

ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου

ΣΤΑΔΙΟ Ι

2^η ΦΑΣΗ – ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 4 ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ

ΕΡΓΟ: ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ, ΔΥΤΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Κ/Ξ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΗΠΕΙΡΟΥ, ΔΥΤΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ:

ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΑ Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. • ΕΝΥΕCΟ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Α.Ε. • ΟΜΙΚΡΟΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Α.Ε. • ΞΕΝΟΦΩΝ ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε. • ΟΜΙΚΡΟΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ Α.Ε. • ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΑΛΟΓΙΑΝΝΟΣ • ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΕΚΟΥΡΑΣ • ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΣΤΑΔΙΟ Ι - Β' ΦΑΣΗ

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 4: ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Αναθεωρήσεις:

Έκδοση	Ημερομηνία	Παρατηρήσεις
Εκδ. 1	Απρίλιος 2016	Αρχική Έκδοση
Εκδ. 2	Σεπτέμβριος 2016	Δεύτερη Έκδοση
Εκδ. 3	Οκτώβριος 2017	Τρίτη Έκδοση
Εκδ. 4	Δεκέμβριος 2018	Ως προς το εξώφυλλο

Σημείωση

Διευκρινίζεται ότι ο κωδικός της χώρας "GR" αντικαθίσταται πλέον από τον κωδικό "EL".

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΟΜΑΔΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	1
1.2	ΟΜΑΔΑ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	3
2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	4
2.1	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	4
2.2	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	5
2.2.1	ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ	5
2.2.2	ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	5
2.2.3	ΖΩΝΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	6
2.2.4	ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	7
2.2.5	ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ CN	8
2.3	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	9
2.3.1	ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΌΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ	9
2.3.2	ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΌΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΟΡΙΩΝ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ	11
2.3.3	ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	14
3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	15
3.1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	15
3.2	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	15
3.3	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	16
3.3.1	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	16
3.3.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΌΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	17
3.3.3	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	17
3.3.4	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΒΡΟΧΗΣ	18
3.3.5	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΆΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΌΡΙΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΌΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	19
3.4	ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	20
3.4.1	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS-CN	20
3.4.2	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑ	23
3.4.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΜΥ	25
3.4.4	ΒΑΣΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	27
3.4.5	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	28
3.5	ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	28
3.5.1	ΓΕΝΙΚΑ	28
3.5.2	ΜΕΘΟΔΟΣ MUSKINGUM	29
3.5.3	ΜΕΘΟΔΟΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	31
3.5.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ	32
3.6	ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΜΕΣΩ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	33
4	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	35

Β' ΦΑΣΗ**Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση**

4.1	ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	35
4.2	ΕΠΙΠΕΔΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ – ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ	36
4.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	36
4.3.1	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	36
4.3.2	ΚΟΜΒΟΙ	37
4.3.3	ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΑ	37
4.3.4	ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	38
5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	40
5.1	ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	40
5.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	41
5.3	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΕΙΣΡΟΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	41
5.4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΕΙΣΡΟΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΛΟΥΡΟΥ	46
6	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΥΔ ΗΠΕΙΡΟΥ	47
6.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	47
6.2	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΛΑΜΑ	48
6.3	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ (ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ)	54
6.4	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΡΑΒΕΝΙΑ	58
6.5	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΜΠΑΦΡΑ	61
6.6	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΧΩΡΙΟΥ	64
6.7	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΡΑΧΘΟΥ	67
6.8	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΔΙΠΟΤΑΜΟΥ	75
6.9	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΛΟΥΡΟΥ	79
6.10	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΡΕΘΟΥΑ	85
6.11	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΧΕΡΟΝΤΑ	89
6.12	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΙ	94
6.13	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΞΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	98
6.14	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΛΑΚΟΥ	101
6.15	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΆΡΤΑΣ	105
6.16	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΒΑΣΙΛΑΤΩΝ	108
6.17	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΣΑΝΓΗΣ	112
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	117

1 Εισαγωγή

Η παρούσα έκθεση αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής πλημμυρογραφημάτων υψηλής, μέσης και χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης, στις θέσεις ενδιαφέροντος του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Ηπείρου. Οι θέσεις αυτές καθορίζονται με βάση τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ), σε συνδυασμό με άλλα κριτήρια, γεωμορφολογικά και υδρολογικά. Για τον σκοπό αυτό, διαμορφώνεται το υδρογραφικό δίκτυο και οι υπολεκάνες ανάντη όλων των κόμβων του δικτύου, και εφαρμόζεται η τυπική προσέγγιση πλημμυρικού επεισοδίου που υλοποιεί το λογισμικό HEC-HMS. Σε κάθε υπολεκάνη, για δεδομένο υετογράφημα σχεδιασμού, εφαρμόζεται η συνδυαστική μέθοδος SCS-CN και μοναδιαίου υδρογραφήματος, από την οποία παράγονται πλημμυρογραφήματα στις εξόδους όλων των υπολεκανών, που στη συνέχεια διοδεύονται κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, μέχρι την έξοδο της συνολικής λεκάνης.

Κύριο ζητούμενο της μελέτης είναι τα πλημμυρογραφήματα όλων των κόμβων εισόδου των ΖΔΥΚΠ, καθώς και των ενδιάμεσων (εντός των ορίων των ΖΔΥΚΠ) κόμβων. Τα εν λόγω πλημμυρογραφήματα αποτελούν δεδομένο εισόδου των υδραυλικών μοντέλων, που θα αναπτυχθούν στο επόμενο στάδιο του έργου για την κατάρτιση των Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας και Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας, σύμφωνα με το άρθρο 6 της Οδηγίας-Πλαίσιο 2007/60/ΕΚ.

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζεται το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο της διαδικασίας παραγωγής πλημμυρογραφημάτων, εξηγούνται τα δεδομένα εισόδου και οι παραδοχές της μελέτης, και δίνονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των λεκανών. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των υδρολογικών προσομοιώσεων δίνονται σε Παράρτημα.

1.1 Ομάδα Εκπόνησης της Μελέτης – Επικοινωνία

Η ομάδα εκπόνησης της μελέτης που συγκροτήθηκε από την Κοινοπραξία, έχει ως εξής:

Από το γραφείο **Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.**

- Ιωάννης Καραβοκύρης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Υδρολόγος B.Sc. M.Sc DIC Ph.D
- Δημήτρης Καλοδούκας, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
- Νικόλαος Μαλατέστας, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
- Γεώργιος Καραβοκύρης, Πολιτικός Μηχανικός, MSc
- Καλλιρόη Πάσσιου, Πολιτικός Μηχανικός & Μηχανικός Περιβάλλοντος, BEng MSc
- Branislav Todorovic, Μηχανολόγος Μηχανικός, BEng MSc, GIS expert
- Μαρίνα Πάσιου Κεφαλίδου, Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ, MSc Γεωτεχνικός
- Ιωάννης Μπάφας, Πολιτικός Μηχανικός, MSc

Από το γραφείο **ENVECO ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Α.Ε.**

- Γεώργιος Κοτζαγεώργης, Βιολόγος, Περιβαλλοντολόγος, PhD

Από το γραφείο **ΟΜΙΚΡΟΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Α.Ε.**

- Στέργιος Διαμαντόπουλος, Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος ΑΠΘ
- Αντώνιος Μαντζαβέλας, Δρ. Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος ΑΠΘ

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

- Αναστάσιος Μαλάμης, Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος ΑΠΘ
- Αποστολία Παπαδούδη, Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος ΑΠΘ
- Ζήσης Γκάγκας, Δρ. Δασολόγος ΑΠΘ
- Φαίνη Τζιαφτάνη, Δρ. Δασολόγος ΑΠΘ
- Στέφανος Στεφανίδης, Δασολόγος MSc

Από το γραφείο **ΞΕΝΟΦΩΝ ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε.**

- Ξενοφών Σταυρόπουλος, Δρ. Υδρογεωλόγος ΕΜΠ
- Θεόδωρος Πετρόπουλος, Δρ. Γεωλόγος
- Μαρία Τζίμα, Γεωλόγος, MSc
- Νικόλαος Φωτόπουλος, Μεταλλειολόγος – Γεωλόγος, MSc
- Παναγιώτα Μαϊδά, Μεταλλειολόγος – Γεωλόγος, MSc

Από το γραφείο **ΟΜΙΚΡΟΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ Α.Ε.**

- Αντώνιος Τορτοπίδης, Οικονομολόγος, Μ.Α.
- Αγγελική Καλλιγιοσφύρη, Οικονομολόγος, MSc

Από το γραφείο **ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΑΛΟΓΙΑΝΝΟΣ**

- Χρήστος Σαλόγιαννος, Αγρ. Τοπογράφος ΕΜΠ
- Δημήτριος Σκουλουφιάνης, Τοπογράφος Μηχανικός ΤΕ

Από το γραφείο **ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΕΚΟΥΡΑΣ**

- Γεώργιος Τσεκούρας, Πολεοδόμος – Χωροτάκτης, Μηχ/κος Περιφερειακής Ανάπτυξης, MSc
- Σπυρίδων Παπαγιαννάκης, Οικονομολόγος, Ειδικός σε GIS – ΜΔΕ στην Πολεοδομία και Χωροταξία
- Χριστίνα Τσούτσου, Αρχιτέκτων Μηχανικός

Από το γραφείο **ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ**

- Κωνσταντίνος Οικονόμου, Γεωπόνος MSc

Για τα Παραδοτέα 2 και 4 συνεργάστηκαν οι:

- Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΜΔΕ Υδρολόγος, ΕΔΙΠ ΕΜΠ
- Νίκος Μαμάσης, Τοπογράφος Μηχανικός, Δρ. Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
- Παναγιώτης Κοσσιέρης, Πολιτικός Μηχανικός, ΜΔΕ Υδρολόγος, Υποψήφιος Δρ. ΕΜΠ
- Γιάννης Τσουκαλάς, Πολιτικός Μηχανικός, ΜΔΕ Υδρολόγος, Υποψήφιος Δρ. ΕΜΠ
- Αριστοτέλης Τέγος, Πολιτικός Μηχανικός, ΜΔΕ Υδρολόγος, Υποψήφιος Δρ. ΕΜΠ
- Σίμων-Μιχαήλ Παπαλεξίου, Περιβαλλοντολόγος, MSc, Δρ. Μηχανικός ΕΜΠ

Για το Παραδοτέο 5 συνεργάστηκαν οι ομάδες:

Ομάδα 1

- Κωνσταντίνος Μέμος, Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ
- Αναστάσιος Μεταλληνός, πολιτικός μηχανικός ΔΠΘ, διδάκτωρ ΕΜΠ
- Μαρία-Ειρήνη Εμμανουηλίδου, πολιτικός μηχανικός ΕΜΠ, ΜΔΕ ΕΜΠ
- Δήμητρα Μαλλιούρη, πολιτικός μηχανικός ΕΜΠ, ΜΔΕ ΕΜΠ, υποψήφια διδάκτωρ ΕΜΠ

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

- Ελπιδοφόρος-Ευγένιος Ρεπούσης, πολιτικός μηχανικός ΕΜΠ, ΜΔΕ ΕΜΠ, υποψήφιος διδάκτωρ ΕΜΠ

Ομάδα 2

- Αθανάσιος Λουκάς, Καθηγητής Υδρολογίας και Υδατικών Πόρων ΠΘ
- Λάμπρος Βασιλειάδης, Δρ. Υδρολογίας, ΕΔΙΠ ΠΘ
- Φίλιππος Γκανούλης, Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Δρ. ΠΘ
- Γεώργιος Παπαϊωάννου, Δασολόγος, ΜΔΕ Υδρολόγος, Υποψήφιος Δρ. ΠΘ
- Παντελής Σιδηρόπουλος, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
- Ιωάννης Χρόνης, Δρ. Αγροοικολόγος-Ερευνητής
- Δημήτρης Φωτάκης, Δρ. Δασολόγος-Ερευνητής

Υποστήριξη σε θέματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών GIS, παρείχε το γραφείο:

ΓΕΩΘΕΣΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ Ε.Π.Ε.

- Μιχαήλ Σαλαχώρης, Αγρονόμος – Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, Msc Γεωφυσική
- Σπυρίδων Νεοκοσμίδης, Γεωλόγος – Γεωπεριβαλλοντολόγος, Msc
- Νικόλαος Μαράντος, Τοπογράφος Μηχανικός ΤΕ, MSc GIS

Επικοινωνία:

Γ. Καραβοκύρης & Συνεργάτες Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Αλεξανδρουπόλεως 23 & Καισαρείας, 115 27 Αθήνα

Τηλ.: 210 7756130

email: central@gk-consultants.gr

1.2 Ομάδα Επίβλεψης της Μελέτης – Επικοινωνία

Την ομάδα επίβλεψης απαρτίζουν τα ακόλουθα στελέχη της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων του ΥΠΕΝ:

- Μαρία Γκίνη, Προϊσταμένη Διεύθυνσης ΕΓΥ
- Κωνσταντίνα Νίκα, Προϊσταμένη Τμήματος ΕΓΥ (Συντονίστρια Ομάδας Επιβλεπόντων)
- Ελένη Λιάκου

Με αναπληρωματικούς τους:

- Σπυριδούλα Λιάκου
- Πηνελόπη Γκαγκάρη
- Αθανασία Παρδάλη

Επικοινωνία:

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας / Ειδική Γραμματεία Υδάτων

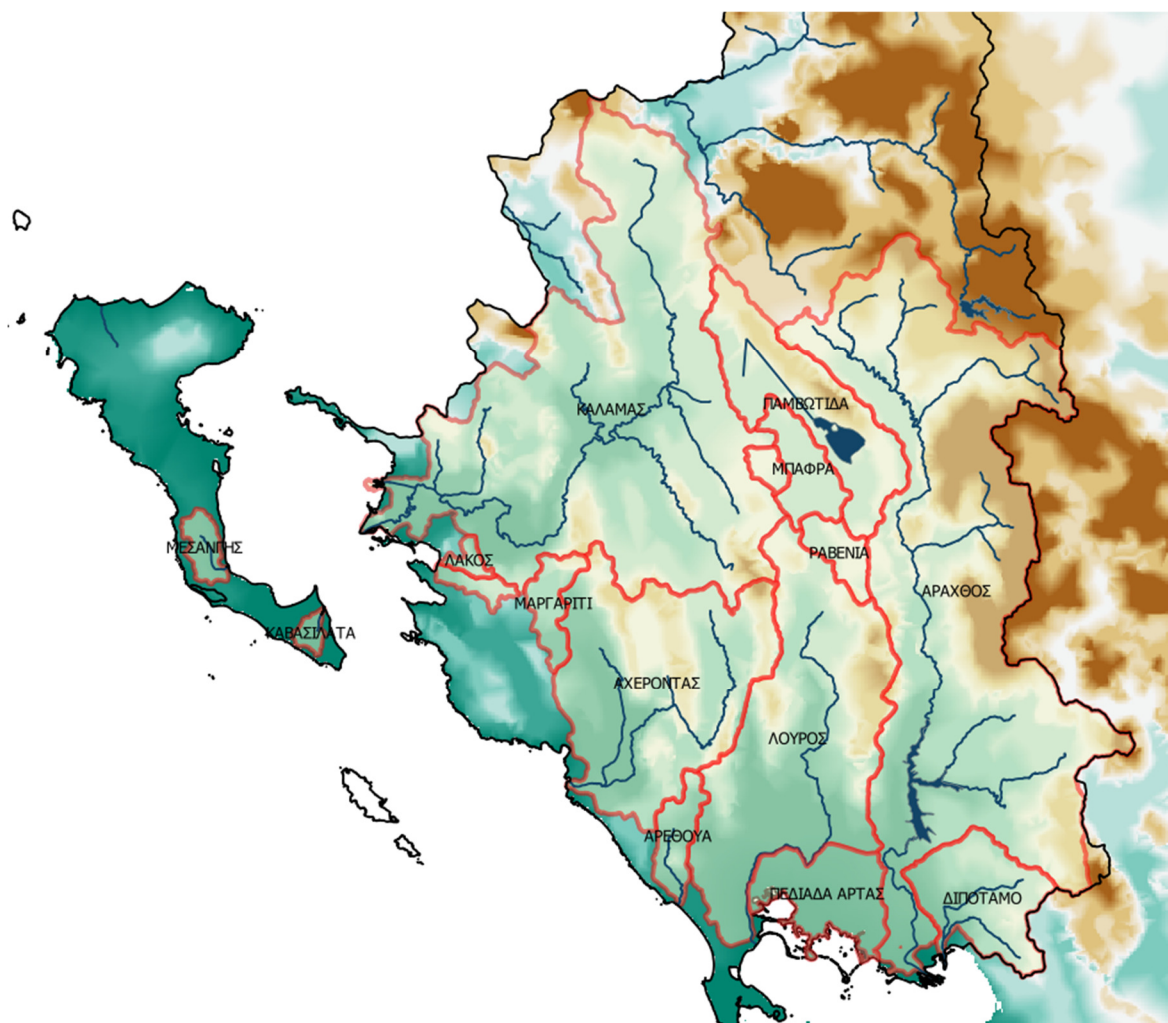
Αμαλιάδος 17, 115 23 Αθήνα

Τηλ.: 210 6475137

2 Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα

2.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης, στην οποία παράγονται πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού, καλύπτει τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Ηπείρου, συνολικής έκτασης 10 026 km² (από τα οποία τα 641 km² ανήκουν στην Κέρκυρα). Περιλαμβάνει τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) που έχουν καθοριστεί σε εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ και της Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103/21.7.2010, και τις ανάντη λεκάνες απορροής των υδατορευμάτων που διατρέχουν τις εν λόγω ζώνες. Στο πλαίσιο της μελέτης, πραγματοποιείται υδρολογική προσομοίωση των λεκανών απορροής όλων των μεγάλων ποταμών του ΥΔ Ηπείρου (Καλαμάς, Άραχθος, Λούρος, Αχέροντας), με εξαίρεση τον ποταμό Αώο, στην λεκάνη του οποίου δεν αναπτύσσονται ΖΔΥΚΠ. Προσομοίωση γίνεται και για μικρότερα υδατορεύματα διαλείπουσας ή χειμαρρικής ροής που διέρχονται από κάποια ΖΔΥΚΠ, καθώς και σε κλειστές λεκάνες, οι οποίες απορρέουν σε λίμνες (με κυριότερη την Παμβώτιδα) ή καταβόθρες (π.χ. οροπέδια Μπάφρα, Μαραγαρίτι, κτλ.). Συνολικά, εξετάζονται 16 λεκάνες απορροής, που χωρίζονται σε υπολεκάνες (Εικόνα 2.1).

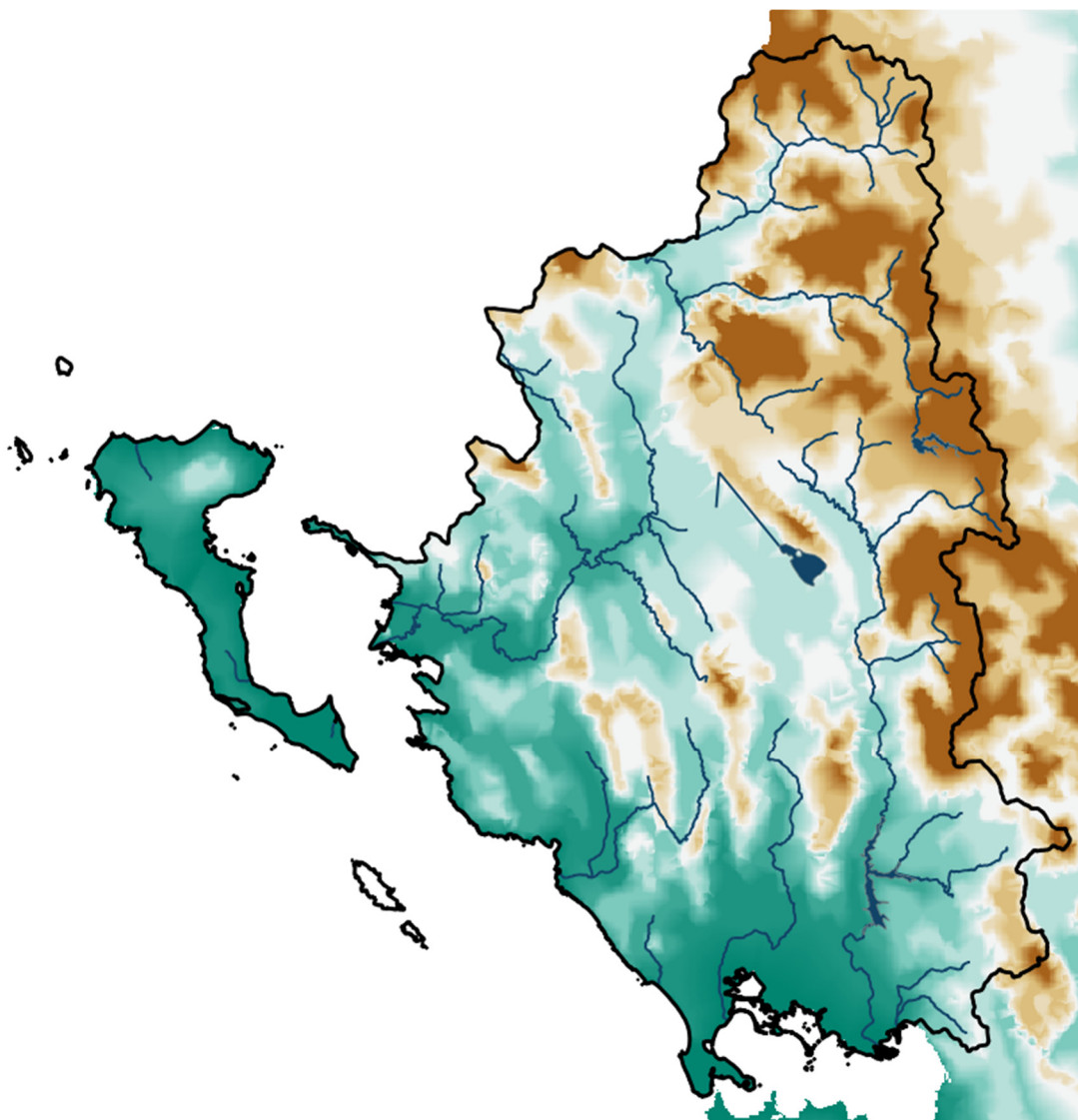


Εικόνα 2.1: Χάρτης περιοχής μελέτης και λεκάνες απορροής που εξετάζονται

2.2 Γεωγραφικά Δεδομένα

2.2.1 Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων

Το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (ΨΜΕ) της περιοχής μελέτης έχει διάσταση 5×5 m στα ορεινά και ημιορεινά τμήματα, ενώ κατά περίπτωση χρησιμοποιείται και πιο λεπτομερής κάναβος, διάστασης 1×1 m, στα πεδινά. Η λεπτομέρεια αυτή επιτρέπει όχι μόνο την ακριβέστερη αποτύπωση του πεδίου ροής στις περιοχές χαμηλών και πολύ χαμηλών κλίσεων, αλλά και την αποτύπωση σημαντικών τεχνικών έργων (π.χ., αναχώματα), βοηθώντας έτσι στην ορθή χάραξη των λεκανών απορροής και υπολεκανών. Στην Εικόνα 2.2 απεικονίζεται ένα πιο αδρομερές ΨΜΕ, διάστασης 25×25 m.



Εικόνα 2.2: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων και υδρογραφικό δίκτυο (σύμφωνα με την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ) περιοχής μελέτης

2.2.2 Υδρογραφικό Δίκτυο

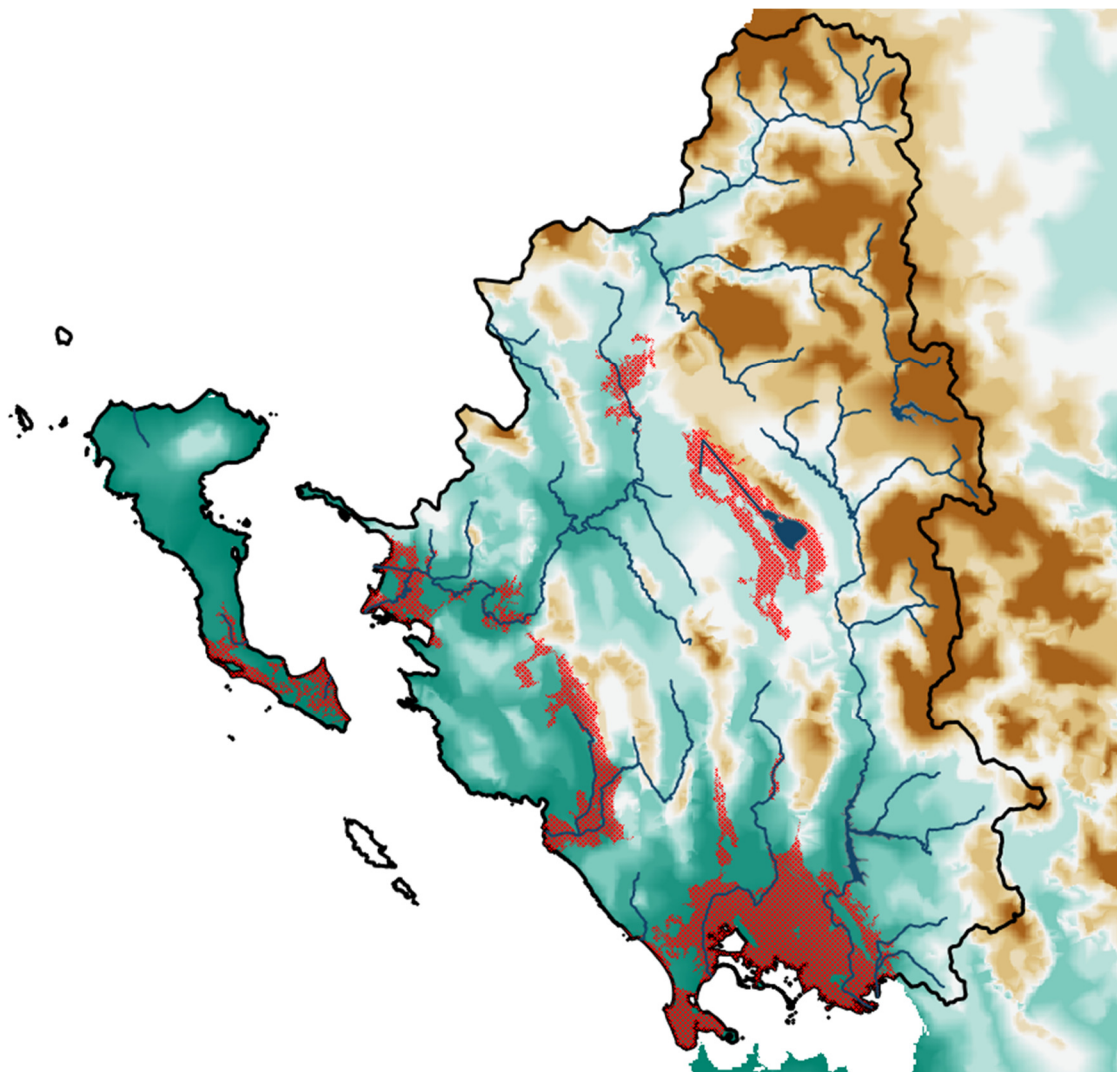
Το υδρογραφικό δίκτυο, που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.2, έχει διαμορφωθεί σε εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, και περιλαμβάνει τα κύρια υδατορεύματα της περιοχής μελέτης. Τα ποτάμια μόνιμης ροής που εξετάζονται είναι: (α) στο βόρειο μέρος ο Καλαμάς, (β) στο δυτικό ο Αχέροντας,

(γ) στο νοτιδυτικό ο Λούρος, και (δ) στο νοτιοανατολικό ο Άραχθος. Ο τελευταίος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω της παρεμβολής του φράγματος Πουρναρίου λίγο ανάντη της πόλης της Άρτας. Στο ΥΔ Ηπείρου αναπτύσσονται και μικρότερα υδατορεύματα, που εκβάλλουν στον Αμβρακικό Κόλπο και το Ιόνιο Πέλαγος. Σε αυτά περιλαμβάνονται και δύο ρέματα της Κέρκυρας, η οποία υπάγεται στο ΥΔ Ηπείρου.

Η χάραξη του δικτύου στις περιοχές υψηλών και μέτριων κλίσεων έγινε σε περιβάλλον ΣΓΠ, στο οποίο διαμορφώθηκαν τα μοντέλα συγκέντρωσης και κατεύθυνσης ροής σε ανάλυση 5×5 m. Στα πεδινά τμήματα (κυρίως στον κάτω ρου του Λούρου και του Άραχθου) έγιναν και ορισμένες χειροκίνητες διορθώσεις, καθώς οι φυσικές κοίτες έχουν διαμορφωθεί με τεχνικά έργα (π.χ. έχουν ευθυγραμμιστεί και οριοθετηθεί με αναχώματα), και συνεπώς δεν ακολουθούν ακριβώς τις κλίσεις του εδάφους.

2.2.3 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας

Στο πλαίσιο της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, άρθρα 4 και 5, και της ΚΥΑ ΗΠ 31822/1542/Ε103/21.7.2010 έγινε Προκαταρκτική Αξιολόγηση των Κινδύνων Πλημμύρας σε όλα τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας. Από την αξιολόγηση αυτή προσδιορίστηκαν οι σημαντικές ιστορικές πλημμύρες, από πλευράς επιπτώσεων, και οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ). Στο ΥΔ Ηπείρου, λόγω του αναγλύφου, οι πλημμυρικές ζώνες καλύπτουν μικρό μόνο ποσοστό της περιοχής, συγκεκριμένα το 10.1% (1 003 από τα 9 980 km²). Τα όρια των ζωνών φαίνονται στον χάρτη της Εικόνας 2.3.



Εικόνα 2.3: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) περιοχής μελέτης

2.2.4 Λεκάνες Απορροής

Με βάση το υδρογραφικό δίκτυο και τις ΖΔΥΚΠ, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 16 λεκάνες απορροής, τα όρια των οποίων απεικονίζονται στον χάρτη της Εικόνας 2.1. Στα ορεινά και ημιορεινά τμήματα του ΥΔ Ηπείρου οι λεκάνες χαράχτηκαν με βάση το ΨΜΕ διάστασης 5×5 m, ενώ στις πιο πεδινές περιοχές (κάτω ρους Καλαμά, Άραχθου και Λούρου) χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΕ διάστασης 1×1 m, σε συνδυασμό με χάρτες του κτηματολογίου καθώς και δορυφορικές εικόνες του Google Earth. Η χάραξη με βάση υψηλότερης ανάλυσης πληροφορία ήταν αναγκαία καθώς στα πεδινά τμήματα, όπου και αναπτύσσονται οι ΖΔΥΚΠ, τα υδατορεύματα είναι διευθετημένα και δεν ακολουθούν πλήρως τη φυσική κλίση του εδάφους. Ακόμη, σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. κάτω ρους Λούρου), στη μία πλευρά της φυσικής κοίτης έχουν κατασκευαστεί αναχώματα που εμποδίζουν την πλευρική απορροή, με αποτέλεσμα τα αναχώματα αυτά να ορίζουν, στην πραγματικότητα, έναν τεχνητό υδροκρίτη.

Σημειώνεται ότι για τις ανάγκες της υδρολογικής μοντελοποίησης, στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτήθηκε ακόμα πιο λεπτομερής κατάτμηση σε υπολεκάνες, όπως εξηγείται στο Κεφάλαιο 4. Με την κατάτμηση αυτή, διαμορφώθηκε μια ημικατανεμημένη σχηματοποίηση της αντίστοιχης λεκάνης

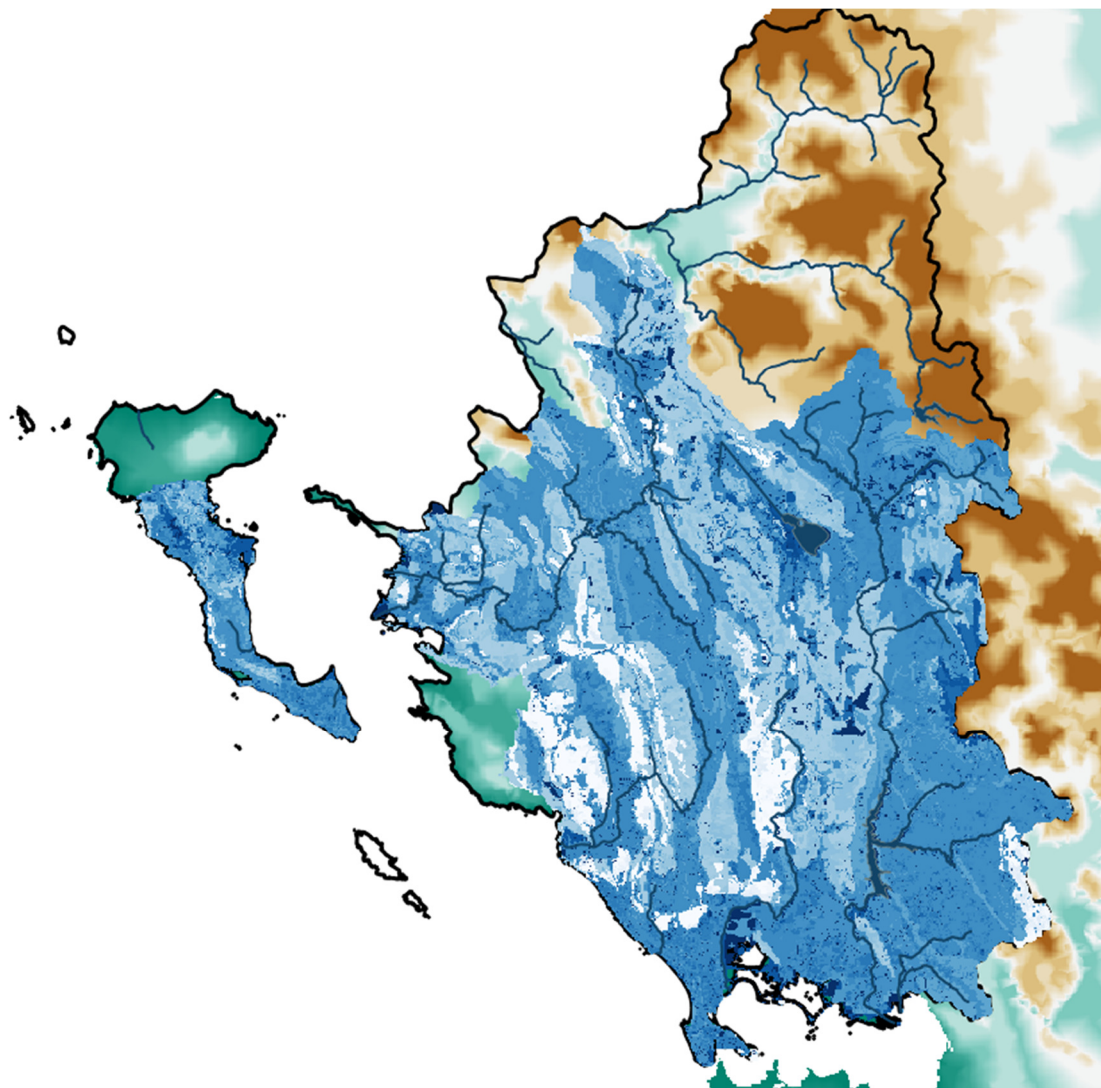
απορροής, θεωρώντας κόμβους στις εισόδους των ζωνών και τις συμβολές των κύριων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της.

2.2.5 Χάρτες Χωρικής Κατανομής Παραμέτρου CN

Ο αριθμός καμπύλης απορροής (runoff curve number, CN) είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος της λεκάνης απορροής, που προτάθηκε από την Soil Conservation Service (SCS, 1972) προκειμένου να συμπυκνώσει τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης σε μια μοναδική αντιπροσωπευτική τιμή. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της μέγιστης δυνητικής κατακράτησης, που αποτελεί δεδομένο εισόδου της μεθόδου SCS-CN, η οποία εφαρμόζεται για την εκτίμηση των υδρολογικών ελλειμμάτων στο πλαίσιο της υδρολογικής μοντελοποίησης με το λογισμικό HC-HMS. Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους, τις χρήσεις γης, και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Η εκτίμηση της παραμέτρου CN για μέσες συνθήκες υγρασίας έγινε σε επίπεδο φατνίου (grid cell), με βάση χάρτες υδατοπερατότητας εδαφών και κάλυψης γης. Από την τομή των δύο χωρικών επιπέδων προέκυψε ο χάρτης (αρχείο raster) της Εικόνας 2.4 (ο χάρτης καλύπτει μόνο τα όρια των λεκανών απορροής που προσομοιώθηκαν, και όχι το σύνολο του ΥΔ Ηπείρου).

Παρατηρείται ότι σε μεγάλο τμήμα της περιοχή μελέτης εμφανίζονται, γενικά, υψηλές τιμές του CN, το οποίο υποδηλώνει ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή επιφανειακής απορροής. Εξαίρεση αποτελούν οι λεκάνες απορροής των ποταμών Λούρου και Αχέροντα, όπου λόγω της σημαντικής ανάπτυξης καρστικών σχηματισμών, οι τιμές της παραμέτρου είναι σαφώς μικρότερες. Λόγω της σημαντικής αυτής διαφοράς, η πλημμυρική απόκριση των δύο αυτών λεκανών είναι αρκετά πιο ήπια σε σχέση με άλλες λεκάνες, όπως π.χ, η λεκάνη του Αράχθου, στην οποία κυριαρχούν αδιαπέρατοι, γενικά, σχηματισμοί, με συνέπεια την παραγωγή, σε συνδυασμό και με το καθεστώς ισχυρών βροχοπτώσεων της περιοχής, πολύ υψηλών πλημμυρικών παροχών.



Εικόνα 2.4: Χωρική απεικόνιση παραμέτρου CN στις λεκάνες απορροής που εξετάζονται

2.3 Υδρολογικά Δεδομένα

2.3.1 Σημειακές Όμβριες Καμπύλες και Διαστήματα Εμπιστοσύνης

Σε προηγούμενο στάδιο του έργου καταρτίστηκαν όμβριες καμπύλες στις θέσεις 48 βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης, που είναι συνεπείς με τη στατιστική δίαιτα των ισχυρών καταιγίδων του ΥΔ Ηπείρου. Οι εκτιμήσεις τους έγιναν συνδυαστικά με τα βροχομετρικά δεδομένα του ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Από τις πέντε παραμέτρους της όμβριας καμπύλης (λ , ψ , κ , η , θ), οι δύο πρώτες εκτιμήθηκαν με βάση το δείγμα μέγιστων εντάσεων βροχής κάθε σταθμού, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι εκτιμήθηκαν με βάση δείγματα περισσότερων σταθμών. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι η και θ της αριθμητικής έκφρασης του παρονομαστή (συνάρτηση διάρκειας) θεωρήθηκαν κοινές στα δύο Υδατικά Διαμερίσματα, και εκτιμήθηκαν με βάση τα δείγματα μέγιστων εντάσεων βροχής των 41 βροχογράφων των δύο ΥΔ, απ' όπου προέκυψαν οι τιμές $\theta = 0.334$ και $\eta = 0.629$. Ακόμη, η παράμετρος σχήματος κ του αριθμητή θεωρήθηκε ότι διαφοροποιείται σε τρεις γεωγραφικές ζώνες (βλ. Εικόνα 2.5), για τις οποίες εκτιμήθηκαν οι τιμές $\kappa_1 = 0.036$, $\kappa_2 = 0.108$ και $\kappa_3 = 0.123$. Τέλος, η

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

εκτίμηση των παραμέτρων λ και ψ για τις δεδομένες τιμές των η , θ και κ , έγινε με προσαρμογή της σχέσης (2.1) στα δείγματα μέγιστων βροχοπτώσεων κάθε σταθμού.

