστοιχούσαν σε μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς παρατηρήθηκαν στους τέσσερις ανατολικότερους σταθμούς και για χρονικές διάρκειες 3, 4, 5 και 6 ωρών όπου οι περίοδοι κυμαίνονται γύρω στα 20 έτη. Στους υπόλοιπους σταθμούς για τις συγκεκριμένες διάρκειες οι περίοδοι επαναφοράς κυμαίνονται γύρω στα 5 έτη. Η μέγιστη περίοδος επαναφοράς που παρατηρήθηκε ($T=34$ έτη) αντιστοιχεί στην τετράωρη βροχόπτωση στο σταθμό του Φαλήρου.

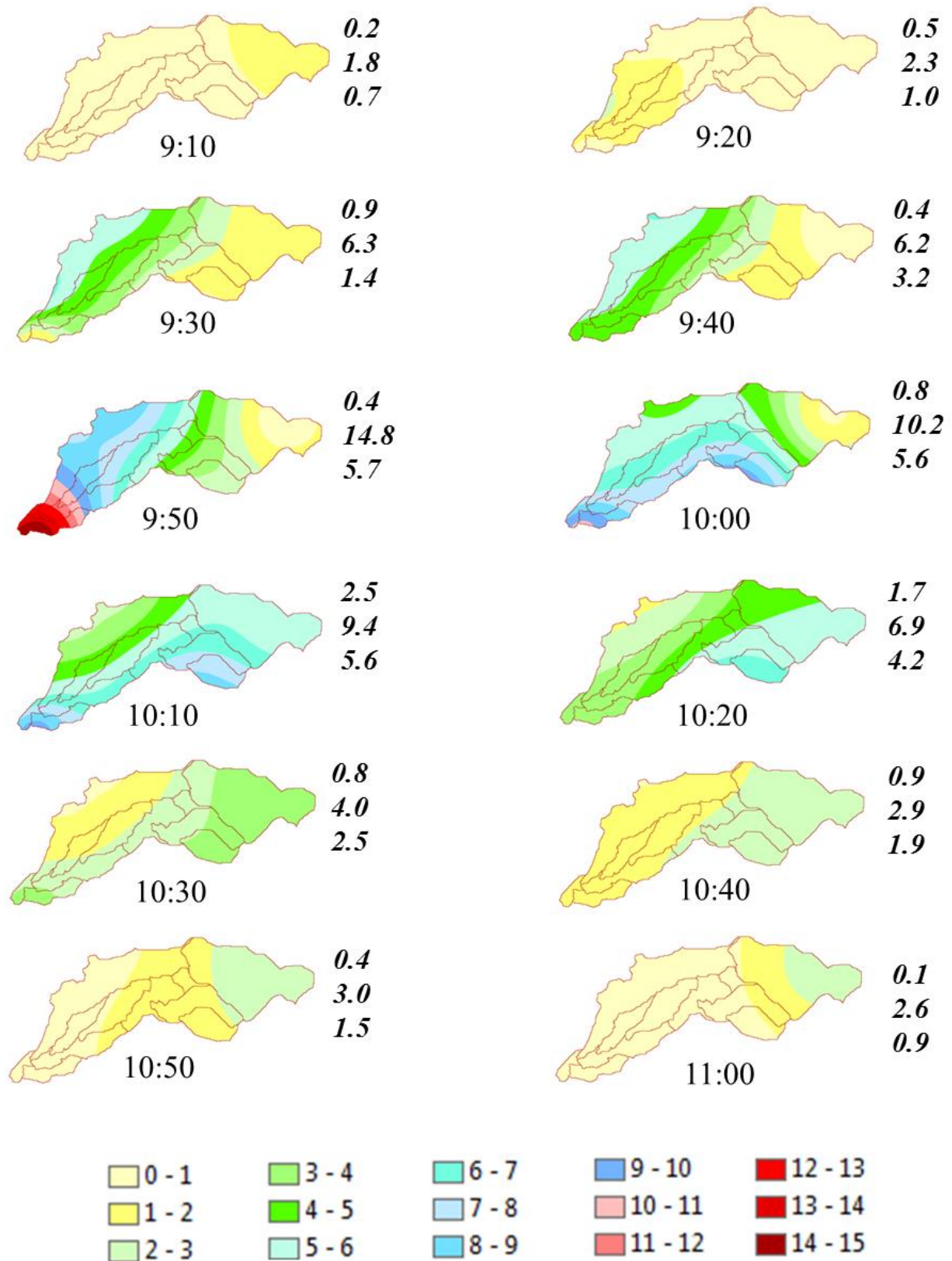
Με τον ίδιο τρόπο μελετήθηκε και η επιφανειακή βροχόπτωση και παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6 σε σύγκριση με τις όμβριες καμπύλες (επιφανειακά ανηγμένες) για περιόδους επαναφοράς 5, 10 και 20 έτη.



Σχήμα 4.6 Πιθανότητα εμφάνισης επιφανειακή βροχόπτωσης για διάρκειες από 10 min έως 24 hr

Οι επιφανειακές βροχοπτώσεις χρονικής διάρκειας 4, 5 και 6 ωρών αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς λίγο μεγαλύτερες από τα 10 έτη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι χρόνοι συρροής των υπολεκανών είναι αρκετά μικρότεροι από 4 ώρες το επεισόδιο δεν ήταν ιδιαίτερα δυσμενές.

Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η χωροχρονική εξέλιξη καταιγίδας για χρονικό διάστημα 2 ωρών (09:10-11:00). Συγκεκριμένα με τη χρήση ΣΓΠ κατασκευάστηκε για κάθε δεκάλεπτο η επιφάνεια βροχής με βάση τις σημειακές μετρήσεις των βροχομετρικών σταθμών. Σε κάθε επιφάνεια φαίνεται η ελάχιστη, η μέγιστη βροχόπτωση και η μέση επιφανειακή βροχόπτωση (mm). Με βάση τις επιφάνειες αυτές υπολογίστηκαν και οι επιφανειακές βροχοπτώσεις κάθε υπολεκάνης οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά με τη μέση επιφανειακή βροχόπτωση για την εκτίμηση πλημμυρογραφημάτων.



