



Επιστημονικός
υπεύθυνος:

Α. Ευστρατιάδης,
Επικ. Καθηγ. ΕΜΠ

Σύνταξη:

Α. Ευστρατιάδης
Π. Δήμας
Π. Κοσιέρης
Γ. Κουτσός
Α. Λύκου

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

**Πιθανοτικό πλαίσιο εκτίμησης πλημμυρικής
επικινδυνότητας υδροσυστήματος
Αλιάκμονα και διερεύνηση στρατηγικών
δράσεων απομείωσής της**

Παραδοτέο 2
Τεχνική έκθεση

Ανάθεση: ΔΕΗ/ΔΕΥΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2025

Τα στοιχεία, οι πληροφορίες και οι αναλύσεις που περιέχονται στη μελέτη αυτή, αποτελούν ερευνητικό έργο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Το ΕΜΠ κατέβαλε κάθε προσπάθεια ώστε να διασφαλίσει ότι τα στοιχεία, οι πληροφορίες και οι αναλύσεις που εμφανίζονται στη μελέτη αυτή είναι ορθά και πλήρη. Όμως, δε φέρει καμία ευθύνη για την ακρίβεια και αξιοπιστία ή τη παράλειψη πληροφοριών και στοιχείων τα οποία έλαβε από τρίτους, ούτε για τυχόν ζημιά προερχόμενη άμεσα ή έμμεσα από τη χρήση των παραπάνω πληροφοριών και στοιχείων και των αναλύσεων και αποτελεσμάτων που είναι βασισμένες στις πληροφορίες και τα στοιχεία αυτά. Το ΕΜΠ δεν είναι υπεύθυνο για την καταβολή αποζημιώσεων ή για οποιεσδήποτε άλλες αξιώσεις και απαιτήσεις ενδέχεται να προκύψουν λόγω της χρήσης των στοιχείων, πληροφοριών, αναλύσεων και αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή	8
1.1	Αντικείμενο μελέτης – Ιστορικό	8
1.2	Σύνδεση με το προηγούμενο έργο.....	8
1.3	Διάρθρωση τεύχους	10
2	Περιοχή μελέτης	11
2.1	Τοποθέτηση του προβλήματος	11
2.2	Ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.....	11
2.2.1	Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας.....	11
2.2.2	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.....	13
2.3	Οριοθέτηση περιοχής μελέτης.....	15
2.3.1	Πεδίο υδρολογικής προσομοίωσης.....	15
2.3.2	Πεδίο υδροδυναμικής προσομοίωσης	16
2.4	Κύρια υδραυλικά έργα	17
2.4.1	Λίμνη Άγρα-Βρυτών-Νησίου	17
2.4.2	ΥΗΣ Άγρα και Εδεσσαίου	20
2.4.3	Φράγμα Αγ. Βαρβάρας και συνοδά έργα	22
2.4.4	Περιφερειακή Τάφρος Τ66	23
2.4.5	ΜΥΗΣ Μακροχωρίου ΙΙ.....	26
3	Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο	27
3.1	Η λογική των προσεγγίσεων συνεχούς στοχαστικής προσομοίωσης στην εκτίμηση της πλημμυρικής διακινδύνευσης	27
3.2	Βασικές παραδοχές υδρολογικής-υδροδυναμικής προσομοίωσης	28
3.2.1	Υπολογιστικό πεδίο.....	28
3.2.2	Λειτουργικά σενάρια	29
3.2.3	Περίοδοι επαναφοράς βροχόπτωσης.....	29
3.2.4	Διάρκεια και χρονική διακριτότητα επεισοδίων βροχής και πλημμύρας.....	29
3.2.5	Πιθανοτικά υδρολογικά σενάρια.....	30
3.2.6	Λοιπές παραδοχές και καινοτομίες υδρολογικής προσομοίωσης.....	31
3.2.7	Υδροδυναμική ανάλυση	31
4	Σχηματοποίηση υδρολογικού συστήματος	33
4.1	Γεωχωρικά δεδομένα	33
4.2	Γενικές αρχές σχηματοποίησης.....	39
4.3	Διαμόρφωση κόμβων, κλάδων και υπολεκανών	40
5	Σενάρια βροχόπτωσης	51

5.1	Γενικές παραδοχές	51
5.2	Όμβριες καμπύλες.....	51
5.2.1	Επιφανειακή αναγωγή σημειακών εντάσεων βροχής.....	54
5.3	Παραγωγή υετογραφημάτων σχεδιασμού	55
5.3.1	Γενική υπολογιστική διαδικασία	55
5.3.2	Μέθοδος εναλλασσόμενων μπλοκ	55
5.3.3	Τυποποιημένα προφίλ κατά Huff	56
6	Μεθοδολογία υδρολογικής προσομοίωσης	59
6.1	Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο	59
6.2	Χαρακτηριστικά χρονικά μεγέθη υδρολογικής προσομοίωσης	60
6.3	Εκτίμηση πλημμυρικής απορροής υπολεκανών με τη μέθοδο NRCS-CN.....	61
6.3.1	Σύνοψη μεθόδου NRCS-CN.....	61
6.3.2	Εκτίμηση αρχικών ελλειμμάτων	62
6.3.3	Εκτίμηση μέγιστης δυνητικής κατακράτησης.....	63
6.3.4	Θεωρητικό πλαίσιο εκτίμησης τιμής αναφοράς παραμέτρου CN	63
6.3.5	Τιμές αναφοράς παραμέτρου CN στην περιοχή μελέτης.....	65
6.4	Τροποποίηση μεθόδου NRCS-CN για ψευδο-συνεχή υδρολογική προσομοίωση με τυχαία μεταβαλλόμενες τιμές CN	69
6.4.1	Τοποθέτηση του προβλήματος.....	69
6.4.2	Τυπική διαδικασία αντιστοίχισης παραμέτρου CN στις συνθήκες αρχικής υγρασίας	70
6.4.3	Προσδιορισμός κλίμακας συνάθροισης αθροιστικής βροχόπτωσης.....	70
6.4.4	Πιθανοτική θεώρηση παραμέτρου CN	72
6.4.5	Αντιστοίχιση παραμέτρου CN στην αθροιστική βροχόπτωση των 30 ημερών.....	74
6.4.6	Η μέθοδος NRCS-CN σε πιθανοτικό πλαίσιο	75
6.5	Διόδευση πλημμυρικών απορροών στις υπολεκάνες	76
6.5.1	Επισκόπηση θεωρίας μοναδιαίου υδρογραφήματος	76
6.5.2	Standard PRF 484	77
6.5.3	Επιλογή ΣΜΥ υπολεκανών	78
6.5.4	Εκτίμηση χρόνου συγκέντρωσης αναφοράς	79
6.5.5	Η έννοια του μεταβλητού χρόνου συγκέντρωσης.....	80
6.5.6	Διαδικασία αναγωγής χρόνου συγκέντρωσης.....	81
6.5.7	Κατάρτιση συνθετικών ΜΥ υπολεκανών	82
6.6	Βασική απορροή υπολεκανών	82
6.7	Παραγωγή υδρογραφημάτων στις εξόδους των υπολεκανών	83
6.8	Διόδευση υδρογραφημάτων στο υδρογραφικό δίκτυο	86
6.8.1	Επισκόπηση προβλήματος.....	86
6.8.2	Μέθοδος Muskingum	87
6.8.3	Μέθοδος χρονικής υστέρησης.....	89
6.8.4	Κινηματική μέθοδος εκτίμησης χρονικής παραμέτρου διόδευσης	90
6.8.5	Εφαρμογή στο υδροσύστημα Αλιάκμονα.....	91

6.9	Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρων περιοχής μελέτης.....	96
6.9.1	Γενικά	96
6.9.2	Υπολογιστικό πλαίσιο διόδευσης πλημμυρών διαμέσου υπερχειλιστή.....	96
6.9.3	Αναπαράσταση λειτουργίας υδροσυστήματος Εδεσσαίου	98
6.9.4	Αναπαράσταση λειτουργίας ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας	99
7	Αποτελέσματα υδρολογικής ανάλυσης	101
7.1	Πιθανοτικό πλαίσιο ερμηνείας υδρολογικών μεγεθών.....	101
7.2	Πρωτόκολλο στατιστικής επεξεργασίας υδρολογικών μεγεθών.....	102
7.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων προσομοίωσης σε θέσεις ενδιαφέροντος.....	103
7.3.1	Υπερχειλιστής λίμνης Άγρα-Βρυττών-Νησίου	103
7.3.2	Αναρρυθμιστική δεξαμενή ΥΗΣ Άγρα	104
7.3.3	Περιφερειακή Τάφρος Τ66	105
7.3.4	Κάτω ρους Αλιάκμονα.....	107
8	Διαμόρφωση μοντέλου υδροδυναμικής ανάλυσης	110
8.1	Θεωρητικό υπόβαθρο – Υδραυλικοί υπολογισμοί	110
8.1.1	Σύνοψη μεθοδολογίας υδροδυναμικής προσομοίωσης.....	110
8.1.2	Μονοδιάστατες και διδιάστατες εξισώσεις ροής.....	112
8.1.3	Μεθοδολογία υπολογισμών διδιάστατης ροής στο HEC-RAS.....	113
8.1.4	Θεωρητική βάση και λογική της μεθόδου Subgrid	113
8.1.5	Αριθμητική υλοποίηση στο HEC-RAS.....	113
8.1.6	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι παραδοσιακών προσεγγίσεων	114
8.1.7	Ροή μέσω πλευρικών κατασκευών/αναχωμάτων (lateral structures).....	116
8.1.8	Αναπαράσταση κόμβων στο συζευγμένο 1D-2D μοντέλο	117
8.2	Παράμετροι μοντέλου	118
8.2.1	Κριτήρια εκλογής	118
8.2.2	Παράμετροι.....	118
8.2.3	Συντελεστές Manning	119
8.2.4	Προσθήκη τεχνικών έργων	120
9	Αποτελέσματα υδροδυναμικής προσομοίωσης	122
9.1	Σενάρια υδροδυναμικής προσομοίωσης.....	122
9.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων υδροδυναμικής προσομοίωσης.....	123
9.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη υδροδυναμικής προσομοίωσης	127
9.3.1	Κατακλυζόμενες εκτάσεις.....	127
9.3.2	Μέγιστα υδραυλικά μεγέθη σε χαρακτηριστικά σημεία ενδιαφέροντος.....	132
9.4	Αξιολόγηση πλημμυρικής επικινδυνότητας.....	134
9.4.1	Αποτίμηση πλημμυρικών επιπτώσεων ανά κατηγορία χρήσης γης	134
9.4.2	Συμπεράσματα.....	135

10 Πρακτική αξιοποίηση ερευνητικών αποτελεσμάτων μελέτης σε στρατηγικό και επιχειρησιακό πλαίσιο	136
10.1 Γενικά.....	136
10.2 Υδρολογική ανάλυση.....	136
10.2.1 Σύνοψη και γενικά συμπεράσματα	136
10.2.2 Πρακτικές υποδείξεις.....	137
10.3 Υδροδυναμική ανάλυση.....	138
10.3.1 Σύνοψη και γενικά συμπεράσματα	138
10.3.2 Αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου στον κάτω ρου του Αλιάκμονα για διάφορες πολιτικές λειτουργίας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος	141
10.4 Προτάσεις μείωσης του πλημμυρικού κινδύνου στο υδροσύστημα Αλιάκμονα.....	144
10.4.1 Λεκάνη απορροής Περιφερειακής Τάφρου.....	144
10.4.2 Κάτω ρους Αλιάκμονα.....	146
Αναφορές	148
Παράρτημα Α: Χάρτες μέγιστων βαθών & ταχυτήτων	153
Παράρτημα Β: Μέγιστα βάθη και μέγιστες ταχύτητες ανά σενάριο και ανά σημείο ενδιαφέροντος	199
Παράρτημα Γ: Πίνακες κατακλυζόμενων εκτάσεων ανά σενάριο, ανά κωδικό χρήσης γης κατά Corine και ανά κλάση μέγιστου βάθους και μέγιστης ταχύτητας ροής	210
01 – Run2_Base_T50.....	210
02 – Run2_Base_T100.....	210
03 – Run2_Base_T1000.....	211
04 – Run2_300_T50	211
05 – Run2_300_T100	212
06 – Run2_300_T1000	212
07 – Run2_600_T50	213
08 – Run2_600_T100	213
09 – Run2_600_T1000	214
10 – Run2_900_T50	214
11 – Run2_900_T100	215
12 – Run2_900_T1000	215
13 – Run2_1300_T50	216
14 – Run2_1300_T100	216
15 – Run2_1300_T1000	217

16 – Run5_Base_T50.....	217
17 – Run5_Base_T100.....	218
18 – Run5_Base_T1000.....	218
19 – Run5_300_T50.....	219
20 – Run5_300_T100.....	219
21 – Run5_300_T1000.....	220
22 – Run5_600_T50.....	220
23 – Run5_600_T100.....	221
24 – Run5_600_T1000.....	221
25 – Run5_900_T50.....	222
26 – Run5_900_T100.....	222
27 – Run5_900_T1000.....	223
28 – Run5_1300_T50.....	223
29 – Run5_1300_T100.....	224
30 – Run5_1300_T1000.....	224
31 – Run9_Base_T50.....	225
32 – Run9_Base_T100.....	225
33 – Run9_Base_T1000.....	226
34 – Run9_300_T50.....	226
35 – Run9_300_T100.....	227
36 – Run9_300_T1000.....	227
37 – Run9_600_T50.....	228
38 – Run9_600_T100.....	228
39 – Run9_600_T1000.....	229
40 – Run9_900_T50.....	229
41 – Run9_900_T100.....	230
42 – Run9_900_T1000.....	230
43 – Run9_1300_T50.....	231
44 – Run9_1300_T100.....	231
45 – Run9_1300_T1000.....	232

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο μελέτης – Ιστορικό

Η παρούσα έκθεση υποβάλλεται στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου με τίτλο «Πιθανοτικό πλαίσιο εκτίμησης πλημμυρικής επικινδυνότητας υδροσυστήματος Αλιάκμονα και διερεύνηση στρατηγικών δράσεων απομείωσής της», το οποίο εκπονείται από ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), με Επιστημονικό υπεύθυνο τον Ανδρέα Ευστρατιάδη, Αναπληρωτή Καθηγητή. Το έργο έχει αναθέσει η Διεύθυνση Εκμετάλλευσης Υδροηλεκτρικής Παραγωγής της ΔΕΗ Α.Ε., με βάση την υπ' αριθ. SAP 6300038803/2025 σύμβαση, που υπογράφηκε στις 13/3/2025.

Αντικείμενο του έργου είναι η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας του υδροσυστήματος Αλιάκμονα κατάντη του φράγματος Ασωμάτων και η διερεύνηση μέτρων και έργων απομείωσής της, αξιοποιώντας και διερευνώντας την υποδομή και αρχικά συμπεράσματα, σε επίπεδο μονοδιάστατης υδροδυναμικής προσομοίωσης για διάφορα σενάρια μόνιμης ροής, που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο προηγούμενης ερευνητικής συνεργασίας μεταξύ ΔΕΗ/ΔΕΥΠ και του ΕΜΠ, με τον τίτλο «Ανάπτυξη υπολογιστικής υποδομής για την υδροδυναμική προσομοίωση του υδροσυστήματος κατάντη του φράγματος Ασωμάτων». Η επικινδυνότητα του υπό μελέτη υδροσυστήματος προέρχεται από δύο μηχανισμούς, οι οποίοι διερευνώνται συνδυαστικά, υπό τη μορφή πιθανοτικών σεναρίων, ήτοι: (α) των φυσικών μηχανισμών παραγωγής και διόδευσης των πλημμυρικών ροών σε όλη την έκταση του υδρολογικού συστήματος κατάντη των φραγμάτων της ΔΕΗ, που περιλαμβάνει τον κάτω ρου του Αλιάκμονα, μέχρι το Δέλτα του ποταμού, και τη λεκάνη που αποστραγγίζεται μέσω της Περιφερειακής Τάφρου Τ66, και (β) των εκροών διαμέσου του υδροηλεκτρικού σταθμού και του υπερχειλιστή του φράγματος Ασωμάτων, που αποτελεί το ανάντη όριο της περιοχής μελέτης. Η ανάλυση διαρθρώνεται σε δύο επίπεδα, ήτοι την υδρολογική προσομοίωση της συνολικής λεκάνης απορροής, και την υδραυλική προσομοίωση των χαμηλών της τμημάτων, σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, με εφαρμογή συζευγμένης (coupled 1D-2D) υδροδυναμικής ανάλυσης.

Η ομάδα μελέτης αποτελείται από τους:

- Ανδρέα Ευστρατιάδη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ
- Παναγιώτη Δήμα, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, MAS ETH Zürich, Υποψ. Δρ. ΕΜΠ
- Παναγιώτη Κοσσιέρη, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, MSc
- Γεώργιο Κουτσό, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, MSc, Υποψ. Δρ. ΕΜΠ
- Αρχοντία Λύκου, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, MSc

1.2 Σύνδεση με το προηγούμενο έργο

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σκοπό της προηγηθείσας ερευνητικής συνεργασίας μεταξύ ΔΕΗ/ΔΕΥΠ και ΕΜΠ, ήταν η ανάπτυξη υπολογιστικής υποδομής για την υδροδυναμική προσομοίωση του υδροσυστήματος κατάντη του φράγματος Ασωμάτων, για διάφορα σενάρια λειτουργίας των στροβίλων και του υπερχειλιστή, σε συνδυασμό με σενάρια παροχών εισροής από την Περιφερειακή Τάφρο Τ66. Οι αναλύσεις βασίστηκαν στην ανάπτυξη ενός υδροδυναμικού μοντέλου που αναπαριστά το πεδίο ροής σε τμήμα του π. Αλιάκμονα (από το αναρρυθμιστικό φράγμα της Αγίας Βαρβάρας ως την ευρύτερη περιοχή κατάντη της Κυψέλης) και στο χαμηλό τμήμα της Περιφερειακής Τάφρου Τ66.

Οι εργασίες που έλαβαν χώρα αφορούσαν: (α) στη συλλογή και επεξεργασία των απαιτούμενων δεδομένων, (β) τον προσδιορισμό του πεδίου υδροδυναμικής προσομοίωσης, μέσω πολυκριτηριακής

ανάλυσης σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, η οποία κατέδειξε τις περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, και (γ) την εκπόνηση μονοδιάστατων υδροδυναμικών αναλύσεων εντός της προκύπτουσας ευάλωτης περιοχής μελέτης, για διάφορα σενάρια σταθερής παροχής της Περιφερειακής Τάφρου T66 και εκροής από τους στροβίλους και τον υπερχειλιστή του φράγματος Ασωμάτων, και εν συνεχεία μέσω του έργου της Αγίας Βαρβάρας.

Στο πλαίσιο αυτό, εξετάστηκαν έξι σενάρια, συνδυάζοντας τρεις τιμές εκροής από τον ταμιευτήρα Ασωμάτων (800, 1300 και 1700 m³/s) και την τάφρο (800 και 1300 m³/s), με προσωρινή εκτροπή 80 m³/s μέσω της Διώρυγας Α0 και του ΜΥΗΣ Μακροχωρίου II. Με βάση τις ως άνω μονοδιάστατες υδροδυναμικές αναλύσεις παρήχθησαν αποτελέσματα σε μορφή χαρτών, ήτοι μέγιστων βαθών ροής, μέγιστων ταχυτήτων ροής και επιφανειών κατάκλυσης. Ακόμη, επιχειρήθηκε εμπειρική επαλήθευση του μοντέλου και της ορθότητας των αποτελεσμάτων, αξιοποιώντας, μεταξύ άλλων, μακροσκοπικές παρατηρήσεις και πληροφορίες που συλλέχθηκαν κατά την αυτοψία που πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2024, εφαρμόζοντας τις παρατηρηθείσες συνθήκες ροής (παροχή Αλιάκμονα 10 m³/s, παροχή T66 της τάξης των 50 m³/s).

Από τις υδροδυναμικές αναλύσεις προέκυψε ότι μεταβαίνοντας από το πιο ευνοϊκό σενάριο στο πλέον δυσμενές, η έκταση των εκτάσεων που κατακλύζονται αυξάνει από τα 33.7 στα 42.9 km², και αφορούν σχεδόν αποκλειστικά σε αγροτικές περιοχές. Μοναδική εξαίρεση, στην οποία η πλημμυρική κατάκλυση εκτείνεται και σε κατοικημένες ζώνες αποτελεί ο οικισμός της Κυψέλης, ενώ μόνο στο πλέον δυσμενές σενάριο, ήτοι με λειτουργία των δύο έργων σε πλήρη παροχетеυτικότητα, το πεδίο κατάκλυσης, το πεδίο φτάνει στα όρια και άλλων οικισμών (Αγκάθια, Αγ. Τριάδα, Πρόδρομος). Από την άλλη πλευρά, οι κρίσιμες υποδομές οδοποιίας που είναι εντός του πλημμυρικού πεδίου, όπως και οι εγκαταστάσεις του ΜΥΗΕ Μακροχωρίου II φαίνεται ότι δεν τίθενται σε κίνδυνο. Όσον αφορά στην Περιφερειακή Τάφρο T66, οι αναλύσεις επιβεβαίωσαν ότι η παροχетеυτικότητά της είναι της τάξης των 1300 m³/s, για την οποία οι περισσότερες διατομές κατά μήκος της επαρκούν οριακά. Ακόμη, στην κρίσιμη περιοχή της συμβολής της T66 με τον Αλιάκμονα, αν και αναπτύσσονται ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες, το οποίο εξηγεί την ισχυρή διάβρωση που αριστερού πρानούς, δεν προκύπτουν άλλα ζητήματα, καθώς οι διατομές τόσο της T66 όσο και του ποταμού μπορούν να διοχετεύσουν με ασφάλεια ακόμα και τις μέγιστες παροχές. Τέλος, όσον αφορά στην Εγνατία Οδό, η οποία οδεύει σχεδόν παράλληλα με τον κάτω ρου του Αλιάκμονα, επιβεβαιώθηκε ότι λειτουργεί ως ανάχωμα, προστατεύοντας τους οικισμούς και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις που βρίσκονται στην αντιδιαμετρική πλευρά (προς βορρά).

Ωστόσο, όπως επισημάνθηκε στη σχετική τεχνική έκθεση (Ευστρατιάδης κ.ά., 2024), η μονοδιάστατη προσέγγιση που υιοθετήθηκε στις ως άνω αναλύσεις, αν και υπολογιστικά αποδοτική, επιφέρει αρκετούς περιορισμούς αλλά και ανακρίβειες, καθώς εκτιμά συνθήκες ομοιόμορφης ροής μόνο εντός της κοίτης, δεν μπορεί να αποτυπώσει με πληρότητα την επίδραση γεωμετρικών μεταβολών που οφείλονται σε περιορισμό ή διαπλάτυνση της ροής, τεχνικά έργα, κλπ., αδυνατεί να περιγράψει τη μεταβλητότητα των υδραυλικών μεγεθών κατά την εγκάρσια, ως προς την κύρια ροή, διεύθυνση, καθώς και αλληλεπιδράσεις της ροής εντός της κοίτης με το εκατέρωθεν πλημμυρικό πεδίο (υπερχειλίση κοίτης και αναχωμάτων, επιστροφές νερού από τις περιοχές κατάκλυσης, κτλ.). Οι παραπάνω αδυναμίες περιορίζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων σε πολύπλοκα πεδία ροής, όπως αυτό της περιοχής μελέτης, όπου και οι δυο διαστάσεις είναι εξίσου σημαντικές.

Επιπρόσθετα, όπως εξηγήθηκε, η ως άνω ανάλυση έγινε για συνθήκες μόνιμης ροής, όπου η φόρτιση του υδροδυναμικού πεδίου αντιμετωπίστηκε με τη μορφή σεναρίων σταθερών τιμών εκροής από την Περιφερειακή Τάφρο και τον ταμιευτήρα Ασωμάτων. Ωστόσο, η παραπάνω υπόθεση παρουσιάζει μείζονα μειονεκτήματα, καθώς αγνοεί τις πλημμυρικές διεργασίες που ενεργοποιούνται από τον χωροχρονικό μετασχηματισμό των ισχυρών επεισοδίων καταιγίδων που πλήττουν την περιοχή

μελέτης. Υπενθυμίζεται ότι η τελευταία συντίθεται από δύο μεγάλες λεκάνες απορροής, ήτοι αυτή της Περιφερειακής Τάφρου και του κάτω ρου του Αλιάκμονα. Οι πλημμυρικές διεργασίες της πρώτης αντιμετωπίστηκαν με υπεραπλουστευμένο τρόπο, λόγω της υπόθεσης μόνιμης ροής, ενώ της δεύτερης αγνοήθηκαν εντελώς.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων, στο παρόν έργο προδιαγράφεται η εκπόνηση συνδυαστικής υδρολογικής-υδραυλικής μελέτης, που θα παρέχει τα σχετικά δεδομένα εισόδου (πλημμυρογραφήματα) σε κατάλληλες υδροδυναμικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τα σενάρια λειτουργίας του υδροσυστήματος Αλιάκμονα. Ειδικότερα, η υδροδυναμική προσέγγιση θα βασιστεί σε δισδιάστατες υδροδυναμικές αναλύσεις σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, ώστε να αποτυπώνεται με πολύ καλύτερη λεπτομέρεια η εξέλιξη του πλημμυρικού φαινομένου εντός και εκτός κοίτης, καθώς και την σχετική τους αλληλεπίδραση, ενώ θα παρέχεται πρόσθετη πληροφορία, επιτρέποντας την κατάρτιση μέτρων απομείωσης του πλημμυρικού κινδύνου, σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού.

1.3 Διάρθρωση τεύχους

Πέραν της παρούσας εισαγωγής (Κεφάλαιο 1), η έκθεση περιλαμβάνει επτά ακόμη κεφάλαια, καθώς και παραρτήματα με τα πλήρη αποτελέσματα των υδροδυναμικών αναλύσεων.

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφεται η περιοχή μελέτης και οι βασικές υποδομές ενδιαφέροντος.

Στο **Κεφάλαιο 3** συνοψίζεται το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο των υδρολογικών και υδροδυναμικών αναλύσεων.

Στο **Κεφάλαιο 4** εξηγείται η διαδικασία σχηματοποίησης του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης και οι σχετικές χωρικές αναλύσεις.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η κατάρτιση των σεναρίων βροχόπτωσης (υετογραφήματα), ήτοι των φορτίσεων του υδρολογικού μοντέλου.

Στο **Κεφάλαιο 6** εξηγείται αναλυτικά η μεθοδολογία υδρολογικής προσομοίωσης.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης, που δίνονται σε πιθανοτική μορφή.

Στο **Κεφάλαιο 8** περιγράφεται το θεωρητικό πλαίσιο της συζευγμένης υδροδυναμικής ανάλυσης.

Στο **Κεφάλαιο 9** παρουσιάζονται τα κυριότερα αποτελέσματα της υδροδυναμικής ανάλυσης.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 10** παρατίθενται τα συμπεράσματα της υδρολογικής-υδροδυναμικής ανάλυσης και οι προτάσεις για τη μείωση του πλημμυρικού κινδύνου στο υδροσύστημα του Αλιάκμονα.

2 Περιοχή μελέτης

2.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Η χαμηλή ζώνη του Αλιάκμονα, κατάντη του φράγματος Ασωμάτων, αποτελεί μια ιδιαίτερα ευάλωτη περιοχή, παρά τον σημαντικό μετριασμό των πλημμυρικών φαινομένων που παρέχει το σύστημα υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων εν σειρά της ΔΕΗ, που αναφέρεται ως *Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Αλιάκμονα* (Ιλαρίωνας, Πολύφυτο, Σφηκιά, Ανώματα, Αγ. Βαρβάρα). Αυτό κυρίως συμβαίνει επειδή κατάντη του φράγματος Ασωμάτων, συμβάλει η λεγόμενη Περιφερειακή Τάφρος (Τ66), η οποία αποστραγγίζει μια έκταση της τάξης των 2200 km², τα νερά της οποία παλαιότερα (έως τα τέλη της δεκαετίας του 1930) τροφοδοτούσαν την (αποξηραμένη πλέον) λίμνη των Γιαννιτσών, και πλέον εκτρέπονται στον Αλιάκμονα. Η παροχетеυτικότητα της Τ66, στο κατάντη τμήμα αυτής, εκτιμάται σε 1300 m³/s (βλ. 2.4.4). Σε περιόδους ισχυρών βροχοπτώσεων, οι πλημμυρικές απορροές της Τ66, σε συνδυασμό αφενός με τις απορροές που παράγονται στη λεκάνη του κάτω ρου του Αλιάκμονα, και αφετέρου τις εκροές του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος, που εν τέλει διοχετεύονται διαμέσου του κατάντη αναρρυθμιστικού ταμιευτήρα της Αγ. Βαρβάρας, δύναται να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στους παρακείμενους οικισμούς, υποδομές και αγροτικές εκτάσεις που αναπτύσσονται στο ευρύτερο πλημμυρικό πεδίο (floodplain) του ποταμού.

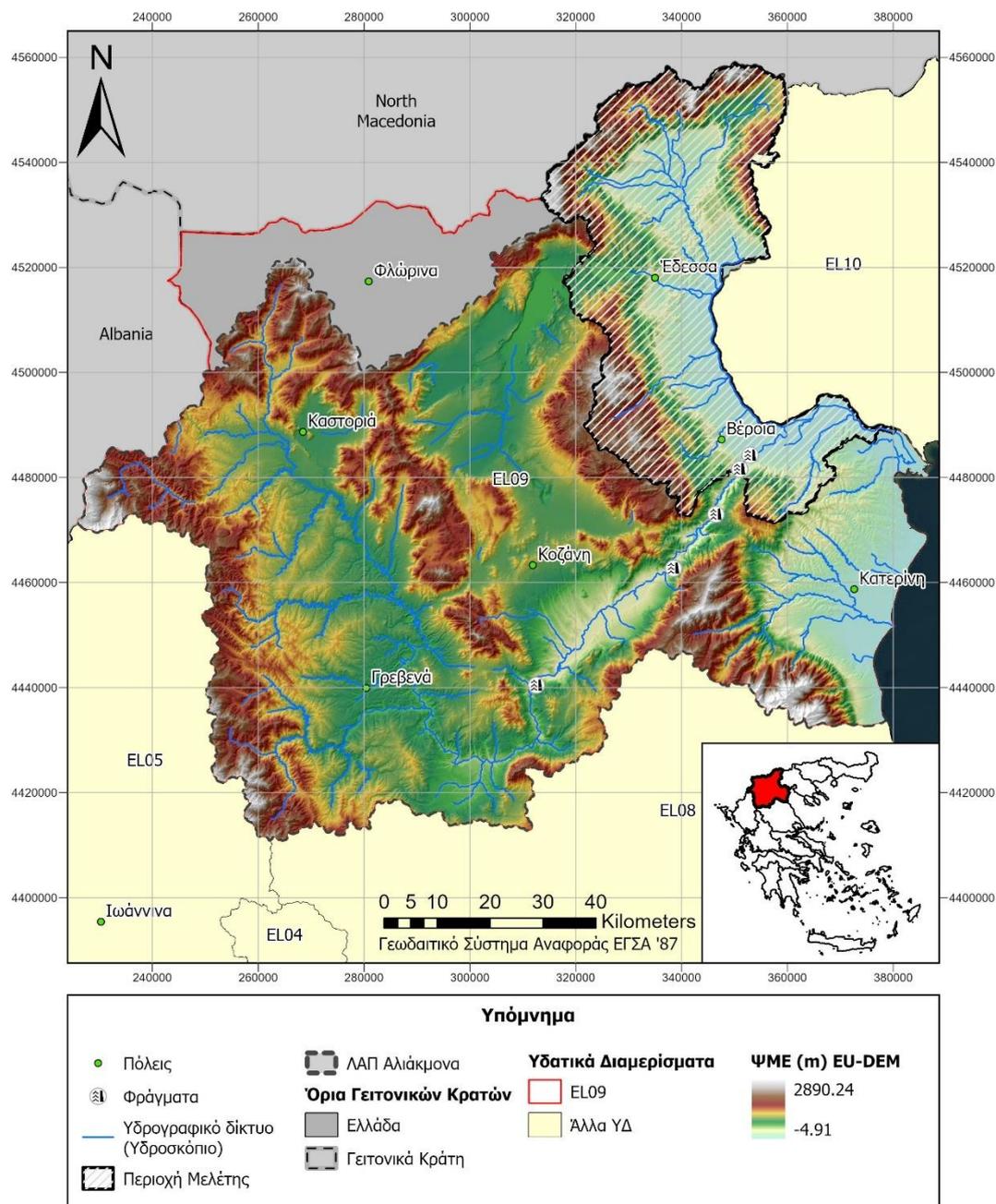
Με βάση τα παραπάνω, το ερώτημα που τίθεται είναι ποιες θα είναι οι εν λόγω επιπτώσεις, στην περίπτωση που καταστεί αναγκαία η απελευθέρωση σημαντικών όγκων νερού και από τα φράγματα της ΔΕΗ, και ειδικότερα διαμέσου των στροβίλων του ΥΗΣ Ασωμάτων, παροχетеυτικότητας 300 m³/s, και του υπερχειλιστή του φράγματος, παροχетеυτικότητας 1200 m³/s. Όπως εξηγείται στην εισαγωγή (ενότητα 1.2), η απάντηση στο εν λόγω ερώτημα γίνεται μέσω δύο διαδοχικών ερευνητικών έργων. Στο πρώτο, που υλοποιήθηκε την περίοδο Φεβρουαρίου–Μαΐου 2024, αναπτύχθηκε υπολογιστική υποδομή μονοδιάστατης υδροδυναμικής προσομοίωσης, για τη διερεύνηση διαφορετικών σεναρίων εκροών από το φράγμα Ασωμάτων και την τάφρο Τ66. Στο πλαίσιο της παρούσας σύμβασης, έχοντας αυτό ως υπόβαθρο, υιοθετείται μια πολύ πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση. Αυτή προσβλέπει στην ανάπτυξη ενός συνδυαστικού σχήματος υδρολογικής και υδροδυναμικής προσομοίωσης, η οποία επιτρέπει αφενός την περιγραφή των πλημμυρικών διεργασιών της συνολικής λεκάνης απορροής, και αφετέρου την αναπαράσταση των υδροδυναμικών διεργασιών στην χαμηλή πλημμυρική ζώνη, μέσω συζευγμένης μονοδιάστατης-δισδιάστατης ανάλυσης.

Πριν την ανάπτυξη των παραπάνω τεχνικών αντικειμένων, περιγράφονται, συνοπτικά, η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος, ήτοι το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας, προσδιορίζεται το υπολογιστικό πεδίο (διευρυμένο, όσον αφορά στην υδρολογική ανάλυση, και πιο στοχευμένο για την υδροδυναμική), και παρουσιάζονται τα βασικά τεχνικά έργα, τα οποία αναπαρίστανται στη συνέχεια μέσω του πλαισίου υδρολογικής-υδροδυναμικής προσομοίωσης.

2.2 Ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος

2.2.1 Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας

Η περιοχή μελέτης αναπτύσσεται στο Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) Δυτικής Μακεδονίας (EL09), που είναι ένα από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας και έχει έκταση 13 624 km² (**Εικόνα 2.1**). Το ανάγλυφο του ΥΔ είναι ορεινό-ημιορεινό, με εξαίρεση τα πεδινά τμήματα που αναπτύσσονται στην περιοχή της Κοζάνης – Πτολεμαΐδας, στην Περιφερειακή Τάφρο και στις παράκτιες περιοχές της Πιερίας.



Εικόνα 2.1: Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας, ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων, υδρογραφικό δίκτυο, κύρια αστικά κέντρα, και οριοθέτηση υπό μελέτη υδροσυστήματος.

Ως προς τις χρήσεις γης, οι δασικές περιοχές καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό, ήτοι 56%, και αναπτύσσονται κυρίως στα ορεινά τμήματα των ΛΑΠ. Η γεωργική γη είναι η αμέσως επόμενη κυρίαρχη χρήση, με ποσοστό περίπου 39% επί του συνόλου. Η μόνιμα αρδευόμενη γεωργική γη αποτελεί μόνο το 2,5% αυτής, ενώ το υπόλοιπο είναι αρόσιμη. Σημαντικό είναι επίσης το ποσοστό (περίπου 9% της συνολικής έκτασης του ΥΔ) που καταλαμβάνουν οι φυσικοί βοσκότοποι και οι χορτολιβαδικές εκτάσεις, οι οποίοι εντοπίζονται κυρίως ενδιάμεσα των δασικών εκτάσεων.

Το ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας περιλαμβάνει δύο Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ), ήτοι των Πρεσπών (EL0901) και του Αλιάκμονα (EL0902), σύμφωνα με την υπ' αριθμ. οικ. 706/16.07.10 απόφαση (ΦΕΚ 1383/Β'/02.09.2010) της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, έτσι όπως διορθώθηκε και ισχύει, με έκταση 1 210 km² και 12 410 km² αντίστοιχα.

Οι κύριες υδρολογικές λεκάνες του ΥΔ είναι αυτές του Αλιάκμονα (8 813 km²), της κλειστής λεκάνης Πτολεμαΐδας (2 133 km²), της λεκάνης του ποταμού Αξιού (ποταμός Λύγκος) στο Νομό Φλώρινας (863 km²) και της λεκάνης του ποταμού Αίσωνα ή Μαυρονερίου (815 km²). Άλλες αξιόλογες λεκάνες, με έκταση μικρότερη των 600 km², είναι αυτές των λιμνών Καστοριάς (353 km²) που περιλαμβάνεται στη λεκάνη του π. Αλιάκμονα, Βεγορίτιδας, Χειμαδίτιδας και Πετρών (που περιλαμβάνονται στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας), καθώς και οι λεκάνες Πρεσπών και του ποταμού Χελοποτάμου.

Ο ποταμός Αλιάκμονας αποτελεί το κυριότερο υδάτινο σώμα του ΥΔ και αναγνωρίζεται ως ένας από τους πιο σημαντικούς ποταμούς σε ολόκληρη τη χώρα, διότι κατά μήκος του έχουν κατασκευαστεί τα υδροηλεκτρικά φράγματα του Ιλαρίωνα, Πολυφύτου, Σφηκιάς, Ασωμάτων και Αγ. Βαρβάρας. Αξίζει να σημειωθεί ότι, εκτός από τα νερά της ίδιας της λεκάνης, ο Αλιάκμονας παραλαμβάνει και τα νερά που μεταφέρει η Περιφερειακή Τάφρος, η οποία αποστραγγίζει μια έκταση περίπου 2200 km², και συμβάλει κατάντη του ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας. Η τάφρος συλλαμβάνει και απάγει τα νερά της Αλμωπίας, του Εδεσσαίου και των πηγών και των χειμάρρων του Ανατολικού Βερμίου. Στο ιστορικό της γίνεται σύντομη αναφορά, στο εδάφιο 2.4.4.

Το μεγαλύτερο μέρος του Υδατικού Διαμερίσματος έχει ηπειρωτικό κλίμα, ενώ τα παράκτια και τα ορεινά τμήματα έχουν θαλάσσιο και ορεινό κλίμα αντίστοιχα. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο ΥΔ κυμαίνεται από 600 μέχρι 1000 mm, ενώ στα ορεινά τμήματα ξεπερνάει και τα 1200 mm. Οι χιονοπτώσεις είναι αρκετά συνηθισμένες κατά το διάστημα Νοεμβρίου-Απριλίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 14.5 και 17°C, με ψυχρότερο μήνα τον Ιανουάριο και θερμότερο τον Ιούλιο. Η μέση ετήσια (φυσικοποιημένη) επιφανειακή απορροή ανέρχεται στα 2 518 hm³ (ισοδύναμο ύψος απορροής 289.8 mm, για επιφάνεια λεκάνης ίση με 8 686 km²).

Σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ του 2021, ο μόνιμος πληθυσμός της Υδατικού Διαμερίσματος εκτιμάται σε 528 730 άτομα, ενώ το 2011 ήταν 574 911 άτομα. Η πλειονότητα του πληθυσμού συγκεντρώνεται στη ΛΑΠ Αλιάκμονα (497 404 κάτοικοι), έναντι 31 326 κατοίκων της ΛΑΠ Πρεσπών.

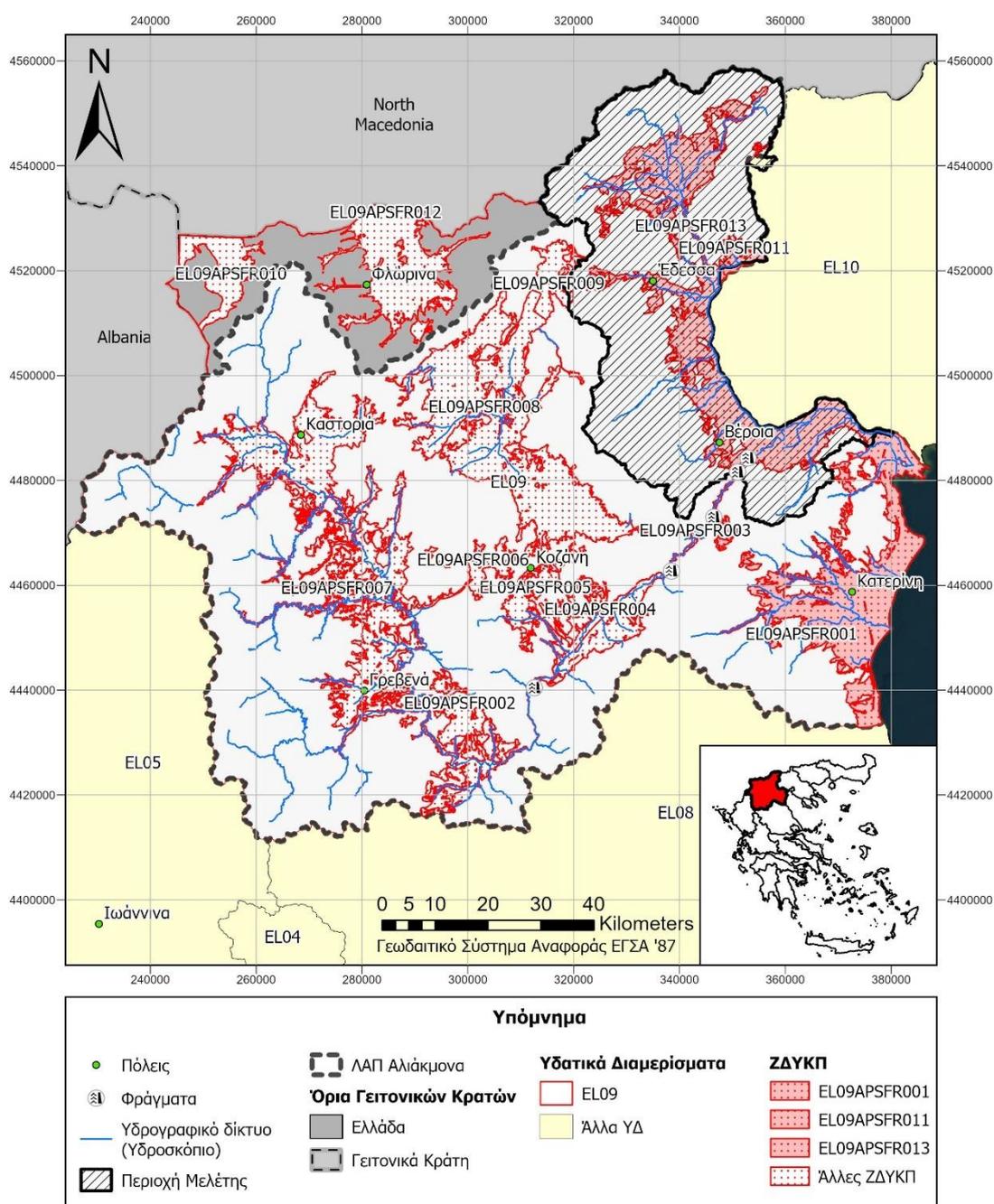
2.2.2 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας

Στο πλαίσιο τη πρόσφατης αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ), του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας, προσδιορίστηκαν οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ), που παρατίθενται στον Πίνακα 2.1. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2, τρεις εξ αυτών αναπτύσσονται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, η οριοθέτηση της οποίας περιγράφεται στη συνέχεια.

Πίνακας 2.1: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ09 σύμφωνα με 2^ο Κύκλο των ΣΔΚΠ, με επισήμανση των ΖΔΥΚΠ που ανήκουν στην περιοχή μελέτης (Πηγή: <https://floods.ypeka.gr/>).

Κωδικός	Ονομασία	Έκταση (km ²)
EL09APSFR001	Χαμηλή ζώνη περιφερειακής τάφρου και συμβαλλόντων ποταμών, πεδιάδα Κατερίνης και Λιτόχωρου	1011.4
EL09APSFR002	Χαμηλή ζώνη μέσω ρου π. Αλιάκμονα (περιοχή Σαρακήνα, Καρπερό)	199.3
EL09APSFR003	Δεξιά παρόχθια περιοχή τεχνητής λίμνης Πολυφύτου	116.8
EL09APSFR004	Αριστερή παρόχθια περιοχή τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, χαμηλή ζώνη Φτελιάς	72.0
EL09APSFR005	Πεδιάδα Κοζάνης	70.1
EL09APSFR006	Χαμηλή ζώνη Ξηρολίμνης	48.5
EL09APSFR007	Χαμηλή ζώνη άνω ρου π. Αλιάκμονα και λίμνης Καστοριάς	723.3
EL09APSFR008	Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Πτολεμαΐδας, παραλίμνιες εκτάσεις λιμνών Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών & νότια της λίμνης Βεγορίτιδας	733.9

EL09APSF009	Περιοχή Άρνισσα, Αγ. Αθανάσιος παρόχθιες εκτάσεις βόρεια της λίμνης Βεγορίτιδας	68.7
EL09APSF010	Χαμηλή ζώνη λεκάνης Πρεσπών	115.7
EL09APSF011	Άνω ρους περιφερειακής τάφρου T66	33.7
EL09APSF012	Χαμηλή ζώνη λεκάνης π. Αξιού στο Ν. Φλώρινας (π. Λύγκος)	299.3
EL09APSF013	Χαμηλή ζώνη π. Μαυροπόταμου (περιοχή Αλωπαίου) και συμβαλλόντων ποταμών	256.8

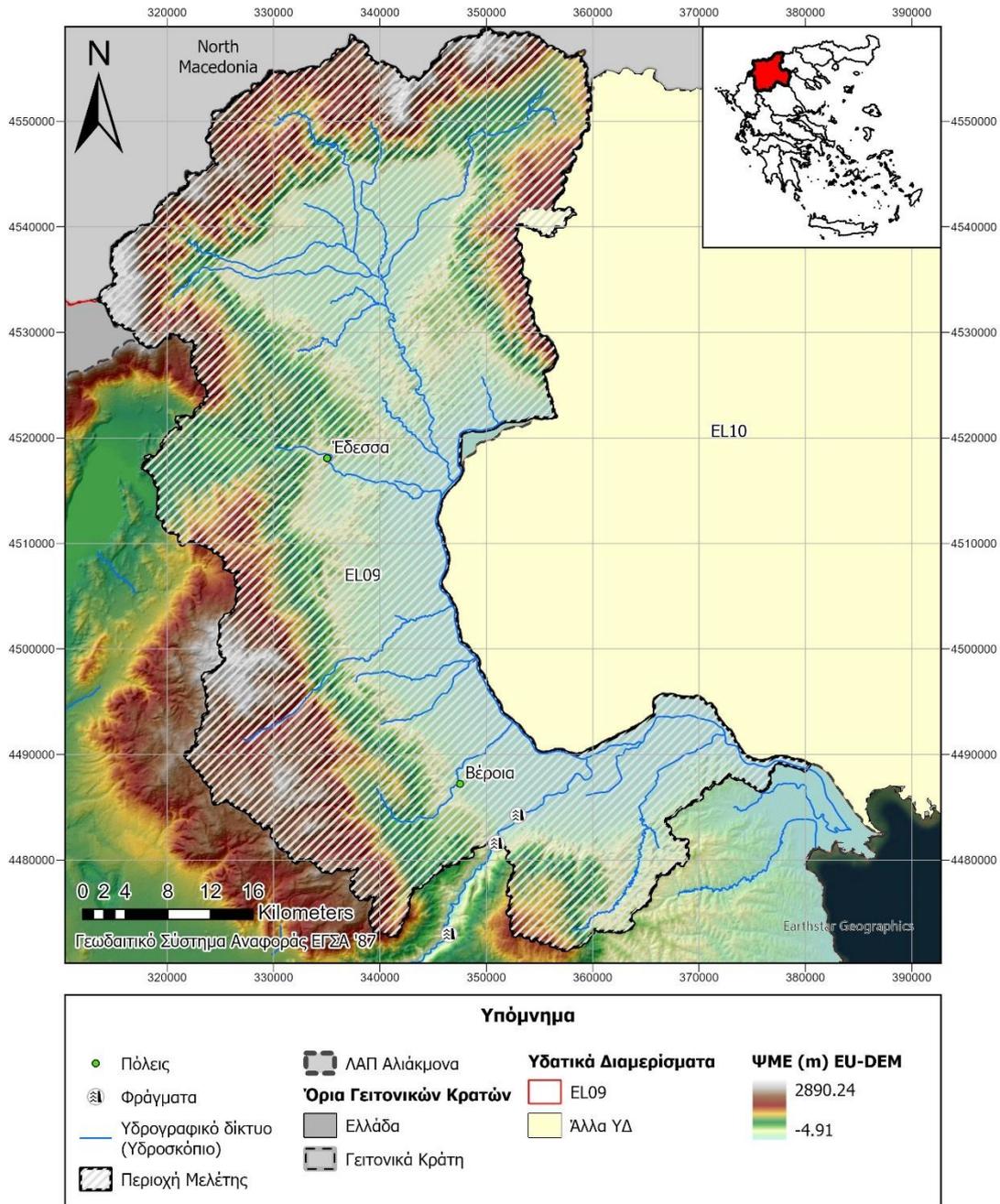


Εικόνα 2.2: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος EL09 σύμφωνα με 2ο Κύκλο ΣΔΚΠ (Πηγές: <https://floods.ypeka.gr/> & Eurostat).

2.3 Οριοθέτηση περιοχής μελέτης

2.3.1 Πεδίο υδρολογικής προσομοίωσης

Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.1**, η όλη περιοχή μελέτης, που ταυτίζεται με το πεδίο υδρολογικής προσομοίωσης, και θα αναφέρεται στη συνέχεια ως *υδροσύστημα Αλιάκμονα*, καταλαμβάνει το ΒΑ τμήμα του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας. Πρόκειται για ένα σύστημα δύο διασυνδεδεμένων λεκανών απορροής, ήτοι της Περιφερειακής Τάφρου και του κάτω ρου Αλιάκμονα, συνολικής έκτασης 2669 km² (**Εικόνα 2.3**). Στην πραγματικότητα, η Περιφερειακή Τάφρος είναι έργο συλλογής και εν συνεχεία εκτροπής των νερών που παλαιότερα κατέληγαν στη λίμνη των Γιαννιτσών.



Εικόνα 2.3: Λεκάνη απορροής υδροσυστήματος Αλιάκμονα.

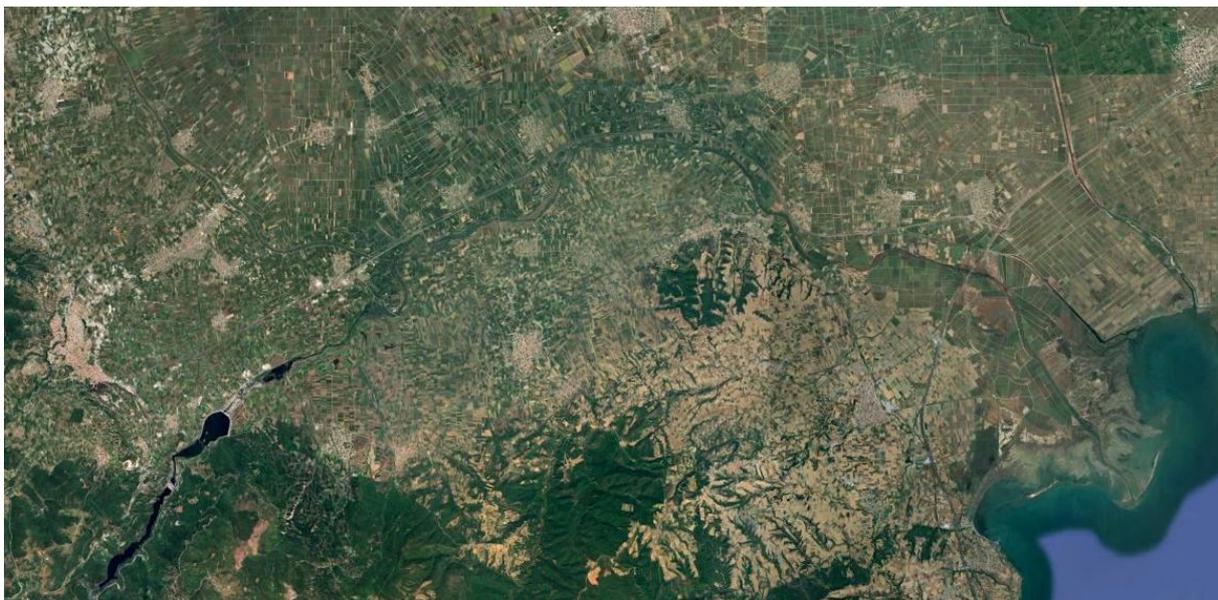
Σύμφωνα με τη σύμβαση, ως ανάντη όριο του υδροσυστήματος θεωρείται το φράγμα Ασωμάτων, για το οποίο εξετάζονται διάφορα σενάρια εκροών, ενώ ως κατάντη όριο λαμβάνεται η συμβολή του Αλιάκμονα με την ΠΑΘΕ. Με βάση και τα στοιχεία του **Πίνακα 2.1**, τα χαμηλά τμήματα της περιοχής μελέτης, κατά μήκος της Περιφερειακής Τάφρου και κατάντη των φραγμάτων, αναπτύσσονται εντός Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.

Στο πλαίσιο της υδρολογικής προσομοίωσης υιοθετείται μια ημικατανεμημένη προσέγγιση, στην οποία το εν λόγω σύστημα διακριτοποιείται σε υπολεκάνες, οι παραγόμενες πλημμυρικές απορροές των οποίων διοδεύονται στο κύριο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Η διαδικασία σχηματοποίησης του υδρολογικού συστήματος εξηγείται στο Κεφάλαιο 4.

2.3.2 Πεδίο υδροδυναμικής προσομοίωσης

Η περιοχή που εξετάστηκε στο προηγούμενο ερευνητικό έργο περιλάμβανε το ποτάμιο σύστημα του ποταμού Αλιάκμονα, κατάντη του αναρρυθμιστικού ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας και της συμβολής της τάφρου Τ66 ως την ευρύτερη περιοχή του οικισμού Κυψέλης. Ανάντη όριο για την συμβάλλουσα αποστραγγιστική τάφρο Τ66 αποτέλεσε η περιοχή της Κουλούρας, και δη η παλιά γέφυρα Κουλούρας. Το ανάντη όριο στην Τ66 καθώς και το κατάντη όριο στο π. Αλιάκμονα τέθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής αξιολόγησης, και συζητήσεις που έγιναν με εκπροσώπους της ΔΕΗ κατά την επιτόπια επίσκεψη που έγινε τον Μάρτιο του 2024, και περιγράφονται στην σχετική παραδοτέα έκθεση (Ευστρατιάδης κ.ά., 2024).

Στο πλαίσιο των υδροδυναμικών αναλύσεων του παρόντος έργου, η περιοχή αυτή διευρύνεται στα κατάντη, φτάνοντας έως τη συμβολή του Αλιάκμονα με την ΠΑΘΕ, αλλά και λίγο χαμηλότερα. Σημειώνεται ότι μετά το σημείο αυτό, διαμορφώνεται μια μεταβατική περιοχή, που περιλαμβάνει το Δέλτα του ποταμού, στην οποία υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση με τις παράκτιες πλημμυρικές διεργασίες. Σε συνδυασμό και με τις διεργασίες στερεομεταφοράς, η γεωμετρία του ποταμού στην περιοχή του Δέλτα υπόκειται σε συνεχείς μεταβολές. Μια άποψη της ευρύτερης περιοχής του κάτω ρου του Αλιάκμονα δίνεται στην **Εικόνα 2.3**, όπου διακρίνονται οι ταμιευτήρες Ασωμάτων και Αγ. Βαρβάρας, στα δυτικά, και οι εκβολές του ποταμού, στα ανατολικά.



Εικόνα 2.4: Δορυφορική φωτογραφία της ευρύτερης περιοχής του κάτω ρου του Αλιάκμονα, από τον ταμιευτήρα Ασωμάτων έως και τις εκβολές, όπου υλοποιείται η υδροδυναμική προσομοίωση (Πηγή: Google Earth).

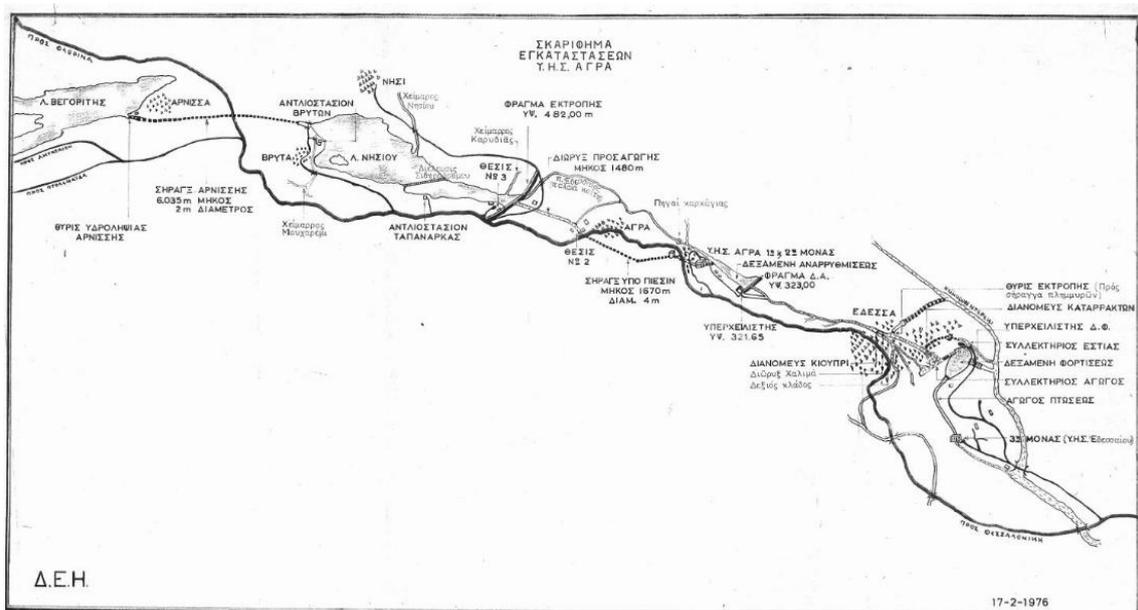
2.4 Κύρια υδραυλικά έργα

Τα σημαντικότερα τεχνικά έργα του υδροσυστήματος Αλιάκμονα, τα οποία επηρεάζουν τις υδρολογικές ή/και υδροδυναμικές αναλύσεις της παρούσας μελέτης, αφορούν στην εν μέρει φυσική λίμνη Άγρα (αναφέρεται και ως λίμνη Άγρα-Βρυττών-Νησίου) και τα ΥΗΣ Άγρα και Εδεσσαίου, που αναπτύσσονται στο ΒΔ τμήμα της λεκάνης της Περιφερειακής Τάφρου, το αναρρυθμιστικό φράγμα Αγ. Βαρβάρας, με τα συνοδά του έργα, η ίδια η Περιφερειακή Τάφρος, και το μικρό υδροηλεκτρικό έργο Μακροχωρίου ΙΙ. Για τα έργα αυτά, δίνονται κάποιες βασικές πληροφορίες στη συνέχεια.

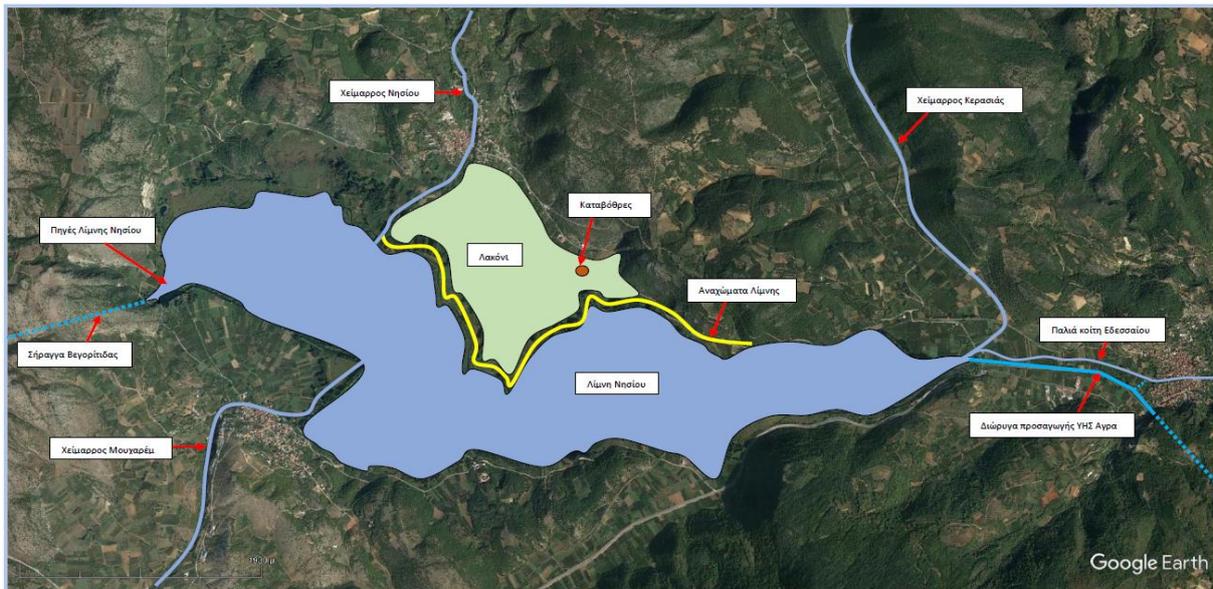
2.4.1 Λίμνη Άγρα-Βρυττών-Νησίου

Η λίμνη Άγρα-Βρυττών-Νησίου (αναφέρεται και ως λίμνη Νησίου) βρίσκεται 6 km δυτικά της Έδεσσας, και είναι ένα εν μέρει τεχνητός υγροβιότοπος, το φυσικό υδρολογικό καθεστώς του οποίου είναι ισχυρά τροποποιημένο, λόγω σειράς έργων που κατασκευάστηκαν από τη ΔΕΗ κατά την δεκαετία του 1950. Έως τότε, η περιοχή της λίμνης ήταν μια αβαθής και τελματώδης λεκάνη, που αποτελούσε το πεδίο πλημμυρών και προσχώσεων του άνω ρου του ποταμού Εδεσσαίου (Βόδα). Η λεκάνη αυτή αποστραγγιζόταν με πολύ αργούς ρυθμούς, μέσω φυσικών καταβοθρών, καθώς και μέσω των επιφανειακών προς τα κατάντη ροών του ποταμού (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2005).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, η ΔΕΗ προχώρησε στην υδροηλεκτρική αξιοποίηση του Εδεσσαίου, κατασκευάζοντας τον ΥΗΣ Άγρα (μεταγενέστερα και τον ΥΗΣ Εδεσσαίου), και άλλα έργα υποδομής, με σκοπό και την αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής. Ωστόσο, επειδή η λίμνη Νησίου είναι αβαθής, με συνέπεια η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι μικρή, το 1953 διανοίχθηκε η λεγόμενη σήραγγα Άρνισσας, μήκους 6.5 km για την εκτροπή νερού από τη λίμνη Βεγορίτιδα, η οποία βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο (520.0 m έναντι 478.8 m της λίμνης Νησίου), με συνέπεια να κατακλυστούν πρώην έλη και καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής Νησίου-Βρυττών. Επιπρόσθετα, προκειμένου να διευκολυνθεί η παροχέτευση των επιπλέον εισροών προς τον ΥΗΣ Άγρα, η ΔΕΗ προχώρησε στην κατασκευή υποστηρικτικών έργων, που συμβάλλουν καθοριστικά στην αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής, ήτοι: (α) τεχνητά κανάλια κατά μήκος της λίμνης που λειτουργούν παράλληλα με τη φυσική κοίτη του Εδεσσαίου, αποτρέποντας την ολική κατάκλιση της, σε κανονικές συνθήκες, και (β) αναχώματα, με υψόμετρο +479.0 m, στη βόρεια κοίτη του Εδεσσαίου, κατάντη της συμβολής του με το χείμαρρο Νησίου που προστατεύουν την περιοχή Λακόνι.



Εικόνα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα υδροσυστήματος Εδεσσαίου (Πηγή: ΔΕΗ).



Εικόνα 2.6: Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής της λίμνης Άγρα-Βрутτων-Νησιού, στην οποία επισημαίνονται τα βασικά τεχνικά έργα (Πηγή: ΔΕΗ).

Στην **Εικόνα 2.5** δίνεται μια σχηματική διάταξη του όλου υδροσυστήματος Εδεσσαίου, που ελήφθη από παλιά μελέτη της ΔΕΗ (Φεβ. 1976), και αναπαράγεται στη μελέτη των Βαλιούλη κ.ά. (2002), ενώ στην **Εικόνα 2.6** δίνεται μια πιο εστιασμένη διάταξη των έργων στην περιοχή της λίμνης Νησιού, που παραχωρήθηκε από τη ΔΕΗ.

Σημειώνεται ότι το 1989, διακόπηκαν πλήρως οι εκτροπές νερού από τη Βεγορίτιδα, με αποτέλεσμα η κατάσταση να επανέλθει ουσιαστικά στις συνθήκες που υπήρχαν πριν κατασκευαστούν τα κανάλια. Βεβαίως, η απορροή των νερών συνεχίζει να γίνεται μέσα από τα κανάλια, όμως η φυσική κοίτη του Εδεσσαίου διαρρέεται από πολύ μικρότερες ποσότητες νερού, από ότι στο παρελθόν. Σε κάθε περίπτωση, υπό κανονικές συνθήκες, δεν κατακλύζεται πλέον η όλη έκταση της λίμνης, παρά καλύπτονται μόνο η φυσική κοίτη του ποταμού, τα τεχνητά κανάλια και οι λεκάνες που βρίσκονται ενδιάμεσα και κατά μήκος των καναλιών και της φυσικής κοίτης.

Τα φυσικά όρια της λίμνης, όπως έχει πλέον διαμορφωθεί, είναι: (α) προς τη βόρεια πλευρά που βρίσκεται ο οικισμός του Νησιού, τα φυσικά και τεχνητά αργιλικά αναχώματα της βόρειας όχθης του ποταμού Εδεσσαίου, η στέψη των οποίων είναι στα +479.0 m, και (β) προς τη νότια πλευρά που βρίσκεται ο οικισμός των Βρυττών, το φυσικό έδαφος, με μέγιστο υψόμετρο επίσης +479.0 m. Σε συνήθεις συνθήκες, η έκταση που καταλαμβάνει η λίμνη κυμαίνεται από 8 έως 10 km². Επισημαίνεται ότι η βόρεια όχθη του Εδεσσαίου είναι φυσική, καθώς δεν έχει κατασκευασθεί εκεί τεχνητό ανάχωμα.

Η κύρια λειτουργία της λίμνης Νησιού αφορά στην ελεγχόμενη εκτροπή νερού προς τον ΥΗΣ Άγρα, για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Για τον σκοπό αυτό, τα νερά της λίμνης ρυθμίζονται μέσω θυροφράγματος και ρουφράκτη, με υψόμετρο στέψης +482.0 m, που έχει κατασκευαστεί στο ανατολικό τμήμα της. Το έργο εξόδου διαθέτει και χαμηλό υπερχειλιστή, με υψόμετρο στέψης +478.7 m, που αποτελεί και την ανώτατη στάθμη λειτουργίας της λίμνης. Κατάντη αυτού ξεκινά διώρυγα προσαγωγής μήκους 1480 m, που οδεύει παράλληλα με την παλαιά κοίτη του Εδεσσαίου, και φτάνει έως τον οικισμό Άγρας. Στη συνέχεια, η ροή γίνεται μέσω σήραγγας εκτροπής υπό πίεση, μήκους 1670 m και διαμέτρου 4.0 m, στην έξοδο της οποίας υπάρχει αγωγός πτώσης που μεταφέρει τα νερά στον ΥΗΣ. Κατάντη του σταθμού, έχει κατασκευαστεί δεξαμενή αναρρύθμισης, τα χαρακτηριστικά της οποίας περιγράφονται στο εδάφιο 2.4.2. Η παροχευτικότητα του όλου συστήματος προσαγωγής ανέρχεται σε 35 m³/s.



Εικόνα 2.7: Άποψη του υπερχειλιστή της λίμνης Νησίου προς την παλαιά κοίτη του Εδεσσαίου.

Η λίμνη διαθέτει και δεύτερη έξοδο, ήτοι ελεύθερο υπερχειλιστή, που διοχετεύει τα πλεονάζοντα πλημμυρικά νερά στην παλαιά κοίτη του Εδεσσαίου, με τελική κατάληξη επίσης της δεξαμενή αναρρύθμισης του ΥΗΣ Άγρα. Το έργο αυτό κατασκευάστηκε από τη ΔΕΗ το 1972, ταυτόχρονα με την υπερύψωση του αναχώματος στα +482.0 m (βλ. **Εικόνα 2.5**), ήτοι κατά 2.0 m πιο ψηλά από την αρχική κατασκευή, προκειμένου να αντιμετωπίσει τα προβλήματα πλημμυρών που δημιουργούνταν ως τότε. Έκτοτε, και σύμφωνα με μαρτυρία της ΔΕΗ, δεν έχει παρατηρηθεί υπερχειλίση της λίμνης. Στην **Εικόνα 2.7** δίνεται μια άποψη του υπερχειλιστή, από τα κατάντη. Το μήκος της στέψης του ανέρχεται σε 27.0 m, το υψόμετρό της βρίσκεται στα +480.3 m, ενώ η παροχετευτικότητα του έργου είναι της τάξης των 70 m³/s (Βαλιούλης κ.ά., 2002).

Συμπερασματικά, η ανώτατη στάθμη λειτουργίας (ΑΣΛ) της λίμνης Νησίου βρίσκεται στα +478.7 m, η στέψη του αναχώματος στα +479.0 m, ενώ για να πραγματοποιηθεί υπερχειλίση προς την παλαιά κοίτη, η στάθμη της πρέπει να υπερβεί τα +480.3 m. Με βάση αναλύσεις των Βαλιούλη κ.ά. (2002), η πλεονάζουσα χωρητικότητα της λίμνης Νησίου πάνω από την ΑΣΛ και μέχρι το υφιστάμενο ύψος των αναχωμάτων εκτιμάται σε 13 hm³.

Στη βόρεια περίμετρο της λίμνης αναπτύσσονται επίσης οι κλειστές λεκάνες Γιάννοβα-Κρούσσα και Λακόνι, τα νερά των οποίων ωστόσο δεν μπορούν να διοχετευθούν προς αυτή, καθώς οι φυσικές όχθες τους είναι ψηλότερα.

Σύμφωνα με τους Κουτσογιάννη και Μαμάση (2005), η κλειστή λεκάνη Γιάννοβα-Κρούσσα, έκτασης 12 km², αναπτύσσεται βόρεια του αναχώματος του Εδεσσαίου και δυτικά του χείμαρρου Νησίου. Η λεκάνη αυτή δεν επικοινωνεί με τη λίμνη Νησίου, παρά μόνο στις σπάνιες περιπτώσεις που η στάθμη της υπερβεί τα +479.0 m. Διαφορετικά, δεν διαθέτει τη δυνατότητα φυσικής αποστράγγισης, καθώς βρίσκεται πιο χαμηλά από τη λίμνη, δεν επικοινωνεί με τον Εδεσσαίο, δεν υπάρχουν καταβόθρες στην περιοχή της, ενώ η απορροφητικότητα του εδάφους της είναι μικρή. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα οι χαμηλότερες περιοχές της λεκάνης, έως το υψόμετρο των +476.0 m, να είναι μόνιμα κατακλυσμένες από νερά που προέρχονται από βροχοπτώσεις της ανάντη λεκάνης.

Όσον αφορά στην κλειστή λεκάνη Λακόνι, η οποία βρίσκεται βόρεια του ποταμού Εδεσσαίου και ανατολικά του χείμαρρου Νησίου, έχει έκταση 6.5 km² και ελάχιστο υψόμετρο +474.2 m. Οι περιοχές έως τα +476.5 m αποστραγγίζονται μέσω καταβοθρών, ενώ οι χαμηλότερες κατακλύζονται. Η περιοχή Λακόνι χωρίζεται από τη λίμνη Νησίου με τα αναχώματα της βόρειας όχθης του Εδεσσαίου.

2.4.2 ΥΗΣ Άγρα και Εδεσσαίου

Κατά μήκος του Εδεσσαίου λειτουργούν δύο υδροηλεκτρικοί σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε., ήτοι ο ΥΗΣ Άγρα και ο ΥΗΣ Εδεσσαίου, που μαζί με μια σειρά άλλων τεχνικών έργων συνιστούν το κατάντη τμήμα του υδροσυστήματος Εδεσσαίου (**Εικόνα 2.5**). Μια πιο λεπτομερής απεικόνιση του εν λόγω τμήματος, στην οποία δίνονται και ορισμένα βασικά τεχνικά μεγέθη, φαίνεται στην **Εικόνα 2.8**. Οι κύριοι σκοποί του είναι παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η άρδευση των περιοχών γύρω από τη λίμνη Νησίου και τον κάμπο κατάντη της Έδεσσας, η αντιπλημμυρική προστασία της Έδεσσας, καθώς και η ρύθμιση της ροής προς την πόλη της Έδεσσας και τους καταρράκτες.



Εικόνα 2.8: Δορυφορική φωτογραφία υδροσυστήματος μεταξύ ΥΗΣ Άγρα και Εδεσσαίου, στην οποία επισημαίνονται τα βασικά τεχνικά έργα και τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη (Πηγή: ΔΕΗ).



Εικόνα 2.9: Άποψη φράγματος και αναρρυθμιστικής δεξαμενής ΥΗΣ Άγρα (Πηγή: Google Earth).

Ο ΥΗΣ Άγρα, εγκατεστημένης ισχύος 40 MW, κατασκευάστηκε το 1954, και, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τροφοδοτείται μέσω των ελεγχόμενων εκροών από τη λίμνη Νησίου, και του αντίστοιχου συστήματος εκτροπής. Λίγο μετά την έξοδο του ΥΗΣ, υπάρχει χωμάτινο φράγμα επί της κοίτης του Έδεσσαίου, με υψόμετρο στέψης +323.0 m, που δημιουργεί δεξαμενή αναρρύθμισης, μέγιστης επιφάνειας περίπου 100 στρεμμάτων και χωρητικότητας 400 000 m³ (Εικόνα 2.9). Εκτός από τις εκροές του ΥΗΣ, στη δεξαμενή καταλήγουν οι απορροές της τοπικής λεκάνης της Καρκάγιας, καθώς και οι δυνητικές υπερχειλίσεις της λίμνης Νησίου που διοχετεύονται στην παλιά κοίτη του Έδεσσαίου (υπενθυμίζεται ότι μετά τα έργα που κατασκεύασε η ΔΕΗ στις αρχές της δεκαετία του 1970, δεν έχουν παρατηρηθεί τέτοια φαινόμενα). Η αναρρυθμιστική δεξαμενή του ΥΗΣ Άγρα διαθέτει τρία έργα εξόδου: (α) τον παλιό υπερχειλιστή, στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος, ο οποίος κατασκευάστηκε αρχικά από την Edison και τροποποιήθηκε αργότερα από τη ΔΕΗ, με υψόμετρο στέψης +319.80 m και παροχετευτικότητα 50 m³/s, (γ) τον νεώτερο υπερχειλιστή, ο οποίος κατασκευάστηκε το 1983, και έχει τοποθετηθεί στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος, σε μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με τον παλιό, ήτοι +321.65 m, και έχει σημαντικά μεγαλύτερη παροχετευτικότητα, ήτοι 200 m³/s, και (γ) τον εκκενωτή πυθμένα, που αποτελείται από δύο αγωγούς διαμέτρου 1.5 m, ελεγχόμενους μέσω θυροφραγμάτων, παροχετευτικότητας 20 m³/s. Η κατώτατη στάθμη λειτουργίας της δεξαμενής είναι στα +317.60 m (Βαλιούλης κ.ά., 2002).

Μετά τη δεξαμενή αναρρύθμισης του ΥΗΣ Άγρα, η ροή προσάγεται προς τα ανατολικά, μέσω της διευθετημένης κοίτης του Έδεσσαίου, και συνεχίζει εντός της πόλης της Έδεσσας, όπου στη θέση Κιουπρί έχει κατασκευαστεί έργο διανομής. Το έργο αυτό διοχετεύει την ροή κατά προτεραιότητα προς το κεντρικό κανάλι της πόλης και τη διώρυγα Χαλιμά, παροχετευτικότητας της τάξης των 20 και 2 m³/s, αντίστοιχα, που και οι δύο καταλήγουν στους καταρράκτες της Έδεσσας, ενώ τα πλεονάζοντα πλημμυρικά ύδατα διοχετεύονται προς βορρά, στο ρέμα Ντερέκι, το οποίο οδεύει περιμετρικά της Έδεσσας. Η προσαγωγή τους γίνεται μέσω τάφρου μήκους 70 m, και εν συνεχεία μέσω σήραγγας εκτροπής, παροχετευτικότητας 40 m³/s. Συνεπώς, η συνολική παροχετευτικότητα των καναλιών της Έδεσσας είναι 62 m³/s (22 m³/s, χωρίς τη σήραγγα εκτροπής), ενώ η αθροιστική παροχετευτικότητα των ανάντη έργων ελέγχου της δεξαμενής αναρρύθμισης του ΥΗΣ Άγρα ανέρχεται σε 270 m³/s.

Οι εκροές των καταρρακτών συλλέγονται σε παρακείμενη δεξαμενή ωφέλιμης χωρητικότητας 46 000 m³, από όπου ξεκινά χαλύβδινος επιφανειακός αγωγός υπό πίεση, μήκους 917 m, που τροφοδοτεί τον ΥΗΣ Έδεσσαίου. Ο ΥΗΣ κατασκευάστηκε το 1970 και έχει ισχύ 19 MW. Τέλος, αφού εξυπηρετηθούν και οι τοπικές αρδευτικές ανάγκες, μέσω της αναρρυθμιστικής δεξαμενής του ΤΟΕΒ Έδεσσαίου, το νερό διοδεύεται κατάντη, ήτοι προς την Περιφερειακή Τάφρο.

Η αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων γίνεται με κατάλληλη διαχείριση του θυροφράγματος της λίμνης Νησίου και της δεξαμενής αναρρύθμισης του ΥΗΣ Άγρα. Σύμφωνα με τους Κουτσογιάννη και Μαμάση (2005), προκύπτουν δύο κύρια ενδεχόμενα: (α) τα κανάλια της Έδεσσας να επαρκούν για την ασφαλή παροχέτευση των απορροών της λεκάνης Καρκάγιας, οπότε είναι δυνατή η παροχέτευση επιπλέον ποσοτήτων από τη λίμνη Νησίου, και (β) τα κανάλια της Έδεσσας να μην επαρκούν, οπότε διακόπτεται εκτροπή υδάτων από τη λίμνη Νησίου προκειμένου να μην πλημμυρίσει η Έδεσσα, με συνέπεια βεβαίως να ανεβαίνει η στάθμη της λίμνης. Με την παραπάνω λογική, η οποία έχει ως πρώτη προτεραιότητα την προστασία της Έδεσσας, η δεξαμενή αναρρύθμισης αξιοποιείται κατά προτεραιότητα για τη ρύθμιση των πλημμυρών της τοπικής λεκάνης της Καρκάγιας, και εφόσον υπάρχει περιθώριο, και για την ρύθμιση των πλημμυρών της λίμνης Νησίου.

2.4.3 Φράγμα Αγ. Βαρβάρας και συνοδά έργα

Ο αναρρυθμιστικός ταμιευτήρας της Αγ. Βαρβάρας κατασκευάστηκε το 1992, ενώ έγινε επέκτασή του το 2009. Αποτελεί έργο κεφαλής, που επιτελεί ημερήσιας ρύθμιση των εκροών από τα ανάντη υδροηλεκτρικά έργα σε σειρά (Ιλαρίωνας, Πολύφυτο, Σφηκιά, Ασώματα). Το έργο βρίσκεται 6 km περίπου νότια της Βέροιας, επί της επαρχιακής οδού Βέροιας-Βεργίνας.

Μια άποψη του φράγματος, του ταμιευτήρα και των συνοδών τους έργων φαίνονται στην **Εικόνα 2.4**. Το κυρίως φράγμα είναι χωμάτινο, με αργιλικό πυρήνα, μήκος 2400 m, μέγιστο ύψος 20.13 m, και υψόμετρο στέψης +43.50 m. Ο ταμιευτήρας που δημιουργείται έχει συνολικό ωφέλιμο όγκο 4.5 hm³, και καταλαμβάνει μέγιστη έκταση περί τα 1400 στρέμματα. Η κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας του είναι +38.75 και +42.50 m, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι στη θέση αυτή υπήρχε παλαιότερο υπερπηδητό φράγμα από σκυρόδεμα και ταμιευτήρας, που πλέον λειτουργεί ως ενιαίος (Καραγιαννίδης και Παπαϊωάννου, 2008).



Εικόνα 2.10: Δορυφορική φωτογραφία του φράγματος Αγίας Βαρβάρας και των συνοδών έργων. Αριστερά φαίνεται η διώρυγα εκτροπής Α0 (Πηγή: Google Earth).

Το έργο εξυπηρετεί πολλαπλές χρήσεις, και ειδικότερα την υδροδότηση της Θεσσαλονίκης, με 150 000 m³ ημερησίως, την άρδευση των ΠΕ Ημαθίας, Πέλλας και Θεσσαλονίκης (σύνολο 930 000 στρεμμάτων, από τα οποία τα 30 000 αντιστοιχούν σε θερμοκήπια), και τη διοχέτευση σταθερής οικολογικής παροχής 4.5 m³/s στον κάτω ρου του Αλιάκμονα. Οι δύο πρώτες χρήσεις εξυπηρετούνται μέσω της λεγόμενης διώρυγας Α0, ενώ η οικολογική παροχή διέρχεται από μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό (ΜΥΗΣ), ιδιοκτησίας της ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε., ισχύος 0.92 MW, παράγοντας ετησίως ενέργεια της τάξης των 4.5 GWh. Η παροχή που εκτρέπεται μέσω της διώρυγας Α0 διέρχεται από το ΜΥΗΣ Μακροχωρίου Ι, ισχύος 10.8 MW, ενώ τμήμα αυτής επιστρέφει στον Αλιάκμονα, μέσω του ΜΥΗΣ Μακροχωρίου ΙΙ, ισχύος 4.0 MW και παροχетеυτικότητας 75.0 m³/s.

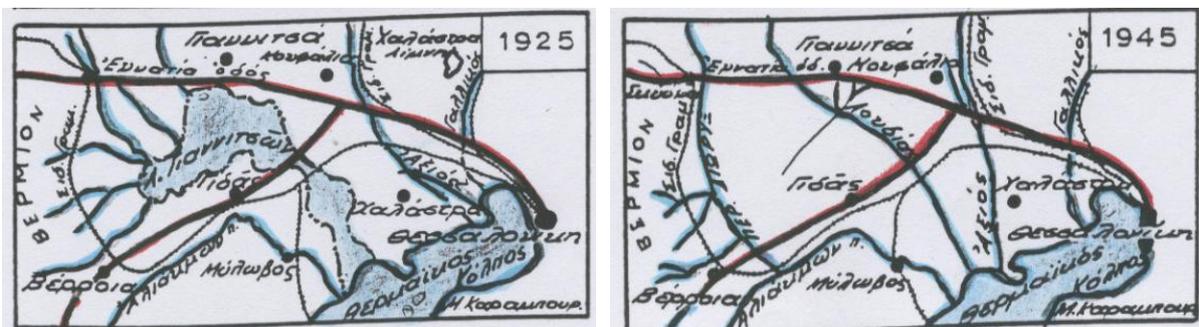
Ο εκχειλιστής του φράγματος διαθέτει πέντε μεταλλικά θυροφράγματα μέσω των οποίων διατηρείται σταθερή η στάθμη του νερού του ταμιευτήρα. Η παροχетеυτικότητα του ανέρχεται σε 1520 m³/s, και είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την αθροιστική δυναμικότητα των στροβίλων (300 m³/s) και του εκχειλιστή (1200 m³/s) του φράγματος Ασωμάτων, το οποίο βρίσκεται σε μικρή απόσταση ανάντη.

2.4.4 Περιφερειακή Τάφρος Τ66

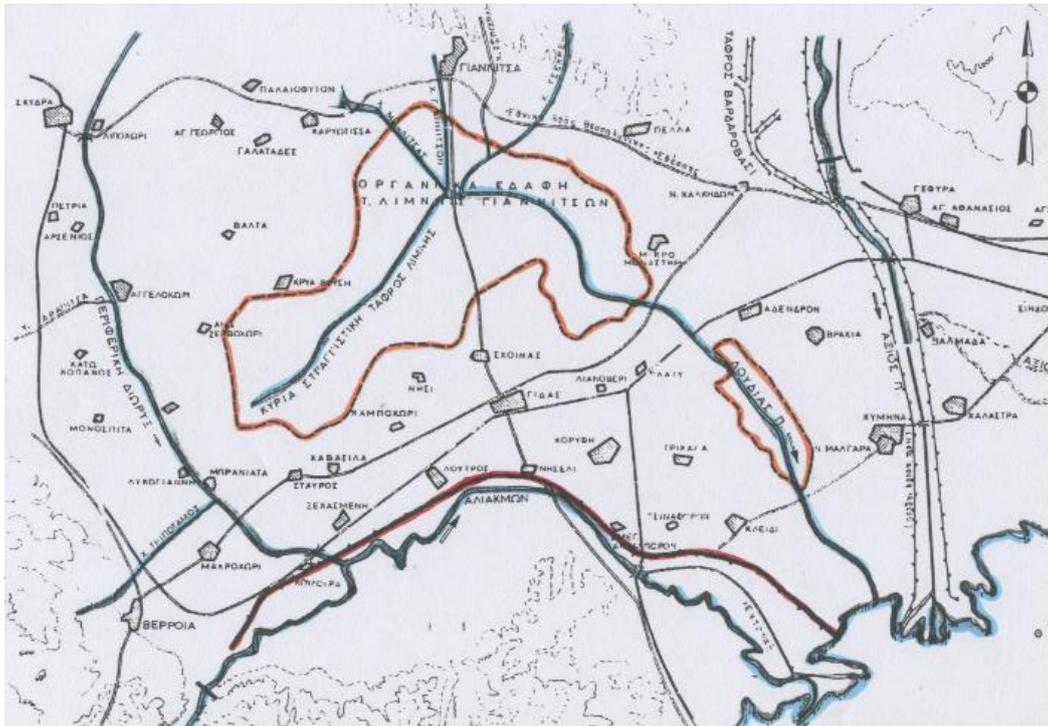
Πρόκειται για τεχνητά ΥΣ τα οποία αποτελούν τμήματα της Περιφερειακής Τάφρου 66. Η Περιφερειακή Τάφρος (Τ66) αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα αποστραγγιστικά έργα στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας το οποίο επέφερε σημαντική μεταβολή στην υδρολογία της περιοχής. Κατασκευάστηκε την περίοδο 1933-35 στις ανατολικές υπώρειες του όρου Βέρμιο για να συλλέγει τα νερά των χειμάρρων και ποταμών που κατέληγαν από τα δυτικά στην αποξηραθείσα λίμνη Γιαννιτσών. Μέχρι τότε τα απορρέοντα νερά που προέρχονταν από τα ορεινά συγκροτήματα του Βερμίου, Βόρα και Πάικου, αποστραγγίζονταν μέσω των υδατορευμάτων του Βόδα (Εδεσσαίος), της Αραπίτσας και του Τριπόταμου και μέσω των χειμάρρων Κουτίχα, Λιανόρεμα και Ξερόλακκα στη βαλτώδη λίμνη των Γιαννιτσών. Μετά το πέρας του έργου το σύνολο των παραπάνω απορροών καταλήγουν στον ποταμό Αλιάκμονα και στη συνέχεια στο Θερμαϊκό κόλπο.

Η περιφερειακή διώρυγα (Τ66) ξεκινά από τον ποταμό Μογλένιτσα κοντά στο χωρίο Καλή και μετά από 39 km περίπου, καταλήγει στον π. Αλιάκμονα κοντά στον οικισμό της Κουλούρας. Η παροχή σχεδιασμού της διώρυγας είναι από 1170 m³/s (στα ανάντη) έως 1572 m³/s (στην εκβολή της στον Αλιάκμονα), διαθέτει υδατοχωρητικότητα 1200 m³/s και η λεκάνη απορροής της φθάνει στα 2276 km². Η διατομή της αποτελείται από τη βαθιά κοίτη μεταβαλλόμενης διατομής 38-55 m και βάθους 3.0-3.5 m, μπαγκίνες πλάτους 5-10 m και αντιπλημμυρικά αναχώματα ύψους 6.5 m. Κατά μήκος της διώρυγας υπάρχει πλήθος μεγάλων και μικρών τεχνικών έργων, περιλαμβανομένων δύο ρυθμιστικών φραγμάτων, το κάτω ρυθμιστικό φράγμα περί τα 700 m ανάντη της εκβολής και το άνω ρυθμιστικό φράγμα στην αρχή της τάφρου (κοντά στον οικισμό Λιποχώρι).

Η Περιφερειακή Τάφρος, που αναφέρεται και ως Τ66 (λόγω του ότι διέρχεται σε απόσταση 66 km μεταξύ της Θεσσαλονίκης και της Βέροιας), είναι το σημαντικότερο αντιπλημμυρικό-αποστραγγιστικό έργο της περιοχής μελέτης. Κατασκευάστηκε το 1935, ως επέκταση του ποταμού Μογλένιτσα από το ύψος της Σκύδρας και μετά, με σκοπό τη συλλογή των υδάτων που προέκυψαν από την αποξήρανση της λίμνης των Γιαννιτσών, τα οποία εκτρέπει στον Αλιάκμονα, στο ύψος του οικισμού Κουλούρα. Στην τάφρο διοχετεύονται τα νερά των ποταμών και χειμάρρων που αναπτύσσονται στα ορεινά συγκροτήματα του Βερμίου, Βόρα και Πάικου, τα οποία αποστραγγίζονταν, μέσω των ποταμών Βόδα (Εδεσσαίος), Αραπίτσα και Τριπόταμου, και μέσω των χειμάρρων Κουτίχα, Λιανόρεμα και Ξερόλακκα στη βαλτώδη λίμνη των Γιαννιτσών. Εκτός από τον αποστραγγιστικό της χαρακτήρα, η Τ66 συμβάλλει στην άρδευση των πεδινών εκτάσεων των περιφερειακών ενοτήτων Πέλλας και Ημαθίας.



Εικόνα 2.11: Η ευρύτερη πεδιάδα Θεσσαλονίκης, πριν και μετά την κατασκευή των αποστραγγιστικών έργων (Πηγή: Κωνσταντινίδης, 1993, σελ. 36).



Εικόνα 2.12: Γενική διάταξη αποστραγγιστικών έργων πεδιάδας Θεσσαλονίκης, στην οποία απεικονίζονται, μεταξύ άλλων, η Περιφερειακή Τάφρος T66 (δυτικά) και τα όρια της αποξηραμένης λίμνης Γιαννιτσών (Πηγή: Κωνσταντινίδης, 1993, σελ. 37).

Η κατασκευή της τάφρου, μαζί με τη διάνοιξη του Λουδία και την εκτροπή του Αξιού προς τα δυτικά, αποτέλεσαν τις κυριότερες συνιστώσες των μεγάλης κλίμακας αποστραγγιστικών έργων της ευρύτερης πεδιάδας Θεσσαλονίκης, έκτασης άνω των 1000 km², που εκτείνεται μεταξύ των ποταμών Αλιάκμονα και Γαλλικού. Τα έργα αυτά μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν την περίοδο 1925-1933 από την εταιρεία FOUNDATION, με κύριο στόχο την αποξήρανση της ρηχής λίμνης (βάλτος) των Γιαννιτσών (ή Λουδία). Με την ολοκλήρωση των έργων, αποδόθηκαν πάνω από 350 000 στρέμματα καλλιεργήσιμης γης, και προστατεύτηκαν άλλα 300 000 στρέμματα (**Εικόνες 2.11** και **2.12**).

Η αποξήρανση της λίμνης των Γιαννιτσών υλοποιήθηκε με τη δημιουργία ενός δικτύου τεχνητών καναλιών και τη διευθέτηση του ποταμού Λουδία, ενώ η Περιφερειακή Τάφρος κατασκευάστηκε ως παράλληλο έργο, λόγω της αδυναμίας του Λουδία να παραλάβει και τις πλημμυρικές παροχές της δυτικής πλευράς της λεκάνης των Γιαννιτσών.

Το μήκος της Περιφερειακής Τάφρου T66 ανέρχεται σε περίπου 35 km (ακριβέστερα, 34 159 m) και η έκταση της λεκάνης απορροής του 2143 km². Για παρόμοιους λόγους με τον Λουδία (χαμηλά εδάφη μακριά από τη θάλασσα), η τάφρος έχει κλίση σχεδιασμού μόλις 0.0002 (0.02%). Η διατομή της προβλέφθηκε ως διπλό τραπέζιο, με εκατέρωθεν αναχώματα, ύψους 6.5 m. Ειδικότερα, η κυρίως κοίτη της έχει πλάτος 38.0 έως 55.0 m και βάθος 3.0 έως 3.5 m, ενώ οι μπαγκίνες έχουν πλάτος από 5.0 έως 10.0 m. Το έργο μπορεί να διακριθεί σε τέσσερα τμήματα, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- από ανάντη μέχρι τη συμβολή Αράπιτσας: πλάτος 38.0 m, παροχή 1198 m³/s
- μεταξύ συμβολής Αράπιτσας και συμβολής χειμάρρων Σκορπιού-Κουτίλα: πλάτος 44.5 m, παροχή 1347 m³/s
- μεταξύ συμβολής χειμάρρων Σκορπιού-Κουτίλα και συμβολής Τριπόταμου: πλάτος 48.5 m, παροχή 1466 m³/s

- κατάντη: πλάτος 55.0 m, παροχή 1572 m³/s

Στην αρχή της τάφρου Τ66, και αμέσως κατάντη της συμβολής των ποταμών Μογλένιτσα και Βόδα, κοντά στον οικισμό Λιποχώρι, κατασκευάστηκε το λεγόμενο Άνω Ρυθμιστικό Φράγμα (ΑΡΦ), που περιόριζε τη ροή προς τα κατάντη στα 890 m³/s (από το μέγιστο των 1170 m³/s των δύο χειμάρρων). Για μεγαλύτερες παροχές τα νερά συγκρατούνταν σε λεκάνη ανάσχεσης ανάντη του ΑΡΦ, στην περιοχή της Σκύδρας. Το ΑΡΦ έχει πλέον καταστραφεί, αλλά η εν λόγω περιοχή εξακολουθεί να λειτουργεί ως λεκάνη αποτόνωσης της Τάφρου 66, το οποίο έχει προκαλέσει σημαντικά προβλήματα, σε κάποιες περιπτώσεις (με πλέον χαρακτηριστική, την πλημμύρα της 19/11/1979, όταν και έσπασε το ανάχωμα προς την πλευρά του Λιποχωρίου, με συνέπεια τρεις νεκρούς και ανυπολόγιστες ζημιές σε υποδομές, ζωικό και φυτικό κεφάλαιο, επιχειρήσεις και σπίτια).

Πριν από τη συμβολή των χ. Αράπιτσα και Τριπόταμου κατασκευάστηκαν λεκάνες ανάσχεσης με τεχνικά συγκράτησης των φερτών υλών (που πλέον δεν υφίστανται), ενώ κατά μήκος του δεξιού αναχώματος κατασκευάστηκαν εγκάρσιοι οχετοί με θυρίδες αντεπιστροφής για την αποστράγγιση των περιοχών πίσω από το ανάχωμα.

Τέλος, περί τα 900 m ανάντη της εκβολής της Τ66 στον Αλιάκμονα κατασκευάστηκε το λεγόμενο Κάτω Ρυθμιστικό Φράγμα (ΚΡΦ), για την ομαλοποίηση της ροής προς τον ποταμό. Η οριακή συνθήκη σχεδιασμού ήταν παροχή 1550 m³/s στην Τάφρο 66 και φορτίο 4.35 m επί του φράγματος. Το έργο αυτό βρίσκεται στο ύψος της νέας Γέφυρας Κουλούρας.

Αξιοσημείωτο είναι ότι ο σχεδιασμός των έργων Λουδία και Τ66, έγινε από την εταιρεία FOUNDATION (και τη σύμφωνη γνώμη των αρμόδιων Αρχών) με την παραδοχή ότι θα παροχετεύουν περί το 1/3 της μέγιστης πλημμυρικής παροχής, όπως αυτή είχε εκτιμηθεί με διάφορες εμπειρικές μεθόδους. Για να καλυφθεί, ως ένα βαθμό, η αντιπλημμυρική τρωτότητα των δύο έργων, προβλέφθηκαν περιοχές κατάκλυσης, σε περίπτωση υπέρβασης της παροχής σχεδιασμού.

Η τρέχουσα παροχευτικότητα της τάφρου, ως συνέπεια της επίδρασης της γήρανσης των υλικών, της ανάπτυξης έντονης βλάστησης στα πρανή, και της καθίζησης φερτών, εκτιμάται σε περίπου 1300 m³/s. Μια άποψη του κατάντη πέρατος της Τ66 φαίνεται στην **Εικόνα 2.13**.



Εικόνα 2.13: Δορυφορική φωτογραφία του πέρατος της Τ66 και συμβολής της με τον Αλιάκμονα. Από ανάντη προς κατάντη, διακρίνονται, η παλαιά και νέα γέφυρα Κουλούρας και η γέφυρα της Εγνατίας Οδού, ενώ παράλληλα στην αριστερή όχθη διακρίνεται η Διώρυγα Α0 (Πηγή: Google Earth).

2.4.5 ΜΥΗΣ Μακροχωρίου II

Ο σταθμός, που ανήκει στη ΔΕΗ Ανανεώσιμες, κατασκευάστηκε πρόσφατα, και βρίσκεται στο κατάντη άκρο της τάφρου εκβολής στον Αλιάκμονα, στο ύψος του οικισμού Ραψομανίκι. Αποτελείται από δύο στροβίλους τύπου S-Karlan, συνολικής ισχύς 4.84 MW, ονομαστικής παροχής $2 \times 37.5 = 75 \text{ m}^3/\text{s}$, και ύψος πτώσης 6.6 m. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.14**, στον ΜΥΗΣ διοχετεύονται μέσω θυροφράγματος τα πλεονάζοντα νερά της διώρυγας Α0, τα οποία επιστρέφουν στον Αλιάκμονα μέσω τεχνικού έργου (τάφρος), που ξεκινά κατάντη του υπερχειλιστή του έργου. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι, μέσω του συστήματος της Διώρυγας Α0 και του ΜΥΗΣ, μια πλημμυρική παροχή έως και $75 \text{ m}^3/\text{s}$, η οποία διοχετεύεται από το φράγμα Ασωμάτων δύναται να εκτραπεί προσωρινά, παρακάμπτοντας την περιοχή συμβολής του Αλιάκμονα με την Τάφρο Τ66.



Εικόνα 2.14: Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής του ΜΥΗΣ Μακροχωρίου II (Πηγή: Google Earth).

3 Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο

3.1 Η λογική των προσεγγίσεων συνεχούς στοχαστικής προσομοίωσης στην εκτίμηση της πλημμυρικής διακινδύνευσης

Η τυπική υπόθεση των συνήθων προσεγγίσεων των μελετών πλημμυρών είναι ότι η πλημμυρική επικινδυνότητα (flood hazard) και η συνακόλουθη διακινδύνευση (flood risk) καθορίζονται πλήρως από την περίοδο επαναφοράς του εξεταζόμενου επεισοδίου βροχής. Η περίοδος επαναφοράς (ισοδύναμα, το αντίστροφο της πιθανότητας υπέρβασης) αποτελεί θεμελιώδη έννοια της υδρολογίας, και επιτρέπει την ποσοτικοποίηση του ρίσκου ενός ακραίου συμβάντος, σε μια εύληπτη μορφή, ήτοι ως μια μέση ετήσια συχνότητα επανάληψης αυτού.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο σχεδιασμός των υποδομών αντιπλημμυρικής προστασίας, όπως και το ευρύτερο πρόβλημα της διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου, αντιμετωπίζονται ως μια σειριακή εφαρμογή προσδιοριστικών σχέσεων και μοντέλων, που τροφοδοτούνται από ένα υποθετικό επεισόδιο καταιγίδας, το οποίο ακολουθεί ένα προαποφασισμένο χρονικό πρότυπο (προφίλ βροχής ή χρονική κατανομή της), και αντιστοιχεί σε μια επιθυμητή περίοδο επαναφοράς. Στη διαδικασία αυτή, το μοναδικό πιθανοτικό μέγεθος είναι η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού, που ορίζεται εκ των προτέρων για να υποδηλώσει τη διακινδύνευση όλων των σχετιζόμενων μεγεθών ενδιαφέροντος (παροχές αιχμής, πλημμυρικοί όγκοι, βάθη και ταχύτητες ροής, κατακλυζόμενες εκτάσεις, κτλ.).

Είναι αποδεκτό ότι αυτή η προσέγγιση θεωρείται ιδιαίτερα επισφαλής (βλ. Efstratiadis *et al.*, 2014, 2022), καθώς αγνοεί (και ταυτόχρονα υπεραπλουστεύει) σημαντικούς μηχανισμούς των διεργασιών μετασηματισμού της βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή, και ειδικότερα τον ρόλο των προηγούμενων καταστάσεων υγρασίας του εδάφους, που αποτελεί μείζον αίτιο μιας πλημμύρας, την εξάρτηση του παραγόμενου πλημμυρογραφήματος από το χρονικό προφίλ της βροχόπτωσης και τη μη γραμμικότητα των υδραυλικών διεργασιών διόδευσης των ροών, που αντιμετωπίζονται εμπειρικά, μέσω απλοποιημένων υδρολογικών μεθόδων (π.χ. μέθοδος μοναδιαίου υδρογραφήματος). Εν τέλει, βασίζεται στην ποσοτικοποίηση της πιθανότητας της βροχόπτωσης ως υποκατάστατο της πιθανότητας της πλημμύρας. Προκειμένου να χειριστεί αυτή την πρόκληση, αλλά και τις πολλαπλές πολυπλοκότητες και αβεβαιότητες που διατρέχουν όλες τις πτυχές των διεργασιών γέννησης, διόδευσης και αποστράγγισης μιας πλημμύρας, η διεθνής υδρολογική κοινότητα έχει αναδείξει πιο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση πλημμυρών, που ακολουθούν το υπόδειγμα της στοχαστικής προσομοίωσης. Ο γενικός ορισμός της αναφέρεται στην αναπαράσταση ενός δυναμικού (ήτοι μεταβαλλόμενου) συστήματος σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, με χρήση συνθετικών δεδομένων που είναι στατιστικά ισοδύναμα με τα αντίστοιχα παρατηρημένα. Στο πλαίσιο μιας λεκάνης απορροής, η διαδικασία αυτή επιτρέπει να διερευνηθούν οι αποκρίσεις του συστήματος (π.χ. παραγωγή πλημμύρας) έναντι ενός ευρέος φάσματος δεδομένων εισόδου (π.χ. επεισόδια καταιγίδας) και καταστάσεων (π.χ. συνθήκες εδάφους), με διαφορετικές πιθανότητες.

Ιδεατά, η όλη προσέγγιση πρέπει να υλοποιείται σε συνεχή χρόνο, ώστε να περιλάβει όλους τους δυναμικούς συνδυασμούς μεταβλητών εισόδου και καταστάσεων. Στην πράξη, η λεγόμενη συνεχής προσομοίωση επιβάλλει τη διακριτοποίηση του προβλήματος αναπαράστασης της δυναμικής του πλήρους υδρολογικού κύκλου της περιοχής ενδιαφέροντος σε χρονικά βήματα κατάλληλης κλίμακας (ενδεικτικά, 15 ως 60 min, ανάλογα με το μέγεθος της λεκάνης), για έναν πολύ μεγάλο χρονικό ορίζοντα (ακόμα και πολλών χιλιάδων ετών, αν απαιτείται ο προσδιορισμός ακραίων πιθανοτικών μεγεθών). Μείζον μειονέκτημα έναντι των ευρέως χρησιμοποιούμενων ντετερμινιστικών μοντέλων

επεισοδίου είναι ο εξαιρετικά αυξημένος (στην πράξη απαγορευτικός) υπολογιστικός φόρτος, που προέρχεται από την ανάγκη εφαρμογής ιδιαίτερα χρονοβόρων υδρολογικών και (κυρίως) υδροδυναμικών μοντέλων με δεδομένα λεπτής χρονικής διακριτότητας, που εκτείνονται σε μεγάλους χρονικούς ορίζοντες.

Προκειμένου να απλοποιήσουμε το πρόβλημα και να εξασφαλίσουμε μια καλή ισορροπία μεταξύ ρεαλισμού και συνέπειας στην αναπαράσταση των υδρολογικών και υδροδυναμικών διεργασιών της περιοχής μελέτης, καθώς και μεταξύ υπολογιστικής αποτελεσματικότητας και εφικτότητας, υιοθετήσαμε ένα υβριδικό σχήμα. Επιγραμματικά, υιοθετείται η τυπική λογική της προσομοίωσης επεισοδίων βροχής (και όχι του όλου υδρολογικού κύκλου), όμως αντί να θεωρείται ένα επεισόδιο ανά περίοδο επαναφοράς, με τυποποιημένο χρονικό προφίλ, σε κάθε περίοδο επαναφοράς που εξετάζεται διερευνώνται πέντε επεισόδια βροχής διαφορετικού χρονικού προφίλ, που προσπίπτουν σε δέκα διαφορετικές συνθήκες αρχικής υγρασίας της λεκάνης. Μάλιστα, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για διάφορα σενάρια λειτουργίας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος της ΔΕΗ, το οποίο καθιστά ακόμα πιο αναγκαίο τον περιορισμό του υπολογιστικού φόρτου. Στη συνέχεια εξηγούνται οι βασικές παραδοχές της προτεινόμενης υβριδικής προσέγγισης.

3.2 Βασικές παραδοχές υδρολογικής-υδροδυναμικής προσομοίωσης

3.2.1 Υπολογιστικό πεδίο

Η πλημμυρική επικινδυνότητα του υδροσυστήματος Αλιάκμονα κατάντη του φράγματος Ασωμάτων προέρχεται από δύο μηχανισμούς, οι οποίοι εξετάζονται συνδυαστικά, και υπό τη μορφή πιθανοτικών σεναρίων, ήτοι: (α) των φυσικών μηχανισμών παραγωγής και διόδευσης πλημμυρών σε όλη την έκταση του υδρολογικού συστήματος κατάντη των υδροηλεκτρικών φραγμάτων της ΔΕΗ, έως και το Δέλτα του Αλιάκμονα (περιλαμβάνεται και τμήμα της μεταβατικής-παράκτιας ζώνης κατάντη της Γέφυρας της ΠΑΘΕ), και (β) των εκρών διαμέσου του υδροηλεκτρικού σταθμού και του εκχειλιστή του φράγματος Ασωμάτων, που αποτελεί το ανάντη όριο της περιοχής μελέτης.

Ειδικότερα, το πεδίο της υδρολογικής προσομοίωσης, η συνολική έκταση του οποίου ανέρχεται σε 2669 km², περιλαμβάνει δύο ευρείες λεκάνες απορροής, ήτοι της Περιφερειακής Τάφρου και του κάτω ρου Αλιάκμονα (κατάντη φράγματος Ασωμάτων). Η υδρολογική προσομοίωση βασίζεται σε μια ημικαταμεμημένη σχηματοποίηση της εν λόγω περιοχής, η οποία διαχωρίζεται σε υπολεκάνες, που με τη σειρά τους διασυνδέονται μέσω ενός δικτύου αποτελούμενου από κόμβους και υδατορεύματα (υδρογραφικό δίκτυο). Η βροχόπτωση που προσπίπτει σε κάθε υπολεκάνη αρχικά μετασχηματίζεται σε επιφανειακή απορροή στον αντίστοιχο κόμβο εξόδου, ενώ στη συνέχεια τα παραγόμενα υδρογραφήματα διοδεύονται στο υδρογραφικό δίκτυο. Στο πλαίσιο της υδρολογικής προσομοίωσης, οι μηχανισμοί διόδευσης των πλημμυρικών ροών αναπαρίστανται με απλές τεχνικές, που αποτελούν μια ικανοποιητική προσέγγιση, όσον αφορά στο ορεινό και ημιορεινό υδρογραφικό δίκτυο, καθώς και στο μεγαλύτερο τμήμα της Περιφερειακής Τάφρου T66.

Όσον αφορά στο χαμηλό τμήμα της περιοχής μελέτης, ήτοι κατά μήκος του κυρίως ρου Αλιάκμονα και των βασικών συμβαλλόντων κλάδων, για την αναπαράσταση των εν λόγω διεργασιών υιοθετείται μια πολύ πιο λεπτομερής προσέγγιση, που βασίζεται στη χρήση ενός μοντέλου συζευγμένης (coupled 1D-2D) υδροδυναμικής ανάλυσης. Το τελευταίο αποτελεί εξέλιξη του μονοδιάστατου εργαλείου που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο ερευνητικό έργο, και ελέγχθηκε πιλοτικά σε συνθήκες μονοδιάστατης μόνιμης ροής (Ευστρατιάδης κ.ά., 2024).

3.2.2 Λειτουργικά σενάρια

Στο πλαίσιο της υδρολογικής-υδροδυναμικής προσομοίωσης του υδροσυστήματος Αλιάκμονα διερευνώνται τρία λειτουργικά σενάρια του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος, που αναφέρονται σε καταστάσεις εκρών σημαντικών πλημμυρικών παροχών. Ειδικότερα, θεωρείται ότι ο ΥΗΣ Ασωμάτων λειτουργεί στην πλήρη παροχεταιυτικότητα των στροβίλων του, απελευθερώνοντας $300 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ από το σύστημα εκχείλισης διοχετεύεται σταθερή παροχή ίση με 500 , 1000 και $1500 \text{ m}^3/\text{s}$. Η τελευταία τιμή αφορά στην παροχή σχεδιασμού του συστήματος εκχείλισης.

Τα παραπάνω σενάρια εξετάζονται για διάφορες καταστάσεις του φυσικού συστήματος, για τα οποία γίνεται πιθανοτική αντιστοίχιση, όπως εξηγείται στη συνέχεια.

3.2.3 Περίοδοι επαναφοράς βροχόπτωσης

Είναι γνωστό ότι στις τυπικές προσεγγίσεις των μοντέλων πλημμυρών τύπου επεισοδίου θεωρείται κοινή περίοδος επαναφοράς σε όλα τα σημεία του πεδίου βροχής μιας λεκάνης απορροής και σε όλες τις χρονικές κλίμακες του κάθε σημειακού επεισοδίου (ήτοι για το συνολικό ύψος βροχής και για οποιοδήποτε επιμέρους μέγιστο). Επιπρόσθετα, γίνεται η (εγγενώς εσφαλμένη) παραδοχή ότι η υπόψη περίοδος επαναφοράς ταυτίζεται με αυτή της παραγόμενης πλημμύρας.

Αν και οι ως άνω παραδοχές απέχουν πολύ από την πραγματικότητα, διευκολύνουν ωστόσο στην αντιστοίχιση μίας και μόνο περιόδου επαναφοράς ανά εξεταζόμενο επεισόδιο βροχής, και συνακόλουθα πλημμύρας. Αντίθετα, στην προτεινόμενη υβριδική προσέγγιση, η τυχαία βροχόπτωση που προσπίπτει σε κάθε σημείο της λεκάνης και αναφέρεται σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα εντός του επεισοδίου έχει διαφορετική περίοδο επαναφοράς, ενώ και η πλημμύρα που παράγεται από το τυχαίο πεδίο βροχής που προσπίπτει σε τυχαίες συνθήκες εδάφους, έχει επίσης διαφορετική περίοδο επαναφοράς σε σχέση με το γενεσιουργό του αίτιο.

Τελικά, για την ανάλυση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στην περιοχή μελέτης, επιλέγονται πέντε αντιπροσωπευτικές περίοδοι επαναφοράς της βροχόπτωσης ($T = 20, 50, 100, 200, 1000$ έτη). Οι τρεις εξ αυτών ($T = 50, 100$, και 1000 έτη) είναι οι τυπικές τιμές που εξετάζονται και στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, η $T = 20$ έτη αντιστοιχεί σε σημαντικές αλλά όχι ακραίες πλημμύρες, και εφαρμόζεται επίσης στον σχεδιασμό μεσαίας κλίμακας έργων (π.χ. τάφροι), ενώ η $T = 200$ έτη εφαρμόζεται σε μελέτες αξιολόγησης της ανθεκτικότητας των μεγάλων αντιπλημμυρικών υποδομών, και γενικά συστήνεται για τον έλεγχο τους σε συνθήκες έντονης κλιματικής αβεβαιότητας.

3.2.4 Διάρκεια και χρονική διακριτότητα επεισοδίων βροχής και πλημμύρας

Κάθε διαδικασία προσομοίωσης επεισοδίου πλημμύρας προϋποθέτει τον προσδιορισμό δύο γενικών χρονικών μεγεθών, που είναι η συνολική διάρκεια, D , και η χρονική διακριτότητα, Δt , του επεισοδίου βροχόπτωσης, που καθορίζει και το ίδιο το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Επισημαίνεται ότι ο όρος διάρκεια αναφέρεται στο χρονικό παράθυρο στο οποίο υλοποιείται το επεισόδιο βροχής.

Με βάση την κοινή πρακτική, η διάρκεια (ακριβέστερα: χρονική κλίμακα) της βροχής πρέπει να είναι πολλαπλάσια του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης (τουλάχιστον διπλάσια), ώστε να εξασφαλίζεται η συμμετοχή ακόμα και των πιο απομακρυσμένων περιοχών της στην παραγωγή πλημμυρικής απορροής στην έξοδο αυτής. Με εφαρμογή της εμπειρική σχέσης του Giandotti στην περιοχή μελέτης (βλ. ενότητα 6.2), εκτιμάται χρόνος συγκέντρωσης της τάξης των 24 h . Ωστόσο, στο προτεινόμενο στοχαστικό πλαίσιο επιλέχθηκε αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια, ήτοι $D = 72 \text{ h}$, καθώς στο παρελθόν έχουν παρατηρηθεί πολύ μεγάλα επεισόδια βροχής αντίστοιχου χρονικού εύρους. Ως πλέον εξέχον, χαρακτηρίζεται το πρόσφατο (Σεπτέμβριος 2023) φαινόμενο Daniel, που σε μια περιοχή αντίστοιχα

μεγάλης κλίμακας, όπως της Θεσσαλίας, εξελίχθηκε επί ένα χρονικό διάστημα τουλάχιστον τριών ημερών (από τις 4/9/2023 έως τις 7/9/2023. βλ. Dimitriou *et al.*, 2024).

Συνακόλουθα, ως συνολική διάρκεια για την υδρολογική προσομοίωση ορίστηκαν οι 120 h (πέντε ημέρες), ήτοι αρκετά μεγαλύτερο διάστημα από την 72ωρη βροχόπτωση, κατά το οποίο θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί η διόδευση του μεγαλύτερου μέρους της παραγόμενης πλημμύρας, και έχουν αποκατασταθεί συνθήκες βασικής ροής. Η υπόθεση αυτή ελέγχθηκε μετά από προκαταρκτικές δοκιμές του μοντέλου.

Από την άλλη πλευρά, το χρονικό βήμα επιλέχθηκε με κριτήριο να είναι υποπολλαπλάσιο του μικρότερου από τους χρόνους συγκέντρωσης των πιο μικρών υπολεκάνων, και να μπορεί έτσι να απεικονιστεί ορθά το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματός τους. Όπως εξηγείται στην ενότητα 6.5, η αιχμή του μοναδιαίου υδρογραφήματος θεωρείται ότι εμφανίζεται σε χρόνο ίσο με το 60% του χρόνου συγκέντρωσης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ελάχιστη έκταση υπολεκάνης είναι της τάξης του μόλις 1 km², στις προσομοιώσεις εφαρμόστηκε χρονικό βήμα $\Delta t = 15$ min, το οποίο αφορά τόσο στη διακριτοποίηση των επεισοδίων βροχής όσο και στους υδρολογικούς υπολογισμούς.

Συμπερασματικά, κάθε επεισόδιο βροχόπτωσης αναφέρεται σε χρονική διάρκεια 72 h, και προϋποθέτει τον επιμερισμό του πεδίου βροχόπτωσης σε επιμέρους ύψη διάρκειας 15 min, ενώ η υδρολογική (και εν συνεχεία υδροδυναμική) προσομοίωση απαιτεί διάρκεια 120 h, και υλοποιείται σε $120 \times 4 = 480$ χρονικά βήματα.