Πίνακας 2.1: Παράμετροι σημειακών όμβριων καμπυλών βροχομετρικών σταθμών Ηπείρου και αδιαστατοποιημένα όρια εμπιστοσύνης 80% για $T=50, 100$ και 1000 έτη

Σταθμός	Παράμετροι όμβριων καμπυλών					$T = 50$ έτη		$T = 100$ έτη		$T = 1000$ έτη	
	θ	η	κ	λ'	ψ'	x_L	x_U	x_L	x_U	x_L	x_U
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	0.334	0.627	0.036	293.366	0.849	0.835	1.136	0.795	1.189	0.666	1.486
ΠΑΛΙΟΣΕΛΙ	0.334	0.627	0.036	286.656	0.862	0.874	1.114	0.841	1.155	0.728	1.361
ΠΗΓΑΔΟΥΛΙΑ	0.334	0.627	0.036	338.006	0.868	0.845	1.130	0.809	1.181	0.684	1.431
ΑΚΤΙΟ	0.334	0.627	0.108	222.477	0.772	0.779	1.177	0.730	1.239	0.573	1.548
ΑΝΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	0.334	0.627	0.123	104.941	0.512	0.821	1.142	0.777	1.198	0.624	1.488
ΑΡΤΑ	0.334	0.627	0.108	216.217	0.787	0.773	1.179	0.724	1.242	0.567	1.550
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	0.334	0.627	0.036	802.928	0.945	0.809	1.163	0.770	1.217	0.640	1.479
ΚΕΡΚΥΡΑ	0.334	0.627	0.108	326.138	0.793	0.825	1.150	0.784	1.200	0.646	1.436
ΜΙΚΡΟ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	0.334	0.627	0.036	304.777	0.866	0.893	1.098	0.865	1.132	0.764	1.298
ΠΕΝΤΟΛΑΚΚΟΣ	0.334	0.627	0.036	473.619	0.878	0.871	1.112	0.840	1.153	0.730	1.349
ΠΡΑΜΑΝΤΑ	0.334	0.627	0.036	418.538	0.851	0.890	1.100	0.861	1.135	0.757	1.311
ΒΑΣΙΛΙΚΟ	0.334	0.627	0.036	362.233	0.898	0.880	1.107	0.850	1.143	0.746	1.306
ΒΗΣΣΑΝΗ	0.334	0.627	0.036	375.148	0.879	0.823	1.143	0.783	1.200	0.652	1.496
ΒΟΒΟΥΣΑ	0.334	0.627	0.123	82.185	0.482	0.856	1.119	0.816	1.163	0.676	1.389
ΖΙΤΣΑ	0.334	0.627	0.036	325.028	0.863	0.829	1.143	0.790	1.200	0.658	1.497
ΑΓΝΑΝΤΑ	0.334	0.627	0.123	122.811	0.547	0.888	1.097	0.857	1.133	0.741	1.296
ΑΓ. ΘΕΟΔΩΡΟΙ	0.334	0.627	0.036	487.643	0.886	0.904	1.089	0.879	1.120	0.786	1.262
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	0.334	0.627	0.036	318.636	0.853	0.885	1.103	0.855	1.142	0.746	1.331
ΑΝΕΜΟΡΑΧΗ	0.334	0.627	0.036	338.351	0.838	0.891	1.097	0.862	1.132	0.758	1.309
ΑΝΕΖΑ	0.334	0.627	0.108	94.767	0.592	0.893	1.095	0.863	1.128	0.753	1.286
ΑΝΩ ΣΚΑΦΙΔΩΤΗ	0.334	0.627	0.036	237.951	0.780	0.931	1.062	0.911	1.086	0.832	1.200
ΧΡΥΣΟΒΙΤΣΑ	0.334	0.627	0.123	67.096	0.380	0.871	1.109	0.833	1.152	0.697	1.370
ΔΙΚΟΡΦΟ	0.334	0.627	0.036	306.315	0.821	0.915	1.076	0.892	1.105	0.805	1.241
ΕΛΑΤΟΧΩΡΙ	0.334	0.627	0.036	218.904	0.786	0.881	1.100	0.851	1.141	0.739	1.358
ΦΙΛΙΑΤΕΣ	0.334	0.627	0.036	319.427	0.854	0.913	1.078	0.890	1.107	0.803	1.240
ΦΡ. ΛΟΥΡΟΥ	0.334	0.627	0.108	68.282	0.419	0.875	1.101	0.839	1.143	0.709	1.351
ΓΡΕΒΕΝΙΤΙΚΟ	0.334	0.627	0.123	98.287	0.522	0.894	1.093	0.864	1.128	0.748	1.289

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

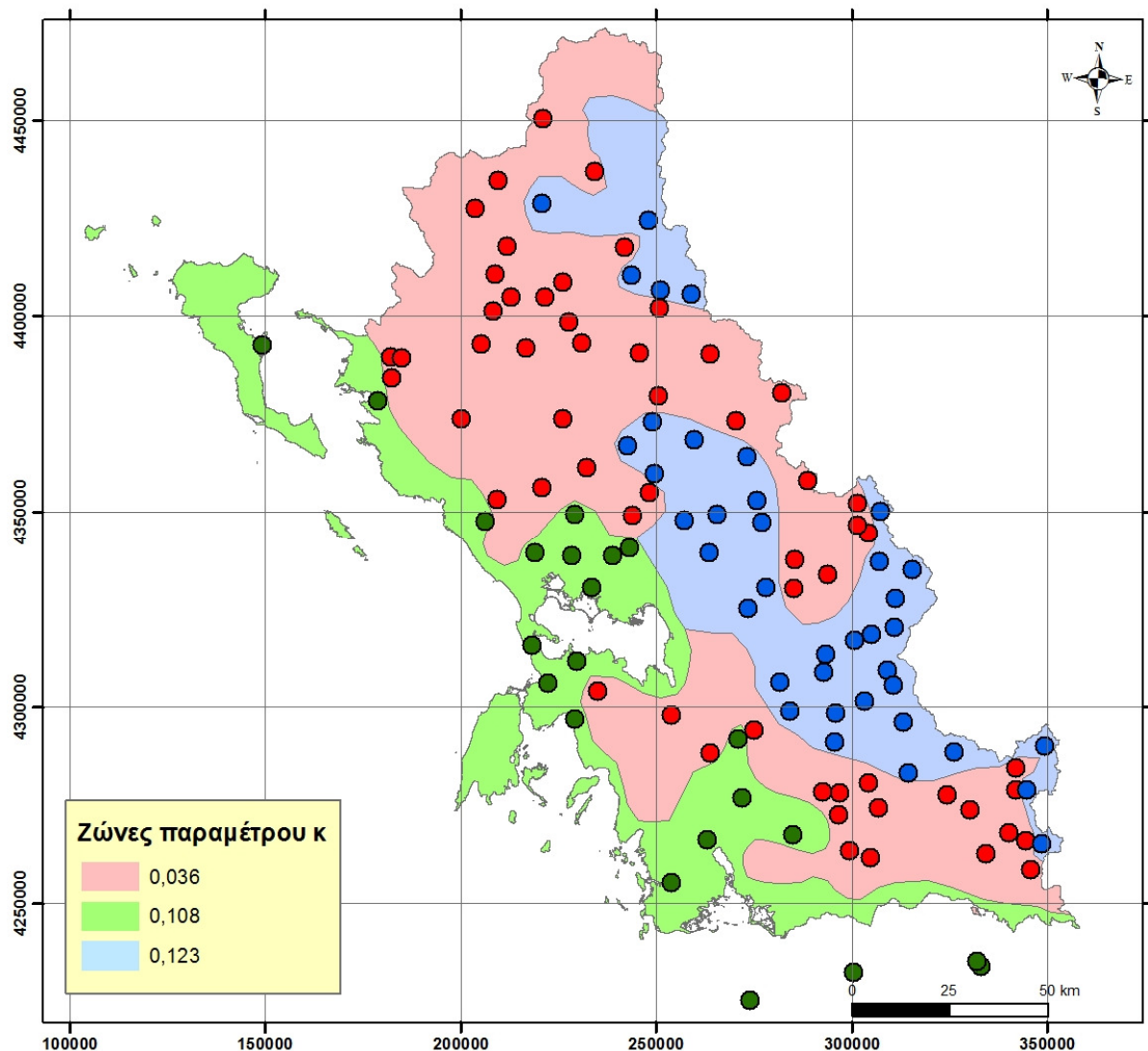
Σταθμός	Παράμετροι όμβριων καμπυλών					T = 50 έτη		T = 100 έτη		T = 1000 έτη	
	θ	η	κ	λ'	ψ'	x_L	x_U	x_L	x_U	x_L	x_U
ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	0.334	0.627	0.108	121.900	0.642	0.876	1.109	0.843	1.148	0.723	1.330
ΚΑΛΛΙΘΕΑ ΔΕΗ	0.334	0.627	0.036	280.196	0.796	0.905	1.086	0.880	1.118	0.780	1.283
ΚΑΝΑΛΛΑΚΙ	0.334	0.627	0.108	102.877	0.561	0.898	1.089	0.868	1.121	0.759	1.275
ΚΑΤΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	0.334	0.627	0.036	403.165	0.880	0.910	1.082	0.886	1.113	0.799	1.250
ΚΑΤΩ ΛΑΨΙΣΤΑ	0.334	0.627	0.036	168.167	0.756	0.891	1.091	0.862	1.130	0.756	1.333
ΚΥΨΕΛΗ	0.334	0.627	0.123	104.477	0.405	0.816	1.136	0.769	1.194	0.607	1.501
Λ. ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	0.334	0.627	0.036	455.394	0.908	0.818	1.154	0.780	1.208	0.650	1.489
ΛΟΥΡΟΣ	0.334	0.627	0.108	132.873	0.626	0.883	1.104	0.852	1.139	0.735	1.312
ΜΑΖΑΡΑΚΙ	0.334	0.627	0.036	272.538	0.819	0.894	1.094	0.866	1.128	0.766	1.307
ΜΕΤΣΟΒΟ	0.334	0.627	0.123	63.250	0.431	0.883	1.098	0.849	1.136	0.723	1.315
ΝΙΚΟΛΙΤΣΙ	0.334	0.627	0.036	410.825	0.838	0.919	1.072	0.896	1.098	0.814	1.225
Ν. ΚΕΡΑΣΟΥΝΤΑ	0.334	0.627	0.108	129.671	0.663	0.886	1.099	0.856	1.133	0.743	1.290
ΠΑΠΙΓΚΟ	0.334	0.627	0.123	63.950	0.293	0.888	1.097	0.854	1.135	0.729	1.335
ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	0.334	0.627	0.036	375.568	0.858	0.908	1.084	0.883	1.114	0.793	1.258
ΠΛΑΤΑΝΟΥΣΑ	0.334	0.627	0.123	96.020	0.299	0.906	1.080	0.879	1.110	0.770	1.265
ΠΟΛΥΔΩΡΟ	0.334	0.627	0.036	187.481	0.783	0.911	1.078	0.886	1.107	0.793	1.254
ΥΗΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	0.334	0.627	0.108	96.344	0.569	0.861	1.116	0.824	1.161	0.690	1.381
ΣΚΟΥΛΗΚΑΡΙΑ	0.334	0.627	0.123	123.637	0.546	0.859	1.113	0.821	1.155	0.685	1.354
ΣΟΥΛΟΠΟΥΛΟ	0.334	0.627	0.036	264.002	0.845	0.917	1.072	0.896	1.098	0.812	1.218
ΒΕΛΛΑ ΜΟΝΗ	0.334	0.627	0.036	278.805	0.849	0.916	1.077	0.893	1.103	0.809	1.235
ΒΟΥΡΜΠΙΑΝΗ	0.334	0.627	0.036	228.583	0.803	0.897	1.094	0.869	1.129	0.767	1.313

Οι τελικές τιμές των παραμέτρων στους 48 σταθμούς του ΥΔ Ηπείρου δίνονται στον Πίνακα 2.1. Στον ίδιο πίνακα δίνονται, ακόμη, τα αδιαστατοποιημένα, ως προς την κεντρική τιμή της όμβριας καμπύλης, όρια εμπιστοσύνης 80% για τις τρεις χαρακτηριστικές περιόδους επαναφοράς της μελέτης (50, 100, 1000 έτη). Για κάθε περίοδο επαναφοράς, τα όρια αυτά υπολογίστηκαν ως λόγοι του άνω και κάτω ορίου βροχόπτωσης διάρκειας 24 ωρών προς την αντίστοιχη «κεντρική» εκτίμηση, η οποία λαμβάνεται από την σημειακή όμβρια καμπύλη του σταθμού.

2.3.2 Χάρτες Χωρικής Κατανομής Παραμέτρων Όμβριων Καμπυλών και Αδιαστατοποιημένων Ορίων Εμπιστοσύνης

Με βάση τις σημειακές παραμέτρους των όμβριων καμπυλών καθώς και τα αδιαστατοποιημένα όρια παράγονται χάρτες χωρικής κατανομής τους (επίπεδα raster), που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται

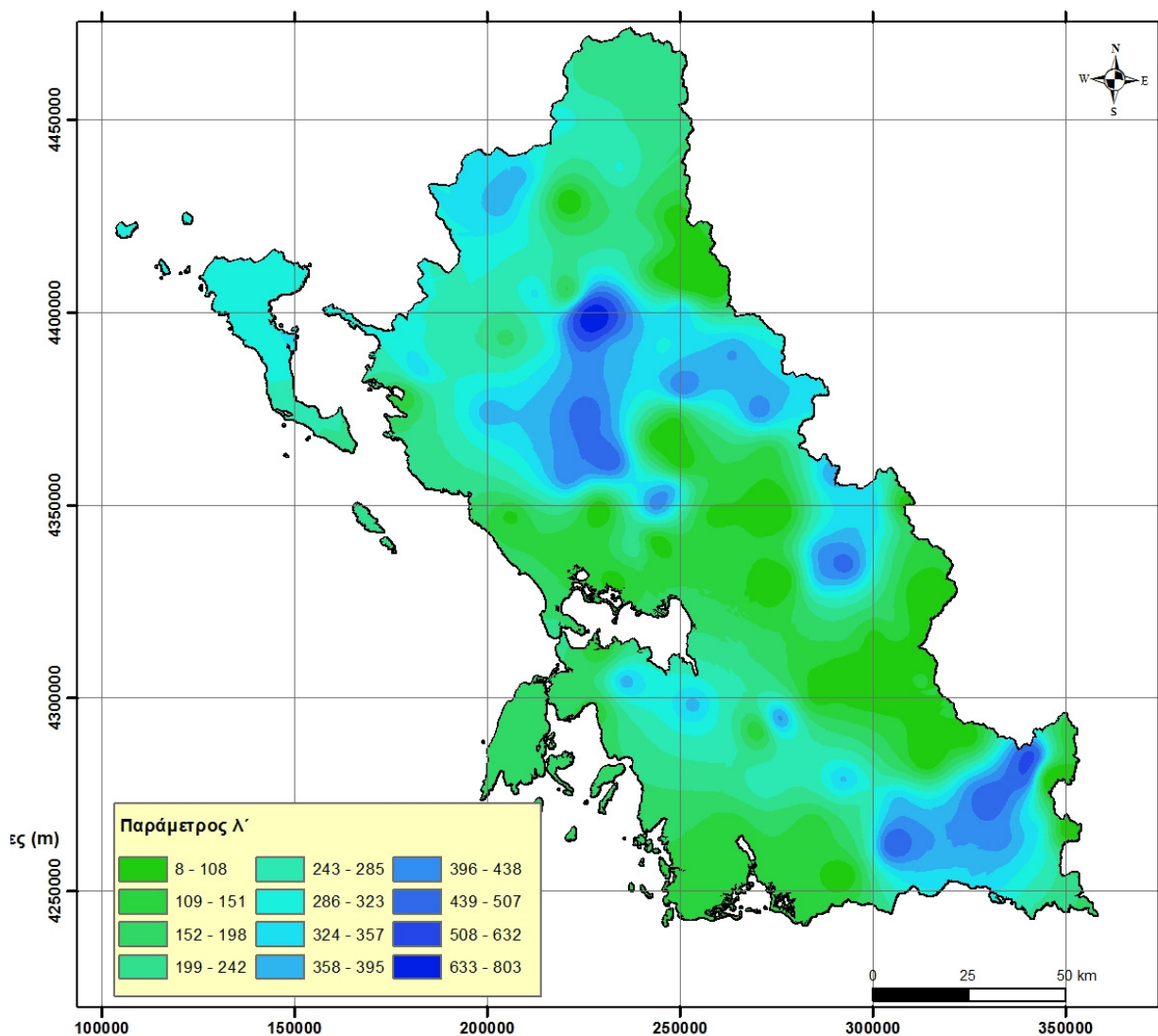
για την εκτίμηση αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων και των αδιαστατοποιημένων ορίων στις υπολεκάνες των μοντέλων υδρολογικής προσομοίωσης.



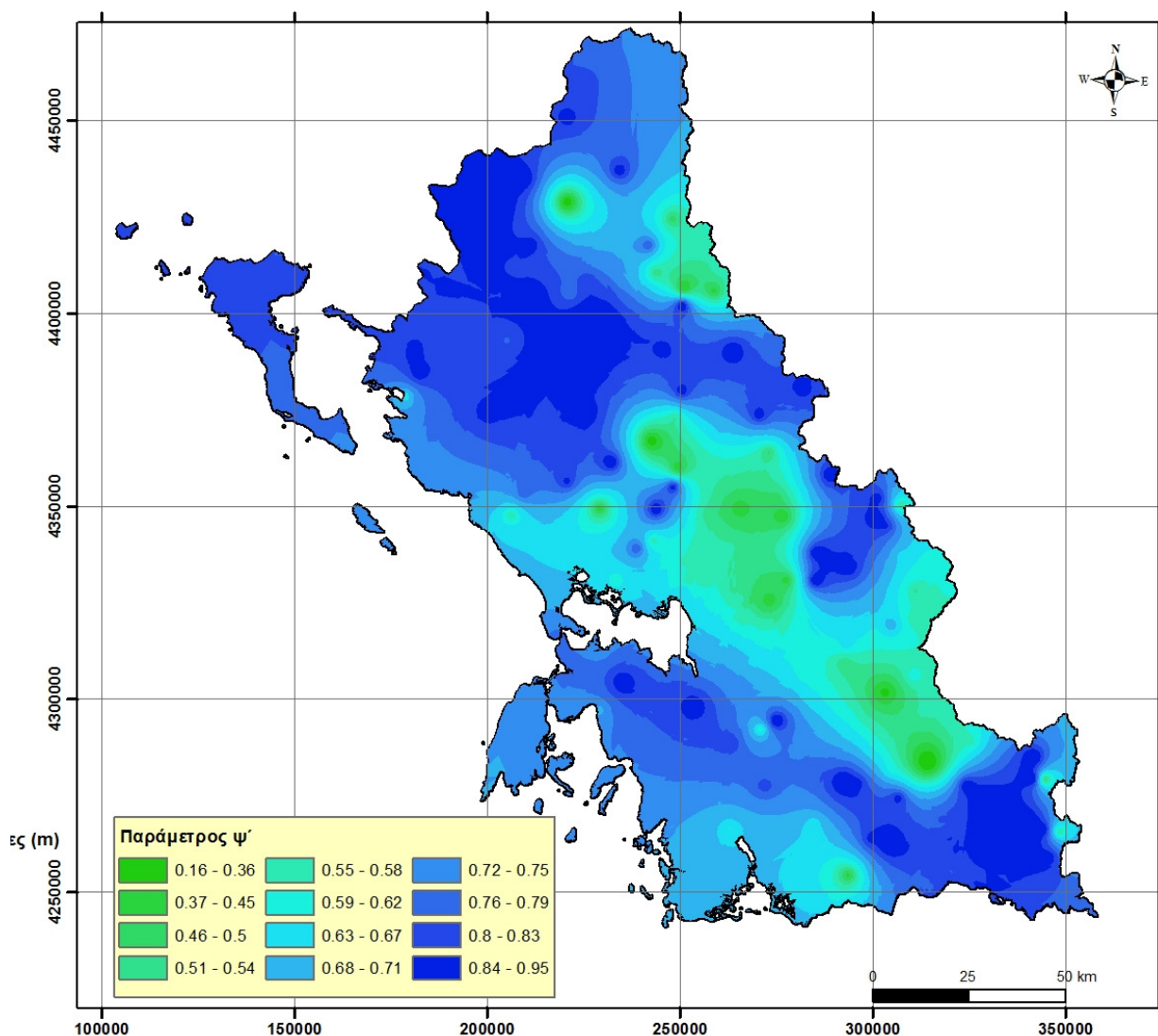
Εικόνα 2.5: Διαχωρισμός ΥΔ Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας στις τρεις ζώνες σταθερής παραμέτρου σχήματος, με $\kappa_1 = 0.036$, $\kappa_2 = 0.108$ και $\kappa_3 = 0.123$

Όπως εξηγήθηκε στο εδάφιο 2.3.1, οι παράμετροι η και θ της συνάρτησης διάρκειας θεωρήθηκαν ενιαίες στα ΥΔ Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, τα οποία μελετήθηκαν ως ενιαία περιοχή. Για την παράμετρο σχήματος κ διαμορφώθηκαν τρεις ζώνες που απεικονίζονται στον χάρτη της Εικόνας 2.5, ενώ για τις παραμέτρους κλίμακας και θέσης (λ και ψ αντίστοιχα) διαμορφώθηκαν χάρτες χωρικής παρεμβολής τους, σε περιβάλλον ΣΓΠ (Εικόνες 2.6 και 2.7). Οι χάρτες αυτοί παρήχθησαν με χρήση κατάλληλων μοντέλων χωρικής παρεμβολής, και είναι μορφής κανάβου (αρχεία raster). Συγκεκριμένα, όπως προβλέπουν οι προδιαγραφές, εφαρμόστηκε η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων (Inverse Distance Weighting, IDW), η οποία αναπαράγει τις σημειακές τιμές των παραμέτρων κάθε σταθμού.

Κατ' αντιστοιχία, με βάση τις σημειακές τιμές στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών, παρήχθησαν χάρτες χωρικής παρεμβολής των αδιαστατοποιημένων ορίων εμπιστοσύνης 80% (άνω και κάτω όριο), για τις τρεις ζητούμενες περιόδους επαναφοράς της μελέτης. Συνολικά, παρήχθησαν έξι χάρτες χωρικής παρεμβολής.



Εικόνα 2.6: Χωρική απεικόνιση ανηγμένης παραμέτρου κλίμακας λ. στα ΥΔ Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας



Εικόνα 2.7: Χωρική απεικόνιση ανηγμένης παραμέτρου θέσης ψ' στα ΥΔ Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας

2.3.3 Υδρομετρικά Δεδομένα

Στη μελέτη αξιοποιήθηκαν δημοσιευμένα υδρομετρικά δεδομένα από παλαιότερες μελέτες, καθώς και στοιχεία μέγιστων εισροών στις θέσεις των ταμιευτήρων Πουρναρίου και Λούρου, τα οποία δόθηκαν από τη ΔΕΗ. Η ανάλυση των υδρομετρικών δεδομένων περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5.

3 Υπολογιστική Διαδικασία Παραγωγής Πλημμυρογραφημάτων Σχεδιασμού

3.1 Γενικό Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Για την κατάρτιση Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας (flood hazard maps) στις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμυρών (ΖΔΥΚΠ), όπως προβλέπεται στα άρθρα 5 και 6 της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ και το άρθρο 5 της Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103/21.7.2010, απαιτείται η παραγωγή πλημμυρικών υδρογραφημάτων στις εισόδους των ΖΔΥΚΠ και σε επιλεγμένες ενδιάμεσες θέσεις του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης.

Στο ΥΔ Ηπείρου αναπτύσσονται ΖΔΥΚΠ σε 16 λεκάνες απορροής, με κυριότερη, από πλευράς δυνητικών επιπτώσεων, τη λεκάνη του Αράχθου. Για κάθε λεκάνη, που στη συνέχεια θα αναφέρεται και ως περιοχή μελέτης, διαμορφώνεται το υδρολογικό μοντέλο πλημμυρών, με το οποίο παράγονται τα πλημμυρογραφήματα στις διάφορες θέσεις ενδιαφέροντος κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, που καταλήγει σε έναν τελικό κόμβο εξόδου στη θάλασσα. Οι κλειστές λεκάνες (οροπέδιο Ιωαννίνων, οροπέδιο Μαργαρίτι) δεν έχουν φυσική αποστράγγιση, οπότε οι απορροές καταλήγουν στο χαμηλότερο σημείο του οροπεδίου (π.χ., στην περίπτωση των Ιωαννίνων, στη λίμνη Παμβώτιδα).

Η σχηματοποίηση των μηχανισμών γέννησης και μεταφοράς της πλημμυρικής απορροής βασίζεται σε μια *ημικατανεμημένη* (semi-distributed) διακριτοποίηση της λεκάνης απορροής. Συγκεκριμένα, η λεκάνη χωρίζεται σε υπολεκάνες, για κάθε μία από τις οποίες εφαρμόζεται η τυπική προσέγγιση *πλημμυρικού επεισοδίου* (event-based), που βασίζεται στη μέθοδο SCS-CN, για τον μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε επιφανειακή απορροή, σε συνδυασμό με τη θεωρία μοναδιαίου υδρογραφήματος, για τη διόδευση της απορροής έως την έξοδο κάθε λεκάνης.

Στη συνέχεια, με εφαρμογή απλουστευμένων υδρολογικών προσεγγίσεων, τα πλημμυρογραφήματα όλων των υπολεκανών διοδεύονται μέχρι την έξοδο της λεκάνης, μέσω του υδρογραφικού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται η σύνθεση των πλημμυρογραφημάτων στους κόμβους του δικτύου, που αποτελεί το τελικό ζητούμενο της μελέτης. Σε επόμενο στάδιο της μελέτης, επαναλαμβάνεται η προσομοίωση της μεταφοράς των πλημμυρικών ροών κατά μήκος συγκεκριμένων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (συγκεκριμένα, των κλάδων που διατρέχουν τις ΖΔΥΚΠ), εφαρμόζοντας υδραυλικές προσεγγίσεις. Οι τελευταίες περιγράφουν τις διεργασίες διόδευσης μέσω των αναλυτικών υδραυλικών εξισώσεων της ροής, λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά της κύριας κοίτης των υδατορευμάτων καθώς και της πλημμυροπεδιάδας εκατέρωθεν αυτής.

Η υπολογιστική διαδικασία υλοποιείται στο λογισμικό HEC-HMS, ενώ η παραγωγή των χωρικών και υδρολογικών δεδομένων εισόδου γίνεται, ως επί το πλείστον, σε περιβάλλον ΣΓΠ.

3.2 Υδρολογικά Σενάρια

Σύμφωνα με το τεύχος Τεχνικών Προδιαγραφών, ζητείται η ανάλυση των ακόλουθων σεναρίων για τους ποταμούς, ρέματα και χειμάρρους:

- πλημμύρες υψηλής πιθανότητας υπέρβασης, που θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια,

- πλημμύρες μέσης πιθανότητας υπέρβασης, που θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 100 χρόνια και
- πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης, που θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 1000 χρόνια.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, για κάθε περίοδο επαναφοράς εξετάζονται τρία σενάρια, που αναφέρονται σε ευνοϊκές, μέσες και δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες. Στην πράξη, τα σενάρια αυτά λαμβάνουν υπόψη το εύρος αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις της βροχόπτωσης σχεδιασμού, αλλά και στις υποθέσεις που γίνονται σχετικά με τις συνθήκες αρχικής υγρασίας του εδάφους. Από τους συνδυασμούς των τριών υδρολογικών συνθηκών με τις τρεις περιόδους επαναφοράς προκύπτουν, τελικά, $3 \times 3 = 9$ σενάρια, για τα οποία παράγονται τα αντίστοιχα πλημμυρικά υδρογραφήματα σε κάθε θέση ενδιαφέροντος.

3.3 Βροχοπτώσεις Σχεδιασμού

3.3.1 Εκτίμηση Χρονικών Μεγεθών Βροχόπτωσης

Αρχικά καθορίζονται δύο θεμελιώδη χρονικά μεγέθη, που είναι η συνολική διάρκεια, D , και η χρονική διακριτότητα, Δt , της βροχόπτωσης σχεδιασμού (δηλαδή η διάρκεια κάθε τμηματικού ύψους βροχής), που καθορίζει και το χρονικό βήμα υπολογισμών. Τα δύο μεγέθη αφορούν όλες τις πτυχές της διαδικασίας υδρολογικής προσομοίωσης και είναι κοινά σε όλες τις υπολεκάνες.

Είναι προφανές ότι η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής, ώστε να εξασφαλίζεται η συμμετοχή ακόμα και των πιο απομακρυσμένων περιοχών της στην παραγωγή της πλημμυρικής απορροής στην έξοδο. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, ο χρόνος συγκέντρωσης εκτιμάται μέσω της εμπειρικής σχέσης του Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta z}} \quad (3.1)$$

όπου t_c ο χρόνος συγκέντρωσης (h), A η επιφάνεια της λεκάνης (km^2), L το μήκος της μεγαλύτερης διαδρομής νερού στη λεκάνη (km) και Δz η υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο του κόμβου εξόδου της (m). Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται με εφαρμογές χωρικής επεξεργασίας σε περιβάλλον ΣΓΠ.

Με βάση τη διεθνή πρακτική, και με δεδομένο ότι στην κατάρτιση των υετογραφημάτων σχεδιασμού εφαρμόζονται οι μέθοδοι των εναλλασσόμενων μπλοκ και της δυσμενέστερης διάταξης (βλ. 3.3.3), η διάρκεια βροχής θα πρέπει να είναι σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης. Γενικά, στις μικρής και μεσαίας κλίμακας λεκάνες της μελέτης εφαρμόζονται διάρκειες βροχής 12, 24 ή 48 h, ενώ στη συγκεντρωτική λεκάνη του Πηνειού, λόγω του μεγέθους της και των σημαντικών χρονικών ανασχέσεων της ροής στα πεδινά της τμήματα, εφαρμόζεται διάρκεια βροχόπτωσης 72 h. Τονίζεται ότι οι προσομοιώσεις των παραποτάμων του Πηνειού αναφέρονται σε διάρκειες βροχής 24 ή 48 h, ενώ τα πλημμυρογραφήματα που παράγονται από επεισόδια βροχής 72 h χρησιμοποιούνται στις υδραυλικές αναλύσεις μόνο του κυρίως κλάδου του Πηνειού, από το ύψος του Αλή Εφέντη έως τις εκβολές.

Το χρονικό βήμα πρέπει να είναι υποπολλαπλάσιο του μικρότερου από τους χρόνους συγκέντρωσης των υπολεκανών, ώστε να μπορεί να απεικονιστεί σωστά το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος της υπολεκάνης. Όπως εξηγείται παρακάτω, η αιχμή του μοναδιαίου υδρογραφήματος εμφανίζεται

σε χρόνο λίγο μεγαλύτερο του 60% του χρόνου συγκέντρωσης (βλ. 3.4.2). Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ελάχιστο μέγεθος υπολεκανών είναι 10 km², εφαρμόζουμε, γενικά, χρονικό βήμα 15 min.

Τα χρονικά μεγέθη D και Δt είναι κοινά για όλα τα υδρολογικά σενάρια, παρόλο που όσο γίνονται πιο δυσμενείς οι συνθήκες βροχόπτωσης, τόσο μειώνεται ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης (βλ. 3.4.3).

3.3.2 Εκτίμηση Παραμέτρων Όμβριων Καμπυλών Υπολεκανών

Στα μοντέλα πλημμυρών που εφαρμόζουν προσεγγίσεις τύπου επεισοδίου θεωρείται ότι η πλημμύρα που αντιστοιχεί σε μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς παράγεται από επεισόδιο βροχής (καταιγίδα σχεδιασμού) της ίδιας περιόδου επαναφοράς. Ως συνέπεια της ημικατανεμημένης προσέγγισης που υιοθετείται στη μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής, οι καταιγίδες σχεδιασμού διαφοροποιούνται ανά υπολεκάνη, ενώ η χρονική τους διάρκεια είναι κοινή στην κλίμακα όλης της λεκάνης.

Η παραγωγή του υετογραφήματος που περιγράφει την χρονική εξέλιξη της καταιγίδας σχεδιασμού, βασίζεται στη χρήση των όμβριων καμπυλών κάθε υπολεκάνης. Για τη μαθηματική περιγραφή των ομβρίων καμπυλών, που εκτιμούν την ένταση βροχής i δεδομένης χρονικής κλίμακας (διάρκειας) d και περιόδου επαναφοράς T , εφαρμόζεται μια σχέση πέντε παραμέτρων της μορφής:

$$i(d, T) = \frac{\lambda \psi \kappa (T^\eta - \psi)}{(1 + d/\theta)^\eta} \quad (3.2)$$

Η σχέση (3.2) περιλαμβάνει πέντε παραμέτρους ($\lambda, \psi, \kappa, \eta, \theta$), που έχουν προκύψει από σημειακά δείγματα στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Η εκτίμηση των αντιπροσωπευτικών παραμέτρων κάθε υπολεκάνης, γίνεται ως εξής:

- Σε όλες τις υπολεκάνες εφαρμόζονται οι κοινές τιμές $\theta = 0.334$ και $\eta = 0.627$ που ισχύουν γενικά για το ΥΔ Ηπείρου.
- Αν η υπολεκάνη βρίσκεται εξ ολοκλήρου σε μία από τις τρεις ζώνες της παραμέτρου σχήματος κ , τότε λαμβάνει την τιμή της αντίστοιχης ζώνης, διαφορετικά λαμβάνει μια σταθμισμένη, ως προς τα αντίστοιχα εμβαδά επιρροής, τιμή του κ .
- Για τις παραμέτρους λ και ψ εφαρμόζεται η μέση τιμή όλων των φατνίων που βρίσκονται εντός των ορίων της υπολεκάνης, η οποία υπολογίζεται από τους χάρτες χωρικής παρεμβολής των Εικόνων 2.6 και 2.7.

Αν είναι γνωστές οι αντιπροσωπευτικές τιμές των παραμέτρων $\lambda, \psi, \kappa, \eta$ και θ μιας υπολεκάνης είναι δυνατή η μαθηματική διατύπωση των αντίστοιχων «σημειακών» όμβριων καμπυλών. Ο όρος σημειακός υποδηλώνει ότι οι όμβριες καμπύλες μπορούν να εκτιμηθούν οι σημειακές εντάσεις βροχής, που αναφέρονται σε οποιοδήποτε σημείο της υπολεκάνης. Όπως εξηγείται στη συνέχεια, οι σημειακές αυτές εντάσεις απομειώνονται, ώστε να ληφθεί υπόψη η χωρική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης που αναφέρεται στην επιφάνεια της υπολεκάνης.

3.3.3 Παραγωγή Υετογραφημάτων Σχεδιασμού Υπολεκανών

Η βασικότερη παραδοχή στην κατάρτιση της καταιγίδας σχεδιασμού αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες απλοποιημένες μέθοδοι, που υποθέτουν μια δεδομένη χρονική κατανομή, με την οποία παράγονται δυσμενή πλημμυρογραφήματα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μελέτης, για περιόδους επαναφοράς 50 και 100 ετών εφαρμόζεται η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating block method· Sutcliffe,

1978, σ. 31-35, Chow *et al.*, 1988, σ. 466), ενώ για περιόδους επαναφοράς 1000 ετών εφαρμόζεται η μέθοδος της *δυσμενέστερης διάταξης* του υετογραφήματος σχεδιασμού (ή worst profile· U.S. Department of the Interior, 1977, σ.817·Koutsoyiannis, 1994). Με τις μεθόδους αυτές προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους διάρκειών με βάση την όμβρια καμπύλη της υπολεκάνης, για την υπόψη περίοδο επαναφοράς. Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται στη συνέχεια με τρόπο ώστε να προκύπτει ένας ρεαλιστικός και ταυτόχρονα αρκετά δυσμενής συνδυασμός, στην περίπτωση της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ, ή ο δυσμενέστερος δυνατός συνδυασμός, δηλαδή αυτός που μεγιστοποιεί την αιχμή της παραγόμενης πλημμύρας, στην περίπτωση της μεθόδου της δυσμενέστερης διάταξης.

Βασική παραδοχή και των δύο μεθόδων είναι ότι, σε κάθε επιμέρους διάρκεια, το προκύπτον ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. Έστω ότι για κάποια υπολεκάνη είναι γνωστές οι αντιπροσωπευτικές παράμετροι λ, ψ, κ , η και θ της όμβριας καμπύλης της υπολεκάνης, η οποία δίνεται από τη σχέση (3.2). Για διάρκεια βροχής D και χρονικό βήμα Δt υπολογίζονται $N = D/\Delta t$ τμηματικές εντάσεις βροχής $i(d, T)$, εφαρμόζοντας τη σχέση (3.2) για N χρονικές κλίμακες, δηλαδή για διάρκειες $\Delta t, 2\Delta t, \dots, D$, και υποθέτοντας την ίδια περίοδο επαναφοράς T για κάθε διάρκεια. Στη συνέχεια, από τις εντάσεις αυτές παράγονται τα αθροιστικά ύψη βροχής, πολλαπλασιάζοντας με τις διαδοχικές διάρκειες, και, τέλος, από τα αθροιστικά ύψη υπολογίζονται τα αντίστοιχα τμηματικά.

Στη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται σε χρονική ακολουθία με το μέγιστο στο μέσο της επιλεγμένης συνολικής διάρκειας βροχής και τα υπόλοιπα σε φθίνουσα σειρά εναλλακτικά αριστερά και δεξιά από το κεντρικό μπλοκ. Στη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης, που εφαρμόζεται για $T = 1000$ έτη, το υετογράφημα σχεδιασμού 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. Αποδεικνύεται θεωρητικά ότι η τεχνική αυτή πράγματι δίνει τη μέγιστη παροχή αιχμής, όταν συνδυαστεί με το μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης.

3.3.4 Επιφανειακή Αναγωγή Σημειακών Εντάσεων Βροχής

Όπως εξηγήθηκε στην ενότητα 3.3.2, επειδή οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών έχουν προκύψει με βάση στατιστικές αναλύσεις σημειακών δειγμάτων βροχής (συγκεκριμένα, δείγματα μέγιστων βροχοπτώσεων από βροχόμετρα και βροχογράφους), θεωρείται ότι οι όμβριες καμπύλες των υπολεκάνων αναφέρονται στη σημειακή κλίμακα. Ωστόσο, όταν η χωρική κλίμακα του επεισοδίου βροχής είναι σχετικά μεγάλη, η σημειακή ένταση βροχής, i , είναι αισθητά μεγαλύτερη από τη μέση επιφανειακή ένταση, i_m . Συνεπώς, απαιτείται αναγωγή (απομείωση) των σημειακών εντάσεων (ή υψών βροχής) σε επιφανειακές μέσες εντάσεις (ή ύψη βροχής) της λεκάνης απορροής.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, η απομείωση υπολογίζεται με εφαρμογή του λεγόμενου *συντελεστή επιφανειακής αναγωγής* (areal reduction factor) $\varphi := i_m/i$. Ο συντελεστής αυτός, που είναι εξ ορισμού μικρότερος της μονάδας, είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης της λεκάνης και αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας βροχής. Ακόμη, εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την περίοδο επαναφοράς και φαίνεται ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς οδηγεί σε ασθενή μείωση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής· ωστόσο δεν υπάρχουν ακόμη κατηγορηματικά συμπεράσματα για αυτή

την εξάρτηση, η οποία δεν έχει διερευνηθεί σε αντίστοιχο βαθμό με αυτές που αναφέρονται στη διάρκεια και την έκταση.

Στη μελέτη εφαρμόζεται η αναλυτική έκφραση των Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλου (1999):

$$\varphi = \max \left(1 - \frac{0.048 A^{0.36 - 0.01 \ln A}}{d^{0.35}}, 0.25 \right) \quad (3.3)$$

όπου φ ο αδιάστατος συντελεστής επιφανειακής αναγωγής, A η έκταση της λεκάνης σε km^2 και d η διάρκεια βροχής σε h. Η παραπάνω σχέση έχει προκύψει με βάση πινακοποιημένα αποτελέσματα του UK-NERC (1975), τα οποία είναι και τα πληρέστερα παγκοσμίως τόσο ως προς το εύρος μεταβολής της διάρκειας (από 1 min ως 25 ημέρες) όσο και της έκτασης (από 1 ως 30 000 km^2).

Η διαδικασία επιφανειακής αναγωγής, με εφαρμογή του συντελεστή φ , γίνεται κατά τον υπολογισμό των τμηματικών εντάσεων βροχής $i(d, T)$, θεωρώντας την έκταση της συνολικής λεκάνης, A (και όχι τις επιμέρους εκτάσεις των υπολεκάνων). Η διαδικασία αυτή οδηγεί βεβαίως σε σημαντικές μειώσεις των παραγόμενων υψών βροχής, που ωστόσο αντισταθμίζονται από τις μεγάλες διάρκειες των επεισοδίων σχεδιασμού (αφού η συνολική διάρκεια D καθορίζεται με βάση τον χρόνο συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης απορροής, και όχι με βάση τους πολύ μικρότερους χρόνους συγκέντρωσης των υπολεκάνων). Επισημαίνεται ότι η χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχής για την παραγωγή του υετογραφήματος σχεδιασμού της υπολεκάνης, είτε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ είτε με αυτή της δυσμενέστερης διάταξης, γίνεται μετά την εφαρμογή του συντελεστή $\varphi(d, A)$ στα τμηματικά ύψη.

3.3.5 Παραγωγή Υετογραφημάτων για Άνω και Κάτω Όρια Εμπιστοσύνης Όμβριων Καμπυλών

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, στη μελέτη γίνεται η υπόθεση ότι τα υετογραφήματα που εκτιμώνται με βάση την όμβρια καμπύλη της υπολεκάνης, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στις ενότητες 3.3.2 και 3.3.4, αντιστοιχούν σε «μέσες» υδρολογικές συνθήκες. Ακόμη, τα υετογραφήματα που παράγονται από τις τιμές βροχόπτωσης που προκύπτουν από τα 20% κάτω και 80% άνω όρια εμπιστοσύνης τη όμβριας καμπύλης αντιστοιχούν σε ευμενείς και δυσμενείς συνθήκες, αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 2.1 δίνονται τα αδιαστατοποιημένα όρια εμπιστοσύνης 80% των σημειακών όμβριων καμπυλών, x_L και x_U , αντίστοιχα, για τις τρεις περιόδους επαναφοράς της μελέτης (50, 100, 1000 έτη). Οι τιμές αυτές έχουν εκτιμηθεί ως λόγοι των δύο ορίων προς τις κεντρικές τιμές που εκτιμώνται από την όμβρια καμπύλη, οπότε προφανώς ισχύει $x_L < 1$ και $x_U > 1$.

Κατ' αντιστοιχία με τις παραμέτρους λ και ψ των όμβριων καμπυλών, έτσι και οι τιμές των x_L και x_U έχουν εκτιμηθεί με βάση τα σημειακά δείγματα των βροχομετρικών σταθμών. Για την εφαρμογή τους στη χωρική κλίμακα της υπολεκάνης, παράγονται αντιπροσωπευτικές τιμές τους, με βάση χάρτες χωρικής παρεμβολής (δύο όρια \times τρεις περίοδοι επαναφοράς, από τους οποίους προκύπτουν έξι αρχεία τύπου raster). Οι τιμές αυτές εκτιμώνται ως μέσος όρος όλων των φατνίων της υπολεκάνης.

Για την παραγωγή των υετογραφημάτων σχεδιασμού εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία με το μέσο υδρολογικό σενάριο, μόνο που αντί για τις όμβριες καμπύλες χρησιμοποιούνται τα αντιπροσωπευτικά κάθε υπολεκάνης αδιαστατοποιημένα όρια, τα οποία πολλαπλασιάζονται επί την κεντρική τιμή της υπόψη περιόδου επαναφοράς.

3.4 Πλημμυρογραφήματα Σχεδιασμού

3.4.1 Εκτίμηση Υδρολογικών Ελλειμμάτων με τη Μέθοδο SCS-CN

Ο μετασχηματισμός της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε πλημμυρική απορροή γίνεται με αφαίρεση των υδρολογικών ελλειμμάτων, δηλαδή του τμήματος της βροχής που αρχικά κατακρατείται στο έδαφος και τη βλάστηση και, στη συνέχεια, είτε εξατμίζεται είτε διηθείται. Γνωρίζοντας τη χρονική εξέλιξη του επεισοδίου βροχής (π.χ., μέσω του υετογραφήματος σχεδιασμού) και τα συνολικά ελλείμματα, μπορεί να προσδιοριστεί το τμήμα της ολικής βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή, που είναι γνωστό ως *ενεργός βροχόπτωση* (effective rainfall) ή *πλεόνασμα βροχόπτωσης* (rainfall excess).