Σχήμα 4.7 Χωροχρονική εξέλιξη καταιγίδας για το εντονότερο δίωρο (09:10-11:00)

Στο Σχήμα 4.7 είναι φανερή η έντονη χωρική ανισοκατανομή της βροχόπτωσης σε όλες σχεδόν τις δεκάλεπτες επιφάνειες γεγονός που επηρεάζει την μορφή των πλημμυρογραφημάτων.

4.2 Υπολογισμός καθαρών υετογραφημάτων

Τα καθαρά υετογραφήματα υπολογίστηκαν στις 11 υπολεκάνες χρησιμοποιώντας ως είσοδο (α) μια κοινή επιφανειακή βροχόπτωση και (β) επιφανειακές βροχοπτώσεις για κάθε υπολεκάνη. Συγκεκριμένα για κάθε υπολεκάνη εκτιμώνται οι παράμετροι:

1. Επιφάνεια λεκάνης A [km²],
2. Διάρκεια βροχής, D [h],
3. Χρονικό βήμα υπολογισμού, δ [h]
4. Αριθμός καμπύλης απωλειών (Curve Number/SCS), CN,
5. Παράμετρος S = 25.4 (1000/CN - 10) [mm],
6. Ολικό επιφανειακό ύψος βροχής, H' [mm],
7. Ωφέλιμο ύψος βροχής, H* ([mm] και
8. Ολικές απώλειες L (%).

Οι τιμές των πέντε πρώτων παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 ενώ οι τιμές που αφορούν τα ύψη βροχής και τις απώλειες δίδονται στον Πίνακα 4.3 ξεχωριστά για τις περιπτώσεις κοινής και μεταβλητής επιφανειακής βροχόπτωσης για τις 11 υπολεκάνες.

Πίνακας 4.2 Παράμετροι εκτίμησης απωλειών υετογραφημάτων

	N1	S2.1	S2.2	S3	S4	S3.1	S3.2	N2	S1	0	S2
A [km ²]	5.53	1.00	1.68	1.47	0.41	1.93	1.29	6.32	0.80	0.34	1.56
D [h]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
δ [h]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CN	95	95	95	95	75	95	75	75	95	95	95
S [mm]	13.4	13.4	13.4	13.4	84.7	13.4	84.7	84.7	13.4	13.4	13.4

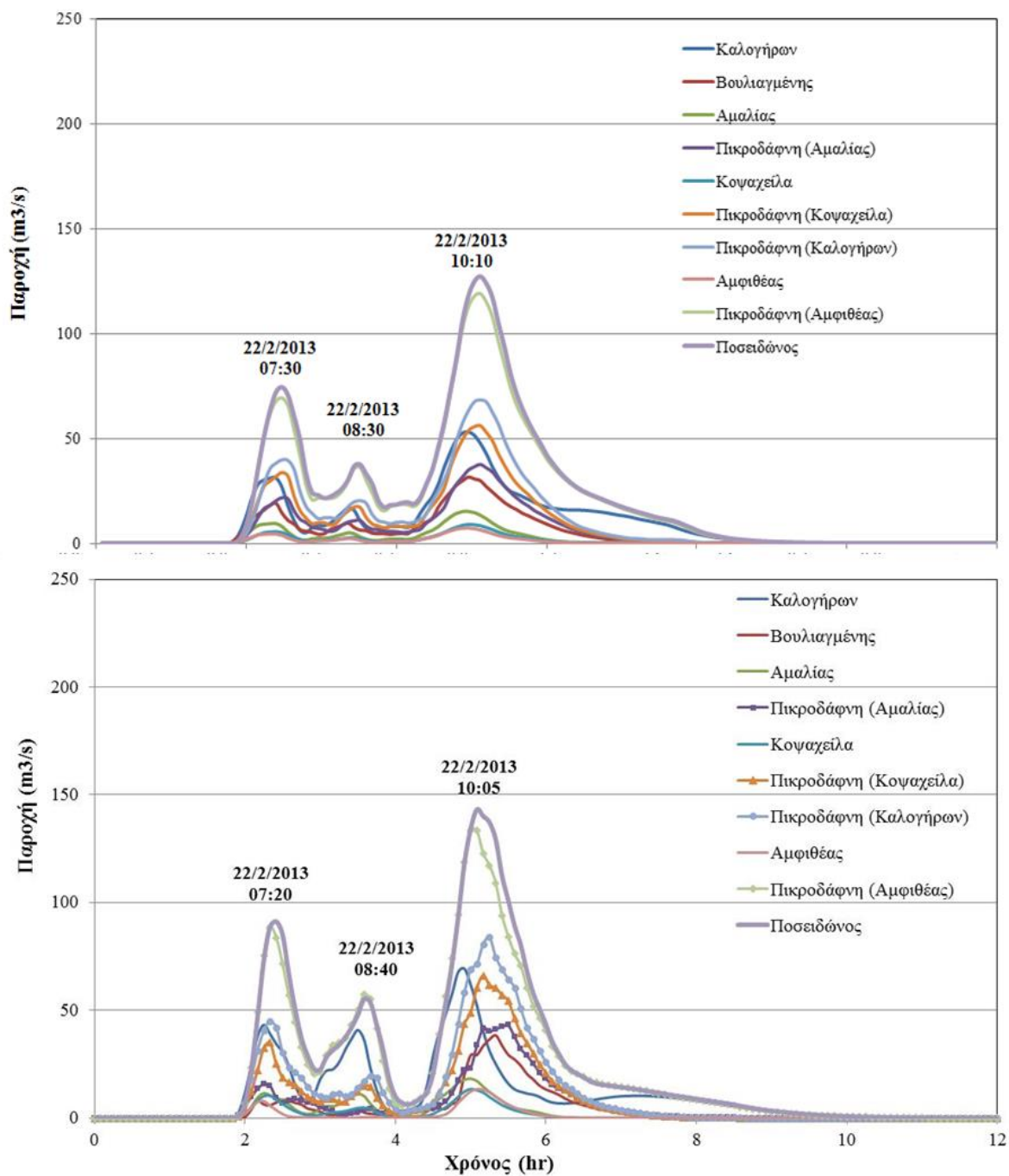
Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά υετογραφημάτων με επιφανειακές βροχοπτώσεις για κάθε υπολεκάνη