3.2.5 Πιθανοτικά υδρολογικά σενάρια

Στην παρούσα μελέτη, η έννοια της περιόδου επαναφοράς εισάγεται στο μοντέλο παραγωγής των εντάσεων βροχής που προσπίπτουν στις υπολεκάνες του υδρολογικού συστήματος, οι οποίες παράγονται μέσω των λεγόμενων ομβρίων καμπυλών. Οι τελευταίες είναι στατιστικές σχέσεις που εκτιμούν την μέγιστη ένταση βροχής $i = f(k, T)$ που αναφέρεται σε δεδομένη χρονική κλίμακα (διάρκεια), k , και δεδομένη περίοδο επαναφοράς, T . Όπως τεκμηριώνεται παραπάνω, κάθε επεισόδιο βροχής θεωρείται ότι έχει συνολική διάρκεια 72 ωρών και χρονική διακριτότητα 15 min. Σύμφωνα με την κοινή πρακτική, οι επιμέρους εντάσεις για όλες τις χρονικές κλίμακες (15 min, 30 min, 45 min, κτλ., έως 72 min) αντιστοιχούν στην ίδια περίοδο επαναφοράς, κατανέμονται ωστόσο διαφορετικά στο χρόνο, με βάση πέντε τυποποιημένα χρονικά προφίλ. Ακόμη, διαφοροποιούνται και χωρικά, καθώς σε κάθε υπολεκάνη εφαρμόζονται διαφορετικές παράμετροι της σχέσης $i = f(k, T)$, οι οποίες έχουν προκύψει από την πρόσφατη στατιστική ανάλυση των ισχυρών βροχοπτώσεων στο σύνολο της Ελληνικής επικράτειας (Κουτσογιάννης κ.ά., 2023).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πέραν της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης, η παραγωγή της πλημμύρας εξαρτάται καθοριστικά και από την κατάσταση του εδάφους (αποθήκευση υγρασίας στην ακόρεστη ζώνη), που με τη σειρά της εξαρτάται από τις προηγούμενες μετεωρολογικές συνθήκες (βροχόπτωση, θερμοκρασία, κτλ.). Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα των εν λόγω συνθηκών, η υδρολογική προσομοίωση, ήτοι ο μετασχηματισμός της βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή, γίνεται για δέκα διαφορετικές καταστάσεων υγρασίας της λεκάνης, που έχουν δεδομένη πιθανοτική αντιστοιχία. Σημειώνεται ότι στο εφαρμοζόμενο μοντέλο προσομοίωσης επεισοδίου, η κατάσταση υγρασίας εισάγεται έμμεσα, μέσω μιας εννοιολογικής παραμέτρου (αναφέρεται ως αριθμός καμπύλης απορροής, CN), η οποία μπορεί να λάβει τρεις διακριτές τιμές, ήτοι για ξηρές, μέσες και υγρές συνθήκες, ανάλογα με την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών. Στην προτεινόμενη προσέγγιση, και αξιοποιώντας πρόσφατα ερευνητικά ευρήματα που έχουν εφαρμοστεί σε πρόσφατες μελέτες εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου (Υδροεξυγιαντική, 2021· Μαμάσης κ.ά., 2021), καταλήξαμε ότι οι συνθήκες υγρασίας, και συνακόλουθα η παράμετρος CN , μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με βάση την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων 60

ημερών (καθώς οι πέντε ημέρες επ' ουδενί δεν επαρκούν για την εξαγωγή ασφαλών στατιστικών συμπερασμάτων). Το υπόψη μέγεθος αντιμετωπίζεται ως τυχαία μεταβλητή, που είναι στατιστικά ανεξάρτητο από την τρέχουσα βροχόπτωση. Αυτή η υπόθεση, που προέκυψε μετά από ανάλυση του καθεστώτος βροχοπτώσεων στην περιοχή, σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες, είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς επιτρέπει να αποσυνδεθεί η μεταβλητή εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης (πεδίο βροχής) από τις αρχικές του συνθήκες (κατάσταση υγρασίας εδάφους).

Ομοίως, η αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων 60 ημερών χρησιμοποιείται και για την εκτίμηση της βασικής ροής στο υδρογραφικό δίκτυο, που επίσης αποτελεί αρχική συνθήκη του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης, αν και περιορισμένης σημασίας (καθώς, ειδικά στα ακραία επεισόδια βροχής, η βασική ροή αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της αντίστοιχης πλημμυρικής).

Με τον τρόπο αυτό, για κάθε περίοδο επαναφοράς της βροχόπτωσης, προσομοιώνονται $5 \times 10 = 50$ υδρολογικά σενάρια (πέντε χρονικά προφίλ βροχόπτωσης επί δέκα αρχικές συνθήκες εδάφους), οπότε όλα τα παράγωγα υδρολογικά και υδραυλικά μεγέθη της υδρολογικής και, εν συνεχεία, υδροδυναμικής ανάλυσης (πλημμυρικές παροχές, όγκοι πλημμύρας, ταχύτητες, βάθη ροής, κτλ.) στα αντίστοιχα σημεία ενδιαφέροντος (κόμβοι, υπολεκάνες, θέσεις τεχνικών έργων) αναφέρονται σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς και δεδομένο υδρολογικό σενάριο. Αυτό επιτρέπει την έκφραση της αβεβαιότητας κάθε μεγέθους σε σχέση με την αναμενόμενη τιμή του (ήτοι τη διάμεση τιμή των 50 σεναρίων) και την παραγωγή μέτρων διακινδύνευσης, υπό τη μορφή ποσοστημορίων.

3.2.6 Λοιπές παραδοχές και καινοτομίες υδρολογικής προσομοίωσης

Η υδρολογική ανάλυση υλοποιήθηκε μέσω της ευρέως χρησιμοποιούμενης πλατφόρμας Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), του Hydrologic Engineering Center των ΗΠΑ. Η διαδικασία μοντελοποίησης, που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5, περιλαμβάνει σημαντικές καινοτομίες, καθώς προσαρμόστηκε ώστε να λαμβάνει υπόψη τόσο την επίδραση των τυχαία μεταβαλλόμενων αρχικών συνθηκών υγρασίας του εδάφους στις πλημμυρικές διεργασίες, όσο και την εξάρτηση του χρόνου απόκρισης των διεργασιών διόδευσης ως προς την ένταση των επεισοδίων βροχής. Οι υπόψη διεργασίες αναφέρονται αφενός στις υπολεκάνες, στις οποίες η παραγόμενη επιφανειακή ροή διοδεύεται στον αντίστοιχο κόμβο εξόδου, με τη μέθοδο του μοναδιαίου υδρογραφήματος, και αφετέρου στους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου, όπου η ροή διοδεύεται από ανάντη προς κατάντη μέσω απλών υδρολογικών σχημάτων (μέθοδοι κινηματικού κύματος και Muskingum). Με τον τρόπο αυτό, υλοποιείται μια ψευδο-υδραυλική στοχαστική αναπαράσταση του διεργασιών διόδευσης, όπου η προσπίπτουσα βροχή, που είναι τυχαία μεταβλητή, επιδρά σε όλες τις χρονικές παραμέτρους της υδρολογικής προσομοίωσης.

3.2.7 Υδροδυναμική ανάλυση

Η υλοποίηση των υδροδυναμικών προσομοιώσεων γίνεται με το λογισμικό HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) στην έκδοση 6.6. Πρόκειται για το πιο διαδεδομένο πρόγραμμα υδραυλικής προσομοίωσης ροής με ελεύθερη επιφάνεια και σε ποτάμια συστήματα και επιτρέπει την ανάλυση μονοδιάστατης μόνιμης (εισαγωγή σταθερής παροχής στο μοντέλο) και μη μόνιμης ροής (εισαγωγή υδρογραφήματος στο μοντέλο), καθώς και μη μόνιμης διδιάστατης και συζευγμένης 1D-2D ροής. Επίσης, στην έκδοση 6.6 παρέχεται η δυνατότητα επίλυσης και των μονοδιάστατων εξισώσεων μέσω πεπερασμένων όγκων (Finite Volume), κάτι που καθιστά την επίλυση αρκετά πιο εύρωστη και σταθερή σε ένα μεγάλο εύρος παροχών και σεναρίων, αλλά και κάπως πιο ανεξάρτητη από την απόσταση ανάμεσα στις διατομές του μονοδιάστατου μοντέλου.

Δεδομένων των υψηλών υπολογιστικών απαιτήσεων μιας πλήρους προσομοίωσης, γίνεται διαλογή 45 σεναρίων, που αφορούν σε διάφορους συνδυασμούς υδρολογικών διεργασιών και διαχειριστικών

πολιτικών του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα, που ποσοτικοποιήθηκαν με τη μορφή σταθερής παροχής εκροής από το φράγμα Ασωμάτων. Ως σενάριο βάσης, εξετάζεται και η περίπτωση μηδενικής εκροής, το οποίο αντιπαραβάλλεται με τα υπόλοιπα. Από τις αναλύσεις παράγονται χάρτες κατάκλυσης και χαρακτηριστικών πλημμυρικών μεγεθών (μέγιστα βάθη ροής και μέγιστες ταχύτητες), που σε συνδυασμό με τα παραγόμενα μεγέθη της υδρολογικής ανάλυσης, αξιοποιούνται ως προς δύο άξονες, ήτοι την επιχειρησιακή διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου από πλευράς της ΔΕΗ Α.Ε., καθώς και τον στρατηγικό σχεδιασμό των κατάλληλων έργων και δράσεων στη λεκάνη του Αλιάκμονα.

4 Σχηματοποίηση υδρολογικού συστήματος

4.1 Γεωχωρικά δεδομένα

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης έγινε καθορισμός υδατορευμάτων και λεκανών/υπολεκανών απορροής αυτών με τελικό στόχο τη διαμόρφωση ενός εννοιολογικού ημικαταμεμημένου μοντέλου για την περιοχή μελέτης που υλοποιείται στο περιβάλλον του HEC-HMS. Στην προσέγγιση αυτή, η συνολική λεκάνη απορροής (αναφέρεται και ως *υδρολογικό σύστημα*) διαχωρίζεται σε υπολεκάνες, που με τη σειρά τους διασυνδέονται μέσω ενός δικτύου αποτελούμενου από κόμβους και υδατορεύματα (υδρογραφικό δίκτυο). Η τελική σχηματοποίηση, για την οποία δίνεται αναλυτική τεκμηρίωση στη συνέχεια, δίνεται στις **Εικόνες 4.1 έως 4.5**.

Τα διαθέσιμα γεωχωρικά στοιχεία που λήφθηκαν υπόψη στη σχηματοποίηση αναφέρονται ως εξής:

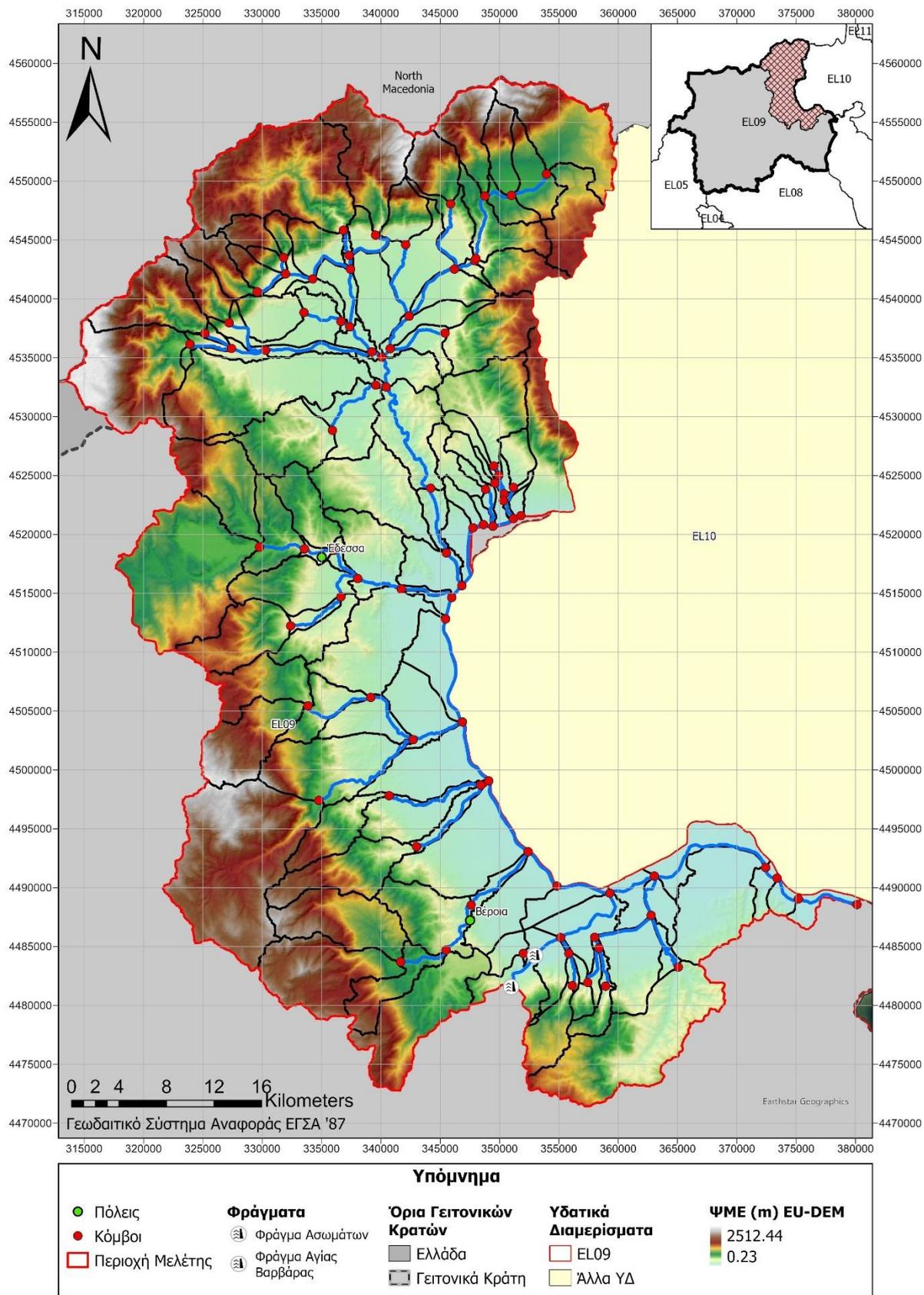
- Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους EU-DEM¹ χωρικής ανάλυσης ~30 μέτρων.
- Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους SRTM² (Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model) χωρικής ανάλυσης ~30 μέτρων.
- Το, εγκεκριμένο στα πλαίσια του 1ου κύκλου εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (ΕΛ09)
- Το, εγκεκριμένο στα πλαίσια του 2ου κύκλου εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ (1^η Αναθεώρηση), Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (ΕΛ09)
- Γεωχωρικά δεδομένα που αφορούν το υδρογραφικό δίκτυο και τις λεκάνες απορροής διαθέσιμα από GEODATA.gov.gr³
- Γεωχωρικά δεδομένα για τα επιφανειακά νερά της χώρας διαθέσιμα από την πλατφόρμα «Δίκτυο Ανοιχτής Πληροφορίας Υδροσυστημάτων» (Open Hydrosystem Information Network, OpenHi.net)⁴ που αξιοποιήθηκαν μέσω WMS service.
- Διαθέσιμη χαρτογραφική και δορυφορική πληροφορία από πλατφόρμες όπως Google Earth, Κτηματολόγιο, κλπ.

¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/digital-elevation-model/eu-dem>

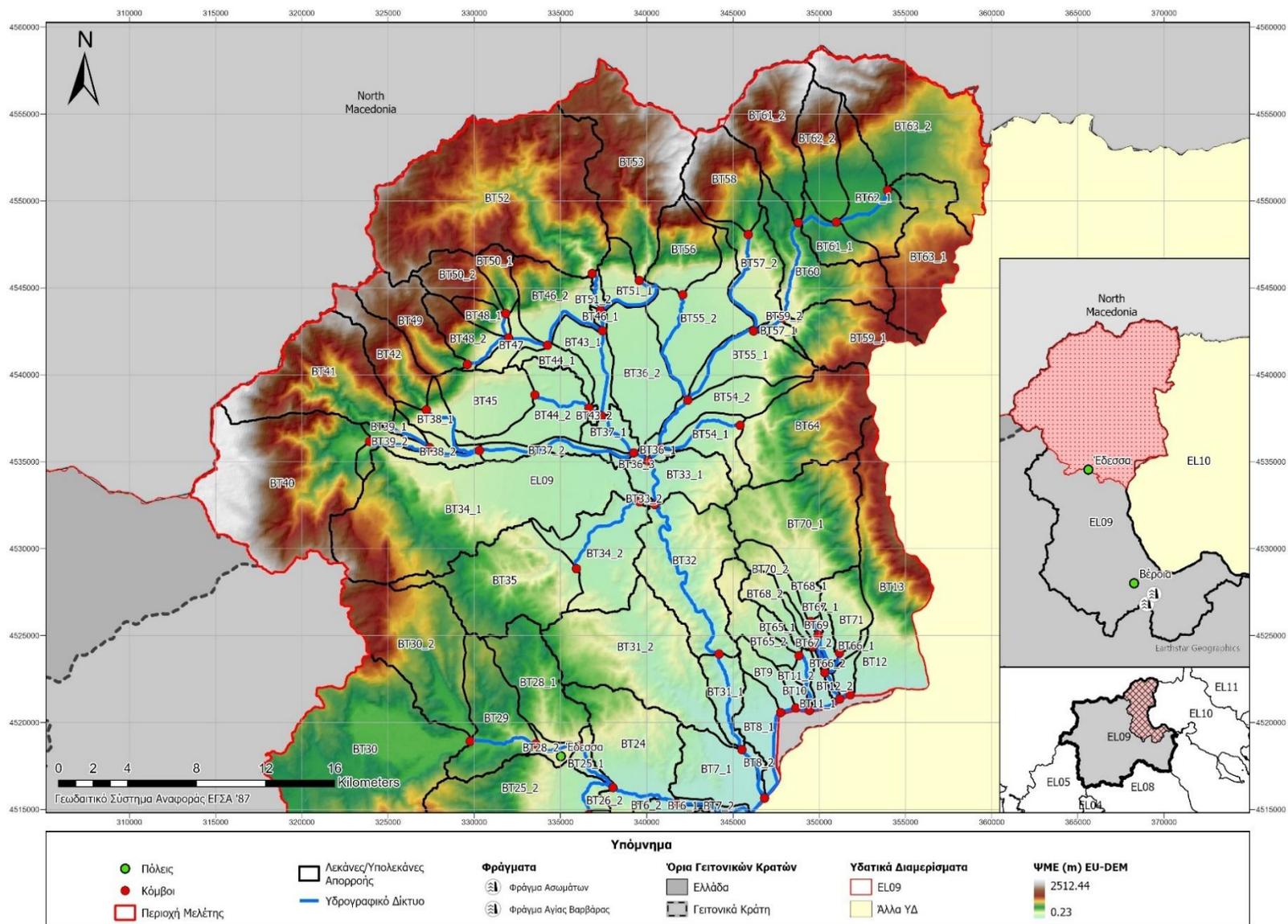
² <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/srtm>

³ <http://geodata.gov.gr/>

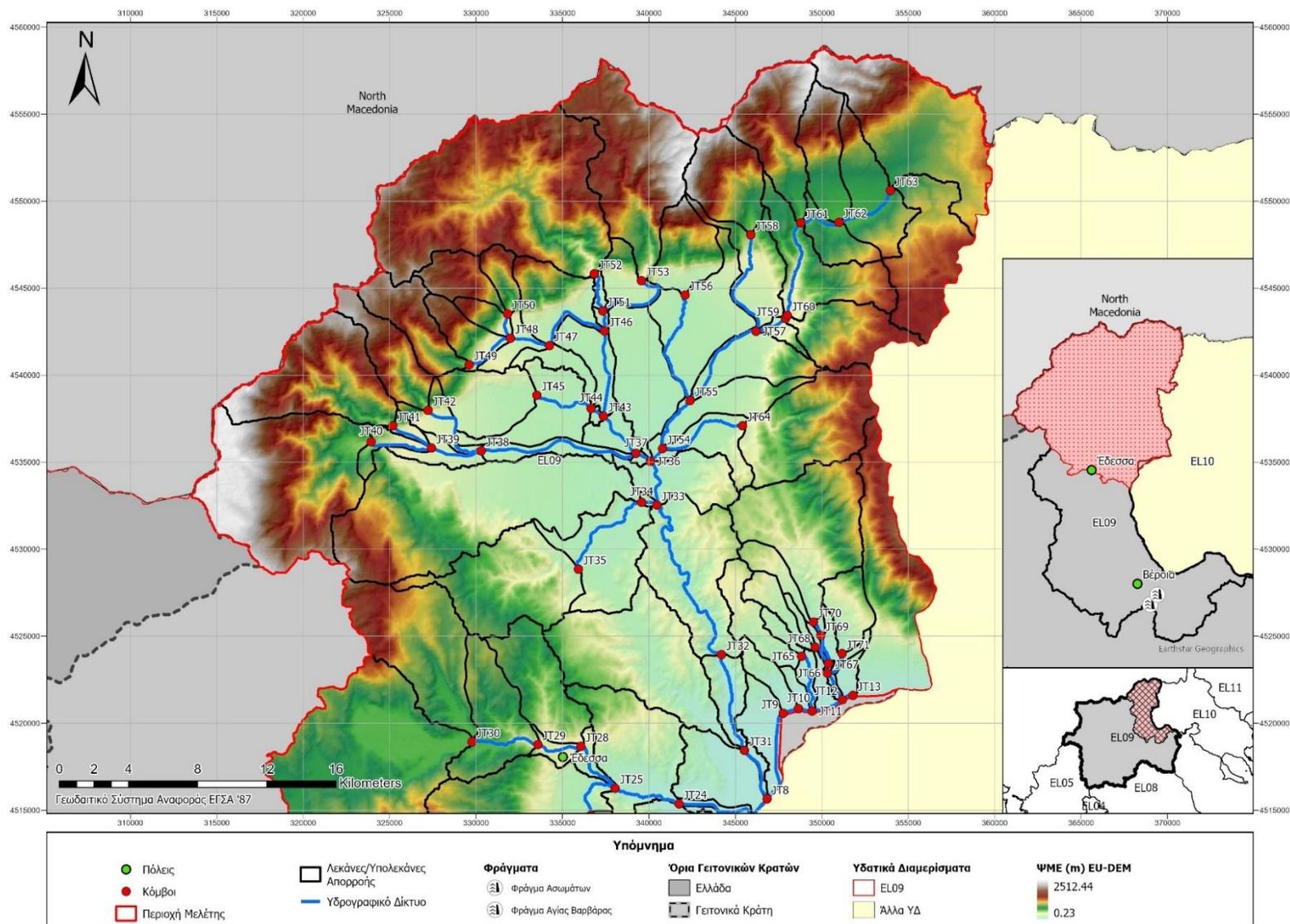
⁴ <http://OpenHi.net>



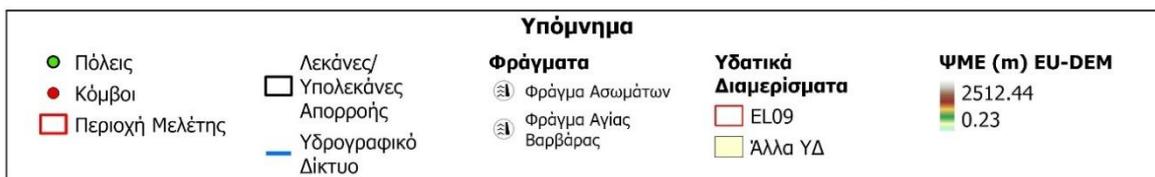
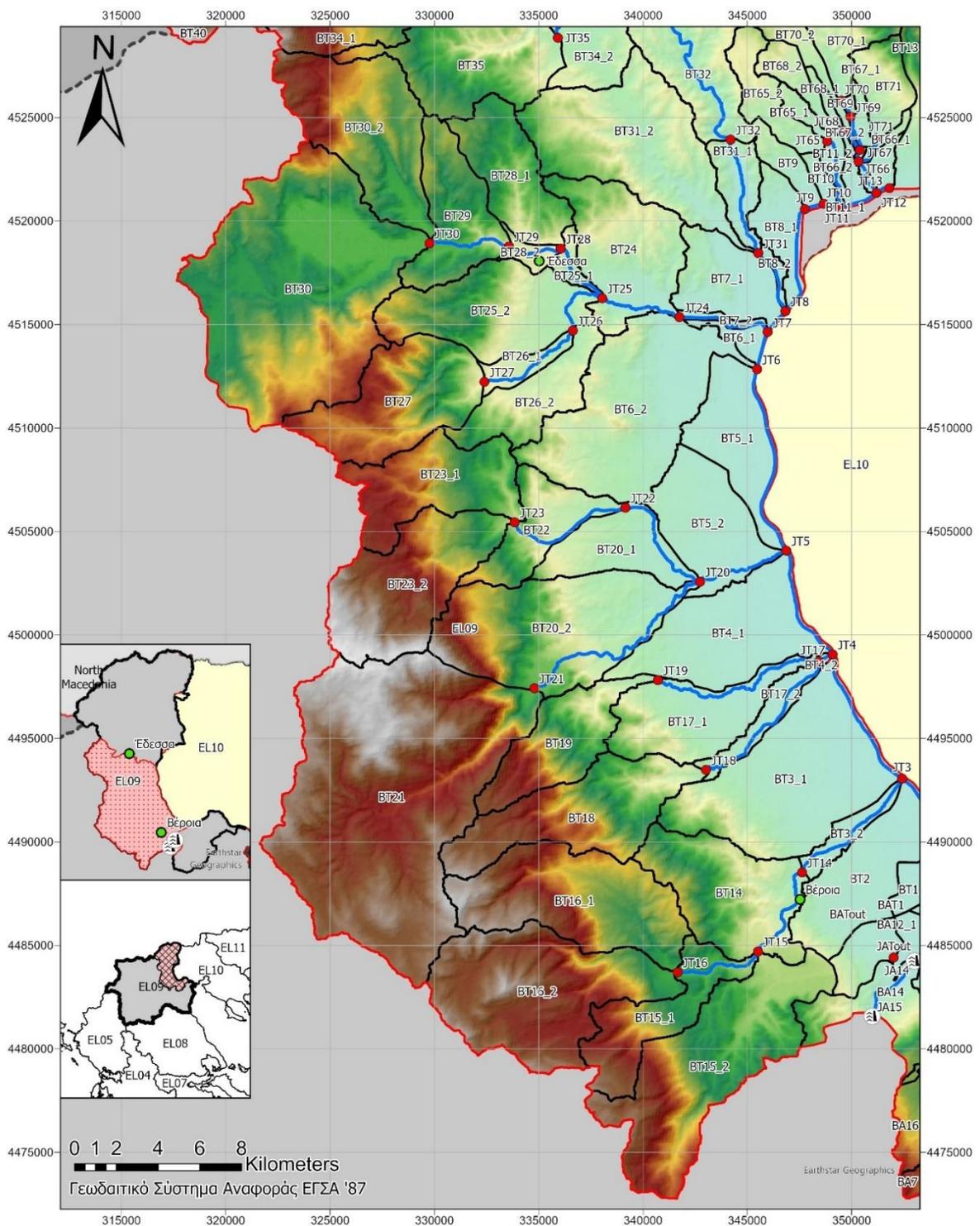
Εικόνα 4.1: Υδρολογικό σύστημα περιοχής μελέτης, στο οποίο φαίνονται τα όρια των υπολεκανών και η διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου (κόμβοι, κλάδοι).



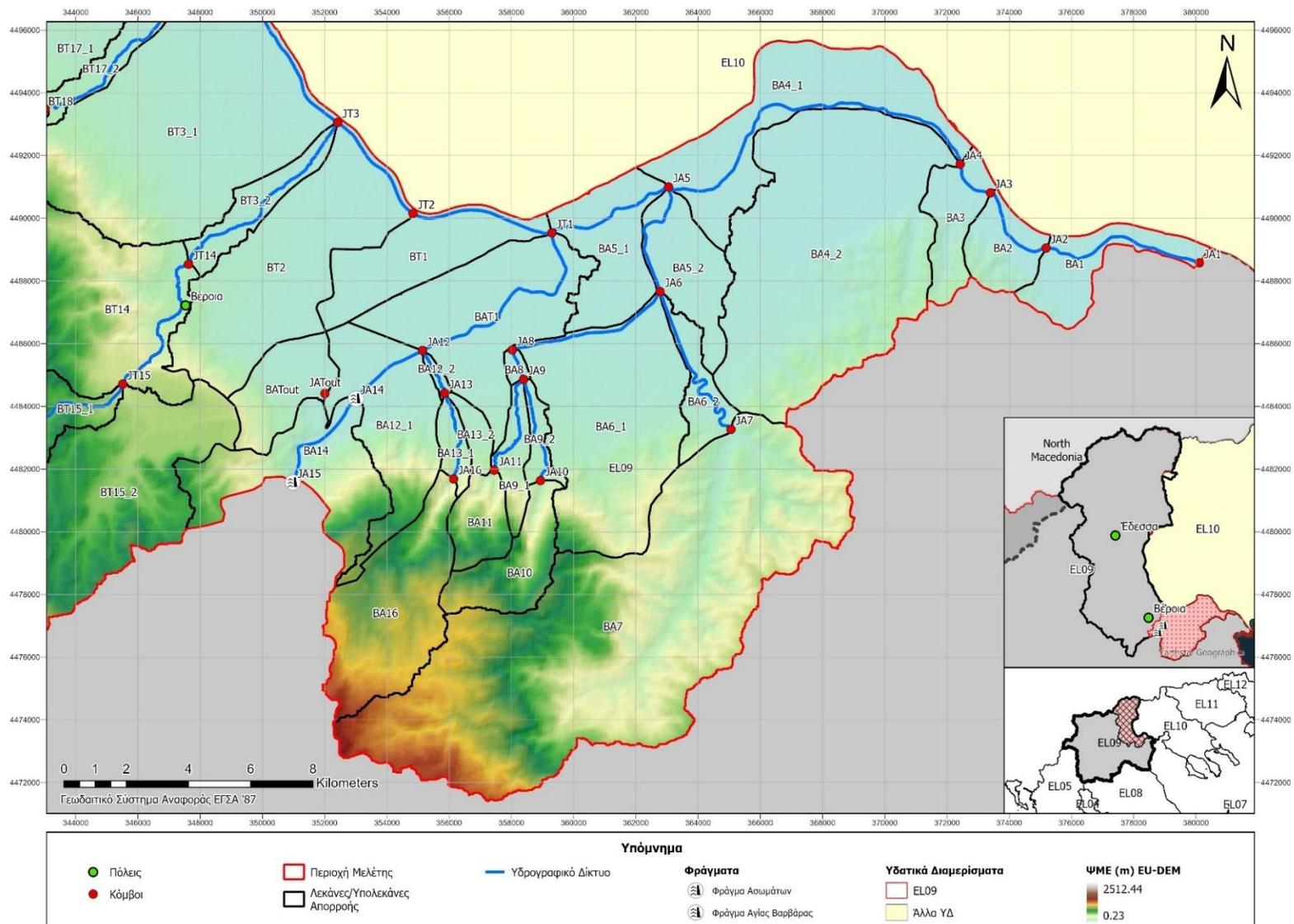
Εικόνα 4.2: Λεπτομέρεια τελικής διαμόρφωσης υδρολογικού συστήματος με ονοματολογία λεκανών/υπολεκανών απορροής βόρεια της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 4.3: Λεπτομέρεια τελικής διαμόρφωσης υδρολογικού συστήματος με ονοματολογία κόμβων βόρεια της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 4.4: Λεπτομέρεια τελικής διαμόρφωσης υδρολογικού συστήματος με ονοματολογία λεκανών/υπολεκανών και κόμβων κεντρικά της περιοχής μελέτης.

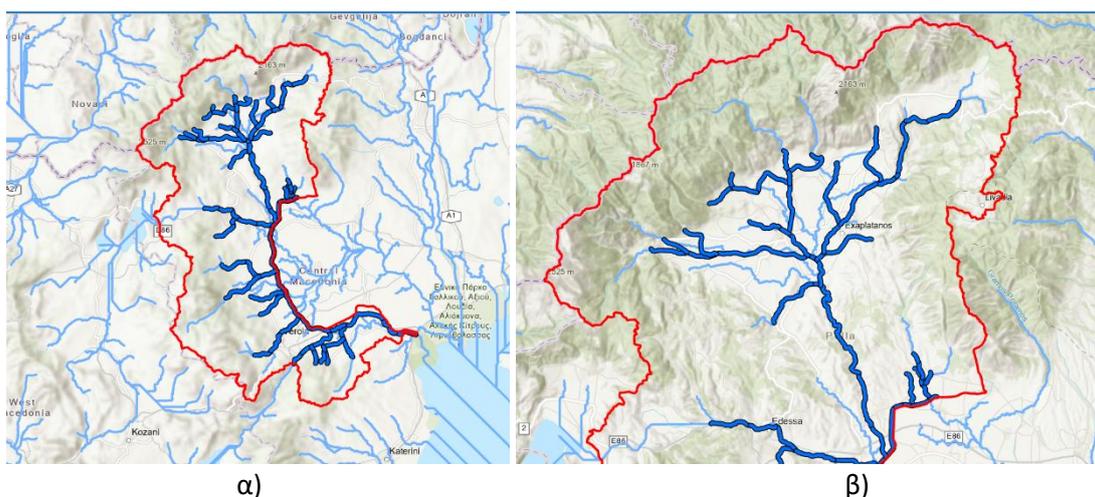


Εικόνα 4.5: Λεπτομέρεια τελικής διαμόρφωσης υδρολογικού συστήματος με ονοματολογία λεκανών/υπολεκανών και κόμβων νότια της περιοχής μελέτης.

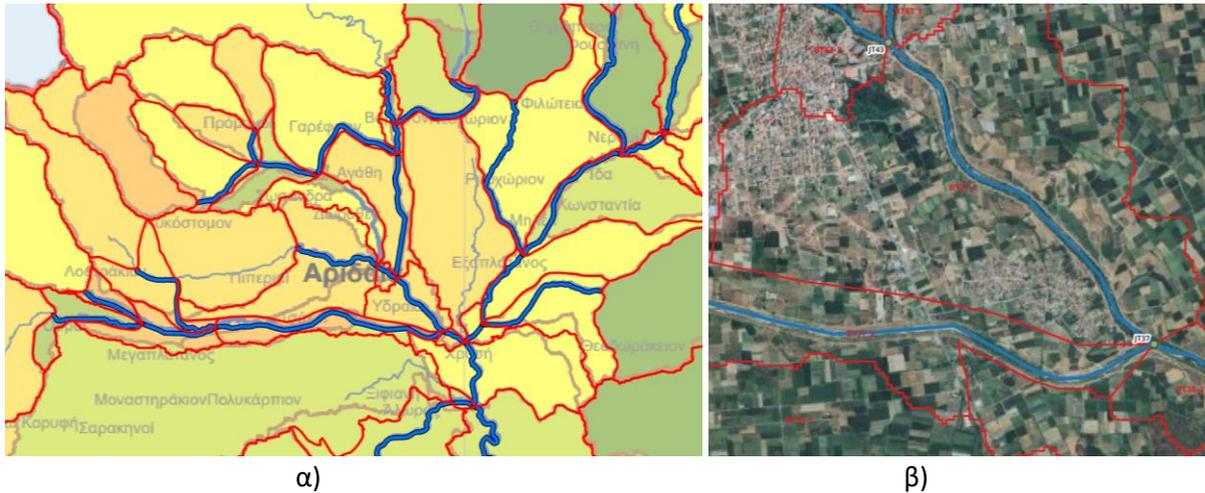
4.2 Γενικές αρχές σχηματοποίησης

Γενικά, η σχηματοποίηση ενός ημικατανεμημένου υδρολογικού συστήματος στο λογισμικό HEC-HMS προϋποθέτει τη διαμόρφωση τριών χωρικών στοιχείων, ήτοι **κόμβους** (junctions), **κλάδους** (reaches) και **υπολεκάνες** (sub-basins). Εξ ορισμού, ένας κλάδος ορίζεται από έναν ανάντη και έναν κατάντη κόμβο, κάθε κόμβος συνδέεται με έναν και μόνο κλάδο κατάντη, και κάθε υπολεκάνη απορρέει σε έναν μοναδικό κόμβο. Δύο ή περισσότερες υπολεκάνες μπορεί να αποστραγγίζονται στον ίδιο κόμβο, ενώ προκειμένου να ορίσουμε περισσότερους κλάδους κατάντη ενός κόμβου, το λογισμικό εισάγει ένα ειδικό αντικείμενο, που καλείται **εκτροπή** (diversion). Κάθε υπολεκάνη διατρέχεται από έναν και μόνο κλάδο, ενώ στις πλέον ανάντη υπολεκάνες οι κλάδοι δεν μοντελοποιούνται ρητά, ωστόσο γίνεται η χάραξη τους προκειμένου να προσδιοριστεί η μέγιστη διαδρομή του νερού, από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο της υπολεκάνης μέχρι τον κόμβο εξόδου.

Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.1**, η συνολική λεκάνη απορροής της περιοχής μελέτης αφορά το *υδροσύστημα Αλιάκμονα* στο ΒΑ τμήμα του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας το οποίο εκτείνεται σε ένα ορεινό-ημιορεινό τμήμα κυρίως στα βόρεια και βορειοδυτικά, ενώ πολύ μεγάλο μέρος της είναι πεδινό, με εξαιρετικά ήπιες κλίσεις, όπου το ανάγλυφο και το φυσικό αποστραγγιστικό δίκτυο έχει αλλοιωθεί δραστικά λόγω της ύπαρξης πληθώρας τεχνικών έργων, διευθετημένων τμημάτων ποταμών και αποστραγγιστικών έργων (τάφροι). Για το λόγο αυτό, η διαδικασία σχηματοποίησης του υδρογραφικού δικτύου και, εν συνεχεία, η τοποθέτηση των κόμβων και χάραξη των υπολεκάνων, υλοποιήθηκε αρχικά με ένα αυτοματοποιημένο τρόπο και στη συνέχεια τροποποιήθηκε εκτενώς στις περιοχές με ήπιο ανάγλυφο κάνοντας ψηφιοποίηση των υδατορευμάτων (διευθετημένα ρέματα, κεντρικές διώρυγες, τάφροι), και των υδροκριτών των υπολεκάνων με βοηθητικό υπόβαθρο δορυφορικούς χάρτες από την εφαρμογή Google Earth, καθώς και διαθέσιμων υποβάθρων της εφαρμογής ArcGIS Pro. Στις εικόνες που ακολουθούν (**Εικόνα 4.6**) απεικονίζονται παραδείγματα σύγκρισης του υδρογραφικού δικτύου που προέκυψε με την πλήρως αυτοματοποιημένη (μέσω του DEM) σχηματοποίηση σε σχέση με τη «χειροκίνητη» ψηφιοποίηση που έγινε με χρήση δορυφορικών υποβάθρων. Σημειώνεται, πως κατά τη χειροκίνητη ψηφιοποίηση ελήφθησαν υπόψη και οι παραγόμενοι χάρτες από τον 2^ο Κύκλο ΣΔΚΠ σε σχέση με τους οποίους υπήρξαν διαφοροποιήσεις, καθώς στη παρούσα μελέτη έγινε πιστότερη χάραξη κάνοντας χρήση των σχετικών δορυφορικών υποβάθρων (**Εικόνα 4.7**).



Εικόνα 4.6: Σύγκριση χάραξης υδρογραφικού δικτύου που προέκυψε με πλήρως αυτοματοποιημένη μέσω του DEM σχηματοποίηση (γαλάζιο) σε σχέση με τη χειροκίνητη χάραξη (μπλε): α) εσφαλμένη χάραξη υδρογραφικού δικτύου που απορρέει ανατολικά της Τ66, β) διαφορετικές κύριες κοίτες υδατορευμάτων στις πεδινές εκτάσεις μεταξύ δυο μεθόδων.

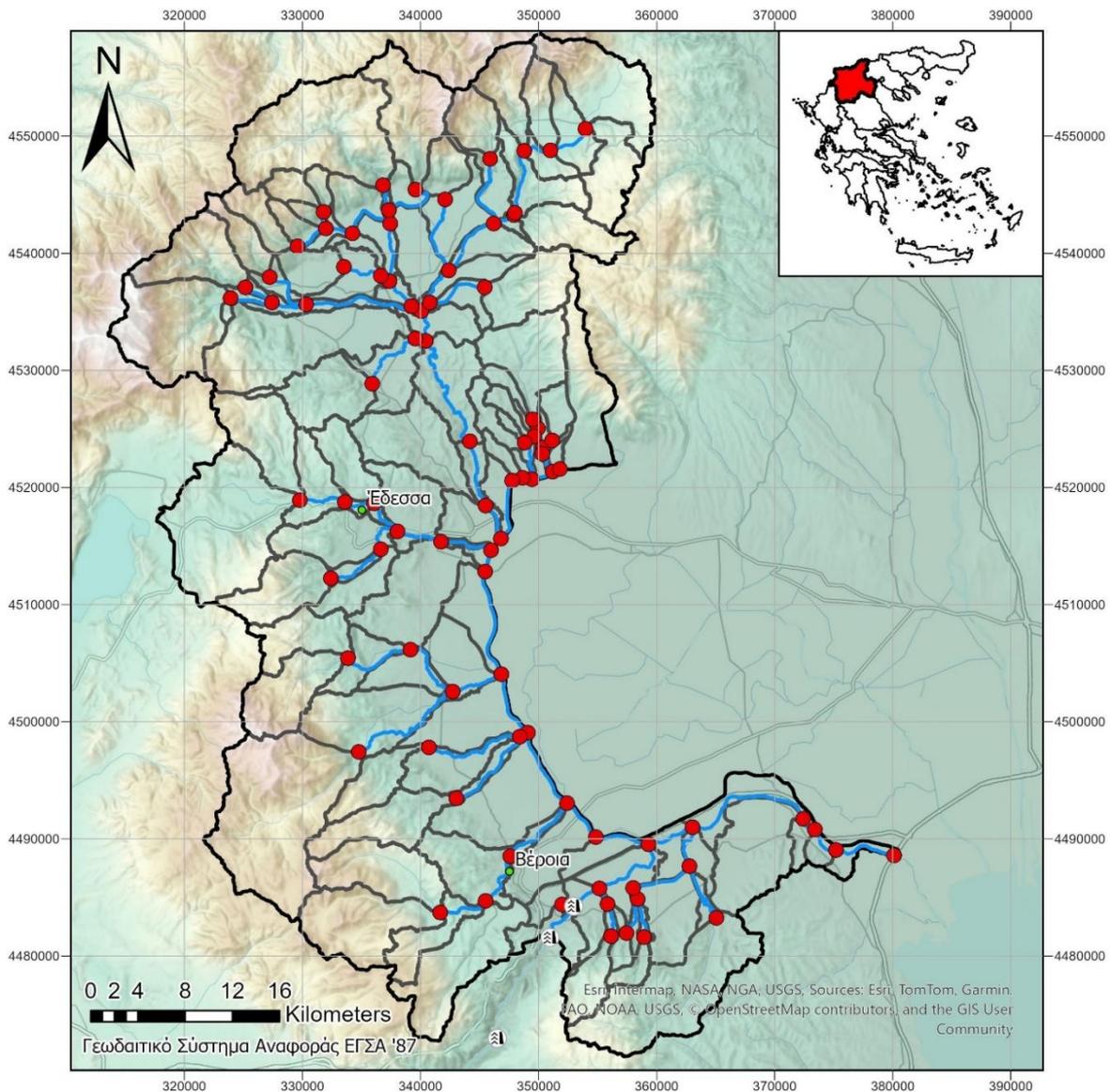


Εικόνα 4.7: Σύγκριση χάραξης υδρογραφικού δικτύου στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης σε σχέση με τη σχηματοποίηση των ΣΔΚΠ (2^{ος} Κύκλος): α) απόσπασμα χάρτη ΣΔΚΠ με χρήση διαφάνειας με υπέρθεση κλάδων (σκούρο μπλε) και ορίων υπολεκανών (κόκκινο) παρούσας σχηματοποίησης, β) πιστή χάραξη κυρίων υδατορευμάτων με χρήστη δορυφορικών εικόνων.

Όσον αφορά στην ημι-αυτοματοποιημένη διαδικασία διαμόρφωσης του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, έγινε με χρήση εργαλείων σε περιβάλλον ΣΓΠ και συγκεκριμένα της εργαλειοθήκης Arc Hydro Tools. Ειδικότερα, με βάση το ΨΜΕ της περιοχής μελέτης, προηγήθηκε πρώτα η πλήρωση του ΨΜΕ λόγω ψευδών τοπικών ταπεινώσεων ή υπέρμετρων ανυψώσεων που οφείλονται κυρίως σε σφάλματα και ατέλειες του DEM. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα επίπεδα πληροφορίας διεύθυνσης ροής (flow direction) και συγκέντρωσης ροής (flow accumulation), θέτοντας για τις υπολεκάνες ένα εύλογο όριο συγκέντρωσης απορροής. Προκειμένου να μη γίνει μεγάλη γενίκευση-αφαίρεση κατά την επιλογή των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου που αντιστοιχούν στα υδατορεύματα, επιλέχθηκε συγκεκριμένη ελάχιστη τιμή κατωφλίου συσσώρευσης με ταυτόχρονη εξέταση στοιχείων από διαφορετικές πηγές, όπως χάρτες των εγκεκριμένων Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, δορυφορικές εικόνες, κ.ά. Οι διαδικασίες που ακολούθησαν ήταν η κατάτμηση και διανυσματοποίηση του υδρογραφικού δικτύου.

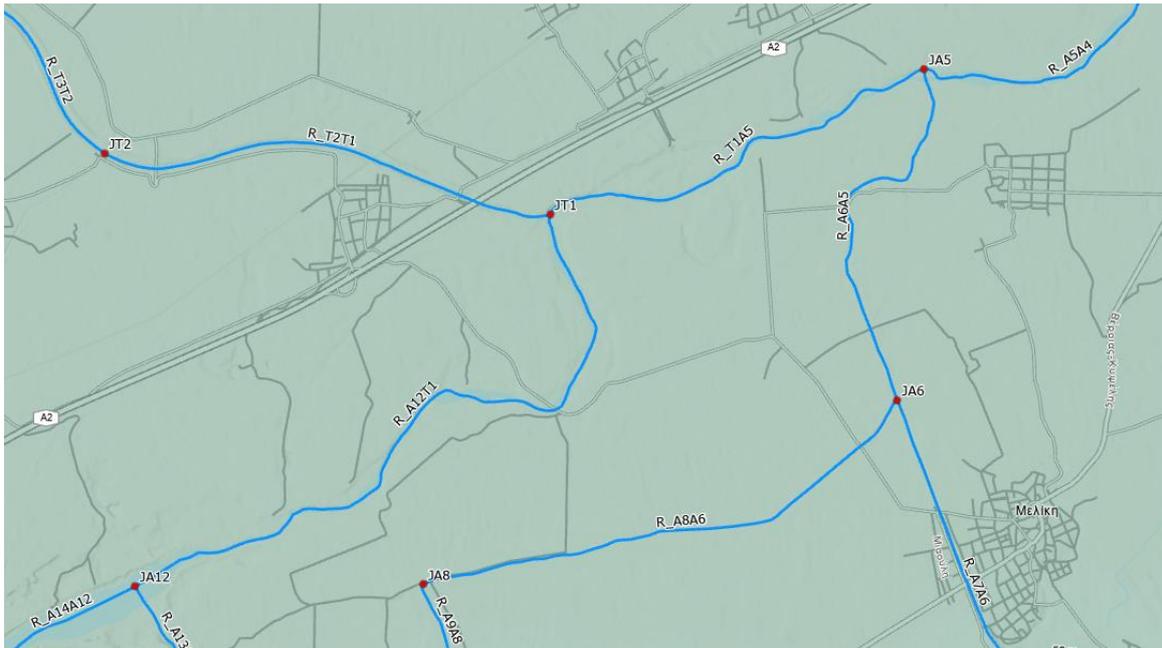
4.3 Διαμόρφωση κόμβων, κλάδων και υπολεκανών

Με την ολοκλήρωση της χάραξης του υδρογραφικού δικτύου, τοποθετήθηκαν κόμβοι στα σημεία συμβολής και σε άλλες θέσεις ενδιαφέροντος όπως απεικονίζεται στις **Εικόνες 4.1 έως 4.5** και **Εικόνα 4.8**. Με την παραπάνω διαδικασία προέκυψε το μοντέλο δικτύου που περιλαμβάνει 88 κόμβους, 86 κλάδους (που διατρέχουν υπολεκάνες εκτός των πλέον ανάντη) και 137 υπολεκάνες, και ένα στοιχείο εκτροπής.



Εικόνα 4.8: Χάραξη υδρογραφικού δικτύου και δημιουργία κόμβων λαμβάνοντας υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης

Η ονοματολογία των τριών κύριων στοιχείων (κόμβοι - J, κλάδοι - R, υπολεκάνες - B) επιλέχθηκε ώστε να παραπέμπει στην ονομασία της κύριας λεκάνης. Συγκεκριμένα, οι λεκάνες που απορρέουν απευθείας στην κύρια κοίτη του π. Αλιάκμονα ονοματίστηκαν ως «BA*i*» όπου «*i*» ένας αύξον μοναδικός αριθμός. Κατά αντιστοιχία, οι λεκάνες που απορρέουν απευθείας στην Περιφερειακή Τάφρο T66 ονομάστηκαν ως «BT*i*». Ακολουθώντας την ίδια λογική, οι κόμβοι του υδρογραφικού δικτύου που βρίσκονται εντός των υπολεκανών που απορρέουν προς τον κάτω ρου του π. Αλιάκμονα αριθμούνται από JA1 έως JA16, ενώ οι κόμβοι που βρίσκονται σε υπολεκάνες που αποστραγγίζουν προς την T66 αριθμούνται από JT1 έως JT71. Σημειώνεται πως η αρίθμηση των κόμβων γίνεται από τα κατάντη προς τα ανάντη. Όσον αφορά τους κλάδους, η ονοματολογία τους προκύπτει από τον ανάντη και κατάντη κόμβο π.χ. ο κλάδος R_T1A5 είναι ο κλάδος που διατρέχει την υπολεκάνη BA5_1, με ανάντη κόμβος τον JT1 και κατάντη τον JA5, όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.9**.



Εικόνα 4.9: Λεπτομέρεια απεικόνισης ονοματολογίας κόμβων και κλάδων εκατέρωθεν της θέσης συμβολής του π. Αλιάκμονα με την Περιφερειακή Τάφρο Τ66.

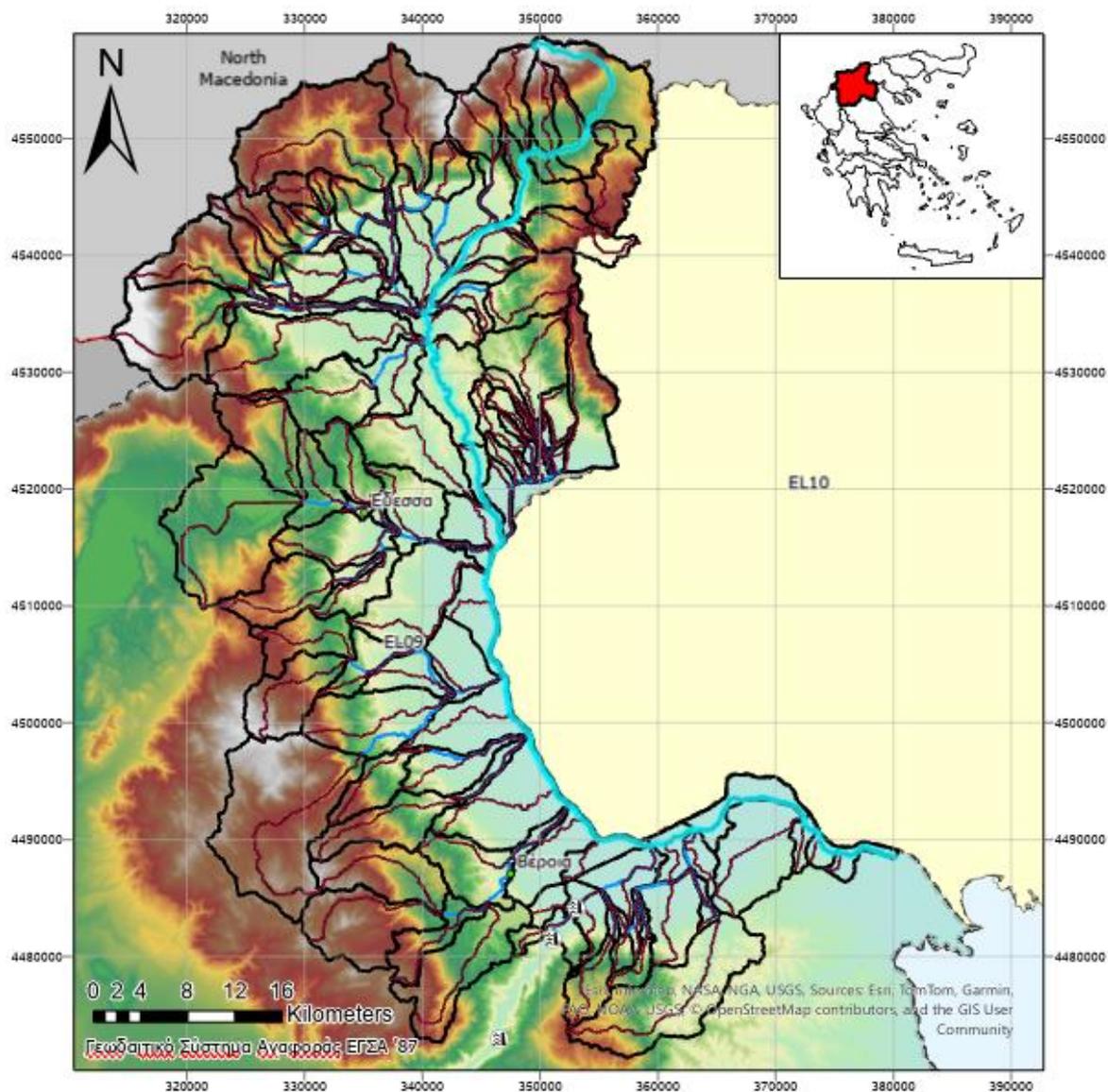
Επόμενο βήμα έπειτα την ολοκλήρωση της χάραξης ήταν ο υπολογισμός των βασικών γεωμετρικών μεγεθών των κόμβων, κλάδων και υπολεκανών του υδρολογικού συστήματος, τα οποία υπολογίστηκαν σε περιβάλλον ΣΓΠ και χρησιμοποιούνται ακολούθως ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης.

Όσον αφορά στη συνολική λεκάνη απορροής, τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά της μεγέθη είναι:

- Έκταση: 2 669 km²
- Διάμεσο υψόμετρο (median): 496.6 m
- Μέσο υψόμετρο: 621.5 m
- Υψόμετρο εξόδου (κόμβος JA1): 2.0 m
- Μέγιστο μήκος ροής: 127.5 km

Ειδικότερα, το μέγιστο μήκος ροής (ορθότερα, η υδραυλικά πλέον απομακρυσμένη διαδρομή) εκτιμήθηκε μετά τη διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου του υδρολογικού συστήματος, αθροίζοντας τα μήκη των επιμέρους κλάδων της μεγαλύτερης διαδρομής (R_A2A1, R_A3A2, R_A4A3, R_A5A4, R_T1A5, R_T2T1, R_T3T2, R_T4T3, R_T5T4, R_T6T5, R_T7T6, R_T8T7, R_T31T8, R_T32T31, R_T33T32, R_T36T33, R_T54T36, R_T55T54, R_T57T55, R_T59T57, R_T60T59, R_T61T60, R_T62T61, R_T63T62) και προσθέτοντας το μέγιστο μήκος ροής της κύριας μισγάγγειας της πλέον ανάντη υπολεκάνης (BT63_2). Το μέγιστο μήκος ροής της συνολικής λεκάνης αλλά και των υπολεκανών απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.10**.

Στους πίνακες που έπονται (**Πίνακας 4.1 έως 4.3**) απεικονίζονται τα βασικά γεωμετρικά μεγέθη των κόμβων, των κλάδων και των υπολεκανών του υδρολογικού συστήματος Αλιάκμονα.



Εικόνα 4.10: Μέγιστο μήκος ροής υπολεκανών (κόκκινο χρώμα) και υδραυλικά πλέον απομακρυσμένη διαδρομή λεκάνης απορροής (κυανό χρώμα)

Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87 και υψόμετρα κόμβων υδρολογικού συστήματος

Κωδικός	X (m)	Y (m)	Z (m)
JA1	380112.8	4488573.7	2.00
JA10	358938.5	4481632.4	140.90
JA11	357446.1	4481960.9	158.96
JA12	355142.6	4485777.7	15.74
JA13	355855.0	4484417.4	45.12
JA14	353001.7	4484243.6	25.63
JA15	350975.9	4481571.5	77.04
JA16	356144.3	4481687.6	177.24
JA2	375185.6	4489048.7	2.50
JA3	373397.7	4490809.6	3.50
JA4	372424.2	4491721.9	5.50

Κωδικός	X (m)	Y (m)	Z (m)
JA5	363046.9	4490997.4	11.69
JA6	362777.5	4487660.2	19.08
JA7	365059.3	4483265.2	64.57
JA8	358029.2	4485796.5	25.85
JA9	358390.7	4484860.0	44.78
JATOUT	352010.0	4484414.1	36.61
JT1	359297.7	4489529.7	14.30
JT10	348649.0	4520830.4	30.56
JT11	349442.6	4520698.0	31.48
JT12	351186.5	4521355.0	31.86
JT13	351802.3	4521593.0	32.87
JT14	347621.1	4488529.0	92.84
JT15	345509.9	4484706.7	346.30
JT16	341659.9	4483699.3	489.10
JT17	348429.0	4498720.3	23.44
JT18	343021.1	4493479.4	139.38
JT19	340707.8	4497815.8	117.64
JT2	354834.9	4490150.5	19.26
JT20	342725.8	4502571.5	48.54
JT21	334787.8	4497420.1	468.12
JT22	339157.6	4506153.2	126.12
JT23	333849.6	4505446.8	324.77
JT24	341740.3	4515358.1	47.26
JT25	338044.5	4516265.3	85.22
JT26	336637.0	4514708.1	128.77
JT27	332400.7	4512235.9	285.11
JT28	336057.5	4518666.3	258.29
JT29	333574.8	4518776.7	319.34
JT3	352414.3	4493057.6	21.25
JT30	329764.7	4518925.2	481.90
JT31	345523.7	4518445.5	31.44
JT32	344199.0	4523937.6	47.70
JT33	340457.9	4532529.8	103.37
JT34	339572.3	4532690.4	101.94
JT35	335919.5	4528850.1	143.01
JT36	340078.4	4535053.8	104.37
JT37	339244.3	4535501.2	105.33
JT38	330299.4	4535642.8	189.23
JT39	327423.2	4535809.1	251.42
JT4	349084.2	4499064.1	21.34
JT40	323927.1	4536170.1	397.82
JT41	325174.5	4537086.6	355.79
JT42	327224.1	4537976.1	321.48
JT43	337373.2	4537641.7	116.63
JT44	336647.8	4538079.3	122.40

Κωδικός	X (m)	Y (m)	Z (m)
JT45	333516.7	4538847.7	139.59
JT46	337435.9	4542540.7	153.54
JT47	334251.9	4541697.9	170.30
JT48	331981.6	4542125.5	213.41
JT49	329601.7	4540602.8	394.96
JT5	346864.6	4504074.1	24.20
JT50	331817.4	4543521.0	319.21
JT51	337327.0	4543697.9	172.95
JT52	336830.2	4545823.0	228.53
JT53	339562.4	4545433.3	240.55
JT54	340778.7	4535779.3	108.37
JT55	342377.8	4538537.4	120.42
JT56	342086.7	4544610.8	149.61
JT57	346195.1	4542524.4	183.53
JT58	345885.4	4548069.1	393.28
JT59	347897.1	4543256.4	223.51
JT6	345460.6	4512833.4	25.46
JT60	348007.7	4543436.8	231.21
JT61	348780.3	4548748.4	439.31
JT62	350997.0	4548784.9	475.38
JT63	353958.1	4550606.5	536.68
JT64	345422.4	4537091.8	189.01
JT65	348823.8	4523848.4	55.34
JT66	350326.7	4522880.4	47.42
JT67	350390.1	4523430.4	52.16
JT68	349618.4	4524363.6	68.26
JT69	349939.4	4525041.5	74.34
JT7	345971.5	4514636.7	27.45
JT70	349520.8	4525818.9	85.60
JT71	351169.8	4524008.0	74.60
JT8	346825.6	4515643.9	28.34
JT9	347761.7	4520577.7	31.39
JT66DIV	354839.0	4490155.0	0.00

Πίνακας 4.2: Κλάδοι υδρολογικού συστήματος και χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη.

Κωδικός	Ανάτη	Κατάτη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R_A10A9	JA10	JA9	3517.1	0.027329
R_A11A9	JA11	JA9	3674.6	0.031073
R_A12T1	JA12	JT1	7291.1	0.000198
R_A13A12	JA13	JA12	1606.5	0.018288
R_A14A12	JA14	JA12	2672.0	0.003701
R_A15A14	JA15	JA14	3679.7	0.013971
R_A2A1	JA2	JA1	5416.1	0.000100
R_A3A2	JA3	JA2	2941.1	0.000340

Κωδικός	Ανάπτυξη	Κατάπτυξη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R_A4A3	JA4	JA3	1514.8	0.001320
R_A5A4	JA5	JA4	11942.6	0.000518
R_A6A5	JA6	JA5	4016.4	0.001840
R_A7A6	JA7	JA6	6513.1	0.006984
R_A8A6	JA8	JA6	5339.2	0.001268
R_A9A8	JA9	JA8	1024.1	0.018485
R_T10T9	JT10	JT9	925.6	0.000100
R_T11T10	JT11	JT10	809.8	0.001136
R_T12T11	JT12	JT11	1892.8	0.000201
R_T13T12	JT13	JT12	693.2	0.001457
R_T14T3	JT14	JT3	7226.1	0.009907
R_T15T14	JT15	JT14	5615.1	0.045139
R_T16T15	JT16	JT15	4639.1	0.030782
R_T17T4	JT17	JT4	742.9	0.002827
R_T18T17	JT18	JT17	8558.8	0.013546
R_T19T17	JT19	JT17	9326.6	0.010100
R_T1A5	JT1	JA5	4284.8	0.000609
R_T20T5	JT20	JT5	4830.5	0.005039
R_T21T20	JT21	JT20	11911.9	0.035224
R_T22T20	JT22	JT20	6005.1	0.012919
R_T23T22	JT23	JT22	6513.1	0.030500
R_T24T7	JT24	JT7	4724.3	0.004193
R_T25T24	JT25	JT24	4264.5	0.008901
R_T26T25	JT26	JT25	3510.8	0.012405
R_T27T26	JT27	JT26	5804.3	0.026935
R_T28T25	JT28	JT25	3668.3	0.047180
R_T29T28	JT29	JT28	2872.3	0.021254
R_T2T1	JT2	JT1	4660.2	0.001064
R_T30T29	JT30	JT29	4351.5	0.037357
R_T31T8	JT31	JT8	3304.3	0.000938
R_T32T31	JT32	JT31	6163.5	0.002638
R_T33T32	JT33	JT32	13211.7	0.004214
R_T34T33	JT34	JT33	927.1	0.000100
R_T35T34	JT35	JT34	6216.9	0.006606
R_T36T33	JT36	JT33	2984.7	0.000335
R_T37T36	JT37	JT36	958.7	0.001001
R_T38T37	JT38	JT37	9493.6	0.008838
R_T39T38	JT39	JT38	3013.0	0.020641
R_T3T2	JT3	JT2	3863.4	0.000515
R_T40T39	JT40	JT39	3891.7	0.037619
R_T41T39	JT41	JT39	2623.5	0.039783
R_T42T38	JT42	JT38	5089.3	0.025986
R_T43T37	JT43	JT37	2984.6	0.003786
R_T44T43	JT44	JT43	863.7	0.006681
R_T45T44	JT45	JT44	3697.6	0.004649

Κωδικός	Ανάπτυξη	Κατάπτυξη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R_T46T43	JT46	JT43	5060.8	0.007293
R_T47T46	JT47	JT46	4780.7	0.003506
R_T48T47	JT48	JT47	2349.2	0.018351
R_T49T48	JT49	JT48	3011.2	0.060291
R_T4T3	JT4	JT3	7133.9	0.000100
R_T50T48	JT50	JT48	1527.8	0.069252
R_T51T46	JT51	JT46	1327.7	0.014619
R_T52T51	JT52	JT51	2750.7	0.020206
R_T53T51	JT53	JT51	5296.0	0.012764
R_T54T36	JT54	JT36	1034.2	0.003868
R_T55T54	JT55	JT54	3776.3	0.003191
R_T56T55	JT56	JT55	7419.2	0.003934
R_T57T55	JT57	JT55	6016.7	0.010489
R_T58T57	JT58	JT57	6979.5	0.030052
R_T59T57	JT59	JT57	2015.0	0.019841
R_T5T4	JT5	JT4	5854.9	0.000488
R_T60T59	JT60	JT59	238.5	0.032280
R_T61T60	JT61	JT60	6257.4	0.033257
R_T62T61	JT62	JT61	2636.8	0.013680
R_T63T62	JT63	JT62	4047.9	0.015144
R_T64T54	JT64	JT54	5534.6	0.014570
R_T65T11	JT65	JT11	3823.2	0.006241
R_T66T12	JT66	JT12	1866.8	0.008335
R_T67T66	JT67	JT66	584.0	0.008117
R_T68T67	JT68	JT67	1315.5	0.012239
R_T69T67	JT69	JT67	1837.6	0.012070
R_T6T5	JT6	JT5	9500.9	0.000133
R_T70T69	JT70	JT69	966.9	0.011645
R_T71T66	JT71	JT66	1655.9	0.016415
R_T7T6	JT7	JT6	1881.1	0.001058
R_T8T7	JT8	JT7	1333.2	0.000668
R_T9T8	JT9	JT8	5367.2	0.000568
R_A16A13	JA16	JA13	2939.5	0.044947
R_JT2JT66DIV	JT2	JT66DIV	1000	0.001

Πίνακας 4.3: Υπολεκάνες υδρολογικού συστήματος και χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη.

Κωδικός	Κλάδος που διατρέχει	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
BA1	R_A2A1	JA1	7.73	8.7	2.0	7.49
BA10	-	JA10	7.90	534.5	140.9	6.74
BA11	R_A11A9	JA11	4.79	439.9	159.0	3.91
BA12_1	R_A14A12	JA12	15.51	170.2	15.7	8.54
BA12_2	R_A13A12	JA12	0.53	32.3	15.7	1.61
BA13_1	R_A16A13	JA13	2.25	141.3	45.1	2.98
BA13_2	-	JA13	1.83	103.9	45.1	3.13

Κωδικός	Κλάδος που διατρέχει	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
BA14	R_A15A14	JA14	15.79	303.9	25.6	7.38
BA16	-	JA16	18.56	759.4	177.2	11.53
BA2	R_A3A2	JA2	5.74	36.2	2.5	4.30
BA3	R_A4A3	JA3	6.48	44.3	3.5	5.40
BA4_1	R_A5A4	JA4	21.79	10.6	5.5	11.91
BA4_2	-	JA4	52.63	47.0	5.5	14.00
BA5_1	R_T1A5	JA5	11.35	16.0	11.7	7.84
BA5_2	R_A6A5	JA5	9.09	20.8	11.7	7.46
BA6_1	R_A8A6	JA6	29.88	122.5	19.1	13.00
BA6_2	R_A7A6	JA6	4.78	66.9	19.1	8.11
BA7	-	JA7	85.22	459.8	64.6	22.56
BA8	R_A9A8	JA8	0.67	36.5	25.9	1.02
BA9_1	R_A11A9	JA9	3.46	172.1	44.8	5.43
BA9_2	R_A10A9	JA9	2.11	99.2	44.8	3.52
BAT1	R_A12T1	JT1	21.87	26.1	14.3	9.70
BATOUT	-	JATOUT	7.59	112.2	36.6	3.00
BT1	R_T2T1	JT1	12.46	22.8	14.3	10.69
BT10	R_T11T10	JT10	2.13	59.3	30.6	3.45
BT11_1	R_T12T11	JT11	2.69	41.3	31.5	4.67
BT11_2	R_T65T11	JT11	2.49	50.9	31.5	3.98
BT12	R_T13T12	JT12	2.52	63.4	31.9	2.99
BT12_2	R_T66T12	JT12	0.73	41.1	31.9	1.87
BT13	R_T13T12	JT13	41.01	685.1	32.9	18.79
BT14	R_T15T14	JT14	33.50	444.9	92.8	10.03
BT15_1	R_T16T15	JT15	22.12	917.2	346.3	14.52
BT15_2	-	JT15	54.59	798.0	346.3	16.58
BT16_1	-	JT16	43.69	1078.4	489.1	15.60
BT16_2	-	JT16	52.73	1307.9	489.1	15.80
BT17_1	R_T19T17	JT17	25.39	169.8	23.4	13.21
BT17_2	R_T18T17	JT17	6.97	70.2	23.4	9.23
BT18	-	JT18	35.60	897.2	139.4	14.85
BT19	-	JT19	22.83	755.3	117.6	13.01
BT2	R_T3T2	JT2	28.31	67.4	19.3	7.47
BT20_1	R_T22T20	JT20	17.32	151.9	48.5	8.99
BT20_2	R_T21T20	JT20	50.81	522.6	48.5	16.66
BT21	-	JT21	125.00	1473.2	468.1	24.76
BT22	R_T23T22	JT22	17.13	399.7	126.1	10.14
BT23_1	-	JT23	28.55	860.5	324.8	12.15
BT23_2	-	JT23	38.10	1298.5	324.8	14.74
BT24	R_T25T24	JT24	30.77	229.0	47.3	12.61
BT25_1	R_T28T25	JT25	3.00	195.7	85.2	4.45
BT25_2	R_T26T25	JT25	33.35	439.1	85.2	13.31
BT26_1	R_T27T26	JT26	5.09	223.8	128.8	5.80
BT26_2	-	JT26	17.48	331.5	128.8	11.06

Κωδικός	Κλάδος που διατρέχει	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
BT27	-	JT27	34.06	862.9	285.1	11.12
BT28_1	-	JT28	21.72	512.4	258.3	11.91
BT28_2	R_T29T28	JT28	2.88	328.3	258.3	3.36
BT29	R_T30T29	JT29	22.44	598.3	319.3	8.54
BT3_1	R_T4T3	JT3	53.79	112.3	21.3	16.99
BT3_2	R_T14T3	JT3	5.52	58.3	21.3	7.23
BT30	-	JT30	96.81	692.8	481.9	19.80
BT30_2	-	JT30	38.80	864.9	481.9	15.56
BT31_1	R_T32T31	JT31	8.68	86.7	31.4	6.99
BT31_2	-	JT31	46.40	253.7	31.4	17.67
BT32	R_T33T32	JT32	35.97	203.2	47.7	14.00
BT33_1	R_T36T33	JT33	15.42	184.4	103.4	10.01
BT33_2	R_T34T33	JT33	0.52	103.6	103.4	1.21
BT34_1	-	JT34	82.40	498.1	101.9	27.80
BT34_2	R_T35T34	JT34	23.97	151.1	101.9	8.44
BT35	-	JT35	36.72	460.6	143.0	12.26
BT36_1	R_T54T36	JT36	1.51	109.8	104.4	1.75
BT36_2	-	JT36	22.95	131.8	104.4	12.00
BT36_3	R_T37T36	JT36	0.59	108.5	104.4	1.50
BT37_1	R_T43T37	JT37	5.45	116.8	105.3	4.22
BT37_2	R_T38T37	JT37	6.49	147.6	105.3	9.50
BT38_1	R_T42T38	JT38	6.45	381.6	189.2	7.44
BT38_2	R_T39T38	JT38	4.86	241.5	189.2	3.59
BT39_1	R_T41T39	JT39	2.03	377.6	251.4	3.39
BT39_2	R_T40T39	JT39	4.46	457.2	251.4	5.58
BT4_1	R_T5T4	JT4	35.08	58.2	21.3	15.70
BT4_2	R_T17T4	JT4	0.30	27.9	21.3	0.74
BT40	-	JT40	66.34	1433.1	397.8	15.16
BT41	-	JT41	37.45	1238.0	355.8	12.94
BT42	-	JT42	15.40	1179.0	321.5	10.98
BT43_1	R_T46T43	JT43	9.37	142.4	116.6	5.08
BT43_2	R_T44T43	JT43	0.65	122.4	116.6	0.86
BT44_1	-	JT44	5.15	165.1	122.4	7.83
BT44_2	R_T45T44	JT44	16.61	149.8	122.4	9.57
BT45	-	JT45	17.29	256.7	139.6	7.06
BT46_1	R_T51T46	JT46	0.80	165.6	153.5	1.33
BT46_2	R_T47T46	JT46	15.98	476.1	153.5	7.63
BT47	R_T48T47	JT47	4.81	257.1	170.3	2.34
BT48_1	R_T50T48	JT48	4.34	748.1	213.4	3.97
BT48_2	R_T49T48	JT48	9.06	851.4	213.4	5.55
BT49	-	JT49	15.80	1256.6	395.0	9.71
BT5_1	R_T6T5	JT5	21.42	35.4	24.2	12.36
BT5_2	R_T20T5	JT5	25.02	60.3	24.2	8.68
BT50_1	-	JT50	5.41	891.6	319.2	5.07

Κωδικός	Κλάδος που διατρέχει	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
BT50_2	-	JT50	9.85	1244.4	319.2	7.60
BT51_1	R_T53T51	JT51	8.31	337.5	173.0	6.54
BT51_2	R_T52T51	JT51	1.29	202.9	173.0	2.75
BT52	-	JT52	95.52	1109.1	228.5	18.64
BT53	-	JT53	46.56	1353.2	240.6	13.91
BT54_1	R_T64T54	JT54	9.80	191.5	108.4	7.48
BT54_2	R_T55T54	JT54	12.57	225.8	108.4	11.65
BT55_1	R_T57T55	JT55	14.87	297.1	120.4	10.09
BT55_2	R_T56T55	JT55	25.05	187.4	120.4	9.43
BT56	-	JT56	15.01	687.7	149.6	7.41
BT57_1	R_T59T57	JT57	2.53	316.8	183.5	3.80
BT57_2	R_T58T57	JT57	15.46	397.7	183.5	8.84
BT58	-	JT58	19.90	1204.3	393.3	8.04
BT59_1	-	JT59	28.03	1018.8	223.5	14.65
BT59_2	R_T60T59	JT59	0.06	232.7	223.5	0.24
BT6_1	R_T7T6	JT6	3.15	31.3	25.5	2.33
BT6_2	-	JT6	52.57	147.4	25.5	19.05
BT60	R_T61T60	JT60	23.97	647.2	231.2	10.41
BT61_1	R_T62T61	JT61	8.42	652.7	439.3	4.95
BT61_2	-	JT61	25.30	1288.8	439.3	12.56
BT62_1	R_T63T62	JT62	19.75	735.9	475.4	10.04
BT62_2	-	JT62	16.15	1018.0	475.4	10.59
BT63_1	-	JT63	30.15	1011.5	536.7	16.16
BT63_2	-	JT63	51.40	1043.2	536.7	15.44
BT64	-	JT64	35.06	766.8	189.0	11.34
BT65_1	-	JT65	2.39	141.3	55.3	3.84
BT65_2	-	JT65	10.67	225.1	55.3	9.90
BT66_1	R_T71T66	JT66	1.31	121.0	47.4	3.92
BT66_2	R_T67T66	JT66	0.23	52.7	47.4	0.58
BT67_1	R_T69T67	JT67	2.23	99.1	52.2	3.78
BT67_2	R_T68T67	JT67	0.88	76.3	52.2	3.00
BT68_1	-	JT68	1.34	133.3	68.3	3.88
BT68_2	-	JT68	5.80	214.4	68.3	7.31
BT69	R_T70T69	JT69	0.56	98.4	74.3	1.33
BT7_1	R_T8T7	JT7	17.12	61.8	27.5	6.05
BT7_2	R_T24T7	JT7	1.60	35.7	27.5	5.14
BT70_1	-	JT70	40.53	500.1	85.6	12.86
BT70_2	-	JT70	5.70	285.0	85.6	6.71
BT71	-	JT71	9.63	281.2	74.6	6.29
BT8_1	R_T9T8	JT8	10.20	46.7	28.3	8.39
BT8_2	R_T31T8	JT8	1.50	31.2	28.3	3.93
BT9	R_T10T9	JT9	5.48	112.0	31.4	5.75

5 Σενάρια βροχόπτωσης

5.1 Γενικές παραδοχές

Με βάση το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3, για την ανάλυση της πλημμυρικής διακινδύνευσης του υδροσυστήματος Αλιάκμονα, εξετάζονται 250 υδρολογικά σενάρια, που προκύπτουν συνδυάζοντας συνθετικά επεισόδια βροχής διαφορετικής πιθανότητας υπέρβασης και διαφορετικού χρονικού προφίλ, που προσπίπτουν σε διαφορετικές συνθήκες αρχικής υγρασίας του εδάφους. Ειδικότερα, η πιθανότητα υπέρβασης της βροχόπτωσης εκφράζεται μέσω της περιόδου επαναφοράς, T , και στην προκειμένη περίπτωση διερευνώνται πέντε χαρακτηριστικές τιμές της, ήτοι $T = 20, 50, 100, 200,$ και 1000 έτη. Όλα τα επεισόδια βροχής θεωρείται ότι έχουν συνολική διάρκεια 72 ωρών και χρονική διακριτικότητα 15 min, ενώ για κάθε περίοδο επαναφοράς διερευνώνται πέντε διαφορετικά χρονικά προφίλ της βροχής.

Σύμφωνα με την κοινή πρακτική, οι επιμέρους εντάσεις για όλες τις χρονικές κλίμακες (15 min, 30 min, 45 min, κτλ., έως 72 min) παράγονται από τις *όμβριες καμπύλες* της περιοχής ενδιαφέροντος, οι οποίες έχουν εξαχθεί από πρόσφατη στατιστική ανάλυση των ισχυρών βροχοπτώσεων στο σύνολο της Ελληνικής επικράτειας (Κουτσογιάννης κ.ά., 2023). Οι όμβριες καμπύλες είναι παραμετρικές στατιστικές σχέσεις που εκτιμούν την σημειακή μέγιστη ένταση βροχής $i = f(k, T)$, που αναφέρεται σε δεδομένη χρονική κλίμακα (διάρκεια), k , και δεδομένη περίοδο επαναφοράς, T . Θεμελιώδης παραδοχή αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι εντάσεις σε όλες τις χρονικές κλίμακες k αντιστοιχούν σε κοινή τιμή T . Στη συνέχεια, οι εντάσεις μετατρέπονται σε αθροιστικά ύψη, και με αφαίρεση αυτών εξαγονται τελικά τα τμηματικά ύψη βροχής του επεισοδίου.

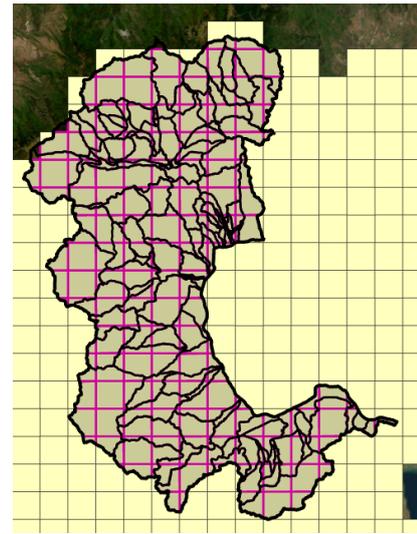
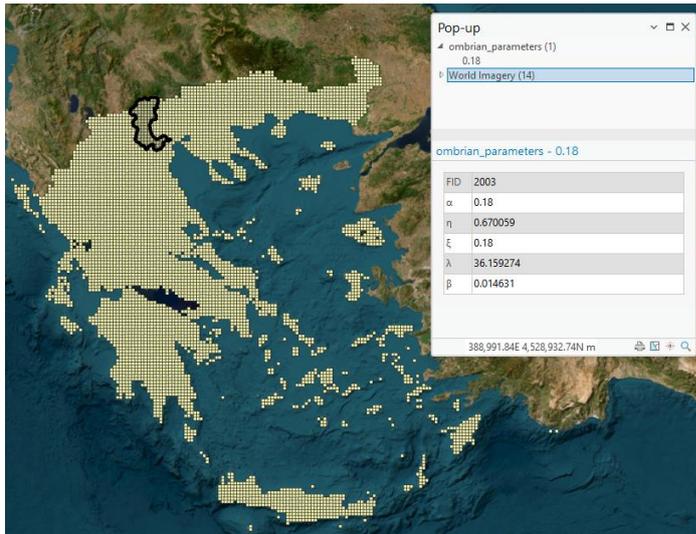
Στην παρούσα διερεύνηση, η χρονική διάταξη των τμηματικών υψών βροχής, και συνακόλουθα η παραγωγή των υετογραφημάτων εντός του χρονικού διαστήματος των 72 ωρών, γίνεται μέσω δύο προσεγγίσεων, που καταλήγουν στην παραγωγή πέντε τυποποιημένων χρονικών προφίλ για κάθε περίοδο επαναφοράς. Τα παραγόμενα υετογραφήματα διαφοροποιούνται όχι μόνο χρονικά αλλά και χωρικά, ήτοι ανά υπολεκάνη, καθώς ορισμένες από τις παραμέτρους των ομβρίων καμπυλών είναι χωρικά μεταβαλλόμενες. Με τη διαδικασία αυτή, παράγονται τελικά $5 \times 5 = 25$ συνθετικά επεισόδια βροχής (υετογραφήματα) ανά υπολεκάνη, και κάθε ένα προσπίπτει σε 10 διαφορετικές συνθήκες αρχικής υγρασίας του εδάφους. Συνεπώς, ο συνολικός αριθμός των πλημμυρικών επεισοδίων που προσομοιώνονται είναι $25 \times 10 = 250$.

5.2 Όμβριες καμπύλες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ως υπόβαθρο για την παραγωγή των υετογραφημάτων εισόδου των υπολεκανών του υδρολογικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν οι σημειακές όμβριες καμπύλες που παρήχθησαν στο πλαίσιο της μελέτης των Κουτσογιάννη κ.ά. (2023· βλ. και Ιλιόρουλου *et al.*, 2022, 2024). Ειδικότερα, προτείνεται μια γενικευμένη σχέση πέντε παραμέτρων της μορφής, ήτοι:

$$i(k, T) = \lambda \frac{(T/\beta)^\xi - 1}{(1 + k/\alpha)^\eta} \quad (5.1)$$

όπου $i(k, T)$ ένταση της βροχόπτωσης (mm/h) για χρονική κλίμακα k (h) και περίοδο επαναφοράς T (έτη), λ παράμετρος κλίμακας με διαστάσεις έντασης βροχής (mm/h), β παράμετρος κλίμακας για την περίοδο επαναφοράς T , με ίδιες διαστάσεις (έτη), ξ αδιάστατη παράμετρος σχήματος της ουράς των ακραίων τιμών, α παράμετρος χρονικής κλίμακας για την κλίμακα k (με ίδιες διαστάσεις, ήτοι h), και η αδιάστατη παράμετρος της συνάρτησης χρονικής κλίμακας.



Εικόνα 5.1: Επικαιροποιημένες όμβριες καμπύλες σε ψηφιακή μορφή, σε κάναβο ισοδιάστασης 5x5 km (αριστερά το σύνολο της χώρας, δεξιά η περιοχή μελέτης, διαχωρισμένη σε υπολεκάνες).

Η ενδελεχής διερεύνηση των Κουτσογιάννη κ.ά. (2023) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι παράμετροι ξ και η μπορούν να θεωρηθούν ενιαίες για όλη τη χώρα, για τις οποίες προτείνονται οι τιμές 0.180 και 0.180 h, αντίστοιχα. Με την παραπάνω υπόθεση, η τελική διατύπωση των ομβρίων καμπυλών της χώρας είναι:

$$i(k, T) = \lambda \frac{(T/\beta)^{0.18} - 1}{(1 + k/0.18)^\eta} \quad (5.2)$$

Για την υδρολογική προσομοίωση απαιτείται, ως δεδομένο εισόδου, το επιφανειακό υετογράφημα κάθε υπολεκάνης. Για τον σκοπό αυτό, θεωρήθηκε ότι σε κάθε υπολεκάνη αντιστοιχεί μια εκτιμήτρια της όμβριας καμπύλης, εισάγοντας στη σχέση (5.2) την αντίστοιχη μέση τιμή των παραμέτρων η , λ και β . Οι σχετικές επεξεργασίες έγιναν με τυποποιημένα εργαλεία χωρικής ανάλυσης σε περιβάλλον ΣΓΠ. Οι τιμές των παραμέτρων ανά υπολεκάνη δίνονται στον **Πίνακα 5.1**.

Πίνακας 5.1: Μέσες τιμές παραμέτρων κλίμακας και 24ωρα ύψη βροχής υπολεκανών (τελικές τιμές, μετά την επιφανειακή αναγωγή), για τις τρεις περιόδους επαναφοράς που εξετάζονται.

Υπολεκάνη	η	λ (mm/h)	β (έτη)	Υπολεκάνη	η	λ (mm/h)	β (έτη)
BA1	0.694	45.60	0.0185	BT36_3	0.649	41.85	0.0127
BA10	0.696	63.60	0.0216	BT37_1	0.646	39.93	0.0126
BA11	0.696	63.20	0.0215	BT37_2	0.647	44.93	0.0138
BA12_1	0.696	60.00	0.0206	BT38_1	0.639	48.76	0.0147
BA12_2	0.695	59.54	0.0205	BT38_2	0.644	49.59	0.0146
BA13_1	0.696	59.67	0.0205	BT39_1	0.636	50.90	0.0153
BA13_2	0.696	59.75	0.0203	BT39_2	0.641	51.57	0.0152
BA14	0.698	61.89	0.0211	BT4_1	0.685	59.94	0.0169
BA16	0.694	63.35	0.0223	BT4_2	0.684	55.23	0.0172
BA2	0.694	45.81	0.0185	BT40	0.620	44.77	0.0142
BA3	0.694	45.49	0.0183	BT41	0.547	41.37	0.0131
BA4_1	0.691	47.22	0.0181	BT42	0.631	47.54	0.0150
BA4_2	0.694	50.04	0.0186	BT43_1	0.640	39.17	0.0130
BA5_1	0.694	56.04	0.0191	BT43_2	0.644	38.08	0.0124
BA5_2	0.694	55.74	0.0193	BT44_1	0.642	42.56	0.0138

BA6_1	0.696	60.18	0.0204	BT44_2	0.643	43.94	0.0140
BA6_2	0.696	58.69	0.0198	BT45	0.639	46.62	0.0144
BA7	0.690	62.74	0.0220	BT46_1	0.639	37.42	0.0126
BA8	0.696	59.79	0.0203	BT46_2	0.635	40.74	0.0137
BA9_1	0.696	60.84	0.0206	BT47	0.637	43.09	0.0140
BA9_2	0.696	59.79	0.0203	BT48_1	0.629	42.62	0.0141
BAT1	0.695	57.69	0.0196	BT48_2	0.630	43.82	0.0143
BATout	0.701	63.13	0.0210	BT49	0.629	44.39	0.0145
BT1	0.694	56.88	0.0193	BT5_1	0.670	50.10	0.0159
BT10	0.660	44.04	0.0142	BT5_2	0.676	53.68	0.0165
BT11_1	0.660	44.05	0.0142	BT50_1	0.630	41.33	0.0140
BT11_2	0.660	44.00	0.0142	BT50_2	0.627	42.51	0.0142
BT12	0.661	42.92	0.0139	BT51_1	0.637	37.42	0.0127
BT12_2	0.660	43.98	0.0142	BT51_2	0.639	37.42	0.0126
BT13	0.658	41.87	0.0135	BT52	0.621	39.30	0.0138
BT14	0.705	65.06	0.0201	BT53	0.593	35.14	0.0122
BT15_1	0.703	62.13	0.0191	BT54_1	0.648	38.71	0.0127
BT15_2	0.697	59.44	0.0198	BT54_2	0.645	36.85	0.0126
BT16_1	0.711	72.85	0.0172	BT55_1	0.644	37.04	0.0127
BT16_2	0.708	67.85	0.0174	BT55_2	0.641	36.55	0.0124
BT17_1	0.694	65.93	0.0173	BT56	0.633	37.03	0.0126
BT17_2	0.691	60.99	0.0178	BT57_1	0.641	37.94	0.0128
BT18	0.709	73.99	0.0168	BT57_2	0.637	37.35	0.0125
BT19	0.706	73.69	0.0162	BT58	0.626	36.90	0.0127
BT2	0.697	59.33	0.0202	BT59_1	0.641	38.69	0.0130
BT20_1	0.682	63.21	0.0163	BT59_2	0.641	37.96	0.0128
BT20_2	0.694	69.24	0.0156	BT6_1	0.664	47.50	0.0152
BT21	0.713	71.61	0.0159	BT6_2	0.671	52.42	0.0156
BT22	0.686	62.78	0.0161	BT60	0.638	38.29	0.0126
BT23_1	0.686	57.38	0.0158	BT61_1	0.635	38.54	0.0125
BT23_2	0.700	63.62	0.0160	BT61_2	0.615	36.52	0.0123
BT24	0.663	49.53	0.0148	BT62_1	0.633	37.85	0.0127
BT25_1	0.663	49.87	0.0139	BT62_2	0.628	37.59	0.0123
BT25_2	0.668	51.06	0.0145	BT63_1	0.636	38.00	0.0129
BT26_1	0.667	51.84	0.0148	BT63_2	0.627	36.83	0.0129
BT26_2	0.674	53.64	0.0155	BT64	0.646	39.35	0.0132
BT27	0.680	52.69	0.0154	BT65_1	0.659	43.91	0.0142
BT28_1	0.661	49.33	0.0138	BT65_2	0.658	43.80	0.0141
BT28_2	0.663	50.18	0.0129	BT66_1	0.661	42.88	0.0139
BT29	0.662	49.39	0.0144	BT66_2	0.660	43.98	0.0142
BT3_1	0.695	61.46	0.0186	BT67_1	0.659	43.90	0.0142
BT3_2	0.696	59.03	0.0201	BT67_2	0.660	43.98	0.0142
BT30	0.667	46.97	0.0173	BT68_1	0.659	43.38	0.0139
BT30_2	0.658	48.45	0.0150	BT68_2	0.658	43.01	0.0138
BT31_1	0.659	44.70	0.0143	BT69	0.660	43.98	0.0142
BT31_2	0.659	46.81	0.0142	BT7_1	0.661	45.67	0.0144

BT32	0.655	43.34	0.0137	BT7_2	0.664	47.50	0.0152
BT33_1	0.650	40.97	0.0128	BT70_1	0.654	41.55	0.0134
BT33_2	0.649	41.85	0.0127	BT70_2	0.657	42.62	0.0136
BT34_1	0.648	47.66	0.0144	BT71	0.659	42.45	0.0136
BT34_2	0.653	44.38	0.0135	BT8_1	0.660	44.45	0.0143
BT35	0.654	47.33	0.0143	BT8_2	0.661	44.66	0.0143
BT36_1	0.649	41.63	0.0127	BT9	0.659	44.26	0.0143
BT36_2	0.643	37.91	0.0125				

5.2.1 Επιφανειακή αναγωγή σημειακών εντάσεων βροχής

Επειδή οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών έχουν προκύψει με βάση στατιστικές αναλύσεις σημειακών τιμών βροχής (συγκεκριμένα, δείγματα μέγιστων βροχοπτώσεων από βροχόμετρα και βροχογράφους), θεωρείται ότι και υετογραφήματα των υπολεκανών επίσης αναφέρονται στη σημειακή κλίμακα. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι όταν η χωρική κλίμακα ενός επεισοδίου καταιγίδας είναι σχετικά μεγάλη, η σημειακή ένταση βροχής, i , είναι αισθητά μεγαλύτερη από τη μέση επιφανειακή ένταση, i_m . Για τον λόγο αυτό, απαιτείται η αναγωγή (απομείωση) των σημειακών εντάσεων (ή υψών βροχής) σε επιφανειακές μέσες εντάσεις (ή ύψη βροχής) της αντίστοιχης χωρικής ενότητας (λεκάνη απορροής ή υπολεκάνη). Το ίδιο ισχύει όταν η χρονική κλίμακα είναι μικρή.

Σύμφωνα με την κοινή πρακτική που εφαρμόζεται στις μελέτες πλημμυρών, η απομείωση γίνεται με χρήση του λεγόμενου *συντελεστή επιφανειακής αναγωγής* (areal reduction factor). Ο συντελεστής αυτός, που είναι εξ ορισμού μικρότερος της μονάδας, είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης της λεκάνης και αύξουσα συνάρτηση της χρονικής κλίμακας της βροχής. Ακόμη, εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την περίοδο επαναφοράς, και μάλιστα φαίνεται ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς οδηγεί σε ελαφρά μείωση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής. Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόζεται η αναλυτική έκφραση των Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλου (1999):

$$\varphi(k, A) = \max\left(1 - \frac{0.048 A^{0.36-0.01 \ln A}}{k^{0.35}}, 0.25\right) \quad (5.3)$$

όπου $\varphi = i_m/i$ ο αδιάστατος συντελεστής επιφανειακής αναγωγής, A η έκταση της λεκάνης σε km^2 και k η χρονική κλίμακα 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 $i(k, T)$ κάθε υπολεκάνης, σε όλες τις χρονικές κλίμακες από 15 min έως 72 h, θεωρώντας την συνολική έκταση του υδρολογικού συστήματος, ήτοι 2669 km^2 . Αντίστοιχη υπόθεση υιοθετήθηκε και στις μελέτες πλημμυρών της Οδηγίας 2007/60/EK.

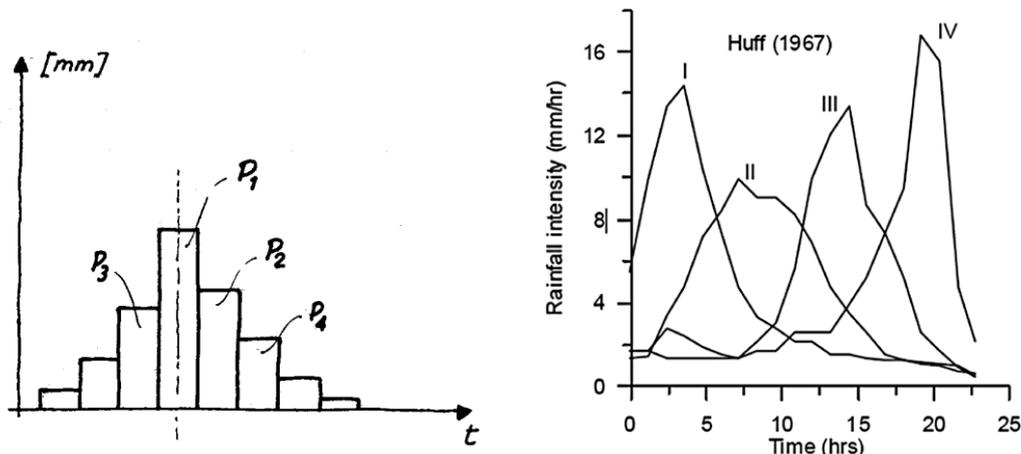
Σημειώνεται ότι η παραπάνω διαδικασία οδηγεί βεβαίως σε σημαντικές μειώσεις των παραγόμενων υψών βροχής (ειδικά στις μικρές χρονικές κλίμακες), που ωστόσο αντισταθμίζονται από τη μεγάλη διάρκεια των επεισοδίων σχεδιασμού. Επισημαίνεται ότι η χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχής για την παραγωγή του υετογραφήματος σχεδιασμού κάθε υπολεκάνης με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ γίνεται μετά την εφαρμογή του συντελεστή $\varphi(k, A)$ στα τμηματικά ύψη.

5.3 Παραγωγή υετογραφημάτων σχεδιασμού

5.3.1 Γενική υπολογιστική διαδικασία

Η βασικότερη παραδοχή στην κατάρτιση μιας καταιγίδας (υετογραφήματος) σχεδιασμού, που αναφέρεται σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς και δεδομένη διάρκεια βροχής (στην προκειμένη περίπτωση, 72 ώρες), αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Στην πράξη, υιοθετούνται διάφορες εμπειρικές προσεγγίσεις, που υποθέτουν μια δεδομένη χρονική κατανομή της βροχής. Με αυτές προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους χρονικών κλιμάκων με βάση την όμβρια καμπύλη, για την αντίστοιχη περίοδο επαναφοράς, τα οποία απομειώνονται, μέσω του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής. Ακολούθως, τα διορθωμένα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται με μια συστηματική διαδικασία, που έχει ως στόχο τη διαμόρφωση μιας ρεαλιστικής και ταυτόχρονα αρκετά δυσμενούς χρονικής κατανομής της βροχής.

Στην παρούσα έρευνα, εφαρμόζονται δύο εναλλακτικές τεχνικές, ήτοι αυτή των εναλλασσόμενων μπλοκ, μέσω της οποίας διαμορφώνεται ένα σχεδόν συμμετρικό χρονικό προφίλ, και η μέθοδος Huff, μέσω της οποίας παράγονται τέσσερα προφίλ με πολύ διαφορετική χρονική κατανομή. Η μορφή των εν λόγω προφίλ δίνεται σε μορφή σκαριφήματος, στην **Εικόνα 5.2**.



Εικόνα 5.2: Υετογραφήματα σχεδιασμού, με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (αριστερά) και τα τέσσερα τυποποιημένα προφίλ του Huff (δεξιά).

5.3.2 Μέθοδος εναλλασσόμενων μπλοκ

Η μέθοδος των *εναλλασσόμενων μπλοκ* (alternating block method· Sutcliffe, 1978, σ. 31-35, Chow *et al.*, 1988, σ. 466), αποτελεί την πλέον συνήθη πρακτική κατάρτισης υετογραφημάτων σχεδιασμού στις μελέτες πλημμυρών στην Ελλάδα, έχοντας βρει εφαρμογή, μεταξύ άλλων, στις υδρολογικές αναλύσεις που εκπονούνται στο πλαίσιο των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Σύμφωνα με αυτή, 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 (βλ. **Εικόνα 5.2**, αριστερά).

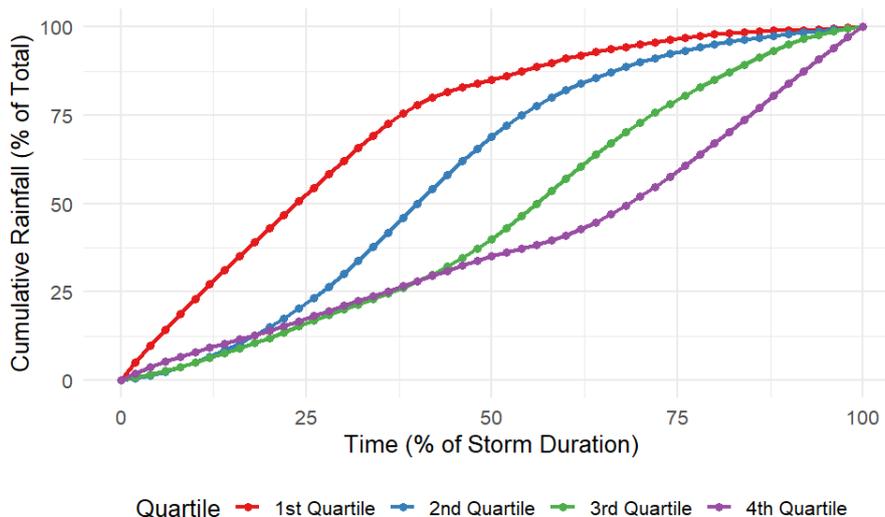
Βασική παραδοχή της μεθόδου είναι ότι σε κάθε επιμέρους χρονική κλίμακα, το εκτιμώμενο ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. Έστω ότι για κάποια υπολεκάνη είναι γνωστές οι παράμετροι λ , β , ξ , α και η της όμβριας καμπύλης, η οποία δίνεται από τη σχέση (5.1). Για διάρκεια βροχής D και χρονικό βήμα Δt υπολογίζονται $N = D/\Delta t$ τμηματικές εντάσεις βροχής $i(d, T)$, εφαρμόζοντας τη σχέση (5.2) για N χρονικές κλίμακες, δηλαδή για κλίμακες $k = \Delta t, 2\Delta t, \dots, D$, και υποθέτοντας την ίδια περίοδο επαναφοράς T για κάθε κλίμακα. Στη συνέχεια,

από τις εντάσεις αυτές παράγονται τα αθροιστικά ύψη βροχής, πολλαπλασιάζοντας με τις διαδοχικές κλίμακες. Τέλος, από τα αθροιστικά ύψη υπολογίζονται τα αντίστοιχα τμηματικά, αφαιρώντας τις επιμέρους διαδοχικές τιμές.

5.3.3 Τυποποιημένα προφίλ κατά Huff

Η δεύτερη μέθοδος που υλοποιήθηκε για τη παραγωγή υετογραφημάτων σχεδιασμού είναι η εμπειρική μέθοδος των *καμπυλών Huff* (Huff curves· Huff, 1967). Η μέθοδος αναπαριστά τη χρονική μεταβλητότητα που παρουσιάζει η ένταση της βροχής κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος, μέσω των αδιαστοτοποιημένων καμπυλών, που εκφράζουν τα αθροιστικά ύψη βροχής (εκφρασμένα σε ποσοστά), με συγκεκριμένη πιθανότητα εμφάνισης, ως συνάρτηση της αθροιστικής διάρκειας της καταιγίδας (επίσης εκφρασμένη σε ποσοστό). Η μέθοδος εισήχθη από τον Huff (1967), ο οποίος κατασκεύασε εμπειρικές καμπύλες, μελετώντας ωριαία δεδομένα από 261 γεγονότα βροχής, όπως καταγράφηκαν από 49 σταθμούς σε μια περιοχή έκτασης 1036 km² στο Illinois (Αμερική). Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) των ΗΠΑ έχει υιοθετήσει τη μέθοδο *καμπυλών Huff* και έχει κατασκευάσει άτλαντα αδιαστοτοποιημένων καμπυλών ύψους-διάρκειας, προς επιχειρησιακή χρήση, για το σύνολο της Αμερικής (Bonnin *et al.*, 2006).

Η μέθοδος των *καμπυλών Huff* κατηγοριοποιεί τα γεγονότα καταιγίδας σε τέσσερα τεταρτημόρια (*quartiles*), σύμφωνα με τη χρονική στιγμή κατά την οποία εμφανίζεται η μέγιστη έντασή τους. Στις καμπύλες 1ου τεταρτημρίου, η μέγιστη ένταση εμφανίζεται στο πρώτο 25% της συνολικής διάρκειας της καταιγίδας. Στις καμπύλες 2ου τεταρτημρίου, η μέγιστη ένταση εμφανίζεται στο 25% έως 50% της διάρκειας, στου 3ου τεταρτημρίου στο 50% έως 75% της διάρκειας, ενώ στου 4ου τεταρτημρίου η μέγιστη ένταση εμφανίζεται προς το τέλος της καταιγίδας (75% έως 100%). Για κάθε τεταρτημόριο, κατασκευάζεται ένα σύνολο από αδιαστοτοποιημένες καμπύλες, όπου κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μια πιθανότητα εμφάνισης των γεγονότων, συνήθως από 10% έως 90%. Συνεπώς, σε κάθε τεταρτημόριο, η καμπύλη 90% σηματοδοτεί το όριο πάνω από το οποίο βρίσκεται η πλειονότητα (90%) των πραγματικών αθροιστικών υψών βροχής, ενώ η καμπύλη 10% σηματοδοτεί τον χώρο με τα λιγότερα συχνά γεγονότα. Στη συγκεκριμένη μελέτη, για τη παραγωγή υετογραφημάτων σχεδιασμού, χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες που αντιστοιχούν σε πιθανότητα εμφάνισης 50% και για τα τέσσερα τεταρτημόρια, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5.3**. Οι αναλυτικές τιμές τους δίνονται στον **Πίνακα 5.1**.



Εικόνα 5.3: Αδιαστοτοποιημένες καμπύλες Huff για τα τέσσερα τεταρτημόρια και για πιθανότητα εμφάνισης 50%.

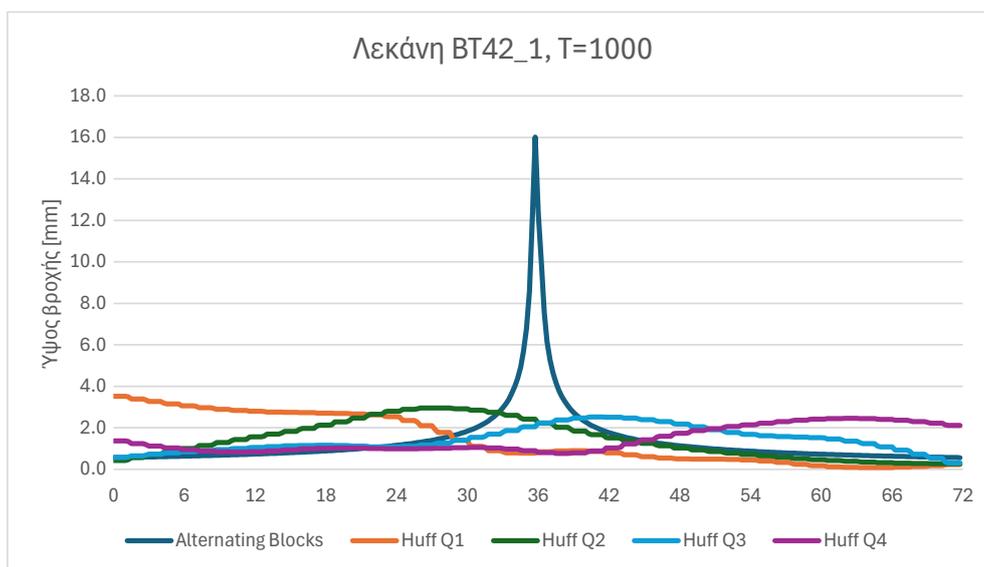
Πίνακας 5.1: Αθροιστικά ύψη βροχής (%), με βάση τα οποία παράγονται οι καμπύλες Huff που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης.

Αθροιστική διάρκεια (%)	1° τεταρτημόριο	2° τεταρτημόριο	3° τεταρτημόριο	4° τεταρτημόριο
2	4.94	0.59	0.80	1.92
4	9.70	1.39	1.71	3.66
6	14.28	2.39	2.71	5.24
8	18.71	3.59	3.81	6.68
10	23.00	5.00	5.00	8.00
12	27.16	6.61	6.26	9.24
14	31.23	8.42	7.60	10.42
16	35.21	10.42	9.00	11.58
18	39.12	12.62	10.47	12.76
20	43.00	15.00	12.00	14.00
22	46.85	17.57	13.58	15.32
24	50.68	20.33	15.20	16.70
26	54.48	23.32	16.82	18.13
28	58.26	26.53	18.43	19.57
30	62.00	30.00	20.00	21.00
32	65.69	33.72	21.52	22.40
34	69.24	37.65	23.04	23.79
36	72.55	41.71	24.59	25.18
38	75.50	45.85	26.22	26.57
40	78.00	50.00	28.00	28.00
42	79.98	54.10	29.96	29.46
44	81.53	58.10	32.12	30.93
46	82.80	61.95	34.50	32.37
48	83.91	65.60	37.12	33.74
50	85.00	69.00	40.00	35.00
52	86.18	72.12	43.13	36.13
54	87.42	74.95	46.47	37.21
56	88.68	77.53	49.94	38.32
58	89.89	79.88	53.47	39.56
60	91.00	82.00	57.00	41.00
62	91.97	83.93	60.46	42.73
64	92.83	85.67	63.82	44.72
66	93.60	87.25	67.05	46.95
68	94.31	88.69	70.12	49.39
70	95.00	90.00	73.00	52.00
72	95.69	91.20	75.67	54.75
74	96.36	92.29	78.17	57.64
76	96.99	93.29	80.53	60.65
78	97.54	94.19	82.79	63.77
80	98.00	95.00	85.00	67.00
82	98.34	95.73	87.19	70.32
84	98.59	96.39	89.32	73.71

86	98.76	96.98	91.36	77.14
88	98.89	97.51	93.27	80.58
90	99.00	98.00	95.00	84.00
92	99.12	98.45	96.52	87.38
94	99.26	98.86	97.81	90.70
96	99.45	99.25	98.83	93.92
98	99.69	99.63	99.57	97.03
100	100.00	100.00	100.00	100.00

Η διαδικασία παραγωγής των τμηματικών εντάσεων βροχής για κάθε μια από τις παραπάνω καμπύλες έχει ως εξής: Για δεδομένη περίοδο επαναφοράς T και διάρκεια βροχής D , και με γνωστές τις παραμέτρους λ , β , ξ , α και η της όμβριας καμπύλης (εξ. 5.1) για κάποια υπολεκάνη, εκτιμάται η ένταση και το αθροιστικό ύψος βροχής. Εν συνεχεία, γίνεται αναγωγή του σημειακού ύψους βροχής σε επιφανειακό σύμφωνα με τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής (βλ. 5.2.1). Εν συνεχεία, εκτιμώνται τα αθροιστικά ύψη βροχής για κάθε χρονικό βήμα Δt πολλαπλασιάζοντας το συνολικό ύψος βροχής με τα ποσοστά της εκάστοτε καμπύλης. Τέλος, υπολογίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής με αφαίρεση των διαδοχικών αθροιστικών υψών βροχής.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για την παραγωγή υετογραφημάτων για όλες τις υπολεκάνες του υδρολογικού συστήματος και όλες τις υπό εξέταση περιόδους επαναφοράς, τα οποία εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκαν σαν είσοδο στην υδρολογική προσομοίωση. Ενδεικτικά, στην **Εικόνα 5.4**, δίνεται η σύγκριση των υετογραφημάτων σχεδιασμού, όπως προκύπτουν με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ και των καμπυλών Huff, για τα τέσσερα τεταρτημόρια εμφάνισης της αιχμής, για την λεκάνη BT42_1 και περίοδο επαναφοράς $T=1000$. Όπως είναι αναμενόμενο η μέθοδος των καμπυλών Huff οδηγεί σε πολύ πιο ήπια υετογραφήματα σχεδιασμού σε σχέση με τα ιδιαίτερα δυσμενή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ.

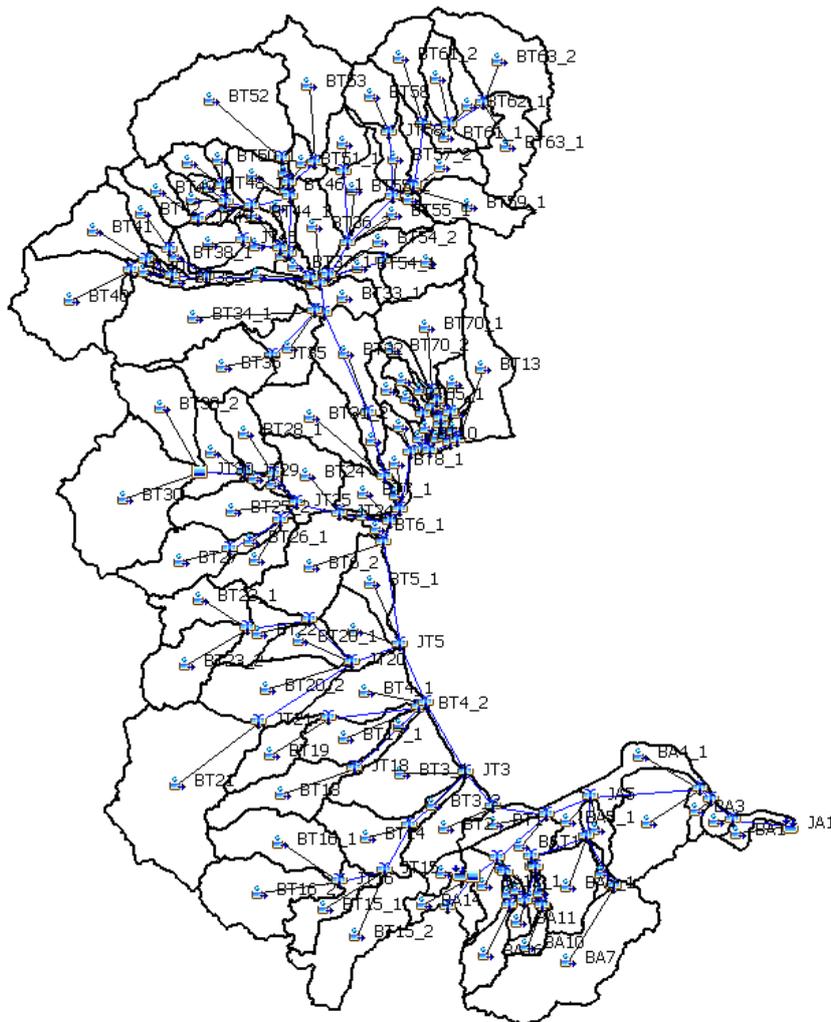


Εικόνα 5.4: Σύγκριση μεταξύ των υετογραφημάτων σχεδιασμού στην υπολεκάνη BT42_1, όπως προκύπτουν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ και των καμπυλών Huff.

6 Μεθοδολογία υδρολογικής προσομοίωσης

6.1 Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο

Το μοντέλο προσομοίωσης πλημμυρών στην περιοχή μελέτης (ήτοι τις λεκάνες απορροής του κάτω ρου του Αλιάκμονα και της Περιφερειακής Τάφρου) λαμβάνει ως είσοδο τα ένα επεισόδιο βροχής σε μορφή χρονοσειράς (υετογράφημα) και υλοποιεί τον μετασχηματισμό του σε πλημμυρική απορροή και τη διόδευσή της μέσω του υδρογραφικού δικτύου, ακολουθώντας τη σχηματοποίηση που συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 4. Στην **Εικόνα 6.1** φαίνεται το σχηματικό μοντέλο της συνολικής λεκάνης, στο λογισμικό HEC-HMS (<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>). Για κάθε λειτουργικό σενάριο, που αναφέρεται σε διαφορετική παροχή εκροής από τον ταμιευτήρα Ασωμάτων, η ανάλυση βασίζεται στην αναπαράσταση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης έναντι 250 επεισοδίων βροχής που προσπίπτουν σε διαφορετικές συνθήκες αρχικής υγρασίας του εδάφους (50 υδρολογικά σενάρια για πέντε περιόδους επαναφοράς), χρονικής κλίμακας 72 ωρών, και την παραγωγή πλημμυρικών υδρογραφημάτων κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως είσοδοι για το υδροδυναμικό μοντέλο των χαμηλών τμημάτων του κάτω ρου Αλιάκμονα.



Εικόνα 6.1: Υλοποίηση μοντέλου προσομοίωσης υδρολογικού συστήματος Αλιάκμονα στο περιβάλλον HEC-HMS.

Το σχηματοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης αποτελείται από 86 κλάδους και 88 κόμβους, στους οποίους συμβάλλουν 137 υπολεκάνες. Δύο κόμβοι αναφέρονται στην έξοδο των ταμιευτήρων Άγρα-Βρυτών-Νησίου και του αναρρυθμιστικού ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας, προκειμένου να αναπαρασταθούν οι διεργασίες ανάσχεσης και διόδευσης των εισερχόμενων πλημμυρικών ρών. Σε κάθε υπολεκάνη εφαρμόζεται μια προσέγγιση πλημμυρικού επεισοδίου (event-based), που βασίζεται στη συνδυαστική μέθοδο NRCS-CN και μοναδιαίου υδρογραφήματος (unit hydrograph). Η πρώτη υλοποιεί τον μετασχηματισμό της βροχής που δέχεται η υπολεκάνη σε επιφανειακή απορροή (στην οποία προστίθεται και μια σταθερή βασική ροή), ενώ η δεύτερη υλοποιεί τη διόδευση της ολικής επιφανειακής απορροής που παράγεται ανά υπολεκάνη έως τον αντίστοιχο κόμβο εξόδου. Στη συνέχεια, γίνεται η σύνθεση των υδρογραφήματων όλων των υπολεκανών στους κόμβους, ενώ, τέλος, με εφαρμογή εννοιολογικών προσεγγίσεων, τα υδρογραφήματα διοδεύονται μέχρι την έξοδο της λεκάνης, μέσω του υδρογραφικού δικτύου.

Η μέθοδος NRCS-CN χρησιμοποιεί ως κύριο στοιχείο εισόδου την παράμετρο αριθμού καμπύλης απορροής, CN , που σχετίζεται με τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των υπολεκανών και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Όπως εξηγείται στη συνέχεια, για την εκτίμηση του CN αναπτύξαμε μια πρωτότυπη πιθανοτική μέθοδο, που λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα της κατάστασης του εδάφους στην αρχή κάθε επεισοδίου, έχοντας ως αναφορά την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων 60 ημερών, η οποία αντιμετωπίζεται ως τυχαία μεταβλητή.

Η ενεργός βροχόπτωση που παράγεται στην επιφάνεια της κάθε υπολεκάνης διοδεύεται στη συνέχεια στον αντίστοιχο κόμβο εξόδου, με τη μέθοδο του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Βασική υπόθεση εδώ είναι η δυναμική διαφοροποίηση του σχήματος του υδρογραφήματος έναντι της μεταβαλλόμενης βροχόπτωσης, ως συνέπεια της εξάρτησης του χρόνου απόκρισης της λεκάνης από τις συνθήκες ροής.