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, για δεδομένο υετογράφημα σχεδιασμού, η ενεργός βροχόπτωση εκτιμάται με τη μέθοδο SCS-CN, η οποία αναπτύχθηκε από την Soil Conservation Service (1972, αναφέρεται πλέον ως Natural Resources Conservation Service, NRCS) και είναι από τις πλέον διαδεδομένες παγκοσμίως. Η μέθοδος περιγράφει τη χρονική εξέλιξη των ελλειμμάτων, εφαρμόζοντας μια απλή αλλά ρεαλιστική εννοιολογική διαδικασία, που βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές (U.S. Department of the Interior, 1977· βλ. και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 274-278):

- Για ένα αρχικό διάστημα t_{a0} , όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης h_{a0} μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα (αρχικό έλλειμμα), χωρίς να δίνει καθόλου ενεργή βροχόπτωση. Κατά συνέπεια, μετά το χρόνο t_{a0} , το μέγιστο ενεργό ύψος βροχής h_e δεν μπορεί να υπερβεί το δυνητικό μέγεθος $h - h_{a0}$, όπου h το ολικό ύψος βροχής.
- Το επιπλέον, πέραν του αρχικού h_{a0} , ελλειμματικό ύψος κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης βροχόπτωσης δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή S , η οποία καλείται *μέγιστη δυνητική κατακράτηση* (potential maximum retention).
- Σε κάθε χρονική στιγμή $t > t_{a0}$, οι λόγοι του ενεργού (καθαρού) ύψους βροχής h_e και του ελλειμματικού μείον το αρχικό έλλειμμα ($h_a - h_{a0}$), προς τα αντίστοιχα δυνητικά μεγέθη ($h - h_{a0}$ και S , αντίστοιχα), είναι ίσοι.

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, προκύπτει η ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{h - h_{a0} + S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (3.4)$$

Η σχέση (3.4) μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, οπότε προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου.

Στη βιβλιογραφία συστήνεται η επιπλέον παραδοχή ότι το αρχικό έλλειμμα h_{a0} αντιστοιχεί στο 20% της μέγιστης δυνητικής κατακράτησης, S . Το ποσοστό αυτό έχει προκύψει ως μέσος όρος του 50% των παρατηρήσεων πεδίου, κυρίως από μετρήσεις διήθησης σε μικρές αγροτικές λεκάνες στις ΗΠΑ, ενώ το πλήρες εύρος των παρατηρημένων ποσοστών απωλειών κυμαίνεται από 9.5 ως 38% (Ponce and Hawkins, 1996). Στη μελέτη εφαρμόζεται, βάσει των προδιαγραφών, το τυπικό ποσοστό της βιβλιογραφίας, δηλαδή 20%. Ωστόσο, όπως έχει φανεί από πρόσφατες αναλύσεις πολλαπλών πλημμυρικών επεισοδίων στην Ελλάδα και την Κύπρο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014), το ποσοστό αυτό δεν ανταποκρίνεται στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών που εξετάστηκαν, στις οποίες, λόγω των ισχυρών κλίσεων, η εμφάνιση της πλημμυρικής απορροής ήταν πολύ ταχύτερη. Μάλιστα, στα περισσότερα επεισόδια η εκτίμηση του ποσοστού απωλειών ήταν της τάξης του 5% ή και

λιγότερο, το οποίο υποδηλώνει σχεδόν ακαριαία απόκριση των λεκανών στην βροχόπτωση. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές (Baltas *et al.*, 2007· Massari *et al.*, 2014). Με βάση τα παραπάνω θεωρούμε ότι για την εκτίμηση του αρχικού ελλείμματος θα πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση στο μέλλον, εφαρμόζοντας χαμηλότερες τιμές στις υπολεκάνες που χαρακτηρίζονται από μεγάλες κλίσεις και, γενικά, υψηλή αποστραγγιστική ικανότητα.

Με την υπόθεση ότι $h_{a0} = 0.2 S$, η σχέση (3.4) διατυπώνεται αποκλειστικά συναρτήσει της μέγιστης δυνατικής κατακράτησης S , δηλαδή:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2 S \\ \frac{(h - 0.2 S)^2}{h + 0.8 S} & h > 0.2 S \end{cases} \quad (3.5)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι το τελικό ύψος των υδρολογικών ελλειμμάτων μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά (για βροχόπτωση πολύ μεγάλου ύψους) την τιμή $1.2 S$.

Σύμφωνα με την τυπική πρακτική της βιβλιογραφίας, η τιμή της παραμέτρου S εκτιμάται εμπειρικά, συναρτήσει του αριθμού καμπύλης απορροής (runoff curve number, CN) της λεκάνης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (3.6)$$

Η παράμετρος CN, που συμπυκνώνει τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης σε μία τιμή, εξαρτάται από τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά και τις χρήσεις γης, και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας στη λεκάνη. Η παράμετρος παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100 και εκτιμάται, όπως προβλέπουν οι προδιαγραφές του έργου, μέσω της κλασσικής διαδικασίας που προτείνεται από την Soil Conservation Service (1972).

Αρχικά, η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με τη διαπερατότητά τους:

Ομάδα Α: Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδη και χαλικώδη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.

Ομάδα Β: Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδης πηλός.

Ομάδα C: Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.

Ομάδα D: Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι, εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια.

Στη συνέχεια, ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας:

Τύπος I: Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά, αλλά πάνω από το σημείο μαρασμού), που αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών είναι μικρότερη από 13 mm (ή μικρότερη των 35 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Τύπος II: Μέσες συνθήκες, που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών μεταξύ 13 και 38 mm (ή μεταξύ 35 και 53 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Τύπος III: Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα), που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών μεγαλύτερη των 38 mm (ή μεγαλύτερη των 53 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από μεγάλο αριθμό παρατηρημένων πλημμυρικών επεισοδίων σε μικρές αγροτικές λεκάνες στις ΗΠΑ, και θεωρείται ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης 10, 50 και 90% (για υγρές, μέσες και ξηρές συνθήκες, αντίστοιχα).

Οι τύποι αρχικής εδαφικής υγρασίας θεωρείται ότι αντιστοιχούν στις αντίστοιχες υδρολογικές συνθήκες των σεναρίων που εξετάζονται στη μελέτη. Συνεπώς, οι *ευμενείς συνθήκες* προκύπτουν από την επαλληλία του κάτω ορίου εμπιστοσύνης της βροχόπτωσης και των συνθηκών αρχικής υγρασίας τύπου I, οι *μέσες συνθήκες* προκύπτουν από την επαλληλία της κεντρικής τιμής της βροχόπτωσης που εκτιμάται από την όμβρια καμπύλη και των συνθηκών αρχικής υγρασίας τύπου II, ενώ οι *δυσμενείς συνθήκες* προκύπτουν από την επαλληλία του άνω ορίου εμπιστοσύνης της βροχόπτωσης και των συνθηκών αρχικής υγρασίας τύπου III.

Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε υδρολογική ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης (π.χ. Chow *et al.*, 1988, σ. 150). Με βάση το σχετικό σημείωμα του Τεχνικού Συμβούλου, παρήχθησαν οι χάρτες κατανεμημένων τιμών της παραμέτρου CN της περιοχής μελέτης (Εικόνα 2.4).

Η εφαρμογή της μεθόδου SCS-CN γίνεται σε κλίμακα υπολεκάνης, θεωρώντας το υετογράφημα σχεδιασμού για την αντίστοιχη περίοδο επαναφοράς και υδρολογική συνθήκη. Θεωρώντας $h_{a0} = 0.2S$, μοναδικό δεδομένο εισόδου είναι ο αριθμός CN της υπολεκάνης. Για μέσες υδρολογικές συνθήκες, η παράμετρος CN εκτιμάται (κατ' αντιστοιχία με τις παραμέτρους των όμβριων καμπυλών και τα αδιαστατοποιημένα όρια εμπιστοσύνης τους) ως η μέση τιμή των κατανεμημένων CN, που θεωρείται αντιπροσωπευτική των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της υπολεκάνης. Σημειώνεται ότι με την κατάτμηση της συνολικής λεκάνης απορροής σε σχετικά μικρού μεγέθους υπολεκάνες, επιτυγχάνεται ικανοποιητική ομοιογένεια των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών τους, με την οποία εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα της μέσης τιμής του CN.

Συνεπώς, με γνωστή τη μέση τιμή του CN, εκτιμάται, μέσω της (3.6), η τιμή της μέγιστης δυνατικής κατακράτησης της υπολεκάνης, που αντιστοιχεί στο μέσο υδρολογικό σενάριο. Για τις άλλες συνθήκες προηγούμενης υγρασίας, που αντιστοιχούν στα ευμενή και δυσμενή υδρολογικά σενάρια, αντίστοιχα, εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις αναγωγής:

$$CN_I = \frac{4.2 CN_{II}}{10 - 0.058 CN_{II}} \quad (3.7)$$

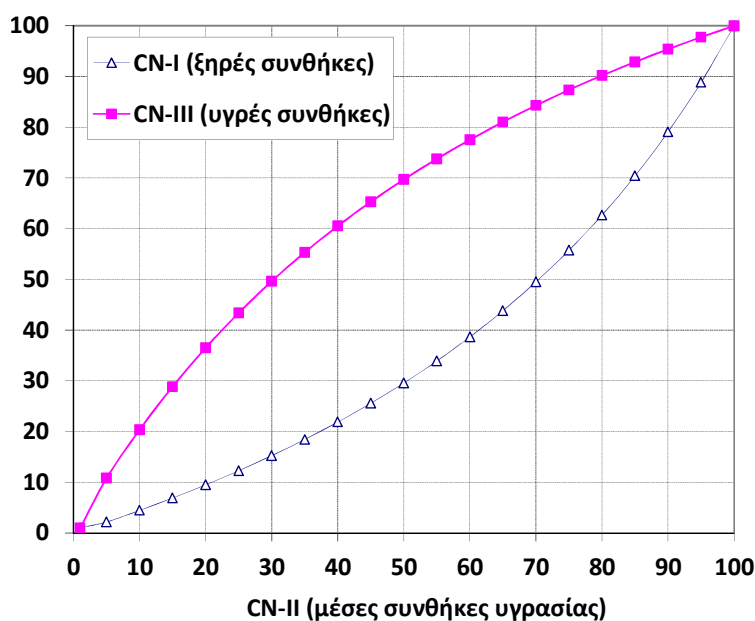
$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0.13 CN_{II}} \quad (3.8)$$

Η σχέση (3.6) εφαρμόζεται εκ νέου για την εκτίμηση των τιμών της παραμέτρου S για τα υπόψη σενάρια. Η υπολογιστική διαδικασία εκτίμησης των υδρολογικών ελλειμμάτων και διαχωρισμού της ενεργού από την ολική βροχόπτωση γίνεται στο περιβάλλον του HEC-HMS.

Σημειώνεται ότι το εύρος τιμών της παραμέτρου CN, μεταξύ των ακραίων συνθηκών τύπου I και III, είναι πολύ μεγάλο, και μάλιστα μεγιστοποιείται στην τιμή $CN_{II} = 50$, για την οποία προκύπτει $CN_I = 30$ και $CN_{III} = 70$. Το εύρος μεταβολής του αριθμού CN ανάλογα με τις συνθήκες υγρασίας απεικονίζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 3.1. Μάλιστα, η ισχυρή εξάρτηση του CN από τις συνθήκες υγρασίας έχει ακόμα πιο έντονη επίδραση στη μεταβλητότητα της χωρητικότητας κατακράτησης, S . Στην πλέον ακραία περίπτωση, δηλαδή για $CN_{II} = 50$, η τιμή της παραμέτρου S που αντιστοιχεί σε μέσες συνθήκες υγρασίας είναι 254 mm, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για ξηρές και υγρές συνθήκες είναι 110 και 605 mm. Συνεπώς, προκύπτει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος τιμών της μέγιστης δυνατικής κατακράτησης, που

συνδυαζόμενο με το αντίστοιχο εύρος τιμών της βροχόπτωσης (όπως προκύπτει με βάση τα όρια εμπιστοσύνης των όμβριων καμπυλών), οδηγεί σε εντυπωσιακά μεγάλες διαφορές στις εκτιμήσεις των πλημμυρικών μεγεθών, παρόλο που θεωρείται η ίδια περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού. Δεδομένου ότι τιμές του CN_{II} της τάξης του 50 έως 60 είναι συνηθισμένες στην περιοχή μελέτης (λόγω της σχετικά υψηλής περατότητας των εδαφικών σχηματισμών και της ύπαρξης δασικής βλάστησης στα ορεινά τμήματα), αναμένονται πολύ έντονες αποκλίσεις στα υπολογιζόμενα πλημμυρικά μεγέθη, που επιβεβαιώνουν την έντονη αβεβαιότητα που διέπει τις εκτιμήσεις που βασίζονται σε μοντέλα τύπου επεισοδίου (Efstratiadis *et al.*, 2014).

Θα πρέπει ακόμη να επισημανθεί ότι πρόσφατες πιθανοτικές αναλύσεις των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελλάδα καταδεικνύουν ότι οι υποθέσεις της SCS, ότι δηλαδή οι ξηρές συνθήκες έχουν 90%, οι μέσες συνθήκες έχουν 50%, και οι υγρές συνθήκες έχουν 10% πιθανότητα υπέρβασης, σε καμία περίπτωση δεν είναι αντιπροσωπευτικές του υδροκλιματικού καθεστώτος της χώρας. Μάλιστα, από τις αναλύσεις προέκυψε ότι στην Ανατολική Ελλάδα η συχνότητα εμφάνισης ξηρών συνθηκών είναι σημαντικά υψηλότερη, ενώ αντίθετα στη Δυτική Ελλάδα είναι πολύ υψηλότερη η συχνότητα εμφάνισης υγρών συνθηκών (Ευστρατιάδης *κ.ά.*, 2014· Ποντικός, 2014).



Εικόνα 3.1: Εύρος μεταβολής παραμέτρου CN για ξηρές και υγρές συνθήκες, συναρτήσει την παραμέτρου που αναφέρεται σε μέσες συνθήκες

3.4.2 Μετασχηματισμός Επιφανειακής Απορροής σε Πλημμυρογράφημα

Η ενεργός βροχόπτωση που εκτιμάται με τη μέθοδο SCS-CN αντιπροσωπεύει την χωρικά ομοιόμορφη επιφανειακή απορροή που παράγεται σε όλη την έκταση της υπολεκάνης. Η απορροή αυτή διοδεύεται μέσω του υδρογραφικού δικτύου καθώς και μέσω άλλων διαδρομών (π.χ. υπεδάφια, ως υποδερμική ροή) έως τον κόμβο εξόδου της. Ο χωροχρονικός μετασχηματισμός της απορροής σε πλημμυρική παροχή στην έξοδο της λεκάνης γίνεται με εφαρμογή της θεωρίας του *μοναδιαίου υδρογραφήματος*.

Ως γνωστό, αν είναι γνωστή η χρονική εξέλιξη της ενεργού βροχόπτωσης h_b σε διακριτό χρόνο, και το μοναδιαίο υδρογράφημα (ΜΥ) της λεκάνης για διάρκεια ίση με την χρονική διακριτότητα της

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

ενεργού βροχόπτωσης Δt , τότε ο υπολογισμός του πλημμυρογραφήματος εξόδου γίνεται με εφαρμογή της αρχής της επαλληλίας. Ειδικότερα, από κάθε επιμέρους τμήμα της ενεργού βροχόπτωσης στο χρονικό διάστημα $[t, t + \Delta t]$ παράγεται το επιμέρους πλημμυρογράφημα, πολλαπλασιάζοντας το ύψος βροχής h_t με τις τεταγμένες του ΜΥ. Αν D είναι η συνολική διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού, τότε παράγονται $N = D/\Delta t$ υδρογραφήματα, που αθροίζονται χρονικά ώστε να προκύψει το συνολικό πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης.

Το ΜΥ μιας δεδομένης διάρκειας βροχής αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε υπολεκάνης, για την εκτίμηση του εφαρμόζεται, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, το «λείο» συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα (ΣΜΥ) της Soil Conservation Service (SCS), που είναι γνωστό ως Standard (PRF 484). Οι τεταγμένες του ΜΥ δίνονται σε αδιαστατοποιημένη μορφή (χρόνος t προς χρόνο ανόδου t_p , παροχή Q προς παροχή αιχμής Q_p), με βάση τον Πίνακα 3.1. Η γραφική απεικόνιση του αδιαστατοποιημένου ΣΜΥ, το οποίο θεωρείται κατάλληλο για μικρής κλίμακας λεκάνες, απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2.

Χαρακτηριστικό μέγεθος του ΜΥ είναι ο χρόνος υστέρησης t_L , που ορίζεται ως η απόσταση του κέντρου βάρους του ΜΥ, διάρκειας D , από το κέντρο βάρους της βροχόπτωσης, που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή $t = D/2$. Δεδομένου ότι ο χρόνος υστέρησης μπορεί να εκτιμηθεί συναρτήσει του χρόνου συγκέντρωσης t_c από την τυπική βιβλιογραφική σχέση $t_L = 0.6 t_c$, και με την υπόθεση ότι το κέντρο βάρους του ΜΥ ταυτίζεται χρονικά με την αιχμή, ο χρόνος ανόδου t_p εκτιμάται ως συνάρτηση της διάρκειας βροχής D και του χρόνου συγκέντρωσης t_c , μέσω της σχέσης:

$$t_p = t_L + D/2 = 0.6 t_c + D/2 \quad (3.9)$$

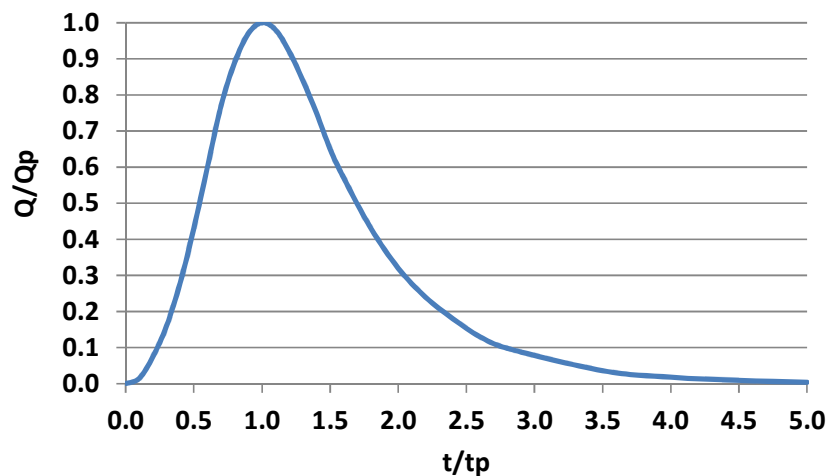
Το ΜΥ έχει χρόνο βάσης $t_b = 5t_p$, ενώ η παροχή αιχμής του δίνεται από τη σχέση:

$$Q_p = 2.08 A / t_p \quad (3.10)$$

όπου A η έκταση της υπολεκάνης (km^2) και ο χρόνος ανόδου (h). Η παραπάνω σχέση προκύπτει από την εξίσωση συνέχειας, δεδομένου ότι ο όγκος του ΜΥ πρέπει να είναι ίσος με τον όγκο της αντίστοιχης μοναδιαίας βροχόπτωσης, δηλαδή $V_0 = h_0 A$, με $h_0 = 10 \text{ mm}$.

Πίνακας 3.1: Υπολογισμός τετμημένων λείου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS

Χρόνος, t / t_p	Παροχή Q / Q_p	Χρόνος, t / t_p	Παροχή Q / Q_p	Χρόνος, t / t_p	Παροχή Q / Q_p
0.0	0.000	0.9	0.970	2.0	0.320
0.1	0.015	1.0	1.000	2.2	0.240
0.2	0.075	1.1	0.980	2.4	0.180
0.3	0.160	1.2	0.920	2.6	0.130
0.4	0.280	1.3	0.840	2.8	0.098
0.5	0.430	1.4	0.750	3.5	0.036
0.6	0.600	1.5	0.650	4.0	0.018
0.7	0.770	1.6	0.570	4.5	0.009
0.8	0.890	1.8	0.430	5.0	0.004

**Εικόνα 3.2: Αδιαστατοποιημένο ΣΜΥ κατά SCS**

Με βάση τα παραπάνω, αν είναι γνωστός ο χρόνος συγκέντρωσης t_c της υπολεκάνης, υπολογίζεται μέσω της σχέσης (3.9) ο χρόνος ανόδου t_p και μέσω της σχέσης (3.10) η παροχή αιχμής, οπότε προσδιορίζεται πλήρως το συνθετικό ΜΥ της υπολεκάνης, με βάση τον Πίνακα 3.1. Στη μελέτη, η κατάρτιση του συνθετικού ΜΥ γίνεται στο περιβάλλον του HEC-HMS, δίνοντας ως είσοδο τον χρόνο υστέρησης t_L .

Στην μελέτη, για κάθε υδρολογικό σενάριο διαμορφώνεται διαφορετικό ΣΜΥ, αφού η τιμή του χρόνου συγκέντρωσης κάθε υπολεκάνης (και συνεπώς όλων των χρονικών παραμέτρων της υδρολογικής προσομοίωσης) διαφοροποιείται τόσο συναρτήσει των υδρολογικών συνθηκών (ευμενείς, μέσες, δυσμενείς) όσο και συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, όπως εξηγείται στην επόμενη ενότητα.

3.4.3 Εκτίμηση Χρόνου Συγκέντρωσης Υπολεκανών και Διαμόρφωση ΣΜΥ

Ο χρόνος συγκέντρωσης, t_c , αποτελεί χαρακτηριστική χρονική παράμετρο της λεκάνης και ορίζεται, θεωρητικά, ως ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το νερό που απορρέει επιφανειακά από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι τη διατομή εξόδου. Ο χρόνος συγκέντρωσης αποτελεί τυπική παράμετρο εισόδου πληθώρας μεθόδων υδρολογικής ανάλυσης, μεταξύ των οποίων η μέθοδος που εφαρμόζεται στη μελέτη. Προφανώς, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του στη βάση των φυσικών νόμων. Για το λόγο αυτό, στις εφαρμογές της πράξης εφαρμόζονται συνήθως εμπειρικές σχέσεις της βιβλιογραφίας, οι οποίες εκτιμούν τον χρόνο συγκέντρωσης συναρτήσει χαρακτηριστικών γεωμετρικών μεγεθών της λεκάνης. Ειδικότερα, η σχέση του Giandotti (3.1) έχει παραχθεί με ανάλυση δεδομένων σε 12 λεκάνες, με εύρος μεγεθών από 170 έως 70 000 km². Πρόκειται για την πλέον διαδεδομένη προσέγγιση στην ελληνική πρακτική, και είναι αυτή που συστήνεται στις προδιαγραφές της μελέτης. Μάλιστα, από εκτεταμένες αναλύσεις πλημμυρικών δεδομένων στην Κύπρο, φαίνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η μοναδική που αναπαράγει με ικανοποιητική ακρίβεια τις παρατηρημένες παροχές αιχμής (Galíouna *et al.*, 2011).

Δεδομένου ότι η ταχύτητα ροής του νερού, τόσο πάνω στην επιφάνεια του εδάφους όσο και κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, δεν είναι σταθερή αλλά αυξάνει με την παροχή, αντίστοιχος ο χρόνος συγκέντρωσης μειώνεται με την παροχή. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι Grimaldi *et al.*

(2012), αναλύοντας μεγάλο αριθμό επεισοδίων πλημμυρών, διαπίστωσαν ότι η ποσότητα t_c μπορεί να διαφέρει ακόμα και τάξη μεγέθους μεταξύ επεισοδίων καταιγίδας διαφορετικής έντασης. Η μεταβλητότητα αυτή εξηγείται φυσικά από την εξάρτηση της ταχύτητας του κινηματικού κύματος από την παροχή, που είναι ένα μη γραμμικό φαινόμενο (Koussis, 2009). Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή επιφανειακής απορροής, τόσο πιο γρήγορα θα φτάσει η απορροή αυτή στην έξοδο της λεκάνης. Για τον λόγο αυτό, στις προδιαγραφές της μελέτης συστήνεται η μείωση του χρόνου που προκύπτει από την σχέση Giandotti, σύμφωνα με την εμπειρική σχέση των Ευστρατιάδη κ.ά. (2014):

$$t_c(T) = t_c \sqrt{\frac{i(5)}{i(T)}} \quad (3.11)$$

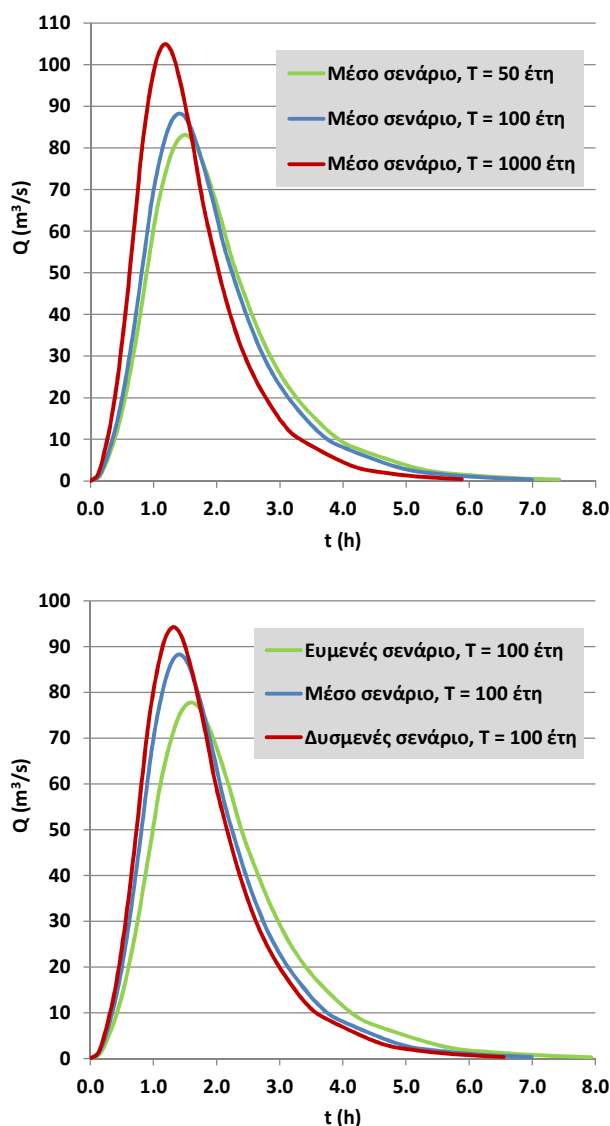
όπου $i(5)$ η κρίσιμη ένταση βροχής που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη, για την οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική η εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti, και $i(T)$ η ένταση βροχής που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς της μελέτης. Συνδυάζοντας την (3.11) με την εξίσωση της όμβριας καμπύλης της υπολεκάνης (εξ. 3.2), προκύπτει:

$$t_c(T) = t_c \sqrt{\frac{5^\kappa - \psi}{T^\kappa - \psi}} \quad (3.12)$$

Με την παραπάνω σχέση εκτιμάται ο χρόνος συγκέντρωσης για τις μέσες υδρολογικές συνθήκες, για περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη. Γενικά, η μείωση που επιτυγχάνεται σε σχέση με τον χρόνο αναφοράς κατά Giandotti είναι της τάξης του 25% για $T = 50$ έτη και 30% για $T = 100$ έτη, ενώ φτάνει στο 40% για $T = 1000$ έτη.

Για τα αντίστοιχα ευμενή και δυσμενή υδρολογικά σενάρια υπολογίζεται αρχικά η κρίσιμη ένταση $i(5)$ για μια συγκεκριμένη διάρκεια βροχής (π.χ. για τη διάρκεια της καταιγίδας σχεδιασμού, D), και ακολούθως η ένταση $i(T)$ που αντιστοιχεί στο κάτω ή άνω όριο εμπιστοσύνης της όμβριας καμπύλης της υπολεκάνης, για την ίδια διάρκεια D , με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 3.3.5. για την ίδια περίοδο επαναφοράς, οι διαφοροποιήσεις των χρόνων συγκέντρωσης μεταξύ του ευμενούς, μέσου και δυσμενούς σεναρίου είναι της τάξης του 10-20%.

Οι παραπάνω διαφοροποιήσεις έχουν σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πλημμύρας, καθώς διαφοροποιείται το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Όπως είναι προφανές, ο χρόνος συγκέντρωσης μειώνεται μεταβαίνοντας σε μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς και σε πιο δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες (τιμές βροχόπτωσης που τείνουν προς το άνω όριο εμπιστοσύνης των όμβριων καμπυλών). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ανόδου και χρόνου βάσης του ΜΥ, με αύξηση της παροχής αιχμής ώστε να διατηρηθεί ο όγκος της μοναδιαίας πλημμύρας.



Εικόνα 3.3: Διαφοροποίηση σχήματος ΣΜΥ ανά περίοδο επαναφοράς, για μέσες υδρολογικές συνθήκες (αριστερά), και ανά υδρολογικό σενάριο, για $T = 100$ έτη (δεξιά)

Η αλλαγή του σχήματος του ΜΥ προς το δυσμενέστερο είναι συνεπής με τις φυσικές διεργασίες, καθώς η ταχύτητα ροής αυξάνει με την αύξηση της παροχής. Πρόκειται για μια εξαιρετικά σημαντική καινοτομία των μελετών εφαρμογής της Οδηγίας-Πλαίσιο 2007/60, που εισάγει έντονη μη γραμμικότητα στην μοντελοποίηση των υδρολογικών διεργασιών, οδηγώντας σε πιο δυσμενή, πλην όμως πιο ρεαλιστικά, πλημμυρικά μεγέθη. Τελικά, με την παραπάνω διαδικασία παράγονται εννέα ΜΥ για κάθε υπολεκάνη (όσοι και οι συνδυασμοί των εξεταζόμενων υδρολογικών σεναρίων). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ΣΜΥ, το οποίο αναφέρεται στην υπολεκάνη με κωδικό GR0817FR00107 (υπολεκάνη ρέματος Ξηρόρεμα, ανάντη της ΖΔΥΠΚ) δίνεται στην Εικόνα 3.3.

3.4.4 Βασική Απορροή

Είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών επεισοδίων, η βασική απορροή αποτελεί μικρό ποσοστό της συνολικής παροχής, που μειώνεται περαιτέρω (ως ποσοστό) όσο αυξάνει η περίοδος

επαναφοράς. Στις μελέτες πλημμυρών, συνήθως θεωρείται μια σταθερή τιμή ίση με τη μέση ετήσια παροχή του ποταμού (ή τη μέση παροχή του υγρότερου μήνα).

Στην παρούσα μελέτη, η εκτίμηση της βασικής ροής στις υπολεκάνες του Πηνειού βασίζεται στην ανάλυση των υδρομετρικών δεδομένων της περιοχής, που εξετάζονται στο Κεφάλαιο 5.

Για τις υπόλοιπες λεκάνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από εφήμερη ή διαλείπουσα ροή, εφαρμόζονται γενικά οι τιμές ειδικής παροχής 0.01, 0.02 και 0.05 m³/s/km², που θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς 50, 100 και 1000 έτη. Οι τιμές αυτές έχουν μικρή μόνο επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα. Γενικά, η αβεβαιότητα που οφείλεται στην εκτίμηση της βασικής ροής είναι επουσιώδης, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες αβεβαιότητες της διαδικασίας υδρολογικής προσομοίωσης.

3.4.5 Παραγωγή Τελικών Υδρογραφημάτων Σχεδιασμού

Για κάθε υπολεκάνη διαμορφώνονται τα δεδομένα εισόδου των 9 υδρολογικών σεναρίων, δηλαδή:

- παράγονται τα υετογραφήματα σχεδιασμού για τις τρεις περιόδους επαναφοράς των ομβρίων καμπυλών, με βάση την κεντρική τιμή της βροχόπτωσης και τα άνω και κάτω όρια εμπιστοσύνης
- εκτιμάται η μέγιστη δυνητική κατακράτηση για τις τρεις καταστάσεις αρχικής υγρασίας του εδάφους, συναρτήσει των CN_I, CN_{II} και CN_{III}, αντίστοιχα, καθώς και τα αρχικά ελλείμματα ως ποσοστό 20% αυτής
- παράγονται τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα της SCS, που εκτιμώνται με βάση τον τροποποιημένο, με βάση την κρίσιμη ένταση βροχής, χρόνο συγκέντρωσης της υπολεκάνης
- εκτιμάται η βασική απορροή συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, πολλαπλασιάζοντας τις αντίστοιχες τιμές ειδικής παροχής επί την έκταση της υπολεκάνης.

Η παραγωγή των υδρογραφημάτων σχεδιασμού των υπολεκάνων γίνεται στο περιβάλλον του HEC-HMS, και περιλαμβάνει τρεις συνιστώσες:

- τον διαχωρισμό των υδρολογικών ελλειμμάτων από το συνολικό υετογράφημα, με τη μέθοδο SCS-CN, ώστε να προκύψει η επιφανειακή απορροή κάθε υπολεκάνης
- τον μετασχηματισμό της επιφανειακής απορροής σε πλημμυρογράφημα σε έξοδο της υπολεκάνης, με εφαρμογή της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος
- την προσθήκη της βασικής ροής της υπολεκάνης.

Τα υδρογραφήματα σχεδιασμού καταλήγουν στον κόμβο εξόδου της υπολεκάνης. Προφανώς, αν σε κάποιον κόμβο συμβάλλουν περισσότερες υπολεκάνες, τότε υδρογραφήματά τους αθροίζονται. Στη συνέχεια, επιλύεται το πρόβλημα διόδευσης των απορροών των υπολεκάνων στο υδρογραφικό δίκτυο, που στην παρούσα μελέτη αντιμετωπίζεται με απλουστευμένες υδρολογικές προσεγγίσεις.

3.5 Διόδευση Υδρογραφημάτων στο Υδρογραφικό Δίκτυο

3.5.1 Γενικά

Είναι γνωστό ότι εφόσον κατά μήκος ενός υδατορεύματος δεν πραγματοποιούνται πλευρικές εισροές, ένα υδρογράφημα (πλημμυρικό κύμα) που εισάγεται ανάντη θα εμφανιστεί στα κατάντη με χρονική υστέρηση, μειωμένη αιχμή και αυξημένη χρονική διασπορά. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως διόδευση (routing), ενώ το σχετικό πρόβλημα, δηλαδή η μαθηματική αναπαράσταση της χωρικής και

χρονικής εξέλιξης της στάθμης και παροχής του υδατορεύματος, περιγράφεται από τις διαφορικές εξισώσεις μονοδιάστατης μη μόνιμης ροής βαθμιαίας μεταβολής σε αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια.

Η απλούστερη και πλέον εύχρηστη κατηγορία αριθμητικών τεχνικών είναι οι υδρολογικές μέθοδοι, οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν την πλήρη χωροχρονική εξέλιξη του φαινομένου αλλά ελέγχουν την στάθμη και την παροχή σε δύο σημεία, ανάντη και κατάντη (είσοδος και έξοδος υδατορεύματος). Το ενδιάμεσο τμήμα του αγωγού θεωρείται ως κλειστό υδρολογικό σύστημα, όπου η εξίσωση ποσότητας κίνησης αντικαθίσταται από μια συνάρτηση απόκρισης κλειστού τύπου ή από μια εννοιολογική σχέση (Κουτσογιάννης, 2011). Ειδικότερα, αντί της εξίσωσης ορμής εφαρμόζεται μια σχέση έκφρασης του αποθηκευμένου όγκου συναρτήσει άλλων μεταβλητών που υπεισέρχονται στην εξίσωση συνέχειας:

$$S(t) = \varphi[I(t), O(t)] \quad (3.13)$$

όπου $I(t)$ η εισροή στην ανάντη διατομή και $O(t)$ η εκροή στην κατάντη διατομή.

Στη μελέτη, για τη διόδευση των πλημμυρικών παροχών σε κάθε κλάδο του υδρογραφικού δικτύου (υδατόρευμα) επιλέγεται με μία από τις ακόλουθες εναλλακτικές μεθόδους:

- τη μέθοδο Muskingum, που ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων διάχυσης κύματος και δημιουργεί ένα εξομαλυμένο και χρονικά μετατοπισμένο υδρογράφημα εξόδου
- τη μέθοδο του γραμμικού κινηματικού κύματος (ή απλούστερα, μέθοδος χρονικής υστέρησης), η οποία επιβάλει μια απλή χρονική μετάθεση της απορροής, χωρίς να μεταβάλλει το σχήμα του υδρογραφήματος

Γενικά, η μέθοδος Muskingum εφαρμόζεται για υδατορεύματα μικρής κλίσης (ενδεικτικά, $<1\%$), ενώ για μεγαλύτερης κλίσης υδατορεύματα εφαρμόζεται η μέθοδος της χρονικής υστέρησης. Αν L είναι το μήκος του υδατορεύματος, ενώ z_α και z_κ είναι τα υψόμετρα του ανάντη και κατάντη κόμβου, αντίστοιχα, η κλίση αυτή εκτιμάται ως:

$$J = \frac{z_\alpha - z_\kappa}{L} \quad (3.14)$$

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω σχέση αποτελεί αδρομερή μόνο εκτιμήτρια της μέσης κλίσης του υδατορεύματος, για την οποία θα πρέπει να ληφθούν διατομές και σε ενδιάμεσες θέσεις.

3.5.2 Μέθοδος Muskingum

Στη μέθοδο Muskingum, η εξίσωση συνέχειας διατυπώνεται ως εξίσωση διαφορών:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = I(t) - O(t) \quad (3.15)$$

όπου $S(t)$ ο όγκος νερού που είναι αποθηκευμένος μεταξύ της ανάντη και κατάντη διατομής, $I(t)$ το γνωστό υδρογράφημα εισροής και $O(t)$ το ζητούμενο υδρογράφημα εκροής. Η αριθμητική προσέγγιση της παραπάνω σχέσης στο χρονικό διάστημα $\Delta t = [t, t - 1]$ μέσω ενός απλού σχήματος οπίσθιων διαφορών γράφεται:

$$\frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t-1}}{2} - \frac{O_t + O_{t-1}}{2} \quad (3.16)$$

Μεταφέροντας τα άγνωστα μεγέθη S_t , O_t στο αριστερό μέλος λαμβάνεται η σχέση:

$$\left(\frac{S_t}{\Delta t} + \frac{O_t}{2}\right) = \left(\frac{I_t + I_{t-1}}{2}\right) + \left(\frac{S_{t-1}}{\Delta t} - \frac{O_{t-1}}{2}\right) \quad (3.17)$$

Για την επίλυση της (3.12) απαιτείται ο προσδιορισμός μιας ακόμη σχέσης της μορφής (3.9) που συνδέει την εκροή $O(t)$ με την αποθήκευση $S(t)$. Η μέθοδος Muskingum χρησιμοποιεί την εμπειρική γραμμική σχέση:

$$S(t) = K [\theta I(t) + (1 - \theta)O(t)] \quad (3.18)$$

όπου θ αδιάστατη παράμετρος (συντελεστής βάρους) και K χρονική παράμετρος, η οποία εκφράζει το μέσο χρόνο διαδρομής από την είσοδο μέχρι την έξοδο του υδατορεύματος (ακριβέστερα, την χρονική απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους των υδρογραφημάτων εισροής και εκροής). Η παραπάνω εμπειρική σχέση περιλαμβάνει δύο συνιστώσες αποθήκευσης, την *πρισματική* (prism storage) και τη *σφηνοειδή* (wedge storage). Η πρισματική συνιστώσα, $K O(t)$, εκφράζει τον όγκο που αποθηκεύεται μεταξύ των διατομών σε συνθήκες ομοιόμορφης ροής, στις οποίες το βάθος ροής είναι σταθερό, ενώ η σφηνοειδής αποθήκευση, $K \theta [I(t) - O(t)]$, σχετίζεται με τη μεταβολή της στάθμης κατά μήκος του αγωγού. Σύμφωνα με την παραπάνω υπόθεση, στα αρχικά στάδια της χρονικής εξέλιξης του φαινομένου η στάθμη μειώνεται από τα ανάντη προς τα κατόντη, καθώς αποθηκεύεται νερό στο ποτάμι λόγω ανάσχεσης της πλημμύρας, ενώ στη συνέχεια η στάθμη αυξάνει από τα ανάντη προς τα κατόντη, καθώς ο αποθηκευμένος όγκος απορρέει με υστέρηση.

Συνδυάζοντας τις (3.12) και (3.13) προκύπτει η ακόλουθη αναδρομική εξίσωση:

$$S(t) = K [\theta I(t) + (1 - \theta)O(t)] \quad (3.19)$$

όπου c_0, c_1, c_2 συντελεστές βάρους που εκτιμώνται από τις σχέσεις:

$$c_0 = \frac{-2K\theta + \Delta t}{2K(1 - \theta) + \Delta t} \quad (3.20)$$

$$c_1 = \frac{2K\theta + \Delta t}{2K(1 - \theta) + \Delta t} \quad (3.21)$$

$$c_2 = \frac{2K(1 - \theta) - \Delta t}{2K(1 - \theta) + \Delta t} \quad (3.22)$$

Οι συντελεστές βάρους ικανοποιούν την προφανή σχέση $c_0 + c_1 + c_2 = 1$. Με δεδομένο το υδρογράφημα εισόδου, και συνεπώς γνωστές την τρέχουσα και προηγούμενη τιμή της εισροής I_t και I_{t-1} , αντίστοιχα, και με γνωστή την εκροή του προηγούμενου βήματος O_{t-1} , είναι δυνατός ο βήμα προς βήμα υπολογισμός της επίκαιρης εκροής O_t .