	N1	S2.1	S2.2	S3	S4	S3.1	S3.2	N2	S1	0	S2
Κοινή επιφανειακή βροχόπτωση											
H' [mm]	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0
H* [mm]	55.2	55.2	55.2	55.2	19.8	55.2	19.8	19.8	55.2	55.2	55.2
L (%)	20%	20%	20%	20%	71%	20%	71%	71%	20%	20%	20%
Επιφανειακή βροχόπτωση για κάθε υπολεκάνη											
H' [mm]	79.0	80.5	74.1	60.9	61.1	58.6	56.9	62.1	72.5	83.0	79.0
H* [mm]	64.9	66.4	60.2	47.4	15.2	45.1	12.8	15.7	58.6	68.9	64.9
L (%)	18%	17%	19%	22%	75%	23%	78%	75%	19%	17%	18%

4.3 Πλημμυρογραφήματα της 22/2/2013

Οι υπολογισμοί, έγιναν με κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή το οποίο για κάθε υπολεκάνη συνθέτει το υετογράφημα σχεδιασμού, υπολογίζει το ωφέλιμο υετογράφημα και συνδυάζοντας το τελευταίο με το μοναδιαίο υδρογράφημα εξάγει το πλημμυρογράφημα. Στη συνέχεια γίνεται η διαδικασία σύνθεσης και διόδευσης των πλημμυρογραφημάτων των υπολεκανών με στόχο τον υπολογισμό παροχών στις θέσεις ενδιαφέροντος.

Τα τελικά πλημμυρογραφήματα στις 10 θέσεις ενδιαφέροντος για το επεισόδιο της 22/2/2013 παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8 για τα δύο σενάρια βροχοπτώσεων



Σχήμα 4.8 Πλημμυρογραφήματα επεισοδίου 22/2/2013 για δυο σενάρια βροχοπτώσεων

Ακόμη στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των πλημμυρογραφημάτων (συνολικός όγκος, παροχή αιχμής) για τα δύο σενάρια βροχοπτώσεων.

Πίνακας 4.4 Χαρακτηριστικά πλημμυρογραφημάτων

Λεκάνη	Μία επιφανειακή βροχή				Επιφανειακές βροχές		
	A (km ²)	P (mm)	Q (hm ³)	Q _{max} (m ³ /s)	P (mm)	Q (hm ³)	Q _{max} (m ³ /s)
Καλογήρων	11.8	36.4	0.43	53.1	38.7	0.46	69.3
Βουλιαγμένης	5.1	43.5	0.22	31.6	35.2	0.18	38.4
Αμαλίας	1.7	55.2	0.09	15.3	60.2	0.10	18.3
Πικροδάφνη (Αμαλίας)	5.9	45.0	0.26	37.7	39.7	0.23	43.0
Κουσαχείλα	1.0	55.2	0.06	9.1	66.4	0.07	13.4
Πικροδάφνη (Κουσαχείλα)	7.9	47.7	0.38	56.1	45.4	0.36	66.2
Πικροδάφνη (Καλογήρων)	9.3	48.8	0.46	68.4	48.7	0.47	83.9
Αμφιθέας	0.8	55.2	0.04	7.3	58.6	0.05	13.4
Πικροδάφνη (Αμφιθέας)	21.2	41.8	0.90	119.0	43.1	0.92	133.6
Ποσειδώνος	22.3	42.5	0.95	127.2	44.0	0.98	143.1

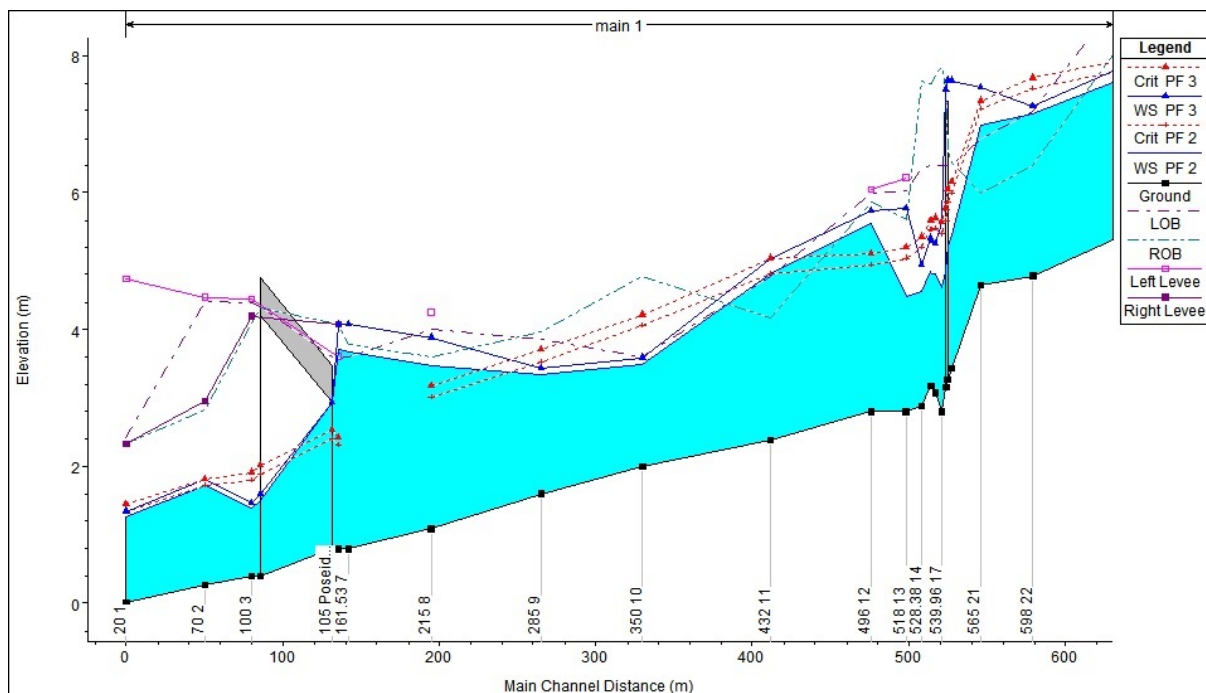
Από τα δεδομένα του Σχήματος 4.8 και του Πίνακα 4.4 μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα σημεία.