Τα υδρογραφήματα που φτάνουν στους κόμβους διοδεύονται τελικά μέσω του υδρογραφικού δικτύου, εφαρμόζοντας τυπικά σχήματα υδρολογικής διόδευσης (μέθοδος χρόνου υστέρησης, για απότομες κλίσεις, και μέθοδος Muskingum, για ήπιες κλίσεις). Η χρονική παράμετρος και των δύο μεθόδων επίσης προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες ροής κάθε επεισοδίου που προσομοιώνεται, μέσω μιας πρωτότυπης προσέγγισης κινηματικού κύματος. Σημειώνεται ότι οι αναφερόμενες διοδεύσεις στους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου, και ειδικότερα σε όλο το κατάντη τμήμα, είναι προσεγγιστικές. Για την ορθή αναπαράσταση των σχετικών διεργασιών εφαρμόζεται, στην επόμενη φάση της μελέτης, αναλυτική υδραυλική προσέγγιση, με χρήση δισδιάστατου υδραυλικού μοντέλου (HEC-RAS 2D), στο οποίο εισάγεται η λεπτομερής γεωμετρία της περιοχής, καθώς και τα τεχνικά έργα (αναχώματα, θυροφράγματα, γέφυρες, κτλ.), τα οποία επηρεάζουν τις συνθήκες ροής.

Επισημαίνεται ότι για την προετοιμασία των δεδομένων εισόδου και την επεξεργασία και διαχείριση των αποτελεσμάτων, αναπτύχθηκαν πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες σε περιβάλλον R, καθώς και κατάλληλες διεπιφάνειες του HEC-HMS με το σύστημα διαχείρισης δεδομένων HEC-DSS (Data Storage System).

6.2 Χαρακτηριστικά χρονικά μεγέθη υδρολογικής προσομοίωσης

Τα χαρακτηριστικά χρονικά μεγέθη της προσομοίωσης είναι η συνολική διάρκεια, D που υποδηλώνει το χρονικό παράθυρο στο οποίο υλοποιείται η βροχόπτωση, και η χρονική διακριτικότητα, Δt (δηλαδή η διάρκεια του κάθε τμηματικού ύψους βροχής), που καθορίζει και το χρονικό βήμα υπολογισμών.

Σύμφωνα με τις παραδοχές του εδαφίου 3.2.4, στην προσομοίωση, η διάρκεια D λαμβάνεται ίση με 72 h, το χρονικό βήμα είναι ίσο με 15 min, ενώ το συνολικό μήκος της προσομοίωσης λαμβάνεται ίσο με πέντε ημέρες (120 h).

6.3 Εκτίμηση πλημμυρικής απορροής υπολεκανών με τη μέθοδο NRCS-CN

6.3.1 Σύνοψη μεθόδου NRCS-CN

Ο μετασχηματισμός ενός υετογραφήματος σε πλημμυρική απορροή αφορά στην αφαίρεση των υδρολογικών ελλειμμάτων, ήτοι του τμήματος της βροχής που αρχικά κατακρατείται στο έδαφος και τη βλάστηση και, στη συνέχεια, είτε εξατμίζεται είτε διηθείται. Αν είναι γνωστά η χρονική εξέλιξη του επεισοδίου βροχής και τα συνολικά ελλείμματα, μπορεί να προσδιοριστεί το τμήμα της ολικής βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή, που αναφέρονται ως ενεργός βροχόπτωση (effective rainfall) ή πλεόνασμα βροχόπτωσης (rainfall excess). Σε μια ημικατανομημένη σχηματοποίηση, η διαδικασία αυτή γίνεται σε κλίμακα υπολεκάνης

Στο υπόψη μοντέλο προσομοίωσης, για δεδομένο υετογράφημα ανά υπολεκάνη, η αντίστοιχη ενεργός βροχόπτωση εκτιμάται με τη μέθοδο NRCS-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 (Efstratiadis *et al.*, 2014). Η μέθοδος περιγράφει τη χρονική εξέλιξη των ελλειμμάτων, εφαρμόζοντας μια απλή αλλά ρεαλιστική εννοιολογική διαδικασία, η οποία βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές (U.S. Department of the Interior, 1977· βλ. και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 274-278):

- Για ένα αρχικό χρονικό διάστημα, t_{a0} , όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης, h_{a0} , μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα (αρχικό έλλειμμα), χωρίς να δίνει καθόλου ενεργή βροχόπτωση. Συνεπώς, 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, ήτοι $h - h_{a0}$ και S , αντίστοιχα, είναι ίσοι.

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, προκύπτει η ακόλουθη εμπειρική σχέση, στην οποία όλα τα μεγέθη είναι αθροιστικά:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{(h - h_{a0} + S)} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (6.4)$$

Η σχέση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας, αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, οπότε με τον τρόπο αυτό περιγράφεται η πλήρης χρονική εξέλιξη του φαινομένου, επιτρέποντας έτσι την ανάκτηση της χρονοσειράς επιφανειακής απορροής, h_e , και των αντίστοιχων ελλειμμάτων, $h - h_e$.

Το μοντέλο χρησιμοποιεί δύο παραμέτρους, ήτοι τη μέγιστη δυνητική κατακράτηση, S , και το αρχικό έλλειμμα, h_{a0} . Τυπικά, η SCS θεωρεί μια γραμμική εξάρτηση μεταξύ των δύο μεγεθών:

$$h_{a0} = \lambda S \quad (6.5)$$

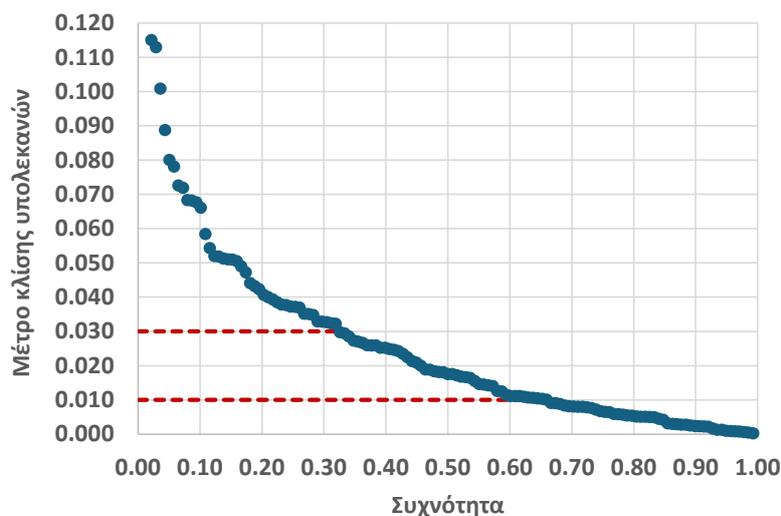
όπου λ αδιάστατη παράμετρος, που καλείται λόγος αρχικού ελλείμματος (initial abstraction ratio), και ορίζει την ποσότητα της βροχής που κατακρατείται, διηθείται σε αρχικά στάδια της καταιγίδας ή αποθηκεύεται προσωρινά στο έδαφος.

Γενικά, οι δύο παράμετροι μεταβάλλονται χωρικά. Στα ημικατανεμημένα σχήματα, όπως της παρούσας μελέτης, ο μετασχηματισμός της βροχής σε απορροή εφαρμόζεται στην κλίμακα της υπολεκάνης, και συνεπώς τα μεγέθη S και λ αποτελούν δεδομένα εισόδου των υπολεκανών.

6.3.2 Εκτίμηση αρχικών ελλειμμάτων

Στη βιβλιογραφία συστήνεται η 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, που έχουν σημαντική δυνατότητα κατακράτησης της βροχόπτωσης λόγω των ήπιων κλίσεων και της διαμόρφωσης του εδάφους (χάνδακες, τάφροι). Στην πραγματικότητα, το ποσοστό αυτό παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα, και μάλιστα αναφέρεται ότι το πλήρες εύρος των παρατηρημένων ποσοστών απωλειών που είχε εκτιμήσει η Soil Conservation Service στις πειραματικές λεκάνες κυμαινόταν από 9.5 ως 38% (Ponce and Hawkins, 1996).

Ωστόσο, όπως έχει φανεί από συστηματικές αναλύσεις πλημμυρικών επεισοδίων στην Ελλάδα και την Κύπρο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014), το προτεινόμενο ποσοστό 20% δεν ανταποκρίνεται στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών που εξετάστηκαν (ως επί το πλείστον ορεινές), στις οποίες, λόγω των ισχυρών κλίσεων, η εμφάνιση της πλημμυρικής απορροής ήταν πολύ ταχύτερη. Μάλιστα, στα περισσότερα επεισόδια η εκτίμηση του ποσοστού αρχικών ελλειμμάτων ήταν της τάξης του 5% ή και λιγότερο, το οποίο υποδηλώνει ταχεία απόκριση των λεκανών στην βροχόπτωση. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές (Baltas *et al.*, 2007· Massari *et al.*, 2014).



Εικόνα 6.2: Κατηγοριοποίηση υπολεκανών υδροσυστήματος Αλιάκμονα σε τρεις κλάσεις (ορεινές, ημιορεινές, πεδινές) με βάση το μέτρο κλίσης $\Delta z/L$, θέτοντας ως κατώφλια τις τιμές 0.01 και 0.03.

Προκειμένου να γίνει μια ρεαλιστική αντιστοίχιση του ποσοστού αρχικών ελλειμμάτων στις 137 υπολεκάνες του υδρολογικού συστήματος, πραγματοποιείται μια εμπειρική γεωμορφολογική τους ανάλυση, προκειμένου αυτές να κατηγοριοποιηθούν σε κλάσεις αναγλύφου. Για τον σκοπό αυτό, οι υπολεκάνες κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά, με βάση ένα μέτρο κλίσης, που ορίζεται ως η διαφορά του μέσου υψομέτρου τους από το υψόμετρο εξόδου, προς το μήκος της κύριας διαδρομής νερού, ήτοι $\Delta z/L$. Σε κάθε κλίση, γίνεται αντιστοίχιση ενός μέτρου συχνότητας, σύμφωνα με την εμπειρική κατανομή Weibull. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6.2**, το πιθανοτικό γράφημα που προκύπτει φαίνεται να αλλάζει κυρτότητα, κοντά στα χαρακτηριστικά όρια 0.03 και 0.01. Η παραπάνω διαδικασία καταλήγει σε τρεις σχεδόν ισομερείς κλάσεις, ήτοι 44 ορεινές υπολεκάνες (ποσοστό

32.1%), 47 ημιορεινές υπολεκάνες (ποσοστό 34.3%), και σε 46 πεδινές υπολεκάνες (ποσοστό 33.6%). Τελικά, στις υδρολογικές προσομοιώσεις εφαρμόζονται δύο ποσοστά αρχικών ελλειμμάτων, ήτοι 5% στις συνολικά 91 ορεινές και ημιορεινές υπολεκάνες, στις οποίες αναπτύσσονται ισχυρές κλίσεις, που συνεπάγονται υψηλή αποστραγγιστική ικανότητα, και 20% στις υπόλοιπες 46 πεδινές υπολεκάνες.

Ο παραπάνω διαχωρισμός των υπολεκανών σε τρεις κλάσεις αναγλύφου αξιοποιείται και στον προσδιορισμό των μοναδιαίων υδρογραφημάτων τους, που εξηγείται στην ενότητα 6.5.3.

6.3.3 Εκτίμηση μέγιστης δυνητικής κατακράτησης

Σύμφωνα με την τυπική πρακτική της βιβλιογραφίας, η τιμή της μέγιστης δυνητικής κατακράτησης, ήτοι της παραμέτρου S , εκτιμάται εμπειρικά, συναρτήσει του λεγόμενου αριθμού καμπύλης απορροής (runoff curve number, CN), ως εξής:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (6.6)$$

Η παράμετρος CN αποτελεί κομβική συνιστώσα της υδρολογικής μοντελοποίησης, και στο παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο διαφοροποιείται ανά υπολεκάνη και ανά επεισόδιο βροχής.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του εδαφίου 6.3.4, αρχικά εκτιμάται μια τιμή αναφοράς η οποία αναφέρεται στις λεγόμενες μέσες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας, ωστόσο δεδομένου ότι οι εν λόγω συνθήκες είναι μεταβλητές, ακολουθεί μια διαδικασία εμπειρικής αναγωγής της, όπως εξηγείται στην ενότητα 6.4. Σε κάθε περίπτωση, με την κατάτμηση του υδρολογικού συστήματος σε σχετικά μικρού μεγέθους υπολεκάνες, επιτυγχάνεται ικανοποιητική ομοιογένεια των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών τους, με την οποία εξασφαλίζεται και η αντιπροσωπευτικότητα της τιμής της παραμέτρου CN .

6.3.4 Θεωρητικό πλαίσιο εκτίμησης τιμής αναφοράς παραμέτρου CN

Στις υδρολογικές επιστήμες, ο αριθμός CN θεωρείται ως χαρακτηριστική παράμετρος της λεκάνης, που συμπυκνώνει όλα τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της σε μία μοναδική αντιπροσωπευτική τιμή, από 0 μέχρι 100. Η τιμή είναι είσοδος όχι μόνο στη μέθοδο NRCS-CN, αλλά και σε πληθώρα άλλων μοντέλων. Ως έννοια, εισήχθη από την Soil Conservation Service (SCS, 1972) προκειμένου να συμπυκνώσει σε μια ενιαία τιμή τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά που επιδρούν στην παραγωγή απορροής σε μια επιφάνεια αναφοράς.

Με βάση τις προδιαγραφές της SCS/NRCS, η τιμή του CN εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της επιφάνειας, καθώς και την παρουσία εδαφικής υγρασίας στο προφίλ του εδάφους πριν την έναρξη του επεισοδίου καταιγίδας. Η βιβλιογραφία παρέχει τυπικές τιμές για μέσες συνθήκες υγρασίας και ποσοστό αρχικών απωλειών 20% (στο εξής θα αναφέρονται ως συνθήκες αναφοράς). Οι προτεινόμενες τιμές εκφράζονται με λεπτομέρεια σε πίνακες, λαμβάνοντας υπόψη ένα μεγάλο αριθμό από συνδυασμούς χρήσεων/κάλυψης γης, για τέσσερις υδρολογικούς τύπους εδάφους (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Ωστόσο, σχετικά πρόσφατη έρευνα των Savvidou *et al.* (2018) κατέδειξε ότι η τυπική κατηγοριοποίηση βάσει των πινάκων της βιβλιογραφίας δεν καλύπτει επαρκώς το φάσμα των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών μιας λεκάνης. Ειδικότερα, δεν αναπαρίστανται επαρκώς λεκάνες με πολύ μεγάλη περατότητα (π.χ. καρστικές), και επιπλέον στην εκτίμηση του CN δεν λαμβάνεται υπόψη η κλίση και, γενικότερα, η αποστραγγιστική ικανότητα της λεκάνης, που επηρεάζει σημαντικά τους μηχανισμούς πλημμυρικής απορροής. Για τον λόγο αυτό, αναπτύχθηκε ένα βελτιωμένο πλαίσιο εκτίμησης της παραμέτρου CN , το οποίο βασίζεται σε αναλύσεις πλημμυρικών επεισοδίων σε λεκάνες απορροής της Ελλάδας και της Κύπρου, κατά κανόνα ορεινές ή ημιορεινές.

Η διαδικασία εκτίμησης της τιμής αναφοράς του χαρακτηριστικού μεγέθους CN στις υπολεκάνες έχει βασιστεί στη μεθοδολογία που αρχικά αναπτύχθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού έργου του ΕΜΠ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014), ενώ στη συνέχεια προτάθηκε η χρήση της ως οδηγού για τη σχηματοποίηση κατανεμημένων υδρολογικών μοντέλων (Savidou *et al.*, 2018). Σύμφωνα με αυτό, η παράμετρος CN μιας χωρικής ενότητας (π.χ. λεκάνης) βασίζεται στην κατηγοριοποίηση τριών (αντί δύο) φυσιογραφικών χαρακτηριστικών του εδάφους σε τρεις κλάσεις, ήτοι υδατοπερατότητα, φυτοκάλυψη και αποστραγγιστική ικανότητα.

Ειδικότερα, σε φυσικές λεκάνες απορροής, η κατηγοριοποίηση σε κλάσεις υδατοπερατότητας αφορά στα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους και της ακόρεστης ζώνης (διηθητικότητα, οριζόντια και κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα) και επηρεάζουν τους μηχανισμούς διήθησης. Με υπόβαθρο έναν υδρολιθολογικό ή εδαφολογικό χάρτη, και ανάλογα με τον κυρίαρχο τύπο εδαφών, υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών και δόμησης (για αστικές ή ημιαστικές λεκάνες), επιλέγεται μια κλάση υδατοπερατότητας i_{PERM} , που λαμβάνει τιμές από 1 (πολύ υψηλή, π.χ. καρστικές λεκάνες) έως 5 (πολύ χαμηλή έως αδιαπέρατη). Σε αστικές λεκάνες, η κατηγοριοποίηση ορίζεται με βάση την πυκνότητα της δόμησης και την ανάπτυξη ελεύθερων χώρων.

Η κατηγοριοποίηση της βλάστησης αφορά στα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τους μηχανισμούς κατακράτησης της βροχόπτωσης, την τραχύτητα του εδάφους και της διηθητικής του ικανότητας, π.χ. λόγω ανάπτυξης του ριζοστρώματος. Με βάση σχετικό χάρτη κάλυψης γης (π.χ. CORINE), επιλέγεται η κλάση βλάστησης της υπολεκάνης, i_{VEG} , που λαμβάνει τιμές από 1 (πυκνή βλάστηση, π.χ. δάση) έως 5 (μηδενική βλάστηση, ήτοι γυμνός βράχος, και τεχνητές ή δομημένες επιφάνειες).

Τέλος, η αποστραγγιστική ικανότητα του εδάφους και συνεπώς η παραγωγή επιφανειακής απορροής εξαρτάται από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του (ανάγλυφο, κλίση), την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, και την ύπαρξη σχετικών τεχνικών έργων (έργα ανάσχεσης, αποστραγγιστικά δίκτυα). Η σχετική κατηγοριοποίηση γίνεται εισάγοντας μια τρίτη κλάση, i_{SLOPE} , που λαμβάνει τιμές από 1 έως 5. Στην παρούσα προσέγγιση, η αποστραγγιστική ικανότητα εκτιμάται με βάση τη μέση κλίση της εκάστοτε υπολεκάνης, με εύρος τιμών <1% (κλάση 1), 1-2% (κλάση 2), 2-10% (κλάση 3), 10-30% (κλάση 4) και >30% (κλάση 5).

Τελικά, η τιμή αναφοράς της παραμέτρου CN , που θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε μέσες συνθήκες υγρασίας και ποσοστό αρχικών απωλειών 20%, εκτιμάται ως γραμμικός συνδυασμός των τριών κλάσεων της κάθε υπολεκάνης, ήτοι:

$$CN = 10 + 9 i_{PERM} + 6 i_{VEG} + 3 i_{SLOPE} \quad (6.7)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω εμπειρική σχέση, η ελάχιστη τιμή του CN αναφοράς είναι 28, ενώ η μέγιστη 100. Η ελάχιστη τιμή λαμβάνεται στην οριακή περίπτωση λεκανών πολύ υψηλής υδατοπερατότητας, πυκνής βλάστησης και αμελητέας αποστραγγιστικής ικανότητας, ενώ η δεύτερη αφορά σε επιφάνειες που είναι πρακτικά αδιαπέρατες. Στην περίπτωση υδάτινων σωμάτων (ποτάμια, λίμνες, κτλ.), η τιμή του CN λαμβάνεται εξ ορισμού ίση με 100, καθώς όλη η προσπίπτουσα βροχόπτωση μετατρέπεται σε απορροή.

Η επιλογή της τιμής του CN αναφοράς βασίζεται στην κυρίαρχη κλάση από κάθε κατηγορία φυσιογραφικών χαρακτηριστικών. Αν η υπολεκάνη παρουσιάζει χωρική ανομοιογένεια ως προς τα εν λόγω χαρακτηριστικά, λαμβάνεται ένας σταθμισμένος μέσος αριθμός καμπύλης απορροής, με βάση την έκταση που καταλαμβάνει κάθε επιμέρους κλάση.

θεωρείται $\lambda = 5\%$, και συνεπώς $h_{a0} = 0.05 S$, γίνεται αναγωγή (αύξηση) της τιμής της μέγιστης δυνατικής κατακράτησης, S , που εκτιμάται μέσω της (6.3), ώστε η μείωση των αρχικών απωλειών να οδηγεί σε ισοδύναμο ύψος απορροής. Στο πλαίσιο αυτό, εφαρμόζεται η ακόλουθη εμπειρική σχέση, που έχει προκύψει με βάση πρόσφατη έρευνα των ASCE-ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) και NRCS (Natural Resources Conservation Service) Task Group on Curve Number Hydrology, ήτοι:

$$CN_{0.05} = CN_{0.20} / (1.42 - 0.0042 CN_{0.20}) \quad (6.8)$$

Ο Πίνακας 6.1 συνοψίζει τα διάφορα μεγέθη που εισέρχονται στις εκτιμήσεις, τις τελικές τιμές αναφοράς της παραμέτρου CN στις υπολεκάνες του υδροσυστήματος Αλιάκμονα (αρχικές, $CN_{0.20}$, και ανηγμένες, $CN_{0.05}$, όπου απαιτείται), και τα αντίστοιχα ποσοστά αρχικών απωλειών.

Πίνακας 6.1: Τιμές παραμέτρου CN και ποσοστού αρχικών απωλειών υπολεκανών υδροσυστήματος Αλιάκμονα και λοιποί ενδιάμεσοι υπολογισμοί.

Κωδικός	Δείκτης κλίσης, $\Delta z/L$	Δείκτης i_{SLOPE}	Ποσοστό αρχικού ελλείμματος, λ	CN ΣΔΚΠ	CN αναφοράς	Ανηγμένο CN
BA1	0.89	1.11	0.20	80.0	75.8	75.8
BA10	58.39	3.89	0.05	70.0	74.2	66.9
BA11	71.86	4.14	0.05	75.0	79.9	73.7
BA12_1	18.09	2.74	0.05	60.0	60.7	52.1
BA12_2	10.29	2.31	0.05	60.0	59.4	50.8
BA13_1	32.31	3.26	0.05	55.0	57.3	48.6
BA13_2	18.81	2.77	0.05	60.0	60.8	52.2
BA14	37.68	3.41	0.05	80.0	82.7	77.1
BA16	50.50	3.72	0.05	80.0	83.7	78.3
BA2	7.83	2.13	0.20	75.0	73.9	73.9
BA3	7.56	2.11	0.20	75.0	73.8	73.8
BA4_1	0.43	0.89	0.20	75.0	70.2	70.2
BA4_2	2.96	1.59	0.20	75.0	72.3	72.3
BA5_1	0.54	0.96	0.20	65.0	60.4	60.4
BA5_2	1.22	1.22	0.20	70.0	66.2	66.2
BA6_1	7.95	2.14	0.20	65.0	63.9	63.9
BA6_2	5.90	1.96	0.20	70.0	68.4	68.4
BA7	17.52	2.71	0.05	75.0	75.6	68.6
BA8	10.45	2.32	0.05	60.0	59.5	50.8
BA9_1	23.42	2.96	0.05	65.0	66.4	58.2
BA9_2	15.48	2.61	0.05	65.0	65.3	57.0
BAT1	1.22	1.22	0.20	60.0	56.2	56.2
BATout	25.17	3.02	0.05	60.0	61.6	53.0
BT1	0.80	1.07	0.20	65.0	60.7	60.7
BT10	8.35	2.17	0.20	80.0	79.0	79.0
BT11_1	2.11	1.44	0.20	60.0	56.8	56.8
BT11_2	4.89	1.85	0.20	60.0	58.0	58.0
BT12	10.55	2.33	0.05	45.0	44.5	36.1
BT12_2	4.96	1.86	0.20	55.0	53.1	53.1
BT13	34.71	3.33	0.05	50.0	52.5	43.8
BT14	35.10	3.34	0.05	70.0	72.5	65.0

BT15_1	39.31	3.45	0.05	50.0	52.9	44.1
BT15_2	27.25	3.10	0.05	60.0	61.8	53.2
BT16_1	37.78	3.41	0.05	50.0	52.7	44.0
BT16_2	51.83	3.75	0.05	50.0	53.8	45.0
BT17_1	11.08	2.36	0.05	60.0	59.6	50.9
BT17_2	5.06	1.87	0.20	65.0	63.1	63.1
BT18	51.04	3.74	0.05	65.0	68.7	60.7
BT19	49.02	3.69	0.05	65.0	68.6	60.6
BT2	6.44	2.01	0.20	65.0	63.5	63.5
BT20_1	11.50	2.39	0.05	60.0	59.7	51.0
BT20_2	28.45	3.14	0.05	50.0	51.9	43.2
BT21	40.60	3.49	0.05	50.0	53.0	44.2
BT22	26.99	3.09	0.05	60.0	61.8	53.2
BT23_1	44.08	3.58	0.05	55.0	58.2	49.5
BT23_2	66.08	4.04	0.05	55.0	59.6	51.0
BT24	14.41	2.56	0.05	60.0	60.2	51.5
BT25_1	24.82	3.01	0.05	60.0	61.5	53.0
BT25_2	26.58	3.07	0.05	55.0	56.7	48.0
BT26_1	16.37	2.66	0.05	55.0	55.5	46.7
BT26_2	18.33	2.75	0.05	70.0	70.7	63.0
BT27	51.96	3.76	0.05	60.0	63.8	55.3
BT28_1	21.34	2.88	0.05	65.0	66.1	57.9
BT28_2	20.83	2.86	0.05	60.0	61.1	52.5
BT29	32.68	3.27	0.05	60.0	62.3	53.8
BT3_1	5.36	1.90	0.20	60.0	58.2	58.2
BT3_2	5.12	1.87	0.20	60.0	58.1	58.1
BT30	10.65	2.34	0.05	65.0	64.5	56.1
BT30_2	24.61	3.00	0.05	60.0	61.5	52.9
BT31_1	7.92	2.14	0.20	65.0	63.9	63.9
BT31_2	12.58	2.45	0.05	60.0	59.9	51.2
BT32	11.11	2.36	0.05	60.0	59.6	50.9
BT33_1	8.10	2.15	0.20	65.0	64.0	64.0
BT33_2	0.16	0.66	0.20	60.0	54.5	54.5
BT34_1	14.25	2.55	0.05	60.0	60.1	51.5
BT34_2	5.82	1.95	0.20	60.0	58.3	58.3
BT35	25.89	3.05	0.05	60.0	61.6	53.1
BT36_1	3.10	1.61	0.20	65.0	62.3	62.3
BT36_2	2.28	1.47	0.20	70.0	66.9	66.9
BT36_3	2.75	1.55	0.20	70.0	67.2	67.2
BT37_1	2.72	1.55	0.20	70.0	67.2	67.2
BT37_2	4.45	1.80	0.20	75.0	72.9	72.9
BT38_1	25.86	3.05	0.05	75.0	76.6	69.8
BT38_2	14.57	2.56	0.05	75.0	75.2	68.1
BT39_1	37.19	3.40	0.05	75.0	77.7	71.0
BT39_2	36.87	3.39	0.05	60.0	62.7	54.2
BT4_1	2.35	1.48	0.20	60.0	57.0	57.0

BT4_2	8.79	2.20	0.20	60.0	59.1	59.1
BT40	68.28	4.08	0.05	75.0	79.7	73.5
BT41	68.18	4.08	0.05	70.0	74.7	67.6
BT42	78.07	4.24	0.05	75.0	80.2	74.1
BT43_1	5.07	1.87	0.20	70.0	68.1	68.1
BT43_2	6.69	2.03	0.20	70.0	68.6	68.6
BT44_1	5.45	1.91	0.20	70.0	68.2	68.2
BT44_2	2.86	1.57	0.20	70.0	67.2	67.2
BT45	16.58	2.67	0.05	70.0	70.5	62.7
BT46_1	9.11	2.23	0.20	70.0	69.2	69.2
BT46_2	42.25	3.53	0.05	65.0	68.1	60.0
BT47	37.10	3.40	0.05	60.0	62.7	54.2
BT48_1	134.81	5.00	0.05	75.0	82.5	76.9
BT48_2	115.01	4.77	0.05	70.0	76.8	70.0
BT49	88.77	4.41	0.05	80.0	85.7	80.9
BT5_1	0.91	1.12	0.20	65.0	60.8	60.8
BT5_2	4.16	1.76	0.20	60.0	57.8	57.8
BT50_1	112.93	4.74	0.05	75.0	81.7	75.9
BT50_2	121.74	4.85	0.05	70.0	77.0	70.3
BT51_1	25.16	3.02	0.05	60.0	61.6	53.0
BT51_2	10.87	2.35	0.05	65.0	64.5	56.2
BT52	47.23	3.65	0.05	70.0	73.5	66.1
BT53	80.01	4.28	0.05	60.0	65.3	57.0
BT54_1	11.12	2.37	0.05	65.0	64.6	56.2
BT54_2	10.08	2.30	0.05	65.0	64.4	56.0
BT55_1	17.50	2.71	0.05	60.0	60.6	52.0
BT55_2	7.10	2.07	0.20	65.0	63.7	63.7
BT56	72.59	4.15	0.05	50.0	55.0	46.2
BT57_1	35.06	3.34	0.05	65.0	67.5	59.4
BT57_2	24.22	2.99	0.05	50.0	51.5	42.7
BT58	100.83	4.58	0.05	60.0	66.2	58.0
BT59_1	54.28	3.81	0.05	70.0	73.9	66.6
BT59_2	38.45	3.43	0.05	65.0	67.8	59.7
BT6_1	2.51	1.51	0.20	75.0	72.0	72.0
BT6_2	6.40	2.00	0.20	70.0	68.5	68.5
BT60	39.95	3.47	0.05	65.0	67.9	59.8
BT61_1	43.14	3.55	0.05	65.0	68.2	60.1
BT61_2	67.64	4.07	0.05	70.0	74.7	67.5
BT62_1	25.94	3.05	0.05	65.0	66.6	58.5
BT62_2	51.23	3.74	0.05	65.0	68.7	60.7
BT63_1	29.39	3.17	0.05	75.0	77.0	70.2
BT63_2	32.80	3.27	0.05	65.0	67.3	59.2
BT64	50.93	3.73	0.05	55.0	58.7	50.0
BT65_1	22.41	2.92	0.05	70.0	71.3	63.6
BT65_2	17.15	2.69	0.05	70.0	70.6	62.8
BT66_1	18.76	2.77	0.05	55.0	55.8	47.1

BT66_2	8.99	2.22	0.20	55.0	54.2	54.2
BT67_1	12.40	2.44	0.05	55.0	54.8	46.1
BT67_2	8.03	2.15	0.20	55.0	53.9	53.9
BT68_1	16.74	2.67	0.05	65.0	65.5	57.2
BT68_2	20.00	2.82	0.05	65.0	66.0	57.7
BT69	18.02	2.73	0.05	60.0	60.7	52.1
BT7_1	5.67	1.93	0.20	65.0	63.3	63.3
BT7_2	1.60	1.32	0.20	75.0	71.5	71.5
BT70_1	32.23	3.25	0.05	55.0	57.3	48.6
BT70_2	29.73	3.18	0.05	60.0	62.0	53.5
BT71	32.84	3.27	0.05	65.0	67.3	59.2
BT8_1	2.19	1.45	0.20	70.0	66.9	66.9
BT8_2	0.72	1.04	0.20	70.0	65.6	65.6
BT9	14.03	2.54	0.05	80.0	80.1	73.9

6.4 Τροποποίηση μεθόδου NRCS-CN για ψευδο-συνεχή υδρολογική προσομοίωση με τυχαία μεταβαλλόμενες τιμές CN

6.4.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Είναι γνωστό ότι η υδρολογική απόκριση μιας λεκάνης εξαρτάται όχι μόνο από την ποσότητα της προσπίπτουσας βροχής, αλλά και από άλλους παράγοντες, με πλέον καθοριστικό την κατάσταση υγρασίας του εδάφους. Όσο πιο κορεσμένο είναι το έδαφος κατά την έναρξη ενός επεισοδίου βροχής, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παραγωγή απορροής. Για τον λόγο αυτό, οποιαδήποτε διαδικασία συνεχούς προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου λαμβάνει υπόψη ρητά το *ισοζύγιο εδαφικής υγρασίας* (soil moisture accounting), θεωρώντας την αποθήκευση υγρασίας σε μία ή περισσότερες ζώνες (ανάλογα με την παραμετροποίηση του μοντέλου) ως μεταβλητή κατάσταση του συστήματος.

Διάφοροι ερευνητές έχουν αναδείξει τις αδυναμίες της μεθόδου NRCS-CN σε σχέση με την προσομοίωση των εδαφικών διεργασιών, προτείνοντας περαιτέρω παραμετροποίησή της ώστε να αναπαρίστανται καλύτερα οι αρχικές συνθήκες υγρασίας (π.χ., Ponce and Hawkins, 1996· Michel *et al.*, 2005· Sahu *et al.*, 2007). Στη βιβλιογραφία, διατίθενται ποικίλες παραλλαγές του μοντέλου επεισοδίου της SCS/NRCS, που υλοποιούν *συνεχή προσομοίωση* (ακριβέστερα, προσομοίωση μακράς κλίμακας, σε διακριτά χρονικά βήματα), προκειμένου να αναπαραστήσουν τη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης και των προηγούμενων καταστάσεων εδαφικής υγρασίας, κυρίως με την ενσωμάτωση διαδικασιών αναπαράστασης του ισοζυγίου υγρασίας (π.χ., Camici *et al.*, 2011· Mishra and Singh, 2002, 2006· Grimaldi *et al.*, 2012b, c· Verma *et al.*, 2017).

Στην παρούσα μελέτη εισάγεται μια καινοτόμος *ψευδο-συνεχής* (quasi-continuous) προσέγγιση, που συνδυάζει την υπολογιστική απλότητα των μοντέλων επεισοδίου, με την πληρότητα των σχημάτων συνεχούς προσομοίωσης. Σε αυτή, ο αριθμός καμπύλης απορροής θεωρείται τυχαία μεταβλητή, με μέση τιμή CN_{II} , η οποία εξαρτάται από την βροχόπτωση που έχει δεχθεί η περιοχή μελέτης κατά το προηγούμενο χρονικό διάστημα. Μια παρεμφερής προσέγγιση εφαρμόστηκε στη *Μελέτη Ανάλυσης Κινδύνου Πλημμύρας του υπό Σχεδιασμό Συστήματος Αποχέτευσης Ομβρίων Υδάτων του Σχεδίου Ολοκληρωμένης Ανάπτυξης («Σ.Ο.Α») του Μητροπολιτικού Πόλου Ελληνικού – Αγ. Κοσμά* (Υδροεξυγιαντική, 2021) και δημοσιεύτηκε από τους Efstratiadis *et al.* (2022). Στην παρούσα μελέτη έγιναν ορισμένες βελτιώσεις και προσαρμογές, ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα στο υδρολογικό καθεστώς της περιοχής.

6.4.2 Τυπική διαδικασία αντιστοίχισης παραμέτρου CN στις συνθήκες αρχικής υγρασίας

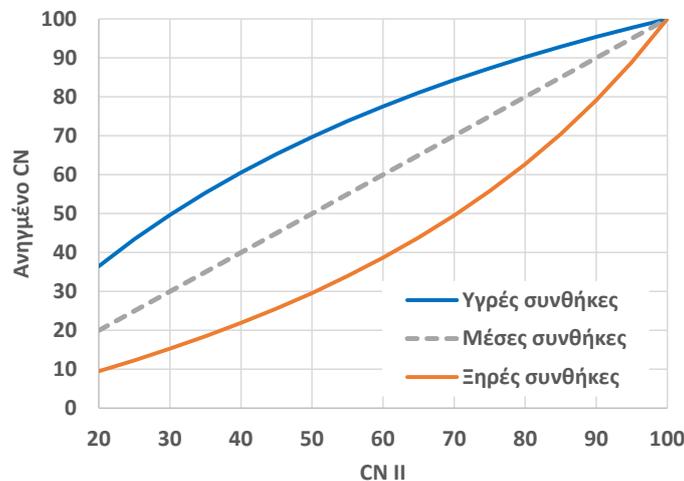
Η μέθοδος NRCS-CN, η οποία αναπαριστά μεμονωμένες διεργασίες της λεκάνης για περιορισμένο χρονικό διάστημα, ήτοι την επιφανειακή απορροή που παράγεται από ένα δεδομένο επεισόδιο βροχής, λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους μόνο για τρεις διακριτές περιπτώσεις. Ειδικότερα, θεωρεί τρεις κλάσεις προηγούμενης κατάστασης εδαφικής υγρασίας (antecedent soil moisture conditions), ήτοι ξηρή (AMC I), μέση (AMC II) και υγρή (AMC III), που εξαρτώνται από την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών και την περίοδο του έτους (περίοδος ανάπτυξης βλάστησης ή όχι). Οι κλάσεις αυτές αντιστοιχούν σε πιθανότητες υπέρβασης 90, 50, και 10% του παραγόμενου ύψους απορροής από ένα δεδομένο επεισόδιο βροχής, και έχουν εξαχθεί εμπειρικά, με βάση μετρήσεις πεδίου, κυρίως σε μικρές αγροτικές λεκάνες.

Συμβατικά, οι τιμές αναφοράς του CN που δίνονται στη βιβλιογραφία αναφέρονται σε μέσες συνθήκες (AMC II), και συμβολίζονται με CN_{II} . Για τις άλλες δύο κλάσεις, εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις αναγωγής (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999):

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (6.9)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (6.10)$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις, η μέγιστη απόκλιση μεταξύ των ξηρών και υγρών συνθηκών εμφανίζεται για τιμή αναφοράς $CN_{II} = 50$, για την οποία προκύπτει $CN_I = 29.7$ και $CN_{III} = 69.7$. Για κάθε άλλη τιμή του CN_{II} , η απόκλιση μειώνεται, οπότε και περιορίζεται η επίδραση των συνθηκών υγρασίας στην παραγόμενη πλημμυρική απορροή (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4: Αναγωγή τιμών αναφοράς CN (μέσες συνθήκες, AMC II) σε υγρές (AMC III) και ξηρές (AMC I) συνθήκες υγρασίας.

6.4.3 Προσδιορισμός κλίμακας συνάθροισης αθροιστικής βροχόπτωσης

Κατ' αντιστοιχία με την τυπική προσέγγιση της SCS/NRCS, οι περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με σχήματα συνεχούς προσομοίωσης για την εκτίμηση των πλημμυρικών απορροών κάνουν χρήση της αθροιστικής βροχόπτωσης των προηγούμενων πέντε ημερών, ως ενδεικτικής της τρέχουσας κατάστασης υγρασίας του εδάφους. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Efstratiadis *et al.* (2022), η κλίμακα αυτή δεν μπορεί να είναι αντιπροσωπευτική σε περιοχές με άνυδρο, ημιάνυδρο αλλά

ακόμα και ξηρό Μεσογειακό κλίμα, που χαρακτηρίζονται από έντονα πλην αλλά όχι συχνά επεισόδια βροχής. Στο πλαίσιο αυτό, είναι αναγκαίο να απαντηθεί κατά προτεραιότητα το ερώτημα σχετικά με το ποια χρονική κλίμακα συνάθροισης της βροχόπτωσης εξασφαλίζει την πλέον αντιπροσωπευτική εκτίμηση των προηγούμενων συνθηκών υγρασίας στην εκάστοτε περιοχή μελέτης.

Για τον σκοπό αυτό, γίνεται η θεμελιώδης παραδοχή ότι η κατηγοριοποίηση σε ξηρές, μέσες και υγρές συνθήκες υγρασίας (AMCI, AMC II, AMC III), και συνακόλουθα η αντιστοίχιση τιμών του *CN* σύμφωνα με τις σχέσεις (6.6) και (6.10), αναφέρεται σε πιθανότητες μη υπέρβασης 10, 50, και 90% της αθροιστικής βροχόπτωσης *n*-ημερών, όπου *n* η κλίμακα συνάθροισης. Στην προκειμένη περίπτωση, η ανάλυση γίνεται με υπόβαθρο το δείγμα ημερήσιων υψών βροχόπτωσης στον μετεωρολογικό σταθμό Ποντοκώμης, που λειτουργεί από το 1951, υπό την εποπτεία του ΥΠΕΝ (προηγούμενως ΥΠΔΕ, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΥΠΕΚΑ). Αν και ο σταθμός βρίσκεται εκτός του υδροσυστήματος Αλιάκμονα, ανήκει στην ευρύτερη περιοχή του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας, συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αντιπροσωπευτικός της εν γένει δίαιτας των βροχοπτώσεων της περιοχής μελέτης. Το δείγμα ημερήσιων υψών βροχής στην Ποντοκώμη ελήφθη από την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (σύστημα Υδροσκόπιο, <http://www.hydroscope.gr/>), και καλύπτει την περίοδο από 1/6/1950 έως 31/12/2017, με πολύ λίγα κενά διαστήματα (24 442 τιμές, 71 έτη).

Για το εν λόγω δείγμα, παρήχθησαν χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης για διάφορες χρονικές κλίμακες συνάθροισης, και εκτιμήθηκαν τα τρία χαρακτηριστικά ποσοστημόρια της SCS/NRCS (10, 50 και 90%) καθώς και διάφορα ακόμη πιο ακραία, τόσο προς τα κάτω όσο και προς τα πάνω, που υποδηλώνουν ακόμα πιο ξηρές και υγρές συνθήκες, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε η αθροιστική βροχόπτωση για τέσσερις κλίμακες, ήτοι $n = 5, 15, 30$ και 60 ημέρες (συμβολίζονται με $P_5, P_{15}, P_{30}, P_{60}$) και οι εμπειρικές τιμές υπέρβασης που αντιστοιχούν σε διάφορα ποσοστημόρια. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δίνονται στον **Πίνακα 6.2**. Ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι για χρονικές κλίμακες συνάθροισης έως και 30 ημερών, η αθροιστική βροχόπτωση για τις τυπικές ξηρές συνθήκες που αντιστοιχούν στο κάτω 10% των τιμών είναι μηδενική, ενώ για την κλίμακα των 60 ημερών, η τιμή αυτή ανέρχεται σε 10.2 mm.

Εκτός από τις εμπειρικές τιμές υπέρβασης, εκτιμήθηκαν και οι θεωρητικές, προσαρμόζοντας στα αντίστοιχα δείγματα την κατανομή Γάμμα, για μεγαλύτερο εύρος ποσοστημορίων (**Πίνακας 6.3**). Με την προσέγγιση αυτή, η αναγνώριση των ξηρών συνθηκών (ποσοστημόριο 10%) είναι εφικτή και με μικρότερη κλίμακα συνάθροισης, ήτοι 30 ημερών, που προϋποθέτει αθροιστικό ύψος 2.4 mm. Για τον λόγο αυτό, στο τελικό μεθοδολογικό πλαίσιο χρησιμοποιείται ως βάση η αθροιστική επιφανειακή βροχόπτωση των 30 και όχι των 60 ημερών, που προκύπτει από την εμπειρική ανάλυση.

Πίνακας 6.2: Εμπειρικές τιμές αθροιστικής βροχόπτωσης (mm) για διάφορες κλίμακες συνάθροισης και διάφορα ποσοστημόρια, με βάση την ιστορική χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης στον σταθμό Ποντοκώμης (1950-2019).

Ποσοστημόριο βροχόπτωσης (%)	Συνθήκες υγρασίας κατά NRCS	Κλίμακα συνάθροισης, <i>n</i>			
		5 ημέρες	15 ημέρες	30 ημέρες	60 ημέρες
1.0		0.0	0.0	0.0	10.2
2.5		0.0	0.0	2.6	20.6
5.0		0.0	0.0	7.2	31.0
10.0	Ξηρές (AMC I)	2.0	17.5	42.1	92.5
50.0	Κανονικές (AMC II)	25.0	59.3	101.4	174.3
90.0	Υγρές (AMC III)	35.6	73.6	123.5	202.7
95.0		48.9	95.5	147.2	234.8
97.5		60.3	114.8	164.8	264.9
99.0		100.7	150.1	230.6	325.5

Πίνακας 6.3: Θεωρητικές (με προσαρμογή της κατανομής Γάμμα) τιμές υπέρβασης αθροιστικής βροχόπτωσης (mm) για διάφορες κλίμακες συνάθροισης και πιθανότητες μη υπέρβασης.

Πιθανότητα μη υπέρβασης αθροιστικής βροχόπτωσης n ημερών (%)	Κλίμακα συνάθροισης, n			
	5 ημέρες	15 ημέρες	30 ημέρες	60 ημέρες
1.0	0.0	0.0	0.2	2.6
2.0	0.0	0.0	0.4	4.0
5.0	0.0	0.0	1.1	7.1
10.0	0.0	0.0	2.4	11.2
20.0	0.0	0.2	5.3	18.4
50.0	0.9	2.8	16.9	40.4
80.0	7.2	13.3	40.1	75.8
90.0	14.9	23.6	57.8	100.4
95.0	24.1	35.1	75.5	124.1
98.0	37.6	51.3	99.0	154.5
99.0	48.5	64.0	116.8	177.1
99.9	87.3	108.5	176.0	250.5

6.4.4 Πιθανοτική θεώρηση παραμέτρου CN

Προκειμένου να υλοποιήσουμε μια κατηγοριοποίηση των συνθηκών εδαφικής υγρασίας στον συνεχή χώρο και συνακόλουθα να χειριστούμε τον αριθμό καμπύλης απορροής ως τυχαία μεταβλητή, αναπτύξαμε εμπειρικές σχέσεις που επιτρέπουν την αντιστοίχιση της τιμής του CN στην αθροιστική επιφανειακή βροχόπτωση των 30 προηγούμενων ημερών, P_{30} .

Αρχικά, εφαρμόζουμε τις σχέσεις (6.9) και (6.10) ώστε να προσαρμόσουμε την τιμή αναφοράς του CN στις τυπικές ξηρές και υγρές συνθήκες (Εικόνα 6.4). Δεδομένου ότι οι χαρακτηριστικές τιμές CN_I , CN_{II} και CN_{III} αντιστοιχούν σε πιθανότητες υπέρβασης $p = 0.90, 0.50$ και 0.10 , αντίστοιχα, ορίζουμε μια σχέση γραμμικής μεταβολής του CN συναρτήσει του p , ήτοι:

$$CN = CN_{\infty} - \varphi p \quad (6.11)$$

όπου CN_{∞} και φ παράμετροι που εκτιμώνται μέσω παλινδρόμησης. Ο Πίνακας 6.4 συνοψίζει τα αποτελέσματα για ένα μεγάλο εύρος τιμών του CN_{II} , που κατά την SCS/NRCS αντιστοιχούν σε μέσες συνθήκες υγρασίας. Για παράδειγμα, για $CN_{II} = 60$ προκύπτει $CN_{\infty} = 83.0$ και $\varphi = 48.6$. Η παράμετρος CN_{∞} εκφράζει μια θεωρητικά μέγιστη εφικτή τιμή του αριθμού καμπύλης απορροής, που αναφέρονται σε ένα έδαφος πλέον του κορεσμού. Οι συνθήκες αυτές θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε μηδενική πιθανότητα υπέρβασης της αθροιστικής επιφανειακής βροχόπτωσης (ήτοι για $p \rightarrow 0$) και υποδηλώνουν μια ασυμπτωτική συμπεριφορά του αριθμού καμπύλης απορροής. Η θεμελιώδης αυτή υπόθεση επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές (π.χ., Hawkins, 1993).

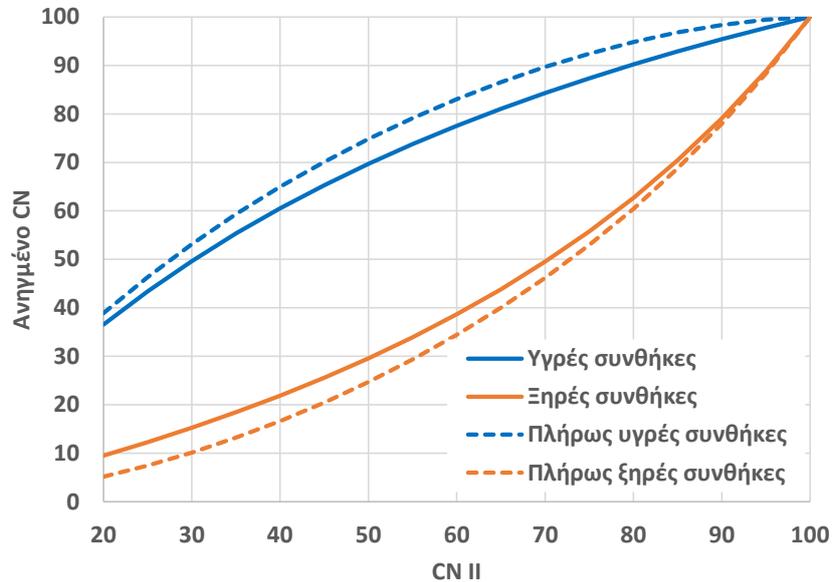
Ομοίως, από την εφαρμογή του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για $p = 1$, προκύπτει μια θεωρητικά ελάχιστη τιμή, CN_0 , που αντιστοιχεί σε πλήρως ξηρές συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Πρακτικά, αυτό υποδηλώνει μηδενική βροχόπτωση για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, που δεν είναι κάτι το ανέφικτο. Για την τυπική τιμή αναφοράς $CN_{II} = 60$, αυτή εκτιμάται σε $CN_0 = 34.4$.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.5, η παραπάνω διαδικασία επιτρέπει τη διεύρυνση του χώρου εφικτών τιμών του CN , και συνακόλουθα των καταστάσεων υγρασίας του εδάφους. Συνεπώς, γύρω από κάθε τιμή αναφοράς προκύπτει ένα εύρος διακύμανσης $[CN_0, CN_{\infty}]$, το οποίο είναι συνεχές, και έχει μια πιθανοτική αντιστοίχιση. Μάλιστα, για τα δύο χαρακτηριστικά όρια, παράγονται οι ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις, προκειμένου αυτά να μπορούν να υπολογιστούν για οποιαδήποτε τιμή του αριθμού καμπύλης αναφοράς, ήτοι:

$$CN_0 = 0.0117 CN_{II}^2 - 0.2690 CN_{II} + 8.02 \quad (6.12)$$

$$CN_\infty = -0.0083 CN_{II}^2 + 1.7435 CN_{II} + 8.22 \quad (6.13)$$

Στην παραπάνω λογική, μέσω της εξ. (6.11) και των βελτιστοποιημένων παραμέτρων της, γίνεται αντιστοίχιση των τιμών αναφοράς του CN σε ένα μεγάλο πλήθος τιμών πιθανοτήτων υπέρβασης, που υποδηλώνουν διαφορετικές καταστάσεις αρχικής υγρασίας (**Πίνακας 6.5**).



Εικόνα 6.5: Δυνητικό εύρος διακύμανσης παραμέτρου CN , γύρω από την τιμή αναφοράς.

Πίνακας 6.4: Εφαρμογή μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης (εξ. 6.11) για διάφορες τιμές του αριθμού καμπύλης αναφοράς, CN_{II} , και της αναγωγής του, μέσω των σχέσεων (6.9) και (6.10), για ξηρές (CN_I) και υγρές (CN_{III}) συνθήκες.

Τιμή αναφοράς, CN_{II}	CN_I	CN_{III}	φ	CN_0	CN_∞	R^2
20.0	9.5	36.5	-33.76	5.1	38.9	0.984
25.0	12.3	43.4	-38.89	7.4	46.3	0.989
30.0	15.3	49.6	-42.98	10.1	53.1	0.993
35.0	18.4	55.3	-46.10	13.2	59.3	0.997
40.0	21.9	60.5	-48.31	16.6	65.0	0.999
45.0	25.6	65.3	-49.66	20.5	70.1	1.000
50.0	29.6	69.7	-50.15	24.7	74.8	1.000
55.0	33.9	73.8	-49.80	29.3	79.1	0.999
60.0	38.7	77.5	-48.60	34.4	83.0	0.997
65.0	43.8	81.0	-46.51	40.0	86.5	0.994
70.0	49.5	84.3	-43.50	46.2	89.7	0.989
75.0	55.8	87.3	-39.49	53.0	92.4	0.984
80.0	62.7	90.2	-34.39	60.4	94.8	0.978
85.0	70.4	92.9	-28.07	68.7	96.8	0.971
90.0	79.1	95.4	-20.39	78.0	98.4	0.963
95.0	88.9	97.8	-11.12	88.3	99.4	0.954

Πίνακας 6.5 Εφαρμογή μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης (εξ. 6.11) για διάφορες τιμές του αριθμού καμπύλης αναφοράς (πιθανότητα υπέρβασης 50%) και πιθανότητες υπέρβασης. Οι τιμές που επισημαίνονται με έντονο χρώμα εκτιμώνται από τις σχέσεις της SCS/NRCS.

Πιθαν. υπέρβ.	Αριθμός καμπύλης απορροής αναφοράς, CN_{II}														
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
1.000	7.4	10.1	13.2	16.6	20.5	24.7	29.3	34.4	40.0	46.2	53.0	60.4	68.7	78.0	88.3
0.990	7.8	10.6	13.7	17.1	21.0	25.2	29.8	34.9	40.5	46.6	53.3	60.8	69.0	78.2	88.4
0.980	8.2	11.0	14.1	17.6	21.5	25.7	30.3	35.4	41.0	47.1	53.7	61.1	69.3	78.4	88.5
0.950	9.4	12.3	15.5	19.1	22.9	27.2	31.8	36.9	42.4	48.4	54.9	62.2	70.1	79.0	88.9
0.900	12.3	15.3	18.4	21.9	25.6	29.6	33.9	38.7	43.8	49.5	55.8	62.7	70.4	79.1	88.9
0.800	15.2	18.7	22.4	26.3	30.4	34.7	39.3	44.1	49.3	54.9	60.9	67.3	74.3	82.0	90.5
0.500	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0
0.200	38.6	44.5	50.1	55.3	60.2	64.8	69.2	73.3	77.2	81.0	84.5	87.9	91.2	94.3	97.2
0.100	43.4	49.6	55.3	60.5	65.3	69.7	73.8	77.5	81.0	84.3	87.3	90.2	92.9	95.4	97.8
0.050	44.4	51.0	57.0	62.5	67.6	72.3	76.6	80.6	84.2	87.5	90.5	93.1	95.4	97.3	98.9
0.020	45.6	52.3	58.4	64.0	69.1	73.8	78.1	82.1	85.6	88.8	91.7	94.1	96.2	97.9	99.2
0.010	46.0	52.7	58.8	64.5	69.6	74.3	78.6	82.5	86.1	89.2	92.0	94.5	96.5	98.1	99.3
0.001	46.3	53.1	59.3	64.9	70.1	74.8	79.1	83.0	86.5	89.6	92.4	94.8	96.8	98.3	99.4
0.000	46.3	53.1	59.3	65.0	70.1	74.8	79.1	83.0	86.5	89.7	92.4	94.8	96.8	98.4	99.4

6.4.5 Αντιστοίχιση παραμέτρου CN στην αθροιστική βροχόπτωση των 30 ημερών

Έχοντας προσδιορίσει μια αναλυτική σχέση αναγωγής του CN αναφοράς στο εκάστοτε εύρος $[CN_0, CN_\infty]$, συναρτήσεως της πιθανότητας υπέρβασης, μέσω της εξ. (6.11), καθίσταται πλέον εφικτή η απευθείας αντιστοίχσή του σε ύψη αθροιστικής βροχόπτωσης 30 ημερών. Η διαδικασία υλοποιείται μέσω της κατανομής Γάμμα για 14 χαρακτηριστικές τιμές του p , για κάθε μία από τις οποίες εισάγεται και ένας χαρακτηρισμός της κατάστασης εδαφικής υγρασίας (**Πίνακας 6.6**). Με τον τρόπο αυτό, για τις τιμές του αριθμού καμπύλης αναφοράς που περιλαμβάνει ο **Πίνακας 6.5**, μπορεί να γίνει αναγωγή του για κάθε τιμή βροχόπτωσης και αντίστοιχης κατάστασης εδαφικής υγρασίας.

Πίνακας 6.6: Αντιστοίχιση (μέσω της κατανομής Γάμμα) πιθανοτήτων υπέρβασης και τιμών αθροιστικής βροχόπτωσης 30 ημερών, και χαρακτηρισμός των αντίστοιχων συνθηκών υγρασίας του εδάφους.

Πιθανότητα υπέρβασης, p	Αθροιστική βροχόπτωση, P_{30} (mm)	Συνθήκες εδαφικής υγρασίας
1.000	0.0	Πλήρως ξηρές
0.990	0.2	Σχεδόν πλήρως ξηρές
0.980	0.4	Εξαιρετικά ξηρές
0.950	1.1	Πολύ ξηρές
0.900	2.4	Ξηρές (AMC I)
0.800	5.3	Ξηρές προς μέσες
0.500	16.9	Μέσες (AMC II)
0.200	40.1	Μέσες προς υγρές
0.100	57.8	Υγρές (AMC III)
0.050	75.5	Πολύ υγρές
0.020	99.0	Εξαιρετικά υγρές
0.010	116.8	Σχεδόν πλήρως υγρές
0.001	176.0	Πλήρως υγρές
0.000	-	Πλέον του κορεσμού

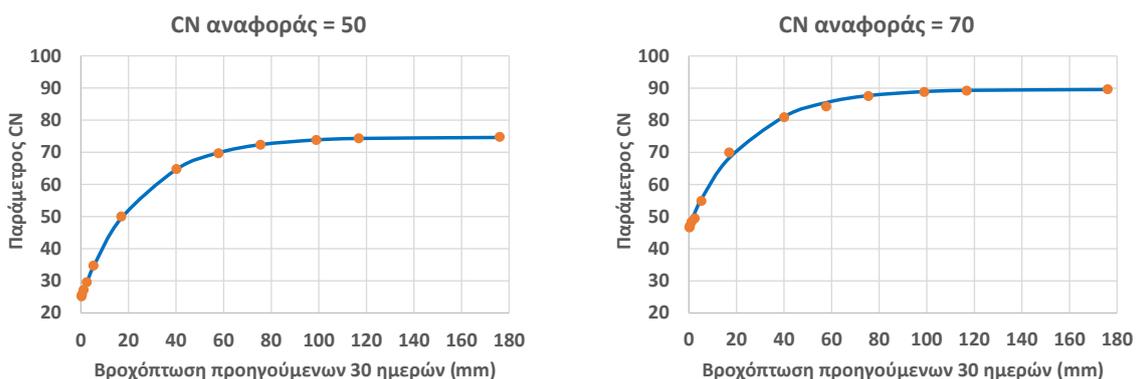
Για διευκόλυνση των περαιτέρω υπολογισμών, εισάγεται η ακόλουθη γενικευμένη σχέση, που έχει ως έμπνευση τη συνάρτηση κατανομής που προτάθηκε από τον Kumaraswamy (1980):

$$CN = CN_0 + \left(1 - \left(1 - \left(\frac{P_{30}}{P_\infty}\right)^a\right)^b\right) (CN_\infty - CN_0) \quad (6.14)$$

όπου CN_0 και CN_∞ τα εφικτά όρια διακύμανσης γύρω από την τιμή αναφοράς CN_{II} , που εκτιμώνται μέσω των εμπειρικών σχέσεων (6.12) και (6.13), αντίστοιχα, P_{30} η αθροιστική βροχόπτωση των 30 ημερών στον αντιπροσωπευτικό σταθμό της Ποντοκώμης, που αντιμετωπίζεται ως τυχαία μεταβλητή, P_∞ μια ασυμπτωτική τιμή της, με μηδενική πιθανότητα υπέρβασης, και a , b παράμετροι σχήματος.

Οι τιμές των P_∞ , a , b εκτιμώνται μέσω βαθμονόμησης, προσαρμόζοντας την εμπειρική σχέση (6.14) στις τιμές που περιέχει ο Πίνακας 6.5. Οι βελτιστοποιημένες τιμές τους είναι $P_\infty = 358.5$ mm, $a = 0.931$ και $b = 12.0$. Σημειώνεται ότι η παράμετρος P_∞ αναφέρεται σε μια υποθετικά μέγιστη δυνητική βροχόπτωση σε διάστημα 30 ημερών, που παράγει συνθήκες υγρασίας πέραν του κορεσμού. Η τιμή αυτή ανέρχεται στο 61% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στον σταθμό της Ποντοκώμης (603 mm), και η πιθανότητα υπέρβασής της είναι πρακτικά μηδενική (με εφαρμογή της κατανομής Γάμμα, η πιθανότητα αυτή εκτιμάται σε μόλις 2×10^{-5}).

Στην Εικόνα 6.6 απεικονίζεται η προσαρμογή της αναλυτικής σχέσης (6.14) στα εμπειρικά δεδομένα, για δύο χαρακτηριστικές τιμές του αριθμού καμπύλης απορροής αναφοράς, CN_{II} , ήτοι 50 και 70. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε λεκάνες με μικρή και μεγάλη παραγωγή απορροής, αντίστοιχα.



Εικόνα 6.6: Αναγωγή αριθμού καμπύλης απορροής CN ως προς την αθροιστική επιφανειακή βροχόπτωση των 30 ημερών μέσω της γενικευμένης σχέσης (6.14), για τιμές αναφοράς $CN_{II} = 50$ (αριστερά) και 70 (δεξιά).

6.4.6 Η μέθοδος NRCS-CN σε πιθανοτικό πλαίσιο

Το εν λόγω πλαίσιο βασίζεται στη λογική των σεναρίων, προκειμένου να αποφευχθεί ο τεράστιος υπολογιστικός φόρτος που θα απαιτούσε μια συνεχής στοχαστική προσομοίωση μήκους χιλιάδων ετών, στη 15λεπτη κλίμακα. Στο υπόψη πλαίσιο, υλοποιούνται οι τυπικές αναλύσεις επεισοδίου με τη μέθοδο NRCS-CN σε επίπεδο υπολεκάνης, λαμβάνοντας υπόψη δύο μείζονες πηγές αβεβαιότητας:

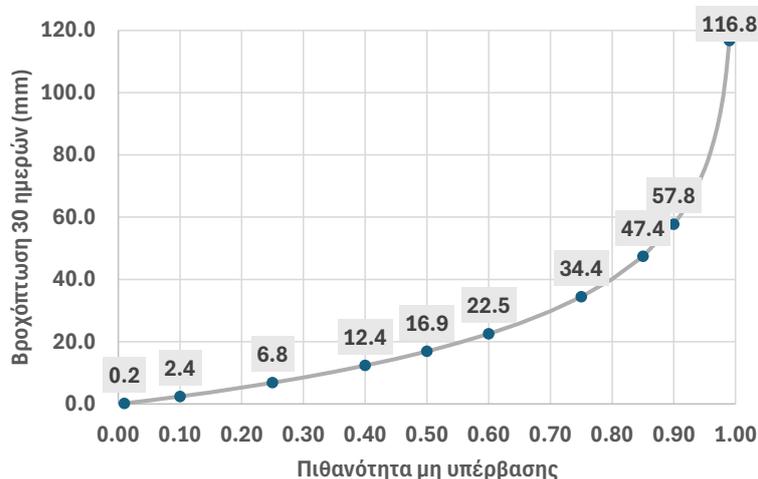
- Η αβεβαιότητα που εισάγει η χρονική μεταβλητότητα των καταιγίδων στη λεκάνη·
- Η αβεβαιότητα που εισάγουν οι συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας κατά την έναρξη κάθε επεισοδίου καταιγίδας.

Όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 5, προκειμένου να χειριστούμε το πρώτο ζήτημα, για κάθε περίοδο επαναφοράς που εξετάζεται (20, 50, 100, 200 και 1000 έτη), υπολογίζονται τα επιμέρους ύψη βροχής

ανά υπολεκάνη, μέσω των ομβρίων καμπυλών, για κάθε χρονική κλίμακα έως και τις 72 h, με χρονική διακριτότητα 15 min, τα οποία κατανέμονται χρονικά μέσω πέντε τυποποιημένων προφίλ.

Ως προς στις συνθήκες εδαφικής υγρασίας, αυτές εκφράζονται πιθανοτικά, μέσω της προηγηθείσας 30ήμερης βροχόπτωσης, που στη συνέχεια αντιστοιχίζεται στην παράμετρο CN . Συγκεκριμένα, καταρτίζονται δέκα σενάρια, που αντιστοιχούν σε δέκα χαρακτηριστικές πιθανότητες μη υπέρβασης της 30ήμερης βροχόπτωσης, ήτοι 0.010, 0.100, 0.250, 0.400, 0.500, 0.600, 0.750, 0.850, 0.900, και 0.990, για τις οποίες υπολογίζεται, μέσω της κατανομής Γάμα, η αντίστοιχη αθροιστική τιμή P_{30} (Εικόνα 6.7, βλ. και Πίνακα 6.8). Στη συνέχεια, σε κάθε υπολεκάνη, έχοντας ως οδηγό την τιμή αναφοράς του CN , εφαρμόζεται η γενικευμένη σχέση (6.14) με δεδομένες τιμές των CN_0 και CN_∞ ανά υπολεκάνη, παρέχοντας έτσι δέκα τιμές του CN για κάθε προφίλ βροχόπτωσης, οπότε προσομοιώνονται συνολικά 50 υδρολογικά σενάρια ανά περίοδο επαναφοράς.

Τονίζεται ότι για δεδομένη περίοδο επαναφοράς, η διαφοροποίηση των καταστάσεων της αρχικής εδαφικής υγρασίας, και συνακόλουθα των τιμών του CN , επηρεάζει τον συνολικό όγκο της πλημμυρικής απορροής που παράγεται ανά υπολεκάνη, ενώ η διαφοροποίηση του χρονικού προφίλ της βροχής επηρεάζει το σχήμα του πλημμυρογραφήματος. Συνεπώς, για κάθε περίοδο επαναφοράς, παράγονται 50 πλημμυρογραφήματα, που ανά πέντε έχουν κοινό όγκο.



Εικόνα 6.7: Συνάρτηση κατανομής αθροιστικής βροχόπτωσης 30 ημερών (συνεχής καμπύλη) και εφαρμοζόμενες τιμές P_{30} για τα δέκα σενάρια συνθηκών αρχικής υγρασίας, που αντιστοιχούν σε πιθανότητες μη υπέρβασης 0.010, 0.100, 0.250, 0.400, 0.500, 0.600, 0.750, 0.850, 0.900, και 0.990.

6.5 Διόδευση πλημμυρικών απορροών στις υπολεκάνες

6.5.1 Επισκόπηση θεωρίας μοναδιαίου υδρογραφήματος

Η ενεργός βροχόπτωση που εκτιμά η μέθοδος NRCS-CN αντιπροσωπεύει μια χωρικά ομοιόμορφη επιφανειακή απορροή που παράγεται σε όλη την έκταση της επιφάνειας αναφοράς (στην προκειμένη περίπτωση, υπολεκάνης). Η απορροή αυτή διοδεύεται μέσω του υδρογραφικού δικτύου καθώς και άλλων διαδρομών (π.χ. ως υπεδάφια ή υποδερμική ροή) έως τον αντίστοιχο κόμβο εξόδου. Ο χωροχρονικός μετασχηματισμός της απορροής σε πλημμυρική παροχή στην έξοδο γίνεται με εφαρμογή της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος (unit hydrograph).

Ειδικότερα, αν είναι γνωστή η χρονική εξέλιξη της ενεργού βροχόπτωσης, $h_e(t)$, σε διακριτό χρόνο t και το μοναδιαίο υδρογράφημα (MY) της λεκάνης για διάρκεια ίση με την χρονική διακριτότητα του επεισοδίου βροχής, Δt , τότε ο υπολογισμός του πλημμυρογραφήματος εξόδου γίνεται με εφαρμογή

της αρχής της επαλληλίας. Ειδικότερα, από κάθε τμήμα ενεργού βροχόπτωσης στο χρονικό διάστημα $[t, t + \Delta t]$ παράγεται το επιμέρους πλημμυρογράφημα, πολλαπλασιάζοντας το ύψος βροχής $h_e(t)$ με τις τεταγμένες του ΜΥ. Αν D είναι η συνολική διάρκεια του επεισοδίου, τότε παράγονται $N = D/\Delta t$ υδρογραφήματα, τα οποία αθροίζονται χρονικά ώστε να προκύψει το συνολικό πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης.

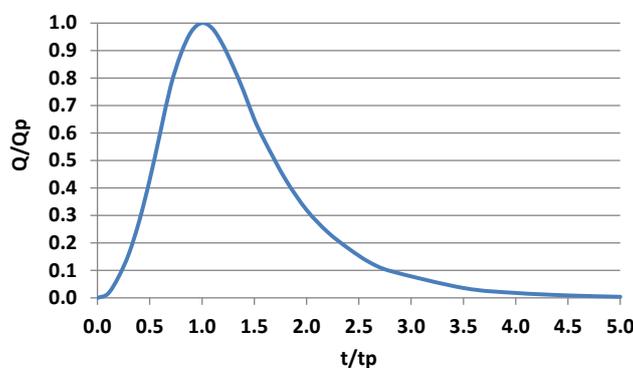
Το ΜΥ μιας δεδομένης διάρκειας βροχής αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος της υπολεκάνης, το οποίο παράγεται συνθετικά (ήτοι με βάση γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της), καθώς δεν διατίθενται δεδομένα πλημμυρικών επεισοδίων που θα καθιστούσαν εφικτή την εξαγωγή του ΜΥ από μετρήσεις. Στην παρούσα μελέτη, ο προσδιορισμός του κατάλληλου *συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος* (ΣΜΥ) ανά υπολεκάνη γίνεται από το διαθέσιμο σύνολο επιλογών της Natural Resources Conservation Service (NRCS, 2007). Η NRCS ορίζει ένα τυπικό ΣΜΥ, γνωστό ως Standard PRF 484 (βλ. 6.5.2), ενώ παρέχει και διάφορες παραλλαγές του, προκειμένου να καλύψει ένα μεγάλο εύρος διεργασιών αποστράγγισης λεκανών.

6.5.2 Standard PRF 484

Το ΣΜΥ που συστήνεται από την NRCS, με την ονομασία Standard PRF 484 (ο όρος PRF σημαίνει peak rate factor), έχει τύχει ευρείας εφαρμογής σε μελέτες πλημμυρών, και είναι αυτό που εφαρμόστηκε γενικά σε όλες υδρολογικές αναλύσεις της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Ο Πίνακας 6.7 δίνει τις τεταγμένες του σε αδιαστατοποιημένη μορφή, ως οι λόγοι του χρόνου t προς τον χρόνο ανόδου t_p , και της παροχής q προς την παροχή αιχμής q_p . Η γραφική απεικόνιση του PRF 484, το οποίο θεωρείται κατάλληλο για φυσικές λεκάνες σχετικά μικρής κλίμακας, απεικονίζεται στην **Εικόνα 6.8**.

Πίνακας 6.7: Υπολογισμός τετμημένων μοναδιαίου υδρογραφήματος Standard PRF 484.

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 6.8: Μοναδιαίο υδρογράφημα Standard PRF 484 σε αδιαστατοποιημένη μορφή.

Χαρακτηριστικό μέγεθος του ΜΥ είναι ο χρόνος υστέρησης, t_L , που ορίζεται ως η απόσταση του κέντρου βάρους του ΜΥ, διάρκειας D (πρακτικά ταυτίζεται με τον χρόνο αιχμής, t_p) από το κέντρο βάρους της βροχόπτωσης, που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή $t = D/2$. Σύμφωνα με την κοινή υδρολογική πρακτική, ο χρόνος υστέρησης μπορεί να εκτιμηθεί ως σταθερό ποσοστό του χρόνου συγκέντρωσης t_c , ήτοι:

$$t_L = 0.6 t_c \quad (6.15)$$

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:

$$t_p = t_L + D/2 = 0.6 t_c + D/2 \quad (6.16)$$

Το ΜΥ Standard PRF 484 έχει χρόνο βάσης $t_b = 5 t_p$, ενώ η παροχή αιχμής του εκτιμάται από την εξίσωση συνέχειας, εξισώνοντας τον όγκο του μοναδιαίου υδρογραφήματος με τον όγκο της μοναδιαίας ενεργού βροχόπτωσης. Συνεπώς ισχύει:

$$q_p = K A h_0 / t_p \quad (6.17)$$

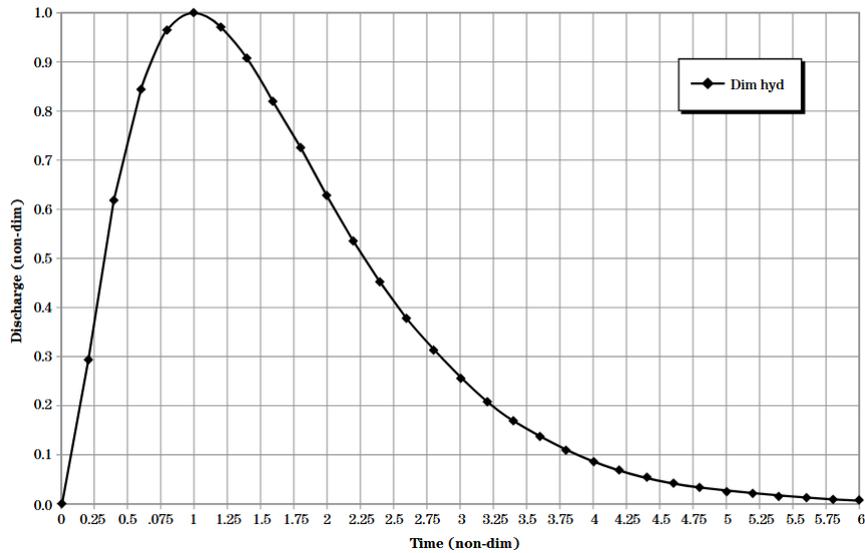
όπου A η επιφάνεια αποστράγγισης, t_p ο χρόνος αιχμής, h_0 η μοναδιαία βροχόπτωση, που είναι εξ ορισμού ίση με $h_0 = 10$ mm, και K ο λεγόμενος παράγοντας ρυθμού της αιχμής (peak rate factor) που χαρακτηρίζει το σχήμα του ΜΥ. Ειδικότερα, το Standard PRF 484 αντιστοιχεί σε $K = 2.08$, εφόσον δίνονται η έκταση A σε km^2 , ο χρόνος t_p σε ώρες, και το ύψος h_0 σε mm, ενώ ισούται με 484, αν εφαρμόζονται οι μονάδες του αγγλοσαξωνικού συστήματος.

Με βάση τα παραπάνω, αν είναι γνωστός ο χρόνος συγκέντρωσης t_c της υπολεκάνης, υπολογίζεται ο χρόνος ανόδου, t_p , μέσω της σχέσης (6.16), και η παροχή αιχμής, q_p , και μέσω της σχέσης (6.17), οπότε προσδιορίζεται πλήρως το συνθετικό ΜΥ της υπολεκάνης, με βάση τις τιμές του **Πίνακα 6.7**.

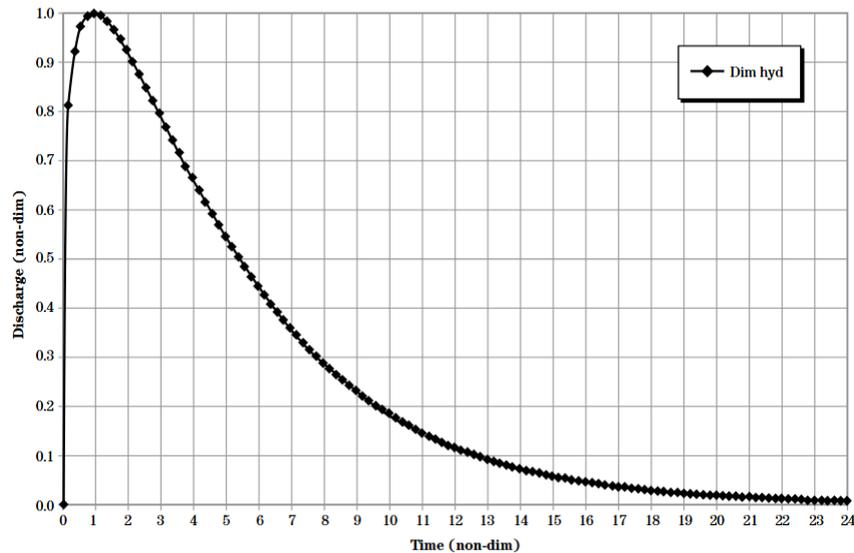
6.5.3 Επιλογή ΣΜΥ υπολεκανών

Η NRCS συστήνει τη χρήση διαφορετικών ΣΜΥ, που προσαρμόζονται στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της κάθε υπολεκάνης, με γνώμονα την ορθότερη απεικόνιση της χωρικής ετερογένειας των μηχανισμών διόδευσης.

Όπως εξηγείται στο εδάφιο 6.3.2, στην παρούσα μελέτη η επιλογή έγινε ορίζοντας τρεις κατηγορίες υπολεκανών, βάσει του δείκτη κλίσης, ήτοι ορεινές, ημιορεινές και πεδινές. Στις ορεινές υπολεκάνες εφαρμόστηκε το τυπικό ΣΜΥ της NRCS, ήτοι το Standard PRF 484, στις ημιορεινές το PRF 300, και πεδινές υπολεκάνες το PRF 100. Το PRF 300 έχει χρόνο βάσης $t_b = 6 t_p$ (**Εικόνα 6.9**), ενώ το PRF 100 έχει πολύ βραδύτερο χρόνο βάσης, ήτοι $t_b = 24 t_p$ (**Εικόνα 6.10**). Τα παραπάνω αντιπροσωπεύουν καλύτερα την υδραυλική συμπεριφορά των αντίστοιχων υπολεκανών. Ειδικότερα, μεταβαίνοντας από τις ορεινές στις ημιορεινές και, εν συνεχεία στις πεδινές περιοχές, περιορίζεται η ικανότητα αποστράγγισης του εδάφους, η διόδευση της απορροής είναι εξ ορισμού βραδύτερη (λόγω της μειούμενης κλίσης), συνεπώς για τον ίδιο χρόνο ανόδου, η απόσβεση της πλημμύρας γίνεται πιο αργά. Μάλιστα, στις πεδινές υπολεκάνες, όπου το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο είναι έντονα αλλοιωμένο, καθώς η αποστράγγιση των πλημμυρών γίνεται μέσω τεχνητών καναλιών (διώρυγες, τάφροι), που δημιουργούν σημαντικές ανασχές, επιβραδύνοντας περαιτέρω τη ροή. Για τον λόγο αυτό, στις υπόψη περιοχές, απαιτείται η εφαρμογή μεγάλου χρόνου βάσης, ώστε ο όγκος του ΜΥ να αμβλυνθεί και η αιχμή της πλημμύρας να είναι μικρότερη σε σχέση με τις ορεινές υπολεκάνες.



Εικόνα 6.9: Αδιαστατοποιημένο μοναδιαίο υδρογράφημα της NRCS για PRF = 300 που εφαρμόστηκε στις ημιορεινές υπολεκάνες (Πηγή: NRCS, 2007, Appendix 16B).



Εικόνα 6.10: Αδιαστατοποιημένο μοναδιαίο υδρογράφημα της NRCS για PRF = 100 που εφαρμόστηκε στις πεδινές υπολεκάνες (Πηγή: NRCS, 2007, Appendix 16B).

6.5.4 Εκτίμηση χρόνου συγκέντρωσης αναφοράς

Σύμφωνα με τις πλέον διαδεδομένες υδρολογικές πρακτικές για λεκάνες χωρίς υδρομετρικές υποδομές, ο χρόνος συγκέντρωσης, t_c , αποτελεί χαρακτηριστική χρονική παράμετρο μιας επιφάνειας (π.χ. λεκάνη απορροής), 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 της. Ο χρόνος συγκέντρωσης αποτελεί τυπική παράμετρο εισόδου πληθώρας υδρολογικών τεχνικών, μεταξύ των οποίων η μέθοδος της παρούσας μελέτης, στην οποία εισάγεται για τον προσδιορισμό του μοναδιαίου υδρογραφήματος μέσω των σχέσεων (6.16) και (6.17). Λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, στις εφαρμογές της πράξης εφαρμόζονται συνήθως εμπειρικές σχέσεις της βιβλιογραφίας, οι οποίες εκτιμούν τον χρόνο συγκέντρωσης συναρτήσει χαρακτηριστικών γεωμορφολογικών μεγεθών της λεκάνης.

Η συνηθέστερη εμπειρική σχέση εκτίμησης του χρόνου συγκέντρωσης μιας λεκάνης είναι η εξίσωση του Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta z}} \quad (6.18)$$

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). Η παραπάνω σχέση έχει εξαχθεί από την ανάλυση δεδομένων απορροής σε ένα μικρό δείγμα 12 λεκανών, με εύρος από 170 έως 70 000 km^2 . Σε κάθε περίπτωση, έχει αποδειχθεί αρκετά συνεπής στην αναπαραγωγή ενός πλήθους παρατηρημένων πλημμυρικών αιχμών στην Κύπρο. Μάλιστα, η προγνωστική της ικανότητα ήταν μακράν καλύτερη σε σχέση με άλλες ευρέως γνωστές εμπειρικές σχέσεις της βιβλιογραφίας (Galioyna *et al.*, 2011). Επιπλέον, αποδείχθηκε επαρκώς αντιπροσωπευτική του χρόνου απόκρισης ενός μεγάλου αριθμού λεκανών στην Ελλάδα και την Ιταλία, για συνήθη επεισόδια πλημμυρών (Michailidi *et al.*, 2018).

Στην παρούσα μελέτη, η εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης διαφοροποιείται στις ορεινές και ημιορεινές υπολεκάνες σε σχέση με τις πεδινές, κατ' αντιστοιχία με το ποσοστό των αρχικών ελλειμμάτων. Στις πρώτες, εφαρμόζεται η μέθοδος Giandotti, υπολογίζοντας τα απαιτούμενα γεωμετρικά μεγέθη, A , L and Δz . Στις υπόψη υπολεκάνες, χαράσσεται η μεγαλύτερη διαδρομή της ροής, συνδέοντας το πλέον απομακρυσμένο σημείο του υδροκρίτη με τον αντίστοιχο κόμβο εξόδου. Από την άλλη πλευρά, στις πεδινές υπολεκάνες, όπου το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο είναι έντονα αλλοιωμένο, και η διαδικασία αποστράγγισης γίνεται μέσω τεχνητών καναλιών (διώρυγες, τάφροι), ακολουθούμε μια εναλλακτική προσέγγιση, που βασίζεται στον ορισμό του t_c . Ειδικότερα, κατά μήκος της μέγιστης διαδρομής ορίζεται μια τυπική τιμή ταχύτητας, V , συγκεκριμένα 1.0 m/s, οπότε ο χρόνος ροής εκτιμάται ως ο λόγος του μήκους, L , την μέγιστης διαδρομής στην υπολεκάνη, προς την ταχύτητα, V .

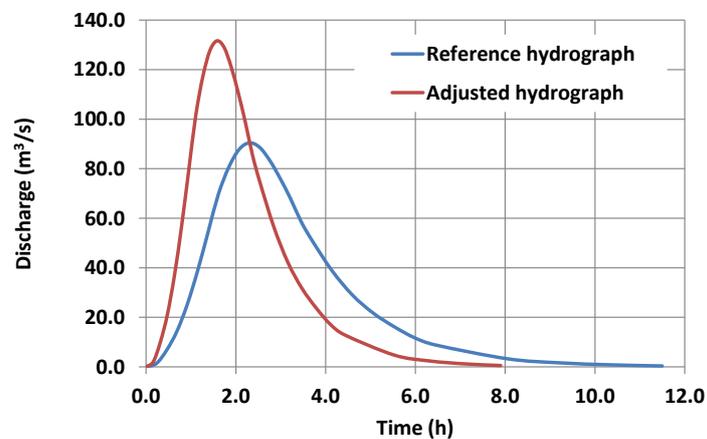
Στη συνέχεια, το χρονικό μέγεθος που εκτιμάται με τις δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις θα χαρακτηρίζεται ως *χρόνος συγκέντρωσης αναφοράς*, και θα συμβολίζεται ως t_c^* , δεδομένου ότι στη διαδικασία προσομοίωσης η τιμή που εφαρμόζεται στους υπολογισμούς τροποποιείται ανάλογα με το μέγεθος της βροχόπτωσης. Οι τιμές αναφοράς του χρόνου συγκέντρωσης των υπολεκανών του υδροσυστήματος Αλιάκμονα δίνονται στον **Πίνακα 6.9**.

6.5.5 Η έννοια του μεταβλητού χρόνου συγκέντρωσης

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, ο χρόνος συγκέντρωσης εξ ορισμού θα μειώνεται με την παροχή, άρα και το γενεσιουργό της αίτιο, ήτοι τη βροχόπτωση. Οι Grimaldi *et al.* (2012), αναλύοντας μεγάλο αριθμό πλημμυρικών επεισοδίων, διαπίστωσαν ότι η ποσότητα t_c μπορεί να διαφέρει ακόμα και τάξεις μεγέθους μεταξύ επεισοδίων βροχής 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· Beven, 2020). Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφανειακή απορροή, τόσο πιο γρήγορα φτάνει στην έξοδο της λεκάνης. Με την παραπάνω υπόθεση, οι Michailidi *et al.* (2018) ανέπτυξαν ένα γενικό πλαίσιο εκτίμησης του χρόνου συγκέντρωσης ως συνάρτηση της έντασης της ενεργού βροχόπτωσης που παράγεται στη λεκάνη, το οποίο βασίζεται στις υποθέσεις της κινηματικής μεθόδου. Από αναλύσεις σε μεγάλο αριθμό λεκανών, με χρήση εργαλείων ΣΓΠ, κατέληξαν σε περιοχικές σχέσεις που, μεταξύ άλλων, είναι συνεπείς με τα ευρήματα των Grimaldi *et al.* (2012).

Ο χειρισμός του χρόνου συγκέντρωσης ως μεγέθους εξαρτώμενου από τη βροχόπτωση (άρα ως τυχαίας μεταβλητής), έχουν σημαντική επίδραση στα μοντέλα πλημμυρών, που χρησιμοποιούν ως υπόβαθρο τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Δεδομένου ότι ο χρόνος συγκέντρωσης μεταβάλλεται, μεταβάλλονται αντίστοιχα και οι χρονικές παράμετροι του ΜΥ (χρόνος ανόδου, χρόνος βάσης), και συνακόλουθα το σχήμα του. Όπως φαίνεται στο υποθετικό παράδειγμα που δίνεται στην **Εικόνα 6.11**, η αύξηση της βροχόπτωσης και συνακόλουθης μείωσης του χρόνου συγκέντρωσης σε σχέση με κάποιες συνθήκες αναφοράς, άρα και μείωσης των χρόνων ανόδου και βάσης του ΜΥ, έχουν ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του σχήματος του ΜΥ, άρα και την αύξηση της παροχής αιχμής, προκειμένου να διατηρηθεί ο όγκος της μοναδιαίας πλημμύρας.

Η αλλαγή του σχήματος του ΜΥ προς το δυσμενέστερο, όσο αυξάνει το μέγεθος της βροχής άρα και της πλημμύρας, αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική υπόθεση, που εισάγει έντονη μη γραμμικότητα στην μοντελοποίηση των υδρολογικών διεργασιών, οδηγώντας σε πιο δυσμενή, πλην όμως πιο ρεαλιστικά, πλημμυρικά μεγέθη σε σχέση με τις συμβατικές προσεγγίσεις, στις οποίες τα χαρακτηριστικά χρονικά μεγέθη μιας λεκάνης θεωρούνται σταθερά, οπότε και το σχήμα του ΜΥ είναι δεδομένο.



Εικόνα 6.11: Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα PRF 484 για περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη και ανηγμένο ΜΥ για $T = 200$ έτη, σε μια υποθετική λεκάνη απορροής έκτασης 100 km^2 , για χρόνο συγκέντρωσης αναφοράς $t_c^* = 3.0 \text{ h}$, που ανάγεται σε 1.8 h (Πηγή: Παραϊοαννου *et al.*, 2018).

6.5.6 Διαδικασία αναγωγής χρόνου συγκέντρωσης

Στην παρούσα μελέτη εφαρμόζεται μια εύχρηστη εμπειρική μέθοδος, που έχει προτεθεί από τους Ευστρατιάδη κ.ά. (2014), και έχει υιοθετηθεί ως γενική προδιαγραφή και στις μελέτες πλημμυρών της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ (Παραϊοαννου *et al.*, 2018). Σύμφωνα με αυτή, ο χρόνος συγκέντρωσης θεωρείται συνάρτηση της κρίσιμης έντασης βροχής που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς T , και δίνεται από τη σχέση:

$$t_c(T) = t_c^* \sqrt{h(5)/h(T)} \quad (6.19)$$

όπου $h(5)$ το ύψος βροχής που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη, για την οποία θεωρείται ένας χρόνος συγκέντρωσης αναφοράς t_c^* , και $h(T)$ το ύψος βροχής που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς του εκάστοτε σεναρίου, και προφανώς αναφέρεται στην ίδια χρονική κλίμακα (διάρκεια, D) με το $h(5)$. Διαιρώντας τα ύψη $h(5)$ και $h(T)$ με τη διάρκεια D , η παραπάνω σχέση διατυπώνεται, ισοδύναμα, σε όρους εντάσεων βροχής.

Για κάθε εξεταζόμενο σενάριο βροχόπτωσης, η αναγωγή του χρόνου συγκέντρωσης αναφοράς μέσω της (6.19) υλοποιείται σε δύο χωρικές κλίμακες, ήτοι για τη συνολική λεκάνη του υδροσυστήματος

και ανά υπολεκάνη. Συμβατικά, στους υπολογισμούς θεωρείται διάρκεια βροχής 24 ωρών (λόγω της μαθηματικής μορφής των ομβρίων καμπυλών, όπου η διάρκεια εισάγεται στον παρονομαστή, η διαδικασία αναγωγής είναι ανεξάρτητη της διάρκειας).

6.5.7 Κατάρτιση συνθετικών ΜΥ υπολεκανών

Η υπολογιστική διαδικασία που αφορά στην κατάρτιση των συνθετικών ΜΥ των υπολεκανών γίνεται αυτόματα, ήτοι στο περιβάλλον του HEC-HMS, με μοναδικό δεδομένο εισόδου τον χρόνο υστέρησης, t_L , που με τη σειρά του εκτιμάται με βάση τον ανηγμένο (ως προς την περίοδο επαναφοράς) χρόνο συγκέντρωσης, $t_c(T)$, συνδυάζοντας τις σχέσεις (6.19) και (6.15). Για κάθε περίοδο επαναφοράς, διαμορφώνεται διαφορετικό ΣΜΥ, αφού η τιμή του χρόνου συγκέντρωσης κάθε υπολεκάνης (και συνεπώς όλων των χρονικών παραμέτρων της προσομοίωσης) διαφοροποιείται συναρτήσει της βροχόπτωσης διάρκειας 24 ωρών. Τελικά, με την παραπάνω διαδικασία παράγονται πέντε ΣΜΥ για κάθε υπολεκάνη, για τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς.

6.6 Βασική απορροή υπολεκανών

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, ελλείψει υδρομετρικών δεδομένων, η βασική ροή εκτιμάται εμπειρικά, και μάλιστα αντιμετωπίζεται ως τυχαία μεταβλητή, εξαρτώμενη (όπως και ο αριθμός καμπύλης απορροής) από την προηγούμενη βροχόπτωση των προηγούμενων 30 ημερών. Συγκεκριμένα, θεωρείται ημερήσιο ύψος βασικής ροής ίσο με $0.025P_{30}$, το οποίο πολλαπλασιάζεται με την έκταση κάθε υπολεκάνης, καταλήγοντας έτσι σε μια δεδομένη βασική ροή ανά σενάριο αρχικής εδαφικής υγρασίας, η οποία διατηρείται σταθερή για όλη τη διάρκεια της υδρολογικής προσομοίωσης. Τα μεγέθη που εισέρχονται στους υπολογισμούς, και η βασική ροή στο σύνολο του υδροσυστήματος Αλιάκμονα, δίνονται στον **Πίνακα 6.8**.

Πίνακας 6.8: Χαρακτηριστικά μεγέθη για την αντιστοίχιση της βασικής ροής στις υπολεκάνες, για τα δέκα σενάρια συνθηκών υγρασίας του εδάφους.

Σενάριο αρχικής εδαφικής υγρασίας	Πιθανότητα υπέρβασης, p	P_{30} (mm)	Ύψος βασικής ροής (mm/d)	Ειδική παροχή ($m^3/s/km^2$)	Συνολική βασική ροή (m^3/s)
1	0.990	0.2	0.01	0.0001	0.2
2	0.900	2.4	0.06	0.0007	1.9
3	0.750	6.8	0.17	0.0020	5.3
4	0.600	12.4	0.31	0.0036	9.6
5	0.500	16.9	0.42	0.0049	13.1
6	0.400	22.5	0.56	0.0065	17.4
7	0.250	34.4	0.86	0.0100	26.6
8	0.150	47.4	1.19	0.0137	36.6
9	0.100	57.8	1.44	0.0167	44.6
10	0.010	116.8	2.92	0.0338	90.2

6.7 Παραγωγή υδρογραφήματων στις εξόδους των υπολεκανών

Σε κάθε υπολεκάνη, εκτός από την έκτασή της, A , που είναι γεωμετρικό μέγεθος, τα γενικά δεδομένα εισόδου είναι η τιμή αναφοράς του CN , ο λόγος αρχικών ελλειμμάτων, λ , ο τύπος του μοναδιαίου υδρογραφήματος, ο χρόνος συγκέντρωσης αναφοράς, t_c^* , και το μέσο ύψος βροχής περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας 24 ωρών, που δίνονται στον **Πίνακα 6.9**. Δυναμικά δεδομένα εισόδου είναι τα υετογραφήματα 15λεπτης χρονικής διακριτότητας, ο ανηγμένος αριθμός καμπύλης απορροής, CN και ο ανηγμένος χρόνος συγκέντρωσης, με βάση τον οποίο παράγεται το μοναδιαίο υδρογράφημα.

Με βάση τα χαρακτηριστικά μεγέθη του **Πίνακα 6.9**, καταρτίζονται τα παράγωγα δεδομένα εισόδου για κάθε υπολεκάνη, ως εξής:

- παράγεται το υετογράφημα διάρκειας 72 ωρών, μέσω των ομβρίων καμπυλών και της διαδικασίας χρονικού επιμερισμού, που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 5·
- εκτιμώνται η μέγιστη δυνητική κατακράτηση και τα αρχικά ελλείμματα·
- παράγεται το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της NRCS, με βάση τον ανηγμένο, ως προς το ύψος βροχής, χρόνο συγκέντρωσης της υπολεκάνης·
- εκτιμάται η βασική απορροή της υπολεκάνης, πολλαπλασιάζοντας την ειδική παροχή επί την αντίστοιχη έκταση.

Η παραγωγή των χρονοσειρών παροχής (υδρογραφήματα) των υπολεκανών για τον χρονικό ορίζοντα της προσομοίωσης γίνεται στο περιβάλλον του HEC-HMS, και περιλαμβάνει:

- τον διαχωρισμό των υδρολογικών ελλειμμάτων από το συνολικό υετογράφημα, με τη μέθοδο NRCS-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 αναφέρονται στον κόμβο εξόδου της υπολεκάνης. Αν σε έναν κόμβο συμβάλλουν περισσότερες υπολεκάνες, τα επιμέρους υδρογραφήματά τους αθροίζονται. Στη συνέχεια, επιλύεται το πρόβλημα διόδυσής τους στο υδρογραφικό δίκτυο, που στην παρούσα μελέτη αντιμετωπίζεται μέσω μιας καινοτόμου ψευδο-υδραυλικής προσέγγισης, που εξηγείται λεπτομερώς στη συνέχεια.

Πίνακας 6.9: Δεδομένα εισόδου υπολεκανών υδροσυστήματος Αλιάκμονα.

Κωδικός	Λόγος αρχικού ελλείμματος	Ανηγμένο CN	Μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS	Χρόνος συγκέντρωσης αναφοράς (h)	Ύψος βροχής για $T = 5$ έτη και $D = 24$ h (mm)
BA1	0.20	75.8	PRF100	2.08	80.4
BA10	0.05	66.9	PRF 484	1.35	105.9
BA11	0.05	73.7	PRF 484	1.09	105.3
BA12_1	0.05	52.1	PRF300	2.87	101.6
BA12_2	0.05	50.8	PRF300	1.63	101.1
BA13_1	0.05	48.6	PRF 484	1.33	101.3
BA13_2	0.05	52.2	PRF300	1.65	101.3
BA14	0.05	77.1	PRF 484	2.02	102.6
BA16	0.05	78.3	PRF 484	1.79	106.1
BA2	0.20	73.9	PRF100	1.20	80.7

BA3	0.20	73.8	PRF100	1.50	80.5
BA4_1	0.20	70.2	PRF100	3.31	85.4
BA4_2	0.20	72.3	PRF100	3.89	87.9
BA5_1	0.20	60.4	PRF100	2.18	97.7
BA5_2	0.20	66.2	PRF100	2.07	96.9
BA6_1	0.20	63.9	PRF100	3.61	102.1
BA6_2	0.20	68.4	PRF100	2.25	100.5
BA7	0.05	68.6	PRF300	4.45	107.5
BA8	0.05	50.8	PRF300	1.83	101.3
BA9_1	0.05	58.2	PRF300	1.73	102.6
BA9_2	0.05	57.0	PRF300	1.88	101.3
BAT1	0.20	56.2	PRF100	2.69	99.6
BATout	0.05	53.0	PRF300	2.23	102.8
BT1	0.20	60.7	PRF100	2.97	98.9
BT10	0.20	79.0	PRF100	0.96	102.5
BT11_1	0.20	56.8	PRF100	1.30	102.4
BT11_2	0.20	58.0	PRF100	1.10	102.6
BT12	0.05	36.1	PRF300	2.41	100.0
BT12_2	0.20	53.1	PRF100	0.52	102.6
BT13	0.05	43.8	PRF 484	2.63	99.9
BT14	0.05	65.0	PRF 484	2.54	104.9
BT15_1	0.05	44.1	PRF 484	2.12	102.8
BT15_2	0.05	53.2	PRF300	3.20	100.6
BT16_1	0.05	44.0	PRF 484	2.57	118.0
BT16_2	0.05	45.0	PRF 484	2.30	111.6
BT17_1	0.05	50.9	PRF300	4.13	118.1
BT17_2	0.20	63.1	PRF100	2.57	110.9
BT18	0.05	60.7	PRF 484	2.10	122.1
BT19	0.05	60.6	PRF 484	1.91	125.2
BT2	0.20	63.5	PRF100	2.08	100.3
BT20_1	0.05	51.0	PRF300	3.71	124.1
BT20_2	0.05	43.2	PRF300	3.07	127.8
BT21	0.05	44.2	PRF 484	3.23	117.2
BT22	0.05	53.2	PRF300	2.40	121.1
BT23_1	0.05	49.5	PRF 484	2.14	110.6
BT23_2	0.05	51.0	PRF 484	1.87	112.6
BT24	0.05	51.5	PRF300	3.81	111.8
BT25_1	0.05	53.0	PRF300	1.62	114.7
BT25_2	0.05	48.0	PRF300	2.86	112.5
BT26_1	0.05	46.7	PRF300	2.27	114.2
BT26_2	0.05	63.0	PRF300	2.92	111.8
BT27	0.05	55.3	PRF 484	2.08	106.4
BT28_1	0.05	57.9	PRF300	2.86	115.2
BT28_2	0.05	52.5	PRF300	1.77	117.8
BT29	0.05	53.8	PRF 484	2.38	113.3
BT3_1	0.20	58.2	PRF100	4.72	107.6

BT3_2	0.20	58.1	PRF100	2.01	100.4
BT30	0.05	56.1	PRF300	5.94	99.0
BT30_2	0.05	52.9	PRF300	3.08	112.6
BT31_1	0.20	63.9	PRF100	1.94	104.4
BT31_2	0.05	51.2	PRF300	4.51	109.7
BT32	0.05	50.9	PRF300	4.51	104.9
BT33_1	0.20	64.0	PRF100	2.78	104.3
BT33_2	0.20	54.5	PRF100	0.34	107.2
BT34_1	0.05	51.5	PRF300	4.90	118.9
BT34_2	0.20	58.3	PRF100	2.34	109.2
BT35	0.05	53.1	PRF300	2.99	114.2
BT36_1	0.20	62.3	PRF100	0.48	106.7
BT36_2	0.20	66.9	PRF100	3.33	101.4
BT36_3	0.20	67.2	PRF100	0.42	107.2
BT37_1	0.20	67.2	PRF100	1.17	104.3
BT37_2	0.20	72.9	PRF100	2.64	113.6
BT38_1	0.05	69.8	PRF300	1.92	127.7
BT38_2	0.05	68.1	PRF300	2.45	125.6
BT39_1	0.05	71.0	PRF 484	1.20	133.8
BT39_2	0.05	54.2	PRF 484	1.47	132.2
BT4_1	0.20	57.0	PRF100	4.36	114.6
BT4_2	0.20	59.1	PRF100	0.21	105.3
BT40	0.05	73.5	PRF 484	2.15	132.2
BT41	0.05	67.6	PRF 484	1.85	193.8
BT42	0.05	74.1	PRF 484	1.37	130.0
BT43_1	0.20	68.1	PRF100	1.41	105.1
BT43_2	0.20	68.6	PRF100	0.24	101.1
BT44_1	0.20	68.2	PRF100	2.18	111.3
BT44_2	0.20	67.2	PRF100	2.66	113.9
BT45	0.05	62.7	PRF300	3.14	122.3
BT46_1	0.20	69.2	PRF100	0.37	102.1
BT46_2	0.05	60.0	PRF 484	1.91	110.9
BT47	0.05	54.2	PRF 484	1.65	115.5
BT48_1	0.05	76.9	PRF 484	0.77	119.6
BT48_2	0.05	70.0	PRF 484	1.01	122.1
BT49	0.05	80.9	PRF 484	1.30	124.0
BT5_1	0.20	60.8	PRF100	3.43	106.7
BT5_2	0.20	57.8	PRF100	2.41	108.9
BT50_1	0.05	75.9	PRF 484	0.88	115.5
BT50_2	0.05	70.3	PRF 484	0.98	120.5
BT51_1	0.05	53.0	PRF300	2.08	103.3
BT51_2	0.05	56.2	PRF300	1.98	102.1
BT52	0.05	66.1	PRF 484	2.82	116.6
BT53	0.05	57.0	PRF 484	1.80	127.6
BT54_1	0.05	56.2	PRF300	3.25	99.7
BT54_2	0.05	56.0	PRF300	3.65	96.8

BT55_1	0.05	52.0	PRF300	2.87	98.0
BT55_2	0.20	63.7	PRF100	2.62	99.1
BT56	0.05	46.2	PRF 484	1.43	104.7
BT57_1	0.05	59.4	PRF 484	1.31	101.9
BT57_2	0.05	42.7	PRF300	2.48	103.4
BT58	0.05	58.0	PRF 484	1.31	108.7
BT59_1	0.05	66.6	PRF 484	1.91	103.6
BT59_2	0.05	59.7	PRF 484	0.54	102.1
BT6_1	0.20	72.0	PRF100	0.65	106.0
BT6_2	0.20	68.5	PRF100	5.29	111.2
BT60	0.05	59.8	PRF 484	2.16	105.2
BT61_1	0.05	60.1	PRF 484	1.63	108.1
BT61_2	0.05	67.5	PRF 484	1.67	115.5
BT62_1	0.05	58.5	PRF300	2.54	106.9
BT62_2	0.05	60.7	PRF 484	1.72	110.1
BT63_1	0.05	70.2	PRF300	2.65	104.9
BT63_2	0.05	59.2	PRF 484	2.88	107.3
BT64	0.05	50.0	PRF 484	2.12	101.6
BT65_1	0.05	63.6	PRF300	1.61	102.6
BT65_2	0.05	62.8	PRF300	2.68	103.5
BT66_1	0.05	47.1	PRF300	1.53	99.9
BT66_2	0.20	54.2	PRF100	0.16	102.6
BT67_1	0.05	46.1	PRF300	2.13	102.6
BT67_2	0.20	53.9	PRF100	0.83	102.6
BT68_1	0.05	57.2	PRF300	1.62	102.2
BT68_2	0.05	57.7	PRF300	2.13	102.4
BT69	0.05	52.1	PRF300	1.27	102.6
BT7_1	0.20	63.3	PRF100	1.68	104.9
BT7_2	0.20	71.5	PRF100	1.43	106.0
BT70_1	0.05	48.6	PRF 484	2.75	102.0
BT70_2	0.05	53.5	PRF300	1.74	102.2
BT71	0.05	59.2	PRF 484	1.90	100.3
BT8_1	0.20	66.9	PRF100	2.33	103.0
BT8_2	0.20	65.6	PRF100	1.09	103.2
BT9	0.05	73.9	PRF300	2.50	103.2

6.8 Διόδευση υδρογραφημάτων στο υδρογραφικό δίκτυο

6.8.1 Επισκόπηση προβλήματος

Τα μοντέλα διόδευσης πλημμύρας (flood routing) αποσκοπούν στον προσδιορισμό του χρόνου και τιμής της παροχής (ή στάθμης) σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος ενός αγωγού, για δεδομένα υδρογραφήματα σε ένα ή περισσότερα σημεία ανάντη. Το πρόβλημα 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, που δεν περιγράφουν την πλήρη χωροχρονική εξέλιξη του φαινομένου αλλά ελέγχουν την στάθμη και την παροχή σε δύο σημεία, ανάντη και κατόντη. 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, αυτές οι μέθοδοι εφαρμόζουν μια εμπειρική σχέση έκφρασης του αποθηκευμένου όγκου νερού, $S(t)$, στον αγωγό, συναρτήσει άλλων μεταβλητών που υπεισέρχονται στην εξίσωση συνέχειας, ήτοι:

$$S(t) = \varphi[I(t), O(t)] \quad (6.20)$$

όπου $I(t)$ η εισροή στην ανάντη διατομή, $O(t)$ η εκροή στην κατόντη διατομή, και φ μια συνάρτηση μετασχηματισμού.

Στην παρούσα μελέτη, για κάθε κλάδο, εφαρμόζουμε δύο 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 υλοποιεί απλά και μόνο μια 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. Συνεπώς, αν L είναι το μήκος του αγωγού, ενώ z_u και z_d είναι τα υψόμετρα του ανάντη και κατόντη κόμβου, αντίστοιχα, η κλίση αυτή εκτιμάται ως:

$$J = \frac{z_u - z_d}{L} \quad (6.21)$$

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω σχέση αποτελεί αδρομερή μόνο εκτιμήτρια της μέσης κλίσης του υδατορεύματος, για την ασφαλή εκτίμηση της οποίας πρέπει να ληφθούν διατομές και σε ενδιάμεσες θέσεις. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου των δύο υδρολογικών συστημάτων που εξετάζονται είναι γενικά μικροί, η προσέγγιση αυτή κρίνεται αρκετά ικανοποιητική.

6.8.2 Μέθοδος *Muskingum*

Στην μέθοδο *Muskingum*, η εξίσωση συνέχειας διατυπώνεται ως εξίσωση διαφορών:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - O(t) \quad (6.22)$$

όπου $S(t)$ ο όγκος νερού που είναι αποθηκευμένος μεταξύ της ανάντη και κατόντη διατομής, $I(t)$ το γνωστό υδρογράφημα εισροής (που εκφράζεται σε όρους παροχής) και $O(t)$ το ζητούμενο υδρογράφημα εκροής (όλες οι διεργασίες αναφέρονται σε συνεχή χρόνο). Η αριθμητική προσέγγιση της παραπάνω σχέσης στο χρονικό διάστημα $\Delta t = [t, t - 1]$ διατυπώνεται μέσω ενός απλού σχήματος οπίσθιων διαφορών, που γράφεται ως εξής (με τα αντίστοιχα μεγέθη, πλέον, να εκφράζονται σε διακριτό χρόνο):

$$\frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t} = \frac{(I_t + I_{t-1})}{2} - \frac{O_t + O_{t-1}}{2} \quad (6.23)$$

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

$$\frac{S_t}{\Delta t} + \frac{O_t}{2} = \frac{S_{t-1}}{\Delta t} + \frac{(I_t + I_{t-1})}{2} - \frac{O_{t-1}}{2} \quad (6.24)$$

Για την επίλυση της (6.24) απαιτείται η διατύπωση μιας ακόμη σχέσης, που συνδέει την εκροή O_t με την αποθήκευση S_t . Η μέθοδος Muskingum χρησιμοποιεί την εμπειρική γραμμική σχέση:

$$S_t = K[\theta I_t + (1 - \theta) O_t] \quad (6.25)$$

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 (6.24) και (6.25) λαμβάνεται η ακόλουθη αναδρομική σχέση:

$$O_t = c_0 I_t + c_1 I_{t-1} + c_2 O_{t-1} \quad (6.26)$$

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

$$\begin{aligned} c_0 &= \frac{\Delta t - 2 K \theta}{2 K(1 - \theta) + \Delta t} \\ c_1 &= \frac{\Delta t + 2 K \theta}{2 K(1 - \theta) + \Delta t} \\ c_2 &= \frac{-\Delta t + 2 K(1 - \theta)}{2 K(1 - \theta) + \Delta t} \end{aligned} \quad (6.27)$$

Οι παραπάνω συντελεστές ικανοποιούν την προφανή σχέση $c_0 + c_1 + c_2 = 1$. Για δεδομένο υδρογράφημα εισόδου, και συνεπώς γνωστές την τρέχουσα και την 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 (υπενθυμίζεται ότι στην παρούσα μελέτη 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 μηδενιστεί 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 τα χαρακτηριστικά των υδατορευμάτων (μήκος, κλίση, τραχύτητα), σύμφωνα με την εμπειρική προσέγγιση του εδαφίου 6.8.4. Κατά συνέπεια, για μήκος διαδρομής L , ισχύει $K = L/V$.

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αύξηση της ταχύτητας ροής, και συνακόλουθα η μείωση του χρόνου ροής λόγω αύξησης της παραγόμενης απορροής με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς, η τιμή της παραμέτρου K μειώνεται, με αναφορά στον χρόνο συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης απορροής.

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):

$$2 K \theta \leq \Delta t \leq 2 K (1 - \theta) \quad (6.28)$$

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 του υδρογραφικού δικτύου, μήκους L , σε N επιμέρους τμήματα (υποκλάδους) μήκους, $\Delta L = L/N$, έτσι ώστε ο χρόνος διαδρομής στα εν λόγω τμήματα να ικανοποιεί της συνθήκες ευστάθειας. Το (ακέραιο) πλήθος των υποκλάδων προκύπτει από τη σχέση:

$$N = [K/\Delta t] \quad (6.29)$$

Έχοντας προσδιορίσει το πλήθος N , εφαρμόζεται η αναδρομική σχέση (6.26) διαδοχικά στους υποκλάδους, θέτοντας κοινό χρόνο διαδρομής $K' = K/N$ και υπολογίζοντας τους συντελεστές βάρους c_0, c_1, c_2 συναρτήσεως των K', θ και Δt . Στη συνέχεια, με γνωστό το υδρογράφημα εισροής του πρώτου υποκλάδου, παράγεται το υδρογράφημα εκροής, που ταυτίζεται με το υδρογράφημα εισροής του δεύτερου υποκλάδου, κ.ο.κ. Η διαδικασία συνεχίζεται ως την έξοδο του τελευταίου υποκλάδου, όπου παράγεται το υδρογράφημα εκροής του πλέον κατάντη κόμβου. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι μεταξύ των υποκλάδων δεν πραγματοποιούνται εισροές ή εκροές. Οι υδρολογικές αυτές διεργασίες αναφέρονται αποκλειστικά στους κόμβους του δικτύου και όχι στους ενδιάμεσους (υπολογιστικούς) κόμβους του αριθμητικού σχήματος.

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.

6.8.3 Μέθοδος χρονικής υστέρησης

Το μοντέλο χρονικής υστέρησης (lag) είναι εξαιρετικά απλό, καθώς το υδρογράφημα εξόδου προκύπτει με απλή χρονική μετατόπιση των τεταγμένων του υδρογραφήματος εισόδου, ήτοι:

$$O_t = I_{t-K} \quad (6.30)$$

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.

6.8.4 Κινηματική μέθοδος εκτίμησης χρονικής παραμέτρου διόδευσης

Γενική παράμετρος οποιουδήποτε σχήματος υδρολογικής διόδευσης είναι το χρονικό μέγεθος K , που εκφράζει, απλουστευτικά, έναν μέσο χρόνο ροής μεταξύ του ανάντη και κατόντη κόμβου του υδατορεύματος. Η εκτίμηση του χρόνου ροής στους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης απορροής βασίζεται σε μια ψευδο-υδραυλική προσέγγιση, αρχικά στοιχεία της οποίας παρουσιάζονται από τους Michailidi *et al.* (2018) και Risva *et al.* (2020), ενώ η πλήρης τεκμηρίωσή της δίνεται από τους Efstratiadis *et al.* (2022).

Στην προσέγγιση αυτή θεωρείται η σχέση ομοιόμορφης ροής του Manning, ήτοι:

$$V_i = \frac{1}{n_i} R_i^{2/3} J_i^{1/2} \quad (6.31)$$

όπου V_i η ταχύτητα ροής στον κλάδο i , n_i ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning, R_i η υδραυλική ακτίνα και J_i η υδραυλική κλίση, που στην ομοιόμορφη ροή ταυτίζεται με τη μέση κλίση του πυθμένα. Από τα παραπάνω μεγέθη, η τραχύτητα μπορεί να εκτιμηθεί μακροσκοπικά, με βάση την κατάσταση της κοίτης και της διατομής (ύπαρξη φερτών και άλλων εμποδίων, βλάστηση, κτλ.), ενώ η κλίση εκτιμάται προσεγγιστικά από τη σχέση (6.21). Αντίθετα, η υδραυλική ακτίνα απαιτεί υδραυλικούς υπολογισμούς, καθώς εξαρτάται από τη γεωμετρία της διατομής και το βάθος ροής, που είναι συνάρτηση της παροχής.

Οι υπολογισμοί απλουστεύονται δραστικά αν ο όρος της υδραυλικής ακτίνας θεωρηθεί ως ένα χαρακτηριστικό μέγεθος (παράμετρος) του υδρογραφικού δικτύου, ήτοι:

$$c = R_i^{2/3} \quad (6.32)$$

Αν είναι γνωστή η τιμή του c , τότε ο χρόνος ροής στους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$t_i = \frac{L_i}{V_i} = \frac{n_i L_i}{c J_i^{1/2}} \quad (6.33)$$

όπου L_i το μήκος του κλάδου i .

Η παράμετρος c 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 ακολουθεί τη μέγιστη διαδρομή κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, ενώ αν στον ανάντη κόμβο συμβάλλουν περισσότερες υπολεκάνες, θεωρείται αυτή με το μέγιστο χρόνο συγκέντρωσης, t_u . Επισημαίνεται ότι στο υδρολογικό μοντέλο, οι ανάντη μισγάγκειες δεν απεικονίζονται ως κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου, καθώς οι απορροές των ανάντη υπολεκάνων διοδεύονται απευθείας στους κόμβους εξόδου.

Έχοντας καθορίσει την μέγιστη διαδρομή στη λεκάνη, ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά της απορροής από τον πλέον ανάντη κόμβο μέχρι τον κόμβο εξόδου είναι η διαφορά:

$$t_r = t_c - t_u \quad (6.34)$$

όπου t_c και t_u οι χρόνοι συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης απορροής και την πλέον ανάντη υπολεκάνης της, αντίστοιχα. Οι χρόνοι αυτοί εκτιμώνται είτε από τη σχέση Giandotti, η οποία

θεωρείται αντιπροσωπευτική για μικρές περιόδους επαναφοράς, συγκεκριμένα έως 5 έτη, ενώ μειώνονται με βάση τη σχέση αναγωγής (6.19) για μεγάλες περιόδους επαναφοράς.