Για την εφαρμογή της αναδρομικής σχέσης απαιτείται ο προσδιορισμός των μεγεθών K, θ και Δt . Το υπολογιστικό βήμα Δt ταυτίζεται με το χρονικό βήμα της προσομοίωσης, που εξαρτάται από τον χρόνο συγκέντρωσης της μικρότερης υπολεκάνης (στη μελέτη κατά κανόνα θεωρείται χρονικό βήμα 15 min). Η παράμετροι K και θ εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υδατορεύματος (διατομή, μήκος, κλίση, συντελεστής απωλειών). Γενικά, για δεδομένο μήκος L , όσο μειώνεται η κλίση ο χρόνος K αυξάνει, ενώ, αντίθετα, η τιμή της παραμέτρου θ μειώνεται. Η παράμετρος θ τείνει να γίνει μηδενική για υδατορεύματα εξαιρετικά ήπιας κλίσης και με πλευρική υπερχείλιση, οπότε η ροή προσομοιάζει τη λειτουργία γραμμικού ταμιευτήρα. Αντίθετα, για σχετικά απότομες κλίσεις και καλά διαμορφωμένες διατομές, η παράμετρος θ προσεγγίζει την θεωρητικά μέγιστη τιμή 0.50.

Στις υδρολογικές αναλύσεις, για τα υδατορεύματα για τα οποία επιλέγεται η εφαρμογή της μεθόδου Muskingum, λαμβάνεται $\theta = 0.20$, που είναι η τυπική βιβλιογραφική τιμή για φυσικούς αγωγούς. Όσον αφορά στη χρονική παράμετρο K , δεδομένου ότι αυτή εκφράζει έναν μέσο χρόνο διαδρομής από την είσοδο μέχρι την έξοδο του υδατορεύματος, εκτιμάται με βάση τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης και τις κλίσεις των υδατορευμάτων, σύμφωνα με την εμπειρική προσέγγιση του εδαφίου 3.5.4. Κατά συνέπεια, για μήκος διαδρομής L ισχύει $K = L/V$. Η τιμή αυτή λαμβάνεται για τα πλημμυρικά επεισόδια περιόδου επαναφοράς 50 ετών. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αύξηση της ταχύτητας ροής, και συνακόλουθα η μείωση του χρόνου ροής λόγω της αυξημένης παροχής για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, η τιμή της παραμέτρου K μειώνεται, με αναφορά στον χρόνο συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης απορροής (βλ. εδάφιο 3.5.4).

Θεωρητικά, το χρονικό βήμα θα πρέπει να επιλέγεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι εκτιμώμενες εκροές είναι μη αρνητικές. Στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει $K = \Delta t$, που σημαίνει ότι το υπολογιστικό βήμα ταυτίζεται με το μέσο χρόνο διαδρομής του κύματος στο υδατόρευμα. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε για την αποφυγή αρνητικών παροχών, το υπολογιστικό βήμα Δt θα πρέπει να κυμαίνεται στο διάστημα (Hjelmfelt, 1985):

$$2 K \theta \leq \Delta t \leq 2 K(1 - \theta) \quad (3.23)$$

Πρακτικά, για να υπάρχει ακρίβεια στους υπολογισμούς, το χρονικό βήμα θα πρέπει να λαμβάνεται μεταξύ των τιμών $K/3$ και $K/4$ (Κουτσογιάννης, 2011). Στην υλοποίηση της διαδικασίας διόδευσης, με δεδομένο ότι το χρονικό βήμα Δt είναι δεδομένα, η αριθμητική ευστάθεια εξασφαλίζεται με χωρική διακριτοποίηση κάθε κλάδου μήκους L σε N επιμέρους τμήματα (υπο-κλάδους) μήκους, $\Delta L = L/N$, έτσι ώστε ο χρόνος διαδρομής στα εν λόγω τμήματα να ικανοποιεί της συνθήκης ευστάθειας. Το (ακέραιο) πλήθος των υπο-κλάδων του υδατορεύματος προκύπτει από τη σχέση:

$$N = \text{Round}(K/\Delta t) \quad (3.24)$$

Έχοντας προσδιορίσει το πλήθος N , η αναδρομική σχέση (3.12) εφαρμόζεται διαδοχικά στους υπο-κλάδους, θεωρώντας κοινό χρόνο διαδρομής $K_{\text{sub}} = K/N$ και υπολογίζοντας τους συντελεστές c_0 , c_1 και c_2 συναρτήσει των K_{sub} , θ και Δt . Στη συνέχεια, με γνωστό το υδρογράφημα εισροής του πρώτου υπο-κλάδου, παράγεται το υδρογράφημα εκροής, το οποίο ταυτίζεται με το υδρογράφημα εισροής του δεύτερου υπο-κλάδου. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι την έξοδο του τελευταίου υπο-κλάδου, όπου παράγεται το υδρογράφημα εκροής του κατάντη κόμβου του υπόψη υδατορεύματος. Τονίζεται ότι μεταξύ των υποκλάδων δεν πραγματοποιούνται εισροές ή εκροές νερού. Οι διεργασίες αυτές αναφέρονται αποκλειστικά στους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου και όχι στους ενδιάμεσους (υπολογιστικούς) κόμβους του αριθμητικού σχήματος επίλυσης.

Τέλος, όσον αφορά στις αρχικές συνθήκες, σε όλους τους κλάδους θεωρείται μια ελάχιστη τιμή ροής, η οποία διατηρείται σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, ώστε να εξασφαλίζεται η συνθήκη μη μηδενικής παροχής. Η τιμή αυτή προκύπτει αθροίζοντας τη βασική απορροή που παράγεται από όλες τις υπολεκάνες ανάντη κάθε υδατορεύματος.

3.5.3 Μέθοδος Χρονικής Υστέρησης

Η υλοποίηση του μοντέλου χρονικής υστέρησης είναι εξαιρετικά απλή, καθώς το υδρογράφημα εξόδου προκύπτει με απλή χρονική μετατόπιση των τεταγμένων του υδρογραφήματος εισόδου:

$$O_t = I_{t-K} \quad (3.25)$$

όπου K ο χρόνος υστέρησης του συγκεκριμένου κλάδου του υδρογραφικού δικτύου, που αποτελεί τη μοναδική παράμετρο του μοντέλου. Αν L το μήκος του υδατορεύματος, τότε η ποσότητα L/K εκφράζει την ταχύτητα του γραμμικού κινηματικού κύματος, το οποίο μετακινείται προς τα κατάντη χωρίς καμία μεταβολή του σχήματός του, και συνεπώς χωρίς εξομάλυνση της παροχής αιχμής. Το μοντέλο του κινηματικού κύματος εφαρμόζεται σε τμήματα του δικτύου με σχετικά μεγάλη κλίση, τέτοια ώστε η μεταβολή της στάθμης να είναι πολύ μικρή σε σχέση με την κλίση του πυθμένα. Εφόσον $K < \Delta t$, θεωρείται ότι στον κλάδο δεν πραγματοποιείται διόδευση, δηλαδή το υδρογράφημα που εισέρχεται στον ανάντη κόμβο του υδατορεύματος μεταφέρεται κατάντη χωρίς χρονική υστέρηση και, κατά συνέπεια, χωρίς μεταβολή των χαρακτηριστικών του.

3.5.4 Εκτίμηση Χρονικής Παραμέτρου Μοντέλου Διόδευσης

Ανεξαρτήτως του σχήματος διόδευσης που επιλέγεται, σε κάθε υδατόρευμα απαιτείται η εκτίμηση της χρονικής παραμέτρου K , που εκφράζει, απλουστευτικά, έναν μέσο χρόνο ροής μεταξύ του ανάντη και κατάντη κόμβου. Ο χρόνος ροής σε κάθε κλάδο του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης απορροής εκτιμάται με εφαρμογή της ακόλουθης ημιεμπειρικής μεθοδολογίας:

Έστω λεκάνη απορροής, με γνωστό χρόνο συγκέντρωσης t_c . Σύμφωνα με τον ορισμό του t_c , πρόκειται για τον χρόνο που απαιτείται για να μεταφερθεί η απορροή από το πλέον απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι τον κόμβο εξόδου. Η διαδρομή αυτή περιλαμβάνει τη ροή κατά μήκος του κυρίου υδατορεύματος της λεκάνης και τη ροή στην κύρια μισγάγκεια της υπολεκάνης που αποστραγγίζεται στον πλέον ανάντη κόμβο. Κατά κανόνα, το κύριο υδατόρευμα της συνολικής λεκάνης ταυτίζεται με τη μέγιστη διαδρομή κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, ενώ αν στον ανάντη κόμβο συμβάλλουν περισσότερες υπολεκάνες, τότε θεωρείται αυτή με το μέγιστο χρόνο συγκέντρωσης t_A . Επισημαίνεται ότι στο υδρολογικό μοντέλο, οι ανάντη μισγάγκειες δεν απεικονίζονται ως κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου, καθώς οι απορροές των ανάντη υπολεκάνων διοδεύονται απευθείας στους αντίστοιχους κόμβους εξόδου.

Έχοντας καθορίσει την μέγιστη διαδρομή στη λεκάνη, είναι προφανές ότι ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά της απορροής από τον πλέον ανάντη κόμβο του κυρίου υδατορεύματος μέχρι τον κόμβο εξόδου είναι $t_R = t_c - t_A$, όπου t_c και t_A οι χρόνοι συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης απορροής και την πλέον ανάντη υπολεκάνης της, αντίστοιχα. Οι χρόνοι αυτοί εκτιμώνται από τη σχέση Giandotti (που θεωρείται αντιπροσωπευτική για μικρές περιόδους επαναφοράς, ενδεικτικά 5 έτη), ενώ απομειώνονται με βάση τη σχέση αναγωγής (3.11) για μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Μάλιστα η απομείωση διαφοροποιείται ανάλογα με το αν λαμβάνεται υπόψη η κεντρική ή οι οριακές τιμές της έντασης βροχής. Με την υπόθεση αυτή, προκύπτουν $3 \times 3 = 9$ τιμές του χρόνου ροής κατά μήκος του κυρίου υδατορεύματος, t_R .

Έστω ότι το κύριο υδατόρευμα λεκάνης περιλαμβάνει m κλάδους, για κάθε έναν από τους οποίους είναι γνωστά το μήκος L_i και η μέση κλίση J_i , που εκτιμάται από τη σχέση (3.14). Θεωρούμε ότι η μέση ταχύτητα ροής κατά μήκος κάθε κλάδου δίνεται από μια σχέση της μορφής:

$$V_i = \beta \sqrt{J_i} \quad (3.26)$$

όπου β παράμετρος που θεωρείται κοινή σε όλο το μήκος του υδρογραφικού δικτύου. Στην πραγματικότητα, η παράμετρος αυτή είναι χωρικά μεταβλητή, καθώς εξαρτάται από την τραχύτητα, το βάθος ροής και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής (βλ. σχέση Manning). Ωστόσο, στην απλουστευμένη προσέγγιση που γίνεται θεωρείται ότι το βασικό μέγεθος που επιδρά στην ταχύτητα ροής είναι η κλίση του υδατορεύματος. Κατά συνέπεια, ο χρόνος ροής κατά μήκος του κλάδου είναι:

$$t_i = \frac{L_i}{V_i} = \frac{L_i}{\beta \sqrt{J_i}} \quad (3.27)$$

Αφού ο συνολικός χρόνος ροής είναι $t_R = t_c - t_A$, τότε από τη σχέση:

$$t_R = \sum_{i=1}^m t_i \quad (3.28)$$

προκύπτει:

$$\beta = \frac{1}{t_c - t_A} \sum_{i=1}^m \frac{L_i}{\sqrt{J_i}} \quad (3.29)$$

Με γνωστή πλέον την παράμετρο β , μπορούν να εκτιμηθούν, προσεγγιστικά, η μέση ταχύτητα ροής σε κάθε κλάδο του υδρογραφικού δικτύου και ο αντίστοιχος χρόνος ροής, που εξισώνεται με τη χρονική παράμετρο του μοντέλου διόδευσης, δηλαδή $K_i = t_i$. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει την εσωτερική συνέπεια του μοντέλου, καθώς το άθροισμα των χρόνων ροής κατά μήκος του κυρίου υδατορεύματος είναι συνεπές με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης.

Τονίζεται ότι όλες οι παραπάνω παραδοχές που αφορούν στη διόδευση των υδρογραφημάτων, που στην παρούσα μελέτη υλοποιείται με απλουστευμένες υδρολογικές τεχνικές, αναθεωρούνται στη συνέχεια, καθώς οι διεργασίες της διόδευσης αναπαρίστανται με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια στα μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης. Βεβαίως, τα μοντέλα αυτά επικεντρώνονται μόνο στις ζώνες δυνητικού πλημμυρικού κινδύνου, οπότε οι διοδεύσεις των υδρογραφημάτων στο υδρογραφικό δίκτυο ανάντη των ΖΔΥΚΠ εξακολουθούν να βασίζονται στις υδρολογικές προσεγγίσεις.

3.6 Διόδευση Πλημμυρών μέσω Ταμιευτήρα

Στην περίπτωση που ένα ή περισσότερα υδατορεύματα εκρέουν σε ταμιευτήρα, τότε η μεταφορά των πλημμυρικών ροών κατάντη γίνεται μέσω των διαθέσιμων διατάξεων υδροληψίας (π.χ. αγωγός προσαγωγής, σε περίπτωση υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα), ενώ αν η στάθμη ανάντη υπερβεί τη υπερχειλίση, τότε η πλεονάζουσα ποσότητα εκρέει του υπερχειλιστή του φράγματος. Ωστόσο, λόγω της πεπερασμένης παροχετευτικότητας του υπερχειλιστή, η οποία μάλιστα αυξάνει με την άνοδο της στάθμης ανάντη, γίνεται ανάσχεση μέρους της πλημμυρική απορροής και προσωρινή αποθήκευσή της στον ταμιευτήρα.

Το φαινόμενο αυτό, που αναφέρεται ως διόδευση μέσω ταμιευτήρα, περιγράφεται από την εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = i(t) - q(t) \quad (3.30)$$

όπου $s(t)$ η αποθήκευση νερού στον ταμιευτήρα, $i(t)$ το υδρογράφημα εισροής, και $q(t)$ το υδρογράφημα εκροής. Το υδρογράφημα εισροής προκύπτει από την υδρολογική προσομοίωση της υπολεκάνης ανάντη του φράγματος, ενώ οι άλλες δύο μεταβλητές είναι συνάρτηση της στάθμης στον ταμιευτήρα. Ειδικότερα, η αποθήκευση στον ταμιευτήρα εκτιμάται από τη σχέση στάθμης-αποθέματος, $s = f(z)$, που είτε δίνεται ως μια σημειοσειρά ζευγών στάθμης και όγκου αποθήκευσης, είτε περιγράφεται μέσω κάποιας αναλυτικής σχέσης.

Ομοίως, η εκροή μέσω του υπερχειλιστή είναι συνάρτηση του υδραυλικού φορτίου, $q = g(h)$, το οποίο ορίζεται ως η διαφορά της ανάντη στάθμης από τη στέψη του υπερχειλιστή, δηλαδή:

$$h = z - z_c \quad (3.31)$$

Στην τυπική περίπτωση ελεύθερου υπερχειλιστή, η σχέση στάθμης-παροχής γράφεται:

$$q = c b h^{3/2} \quad (3.32)$$

όπου b το ενεργό πλάτος του υπερχειλιστή και c συντελεστής, με τυπικό εύρος τιμών 1.6 έως 2.3 (θεωρώντας ότι τα μεγέθη b και h δίνονται σε m, ενώ η παροχή σε m^3/s).

Η σχέση (3.30) γράφεται ως εξίσωση διαφορών στο χρονικό διάστημα $\Delta t = t_j - t_{j-1}$, δηλαδή:

$$s(z_j) - s(z_{j-1}) = [i_{j-1} + i_j - q(z_j) - q(z_{j-1})] \Delta t / 2 \quad (3.33)$$

Σε κάθε χρονικό βήμα j , είναι γνωστά τα μεγέθη $s(z_{j-1})$, $q(z_{j-1})$, i_{j-1} και i_j , ενώ είναι άγνωστα τα μεγέθη s_j και q_j , που είναι μη γραμμικές εξισώσεις της στάθμης z_j . Η εξίσωση επιλύεται είτε βήμα προς βήμα είτε ως σύστημα εξισώσεων.

Κατά την προσομοίωση, γίνονται οι εξής παραδοχές:

Κατά την έναρξη της πλημμύρας ($j = 0$), ο ταμιευτήρας βρίσκεται στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας, δηλαδή $z_0 = z_c$ (συντηρητική παραδοχή)

Οι λοιπές υδροληψίες (π.χ. στρόβιλοι) λειτουργούν με πλήρη παροχετευτικότητα, q_0 , συνεπώς για $z \leq z_c$ δεν πραγματοποιείται υπερχείλιση, ενώ για $z > z_c$ διέρχεται παροχή q_0 από τις υδροληψίες και παροχή $q - q_0$ από τον υπερχειλιστή.

Το πρόβλημα διόδευσης γίνεται πιο σύνθετο αν γίνεται ρύθμιση των εκροών από τις υδροληψίες ή αν υπάρχουν έργα ελέγχου (θυροφράγματα).

Στην παρούσα μελέτη, η μοναδική περίπτωση διόδευσης μέσω ταμιευτήρα αφορά στο φράγμα Σμοκόβου, ο υπερχειλιστής του οποίου είναι ελεύθερος. Στην περιοχή υπάρχουν και ορισμένα ακόμη μικρά έργα ανάσχεσης (π.χ., Γυρτώνη), καθώς και κάποια μικρά φράγματα υπό κατασκευή (π.χ., Νεοχωρίτης), που ωστόσο δεν λαμβάνονται υπόψη στους υδρολογικούς υπολογισμούς, δεδομένου ότι η επίδρασή τους είναι περιορισμένη, όσον αφορά στην κλίμακα του μοντέλου πλημμυρών.

4 Διαμόρφωση Μοντέλων Υδρολογικής Προσομοίωσης

4.1 Σχηματοποίηση Υδρογραφικού Δικτύου και Υπολεκανών

Η υδρολογική προσομοίωση αναφέρεται στην κλίμακα της λεκάνης απορροής, εντός των ορίων της οποίας αναπτύσσονται μία ή περισσότερες ΖΔΥΚΠ. Κάθε λεκάνη αποτελεί αυτόνομη περιοχή μελέτης (στο εξής θα αναφέρεται ως *έργο*, project), για την οποία εξετάζονται διάφορα *σενάρια πλημμυρών*. Οι διαδικασίες σχηματοποίησης του μοντέλου περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου, τον ορισμό των σημείων ελέγχου πάνω στο δίκτυο (κόμβοι) και τη χάραξη των υπολεκανών ανάντη κάθε κόμβου.

Ως αρχικό υπόδειγμα για τη σχηματοποίηση χρησιμοποιούνται τα υφιστάμενα χωρικά επίπεδα του υδρογραφικού δικτύου και των αντίστοιχων λεκανών απορροής (Εικόνα 2.2). Γενικά, το δίκτυο των λεκανών είναι σχετικά αδρομερές για τις ανάγκες της υδρολογικής μοντελοποίησης, για την οποία απαιτείται μια πιο λεπτομερής διακριτοποίηση της υπό μελέτη λεκάνης. Συνεπώς, τα δύο επίπεδα σχηματοποιούνται εξ αρχής, διατηρώντας τα όρια των αρχικών υπολεκανών και πυκνώνοντας όπου κρίνεται αναγκαίο. Η διαδικασία γίνεται ως εξής:

Αρχικά, επαναχαράσσεται το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο το ψηφιακό μοντέλων υψομέτρων ανάλυσης 5×5 m, στο οποίο ορίζεται κατάλληλο όριο συγκέντρωσης της απορροής (flow threshold). Κατά κανόνα, το όριο αυτό τίθεται ίσο με 10 km², που σύμφωνα με τις επικαιροποιημένες Τεχνικές Προδιαγραφές αποτελεί το ελάχιστο μέγεθος λεκάνης για την εκτίμηση των πλημμυρικών ροών. Με χρήση των σχετικών εργαλείων χωρικής επεξεργασίας σε περιβάλλον ΣΓΠ παράγονται τα επίπεδα συγκέντρωσης ροής (flow accumulation) και διεύθυνσης ροής (flow direction), με βάση τα οποία παράγεται ξανά το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης, με μεγαλύτερη ωστόσο λεπτομέρεια.

Στη συνέχεια, τοποθετούνται *κόμβοι* (junctions) στις θέσεις τομής του υδρογραφικού δικτύου με το αρχικό, αδρομερές, επίπεδο λεκανών απορροής (ώστε να διατηρηθούν οι αρχικές θέσεις παραγωγής των υδρογραφημάτων, στις εξόδους των υπολεκανών), σε όλες τις συμβολές του νέου υδρογραφικού δικτύου και σε άλλες θέσεις που κρίνεται αναγκαίο. Τέτοιες μπορεί να είναι θέσεις υδρομετρικών σταθμών, θέσεις φραγμάτων, θέσεις εγκάρσιων τεχνικών έργων (π.χ. γέφυρες) ή άλλες θέσεις που υποδεικνύονται για τις ανάγκες της υδραυλικής προσομοίωσης. Άλλες πιθανές θέσεις αφορούν σε περιοχές όπου αλλάζουν τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, που εκφράζονται μέσω της παραμέτρου CN.

Ανάντη κάθε κόμβου χαράσσονται οι *υπολεκάνες* (basins) του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης, που είτε διατηρούν τα όρια των αρχικών υπολεκανών ή αποτελούν κατατμήσεις αυτών (δηλαδή κάθε αρχική υπολεκάνη επιμερίζεται σε δύο ή και περισσότερες υπολεκάνες του μοντέλου HEC-HMS). Κάθε υπολεκάνη θεωρείται ότι αποστραγγίζεται στον (μοναδικό) κόμβο εξόδου της. Γενικά, η χάραξη των υπολεκανών γίνεται με αυτόματα εργαλεία, σε περιβάλλον ΣΓΠ. Σε κάποιες, ωστόσο, περιπτώσεις, κυρίως σε πεδινές περιοχές, τα όρια των υπολεκανών χαράσσονται χειροκίνητα, καθώς το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων δεν περιέχει επαρκή πληροφορία για τον καθορισμό της κατεύθυνσης της ροής. Μια άλλη προβληματική περίπτωση είναι η παρεμβολή τεχνικών έργων, όπως οδικά αναχώματα, που δημιουργούν, σε κάτοψη, τεχνητούς υδροκρίτες. Ωστόσο, αν υπάρχουν εγκάρσια έργα αποχέτευσης (οχετοί), που προφανώς δεν μπορεί να αναγνωρίσει το ψηφιακό

μοντέλο υψομέτρων, τα αναχώματα δεν παρεμποδίζουν τη ροή, και συνεπώς δεν λειτουργούν ως υδροκρίτες.

Η διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων καλείται *κλάδος* ή *τμήμα υδατορεύματος* ή απλούστερα *υδατόρευμα* (reach). Η τοπολογία του δικτύου ορίζεται πλήρως από τον ανάντη και κατάντη κόμβο κάθε υδατορεύματος. Ανάντη κάθε κόμβου μπορούν να συμβάλλουν ένας ή περισσότεροι κλάδοι, ενώ κατάντη επιτρέπεται να ξεκινά ένας και μόνο κλάδος. Ακόμη, κάθε κλάδος διασχίζει μία και μόνο υπολεκάνη, η απορροή της οποίας μετασχηματίζεται σε υδρογράφημα εισόδου του κατάντη κόμβου. Με την υπόθεση αυτή, το υδατόρευμα που διασχίζει την υπολεκάνη θεωρείται «κλειστό», καθώς δεν μπορεί να δεχτεί πλευρικές εισροές από την υπολεκάνη. Κατά συνέπεια, οι κλάδοι των ανάντη υπολεκανών δεν θεωρούνται συνιστώσες του υδρογραφικού δικτύου, καθώς δεν συμμετέχουν στη διόδευση των πλημμυρικών ροών (για τον λόγο αυτό δεν προσμετρώνται στους κλάδους του τελικού δικτύου). Το τελικό υδρογραφικό δίκτυο, που στη γενική περίπτωση είναι δενδροειδούς τύπου, καταλήγει απαραίτητα στον έναν και μοναδικό *κόμβο εξόδου* της λεκάνης (outlet).

4.2 Επίπεδα Χωρικής Πληροφορίας – Τοπολογία

Με την διαδικασία σχηματοποίησης, η οποία γίνεται για κάθε λεκάνη απορροής, διαμορφώνονται τα εξής τέσσερα επίπεδα χωρικής πληροφορίας του αντίστοιχου μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης:

- Λεκάνη απορροής ή έργο (project)
- Κόμβοι (junctions)
- Υδατορεύματα (reaches)
- Υπολεκάνες (basins)

Για τα παραπάνω επίπεδα υπολογίζονται (ή εκτιμώνται) τα γεωμετρικά και υδρολογικά μεγέθη, με βάση τα οποία εκτιμώνται (ή υπολογίζονται) τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου HEC-HMS.

Η τοπολογία του υδρολογικού συστήματος ορίζεται πλήρως ως εξής:

- Η συνολική λεκάνη απορροής απορρέει στον έναν και μοναδικό τελικό κόμβο εξόδου.
- Από κάθε κόμβο του υδρογραφικού δικτύου ξεκινά ένα και μόνο υδατόρευμα (με εξαίρεση τον τελικό κόμβο εξόδου).
- Κάθε υδατόρευμα ορίζεται από έναν ανάντη και έναν κατάντη κόμβο.
- Κάθε υπολεκάνη αυτής, απορρέει σε έναν και μόνο κόμβο.
- Κάθε υπολεκάνη διατρέχεται από ένα και μόνο υδατόρευμα, με εξαίρεση τις ανάντη υπολεκάνες που δεν διατρέχονται από υδατόρευμα.

4.3 Χαρακτηριστικά Γεωγραφικά και Υδρολογικά Μεγέθη

4.3.1 Λεκάνη Απορροής

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη της λεκάνης απορροής, τα οποία παράγονται αυτόματα στο περιβάλλον του ΣΓΠ, είναι:

- έκταση
- μέσο υψόμετρο
- μέγιστο μήκος ροής

Ακόμη, από την τοπολογία του μοντέλου είναι γνωστό το υψόμετρο του κόμβου εξόδου της λεκάνης.

Με βάση τα παραπάνω μεγέθη εκτιμάται ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης, από την εμπειρική σχέση Giandotti (3.1). Όπως εξηγείται στην ενότητα 3.3.1, ο χρόνος συγκέντρωσης χρησιμοποιείται ενδεικτικά, για τον προσδιορισμό της διάρκειας των καταιγίδων σχεδιασμού, που είναι κοινή για όλες τις υπολεκάνες και αποτελεί βασικό χρονικό μέγεθος της προσομοίωσης. Ακόμη, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου ροής των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, που αποτελεί δεδομένο εισόδου του μοντέλου διόδευσης (ενότητα 3.5.4).

Επισημαίνεται ότι ως μέσο υψόμετρο θεωρείται, γενικά, η μέση τιμή των υψομέτρων όλων των κυττάρων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Ωστόσο, σε λεκάνες με έντονα ανομοιόμορφο ανάγλυφο (π.χ. μεγάλο ποσοστό πεδινών εκτάσεων, με απότομη αύξηση του υψομέτρου ανάντη), λαμβάνεται, κατά περίπτωση, η διάμεσος τιμή των υψομέτρων, που είναι πιο αντιπροσωπευτική. Μάλιστα, στις λεκάνες αυτές η διάμεσος είναι αρκετά μικρότερη της μέσης τιμής, που οδηγεί σε αυξημένες (και συνεπώς ρεαλιστικές, για πεδινή λεκάνη) τιμές του χρόνου συγκέντρωσης. Αντίθετα, λαμβάνοντας τη μέση τιμή του υψομέτρου, η οποία επηρεάζεται από το μικρό ορεινό τμήμα της λεκάνης, υποεκτιμάται η τιμή του χρόνου συγκέντρωσης.

Η άλλη χρονική παράμετρος του μοντέλου είναι η χρονική διακριτότητα των καταιγίδων σχεδιασμού, που ταυτίζεται με το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.3.1, γενικά λαμβάνεται χρονικό βήμα 15 min.

Η έκταση της λεκάνης εισάγεται και στην εκτίμηση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής (εξ. 3.3), που εφαρμόζεται στην αναγωγή των σημειακών υετογραφημάτων σχεδιασμού των υπολεκανών σε επιφανειακά.

4.3.2 Κόμβοι

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κόμβων είναι οι συντεταγμένες (x, y) και το υψόμετρο z , που λαμβάνεται από το ΨΜΕ.

4.3.3 Υδατορεύματα

Το χαρακτηριστικό γεωμετρικό μέγεθος των υδατορευμάτων είναι το μήκος L , που υπολογίζεται αυτόματα στο περιβάλλον του ΣΓΠ.

Για κάθε υδατόρευμα, ορίζεται το μοντέλο διόδευσης και οι αντίστοιχες παράμετροι. Για την επιλογή του σχήματος διόδευσης χρησιμοποιείται, ως ενδεικτικό μέγεθος, η μέση κλίση του υδατορεύματος, J . Δεδομένου ότι από την τοπολογία του δικτύου είναι γνωστά τα υψόμετρα του ανάντη και κατάντη κόμβου, η μέση κλίση του υδατορεύματος εκτιμάται από τη σχέση (3.14).

Όπως εξηγείται στην ενότητα 3.5.1, στη γενική περίπτωση για $J < 1\%$ επιλέγεται το σχήμα διόδευσης Muskingum, διαφορετικά εφαρμόζεται η μέθοδος της χρονικής υστέρησης.

Κοινή παράμετρος των δύο μεθόδων είναι η χρονική απόσταση K , η οποία εκτιμάται με βάση την ημιεμπειρική προσέγγιση του εδαφίου 3.5.4. Η παράμετρος αυτή εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τους χρόνους συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης και της πλέον ανάντη υπολεκάνης, και κατά συνέπεια διαφοροποιείται για κάθε υδρολογικό σενάριο. Στους υπολογισμούς, υπεισέρχεται και η παράμετρος β της σχέσης (3.29) που είναι κοινή για όλους τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Εφόσον εφαρμόζεται η μέθοδος Muskingum, απαιτείται, ακόμη, ο προσδιορισμός της παραμέτρου θ , που γενικά λαμβάνεται ίση με 0.20.

Τέλος, απαιτείται ο προσδιορισμός του πλήθους των στοιχείων διακριτοποίησης του υδατορεύματος (υπο-κλάδοι), που γίνεται για λόγους αριθμητικής ευστάθειας. Το πλήθος αυτό εκτιμάται από την

εξίσωση (3.24), συναρτήσει της παραμέτρου K . Σημειώνεται ότι σε υδατορεύματα μικρούς μήκους και μεγάλης κλίσης, ο χρόνος ροής ενδέχεται να είναι αρκετά μικρότερος του χρονικού βήματος Δt . Στις περιπτώσεις αυτές, δεν πραγματοποιείται διόδευση (το υδρογράφημα μεταφέρεται ως έχει από τον ανάντη στον κατάντη κόμβο).

4.3.4 Υπολεκάνες

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των υπολεκανών είναι η έκταση A , το μέσο υψόμετρο z_m , και το μήκος της μέγιστης διαδρομής νερού L_{max} , που μετράται από το πλέον απομακρυσμένο σημείο της υπολεκάνης ως τον κόμβο εξόδου της (κατ' αντιστοιχία με τη συνολική λεκάνη απορροής). Τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται αυτόματα στο περιβάλλον του ΣΓΠ. Ακόμη, από την τοπολογία του μοντέλου είναι γνωστό το υψόμετρο του κόμβου εξόδου της υπολεκάνης.

Για κάθε υπολεκάνη, υπολογίζονται ακόμη, μέσω του ΣΓΠ, οι συντεταγμένες (x_k, y_k) του κέντρου βάρους της, που χρησιμοποιούνται μόνο για την οπτικοποίηση του μοντέλου του υδρογραφικού δικτύου στο περιβάλλον HEC-HMS.

Με βάση του αντίστοιχους χάρτες κατανεμημένης χωρικής πληροφορίας (αρχεία τύπου raster) της περιοχής μελέτης, εκτιμώνται τα εξής μέσα μεγέθη, ολοκληρώνοντας στην έκταση κάθε υπολεκάνης:

- οι παράμετροι κ , λ και ψ των όμβριων καμπυλών
- τα αδιαστατοποιημένα όρια εμπιστοσύνης βροχόπτωσης x_L (κάτω όριο) και x_U (άνω όριο) για περιόδους επαναφοράς 50, 100 και 1000 έτη ($2 \times 3 = 6$ τιμές)
- η παράμετρος CN_{II} για συνθήκες υγρασίας τύπου II

Υπενθυμίζεται ότι οι δύο παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας της όμβριας καμπύλης, που επίσης αποτελούν δεδομένα εισόδου της υπολεκάνης, είναι σταθερές για όλη την περιοχή μελέτης και ίσες με $\theta = 0.042$ και $\eta = 0.639$.

Τέλος, ορίζεται η (σταθερή) βασική απορροή της υπολεκάνης, που θεωρείται ότι διαφοροποιείται για τις τρεις περιόδους επαναφοράς της μελέτης. Όπως εξηγείται στην ενότητα 3.4.4, αν δεν αναφέρεται διαφορετικά, εφαρμόζονται οι τιμές ειδικής παροχής 0.01, 0.02 και 0.05 m³/s/km², που θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς 50, 100 και 1000 έτη. Οι τιμές αυτές πολλαπλασιάζονται επί την έκταση της υπολεκάνης, οπότε προκύπτει οι αντίστοιχες τιμές της βασικής απορροής Q_b , σε μονάδες παροχής (m³/s).

Για τη διαμόρφωση του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης της υπολεκάνης στο περιβάλλον του HEC-HMS υπολογίζονται τα εξής μεγέθη:

- ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης κατά Giandotti (εξ. 3.1)
- οι παράμετροι CN_I και CN_{III} για συνθήκες υγρασίας τύπου I και III, μέσω των σχέσεων (3.7) και (3.8), αντίστοιχα
- οι τιμές της μέγιστης δυνητικής κατακράτησης, S , για τις τρεις συνθήκες υγρασίας, μέσω της σχέσης (3.6)
- οι τιμές του ύψους αρχικών ελλειμμάτων, h_{a0} , για τις τρεις συνθήκες υγρασίας, που στη μελέτη γενικά λαμβάνονται ίσες με το 20% της αντίστοιχης μέγιστης δυνητικής κατακράτησης
- η ένταση βροχής για διάρκεια D και περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη, που εκτιμάται μέσω της όμβριας καμπύλης (3.2) και αναφέρεται σε «μέσες» συνθήκες

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

- οι «ευμενείς» και «δυσμενείς» εντάσεις βροχής διάρκειας D , για περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη, οι οποίες εκτιμώνται πολλαπλασιάζοντας τα αδιαστατοποιημένα όρια εμπιστοσύνης, x_L και x_U της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς επί την ένταση βροχής της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς.
- η χαρακτηριστική ένταση βροχής για διάρκεια D και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη, μέσω της όμβριας καμπύλης (3.2), που χρησιμοποιείται στις αναγωγές του χρόνου συγκέντρωσης
- οι ανηγμένοι χρόνοι συγκέντρωσης που εκτιμώνται μέσω της σχέσης (3.11), με βάση τον χρόνο συγκέντρωσης κατά Giandotti, την ένταση βροχής «αναφοράς» για $T = 5$ έτη, και τις εντάσεις βροχής που προκύπτουν συνδυάζοντας τις τρεις υδρολογικές συνθήκες (ευμενείς, μέσες, δυσμενείς) και τις τρεις περιόδους επαναφοράς ($T = 50, 100$ και 1000 έτη)
- οι χρόνοι υστέρησης, t_L , της υπολεκάνης, που εκτιμώνται ως το 60% των αντίστοιχων χρόνων συγκέντρωσης
- οι χρόνοι ανόδου, t_p , των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων των εννέα υδρολογικών σεναρίων, που εκτιμώνται με βάση τον ανηγμένο χρόνο συγκέντρωσης του αντίστοιχου σεναρίου και τη διάρκεια βροχής, σύμφωνα με τη σχέση (3.9)
- οι χρόνοι βάσης, t_b , των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων, που λαμβάνονται ως το πενταπλάσιο των αντίστοιχων χρόνων ανόδου
- οι παροχές αιχμής, Q_p , των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων των εννέα υδρολογικών σεναρίων, που εκτιμώνται με βάση τον χρόνο ανόδου του αντίστοιχου σεναρίου και την έκταση της υπολεκάνης, σύμφωνα με τη σχέση (3.10)

Τα μεγέθη A , Q_b , S , h_{a0} και t_L , καθώς και τα υετογραφήματα σχεδιασμού των εννέα υδρολογικών σεναρίων, τα οποία παράγονται με τη μεθοδολογία της ενότητας 3.3, αποτελούν δεδομένα εισόδου του υδρολογικού μοντέλου που υλοποιεί το λογισμικό HEC-HMS.

5 Ανάλυση Υδρομετρικών Δεδομένων

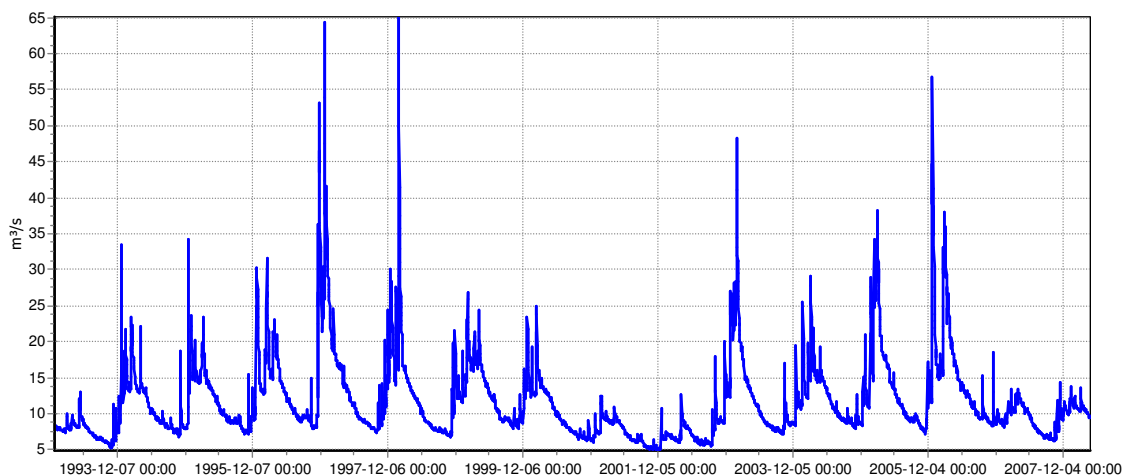
5.1 Βασικά Μεγέθη Υδρολογικού Ισοζυγίου Λεκανών Απορροής

Στο Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008) δημοσιεύονται κάποια βασικά μεγέθη του υδατικού ισοζυγίου των λεκανών απορροής ενδιαφέροντος της περιοχής μελέτης, που βασίζονται σε υδρομετρικά δεδομένα και διάφορες αρδομερείς παραδοχές. Συγκεκριμένα:

- Σύμφωνα με μετρήσεις της περιόδου 1951-1988, η μέση ετήσια παροχή του ποταμού **Καλαμά** στη θέση του υδρομετρικού σταθμού Κιοτέκι είναι $54.2 \text{ m}^3/\text{s}$, που αντιστοιχεί σε ύψος απορροής 1025 mm (η έκταση της ανάντη λεκάνης είναι $1\,520 \text{ km}^2$). Θεωρώντας 50% μείωση του ύψους απορροής στην πεδινή λεκάνη του ποταμού, έκτασης 380 km^2 (κατάντη της θέσης Κιοτέκι), προκύπτει μια χονδρική εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου απορροής της τάξης των 1900 hm^3 , που αντιστοιχεί σε μέση ετήσια παροχή της τάξης των $60.2 \text{ m}^3/\text{s}$, σε συνολική έκταση λεκάνης 1900 km^2 (ειδική παροχή $0.031 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).
- Σύμφωνα με μετρήσεις της περιόδου λειτουργίας του φράγματος Πουρναρίου, η μέση ετήσια παροχή του ποταμού **Άραχθου** στη θέση του φράγματος, που αντιστοιχεί σε έκταση λεκάνης 1820 km^2 , είναι $68.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Θεωρώντας 50% μείωση του ύψους απορροής στην πεδινή λεκάνη του ποταμού, έκτασης 180 km^2 , προκύπτει μια χονδρική εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου απορροής της τάξης των 2280 hm^3 , που αντιστοιχεί σε μέση ετήσια παροχή της τάξης των $72.2 \text{ m}^3/\text{s}$, σε συνολική έκταση λεκάνης 2000 km^2 (ειδική παροχή $0.036 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).
- Σύμφωνα με μετρήσεις της περιόδου 1951-1988, η μέση ετήσια παροχή του ποταμού **Λούρου** στη γέφυρα Πέτρας, που αντιστοιχεί σε έκταση λεκάνης 720 km^2 , είναι $24.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Θεωρώντας 50% μείωση του ύψους απορροής στην πεδινή λεκάνη του ποταμού, έκτασης 100 km^2 , προκύπτει μια χονδρική εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου απορροής της τάξης των 840 hm^3 , που αντιστοιχεί σε μέση ετήσια παροχή της τάξης των $26.5 \text{ m}^3/\text{s}$, σε συνολική έκταση λεκάνης 820 km^2 (ειδική παροχή $0.032 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).
- Σύμφωνα με μετρήσεις της περιόδου 1951-1988, η μέση ετήσια παροχή του ποταμού **Αχέροντα** στη γέφυρα Γλυκής, που αντιστοιχεί σε έκταση λεκάνης 315 km^2 , είναι $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Θεωρώντας 50% μείωση του ύψους απορροής στην πεδινή λεκάνη του ποταμού, έκτασης 405 km^2 , προκύπτει μια χονδρική εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου απορροής της τάξης των 650 hm^3 , που αντιστοιχεί σε μέση ετήσια παροχή της τάξης των $20.5 \text{ m}^3/\text{s}$, σε συνολική έκταση λεκάνης 1900 km^2 (ειδική παροχή $0.028 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).