A. Η θεώρηση μεταβλητής επιφανειακής βροχόπτωσης έχει σημαντική επίδραση στις παροχές αιχμής αλλά και στους όγκους απορροής σε όλες τις θέσεις δεδομένου ότι οι λεκάνες που επηρεάζονταν περισσότερο από τους ανατολικούς σταθμούς δέχτηκαν πιο έντονες βροχοπτώσεις. Συγκεκριμένα:

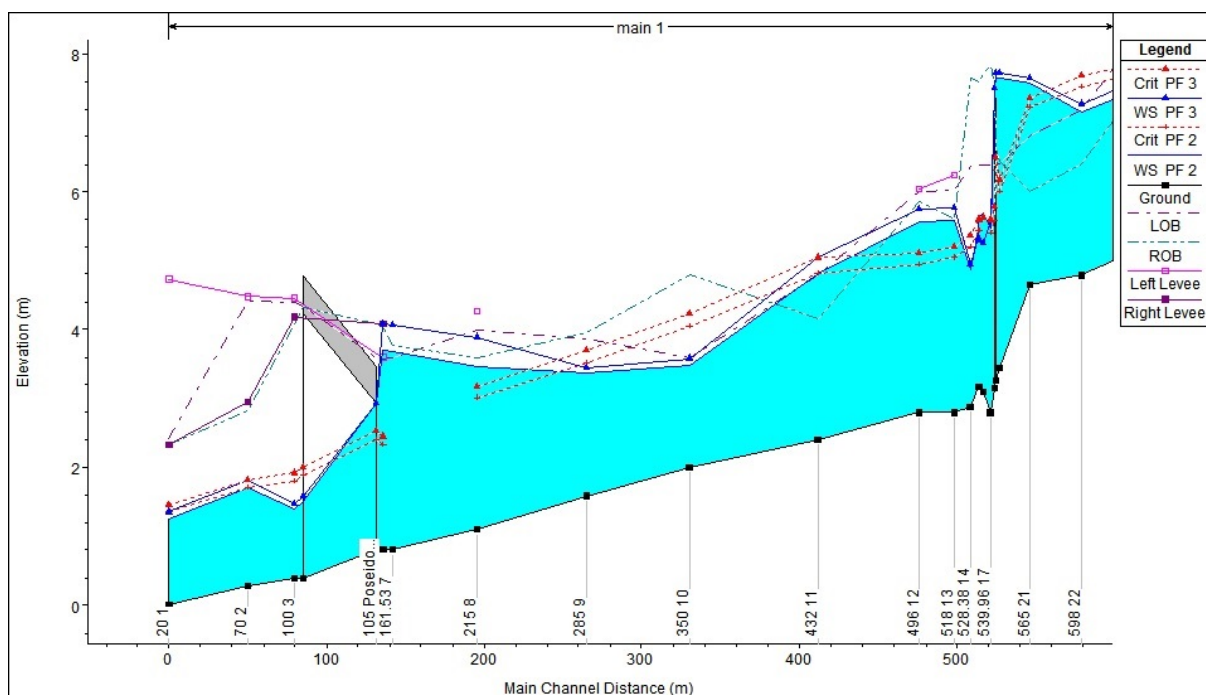
- Ο συνολικός όγκος απορροής στην έξοδο είναι αυξημένος κατά 3.5% και η παροχή αιχμής κατά 12.5% (143.1 από 127.2 m³/s).
- Η παροχή αιχμής αυξήθηκε σε όλες τις θέσεις από 12.2-82.7% με το τελευταίο να παρατηρείται στη θέση Αμφιθέας της οποίας η λεκάνη επηρεάζεται κυρίως από τους σταθμούς Άγιος Κοσμάς και Φάληρο.
- Οι συνολικοί όγκοι απορροής εμφανίζονται μειωμένοι στις λεκάνες όπου επηρεάζονται από τους σταθμούς Υμηττός και Ηλιούπολη, και αυξημένοι στις υπόλοιπες αλλά στις κατάντη θέσεις υπάρχει μια μικρή αύξηση της τάξης του 3%.

B. Τα πλημμυρογραφήματα που υπολογίστηκαν για τα δύο σενάρια βροχοπτώσεων είναι εύλογα. Συγκεκριμένα:

- Οι παροχές αιχμής στις διάφορες θέσεις είναι κοντά στις πραγματικές όπως προκύπτει από μαρτυρίες περιοίκων και ίχνη πλημμύρας.
- Ορισμένοι οχετοί φαίνεται να λειτουργούν στο όριο της παροχεταιυτικότητάς τους αλλά δεν υπερχειλίζουν όπως πραγματικά συνέβη.
- Οι χρόνοι που παρατηρήθηκαν οι αιχμές φαίνεται να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα όπως προκύπτει και από την αντιπαραβολή της Φωτογραφίας 4.2 με το Σχήμα 4.8.
- Η βασική υδραυλική προσομοίωση με το πρόγραμμα HEC-RAS (Σχήματα 4.9 και 4.10) για την παροχή αιχμής 127 m³/s δίνει την πεζογόφυρα Κορυζη να υπερχειλίζει μόνο με μεταφερόμενα φερτά (debris), που στην περίπτωση αυτή υπήρχαν, και για παροχή αιχμής 143 m³/s υπερχειλίζει και χωρίς μεταφερόμενα.