Έστω ότι το κύριο υδατόρευμα λεκάνης περιλαμβάνει N κλάδους, για κάθε έναν από τους οποίους είναι γνωστά το μήκος L_i , η τραχύτητα n_i , και η μέση κλίση J_i . Ο συνολικός χρόνος ροής, t_r , είναι ίσος με το άθροισμα των επιμέρους χρόνων, ήτοι:

$$t_r = t_1 + t_2 + \dots + t_N \quad (6.35)$$

Η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$t_r = \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + \dots + \frac{L_N}{V_N} \quad (6.36)$$

Αντικαθιστώντας την εξ. (6.33) προκύπτει:

$$t_r = \frac{1}{c} \left(\frac{n_1 L_1}{J_1^{1/2}} + \frac{n_2 L_2}{J_2^{1/2}} + \dots + \frac{n_N L_N}{J_N^{1/2}} \right) \quad (6.37)$$

Τέλος, συνδυάζοντας τις σχέσεις (6.34) και (6.37) λαμβάνουμε την τιμή της παραμέτρου υδραυλικής ακτίνας:

$$c = \frac{1}{t_c - t_u} \left(\frac{n_1 L_1}{J_1^{1/2}} + \frac{n_2 L_2}{J_2^{1/2}} + \dots + \frac{n_N L_N}{J_N^{1/2}} \right) = \frac{\beta}{t_c - t_u} \quad (6.38)$$

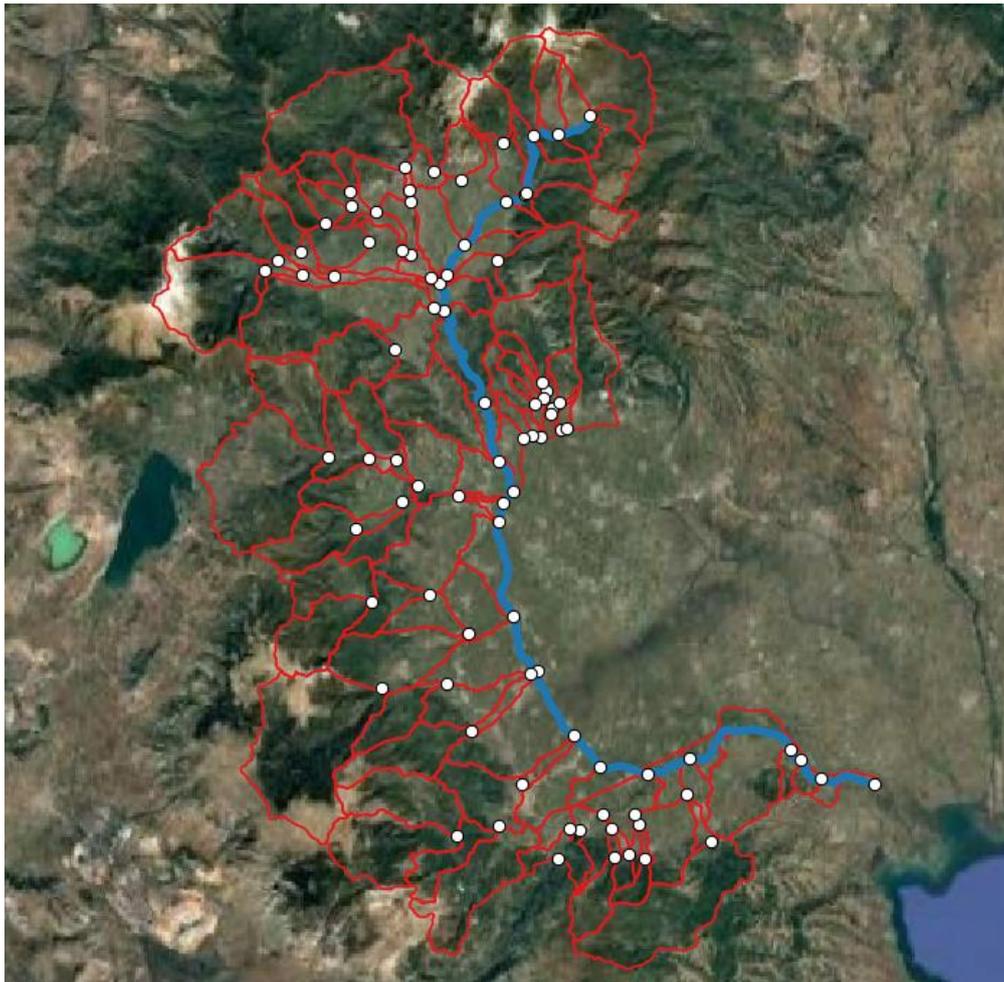
Συνεπώς, η παράμετρος c της υδραυλικής ακτίνας είναι αντιστρόφως ανάλογη της χρονικής διαφοράς $t_c - t_u$, που μειώνεται όσο αυξάνει η τιμή της βροχόπτωσης, και ανάλογη του όρου στην παρένθεση, που συμβολίζεται με β , και εξαρτάται από τα γεωμετρικά (μήκος, κλίση) και υδραυλικά (τραχύτητα) χαρακτηριστικά των κλάδων κατά μήκος της κύριας διαδρομής. Η ποσότητα $t_c - t_u$ μεταβάλλεται σε κάθε επεισόδιο καταιγίδας, ενώ η τιμή του β είναι σταθερή.

Με γνωστή πλέον την παράμετρο c , μπορούν να εκτιμηθούν η μέση ταχύτητα ροής σε κάθε κλάδο του υδρογραφικού δικτύου και ο αντίστοιχος χρόνος ροής, που εξισώνεται με τη χρονική παράμετρο του μοντέλου διάδευσης, K . Η παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζει την εσωτερική συνέπεια του μοντέλου, καθώς το άθροισμα όλων των χρόνων ροής κατά μήκος του κυρίου υδατορεύματος είναι συνεπές με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης.

6.8.5 Εφαρμογή στο υδροσύστημα Αλιάκμονα

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, εκτιμάται αρχικά ο σταθερός όρος β της σχέσης (6.38), που θεωρείται καθολική παράμετρος της υδραυλικής απόκρισης του υδρογραφικού δικτύου του υδροσυστήματος. Οι σχετικοί υπολογισμοί αναφέρονται στην κύρια διαδρομή νερού (**Εικόνα 6.12**), που περιλαμβάνει 24 κλάδους, τα χαρακτηριστικά των οποίων συνοψίζονται στον **Πίνακα 6.10**.

Ακόμη, στον **Πίνακα 6.11** δίνονται τα σταθερά γεωμετρικά και υδραυλικά μεγέθη των κλάδων του δικτύου, που εισάγονται στην εκτίμηση του χρόνου ροής (εξ. 6.33). Για τους συντελεστές τραχύτητας κατά Manning, εφαρμόζεται η τιμή 0.040 στον κάτω ρου του Αλιάκμονα, 0.030 κατά μήκος της κύριας Περιφερειακής Τάφρου, όπου η κοίτη είναι σχετικά καθαρή, ενώ στο ανάντη υδρογραφικό δίκτυο και τις στις τάφρους, τίθεται η τιμή 0.050. Η αντιστοίχιση έγινε με βάση δορυφορικές εικόνες Google Earth και φωτογραφικό υλικό από την εφαρμογή Street View. Όσον αφορά στο μοντέλο διάδευσης, εφαρμόζεται παντού η μέθοδος Muskingum, καθώς οι κλίσεις που αναπτύσσονται είναι παντού μικρότερες του 1%. Ομοίως, σε όλους τους κλάδους, η παράμετρος θ τέθηκε ίση με 0.20.



Εικόνα 6.12: Κύρια διαδρομή υδροσυστήματος Αλιάκμονα.

Πίνακας 6.10: Εκτίμηση σταθερού όρου β υδρογραφικού δικτύου υδροσυστήματος Αλιάκμονα, με βάση τα χαρακτηριστικά μεγέθη των κλάδων κατά μήκος της κύριας διαδρομής (από κατάντη προς ανάντη).

Κλάδος	Μήκος, L (km)	Κλίση, J	Τραχύτητα, n	$n L J^{-1/2}$
R_A2A1	5.42	0.000100	0.040	21664.2
R_A3A2	2.94	0.000340	0.040	6380.1
R_A4A3	1.51	0.001320	0.040	1667.5
R_A5A4	11.94	0.000518	0.040	20982.8
R_T1A5	4.28	0.000609	0.040	6944.5
R_T2T1	4.66	0.001064	0.030	4285.3
R_T3T2	3.86	0.000515	0.030	5106.8
R_T4T3	7.13	0.000100	0.030	21401.7
R_T5T4	5.85	0.000488	0.030	7947.2
R_T6T5	9.50	0.000133	0.030	24750.5
R_T7T6	1.88	0.001058	0.030	1735.0
R_T8T7	1.33	0.000668	0.030	1548.0
R_T31T8	3.30	0.000938	0.050	5394.0
R_T32T31	6.16	0.002638	0.050	6000.0
R_T33T32	13.21	0.004214	0.050	10176.5
R_T36T33	2.98	0.000335	0.050	8153.2
R_T54T36	1.03	0.003868	0.050	831.5

R_T55T54	3.78	0.003191	0.050	3342.5
R_T57T55	6.02	0.010489	0.050	2937.3
R_T59T57	2.01	0.019841	0.050	715.2
R_T60T59	0.24	0.032280	0.050	66.4
R_T61T60	6.26	0.033257	0.050	1715.6
R_T62T61	2.64	0.013680	0.050	1127.2
R_T63T62	4.05	0.015144	0.050	1644.7
Σύνολο	112.01	-	-	166517.7

Πίνακας 6.11: Δεδομένα μοντέλου διάδευσης υδρογραφικού δικτύου υδροσυστήματος Αλιάκμονα.

Κλάδος	Μέθοδος διάδευσης	Συντελεστής τραχύτητας, n	Κλίση, J
R_A10A9	Lag	0.05	0.0273
R_A11A9	Lag	0.05	0.0311
R_A12T1	Muskingum	0.04	0.0002
R_A13A12	Lag	0.05	0.0183
R_A14A12	Muskingum	0.04	0.0037
R_A15A14	Lag	0.04	0.0140
R_A2A1	Muskingum	0.04	0.0001
R_A3A2	Muskingum	0.04	0.0003
R_A4A3	Muskingum	0.04	0.0013
R_A5A4	Muskingum	0.04	0.0005
R_A6A5	Muskingum	0.05	0.0018
R_A7A6	Muskingum	0.05	0.0070
R_A8A6	Muskingum	0.05	0.0013
R_A9A8	Lag	0.05	0.0185
R_T10T9	Muskingum	0.05	0.0001
R_T11T10	Muskingum	0.05	0.0011
R_T12T11	Muskingum	0.05	0.0002
R_T13T12	Muskingum	0.05	0.0015
R_T14T3	Muskingum	0.05	0.0099
R_T15T14	Lag	0.05	0.0451
R_T16T15	Lag	0.05	0.0308
R_T17T4	Muskingum	0.05	0.0028
R_T18T17	Lag	0.05	0.0135
R_T19T17	Lag	0.05	0.0101
R_T1A5	Muskingum	0.04	0.0006
R_T20T5	Muskingum	0.05	0.0050
R_T21T20	Lag	0.05	0.0352
R_T22T20	Lag	0.05	0.0129
R_T23T22	Lag	0.05	0.0305
R_T24T7	Muskingum	0.05	0.0042
R_T25T24	Muskingum	0.05	0.0089
R_T26T25	Lag	0.05	0.0124
R_T27T26	Lag	0.05	0.0269
R_T28T25	Lag	0.05	0.0472
R_T29T28	Lag	0.05	0.0213
R_T2T1	Muskingum	0.03	0.0011
R_T30T29	Lag	0.05	0.0374
R_T31T8	Muskingum	0.05	0.0009

R_T32T31	Muskingum	0.05	0.0026
R_T33T32	Muskingum	0.05	0.0042
R_T34T33	Muskingum	0.05	0.0001
R_T35T34	Muskingum	0.05	0.0066
R_T36T33	Muskingum	0.05	0.0003
R_T37T36	Muskingum	0.05	0.0010
R_T38T37	Muskingum	0.05	0.0088
R_T39T38	Lag	0.05	0.0206
R_T3T2	Muskingum	0.03	0.0005
R_T40T39	Lag	0.05	0.0376
R_T41T39	Lag	0.05	0.0398
R_T42T38	Lag	0.05	0.0260
R_T43T37	Muskingum	0.05	0.0038
R_T44T43	Muskingum	0.05	0.0067
R_T45T44	Muskingum	0.05	0.0046
R_T46T43	Muskingum	0.05	0.0073
R_T47T46	Muskingum	0.05	0.0035
R_T48T47	Lag	0.05	0.0184
R_T49T48	Lag	0.05	0.0603
R_T4T3	Muskingum	0.03	0.0001
R_T50T48	Lag	0.05	0.0693
R_T51T46	Lag	0.05	0.0146
R_T52T51	Lag	0.05	0.0202
R_T53T51	Lag	0.05	0.0128
R_T54T36	Lag	0.05	0.0039
R_T55T54	Muskingum	0.05	0.0032
R_T56T55	Muskingum	0.05	0.0039
R_T57T55	Lag	0.05	0.0105
R_T58T57	Lag	0.05	0.0301
R_T59T57	Lag	0.05	0.0198
R_T5T4	Muskingum	0.03	0.0005
R_T60T59	Lag	0.05	0.0323
R_T61T60	Lag	0.05	0.0333
R_T62T61	Lag	0.05	0.0137
R_T63T62	Lag	0.05	0.0151
R_T64T54	Lag	0.05	0.0146
R_T65T11	Muskingum	0.05	0.0062
R_T66T12	Muskingum	0.05	0.0083
R_T67T66	Muskingum	0.05	0.0081
R_T68T67	Lag	0.05	0.0122
R_T69T67	Lag	0.05	0.0121
R_T6T5	Muskingum	0.03	0.0001
R_T70T69	Lag	0.05	0.0116
R_T71T66	Lag	0.05	0.0164
R_T7T6	Muskingum	0.03	0.0011
R_T8T7	Muskingum	0.03	0.0007
R_T9T8	Muskingum	0.05	0.0006
R_A16A13	Lag	0.05	0.0449

Πίνακας 6.12: Αναγωγή του χρόνου ροής κατά μήκος της κύριας διαδρομής του υδροσυστήματος Αλιάκμονα, σε σχέση με την τιμή αναφοράς για $T = 5$ έτη.

Περίοδος επαναφοράς (έτη)	Ύψος βροχής 24 h (mm)		Χρόνος συγκέντρωσης (h)		Χρόνος ροής κύριας διαδρομής (h)
	Συνολική λεκάνη	Ανάτη υπολεκάνη	Συνολική λεκάνη	Ανάτη υπολεκάνη	
5	111.0	107.3	22.36	2.88	19.48
20	159.6	153.5	18.64	2.41	16.24
50	199.1	191.0	16.69	2.16	14.53
100	233.7	223.8	15.41	1.99	13.42
200	272.8	261.0	14.26	1.85	12.42
1000	384.8	367.4	12.01	1.56	10.45

Στη συνέχεια εκτιμάται ο χρόνος συγκέντρωσης αναφοράς της συνολικής λεκάνης απορροής, μέσω της σχέσης του Giandotti. Στους υπολογισμούς, ως μέσο υψόμετρο λαμβάνεται η διάμεση τιμή που προκύπτει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, ήτοι 496.6 m, η οποία κρίνεται πιο αντιπροσωπευτική σε σχέση με το μέσο όρο, που ανέρχεται σε 621.5 m. Εφαρμόζοντας τη σχέση του Giandotti, για $A = 2669 \text{ km}^2$, $L = 112 \text{ km}$, και $\Delta z = 497 - 2 = 495 \text{ m}$, προκύπτει $t_c = 22.4 \text{ h}$. Δεδομένου ότι ο αντίστοιχος χρόνος της πλέον ανάτη υπολεκάνης BT63_2 εκτιμάται σε $t_u = 2.9 \text{ h}$, ο συνολικός χρόνος ροής κατά μήκος της κύριας διαδρομής προκύπτει ίσος με 19.5 h, που αντιστοιχεί σε μέση ταχύτητα 1.60 m/s. Η ταχύτητα αυτή είναι εύλογη, για συνήθη πλημμυρικά γεγονότα μικρών περιόδων επαναφοράς.

Όπως εξηγείται στο εδάφιο 6.5.6, ο χρόνος αυτός εφαρμόζεται μόνο για τα σενάρια που αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη. Για την υπόψη περίοδο επαναφοράς, το επιφανειακό ύψος βροχής, διάρκειας 24 ωρών, στη λεκάνη είναι ίσο με $h(5) = 111.0 \text{ mm}$ (η τιμή αυτή εξάγεται μέσω χωρικής ολοκλήρωσης των τιμών των υπολεκάνων), ενώ αυτός της ανάτη υπολεκάνης ανέρχεται σε 107.3 mm. Στις λουπές περιόδους επαναφοράς που εξετάζονται στη μελέτη το ύψος βροχής αυξάνει, οδηγώντας σε αντίστοιχη αναγωγή (μείωση) των χρόνων συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης απορροής και της πλέον ανάτη υπολεκάνης, και συνακόλουθη μείωση του χρόνου ροής κατά μήκος της κύριας διαδρομής (**Πίνακας 6.12**).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για κάθε σενάριο βροχόπτωσης που αντιστοιχεί σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς, ο ολικός χρόνος συγκέντρωσης, t_c , επιμερίζεται στην ανάτη υπολεκάνη BT63_2 (χρόνος συγκέντρωσης t_u) και στους κλάδους της κύριας διαδρομής (χρόνος ροής $t_c - t_u$). Με γνωστή πλέον τη χρονική διαφορά $t_c - t_u$, γίνεται ο υπολογισμός της παραμέτρου υδραυλικής ακτίνας, c , που είναι κοινή σε όλους τους κλάδους και αποτελεί, τελικά, συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς. Τελικά, μέσω της σχέσης (6.33) εκτιμώνται οι χρόνοι ροής και η αντίστοιχη χρονική παράμετρος, K , σε όλους τους κλάδους, για κάθε περίοδο επαναφοράς. Ακόμη, μέσω της σχέσης (6.29) εκτιμάται η κατάτμηση των μεγάλων μήκους κλάδων σε υπολογιστικούς υποκλάδους, όπου απαιτείται.

Με την παραπάνω μεθοδολογία υλοποιείται η διόδευση των παραγόμενων υδρογραφημάτων ανά κλάδο, εισάγοντας διαφορετικές τιμές του χρόνου διαδρομής, που εξαρτώνται από το εκάστοτε σενάριο βροχής, ήτοι την περίοδο επαναφοράς. Με τον τρόπο αυτό, καθώς αυξάνει η βροχόπτωση, μειώνεται ο χρόνος διαδρομής, παράγοντας έτσι πιο στενά πλημμυρογραφήματα, και συνακόλουθα πιο υψηλές παροχές αιχμής.

6.9 Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρων περιοχής μελέτης

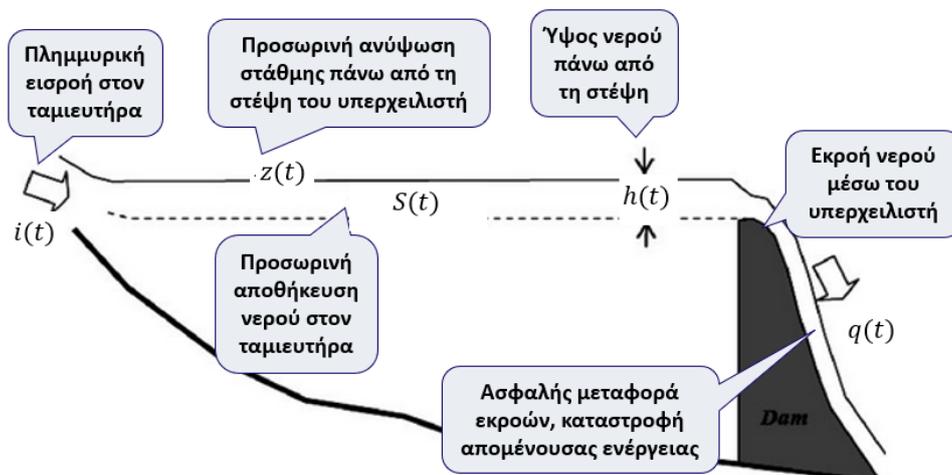
6.9.1 Γενικά

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 ανάντη στάθμη υπερβεί την ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα, τότε η πλεονάζουσα ποσότητα νερού εκρέει μέσω του υπερχειλιστή/εκχειλιστή του φράγματος. Ωστόσο, λόγω της εξάρτησης της παροχής εκροής των εν λόγω έργων από τη στάθμη, στα αρχικά στάδια της πλημμύρας που η εισερχόμενη παροχή υπερβαίνει την παροχετευτικότητα (λόγω περιορισμένης ανύψωσης της στάθμης), γίνεται ανάσχεση μέρους της πλημμυρική απορροής και προσωρινή αποθήκευσή της στον ταμιευτήρα. Αντίθετα, σε επόμενο στάδιο η στάθμη έχει ανέλθει σε υψηλά επίπεδα, οπότε η παροχετευτικότητα αυξάνει, ενώ η παροχή εκροής μειώνεται, με αποτέλεσμα να εκρέει μεγαλύτερη παροχή από την εισερχόμενη. Πρόκειται δηλαδή για ένα φαινόμενο διόδευσης, κατά το οποίο το υδρογράφημα εξόδου έχει εξ ορισμού πιο εξομαλυμένο σχήμα σε σχέση με το αντίστοιχο υδρογράφημα εισόδου. Το υπολογιστικό πλαίσιο διόδευσης πλημμυρών διαμέσου υπερχειλιστή περιγράφεται στο εδάφιο 6.9.2.

Εντός των ορίων του υδρολογικού συστήματος αναπτύσσονται δύο σημαντικά έργα ταμίευσης, η λειτουργία των οποίων επηρεάζει το καθεστώς των παραγόμενων πλημμυρικών ροών, ήτοι η εν μέρει φυσική λίμνη Άγρα, που διαθέτει σύστημα υπερχειλίστη προς την παλιά κοίτη του Εδεσσαίου, και ο αναρρυθμιστικός ταμιευτήρας Αγ. Βαρβάρας, που αποτελεί κομβικό στοιχείο του συστήματος, ως το κατάντη έργο του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα. Η αναπαράσταση της λειτουργίας των δύο αυτών έργων περιγράφεται στα εδάφια 6.9.3 και 6.9.4, αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα έργα ταμίευσης, με κυριότερα τους μικρούς αναρρυθμιστικούς ταμιευτήρες κατάντη των ΥΗΣ Άγρα και Εδεσσαίου, πραγματοποιούν αμελητέα ανάσχεση, και δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο.

6.9.2 Υπολογιστικό πλαίσιο διόδευσης πλημμυρών διαμέσου υπερχειλιστή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ύπαρξη υπερχειλιστών και άλλων έργων ελέγχου των εκροών σε ταμιευτήρες (π.χ. υδροστρόβιλοι) επιτρέπει τη μερική ή ακόμα και ολική ανάσχεση των εισερχομένων πλημμυρών, ανάλογα με την αποθηκευτικότητα που διατίθεται έως την ανώτατη στάθμη λειτουργίας κατά την έναρξη της πλημμύρας. Ωστόσο, ακόμα και στη δυσμενή περίπτωση που ο ταμιευτήρας είναι εξαρχής σε ολική πλήρωση, η πλημμύρα συγκρατείται προσωρινά και εξέρχεται εξομαλυμένη, ήτοι με μεγαλύτερο χρόνο βάσης και μικρότερη παροχή αιχμής, λόγω των διεργασιών διόδευσης.



Εικόνα 6.13: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου διόδευσης πλημμύρας διαμέσου υπερχειλιστή.

Στην **Εικόνα 6.13** φαίνονται τα βασικά μεγέθη (μεταβλητές) που ενδιαφέρουν στους υπολογισμούς, τα οποία είναι τα πλημμυρογράφημα εισόδου και εξόδου, η στάθμη νερού στον ταμιευτήρα και το αντίστοιχο απόθεμα, και το βάθος ροής πάνω από τη στέψη του υπερχειλιστή.

Ειδικότερα, ως δεδομένα εισόδου θεωρούνται:

- το υδρογράφημα εισροής, i_t
- η σχέση στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα, $s = s(z)$
- η σχέση στάθμης-παροχής του υπερχειλιστή, $q = q(z)$, και άλλων έργων υδροληψίας, αν υπάρχουν.
- η αρχική στάθμη ταμιευτήρα κατά την έναρξη του φαινομένου, z_0

Τα δεδομένα εξόδου είναι το πλημμυρογράφημα εκροής από τον υπερχειλιστή, $q(t)$, και η χρονική εξέλιξη της στάθμης, $z(t)$.

Επισημαίνεται ότι στο πλαίσιο του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης, το οποίο υλοποιείται στο λογισμικό HEC-HMS, ο ταμιευτήρας αναπαρίσταται ως κόμβος, το υδρογράφημα εισροής του οποίου είναι αποτέλεσμα της διόδευσης των παραγόμενων πλημμυρικών απορροών στο σύνολο της λεκάνης που βρίσκεται ανάντη του φράγματος. Συνεπώς, ο υπολογισμός του όρου i_t είναι δυναμικός, και γίνεται εσωτερικά στο μοντέλο.

Από την άλλη πλευρά, οι σχέσεις $s = s(z)$ και $q = q(z)$, όπως και η αρχική στάθμη, z_0 , είναι εκ των προτέρων γνωστά. Στο περιβάλλον του HEC-HMS, η πρώτη δίνεται υπό τη μορφή σημειοσειράς, ήτοι ζευγών στάθμης και αποθέματος, ενώ για τη δεύτερη ορίζεται ο τύπος του υπερχειλιστή και τα χαρακτηριστικά του μεγέθη.

Η απλούστερη περίπτωση είναι αυτή του ελεύθερου υπερχειλιστή, τύπου ogee, η σχέση στάθμης-παροχής του οποίου δίνεται από (Roberson *et al.*, 1988):

$$q = c \sqrt{2g} L H^{3/2} \quad (6.39)$$

όπου c ο συντελεστής παροχής, L το ενεργό μήκος του υπερχειλιστή, z_0 η στέψη του ogee, z_c , και $H = z - z_c + \frac{v^2}{2g}$ το υδραυλικό φορτίο, ήτοι το βάθος ροής πάνω από τη στέψη, $z - z_c$, και ο όρος κινητικής ενέργειας. Η παραπάνω σχέση είναι μη γραμμική, καθώς ο συντελεστής παροχής εξαρτάται από την παροχή και τη γεωμετρία του ogee, ενώ ο όρος της κινητικής ενέργειας επίσης εμπεριέχει την παροχή. Η παραπάνω σχέση είναι μη γραμμική, καθώς ο συντελεστής παροχής εξαρτάται από την παροχή και τη γεωμετρία του ogee, ενώ ο όρος της κινητικής ενέργειας επίσης εμπεριέχει την παροχή. Ακόμη, στην εκτίμηση του ενεργού μήκους του υπερχειλιστή λαμβάνεται υπόψη το συνολικό του άνοιγμα, αφαιρώντας όρους τοπικών απωλειών που οφείλονται στην παρεμβολή ακροβάθρων και μεσοβάθρων, που και αυτοί έχουν (μικρή) εξάρτηση από την παροχή. Για απλούστευση, και σε επίπεδο προκαταρκτικών κυρίως αναλύσεων, ο όρος $C = c \sqrt{2g}$ θεωρείται ως σταθερά, με τιμές που κυμαίνονται από 1.70 έως 2.30 (ανάλογα με την κατάσταση του υπερχειλιστή), οι τοπικές απώλειες λόγω ακροβάθρων και μεσοβάθρων θεωρούνται αμελητέες, ενώ αγνοείται ο όρος της κινητικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτή, η σχέση στάθμης-παροχής διατυπώνεται σε ρητή μορφή, ήτοι:

$$q = C L (z - z_c)^{3/2} \quad (6.40)$$

Όσον αφορά στην στάθμη του ταμιευτήρα κατά την έναρξη του πλημμυρικού επεισοδίου, που αποτελεί αρχική συνθήκη του μοντέλου, ο προσδιορισμός της εξαρτάται από το σκοπό της εκάστοτε μελέτης. Σε μελέτες σχεδιασμού έργων υπερχειλίσης, λαμβάνεται η δυσμενέστερη περίπτωση του ταμιευτήρα σε ολική πλήρωση, θέτοντας $z_0 = z_c$.

Με βάση τα παραπάνω, η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος διόδευσης έχει ως βάση την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου (εξίσωση συνέχειας), που σε συνεχή μορφή γράφεται ως:

$$ds/dt = i(t) - q(t) \quad (6.41)$$

Για τον υπολογιστικό χειρισμό της, η παραπάνω σχέση γράφεται ως εξίσωση διαφορών στο χρονικό διάστημα $\Delta t = t_j - t_{j-1}$, ήτοι:

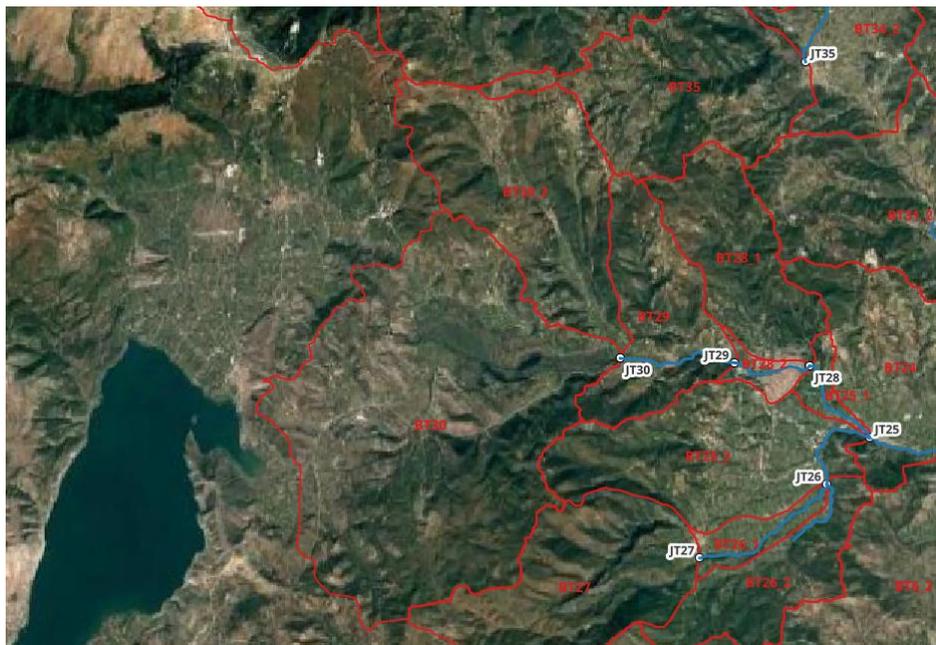
$$s(z_j) - s(z_{j-1}) = \frac{1}{2} [i_j + i_{j-1} - q(z_j) - q(z_{j-1})] \Delta t \quad (6.42)$$

Σε κάθε χρονικό βήμα j , είναι γνωστά τα μεγέθη $s(z_{j-1})$, $q(z_{j-1})$, i_j και i_{j-1} , ενώ είναι άγνωστα τα μεγέθη $s(z_j)$ και $q(z_j)$, που είναι μη γραμμικές εξισώσεις της στάθμης z_j . Η εξίσωση μπορεί να λυθεί είτε βήμα προς βήμα είτε ως σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων, με αγνώστους τις στάθμες z_j ή τις μεταβολές στάθμης, $\Delta z_j = z_j - z_0$, και γνωστή αρχική συνθήκη τη στάθμη z_0 στο χρόνο έναρξης t_0 .

6.9.3 Αναπαράσταση λειτουργίας υδροσυστήματος Έδεσσαίου

Όπως αναφέρεται στο εδάφιο 2.4.1, ως υδροσύστημα Έδεσσαίου νοείται το σύστημα έργων της ΔΕΗ, από τη λίμνη Νησίου έως κατάντη της Έδεσσας, που έχουν ως στόχο την υδροηλεκτρική αξιοποίηση των νερών της λίμνης, σε συνδυασμό με την αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής. Η σχηματοποίησή του, στο πλαίσιο της υδρολογικής προσομοίωσης, φαίνεται στην **Εικόνα 6.14**.

Ειδικότερα, η λίμνη Νησίου αναπαρίσταται ως ταμιευτήρας, με έξοδο τον κόμβο JT30, στον οποίον απορρέουν οι υπολεκάνες BT30 (εντός της οποίας αναπτύσσεται η λίμνη) και BT30_2 (υπολεκάνη ρέματος Κερασιάς). Στο πλαίσιο της προσομοίωσης ισχυρών πλημμυρικών επεισοδίων, θεωρείται ότι τα θυροφράγματα του αγωγού εκτροπής προς τον ΥΗΣ Άγρα είναι κλειστά, οπότε η μόνη έξοδος του συστήματος είναι μέσω του υπερχειλιστή που κατασκεύασε η ΔΕΗ στις αρχές της δεκαετίας του 1970 (**Εικόνα 2.7**), προς την παλαιά κοίτη του Έδεσσαίου (κλάδος R_T30T29). Η υπόθεση αυτή είναι εύλογη, καθώς, όπως εξηγείται στο εδάφιο 2.4.2, σε περιόδους πλημμυρών, και έχοντας ως προτεραιότητα την αντιπλημμυρική προστασία της Έδεσσας, επιδιώκεται παύση της εκτροπής υδάτων προς τον ΥΗΣ Άγρα και την κατάντη αυτού δεξαμενή αναρρύθμισης. Η τελευταία αντιστοιχεί στον κόμβο JT29, όμως λόγω της περιορισμένης της χωρητικότητας, θεωρείται ότι δεν υλοποιεί ουσιώδη ανάσχεση των εισερχόμενων πλημμυρικών ροών, οπότε προσομοιώνεται ως κοινός κόμβος, και όχι ως ταμιευτήρας.



Εικόνα 6.14: Σχηματοποίηση υδροσυστήματος Έδεσσαίου.

Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, για την αναπαράσταση των διεργασιών διόδευσης διαμέσου του υπερχειλιστή, απαιτούνται ο προσδιορισμός της σχέσης στάθμης-αποθέματος της λίμνης, των χαρακτηριστικών μεγεθών του έργου υπερχειλίσης, και της αρχικής στάθμης κατά την έναρξη του κάθε επεισοδίου βροχής.

Τα μεγέθη αυτά εκτιμήθηκαν με βάση πληροφορίες που αντλήθηκαν από τη μελέτη των Βαλιούλη κ.ά. (2002). Ειδικότερα, η κατάρτιση της σχέσης στάθμης-αποθέματος βασίστηκε στα δεδομένα του Πίνακα 6.13, που αφορούν σε τέσσερα σενάρια λειτουργίας της λίμνης Νησίου, για διαφορετικές αρχικές στάθμες και ίδια πλημμυρική εισροή, ήτοι 8 283 776 m³, για τα οποία παρατίθενται η μέγιστη στάθμη ανάσχεσης και ο αντίστοιχος όγκος. Σύμφωνα με την κοινή πρακτική, θεωρήθηκε ότι η σχέση στάθμης-αποθέματος της λίμνης περιγράφεται από μια εξίσωση δύναμης της μορφής:

$$s(z) = a(z - z_0)^b \quad (6.43)$$

Θέτοντας ως στάθμη αναφοράς z_0 το υψόμετρο των +478.70 m, ήτοι τη στέψη του υπερχειλιστή του έργου εξόδου προς τον ΥΗΣ Άγρα, προσδιορίστηκαν, μέσω βαθμονόμησης, του τιμές των παραμέτρων κλίμακας και σχήματος, ήτοι $a = 7.904$ και $b = 0.984$ (για υπολογισμό του αποθέματος σε hm³). Η σχέση είναι πρακτικά γραμμική, το οποίο οφείλεται στην εξαιρετικά ήπια μορφή του αναγλύφου, ενώ αντίθετα σε τυπικούς ορεινούς ταμιευτήρες, η παράμετρος σχήματος b , που ελέγχει την καμπυλότητα της σχέσης, λαμβάνει τιμές της τάξης του 2.5 έως 3.0 (Efstratiadis *et al.*, 2021).

Ως προς τα χαρακτηριστικά μεγέθη του υπερχειλιστή, θεωρείται ότι είναι τύπου ogee, με πλάτος 27.0 m, υψόμετρο στέψης 480.3 m και συντελεστή παροχής $C = 1.80$ (χαμηλή τιμή, καθώς το έργο δεν συντηρείται, οπότε αναμένεται να έχει σημαντικές υδραυλικές απώλειες). Σε όλα τα σενάρια που εξετάζονται, ως αρχική στάθμη της λίμνης λαμβάνονται τα 478.70 m.

Επισημαίνεται ότι στις προσομοιώσεις, οι κλειστές λεκάνες Γιάννοβα-Κρούσσα και Λακόνη, συνολικής έκτασης 18.5 km², που αναπτύσσονται στη βόρεια περίμετρο της λίμνης, δεν προσμετρώνται στην επιφάνεια της υπολεκάνης BT30, η συνολική έκταση της οποίας ανέρχεται σε 96.8 km², ενώ η έκταση που εφαρμόζεται στο υδρολογικό μοντέλο είναι 78.8 km².

Πίνακας 6.13: Χαρακτηριστικά μεγέθη των σεναρίων που παρατίθενται στην υδρολογική μελέτη των Βαλιούλη κ.ά. (2002).

Σενάριο	Αρχική στάθμη (m)	Μέγιστη στάθμη (m)	Μέγιστος όγκος ανάσχεσης (m ³)
RUN1	478.70	479.74	8 283 776
RUN2	479.00	480.04	8 283 776
RUN3	479.70	479.50	6 167 465
RUN4	480.30	481.05	5 645 811

6.9.4 Αναπαράσταση λειτουργίας ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας

Στο πλαίσιο της υδρολογικής προσομοίωσης, θεωρείται ότι στον αναρρυθμιστικό ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας εισέρχονται: (α) μια ελεγχόμενη παροχή διαμέσου του υπερχειλιστή και των στροβίλων του ανάντη ταμιευτήρα Ασωμάτων, η οποία είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, και η οποία διαφοροποιείται ανά διαχειριστικό σενάριο, και (β) η πλημμυρική απορροή της τοπικής υπολεκάνης BA14, που παράγεται εντός της προσομοίωσης.

Τα σενάρια σταθερής εκροής από τον ταμιευτήρα Ασωμάτων που εξετάζονται (αναφέρονται στη συνέχεια ως *διαχειριστικά σενάρια*) ανέρχονται 300, 600, 900 και 1300 m³/s. Το πρώτο σενάριο υποθέτει πλήρη λειτουργία των στροβίλων, ενώ στα άλλα τρία σενάρια θεωρείται λειτουργία και του συστήματος υπερχειλίσης, έως το όριο παροχетеυτικότητας. Για λόγους σύγκρισης, εξετάζεται

επίσης το λεγόμενο *σενάριο βάσης*, στο οποίο θεωρείται το Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Αλιάκμονα δεν συνεισφέρει στις υδρολογικές διεργασίες της περιοχής μελέτης, με εξαίρεση την απελευθέρωση της θεσμοθετημένης οικολογικής παροχής των $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$, το μέγεθος της οποίας είναι αμελητέο σε σχέση με τις πλημμυρικές παροχές του υδροσυστήματος.

Για την υπολογιστική υλοποίησή των παραπάνω τιμών εκροής στο περιβάλλον του HEC-HMS, αυτές μετατρέπονται σε ισοδύναμη βασική ροή της υπολεκάνης BA14.

Η σχέση στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας καταρτίστηκε με βάση δεδομένα που δόθηκαν από τη ΔΕΗ, σε μορφή σημειοσειράς, στα οποία προσαρμόστηκε η γραμμική εξίσωση $s(z) = 1.08z - 41.85$ (z σε m, s σε hm^3).

Όπως αναφέρεται στο εδάφιο 2.4.3, το σύστημα υπερχειλίσης του φράγματος Αγ. Βαρβάρας αποτελείται από πέντε κύρια θυροφράγματα με υδραυλικούς κυλίνδρους, τρία εκ των οποίων είναι μερικώς κατακλινόμενα, με συνολική παροχή σχεδιασμού $1520 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι διαστάσεις των θυροφραγμάτων είναι $6.44 \times 7.45 \text{ m}$ το κάθε ένα. Η Το υψόμετρο της στέψης του εκχειλιστή είναι στα $+35.00 \text{ m}$, η κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στα $+38.75$ και $+42.10 \text{ m}$, αντίστοιχα, η ανώτατη στάθμη πλημμύρας εκτιμάται στα $+42.50 \text{ m}$, ενώ η στέψη του φράγματος φτάνει στα $+43.50 \text{ m}$.

Για την αναπαράσταση των διεργασιών διόδευσης μέσω του εκχειλιστή του φράγματος, γίνεται η απλουστευτική υπόθεση ότι τα θυροφράγματα είναι πλήρως ανοιχτά, και ότι το σύστημα λειτουργεί ως ελεύθερος υπερχειλιστής τύπου ogee, συνολικού πλάτους $5 \times 6.44 = 32.2 \text{ m}$. Στους υπολογισμούς θεωρείται συντελεστή παροχής ίσος με 2.15. Υπενθυμίζεται ότι η τιμή του εν λόγω συντελεστή είναι μεταβλητή, ενώ εφαρμόζοντας τη σχέση (6.40) για $C = 2.30$, που είναι η μεγιστοποιημένη τιμή του για τις ιδεατές συνθήκες σχεδιασμού, και θέτοντας $L = 32.2 \text{ m}$, και $H = 42.5 - 35.0 = 7.5 \text{ m}$ (φορτίο σχεδιασμού), επαληθεύεται η παροχή σχεδιασμού των $1520 \text{ m}^3/\text{s}$.

Όσον αφορά στην αρχική στάθμη, αυτή προσδιορίζεται μέσω δοκιμών, προκειμένου στην αρχή της προσομοίωσης να διέρχεται από τον υπερχειλιστή η επιθυμητή σταθερή ροή του αντίστοιχου διαχειριστικού σεναρίου. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη γιατί στην πραγματικότητα, η εκροή είναι ρυθμιζόμενη μέσω των θυροφραγμάτων, το οποίο ωστόσο δεν δύναται να απεικονιστεί στο απλοποιημένο αυτό σχήμα διόδευσης.

7 Αποτελέσματα υδρολογικής ανάλυσης

7.1 Πιθανοτικό πλαίσιο ερμηνείας υδρολογικών μεγεθών

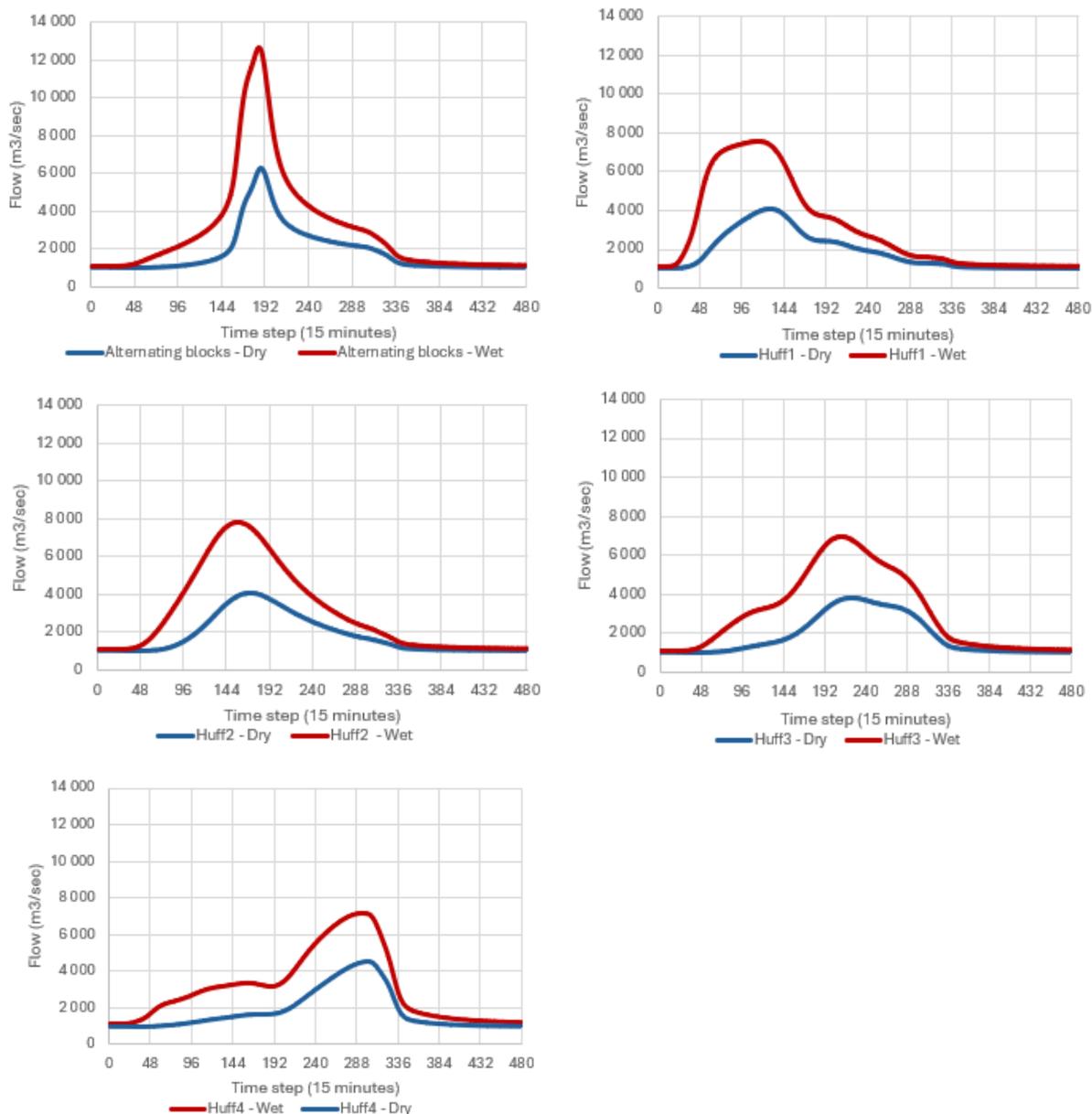
Οι τυπικές πρακτικές μηχανικού παρέχουν σημειακές και μόνο εκτιμήσεις των πλημμυρικών μεγεθών ενδιαφέροντος μιας λεκάνης απορροής (σε όρους παροχών αιχμής, πλημμυρικών όγκων, διάρκειας πλημμυρικών υδρογραφήματων, κτλ.), η πιθανότητα υπέρβασης των οποίων προσδιορίζεται ρητά από την περίοδο επαναφοράς του (μοναδικού) επεισοδίου καταιγίδας που εξετάζεται, το οποίο έχει δεδομένο χρονικό προφίλ και προσπίπτει σε δεδομένες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας (ως επί το πλείστον, τις λεγόμενες μέσες συνθήκες, στις οποίες αντιστοιχεί ο αριθμός καμπύλης αναφοράς). Σε αντιδιαστολή, τα αποτελέσματα του πιθανοτικού πλαισίου που υιοθετήθηκε στην παρούσα έρευνα μπορούν μόνο να ερμηνευθούν από πιθανοτική σκοπιά, το οποίο επιτρέπει επίσης την εκτίμηση της αβεβαιότητας κάθε μεγέθους ενδιαφέροντος για κάθε περίοδο επαναφοράς.

Τονίζεται ότι εκτός από το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης, με το λογισμικό HEC-HMS, στη συνέχεια υλοποιούνται δισδιάστατες υδροδυναμικές αναλύσεις στις χαμηλές (και πλέον ευάλωτες) περιοχές του υδροσυστήματος, ήτοι στο τμήμα του Αλιάκμονα από το φράγμα Αγ. Βαρβάρας έως της έξοδό του, μέσω του λογισμικού HEC-RAS. Συνεπώς, η πιθανοτική ερμηνεία των δεδομένων εξόδου αφορά τόσο στην υδρολογική όσο και την υδροδυναμική ανάλυση του υδροσυστήματος.

Έστω $x_{i,T}$ μια μεταβλητή εξόδου που αναφέρεται σε κάποιο στοιχείο του υδρολογικού μοντέλου (υπολεκάνη, κλάδο, κόμβο). Στη γενική περίπτωση, το στοιχείο x υποδηλώνει ένα διάλυμα προσομοιωμένων τιμών στον χρονικό ορίζοντα των πέντε ημερών της υδρολογικής προσομοίωσης (480 τιμές), ενώ οι δείκτες i, T επιτρέπουν την αναγνώριση του αντίστοιχου υδρολογικού σεναρίου. Σημειώνεται ότι ο δείκτης T υποδηλώνει την περίοδο επαναφοράς της βροχόπτωσης, ενώ ο δείκτης i το χρονικό προφίλ της βροχής που προσπίπτει σε δεδομένες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας. Κατά συνέπεια, για κάθε περίοδο επαναφοράς T λαμβάνονται 50 προσομοιωμένες χρονοσειρές $x_{i,T}$, από τον συνδυασμό των πέντε χρονικών προφίλ και δέκα καταστάσεων αρχικής εδαφικής υγρασίας.

Προκειμένου να εξηγηθεί καλύτερα η επίδραση του χρονικού προφίλ και των συνθηκών αρχικής εδαφικής υγρασίας στα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου, στο παράδειγμα της **Εικόνας 7.1** αντιπαραβάλλονται τα προσομοιωμένα υδρογραφήματα στην έξοδο του υδροσυστήματος, για τα πέντε χρονικά προφίλ της προσπίπτουσας βροχής περιόδου επαναφοράς 1000 ετών, και τις δύο πλέον ακραίες συνθήκες υγρασίας (ξηρότερη, υγρότερη). Αν και η συνολική ποσότητα βροχής που προσπίπτει στο χρονικό διάστημα των 72 ωρών είναι η ίδια, η απόκριση της λεκάνης απορροής διαφοροποιείται δραστικά. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο πιο υγρές είναι οι αρχικές συνθήκες τόσο αυξάνει ο όγκος της πλημμύρας, και συνακόλουθα η παροχή αιχμής, ενώ μεταξύ των διαφορετικών χρονικών προφίλ, για τις ίδιες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας, παράγεται ο ίδιος όγκος πλημμύρας, οι οποίοι κατανέμονται διαφορετικά στο χρόνο. Παρατηρείται ότι η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ οδηγεί στη δυσμενέστερη κατανομή της απορροής, με συνέπεια να παράγονται πιο στενά υδρογραφήματα, άρα και σημαντικά υψηλότερες παροχές αιχμής, σε σχέση με τα τυποποιημένα προφίλ που προκύπτουν με τη μέθοδο Huff.

Υπενθυμίζεται ότι τα υδρολογικά σενάρια διερευνώνται σε συνδυασμό με τέσσερα διαχειριστικά σενάρια του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα, στα οποία διοχετεύεται, μέσω του φράγματος Ασωμάτων, σταθερή παροχή ίση με 300, 600, 900 και 1300 m³/s, αντίστοιχα, καθώς και το λεγόμενο σενάριο βάσης, στο οποίο διοχετεύεται μόνο η οικολογική παροχή. Τα σενάρια αυτά δεν επηρεάζουν την υδρολογική λειτουργία της λεκάνης που αποστραγγίζεται μέσω της Περιφερειακής Τάφρου, παρά μόνο το υδρολογικό σύστημα του κάτω ρου του Αλιάκμονα.



Εικόνα 7.1: Σύγκριση πλημμυρογραφημάτων στον κόμβο εξόδου για $T = 1000$ έτη, με σύγκριση των πλέον ξηρών και πλέον υγρών συνθηκών αρχικής υγρασίας για κάθε προφίλ κατανομής της βροχής.

7.2 Πρωτόκολλο στατιστικής επεξεργασίας υδρολογικών μεγεθών

Από τη χρονοσειρά των 480 προσομοιωμένων τιμών, εκτιμάται μια χαρακτηριστική τιμή της, $x_{i,T}^*$ (π.χ., μέση, ελάχιστη, μέγιστη). Στη συνέχεια, από το δείγμα των 50 χαρακτηριστικών τιμών $x_{i,T}^*$, εκτιμώνται πέντε ποσοστημόρια ενδιαφέροντος (10, 25, 50, 75, 90%), λαμβάνοντας την 5^η, 12^η, 25^η, 38^η και 45^η τιμή του διατεταγμένου δείγματος. Αυτό επιτρέπει την ανάκτηση των τιμών που αντιστοιχούν σε δεδομένες πιθανότητες μη υπέρβασης, μεταξύ άλλων και της διάμεσης τιμής κάθε μεταβλητής (ποσοστημόριο 50%), καθώς και την εμπειρική εκτίμηση των ορίων εμπιστοσύνης 50 και 80%.

Από την πληθώρα των δεδομένων εξόδου του υδρολογικού μοντέλου, αναλύουμε τρία μεγέθη, ήτοι την πλημμυρική απορροή και αντίστοιχους τους πλημμυρικούς όγκους που παράγονται στις υπολεκάνες, καθώς και τις παροχές αιχμής στους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου. Τα πλήρη

αποτελέσματα, σε μορφή πιθανοτικών διαγραμμάτων (ήτοι εμπειρικά ποσοστημόρια για επτά περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν), δίνονται σε ψηφιακό αρχείο.

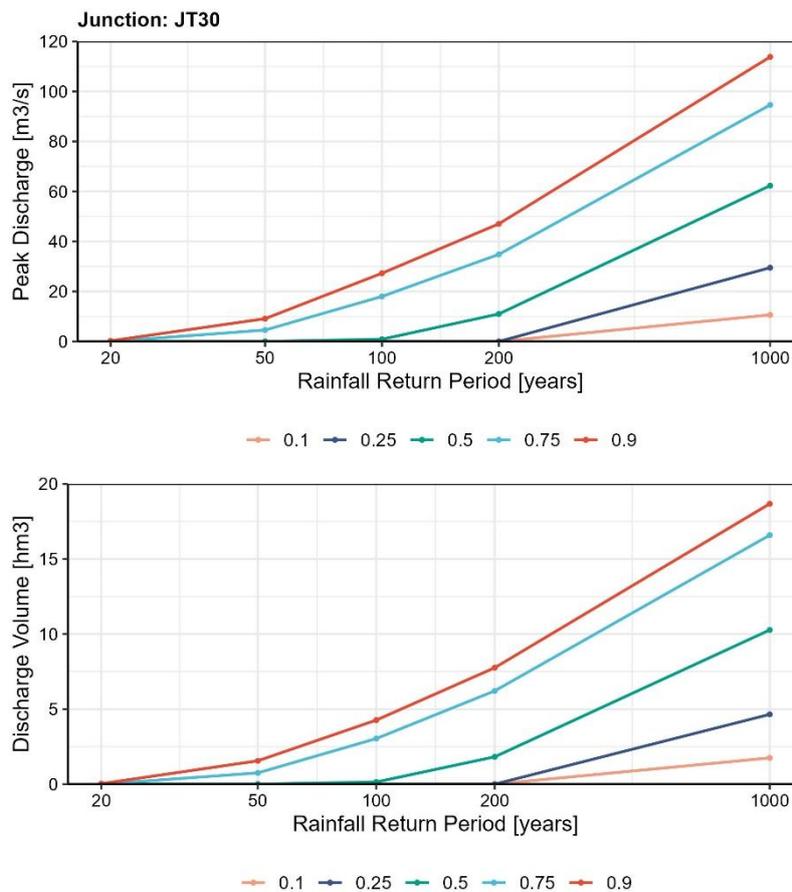
Τονίζεται ότι οι πλημμυρικές ροές κατά μήκος του Αλιάκμονα και τα αντίστοιχα πιθανοτικά μεγέθη αναθεωρούνται στη συνέχεια, μέσω του πολύ πιο λεπτομερούς και θεωρητικά πιο συνεπούς υδροδυναμικού μοντέλου. Υπενθυμίζεται ότι στο πλαίσιο της υδρολογικής προσομοίωσης, η διόδευση των ροών στο υδρογραφικό δίκτυο υλοποιείται μέσω απλοποιημένων σχημάτων, ήτοι της μεθόδου Muskingum, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η σύνθετη δυναμική του φαινομένου, η χωρική γεωμετρική λεπτομέρεια, οι περιορισμοί παροχετευτικότητας και οι παρεμβολές των τεχνικών έργων.

7.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων προσομοίωσης σε θέσεις ενδιαφέροντος

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης, υπό τη μορφή πιθανοτικών διαγραμμάτων των παροχών αιχμής και παραγόμενων όγκων πλημμύρας, σε χαρακτηριστικά σημεία ενδιαφέροντος του υδροσυστήματος.

7.3.1 Υπερχειλιστής λίμνης Άγρα-Βρυττών-Νησιού

Στα πιθανοτικά διαγράμματα της **Εικόνας 7.2** δίνονται οι παροχές αιχμής και οι πλημμυρικοί όγκοι που εκρέουν μέσω του ελεύθερου υπερχειλιστή της λίμνης Άγρα-Βρυττών-Νησιού προς την παλαιά κοίτη του Εδεσσαίου. Η θέση αυτή αντιστοιχεί στον κόμβο JT30 του μοντέλου. Υπενθυμίζεται ότι σε όλες τις υδρολογικές προσομοιώσεις, η λίμνη έχει τεθεί στην ανώτατη στάθμη κανονικής λειτουργίας της, ήτοι +478.70 m (στέψη υπερχειλιστή διώρυγας προσαγωγής προς τον ΥΗΣ Άγρα).

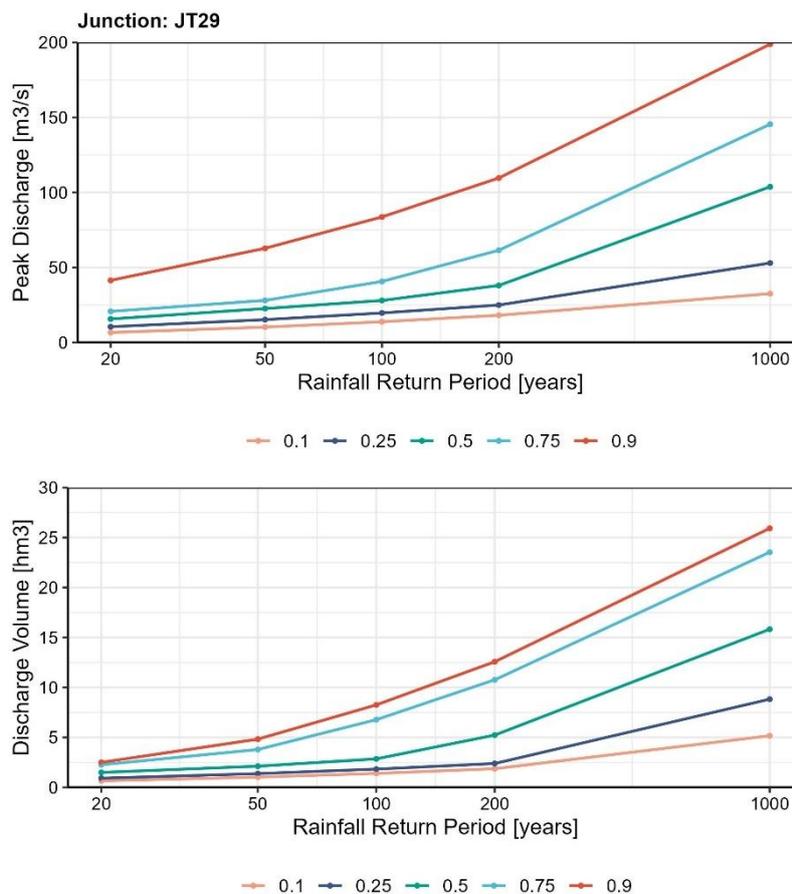


Εικόνα 7.2: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής (πάνω) και πλημμυρικών όγκων (κάτω) στην έξοδο της λίμνης Άγρα-Βρυττών-Νησιού προς την παλαιά κοίτη του Εδεσσαίου (κόμβος JT30).

Με την υπόθεση αυτή, παρατηρείται ότι για γεγονότα βροχής περιόδου επαναφοράς 20 ετών, η λίμνη δεν υπερχειλίζει, ενώ για περιόδους επαναφοράς από 50 έως 200 έτη, η πραγματοποίηση ή όχι υπερχείλισης εξαρτάται από τις συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας, σε συνδυασμό με το χρονικό προφίλ της βροχόπτωσης. Με βάση τα σενάρια που εξετάστηκαν, για $T = 50$ έτη, η πιθανότητα υπερχείλισης είναι της τάξης του 25%, ενώ για ακραίες βροχοπτώσεις, που αντιστοιχούν σε $T = 1000$ έτη, πραγματοποιείται υπερχείλιση ακόμα και για τα πλέον ακραία σενάρια. Στην περίπτωση αυτή, ο όγκος νερού που διοχετεύεται μέσω του υπερχειλιστή κυμαίνεται από 10 έως 110 hm³, ανάλογα με το προφίλ της βροχής και τις συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας.

7.3.2 Αναρρυθμιστική δεξαμενή ΥΗΣ Άγρα

Στα πιθανοτικά διαγράμματα της **Εικόνας 7.3** δίνονται οι παροχές αιχμής και οι πλημμυρικοί όγκοι που διοχετεύονται κατόπιν της αναρρυθμιστικής δεξαμενής του ΥΗΣ Άγρα, προς την φυσική κοίτη του Εδεσσαίου. Η θέση αυτή αντιστοιχεί στον κόμβο JT29 του μοντέλου. Παρατηρείται ότι ακόμα και τη μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς της βροχόπτωσης που εξετάστηκε στη μελέτη ($T = 1000$ έτη) και τα πλέον δυσμενή υδρολογικά σενάρια, η παραγόμενη πλημμυρική παροχή αιχμής είναι εμφανώς χαμηλότερη από τη συνολική παροχετευτικότητα του παλαιού και νέου υπερχειλιστή της δεξαμενής ($50 + 250 = 300$ m³/s). Συνεπώς, το έργο αξιολογείται ως απολύτως ασφαλές. Όσον αφορά στην παροχετευτικότητα του Εδεσσαίου, η οποία εκτιμάται σε 60 m³/s (βλ. **Εικόνα 2.8**), φαίνεται πλήρως επαρκής για βροχές περιόδου επαναφοράς έως 50 έτη, ενώ η πιθανότητα υπέρβασής της είναι ιδιαίτερα χαμηλή ακόμα και για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 200 ετών. Αυτό σημαίνει ότι ο πλημμυρικός κίνδυνος για την πόλη της Έδεσσας είναι ιδιαίτερα χαμηλός.

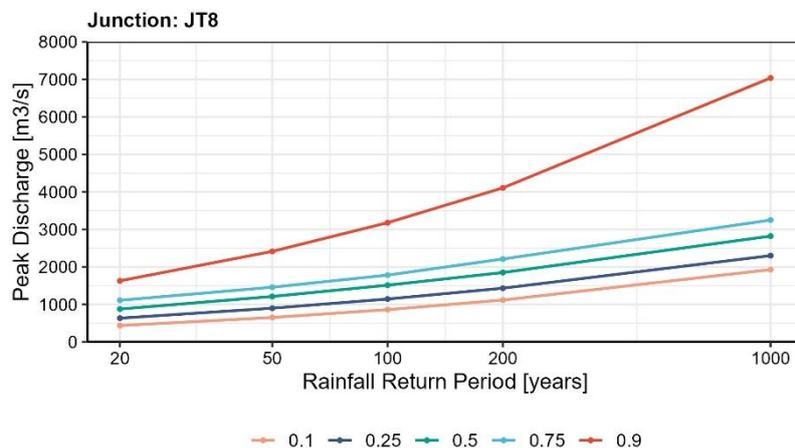


Εικόνα 7.3: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής και πλημμυρικών όγκων στην έξοδο της αναρρυθμιστικής δεξαμενής του ΥΗΣ Άγρα (κόμβος JT29).

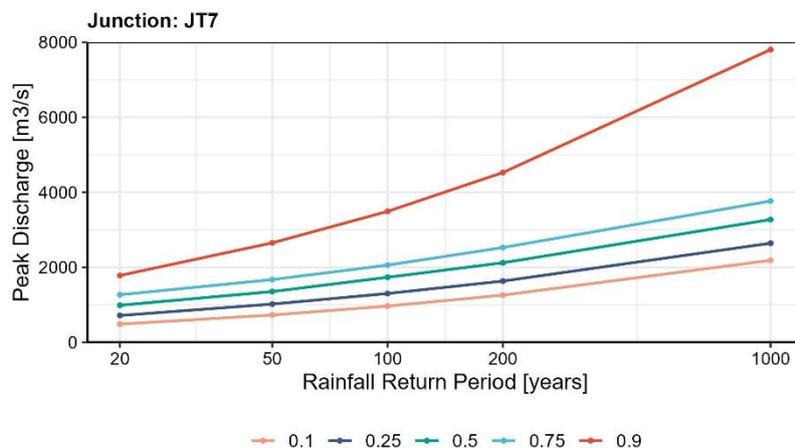
7.3.3 Περιφερειακή Τάφρος T66

Στα πιθανοτικά διαγράμματα των **Εικόνων 7.4** έως **7.8** δίνονται οι παροχές αιχμής που διοδεύονται σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις κατά μήκος της Περιφερειακής Τάφρου T66. Από ανάντη προς κατάντη, οι αντίστοιχοι κόμβοι του υδρολογικού μοντέλου είναι: (α) ο κόμβος JT8, στη συμβολή της T66 με τον ποταμό Αλμωπαίο (Μαυροπόταμο), στο ύψος της Καλής, (β) ο κόμβος JT7, στη συμβολή της T66 με τον ποταμό Εδεσσαίο, στο ύψος της Σκύδρας, (γ) ο κόμβος JT5, στη συμβολή της T66 με τον ποταμό Αραπίτσα, στο ύψος του Αγγελοχωρίου, και (δ) ο κόμβος JT2, στο ύψος του Μακροχωρίου, ήτοι λίγο ανάντη της συμβολής της T66 με τον Αλιάκμονα.

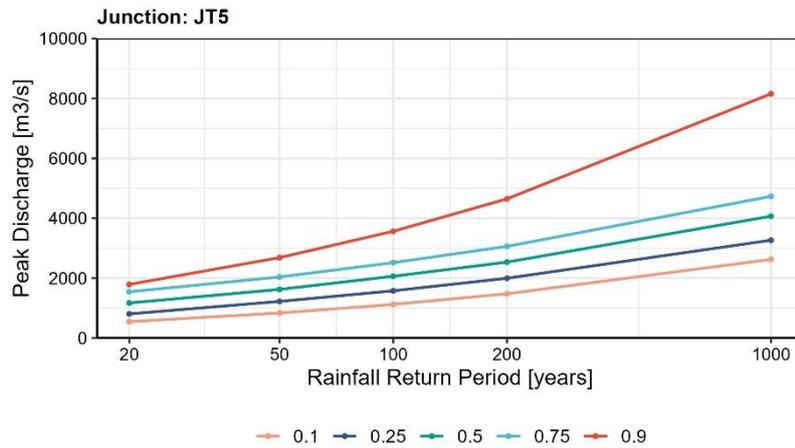
Στις εικόνες που ακολουθούν δίνονται τα πιθανοτικά διαγράμματα των προσομοιωμένων παροχών αιχμής στους κόμβους JT8, JT7 και JT5. Υπενθυμίζεται ότι η παροχευτικότητα της T66, στα χαμηλά τμήματα αυτής, εκτιμάται σε 1300 m³/s, ενώ πιο ψηλά είναι ακόμα μικρότερη. Ωστόσο, παρατηρείται ότι για δυσμενείς συνδυασμούς χρονικών προφίλ της βροχής και συνθηκών εδαφικής υγρασίας, αυτή εξαντλείται ακόμα και για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς της τάξης των 20 ετών, και μάλιστα ήδη από τον πλέον ανάντη κόμβο (JT8). Για το διάμεσο σενάριο (με εμπειρική πιθανότητα υπέρβασης 50%), η παροχευτικότητα της T66 επαρκεί οριακά στη συμβολή της με τον Εδεσσαίο, για περιόδους επαναφοράς 50 ετών, ενώ εξαντλείται μετά τη συμβολή και του χειμάρρου Αραπίτσα.



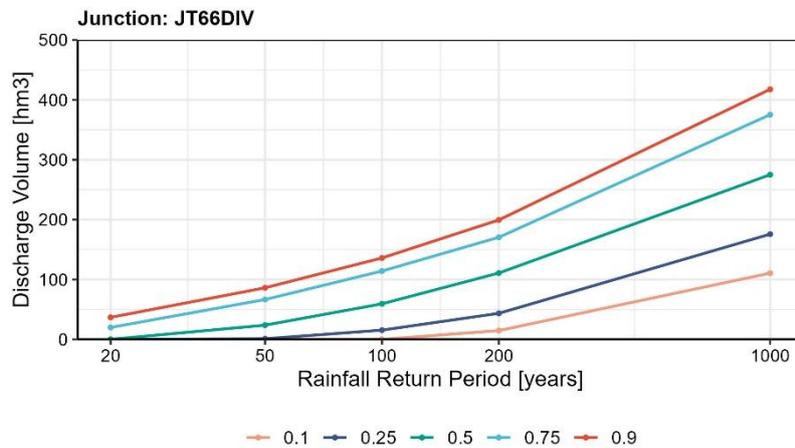
Εικόνα 7.4: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή της Περιφερειακής Τάφρου T66 με τον ποταμό Αλμωπαίο (Μαυροπόταμο) (κόμβος JT8).



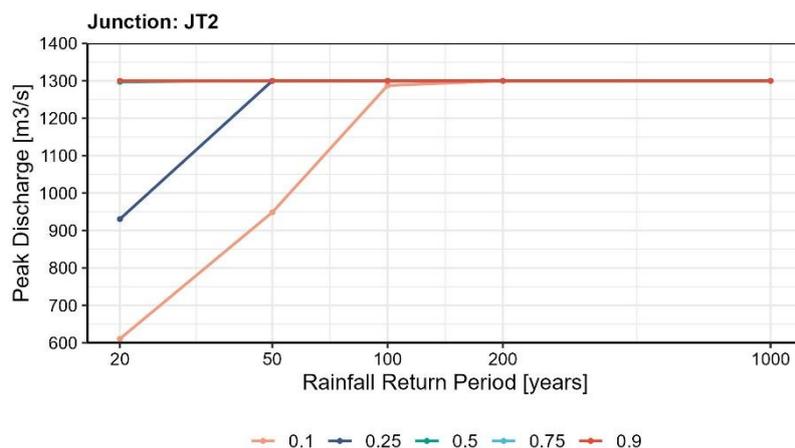
Εικόνα 7.5: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή της Περιφερειακής Τάφρου T66 με τον ποταμό Εδεσσαίο (κόμβος JT7).



Εικόνα 7.6: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή της Περιφερειακής Τάφρου Τ66 με τον ποταμό Αραπίτσα (κόμβος JT5).



Εικόνα 7.7: Πιθανοτική ανάλυση όγκων που υπερχειλίζουν κατά μήκος της Περιφερειακής Τάφρου Τ66 και μεταφέρονται στον εικονικό κόμβο εκτροπής JT66DIV.



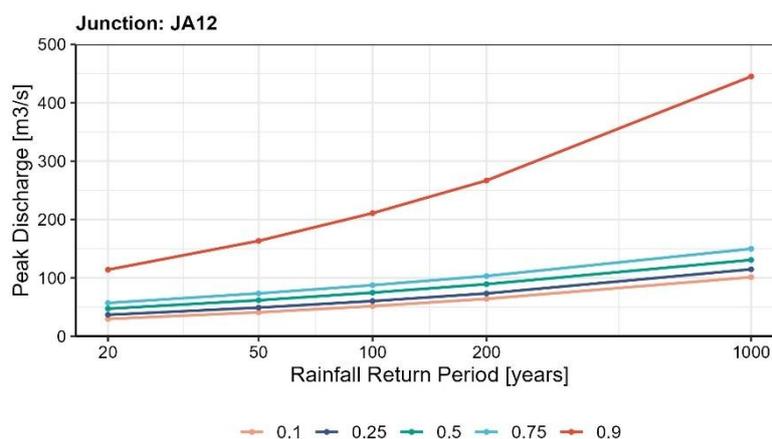
Εικόνα 7.8: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής Περιφερειακής Τάφρου Τ66 στο ύψος του Μακροχωρίου (κόμβος JT2).

Στο μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης, το ζήτημα της περιορισμένης παροχεταιυτικότητας της Περιφερειακής Τάφρου αντιμετωπίζεται εισάγοντας τον εννοιολογικό κόμβο εκτροπής JT66DIV, όπου κόμβος JT2 συλλέγει την πλεονάζουσα ροή που διοδεύεται στον κόμβο JT2 (ήτοι πάνω από το όριο των 1300 m³/s), προτού αυτή καταλήξει στη συμβολή της T66 με τον Αλιάκμονα. Στην **Εικόνα 7.7** δίνονται τα πιθανοτικά διαγράμματα των όγκων που εκτρέπονται, σημειακά, στον εικονικό κόμβο JT66DIV, ενώ στην πραγματικότητα υπερχειλίζουν σε όλο το μήκος της Περιφερειακής Τάφρου T66. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, η πραγματοποίηση των υπερχειλίσεων και τα μεγέθη αυτών εξαρτώνται όχι μόνο από την περίοδο επαναφοράς της βροχόπτωσης αλλά και το συνδυασμό του χρονικού της προφίλ και των συνθηκών αρχικής εδαφικής υγρασίας. Για το διάμεσο σενάριο, υπερχείλιση της τάφρου προκύπτει για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς τουλάχιστον 50 ετών, με την πλεονάζουσα ποσότητα να φτάνει στα επίπεδα των 25 hm³. Για $T = 1000$ έτη, οι εκτιμώμενες ποσότητες νερού που υπερχειλίζουν κατά μήκος της T66 ανέρχονται σε περίπου 275 hm³.

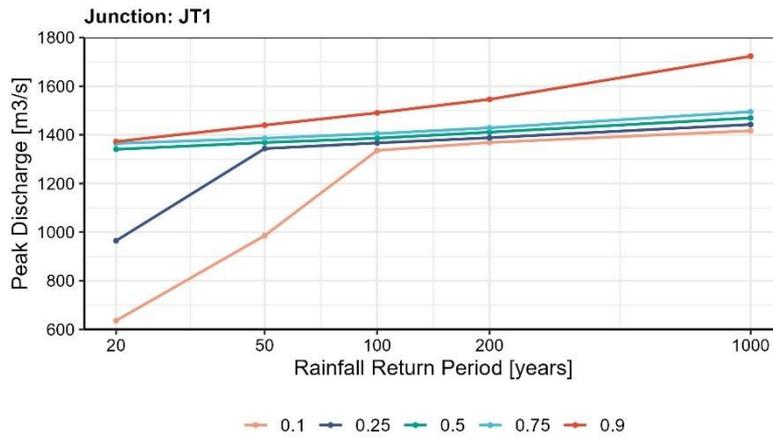
7.3.4 Κάτω ρους Αλιάκμονα

Στα πιθανοτικά διαγράμματα των επόμενων εικόνων δίνονται οι παροχές αιχμής που διοδεύονται σε πέντε χαρακτηριστικές θέσεις κατά μήκος του κάτω ρου του Αλιάκμονα, που οριοθετείται από το φράγμα Αγ. Βαρβάρας έως τις εκβολές του. Στο τμήμα αυτό, συμβάλλει η Περιφερειακή Τάφρος, από το βορρά, και διάφορα ρέματα που έρχονται από το νότο. Από ανάντη προς κατάντη, οι αντίστοιχοι κόμβοι του υδρολογικού μοντέλου είναι: (α) ο κόμβος JA12, στη συμβολή του Αλιάκμονα με το ρέμα που διέρχεται από την περιοχή της Βεργίνιας, (β) ο κόμβος JT1, στη συμβολή του Αλιάκμονα με την Περιφερειακή Τάφρο T66, (γ) ο κόμβος JA5, στη συμβολή του Αλιάκμονα με το ρέμα Κρασοπούλι, στο ύψος της Μελίκης, (δ) ο κόμβος JA4, στη συμβολή του Αλιάκμονα με το ρέμα που διέρχεται στο ύψος της Κυψέλης, (ε) ο κόμβος JA2, στο ύψος της σιδηροδρομικής γέφυρας, και λίγο ανάντη της γέφυρας της ΠΑΘΕ, και (στ) ο κόμβος JA1, που είναι η έξοδος του υδροσυστήματος.

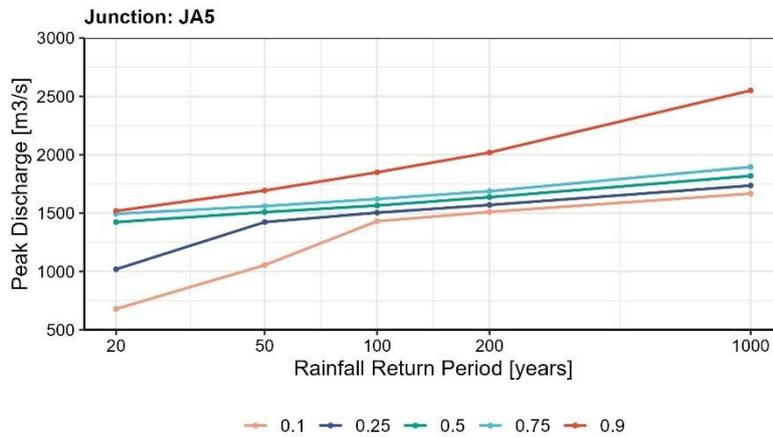
Υπογραμμίζεται ότι η ανάλυση των παροχών αιχμής αναφέρεται στο σενάριο βάσης, στο οποίο δεν πραγματοποιούνται εκροές από το Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Αλιάκμονα, πλην την οικολογικής παροχής των 4.5 m³/s που αφήνεται κατάντη του αναρρυθμιστικού ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας (βλ. 6.9.4). Συνεπώς, τα μεγέθη που απεικονίζονται στα διαγράμματα οφείλονται αποκλειστικά στις πλημμυρικές παροχές που παράγονται στο υδροσύστημα.



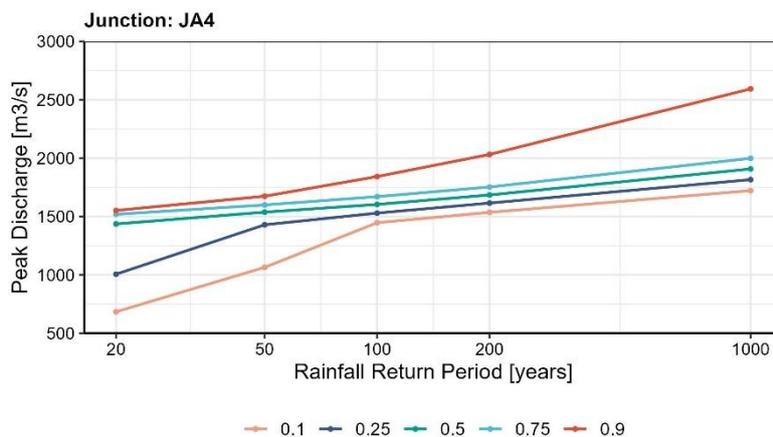
Εικόνα 7.9: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή του Αλιάκμονα με το ρέμα που διέρχεται από την περιοχή της Βεργίνιας (κόμβος JA12).



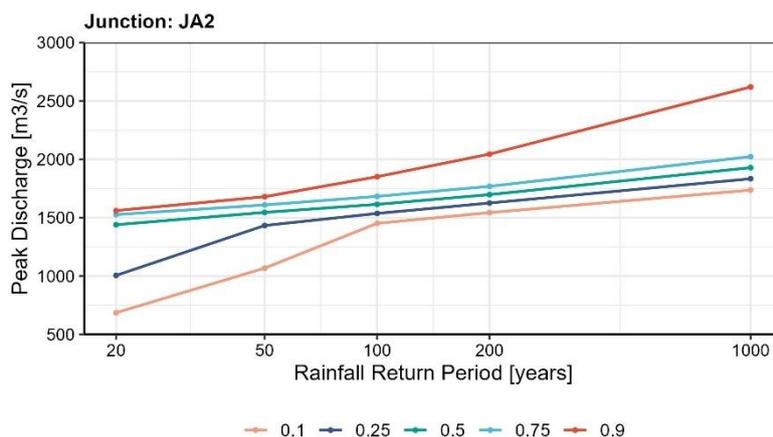
Εικόνα 7.10: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή του Αλιάκμονα με την Περιφερειακή Τάφρο Τ66 (κόμβος JT1).



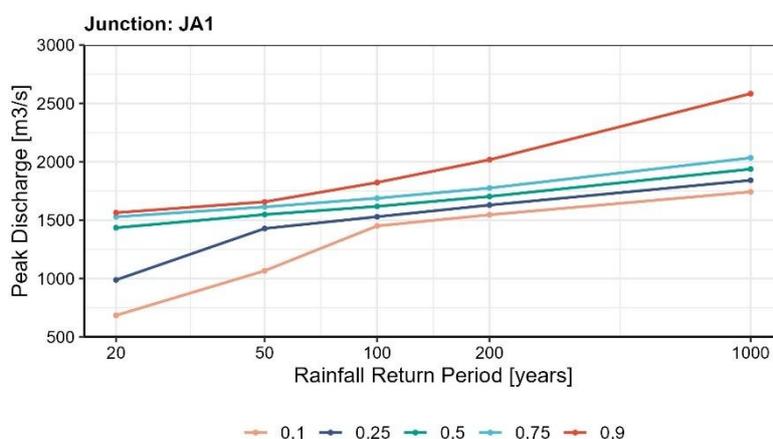
Εικόνα 7.11: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή του Αλιάκμονα με το ρέμα Κρασοπούλι, στο ύψος της Μελίκης (κόμβος JA5).



Εικόνα 7.12: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στη συμβολή του Αλιάκμονα με το ρέμα που διέρχεται στο ύψος της Κυψέλης (κόμβος JA4).



Εικόνα 7.13: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής Αλιάκμονα στο ύψος της σιδηροδρομικής γέφυρας, και λίγο ανάντη της γέφυρας της ΠΑΘΕ (κόμβος JA2).



Εικόνα 7.14: Πιθανοτική ανάλυση παροχών αιχμής στην έξοδο του Αλιάκμονα (κόμβος JA1).

Με βάση το διάγραμμα της **Εικόνας 7.9**, παρατηρείται ότι στο τμήμα μεταξύ του φράγματος της Αγ. Βαρβάρας και της συμβολής του Αλιάκμονα με την Τ66, οι παροχές αιχμής, για τα ευμενή και μέσα υδρολογικά σενάρια πιθανότητας μη υπέρβασης έως 75%, κυμαίνονται από 30 έως 60 m³/s, για $T = 20$ έτη, ενώ για ακραίες βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 1000 ετών, κυμαίνονται από 100 έως 150 m³/s. Σε δυσμενείς ωστόσο συνθήκες ως προς τη χρονικό προφίλ της βροχής και τις συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας, οι παραγόμενες παροχές αιχμής είναι πολύ μεγαλύτερες, κυμαινόμενες από 120 έως 450 m³/s, για $T = 20$ και 1000 έτη, αντίστοιχα.

Μετά τη συμβολή της Περιφερειακής Τάφρου, στα περισσότερα σενάρια προστίθεται μια παροχή της τάξης των 1300 m³/s (**Εικόνα 7.10**), καθώς όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 7.3.3, οι πλημμυρικές παροχές που παράγονται στη λεκάνη απορροής της υπερβαίνουν την παροχетеυτικότητα της για βροχοπτώσεις 100 ετών και άνω, ενώ είναι αρκετά έως πολύ πιθανό να την υπερβούν ακόμα και για βροχοπτώσεις της τάξης των 20 ετών.

Στο υπόλοιπο τμήμα και έως της έξοδο της λεκάνης, η παροχή αιχμής που προστίθεται, με βάση τις διάμεσες συνθήκες, κυμαίνεται από 100 έως 300 m³/s, ενώ για ακραίες συνθήκες κυμαίνεται από 500 έως 1000 m³/s. Τονίζεται ωστόσο ότι οι εν λόγω εκτιμήσεις είναι χονδρικές, καθώς η υδρολογική προσομοίωση βασίζεται σε απλοποιημένες παραδοχές ως προς τις διεργασίες διάδευσης και αγνοεί τις πλευρικές υπερχειλίσεις, και θα αναθεωρηθούν μετά τις αναλύσεις του υδροδυναμικού μοντέλου.

8 Διαμόρφωση μοντέλου υδροδυναμικής ανάλυσης

8.1 Θεωρητικό υπόβαθρο – Υδραυλικοί υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί του προφίλ της ροής έγιναν με το λογισμικό ελεύθερης χρήσης HEC-RAS (έκδοση 6.6), του Σώματος Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (USACE). Το HEC-RAS έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει την υδραυλική λειτουργία ενός τεχνητού αγωγού, ρέματος ή δικτύου ρεμάτων, επιλύοντας τις εξισώσεις της βαθμιαία μεταβαλλόμενης ροής. Δέχεται γεωμετρική πληροφορία διατομών οποιασδήποτε μορφής, συνδεδεμένων με αποστάσεις μεταξύ τους. Επιπλέον, μπορεί να προσομοιώνει κατασκευές, όπως οχετοί, γέφυρες, υπερχειλιστές, εμπόδια ροής, αναχώματα, κλπ.

Η μεθοδολογία που ακολουθεί το λογισμικό είναι διεθνώς αποδεκτή. Η αναλυτική θεωρητική τεκμηρίωση των υπολογισμών που πραγματοποιεί το λογισμικό επιλύοντας ένα ομοίωμα, δίνονται σε σχετικό εγχειρίδιο του λογισμικού, και είναι εκτός των σκοπών της παρούσας μελέτης (βλ. HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, v.4.0, March 2008). Στην παρούσα μελέτη δίνονται οι βασικές αρχές της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας.

8.1.1 Σύνοψη μεθοδολογίας υδροδυναμικής προσομοίωσης

Στόχος της υδροδυναμικής προσομοίωσης είναι η επίλυση των εξισώσεων ανομοιομορφίας ροής στις περιοχές ενδιαφέροντος του γενικού στρατηγικού σχεδίου Δυτικής Θεσσαλίας, με ιδιαίτερη έμφαση να δίδεται στην δυνατότητα αναγνώρισης των μηχανισμών με τους οποίους το νερό μεταφέρεται από τα κυρίως τμήματα των ποταμών εντός των οχθών ή/και των αναχωμάτων (channels) στις ευρύτερες πλημμυρικές κοίτες και εκτάσεις πλημμυρικής κατάκλυσης (floodplains).

Η επίλυση των εξισώσεων ανομοιομορφίας ροής πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων αριθμητικών προσομοιώσεων των μερικών διαφορικών εξισώσεων (ΜΔΕ). Ανάλογα με τη μορφή των συγκεκριμένων ΜΔΕ μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα μοντέλα υδροδυναμικής ανάλυσης σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες:

- **Τα μονοδιάστατα αριθμητικά μοντέλα (1D):** Επιλύονται οι εξισώσεις ποσότητας κίνησης (momentum equation) και συνέχειας (continuity equation) ως προς μία διεύθυνση, τη διεύθυνση ροής του ποταμιού/καναλιού.
- **Τα διδιάστατα αριθμητικά μοντέλα (2D):** Οι εξισώσεις επιλύονται σε δύο διευθύνσεις, παραλείποντας τους όρους στην κατακόρυφη διεύθυνση, αναπαριστώντας με επάρκεια την ροή σε περιοχές εκτεταμένης πλημμυρικής κατάκλυσης (floodplains) όπου η κατεύθυνση της ροής είναι σε κάθε περίπτωση ασαφώς προσδιορισμένη και δεν διαθέτει συνιστώσα σαφούς υπεροχής όπως στην περίπτωση του ποταμιού/καναλιού.
- **Τα συζευγμένα μονοδιάστατα-διδιάστατα αριθμητικά μοντέλα (coupled 1D-2D):** Τα τμήματα όπου αναμένεται σαφώς καθορισμένη συνιστώσα της ροής (κάθετη στο επίπεδο των διατομών) επιλύεται μέσω των μονοδιάστατων εξισώσεων (εξισώσεις αβαθών υδάτων - Shallow Water Equations- SWE, γνωστές και ως εξισώσεις Saint Venant), ενώ τα τμήματα όπου το νερό δεν ακολουθεί προκαθορισμένες τροχιές ή/και δεν έχει συγκεκριμένες διευθύνσεις ροής επιλύονται μέσω των διδιάστατων εξισώσεων, είτε στην πλήρη μορφή τους, είτε μέσω μικρών απλοποιήσεων στη περίπτωση των εξισώσεων διάχυσης κύματος (diffusion wave equations).

Η επιλογή της καταλληλότερης προσέγγισης έχει μεγάλες επιπτώσεις στην υδροδυναμική προσομοίωση και -κατά συνέπεια- στον υπολογισμό των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών

της πλημμυρικής ροής. Η επιλογή συναρτάται με το ανάγλυφο της περιοχής προσομοίωσης και τον χαρακτήρα της ροής: **(i)** αν το ανάγλυφο παρουσιάζει έντονες κατά μήκος κλίσεις, με όχθες που σχηματίζονται από πρηνή απότομη διαμόρφωση (όπως σε ορεινά ανάγλυφα, έργα ορεινής υδρονομίας) τότε οι **μονοδιάστατες αναλύσεις** είναι προτιμότερες, αντίθετα **(ii)** αν το ανάγλυφο είναι σχετικά ήπιο, με περιοχές ευρύτερης κατάκλυσης (για παράδειγμα, εκτάσεις καλλιεργειών/κτηνοτροφίας, αγροτικές χρήσεις, αστικές περιοχές), τότε προτιμώνται οι **δισδιάστατες αναλύσεις**. Οι **συζευγμένες προσεγγίσεις (iii)** υιοθετούνται σε περιπτώσεις στις οποίες είναι επιθυμητή η συμπερίληψη των πλεονεκτημάτων των δύο προαναφερθεισών αναλύσεων.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της συζευγμένης προσέγγισης αναφέρονται συνοπτικά ως ακολούθως:

1. **Επιτρέπει την ταχεία υδροδυναμική αναπαράσταση εκτεταμένων διασυνδεδεμένων ποτάμιων συστημάτων**, επιλύοντας στο ίδιο μοντέλο ανομοιομορφής ροής τις 1D εξισώσεις στο κυρίως σύστημα των ποταμών/καναλιών και τις 2D εξισώσεις, οπουδήποτε απαιτείται υψηλότερη υδροδυναμική πιστότητα.
2. **Ακολουθεί την επίλυση μέσω ενός συζευγμένου αλγόριθμου 1D-2D**, επιτρέποντας την άμεση ανατροφοδότηση σε κάθε χρονικό βήμα μεταξύ των στοιχείων ροής 1D και 2D. Για παράδειγμα, θεωρώντας ότι ένα ποτάμι/κανάλι έχει αναπαρασταθεί 1D με την περιοχή πίσω από ένα ανάχωμα να έχει αναπαρασταθεί σε 2D (συνδεδεμένα υδραυλικά μεταξύ τους με μια Πλευρική Κατασκευή – Lateral Structure, LS). Η ροή πάνω από το ανάχωμα (LS) και/ή μέσω οποιασδήποτε αστοχίας (breaching) του αναχώματος υπολογίζεται με βάση την ενέργεια ροής στα ανάντη στο 1D τμήμα και την στάθμη ενέργειας στην περιοχή δισδιάστατης ροής στα κατάντη με την οποία είναι διασυνδεδεμένο. Χρησιμοποιείται η εξίσωση ροής υπερχειλιστή (weir equation) για τον υπολογισμό της ροής πάνω από το ανάχωμα ή/και διαμέσου του ρήγματος (breach). Σε κάθε χρονικό βήμα υπολογισμών, η εξίσωση χρησιμοποιεί τα 1D και 2D αποτελέσματα υπολογισμού της ροής επιτρέποντας την ακριβή καταγραφή της «βύθισης» (submergence) του αναχώματος, σε κάθε χρονικό βήμα, καθώς η εσωτερική -1D- περιοχή υπερχειλίζει. Επιπλέον, η ροή μπορεί να επιστρέψει πίσω στην κυρίως όχθη (από την περιοχή 2D πίσω στην 1D), μόλις υποχωρήσουν οι στάθμες του ποταμού/καναλιού.
3. **Επιτρέπει την σταδιακή ανάπτυξη/απομόνωση των επιμέρους μοντέλων**. Ο υδραυλικός μηχανικός/υπεύθυνος για την ανάπτυξη των μοντέλων μπορεί να ετοιμάσει ένα ευσταθές και αξιόπιστο 1D μοντέλο το οποίο και έχει τη δυνατότητα να παράγει αποτελέσματα σε ένα φάσμα σεναρίων και παροχών, χωρίς να παρουσιάζει αριθμητικές αστάθειες. Στη συνέχεια μπορεί να αξιολογήσει τα σενάρια στα οποία προκύπτουν υπερχειλίσσεις των ποταμών προς τις εκτάσεις εκτεταμένης κατάκλυσης, και να αναπτύξει το -περισσότερο απαιτητικό- συζευγμένο μοντέλο μόνο για την αναπαράσταση των συγκεκριμένων δυσμενών σεναρίων.
4. **Επιτρέπει την εκτίμηση του πλημμυρικού όγκου που υπερχειλίζει** από το κυρίως ποτάμι προς τις εκτάσεις εκτεταμένης κατάκλυσης, παρέχοντας τη δυνατότητα στον μηχανικό/μελετητή να κάνει μία συγκριτική αξιολόγηση (ranking) των σεναρίων και προκαταρκτικές αξιολογήσεις των επικίνδυνων περιοχών (που γειτνιάζουν με τα έντονα υπερχειλίζοντα αναχώματα/LS) πριν καν προχωρήσει στην αναλυτική 2D προσομοίωση.
5. **Απομειώνει δραματικά τους χρόνους εκτέλεσης των υδροδυναμικών υπολογισμών**. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως για να υπάρξει υψηλή πιστότητα στις περιοχές όπου υπάρχει ποτάμι σε ένα αμιγώς δισδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο απαιτείται πύκνωση του υπολογιστικού πλέγματος. Για να επιτευχθεί η αναγκαία ευστάθεια του πυκνωμένου υπολογιστικού πλέγματος απαιτούνται συνήθως μικρά υπολογιστικά βήματα (computational

steps) τα οποία και οδηγούν σε εκτεταμένους συνολικούς χρόνους εκτέλεσης (της τάξεως αρκετών ωρών). Αντίθετα, τα 1D μοντέλα εκτελούν τους υπολογισμούς εντός των ποταμών με μεγάλη ταχύτητα και πολύ ικανοποιητική ακρίβεια. Ένα συζευγμένο μοντέλο, λοιπόν, συνδυάζει ταχύτητα εκτέλεσης των υπολογισμών με υψηλής ποιότητας αποτελέσματα στα σημεία όπου αυτά απαιτούνται, επιτρέποντας την εκτέλεση πολλαπλών σεναρίων υπό συνθήκες εύλογου χρονικού και υπολογιστικού προϋπολογισμού.

8.1.2 Μονοδιάστατες και διδιάστατες εξισώσεις ροής

Οι γενικές εξισώσεις μονοδιάστατης και διδιάστατης ροής γράφονται ως εξής (βλ. **Εικόνα 8.1**, για την ερμηνεία των αντίστοιχων συμβόλων):

Μονοδιάστατη ροή (1D)

Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} - q = 0$$

Εξίσωση ποσότητας κίνησης:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + S_f + S_h \right) = 0$$

Δισδιάστατη ροή (2D)

Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} - q = 0$$

Εξίσωση ποσότητας κίνησης κατά τις διευθύνσεις x και y :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v - f u \end{aligned}$$

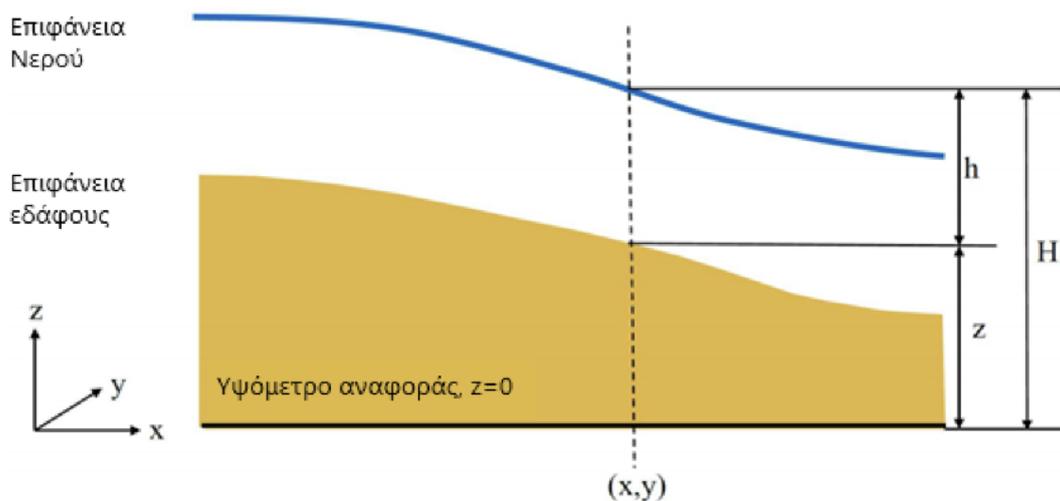
όπου:

- u = ταχύτητα στη διεύθυνση x
- h = βάθος ροής
- g = επιτάχυνση της βαρύτητας
- t = χρόνος
- x = θέση κατά τη διεύθυνση x
- q = όρος πλευρικών εισροών
- S_0 = Κλίση πυθμένα
- S_f = Κλίση απώλειας ενέργειας (σχέση Manning)
- S_h = επιπλέον όρος ποσότητας κίνησης

όπου :

- v = ταχύτητα στη διεύθυνση y
- y = θέση κατά τη διεύθυνση y
- H = στάθμη ελεύθερης επιφάνειας
- v_t = όρος ιξώδους eddy viscosity
- c_f = συντελεστής τριβής πυθμένα
- f = παράμετρος Coriolis

Απλουστεύσεις των προαναφερθέντων εξισώσεων χρησιμοποιούνται συχνά, με πιο συνηθισμένες τις εξισώσεις κυμάτων διάχυσης (diffusion wave equations). Στην περίπτωση αυτή, οι όροι επιτάχυνσης από την εξίσωση ορμής θεωρούνται αμελητέοι και αφαιρούνται, καθιστώντας έτσι τις λύσεις απλούστερες, πιο σταθερές και υπολογιστικά λιγότερο δαπανηρές. Αυτή η απλοποίηση επιλέγεται επίσης στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.



Εικόνα 8.1: Σχηματική αναπαράσταση των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις ροής.

8.1.3 Μεθοδολογία υπολογισμών διδιάστατης ροής στο HEC-RAS

Το HEC-RAS (έκδοση 6.6) χρησιμοποιεί μια ειδική μεθοδολογία “subgrid” για τη διδιάστατη προσομοίωση ροής, η οποία ενσωματώνει λεπτομερή τοπογραφικά δεδομένα σε ένα σχετικά αδρό υπολογιστικό πλέγμα. Με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζεται το πρόβλημα των πολύ πυκνών δεδομένων (π.χ. από LiDAR) που είναι υπολογιστικά ανέφικτο να χρησιμοποιηθούν ως πλέγμα, χωρίς όμως να χαθεί η πληροφορία των μικρών υψομετρικών διαφορών.

Στα επόμενα παρουσιάζονται η θεωρητική βάση της μεθόδου subgrid, η αριθμητική υλοποίησή της στο HEC-RAS 6.6, τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα σε σύγκριση με παραδοσιακές προσεγγίσεις, ο τρόπος ενσωμάτωσης της τοπογραφικής λεπτομέρειας μέσω πινάκων elevation, καθώς και παραδείγματα εφαρμογών/μελετών περίπτωσης που αναδεικνύουν την ακρίβειά της.

8.1.4 Θεωρητική βάση και λογική της μεθόδου Subgrid

Η μέθοδος subgrid βασίζεται στην αρχή ότι η ελεύθερη επιφάνεια του νερού είναι συνήθως πιο ομαλή (σχετικά επίπεδη) από το ανάγλυφο του εδάφους. Επομένως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα πιο αραιό υπολογιστικό πλέγμα για τη ροή, εφόσον ενσωματώσουμε την λεπτομερή τοπογραφία στο μοντέλο μέσω προϋπολογισμένων γεωμετρικών σχέσεων. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι κάθε υπολογιστικό κελί περιλαμβάνει το πραγματικό υψομετρικό του ανάγλυφο αντί για μια απλή μέση στάθμη. Το HEC-RAS δημιουργεί υδραυλικές καμπύλες ιδιοτήτων (hydraulic property curves) υψηλής ανάλυσης για κάθε κελί και κάθε πλευρά του πλέγματος, βασισμένο στα δεδομένα του λεπτομερούς ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Αυτό το μοντέλο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως “μοντέλο υψηλής ανάλυσης subgrid”. Ουσιαστικά, η εξίσωση συνέχειας (μάζας) διακριτοποιείται με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων, όπου οι λεπτομερείς τοπογραφικές πληροφορίες “συμπυκνώνονται” σε ολοκληρωμένες ποσότητες (όγκοι, εμβαδά) εντός των κελιών και στα μήκη των πλευρών τους. Έτσι, το αριθμητικό σχήμα λαμβάνει υπόψη το λεπτομερές ανάγλυφο κατά τον υπολογισμό του νερού που αποθηκεύεται και ρέει, διατηρώντας την ακρίβεια στη μάζα νερού και στη στάθμη, ακόμα και με μεγαλύτερα κελιά.

8.1.5 Αριθμητική υλοποίηση στο HEC-RAS

Η διδιάστατη επίλυση στο HEC-RAS 6.6 υλοποιείται με έναν ρητό (implicit) αλγόριθμο πεπερασμένων όγκων για τις εξισώσεις ρηχής ροής (Shallow Water Equations, SWE). Ο χρήστης έχει την επιλογή

πλήρων εξισώσεων (Full Momentum SWEs) ή απλοποιημένων εξισώσεων Diffusive Wave για τη ροή. Το σημαντικό είναι ότι η μέθοδος subgrid εφαρμόζεται ανεξάρτητα από την εκδοχή της εξίσωσης ποσότητας κίνησης που επιλέγεται, ενσωματώνεται δηλαδή στη διακριτοποίηση της συνέχειας (μάζας) και μπορεί να συνεργαστεί τόσο με το πλήρες δυναμικό μοντέλο όσο και με το απλουστευμένο μοντέλο Diffusive Wave.

Προεπεξεργασία κελιών και πλευρών (faces): Κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας του 2D πλέγματος, το HEC-RAS υπολογίζει λεπτομερείς καμπύλες/πίνακες για κάθε υπολογιστικό κελί και κάθε πλευρά του. Συγκεκριμένα:

- Για **κάθε κελί**, υπολογίζεται μια αναλυτική σχέση **στάθμης-οριζόντιας επιφάνειας** και αντίστοιχη **στάθμης-όγκου** νερού (elevation-volume curve) στηριγμένη στο ανάγλυφο του εδάφους που περιλαμβάνει. Με ολοκλήρωση της επιφανείας ως προς τη στάθμη, προκύπτει ο όγκος νερού που αντιστοιχεί σε κάθε πιθανή στάθμη πλήρωσης του κελιού.
- Για **κάθε πλευρά (face)** μεταξύ γειτονικών κελιών, το λογισμικό “κόβει” ένα προφίλ διατομής από το έδαφος (ανώμαλη γραμμή υψομέτρου κατά μήκος της πλευράς) και προϋπολογίζει μια καμπύλη **στάθμης-βρεχόμενου πλάτους/περιμέτρου** καθώς και **στάθμης-διατομικής επιφάνειας** ροής. Αυτοί οι πίνακες λειτουργούν ανάλογα με τις διατομές σε ένα μονοδιάστατο μοντέλο: περιγράφουν πόσο φαρδύ είναι το “άνοιγμα” της ροής μεταξύ δύο κελιών σε κάθε στάθμη νερού και τι εμβαδόν διατομής νερού αντιστοιχεί σε αυτό. Στους πίνακες αυτούς ενσωματώνεται και η τραχύτητα του πυθμένα (Manning n) κατά ύψος, ώστε η αντίσταση ροής να αντιπροσωπεύει τη σύνθεση των υλικών/χρήσεων γης που βρίσκονται κάτω από κάθε στάθμη.

Κατά την επίλυση σε κάθε χρονικό βήμα, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις παραπάνω καμπύλες ώστε να **υπολογίζει με ακρίβεια την ανταλλαγή νερού και ορμής**: ο όγκος νερού που προστίθεται ή αφαιρείται από ένα κελί λόγω εισροών/εκροών προκύπτει από τη σχέση στάθμης-όγκου (ανεβάζοντας ή κατεβάζοντας την στάθμη του κελιού ανάλογα). Παράλληλα, η παροχή μέσω μιας πλευράς προς γειτονικό κελί υπολογίζεται με βάση το πραγματικό ενεργό πλάτος της ροής (wetted width) και το διατομικό εμβαδόν, όπως αυτά δίνονται από τον πίνακα του face για τη συγκεκριμένη στάθμη. Εν συντομία, το μοντέλο λύνει την εξίσωση συνέχειας με μεταβλητό εμβαδόν και όγκο (αντί σταθερού, όπως στα κλασικά μοντέλα), ενώ στις εξισώσεις ποσότητας κίνησης η διατομή ροής και οι παράμετροι (όπως η υδραυλική ακτίνα, η βρεχόμενη περίμετρος, κ.ά.) ενημερώνονται δυναμικά από τις subgrid καμπύλες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος του HEC-RAS είναι άρρητος (**implicit**), γεγονός που επιτρέπει μεγαλύτερα χρονικά βήματα σε σχέση με ρητά (explicit) σχήματα και παρέχει σταθερότητα σε έντονα φαινόμενα υγροποίησης/αποξήρανσης κελιών. Το σχήμα αυτό είναι **δευτέρας τάξης (2nd order accurate)** για τη ροή και μπορεί να αντιμετωπίσει χωρίς ειδικές ρυθμίσεις τόσο υποκρίσιμες όσο και υπερκρίσιμες ροές ή μεταβατικές ροές με υδραυλικά άλματα.

8.1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι παραδοσιακών προσεγγίσεων

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου subgrid σε σύγκριση με κλασικά 2D μοντέλα (π.χ. finite volume σε regular grid) είναι:

- **Μεγαλύτερα κελιά με λιγότερη απώλεια λεπτομέρειας:** Το subgrid επιτρέπει τη χρήση σχετικά **μεγάλων υπολογιστικών κελιών** χωρίς σημαντική απώλεια τοπογραφικής λεπτομέρειας. Αυτό συνεπάγεται μικρότερο αριθμό κελιών, άρα και **ταχύτερους χρόνους υπολογισμού** για μια δεδομένη περιοχή. Κύριες μορφολογικές λεπτομέρειες (π.χ. βαθιά

αυλάκια, κλίσεις) αποτυπώνονται μέσα στο κελί αντί να απαιτούνται πολλά μικρότερα κελιά για να περιγραφούν.

- **Μερική πλημμύριση κελιών (partial wetting):** Σε αντίθεση με πολλά 2D σχήματα που θεωρούν κάθε κελί επίπεδο και **ολικά υγρό ή ξηρό** ανάλογα με τη στάθμη, στο HEC-RAS ένα κελί μπορεί να είναι **μερικώς υγρό**. Δηλαδή, μόνο τα τμήματα του κελιού κάτω από την τρέχουσα στάθμη γεμίζουν νερό (όπως προκύπτει από την καμπύλη στάθμης-επιφάνειας). Αυτό οδηγεί σε πιο ρεαλιστική εξάπλωση του νερού, ιδιαίτερα στις παρυφές πλημμυρισμού, και εξαλείφει ψευδή βήματα στάθμης που εμφανίζονται όταν ένα ολόκληρο κελί ενεργοποιείται από ξηρό σε υγρό μονομιάς.
- **Ακριβής υπολογισμός όγκου και ροής:** Επειδή κάθε κελί ενσωματώνει την πλήρη καμπύλη όγκου του και κάθε πλευρά την πραγματική μορφή διατομής, το μοντέλο **υπολογίζει με ακρίβεια τον όγκο νερού** που αποθηκεύεται και μεταφέρεται. Για παράδειγμα, έχειδειχθεί ότι σε ένα πλατύ ποτάμι, άλλα μοντέλα που χρησιμοποιούν επίπεδα κελιά χρειάζονται 10-15 κελιά κατά πλάτος για να αποτυπώσουν σωστά τον όγκο και τη διαβρεχόμενη περίμετρο, ενώ το HEC-RAS μπορεί να το πετύχει ακόμη και με **1 μόνο κελί κατά πλάτος** χάρη στο subgrid (διατηρώντας σωστό όγκο και διατομή). Αυτό έχει επιβεβαιωθεί σε μελέτες όπου το HEC-RAS με πολύ πιο αραιό πλέγμα παρήγαγε σχεδόν ταυτόσημες στάθμες πλημμύρας και διατομές ροής με άλλα λογισμικά που είχαν πολύ λεπτό πλέγμα.
- **Μικρότερη ευαισθησία στο μέγεθος πλέγματος:** Το subgrid μοντέλο του HEC-RAS τείνει να είναι **λιγότερο ευαίσθητο στην επιλογή μεγέθους κελιού** σε σχέση με παραδοσιακά μοντέλα. Διότι, ενώ σε άλλα μοντέλα αν μεγαλώσουμε πολύ το κελί χάνεται αμέσως λεπτομέρεια (καθώς το έδαφος απλοποιείται ως επίπεδο), στο HEC-RAS μεγάλο μέρος της λεπτομέρειας διατηρείται μέσω των πινάκων. Έχει παρατηρηθεί ότι, εφόσον το πλέγμα χαραχθεί σωστά, οι υπολογιζόμενες στάθμες και εκτάσεις πλημμύρας δεν μεταβάλλονται σημαντικά με τη μείωση της διακριτοποίησης, το μοντέλο είναι **σχετικά “αδιάφορο” στο μέγεθος κελιού** σε λογικά όρια μεγέθους. Αυτό δίνει στον μελετητή περισσότερη ευελιξία και δυνατότητα βελτιστοποίησης (ταχύτερες προσομοιώσεις χωρίς θυσία μεγάλης ακρίβειας).
- **Πιστότερη αναπαράσταση ροής μέσω ανομοιόμορφων μορφών:** Οι ανώμαλες μορφές του εδάφους στις ακμές των κελιών **κατευθύνουν ρεαλιστικότερα τη ροή**. Το HEC-RAS υπολογίζει την ορμή (momentum) με βάση το πραγματικό πλάτος και σχήμα της ροής σε κάθε πλευρά, εντοπίζοντας «**προτιμηταίες**» **διαδρομές ροής** ακόμα και μέσα σε ένα μεγάλο κελί. Έτσι, το νερό “βρίσκει δρόμο” π.χ. μέσα από τη χαμηλότερη ζώνη του κελιού προς το διπλανό κελί, αντί να εξαπλώνεται τεχνητά ομοιόμορφα. Αυτή η **καλύτερη αναπαράσταση των προφίλ ταχυτήτων και πιέσεων** στα όρια των κελιών κάνει το αποτέλεσμα πιο αξιόπιστο, συγκρινόμενο με σχήματα που απλοποιούν κάθε πλευρά ως επίπεδη επιφάνεια. Για τον λόγο αυτό, συχνά το HEC-RAS με subgrid μπορεί να δώσει συγκρίσιμο αποτέλεσμα με άλλα μοντέλα χρησιμοποιώντας **πολύ λιγότερα κελιά**, αντί τα διαφορετικά μοντέλα να απαιτείται να έχουν ίδιο πλήθος κελιών.

Μειονεκτήματα και περιορισμοί της μεθόδου subgrid:

- **Ανάγκη ευθυγράμμισης πλέγματος με τοπογραφικά χαρακτηριστικά:** Η μέθοδος subgrid δεν αντικαθιστά την ανάγκη σωστού σχεδιασμού πλέγματος. Για παράδειγμα, αν υπάρχει ένα ανάχωμα ή/και οδικό ανάχωμα μέσα στην περιοχή, θα πρέπει το πλέγμα να **τοποθετήσει ακμές κελιών κατά μήκος του αναχώματος** (π.χ. μέσω *breaklines*) ώστε να

διαχωρίζονται οι δύο πλευρές του ανάγλυφου. Αν ένα πολύ έντονο τοπογραφικό εμπόδιο βρεθεί εντός ενός μεγάλου κελιού, τότε το μοντέλο - το οποίο ανά κελί υπολογίζει μία στάθμη νερού - ενδέχεται να μην αναπαραστήσει πλήρως σωστά το ίχνος πλημμύρας πίσω από το εμπόδιο. Επομένως, η καλή χάραξη του πλέγματος (με κατάτμηση περιοχών διαφορετικής στάθμης και χρήσης breaklines όπου χρειάζεται) παραμένει σημαντική για τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας.

- **Απώλεια τοπικών λεπτομερειών με εξαιρετικά αδρά πλέγματα:** Παρότι το HEC-RAS είναι λιγότερο ευαίσθητο στο μέγεθος κελιού, **υπερβολικά μεγάλα κελιά** μπορεί να χάσουν λεπτομέρειες στη ροή. Για παράδειγμα, η κατανομή ταχυτήτων μέσα σε ένα πολύ φαρδύ κελί (π.χ. σε μια καμπύλη ποταμού όπου εμφανίζεται υπερύψωση στάθμης στην εξωτερική πλευρά) δεν μπορεί να συλληφθεί αν δεν υπάρχουν μερικά μικρότερα κελιά ώστε να αποτυπωθεί η διαφορά στάθμης/ταχύτητας. Αν ο στόχος της μελέτης είναι πέρα από τη στάθμη/έκταση (π.χ. λεπτομερές πεδίο ταχυτήτων), τότε απαιτείται **τοπική πύκνωση πλέγματος** στα κρίσιμα σημεία. Ένα τυπικό παράδειγμα: το HEC-RAS μπορεί να δώσει τη σωστή πλημμυρική έκταση με 1 κελί σε ένα ποτάμι, αλλά αν θέλουμε αξιόπιστες ταχύτητες σε όλη την εγκάρσια διατομή, ίσως χρησιμοποιήσουμε 5-7 κελιά κατά πλάτος του ποταμού.
- **Περιορισμοί αριθμητικής σταθερότητας σε πολύ λεπτά πλέγματα:** Στον αντίποδα, η χρήση *πάρα πολύ μικρών κελιών* (π.χ. λίγα τετραγωνικά μέτρα) μπορεί να οδηγήσει σε **μικρά χρονικά βήματα** (λόγω κριτηρίου Courant) και ενδεχομένως αριθμητική αστάθεια. Κάθε μοντέλο ρηχής ροής έχει ένα εύρος μεγεθών πλέγματος που λειτουργούν αποδοτικά: πολύ ψηλή ανάλυση αυξάνει δυσανάλογα τον χρόνο υπολογισμού και μπορεί να εμφανίσει διακυμάνσεις (π.χ. ταλαντώσεις στάθμης) αν το χρονικό βήμα δεν μειωθεί αντίστοιχα. Γι' αυτό το λόγο, συνιστάται *ισορροπία* στη διακριτοποίηση: τόσο ώστε να συλλαμβάνονται οι απαραίτητες λεπτομέρειες, αλλά όχι τόσο ώστε να καταστρατηγείται η ευστάθεια του μοντέλου.
- **Προσεγγιστικές παραδοχές εντός κελιού:** Το subgrid μοντέλο, όπως και κάθε 2D μοντέλο κελιών, **θεωρεί μια στάθμη νερού ανά κελί**. Αυτό σημαίνει ότι ενδοπλεγματικές κλίσεις στάθμης δεν αναπαρίστανται (η επιφάνεια νερού εντός του κελιού θεωρείται επίπεδη). Στα περισσότερα πρακτικά προβλήματα αυτό δεν δημιουργεί μεγάλο σφάλμα, διότι η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας είναι ήπια χωρικά. Ωστόσο σε περιπτώσεις εξαιρετικά απότομης μεταβολής (π.χ. ένας μικρός κεκλιμένος αγωγός ή στενό κανάλι εντός του κελιού), ίσως χρειαστεί να διακριτοποιηθεί ξεχωριστά. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι αποθηκεύονται πίνακες ιδιοτήτων σημαίνει και **επιβάρυνση μνήμης** (αν και συνήθως αμελητέα μπροστά στη μείωση του πλήθους κελιών).

8.1.7 Ροή μέσω πλευρικών κατασκευών/αναχωμάτων (lateral structures)

Η σύζευξη του μονοδιάστατου και του δισδιάστατου μοντέλου επιτυγχάνεται μέσω μιας σειράς πλευρικών κατασκευών, στις οποίες τοποθετείται ένας υπερχειλιστής, με την στέψη του να ορίζεται τυπικά 0.1 m υψηλότερα από το υψόμετρο του εδάφους της πλημμυρικής πεδιάδας (floodplain) ή στο ύψος του αναχώματος, αν αυτό υπάρχει. Η παροχή υπερχειλίσης δίνεται από την ακόλουθη, τυπική για υπερχειλίσεις ελεύθερης ροής, σχέση:

$$Q = C L H^{3/2} \quad (8.44)$$

όπου Q η παροχή υπερχειλίσης, L το μήκος του υπερχειλιστή, H το ύψος ενέργειας ανάντη της θέσης υπερχειλίσης και ο λεγόμενος συντελεστής παροχής, που εκτιμάται από τη σχέση:

$$C = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \quad (8.45)$$

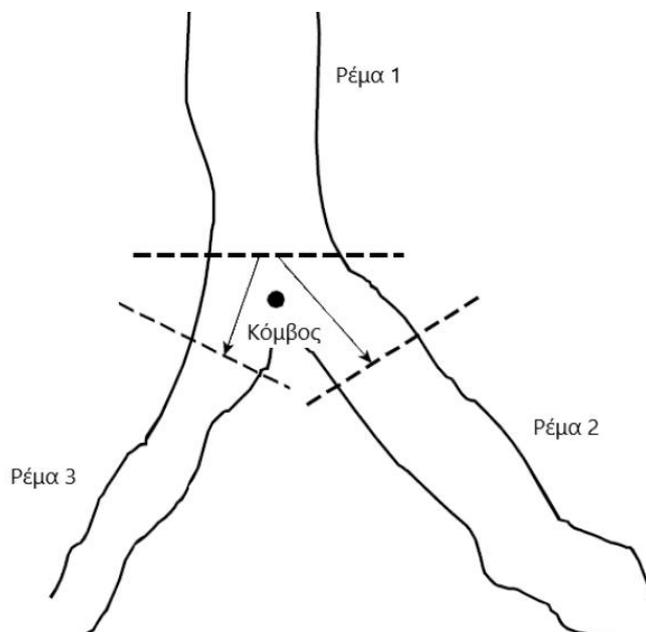
Στην παρούσα μελέτη ο συντελεστής C_d επιλέγεται ίσος με 0.15 και το πλάτος υπερχειλίσσης 5.0 m (σύμφωνα με τον πίνακα 1, σελ. 61 του εγχειριδίου «Combined 1D and 2D Modeling with HEC-RAS», Gary W. Brunner, HEC, Oct. 2014).