Ειδικά για τον ποταμό Λούρο, διατίθενται από τη ΔΕΗ δεδομένα ημερήσιων εισροών στο φράγμα, για την περίοδο 1993-2007 (Εικόνα 5.1). Σύμφωνα με αυτά, η μέση ετήσια παροχή του ποταμού ανέρχεται σε $11.9 \text{ m}^3/\text{s}$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 319 km^2 , προκύπτει μια μέση τιμή ειδικής παροχής ίση με $0.037 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, έναντι των $0.032 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ που εκτιμώνται για τη συνολική λεκάνη, στην οποία ωστόσο περιλαμβάνονται και πεδινές περιοχές, όπου η παραγωγή της απορροής είναι σαφώς μικρότερη.

Τα παραπάνω στοιχεία ελήφθησαν υπόψη στις εκτιμήσεις της βασικής ροής στις μεγάλες λεκάνες απορροής της περιοχής μελέτης (βλ. ενότητα 5.2), η οποία θεωρήθηκε κοινή σε όλη της έκταση της εκάστοτε λεκάνης (δόθηκαν ίδιες τιμές ειδικής παροχής σε όλες τις υπολεκάνες).

**Εικόνα 5.1: Χρονοσειρά ημερήσιων παροχών εισροής στον ταμιευτήρα Λούρου**

5.2 Εκτίμηση Βασικής Απορροής

Έχοντας ως αναφορά την μέση ετήσια παροχή των κύριων λεκανών της περιλήξης μελέτης, εκτιμήθηκε η ειδική παροχή που αντιστοιχεί σε περιόδους επαναφοράς 50, 100 και 1000 έτη (Πίνακας 5.1). Οι τιμές του πίνακα θεωρούνται αντιπροσωπευτικές της βασικής απορροής των λεκανών, η οποία έχει προφανή εξάρτηση από την περίοδο επαναφοράς, δεδομένου ότι η βασική ροή είναι αυξημένη τις χρονιές που πραγματοποιούνται υψηλές βροχοπτώσεις. Για την εκτίμηση της βασικής απορροής εφαρμόστηκαν οι τιμές ειδικής παροχής του Πίνακα 5.1 στις αντίστοιχες λεκάνες απορροής (και τις υπολεκάνες τους), πολλαπλασιάζοντας με την έκταση κάθε λεκάνης. Στις λεκάνες για τις οποίες δεν υπάρχει υδρομετρική πληροφορία, θεωρήθηκαν οι τιμές ειδικής παροχής 0.020, 0.030 και 0.050 m³/s/km², ως αντιπροσωπευτικές των περιόδων επαναφοράς 50, 100 και 1000 ετών.

Πίνακας 5.1: Εκτιμήσεις ειδικής παροχής για περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη στις σημαντικότερες λεκάνες απορροής του ΥΔ Ηπείρου

Λεκάνη Απορροής	Ειδική παροχή (m ³ /s/km ²)		
	$T = 50$	$T = 100$	$T = 1000$
Καλαμά	0.060	0.070	0.100
Άραχθου	0.060	0.070	0.100
Λούρου	0.020	0.022	0.030
Αχέροντα	0.060	0.070	0.100

5.3 Στατιστική Ανάλυση Μέγιστων Παροχών Εισροής Ταμιευτήρα Πουρναρίου

Στη θέση του φράγματος, διατίθενται δεδομένα ετήσιων μέγιστων παροχών, σε ημερήσια και ωριαία κλίμακα, που δίνονται στον Πίνακα 5.2. Τα ημερήσια δεδομένα ελήφθησαν από πρόσφατη μελέτη των Κουτσογιάννη κ.ά. (2010). Ειδικότερα, για την περίοδο λειτουργίας του ταμιευτήρα (μετά το 1982), οι εισροές έχουν εκτιμηθεί με βάση το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα, ενώ για την

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

περίοδο 1962-63 έως 1974-75 τα δεδομένα έχουν εξαχθεί από τον υδρομετρικό σταθμό της Γέφυρας Άρτας, με αναγωγή με βάση το λόγο των εκτάσεων των λεκανών στη θέση Πουρνάρι (οι δύο θέσεις βρίσκονται πολύ κοντά, και ο σχετικός συντελεστής αναγωγής είναι 0.96). Μάλιστα, η τελευταία τιμή (1700 m³/s) αναφέρεται στην πλημμύρα της 1/2/2015, που ήταν από τις μεγαλύτερες που έχουν καταγραφεί στη λεκάνη. Οι αντίστοιχες μέγιστες ωριαίες παροχές εισροής στον ταμιευτήρα Πουρναρίου δόθηκαν από τη ΔΕΗ, και δημοσιεύονται σε σχετική τεχνική έκθεση.

Πίνακας 5.2: Ετήσιες μέγιστες παροχές εισροής στον ταμιευτήρα Πουρναρίου, σε ημερήσια και ωριαία κλίμακα (m³/s)

Έτος	Μέγιστη ημερήσια παροχή (m ³ /s)	Μέγιστη ωριαία παροχή (m ³ /s)	Λόγος παροχών
1962	1574		
1963	1382		
1964	1939		
1965	1305		
1966	648	2118	3.27
1967	925	1970	2.13
1968	892	1460	1.64
1969	990	1740	1.76
1970	1597	2100	1.31
1971	632	999	1.58
1972	553	1260	2.28
1973	1128	2210	1.96
1974	536	902	1.68
1975		933	
1976		1454	
1977			
1978			
1979			
1980			
1981		1297	
1982	926	1251	1.35
1983	1028	1475	1.43
1984	529	978	1.85
1985	757	1525	2.01
1986	494	686	1.39
1987	529	976	1.84

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Έτος	Μέγιστη ημερήσια παροχή (m ³ /s)	Μέγιστη ωριαία παροχή (m ³ /s)	Λόγος παροχών
1988	480	728	1.52
1989	630	1451	2.30
1990	680	952	1.40
1991	319	703	2.20
1992	622	1012	1.63
1993	793	1220	1.54
1994	686	1115	1.63
1995	617	986	1.60
1996	918	1376	1.50
1997	1131	2026	1.79
1998	677	1294	1.91
1999	554	947	1.71
2000	176	311	1.77
2001	580	944	1.63
2002	450	1000	2.22
2003	690	1940	2.81
2004	860	1045	1.22
2005	1015	1712	1.69
2006	530	766	1.45
2007	402	992	2.47
2008	395	574	1.45
2009	1139	1560	1.37
2010		1458	
2011		480	
2012		1333	
2013		383	
2014	1700	2080	1.22

Στις δύο χρονοσειρές μεγίστων, προσαρμόστηκαν τρεις στατιστικές κατανομές, που απεικονίζονται στις Εικόνες 5.1 (μέγιστες ημερήσιες παροχές) και 5.2 (μέγιστες ωριαίες παροχές). Συγκεκριμένα, προσαρμόστηκαν η κατανομή Gumbel μεγίστων, η Γενική Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ), με εκτίμηση των παραμέτρων της με τη μέθοδο των L-ροπών, και η ίδια κατανομή, αλλά με δεδομένη παράμετρο σχήματος, ίση με $\kappa = 0.15$, η οποία είναι μια θεωρητικά συνεπής τιμή, για την ανάλυση των μεγίστων πλημμυρικών παροχών (η παράμετρος σχήματος της βροχόπτωσης στην περιοχή κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα). Όσον αφορά στις μέγιστες ημερήσιες εισροές, η κατανομή ΓΑΤ, με παράμετρο

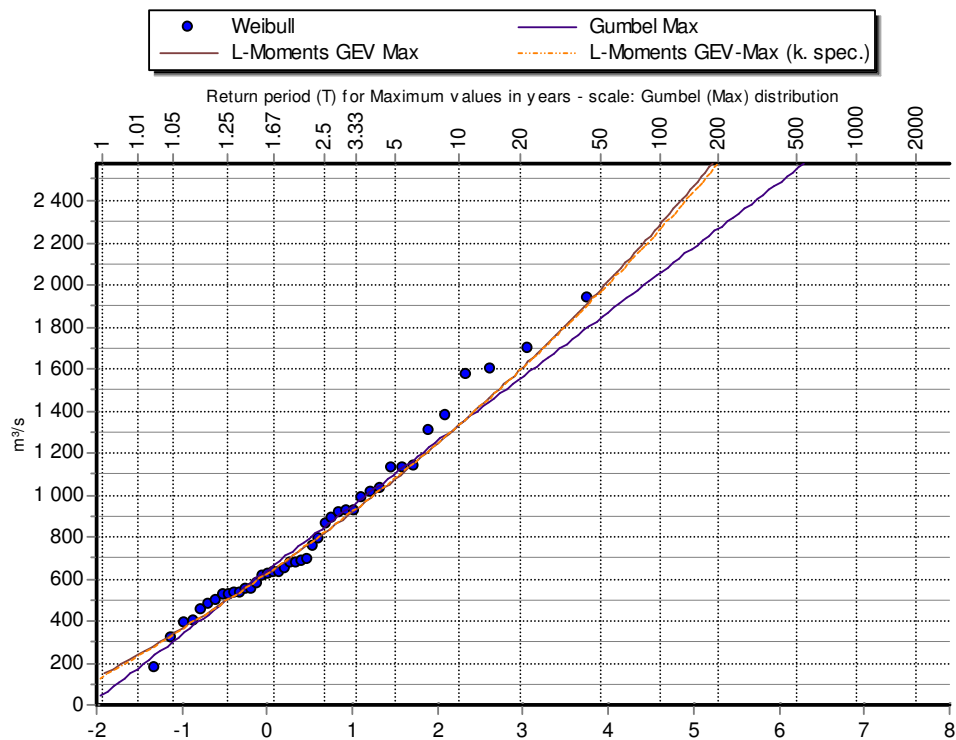
σχήματος $\kappa = 0.15$, προσαρμόζεται πολύ καλά στα εμπειρικά δεδομένα, το οποίο επιβεβαιώνει την καταλληλότητα των παραπάνω υποθέσεων.

Από την άλλη πλευρά, η προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής ΓΑΤ με $\kappa = 0.15$ δεν επαληθεύεται από τα εμπειρικά δεδομένα των μέγιστων ωριαίων παροχών. Αντίθετα, φαίνεται να προσαρμόζεται μια κατανομή με αρνητικό συντελεστή σχήματος, το οποίο δεν έχει φυσικό νόημα, εφόσον αναφερόμαστε σε αναλύσεις μεγίστων. Αυτό προφανώς οφείλεται σε σφάλματα στις εκτιμήσεις των ωριαίων εισροών, με βάση τα ωριαία ισοζύγιο του ταμιευτήρα. Πράγματι, είναι γνωστό ότι η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου, η οποία λαμβάνει υπόψη τις μεταβολές της στάθμης νερού στον ταμιευτήρα στην αντίστοιχη χρονική περίοδο, καθίσταται λιγότερο ακριβής όσο μειώνεται το χρονικό βήμα καθώς και το μέγεθος του ταμιευτήρα. Στην ωριαία κλίμακα, οι διακυμάνσεις της στάθμης είναι μικρές και επηρεάζονται έντονα από φαινόμενα όπως οι κυματισμοί. Για τον λόγο αυτό, είναι γενικά επισφαλής η κατάρτιση ισοζυγίων σε τόσο μικρές χρονικές κλίμακες. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον λόγο της μέγιστης ωριαίας προς τη μέγιστη ημερήσια παροχή (Πίνακα 5.2.), που παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλο εύρος διακύμανσης, με μέση τιμή 1.8.

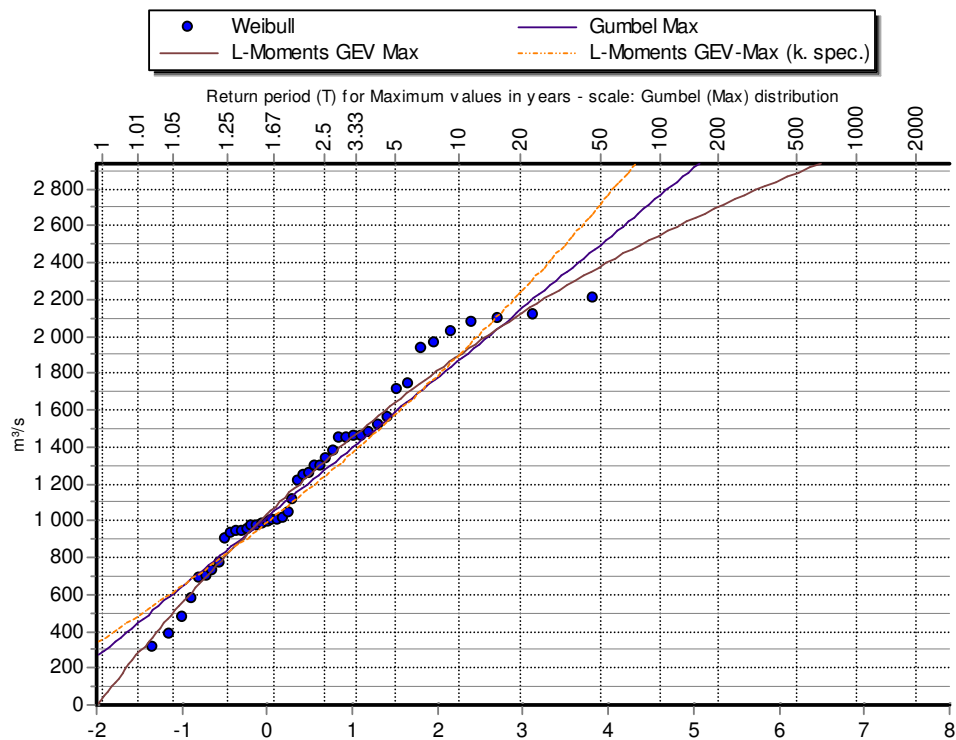
Με βάση τις τρεις θεωρητικές κατανομές που εξετάστηκαν, εκτιμήθηκε η μέγιστη ημερήσια παροχή περιόδου επαναφοράς 50, 100 και 1000 ετών, και η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία, με προσαύξηση των ημερήσιων τιμών κατά 80%. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 5.3. Θεωρώντας ως πλέον συνεπή την κατανομή ΓΑΤ με παράμετρο σχήματος $\kappa = 0.15$, προκύπτει ότι για περίοδο επαναφοράς 1000 έτη, η ημερήσια παροχή εισροής υπερβαίνει τα 3500 m³/s, ενώ η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία θα είναι αρκετά υψηλότερη (περίπου 6400 m³/s, αν υποτεθεί συντελεστής προσαύξησης 1.8).

Πίνακας 5.3: Εκτιμήσεις μέγιστης ημερήσια παροχής εισροής στον ταμιευτήρα Πουρναρίου για περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη (m³/s)

Θεωρητική κατανομή	$T = 50$	$T = 100$	$T = 1000$
Gumbel μεγίστων	1841	2056	2765
ΓΑΤ (L -ροπές)	1976	2285	3495
ΓΑΤ με $\kappa = 0.15$ (L -ροπές)	1914	2232	3553



Εικόνα 5.2: Προσαρμογή στατιστικών κατανομών στις ετήσιες μέγιστες ημερήσιες παροχές εισροής στον ταμιευτήρα Πουρναρίου



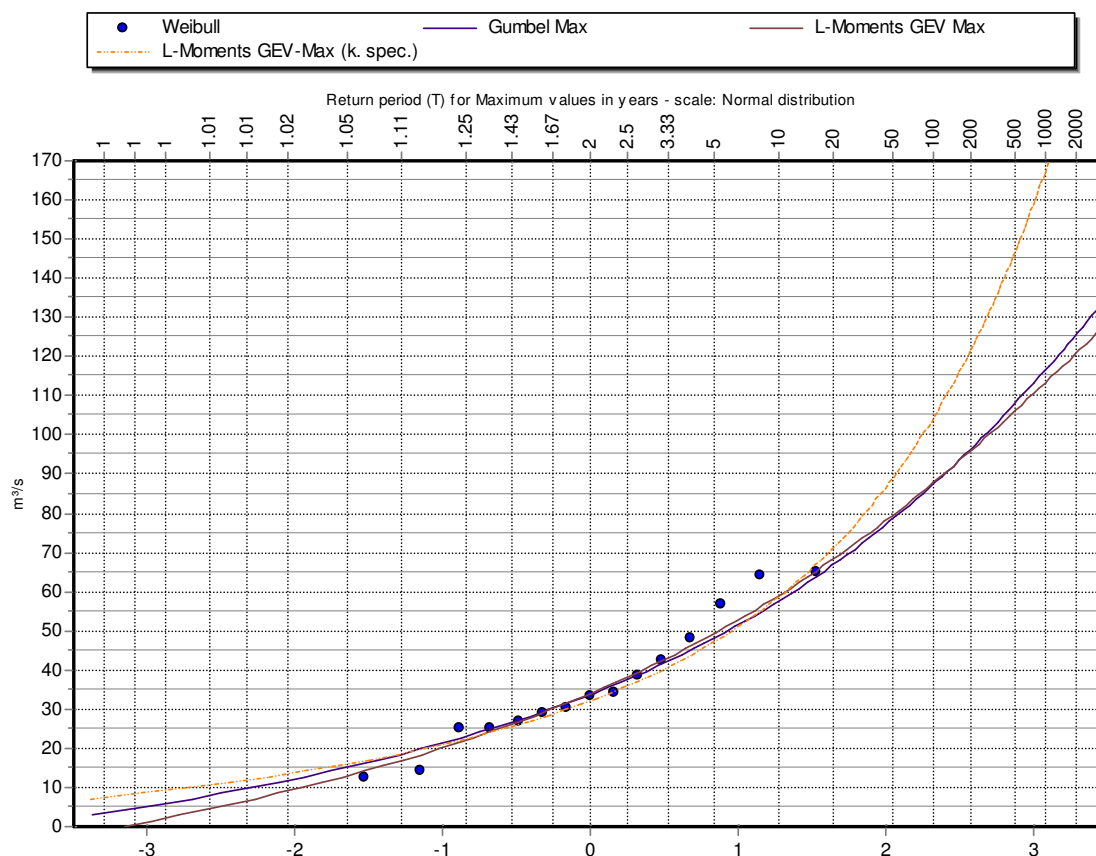
Εικόνα 5.3: Προσαρμογή στατιστικών κατανομών στις ετήσιες μέγιστες ωριαίες παροχές εισροής στον ταμιευτήρα Πουρναρίου

5.4 Στατιστική Ανάλυση Μέγιστων Παροχών Εισροής Ταμιευτήρα Λούρου

Αντίστοιχη ανάλυση με τις εισροές του ταμιευτήρα Πουρναρίου έγινε και για το φράγμα του Λούρου, με βάση ωστόσο ένα σχετικά μικρό δείγμα 15 τιμών, που δεν είναι επαρκές για την εξαγωγή ασφαλών στατιστικών συμπερασμάτων. Με βάση τις τρεις θεωρητικές κατανομές που προσαρμόστηκαν στα αντίστοιχα εμπειρικά δεδομένα ημερήσιων εισροών (Εικόνα 5.4), εκτιμήθηκε η μέγιστη ημερήσια παροχή περιόδου επαναφοράς 50, 100 και 1000 ετών. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 5.4. Θεωρώντας ως πλέον συνεπή την κατανομή ΓΑΤ με παράμετρο σχήματος $\kappa = 0.15$, προκύπτει ότι για περίοδο επαναφοράς 1000 έτη, η ημερήσια παροχή εισροής μπορεί να φτάσει στα 170 m³/s.

Πίνακας 5.4: Εκτιμήσεις μέγιστης ημερήσια παροχής εισροής στον ταμιευτήρα Πουρναρίου για περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη (m³/s).

Θεωρητική κατανομή	$T = 50$	$T = 100$	$T = 1000$
Gumbel μεγίστων	79	87	117
ΓΑΤ (L-ροπές)	80	88	114
ΓΑΤ με $\kappa = 0.15$ (L-ροπές)	89	104	168



Εικόνα 5.4: Προσαρμογή στατιστικών κατανομών στις ετήσιες μέγιστες ημερήσιες παροχές εισροής στον ταμιευτήρα Λούρου

6 Υδρολογική Προσομοίωση Λεκανών Απορροής ΥΔ Ηπείρου

6.1 Χαρακτηριστικά Λεκανών Απορροής

Αν και το μεγαλύτερο τμήμα του ΥΔ Ηπείρου είναι ορεινό, οι περιοχές όπου αναπτύσσονται ΖΔΥΠΚ εκτείνονται σε όλες τις μεγάλες λεκάνες απορροής της περιοχής μελέτης, με εξαίρεση της λεκάνη του Αώου, στα ΒΑ. Για τις ανάγκες της μελέτης διαμορφώνονται 16, συνολικά, υδρολογικά συστήματα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι λεκάνες απορροής τεσσάρων μεγάλων ποταμών μόνιμης ροής (Καλαμάς, Άραχθος, Λούρος, Αχέροντας), μικρότερες λεκάνες υδατορευμάτων διαλείπουσας ή εφήμερης ροής που εκβάλλουν στο Ιόνιο Πέλαγος ή τον Αμβρακικό Κόλπο, καθώς και κλειστές (ενδοροϊκές) λεκάνες, χωρίς έξοδο στη θάλασσα, με κυριότερη τη λεκάνη των Ιωαννίνων (μέρος της απορροής της οποίας τροφοδοτεί τη λίμνη Παμβώτιδα). Οι εκτάσεις τους κυμαίνονται από 10 έως 200 km², περίπου, ενώ για τη διαμόρφωση του υδρολογικού μοντέλου γίνεται κατάτμησή τους σε υπολεκάνες, ο αριθμός των οποίων ποικίλει από δύο έως 14. Τα όρια των λεκανών φαίνονται στον χάρτη της Εικόνας 6.1, ενώ τα γενικά χαρακτηριστικά τους δίνονται στον Πίνακα 6.1.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η σχηματοποίηση και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λεκανών, και δίνονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά λεκάνη. Τα αναλυτικά δεδομένα της υδρολογικής προσομοίωσης (δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα μοντέλου, σε μορφή πινάκων και γραφημάτων) παρουσιάζονται στα αντίστοιχα παραρτήματα.



Εικόνα 6.1: Λεκάνες απορροής ΥΔ Ηπείρου

Πίνακας 6.1: Λεκάνες απορροής ΥΔ Ηπείρου

Κωδικός	Ονομασία	Έκταση (km ²)	Υπολεκάνες	Παράρτημα
1000	Καλαμάς	1758.1	49	Π1
2001	Οροπέδιο Ιωαννίνων	340.8	15	Π2
2002	Οροπέδιο Ραβένια	61.1	1	Π3
2003	Οροπέδιο Μπάφρα	102.2	1	Π4
2004	Οροπέδιο Ασβεστοχωρίου	24.0	1	Π5
3000	Άραχθος	1917.9	65	Π5
4000	Διπόταμο	224.8	17	Π6
5000	Λούρος	818.5	33	Π8
6000	Αρεθούα	71.8	6	Π9
7000	Αχέροντας	729.6	29	Π10
8000	Οροπέδιο Μαργαρίτι	67.1	3	Π11
9000	Ξεροπόταμος	28.2	5	Π12
10000	Λάκκος	18.1	4	Π13
11000	Πεδιάδα Άρτας	180.5	1	Π14
12000	Καβασιλάτα (Κέρκυρα)	16.1	3	Π15
13000	Μεσανγής (Κέρκυρα)	39.2	4	Π16

6.2 Λεκάνη Απορροής Καλαμά

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Καλαμά περιλαμβάνει 49 υπολεκάνες, 31 κόμβους και 29 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Στον κόμβο J3, ο κύριος κλάδος του Καλαμά διακλαδίζεται, καθώς μέρος της απορροής του εκτέπεται προς μια ανακουφιστική τάφρο, η οποία εκβάλλει στη θάλασσα. Η υπολεκάνη R0512FR1003 την οποία διατρέχει η τάφρος (κλάδος R328) θεωρείται ανεξάρτητο σύστημα, καθώς το μοντέλο δεν έχει τη δυνατότητα αναπαράστασης έργων μερισμού. Συνεπώς, η απορροή όλων των υπολεκανών εκτός της R0512FR1003 καταλήγει στον κόμβο εξόδου J1, ενώ η απορροή της R0512FR1003 καταλήγει στον κόμβο J28.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.2.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 1758.1 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 415 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 158.3 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 24.9 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 48 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.896$.

Σημειώνεται, ακόμη, ότι ως μέσο υψόμετρο, το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης, λαμβάνεται η διάμεσος τιμή και όχι ο μέσος όρος των υψομέτρων, δεδομένου ότι κατά μήκος του Καλαμά αναπτύσσονται μικρές σχετικά κλίσεις, και συνεπώς απαιτούνται σχετικά μεγάλοι χρόνοι ροής για τη διαδρομή από τον πλέον απομακρυσμένο σημείο του υδροκρίτη ως την έξοδο της λεκάνης.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.2 και 6.3, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.4. Στο Παράρτημα Π1 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	Καλαμάς	J2	J1	11.171	0.0003
R32	Καλαμάς	J3	J2	6.986	0.0003
R43	Καλαμάς	J4	J3	3.315	0.0021
R54	Καλαμάς	J5	J4	1.403	0.0029
R65	Καλαμάς	J6	J5	8.324	0.0010
R76	Καλαμάς	J7	J6	6.833	0.0009
R87	Καλαμάς	J8	J7	5.463	0.0020
R98	Καλαμάς	J9	J8	4.695	0.0006
R109	Καλαμάς	J10	J9	6.689	0.0008
R1110	Καλαμάς	J11	J10	8.048	0.0019
R1223	Καλαμάς	J12	J23	1.218	0.0054
R1312	Καλαμάς	J13	J12	4.031	0.0002
R1413	Καλαμάς	J14	J13	14.681	0.0044
R1514	Καλαμάς	J15	J14	15.848	0.0127
R1615	Καλαμάς	J16	J15	4.710	0.0038
R1716	Καλαμάς	J17	J16	1.285	0.0034
R1817	Καλαμάς	J18	J17	7.461	0.0048
R1918	Καλαμάς	J19	J18	7.698	0.0067
R2016	Καλαμάς	J20	J16	2.932	0.0038
R2120		J21	J20	10.404	0.0095
R2214	Σμόλιτσας	J22	J14	5.745	0.0097
R2311	Καλαμάς	J23	J11	11.416	0.0020
R2423	Καλαμάς	J24	J23	13.809	0.0056
R257		J25	J7	6.046	0.0141

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R265	Καλαμάς	J26	J5	8.885	0.0038
R274	Καλαμάς	J27	J4	5.305	0.0175
R2917		J29	J17	1.981	0.0124
R3020		J30	J20	1.661	0.0046
R3113	Τύρια	J31	J13	29.145	0.0063

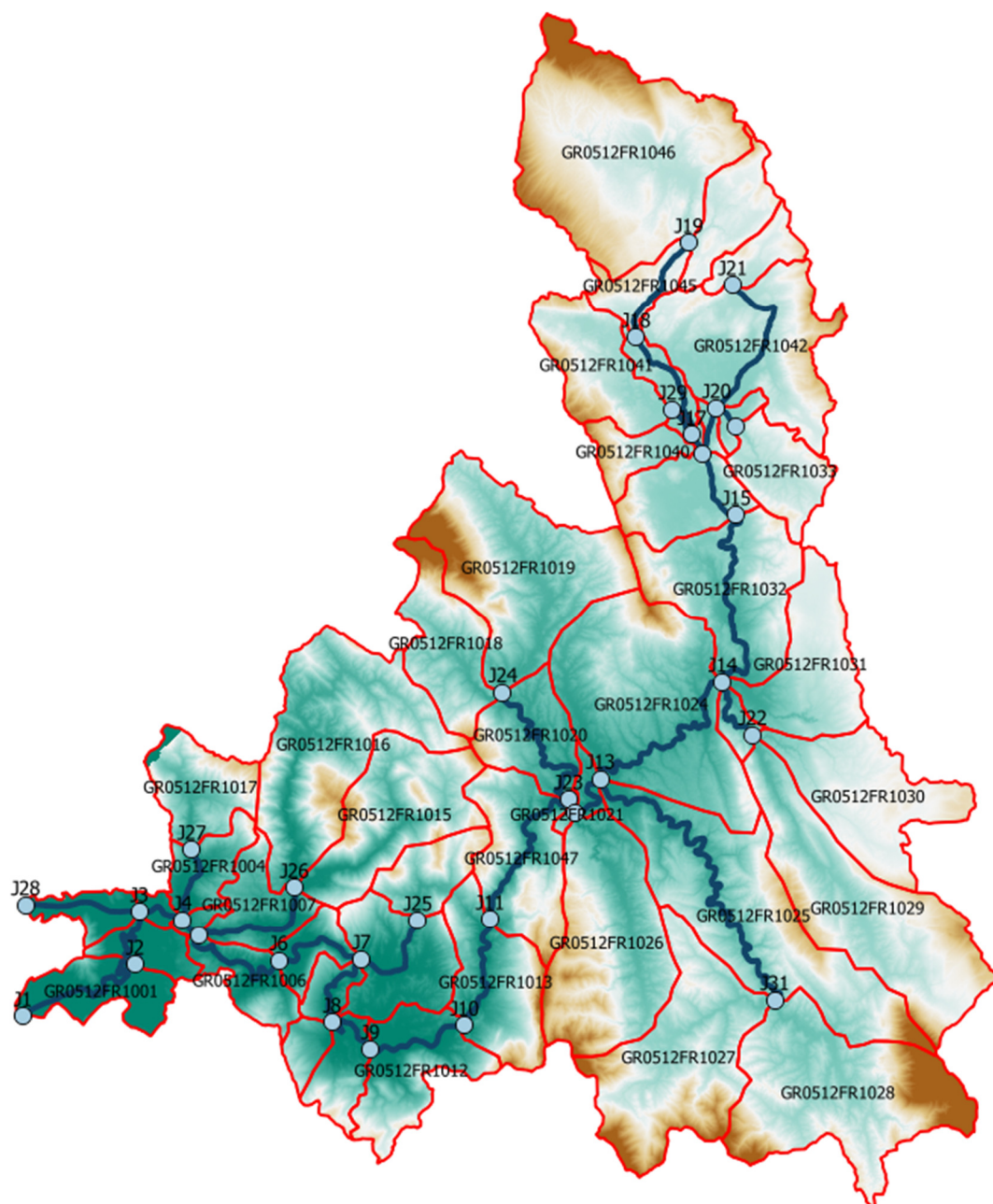
Πίνακας 6.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0512FR1001	GR0512FR0022	R21	J1	25.056	21.6	0.0	8.1
GR0512FR1002	GR0512FR0022	R32	J2	13.382	44.3	3.0	6.6
GR0512FR1003	GR0512FR0022		J28	11.793	36.6	0.0	8.3
GR0512FR1004	GR0512FR0022	R274	J4	17.065	232.5	12.0	9.9
GR0512FR1005	GR0512FR0022	R54	J4	3.171	122.3	12.0	3.4
GR0512FR1006	GR0512FR0022	R65	J5	18.764	163.7	16.0	6.5
GR0512FR1007	GR0512FR0022	R265	J5	22.719	193.4	16.0	12.0
GR0512FR1008	GR0512FR0022	R76	J6	12.833	164.7	24.0	7.3
GR0512FR1009	GR0512FR0022	R87	J7	9.146	173.0	30.0	6.3
GR0512FR1010	GR0512FR0022	R257	J7	37.243	176.1	30.0	8.9
GR0512FR1011	GR0512FR0022	R98	J8	16.642	297.9	40.7	6.8
GR0512FR1012	GR0512FR0022	R109	J9	37.818	284.1	43.7	8.8
GR0512FR1013	GR0512FR0022	R1110	J10	42.556	427.6	49.3	12.5
GR0512FR1014	GR0512FR0022		J25	20.411	521.9	115.2	9.8
GR0512FR1015	GR0512FR0022		J26	55.38	487.0	49.7	18.0
GR0512FR1016	GR0512FR0022		J26	87.237	439.8	49.7	30.9
GR0512FR1017	GR0512FR0022		J27	29.085	459.1	105.1	10.2
GR0512FR1018	GR0512FR0022		J24	36.969	579.9	165.0	15.531
GR0512FR1019	GR0512FR0022		J24	88.246	575.4	165.0	26.153
GR0512FR1020	GR0512FR0022	R2423	J23	29.812	315.5	87.3	12.752
GR0512FR1021	GR0512FR0022	R1223	J23	1.648	281.2	87.3	2.001
GR0512FR1024	GR0512FR0022	R1413	J13	104.31	355.3	94.9	19.868
GR0512FR1025	GR0512FR0022	R3113	J13	99.972	482.2	94.9	26.899
GR0512FR1026	GR0512FR0022		J12	78.819	587.4	93.9	26.108

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0512FR1027	GR0512FR0022		J31	79.87	695.3	277.7	20.96
GR0512FR1028	GR0512FR0022		J31	92.8	729.2	277.7	22.293
GR0512FR1029	GR0512FR0022		J22	88.684	628.9	214.6	31.93
GR0512FR1030	GR0512FR0022		J22	54.364	640.3	214.6	21.596
GR0512FR1031	GR0512FR0022		J14	44.831	527.9	159.0	17.681
GR0512FR1032	GR0512FR0022	R1514	J14	62.745	470.8	159.0	17.47
GR0512FR1033	GR0512FR0022		J30	25.852	601	396.8	11.48
GR0512FR1034	GR0512FR0022	R3020	J20	4.705	443	389.2	2.38
GR0512FR1035	GR0512FR0022	R2016	J16	3.146	427.7	378.1	4.381
GR0512FR1036	GR0512FR0022	R1716	J16	1.136	383.4	378.1	1.74
GR0512FR1037	GR0512FR0022	R2917	J17	1.46	388.7	382.5	2.279
GR0512FR1038	GR0512FR0022	R1817	J17	10.019	421.7	382.5	10.176
GR0512FR1039	GR0512FR0022	R1615	J15	30.28	493	360.0	8.92
GR0512FR1040	GR0512FR0022		J16	14.446	690.6	378.1	7.498
GR0512FR1041	GR0512FR0022		J29	37.27	639	407.1	15.794
GR0512FR1042	GR0512FR0022	R2120	J20	72.528	589.3	389.2	14.722
GR0512FR1043	GR0512FR0022		J21	13.209	658.4	487.8	6.823
GR0512FR1044	GR0512FR0022		J19	23.957	658.7	470.2	9.666
GR0512FR1045	GR0512FR0022	R1918	J18	15.217	679	418.6	8.016
GR0512FR1046	GR0512FR0022		J19	123.673	834.4	470.2	27.022
GR0512FR1047	GR0512FR0022	R2311	J11	46.405	499.6	64.3	10.481
GR0512FR1048	GR0512FR0022	R2214	J14	6.433	321.9	159.0	6.524
GR0512FR1049	GR0512FR0022	R1312	J12	4.804	160.8	93.9	1.905
GR0512FR1050	GR0512FR0022		J8	8.161	294.3	40.7	4.51
GR0512FR1051	GR0512FR0022	R43	J3	3.838	15.5	5.0	3.114



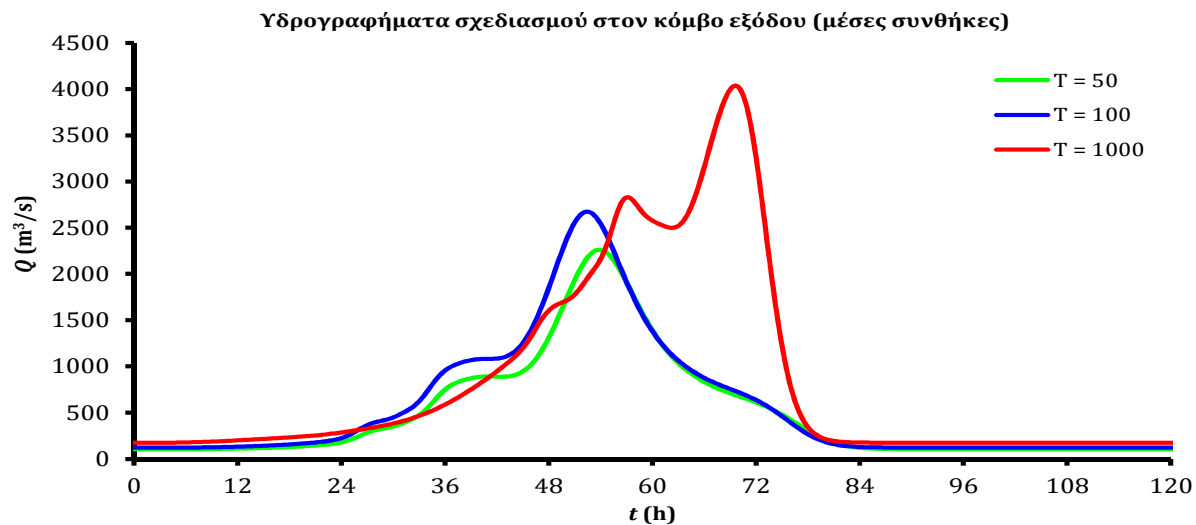
Εικόνα 6.2: Χάρτης περιοχής μελέτης, στον οποίο απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Πίνακας 6.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Καλαμά			
Έκταση (km ²)	1758.10	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	24.86
Μέγιστο μήκος ροής (km)	158.30	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	48.00
Μέσο υψόμετρο (m)	415.0	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	168.4	192.3	213.2
T = 100	177.8	210.9	242.5
T = 1000	200.5	276.9	374.9
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	32.8	98.2	160.6
T = 100	37.7	113.8	188.7
T = 1000	50.9	171.4	317.9
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.195	0.511	0.753
T = 100	0.212	0.539	0.778
T = 1000	0.254	0.619	0.848
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	608.5	2155.9	3548.0
T = 100	709.9	2549.8	4279.5
T = 1000	1293.8	3859.0	6574.5
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	57.688	172.682	282.409
T = 100	66.298	199.998	331.826
T = 1000	89.442	301.334	558.827
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	714.7	2262.1	3654.2
T = 100	833.8	2673.7	4403.4
T = 1000	1470.8	4036.0	6751.5
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	197.382	310.842	419.436
T = 100	229.189	361.027	491.400
T = 1000	321.794	530.282	784.182



6.3 Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Ιωαννίνων (Παμβώτιδα)

Το οροπέδιο Ιωαννίνων είναι μια κλειστή λεκάνη, μέρος της απορροής της οποίας τροφοδοτεί τη λίμνη Παμβώτιδα, ενώ το υπόλοιπο μέρος εκτρέπεται, μέσω της τάφρου Λάψιστας, στη λεκάνη του Καλαμά. Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης περιλαμβάνει 15 υπολεκάνες, 13 κόμβους και 11 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Στο μοντέλο, το οροπέδιο Ιωαννίνων χωρίζεται σε δύο διακριτά υποσυστήματα, που θεωρούνται (χωρίς να είναι στην πραγματικότητα) υδραυλικά ανεξάρτητα. Το ανάντη υποσύστημα αποτελείται από 10 υπολεκάνες που απορρέουν στη λίμνη Παμβώτιδα. Η λίμνη έχει πέντε κόμβους εισόδου (J5, J6, J7, J8, J11) και προσομοιώνεται ως ξεχωριστή υπολεκάνη (GR0514FL2009), η απορροή της οποίας συγκεντρώνεται στον εννοιολογικό κόμβο J40. Εφόσον η στάθμη της λίμνης υψωθεί πάνω από κάποιο όριο, ένα μέρος του αποθηκευμένου όγκου υπερχειλίζει προς το κατάντη υποσύστημα, το οποίο ξεκινά από κόμβο J4 (ταυτίζεται με τον J40, αλλά στο μοντέλο δεν συνδέεται) και καταλήγει στον κόμβο J1, από όπου εκτρέπεται προς τη λεκάνη του Καλαμά. Το κατάντη υποσύστημα έχει διαχωριστεί σε τέσσερις υπολεκάνες.

Η σχηματοποίηση των δύο υδρολογικών συστημάτων απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.3.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 340.8 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 550.0 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 458.4 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 43.3 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 18.1 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 48 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.928$.