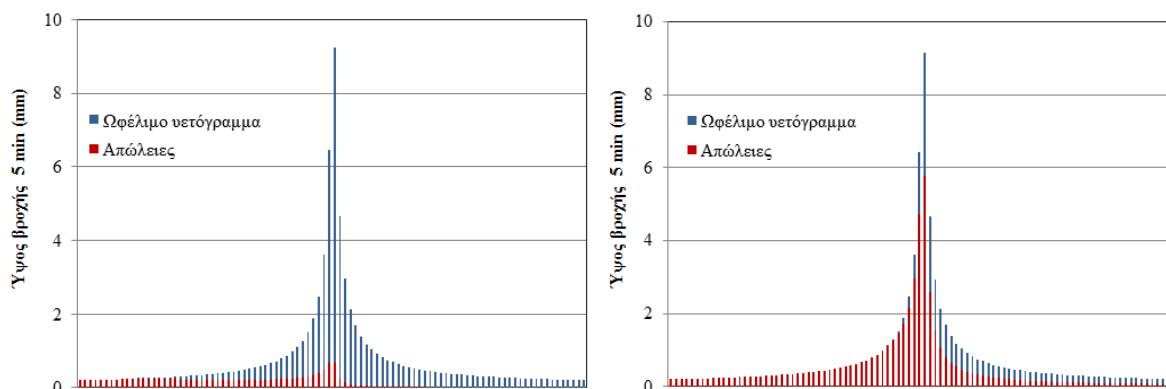
Σχήμα 4.9 Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης επεισοδίου 22/2/2013 για τα δύο σενάρια βροχοπτώσεων χωρίς φερτές ύλες



Σχήμα 4.10 Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης επεισοδίου 22/2/2013 για τα δύο σενάρια βροχοπτώσεων με φερτές ύλες

5. Πλημμύρες σχεδιασμού

Αρχικά καταρτίστηκαν καταιγίδες σχεδιασμού και για περίοδο επαναφοράς τα 10 έτη με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ όπως αυτή περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.3. και χρησιμοποιήθηκαν οι όμβριες καμπύλες της εξίσωσης (9). Οι καταιγίδες σχεδιασμού είχαν διάρκεια 8 hr και χρονικό βήμα υπολογισμού τα 5 min. Οι απώλειες βροχόπτωσης εκτιμήθηκαν με τη μεθοδολογία της παραγράφου 2.4 και για κάθε υπολεκάνη υπολογίστηκαν τα πλημμυρογραφήματα, συνδυάζοντας το ωφέλιμο υετογράφημα με το μοναδιαίο υδρογράφημα. Στο Σχήμα 5.1 οι καταιγίδες σχεδιασμού και οι απώλειες για τις υπολεκάνες N1 (αστική) και N2 (μη αστική) και για περίοδο επαναφοράς τα 10 έτη. Οι παράμετροι εκτίμησης απωλειών και τα μοναδιαία υδρογραφήματα είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και για το επεισόδιο της 22/2/2013.

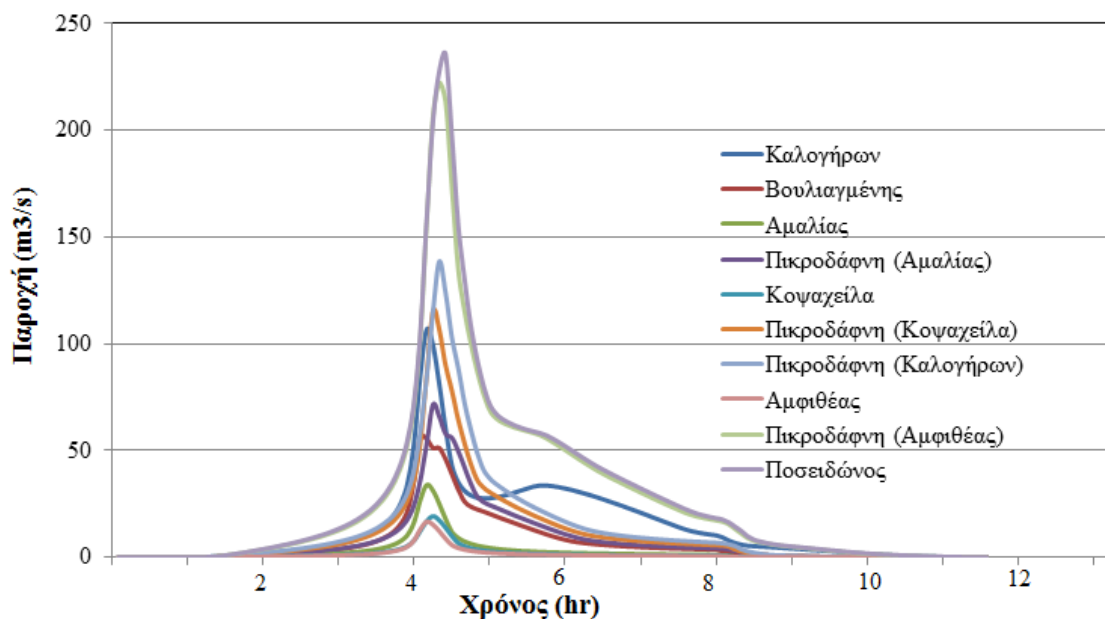


Σχήμα 5.1 Καταιγίδες σχεδιασμού για $T=10$ έτη και απώλειες για τις υπολεκάνες N1 (αστική) και N2 (μη αστική)

Στη συνέχεια έγινε η διαδικασία σύνθεσης και διόδευσης των πλημμυρογραφημάτων των υπολεκάνων με στόχο τον υπολογισμό παροχών σχεδιασμού στις θέσεις ενδιαφέροντος. Οι παροχές σχεδιασμού στις 10 θέσεις εκτιμήθηκαν για περίοδο επαναφοράς $T=10$ έτη θεωρώντας (α) άπειρη παροχетеυτικότητα των οχετών (κεφάλαιο 5.1) και (β) συγκεκριμένη παροχетеυτικότητα (κεφάλαιο 5.2). Στη δεύτερη περίπτωση αναπτύχθηκε ειδική μεθοδολογία διόδευσης των ποσοτήτων νερού που υπερχειλίζουν από τους οχετούς η οποία περιγράφεται στη συνέχεια.