8.1.8 Αναπαράσταση κόμβων στο συζευγμένο 1D-2D μοντέλο

Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 8.2**, οι κόμβοι των υδατορευμάτων ορίζονται ως τοποθεσίες όπου δύο ή περισσότεροι κλάδοι ποταμού συμβάλλουν ή χωρίζονται. Τα δεδομένα του κόμβου διασταύρωσης αποτελούνται από τα μήκη των συμβαλλόντων στον κόμβο κλάδων. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει να ληφθούν υπόψη τα μήκη των συμβαλλόντων κλαδών σε πολύ περίπλοκες συμβολές (π.χ. χωρισμός ροής), όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

Χρησιμοποιώντας μόνο τα μήκη των διατομών κατάντη δεν θα είχαμε επαρκή περιγραφή των μηκών του κόμβου. Είναι λοιπόν απαραίτητο να περιγραφούν επαρκώς όλα τα μήκη στους κόμβους. Πρέπει να αντιπροσωπεύουν τη μέση απόσταση που το νερό θα ταξιδέψει από την τελευταία διατομή στο Ρέμα 1 μέχρι την πρώτη διατομή των αντίστοιχων ρεμάτων κατάντη. Γενικά, οι διατομές κοντά σε ένα κόμβο πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν εγγύτερα μεταξύ τους, ελαχιστοποιώντας το σφάλμα στον υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών κατά μήκος του κόμβου.

Για τους υδραυλικούς υπολογισμούς μη μόνιμης ροής στους κόμβους, το HEC-RAS παρέχει δύο επιλογές. Η προεπιλεγμένη επιλογή εξισώνει τις στάθμες του νερού ανάντη και κατάντη του κόμβου, ενώ η δεύτερη εκτελεί μία επίλυση ενεργειακού ισοζυγίου κατά μήκος του κόμβου προκειμένου να υπολογιστεί η ανάντη στάθμη. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, υλοποιείται η προεπιλεγμένη μέθοδος υπολογισμού ως περισσότερο γρήγορη και με μικρή βλάβη της γενικότητας στο ευρύτερο σύστημα.



Εικόνα 8.2: Σχηματική αναπαράσταση κόμβων και σχετικών υπολογιστικών μηκών.

8.2 Παράμετροι μοντέλου

8.2.1 Κριτήρια εκλογής

Η επιτυχής διαδικασία προσομοίωσης οποιασδήποτε ροής μέσω αριθμητικών σχημάτων απαιτεί τη σταθερότητα και τη σύγκλιση της λύσης. Μια λύση είναι σταθερή όταν παραμένει οριοθετημένη για θεωρητικά άπειρες επαναλήψεις με σταθερό χρονικό βήμα. Επιπλέον, μια λύση συγκλίνει όταν οι παραλλαγές στις παραμέτρους του αριθμητικού σχήματος, όπως η διακριτοποίηση και το χρονικό βήμα, δεν επηρεάζουν τη λύση (ή έχουν αμελητέα επίδραση, στην πράξη).

8.2.2 Παράμετροι

Τα κριτήρια σταθερότητας και σύγκλισης είναι ο οδηγός για την επιλογή των κατάλληλων αριθμητικών παραμέτρων. Αυτή είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία που οδηγεί στις βέλτιστες παραμέτρους. Οι παράμετροι του μοντέλου που τελικά επιλέχθηκαν δίνονται παρακάτω:

- **Υπολογιστικό βήμα**, $\Delta t = 2 \text{ s}$
- **Απόσταση μεταξύ διατομών** (1D discretization), $\Delta x = 100\text{-}300 \text{ m}$, κατά περίπτωση
- **Διάσταση δισδιάστατου υπολογιστικού κανάβου** (2D computationa grid spacing): 50 m
- **Διδιάστατες εξισώσεις ροής**: κύμα διάχυσης (diffusive wave)
- **Η επιλογή Mixed Flow Regime ενεργοποιήθηκε** με εκθέτη ίσο με 128 και το κατώφλι αποκοπής των όρων επιτάχυνσης ίσο με 0.01 (θα αναλυθεί περαιτέρω παρακάτω).

Οι αστάθειες ενός αριθμητικού σχήματος μπορεί να έχουν πολλές αιτίες, οι οποίες επηρεάζουν τη σταθερότητα της λύσης (αρχικές και οριακές συνθήκες, αποστάσεις διατομών, χρονικό βήμα, και το ίδιο το αριθμητικό σχήμα). Βασικό κριτήριο ευστάθειας ενός μοντέλου είναι ο **αριθμός Courant**:

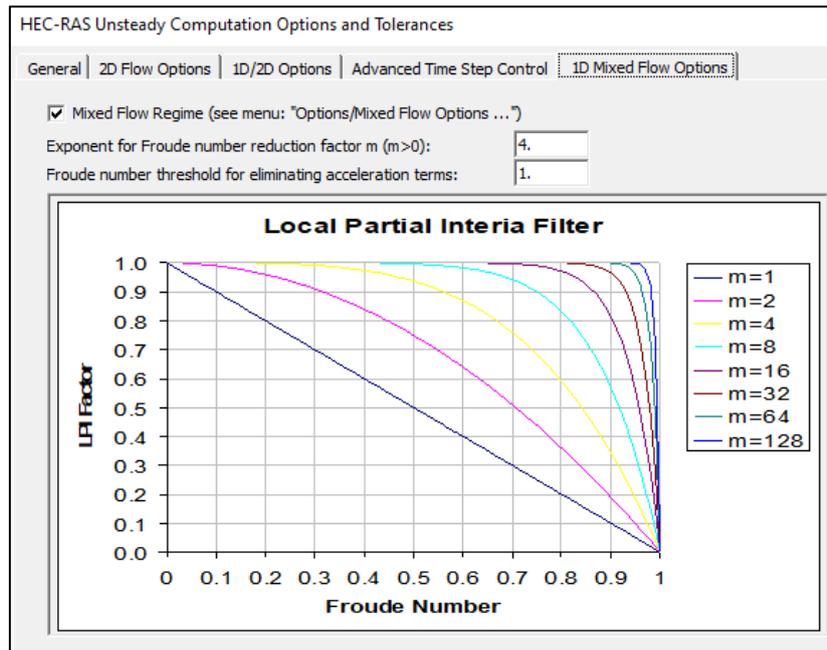
$$CFL = \frac{u\Delta t}{\Delta x} \quad (8.3)$$

Το παραπάνω κριτήριο συγκρίνει την ταχύτητα διάδοσης της πληροφορίας μέσα στο αριθμητικό σχήμα. Δεδομένου ότι το HEC-RAS χρησιμοποιεί ένα άρρητο (implicit) αριθμητικό σχήμα για τη χωρική διακριτοποίηση, ο αριθμός Courant μπορεί να πάρει τιμές μεγαλύτερες από ένα.

Τέλος, οι ίδιες οι εξισώσεις ποσότητας κίνησης περιέχουν μη γραμμικούς όρους επιτάχυνσης ($u \partial u / \partial x$), οι οποίοι λειτουργούν πολλαπλασιαστικά στην αύξηση των αριθμητικών σφαλμάτων και αποτελούν σημαντική πηγή αστάθειας, που είναι ανεξάρτητη από την επιλογή του αριθμητικού σχήματος.

Τέλος, ενεργοποιήθηκε η επιλογή **Mixed Flow Regime**. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, η οποία καθιερώθηκε από τον Danny Fread και είναι γνωστή ως μέθοδος LPI, οι όροι αδράνειας στην εξίσωση ποσότητας κίνησης απομειώνονται μέσω μιας σχέσης που περιγράφεται στον οδηγό χρήσης του HEC-RAS (σελ. 16-2). Χρησιμοποιώντας αυτή τη σχέση και μεταβάλλοντας τις δύο παραμέτρους, τον εκθέτη και το κατώφλι, μπορούμε να βελτιώσουμε τη σταθερότητα του μοντέλου. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα της **Εικόνας 8.3**, το ανώτερο όριο αυτής της μείωσης έχει ως αποτέλεσμα τη λύση των εξισώσεων των κυμάτων διάχυσης.

Σε σύνθετες προσομοιώσεις, όπως αυτές της παρούσας μελέτης, απαιτείται η χρήση αυτής της μεθόδου λόγω του συνδυασμού υποκρίσιμων και υπερκρίσιμων ροών, καθώς και του μεγάλου εύρους οριακών συνθηκών. Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια και τεχνικές, πραγματοποιήθηκε η επιλογή των τελικών παραμέτρων των προσομοιώσεων που περιεγράφηκαν προηγουμένως.



Εικόνα 8.3: Παράμετροι της μεθόδου με την επιλογή Mixed Flow Regime (LPI technique) στο περιβάλλον του HEC-RAS.

8.2.3 Συντελεστές Manning

Οι συντελεστές Manning ανατέθηκαν στις 2D περιοχές, σύμφωνα με τις χρήσεις γης κατά Corine, όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.1. Οι συντελεστές Manning που ανατέθηκαν στις 1D διατομές ανήκουν στο εύρος 0.03 – 0.04, ανάλογα με τη μορφολογία και τα υλικά που εμφανίζονται σε κάθε διατομή.

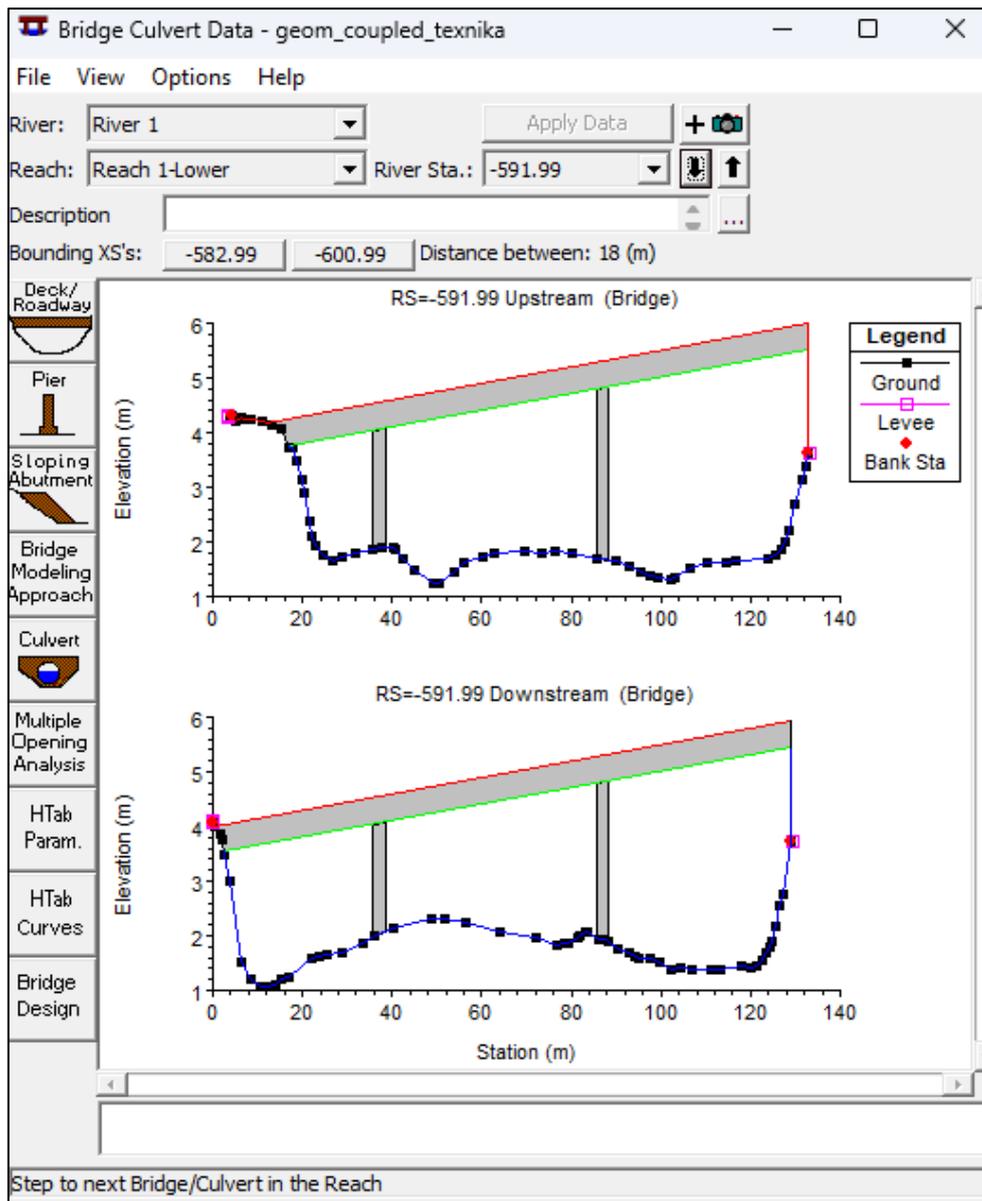
Πίνακας 8.1: Συντελεστές Manning ανά κατηγορία χρήσης γης (Papaioannou *et al.*, 2018).

ΕΠΙΠΕΔΟ 1	ΕΠΙΠΕΔΟ 2	ΕΠΙΠΕΔΟ 3	Συντελ. Manning
1 Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός	0.013
		1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός	0.03
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές και μεταφορικές μονάδες	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	0.013
		1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφείς γαίες	0.013
		1.2.3 Λιμάνια	0.013
		1.2.4 Αεροδρόμια	0.013
	1.3 Ορυχεία, χωματερές και εργοτάξια	1.3.1 Ορυχεία	0.02
		1.3.2 Χωματερές	0.02
		1.3.3 Εργοτάξια	0.025
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές φυτεμένες εκτάσεις	1.4.1 Αστικές πράσινες περιοχές	0.025
		1.4.2 Εγκαταστάσεις αναψυχής και αθλητισμού	0.03
	2 Γεωργικές περιοχές	2.1 Αροτριάιες εκτάσεις	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη

ΕΠΙΠΕΔΟ 1	ΕΠΙΠΕΔΟ 2	ΕΠΙΠΕΔΟ 3	Συντελ. Manning
		2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη	0.03
		2.1.3 Ορυζώνες	0.035
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες	0.03
		2.2.2 Οπωρώνες και δενδρώδεις καλλιέργειες	0.08
		2.2.3 Ελαιώνες	0.03
	2.3 Βοσκότοποι	2.3.1 Βοσκότοποι	0.035
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες με μόνιμες	0.04
		2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.04
		2.4.3 Γη κυρίως για γεωργία με φυσική βλάστηση	0.05
		2.4.4 Αγρο-δασικές περιοχές	0.06
3 Δάση και ημιφυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Φυλλοβόλα δάση	0.1
		3.1.2 Κωνοφόρα δάση	0.1
		3.1.3 Μεικτά δάση	0.1
	3.2 Θαμνώνες και χορτολιβαδικές ενώσεις	3.2.1 Φυσικά λιβάδια	0.04
		3.2.2 Μονοί και ερείπια	0.05
		3.2.3 Σκληρόφυλλη βλάστηση	0.05
		3.2.4 Μεταβατική δασική-θαμνώδης βλάστηση	0.06
	3.3 Ανοικτές εκτάσεις με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.025
		3.3.2 Γυμνά βράχια	0.03
		3.3.3 Αραιά βλάστηση	0.07
		3.3.4 Καμένες περιοχές	0.07
		3.3.5 Παγετώνες και χιόνι	0.01
4 Υγρότοποι	4.1 Εσωτερικοί υγρότοποι	4.1.1 Έλη	0.04
		4.1.2 Τύρφες	0.04
	4.2 Θαλάσσιοι υγρότοποι	4.2.1 Αλμυρά έλη	0.04
		4.2.2 Αλυκές	0.04
		4.2.3 Παλιρροιακές πεδιάδες	0.04
5 Υδάτινα σώματα	5.1 Εσωτερικά ύδατα	5.1.1 Ποτάμια	0.05
		5.1.2 Λίμνες	0.05
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	0.07
		5.2.2 Εκβολές ποταμών	0.08
		5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός	0.07

8.2.4 Προσθήκη τεχνικών έργων

Σε κάθε θέση μονοδιάστατης ανάλυσης όπου υπήρχε διαθέσιμη η πληροφορία της γεωμετρίας ενός τεχνικού έργου, αυτό προστέθηκε μέσω του σχετικού παραθύρου διαλόγου του HEC-RAS (Εικόνα 8.4).



Εικόνα 8.4: Εισαγωγή στοιχείων τεχνικών έργων μέσω του γραφικού περιβάλλοντος (GUI) του λογισμικού HEC-RAS.

9 Αποτελέσματα υδροδυναμικής προσομοίωσης

9.1 Σενάρια υδροδυναμικής προσομοίωσης

Τα σενάρια υδροδυναμικής προσομοίωσης επιλέχθηκαν μέσα από το πλήρες σύνολο των σεναρίων υδρολογικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 45 σενάρια που προκύπτουν από τον συνδυασμό (α) τριών περιόδων επαναφοράς της βροχόπτωσης ($T = 50, 100, 1000$), για τις οποίες τα υετογραφήματα των υπολεκανών καταρτίστηκαν με τη μέθοδο των *εναλλασσόμενων μπλοκ*, (β) τριών συνθηκών αρχικής υγρασίας, ήτοι ξηρών (Run2), μέσων (RUN5) και υγρών (RUN9), που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές της παραμέτρου CN ανά υπολεκάνη, και (γ) πέντε λειτουργικών σεναρίων του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα, για τα οποία μέσω του ταμιευτήρα Ασωμάτων διοχετεύεται σταθερή παροχή προς τον αναρρυθμιστικό ταμιευτήρα της Αγ. Βαρβάρας, ίση με 0, 300, 600, 900 και 1300 m^3/s . Υπενθυμίζεται ότι το πρώτο σενάριο, που αναφέρεται ως σενάριο βάσης, η εισροή στον ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας προέρχεται μόνο από την πλημμύρα της τοπικής της λεκάνης, ενώ η ρυθμιζόμενη εκροή του είναι ίση με τη θεσμοθετημένη οικολογική παροχή (4.5 m^3/s), στο δεύτερο σενάριο λειτουργούν οι στρόβιλοι σε πλήρη παροχетеυτικότητα, ενώ στο τελευταίο λειτουργεί το σύστημα υπερχείλισης σε πλήρη παροχетеυτικότητα.

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 9.1**, η κωδικοποίηση των 45 σεναρίων που εξετάστηκαν είναι της μορφής RunX_Y_T, όπου X ο κωδικός για τις συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας (2 για ξηρές, 5 για μέσες, 9 για υγρές), Y η τιμή της παροχής εκροής των Ασωμάτων (η μηδενική παροχή αντιστοιχεί στο σενάριο βάσης), και T η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης διάρκειας 72 ωρών που προσπίπτει στο υδρολογικό σύστημα (50, 100 και 1000 έτη).

Πίνακας 9.1: Κωδικοποίηση σεναρίων υδροδυναμικής προσομοίωσης.

α/α	Σενάριο	Συνθήκες αρχικής υγρασίας εδάφους	Παροχή εκροής Ασωμάτων (m^3/s)	Περίοδος επαναφοράς βροχής (έτη)
1	Run2_Base_T50	Ξηρές	0	50
2	Run2_Base_T100	Ξηρές	0	100
3	Run2_Base_T1000	Ξηρές	0	1000
4	Run2_300_T50	Ξηρές	300	50
5	Run2_300_T100	Ξηρές	300	100
6	Run2_300_T1000	Ξηρές	300	1000
7	Run2_600_T50	Ξηρές	600	50
8	Run2_600_T100	Ξηρές	600	100
9	Run2_600_T1000	Ξηρές	600	1000
10	Run2_900_T50	Ξηρές	900	50
11	Run2_900_T100	Ξηρές	900	100
12	Run2_900_T1000	Ξηρές	900	1000
13	Run2_1300_T50	Ξηρές	1300	50
14	Run2_1300_T100	Ξηρές	1300	100
15	Run2_1300_T1000	Ξηρές	1300	1000
16	Run5_Base_T50	Μέσες	0	50
17	Run5_Base_T100	Μέσες	0	100
18	Run5_Base_T1000	Μέσες	0	1000
19	Run5_300_T50	Μέσες	300	50
20	Run5_300_T100	Μέσες	300	100
21	Run5_300_T1000	Μέσες	300	1000
22	Run5_600_T50	Μέσες	600	50
23	Run5_600_T100	Μέσες	600	100

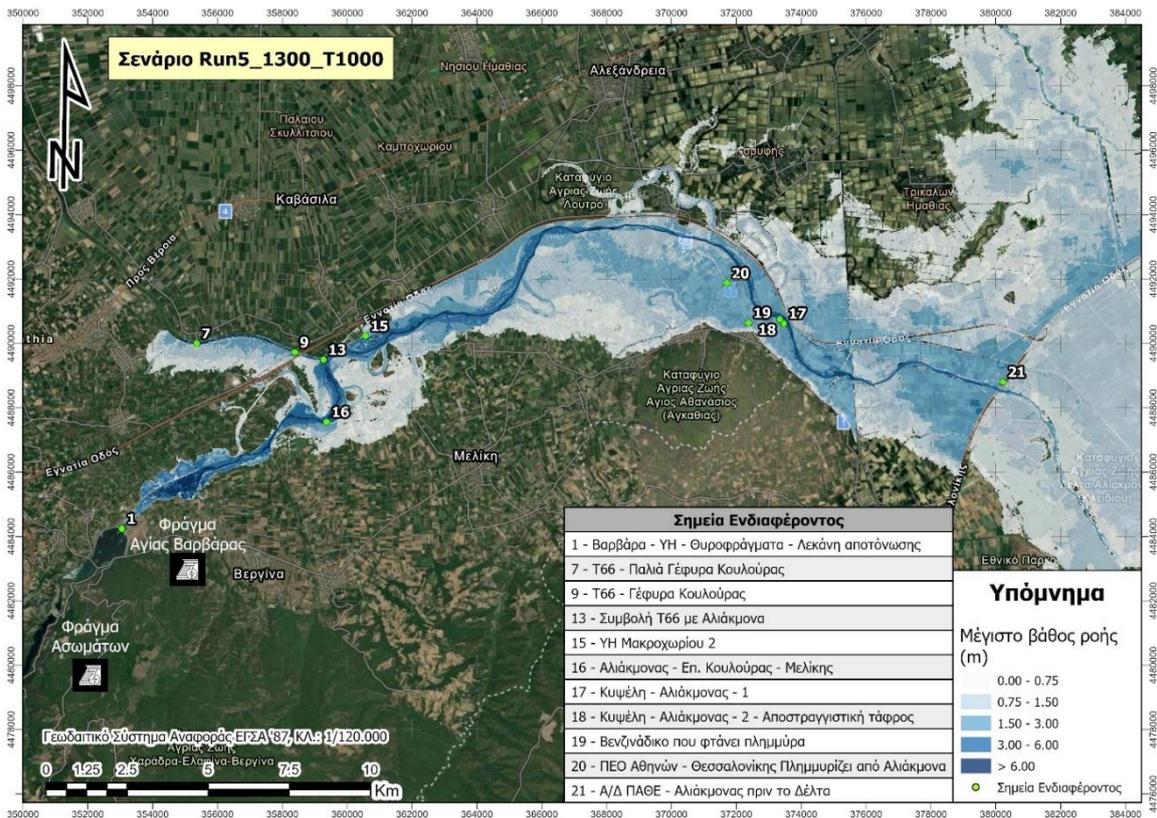
24	Run5_600_T1000	Μέσες	600	1000
25	Run5_900_T50	Μέσες	900	50
26	Run5_900_T100	Μέσες	900	100
27	Run5_900_T1000	Μέσες	900	1000
28	Run5_1300_T50	Μέσες	1300	50
29	Run5_1300_T100	Μέσες	1300	100
30	Run5_1300_T1000	Μέσες	1300	1000
31	Run9_Base_T50	Υγρές	0	50
32	Run9_Base_T100	Υγρές	0	100
33	Run9_Base_T1000	Υγρές	0	1000
34	Run9_300_T50	Υγρές	300	50
35	Run9_300_T100	Υγρές	300	100
36	Run9_300_T1000	Υγρές	300	1000
37	Run9_600_T50	Υγρές	600	50
38	Run9_600_T100	Υγρές	600	100
39	Run9_600_T1000	Υγρές	600	1000
40	Run9_900_T50	Υγρές	900	50
41	Run9_900_T100	Υγρές	900	100
42	Run9_900_T1000	Υγρές	900	1000
43	Run9_1300_T50	Υγρές	1300	50
44	Run9_1300_T100	Υγρές	1300	100
45	Run9_1300_T1000	Υγρές	1300	1000

9.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων υδροδυναμικής προσομοίωσης

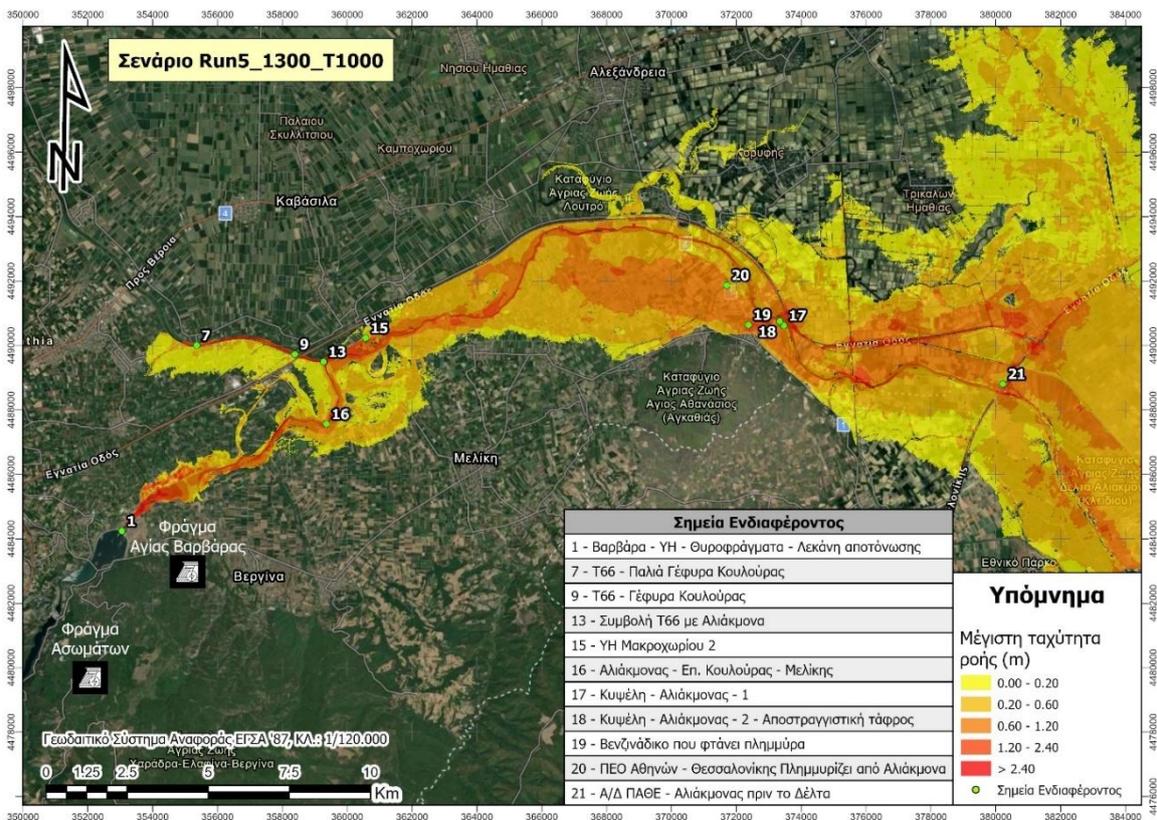
Κάθε σενάριο παράγει ένα σετ χαρτών που απεικονίζουν την εξέλιξη του πλημμυρικού φαινομένου καθώς και τα μέγιστα βάθη και μέγιστες ταχύτητες ροής. Στο **Παράρτημα Α** παρατίθενται οι χάρτες για όλα τα σενάρια υδροδυναμικής προσομοίωσης, στο **Παράρτημα Β** δίνονται οι τιμές των μέγιστων βαθών και ταχυτήτων σε 11 σημεία ενδιαφέροντος, ενώ στο **Παράρτημα Γ** παρατίθενται οι πίνακες των κατακλυζόμενων εκτάσεων ανά σενάριο, ανά κωδικό χρήσης γης κατά Corine και ανά κλάση μέγιστου βάθους και μέγιστης ταχύτητας ροής.

Ενδεικτικά, στις ακόλουθες εικόνες παρατίθενται οι χάρτες μέγιστου βάθους και μέγιστης ταχύτητας για το σενάριο Run5_1300_T1000. Επίσης, πραγματοποιείται σύγκριση τριών ενδεικτικών σεναρίων (σενάρια βάσης, μέσες συνθήκες) για τις εξεταζόμενες περιόδους επαναφοράς των 50, 100 και 1000 ετών, με τις πλημμυρικές κατακλύσεις που παρήχθησαν στα πλαίσια των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας (ΣΔΚΠ)¹. Να σημειωθεί πως στα πλαίσια των ΣΔΚΠ τα αποτελέσματα παρέχονται ανά Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ), ενώ στο ΥΔ ΕΛ09 (Δυτικής Μακεδονίας) στο οποίο και υπάγεται η περιοχή μελέτης τα όρια με το γειτονικό ΥΔ (ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας – ΕΛ10) έχουν τοποθετηθεί επί της Εγνατίας Οδού (Ε90) - με την εξαίρεση κάποιων μαιανδρισμών επί των οικισμών «Νησέλλιον» και «Κυδωνέα» (**Εικόνα 9.1**), καθιστώντας αδόκιμη τη σύγκριση με τις κατακλύσεις που προκύπτουν βόρεια αυτής εξαιτίας του Αλιάκμονα. Στα ΣΔΚΠ, δηλαδή, η Εγνατία Οδός λειτουργεί ως φράγμα/ανάχωμα διακόπτοντας την υδραυλική συνδεσιμότητα (hydraulic connectivity) μεταξύ των περιοχών στα νότια και βόρεια της. Αντίθετα στα πλαίσια της παρούσας μελέτης οι κατακλύσεις στα βόρεια της Εγνατίας εξαιτίας υπερχειλίσεων του Αλιάκμονα έχουν αναπαρασταθεί πλήρως μέσω της εισαγωγής στο μοντέλο όλων των οχετών και κάτω διαβάσεων της.

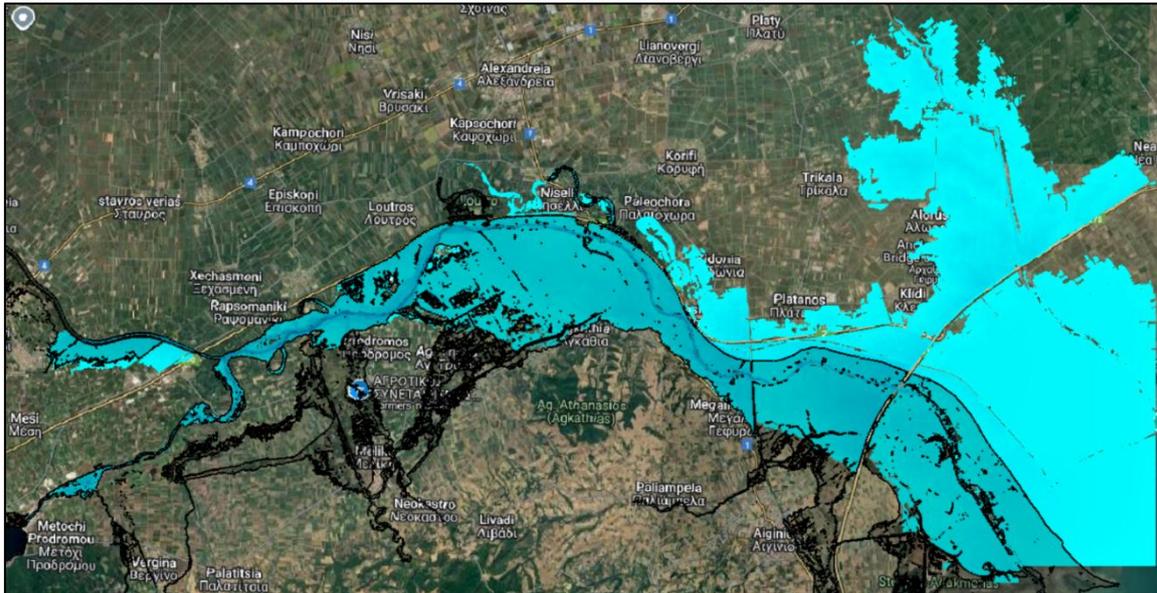
¹ Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, Χάρτες Επικινδυνότητας Πλημμύρας ΕΛ09 – 1η Αναθεώρηση, Πινακίδα 36-4485 (<https://floods.ypeka.gr/sdkp-lap/maps-2round/sdkp-el09-2round/2round-chartes-epikin-esot-ydata-el09/>)



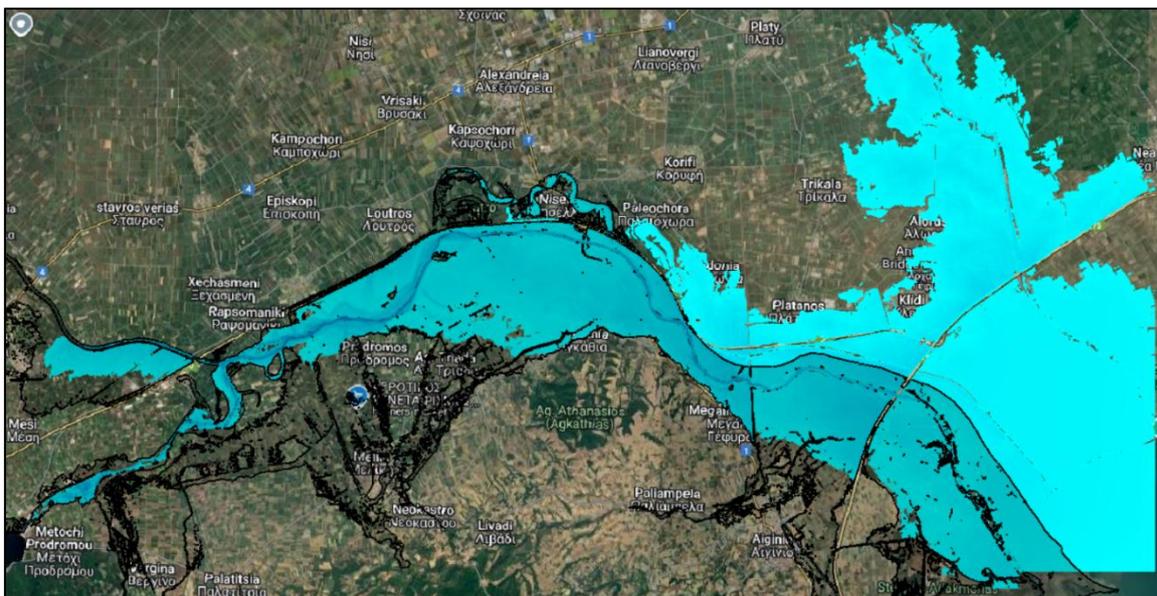
Εικόνα 9.1: Αποτελέσματα μέγιστου βάθους ροής για το σενάριο Run5_1300_T1000.



Εικόνα 9.2: Αποτελέσματα μέγιστης ταχύτητας ροής για το σενάριο Run5_1300_T1000.



Εικόνα 9.5: Σύγκριση κατάκλυσης σεναρίου Run5_Base_T100 (μπλε χρώμα) με την κατάκλυση των προσομοιώσεων των ΣΔΚΠ για την ίδια περίοδο επαναφοράς).



Εικόνα 9.6: Σύγκριση κατάκλυσης σεναρίου Run5_Base_T1000 (μπλε χρώμα) με την κατάκλυση των προσομοιώσεων των ΣΔΚΠ για την ίδια περίοδο επαναφοράς).

Από τα παραπάνω παρατηρείται πολύ ικανοποιητική ταύτιση ανάμεσα στα αποτελέσματα νοτίως της Εγνατίας Οδού, όπου και η σύγκριση είναι δόκιμη, με την εξαίρεση των κατακλύσεων των συμβαλλόντων στον Αλιάκμονα κλάδων, οι οποίοι έχουν αναπαρασταθεί υδροδυναμικά στα πλαίσια των ΣΔΚΠ, ενώ στην παρούσα μελέτη τα πλημμυρογραφήματα έχουν εισαχθεί στο μοντέλο ως πλευρικές εισροές (lateral inflows). Επίσης, στις υδροδυναμικές προσομοιώσεις της παρούσης, η κατάκλυση περίξ της τάφρου Τ66 υπερεκτιμάται για $T = 50$ έτη και υποεκτιμάται για $T = 1000$ έτη ως προς τις αναλύσεις των ΣΔΚΠ, ενδεχομένως εξαιτίας της αναπαράστασης της Τ66 για μεγαλύτερο μήκος προς τα ανάντη στα πλαίσια των ΣΔΚΠ.

9.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη υδροδυναμικής προσομοίωσης

9.3.1 Κατακλυζόμενες εκτάσεις

Στον Πίνακες 9.2 και 9.3 δίνεται συγκεντρωτικά η εικόνα των κατακλυζόμενων εκτάσεων (σε στρέμματα) ανά κλάση βάθους και ανά κλάση ταχύτητας ροής, αντίστοιχα, για το σύνολο των σεναρίων υδροδυναμικής ανάλυσης. Η κατανομή των εκτάσεων μεταξύ των κλάσεων βάθους και ταχύτητας ροής επιτρέπει την ποσοτική αποτίμηση της έντασης των πλημμυρικών φαινομένων και του βαθμού επικινδυνότητας για τις επιμέρους ζώνες. Ακόμη, στην **Εικόνα 9.7** σχηματοποιούνται συγκριτικά οι συνολικές κατακλυζόμενες εκτάσεις ανά σενάριο υδροδυναμικής προσομοίωσης.

Πίνακας 9.2: Κατακλυζόμενες εκτάσεις ανά κλάση μέγιστου βάθους ροής.

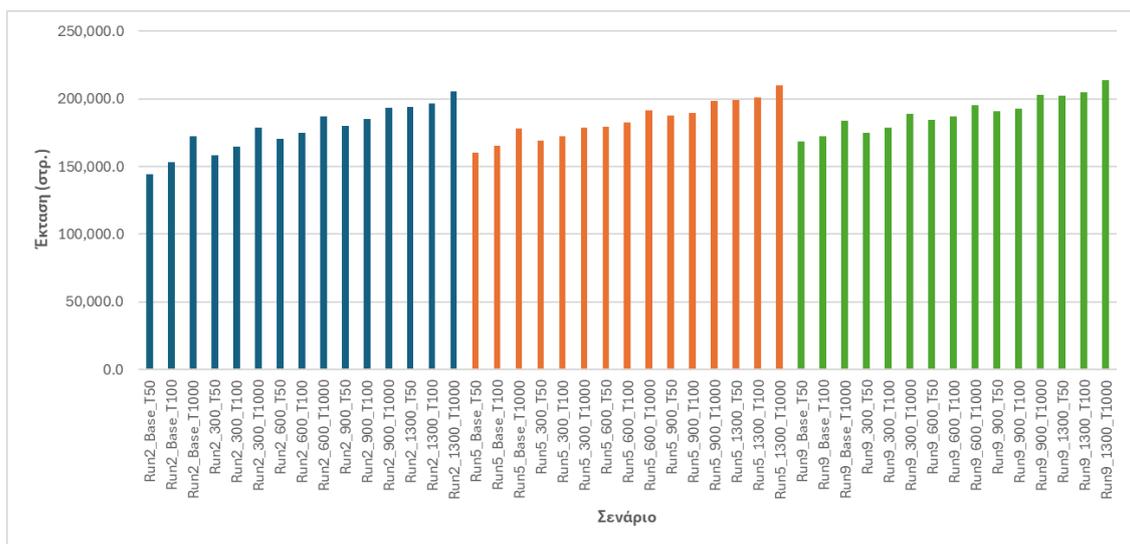
α/α	Σενάριο	Έκταση (στρέμματα)					Άθροισμα
		Βάθος ροής (m)					
		0.00–0.75	0.75–1.50	1.50–3.00	3.00–6.00	>6.00	
1	Run2_Base_T50	97 250	32 719	11 324	2 258	633	144 185
2	Run2_Base_T100	100 454	36 140	13 742	2 370	659	153 365
3	Run2_Base_T1000	103 718	44 610	19 973	2 934	786	172 022
4	Run2_300_T50	102 102	37 459	15 238	2 892	733	158 425
5	Run2_300_T100	103 530	40 207	17 176	2 999	773	164 686
6	Run2_300_T1000	102 795	48 555	22 581	3 605	950	178 487
7	Run2_600_T50	103 660	42 844	19 363	3 646	1 022	170 535
8	Run2_600_T100	103 509	45 689	20 958	3 750	1 067	174 974
9	Run2_600_T1000	93 492	61 972	25 825	4 340	1 250	186 880
10	Run2_900_T50	103 056	48 515	22 979	4 413	1 266	180 228
11	Run2_900_T100	97 339	57 553	24 187	4 524	1 296	184 899
12	Run2_900_T1000	84 008	73 680	28 868	5 162	1 443	193 161
13	Run2_1300_T50	89 295	70 526	27 036	5 309	1 607	193 773
14	Run2_1300_T100	85 518	76 058	28 085	5 424	1 646	196 730
15	Run2_1300_T1000	81 828	82 537	33 002	6 033	1 841	205 241
16	Run5_Base_T50	103 242	38 686	15 137	2 463	676	160 204
17	Run5_Base_T100	104 161	40 985	16 798	2 611	705	165 259
18	Run5_Base_T1000	102 452	48 493	23 174	3 290	869	178 279
19	Run5_300_T50	103 970	42 622	18 487	3 083	801	168 962
20	Run5_300_T100	103 950	44 697	19 854	3 228	845	172 574
21	Run5_300_T1000	102 796	48 555	22 581	3 605	950	178 487
22	Run5_600_T50	103 382	48 674	22 088	3 844	1 096	179 083
23	Run5_600_T100	100 197	53 791	23 311	3 981	1 144	182 424
24	Run5_600_T1000	84 789	71 480	28 822	4 737	1 334	191 161
25	Run5_900_T50	91 176	65 303	25 136	4 629	1 318	187 562
26	Run5_900_T100	88 075	69 058	26 270	4 783	1 355	189 541
27	Run5_900_T1000	79 830	79 654	31 804	5 535	1 520	198 343
28	Run5_1300_T50	84 080	78 582	29 024	5 537	1 672	198 895
29	Run5_1300_T100	83 364	80 019	30 230	5 687	1 720	201 020
30	Run5_1300_T1000	79 908	85 793	36 001	6 374	1 938	210 014

α/α	Σενάριο	Έκταση (στρέμματα)					Άθροισμα
		Βάθος ροής (m)					
		0.00–0.75	0.75–1.50	1.50–3.00	3.00–6.00	>6.00	
31	Run9_Base_T50	104 225	42 688	18 190	2 706	733	168 542
32	Run9_Base_T100	103 773	44 650	19 916	2 871	778	171 989
33	Run9_Base_T1000	97 808	55 943	25 336	3 586	931	183 604
34	Run9_300_T50	103 665	46 298	20 966	3 321	874	175 123
35	Run9_300_T100	103 010	48 449	22 471	3 510	924	178 364
36	Run9_300_T1000	86 967	68 743	27 690	4 264	1 141	188 805
37	Run9_600_T50	97 153	57 709	24 257	4 075	1 171	184 366
38	Run9_600_T100	93 448	62 252	25 631	4 248	1 221	186 800
39	Run9_600_T1000	78 810	78 819	31 172	5 043	1 394	195 238
40	Run9_900_T50	86 473	70 991	27 199	4 884	1 374	190 921
41	Run9_900_T100	83 720	74 133	28 588	5 068	1 413	192 921
42	Run9_900_T1000	77 453	83 759	34 084	5 857	1 587	202 741
43	Run9_1300_T50	82 571	81 272	31 159	5 781	1 742	202 524
44	Run9_1300_T100	81 446	82 998	32 630	5 953	1 796	204 823
45	Run9_1300_T1000	78 561	88 224	38 127	6 634	2 013	213 557

Πίνακας 9.3: Κατακλυζόμενες εκτάσεις ανά κλάση μέγιστης ταχύτητας ροής.

α/α	Σενάριο	Έκταση (στρέμματα)					Άθροισμα
		Ταχύτητα ροής (m/s)					
		0.00–0.20	0.20–0.60	0.60–1.20	1.20–2.40	>2.40	
1	Run2_Base_T50	74 488	53 710	13 781	1 804	403	144 185
2	Run2_Base_T100	76 840	58 555	15 576	1 960	433	153 365
3	Run2_Base_T1000	75 627	73 645	19 854	2 352	543	172 022
4	Run2_300_T50	81 966	57 556	16 235	2 320	348	158 425
5	Run2_300_T100	81 611	62 594	17 645	2 444	392	164 686
6	Run2_300_T1000	73 787	79 634	21 814	2 755	498	178 487
7	Run2_600_T50	82 331	66 020	18 924	2 737	522	170 535
8	Run2_600_T100	79 402	71 969	20 224	2 836	543	174 974
9	Run2_600_T1000	63 401	94 419	25 110	3 298	652	186 880
10	Run2_900_T50	75 893	78 069	22 423	3 178	665	180 228
11	Run2_900_T100	68 602	88 517	23 788	3 297	696	184 899
12	Run2_900_T1000	56 636	102 887	28 824	4 019	795	193 161
13	Run2_1300_T50	61 943	99 455	27 534	3 919	923	193 773
14	Run2_1300_T100	60 999	101 928	28 737	4 124	942	196 730
15	Run2_1300_T1000	58 578	107 148	33 594	4 891	1 031	205 241
16	Run5_Base_T50	79 414	61 873	16 457	2 034	426	160 204
17	Run5_Base_T100	79 960	65 343	17 395	2 101	459	165 259
18	Run5_Base_T1000	71 378	81 676	22 052	2 567	606	178 279
19	Run5_300_T50	81 176	66 687	18 207	2 496	395	168 962
20	Run5_300_T100	79 542	70 822	19 228	2 563	419	172 574

α/α	Σενάριο	Έκταση (στρέμματα)					Άθροισμα
		Ταχύτητα ροής (m/s)					
		0.00–0.20	0.20–0.60	0.60–1.20	1.20–2.40	>2.40	
21	Run5_300_T1000	73 792	79 633	21 819	2 749	494	178 487
22	Run5_600_T50	76 719	77 694	21 206	2 907	558	179 083
23	Run5_600_T100	72 697	83 878	22 252	3 010	587	182 424
24	Run5_600_T1000	54 670	103 544	28 386	3 859	701	191 161
25	Run5_900_T50	63 439	95 287	24 724	3 397	716	187 562
26	Run5_900_T100	61 171	98 150	25 931	3 549	740	189 541
27	Run5_900_T1000	55 527	105 810	31 741	4 429	836	198 343
28	Run5_1300_T50	60 725	103 306	29 627	4 269	968	198 895
29	Run5_1300_T100	60 096	104 653	30 805	4 480	986	201 020
30	Run5_1300_T1000	58 148	109 481	36 008	5 297	1 081	210 014
31	Run9_Base_T50	81 847	66 486	17 611	2 125	474	168 542
32	Run9_Base_T100	80 105	70 297	18 828	2 242	517	171 989
33	Run9_Base_T1000	66 131	89 894	24 138	2 807	635	183 604
34	Run9_300_T50	78 680	73 714	19 685	2 603	440	175 123
35	Run9_300_T100	75 967	78 315	20 915	2 701	466	178 364
36	Run9_300_T1000	56 728	101 114	26 929	3 428	606	188 805
37	Run9_600_T50	69 286	88 374	23 039	3 068	599	184 366
38	Run9_600_T100	64 258	94 123	24 546	3 250	622	186 800
39	Run9_600_T1000	54 075	105 593	30 673	4 150	747	195 238
40	Run9_900_T50	59 730	99 998	26 780	3 663	751	190 921
41	Run9_900_T100	57 663	102 450	28 132	3 901	775	192 921
42	Run9_900_T1000	56 478	107 004	33 685	4 697	877	202 741
43	Run9_1300_T50	59 801	105 693	31 482	4 555	993	202 524
44	Run9_1300_T100	59 295	106 983	32 815	4 716	1 013	204 823
45	Run9_1300_T1000	56 007	112 795	37 969	5 667	1 120	213 557



Εικόνα 9.7: Συνολικές κατακλυζόμενες εκτάσεις ανά σενάριο υδροδυναμικής προσομοίωσης.

Με βάση την ως άνω ανάλυση προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Στα σενάρια της ομάδας Run2_Base, που αντιπροσωπεύουν συνθήκες βάσης με τρία διαφορετικά επίπεδα περιόδου επαναφοράς (T50, T100 και T1000), παρατηρείται μια προοδευτική αύξηση της συνολικής πλημμυρισμένης έκτασης από 144 185 στρέμματα για την T50 έως 172 022 στρέμματα για την T1000. Η αύξηση αυτή κατά περίπου 19% υποδηλώνει τη σημαντική ευαισθησία του συστήματος στην αύξηση της περιόδου επαναφοράς T. Αναλυτικά, το μεγαλύτερο ποσοστό της πλημμυρισμένης έκτασης εντοπίζεται στα ρηχά νερά (<0.75 m), τα οποία καλύπτουν σχεδόν τα δύο τρίτα της συνολικής επιφάνειας, ενώ οι βαθύτερες κατηγορίες (>1.50 m) αντιστοιχούν σε μικρότερα αλλά κρίσιμα τμήματα με υψηλότερη επικινδυνότητα. Αντίστοιχα, οι χαμηλές ταχύτητες (<0.60 m/s) είναι κυρίαρχες, ωστόσο στα σενάρια με υψηλότερη περίοδο επαναφοράς παρατηρείται σταδιακή αύξηση των εκτάσεων με ταχύτητες άνω του 1.20 m/s, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη δυναμική της ροής και μεγαλύτερες διαβρωτικές δυνάμεις.

Στην ομάδα Run2_300, η χωρική έκταση των πλημμυρών αυξάνεται συγκριτικά με την κατάσταση βάσης. Η συνολική πλημμυρισμένη επιφάνεια φτάνει από 158 425 στρέμματα για την T50 έως 178 487 στρέμματα για την T1000. Παρατηρείται επίσης μετατόπιση μέρους του όγκου της ροής από τις χαμηλότερες προς τις μεσαίες κατηγορίες βάθους (0.75–1.50 m και 1.50–3.00 m), γεγονός που σημαίνει ότι η πλημμύρα αποκτά πιο έντονο και διαρκή χαρακτήρα. Οι αντίστοιχες ταχύτητες ροής κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με την ομάδα βάσης, αλλά με μια ελαφρά ενίσχυση των υψηλών ταχυτήτων, ειδικά στην κατηγορία >2.40 m/s.

Η ομάδα Run2_600 παρουσιάζει μια παρόμοια αλλά ελαφρώς πιο συγκρατημένη συμπεριφορά. Οι συνολικές εκτάσεις κυμαίνονται από 170 535 στρέμματα (T50) έως 186 880 στρέμματα (T1000), γεγονός που υποδεικνύει μια περαιτέρω αύξηση των πλημμυρικών επιπτώσεων σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια. Η αύξηση αυτή συνοδεύεται από σημαντική επέκταση της ενδιάμεσης κατηγορίας βάθους (0.75–1.50 m) και ταυτόχρονα από αύξηση των ταχέων ροών (0.60–1.20 m/s). Η συνύπαρξη αυτών των δύο χαρακτηριστικών φανερώνει μια πιο εκτεταμένη και ενεργή πλημμυρική διεργασία, με μεγαλύτερη πιθανότητα φθορών σε υποδομές και καλλιέργειες.

Η ομάδα Run2_900 συνεχίζει αυτή την τάση, εμφανίζοντας περαιτέρω ενίσχυση του φαινομένου. Η συνολική πλημμυρισμένη έκταση αυξάνεται στα 180 228 ως 193 161 στρέμματα, με τις υψηλές κατηγορίες ταχύτητας (>1.20 m/s) να αποκτούν σημαντικότερη παρουσία. Αυτό σημαίνει ότι το φαινόμενο δεν περιορίζεται πλέον σε στασιμότητα ρηχών υδάτων, αλλά χαρακτηρίζεται από δυναμική ροή, με αυξημένες πιθανότητες μεταφοράς φερτών υλών ή αστοχιών πρηνών.

Τέλος, η ομάδα Run2_1300 δείχνει τη μέγιστη ανάπτυξη του φαινομένου για αυτή τη σειρά προσομοιώσεων. Η συνολική έκταση φτάνει τα 193 773 στρέμματα στην T50, 196 730 στρέμματα στην T100 και 205 241 στρέμματα στην T1000, δηλαδή αύξηση περίπου 42% σε σχέση με τη βασική κατάσταση T50. Οι επιμέρους επιφάνειες κατανομής βάθους δείχνουν μια έντονη μετατόπιση προς τις βαθύτερες κατηγορίες (>1.50 m), ενώ η αύξηση των ταχυτήτων ροής στις κλάσεις 0.60–1.20 και >1.20 m/s είναι σημαντική. Συνεπώς, τα σενάρια αυτά αντιπροσωπεύουν συνθήκες έντονης, βαθιάς και ταχείας πλημμύρας.

Συνολικά, η συγκριτική αποτίμηση όλων των σεναρίων Run2 δείχνει μια συνεπή και σχεδόν γραμμική αύξηση της πλημμυρικής έκτασης και των δυναμικών χαρακτηριστικών της ροής όσο αυξάνεται είτε η ένταση του σεναρίου (300 → 600 → 900 → 1300) είτε η περίοδος επαναφοράς (T50 → T100 → T1000). Τα ρηχά νερά παραμένουν πάντα το κυρίαρχο χαρακτηριστικό των πλημμυρών, όμως όσο εντείνονται οι υδραυλικές συνθήκες παρατηρείται προοδευτική αύξηση τόσο του βάθους όσο και της ταχύτητας, οδηγώντας σε μεταβολή του πλημμυρικού καθεστώτος από ήπιο προς περισσότερο ενεργητικό και καταστροφικό.

Η συσχέτιση των κατηγοριών βάθους και ταχύτητας δείχνει ότι η μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνεται από συνδυασμούς ρηχών και βραδέων ροών (<0.75 m και <0.60 m/s), ενώ οι βαθύτερες και ταχύτερες ροές είναι περιορισμένες, αλλά συγκεντρωμένες σε κρίσιμες ζώνες, ήτοι κοντά σε κύρια κανάλια. Η σταθερή αύξηση των συνολικών εκτάσεων με την περίοδο επαναφοράς της βροχής αποτυπώνει την αναμενόμενη κλιμάκωση του κινδύνου πλημμύρας, ενώ οι μεταβολές των εσωτερικών κατηγοριών βάθους και ταχύτητας παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση των τοπικών επιπτώσεων και των προτεραιοτήτων προστασίας.

Η δεύτερη οικογένεια σεναρίων, Run5, αντιπροσωπεύει μια ελαφρώς διαφοροποιημένη υδραυλική κατάσταση σε σχέση με τη σειρά Run2. Γενικά, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ελαφρώς αυξημένες πλημμυρικές εκτάσεις στις συνθήκες μέσης και υψηλής έντασης, καθώς και μεταβολές στην κατανομή των βαθών και ταχυτήτων που υποδηλώνουν πιο ομοιογενή ανάπτυξη της ροής στο χώρο. Στο βασικό σενάριο Run5_Base, η συνολική πλημμυρισμένη επιφάνεια φθάνει περίπου τα 160 204 στρέμματα στην T50, αυξάνεται στα 165 259 στρέμματα στην T100 και αγγίζει τα 178 279 στρέμματα στην T1000. Η αύξηση με την περίοδο επαναφοράς ακολουθεί την ίδια λογική με τη σειρά Run2, αλλά με ελαφρώς μεγαλύτερες συνολικές τιμές, γεγονός που πιθανώς αντανακλά μεγαλύτερη ευπάθεια της συγκεκριμένης τοπογραφικής ή υδραυλικής διαμόρφωσης.

Η ανάλυση των επιμέρους κατηγοριών βάθους ροής δείχνει ότι, όπως και στα προηγούμενα σενάρια, το μεγαλύτερο ποσοστό της πλημμυρικής έκτασης συγκεντρώνεται στο εύρος έως και 0.75 m, το οποίο καλύπτει κατά κανόνα πάνω από το ήμισυ της συνολικής πλημμυρικής επιφάνειας. Ωστόσο, στα σενάρια Run5 εμφανίζεται ενίσχυση των ενδιάμεσων κατηγοριών 0.75–1.50 m και 1.50–3.00 m, κυρίως για τις υψηλότερες περιόδους επαναφοράς. Αυτή η εξέλιξη δείχνει ότι, αν και η συνολική επέκταση της πλημμύρας δεν είναι δραματικά μεγαλύτερη από τη Run2, η κατανομή του βάθους υποδηλώνει βαθύτερες στάθμες και, επομένως, αυξημένες «υδραυλικές πιέσεις».

Ανάλογη εικόνα παρατηρείται στις ταχύτητες ροής. Οι χαμηλές ταχύτητες (<0.60 m/s) εξακολουθούν να κυριαρχούν, αλλά η κατηγορία 0.60 ως 1.20 m/s παρουσιάζει μεγαλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με τα σενάρια Run2. Οι εκτάσεις με ταχύτητες >1.20 m/s είναι σχετικά περιορισμένες, όμως αυξάνονται σταθερά από την T50 προς την T1000. Η τάση αυτή δείχνει ότι, υπό συνθήκες μεγαλύτερης έντασης βροχόπτωσης ή πλημμυρικής παροχής, η πλημμύρα στο σενάριο Run5 αποκτά περισσότερο «ενεργητικό» χαρακτήρα, με αυξημένη πιθανότητα μεταφοράς φερτών και ενεργοποίησης διαβρωτικών μηχανισμών.

Οι παραλλαγές με διαφορετικά υδραυλικά χαρακτηριστικά (Run5_300, Run5_600, Run5_900 και Run5_1300) δείχνουν προοδευτική αύξηση τόσο της έκτασης όσο και της έντασης του φαινομένου. Ειδικότερα, στα σενάρια Run5_600 και Run5_900 η πλημμυρισμένη επιφάνεια φτάνει στα 191 161 και 198 343 στρέμματα αντίστοιχα, ενώ στο Run5_1300 ξεπερνά τα 210 000 στρέμματα για την T1000, που αποτελεί από τις μεγαλύτερες τιμές του συνόλου των προσομοιώσεων. Οι κλάσεις βάθους >1.50 m και ταχύτητας >1.20 m/s αποκτούν πλέον σημαντική παρουσία, υποδεικνύοντας ότι το φαινόμενο αποκτά πλήρως ανεπτυγμένη υδραυλική δομή, με αυξημένη δυναμική και μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατάκλυσης. Με άλλα λόγια, στα σενάρια Run5 η πλημμύρα μεταβαίνει από εκτεταμένες αλλά ρηχές κατακλύσεις σε βαθύτερες και ταχύτερες ροές, γεγονός που αντιστοιχεί σε υψηλότερα επίπεδα κινδύνου.

Η τρίτη ομάδα σεναρίων, Run9, αντιπροσωπεύει την πιο ακραία κατάσταση του συνόλου. Τα αποτελέσματα δείχνουν καθαρά ότι πρόκειται για σενάρια με τη μέγιστη έκταση πλημμύρας και τη μεγαλύτερη ένταση της ροής. Ήδη στο βασικό σενάριο Run9_Base, η πλημμυρισμένη επιφάνεια κυμαίνεται από 168.542 στρέμματα (T50) έως 183 604 στρέμματα (T1000), ενώ στις υπόλοιπες παραλλαγές η αύξηση είναι εντυπωσιακή. Για παράδειγμα, στο Run9_300_T1000 η πλημμύρα

καλύπτει σχεδόν 189 000 στρέμματα, στο Run9_600_T1000 πάνω από 195 000 στρέμματα, ενώ στα πιο έντονα σενάρια Run9_900_T1000 και Run9_1300_T1000 η συνολική έκταση ξεπερνά τα 200 000 στρέμματα, με ανώτατες τιμές γύρω στα 213.500 στρέμματα στο Run9_1300_T1000.

Η κατανομή του βάθους στις προσομοιώσεις Run9 διαφοροποιείται αισθητά από τις προηγούμενες ομάδες. Οι ρηχές κατηγορίες (έως 0.75 m) εξακολουθούν να είναι εκτεταμένες, αλλά οι ενδιάμεσες και βαθιές ζώνες αυξάνονται σημαντικά, με τις κατηγορίες 0.75–1.50 m και 1.50–3.00 m να καλύπτουν πλέον μεγάλο μέρος της πλημμυρικής επιφάνειας. Η παρουσία εκτάσεων με βάθος άνω των 3.0 m είναι περιορισμένη αλλά σταθερά αυξανόμενη, κάτι που υποδεικνύει πιθανή ανάπτυξη εντονότερων «ρευμάτων ροής» σε συγκεκριμένα κανάλια. Οι ταχύτητες ακολουθούν αντίστοιχη πορεία: η πλειονότητα των εκτάσεων βρίσκεται κάτω από 1.0 m/s, αλλά η συνεισφορά των ζωνών με ταχύτητες 1.20 ως 2.40 m/s και >2.40 m/s είναι πλέον αξιοσημείωτη, ιδιαίτερα στα Run9_900 και Run9_1300, όπου η συνολική κινητική ενέργεια της ροής είναι πολύ υψηλή.

Συνοψίζοντας τη σύγκριση μεταξύ των τριών οικογενειών σεναρίων (Run2, Run5 και Run9), προκύπτει μια καθαρή εικόνα κλιμακούμενης υδραυλικής επιβάρυνσης. Η σειρά Run2 αντιπροσωπεύει τις πιο ήπιες συνθήκες, με κυριαρχία ρηχών και σχετικά βραδέων ροών. Η σειρά Run5 δείχνει αύξηση τόσο της έκτασης όσο και του βάθους, με εντονότερη ροή και μεγαλύτερη επικινδυνότητα. Η σειρά Run9 αποτυπώνει την κορύφωση της πλημμυρικής δυναμικής, με πολύ μεγάλες πλημμυρικές εκτάσεις, αυξημένα βάθη και ταχύτητες, και συνεπώς με τον υψηλότερο βαθμό κινδύνου για ανθρώπινες δραστηριότητες, υποδομές και φυσικά οικοσυστήματα.

Η συνολική διακύμανση των συνολικών κατακλυζόμενων εκτάσεων μεταξύ των ηπιότερων και των ακραίων σεναρίων υπερβαίνει το 45%, γεγονός που αναδεικνύει την ισχυρή ευαισθησία του υδροδυναμικού συστήματος στις μεταβολές των διαφορετικών οριακών συνθηκών εισροής. Ταυτόχρονα, η σταθερότητα των επιμέρους αναλογιών μεταξύ κατηγοριών βάθους και ταχύτητας υποδεικνύει ότι το μορφολογικό υπόβαθρο ελέγχει σε μεγάλο βαθμό τη χωρική ανάπτυξη της πλημμύρας: η αύξηση της παροχής δεν αλλάζει ριζικά τον τύπο της πλημμύρας, αλλά επεκτείνει και εντείνει την ίδια χωρική δομή.

Σε επιχειρησιακό επίπεδο, τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να μεταφραστούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες επικινδυνότητας: στα σενάρια Run2 η επικινδυνότητα αφορά κυρίως εκτεταμένες αλλά ρηχές κατακλύσεις· στα σενάρια Run5 παρατηρούνται συνδυασμοί βαθύτερων και ταχύτερων ροών, που αντιστοιχούν σε υψηλότερα επίπεδα διακινδύνευσης· ενώ στα σενάρια Run9 η πλημμύρα αποκτά πλήρως ανεπτυγμένο και δυναμικό χαρακτήρα, με αυξημένη πιθανότητα σοβαρών βλαβών και διατάραξης της λειτουργίας υποδομών. Η προοδευτική αυτή εξέλιξη καταδεικνύει την αναγκαιότητα πολυκριτηριακής προσέγγισης για τον σχεδιασμό μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τη χωρική έκταση αλλά και τη δυναμική των ροών, που καθορίζει τελικά τον βαθμό του κινδύνου.

9.3.2 Μέγιστα υδραυλικά μεγέθη σε χαρακτηριστικά σημεία ενδιαφέροντος

Στο **Παράρτημα Β** δίνονται, σε μορφή πίνακα, τα μέγιστα βάθη και οι μέγιστες ταχύτητες ανά σενάριο σε 11 σημεία ενδιαφέροντος της περιοχής μελέτης, οι θέσεις των οποίων φαίνονται στην **Εικόνα 9.1**.

Ξεκινώντας από τη γενική εικόνα, τα αποτελέσματα στα σημεία ενδιαφέροντος τεκμηριώνουν μια συνεπή κλιμάκωση τόσο του βάθους όσο και της ταχύτητας ροής καθώς μεταβαίνουμε από ηπιότερες προς ακραίες υδρολογικές συνθήκες (με βάση την περίοδο επαναφοράς) και από χαμηλότερες προς υψηλότερες σειρές έντασης σεναρίων εκροών (Base/300/600/900/1300 και Run2 → Run5 → Run9). Η κλιμάκωση αυτή δεν είναι ομοιόμορφη στον χώρο· συγκεκριμένα σημεία εμφανίζουν σαφώς διακριτή ευαισθησία, με ορισμένα να χαρακτηρίζονται από ρηχά αλλά πολύ δυναμικά πεδία ροής,

άλλα από βαθύτερα αλλά ηπιότερα πεδία και κάποια να συνδυάζουν μεγάλη στάθμη και σημαντικές ταχύτητες, δηλαδή υψηλό δυναμικό της ροής και αυξημένο κίνδυνο διαβρώσεων και καταπονήσεων σε τεχνικά έργα.

Στο σημείο 1 (Βαρβάρα – ΥΗ – θυροφράγματα – λεκάνη αποτόνωσης) καταγράφεται η πιο χαρακτηριστική ένδειξη δυναμικής ροής σε όλο το σει αποτελεσμάτων. Για $T = 50$ και $T = 100$ έτη, τα βάθη παραμένουν σχετικά μικρά, αλλά οι ταχύτητες είναι ήδη εξαιρετικά υψηλές, περίπου στα 4.0 ως 7.0 m/s, υποδηλώνοντας εκτόνωση ενέργειας στη λεκάνη αποτόνωσης με υψηλή κινητική ενέργεια και τοπικά υψηλό αριθμό Froude. Για $T = 1000$ έτη, η συμπεριφορά κορυφώνεται: στα σενάρια βάσης των Run2/Run5/Run9 η ταχύτητα εκτοξεύεται στα 16 m/s με ρηχά έως μέτρια βάθη, που είναι συμβατό με φαινόμενα στροβιλισμού και σημαντικό δυναμικό διαβρωτικών διεργασιών.

Στο σημείο 7 (T66 – Παλιά Γέφυρα Κουλούρας) διακρίνεται εντυπωσιακή σταθερότητα του βάθους γύρω από τα 8.6 m σε όλα τα σενάρια και τις περιόδους επαναφοράς, με ταχύτητες περί τα 2.1 ως 2.2 m/s. Η εικόνα αυτή παραπέμπει σε κυριαρχία των γεωμετρικών/υδραυλικών δεσμεύσεων στο προφίλ της διατομής και σε συνθήκες διαμόρφωσης της στάθμης λόγω στραγγαλισμού της ροής. Η συνύπαρξη μεγάλου βάθους και μέτριας προς υψηλής ταχύτητας συνηγορεί υπέρ της ενίσχυσης της αντιδιαβρωτικής προστασίας και των προληπτικών επιθεωρήσεων μετά από ακραία γεγονότα βροχής της τάξης των 1000 ετών.

Η συμπεριφορά στο σημείο 16 (Αλιάκμονας – Επ. Κουλούρας – Μελίκης) δείχνει καθαρό μοτίβο κλιμάκωσης με το βάθος να αυξάνει από περίπου 4.8 ως 5.1 m στα σενάρια βάσης για $T = 50$ έτη προς 8.3 ως 8.5 m στα σενάρια προς Run_1300 και $T = 1000$ έτη, ενώ οι ταχύτητες σταθεροποιούνται σε σχετικά υψηλές τιμές γύρω στα 2.1 ως 2.5 m/s. Η ταυτόχρονη αύξηση της στάθμης και η διατήρηση υψηλών ταχυτήτων προδίδει καταπονήσεις εντός της κύριας κοίτης, με αυξημένη πιθανότητα αστοχιών πρανών και μεταφοράς σημαντικού φορτίου φερτών. Σε επιχειρησιακό επίπεδο, το σημείο 16 λειτουργεί ως «δείκτης» της μακροσκοπικής ανταπόκρισης της κοίτης στην αύξηση της πλημμυρικής παροχής και συνεπώς είναι κατάλληλο για τον προσδιορισμό ορίων ενεργοποίησης πιθανών μελλοντικών μέτρων ελέγχου.

Στο σημείο 13 (συμβολή T66 με Αλιάκμονα) παρατηρείται μια συνεπής ανύψωση του νερού από περίπου 1.8 ως 2.4 m στις ήπιες περιπτώσεις έως και 4.0 m στα πιο έντονα σενάρια εκροής 1300– $T = 1000$, με ταχύτητες που κυμαίνονται από 0.6 ως 0.7 m/s στα σενάρια βάσης, έως και 1.8 m/s στα περισσότερο ακραία. Η συμπεριφορά αυτή είναι τυπική περιοχών συμβολών, όπου η αλληλεπίδραση κύριων και παραποτάμιων ροών δημιουργεί πεδίο διάχυσης της ορμής και τοπική αύξηση των υδραυλικών φορτίων. Η σταδιακή ενίσχυση των ταχυτήτων μαζί με την άνοδο της στάθμης υποδεικνύει ότι η συμβολή μεταβαίνει από σχετικά ήπια σε πιο δυναμική ροή με την κλιμάκωση της παροχής, κάτι που συνάδει με συμπεριφορά αυξημένου κινδύνου διάβρωσης στα ανάντη και κατάντη πρηνή της συμβολής.

Η ομάδα σημείων που σχετίζεται με υποδομές οδικού δικτύου παρουσιάζει διαφοροποιημένη εικόνα. Στο σημείο 20 (ΠΕΟ Αθηνών–Θεσσαλονίκης, πλημμύρα από Αλιάκμονα) τα βάθη αυξάνουν προοδευτικά από περίπου 1.5 ως 1.7 m προς 2.3 m στα ακραία σενάρια, ενώ οι ταχύτητες παραμένουν χαμηλές, ήτοι στα επίπεδα των 0.3 ως 0.6 m/s. Το καθεστώς αυτό παραπέμπει σε κατακλύσεις με κυριαρχία στάσιμων νερών ή πολύ ήπιας ροής, όπου ο πρωτεύων κίνδυνος αφορά την έκταση/διάρκεια της κατάκλυσης και όχι τις διαβρωτικές καταπονήσεις. Στο σημείο 21 (Α/Δ ΠΑΘΕ – πριν το Δέλτα) τα βάθη κυμαίνονται κοντά στα 1.0 ως 1.2 m με ταχύτητες περί το 1,1 m/s και μικρή διακύμανση μεταξύ των σεναρίων, που αποτελεί ένδειξη ελεγχόμενου πεδίου ροής στην ευρύτερη διατομή εκτόνωσης προς το Δέλτα του Αλιάκμονα.

Το σημείο 19 (βενζινάδικο) αποτυπώνει μια ενδιαφέρουσα μεταβολή της επικινδυνότητας, καθώς από βάθη 0.7 ως 1.1 m στα ήπια σενάρια καταγράφεται άνοδος στα επίπεδα των 1.7 ως 1.8 m στα ακραία, με ταχύτητες που παραμένουν σε κανονικά επίπεδα, ήτοι κοντά στα 1.3 ως 1.6 m/s. Πρόκειται για τυπική περίπτωση μικτής επικινδυνότητας, όπου συνυπάρχει κατάκλυση που μπορεί να πλήξει τον εξοπλισμό και τους χώρους στάθμευσης με ταυτόχρονη ικανότητα της ροής να μεταφέρει φερτά και να προκαλέσει τοπικές φθορές. Αντίθετα, τα σημεία 9 και 15 αντιπροσωπεύουν συνήθως χαμηλού επικινδυνότητας συνθήκες, με πολύ μικρά βάθη (0.2 ως 0.3 m) και χαμηλές ταχύτητες, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων σε ακραίες περιπτώσεις, όπου οι τιμές παραμένουν ωστόσο χαμηλές σε απόλυτα μέγεθος.

Η σύγκριση μεταξύ των τριών οικογενειών σεναρίων επιβεβαιώνει ότι μεταβαίνοντας από ξηρές σε υγρές συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας, η ένταση του φαινομένου κλιμακώνεται συστηματικά, αλλά με διαφορετικό τρόπο ανά σημείο. Εκεί που το πεδίο κυριαρχείται από ελεγχόμενα υδραυλικά έργα, όπως στη «Βαρβάρα», οι ταχύτητες αυξάνονται πιο απότομα από τα βάθη, ιδίως για $T = 1000$ έτη, υποδηλώνοντας εντονότερη εκτόνωση και υψηλή κινητική ενέργεια. Εκεί που κυριαρχεί η γεωμετρία της κοίτης και πιθανές στενώσεις/γεφυρώσεις, όπως στην παλιά γέφυρα Κουλούρας, οι στάθμες διατηρούνται υψηλές και σχετικά σταθερές, αντανακλώντας καθεστώς ατραγαλισμού της ροής, ενώ οι ταχύτητες μεταβάλλονται ελάχιστα. Σε εκτενέστερα τμήματα της κύριας κοίτης, όπως στο σημείο 16, η κλιμάκωση συνεπάγεται παράλληλη άνοδο της στάθμης και διατήρηση υψηλών ταχυτήτων, με άμεση συνέπεια την αύξηση του δυναμικού διάβρωσης.

9.4 Αξιολόγηση πλημμυρικής επικινδυνότητας

9.4.1 Αποτίμηση πλημμυρικών επιπτώσεων ανά κατηγορία χρήσης γης

Η συνολική πλημμυρική επίπτωση παρουσιάζει καθαρή κλιμάκωση από τα σενάρια Run2_T50 προς τα Run9_T1000, με σαφείς διαφοροποιήσεις ανά κατηγορία χρήσης γης. Η γεωργική γη (ιδίως οι κωδικοί 211–213 και 242–243) κυριαρχεί μακράν ως προς την πλημμυρισμένη έκταση, αντιπροσωπεύοντας το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού πλημμυρικού αποτυπώματος. Οι τεχνητές επιφάνειες (112, 122, 131, 142) συμμετέχουν με μικρότερη έκταση, αλλά εμφανίζουν δυσανάλογα υψηλές τιμές βάθους και ταχύτητας, δηλαδή περισσότερο δυναμικά πλημμυρικά φαινόμενα. Οι υγρότοποι και τα υδάτινα σώματα (411, 421, 511, 523) λειτουργούν ως άμεσες επεκτάσεις της πλημμυρικής ροής, με έντονη παρουσία στα ακραία σενάρια.

Τεχνητές επιφάνειες (112, 122, 131, 142)

Στον ασυνεχή αστικό ιστό (112), τα σενάρια χαμηλής περιόδου επαναφοράς ($T=50$) δίνουν κυρίως ρηχές κατακλύσεις ($<0,75$ m), με μικρές ταχύτητες (0,2–0,6 m/s). Στα σενάρια $T=1000$, η έκταση αυξάνεται σημαντικά και οι ταχύτητες ξεπερνούν τα 1,2 m/s, ιδίως στα Run9_900 και Run9_1300, κάτι που υποδεικνύει επιφανειακή απορροή μέσα σε οικιστικό ιστό με υψηλό δυναμικό ζημιών.

Οι οδικές/σιδηροδρομικές εκτάσεις (122) καταγράφουν μικρότερη έκταση αλλά υψηλότερες ταχύτητες, υποδεικνύοντας σημαντικές σημειακές ροές κατά μήκος γραμμικών υποδομών - δηλαδή περιοχές όπου η πλημμύρα συγκεντρώνεται και αποκτά έντονα κατευθυνόμενη κινητική ενέργεια.

Τα ορυχεία (131) και οι χώροι αναψυχής (142) επηρεάζονται ποσοδικά, με μέτρια βάθη αλλά υψηλές τοπικές ταχύτητες, ειδικά στα σενάρια υψηλής περιόδου επαναφοράς, λόγω τοπογραφίας και εγγύτητας στις ποτάμιες οδούς.

Γεωργικές εκτάσεις (211–243)

Οι μη αρδευόμενες αρόσιμες (211) και αρδευόμενες (212) εκτάσεις αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των πλημμυρικών πεδίων σε όλα τα σενάρια. Τα βάθη αυξάνονται προοδευτικά με τη φόρτιση, από 0,75–1,5 m για T=50 έως 1,5–3,0 m για T=1000, ενώ οι ταχύτητες παραμένουν γενικά κάτω από 1,2 m/s, δείχνοντας κατακλύσεις εκτεταμένες αλλά όχι επιθετικές.

Οι ορυζώνες (213) εμφανίζουν σταθερά υψηλή συμμετοχή λόγω της θέσης τους στα πλημμυρικά πεδία, καθώς λειτουργούν ως φυσικοί συλλέκτες και αποθήκες νερού, με ήπιες ταχύτητες και μέτρια βάθη.

Στις μόνιμες καλλιέργειες (221, 222), η πλημμυρική κάλυψη είναι μικρότερη, αλλά η κλιμάκωση είναι πιο έντονη. Συγκεκριμένα, από λίγες εκατοντάδες στρέμματα για $T = 50$ έτη, φτάνει σε χιλιάδες στρέμματα για $T = 1000$ έτη, γεγονός που προειδοποιεί για αυξανόμενο κίνδυνο σε δενδρώδεις φυτεύσεις στις υψηλές περιόδους επαναφοράς.

Οι βοσκότοποι (231) και οι ετερογενείς γεωργικές περιοχές (242–243) διατηρούν υψηλή πλημμυρική συμμετοχή, κυρίως με ρηγά και αργά ρέοντα νερά. Οι περιοχές αυτές είναι σημαντικές γιατί λειτουργούν ως φυσικές ζώνες ανάσχεσης, απορροφώντας σημαντικό μέρος του πλημμυρικού όγκου και καθυστερώντας την εξάπλωση προς τις αστικές/βιομηχανικές περιοχές.

Υγρότοποι και υδάτινα σώματα (411, 421, 511, 523)

Οι εσωτερικοί υγρότοποι (411) και τα αλμυρά έλη (421) αυξάνουν την κάλυψή τους προοδευτικά, επιβεβαιώνοντας τον ρόλο τους ως φυσικών αποδεκτών. Η κατανομή των ταχυτήτων σε αυτούς παραμένει εξαιρετικά χαμηλή (<0.6 m/s), γεγονός που ευνοεί την καθίζηση φερτών και τη λειτουργία τους ως φυσικών φίλτρων.

Τα ποτάμια (511) και οι θαλάσσιες περιοχές (523) αποτελούν τις κύριες οδούς διοχέτευσης της πλημμύρας. Εμφανίζουν αύξηση τόσο του βάθους όσο και της ταχύτητας, με σαφείς κορυφώσεις στα σενάρια Run9_1300_T1000, γεγονός που συνδέεται με την υπερχειλίση των κοιτών και την εκτόνωση προς τα κατάντη.

9.4.2 Συμπεράσματα

Η ανάλυση ανά κατηγορία CORINE δείχνει ότι η γεωργική γη είναι ο κυρίαρχος δέκτης πλημμυρικών κατακλύσεων, καλύπτοντας 70–80% της συνολικής έκτασης σε ορισμένα σενάρια, ενώ οι τεχνητές επιφάνειες συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη δυναμική της ροής. Οι υγρότοποι και τα ποτάμια λειτουργούν ως φυσικές περιοχές αποθήκευσης, περιορίζοντας τη μεταφορά κινδύνου, ενώ οι δασικές και φυσικές εκτάσεις παραμένουν σχεδόν ανεπηρέαστες εκτός των ακραίων σεναρίων.

Η χωρική αυτή κατανομή επιβεβαιώνει ότι η πλημμύρα ακολουθεί το ανθρωπογενές και καλλιεργημένο αποτύπωμα του τοπίου, πλήττοντας πρωτίστως τις πεδινές και αρδευόμενες εκτάσεις, με τις τεχνητές επιφάνειες να αποτελούν τις θέσεις μέγιστης επικινδυνότητας, λόγω του συνδυασμού υψηλών ταχυτήτων και σημαντικών βαθών.

10 Πρακτική αξιοποίηση ερευνητικών αποτελεσμάτων μελέτης σε στρατηγικό και επιχειρησιακό πλαίσιο

10.1 Γενικά

Η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου του υδροσυστήματος Αλιάκμονα κατάντη του φράγματος Ασωμάτων περιλαμβάνει δύο άξονες, ήτοι τον στρατηγικό, που αφορά στην ανάπτυξη νέων υποδομών αντιπλημμυρικής προστασίας, σε συνδυασμό με μη κατασκευαστικά μέτρα και άλλες προληπτικές δράσεις (π.χ. προετοιμασία σχεδίων εκκένωσης), και τον επιχειρησιακό, που αφορά σε ενέργειες μετριασμού των δυνητικών επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων σε πραγματικό χρόνο (ήτοι κατά την εξέλιξή τους) ή σε επίπεδο έγκαιρης προειδοποίησης.

Τα αποτελέσματα των υδρολογικών και υδροδυναμικών αναλύσεων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια μπορούν να αποτελέσουν οδηγό τόσο για το στρατηγικό όσο και το επιχειρησιακό πλαίσιο, ενώ ευρύτερα, τα δύο υπολογιστικά εργαλεία που αναπτύχθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά, και για τον σχεδιασμό και αξιολόγηση συγκεκριμένων έργων και μέτρων στη λεκάνη του Αλιάκμονα.

Στη συνέχεια συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα των δύο αναλύσεων και υποδεικνύονται τρόποι πρακτικής αξιοποίησής τους από τη ΔΕΗ Α.Ε., ενώ στην καταληκτική ενότητα 10.4 διατυπώνεται ένα πλέγμα προτάσεων, σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού, για την μείωση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης.

10.2 Υδρολογική ανάλυση

10.2.1 Σύνοψη και γενικά συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η αποτύπωση, υπό τη μορφή σεναρίων, των συνδυαστικών επιπτώσεων των υδρολογικών διεργασιών (μετασηματισμός βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή και διόδυσή της στο υδρογραφικό δίκτυο) και της λειτουργίας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα. Υπενθυμίζεται ότι ως προς το φυσικό φαινόμενο, εξετάστηκαν 250 υδρολογικά σενάρια, που διαφοροποιούνται ως προς την πιθανότητα (εκφραζόμενη μέσω της περιόδου επαναφοράς) της βροχόπτωσης διάρκειας τριών ημερών (72 ώρες) και χρονικής διακριτότητα 15 λεπτών, το χρονικό προφίλ των υετογραφημάτων, καθώς και τις συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας στη λεκάνη. Αντίστοιχα, ως προς την πολιτική λειτουργία των ταμιευτήρων, εξετάστηκαν πέντε σενάρια σταθερής εκροής μέσω του φράγματος Ασωμάτων (μεταξύ των οποίων, το σενάριο βάσης, με μηδενική εκροή). Από τα συνολικά $250 \times 5 = 1250$ σενάρια, επιλέχθηκαν προς περαιτέρω διερεύνηση τα 45 πιο αντιπροσωπευτικά, για τα οποία υλοποιήθηκαν εξειδικευμένες υδροδυναμικές προσομοιώσεις στο χαμηλό τμήμα της λεκάνης, ήτοι κατά μήκος του κύριου ρου του Αλιάκμονα (ήτοι από τη φράγμα Αγ. Βαρβάρας έως τις εκβολές του).

Ως προς τα γενικότερα συμπεράσματα των υδρολογικών αναλύσεων, αναδείχθηκαν ο **καθοριστικός ρόλος του χρονικού προφίλ της βροχόπτωσης και των συνθηκών αρχικής εδαφικής υγρασίας στην παραγωγή της πλημμύρας**, που επιβάλλουν τη χρήση των παραγόμενων πλημμυρικών μεγεθών μιας βροχόπτωσης δεδομένης περιόδου επαναφοράς ως τυχαίων μεταβλητών. Ως προς το πρώτο στοιχείο, κατέστη σαφές ότι η τυπική πρακτική που εφαρμόζεται σε μελέτες σχεδιασμού αντιπλημμυρικών έργων και διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στην Ελλάδα, ήτοι η **μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ**, διαμορφώνει ιδιαίτερα δυσμενή, ως προς τη χρονική τους κατανομή, υετογραφήματα. Το

γεγονός αυτό είναι υπέρ τη ασφαλείας, όσον αφορά στον σχεδιασμό των έργων, ωστόσο υπερεκτιμά τον πλημμυρικό κίνδυνο, όπως αυτός αποτιμάται στην πράξη, εξισώνοντας την περίοδο επαναφοράς της βροχοπτώσης με αυτή της πλημμύρας. Ομοίως σημαντική είναι και η **επίδραση των συνθηκών αρχικής εδαφικής υγρασίας**, καθώς μεταβαίνοντας από τις πλέον ξηρές στις πλέον υγρές συνθήκες, για το ίδιο συνολικό ύψος βροχής που δέχεται μια λεκάνη, προκύπτουν μεγάλες διαφορές τόσο στους πλημμυρικούς όγκους όσο και τις παροχές αιχμής. Συνεπώς, η παρούσα μελέτη ανέδειξε την ανάγκη επαναπροσδιορισμού των συνήθων πιθανοτικών προσεγγίσεων που εφαρμόζονται στην αποτίμηση ενός επεισοδίου πλημμύρας, αποσυνδέοντας την περίοδο επαναφοράς της καθολικής φόρτισης του συστήματος, ήτοι της βροχοπτώσης, από τις επιμέρους διεργασίες που καθορίζουν την πλημμυρική απόκριση. Για τον λόγο αυτό, η ορθή ανάγνωση των πλημμυρικών επεισοδίων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης συνίσταται να γίνεται με βάση το πλαίσιο που εξηγείται στην ενότητα 7.1, και βασιίζεται στη χρήση διδιάστατων διαγραμμάτων, όπου στον έναν άξονα δίνεται η πιθανότητα της φόρτισης (σε όρους περιόδου επαναφοράς) και στον άλλο η πιθανότητα του πλημμυρικού μεγέθους ενδιαφέροντος, για το αντίστοιχο στοιχείο του υδροσυστήματος (κόμβος, κλάδος, υπολεκάνη).

10.2.2 Πρακτικές υποδείξεις

Ένα από τα πλέον καίρια πορίσματα της υδρολογικής ανάλυσης αφορά στον κομβικό ρόλο της Περιφερειακής Τάφρου, η παροχετευτικότητα της οποίας, σύμφωνα και με αναλύσεις που είχαν γίνει στην προηγηθείσα ερευνητική συνεργασία ΕΜΠ-ΔΕΗ, εκτιμάται σε $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2024). Υπογραμμίζεται ότι η λειτουργία των ταμιευτήρων της ΔΕΗ Α.Ε. επηρεάζει μόνο το χαμηλό τμήμα του υδροσυστήματος, ήτοι τον κάτω ρου του Αλιάκμονα, καθώς το τμήμα της ανάντη λεκάνης απορροής που αποστραγγίζεται μέσω της Τ66, έκτασης περί τα 2200 km^2 , ελέγχεται αποκλειστικά από τις τοπικές της πλημμύρες. Οι υδρολογικές αναλύσεις κατέδειξαν ότι λόγω της περιορισμένης παροχετευτικότητας της τάφρου, στα περισσότερα πλημμυρικά γεγονότα που εξετάστηκαν, η παροχή που διοχετεύεται προς τον Αλιάκμονα δεν μπορεί να υπερβεί την ως άνω ποσότητα, η οποία είναι σημαντικά μικρότερη των πλημμυρικών παροχών που παράγονται στην ανάντη λεκάνη. Συνεπώς, η **Περιφερειακή Τάφρος δρα ιδιαίτερα ανακουφιστικά ως προς τον πλημμυρικό κίνδυνο του κάτω ρου του Αλιάκμονα, τόσο λόγω της περιορισμένης της παροχετευτικότητας αλλά και επειδή εξομαλύνει σημαντικά τις πλημμυρικές αιχμές, καθώς αυτές διοδεύονται κατά μήκος αυτής.**

Από την άλλη πλευρά, η υδρολογική ανάλυση κατέδειξε ότι η περιορισμένη παροχετευτικότητα της τάφρου, σε καταστάσεις ισχυρών (αλλά όχι κατ' ανάγκη ακραίων) βροχοπτώσεων μεγάλης διάρκειας και συνήθων συνθηκών αρχικής εδαφικής υγρασίας (μέσες, υγρές), δύναται να δημιουργήσει **μειζονα προβλήματα πλημμυρικής κατάκλυσης σε όλη τη ζώνη εκατέρωθεν της Περιφερειακής Τάφρου**. Η διερεύνηση του εδαφίου 7.3.3 κατέδειξε ότι οι πλεονάζουσες ποσότητες νερού που αναμένεται να υπερχειλίσουν και να κατακλύσουν τις παρακείμενες εκτάσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές, της τάξης των δεκάδων έως και εκατοντάδων hm^3 , ανάλογα με το μέγεθος της βροχής και τις συνθήκες υγρασίας. Το ζήτημα αυτό δεν αφορά άμεσα στη ΔΕΗ Α.Ε., χρήζει ωστόσο ιδιαίτερης προσοχής, και πρέπει να τεθεί σε προτεραιότητα από τους εμπλεκόμενους φορείς, προκειμένου να μετριαστεί ο πλημμυρικός κίνδυνος ειδικά των πλέον τρωτών περιοχών εκατέρωθεν της Τ66. Σχετικές προτάσεις, που αφορούν σε κατασκευαστικά και μη κατασκευαστικά μέτρα, δίνονται στο εδάφιο 10.4.1.

Ιδιαίτερα σημαντικό συμπέρασμα των υδρολογικών αναλύσεων αποτελεί ο πρακτικά **μηδενικός κίνδυνος αστοχίας του συστήματος υπερχειλίσσης του αναρρυθμιστικού ταμιευτήρα κατάντη του ΥΗΣ Άγρα** (βλ. 7.3.2). Οι αναλύσεις κατέδειξαν ότι το έργο διαθέτει μεγάλη επάρκεια, ακόμα και στις πλέον ακραίες καταστάσεις που διερευνήθηκαν, κατά τις οποίες εκτός από τις τοπικές πλημμύρες, θα διοχετεύονται και πλεονάζοντα ύδατα από τη λίμνη Άγρα-Βρυττών-Νησίου, μέσω του υπερχειλιστή που έχει κατασκευαστεί επί της παλαιάς κοίτης του Εδεσσαίου (βλ. 7.3.1). Σημειώνεται ότι, με βάση

μαρτυρίες της ΔΕΗ Α.Ε., ο υπερχειλιστής αυτός, που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1970, δεν έχει τεθεί ποτέ σε λειτουργία.

Σε κάθε περίπτωση, το ζήτημα της δυνητικής **υπερχειλίσσης της λίμνης Άγρα-Βρυττών-Νησίου** χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, καθώς οι αναλύσεις που έγιναν βασίστηκαν σε αδρομερή μακροσκοπικά δεδομένα και σε προσεγγιστικές σχέσεις στάθμης-αποθέματος. Ομοίως, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση του επιπέδου προστασίας που παρέχει το υφιστάμενο **σύστημα έργων αντιπλημμυρικής προστασίας της πόλης της Έδεσσας**. Θεωρώντας την ονομαστική παροχетеυτικότητα που αναφέρεται σε πρόσφατες μελέτες που δόθηκαν από τη ΔΕΗ Α.Ε., οι υδρολογικές αναλύσεις δείχνουν ότι είναι επαρκές για βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 50 ετών (τυπική για σχεδιασμό τέτοιων έργων), και υπό προϋποθέσεις, ήτοι για σχετικά ξηρές συνθήκες υγρασίας και εξομαλυμένα χρονικά προφίλ βροχής, ακόμα και για πιο ακραία φαινόμενα, έως 200 έτη. Ωστόσο, λόγω της κρισιμότητας που ενέχει η αντιπλημμυρική προστασία μιας αστικής περιοχής, θεωρούμε ότι πρέπει να επαναξιολογηθεί (και μέσω υδρομετρήσεων) η πραγματική δυνατότητα παροχетеυσης του εν λόγω συστήματος, καθώς υπόκειται σε σημαντικές αβεβαιότητας (π.χ. όσον αφορά στη λειτουργία της σήραγγας εκτροπής).

Για το υπόλοιπο και πλέον κρίσιμο, από τη σκοπιά της ΔΕΗ Α.Ε., τμήμα του υδροσυστήματος, ήτοι τον κάτω ρου του Αλιάκμονα, το οποίο επηρεάζεται όχι μόνο από τα πλημμυρικά φαινόμενα αλλά και από τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων, η υδρολογική ανάλυση παρέχει μια αρχική μόνο εικόνα, καθώς δεν μπορεί να περιγράψει επαρκώς τις σύνθετες υδροδυναμικές διεργασίες στην κύρια και ευρεία κοίτη του (πλημμυροπεδιάδα). Συνεπώς, στο πλαίσιο της πρακτικής αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της μελέτης από πλευράς της ΔΕΗ Α.Ε., καταφεύγουμε στα συμπεράσματα των υδροδυναμικών αναλύσεων που, όπως εξηγήθηκε, εστιάζει σε ένα αντιπροσωπευτικό υποσύνολο 45 υδρολογικών και διαχειριστικών σεναρίων.

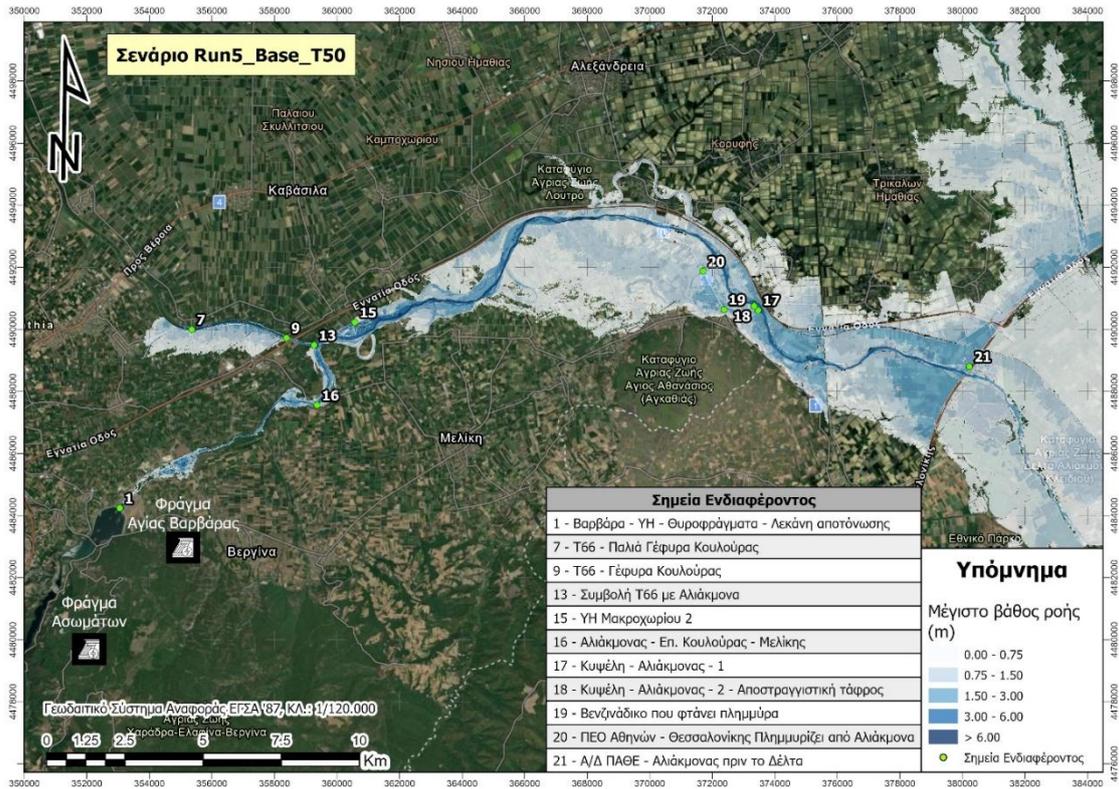
10.3 Υδροδυναμική ανάλυση

10.3.1 Σύνοψη και γενικά συμπεράσματα

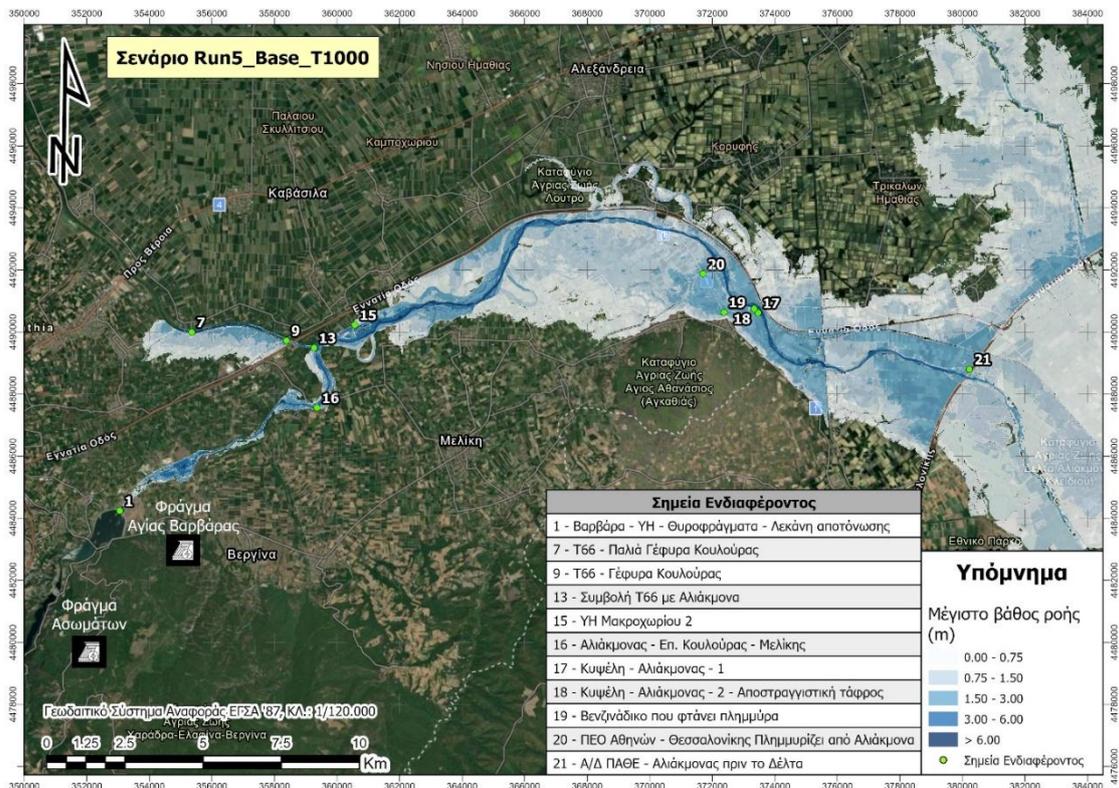
Η υδροδυναμική ανάλυση αφορά στο τμήμα του Αλιάκμονα από το φράγμα Αγ. Βαρβάρας έως και τις εκβολές του, με το πεδίο προσομοίωσης να εκτείνεται σε ένα μεγάλο μήκος εκατέρωθεν της κύριας κοίτης του. Τα 45 σενάρια που εξετάζονται προκύπτουν από τον συνδυασμό εννέα υδρολογικών και πέντε διαχειριστικών σεναρίων. Τα πρώτα αναφέρονται στις πλευρικές φορτίσεις στους κόμβους του υδροδυναμικού μοντέλου, λαμβάνοντας από την υδρολογική προσομοίωση τα πλημμυρογραφήματα που παράγονται από βροχοπτώσεις περιόδου επαναφοράς 50, 100 και 1000 ετών, με διαμόρφωση των υετογραφημάτων σύμφωνα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, τα οποία προσπίπτουν σε ξηρές, μέσες και υγρές συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας. Από την άλλη πλευρά, τα πέντε διαχειριστικά σενάρια αφορούν στο σενάριο βάσης (μηδενική εισροή από το σύστημα ταμιευτήρων του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα) και άλλες τέσσερις καταστάσεις λειτουργίας του ταμιευτήρα Ασωμάτων, με σταθερή παροχή εκροής 300, 600, 900 και 1300 m³/s.

Από την πληθώρα της πληροφορίας που παράγεται, με βάση τα δεδομένα εξόδου του μοντέλου υδροδυναμικής προσομοίωσης, υπό τη μορφή χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης, μέγιστων βαθών ροής και μέγιστων ταχυτήτων, διαμορφώνεται ένα σύνολο εποπτικών διαγραμμάτων, που μπορούν να αξιοποιηθούν από τη ΔΕΗ Α.Ε. τόσο σε επιχειρησιακό επίπεδο όσο και σε στρατηγικό.

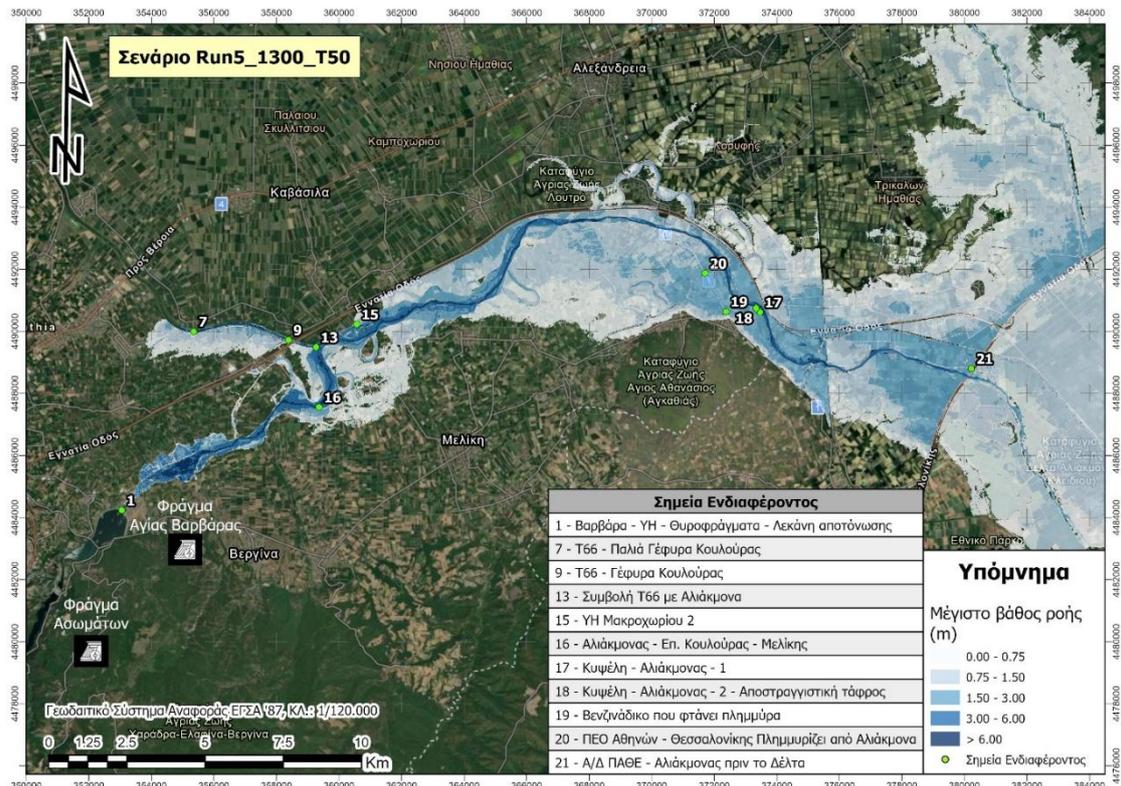
Στις επόμενες τρεις εικόνες αντιπαραβάλλονται οι χάρτες κατάκλυσης (μέγιστου βάθους ροής) για τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις: (α) βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 ετών και μηδενική εκροή από το φράγμα Ασωμάτων (σενάριο βάσης), (β) βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 1000 ετών και μηδενική εκροή από τα Ανώματα, και (γ) βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 50 ετών και μέγιστη εκροή από τα Ανώματα (1300 m³/s). Όλα τα σενάρια αναφέρονται σε μέσες συνθήκες υγρασίας.



Εικόνα 10.1: Χάρτης μέγιστου βάθους ροής για το σενάριο Run5_Base_T50.



Εικόνα 10.2: Χάρτης μέγιστου βάθους ροής για το σενάριο Run5_Base_T1000.



Εικόνα 10.3: Χάρτης μέγιστου βάθους ροής για το σενάριο Run5_1300_T50.

Από τους παραπάνω χάρτες, και την ενδελεχή ανάλυση του Κεφαλαίου 9, εξάγονται τα εξής γενικά συμπεράσματα, που αφορούν στην υδρολογική και υδροδυναμική απόκριση στην περιοχή του κάτω ρου του Αλιάκμονα, σε σχέση και με την πολιτική διαχείρισης των υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων:

- Αν **δεν υπάρχουν εκροές μέσω του ταμιευτήρα Ασωμάτων** (όπως υποθέτει το σενάριο βάσης), η κύρια κοίτη του Αλιάκμονα στο τμήμα του από το φράγμα Αγ. Βαρβάρας έως τη συμβολή του με την Περιφερειακή Τάφρο **παραλαμβάνει με μεγάλη άνεση τις πλημμυρικές παροχές που παράγονται τοπικά, ακόμα και για ακραίες βροχοπτώσεις.**
- Στο **ακραίο διαχειριστικό σενάριο**, με βάση το οποίο διοχετεύονται μέσω του ταμιευτήρα Ασωμάτων $1300 \text{ m}^3/\text{s}$, και σε συνδυασμό με τις πλημμυρικές απορροές της ίδιας του λεκάνης ο εκχειλιστής του φράγματος Αγ. Βαρβάρας λειτουργεί στο όριο της παροχетеυτικότητάς του, **η ροή που διοχετεύεται στον Αλιάκμονα υπερχειλίζει εκτός της κύριας κοίτης αλλά σε μια σχετικά περιορισμένη ζώνη**, προκαλώντας προβλήματα κατάκλυσης (αλλά με σχετικά μικρά βάση) στη περιοχή νότια της συμβολής του με την Περιφερειακή Τάφρο, ήτοι εκατέρωθεν της επαρχιακής οδού Κουλούρας-Μελίκης. Ωστόσο, στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται αγροτικές μόνο δραστηριότητες.
- Όπως προαναφέρθηκε, η περιορισμένη παροχетеυτικότητα της Περιφερειακής Τάφρου ($1300 \text{ m}^3/\text{s}$) οδηγεί σε σημαντικό περιορισμό των εισερχόμενων όγκων νερού από την αντίστοιχη λεκάνη, καθώς μεγάλο μέρος της παραγόμενης απορροής υπερχειλίζει προτού διοχετευτεί στον Αλιάκμονα. Συνεπώς, **για μεγάλες περιόδους επαναφοράς, η επίδραση του ύψους βροχής που προσπίπτει στη λεκάνη της T66 στα παραγόμενα πλημμυρικά μεγέθη του κάτω ρου του Αλιάκμονα είναι σχετικά περιορισμένη.**
- Γενικά, οι διαφορές που παρατηρούνται στο τμήμα κατάντη της συμβολής της T66 μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων βροχόπτωσης, συνθηκών υγρασίας και εκροών από τον ταμιευτήρα Ασωμάτων είναι μικρές, τουλάχιστον όσον αφορά στις εκτάσεις που κατακλύζονται. Ακόμα και μεταξύ των πλέον ευμενών κι πλέον δυσμενών σεναρίων, παρατηρείται ότι επηρεάζονται

οι ίδιες περιοχές, ήτοι **κατακλύζεται όλη η χαμηλή ζώνη νότια του Αλιάκμονα, περιμετρικά του άξονα Πρόδρομος-Αγκάθια-Κυψέλη-Μεγάλη Γέφυρα** (με τον οικισμό της Κυψέλης να διατρέχει το μεγαλύτερο κίνδυνο, καθώς βρίσκεται εν μέρει εντός του πλημμυρικού πεδίου), ενώ προς βορρά, **μέχρι περίπου το ύψος του οικισμού Νησέλλι η Εγνατία Οδός λειτουργεί ως ανάχωμα, ωστόσο στη συνέχεια η ροή τη διαπερνά μέσω των εγκάρσιων οχετών, με αποτέλεσμα να πλημμυρίζουν και ευρείες εκτάσεις βόρεια και ΒΑ αυτής**. Γενικά, οι περιοχές που κατακλύζονται αφορούν σε **αγροτικές εκτάσεις**.

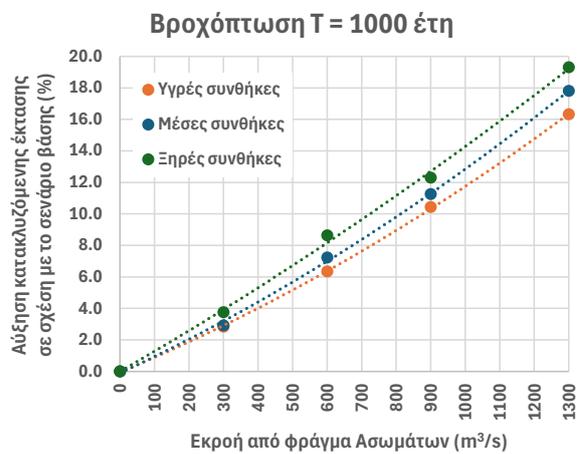
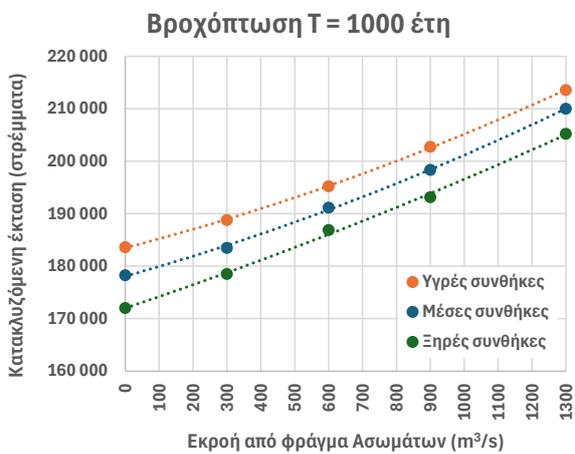
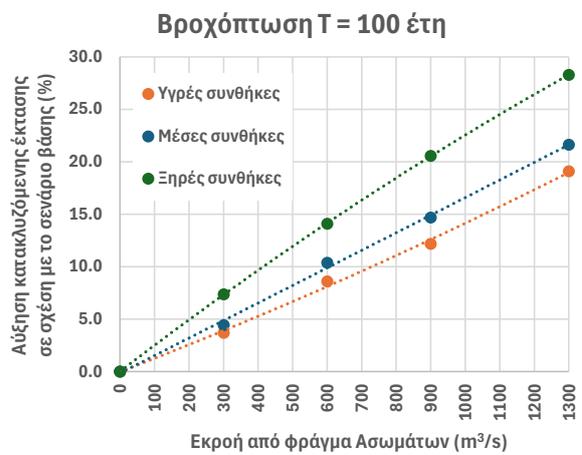
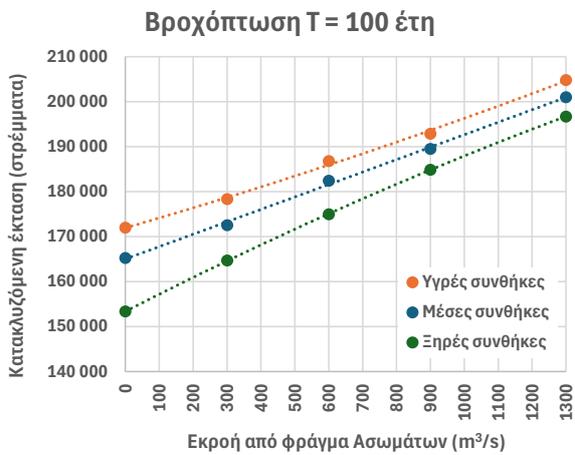
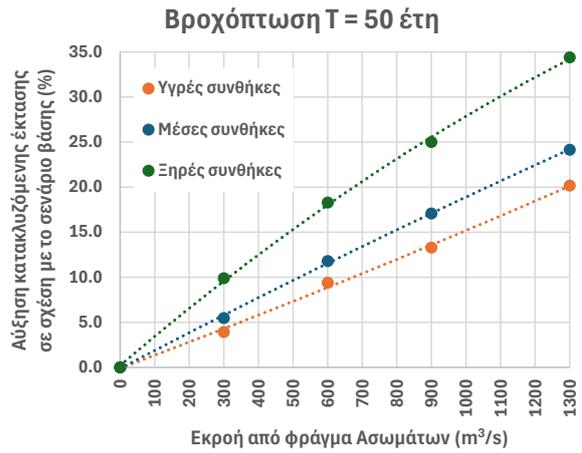
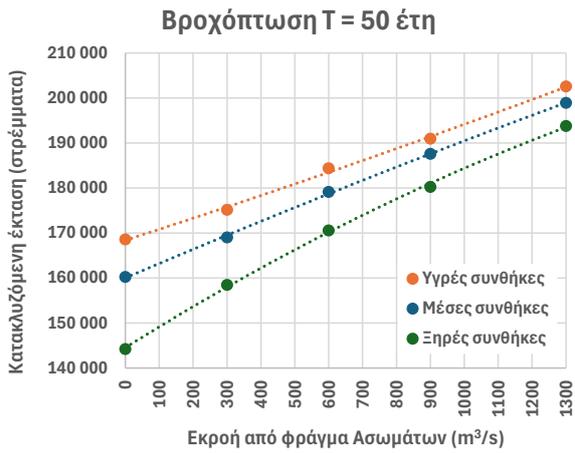
- Σχεδόν στο σύνολο των σεναρίων που εξετάστηκαν, συστηματικά προβλήματα κατάκλυσης εμφανίζονται σε δύο πολύ κρίσιμες από πλευράς δυνητικών επιπτώσεων περιοχές, ήτοι στο **βόρειο τμήμα του οικισμού Κυψέλη και την περιοχή του ΥΗΣ Μακροχωρίου II**, που φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ευάλωτα και συνεπώς χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.

10.3.2 Αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου στον κάτω ρου του Αλιάκμονα για διάφορες πολιτικές λειτουργίας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος

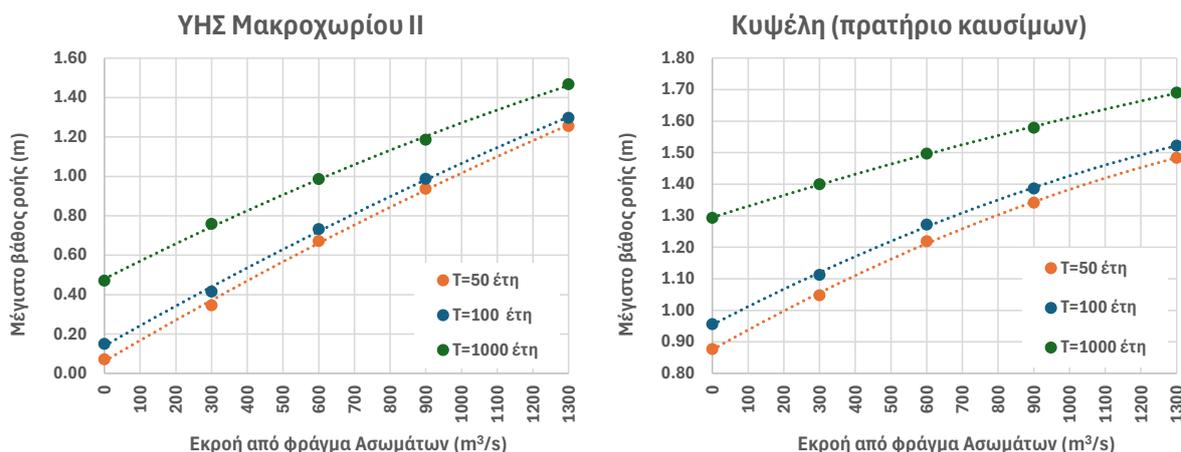
Ένα από τα πλέον θεμελιώδη ερωτήματα της παρούσας έρευνας αφορά στο ρόλο που διαδραματίζει η πολιτική λειτουργίας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα, ως προς το μέγεθος του πλημμυρικού κινδύνου που αυτό προκαλεί, σε συνθήκες έντονων βροχοπτώσεων. Το ερώτημα αυτό έχει καίρια σημασία τόσο σε επιχειρησιακό επίπεδο, ήτοι κατά την εξέλιξη ενός ισχυρού πλημμυρικού επεισοδίου, κατά το οποίο η ΔΕΗ Α.Ε. καλείται να διαχειριστεί με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο τους ταμειυτήρες της, προκειμένου να μην επιδεινώσει περαιτέρω την κατάσταση των κατάντη περιοχών, όσο και σε επίπεδο εκ των υστέρων αναλύσεων μιας καταστροφικής πλημμύρας, κατά το οποίο ενδέχεται να τεκμηριωθεί ο επιμερισμός των επιπτώσεων που προκαλούνται από τη λειτουργία των ταμειυτήρων από τις επιπτώσεις που θα προκαλούσε το ίδιο το φυσικό φαινόμενο.

Στα πλαίσια αυτό, γίνεται αντιπαραβολή των τεσσάρων σεναρίων σταθερής παροχής εκροής μέσω του φράγματος Ασωμάτων (300, 600, 900 και 1300 m³/s) με το μηδενικό σενάριο, κατά το οποίο δεν προστίθενται ρυθμιζόμενες εκροές στην πλημμυρική απορροή του συστήματος. Η ανάλυση γίνεται για κάθε μία από τις τρεις εξεταζόμενες περιόδους επαναφοράς των 50, 100 και 1000 ετών και κάθε μία από τις τρεις εξεταζόμενες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας (ξηρές, μέσες, υγρές), οπότε παράγονται τα διαγράμματα διασποράς της **Εικόνας 10.4**. Σε κάθε διάγραμμα, το οποίο αντιστοιχεί σε διαφορετική περίοδο επαναφοράς και συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας, και με βάση τα ζεύγη τιμών που εξήχθησαν από τις υδροδυναμικές αναλύσεις, προσαρμόζονται εμπειρικές σχέσεις μεταβολής των συνολικών εκτάσεων που κατακλύζονται συναρτήσει της παροχής εκροής από το φράγμα Ασωμάτων. Για καλύτερη εποπτεία, εκτός από τα απόλυτα μεγέθη (εκτάσεις, σε στρέμματα), δίνονται διαγράμματα και σε όρους ποσοστιαίας μεταβολής σε σχέση με το μηδενικό σενάριο.