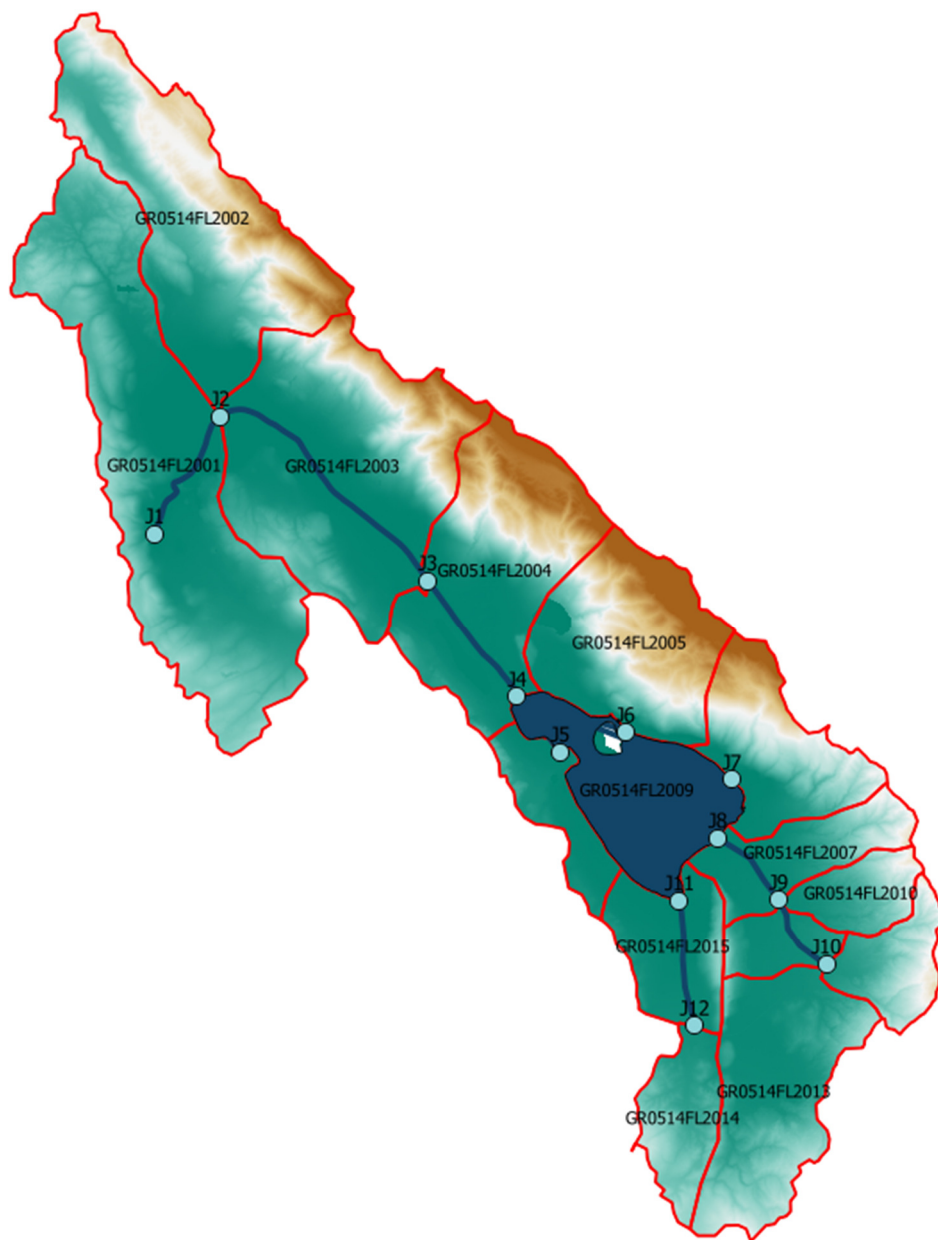
Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.5 και 6.6, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.7. Στο Παράρτημα Π2 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.5: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Ονομασία	Ανάκτη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	Τάφρος Λάψιστα	J2	J1	4.316	0.0010
R32	Τάφρος Λάψιστα	J3	J2	8.455	0.0005
R43		J4	J3	4.453	0.0001
R540		J5	J40	1.000	0.0000
R640		J6	J40	1.000	0.0000
R740		J7	J40	1.000	0.0000
R840		J8	J40	1.000	0.0044
R1140		J11	J40	1.000	0.0000
R98		J9	J8	2.663	0.0043
R109		J10	J9	2.549	0.0093
R1211		J12	J11	3.863	0.0080

Πίνακας 6.6: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0514FL2001	GR0514FL0030	R21	J1	61.129	577.6	458.4	14.1
GR0514FL2002	GR0514FL0030		J2	42.328	822.4	462.5	13.3
GR0514FL2003	GR0514FL0030	R32	J2	48.231	663.2	462.5	8.4
GR0514FL2004	GR0514FL0030	R43	J3	33.762	806.6	466.9	11.2
GR0514FL2005	GR0514FL0030		J6	26.266	971.5	467.3	11.3
GR0514FL2006	GR0514FL0030		J7	17.484	836.5	467.3	6.1
GR0514FL2007	GR0514FL0030	R98	J8	12.128	599.5	471.8	8.6
GR0514FL2008	GR0514FL0030		J5	8.451	489.8	467.3	5.0
GR0514FL2009	GR0514FL0030		J40	19.862	497.3	467.3	1.0
GR0514FL2010	GR0514FL0030		J9	7.223	660.6	483.2	6.1
GR0514FL2011	GR0514FL0030		J10	8.802	749.5	506.9	5.7
GR0514FL2012	GR0514FL0030	R109	J9	5.800	512.6	483.2	4.7
GR0514FL2013	GR0514FL0030		J10	26.259	597.2	506.9	10.9
GR0514FL2014	GR0514FL0030		J12	10.148	630.2	498.2	8.5
GR0514FL2015	GR0514FL0030	R1211	J11	12.915	500.8	467.3	7.5



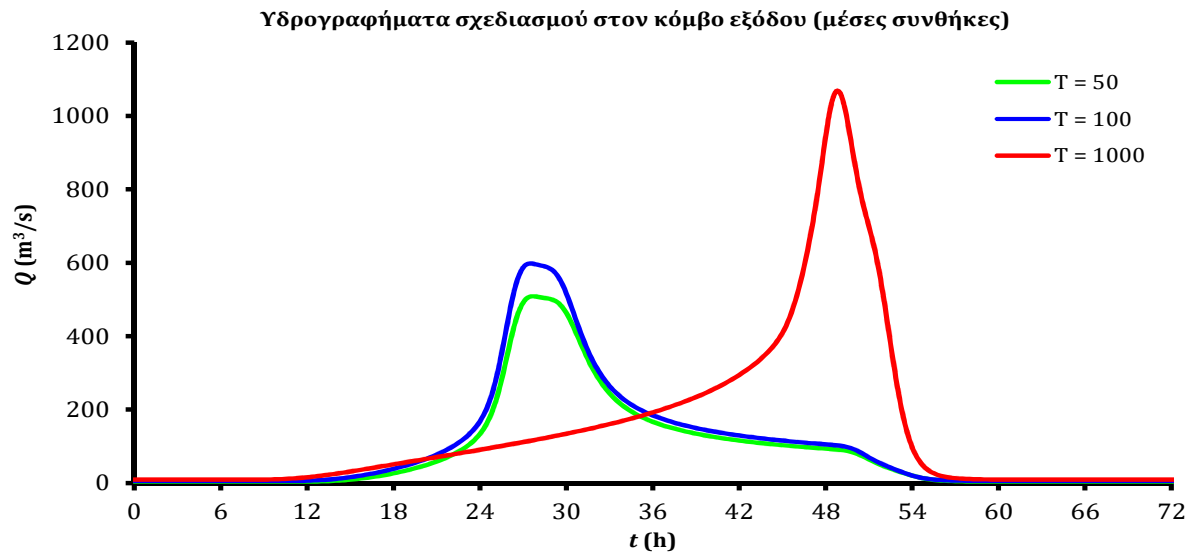
Εικόνα 6.3: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Πίνακας 6.7: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής οροπεδίου Ιωαννίνων			
Έκταση (km ²)	340.78	Υψόμετρο εξόδου (m)	458.4
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	5.54	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	18.12
Μέγιστο μήκος ροής (km)	43.31	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	48.00
Μέσο υψόμετρο (m)	550.0	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	201.2	233.6	261.1
T = 100	211.8	255.6	297.1
T = 1000	237.4	332.7	459.6
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	64.6	145.1	213.8
T = 100	71.4	164.8	249.0
T = 1000	88.3	235.6	409.2
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.321	0.621	0.819
T = 100	0.337	0.645	0.838
T = 1000	0.372	0.708	0.890
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	170.7	501.8	817.5
T = 100	195.4	587.9	975.1
T = 1000	390.0	1050.9	1746.2
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	22.020	49.434	72.872
T = 100	24.323	56.147	84.855
T = 1000	30.096	80.300	139.452
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	177.5	508.6	824.3
T = 100	205.6	598.1	985.3
T = 1000	407.0	1068.0	1763.2
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	13.014	27.096	39.708
T = 100	16.524	32.748	47.916
T = 1000	24.181	49.203	78.938



6.4 Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Ραβένια

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης του οροπεδίου Ραβένια αναπαριστάται ως μία υπολεκάνη (GR0514FR20021), η απορροή της οποίας συγκεντρώνεται στο χαμηλότερο σημείο της (κόμβος J1). Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.4.

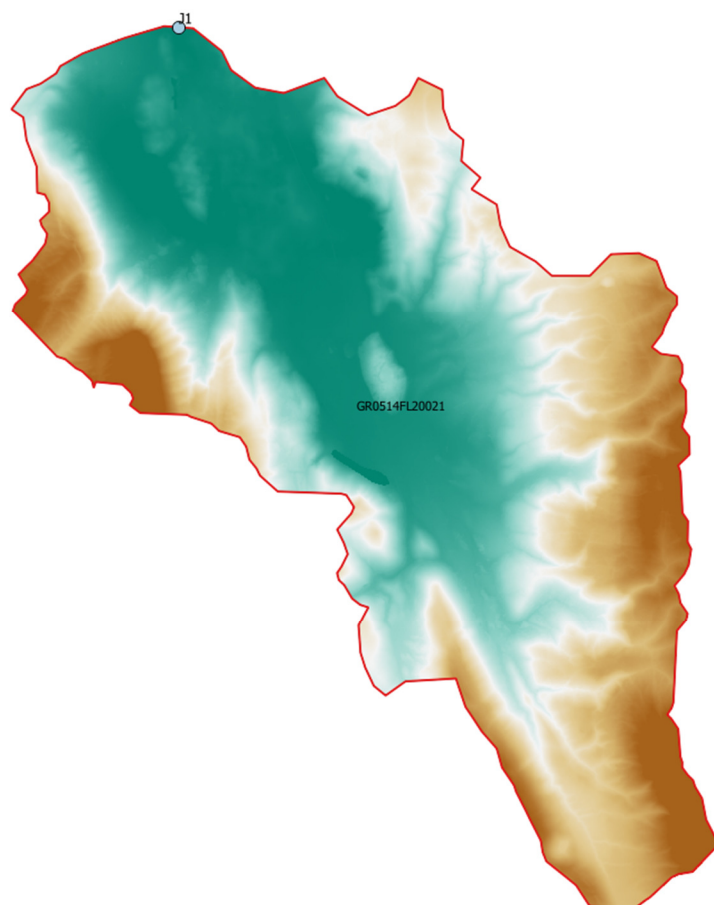
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 61.1 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 705.1 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 476.1 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 17.5 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 4.7 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 24 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.941$.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 6.8, ενώ στο Παράρτημα Π3 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης, και τα αντίστοιχα γραφήματα.



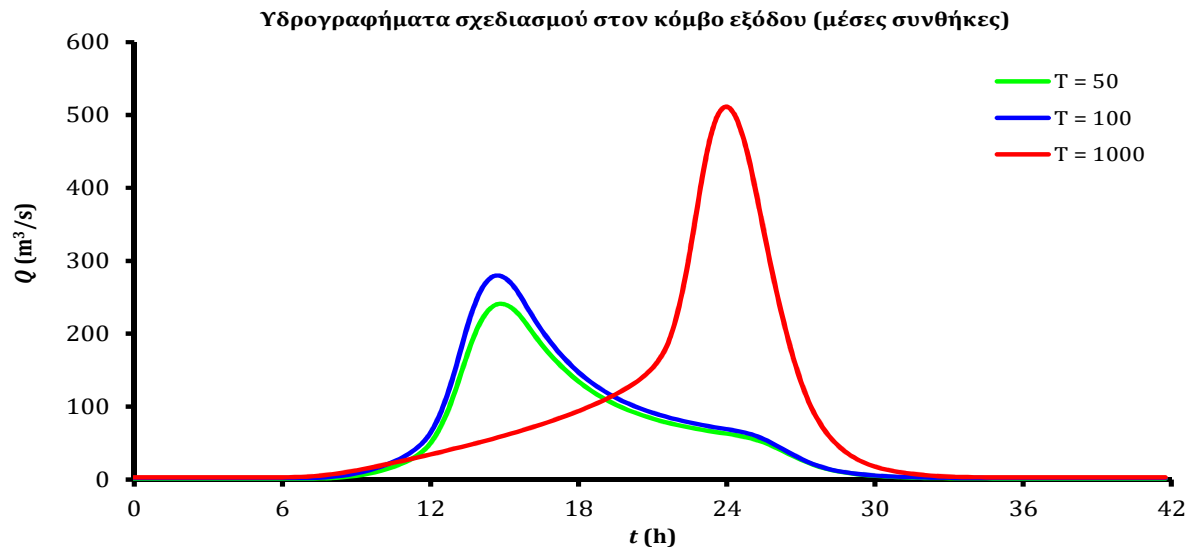
Εικόνα 6.4: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Πίνακας 6.8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής οροπεδίου Ρεβένια			
Έκταση (km ²)	61.08	Υψόμετρο εξόδου (m)	476.1
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	4.75
Μέγιστο μήκος ροής (km)	17.47	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	24.00
Μέσο υψόμετρο (m)	705.1	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	187.6	214.9	238.8
T = 100	195.3	232.0	267.2
T = 1000	213.1	291.9	394.5
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	31.9	106.4	178.3
T = 100	35.5	120.5	205.5
T = 1000	44.3	171.9	329.4
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.170	0.495	0.747
T = 100	0.182	0.519	0.769
T = 1000	0.208	0.589	0.835
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	56.8	239.6	412.5
T = 100	64.9	278.0	486.3
T = 1000	155.4	508.3	880.4
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	1.946	6.499	10.891
T = 100	2.166	7.359	12.552
T = 1000	2.706	10.496	20.121
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	58.0	240.8	413.7
T = 100	66.8	279.8	488.1
T = 1000	158.4	511.4	883.4
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	2.739	7.292	11.684
T = 100	3.355	8.548	13.741
T = 1000	4.687	12.477	22.103



6.5 Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Μπάφρα

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης του οροπεδίου Μπάφρα αναπαριστάται ως μία υπολεκάνη (GR0514FR20031), η απορροή της οποίας συγκεντρώνεται στο χαμηλότερο σημείο της (κόμβος J1). Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.5.

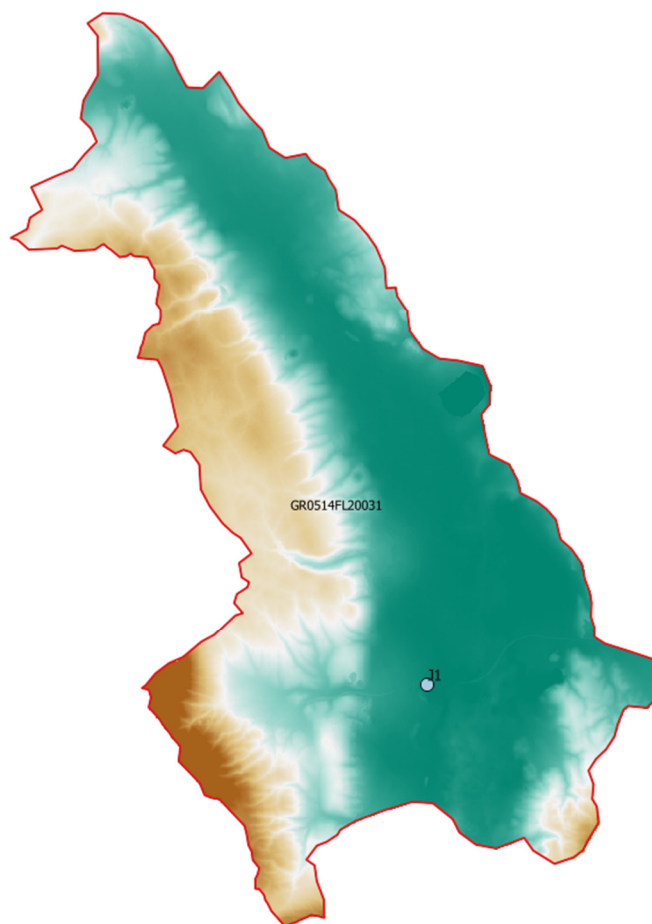
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 102.2 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 601.6 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 466.9 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 15.5 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 6.9 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 24 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.933$.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 6.9, ενώ στο Παράρτημα Π4 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης, και τα αντίστοιχα γραφήματα.



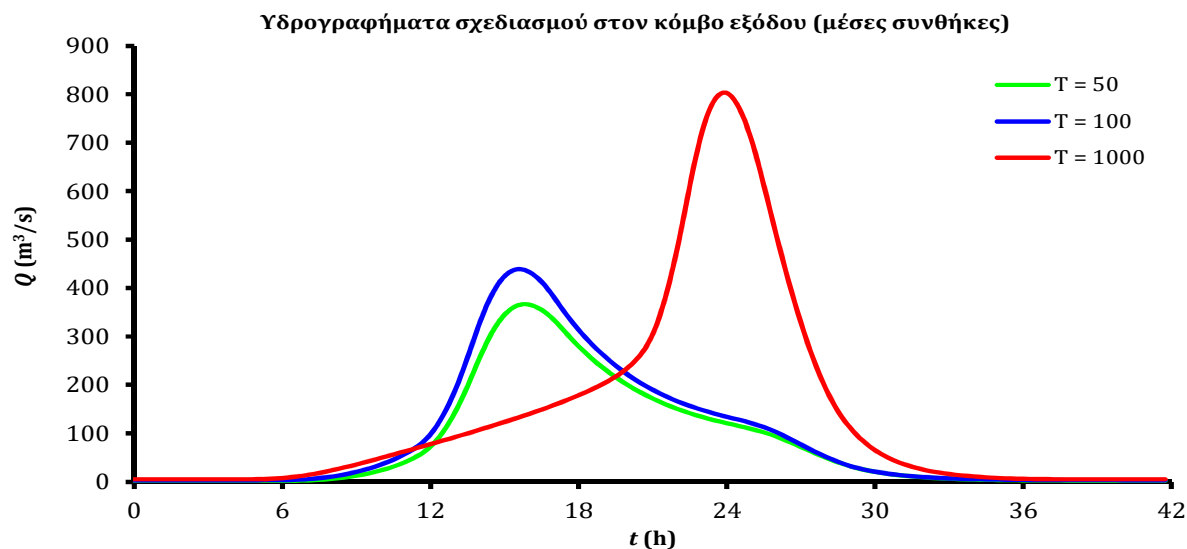
Εικόνα 6.5: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Πίνακας 6.9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής οροπεδίου Μπάφρα			
Έκταση (km ²)	102.17	Υψόμετρο εξόδου (m)	466.9
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	601.57	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	6.86
Μέγιστο μήκος ροής (km)	15.53	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	24.00
Μέσο υψόμετρο (m)	601.6	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	167.5	198.1	224.3
T = 100	177.8	219.1	258.4
T = 1000	202.7	292.8	414.1
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	40.6	114.6	179.7
T = 100	46.5	133.1	213.0
T = 1000	61.7	200.2	366.5
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.242	0.578	0.801
T = 100	0.261	0.607	0.824
T = 1000	0.305	0.684	0.885
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	111.8	364.6	581.1
T = 100	131.6	435.8	710.7
T = 1000	271.7	797.5	1383.2
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	4.150	11.704	18.362
T = 100	4.749	13.596	21.762
T = 1000	6.307	20.458	37.443
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	113.9	366.6	583.1
T = 100	134.6	438.8	713.7
T = 1000	276.8	802.6	1388.3
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	5.476	13.030	19.688
T = 100	6.738	15.585	23.751
T = 1000	9.622	23.773	40.758



6.6 Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Ασβεστοχωρίου

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης του οροπεδίου Ασβεστοχωρίου αναπαριστάται ως μία υπολεκάνη (GR0514FR2002), η απορροή της οποίας συγκεντρώνεται στο χαμηλότερο σημείο της (κόμβος J1). Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.6.

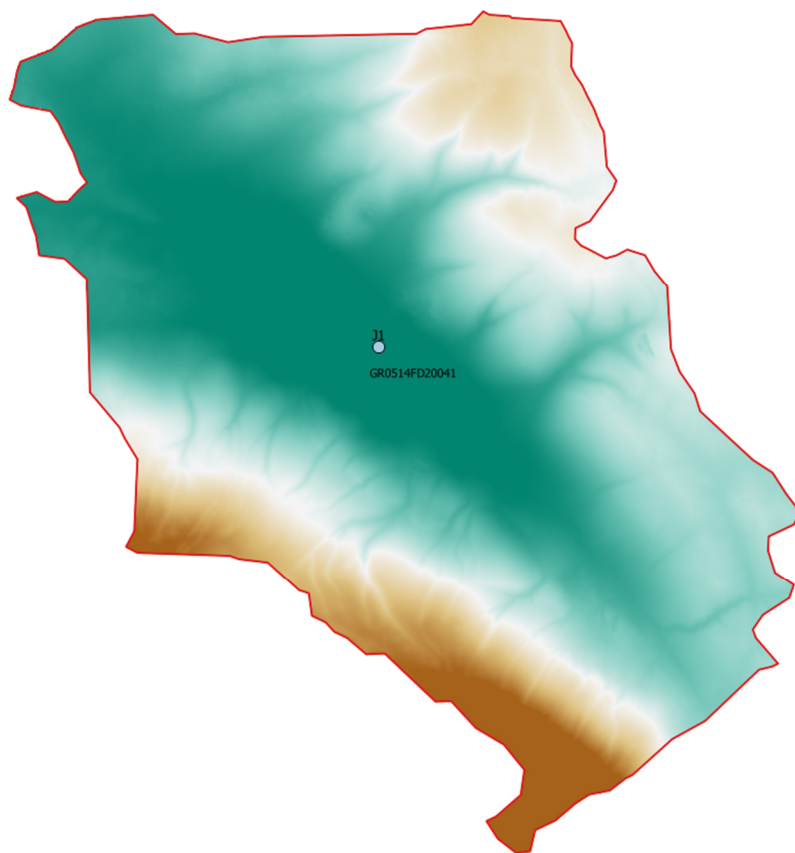
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 24.0 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 743.1 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 605.2 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 9.5 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 3.6 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 12 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.943$.

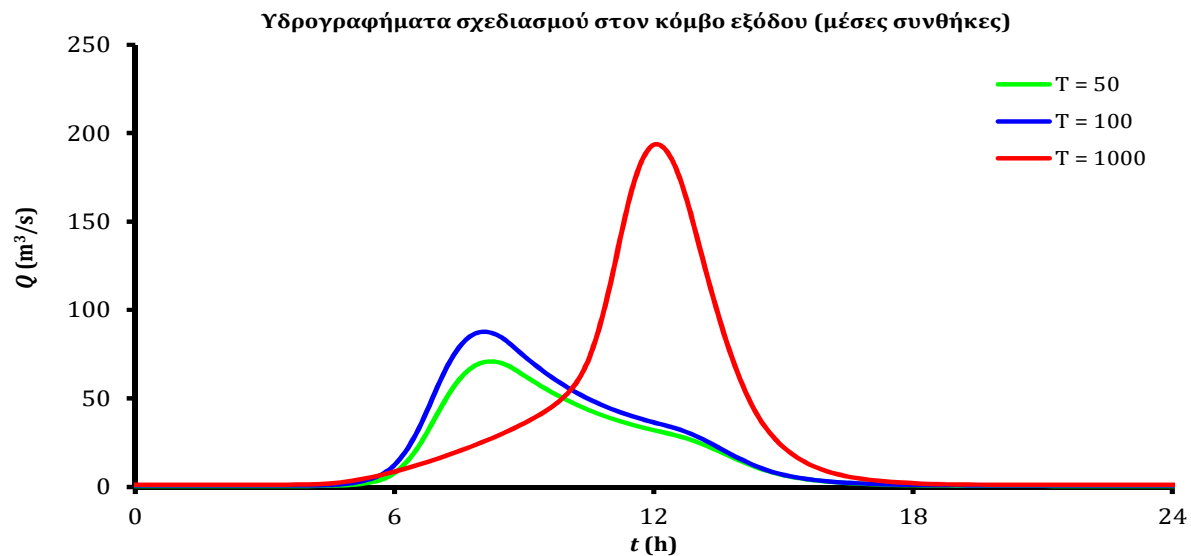
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 6.10, ενώ στο Παράρτημα Π5 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης, και τα αντίστοιχα γραφήματα.



Εικόνα 6.6: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Πίνακας 6.10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής οροπεδίου Ασβεστοχωρίου			
Έκταση (km ²)	24.03	Υψόμετρο εξόδου (m)	605.2
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	743.07	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	3.60
Μέγιστο μήκος ροής (km)	9.49	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	12.00
Μέσο υψόμετρο (m)	743.1	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	117.0	135.1	150.9
T = 100	124.2	149.0	172.7
T = 1000	142.6	197.5	270.4
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	9.6	52.2	101.4
T = 100	11.9	62.4	121.7
T = 1000	18.6	100.8	215.3
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.082	0.386	0.672
T = 100	0.096	0.419	0.705
T = 1000	0.131	0.511	0.796
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	10.3	70.4	144.3
T = 100	13.0	86.8	179.2
T = 1000	40.1	192.3	370.7
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	0.232	1.254	2.436
T = 100	0.287	1.499	2.925
T = 1000	0.448	2.423	5.173
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	10.8	70.9	144.8
T = 100	13.7	87.5	179.9
T = 1000	41.3	193.5	371.9
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	0.377	1.400	2.582
T = 100	0.505	1.718	3.143
T = 1000	0.812	2.787	5.537



6.7 Λεκάνη Απορροής Αράχθου

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Άραχθου περιλαμβάνει 65 υπολεκάνες, 30 κόμβους και 30 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Στον κόμβο J4 βρίσκεται το φράγμα Πουρναρίου, ανάντη του οποίου αναπτύσσεται ο ομώνυμος ταμιευτήρας, μέγιστης έκτασης (στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας) 20.6 km². Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 1795 km². Στο μοντέλο προσομοιώνεται ο κύριος κλάδος του Αράχθου, καθώς και οι σημαντικότεροι παραπόταμοί του, που είναι ο Ζαγορίτικος (κλάδος R1614), ο Μετσοβίτικος (κλάδοι R1817 και R1712), ο Καλαρύτικος (κλάδοι R2120, R2019, R1910), ο Σαραντάπορος (κλάδος R3130) και ο Καλεντίνης (Ρετσανόρεμα), ο οποίος εκβάλλει στον κόμβο J23. Οι κλάδοι R65, R54 και R225 επικαλύπτονται από τον ταμιευτήρα, ενώ οι κλάδοι R2322 και R3022 καλύπτονται μερικώς από τον ταμιευτήρα. Κατάντη του φράγματος, ο ποταμός ρέει κατά μήκος της διαδρομής J4-J3-J2-J1, εκβάλλοντας στον Αμβρακικό Κόλπο. Ο κόμβος J3 είναι η έξοδος της πόλης της Άρτας, που αποτελεί το πλέον σημαντικό, από πλευράς δυνητικών συνεπειών, τμήμα υψηλού πλημμυρικού κινδύνου της συγκεκριμένης λεκάνης.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.7.

Για την προσομοίωση της διόδευσης από τον υπερχειλιστή του ταμιευτήρα Πουρναρίου, γίνεται η παραδοχή ότι κατά την έναρξη όλων των επεισοδίων βροχής, ο ταμιευτήρας είναι σε πλήρη πλήρωση (στάθμη υπερχειλίστη, +107.5 m), ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης οι στρόβιλοι λειτουργούν στην πλήρη παροχευτικότητα τους, με σταθερή παροχή εκροής 500 m³/s. Ακόμη, θεωρείται ότι τα θυροφράγματα είναι πλήρως ανοιχτά, και συνεπώς η διόδευση γίνεται από ελεύθερο υπερχειλιστή, για τον οποίο λαμβάνεται πλάτος $b = 37.5$ m και συντελεστής απωλειών $c = 2.00$. Τέλος, εφαρμόζεται η σχέση στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα, το γράφημα της οποίας δίνεται στην Εικόνα 6.8.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 1917.9$ km²
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 600.0$ m
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0$ m

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 139.3 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 19.6 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 48 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$. Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.894$. Σημειώνεται, ακόμη, ότι ως μέσο υψόμετρο, το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης, λαμβάνεται η διάμεσος τιμή και όχι ο μέσος όρος των υψομέτρων, δεδομένου ότι κατά μήκος του κύριου κλάδου του Αράχθου αναπτύσσονται σαφώς μικρότερες κλίσεις συγκριτικά με τα εκατέρωθεν τμήματα.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.11 και 6.12, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.13. Στο Παράρτημα Π6 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.11: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	Άραχθος	J2	J1	7.708	0.0006
R32	Άραχθος	J3	J2	12.314	0.0007
R43	Άραχθος	J4	J3	5.364	0.0043
R54	Άραχθος	J5	J4	10.587	0.0032
R65	Άραχθος	J6	J5	11.527	0.0033
R76	Άραχθος	J7	J6	4.931	0.0087
R87	Άραχθος	J8	J7	4.496	0.0051
R98	Άραχθος	J9	J8	9.423	0.0068
R109	Άραχθος	J10	J9	9.719	0.0104
R1110	Άραχθος	J11	J10	12.626	0.0051
R1211	Άραχθος	J12	J11	11.051	0.0049
R1312	Άραχθος	J13	J12	10.192	0.0036
R1413	Άραχθος	J14	J13	1.04	0.0035
R1514	Άραχθος	J15	J14	15.922	0.0103
R1614	Ζαγορίτικος	J16	J14	13.259	0.0056
R1712	Μετσοβίτικος	J17	J12	11.197	0.0137
R1817	Μετσοβίτικος	J18	J17	12.009	0.0183
R1910	Καλαρύτικος	J19	J10	7.276	0.0138
R2019	Καλαρύτικος	J20	J19	2.952	0.0041
R2120	Καλαρύτικος	J21	J20	3.355	0.0415
R225	Ρετσανόρεμα	J22	J5	5.15	0.0073

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R2322	Ρετσανόρεμα	J23	J22	6.985	0.0036
R2423	Ρετσανόρεμα	J24	J23	6.335	0.0063
R2524	Ρετσανόρεμα	J25	J24	4.776	0.0105
R2625	Ρετσανόρεμα	J26	J25	2.714	0.0134
R2726	Ρετσανόρεμα	J27	J26	6.471	0.0189
R2824	Ρετσανόρεμα	J28	J24	9.044	0.0102
R2928		J29	J28	6.52	0.0154
R3022	Σαραντάπορος	J30	J22	5.185	0.0070
R3130	Σαραντάπορος	J31	J30	12.85	0.0117

Πίνακας 6.12: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0514FR003001	GR0514FL0012		J15	46.019	1194.8	659.5	12.4
GR0514FR003002	GR0514FL0012		J15	33.644	1239.9	659.5	10.8
GR0514FR003003	GR0514FL0012	R1614	J14	51.675	835.5	495.5	17.1
GR0514FR003004	GR0514FL0012	R1514	J14	62.347	845.4	495.5	18.4
GR0514FR003005	GR0514FL0012	R1413	J13	0.914	548.3	491.9	2.4
GR0514FR003006	GR0514FL0012		J13	19.252	899.6	491.9	13.5
GR0514FR003007	GR0514FL0012	R1312	J12	23.355	653.7	455.6	13.2
GR0514FR003008	GR0514FL0012	R1712	J12	46.022	981.6	455.6	17.1
GR0514FR003009	GR0514FL0012		J17	18.07	1504.0	608.7	10.0
GR0514FR003010	GR0514FL0012	R1817	J17	90.496	1129.4	608.7	18.7
GR0514FR003011	GR0514FL0012		J18	26.555	1300.6	828.5	9.7
GR0514FR003012	GR0514FL0012		J18	29.385	1501.4	828.5	11.6
GR0514FR003013	GR0514FL0012	R1211	J11	44.12	802.2	401.7	15.9
GR0514FR003014	GR0514FL0012		J11	22.293	1350.6	401.7	9.9
GR0514FR003015	GR0514FL0012		J21	51.111	1608.0	589.8	17.6
GR0514FR003016	GR0514FL0012		J21	20.252	1439.5	589.8	7.7
GR0514FR003017	GR0514FL0012		J21	26.546	1570.5	589.8	9.8
GR0514FR003018	GR0514FL0012	R2120	J20	4.658	769.5	450.5	4.11
GR0514FR003019	GR0514FL0012		J20	56.357	1223.6	450.5	17.172
GR0514FR003020	GR0514FL0012	R2019	J19	10.483	719.7	438.4	5.548

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0514FR003021	GR0514FL0012		J19	14.839	953.1	438.4	8.709
GR0514FR003022	GR0514FL0012	R1110	J10	68.593	762.3	337.8	16.042
GR0514FR003023	GR0514FL0012	R1910	J10	35.954	752.9	337.8	8.72
GR0514FR003024	GR0514FL0012	R109	J9	55.269	764.1	237.2	17.804
GR0514FR003025	GR0514FL0012		J9	30.823	778.3	237.2	12.324
GR0514FR003026	GR0514FL0012		J9	12.642	935.2	237.2	10.442
GR0514FR003027	GR0514FL0012	R98	J8	75.07	898.6	173.5	18.888
GR0514FR003028	GR0514FL0012		J8	25.465	824	173.5	12.652
GR0514FR003029	GR0514FL0012	R87	J7	14.963	454.9	150.6	10.202
GR0514FR003030	GR0514FL0012		J7	14.023	758.2	150.6	12.03
GR0514FR003031	GR0514FL0012		J7	21.307	735.7	150.6	13.314
GR0514FR003032	GR0514FL0012	R76	J6	17.847	419.7	107.5	9.256
GR0514FR003033	GR0514FL0012	IN	J6	17.546	1142.5	107.5	13.04
GR0514FR003034	GR0514FL0012	R65	J5	83.423	447.9	70.0	19.006
GR0514FR003035	GR0514FL0012		J31	13.028	862.4	294.4	9.452
GR0514FR003036	GR0514FL0012		J31	48.704	766.2	294.4	15.408
GR0514FR003037	GR0514FL0012	R3130	J30	32.675	386.7	143.8	16.942
GR0514FR003038	GR0514FL0012		J30	25.233	386.6	143.8	12.089
GR0514FR003039	GR0514FL0012	R3022	J22	8.723	260.1	107.5	7.309
GR0514FR003040	GR0514FL0012	R2322	J22	22.702	294.5	107.5	11.031
GR0514FR003041	GR0514FL0012		J23	11.302	377.4	132.8	7.834
GR0514FR003042	GR0514FL0012	R2423	J23	9.379	282.9	132.8	8.086
GR0514FR003043	GR0514FL0012	R2824	J24	29.889	401.3	172.4	12.169
GR0514FR003044	GR0514FL0012		J24	19.824	596.3	172.4	12.317
GR0514FR003045	GR0514FL0012		J26	19.468	985.6	258.8	11.636
GR0514FR003046	GR0514FL0012	R2524	J24	5.628	300.6	172.4	6.493
GR0514FR003047	GR0514FL0012		J25	17.53	444	222.5	11.271
GR0514FR003048	GR0514FL0012	R2625	J25	3.984	379	222.5	4.347
GR0514FR003049	GR0514FL0012	R2726	J26	37.368	591.3	258.8	15.122
GR0514FR003051	GR0514FL0012		J27	17.158	703.5	381.2	9.816
GR0514FR003052	GR0514FL0012		J27	20.256	768.5	381.2	10.351

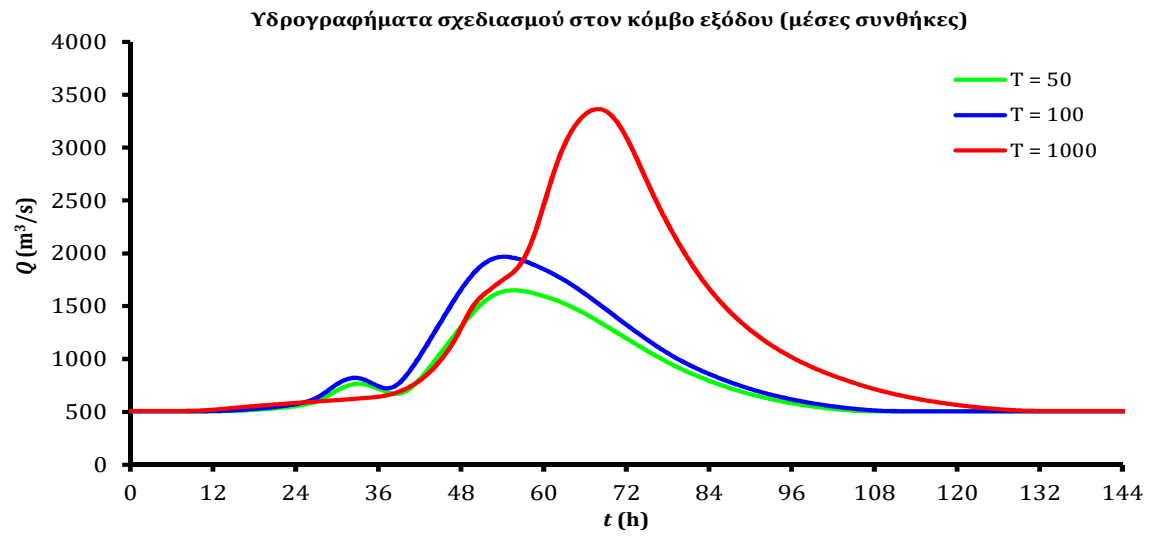
Β' ΦΑΣΗ

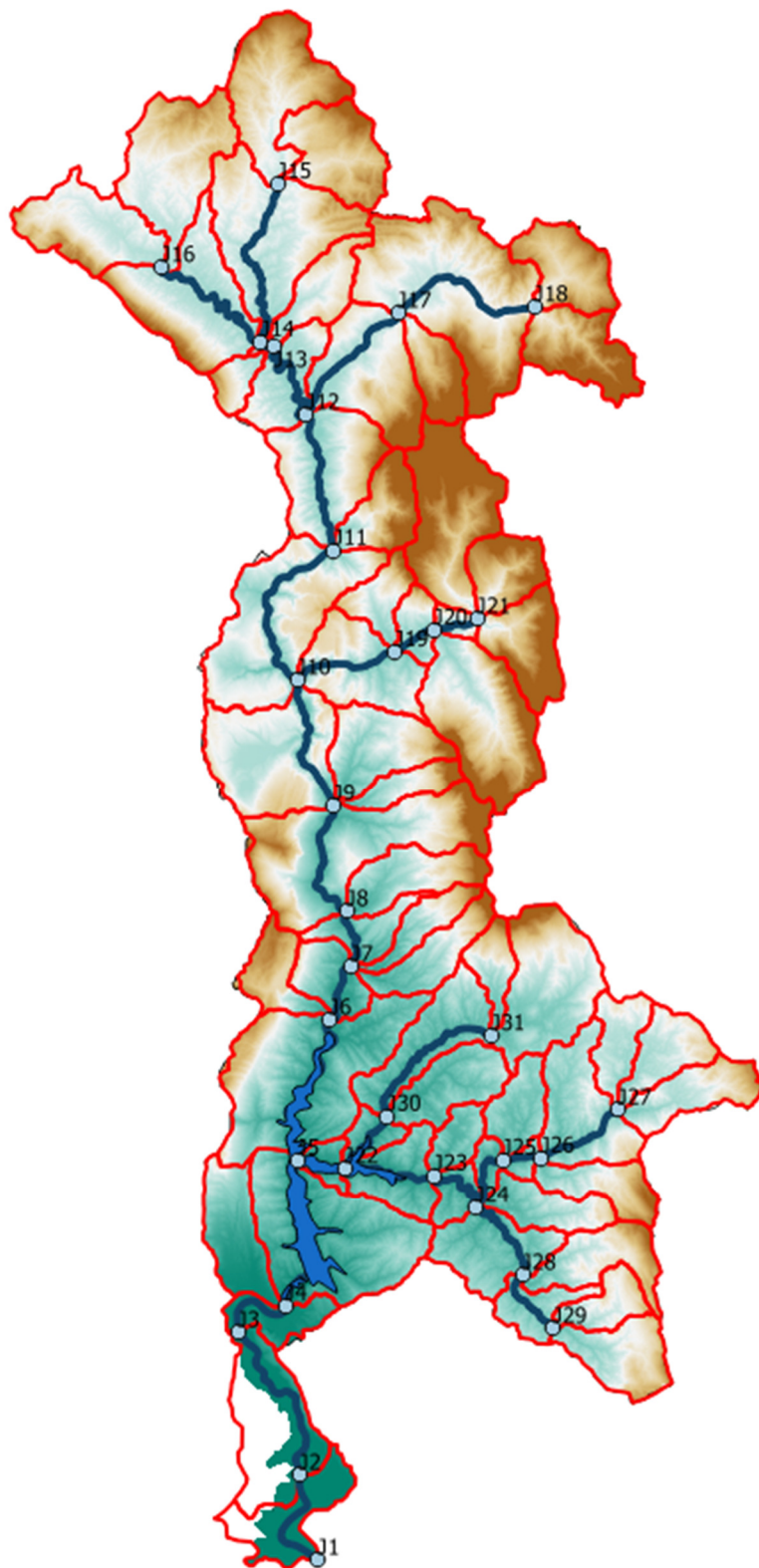
Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0514FR003053	GR0514FL0012		J27	23.121	867.4	381.2	12.577
GR0514FR003054	GR0514FL0012		J28	25.242	926.2	264.9	15.141
GR0514FR003055	GR0514FL0012		J29	14.626	838.1	365.3	9.955
GR0514FR003056	GR0514FL0012		J29	25.332	879.6	365.3	10.93
GR0514FR003057	GR0514FL0012	R2928	J28	14.185	514.6	264.9	9.158
GR0514FR003058	GR0514FL0012	R54	J4	75.127	274.2	36.2	17.307
GR0514FR003059	GR0514FL0012	R43	J3	14.457	69.2	13.3	13.605
GR0514FR003060	GR0514FL0012	R21	J1	25.816	3.9	0.0	5.105
GR0514FR003061	GR0514FL0012		J16	37.419	908	570.1	11.288
GR0514FR003062	GR0514FL0012		J16	48.982	992.3	570.1	15.045
GR0514FR003063	GR0514FL0012		J4	28.059	280.3	36.2	12.653
GR0514FR003065	GR0514FL0012		J13	8.812	925	491.9	7.843
GR0514FR003066	GR0514FL0012	R225	J5	6.915	204.8	70.0	2.946
GR0514FR003067	GR0514FL0012	R32	J2	46.662	28.1	5.0	7.819