5.1 Θεώρηση άπειρης παροχетеυτικότητας

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T=10$ χρόνια στις 10 θέσεις, θεωρώντας άπειρη παροχетеυτικότητα των οχετών. Ακόμη στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των πλημμυρογραφημάτων (συνολικός όγκος, παροχή αιχμής)



Σχήμα 5.2 Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T = 10$ χρόνια θεωρώντας άπειρη παροχευτικότητα των οχετών

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού για $T = 10$ χρόνια θεωρώντας άπειρη παροχευτικότητα των οχετών

	A (km²)	P (mm)	Q (hm³)	Q_{max} (m³/s)
Καλογήρων	11.8	48.4	0.57	106.7
Βουλιαγμένης	5.1	53.9	0.27	56.7
Αμαλίας	1.7	61.0	0.10	33.9
Πικροδάφνη (Αμαλίας)	5.9	54.9	0.32	71.5
Κοψαχείλα	1.0	61.4	0.06	19.2
Πικροδάφνη (Κοψαχείλα)	8.3	53.8	0.45	115.4
Πικροδάφνη (Καλογήρων)	9.3	57.2	0.54	138.6
Αμφιθέας	0.8	61.5	0.05	16.7
Πικροδάφνη (Αμφιθέας)	21.2	52.3	1.12	222.3
Ποσειδώνος	22.3	52.8	1.18	235.4

Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά των πλημμυρογραφημάτων του επεισοδίου της 22/2/2013 (Σχήμα 4.6 και Πίνακας 4.4) με του συνθετικού (Σχήμα 5.2 και Πίνακας 5.1) μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα σημεία.:

- Ο όγκος καθαρής βροχής του συνθετικού υετογραφήματος στην έξοδο (και κατά συνέπεια και ο όγκος απορροής) του συνθετικού είναι αυξημένος κατά 20%
- Οι παροχές αιχμής του συνθετικού πλημμυρογραφήματος είναι 25-85% αυξημένες σε όλες τις θέσεις (65% στην έξοδο) δεδομένου ότι περιλαμβάνει μεγαλύτερες εντάσεις στις μικρότερες χρονικές κλίμακες από το πραγματικό. Αυτό συνέβη και στις θέσεις Κοψαχείλα και Αμαλίας οι οποίες δέχτηκαν μεγαλύτερο όγκο βροχόπτωσης την 22/2/2013 σε σχέση με το συνθετικό.

Δεδομένου ότι στις θέσεις Καλογήρων και Αμαλίας οι παροχευτικότητες των οχετών είναι 65 και 18 m³/s αντίστοιχα και οι υπολογισμένες παροχές τις υπερβαίνουν ο υπολογισμός των πλημμυρογραφήματων σε τέσσερις κατάντη θέσεις της Πικροδάφνης (Κοψαχειλά-Καλογήρων, Αμφιθέας, έξοδος) δεν είναι ρεαλιστικός. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που περιγράφεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

5.2 Θεώρηση παροχευτικότητας οχετών

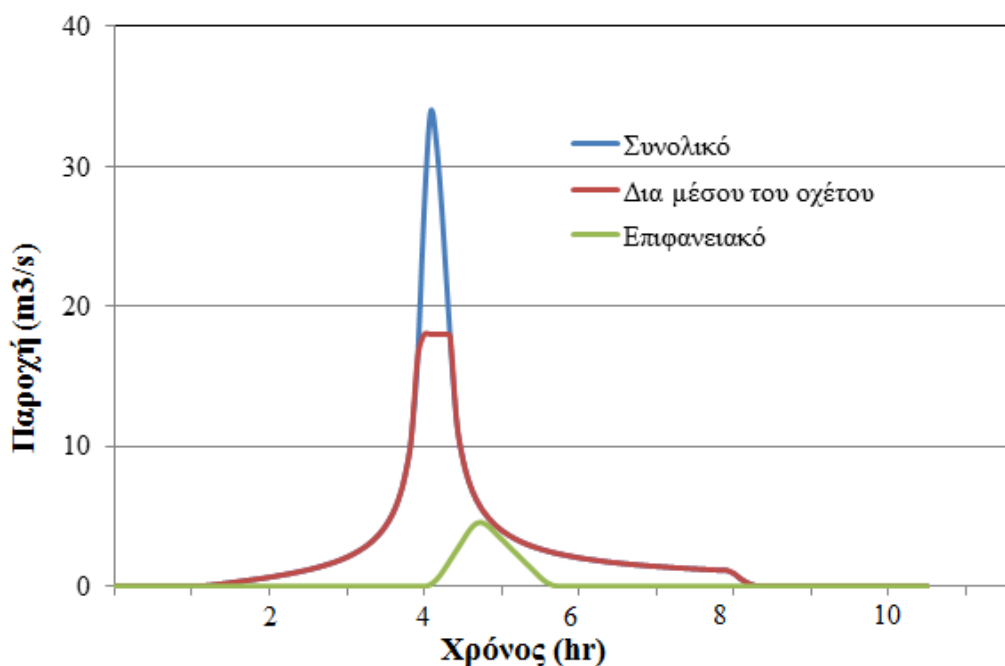
Στις περιπτώσεις που η παροχευτικότητα του οχετού δεν επαρκούσε η συνολική απορροή επιμερίστηκε σε (α) επιφανειακή και (β) διά μέσου του οχετού, στην περίπτωση που η παροχευτικότητα του τελευταίου δεν επαρκεί για την παροχέτευση του συνόλου της απορροής.

Η μεθοδολογία επιμερισμού είναι η εξής:

1. Σε κάθε χρονικό βήμα υπολογίζεται ο όγκος της απορροής που υπερχειλίζει
2. Ο όγκος μετατρέπεται σε ισοδύναμα χιλιοστά βροχής με βάση την έκταση της λεκάνης και δημιουργείται ένα 'υετογράφημα' στις χρονικές περιόδους όπου υπάρχει υπερχείλιση
3. Υπολογίζεται το πλημμυρογράφημα που αντιστοιχεί στο προηγούμενο υετογράφημα θεωρώντας ως συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης αυτό που κατασκευάστηκε με υδρολογικές μεθόδους

Το πλημμυρογραφήματα που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο σε κάποιες περιπτώσεις υπερέβαιναν τις παροχευτικότητες κάποιων θέσεων και συγκεκριμένα στις θέσεις Αμαλία και Καλογήρων. Οι παροχές αιχμής στις θέσεις αυτές εκτιμήθηκαν σε 33.9 106.7 m³/s ενώ οι αντίστοιχες παροχευτικότητες των αγωγών ήταν 18 και 65 m³/s.