Παρατηρείται ότι η **επίδραση των εκροών από το φράγμα Ασωμάτων στην πλημμυρική κατάκλυση της περιοχής του κάτω ρου του Αλιάκμονα είναι σχετικά περιορισμένη, και μάλιστα γίνεται όλο και λιγότερο σημαντική συγκριτικά με το μηδενικό σενάριο, όσο αυξάνει η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης, και όσο οι συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας μεταβαίνουν σε πιο υγρές**. Είναι χαρακτηριστικό ότι για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 50 ετών και ξηρές συνθήκες, οι εκτάσεις που κατακλύζονται για μηδενική εκροή από το φράγμα Ασωμάτων εκτιμώνται σε περίπου 144 000 στρέμματα, ενώ αυξάνουν στα 194 000 στρέμματα με τη διοχέτευση της μέγιστης παροχής εκροής των 1300 m³/s (αύξηση κατά 50 000 στρέμματα, ήτοι 34.4%). Από την άλλη πλευρά, για την ακραία βροχόπτωσης χιλιετίας που προσπίπτει σε υγρές συνθήκες εδάφους, οι εκτάσεις που κατακλύζονται για μηδενική εκροή από το φράγμα Ασωμάτων εκτιμώνται σε 184 000 στρέμματα, ενώ αυξάνουν στα 214 000 στρέμματα με τη διοχέτευση της μέγιστης παροχής εκροής των 1300 m³/s, που αντιστοιχεί σε μια πολύ πιο ήπια ποσοστιαία μεταβολή, ήτοι 16.3%.



Εικόνα 10.4: Μεταβολή κατακλυζόμενων εκτάσεων συναρτήσει της παροχής εκροής από το φράγμα Ασωμάτων, για τρεις περιόδους επαναφοράς της βροχόπτωσης και τρεις καταστάσεις εδαφικής υγρασίας (σε απόλυτα μεγέθη, αριστερά, και ως ποσοστιαία συγκριτικά με το σενάριο βάσης).



Εικόνα 10.5: Μεταβολή μέγιστων βαθών ροής στη περιοχή του ΥΗΣ Μακροχωρίου II και την είσοδο της Κυψέλης (πρατήριο καυσίμων) συναρτήσει της παροχής εκροής από το φράγμα Ασωμάτων, για τρεις περιόδους επαναφοράς της βροχόπτωσης και για μέσες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας.

Αν και η λειτουργία των ταμιευτήρων του Αλιάκμονα, ποσοτικοποιούμενη ως σταθερή παροχή εκροής από το φράγμα Ασωμάτων, έχει σχετικά περιορισμένη επίδραση στις εκτάσεις που κατακλύζονται κατάντη, η **επίπτωσή τους σε όρους μέγιστων βαθών ροής, που αποτελούν χαρακτηριστικό μέτρο της πλημμυρικής διακινδύνευσης μιας περιοχής, είναι σημαντική.** Στα διαγράμματα διασποράς της **Εικόνας 10.5** αναπαρίσταται η μεταβολή μέγιστων βαθών ροής στις δύο πλέον ευάλωτες περιοχές της χαμηλής ζώνης του Αλιάκμονα, ήτοι στον ΥΗΣ Μακροχωρίου II και τη ΒΔ είσοδο του οικισμού της Κυψέλης (όπου βρίσκεται το πρατήριο καυσίμων), συναρτήσει της παροχής εκροής από το φράγμα Ασωμάτων, για τρεις περιόδους επαναφοράς της βροχόπτωσης και για μέσες συνθήκες αρχικής εδαφικής υγρασίας. Στην περιοχή του υδροηλεκτρικού σταθμού, αυξάνοντας την εκροή έως τα 1300 m³/s, το βάθος ροής αυξάνει κατά περίπου ένα μέτρο, ενώ στην περιοχή τη Κυψέλης η μεταβολή του βάθους κυμαίνεται από 0.30 έως 0.60 m (σημειώνεται ότι η διαφορά αμβλύνεται όσο αυξάνει η περίοδος επαναφοράς). Σε κάθε περίπτωση, και ανεξαρτήτως της λειτουργίας των ταμιευτήρων της ΔΕΗ Α.Ε., τα εν λόγω βάθη ροής είναι μεγάλα, και απαιτούν τη **λήψη μέτρων για την προστασία τόσο του υδροηλεκτρικού σταθμού, που αποτελεί κρίσιμη ενεργειακή υποδομή, όσο βεβαίως και της περιοχής της Κυψέλης, όπου μια πολύ μεγάλη πλημμύρα, ενισχυόμενη περαιτέρω από τις εκροές των ταμιευτήρων, δύναται να θέσει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και περιουσίες.**

Τονίζεται βεβαίως ότι όλα τα παραπάνω διαγράμματα έχουν παραχθεί με βάση πολύ συγκεκριμένες, και ως επί το πλείστον ιδεατές, υδρολογικές συνθήκες, κατά τις οποίες το υδροσύστημα Αλιάκμονα φορτίζεται σε όλη του την έκταση από μια συνεχή βροχόπτωση διάρκειας 72 ωρών, οι εντάσεις της οποίας έχουν κοινή περίοδο επαναφοράς σε όλες τις χρονικές κλίμακες, και κατανέμονται χρονικά με βάση το δυσμενές προφίλ των εναλλασσόμενων μπλοκ. Προφανώς, η απόκριση του υδροσυστήματος έναντι ενός πραγματικού επεισοδίου βροχής προφανώς και θα διαφέρει, ανάλογα με τη χωροχρονική κατανομή της βροχόπτωσης και των συνθηκών υγρασίας του εδάφους. Από την άλλη πλευρά, η πιθανοτική προσέγγιση της μελέτης, η οποία καταλήγει σε ένα εύρος δυνητικών αποκρίσεων και όχι σε δεδομένες τιμές των υδρολογικών και υδροδυναμικών μεγεθών ενδιαφέροντος, επιτρέπει την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της υπό τι πρίσμα της αβεβαιότητας. Για τον λόγο αυτό, θεωρούμε ότι τα πιθανοτικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, και ειδικότερα τα δύο εποπτικά διαγράμματα διασποράς των **Εικόνων 10.4** και **10.5** δύναται να αποτελέσουν **εύχρηστα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων**, και να χρησιμοποιηθούν σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού αλλά και επιχειρησιακά, προκειμένου να δώσουν τις βασικές κατευθυντήριες γραμμές κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας.

10.4 Προτάσεις μείωσης του πλημμυρικού κινδύνου στο υδrosύστημα Αλιάκμονα

10.4.1 Λεκάνη απορροής Περιφερειακής Τάφρου

Οι υδρολογικές αναλύσεις κατέδειξαν ότι τα παραγόμενα πλημμυρικά μεγέθη στη λεκάνη απορροής της Περιφερειακής Τάφρου υπερβαίνουν κατά πολύ την παροχετευτική της ικανότητα, το οποίο θέτει υπό υψηλό κίνδυνο κατάκλυσης μεγάλο τμήμα της παρόχθιας ζώνης της. Μάλιστα, ακόμα και για περιόδους επαναφοράς της βροχόπτωσης της τάξης των 20 ετών, που είναι αρκετά μικρότερες των τυπικών επιπέδων ασφαλείας αντιπλημμυρικών έργων τέτοιας κλίμακας, η πιθανότητα υπερχειλίσης της Τ66 είναι αρκετά υψηλή, εφόσον η βροχόπτωση προσπέσει σε υγρό έδαφος, ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα πραγματοποιούνται πλευρικές υπερχειλίσεις κατά μήκος της τάφρου, και μάλιστα από τα ανάντη αυτής.

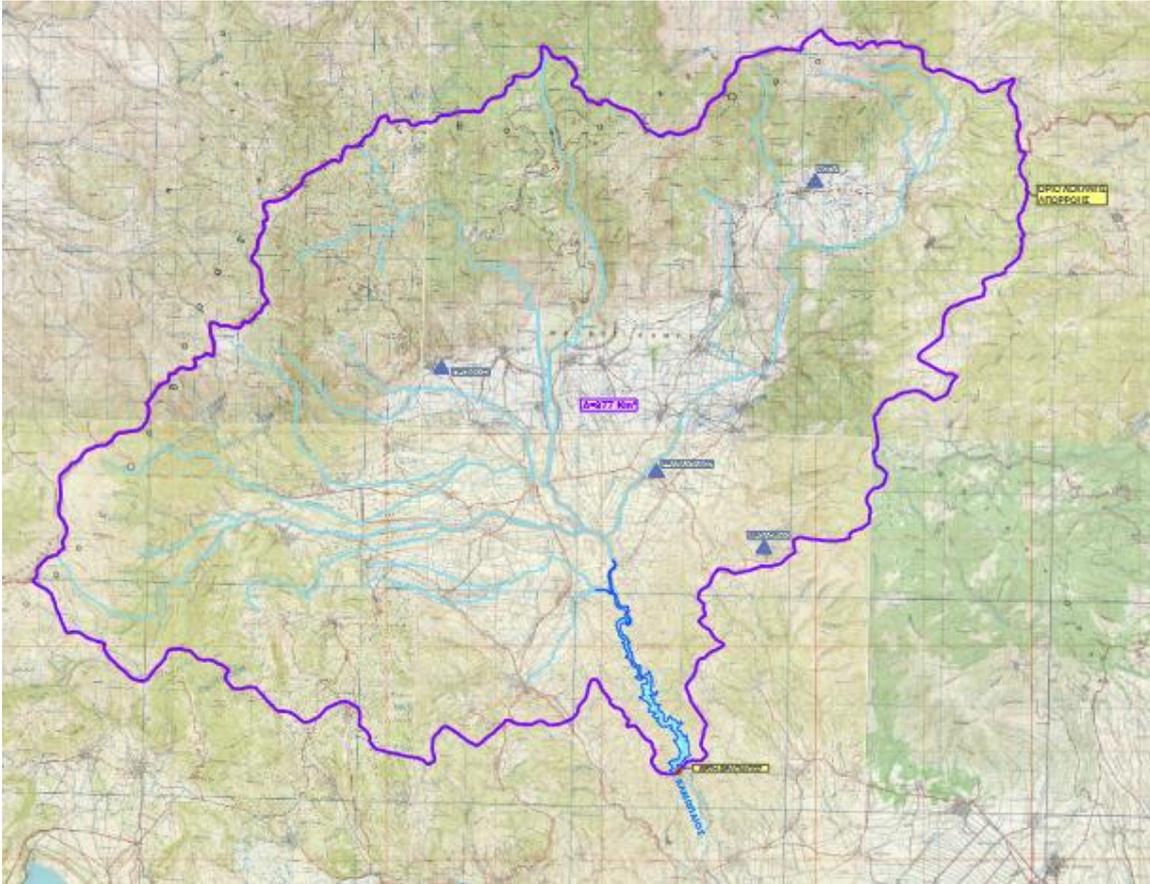
Από την άλλη πλευρά, η περιορισμένη παροχετευτικότητα της Τ66 δρα ανακουφιστικά για το κατάντη υδrosύστημα, οπότε οποιαδήποτε επέμβαση που θα στόχευε στη βελτίωση των συνθηκών ροής στην Περιφερειακή Τάφρο θα πρέπει να αντιμετωπιστεί υπό ένα ολιστικό πρίσμα, καθώς ενδέχεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις ως προς τον πλημμυρικό κίνδυνο των κατάντη περιοχών, ήτοι της χαμηλής ζώνης του Αλιάκμονα. Μάλιστα, οι αναλύσεις της μελέτης, που είναι σε συμφωνία με τα πορίσματα των αντίστοιχων Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, έδειξαν ότι η περιοχή του κάτω ρου του Αλιάκμονα είναι ιδιαίτερα ευάλωτη, και μάλιστα υπόκειται σε περαιτέρω κίνδυνο, εφόσον απαιτηθεί να απελευθερωθούν σημαντικές παροχές και από τους υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες, σε συνθήκες υπερχειλίσης αυτών.

Για τον λόγο αυτό, θεωρούμε ότι **οι όποιες βελτιωτικές επεμβάσεις αφορούν στην Περιφερειακή Τάφρο θα πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένες και στοχευμένες, ώστε να προστατέψουν τις παρακείμενες περιοχές, χωρίς ωστόσο να αναιρέσουν τον μείζονα ρόλο της ως το κύριο μέσο ανάσχεσης των πλημμυρικών ροών που διοχετεύονται στον Αλιάκμονα.**

Υπό το παραπάνω σκεπτικό, ο **στρατηγικός αντιπλημμυρικός σχεδιασμός της λεκάνης απορροής της Περιφερειακής Τάφρου** θα πρέπει να κινηθεί σε δύο παράλληλους άξονες:

- έργα ανάσχεσης των πλημμυρών που παράγονται στις ανάντη ορεινές περιοχές
- έργα και μέτρα διαχείρισης των πλημμυρών κατά μήκος της Περιφερειακής Τάφρου.

Ως έργα ανάσχεσης νοούνται **φράγματα και ταμιευτήρες, που δύνανται να εξασφαλίσουν πλήρη ή μερική αποθήκευση των ανάντη πλημμυρικών απορροών.** Το σημαντικότερο τέτοιο έργο που έχει μελετηθεί στην περιοχή, το οποίο μάλιστα βρίσκεται σε ώριμο στάδιο, είναι το **φράγμα Αλμωπαίου** (Καλής), επί του ποταμού Αλμωπαίου, η ανάντη λεκάνη απορροής του οποίου έχει έκταση 982 km². Η θέση του έργου, και τα αντίστοιχα όρια του ταμιευτήρα και της λεκάνης του φαίνονται στην **Εικόνα 10.6**. Σύμφωνα με τις μελέτες σχεδιασμού (Γρ. Δοξιάδη κ.ά., 2008· Ροϊκός κ.ά., 2013), στην υπόψη θέση προβλέπεται η κατασκευή λιθόρριπτου φράγματος ύψους 55.0 m από το έδαφος, με αργλικό πυρήνα, με υψόμετρο στέψης +106.0 m, που θα διαμορφώνει ταμιευτήρα χωρητικότητας 45 hm³. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα θα είναι στα +100.0 m. Ο υπερχειλιστής του φράγματος θα είναι πλευρικός, και θα εξοπλιστεί με ανατρεπόμενα θυροφράγματα (fusegates). Ο ταμιευτήρας θα εξυπηρετεί τις αρδευτικές ανάγκες ακαθάριστης γεωργικής γης έκτασης 140 000 στρεμμάτων και την εξασφάλιση οικολογικής παροχής στον ποταμό Αλμωπαίο και στη συνέχεια στην Περιφερειακή Τάφρο Τ66. Το κόστος του έργου εκτιμάται σε περίπου 80 εκατ. ευρώ (χωρίς τα αρδευτικά δίκτυα).



Εικόνα 10.6: Θέση φράγματος Αλμωπαίου (Καλλής), όρια ταμιευτήρα και όρια λεκάνης απορροής (απόσπασμα από την προμελέτη του έργου, Ροϊκός κ.ά., 2013).

Η μεγάλη έκταση της ανάντη λεκάνης σε σχέση με τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα υποδηλώνει ότι το έργο αυτό θα δύναται να προσφέρει μερική μόνο συγκράτηση των πλημμυρικών όγκων που θα παράγονται σε περιόδους ισχυρών βροχοπτώσεων, το οποίο βεβαίως εξαρτάται και από το ποσοστό πλήρωσης του ταμιευτήρα κατά την έναρξη της πλημμύρας. Δεδομένου ότι το έργο είναι αρδευτικού σκοπού, αναμένεται να έχει πολύ χαμηλά αποθέματα στην αρχή της φθινοπωρινής περιόδου, όταν και συνήθως εμφανίζονται τα πιο μεγάλα γεγονότα καταιγίδων στην Ελλάδα. Σε κάθε περίπτωση, ακόμα και στην πλέον δυσμενή κατάσταση που ο ταμιευτήρας θα είναι σε ολική πλήρωση κατά την έναρξη της πλημμύρας, θα συμβάλει κατ' ελάχιστο στην εξομάλυνση των πλημμυρικών αιχμών, μέσω της υδραυλικής διόδευσης τους από το σύστημα υπερχειλίσης.

Δεδομένης της σχετικά περιορισμένης αντιπλημμυρικής προστασίας που θα μπορέσει τελικά να παράσχει το φράγμα Αλμωπαίου, του αβέβαιου χρονοδιαγράμματος υλοποίησής του, και της εν γένει αδυναμίας ανάπτυξης άλλων αξιόλογων έργων αποθήκευσης στα ορεινά και ημιορεινά τμήματα της λεκάνης απορροής του Περιφερειακής Τάφρου, η έμφαση θα πρέπει να δοθεί στα **έργα διαχείρισης των πλημμυρών κατά μήκος τη Περιφερειακής Τάφρου και του ανάντη υδρογραφικού δικτύου της**. Ειδικότερα, θα πρέπει να προβλεφθεί η **διαμόρφωση λεκανών κατάκλυσης σε στοχευμένες εκτάσεις με σχετικά χαμηλή αξία γης**, στις οποίες θα μπορούν να διοχετεύονται οι πλεονάζουσες πλημμυρικές παροχές κατά μήκος της Τ66 και των λοιπών κεντρικών αποδεκτών που συμβάλλουν σε αυτή, προς ανακούφιση των κατάντη περιοχών. Πέραν των υποστηρικτικών έργων που θα απαιτηθούν, θα πρέπει να έχουν εκπονηθεί **επιχειρησιακά διαχειριστικά σχέδια**, ώστε να υπάρχει εκ των προτέρων προετοιμασία των απαιτούμενων χειρισμών (άνοιγμα θυροφραγμάτων ή/και θραύση αναχωμάτων) και αξιολόγηση των επιπτώσεων των ελεγχόμενων κατακλύσεων.

10.4.2 Κάτω ρους Αλιάκμονα

Η αντιπλημμυρική προστασία της χαμηλής ζώνης του Αλιάκμονα εξασφαλίζεται πρωτίστως μέσω του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος, που αποτελείται από ένα σχήμα πέντε ταμιευτήρων σε σειρά (Ιλαρίωνας, Πολύφυτο, Σφηκιά, Ανώματα, Αγ. Βαρβάρα). Η τοπολογία του συστήματος, και ειδικά η χωρητικότητα του ταμιευτήρα Πολυφύτου, παρέχουν **πολύ μεγάλη αναρρυθμιστική δυνατότητα και διαχειριστική ευελιξία, ώστε, με κατάλληλους χειρισμούς, να μπορεί να συγκρατηθεί στο σύνολό της ακόμα και μια πολύ μεγάλη πλημμύρα που παράγεται στην ανάντη λεκάνη**. Κατά συνέπεια, το ενδεχόμενο διοχέτευσης σημαντικών πλημμυρικών παροχών προς τον κάτω ρου του Αλιάκμονα είναι εκ των πραγμάτων εξαιρετικά χαμηλή, πόσο μάλλον η λειτουργία του συστήματος υπερχειλίσης στο άνω όριό του. Από την άλλη πλευρά, δεν θα πρέπει να αποκλειστεί η λειτουργία των υδροστροβίλων του συγκροτήματος σε πλήρη ισχύ, που συνεπάγεται την απελευθέρωση προς τον κάτω ρου του Αλιάκμονα μιας παροχής της τάξης των 300 m³/s.

Από την άλλη πλευρά, οι υδρολογικές αναλύσεις κατέδειξαν ότι **κατά τη διάρκεια επεισοδίων βροχής μεγάλης έντασης και διάρκειας, στον Αλιάκμονα θα διοχετεύονται μέσω της Περιφερειακής Τάφρου παροχές της τάξης των 1300 m³/s, ενδεχομένως και για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα**. Εφόσον αυτές συνδυαστούν και με σημαντικές τοπικές πλημμυρικές παροχές, **η κατάκλυση ευρέων περιοχών εκατέρωθεν της κύριας κοίτης του ποταμού καθίσταται αναπόφευκτη, ανεξαρτήτως των εκροών του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος Αλιάκμονα**. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερες είναι οι εκροές των φραγμάτων, και ανάλογα με τις επικρατούσες υδρολογικές συνθήκες (διάρκεια, ένταση και χωροχρονικό προφίλ βροχής, σε συνδυασμό με τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας), αναμένεται μεν μια σχετικά μικρή επέκταση των κατακλυζόμενων εκτάσεων, αλλά με αρκετά σημαντική επιδείνωση των μέγιστων βαθών ροής και ταχυτήτων των πλέον ευάλωτων περιοχών, άρα και του συνακόλουθου πλημμυρικού κινδύνου.

Η αρχική λοιπόν σύσταση αφορά στη **διακοπή της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών σταθμών των φραγμάτων, κατά την εξέλιξη ισχυρών πλημμυρικών επεισοδίων**, προκειμένου να μην επιβαρυνθεί το υδρολογικό σύστημα με περαιτέρω ποσότητες νερού, ήτοι μέσω ρυθμιζόμενων εκροών από το Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα. Είναι αυτονόητο ότι η σύσταση αυτή **δεν αφορά στην περίπτωση που η απελευθέρωση νερού μέσω των στροβίλων και, σε πιο ακραίες καταστάσεις μέσω των εκχειλιστών, είναι επιβεβλημένη για λόγους ασφαλείας των φραγμάτων**.

Όσον αφορά στη δυνατότητα ανάσχεσης των τοπικών πλημμυρών, με την κατασκευή φραγμάτων στο νότιο τμήμα της λεκάνης, αυτή θα πρέπει να αποκλειστεί. Συνεπώς, πέραν των χειρισμών της ΔΕΗ Α.Ε., η μόνη δόκιμη επιλογή για τον μετριασμό του πλημμυρικού κινδύνου αφορά στη **διαμόρφωση ελεγχόμενων περιοχών κατάκλυσης σε περιοχές με χαμηλής αξίας αγροτική γη**. Κατ' αντιστοιχία με όσα συζητήθηκαν για τη λεκάνη της Περιφερειακής Τάφρου, θα πρέπει να έχουν προβλεφθεί και τα κατάλληλα έργα ελέγχου (π.χ. θυροφράγματα), και να έχουν εκ των προτέρων εξεταστεί διάφορα σενάρια, προκειμένου οι όποιες αποφάσεις χρειαστεί να ληφθούν κατά την εξέλιξη του πλημμυρικού γεγονότος να είναι όσο το δυνατό πιο καλά τεκμηριωμένες.

Από πλευράς καθαρά κατασκευαστικών έργων, είναι απαραίτητη η **διαμόρφωση αναχωμάτων για την προστασία του ΥΗΣ Μακροχωρίου II**, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευάλωτο ακόμα και σε συνθήκες μηδενικής εκροής από τα φράγματα. Ομοίως, θα πρέπει **να προστατευτούν τα χαμηλά τμήματα της Κυψέλης**, είτε με την κατασκευή κάποιου χαμηλού αναχώματος στο βόρειο όριο του οικισμού, είτε με την πρόβλεψη ενός έργου προσωρινής εκτροπής και ανάσχεσης της ροής.

Σε κάθε περίπτωση, ακρογωνιαίος λίθος για την διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής αποτελεί η ανάπτυξη ενός **ολοκληρωμένου μετρητικού δικτύου**, προκειμένου να παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο τόσο η εξέλιξη των βροχοπτώσεων στην συνολική λεκάνη απορροής, όσο και η

διόδευση των παραγόμενων πλημμυρικών ροών στο κύριο υδρογραφικό δίκτυο. Η ΔΕΗ Α.Ε. έχει ήδη εγκαταστήσει αυτόματο υδρομετρικό σταθμό επί της Περιφερειακής Τάφρου, λίγο πριν τη συμβολής της με τον Αλιάκμονα, και συστήνεται να τοποθετήσει και σε άλλες θέσεις, προκειμένου να παρακολουθεί τις πλημμυρικές ροές που διοχετεύονται από τις κύριες υπολεκάνες του ανάντη υδρολογικού συστήματος (Αλμωπαίου, Εδεσσαίου, κτλ.). Ο έλεγχος των τελευταίων είναι ιδιαίτερα κρίσιμος, καθώς, λόγω της σχετικά αργής διόδευσης των ροών κατά μήκος της Τ66, θα παρέχει και ένα αρκετά ικανό χρονικό περιθώριο άμεσων δράσεων, τόσο όσον αφορά στην **προσαρμογή της λειτουργίας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος** (π.χ. διακοπή παραγωγής), όσο και στη **έγκαιρη λήψη μέτρων εκκένωσης των περιοχών υψηλής τρωτότητας**. Για ακόμα καλύτερη εποπτεία, προτείνεται η τοποθέτηση κατάλληλου τηλεμετρικού εξοπλισμού και κατά μήκος του κάτω ρου του Αλιάκμονα, π.χ. στη γέφυρα της ΠΕΟ Αθηνών-Θεσσαλονίκης, που βρίσκεται λίγο ανάντη της Κυψέλης. Η χωροθέτηση και υλοποίηση του μετρητικού δικτύου πρέπει να αποτελέσει άξονα πρώτης προτεραιότητας, και ειδικά υπό το πρίσμα ενός **συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης** που δύναται να αναπτυχθεί μελλοντικά, αλλά και ως μιας αναγκαίας υποδομής για την εν γένει υποστήριξη της εποπτείας και διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής.

Αναφορές

Βαλιούλης, Η. & Συν/τες Ε/Ε/, Α. Γιαννάκου, Ε. Αγγελής, και Ε. Μουσιακής, Υδρολογική μελέτη, *Κτηματογράφηση περιοχής επέκτασης στην τοποθεσία Κισορίτσι – Ανασύνταξη πολεοδομικής μελέτης επέκτασης – Πράξη εφαρμογής και υδραυλική μελέτη για τη διευθέτηση και οριοθέτηση του ρέματος στο Κισορίτσι, Δήμος Έδεσσας, Νοέμβριος 2002.*

Γραφείο Δοξιάδη – Σύμβουλοι για Ανάπτυξη και Οικιστική Α.Ε., ΥΔΡΟ Κ. Λαγαρίας - Α. Λουμπιέ & Σία Ε.Ε., GEOPLAN Ε.Π.Ε., Σύμβουλοι Γεωτεχνικοί και Περιβαλλοντολόγοι, Τριανταφύλλου Κωνσταντίνος, Τοπογράφος Μηχανικός, και ΓΕΩΣΥΝΟΛΟ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Γεωλόγοι Ε.Π.Ε, *Μελέτη κατασκευής φράγματος Αλμωπαιού (Καλής) Ν. Πέλλας – Υποστηρικτικές μελέτες για τις ανάγκες της προμελέτης του φράγματος, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Μάιος 2008.*

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 σ., Σεπτέμβριος 2014.*

Ευστρατιάδης, Α., Ν. Μαμάσης, Π. Δήμας, Α. Λύκου, και Γ.-Κ. Σακκή, Τεχνική έκθεση, *Ανάπτυξη υπολογιστικής υποδομής για την υδροδυναμική προσομοίωση του υδροσυστήματος κατάντη του φράγματος Ασωμάτων, 82 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούνιος 2024.*

Z-A & Συν/τες Α.Μ.Ε., Υδροεξυγιαντική Α.Ε., NERCO – Ν. Χλύκας Συν/τες Α.Ε.Μ., Χάρτη μέσου καμπύλης απορροής CNII υπολεκανών, *1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (ΕΛ09), Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων, Γενική Διεύθυνση Υδάτων, Σεπτέμβριος 2023.*

Καραγιαννίδης, Α. Π., και Ε. Α. Παπαϊωάννου, Υδροηλεκτρικά Έργα της ΔΕΗ ΑΕ στον ποταμό Αλιάκμονα, *Πρώτο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, ΤΕΕ - Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα, 2008.*

Κουτσογιάννης, Δ., Θ. Ηλιοπούλου, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαλάμος, Ν. Μαμάσης, Π. Δημητριάδης, Ν. Τεπετίδης, και Δ. Μαρκαντώνης, Τεχνική Έκθεση, *Παραγωγή χαρτών με τις επικαιροποιημένες παραμέτρους των όμβριων καμπυλών σε επίπεδο χώρας (εφαρμογή της Οδηγίας ΕΕ 2007/60/ΕΚ στην Ελλάδα), Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2023.*

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 σ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.*

Κουτσογιάννης, Δ., και Ν. Μαμάσης, Γνωμοδοτική τεχνική έκθεση για την πλημμύρα του Μαρτίου 1999 στην περιοχή Λίμνης Νησιού, *Σύνταξη τεχνικών γνωμοδοτήσεων για τις πλημμύρες Κάτω Αχελώου και Έδεσσας, Ανάθεση: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, 12 σ., Αθήνα, Μάιος 2005.*

Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, Έκδοση 4, 180 σ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.*

Κωνσταντινίδης, Δ., *Τα υδραυλικά έργα στην Ελλάδα, Σημειώσεις σειράς διαλέξεων στο ΕΜΠ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1993 (<https://www.itia.ntua.gr/1678/>).*

Μαμάσης, Ν., Α. Ευστρατιάδης, Π. Δήμας, Γ.-Κ. Σακκή, Π. Κοσιέρης, Ι. Τσουκαλάς, Α. Κουκουβίνος, και Κ. Πιπλή, *Γενικό στρατηγικό σχέδιο αντιπλημμυρικής προστασίας Δυτικής Θεσσαλίας*, GTB ΑΝΟΔΟΣ Α.Ε., Φεβρουάριος 2022.

Ροϊκός Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε., Υδροδομική Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε., INTEGER Α.Ε., NERCO, Ν. Χλύκας & Συνεργάτες Α.Ε.Μ., και GUD GEOTECHNIC UND DYNAMIC GmbH, Προμελέτη υδραυλικών έργων, *Μελέτη φράγματος Αλμωπαίου (Καλής) Ν. Πέλλας*, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Διοικητικός Τομέας Κοινοτικών Πόρων και Υποδομών, Διεύθυνση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών, Τομέας Α, Ιούλιος 2013.

Υδροεξυγιαντική, Α.Ε., Έκθεση υδρολογικής ανάλυσης, *Ανάλυση Πλημμυρικού Κίνδυνου του Προτεινομένου Συστήματος Αποχέτευσης Ομβρίων Υδάτων Μητροπολιτικού Πόλου Ελληνικού - Αγίου Κοσμά*, Ανάθεση: LAMDA DEVELOPMENT S.A., Ιανουάριος 2021.

Χρυσάνθου, Β., *Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα*, Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, doi:10.57713/kallipos-493, 2016.

ASCE-ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) - NRCS (Natural Resources Conservation Service) Task Group on Curve Number Hydrology, *Report of Task Group on Curve Number Hydrology*, Chapters 8 (Land Use and Land Treatment Classes), 9 (Hydrologic Soil Cover Complexes), 10 (Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall), 12 (Hydrologic Effects of Land Use and Treatment), edited by R. H. Hawkins, T. J. Ward, and D. E. Woodward, 115, Reston, VA, ASCE, 2017.

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, doi:10.5194/hess-11-1825-2007, 2007.

Beven, K. J., A history of the concept of time of concentration, *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 2655–2670, doi:10.5194/hess-24-2655-2020, 2020.

Bonnin, G. M., D. Martin, B. Lin, T. Paryzbok, M. Yekta, and D. Riley, *Precipitation-frequency Atlas of the United States*, NOAA Atlas 14, vol. 2, Silver Springs, Maryland, USA (Version 3.0, National Weather Service), 2006 (https://www.weather.gov/media/owp/oh/hdsc/docs/Atlas14_Volume2.pdf).

Camici, S., A. Tarpanelli, L. Brocca, F. Melone, and T. Moramarco, Design soil moisture estimation by comparing continuous and storm-based rainfall-runoff modelling, *Water Resources Research*, 47, W05527, doi:10.1029/2010WR009298, 2011.

Casulli, V., 2009. A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 60, 391–408. <https://doi.org/10.1002/flid.1896>

Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.

Dimas, P., G.-K. Sakki, P. Kossieris, I. Tsoukalas, A. Efstratiadis, C. Makropoulos, N. Mamassis, and K. Pipili, Establishing a strategic blueprint for the design and evaluation of flood control infrastructure in extensive watersheds, *Water Resources Management*, doi:10.1007/s11269-024-04084-4, 2025.

Dimitriou, E., A. Efstratiadis, I. Zotou, A. Papadopoulos, T. Iliopoulou, G.-K. Sakki, K. Mazi, E. Rozos, A. Koukouvinos, A. D. Koussis, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Post-analysis of Daniel extreme flood event in Thessaly, Central Greece: Practical lessons and the value of state-of-the-art water monitoring networks, *Water*, 16(7), 980, doi:10.3390/w16070980, 2024.

- 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, doi:10.5194/nhess-14-1417-2014, 2014.
- Efstratiadis, A., I. Tsoukalas, and D. Koutsoyiannis, Generalized storage-reliability-yield framework for hydroelectric reservoirs, *Hydrological Sciences Journal*, 66(4), 580–599, doi:10.1080/02626667.2021.1886299, 2021.
- Efstratiadis, A., P. Dimas, G. Pouliasis, I. Tsoukalas, P. Kossieris, V. Bellos, G.-K. Sakki, C. Makropoulos, and S. Michas, Revisiting flood hazard assessment practices under a hybrid stochastic simulation framework, *Water*, 14(3), 457, doi:10.3390/w14030457, 2022.
- 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, 2077, 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, doi:10.1080/02626667.2011.644244, 2012a.
- Grimaldi, S., A. Petroselli, and F. Serinaldi, A continuous simulation model for design-hydrograph estimation in small and ungauged watersheds, *Hydrological Sciences Journal*, 57(6), 1035–1051, doi:10.1080/02626667.2012.702214, 2012b.
- Grimaldi, S., A. Petroselli, and F. Serinaldi, Design hydrograph estimation in small and ungauged watersheds: continuous simulation method versus event-based approach, *Hydrological Processes*, 26(20), 3124–3134, doi:10.1002/hyp.8384, 2012c.
- Hawkins, R. H., Asymptotic determination of runoff curve numbers from data, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(2), 334–345, doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(1993)119:2(334), 1993.
- Hjelmfelt Jr., A. T., Negative outflows from Muskingum flood routing, *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(6), 1010–1014, doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:6(1010), 1985.
- Huff, F. A., Time distribution of rainfall in heavy storms, *Water Resources Research*, 3, 1007–1019, doi:10.1029/WR003i004p01007, 1967.
- Iliopoulou, T., D. Koutsoyiannis, N. Malamos, A. Koukouvinos, P. Dimitriadis, N. Mamassis, N. Tepetidis, and D. Markantonis, A stochastic framework for rainfall intensity–time scale–return period relationships. Part II: point modelling and regionalization over Greece, *Hydrological Sciences Journal*, 69(8), 1092–1112, doi:10.1080/02626667.2024.2345814, 2024.
- Iliopoulou, T., N. Malamos, and D. Koutsoyiannis, Regional ombrian curves: Design rainfall estimation for a spatially diverse rainfall regime, *Hydrology*, 9(5), 67, doi:10.3390/hydrology9050067, 2022.
- 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, doi:10.1623/hysj.54.1.43, 2009.
- Koutsoyiannis, D., T. Iliopoulou, A. Koukouvinos, and N. Malamos, A stochastic framework for rainfall intensity–time scale–return period relationships. Part I: theory and estimation strategies, *Hydrological Sciences Journal*, 69(8), 1082–1091, doi:10.1080/02626667.2024.2345813, 2024.
- Koutsoyiannis, D., T. Iliopoulou, A. Koukouvinos, and N. Malamos, A stochastic framework for rainfall intensity–time scale–return period relationships. Part I: theory and estimation strategies, *Hydrological Sciences Journal*, 69(8), 1082–1091, doi:10.1080/02626667.2024.2345813, 2024.

Koutsoyiannis, D., T. Iliopoulou, A. Koukouvinos, N. Malamos, N. Mamassis, P. Dimitriadis, N. Tepetidis, and D. Markantonis, In search of climate crisis in Greece using hydrological data: 404 Not Found, *Water*, 15(9), 1711, doi:10.3390/w15091711, 2023.

Massari, C., L. Brocca, S. Barbetta, 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, doi:10.5194/hess-18-839-2014, 2014.

McCuen, R. H., and T. R. Bondelid, Estimating unit hydrograph peak rate factors, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 109, 238–250, 1983.

McCuen, R. H., Uncertainty analyses of watershed time parameters, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5), 490-498, doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000011, 2009.

Michailidi, E., S. Antoniadis, A. Koukouvinos, B. Bacchi, and A. Efstratiadis, Timing the time of concentration: shedding light on a paradox, *Hydrological Sciences Journal*, 63(5), 721-740, doi:10.1080/02626667.2018.1450985, 2018.

Michel, C., V. Andréassian, and C. Perrin, Soil Conservation Service Curve Number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure? *Water Resources Research*, 41, W02011, doi:10.1029/2004WR003191, 2005.

Mishra, S. K., and V. P. Singh, A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria, *Hydrological Processes*, 20, 2755-2768, doi:10.1002/hyp.6066, 2006.

Mishra, S. K., and V. P. Singh, SCS-CN method: part-I: derivation of SCS-CN based models, *Acta Geophysica Polonica*, 50(3), 457-477, 2002.

Natural Resources Conservation Service (NRCS), Hydrographs, *National Engineering Handbook: Part 630 – Hydrology*, Chapter 16, 2007.

Papaioannou, G., A. Efstratiadis, L. Vasiliades, A. Loukas, S.M. Papalexou, A. Koukouvinos, I. Tsoukalas, and P. Kossieris, An operational method for Floods Directive implementation in ungauged urban areas, *Hydrology*, 5(2), 24, doi:10.3390/hydrology5020024, 2018.

Ponce V. M., and R. H. Hawkins, Runoff Curve Number: has it reached maturity?, *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), 11–19, doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(1996)1:1(11) , 1996.

Risva, K., D. Nikolopoulos, and A. Efstratiadis, Distributed hydrological modelling using spatio-temporally varying velocities, *European Geosciences Union General Assembly 2020, Geophysical Research Abstracts, Vol. 22*, Vienna, EGU2020-13402, doi:10.5194/egusphere-egu2020-13402, 2020.

Roberson, J. A., J. J. Cassidy, and M. H. Chaudhry, *Hydraulic Engineering*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1989.

Sahu, R. K., S. K. Mishra, T. I. Eldho, and M. K. Jain, An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method, *Hydrological Processes*, 21(21), 2872-2881, doi:10.1002/hyp.6503, 2007.

Savvidou, E., A. Efstratiadis, A. D. Koussis, A. Koukouvinos, and D. Skarlatos, The curve number concept as a driver for delineating hydrological response units, *Water*, 10(2), 194, doi:10.3390/w10020194, 2018.

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

Tsoukalas, I., P. Kossieris, and C. Makropoulos, Simulation of non-Gaussian correlated random variables, stochastic processes and random fields: Introducing the anySim R-Package for environmental applications and beyond, *Water*, 12(6), 1645, doi:10.3390/w12061645, 2020.

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

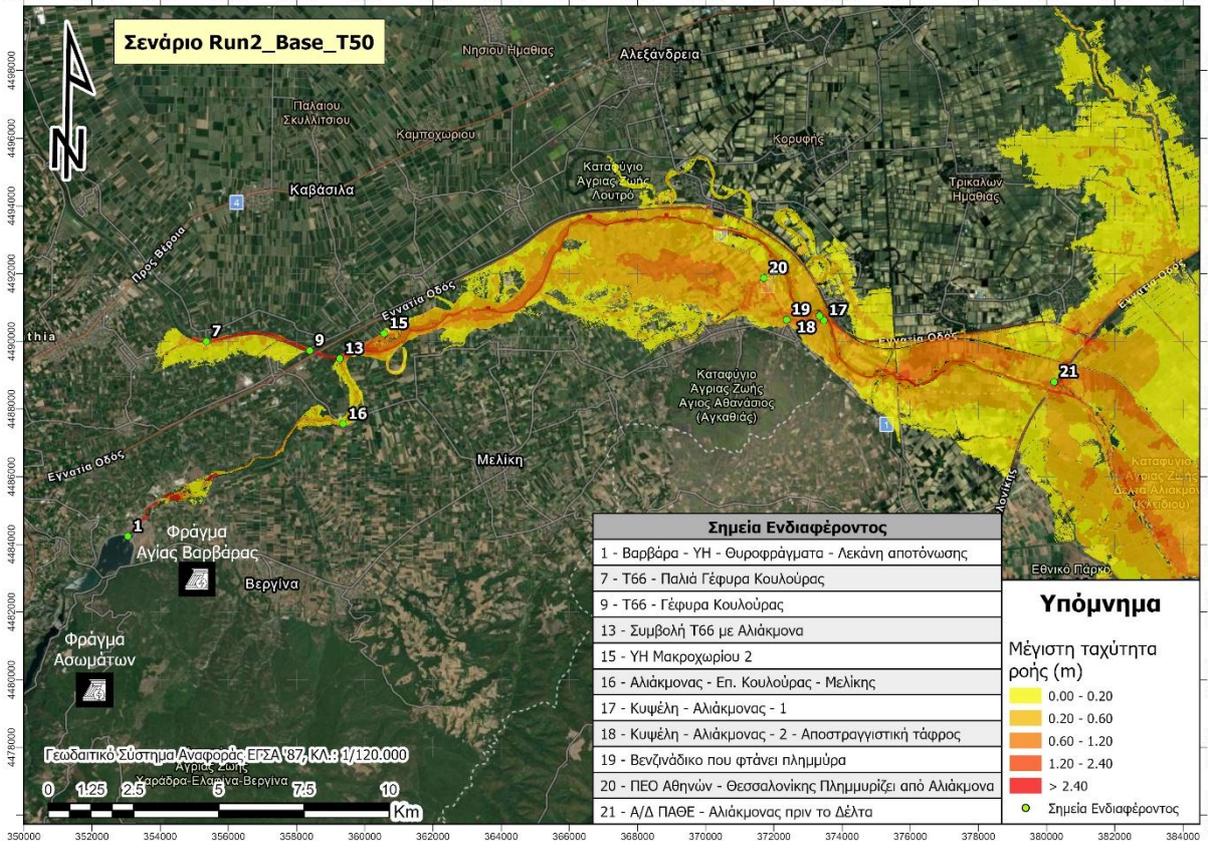
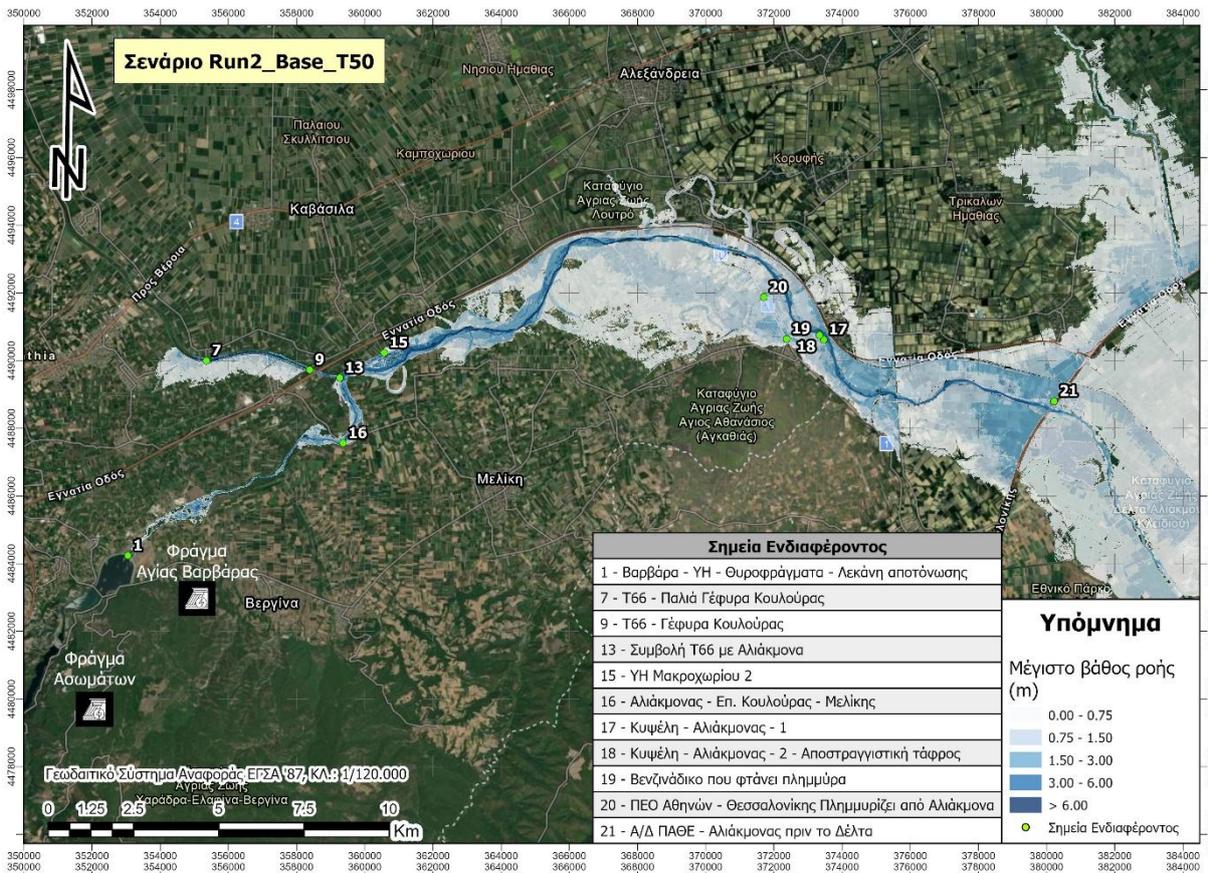
U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, *Design of Arch Dams*, U.S. Government Printing Office, Denver, CO, 1977.

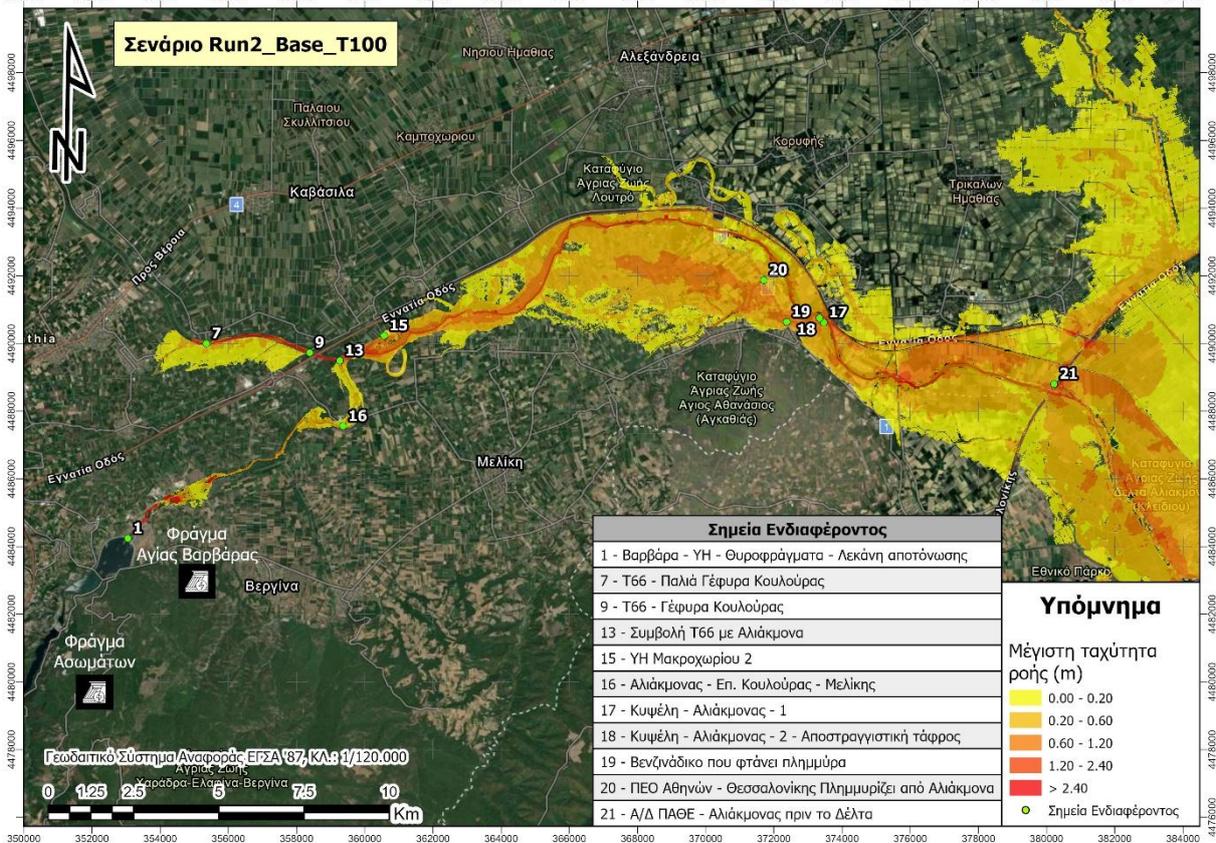
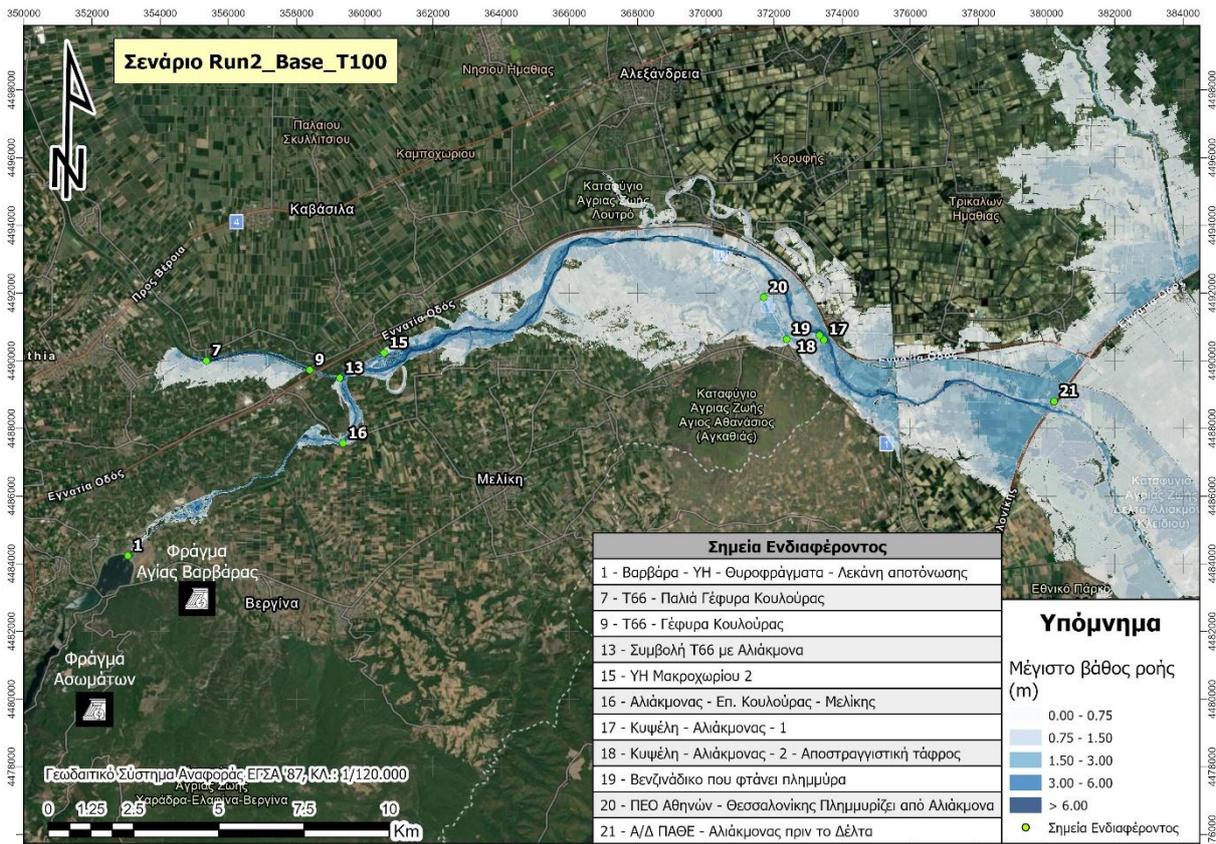
Verma, S., R. K. Verma, S. K. Mishra, A. Singh, and G. K. Jayaraj, A revisit of NRCS-CN inspired models coupled with RS and GIS for runoff estimation, *Hydrological Sciences Journal*, 62(12), 1891-1930, doi:10.1080/02626667.2017.1334166, 2017.

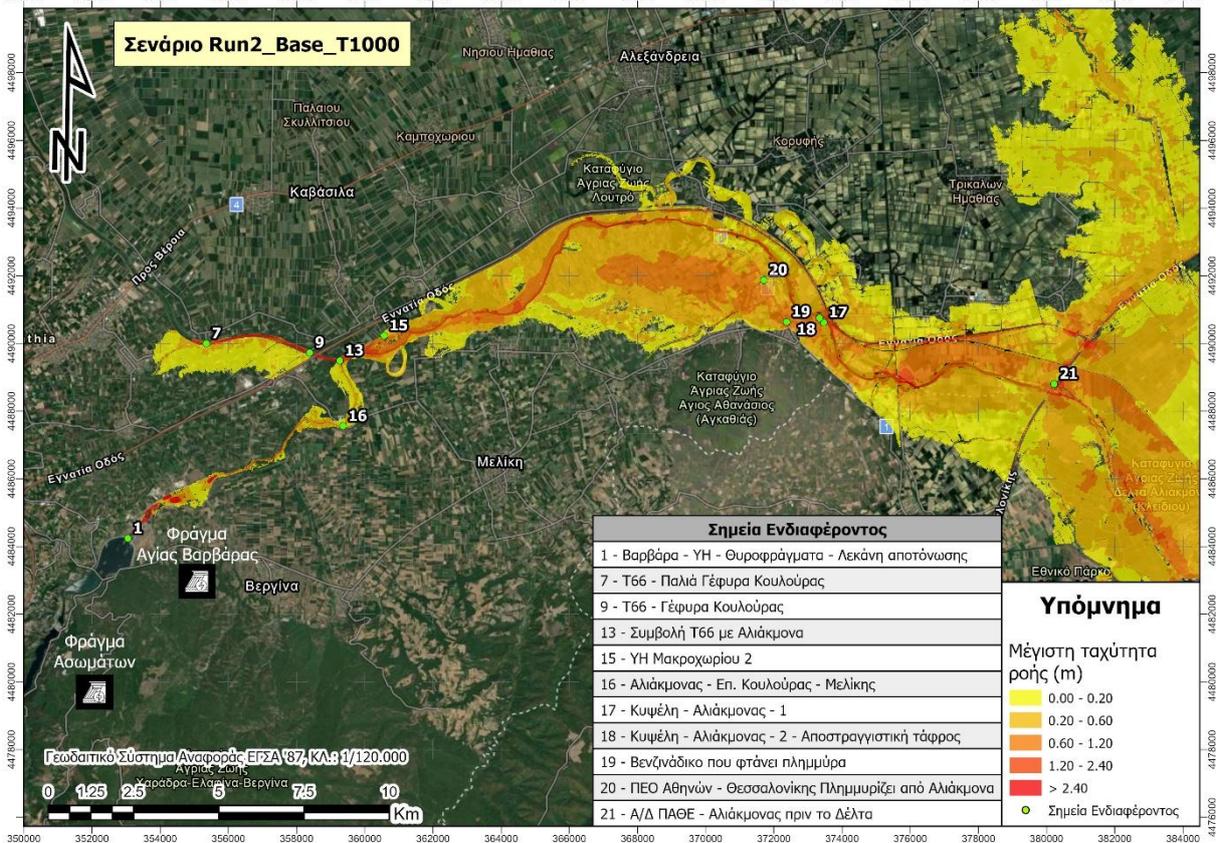
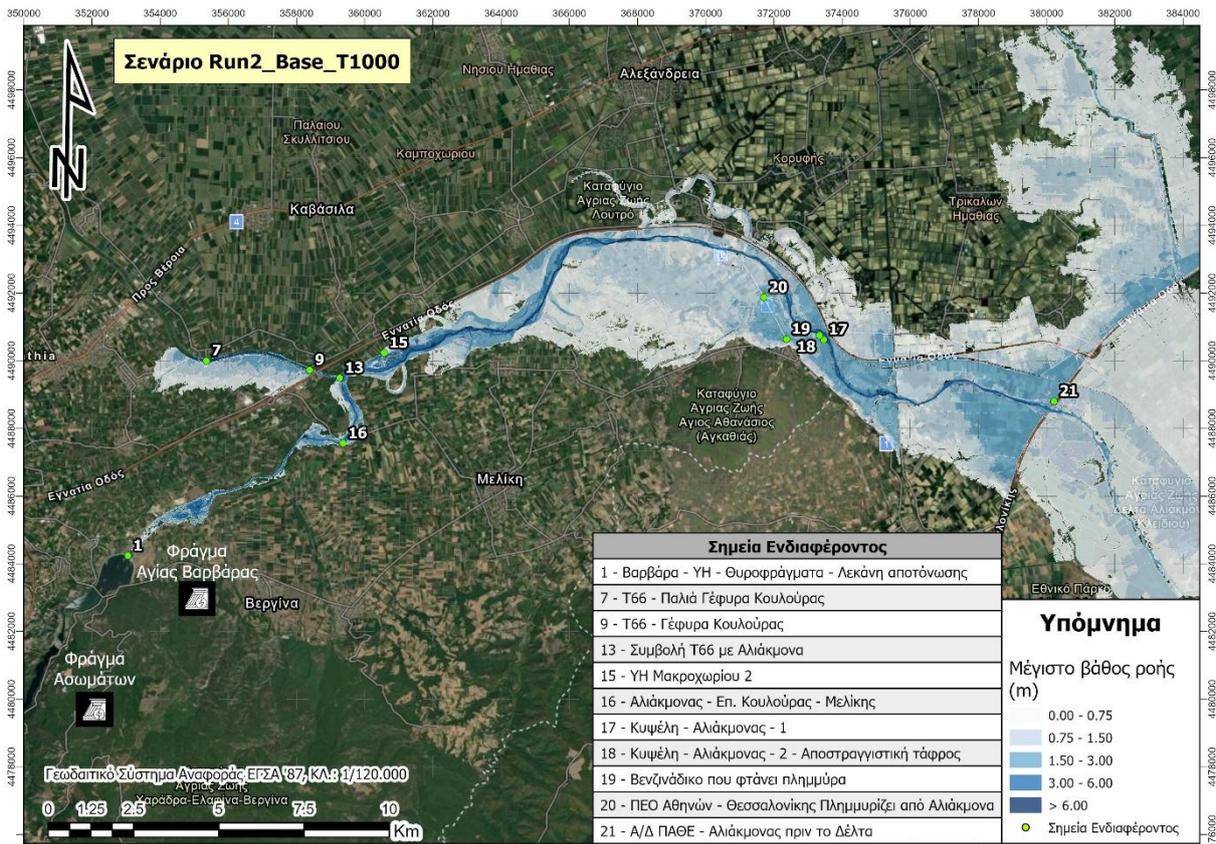
Παράρτημα Α: Χάρτες μέγιστων βαθών & ταχυτήτων

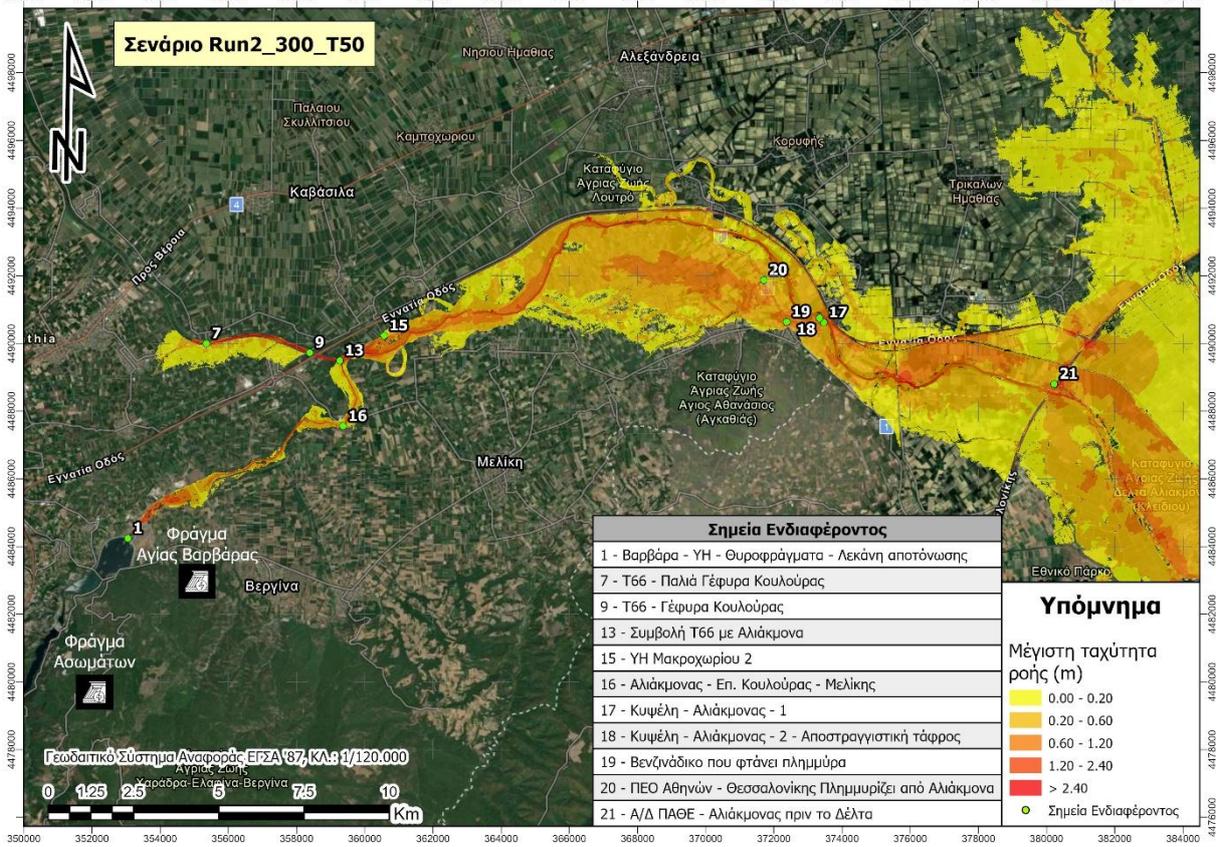
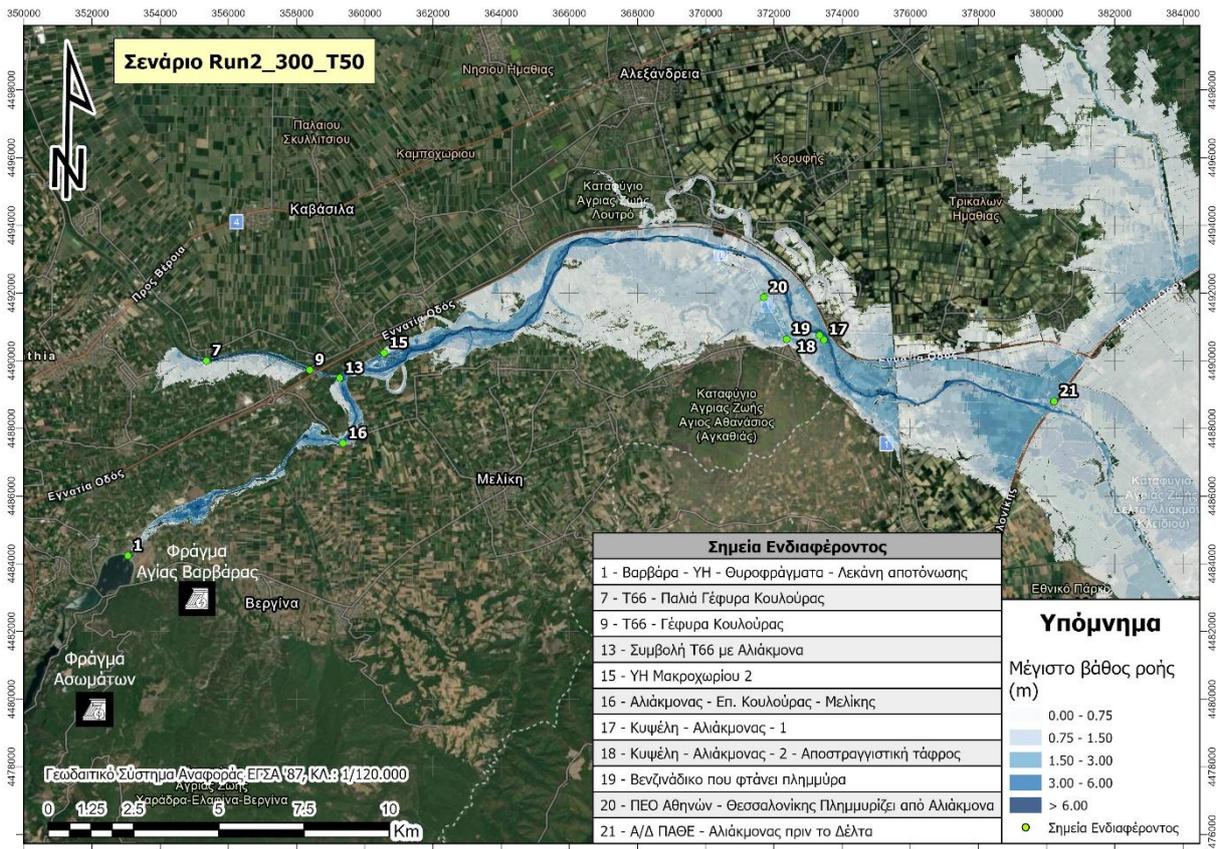
Παρατίθενται οι χάρτες των μέγιστων βαθών και μέγιστων ταχυτήτων ροής για το σύνολο των σεναρίων υδροδυναμικής προσομοίωσης, σύμφωνα με τη σειρά του παρακάτω πίνακα:

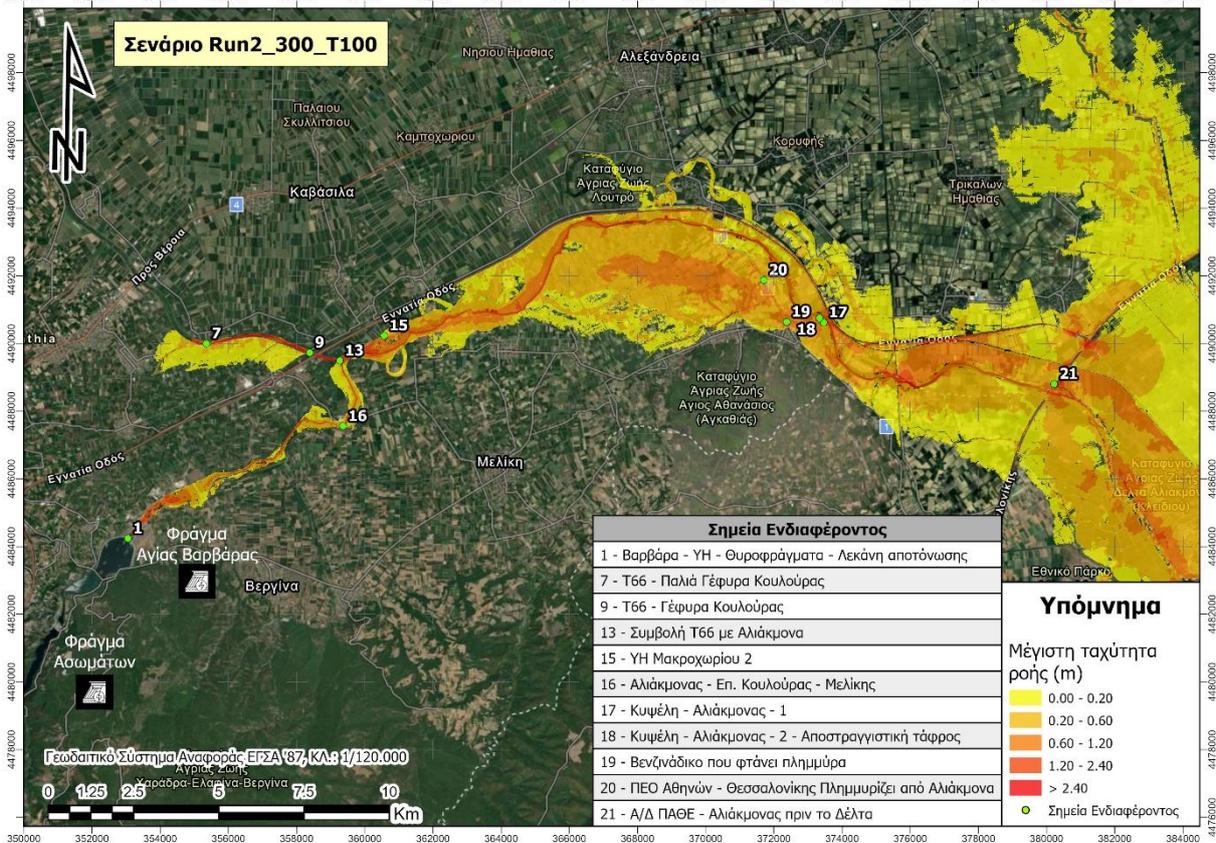
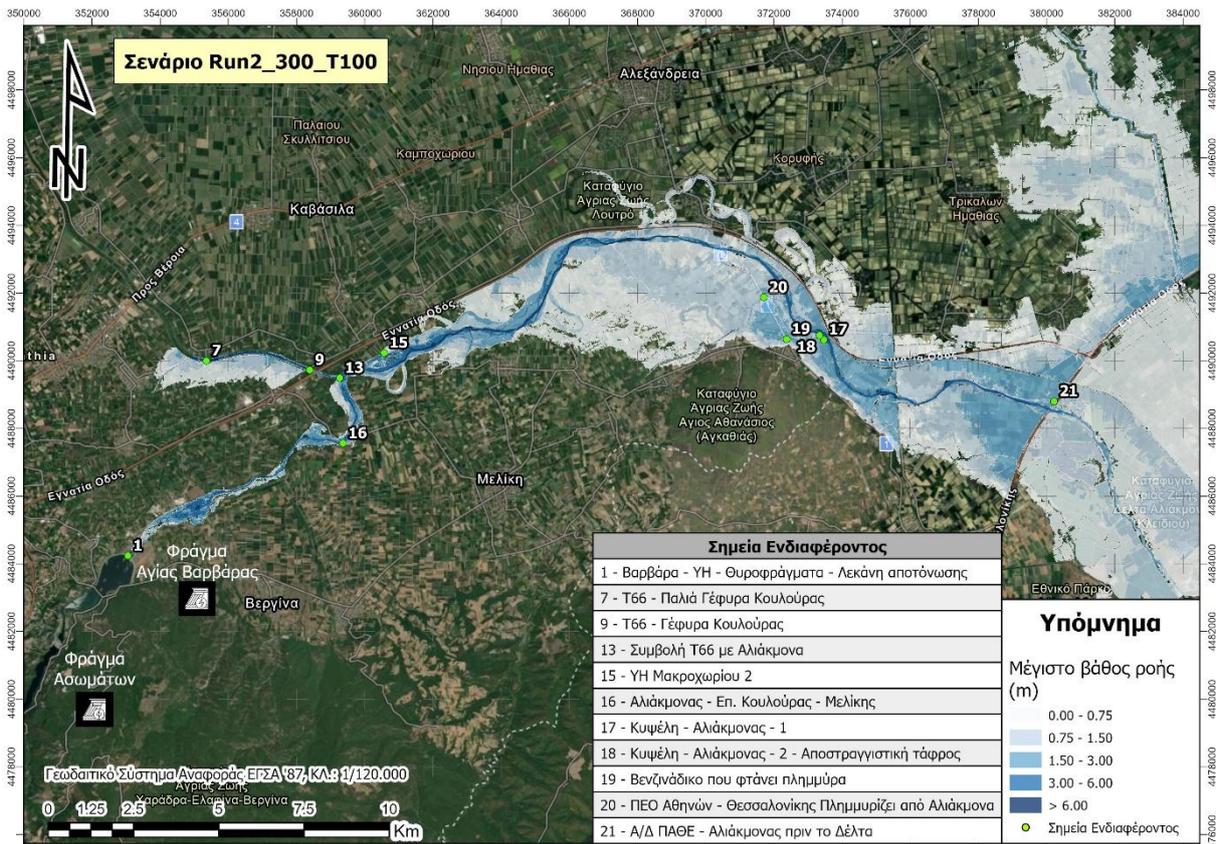
α/α	Σενάριο	Συνθήκες αρχικής υγρασίας εδάφους	Παροχή εκροής Ασωμάτων (m ³ /s)	Περίοδος επαναφοράς βροχής (έτη)
1	Run2_Base_T50	Ξηρές	0	50
2	Run2_Base_T100	Ξηρές	0	100
3	Run2_Base_T1000	Ξηρές	0	1000
4	Run2_300_T50	Ξηρές	300	50
5	Run2_300_T100	Ξηρές	300	100
6	Run2_300_T1000	Ξηρές	300	1000
7	Run2_600_T50	Ξηρές	600	50
8	Run2_600_T100	Ξηρές	600	100
9	Run2_600_T1000	Ξηρές	600	1000
10	Run2_900_T50	Ξηρές	900	50
11	Run2_900_T100	Ξηρές	900	100
12	Run2_900_T1000	Ξηρές	900	1000
13	Run2_1300_T50	Ξηρές	1300	50
14	Run2_1300_T100	Ξηρές	1300	100
15	Run2_1300_T1000	Ξηρές	1300	1000
16	Run5_Base_T50	Μέσες	0	50
17	Run5_Base_T100	Μέσες	0	100
18	Run5_Base_T1000	Μέσες	0	1000
19	Run5_300_T50	Μέσες	300	50
20	Run5_300_T100	Μέσες	300	100
21	Run5_300_T1000	Μέσες	300	1000
22	Run5_600_T50	Μέσες	600	50
23	Run5_600_T100	Μέσες	600	100
24	Run5_600_T1000	Μέσες	600	1000
25	Run5_900_T50	Μέσες	900	50
26	Run5_900_T100	Μέσες	900	100
27	Run5_900_T1000	Μέσες	900	1000
28	Run5_1300_T50	Μέσες	1300	50
29	Run5_1300_T100	Μέσες	1300	100
30	Run5_1300_T1000	Μέσες	1300	1000
31	Run9_Base_T50	Υγρές	0	50
32	Run9_Base_T100	Υγρές	0	100
33	Run9_Base_T1000	Υγρές	0	1000
34	Run9_300_T50	Υγρές	300	50
35	Run9_300_T100	Υγρές	300	100
36	Run9_300_T1000	Υγρές	300	1000
37	Run9_600_T50	Υγρές	600	50
38	Run9_600_T100	Υγρές	600	100
39	Run9_600_T1000	Υγρές	600	1000
40	Run9_900_T50	Υγρές	900	50
41	Run9_900_T100	Υγρές	900	100
42	Run9_900_T1000	Υγρές	900	1000
43	Run9_1300_T50	Υγρές	1300	50
44	Run9_1300_T100	Υγρές	1300	100
45	Run9_1300_T1000	Υγρές	1300	1000

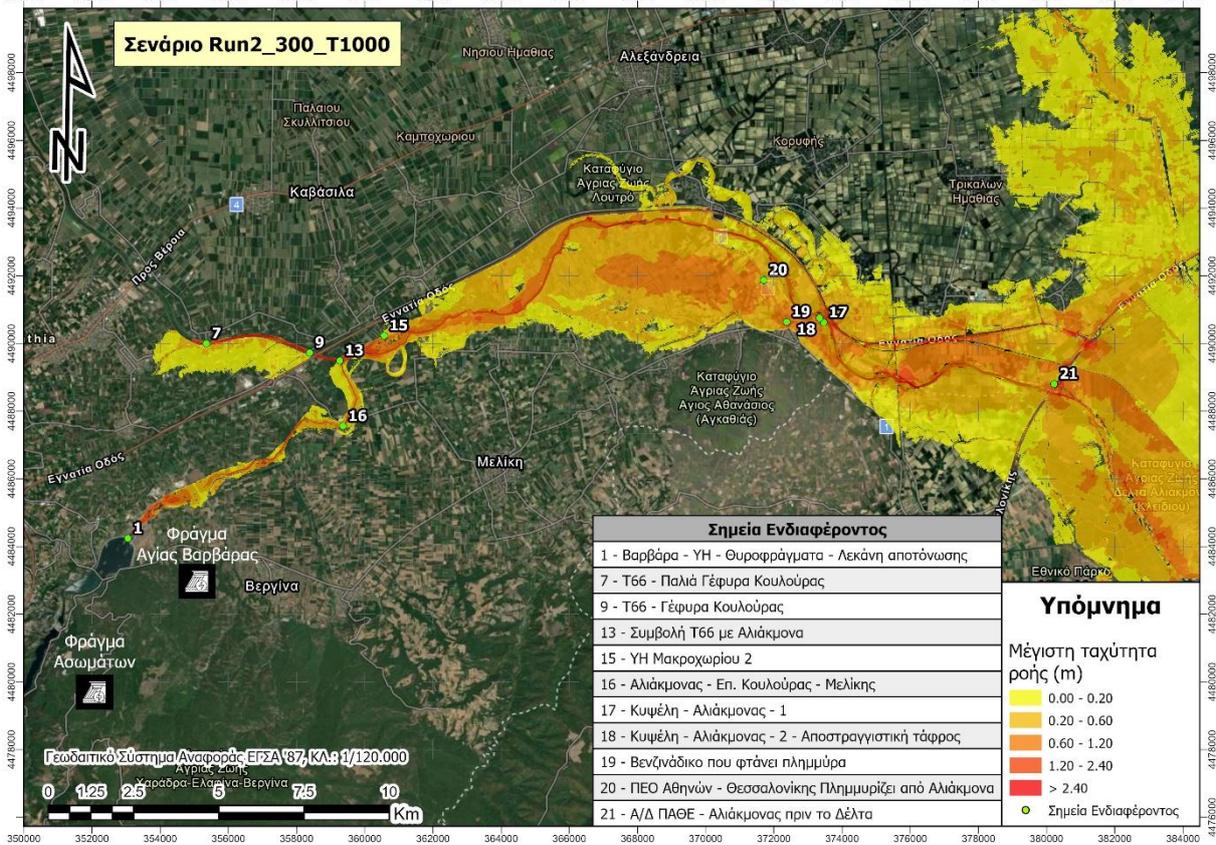
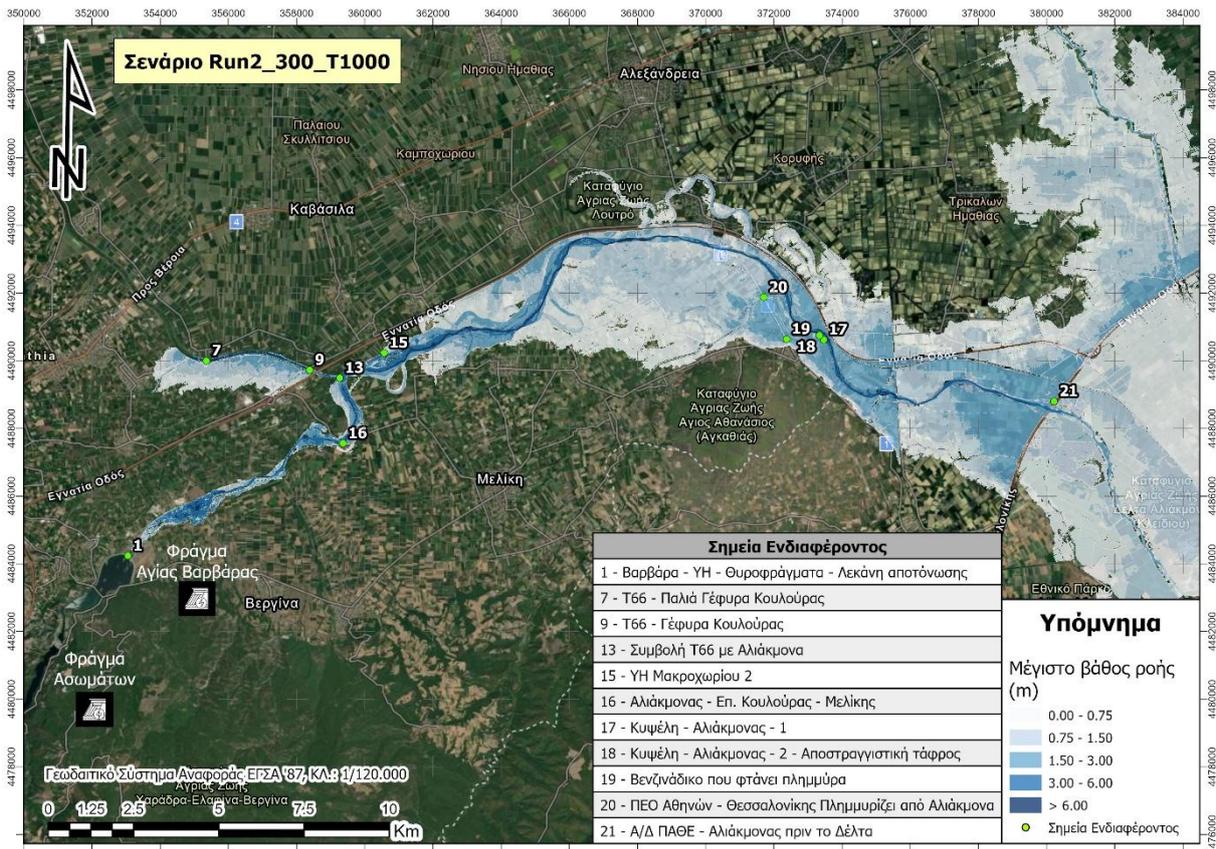


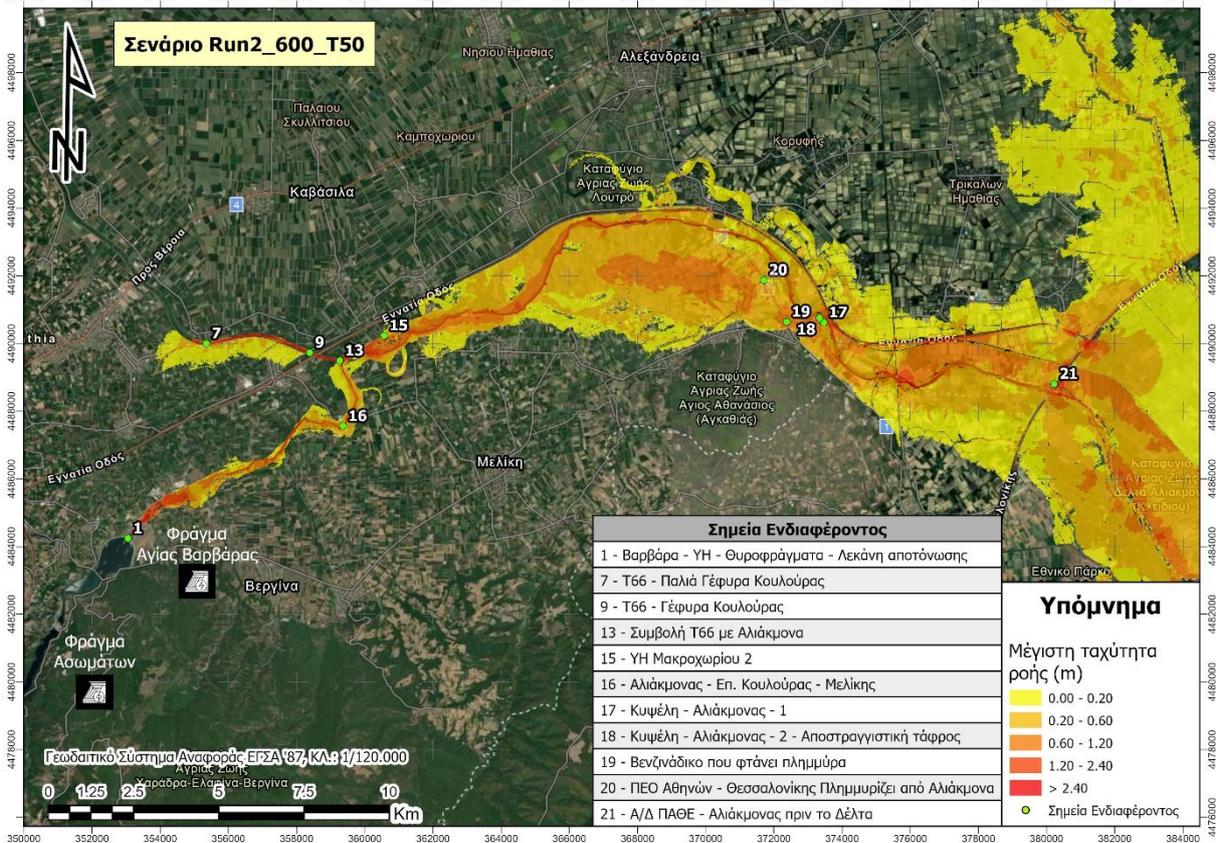
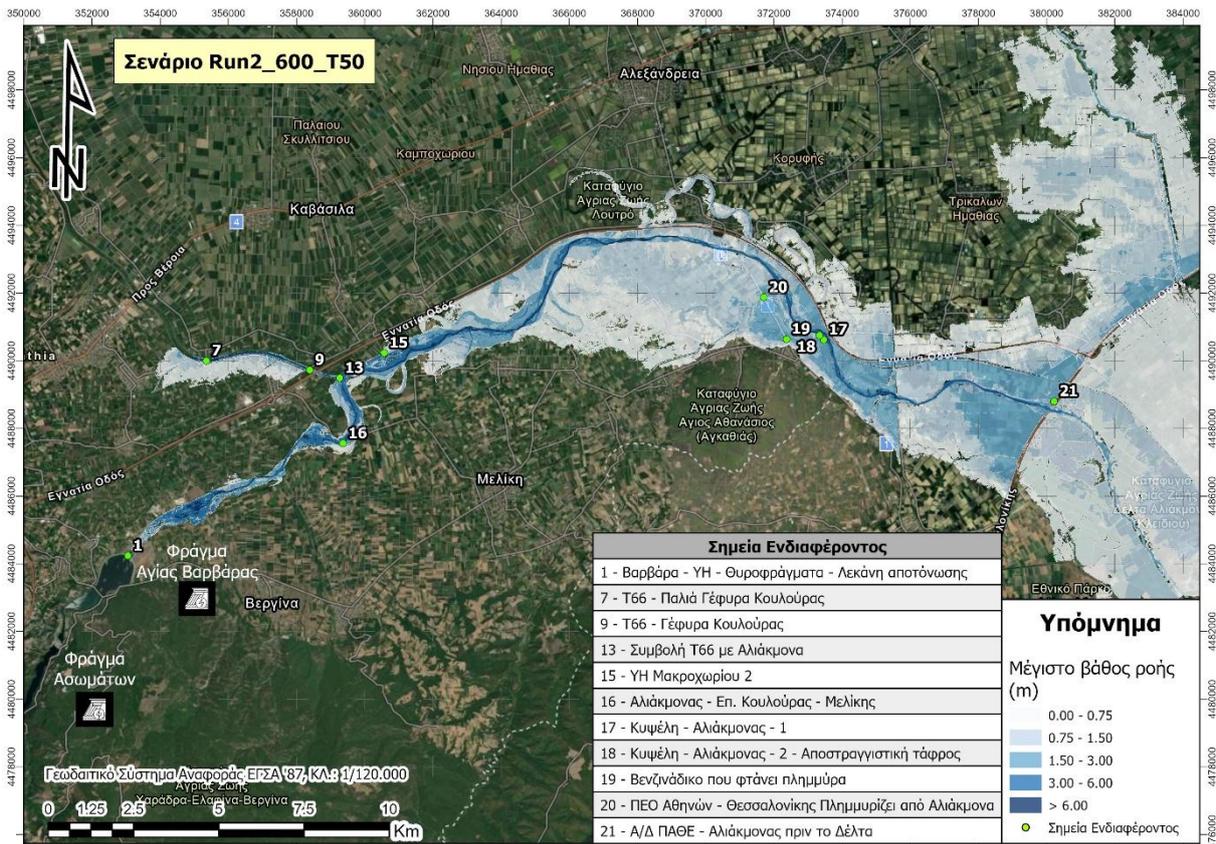


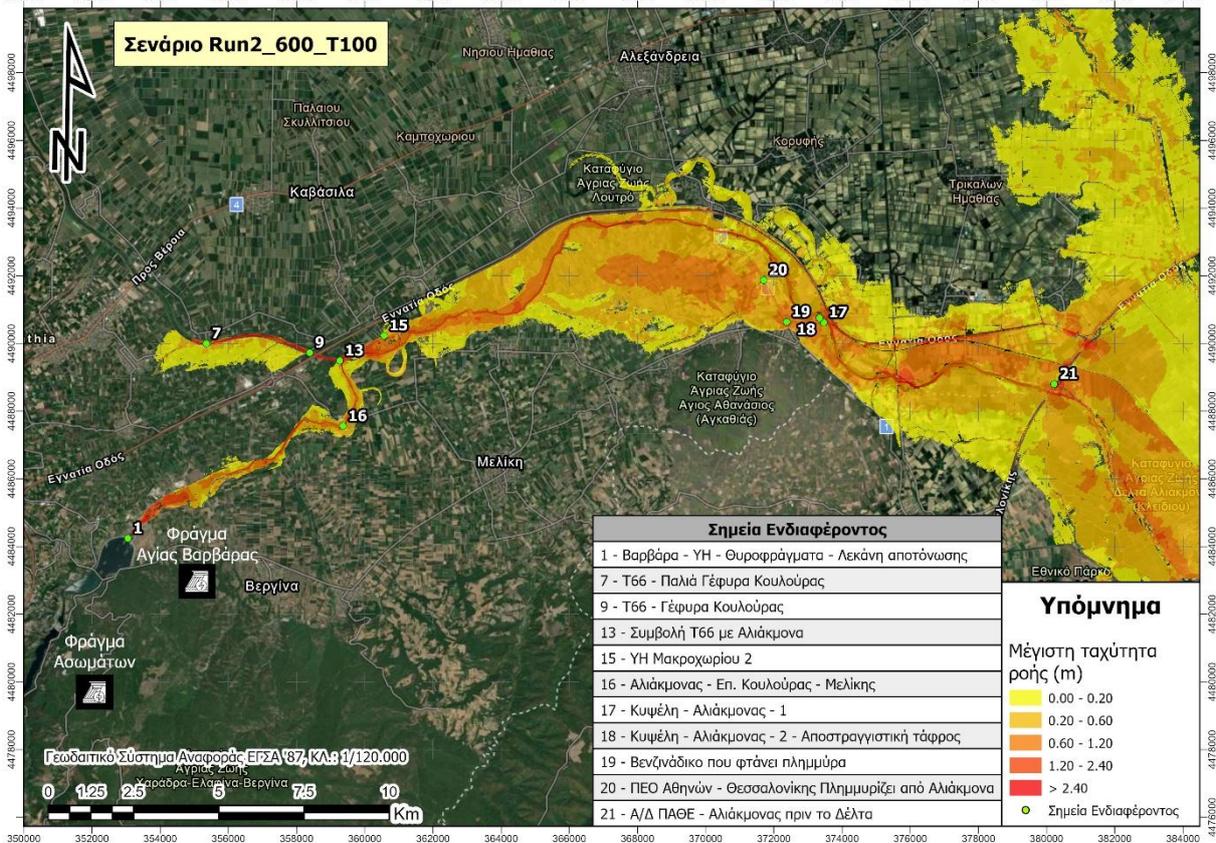
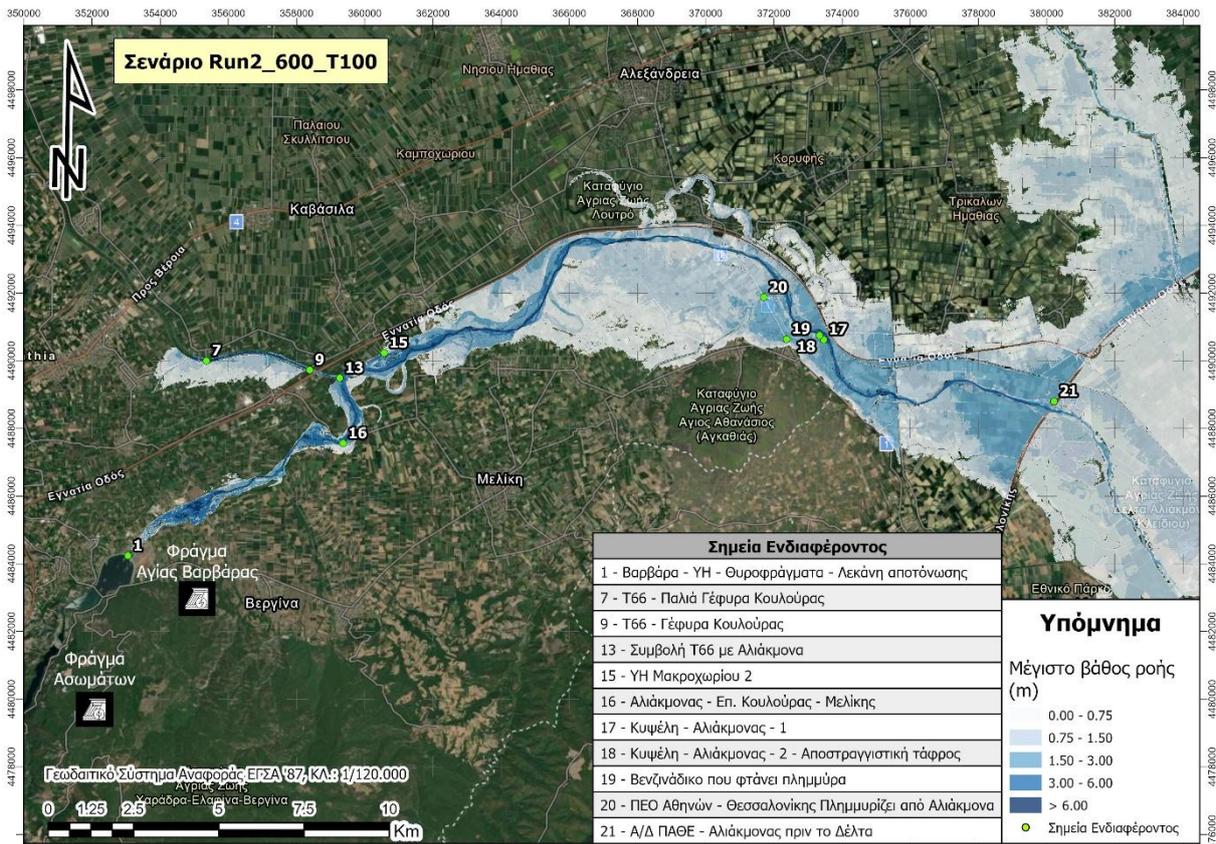


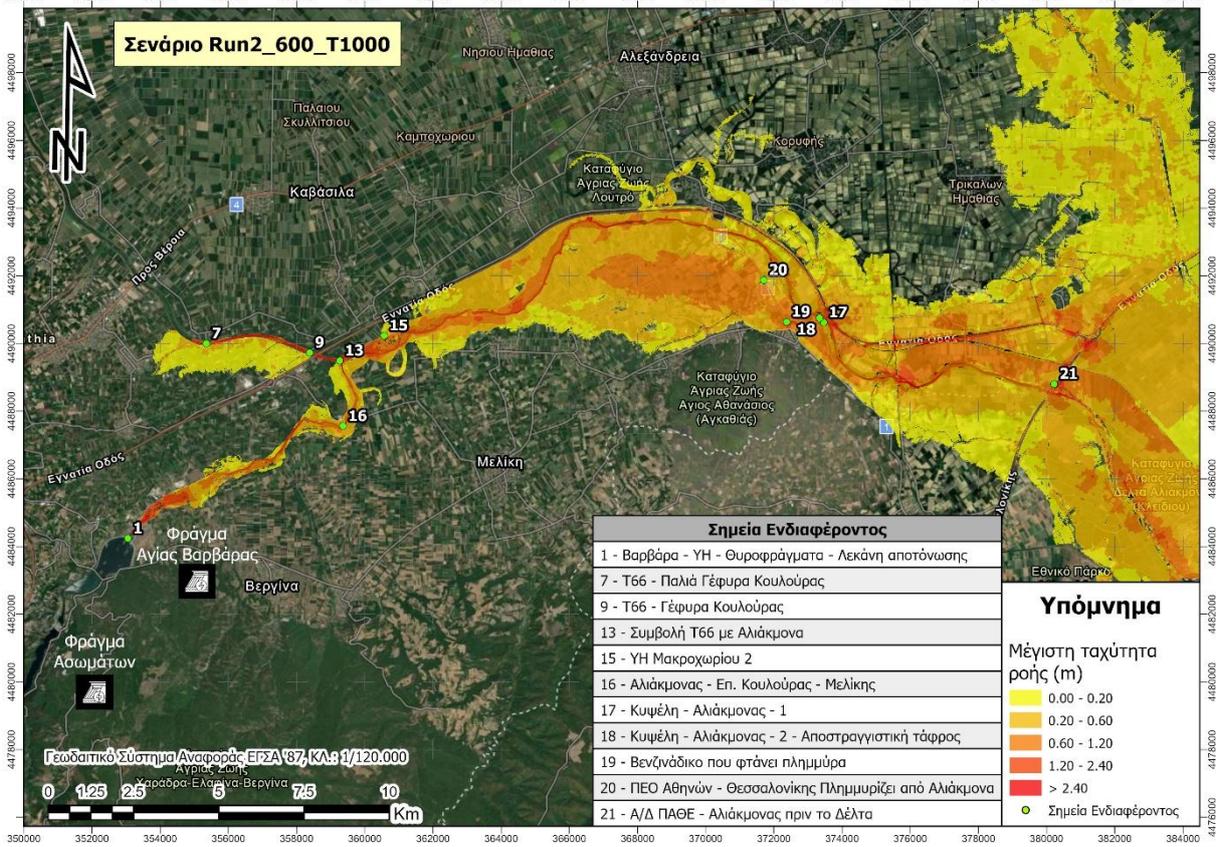
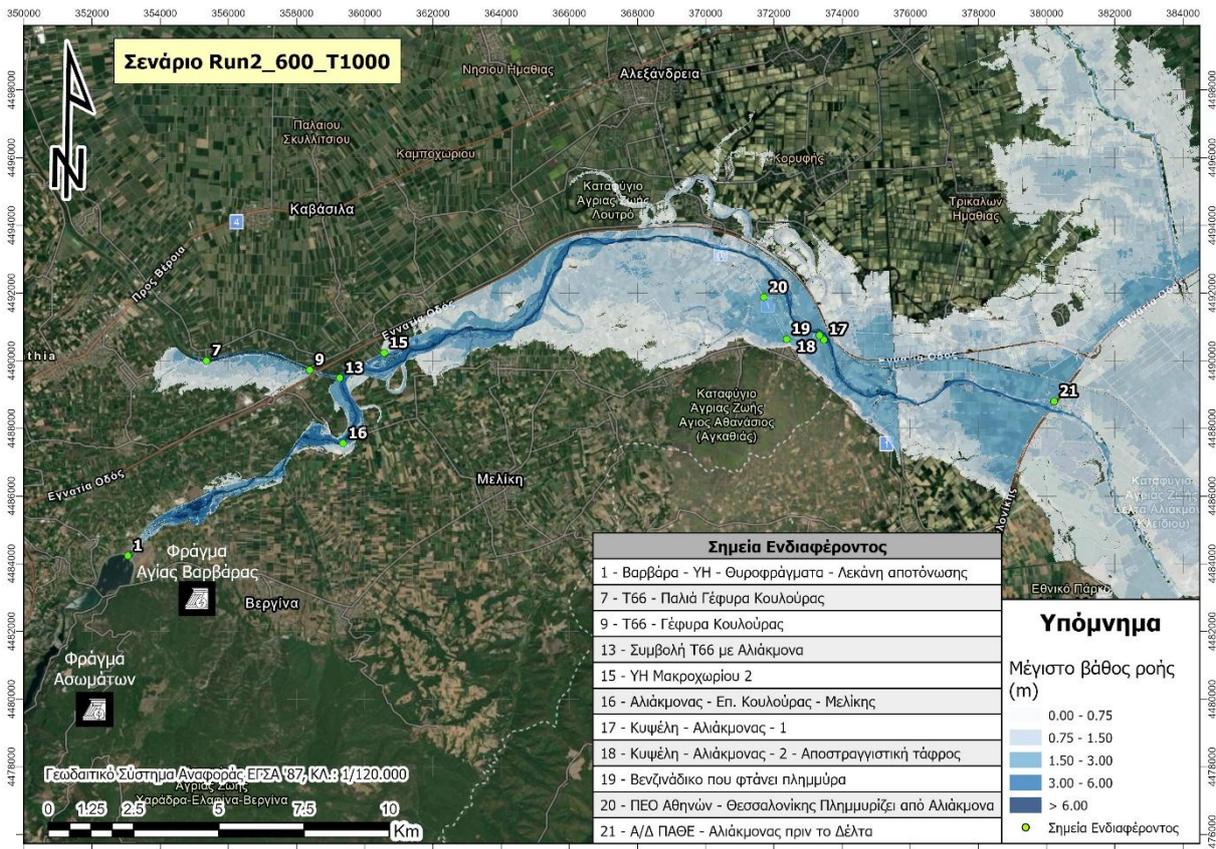


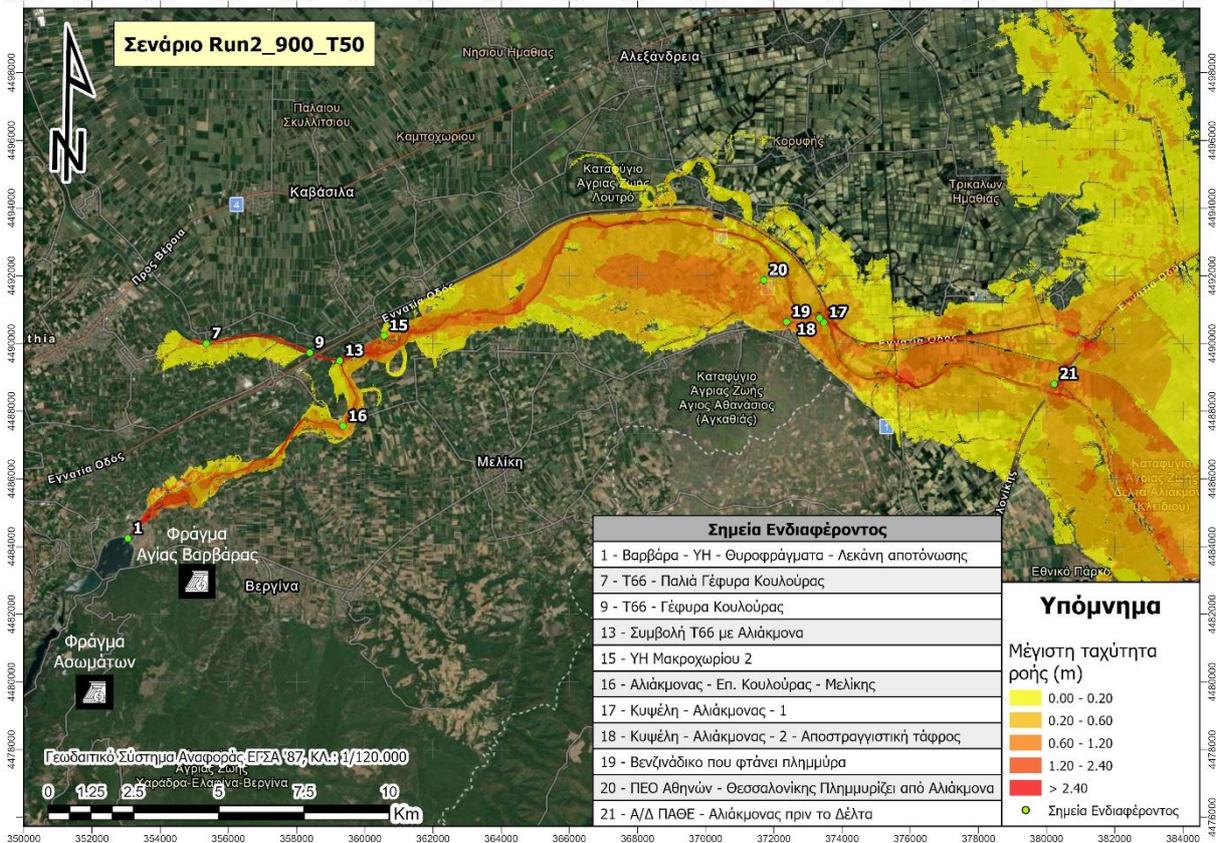
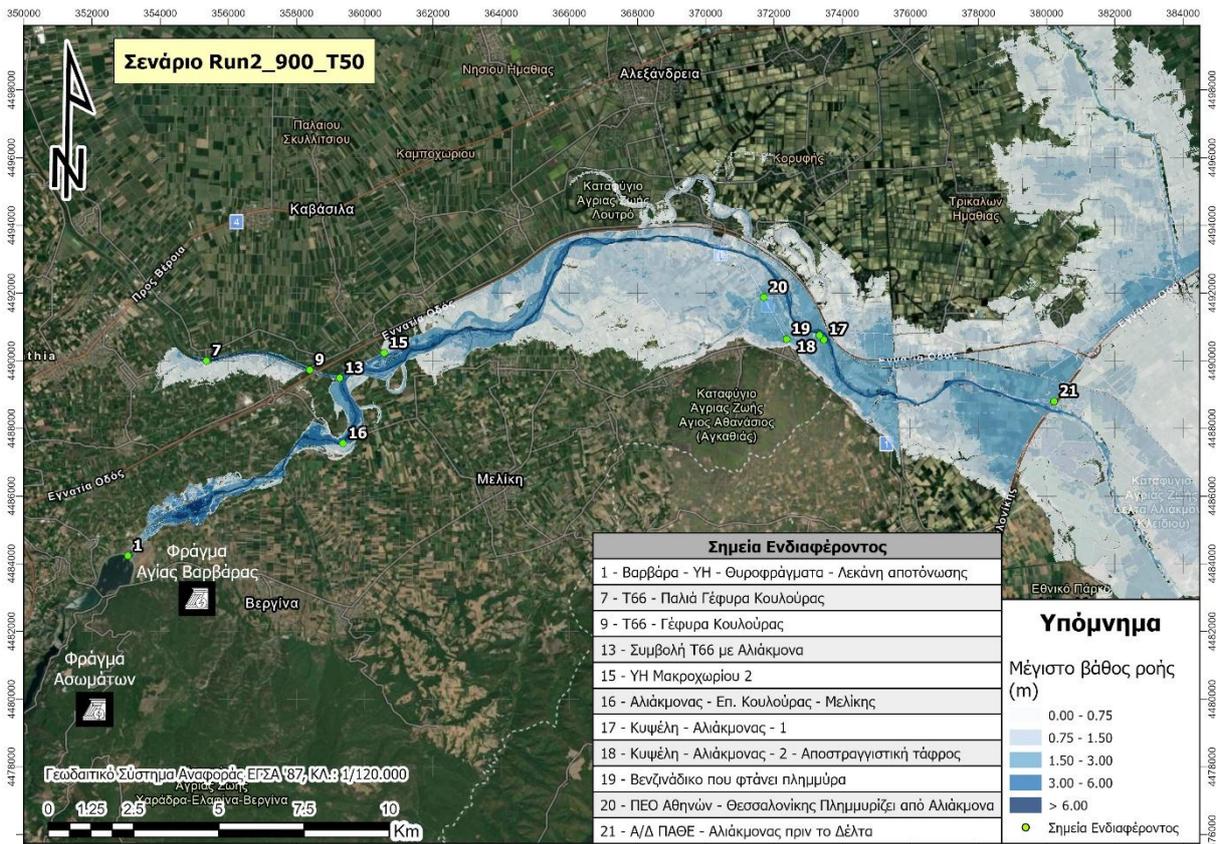


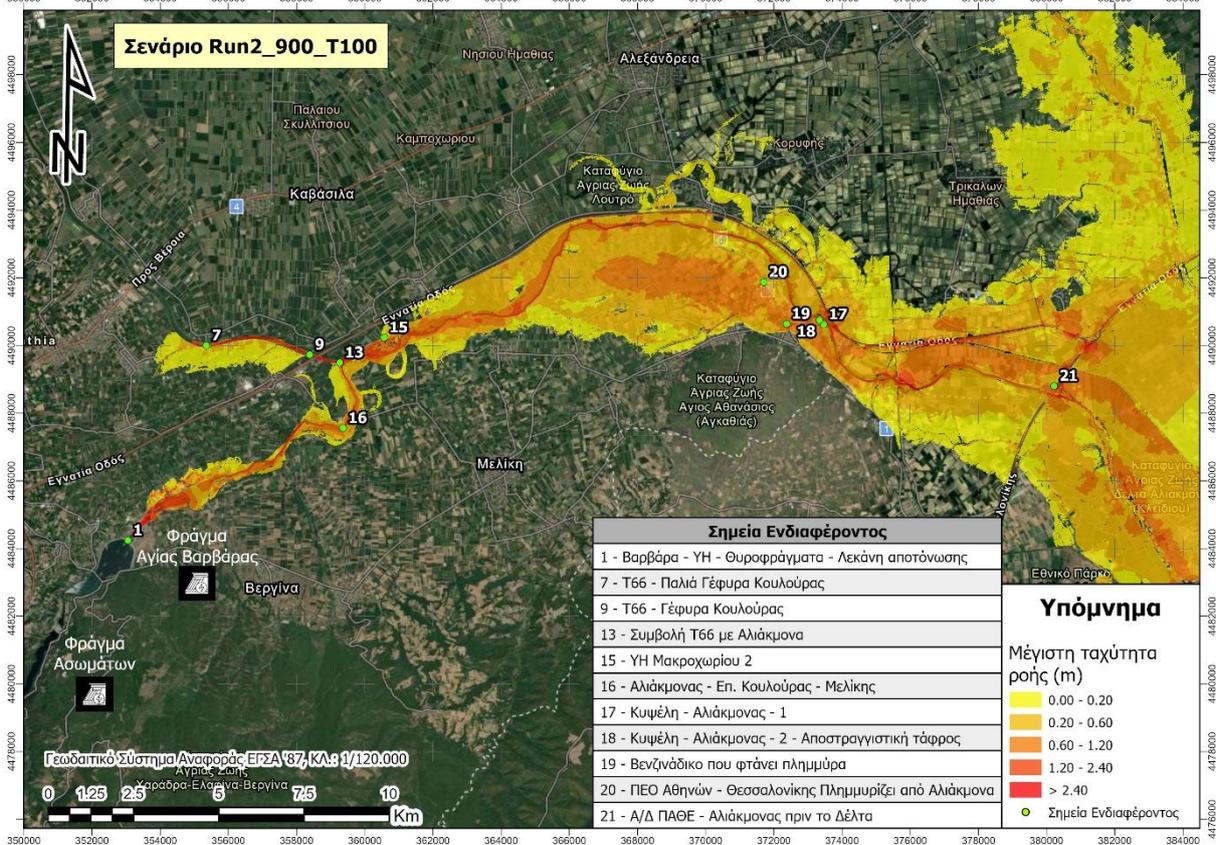
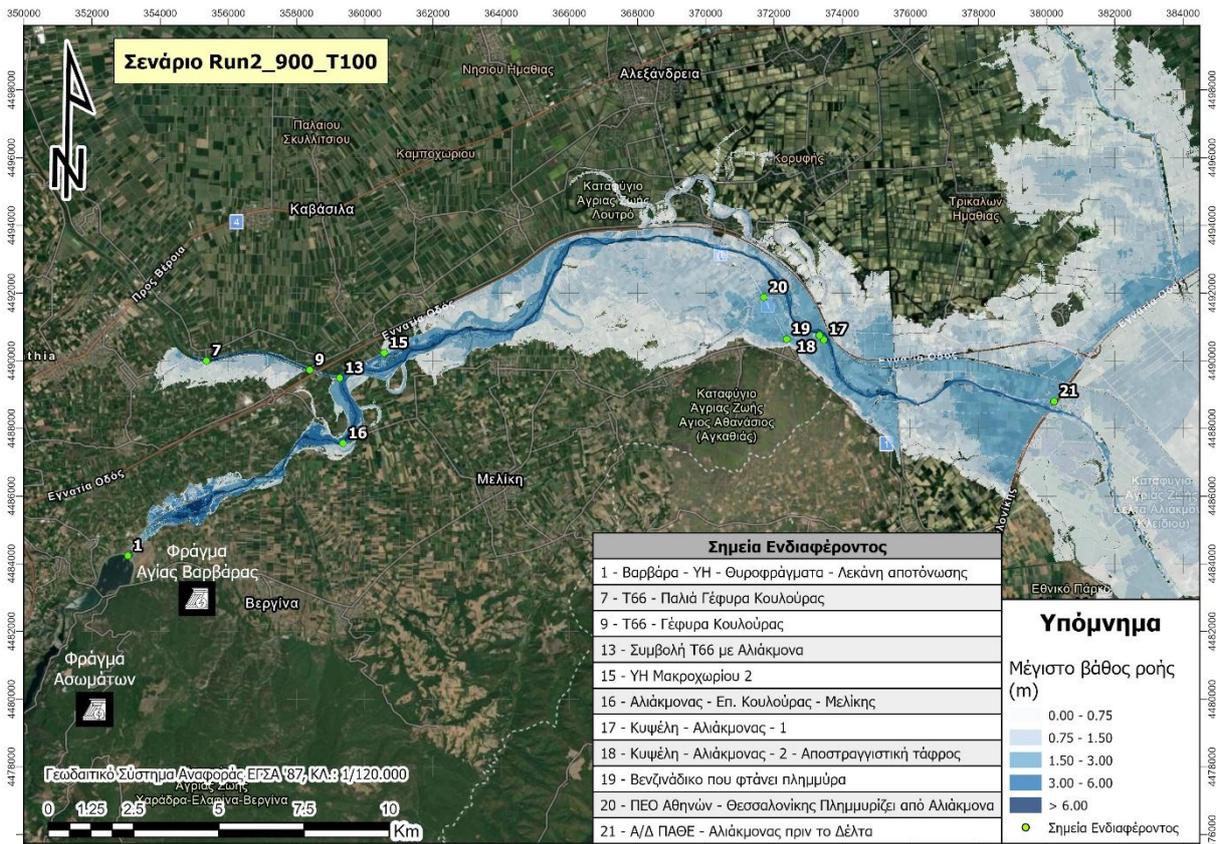