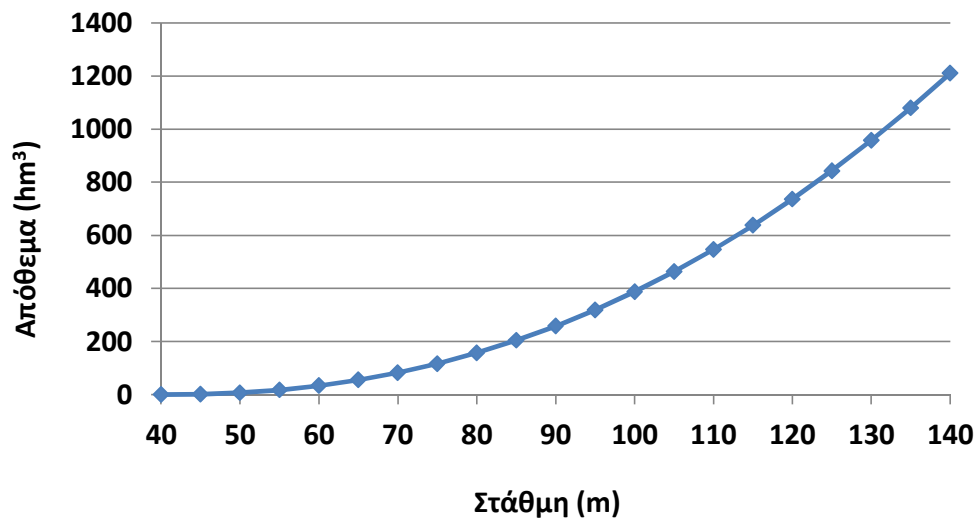
Πίνακας 6.13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Αράχθου			
Έκταση (km ²)	1917.88	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.31	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	19.60
Μέγιστο μήκος ροής (km)	139.30	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	48.00
Μέσο υψόμετρο (m)	600.0	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	195.0	223.4	248.0
T = 100	205.6	245.1	282.3
T = 1000	234.9	327.7	446.1
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	67.0	145.0	207.4
T = 100	74.4	164.9	241.2
T = 1000	96.2	242.8	403.4
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.343	0.649	0.837
T = 100	0.362	0.673	0.854
T = 1000	0.410	0.741	0.904
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	539.9	1535.4	2457.1
T = 100	626.5	1834.4	2976.1
T = 1000	934.3	3173.7	5461.1
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	128.442	278.089	397.840
T = 100	142.756	316.347	462.650
T = 1000	184.526	465.580	773.630
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	654.4	1650.0	2571.7
T = 100	760.1	1968.0	3109.7
T = 1000	1125.2	3364.6	5652.0
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	695.506	815.694	927.379
T = 100	708.584	856.603	995.372
T = 1000	745.127	1004.648	1305.775





Εικόνα 6.7: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών



Εικόνα 6.8: Σχέση στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα Πουρναρίου (στέψη υπερχειλιστή +107.5 m)

6.8 Λεκάνη Απορροής Διπόταμου

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Διπόταμου περιλαμβάνει 17 υπολεκάνες, 12 κόμβους και 11 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.10.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 224.7 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 340.0 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 31.7 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 7.3 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 24 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.917$.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.14 και 6.15, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.16. Στο Παράρτημα Π7 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.14: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

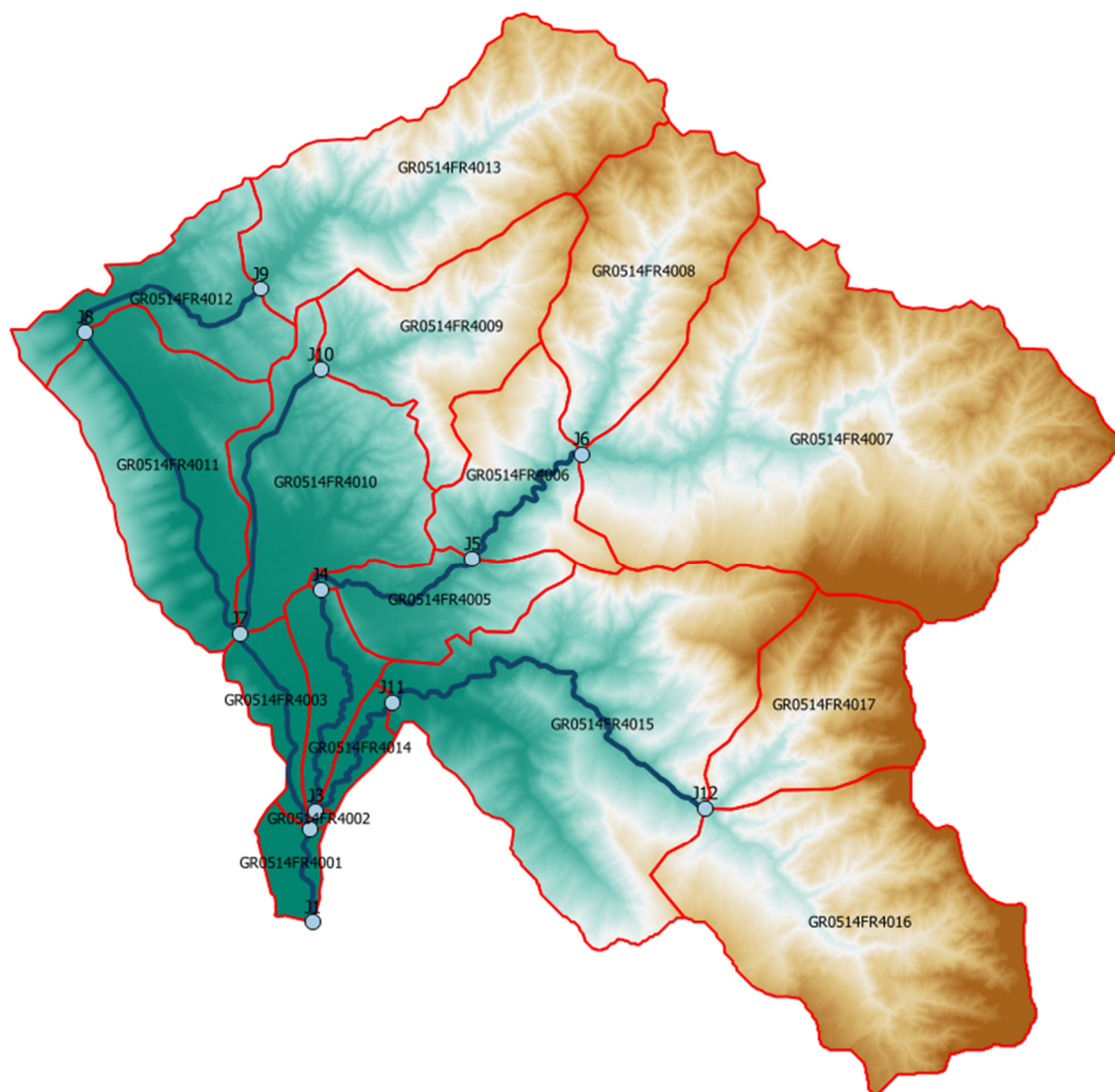
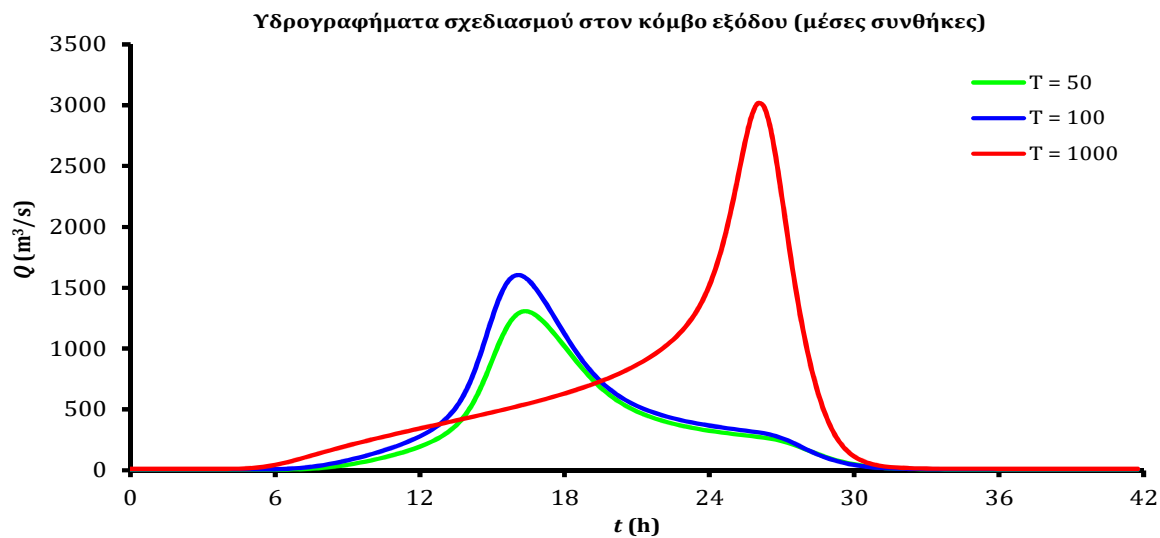
Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάληψη	Κατάληψη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0514FR4001	Διπόταμο	J2	J1	1.952	0.0018
R32	GR0514FR4002	Διπόταμο	J3	J2	0.392	0.0056
R43	GR0514FR4004	Διπόταμο	J4	J3	5.446	0.0041
R54	GR0514FR4005	Διπόταμο	J5	J4	4.198	0.0121
R65	GR0514FR4006	Διπόταμο	J6	J5	4.181	0.0169
R72	GR0514FR4003		J7	J2	4.285	0.0033
R87	GR0514FR4011		J8	J7	6.718	0.0024
R98	GR0514FR4012		J9	J8	4.414	0.0125
R107	GR0514FR4010		J10	J7	5.618	0.0141
R113	GR0514FR4014	Μαντάνι	J11	J3	3.708	0.0024
R1211	GR0514FR4015	Μαντάνι	J12	J11	8.720	0.0198

Πίνακας 6.15: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0516FR4001	GR0516FR0014	R21	J1	1.952	1.1	0.0	2.2
GR0516FR4002	GR0516FR0015	R32	J2	0.129	3.6	3.5	0.6
GR0516FR4003	GR0516FR0016	R72	J2	3.139	16.5	3.5	4.3
GR0516FR4004	GR0516FR0017	R43	J3	3.813	19.1	5.7	5.5
GR0516FR4005	GR0516FR0018	R54	J4	6.292	123.2	28.2	6.7
GR0516FR4006	GR0516FR0019	R65	J5	8.523	306.4	78.8	6.4
GR0516FR4007	GR0516FR0020	IN	J6	45.766	491.9	149.5	15.5
GR0516FR4008	GR0516FR0021	IN	J6	14.212	455.8	149.5	8.2
GR0516FR4009	GR0516FR0022	IN	J10	12.225	366.5	96.9	7.4
GR0516FR4010	GR0516FR0023	R107	J7	13.421	101.2	17.4	8.8
GR0516FR4011	GR0516FR0024	R87	J7	14.76	73.0	17.4	9.7
GR0516FR4012	GR0516FR0025	R98	J8	8.257	112.2	33.9	5.5
GR0516FR4013	GR0516FR0026	IN	J9	22.157	376.9	89.3	11.6
GR0516FR4014	GR0516FR0027	R113	J3	1.471	8.1	5.7	3.9
GR0516FR4015	GR0516FR0028	R1211	J11	32.029	266.2	14.5	11.1
GR0516FR4016	GR0516FR0029	IN	J12	25.771	521.2	186.8	9.6
GR0516FR4017	GR0516FR0030	IN	J12	10.837	543.2	186.8	6.5

Πίνακας 6.16: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Διπόταμου			
Έκταση (km ²)	224.75	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	7.29
Μέγιστο μήκος ροής (km)	31.69	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	24.00
Μέσο υψόμετρο (m)	340.0	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	197.9	230.4	257.3
T = 100	215.9	262.7	304.9
T = 1000	270.6	390.7	536.7
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	72.6	155.4	219.2
T = 100	85.4	185.4	266.2
T = 1000	127.2	307.6	496.3
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.367	0.674	0.852
T = 100	0.396	0.706	0.873
T = 1000	0.470	0.787	0.925
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	562.2	1299.4	1812.5
T = 100	684.6	1596.3	2271.7
T = 1000	1450.8	3004.2	4661.1
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	16.306	34.928	49.267
T = 100	19.201	41.673	59.831
T = 1000	28.583	69.137	111.555
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	566.7	1303.9	1817.0
T = 100	691.3	1603.0	2278.4
T = 1000	1462.0	3015.4	4672.4
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	19.223	37.845	52.184
T = 100	23.577	46.048	64.206
T = 1000	35.875	76.430	118.848



Εικόνα 6.9: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

6.9 Λεκάνη Απορροής Λούρου

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Λούρου περιλαμβάνει 33 υπολεκάνες, 21 κόμβους και 20 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Στον κόμβο J21 βρίσκεται το ομώνυμο φράγμα, ανάντη του οποίου αναπτύσσεται μικρός ταμιευτήρας, που λόγω της πλήρωσής του με φερτά λειτουργεί, στην πράξη, ως μικρό υδροηλεκτρικό έργο (χωρίς αναρρύθμιση). Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 319 km². Το κατάντη τμήμα του ποταμού, μετά τον κόμβο J7, είναι διευθετημένο και προστατεύεται από αναχώματα. Μάλιστα, το αριστερό ανάχωμα ορίζει έναν τεχνητό υδροκρίτη, που εμποδίζει την εισροή νερού από το ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Το τμήμα αυτό, που εκτείνεται μεταξύ του κάτω ρου των ποταμών Άραχθου και Λούρου (πεδιάδα Άρτας), προσομοιώνεται ως κλειστό υδρολογικό σύστημα (λεκάνη GR0513FR11000).

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.10.

Για την προσομοίωση της διόδευσης από τον υπερχειλιστή του ταμιευτήρα Λούρου, γίνεται η παραδοχή ότι κατά την έναρξη όλων των επεισοδίων βροχής, ο ταμιευτήρας είναι σε πλήρη πλήρωση (στάθμη υπερχείλισης, +96.0 m), ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης πραγματοποιείται εκροή μόνο διαμέσου του υπερχειλιστή (η διάρκεια την πλημμύρας είναι τέτοια που η υπόθεση λειτουργίας των στροβίλων στην πλήρη παροχετευτικότητά τους οδηγεί σε άδεια του ταμιευτήρα). Λαμβάνεται ελεύθερος υπερχειλιστής, ενεργού πλάτους $b = 73.5$ m και συντελεστή απωλειών $c = 2.00$. Τέλος, εφαρμόζεται η σχέση στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα, το γράφημα της οποίας δίνεται στην Εικόνα 6.11.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 818.5$ km²
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 215.0$ m
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0$ m
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{max} = 56.7$ km
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 17.0$ h

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 48$ h και χρονικό βήμα $\Delta t = 15$ min.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.912$.

Σημειώνεται, ακόμη, ότι ως μέσο υψόμετρο, το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης, λαμβάνεται η διάμεσος τιμή και όχι ο μέσος όρος των υψομέτρων, δεδομένου ότι σε μεγάλο μέρος της λεκάνης αναπτύσσονται εξαιρετικά μικρές κλίσεις.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.17 και 6.18, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.19. Στο Παράρτημα Π8 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.17: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	Λούρος	J2	J1	3.138	0.0005
R32	Λούρος	J3	J2	4.844	0.0005
R43	Λούρος	J4	J3	3.595	0.0001

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Ονομασία	Ανάτη	Κατάτη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R54	Λούρος	J5	J4	1.195	0.0044
R65	Λούρος	J6	J5	8.499	0.0003
R76	Λούρος	J7	J6	5.041	0.0006
R87	Λούρος	J8	J7	5.571	0.0020
R218	Λούρος	J21	J8	9.241	0.0014
R921	Λούρος	J9	J21	9.241	0.0028
R109	Λούρος	J10	J9	11.275	0.0031
R1110	Λούρος	J11	J10	1.127	0.0074
R1211	Λούρος	J12	J11	16.009	0.0082
R1312		J13	J12	2.367	0.0160
R147		J14	J7	11.597	0.0107
R155		J15	J5	4.841	0.0015
R1615		J16	J15	4.027	0.0042
R1715		J17	J15	21.806	0.0041
R184		J18	J4	3.968	0.0041
R193		J19	J3	1.851	0.0039
R2019		J20	J19	4.256	0.0019

Πίνακας 6.18: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0513FR5001	GR0513FR0017	R21	J1	9.833	35.5	0.0	6.742
GR0513FR5002	GR0513FR0017	R32	J2	6.786	9.5	1.7	6.663
GR0513FR5003	GR0513FR0017	R193	J3	2.795	11.7	4.3	3.728
GR0513FR5004	GR0513FR0017	R43	J3	17.162	69.7	4.3	6.960
GR0513FR5005	GR0513FR0017	R54	J4	3.126	10.4	4.6	2.992
GR0513FR5006	GR0513FR0017	R65	J5	19.600	88.5	9.8	6.506
GR0513FR5007	GR0513FR0017	R76	J6	4.198	27.9	12.5	3.750
GR0513FR5008	GR0513FR0017	R87	J7	11.228	48.7	15.7	7.023
GR0513FR5009	GR0513FR0017	R218	J8	19.123	182.2	26.6	10.098
GR0513FR5010	GR0513FR0017	R109	J9	36.473	279.4	121.2	15.750
GR0513FR5011	GR0513FR0017	R1110	J10	4.016	439.8	155.7	6.215
GR0513FR5012	GR0513FR0017	R1211	J11	74.491	617.5	164.1	21.793

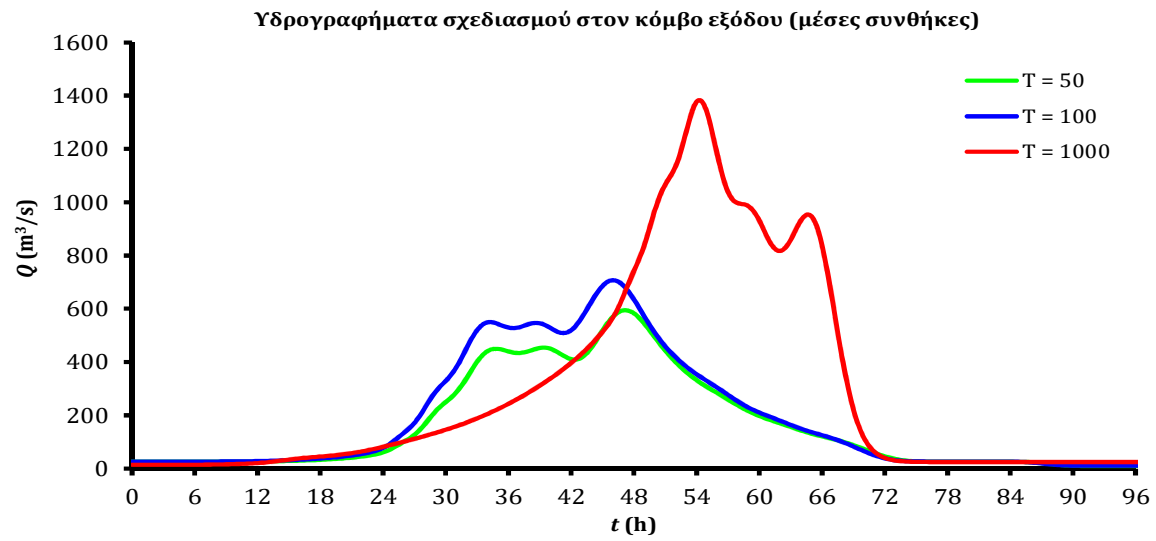
Β' ΦΑΣΗ

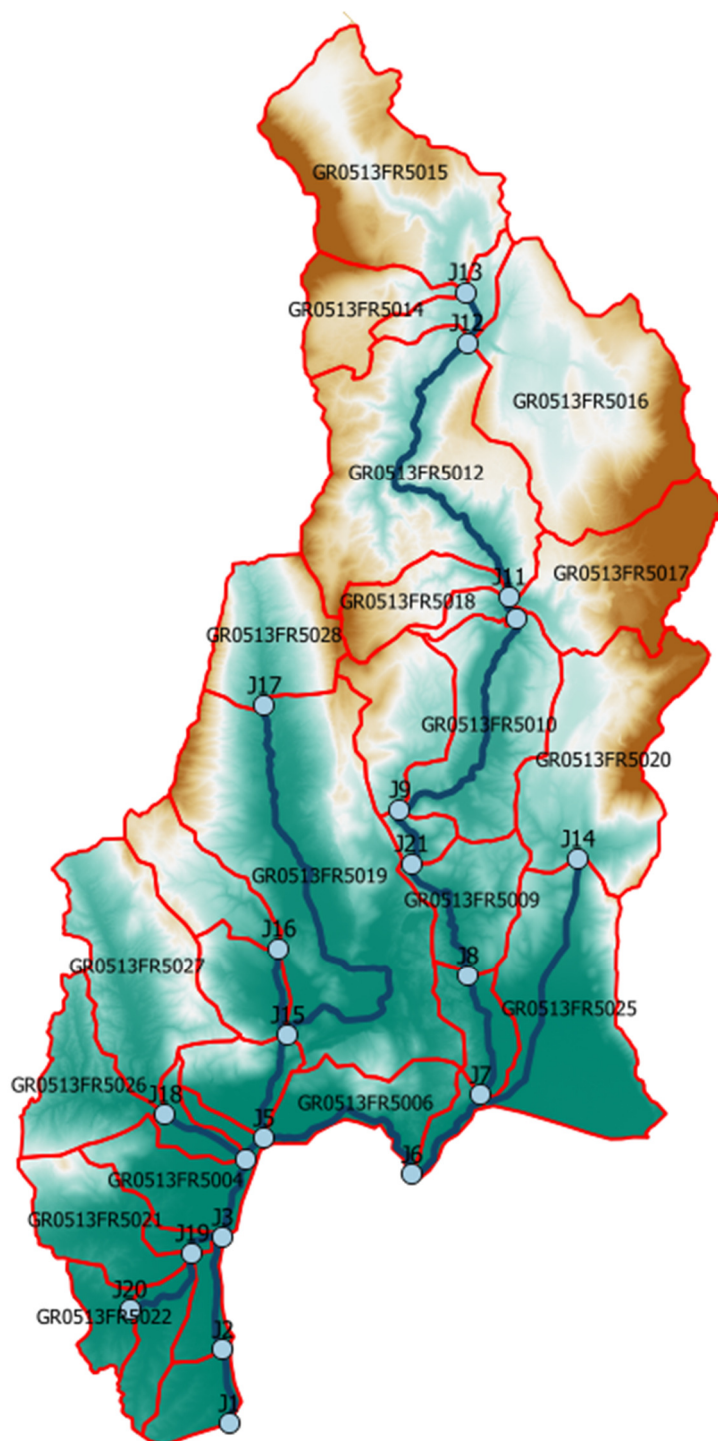
Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0513FR5013	GR0513FR0017	R1312	J12	8.719	493.4	294.6	6.665
GR0513FR5014	GR0513FR0017		J13	17.213	876.0	332.6	10.259
GR0513FR5015	GR0513FR0017		J13	56.912	834.4	332.6	16.659
GR0513FR5016	GR0513FR0017		J12	70.549	772.1	294.6	17.169
GR0513FR5017	GR0513FR0017		J11	33.261	1035.0	164.1	13.742
GR0513FR5018	GR0513FR0017		J11	14.021	756.7	164.1	9.670
GR0513FR5019	GR0513FR0017	R1715	J15	105.270	257.8	17.0	24.146
GR0513FR5020	GR0513FR0017		J14	49.324	683.5	140.2	15.684
GR0513FR5021	GR0513FR0017		J19	21.129	168.6	11.5	11.580
GR0513FR5022	GR0513FR0017		J20	8.225	54.7	19.5	4.586
GR0513FR5023	GR0513FR0017	R2019	J19	11.054	39.4	11.5	9.041
GR0513FR5024	GR0513FR0017	R184	J4	5.881	43.1	4.6	5.398
GR0513FR5025	GR0513FR0017	R147	J7	50.606	109.6	15.7	13.310
GR0513FR5026	GR0513FR0017		J18	20.262	215.4	20.9	9.006
GR0513FR5027	GR0513FR0017		J18	40.562	348.1	20.9	16.845
GR0513FR5028	GR0513FR0017		J17	26.175	534.0	106.9	9.071
GR0513FR5029	GR0513FR0017		J9	21.975	590.5	121.2	12.806
GR0513FR5030	GR0513FR0017	R155	J5	13.434	170.1	9.8	6.172
GR0513FR5031	GR0513FR0017	R1615	J15	13.120	206.5	17.0	7.618
GR0513FR5032	GR0513FR0017		J16	17.352	514.1	33.9	11.761
GR0513FR5033	GR0513FR0017	R921	J21	4.625	238.0	95.6	3.872

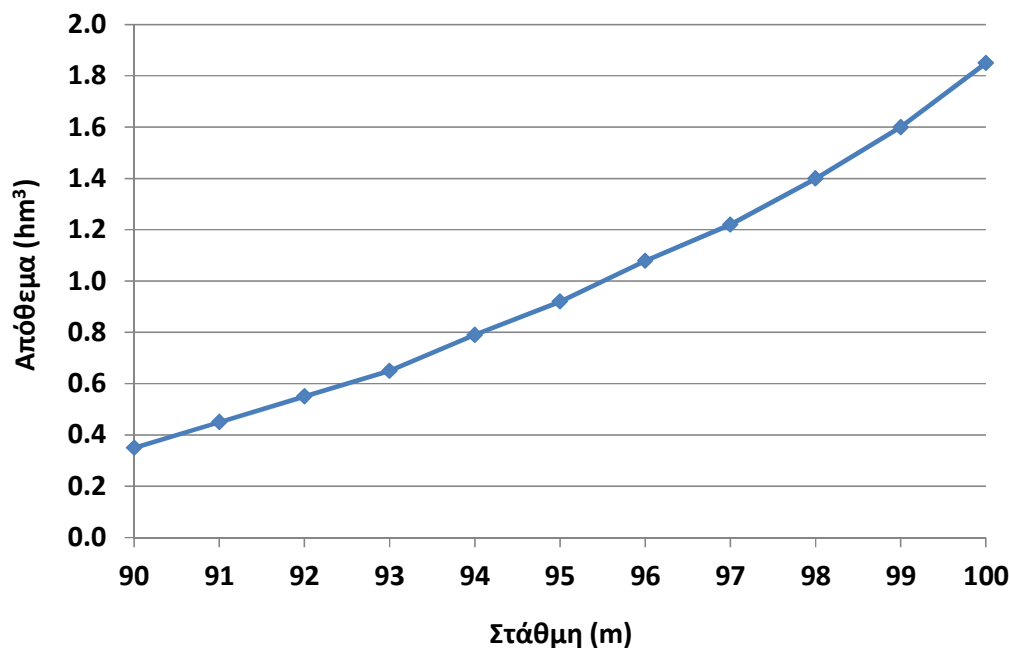
Πίνακας 6.19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Λούρου			
Έκταση (km ²)	818.45	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	17.01
Μέγιστο μήκος ροής (km)	56.70	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	48.00
Μέσο υψόμετρο (m)	215.0	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	139.4	157.7	173.5
T = 100	147.2	172.4	196.0
T = 1000	168.4	226.8	298.2
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	14.9	61.4	114.7
T = 100	17.8	72.3	135.4
T = 1000	26.7	115.3	232.4
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.107	0.390	0.661
T = 100	0.121	0.419	0.691
T = 1000	0.159	0.508	0.779
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	118.4	577.9	1114.2
T = 100	140.2	689.1	1335.2
T = 1000	330.0	1358.7	2551.4
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	12.215	50.291	93.880
T = 100	14.549	59.190	110.842
T = 1000	21.885	94.370	190.227
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	134.8	594.2	1130.6
T = 100	158.2	707.1	1353.2
T = 1000	354.6	1383.3	2575.9
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	33.706	72.753	116.318
T = 100	38.202	83.783	135.406
T = 1000	54.184	126.748	222.666





Εικόνα 6.10: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών



Εικόνα 6.11: Σχέση στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα Λούρου (στέψη υπερχειλιστή +96.0 m)

6.10 Λεκάνη Απορροής Αρεθούα

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ρέματος Αρεθούα περιλαμβάνει 6 υπολεκάνες, 4 κόμβους και 3 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.12.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 71.8 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 309.0 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 29.9 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 5.6 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 24 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.939$.

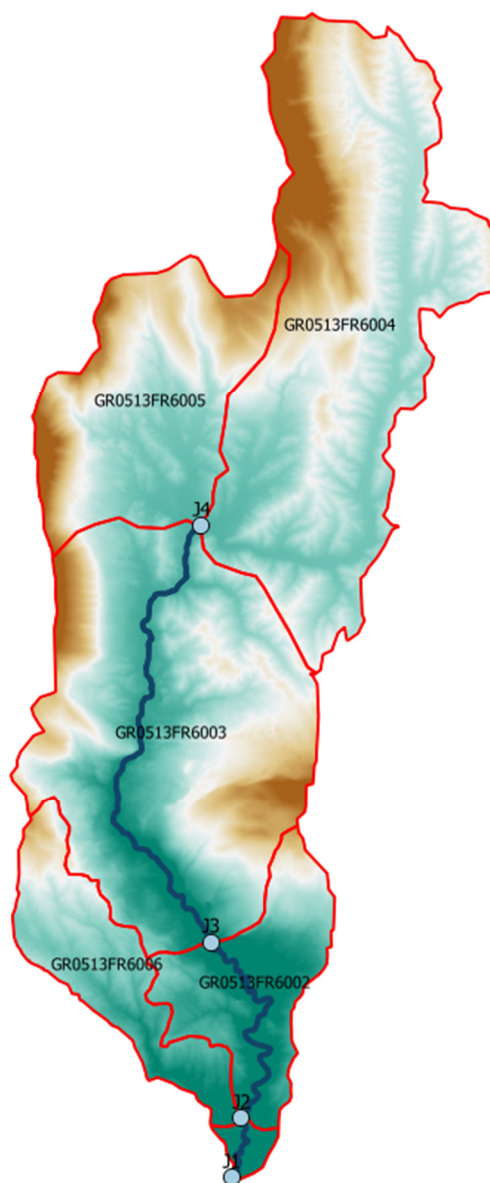
Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.20 και 6.21, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.22. Στο Παράρτημα Π9 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.20: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0513FR6001	-	J2	J1	1.256	0.0068
R32	GR0513FR6002	-	J3	J2	4.751	0.0058
R43	GR0513FR6003	-	J4	J3	8.896	0.0145

Πίνακας 6.21: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

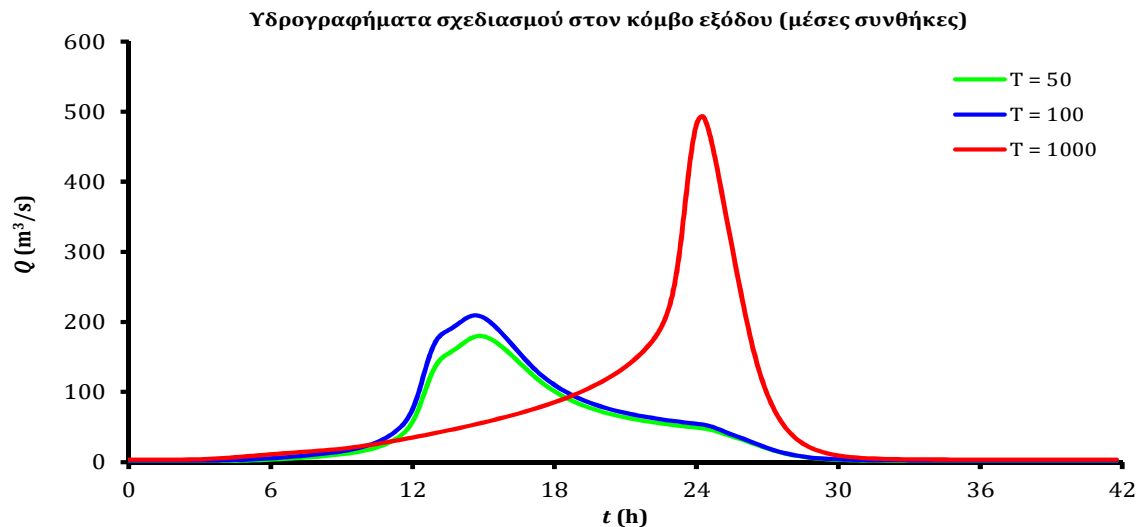
Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0513FR6001	GR0513FR0018	R21	J1	0.6	24.4	0.0	1.329
GR0513FR6002	GR0513FR0018	R32	J2	6.3	138.9	8.6	6.158
GR0513FR6003	GR0513FR0018	R43	J3	23.1	292.3	36.3	11.881
GR0513FR6004	GR0513FR0018	-	J4	24.8	362.8	165.3	15.039
GR0513FR6005	GR0513FR0018	-	J4	11.3	378.9	165.3	5.197
GR0513FR6006	GR0513FR0018	-	J2	5.7	223.8	8.6	7.368



Εικόνα 6.12: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Πίνακας 6.22: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Αρεθούα			
Έκταση (km ²)	71.80	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	5.60
Μέγιστο μήκος ροής (km)	29.93	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	24.00
Μέσο υψόμετρο (m)	309.3	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	134.4	151.2	165.7
T = 100	140.6	163.7	185.2
T = 1000	157.2	210.0	272.7
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	23.7	72.9	121.0
T = 100	27.0	83.3	139.6
T = 1000	37.0	123.2	224.6
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.176	0.482	0.731
T = 100	0.192	0.509	0.754
T = 1000	0.235	0.587	0.823
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	45.4	178.3	316.2
T = 100	55.8	206.9	370.8
T = 1000	183.5	490.0	806.0
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	1.701	5.234	8.689
T = 100	1.940	5.979	10.025
T = 1000	2.654	8.847	16.122
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	46.8	179.8	317.7
T = 100	57.9	209.1	372.9
T = 1000	187.1	493.6	809.6
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	2.633	6.166	9.621
T = 100	3.338	7.377	11.423
T = 1000	4.984	11.176	18.451



6.11 Λεκάνη Απορροής Αχέροντα

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχέροντα περιλαμβάνει 29 υπολεκάνες, 18 κόμβους και 17 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.13.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 729.6 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 454.7 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 68.6 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 12.4 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 24 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.914$.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.23 και 6.24, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.25. Στο Παράρτημα Π10 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.23: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Ονομασία	Ανάληψη	Κατάληψη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	Αχέροντας	J2	J1	6.036	0.0009
R32	Αχέροντας	J3	J2	4.671	0.0023
R43	Αχέροντας	J4	J3	11.570	0.0024
R54	Αχέροντας	J5	J4	3.007	0.0158
R65	Αχέροντας	J6	J5	8.150	0.0115
R76	Αχέροντας	J7	J6	12.757	0.0051

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R87	Αχέροντας	J8	J7	13.308	0.0111
R97		J9	J7	8.560	0.0072
R105	Αχέροντας	J10	J5	10.171	0.0264
R1112		J11	J12	7.255	0.0076
R1213	Κοκτός	J12	J13	11.711	0.0048
R1314	Κοκτός	J13	J14	8.491	0.0025
R1415	Κοκτός	J14	J15	2.968	0.0033
R152	Κοκτός	J15	J2	3.194	0.0016
R1615		J16	J15	4.355	0.0031
R173		J17	J3	5.450	0.0121
R183		J18	J3	3.620	0.0089

Πίνακας 6.24: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0513FR7001	GR0513FR0011	R21	J1	10.614	13.8	0.1	6.0
GR0513FR7002	GR0513FR0011	R32	J2	36.491	93.5	5.8	7.1
GR0513FR7003	GR0513FR0011	R152	J2	2.147	24.9	5.8	1.9
GR0513FR7004	GR0513FR0011		J15	11.496	157.5	11.0	9.0
GR0513FR7005	GR0513FR0011	R1615	J15	8.158	50.4	11.0	5.6
GR0513FR7006	GR0513FR0011		J16	47.061	251.9	24.3	16.1
GR0513FR7007	GR0513FR0011	R1415	J15	2.051	14.0	11.0	3.3
GR0513FR7008	GR0513FR0011		J18	8.000	401.7	48.6	7.3
GR0513FR7009	GR0513FR0011		J17	25.563	527.2	82.3	11.6
GR0513FR7010	GR0513FR0011	R173	J3	14.218	243.7	16.4	7.3
GR0513FR7011	GR0513FR0011	R43	J3	27.000	165.3	16.4	12.6
GR0513FR7012	GR0513FR0011	R1314	J14	36.828	156.3	20.6	16.0
GR0513FR7013	GR0513FR0011		J6	10.560	414.7	185.8	4.8
GR0513FR7014	GR0513FR0011	R65	J5	22.476	532.5	91.8	8.3
GR0513FR7015	GR0513FR0011	R76	J6	54.511	605.5	185.8	16.8
GR0513FR7016	GR0513FR0011	R54	J4	13.515	456.4	44.2	7.0
GR0513FR7017	GR0513FR0011	R105	J5	45.333	685.5	91.8	13.8
GR0513FR7018	GR0513FR0011		J10	32.484	855.4	360.3	12.046

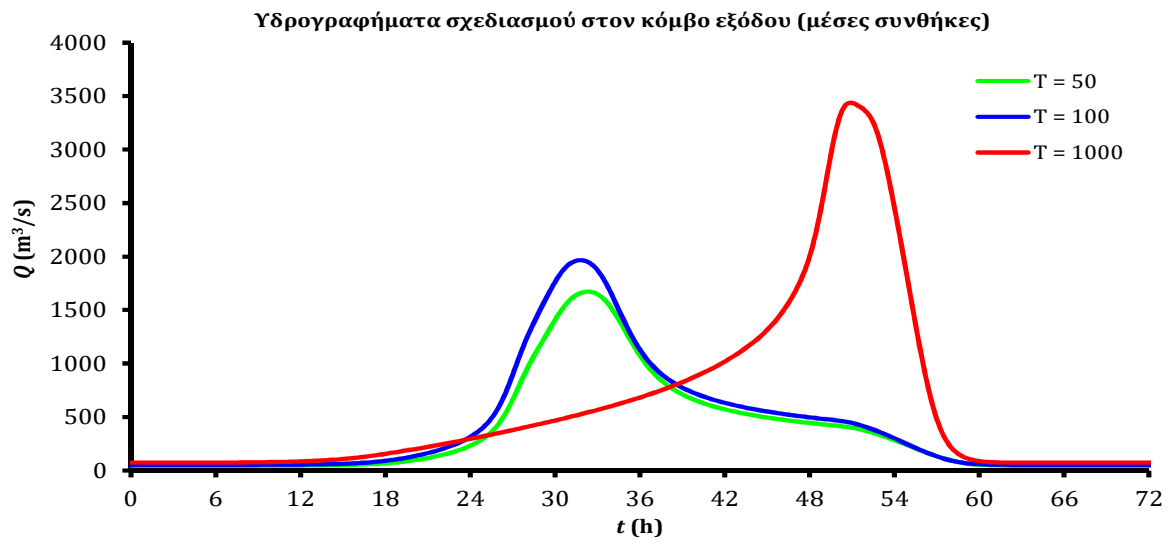
Β' ΦΑΣΗ

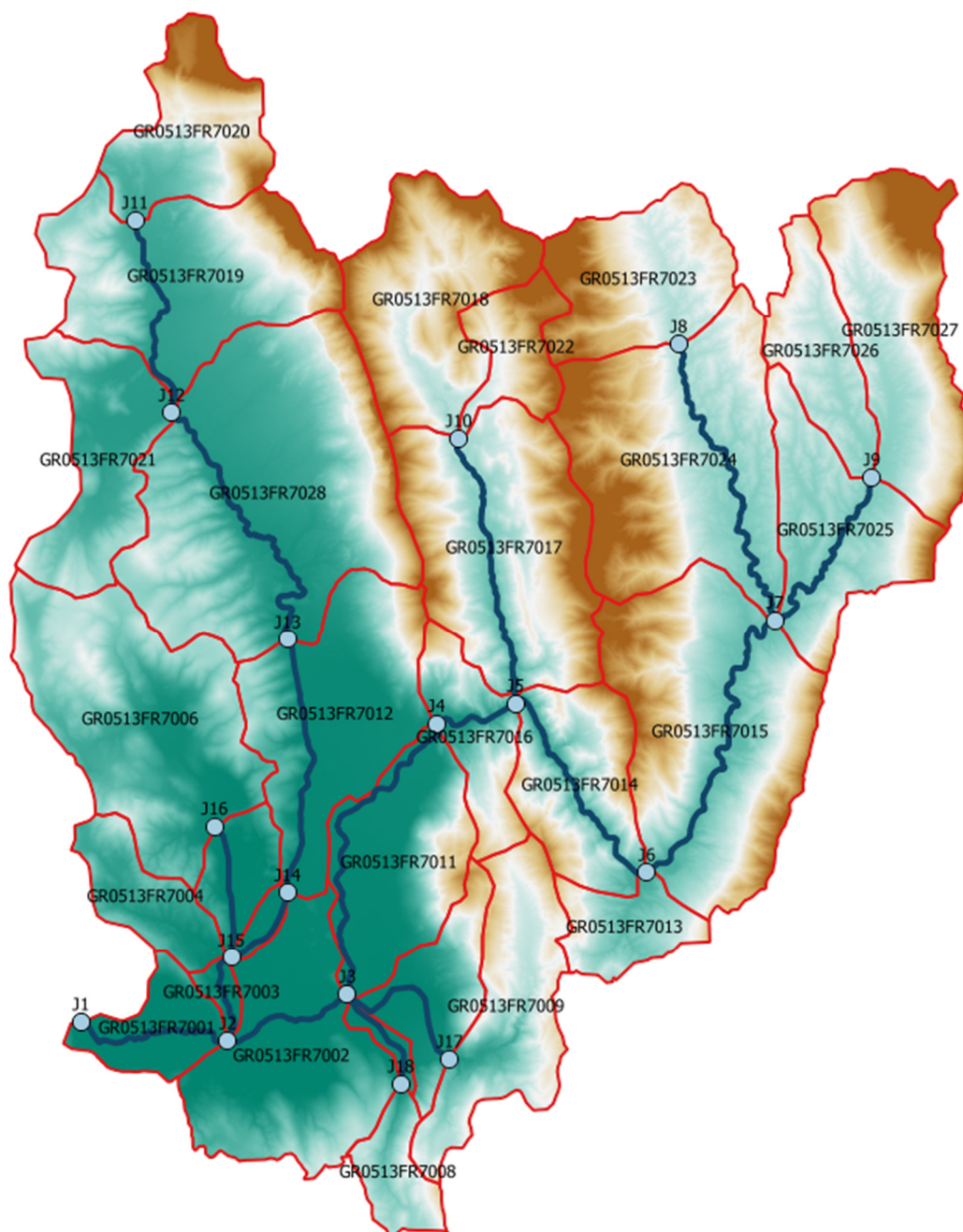
Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0513FR7019	GR0513FR0011	R1112	J12	40.095	412.2	98.3	12.37
GR0513FR7020	GR0513FR0011		J11	21.516	678.8	153.3	9.285
GR0513FR7021	GR0513FR0011		J12	23.014	243	98.3	10.075
GR0513FR7022	GR0513FR0011		J10	10.494	891.7	360.3	8.405
GR0513FR7023	GR0513FR0011		J8	25.041	776.5	398.5	9.117
GR0513FR7024	GR0513FR0011	R87	J7	52.104	696	250.6	18.392
GR0513FR7025	GR0513FR0011	R97	J7	25.398	457	250.6	11.63
GR0513FR7026	GR0513FR0011		J9	15.520	509.8	311.9	11.182
GR0513FR7027	GR0513FR0011		J9	34.031	757.2	311.9	14.772
GR0513FR7028	GR0513FR0011	R1213	J13	71.905	307.9	41.7	19.689
GR0513FR7029	GR0513FR0011	R183	J3	1.985	25.4	16.4	3.701

Πίνακας 6.25: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Αχέροντα			
Έκταση (km ²)	729.61	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.1
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	12.37
Μέγιστο μήκος ροής (km)	68.62	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	48.00
Μέσο υψόμετρο (m)	454.7	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	212.0	234.8	255.0
T = 100	225.1	256.8	287.0
T = 1000	262.3	336.7	427.2
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	39.1	113.3	185.4
T = 100	45.2	131.0	215.6
T = 1000	64.6	198.6	351.0
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.184	0.482	0.727
T = 100	0.201	0.510	0.751
T = 1000	0.246	0.590	0.822
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	507.5	1628.2	2689.2
T = 100	594.5	1915.3	3192.7
T = 1000	1236.9	3363.5	5343.1
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	28.494	82.662	135.239
T = 100	32.982	95.584	157.316
T = 1000	47.149	144.913	256.117
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	551.2	1672.0	2733.0
T = 100	645.6	1966.4	3243.8
T = 1000	1309.9	3436.5	5416.1
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	87.159	141.327	193.904
T = 100	101.425	164.026	225.759
T = 1000	144.924	242.688	353.892





Εικόνα 6.13: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

6.12 Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Μαργαρίτι

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του οροπεδίου Μαργαρίτι, συνολικής έκτασης 67.1 km², περιλαμβάνει τρεις υδρολογικά ανεξάρτητες κλειστές υπολεκάνες, που απορρέουν στους αντίστοιχους κόμβους εξόδου. Συγκεκριμένα, στην έξοδο των υπολεκανών GR0513FD2001 και GR0513FD2003 σχηματίζονται μικρές λίμνες, ενώ στην έξοδο της υπολεκάνης GR0513FD2002 υπάρχει καταβάθρα, όπου συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής της.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.14.