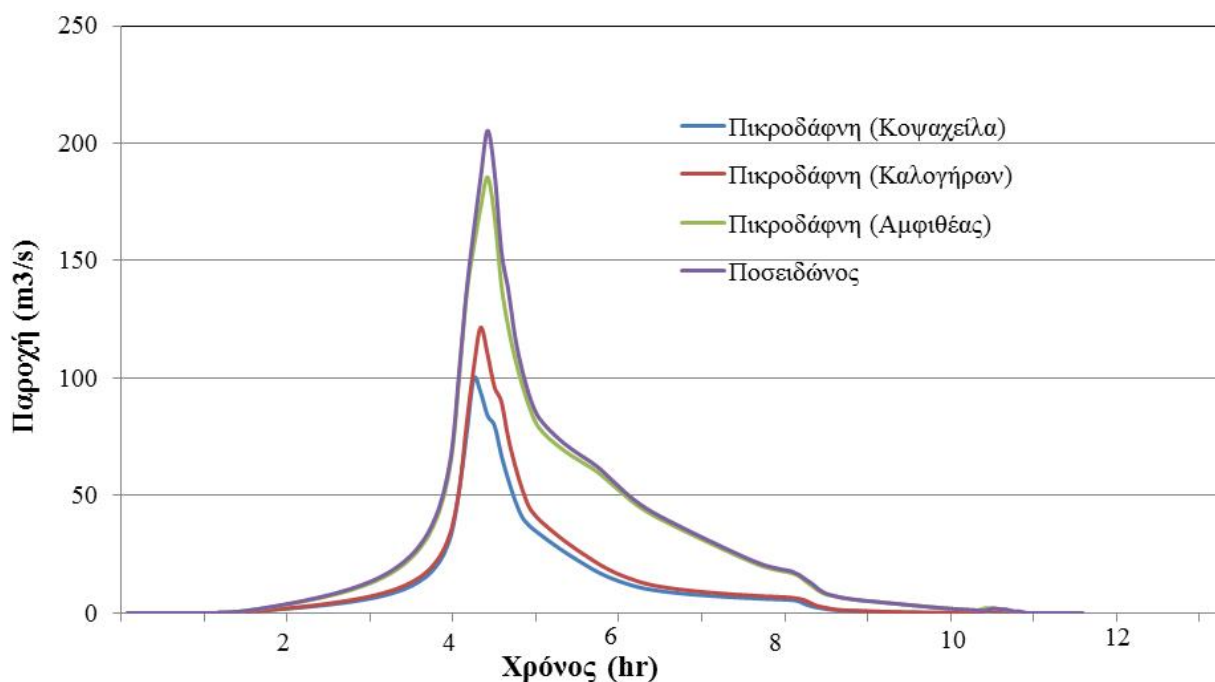
Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού (συνολικό, διαμέσου του οχετού και επιφανειακό) για T=10 χρόνια στη θέση Αμαλίας θεωρώντας ότι η παροχευτικότητα του οχετού είναι 18 m³/s και χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που περιγράφηκε.



Σχήμα 5.3 Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού για T= 10 χρόνια στη θέση Αμαλίας θεωρώντας παροχευτικότητα 18 m³/s

Ο συνολικός όγκος της πλημμύρας στη θέση Αμαλίας ήταν 0.103 hm^3 εκ των οποίων τα 0.089 hm^3 παροχετεύτηκαν δια μέσου του οχετού και τα 0.014 hm^3 επιφανειακά. Προφανώς η παροχή αιχμής είναι σημαντικά μειωμένη

Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T=10$ χρόνια στις 4 θέσεις της Πικροδάφνης (Κοψαχειίλα-Καλογήρων, Αμφιθέας, έξοδος), λαμβάνοντας υπόψη την παροχετευτικότητα των οχετών. Ακόμη στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των πλημμυρογραφημάτων (συνολικός όγκος, παροχή αιχμής)



Σχήμα 5.4 Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T = 10$ χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη την παροχετευτικότητα των οχετών.

Πίνακας 5.2 Μεταβολή πλημμυρικών αιχμών σχεδιασμού για $T = 10$ χρόνια θεωρώντας την παροχετευτικότητα των οχετών

	$A \text{ (km}^2\text{)}$	$Q_{\max} \text{ (m}^3\text{/s)}$	$Q_{\max} \text{ (m}^3\text{/s)}$	Διαφορά (%)
Πικροδάφνη (Κοψαχειίλα)	8.3	115.4	99.6	13.7
Πικροδάφνη (Καλογήρων)	9.3	138.6	121.5	12.3
Πικροδάφνη (Αμφιθέας)	21.2	222.3	185.5	16.6
Ποσειδώνας	22.3	235.4	205.4	12.8

Οι παροχές αιχμής με αυτή τη μεθοδολογία μειώνονται από 12-16% στις τέσσερις θέσεις.

6. Συμπεράσματα

- Η κατάρτιση και διαρκής ρύθμιση ενός αδρομερούς υδρολογικού και υδραυλικού μοντέλου είναι σημαντική για τη μελέτη των επιπτώσεων πραγματικών και συνθετικών καταργίδων σε διάφορες θέσεις ενδιαφέροντος και το σχεδιασμό παρεμβάσεων.
- Αναπτύχθηκε μεθοδολογία ημικατανεμημένης προσομοίωσης αστικών λεκανών με διάφορα πρωτότυπα στοιχεία (Κεφάλαιο 2) η οποία επιτρέπει την μοντελοποίηση της ροής τόσο μέσω των οχετών όσο και επιφανειακά.
- Η θεώρηση μεταβλητής επιφανειακής βροχόπτωσης έχει σημαντική επίδραση στις παροχές αιχμής αλλά και στους όγκους απορροής. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να αναλυθούν και μελλοντικά έντονα επεισόδια βροχόπτωσης με βάση τις σημειακές μετρήσεις λεπτής χρονικής κλίμακας που διατίθενται. Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να εισάγονται στη βάση περιβαλλοντικών δεδομένων η οποία περιλαμβάνεται στους σκοπούς του έργου.
- Το επεισόδιο βροχής που σημειώθηκε στις 22/2/2013 είχε περίοδο επαναφοράς δεκαετίας για διάρκειες 4-6 hr, μεγαλύτερες από τις κρίσιμες του ρέματος Πικροδάφνης. Στις μικρές διάρκειες η περίοδος επαναφοράς ήταν κάτω από 5 έτη. Η παροχή αιχμής στην έξοδο εκτιμήθηκε σε περίπου $140 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Στην περίπτωση δυσμενούς συνθετικής βροχόπτωσης δεκαετίας παροχή αιχμής στην έξοδο είναι της τάξης των $200 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ παρατηρούνται υπερχειλίσσεις στους οχετούς Καλογήρων και Αμαλίας.
- Η λεκάνη του ρέματος της Πικροδάφνης ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις συνήθεις βροχοπτώσεις αλλά όπως αποδεικνύεται και από το πλημμυρικό γεγονός στις 22/2/13 το ρέμα στην υφιστάμενη κατάσταση δεν είναι σε θέση να παραλάβει στο κατάντη τμήμα του πλημμυρικά γεγονότα περιόδου επαναφοράς δεκαετίας. Παρουσιάζει προβλήματα τοπικών υπερχειλίσσεων σε διάφορες θέσεις (κύρια λόγω της επίδρασης των γεφυρών και της μεταφοράς φερτών υλών) καθώς και γεωλογικών ασταθειών στα πρανή.