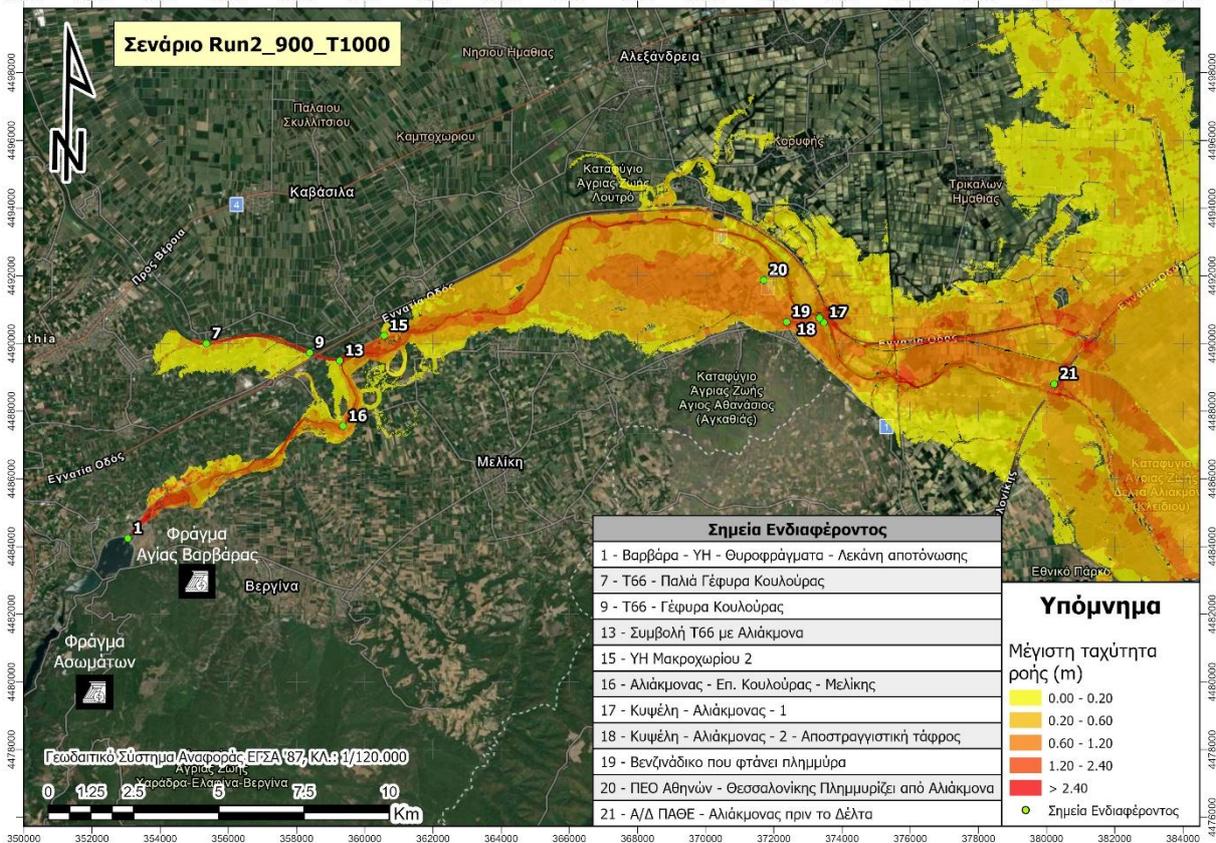
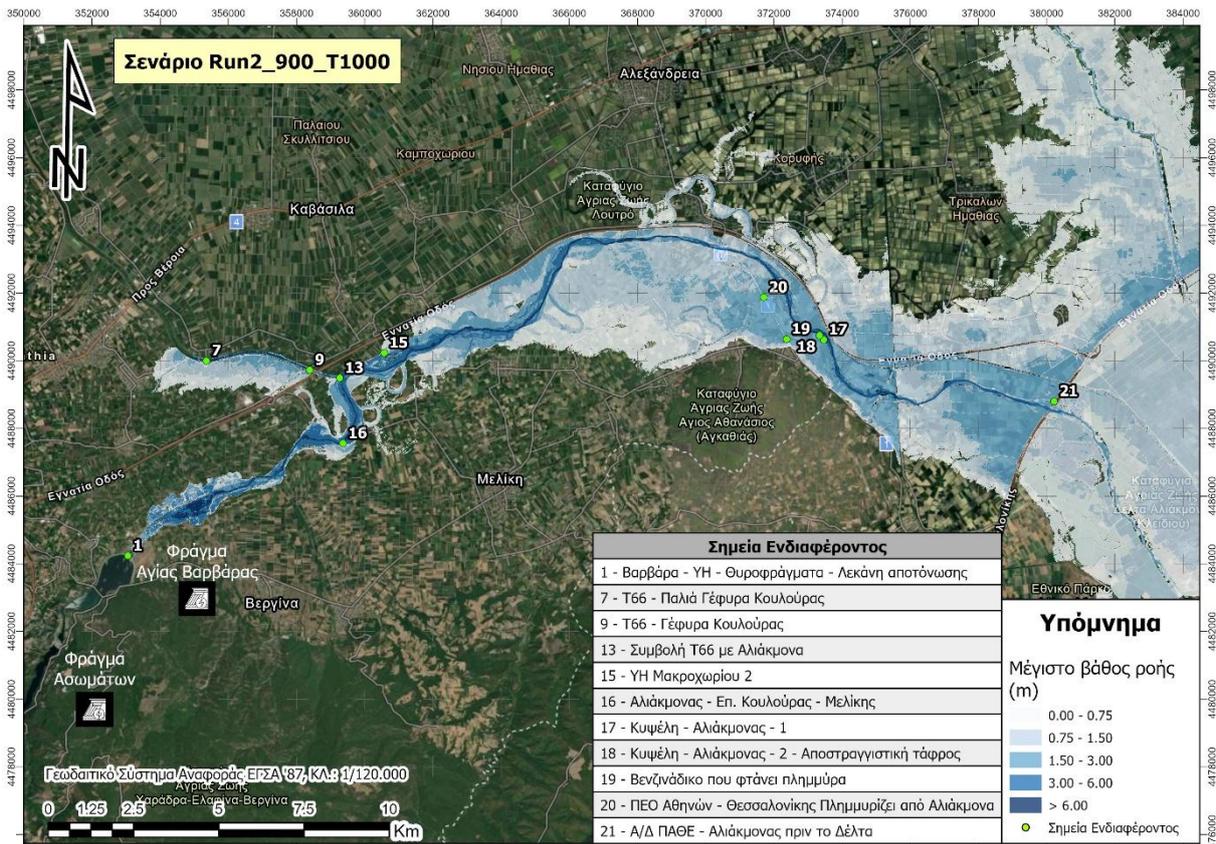


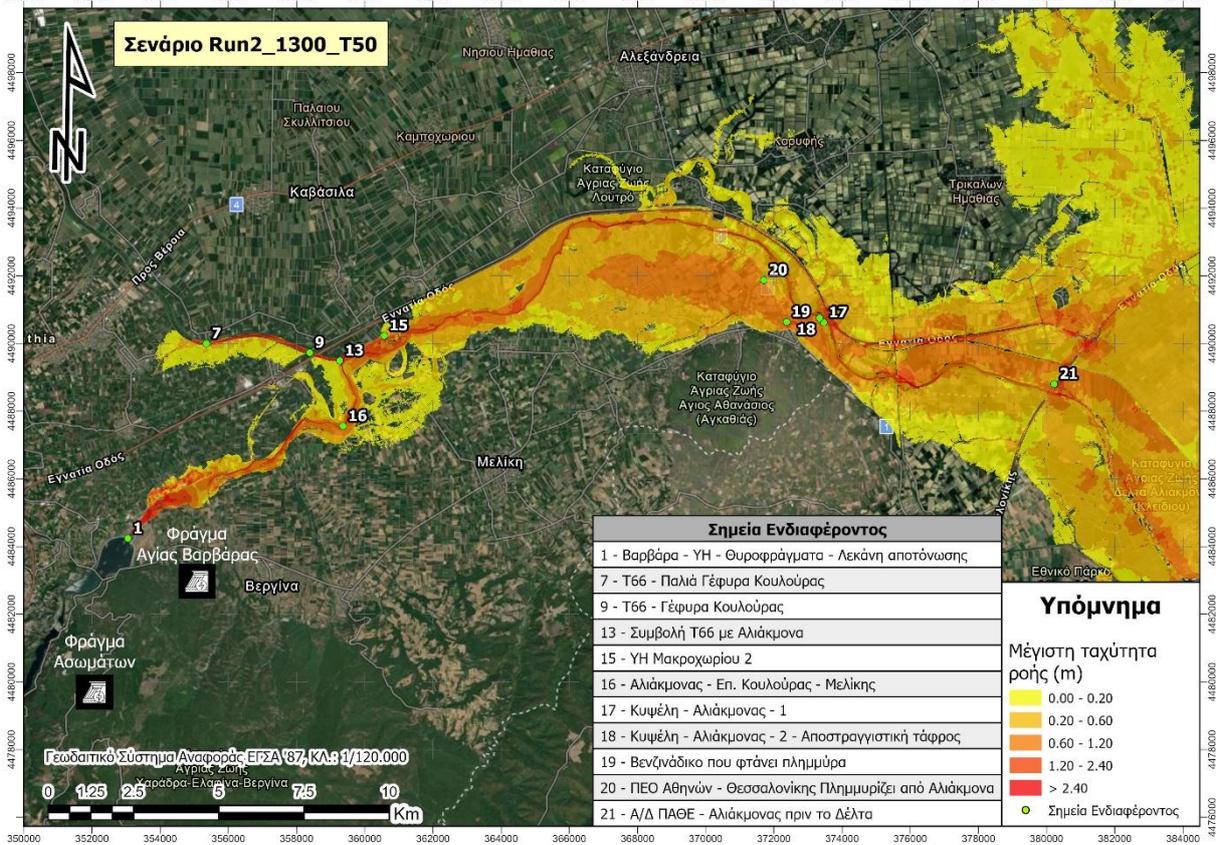
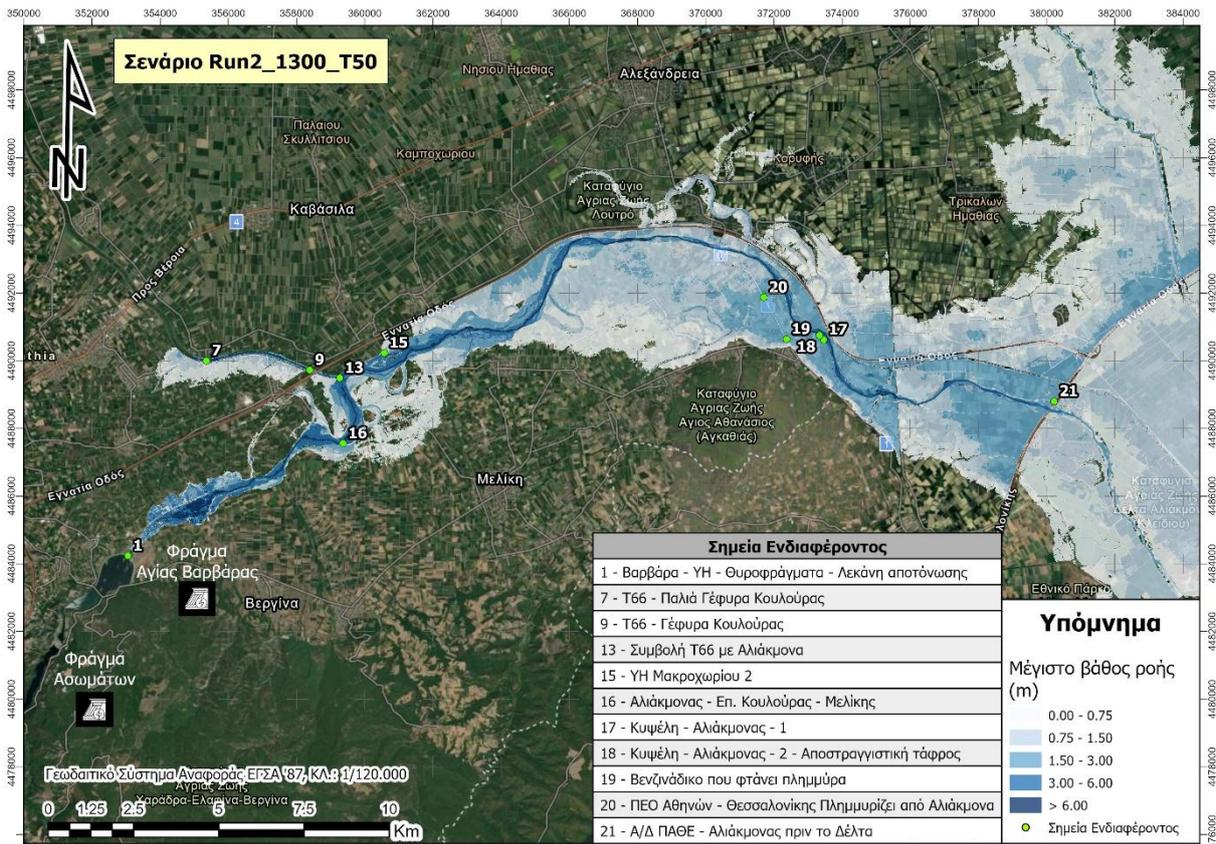


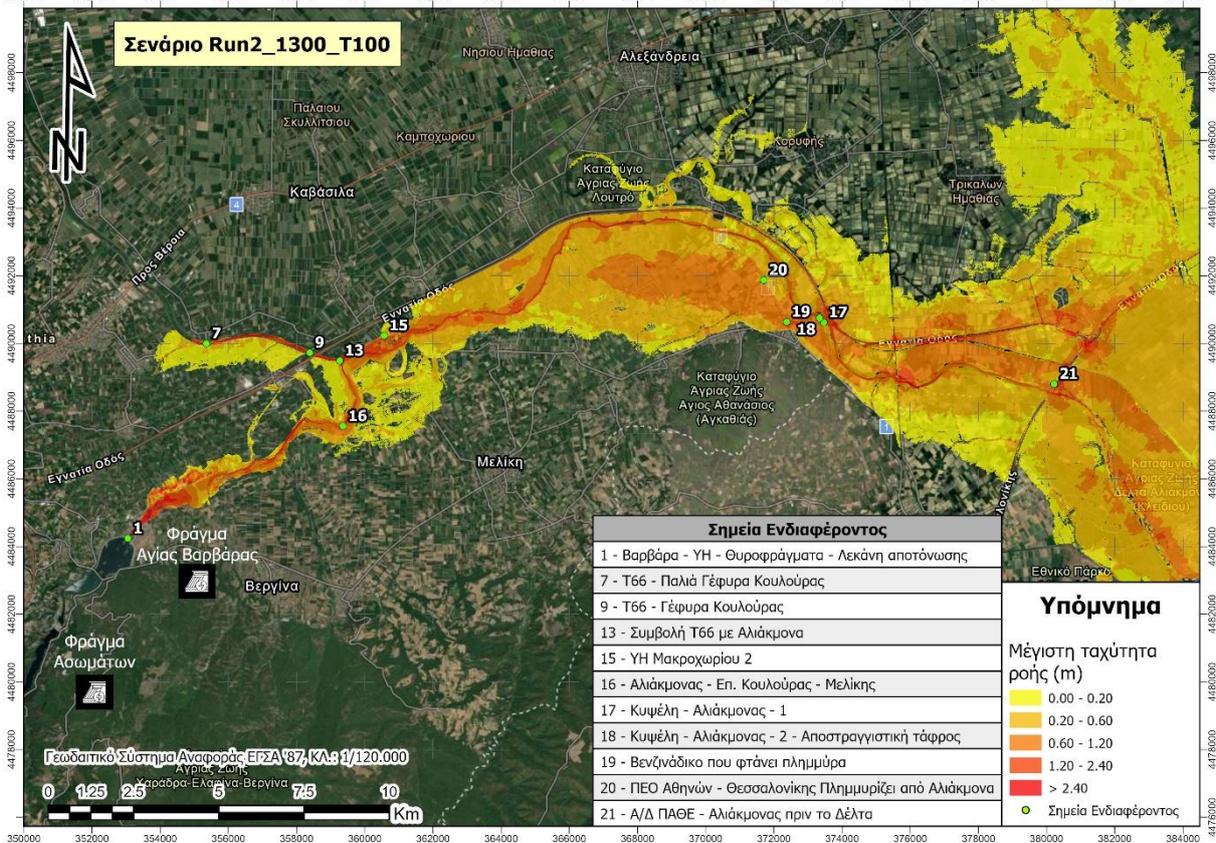
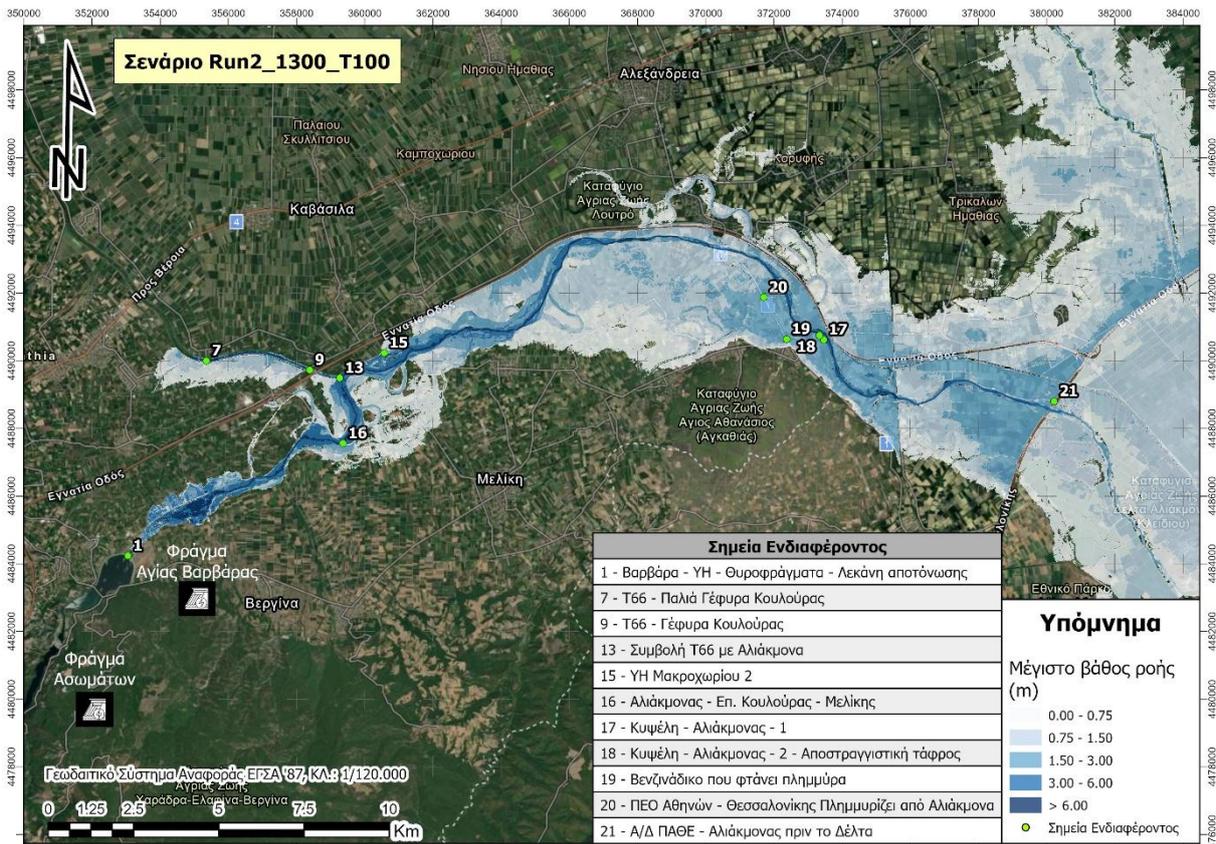


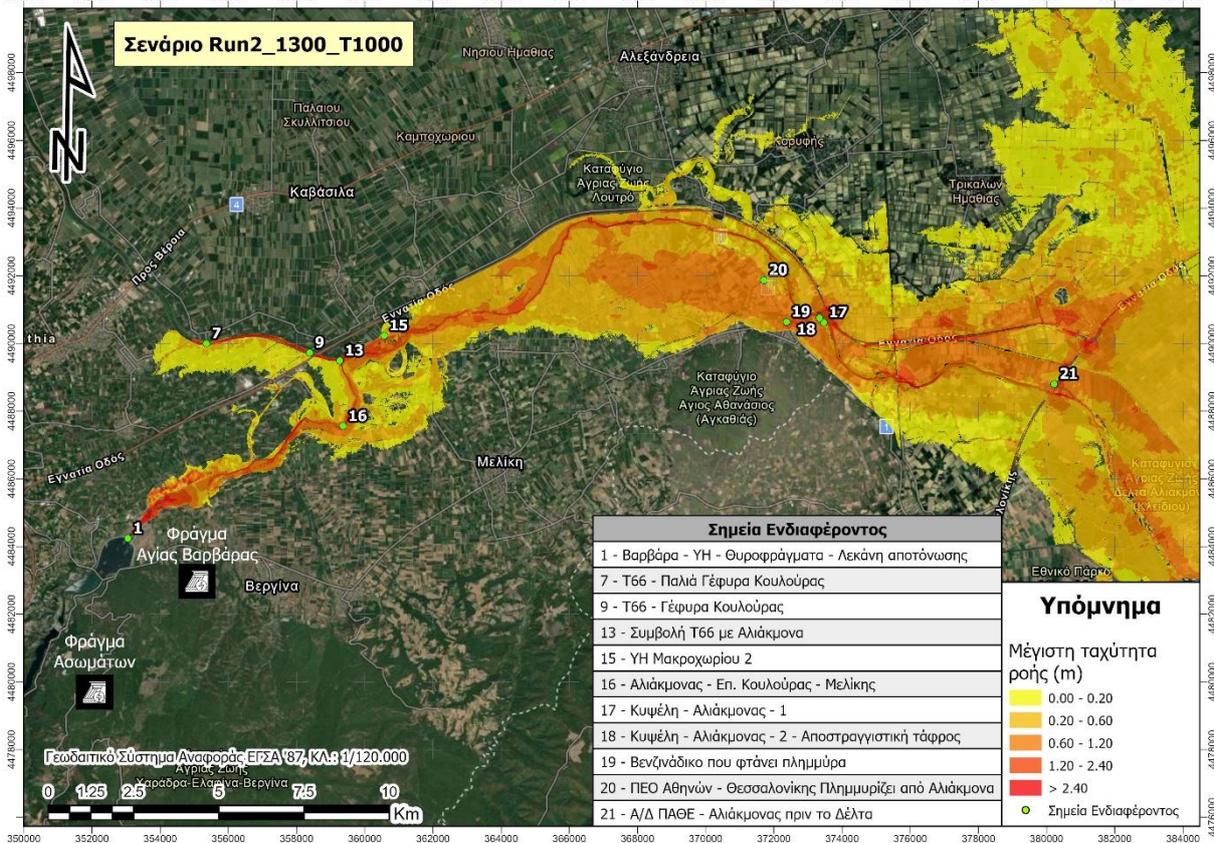
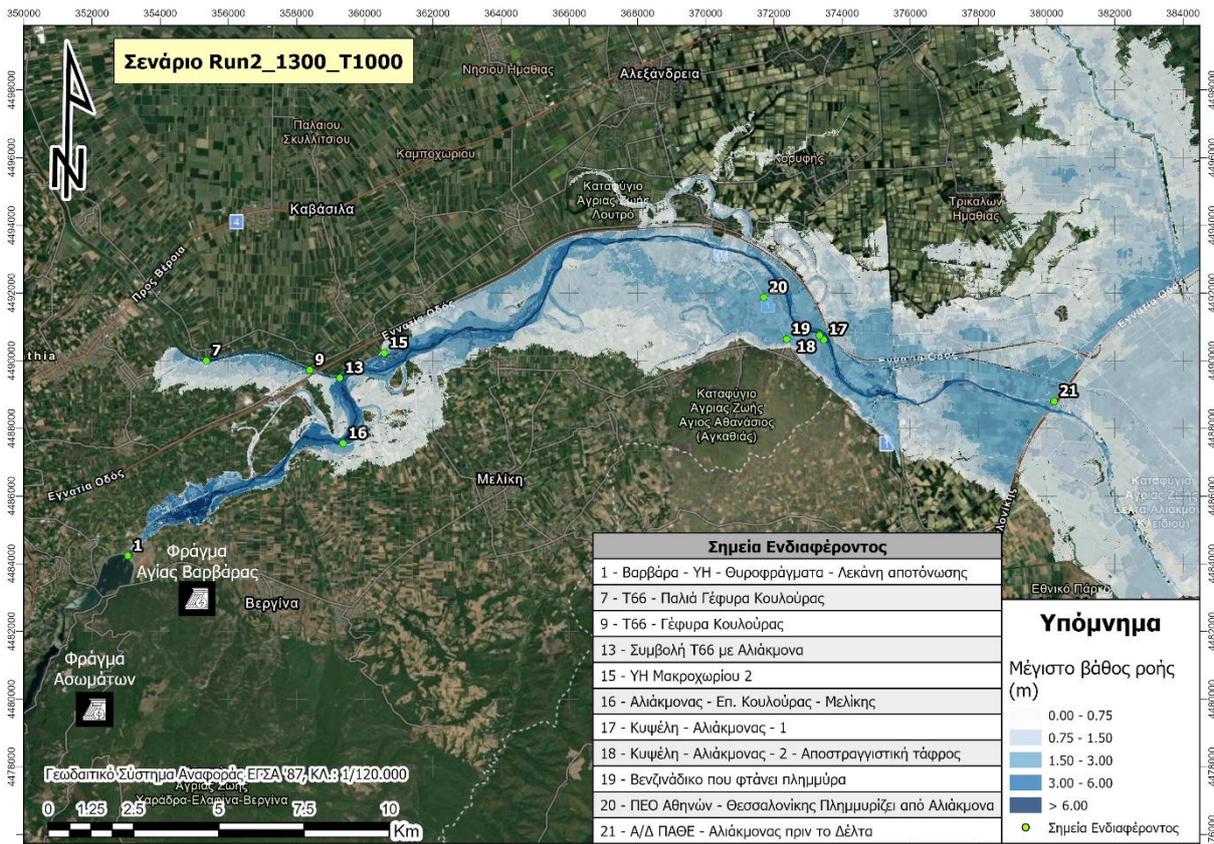


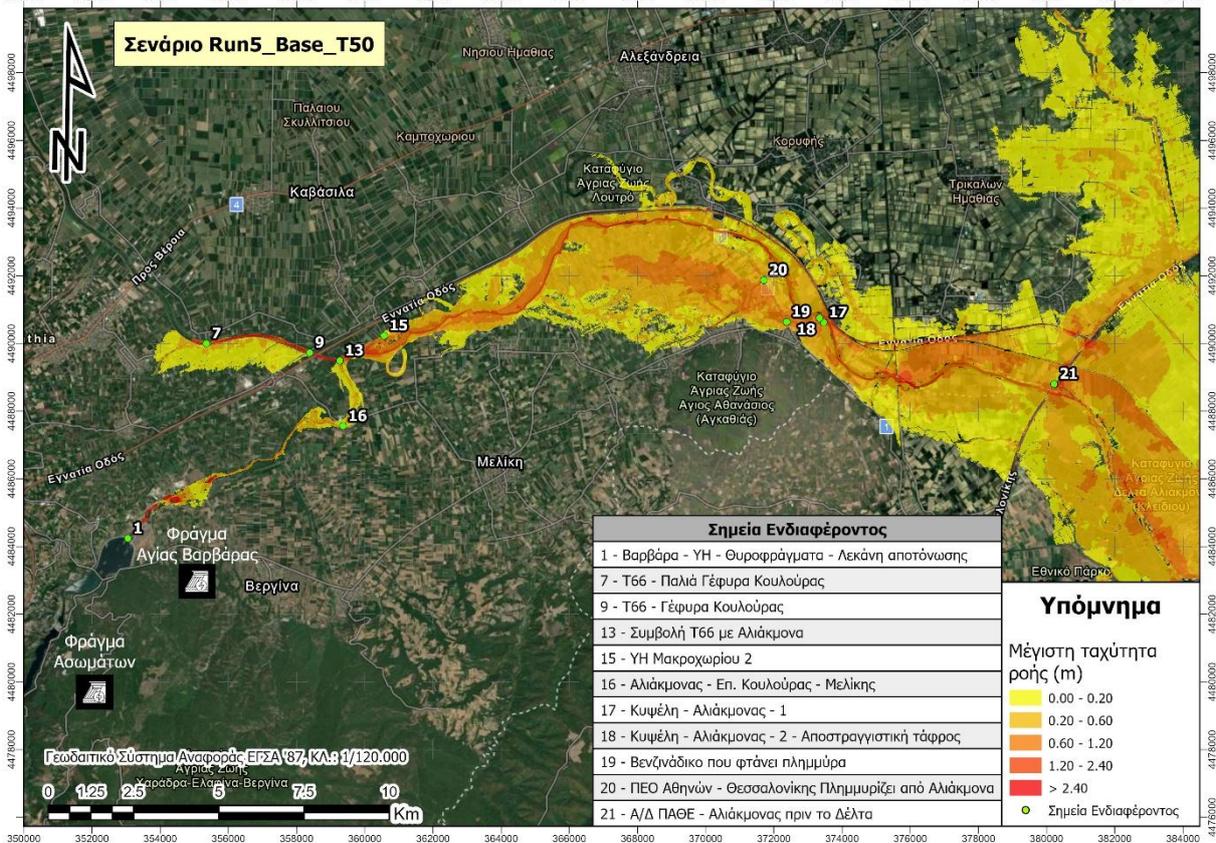
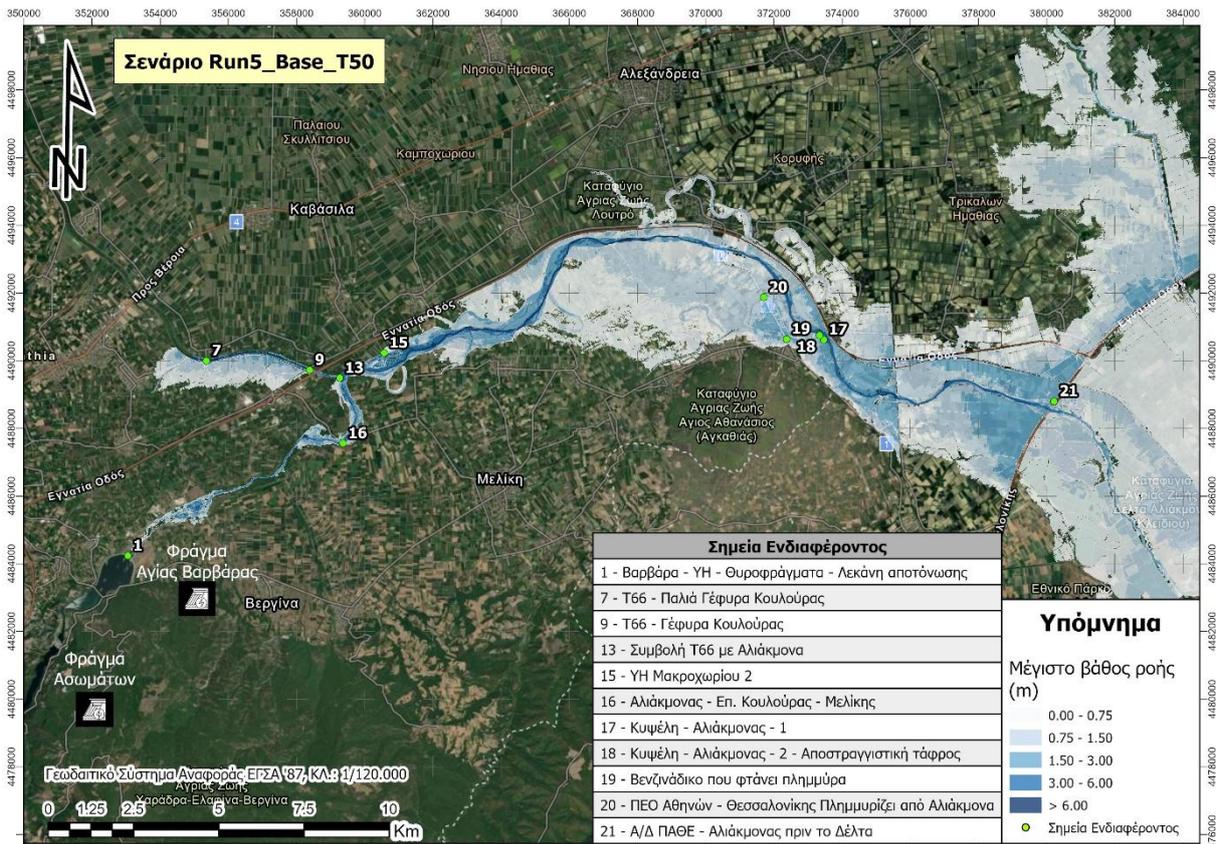


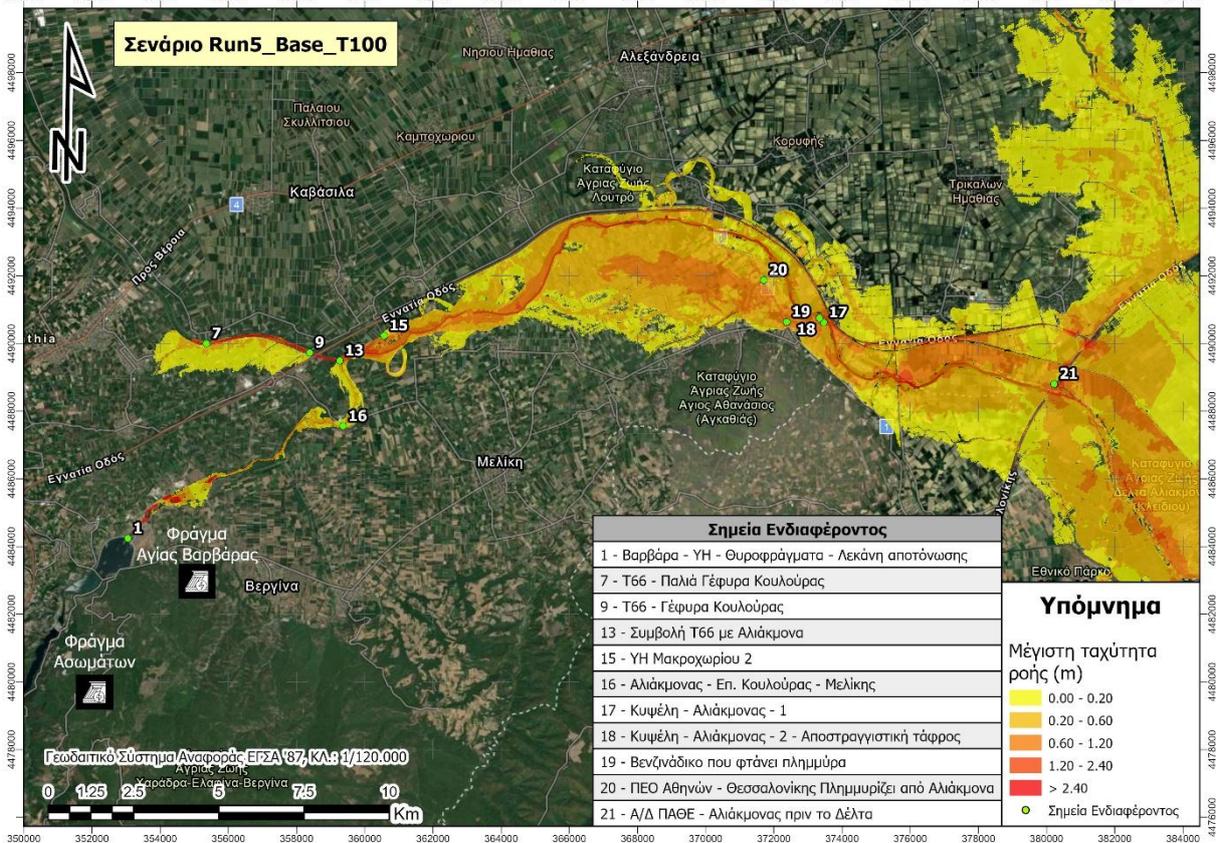
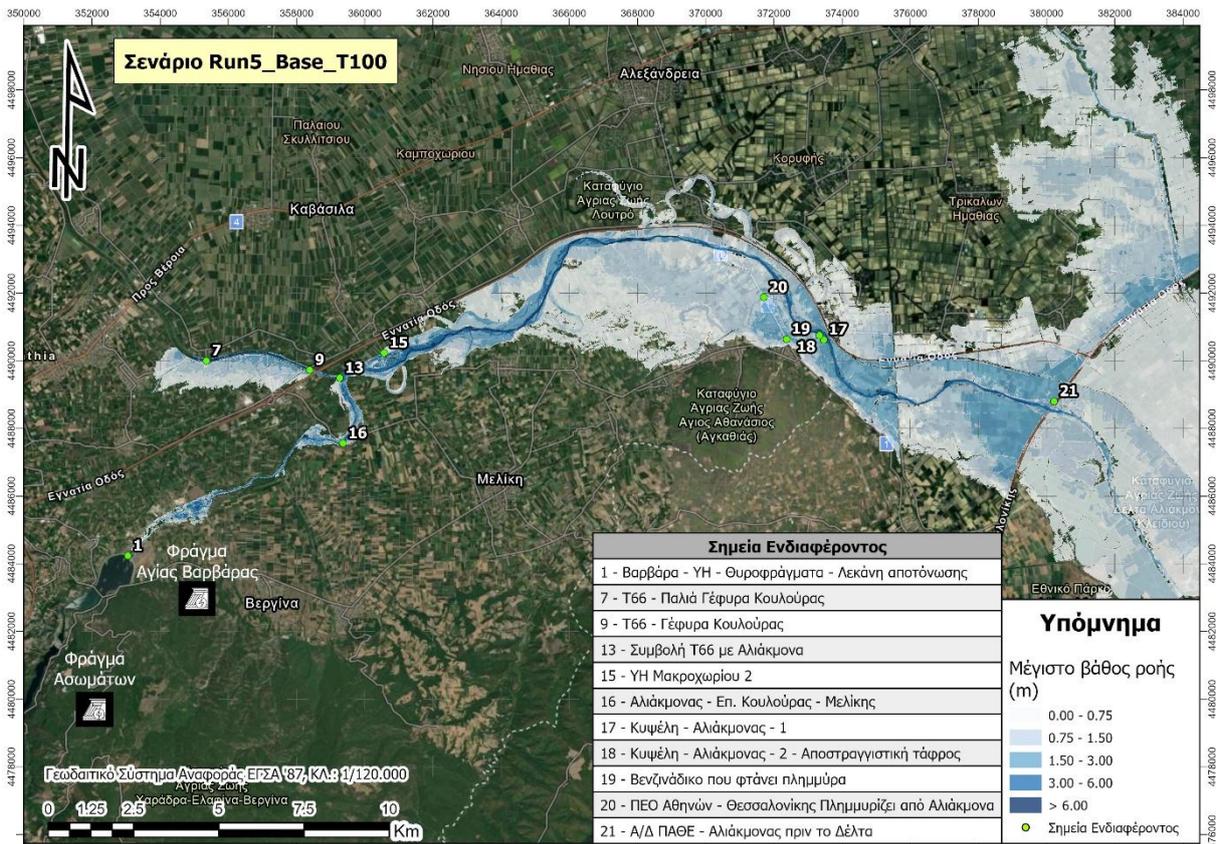


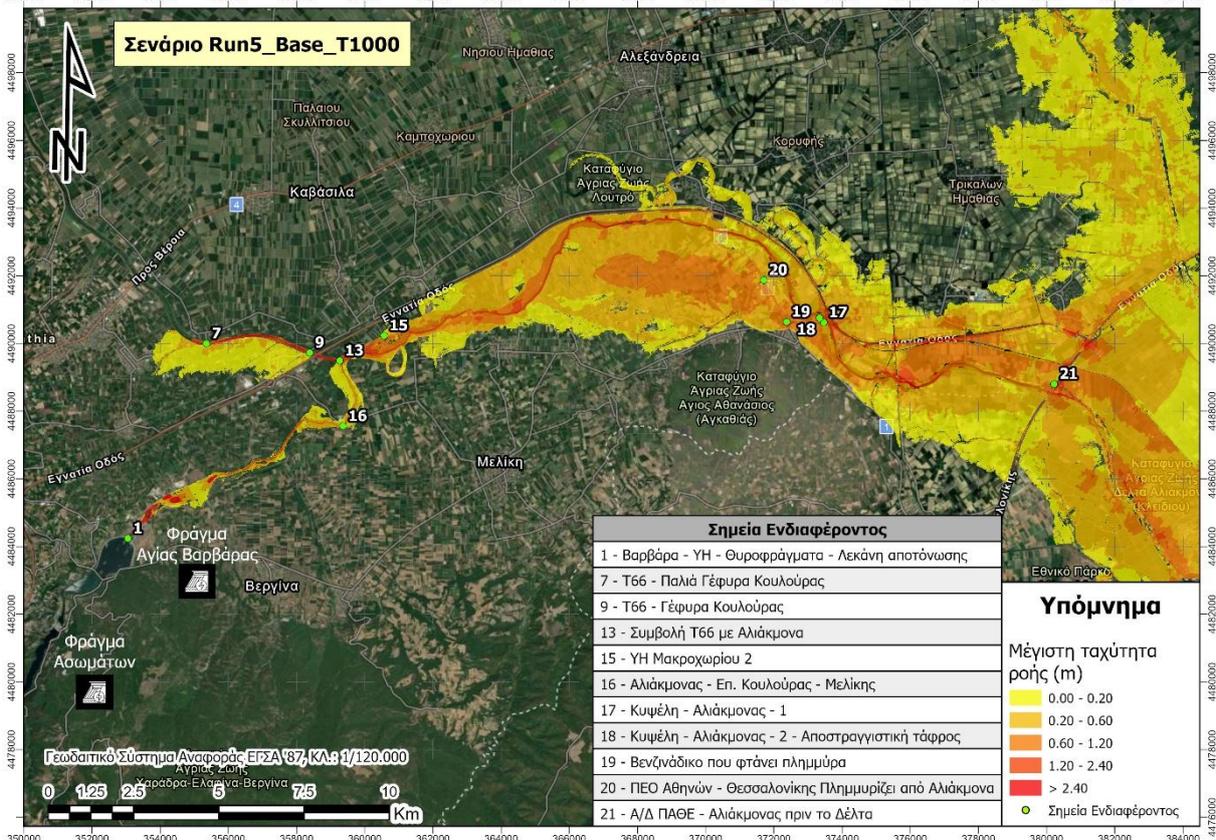
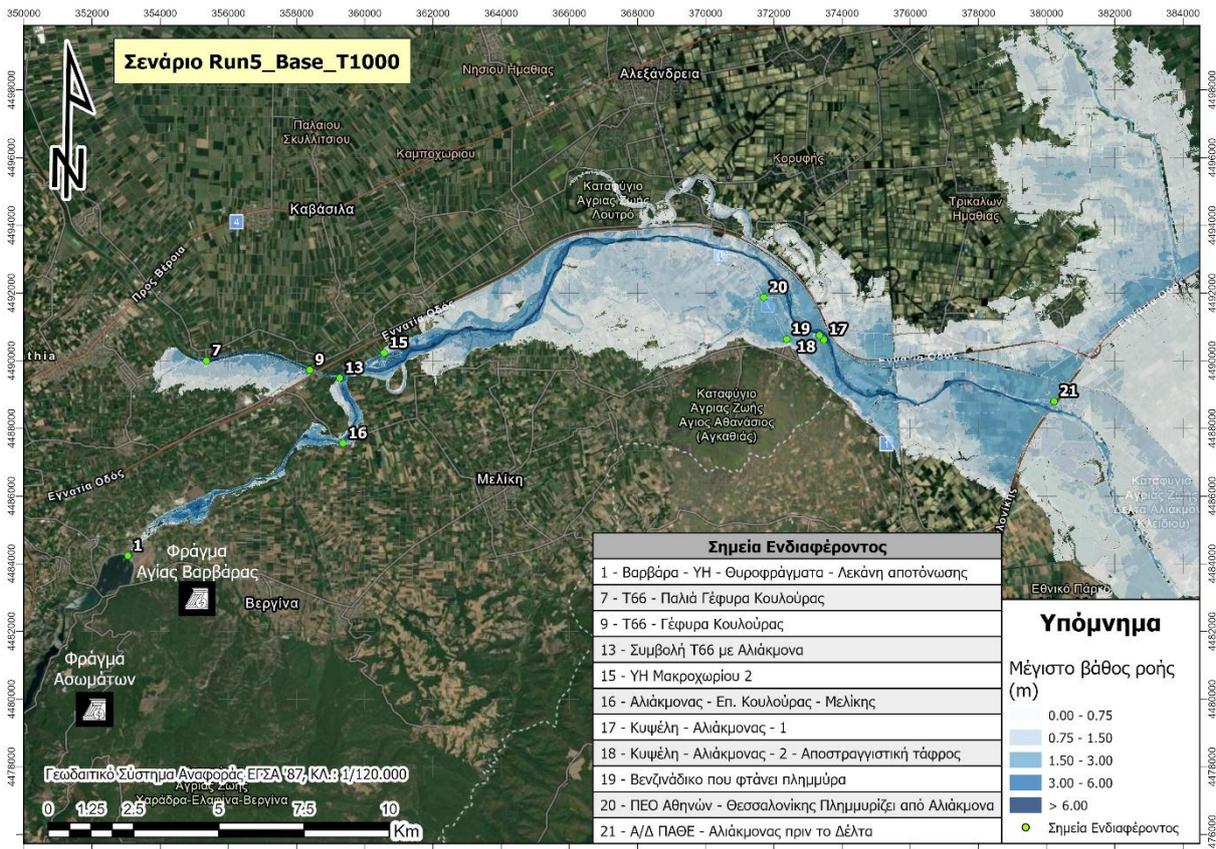


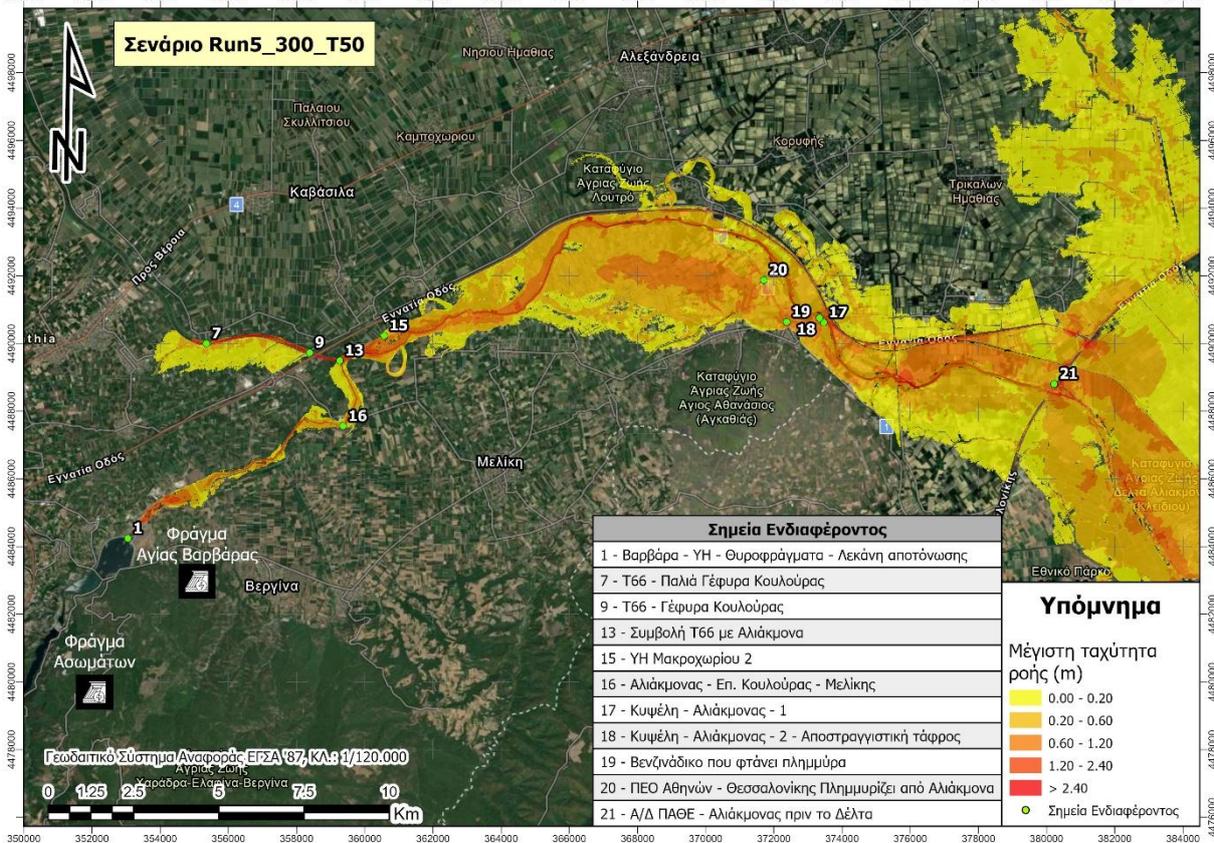
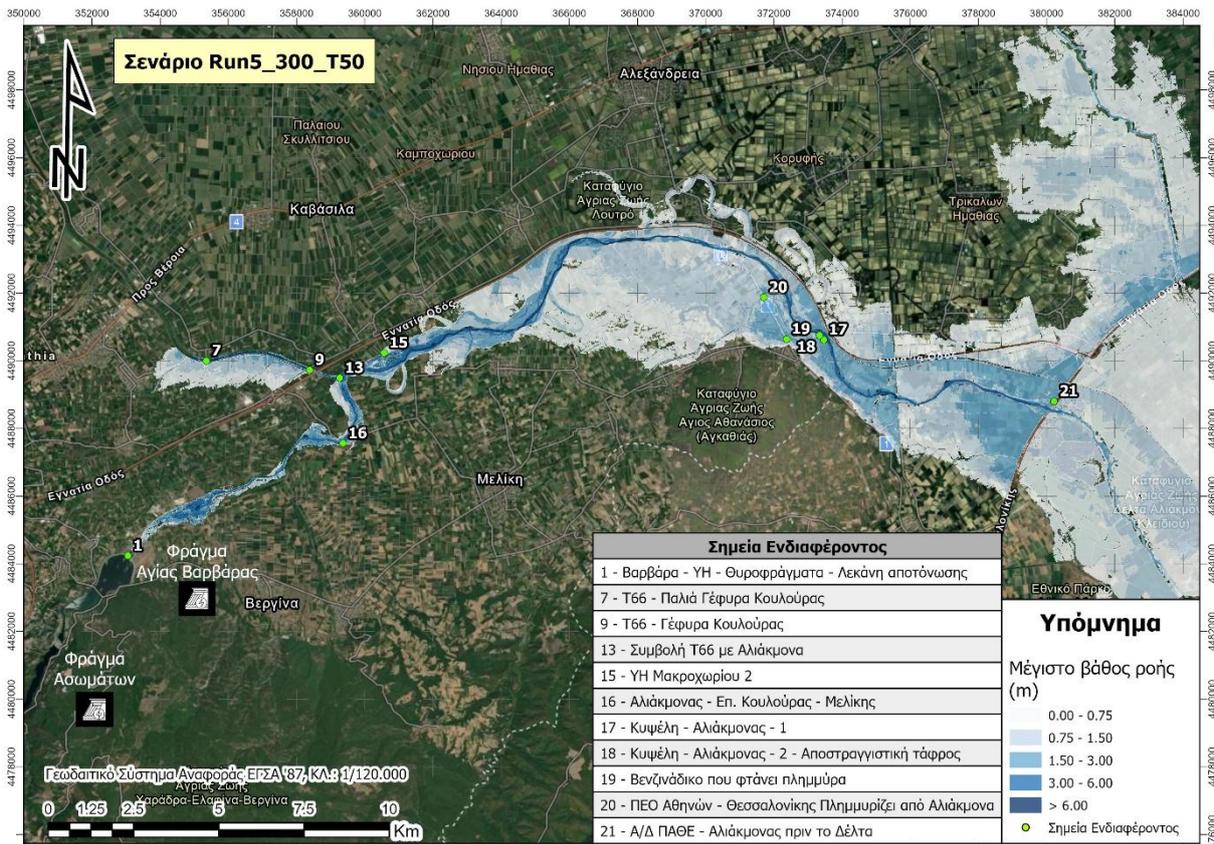


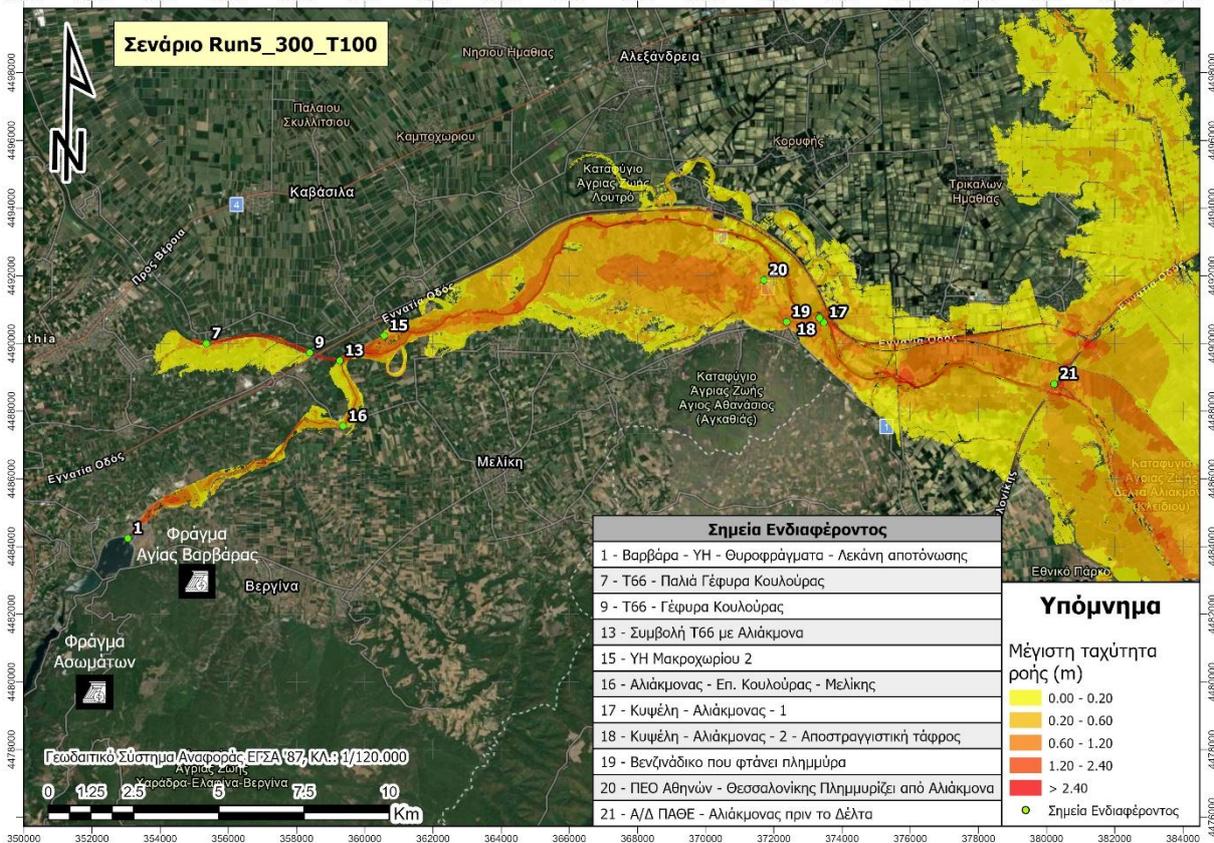
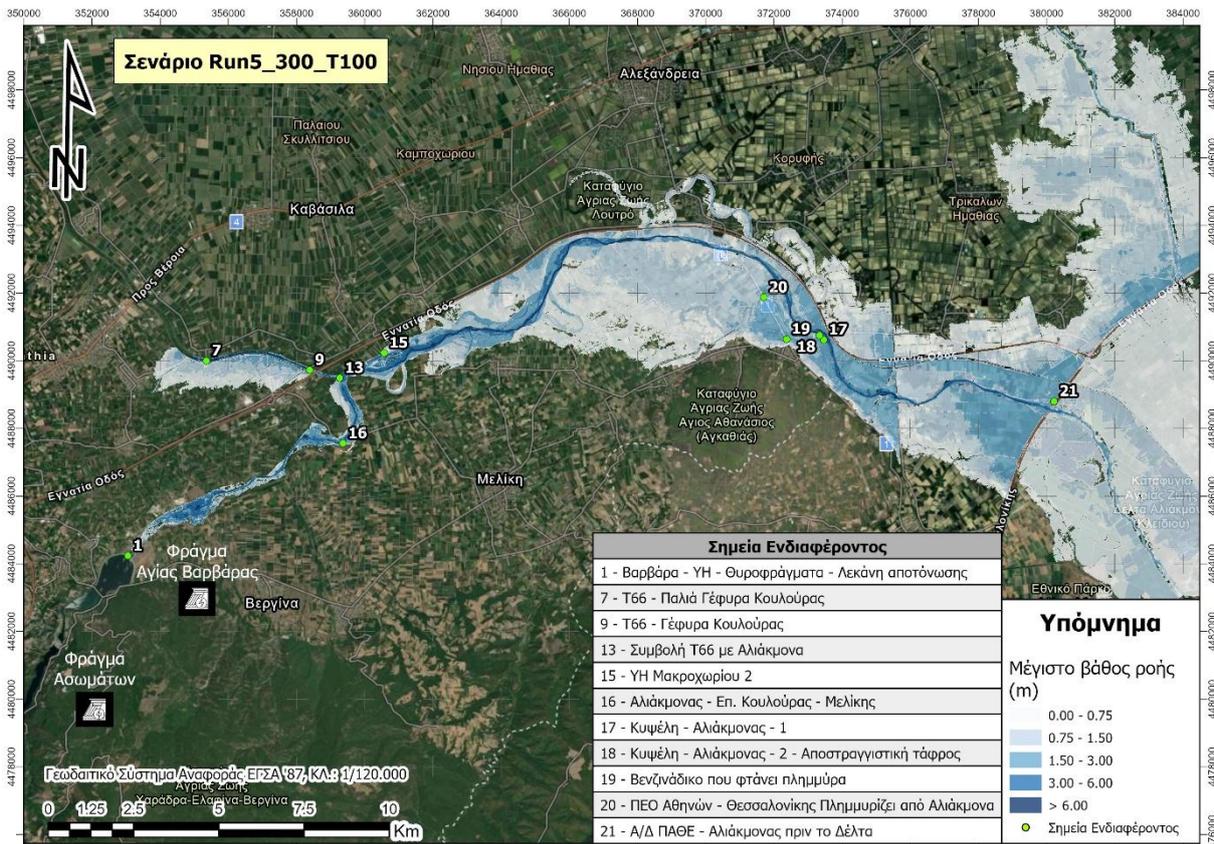


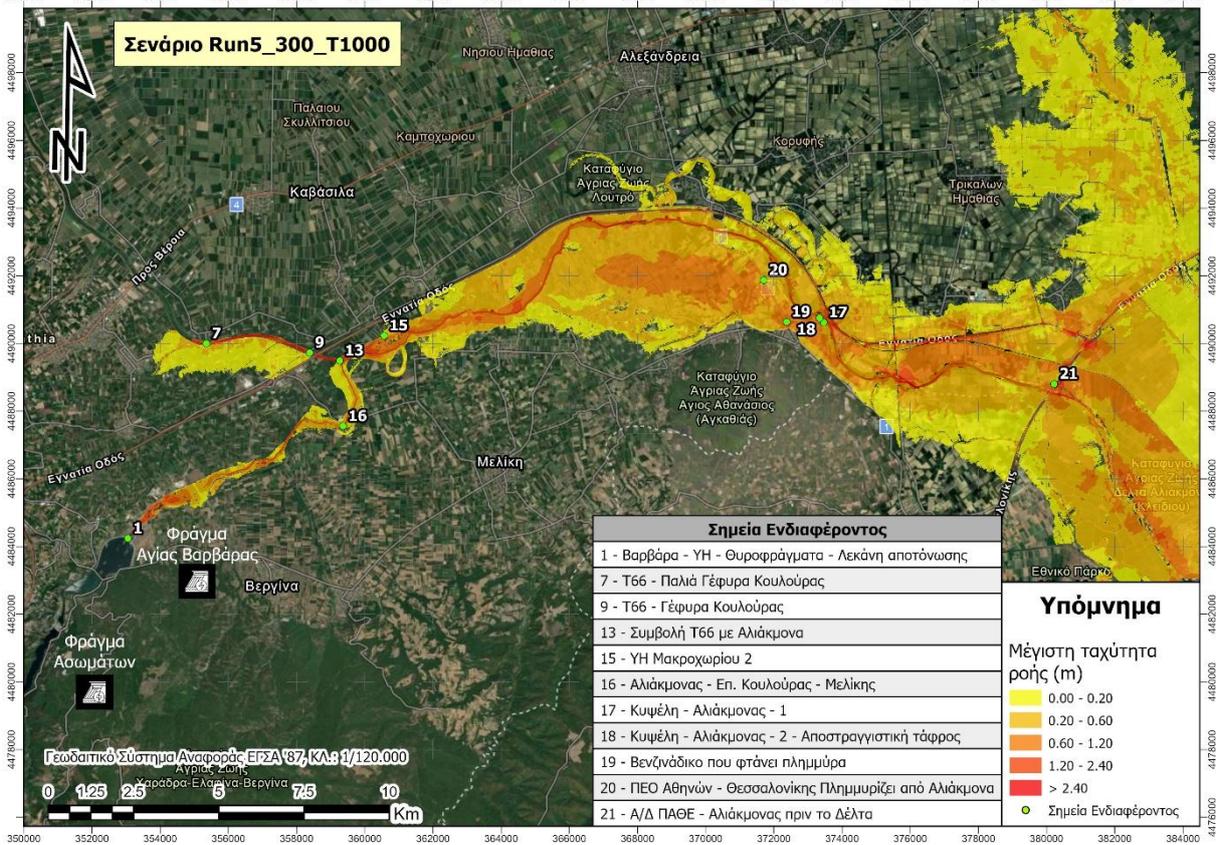
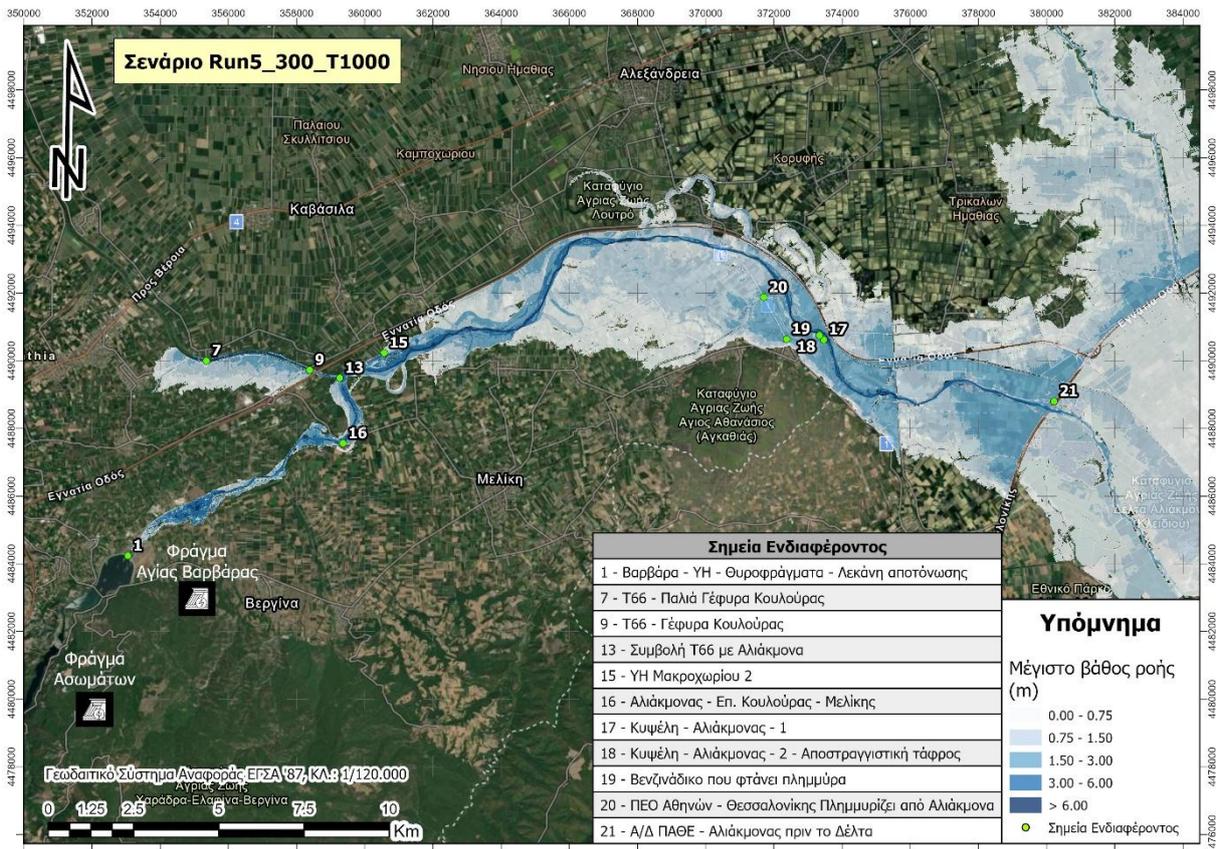


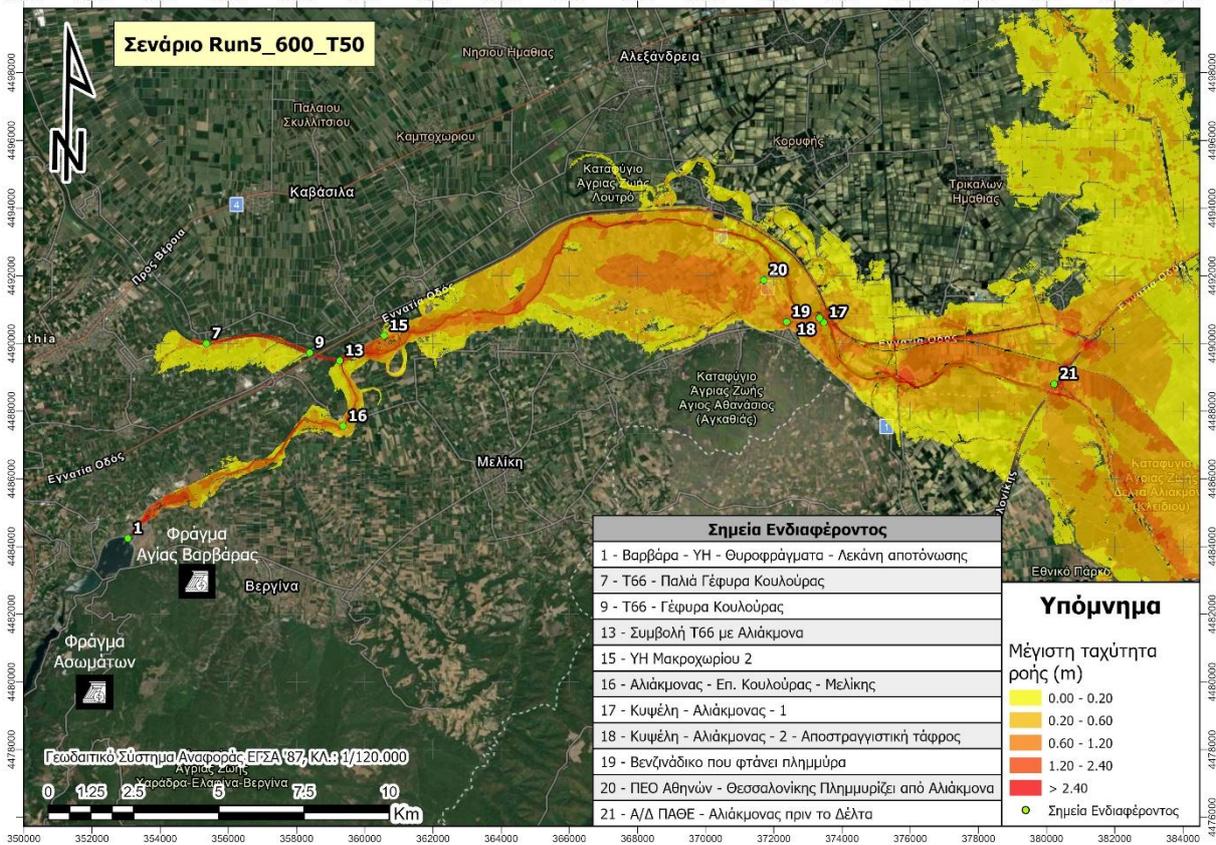
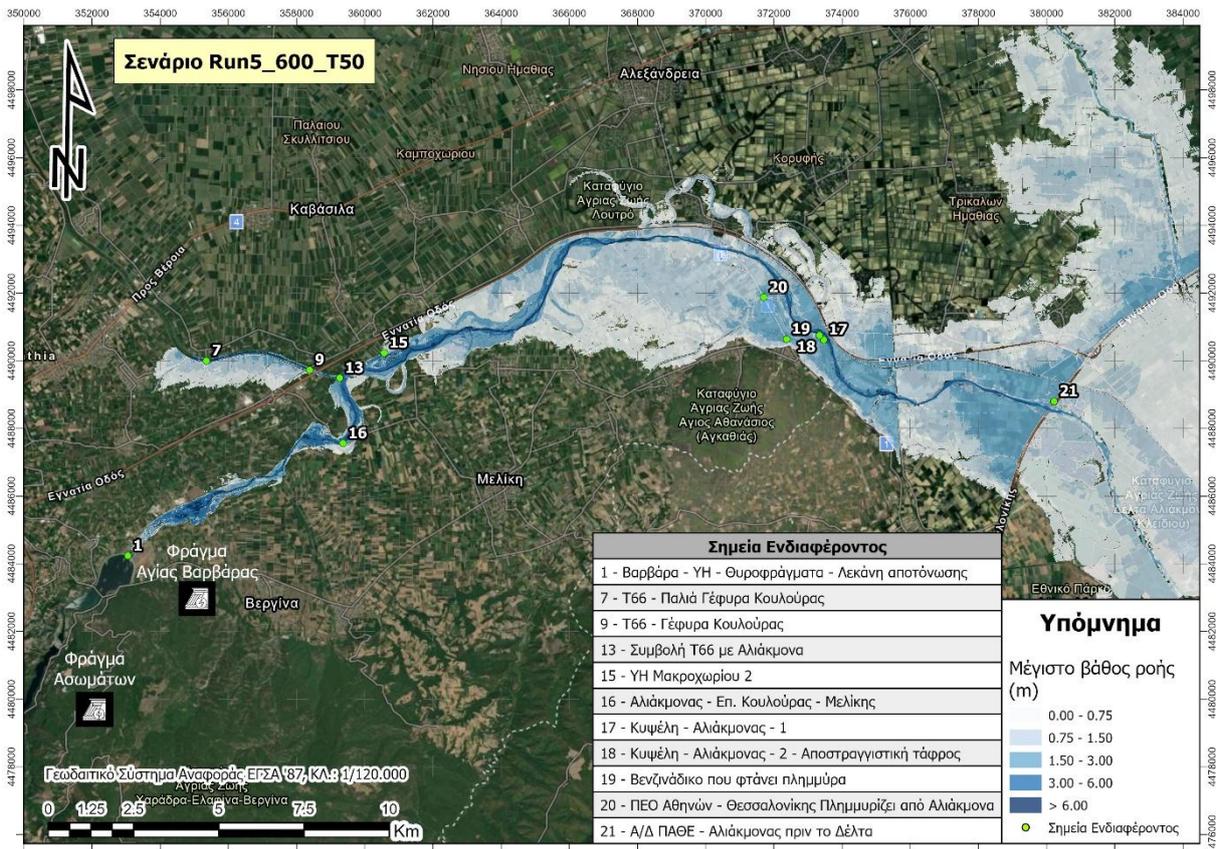


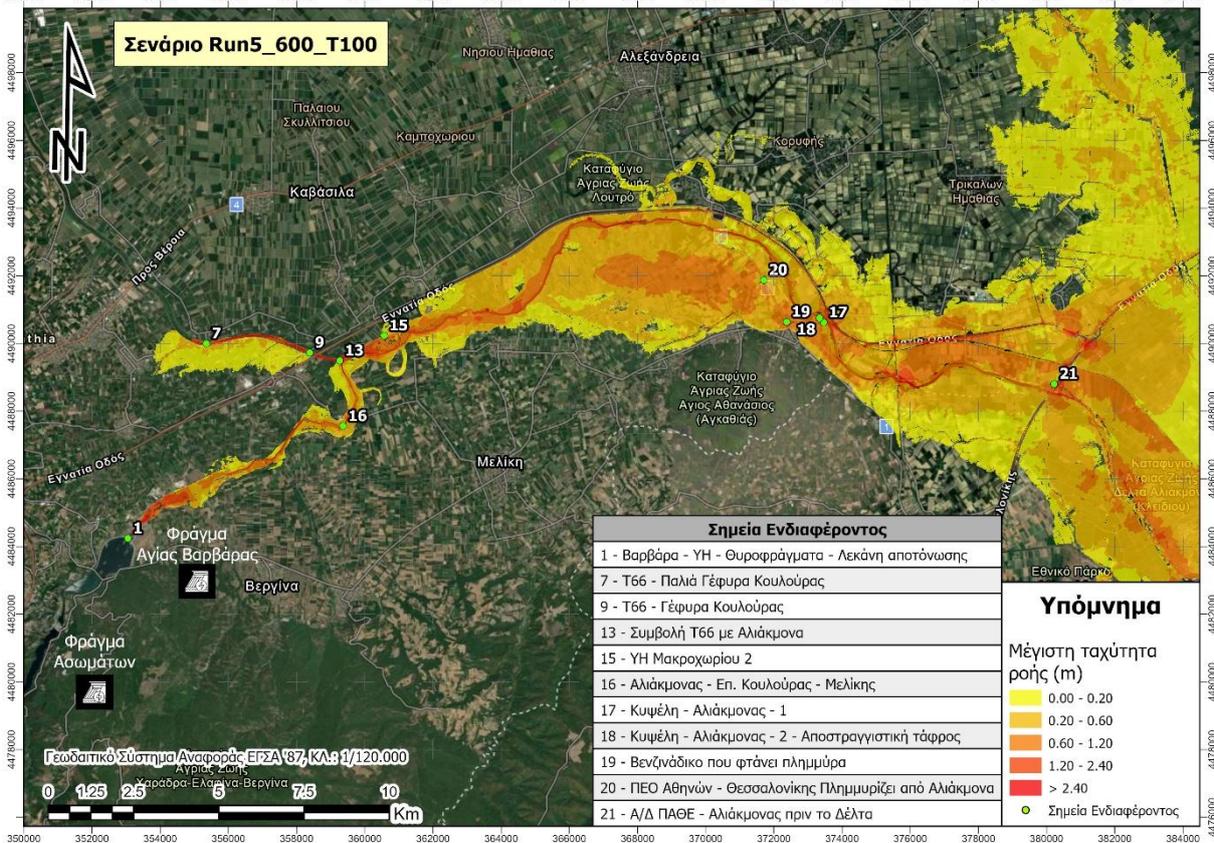
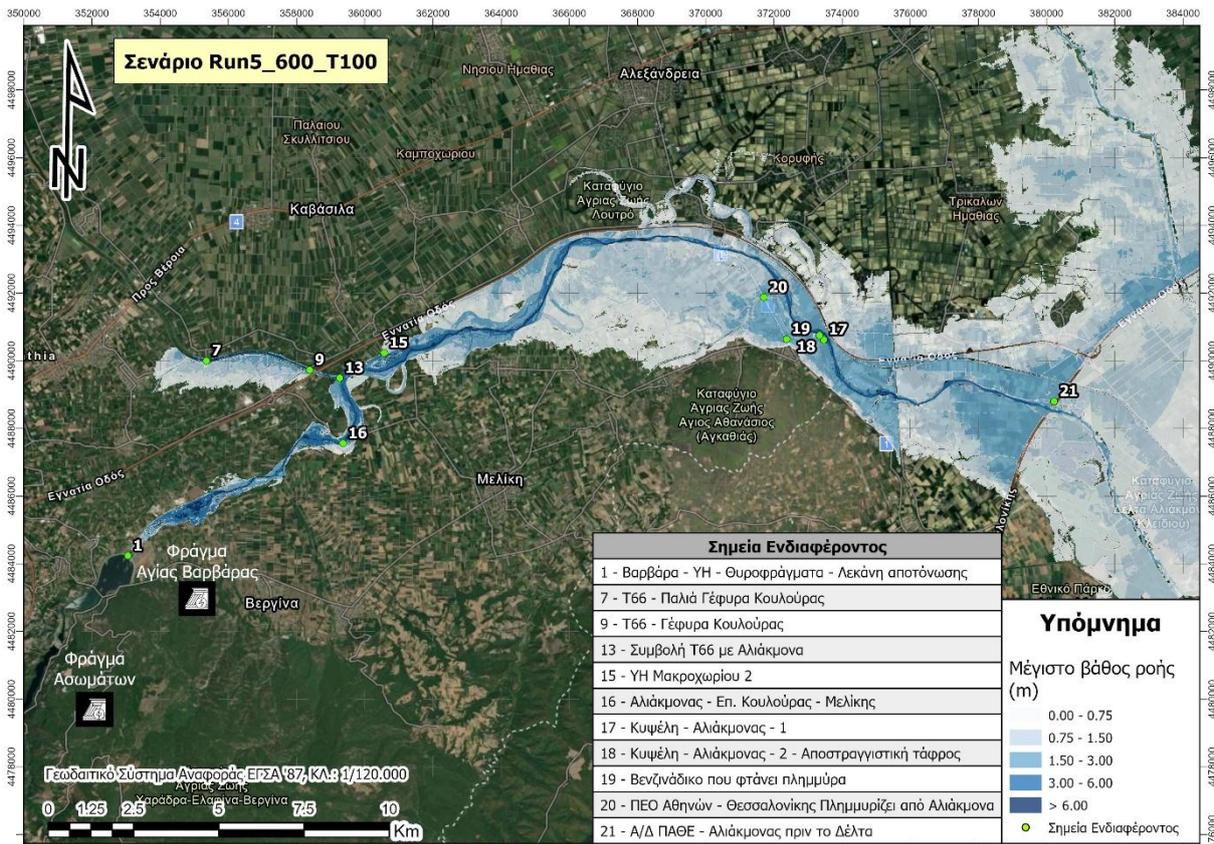


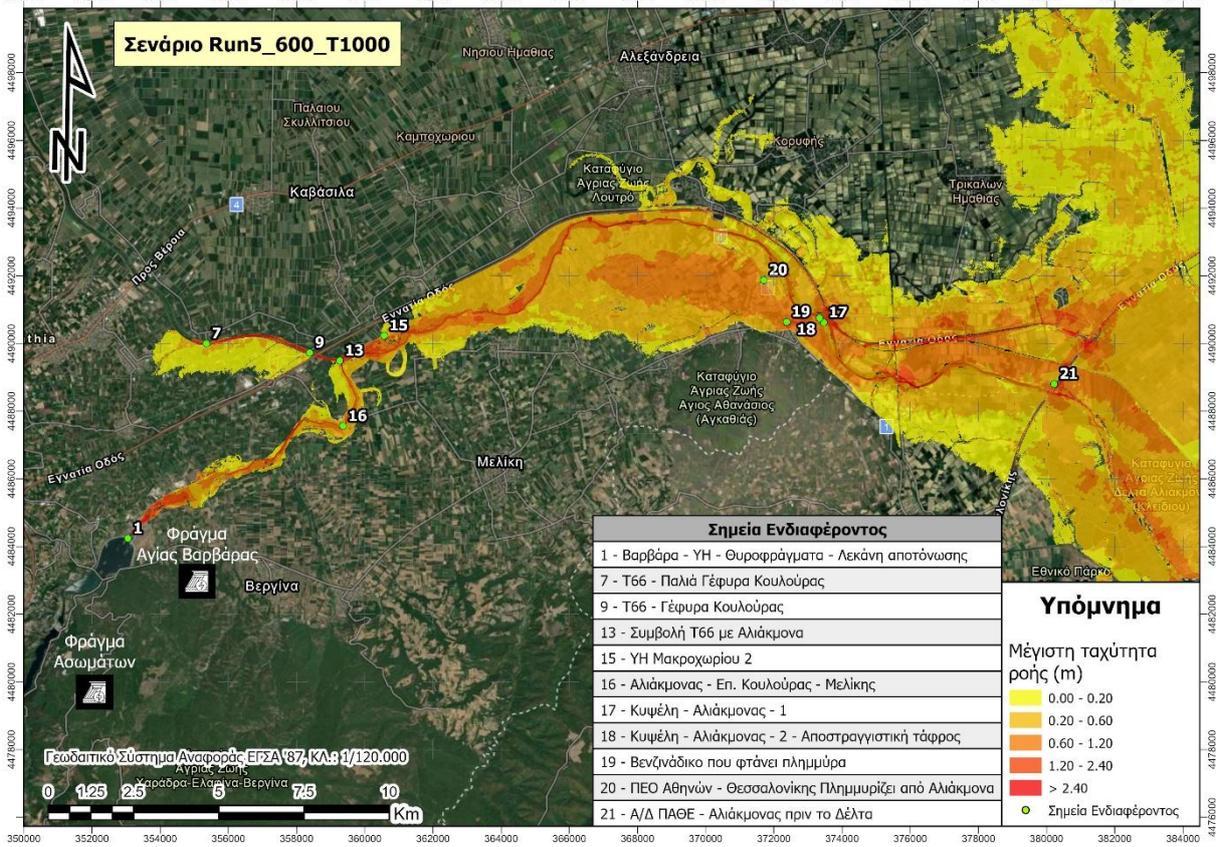
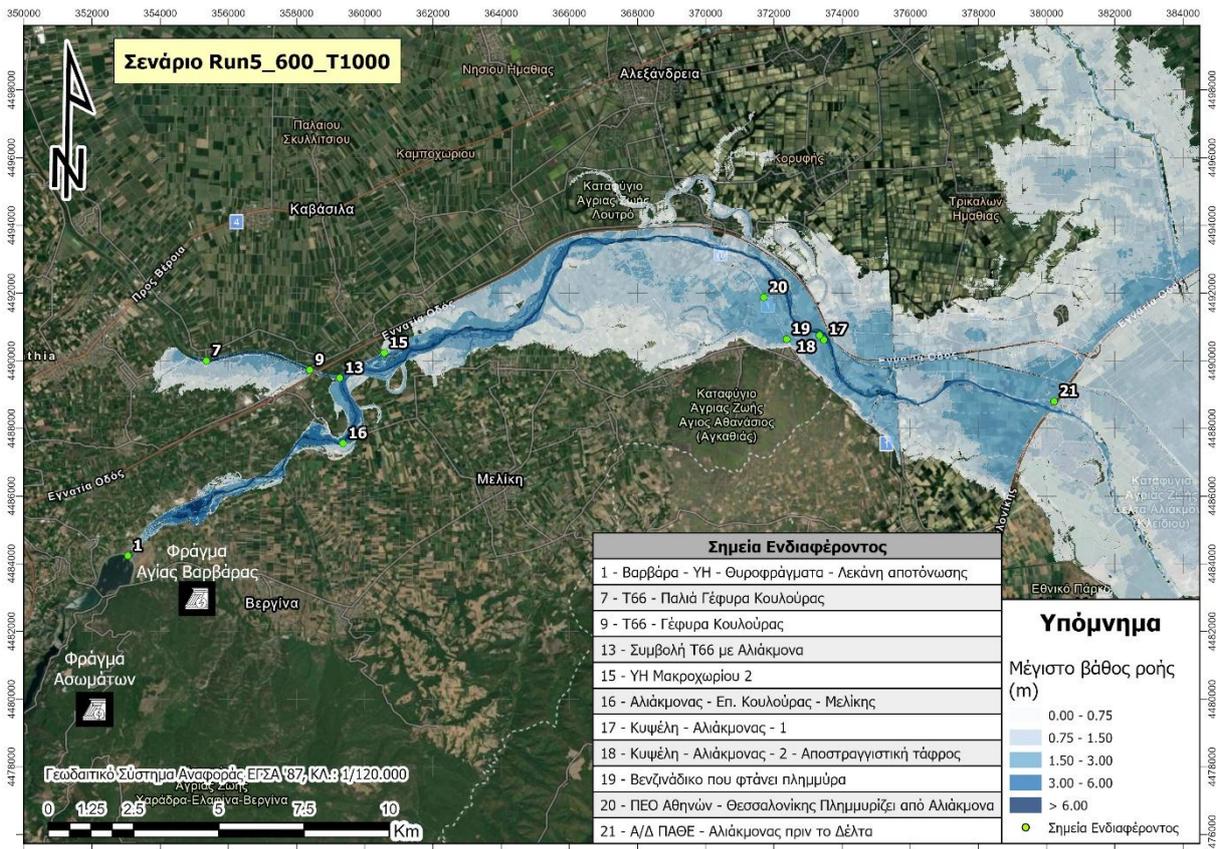


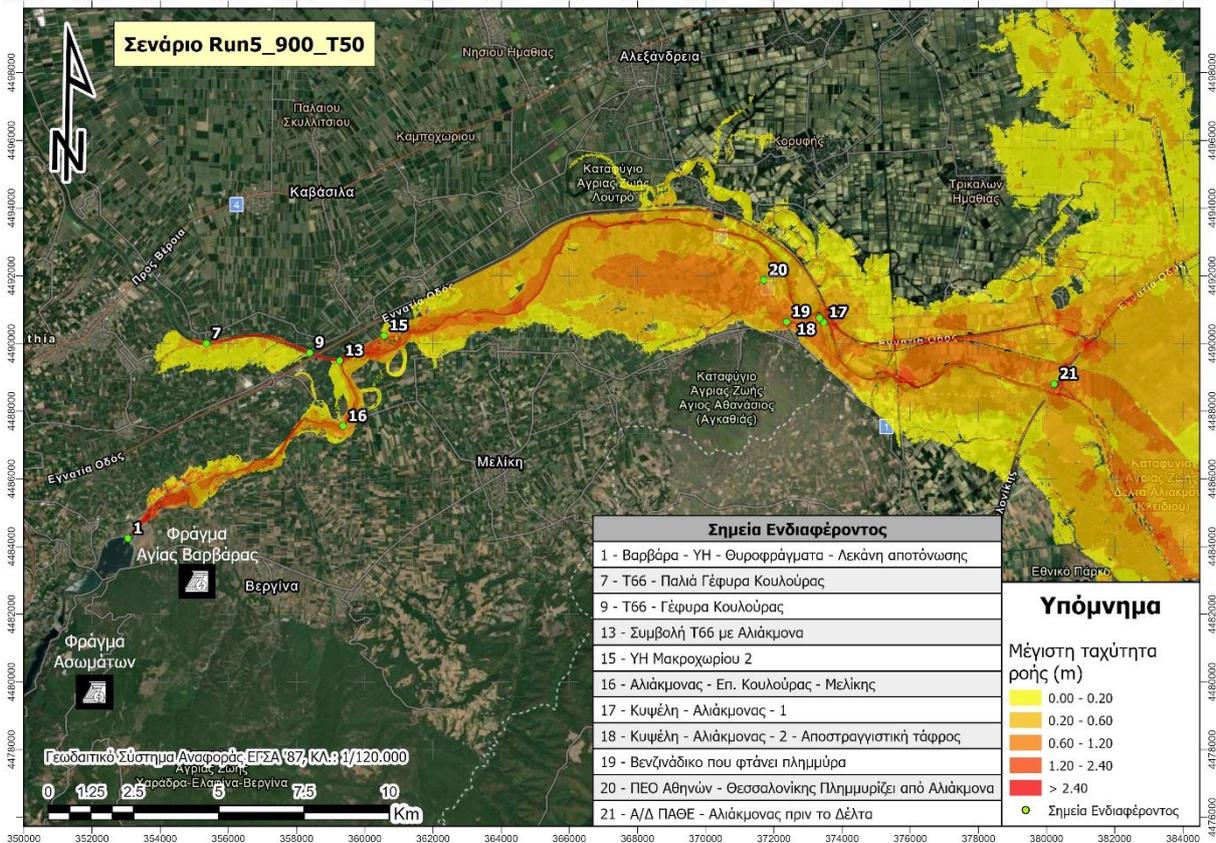
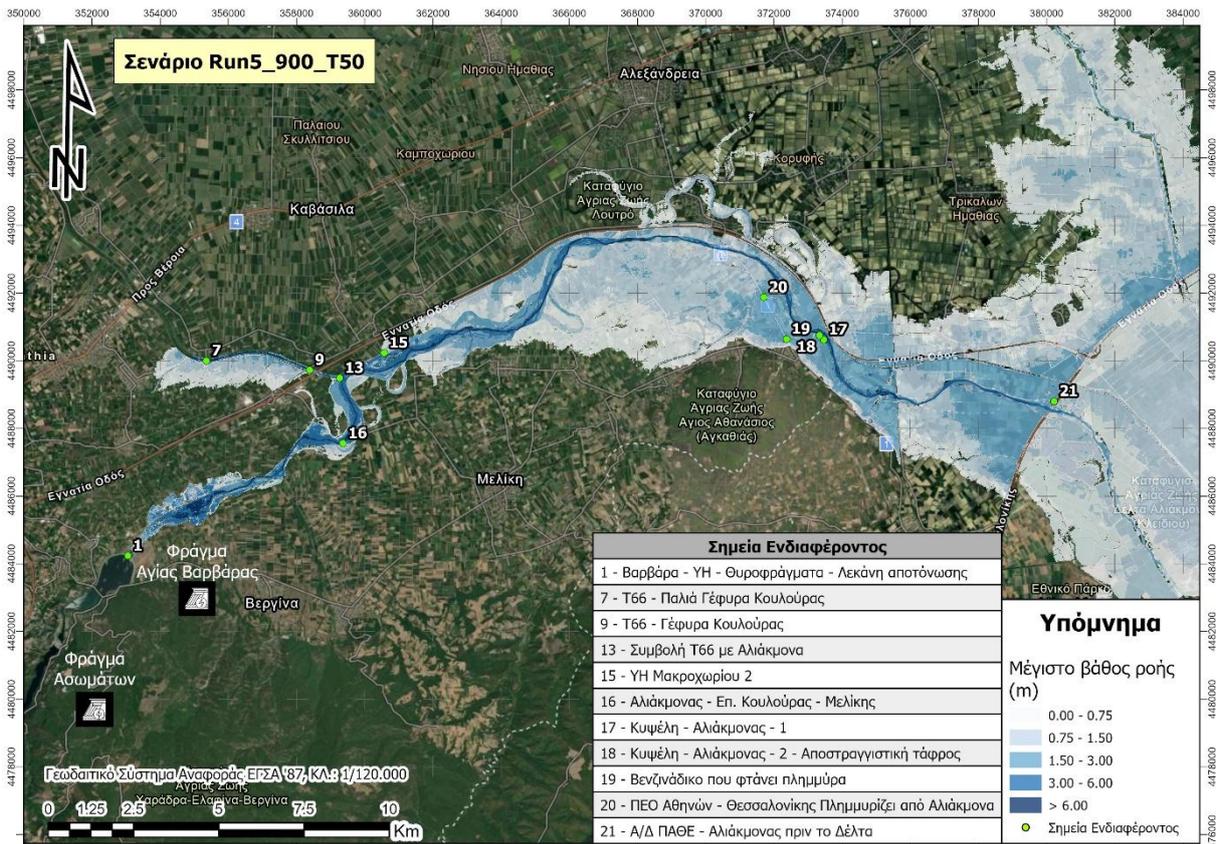


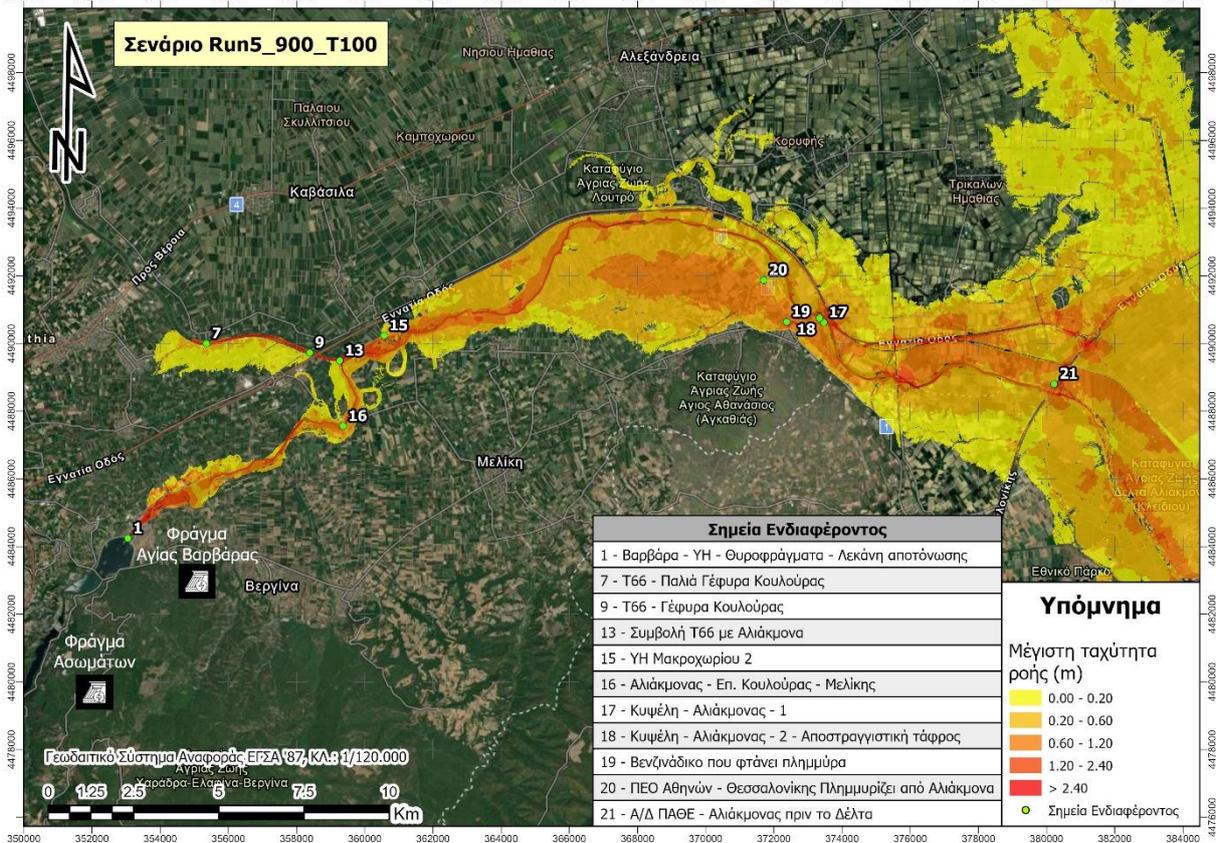
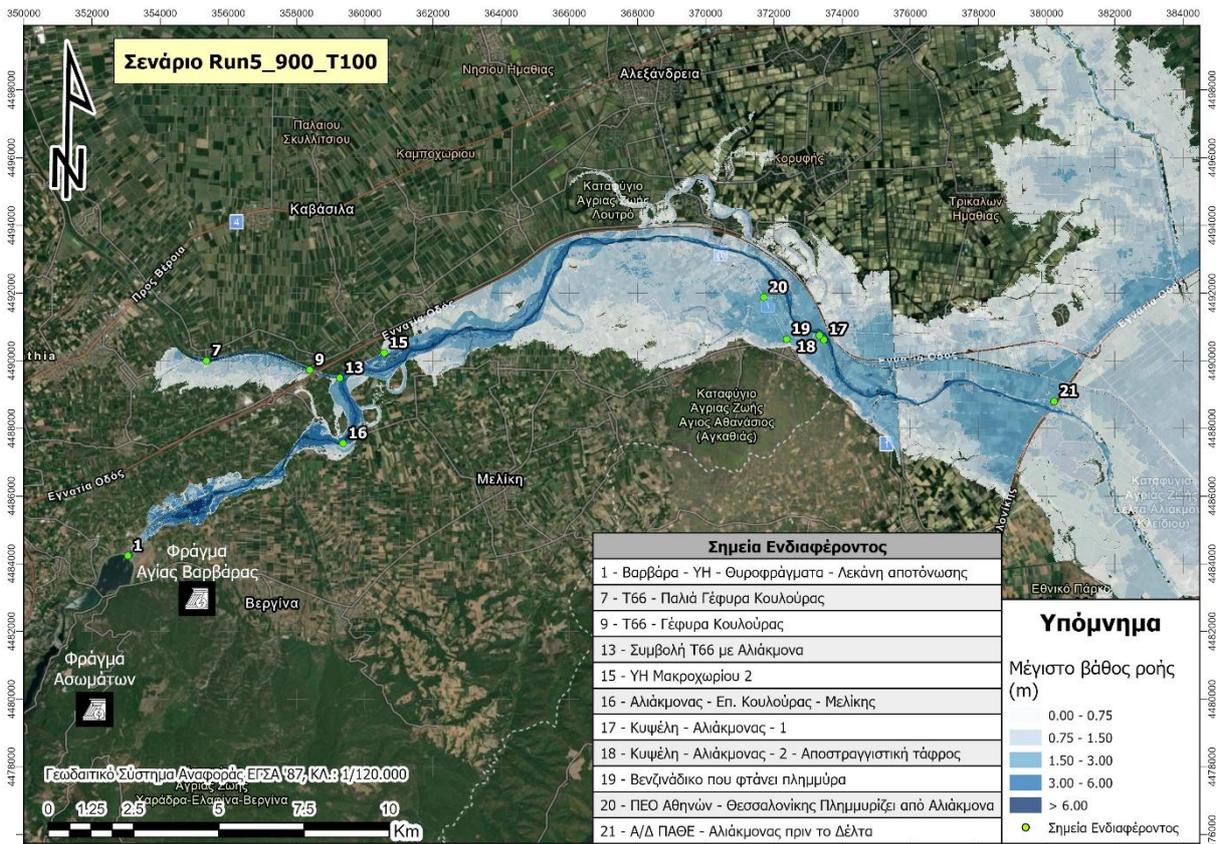


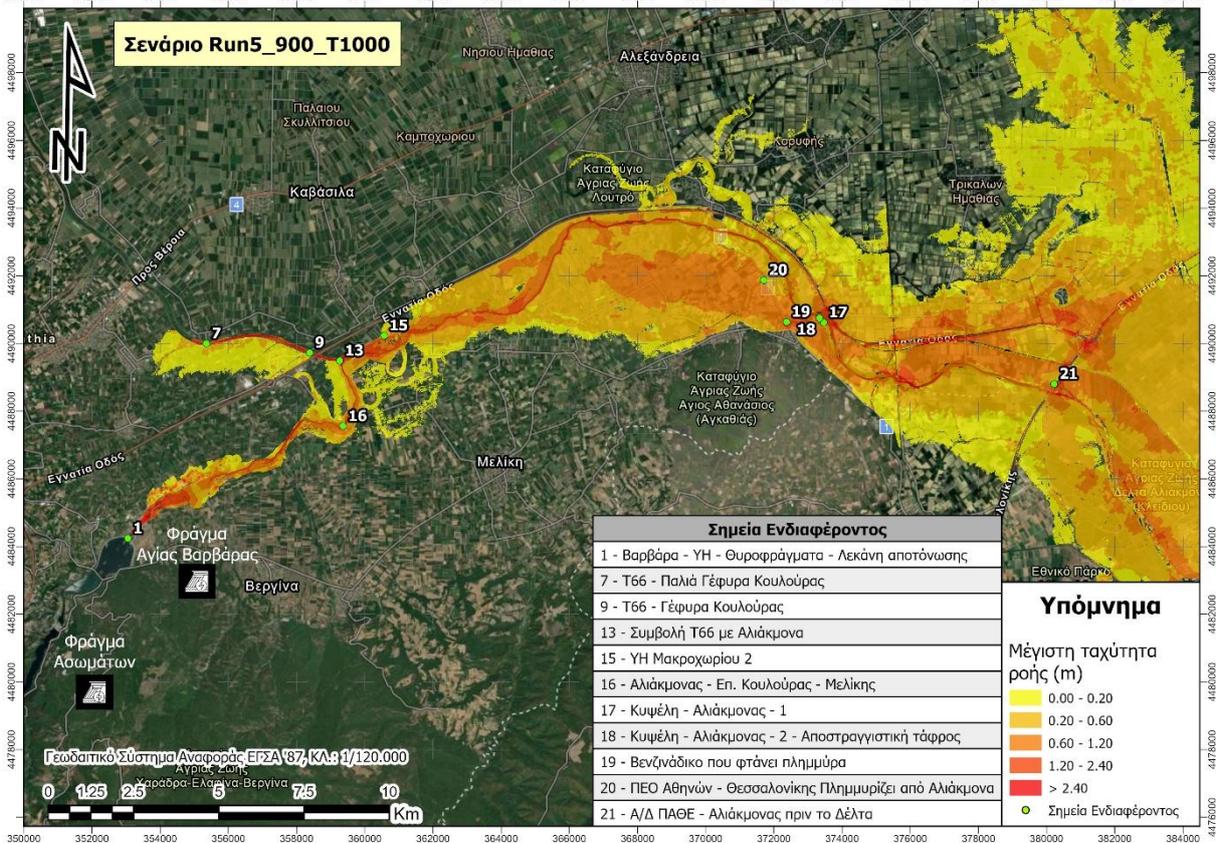
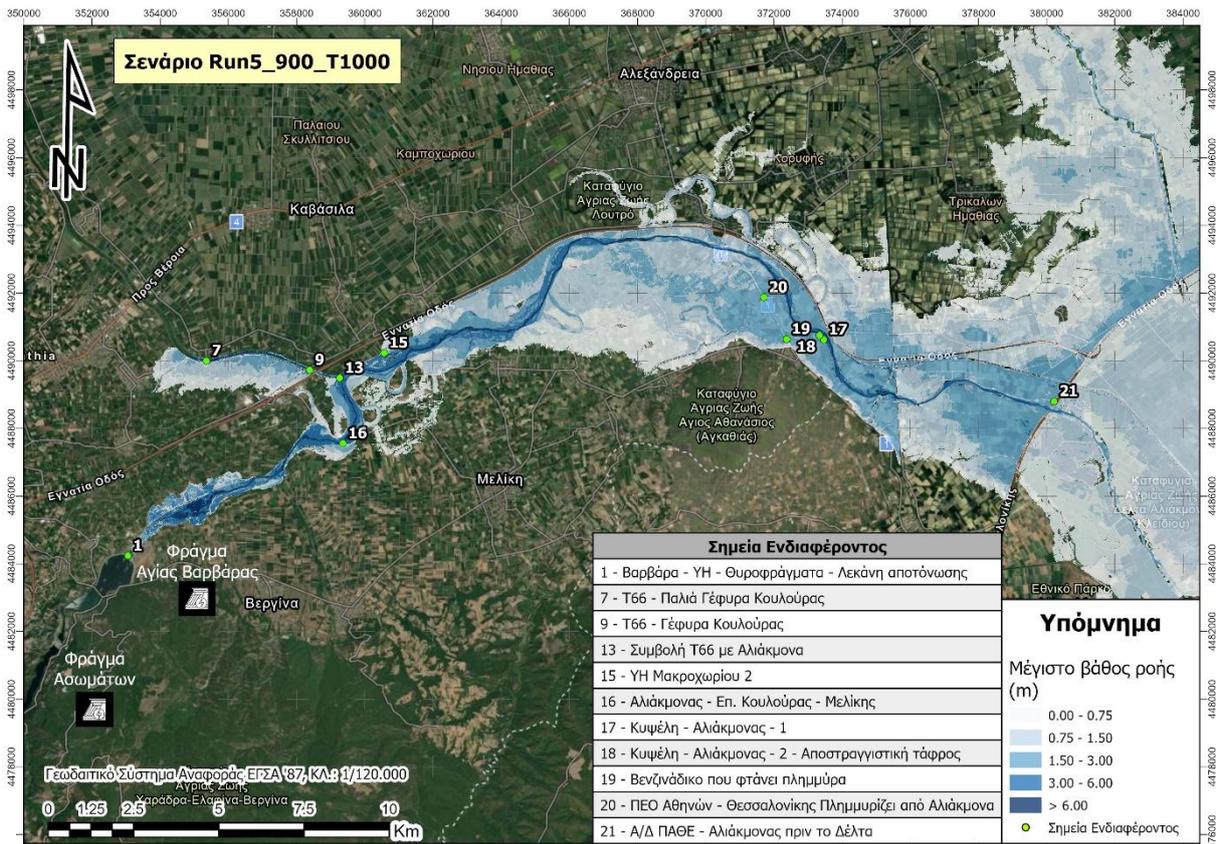


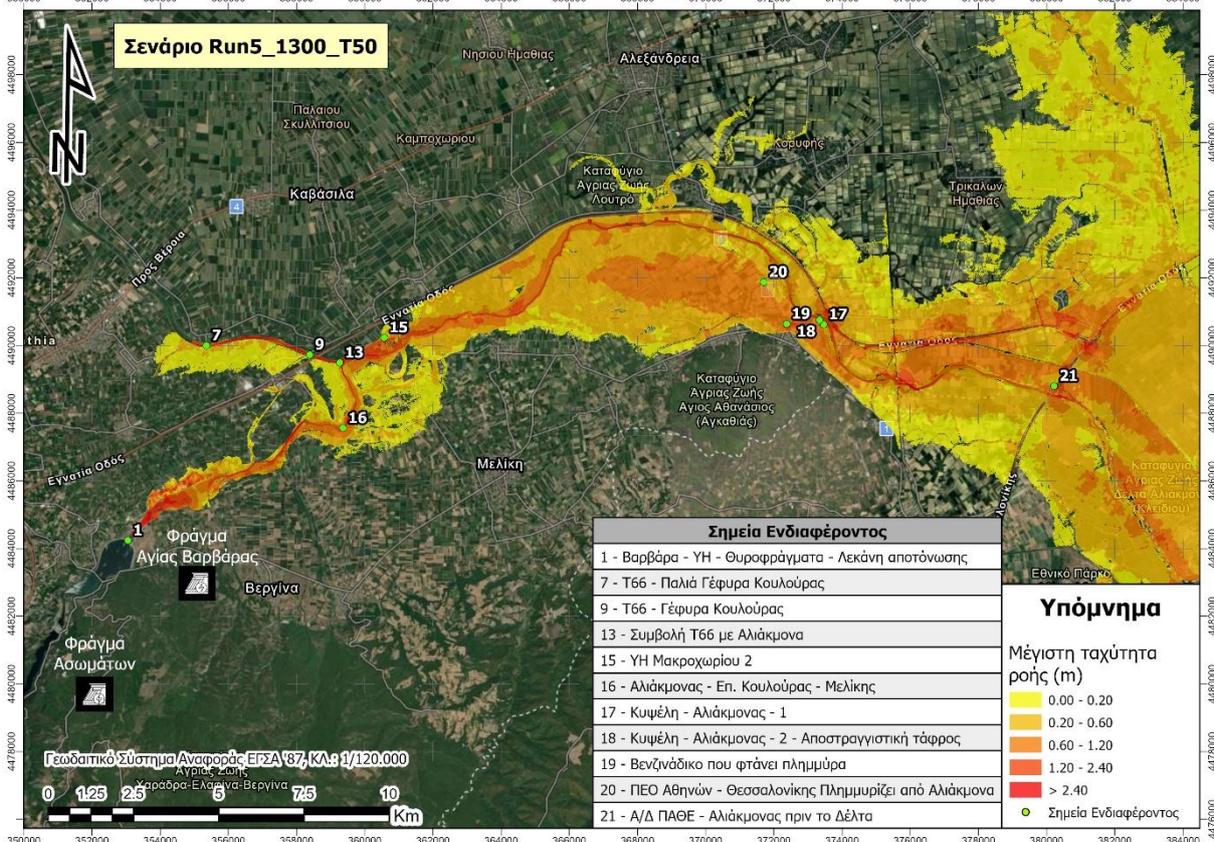
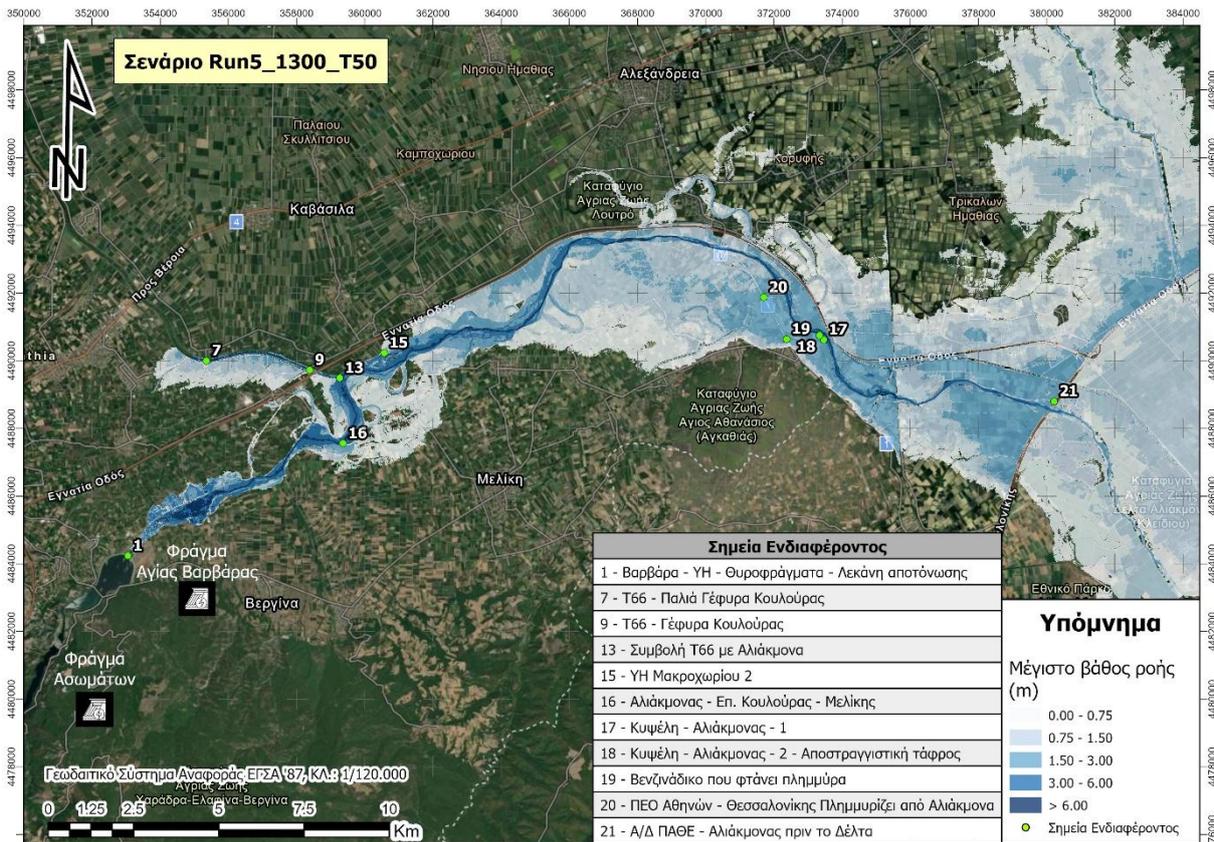


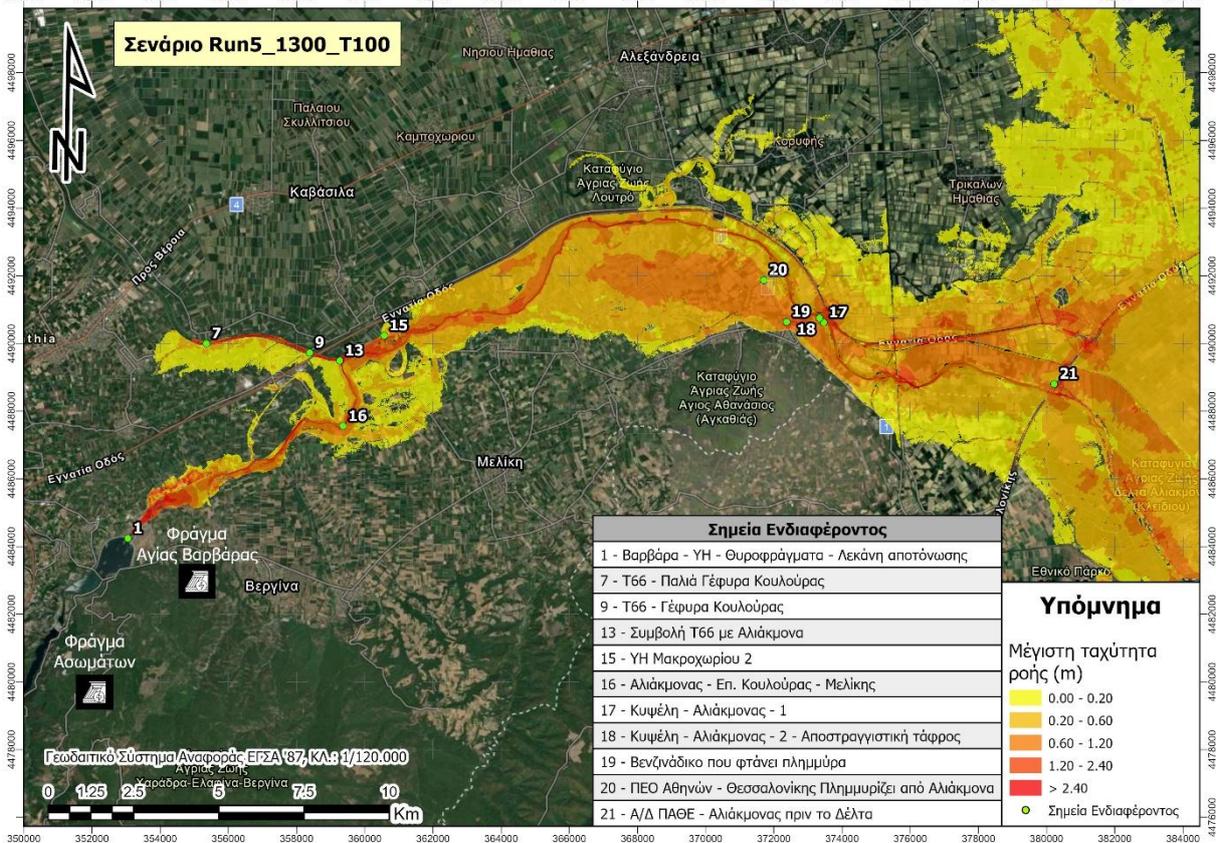
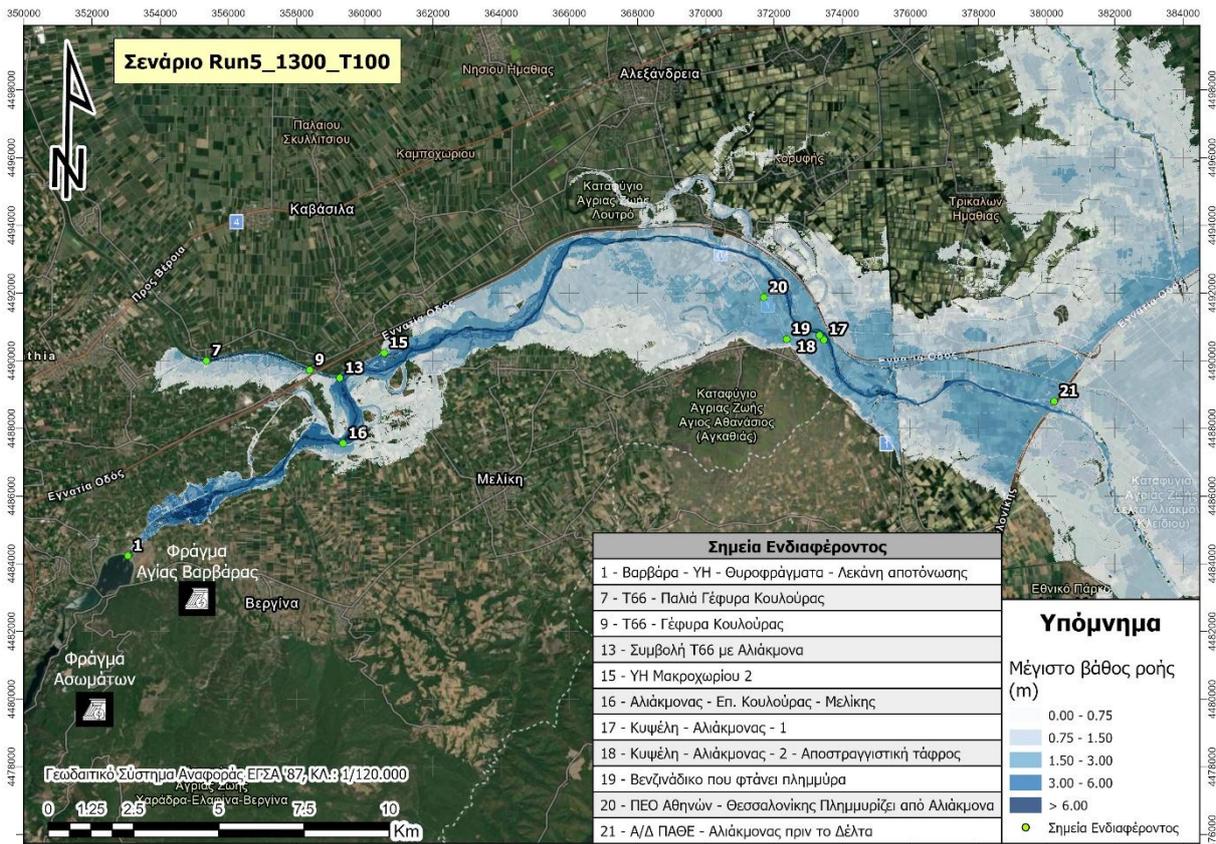