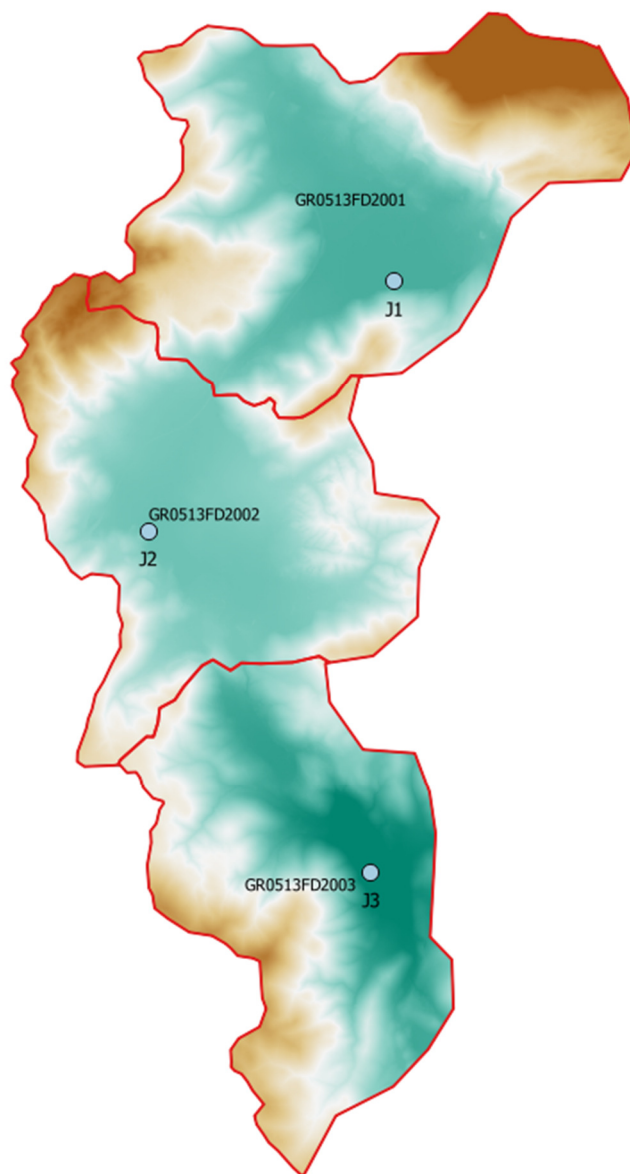
Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 12$ h και χρονικό βήμα $\Delta t = 15$ min. Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.923$. Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των τριών υπολεκανών δίνονται στον Πίνακα 6.26, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.27. Στο Παράρτημα Π11 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.26: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

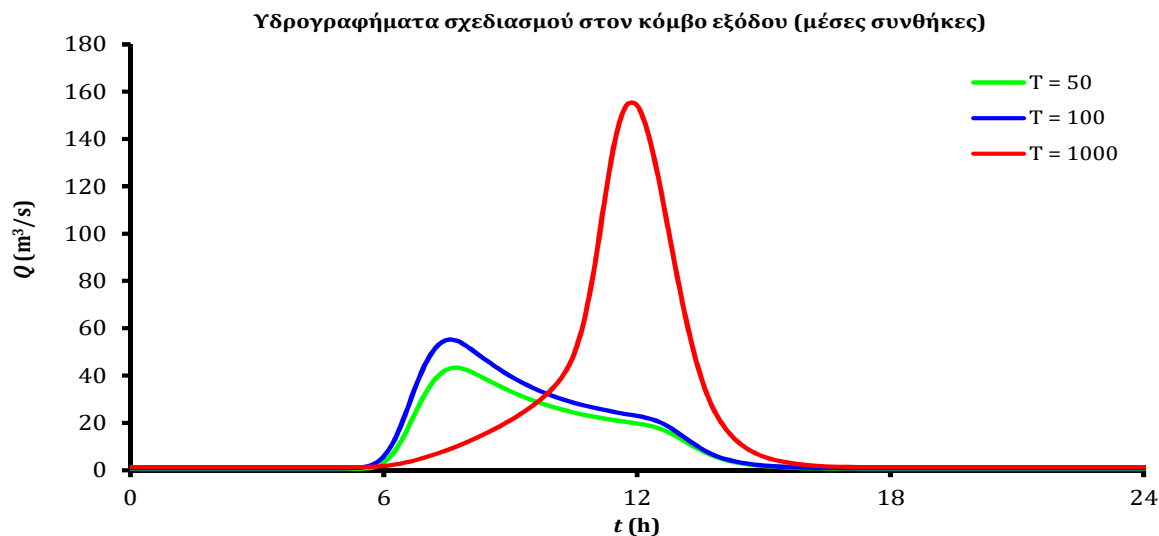
Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0513FD2001	GR0513FD0032	-	J1	26.04	426.9	184.7	5.84
GR0513FD2002	GR0513FD0032	-	J2	21.33	375.8	238.4	5.09
GR0513FD2003	GR0513FD0032	-	J3	19.76	332.1	70.6	4.49



Εικόνα 6.14: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Πίνακας 6.27: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Αχέροντα			
Έκταση (km ²)	67.14	Υψόμετρο εξόδου (m)	184.7
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	2.92
Μέγιστο μήκος ροής (km)	0.00	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	12.00
Μέσο υψόμετρο (m)	380.9	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	108.2	120.5	131.4
T = 100	114.0	130.9	147.1
T = 1000	129.3	167.4	215.1
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	1.3	22.1	61.3
T = 100	1.9	27.0	73.7
T = 1000	3.8	46.9	131.6
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.012	0.183	0.466
T = 100	0.016	0.207	0.501
T = 1000	0.030	0.280	0.612
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	1.5	42.0	124.5
T = 100	2.0	53.1	153.4
T = 1000	13.2	150.9	331.6
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	0.088	1.483	4.114
T = 100	0.126	1.815	4.951
T = 1000	0.258	3.150	8.833
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	2.8	43.3	125.9
T = 100	4.0	55.1	155.4
T = 1000	16.5	154.2	334.9
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	0.188	0.863	1.957
T = 100	0.285	1.097	2.391
T = 1000	0.507	1.866	4.170



6.13 Λεκάνη Απορροής Ξεροπόταμου

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ρέματος Ξεροπόταμος περιλαμβάνει 5 υπολεκάνες, 4 κόμβους και 3 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.15.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 28.2 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 340.5 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 12.6 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 2.7 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 12 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.940$.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.28 και 6.29, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.30. Στο Παράρτημα Π12 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.28: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

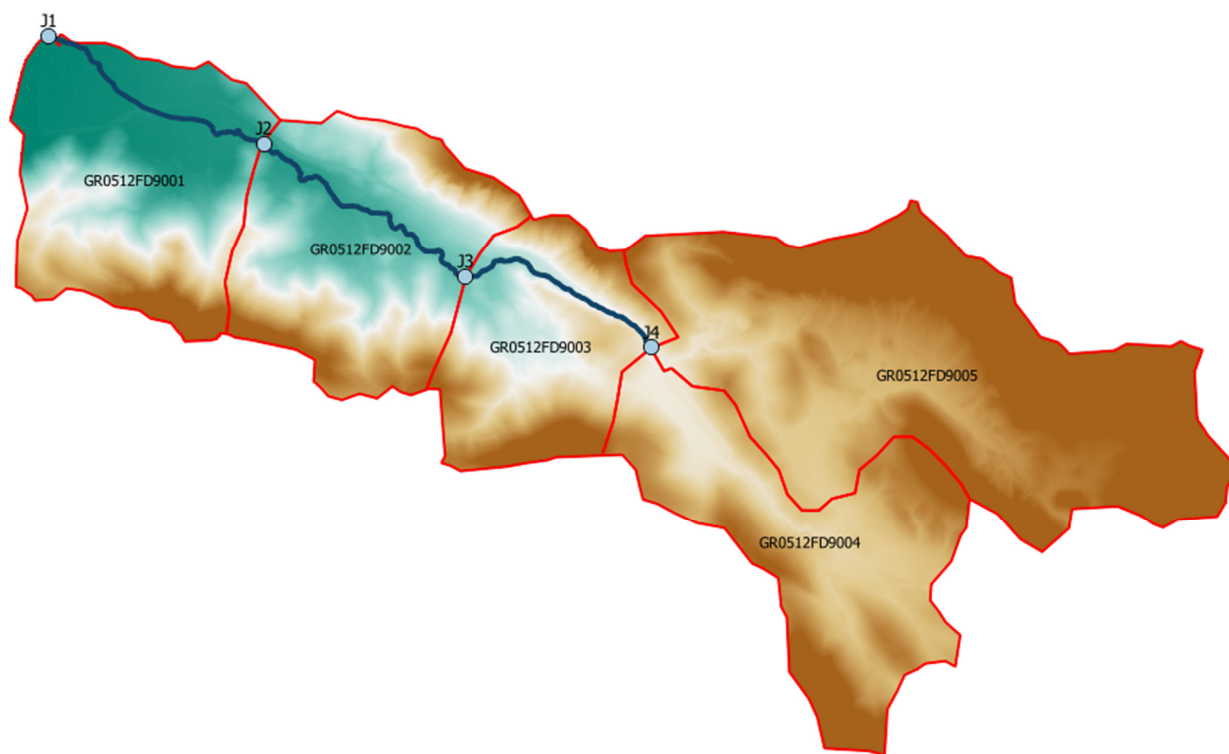
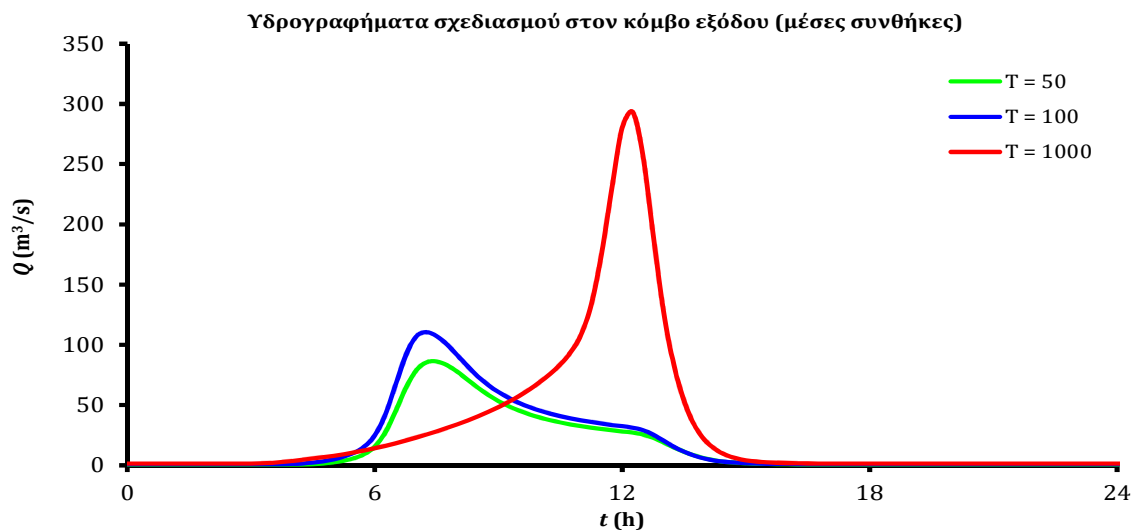
Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0512FD9001		J2	J1	2.465	0.0127
R32	GR0512FD9002		J3	J2	2.818	0.0208
R43	GR0512FD9003		J4	J3	2.208	0.0718

Πίνακας 6.29: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0512FD9001	GR0512FD0008	R21	J1	4.942	152.2	0.0	5.2
GR0512FD9002	GR0512FD0008	R32	J2	4.909	216.8	31.4	3.9
GR0512FD9003	GR0512FD0008	R43	J3	3.514	309.8	90.0	2.8
GR0512FD9004	GR0512FD0008		J4	5.172	378.8	248.4	5.1
GR0512FD9005	GR0512FD0008		J4	9.664	490.4	248.4	6.1

Πίνακας 6.30: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης.

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Ξεροπόταμου			
Έκταση (km ²)	28.20	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	2.72
Μέγιστο μήκος ροής (km)	12.61	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	12.00
Μέσο υψόμετρο (m)	340.5	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	116.1	128.8	139.9
T = 100	124.3	142.2	158.9
T = 1000	148.4	192.3	244.0
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	7.8	44.3	88.1
T = 100	10.4	53.8	105.5
T = 1000	19.6	92.5	185.9
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.068	0.344	0.630
T = 100	0.083	0.378	0.664
T = 1000	0.132	0.481	0.762
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	10.1	85.5	185.7
T = 100	13.7	109.6	229.3
T = 1000	80.0	292.1	475.6
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	0.221	1.248	2.484
T = 100	0.292	1.517	2.974
T = 1000	0.552	2.610	5.243
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	10.7	86.1	186.2
T = 100	14.6	110.5	230.1
T = 1000	81.4	293.5	477.0
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	0.392	1.419	2.655
T = 100	0.549	1.773	3.231
T = 1000	0.980	3.037	5.671



Εικόνα 6.15: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκάνων

6.14 Λεκάνη Απορροής Λάκου

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ρέματος Λάκος περιλαμβάνει 4 υπολεκάνες, 3 κόμβους και 2 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.16.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

- Έκταση $A = 18.1 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 358.8 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 6.3 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 1.8 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 12 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.948$.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.31 και 6.32, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.33. Στο Παράρτημα Π13 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.31: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0512FD10001		J2	J1	2.038	0.0334
R32	GR0512FD10002		J3	J2	2.969	0.0354

Πίνακας 6.32: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

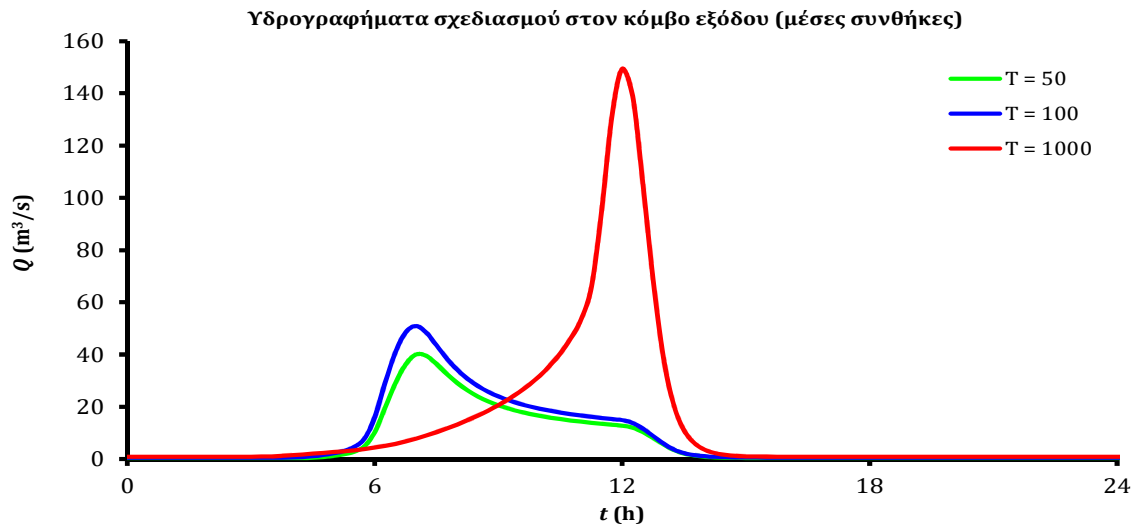
Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km^2)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0512FD10001	GR0512FD0007	R21	J1	2.981	180.7	0.0	1.4
GR0512FD10002	GR0512FD0007	R32	J2	3.114	259.4	68.0	3.2
GR0512FD10003	GR0512FD0007		J3	7.357	424.8	173.0	1.3
GR0512FD10004	GR0512FD0007		J3	4.668	437.3	173.0	5.1



Εικόνα 6.16: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Πίνακας 6.33: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Ξεροπόταμου			
Έκταση (km ²)	18.12	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	1.75
Μέγιστο μήκος ροής (km)	6.35	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	12.00
Μέσο υψόμετρο (m)	358.8	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	102.2	116.8	129.6
T = 100	107.4	127.5	146.5
T = 1000	120.8	166.4	223.2
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	2.2	29.4	71.9
T = 100	3.1	35.8	86.6
T = 1000	6.3	62.1	156.7
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.022	0.252	0.554
T = 100	0.029	0.281	0.591
T = 1000	0.052	0.373	0.702
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	2.1	39.7	112.2
T = 100	2.7	50.4	139.1
T = 1000	21.2	148.5	302.4
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	0.041	0.533	1.302
T = 100	0.057	0.649	1.569
T = 1000	0.114	1.125	2.839
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	2.4	40.0	112.6
T = 100	3.2	50.9	139.6
T = 1000	22.1	149.4	303.3
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	0.151	0.643	1.412
T = 100	0.222	0.814	1.734
T = 1000	0.389	1.400	3.114



6.15 Λεκάνη Απορροής Πεδιάδας Άρτας

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της πεδιάδας Άρτας, η οποία εκτείνεται στη χαμηλή ζώνη μεταξύ των ποταμών Άραχθου και Λούρου, αναπαριστάται ως μία υπολεκάνη (GR0513FR11001), με συμβατική έξοδο τον κόμβο J1, στον Αμβρακικό Κόλπο. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά σύνθετο υδρολογικό σύστημα, που περιλαμβάνει πληθώρα αρδευτικών και αποστραγγιστικών έργων, που απαιτεί εξειδικευμένη υδραυλική μελέτη. Επιπλέον, λόγω των εξαιρετικά ήπιων κλίσεων, η λεκάνη έχει πολύ αργή αποστράγγιση, τέτοια ώστε κατά τη διάρκεια ισχυρών πλημμυρών να λειτουργεί (εν μέρει) ως λίμνη. Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.17.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 213.8 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 8.4 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 15.0 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 32.9 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 48 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.939$.

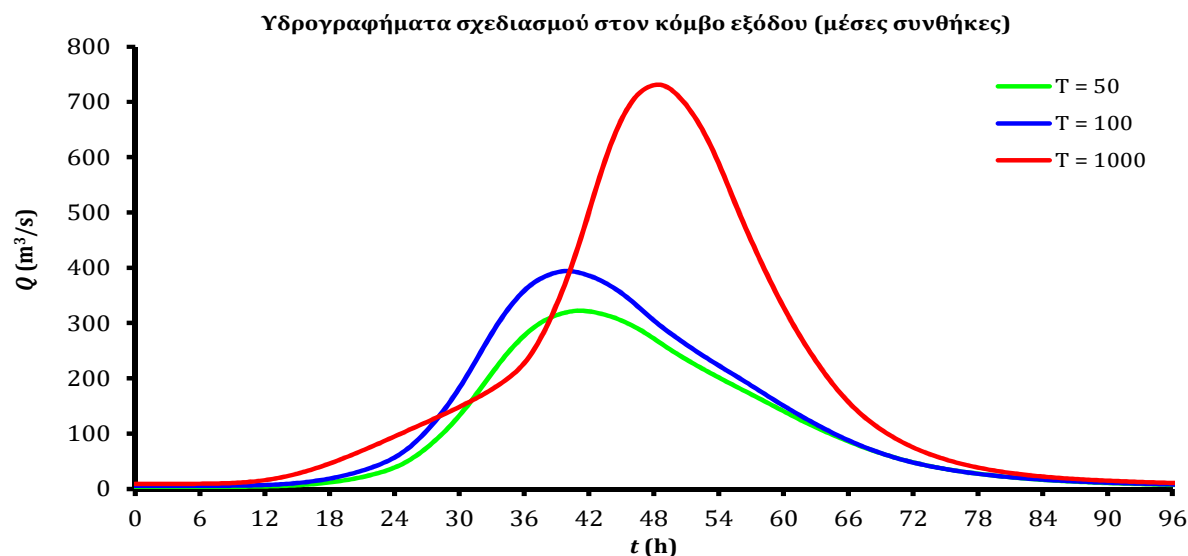
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 6.34, ενώ στο Παράρτημα Π14 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης, και τα αντίστοιχα γραφήματα.



Εικόνα 6.17: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Πίνακας 6.34: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής πεδιάδας Άρτας			
Έκταση (km ²)	180.53	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	32.88
Μέγιστο μήκος ροής (km)	15.00	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	48.00
Μέσο υψόμετρο (m)	8.4	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	213.8	245.6	273.0
T = 100	233.5	278.8	320.4
T = 1000	293.5	408.8	545.9
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	102.6	184.4	243.3
T = 100	118.6	216.3	290.3
T = 1000	169.7	343.0	514.9
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.480	0.751	0.891
T = 100	0.508	0.776	0.906
T = 1000	0.578	0.839	0.943
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	169.4	318.7	425.1
T = 100	201.7	388.7	531.0
T = 1000	348.0	722.2	1107.2
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	18.529	33.297	43.917
T = 100	21.414	39.054	52.406
T = 1000	30.629	61.920	92.958
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	173.0	322.3	428.7
T = 100	207.1	394.1	536.4
T = 1000	357.0	731.3	1116.2
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	23.368	38.136	48.756
T = 100	28.671	46.312	59.664
T = 1000	42.725	74.016	105.055



6.16 Λεκάνη Απορροής Καβασιλάτων

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ρέματος Καβασιλάτα περιλαμβάνει 3 υπολεκάνες, 2 κόμβους και έναν κλάδο του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.18.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 16.1 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 31.1 \text{ m}$
- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0 \text{ m}$
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{\max} = 8.8 \text{ km}$
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 6.6 \text{ h}$

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 12 \text{ h}$ και χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.949$.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.35 και 6.36, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.37. Στο Παράρτημα Π15 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.35: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

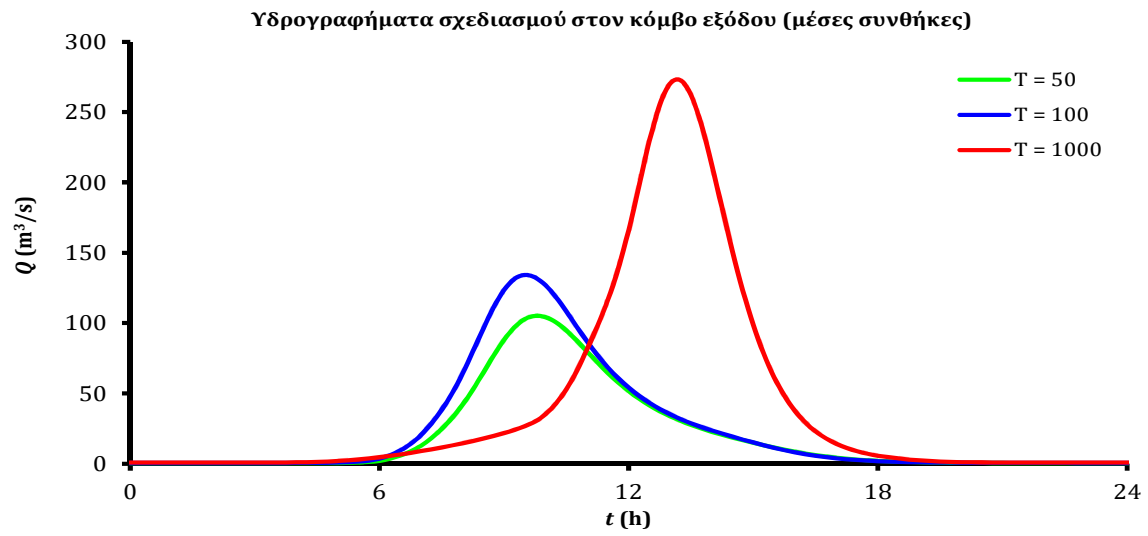
Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0534FD12001		J2	J1	3.426	0.0024

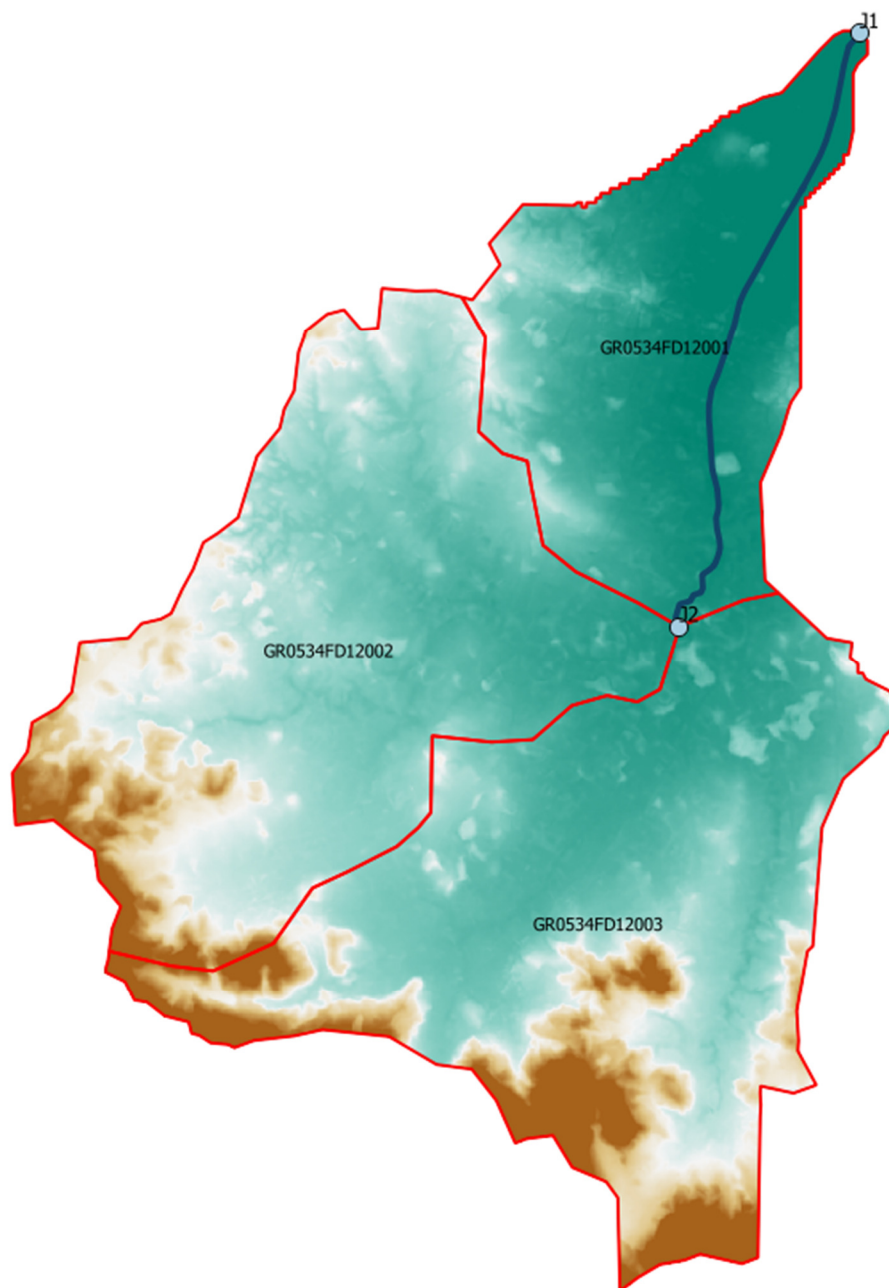
Πίνακας 6.36: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0534FD12001	GR0534FD0029	R21	J1	3.609	10.8	0.0	4.0
GR0534FD12002	GR0534FD0029		J2	6.047	34.8	8.2	5.3
GR0534FD12003	GR0534FD0029		J2	6.455	39.1	8.2	5.0

Πίνακας 6.37: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Καβασιλάτων			
Έκταση (km ²)	16.11	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	6.55
Μέγιστο μήκος ροής (km)	8.77	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	12.00
Μέσο υψόμετρο (m)	31.1	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	143.2	162.8	179.8
T = 100	158.7	186.8	213.5
T = 1000	208.3	282.0	374.1
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	46.3	103.6	149.3
T = 100	56.7	125.5	182.4
T = 1000	93.3	215.5	341.6
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.323	0.636	0.830
T = 100	0.357	0.672	0.854
T = 1000	0.448	0.764	0.913
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	42.6	104.8	155.1
T = 100	54.7	133.7	200.3
T = 1000	116.9	271.8	433.8
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	0.745	1.669	2.406
T = 100	0.913	2.022	2.938
T = 1000	1.504	3.471	5.503
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	43.0	105.1	155.4
T = 100	55.2	134.2	200.7
T = 1000	117.7	272.6	434.7
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	0.843	1.766	2.503
T = 100	1.060	2.169	3.084
T = 1000	1.748	3.716	5.747





Εικόνα 6.18: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκάνων

6.17 Λεκάνη Απορροής Μεσανγής

Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ρέματος Μεσανγής περιλαμβάνει 4 υπολεκάνες, 3 κόμβους και 2 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου.

Η σχηματοποίηση του υδρολογικού συστήματος απεικονίζεται στον χάρτη της Εικόνας 6.19.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της συνολικής λεκάνης είναι:

- Έκταση $A = 39.2 \text{ km}^2$
- Μέσο υψόμετρο $z_m = 110.0 \text{ m}$

Β' ΦΑΣΗ

Πλημμυρικά υδρογραφήματα: Τεχνική Έκθεση

- Υψόμετρο κόμβου εξόδου $z_k = 0.0$ m
- Μέγιστο μήκος ροής $L_{max} = 11.6$ km
- Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = 5.1$ h

Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέγεται διάρκεια βροχής $D = 12$ h και χρονικό βήμα $\Delta t = 15$ min.

Για την παραπάνω έκταση και διάρκεια προκύπτει συντελεστής επιφανειακής αναγωγής $\varphi = 0.934$.

Τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη των κλάδων και υπολεκανών του υδρογραφικού δικτύου δίνονται στους Πίνακες 6.38 και 6.39, αντίστοιχα, ενώ τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της συνολικής λεκάνης απορροής δίνονται στον Πίνακα 6.40. Στο Παράρτημα Π16 δίνονται τα πλήρη δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης για όλες τις συνιστώσες του δικτύου (υπολεκάνες, κόμβοι, κλάδοι), και τα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 6.38: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορεύματα)

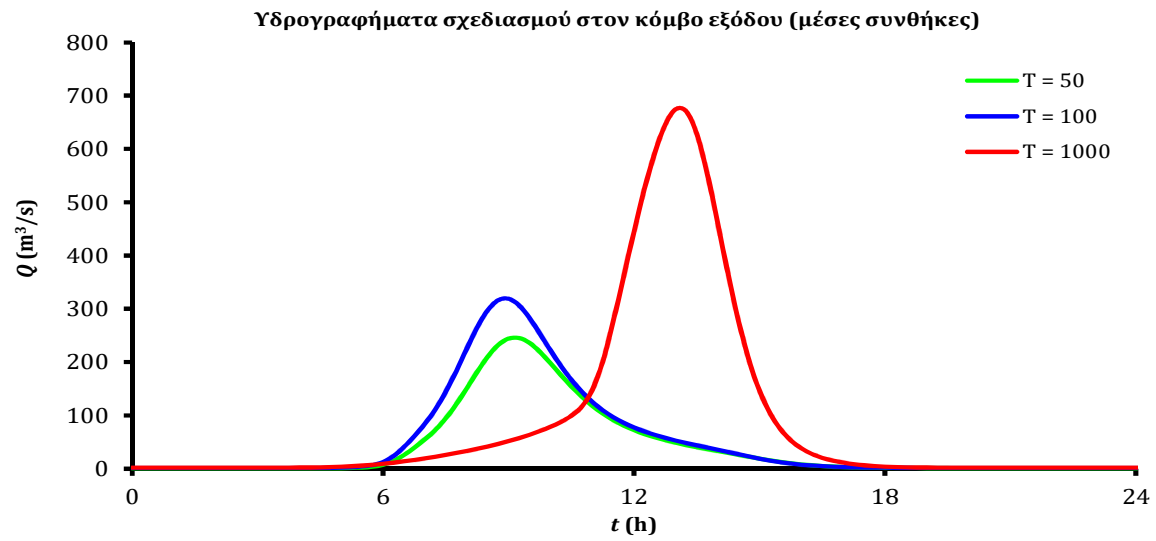
Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0534FD12001		J2	J1	2.254	0.0037
R32	GR0534FD12002		J3	J2	3.258	0.0055

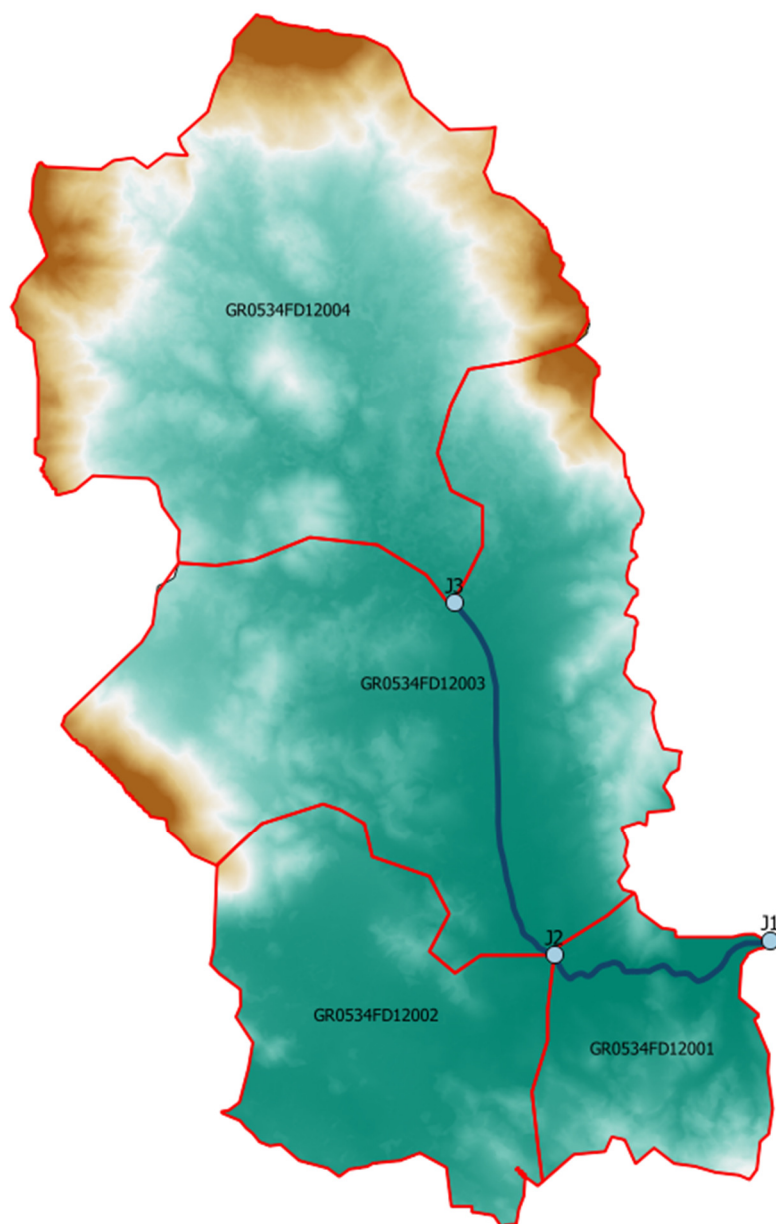
Πίνακας 6.39: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0534FD12001	GR0534FD0028	R21	J1	3.610	43.7	0.0	3.5
GR0534FD12002	GR0534FD0028		J2	6.610	41.9	8.4	5.6
GR0534FD12003	GR0534FD0028	R32	J2	14.200	92.3	8.4	7.3
GR0534FD12004	GR0534FD0028		J3	14.740	173.8	26.3	6.1

Πίνακας 6.40: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης περιοχής μελέτης

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Μεσανγής			
Έκταση (km ²)	39.16	Υψόμετρο εξόδου (m)	0.0
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	5.05
Μέγιστο μήκος ροής (km)	11.56	Διάρκεια βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	12.00
Μέσο υψόμετρο (m)	110.0	Χρονικό βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής βροχής (mm)			
T = 50	136.9	160.2	180.4
T = 100	150.5	183.8	214.9
T = 1000	193.3	277.5	382.5
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	28.9	87.3	140.8
T = 100	36.3	107.8	174.4
T = 1000	62.4	193.0	339.4
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.211	0.545	0.781
T = 100	0.241	0.586	0.811
T = 1000	0.323	0.696	0.887
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	69.6	244.5	409.1
T = 100	91.7	317.7	534.5
T = 1000	219.2	673.0	1105.3
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	1.133	3.420	5.515
T = 100	1.421	4.219	6.827
T = 1000	2.445	7.557	13.291
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	70.4	245.2	409.9
T = 100	92.9	318.9	535.7
T = 1000	221.2	674.9	1107.3
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	1.370	3.658	5.753
T = 100	1.777	4.576	7.184
T = 1000	3.039	8.151	13.885





Εικόνα 6.19: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών

Αναφορές

- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ε. Μιχαηλίδη, Ε. Γαλιούνα, Κ. Τζούκα, Α. Δ. Κούσης, Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, Τεχνική έκθεση περιγραφής περιοχικών σχέσεων εκτίμησης χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών, *ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*, Ανάδοχοι: ΕΤΜΕ: Πέππας & Συν/τες Ε.Ε., Γραφείο Μαχαίρα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 146 σελίδες, Σεπτέμβριος 2014.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ανδρεαδάκης, Ρ. Μαυροδήμου, Α. Χριστοφίδης, Ν. Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης, Α. Κουκουβίνος, Γ. Καραβοκυρός, Σ. Κοζάνης, Δ. Μαμάης, και Κ. Νουτσόπουλος, Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, *Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, 748 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Μαρκόνης, Α. Κουκουβίνος, και Ν. Μαμάσης, Υδρολογική μελέτη πλημμυρών Αράχθου, *Οριστική Οριοθέτηση Τμήματος Κοίτης Ποταμού Αράχθου που Διέρχεται στα Όρια του Δήμου Αρταίων*, Εργοδότης: Δήμος Αρταίων, Ανάδοχοι: ΑΔΚ - Αρώνης - Δρέττας - Καρλαύτης Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ, ΥΔΡΟΤΕΚ - Υδραυλικές Μελέτες ΑΕ, Β. Μούζος, 272 σ., 2010.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 4, 180 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.
- Ποντικός, Σ., *Πιθανοτική διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια για χρήση τους στον υδρολογικό σχεδιασμό*, Διπλωματική εργασία, 83 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2014.
- Baltas, E.A., N.A. Dervos, and M.A. Mimikou, Technical Note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1825-1829, 2007.
- Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
- Efstratiadis, A., A.D. Koussis, D. Koutsoyiannis, and N. Mamassis, Flood design recipes vs. reality: can predictions for ungauged basins be trusted?, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1417–1428, 2014.
- Galiouna, E., A. Efstratiadis, N. Mamassis, and K. Aristeidou, Investigation of extreme flows in Cyprus: empirical formulas and regionalization approaches for peak flow estimation, *European Geosciences Union General Assembly 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13*, Vienna, 2011, European Geosciences Union, 2011.
- Grimaldi, S., A. Petroseli, F. Tauro, and M. Porfiri, Time of concentration: A paradox in modern hydrology, *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 217–228, 2012.
- Hjelmfelt Jr., A.T., Negative outflows from Muskingum flood routing, *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(6), 1010–1014, 1985.
- Koussis, A. D., An assessment review of the hydraulics of storage flood routing 70 years after the presentation of the Muskingum method, *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), 43–61, 2009.
- 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.

Massari, C., L. Brocca, S. Barbeta, C. Papathanasiou, M. Mimikou, and T. Moramarco, Using globally available soil moisture indicators for flood modelling in Mediterranean catchments, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 839–853, 2014.

Ponce V.M., and R.H. Hawkins, Runoff Curve Number: has it reached maturity?, *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), 11–19, 1996.

Soil Conservation Service (SCS), *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology (NEH-4), U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 1972.

U.K. National Environmental Research Council (UK-NERC), *Flood Studies Report*, Institute of Hydrology, Wallingford, 1975.

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, *Design of Arch Dams*, U.S. Government Printing Office, Denver, CO, 1977.