Αναφορές

- I.Θ.Β.Π. & Ε.Υ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, Ερευνητικό έργο “Αποτίμηση της οικολογικής κατάστασης του ρ. Πικροδάφνης και προτάσεις αποκατάστασης, ανάδειξης και διαχείρισης του”, 1^η Έκθεση Προόδου 12/2012
- Παπαδοπούλου Μ. Κατσούρος Σ., Δακόπουλος Ε., Παπαμακάριος Κ., Δ. Αναγνωστόπουλος & Σια Ε.Ε., Κολαίτη Ε., Πολιτόπουλος Β., Ανδρέου Κ., Σαχνικά Α., Σκλαβενίτης Θ. (2009), Ανάπλαση ρέματος Πικροδάφνης (από λεωφ. Βουλιαγμένης έως εκβολή) - Οριστική Γεωλογική Μελέτη, Νομαρχία Αθηνών
- ENM Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, ΥΔΡΟΤΕΚ ΕΠΕ, ΑΔΚ Α.Ε. Οριστική Μελέτη Επειγόντων Έργων Αντιπλημμυρικής Προστασίας των Περιοχών Αττικής που επλήγησαν από τις πυρκαγιές Ιουλίου-Αυγούστου 1998 –Αγωγοί Αποχέτευσης Ομβρίων Κατάντη αναβαθμών Ανάσχεσης Φερτών στην Ηλιούπολη, ΕΥΔΑΠ 2000
- Γραφείο Μαχαίρα & Υδροεξυγιαντική – Λ. Λαζαρίδης. Έκθεση Ελέγχου Επάρκειας Υφιστάμενου Αγωγού Ρέμ. Ποδονίφτη Ανάντη Λεωφόρου Κηφισίας και Διερεύνησης Δυνατότητας Κατασκευής Ανακουφιστικού Αγωγού. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων. Αθήνα. 1998.
- Κουτσογιάννης. Δ.. Στατιστική Υδρολογία. Έκδοση 4. 312 σελίδες. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα. 1997.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Μαρκόνης, Α. Κουκουβίνος, Σ.Μ. Παπαλεξίου, Ν. Μαμάσης, και Π. Δημητριάδης, Υδρολογική μελέτη ισχυρών βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Κηφισού, Μελέτη διαχείρισης Κηφισού, Εργοδότης: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων – Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, 154 σελίδες, Αθήνα, 2010.
- Κουτσογιάννης. Δ.. και Θ. Ξανθόπουλος. Τεχνική Υδρολογία. Έκδοση 3. 418 σελίδες. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα. 1999.
- Όριο – Σύμβουλοι Μηχανικοί. Κ. Γεωργιάδης & Κ. Σιώζος. Μελέτη Προστασίας και Περιβαλλοντικής Αναβάθμισης του Ρέματος Ποδονίφτη στην Περιοχή Φιλοθέης. Δήμος Φιλοθέης. Φιλοθέη. 1997.
- Τσακίρης. Γ.. Τελική Έκθεση. Τεύχος Β. Ρέμα Ποδονίφτη Ν. Αττικής. Πλαίσιο Περιβαλλοντικής Διευθέτησης Ποδονίφτη και Πικροδάφνης Ν. Αττικής. Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα. 1996.
- Chow. V. T.. D. R. Maidment. and L. W. Mays. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. 1988.
- Hershfield. D. M.. Estimating the probable maximum precipitation. *Proc. ASCE. J. Hydraul. Div.*. 87(HY5). 99-106. 1961
- Hershfield. D. M.. Method for estimating probable maximum precipitation. *J. American Waterworks Association*. 57. 965-972. 1965.
- Koutsoyiannis. D.. A stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis. *Journal of Hydrology*. 156. 193-225. 1994.
- Koutsoyiannis. D.. A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation. *Water Resources Research*. 35(4). 1313-1322. 1999.
- Koutsoyiannis. D.. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall. 1. Theoretical investigation. *Hydrological Sciences Journal*. 49(4). 575-590. 2004.
- Koutsoyiannis. D.. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall. 2. Empirical investigation of long rainfall records. *Hydrological Sciences Journal*. 49(4). 591-610. 2004.

- Koutsoyiannis, D., and G. Baloutsos. Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences. *Natural Hazards*. 22(1). 31-51. 2000.
- Koutsoyiannis, D., D. Kozonis, and A. Manetas. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*. 206(1-2). 118-135. 1998.
- Koutsoyiannis, D., Y. Markonis, A. Koukouvinos, S.M. Papalexiou, N. Mamassis, and P. Dimitriadis. Hydrological study of severe rainfall in the Kephisos basin, Greece. Study of the management of Kephisos. Commissioner: General Secretariat of Public Works – Ministry of Environment, Planning and Public Works. Contractors: Exarhou Nikolopoulos Bensasson, Denco, G. Karavokiris, et al., 154 pages. Athens, 2010.
- Larson, C. L., and B. M. Reich. Relationship of observed rainfall and runoff recurrence intervals. in *Floods and Droughts*. Proc. 2nd Intern. Symp. in Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, CO. 1973.
- Sutcliffe J.V., *Methods of Flood Estimation. A Guide to Flood Studies Report*. Report No 49. Institute of Hydrology, UK. 1978.
- U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. *Design of Arch Dams*. US Government Printing Office, Denver, CO. 1977.
- U.S. Soil Conservation Service. *National Engineering Handbook*. section 4. Hydrology. U.S. Dept. of Agriculture. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972.