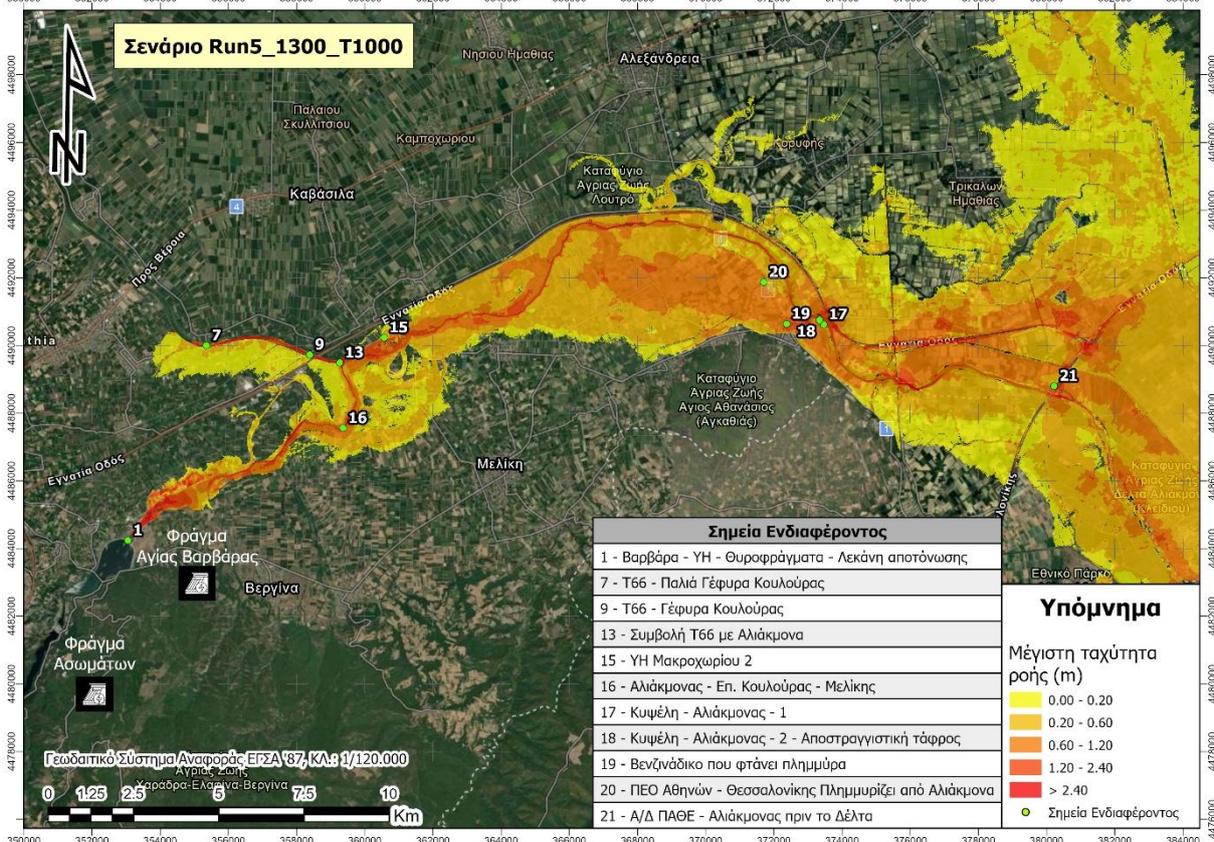
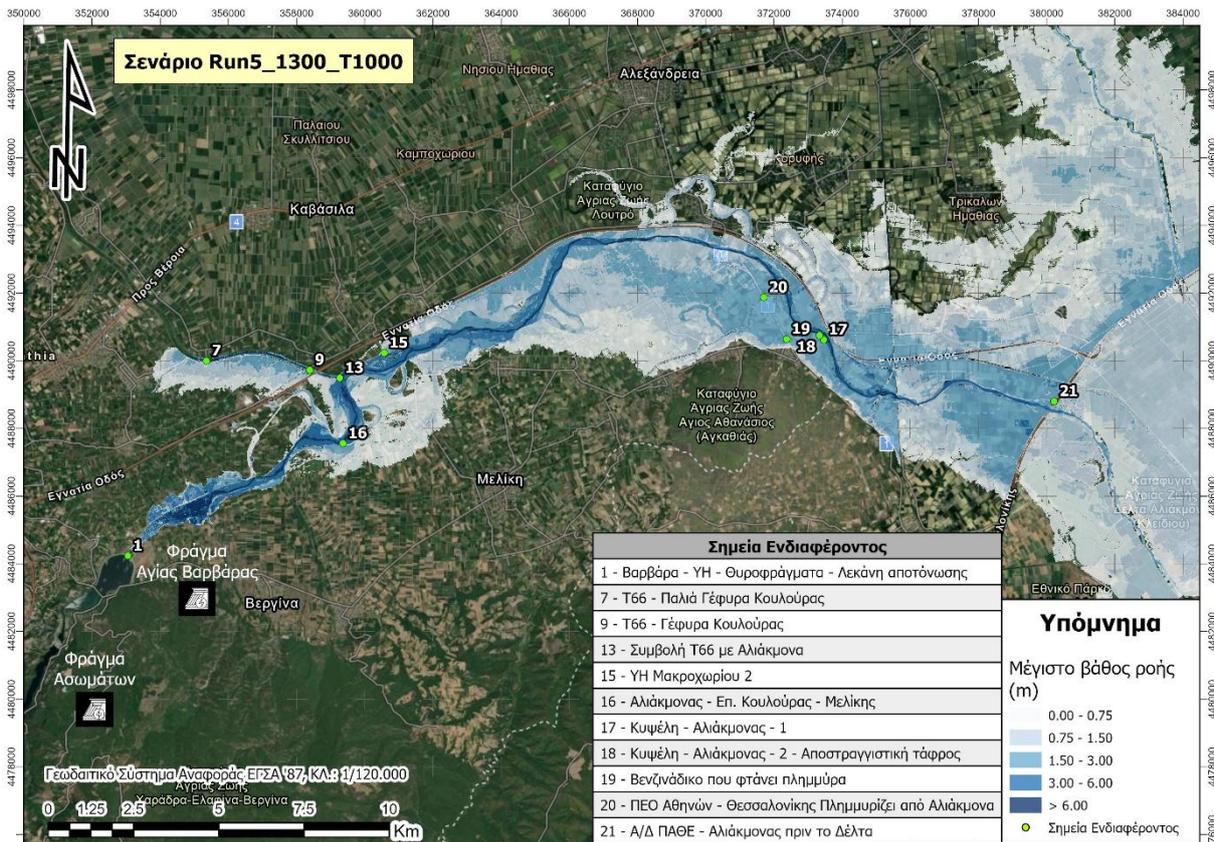


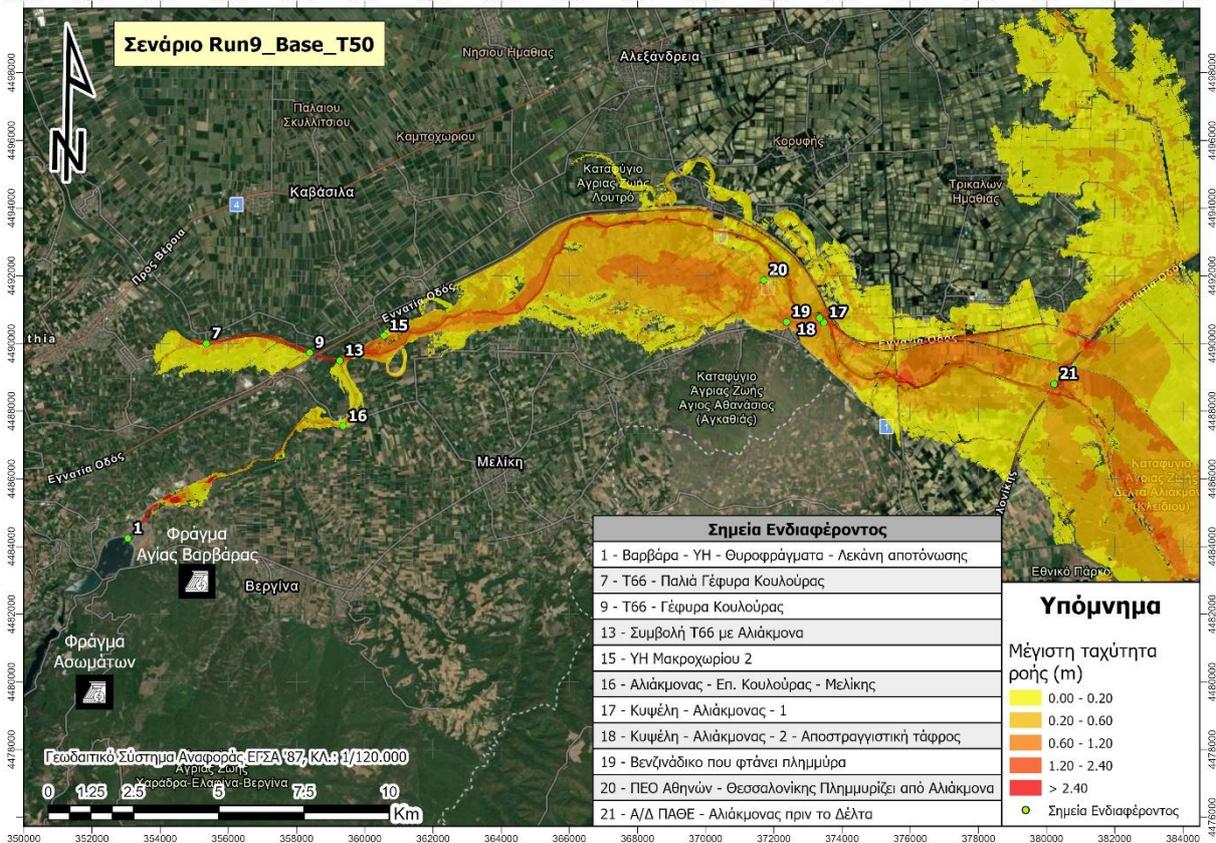
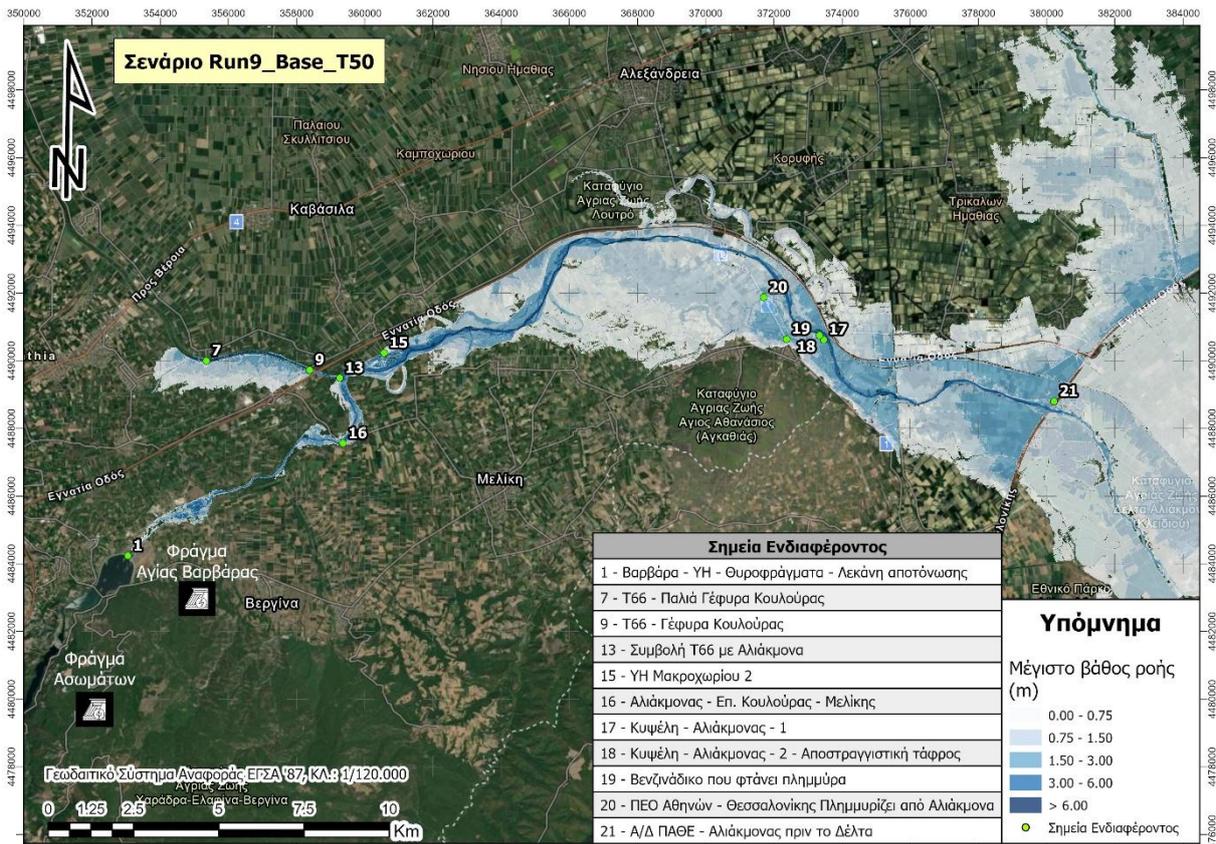


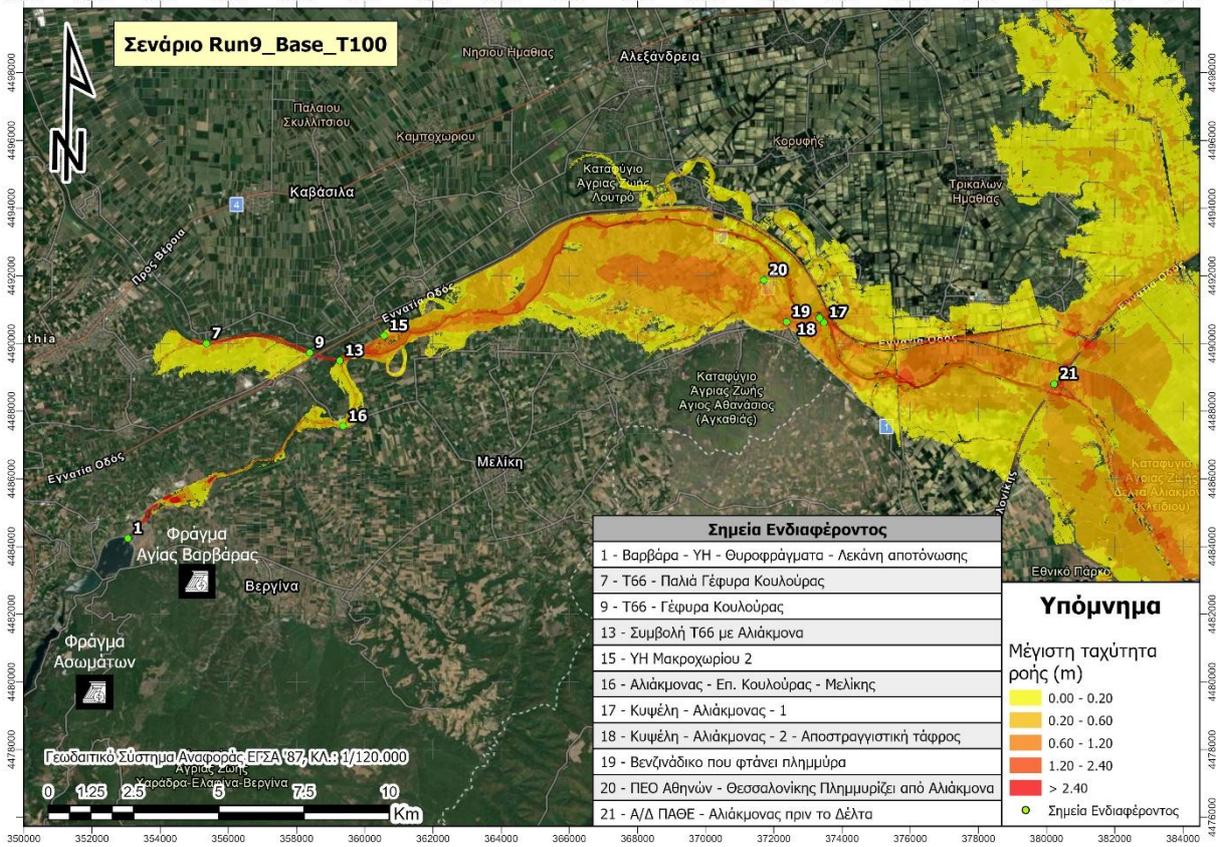
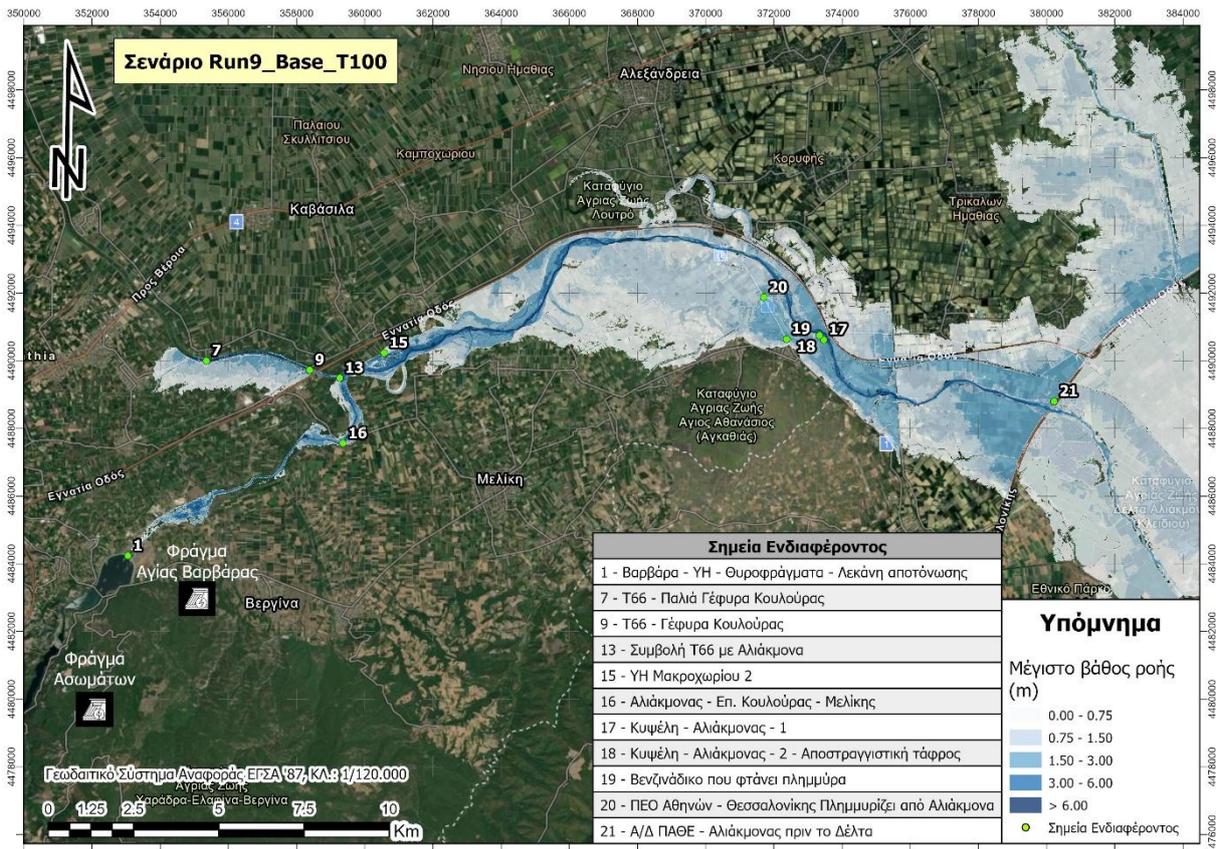


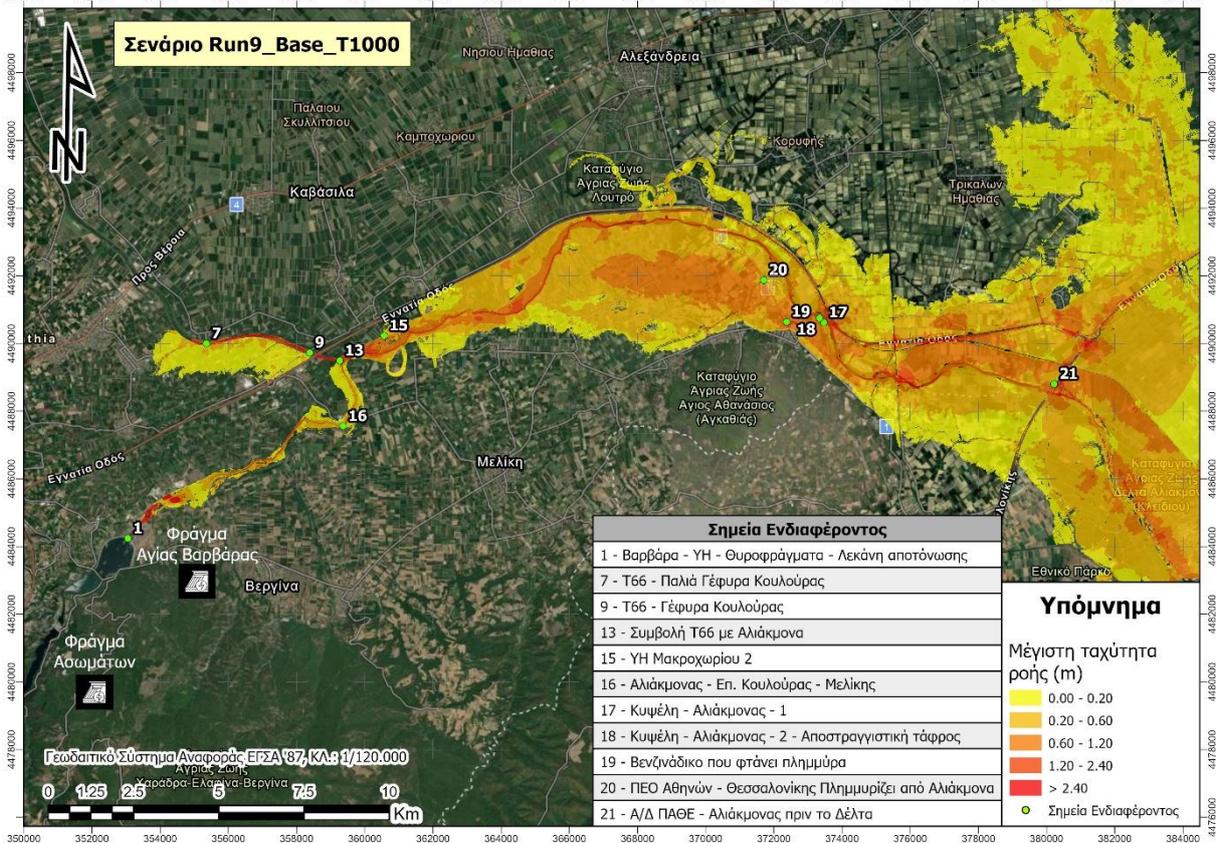
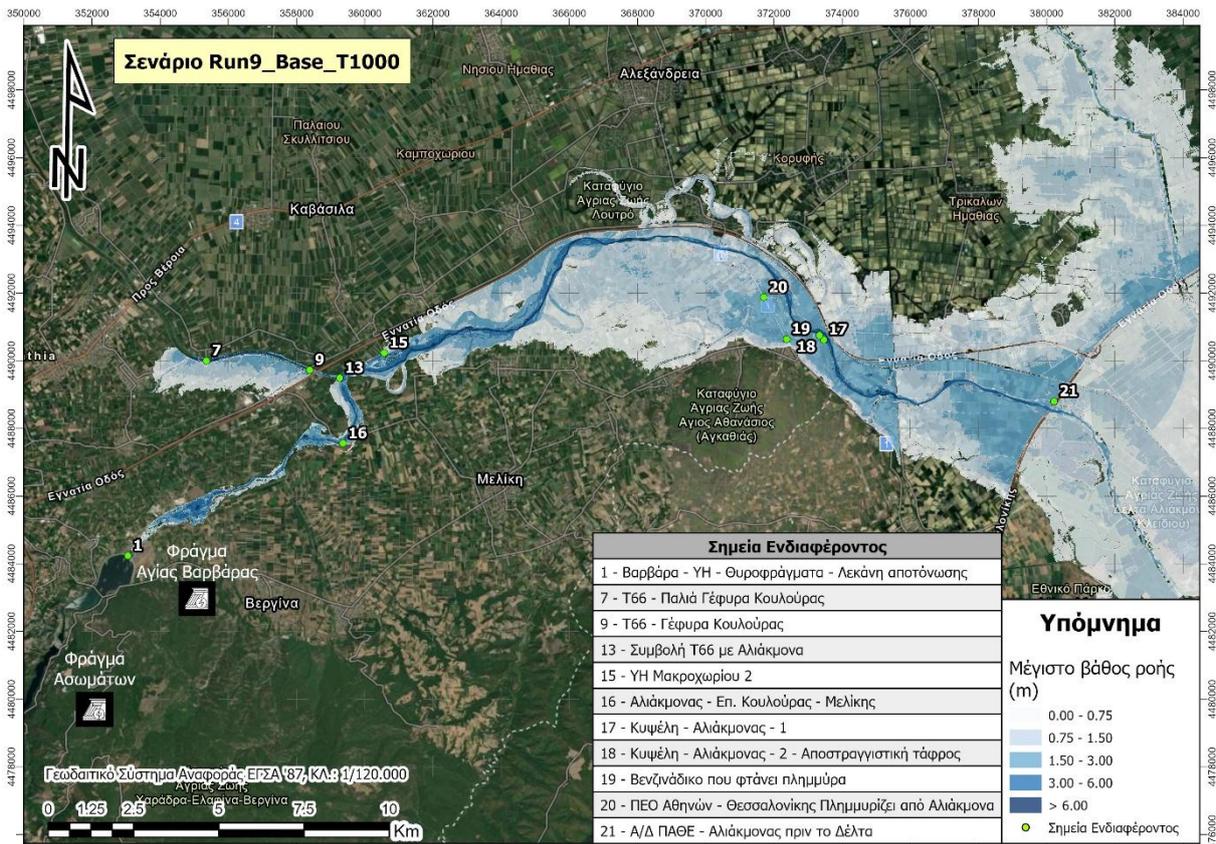


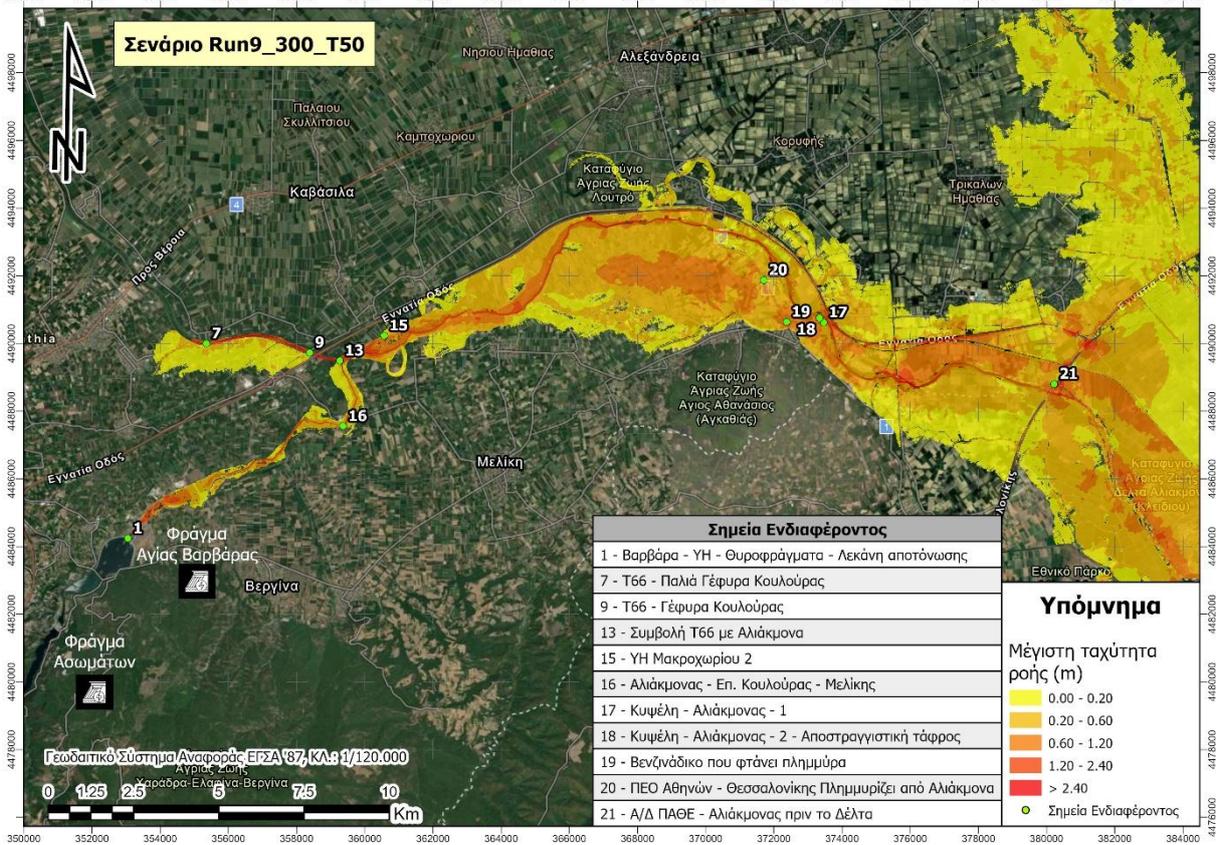
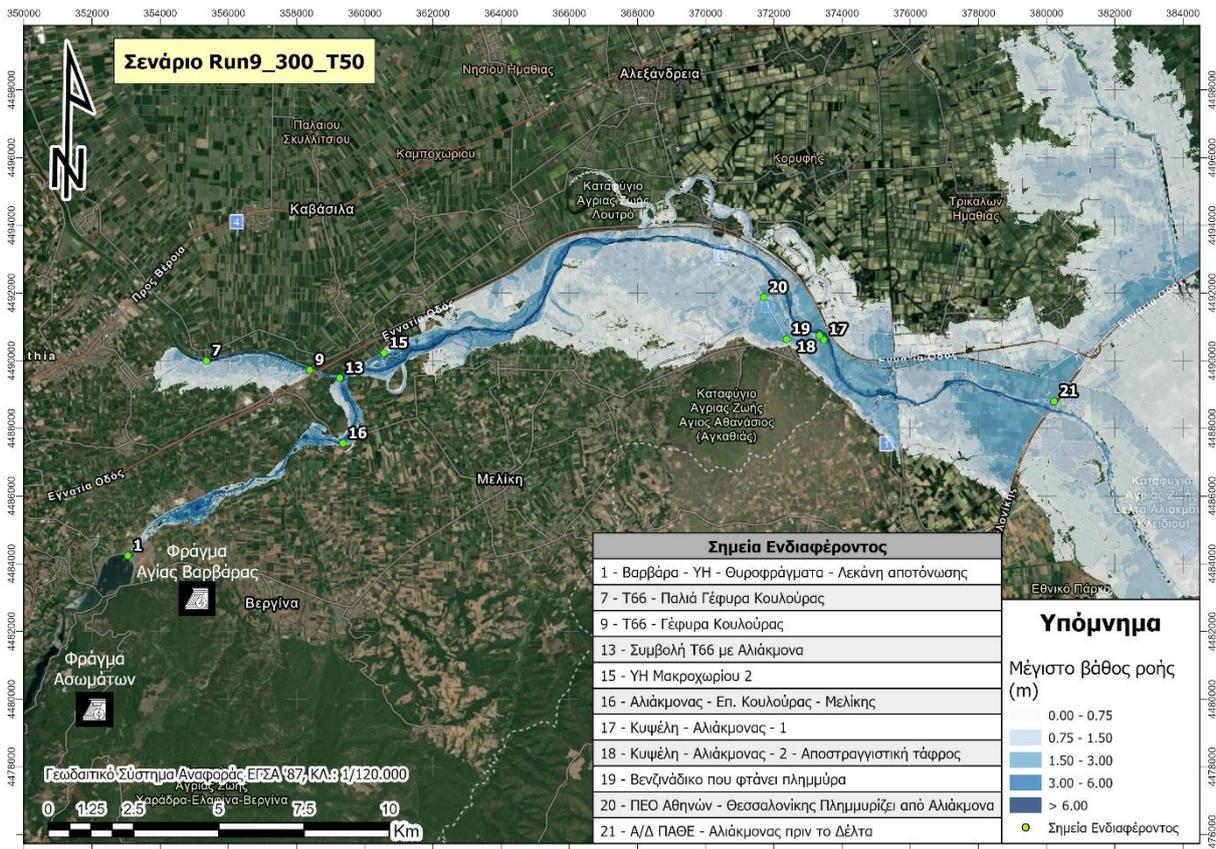


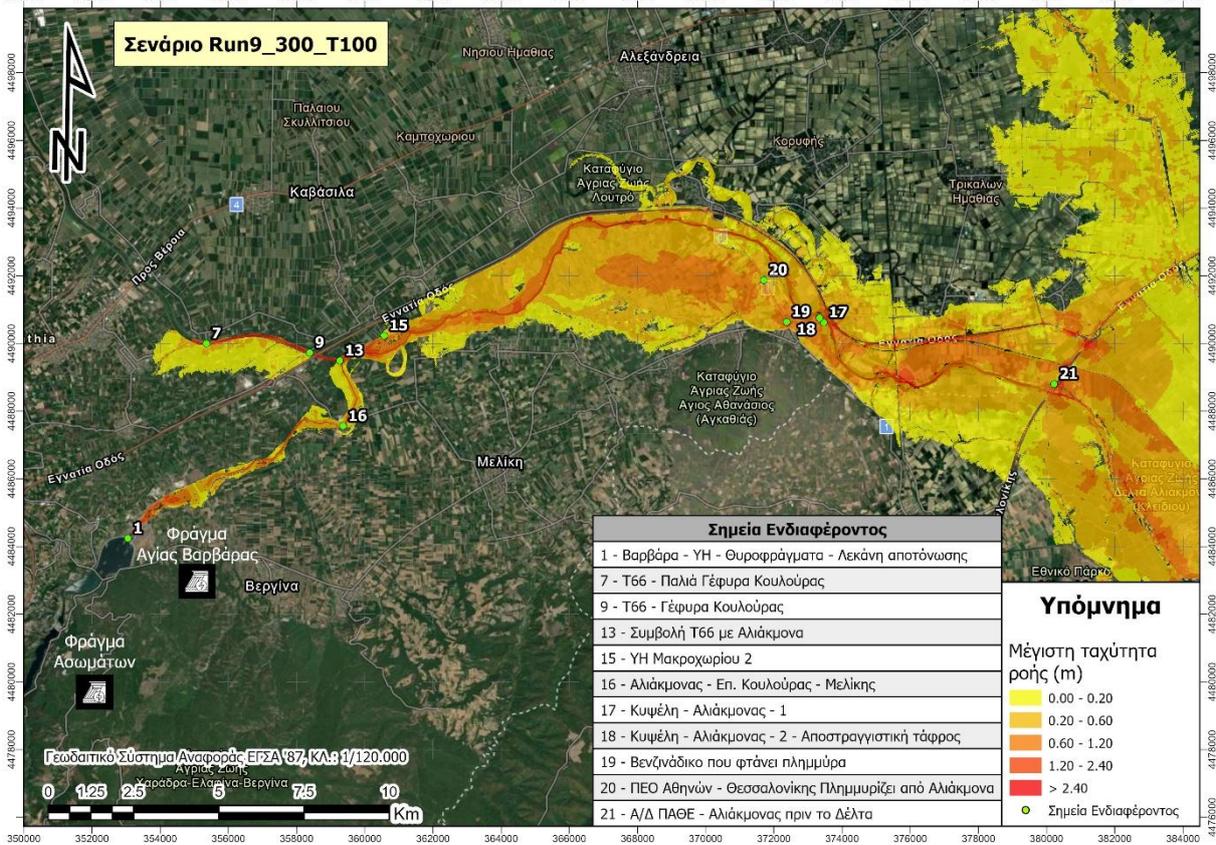
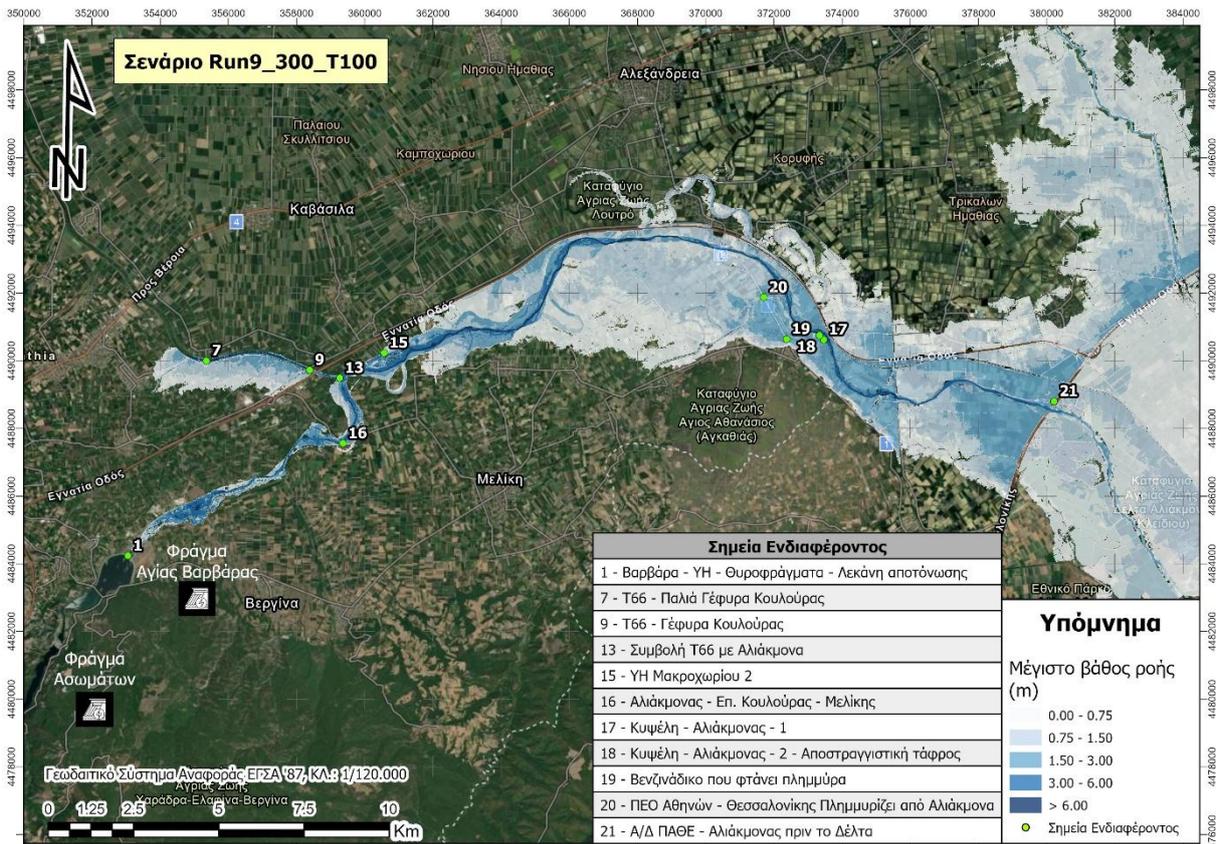


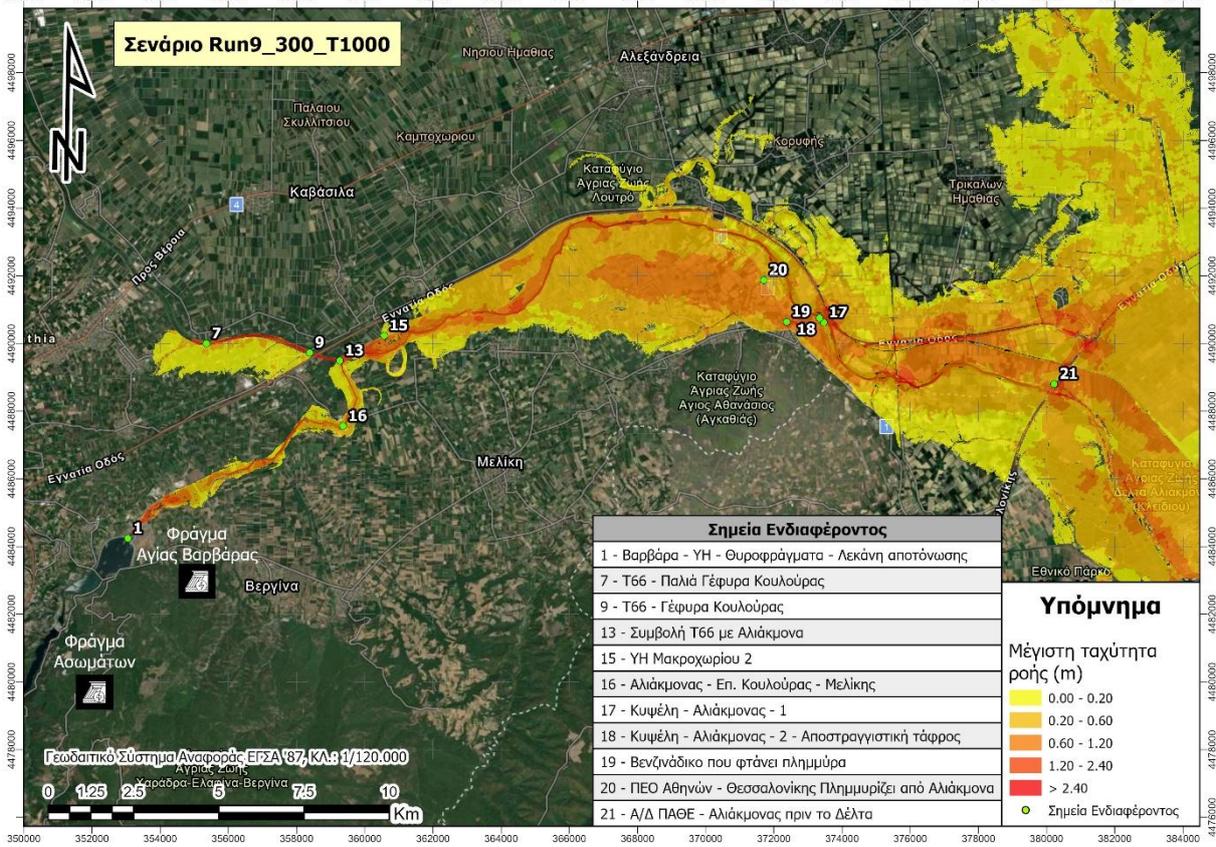
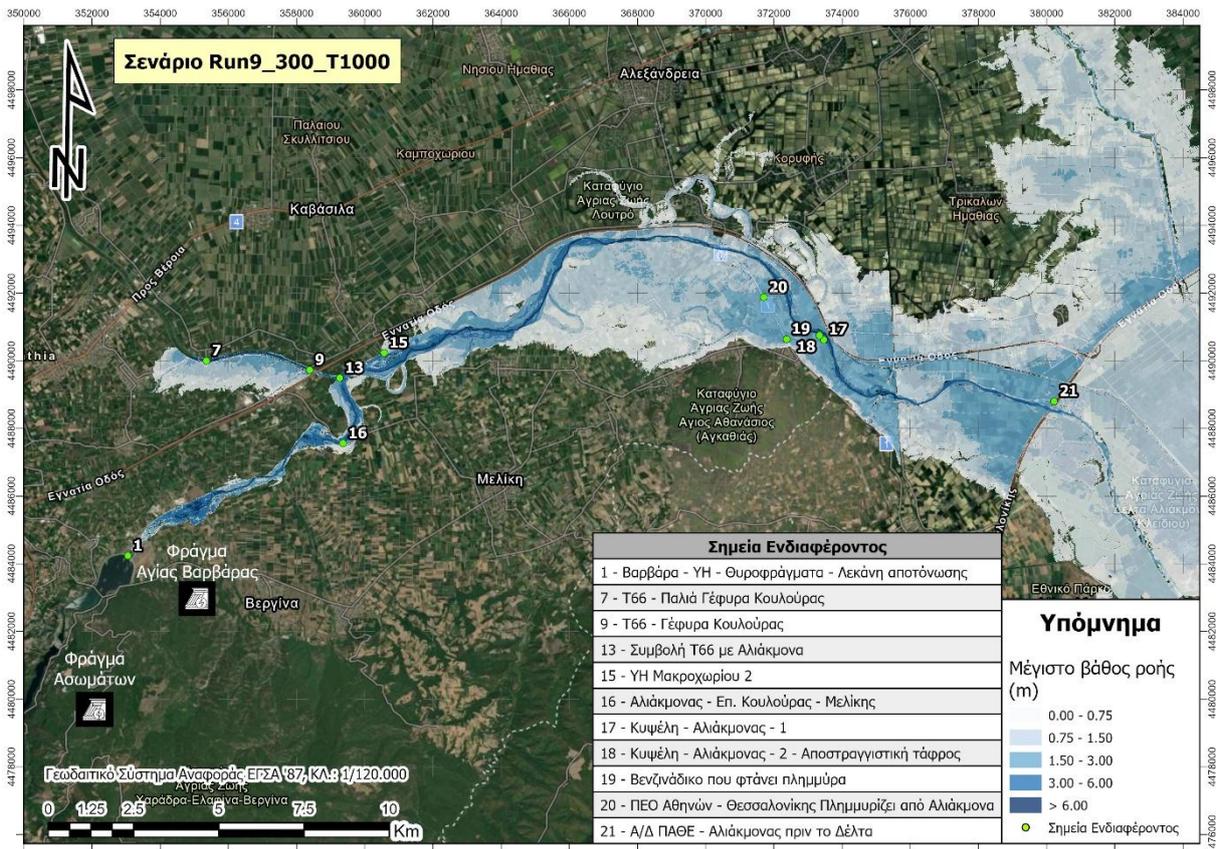


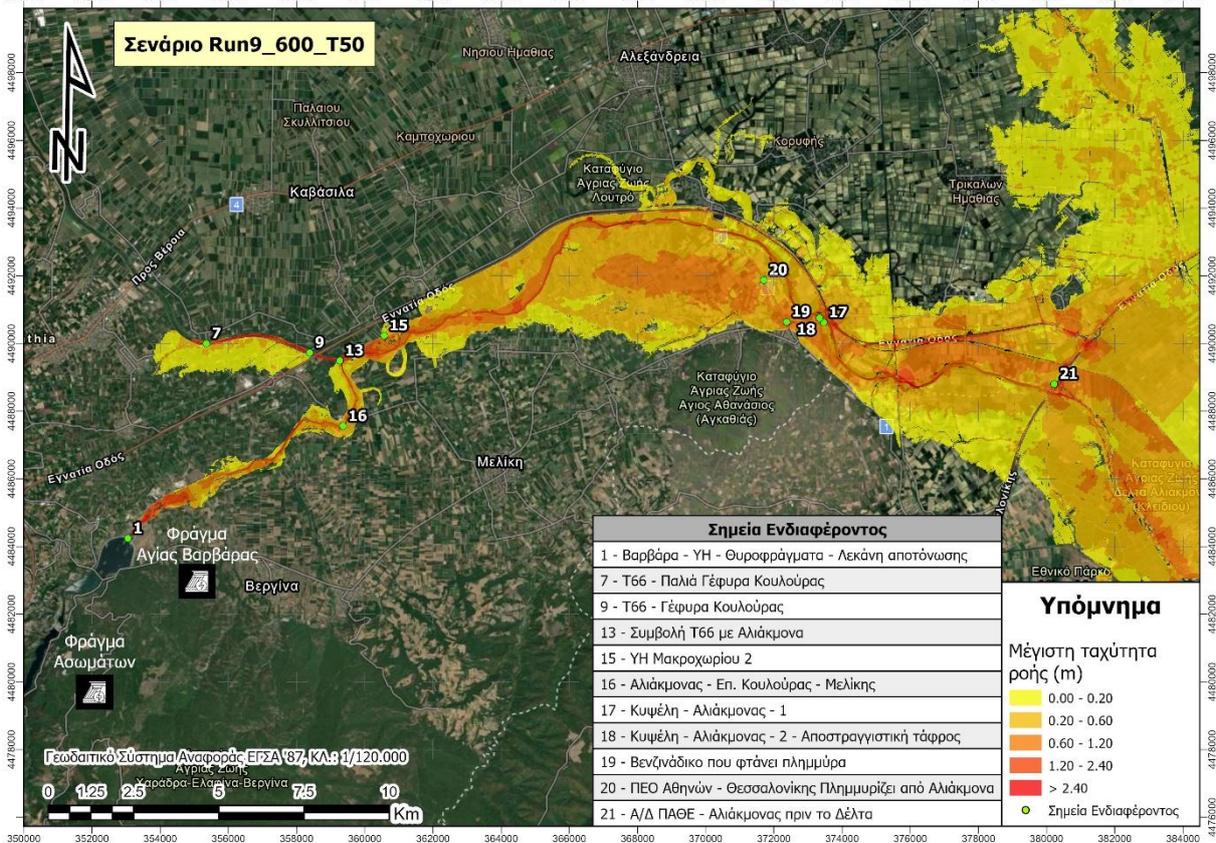
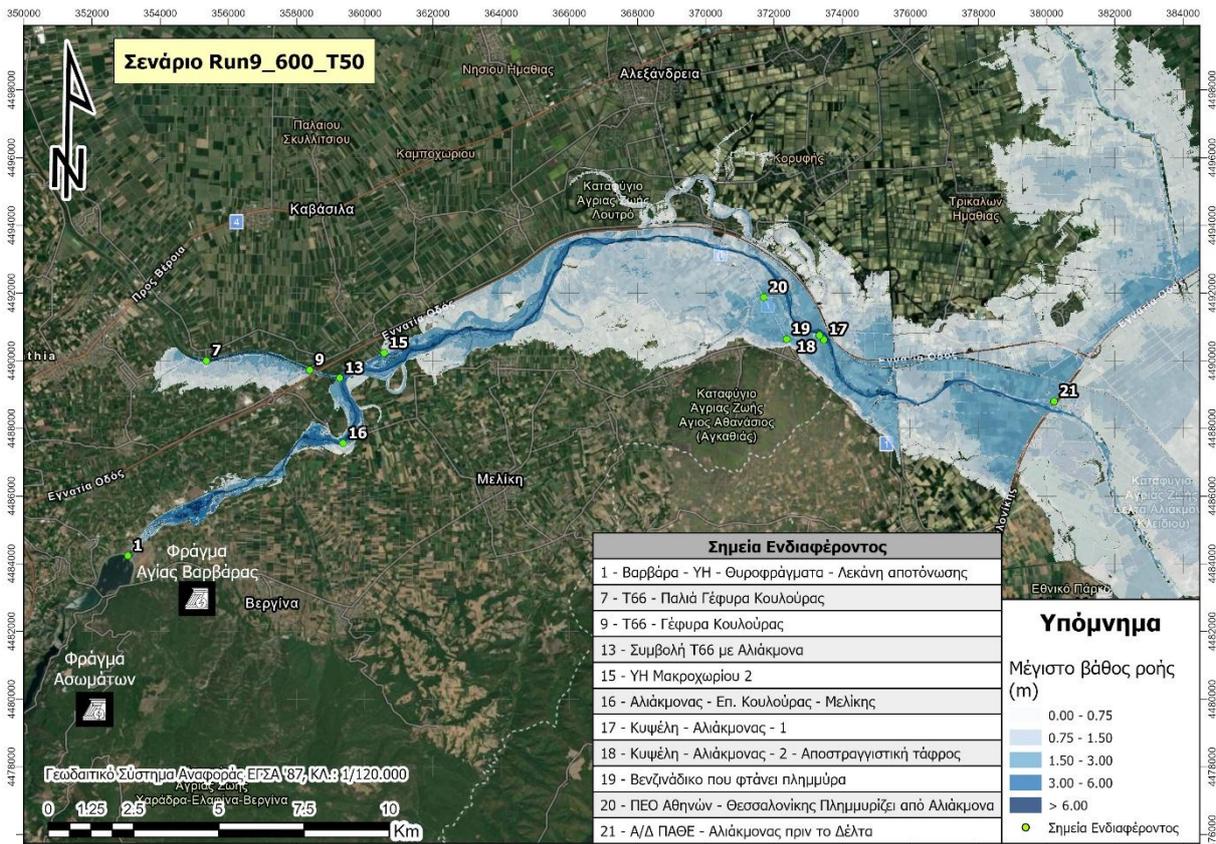


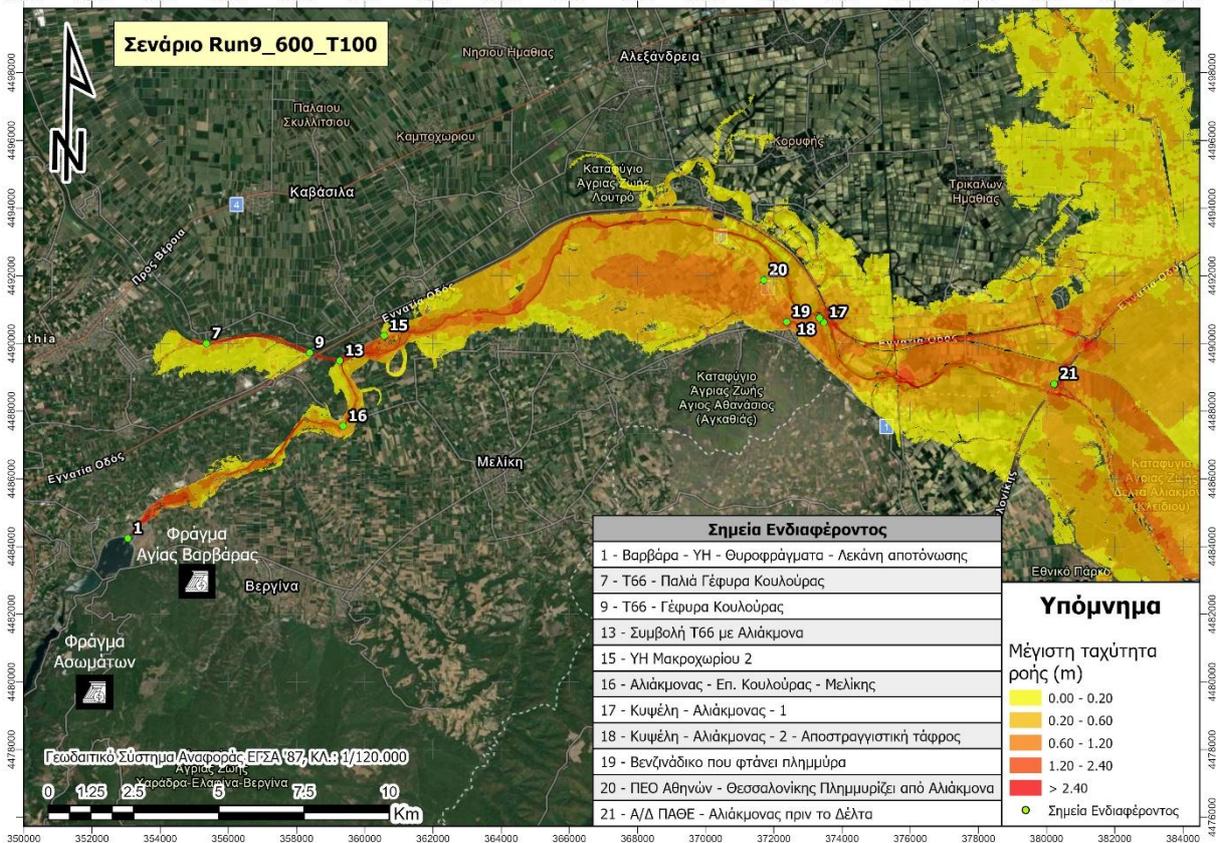
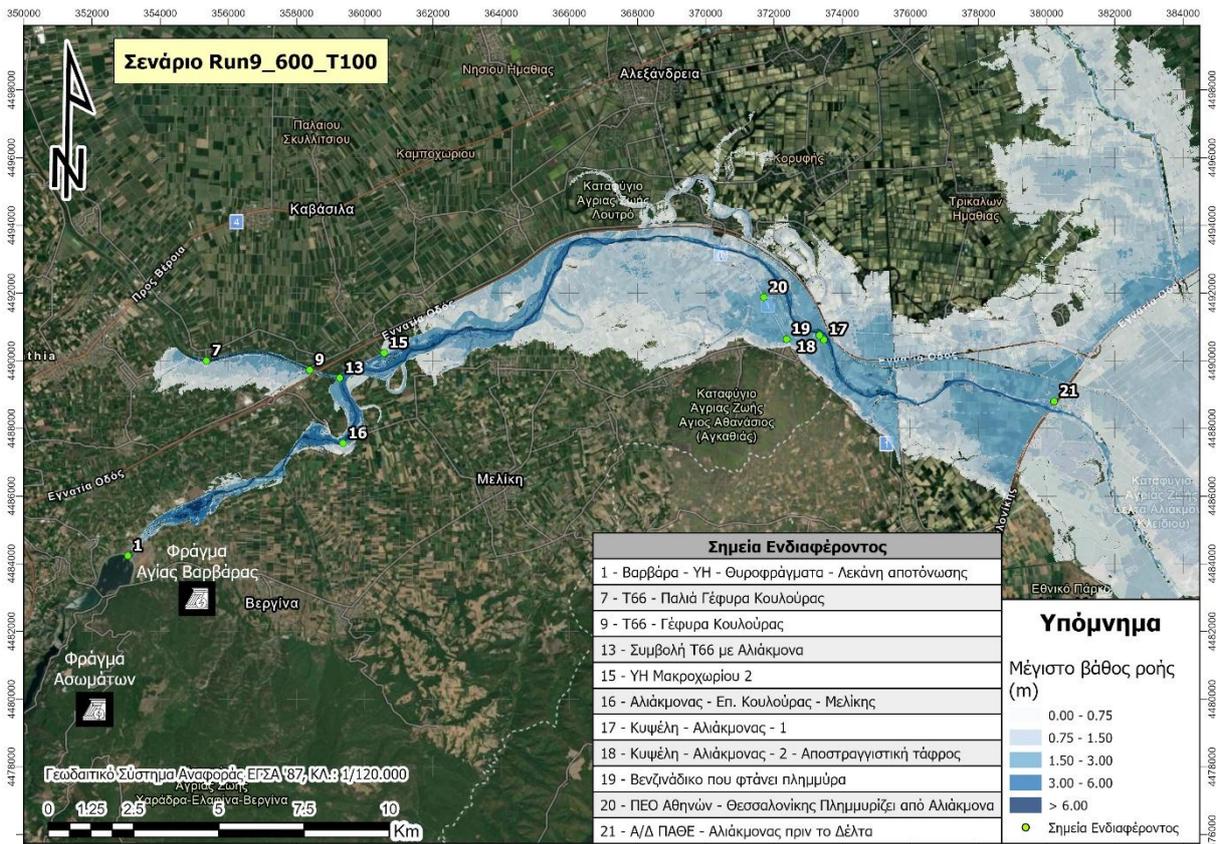


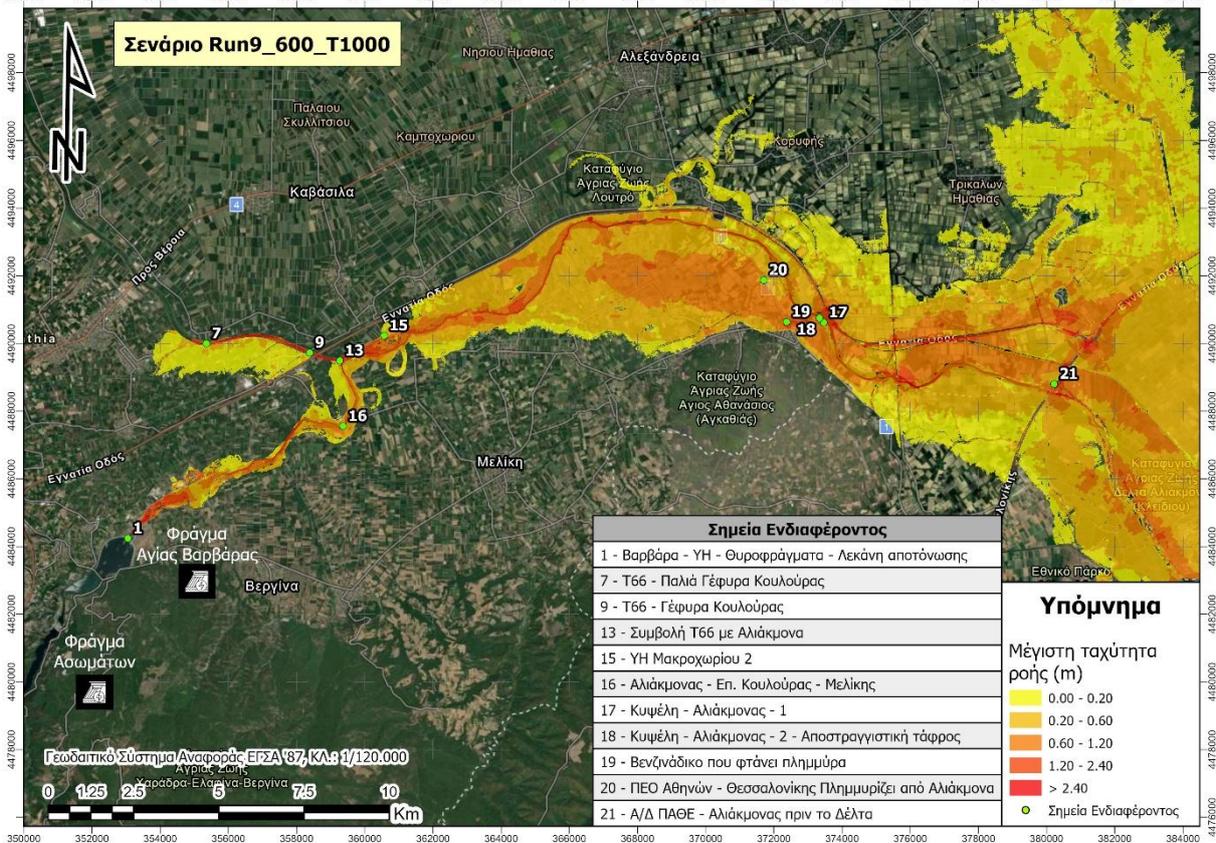
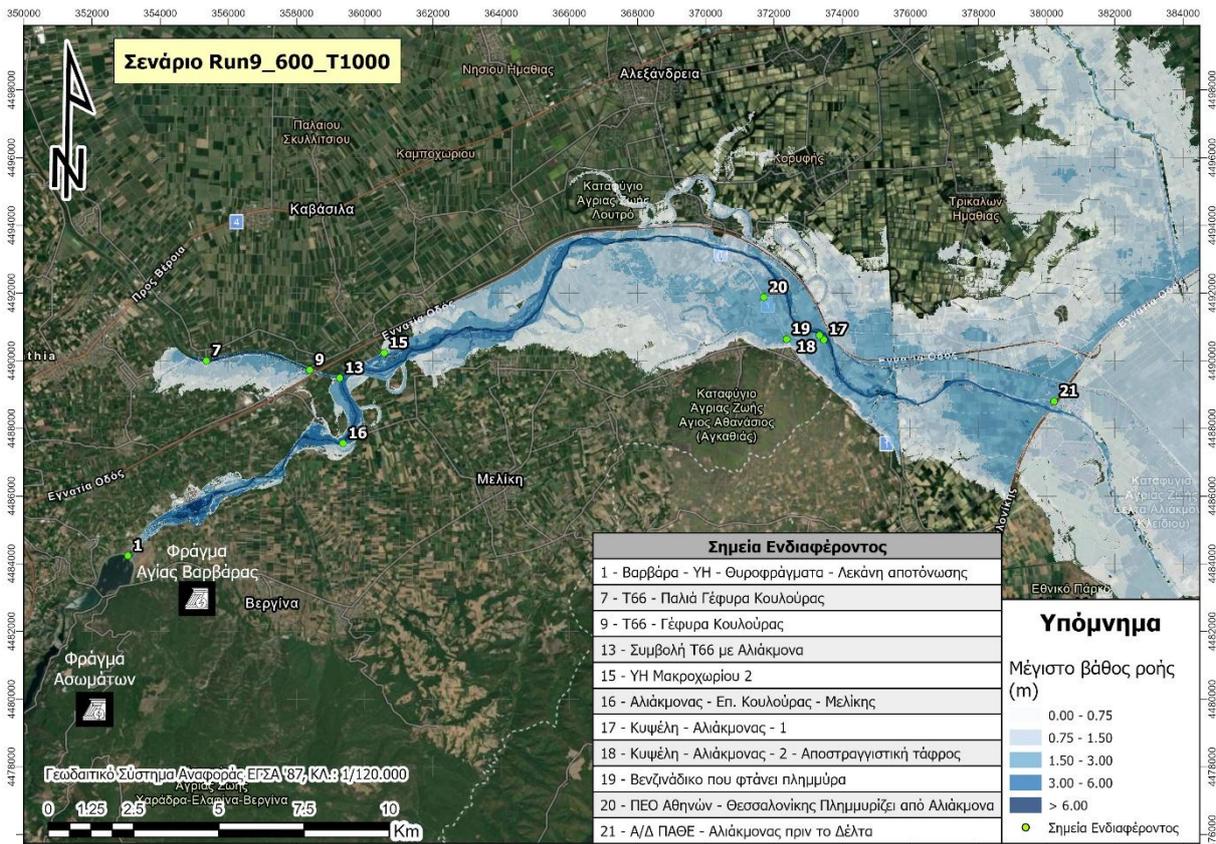


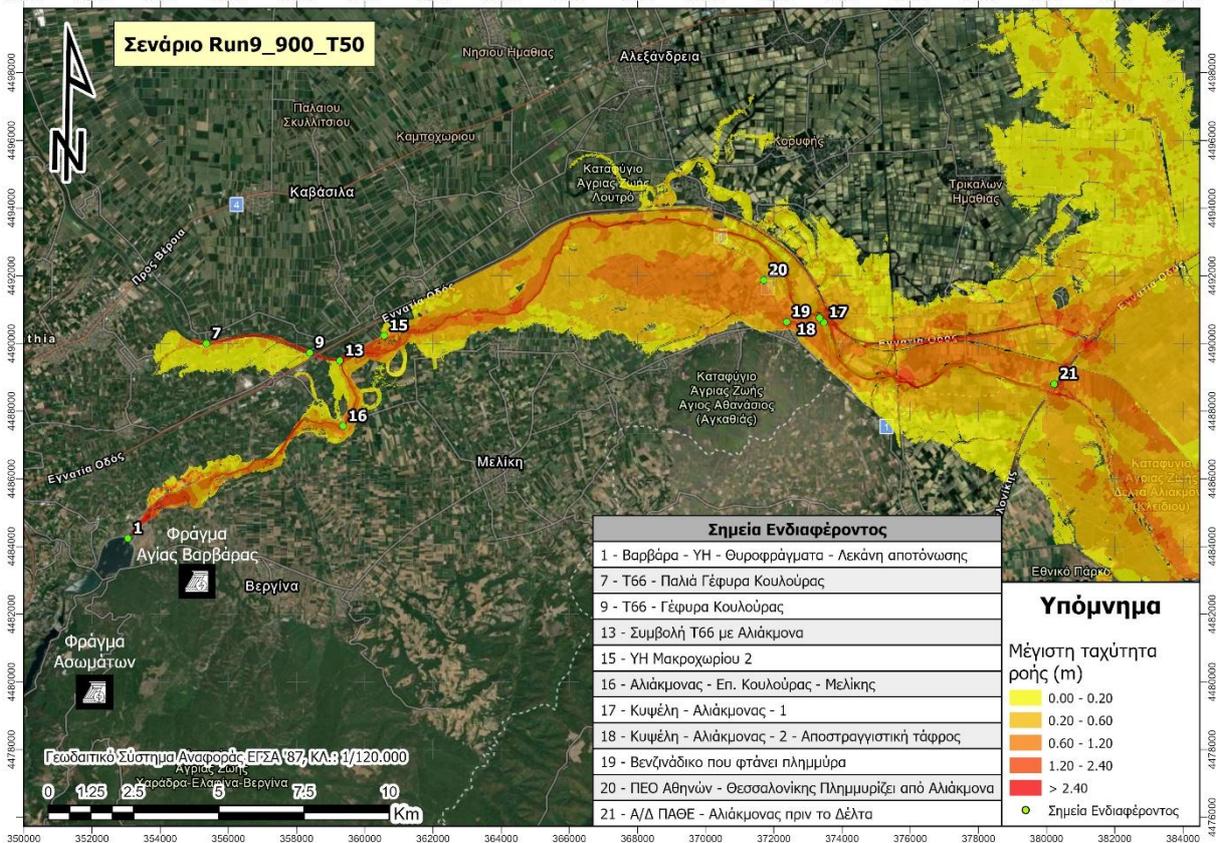
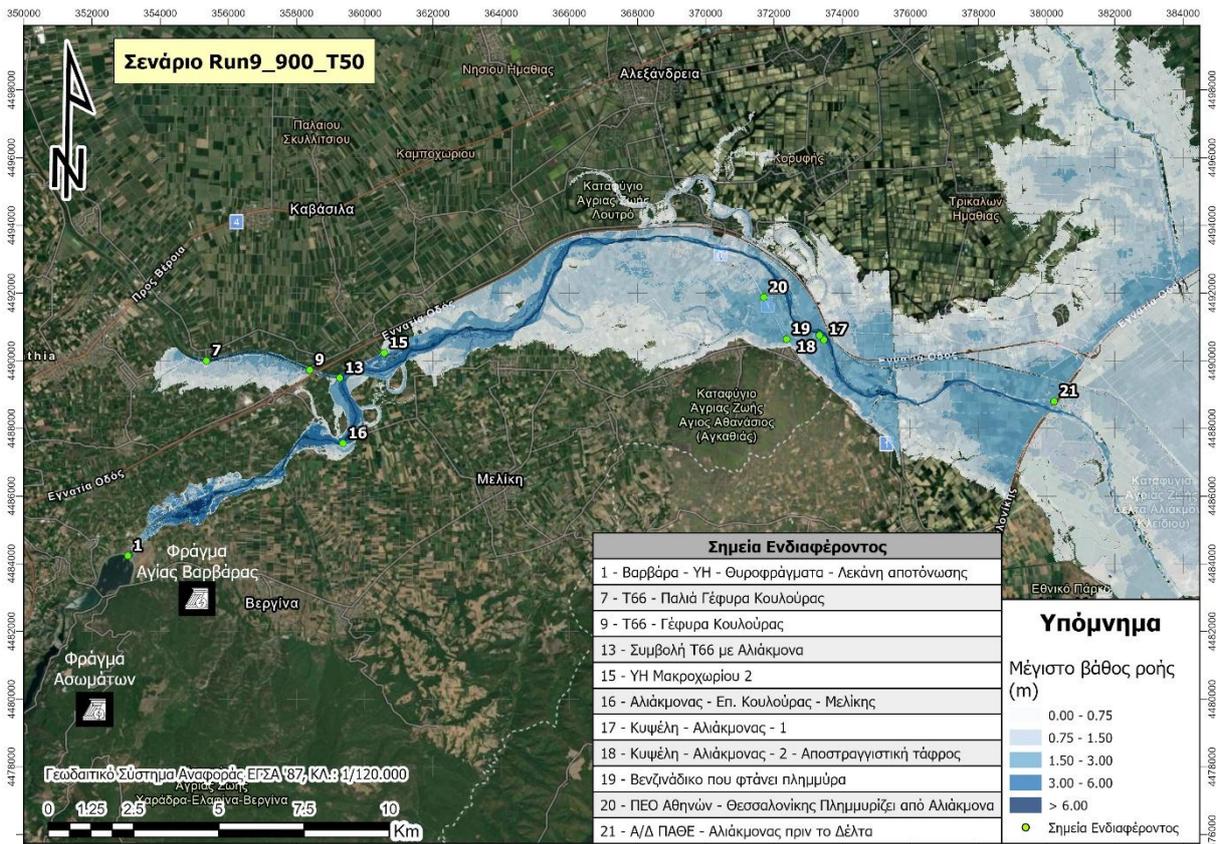


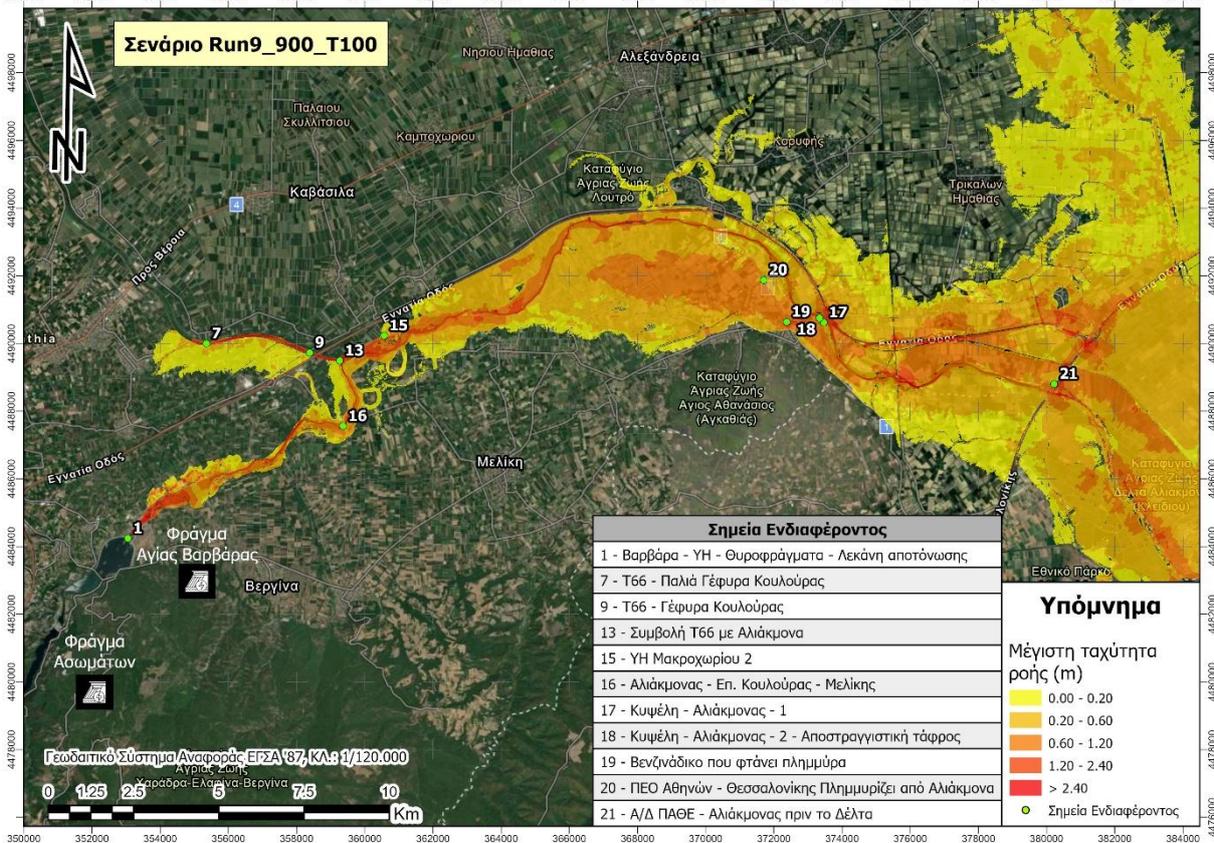
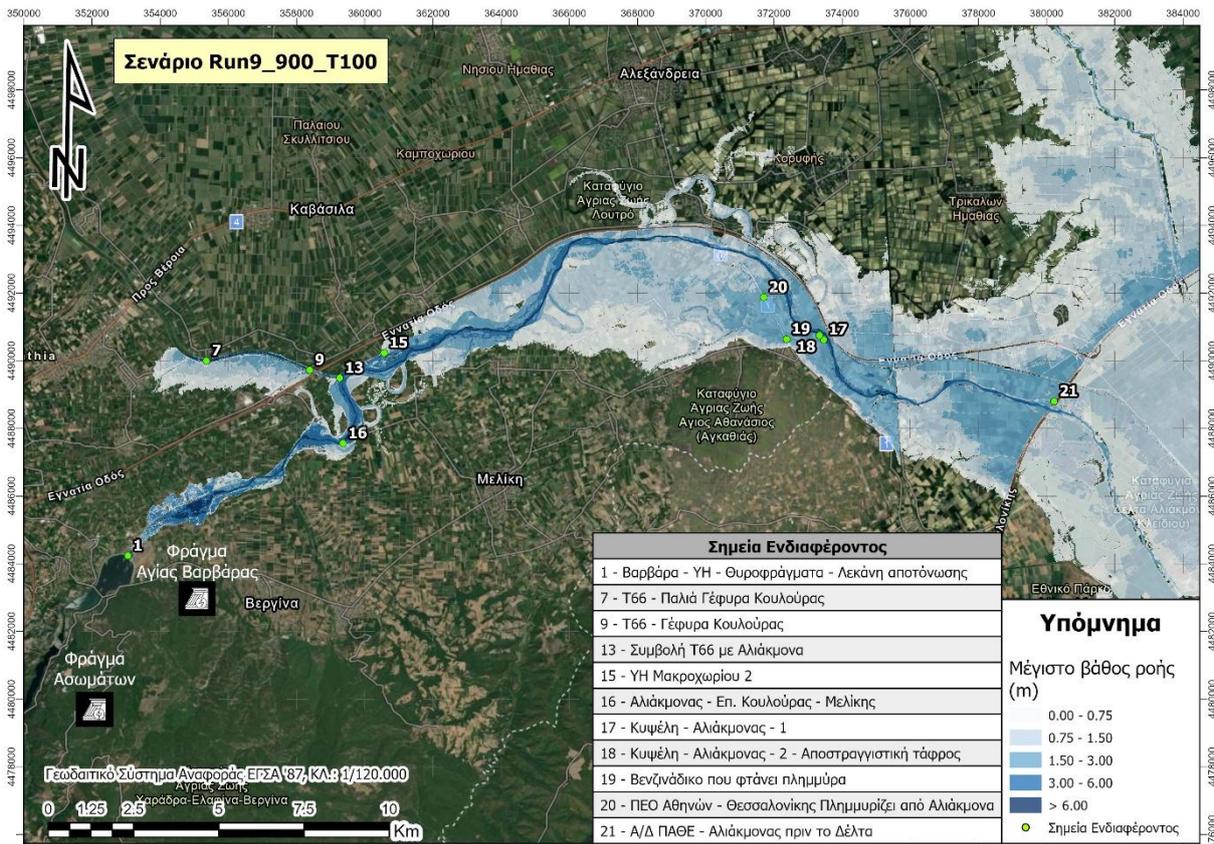


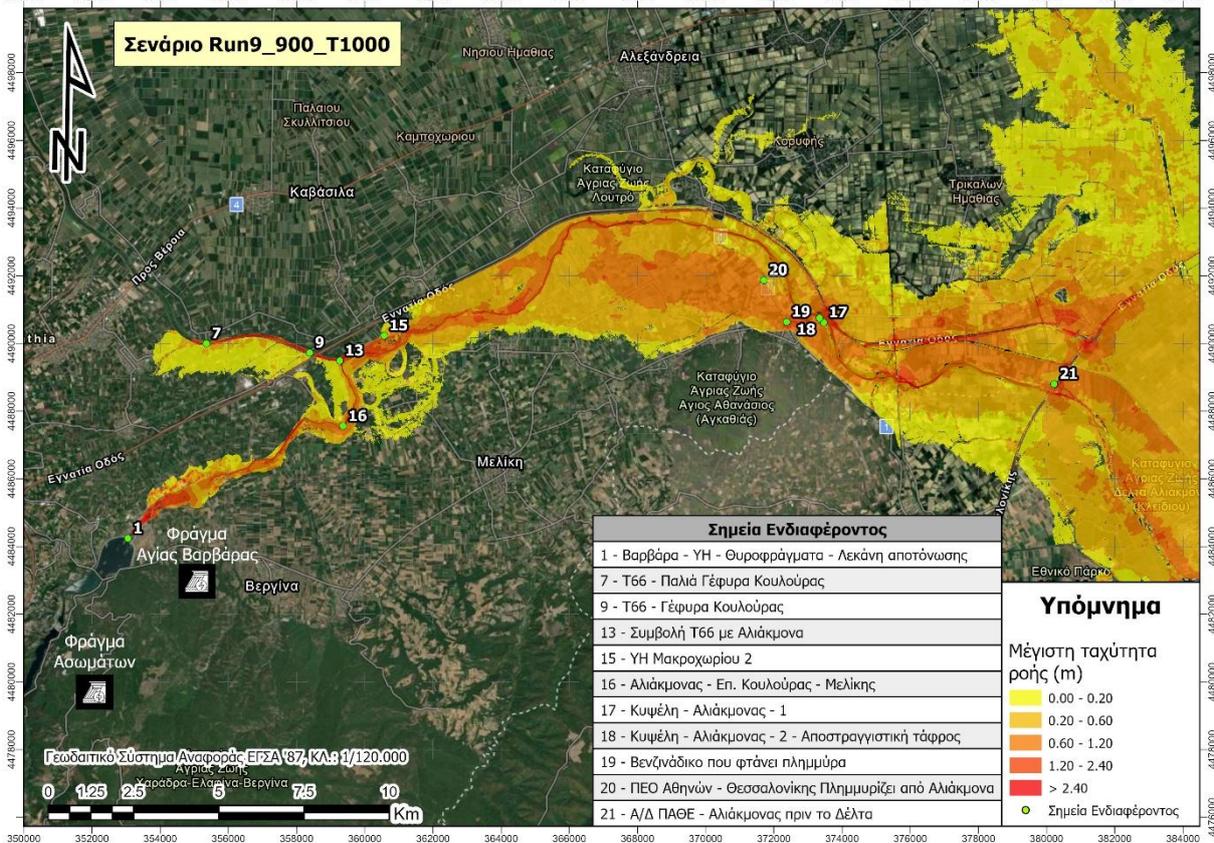
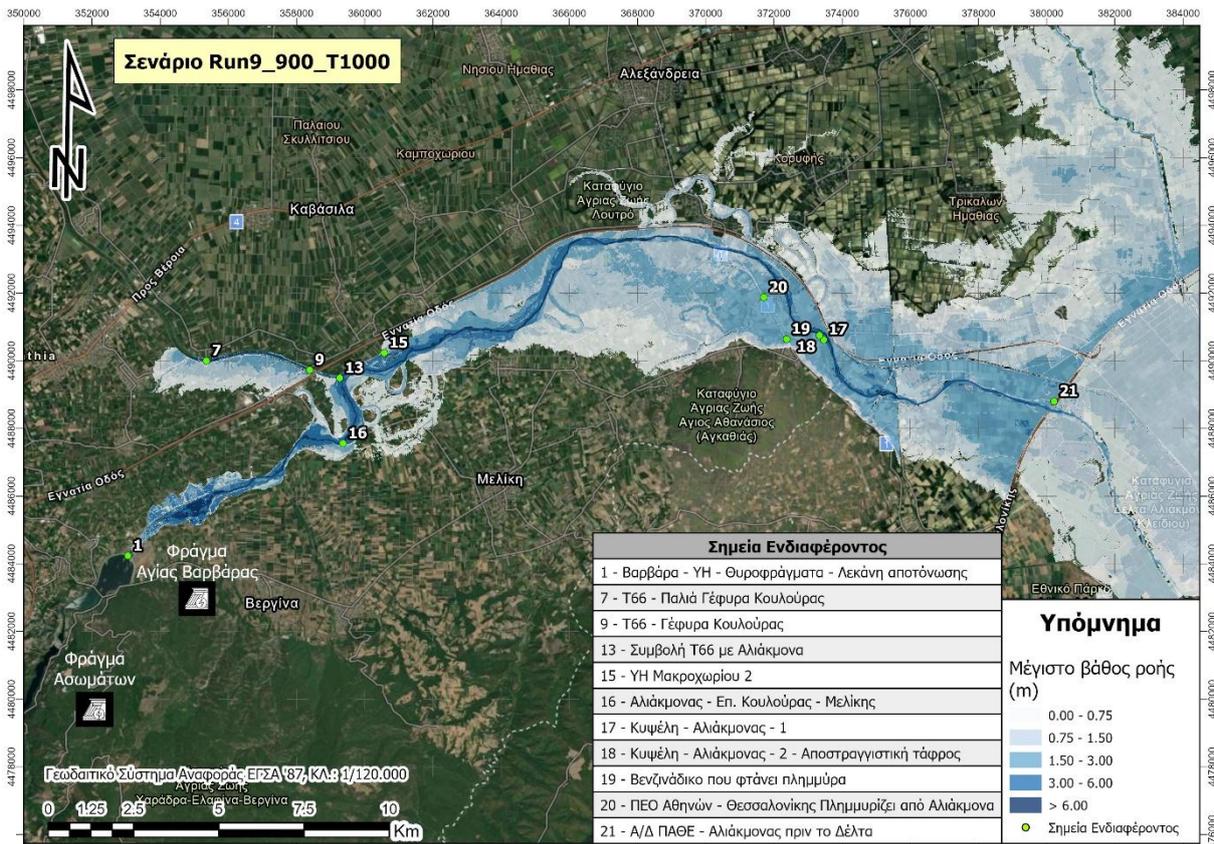


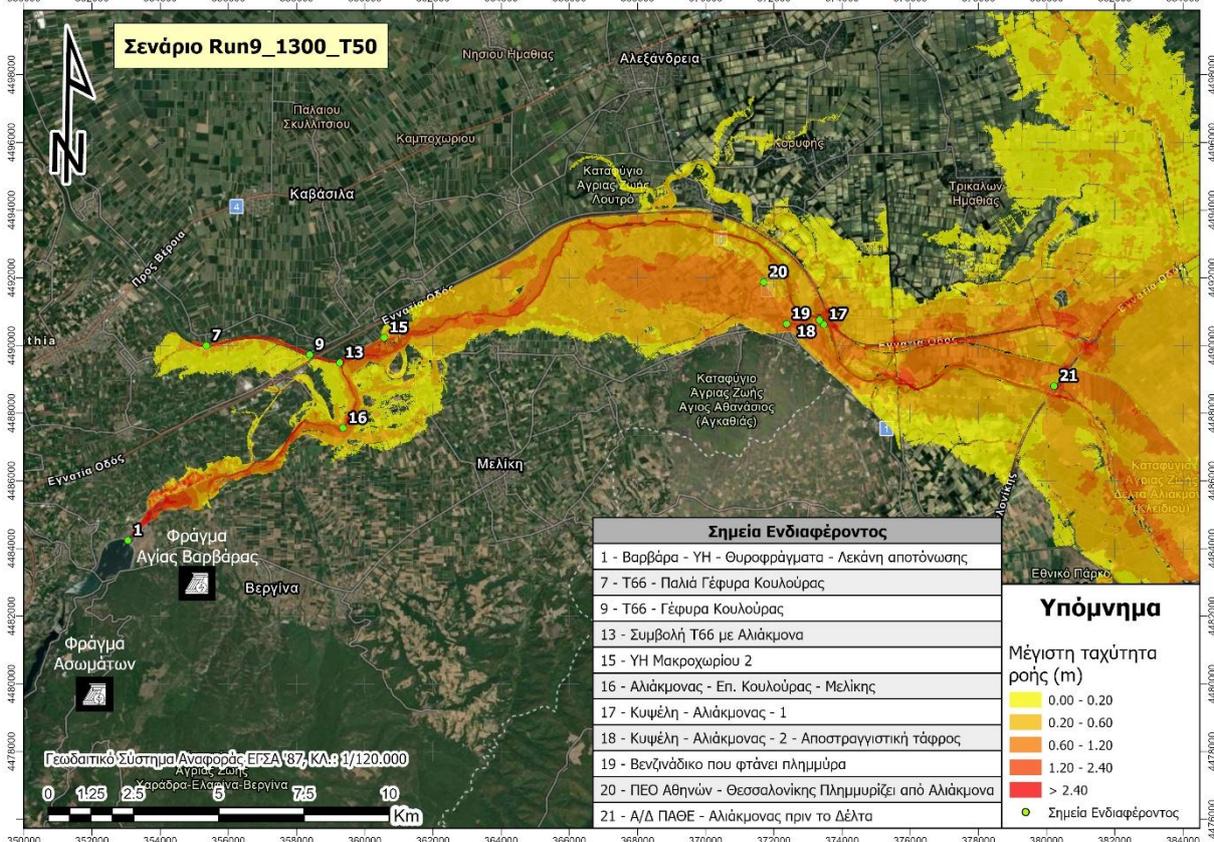
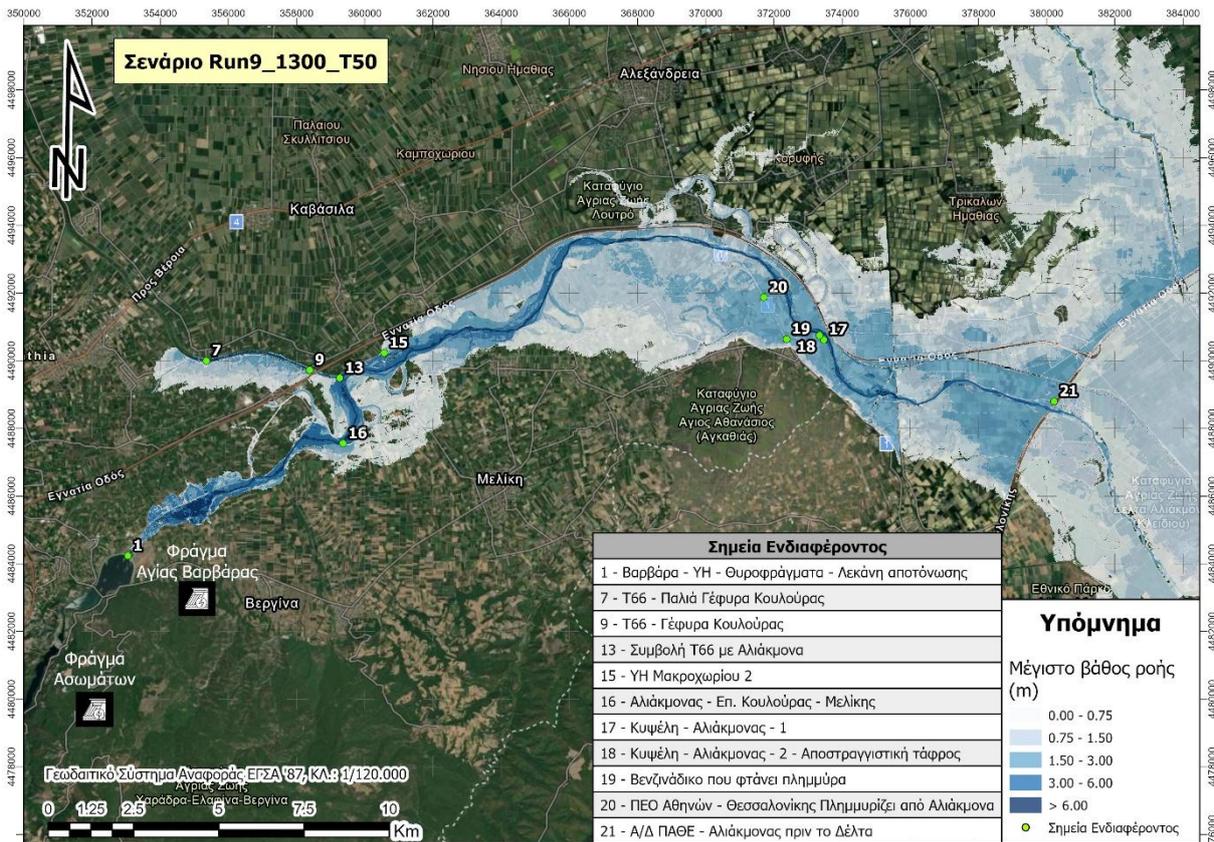


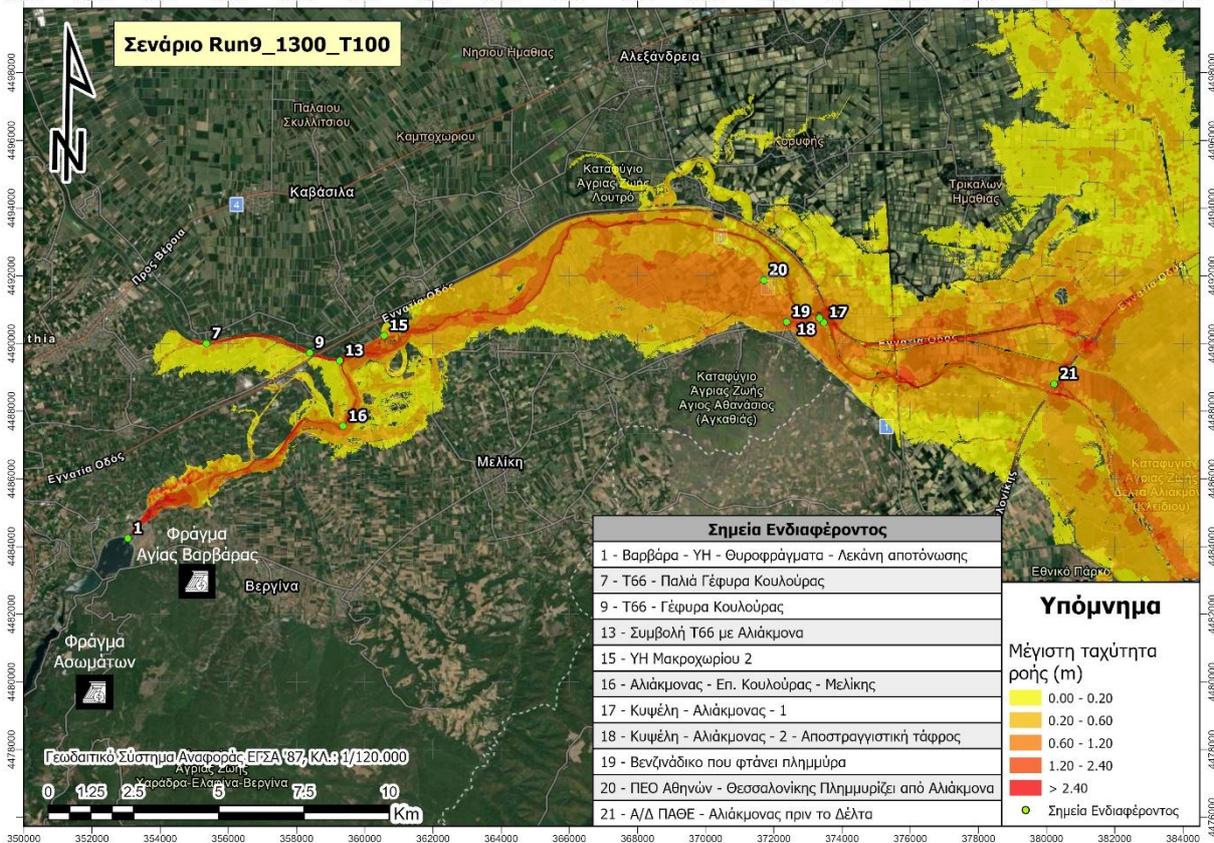
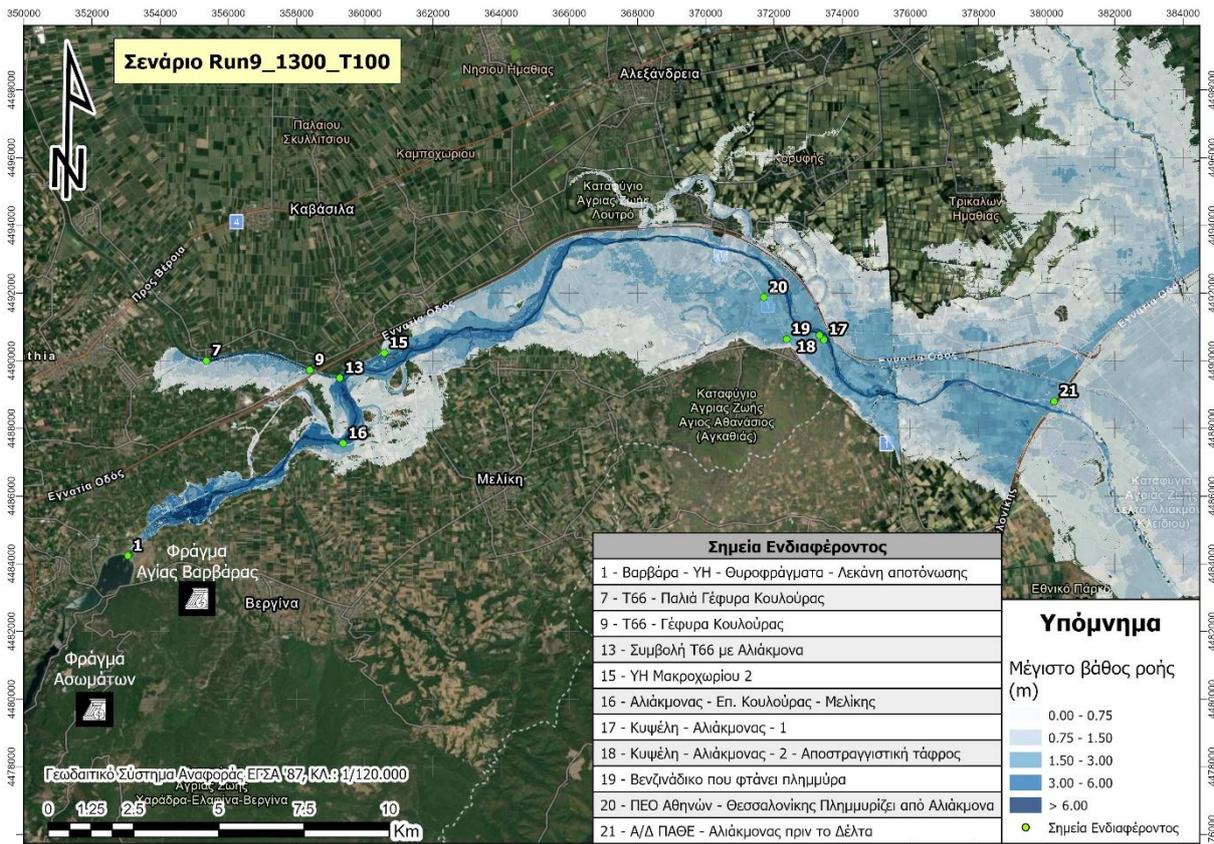


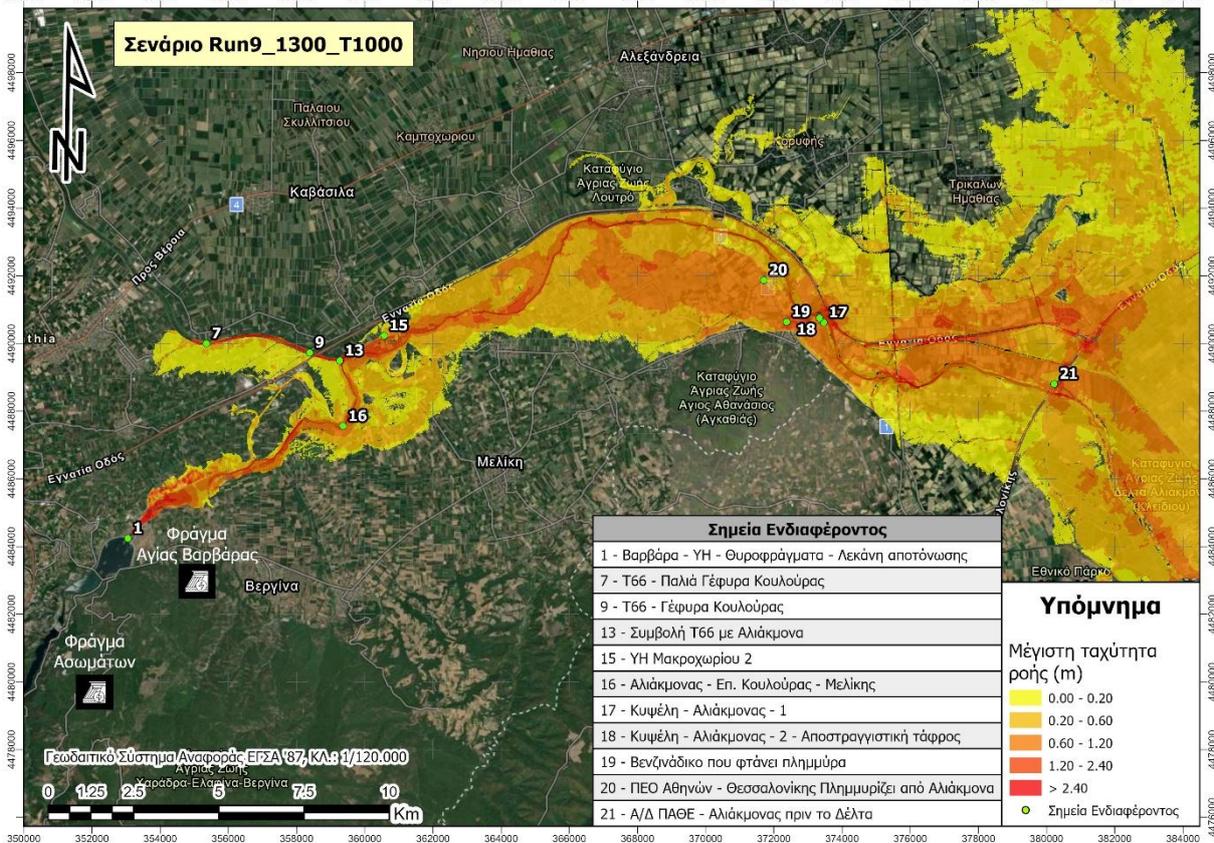
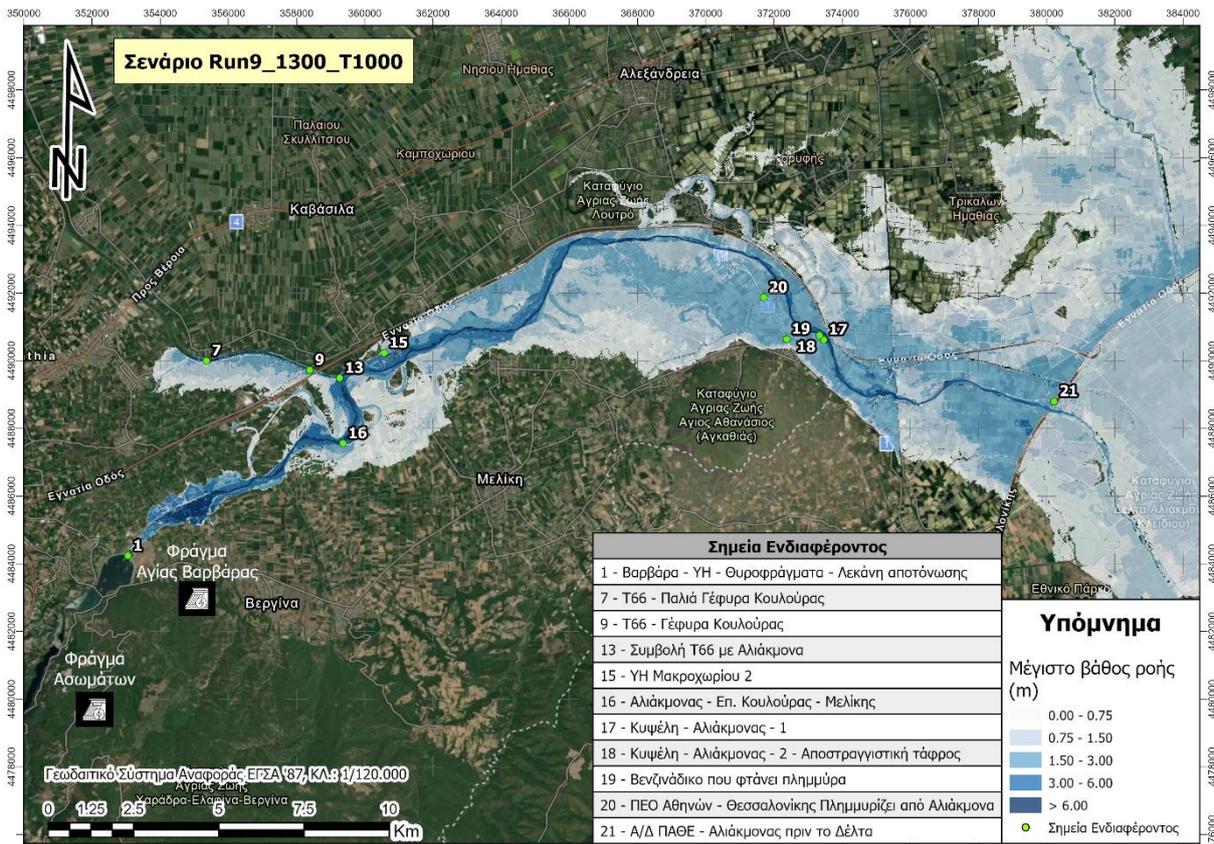












Παράρτημα Β: Μέγιστα βάθη και μέγιστες ταχύτητες ανά σενάριο και ανά σημείο ενδιαφέροντος

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run2_Base_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.25	6.87
Run2_Base_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.59	2.15
Run2_Base_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_Base_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	1.81	0.61
Run2_Base_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.09	0.05
Run2_Base_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	4.79	0.77
Run2_Base_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.47	0.50
Run2_Base_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.59	0.73
Run2_Base_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	0.71	1.31
Run2_Base_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.46	0.29
Run2_Base_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.64	1.02
Run2_Base_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.31	6.96
Run2_Base_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.60	2.14
Run2_Base_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_Base_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	1.86	0.59
Run2_Base_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.02	0.12
Run2_Base_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	4.86	0.76
Run2_Base_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.60	0.52
Run2_Base_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.72	0.77
Run2_Base_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	0.82	1.38
Run2_Base_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.55	0.32
Run2_Base_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.77	1.05
Run2_Base_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.08	16.21
Run2_Base_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run2_Base_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run2_Base_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.12	0.76
Run2_Base_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.32	0.18
Run2_Base_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.32	0.94
Run2_Base_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.91	0.58
Run2_Base_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.03	0.86
Run2_Base_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.13	1.43
Run2_Base_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.83	0.40
Run2_Base_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.95	1.08
Run2_300_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.54	2.25
Run2_300_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.59	2.15
Run2_300_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_300_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.16	1.01
Run2_300_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.24	0.18
Run2_300_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.50	1.77
Run2_300_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.69	0.53
Run2_300_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.81	0.78
Run2_300_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	0.91	1.36
Run2_300_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.63	0.35
Run2_300_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.81	1.06
Run2_300_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.56	2.31
Run2_300_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.60	2.14
Run2_300_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run2_300_T100	13 - Συμβολή T66 με Αλιάκμονα	2.22	1.02
Run2_300_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.30	0.19
Run2_300_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.62	1.76
Run2_300_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.79	0.55
Run2_300_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.90	0.81
Run2_300_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.00	1.40
Run2_300_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.71	0.36
Run2_300_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.90	1.07
Run2_300_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.66	2.57
Run2_300_T1000	7 - T66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run2_300_T1000	9 - T66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run2_300_T1000	13 - Συμβολή T66 με Αλιάκμονα	2.53	1.11
Run2_300_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.56	0.25
Run2_300_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.19	1.76
Run2_300_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.03	0.60
Run2_300_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.14	0.86
Run2_300_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.25	1.40
Run2_300_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.96	0.44
Run2_300_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.03	1.09
Run2_600_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.03	3.31
Run2_600_T50	7 - T66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.59	2.15
Run2_600_T50	9 - T66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_600_T50	13 - Συμβολή T66 με Αλιάκμονα	2.73	1.41
Run2_600_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.58	0.28
Run2_600_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.63	2.13
Run2_600_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.91	0.57
Run2_600_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.02	0.81
Run2_600_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.12	1.36
Run2_600_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.83	0.39
Run2_600_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.96	1.08
Run2_600_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.05	3.34
Run2_600_T100	7 - T66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.60	2.14
Run2_600_T100	9 - T66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_600_T100	13 - Συμβολή T66 με Αλιάκμονα	2.80	1.41
Run2_600_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.63	0.29
Run2_600_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.73	2.13
Run2_600_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.96	0.58
Run2_600_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.08	0.82
Run2_600_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.18	1.38
Run2_600_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.89	0.42
Run2_600_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.01	1.08
Run2_600_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.14	3.47
Run2_600_T1000	7 - T66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run2_600_T1000	9 - T66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run2_600_T1000	13 - Συμβολή T66 με Αλιάκμονα	3.11	1.41
Run2_600_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.87	0.35
Run2_600_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.20	2.13
Run2_600_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.14	0.63
Run2_600_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.25	0.89
Run2_600_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.39	1.41
Run2_600_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.11	0.48
Run2_600_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.09	1.09

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run2_900_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.42	3.98
Run2_900_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.59	2.15
Run2_900_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_900_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.20	1.67
Run2_900_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.85	0.37
Run2_900_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.40	2.31
Run2_900_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.04	0.60
Run2_900_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.15	0.86
Run2_900_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.27	1.38
Run2_900_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.98	0.46
Run2_900_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.04	1.09
Run2_900_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.44	4.00
Run2_900_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.60	2.14
Run2_900_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.19	0.64
Run2_900_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.26	1.67
Run2_900_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.90	0.38
Run2_900_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.49	2.31
Run2_900_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.07	0.61
Run2_900_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.19	0.87
Run2_900_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.31	1.39
Run2_900_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.02	0.47
Run2_900_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.07	1.09
Run2_900_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.53	4.10
Run2_900_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run2_900_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.24	0.66
Run2_900_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.48	1.67
Run2_900_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.09	0.43
Run2_900_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.79	2.31
Run2_900_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.21	0.66
Run2_900_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.33	0.93
Run2_900_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.48	1.46
Run2_900_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.22	0.53
Run2_900_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.14	1.09
Run2_1300_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.96	4.49
Run2_1300_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.59	2.15
Run2_1300_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.20	0.64
Run2_1300_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.70	1.81
Run2_1300_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.19	0.49
Run2_1300_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.17	2.47
Run2_1300_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.16	0.64
Run2_1300_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.28	0.91
Run2_1300_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.43	1.48
Run2_1300_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.15	0.51
Run2_1300_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.12	1.09
Run2_1300_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.98	4.49
Run2_1300_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.60	2.14
Run2_1300_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.20	0.65
Run2_1300_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.74	1.81
Run2_1300_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.22	0.50
Run2_1300_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.23	2.47
Run2_1300_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.19	0.65
Run2_1300_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.30	0.92

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run2_1300_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.46	1.49
Run2_1300_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.19	0.52
Run2_1300_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.13	1.09
Run2_1300_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	2.07	4.54
Run2_1300_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run2_1300_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.25	0.66
Run2_1300_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.88	1.82
Run2_1300_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.39	0.55
Run2_1300_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.41	2.47
Run2_1300_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.30	0.70
Run2_1300_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.42	0.97
Run2_1300_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.61	1.57
Run2_1300_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.11	0.50
Run2_1300_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.19	1.09
Run5_Base_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.32	6.98
Run5_Base_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.61	2.16
Run5_Base_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.21	0.65
Run5_Base_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	1.90	0.59
Run5_Base_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.07	0.14
Run5_Base_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	4.92	0.75
Run5_Base_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.66	0.54
Run5_Base_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.78	0.79
Run5_Base_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	0.88	1.39
Run5_Base_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.60	0.34
Run5_Base_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.83	1.06
Run5_Base_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.03	6.98
Run5_Base_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.62	2.20
Run5_Base_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.22	0.65
Run5_Base_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	1.97	0.64
Run5_Base_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.15	0.15
Run5_Base_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.03	0.81
Run5_Base_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.74	0.55
Run5_Base_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.86	0.81
Run5_Base_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	0.96	1.41
Run5_Base_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.67	0.36
Run5_Base_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.87	1.07
Run5_Base_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.15	16.22
Run5_Base_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.69	2.14
Run5_Base_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.29	0.68
Run5_Base_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.28	0.86
Run5_Base_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.47	0.22
Run5_Base_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.62	1.12
Run5_Base_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.06	0.61
Run5_Base_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.18	0.88
Run5_Base_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.29	1.39
Run5_Base_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.00	0.45
Run5_Base_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.05	1.09
Run5_300_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.56	2.32
Run5_300_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.61	2.16
Run5_300_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.21	0.65
Run5_300_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.27	1.02
Run5_300_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.35	0.20

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run5_300_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.72	1.76
Run5_300_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.84	0.56
Run5_300_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.95	0.81
Run5_300_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.05	1.39
Run5_300_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.76	0.37
Run5_300_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.93	1.08
Run5_300_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.59	2.38
Run5_300_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.62	2.20
Run5_300_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.22	0.65
Run5_300_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.35	1.02
Run5_300_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.42	0.22
Run5_300_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.86	1.76
Run5_300_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.90	0.57
Run5_300_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.02	0.82
Run5_300_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.11	1.39
Run5_300_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.82	0.38
Run5_300_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.96	1.08
Run5_300_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.66	2.57
Run5_300_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run5_300_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run5_300_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.53	1.11
Run5_300_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.56	0.25
Run5_300_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.19	1.76
Run5_300_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.03	0.60
Run5_300_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.14	0.86
Run5_300_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.25	1.40
Run5_300_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.96	0.44
Run5_300_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.03	1.09
Run5_600_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.05	3.35
Run5_600_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.61	2.16
Run5_600_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.21	0.65
Run5_600_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.86	1.42
Run5_600_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.67	0.30
Run5_600_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.82	2.13
Run5_600_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.00	0.59
Run5_600_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.11	0.84
Run5_600_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.22	1.38
Run5_600_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.93	0.43
Run5_600_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.03	1.09
Run5_600_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.08	3.38
Run5_600_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.62	2.20
Run5_600_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.22	0.65
Run5_600_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.94	1.41
Run5_600_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.73	0.31
Run5_600_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.94	2.13
Run5_600_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.04	0.60
Run5_600_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.16	0.85
Run5_600_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.27	1.38
Run5_600_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.99	0.45
Run5_600_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.05	1.09
Run5_600_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.17	3.52
Run5_600_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.69	2.14

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run5_600_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.29	0.68
Run5_600_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.25	1.44
Run5_600_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.99	0.38
Run5_600_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.39	2.13
Run5_600_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.22	0.66
Run5_600_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.34	0.93
Run5_600_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.50	1.46
Run5_600_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.23	0.51
Run5_600_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.14	1.09
Run5_900_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.44	4.00
Run5_900_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.61	2.16
Run5_900_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.21	0.65
Run5_900_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.31	1.67
Run5_900_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.94	0.39
Run5_900_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.55	2.31
Run5_900_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.10	0.62
Run5_900_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.22	0.88
Run5_900_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.34	1.40
Run5_900_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.06	0.48
Run5_900_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.08	1.09
Run5_900_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.46	4.03
Run5_900_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.62	2.20
Run5_900_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.22	0.65
Run5_900_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.37	1.68
Run5_900_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.99	0.41
Run5_900_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.63	2.31
Run5_900_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.14	0.63
Run5_900_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.25	0.90
Run5_900_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.39	1.42
Run5_900_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.11	0.49
Run5_900_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.10	1.09
Run5_900_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.55	4.13
Run5_900_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.69	2.14
Run5_900_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.29	0.68
Run5_900_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.57	1.67
Run5_900_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.19	0.46
Run5_900_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.89	2.31
Run5_900_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.28	0.69
Run5_900_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.40	0.96
Run5_900_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.58	1.51
Run5_900_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.32	0.56
Run5_900_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.18	1.09
Run5_1300_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.98	4.50
Run5_1300_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.61	2.16
Run5_1300_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.22	0.65
Run5_1300_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.77	1.82
Run5_1300_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.26	0.51
Run5_1300_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.27	2.47
Run5_1300_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.21	0.66
Run5_1300_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.33	0.93
Run5_1300_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.48	1.51
Run5_1300_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.22	0.53

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run5_1300_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.14	1.09
Run5_1300_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	2.01	4.50
Run5_1300_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.62	2.19
Run5_1300_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run5_1300_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.81	1.82
Run5_1300_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.30	0.53
Run5_1300_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.32	2.47
Run5_1300_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.24	0.67
Run5_1300_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.36	0.94
Run5_1300_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.52	1.53
Run5_1300_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.26	0.55
Run5_1300_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.16	1.09
Run5_1300_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	2.11	4.55
Run5_1300_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.69	2.14
Run5_1300_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.30	0.68
Run5_1300_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.94	1.81
Run5_1300_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.47	0.57
Run5_1300_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.48	2.47
Run5_1300_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.36	0.72
Run5_1300_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.48	1.01
Run5_1300_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.69	1.62
Run5_1300_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	0.10	0.52
Run5_1300_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.22	1.09
Run9_Base_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.04	7.00
Run9_Base_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.63	2.17
Run9_Base_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run9_Base_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.01	0.67
Run9_Base_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.20	0.16
Run9_Base_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.11	0.84
Run9_Base_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.82	0.55
Run9_Base_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	1.93	0.81
Run9_Base_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.03	1.35
Run9_Base_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.73	0.36
Run9_Base_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.91	1.07
Run9_Base_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.12	7.04
Run9_Base_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.65	2.15
Run9_Base_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.25	0.66
Run9_Base_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.09	0.72
Run9_Base_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.29	0.17
Run9_Base_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.25	0.90
Run9_Base_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.91	0.57
Run9_Base_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.03	0.83
Run9_Base_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.12	1.35
Run9_Base_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.83	0.38
Run9_Base_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.96	1.08
Run9_Base_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.21	16.24
Run9_Base_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.73	2.14
Run9_Base_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.34	0.69
Run9_Base_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.41	0.93
Run9_Base_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.58	0.24
Run9_Base_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.83	1.25
Run9_Base_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.14	0.63

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run9_Base_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.26	0.90
Run9_Base_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.39	1.41
Run9_Base_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.10	0.47
Run9_Base_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.10	1.09
Run9_300_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.59	2.38
Run9_300_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.63	2.17
Run9_300_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run9_300_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.40	1.03
Run9_300_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.46	0.23
Run9_300_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	5.94	1.74
Run9_300_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	1.95	0.58
Run9_300_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.07	0.83
Run9_300_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.17	1.36
Run9_300_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.87	0.41
Run9_300_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	0.99	1.08
Run9_300_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.61	2.45
Run9_300_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.65	2.15
Run9_300_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.25	0.66
Run9_300_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.48	1.08
Run9_300_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.53	0.24
Run9_300_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.09	1.74
Run9_300_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.02	0.59
Run9_300_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.13	0.85
Run9_300_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.24	1.36
Run9_300_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	1.95	0.43
Run9_300_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.03	1.09
Run9_300_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	0.72	2.70
Run9_300_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.73	2.14
Run9_300_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.34	0.69
Run9_300_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.83	1.22
Run9_300_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.79	0.31
Run9_300_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	6.67	1.74
Run9_300_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.20	0.65
Run9_300_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.32	0.93
Run9_300_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.46	1.45
Run9_300_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.19	0.50
Run9_300_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.14	1.09
Run9_600_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.08	3.38
Run9_600_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.63	2.17
Run9_600_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.23	0.66
Run9_600_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	2.98	1.40
Run9_600_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.77	0.32
Run9_600_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.01	2.12
Run9_600_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.08	0.61
Run9_600_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.19	0.87
Run9_600_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.31	1.37
Run9_600_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.03	0.46
Run9_600_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.07	1.09
Run9_600_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.10	3.41
Run9_600_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.65	2.15
Run9_600_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.25	0.66
Run9_600_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.06	1.40

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run9_600_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	0.83	0.34
Run9_600_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.13	2.12
Run9_600_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.12	0.63
Run9_600_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.24	0.89
Run9_600_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.37	1.40
Run9_600_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.09	0.47
Run9_600_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.09	1.09
Run9_600_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.19	3.55
Run9_600_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.73	2.14
Run9_600_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.34	0.69
Run9_600_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.35	1.46
Run9_600_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.07	0.41
Run9_600_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.52	2.12
Run9_600_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.27	0.68
Run9_600_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.39	0.96
Run9_600_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.57	1.51
Run9_600_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.31	0.54
Run9_600_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.18	1.09
Run9_900_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.46	4.03
Run9_900_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run9_900_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.24	0.66
Run9_900_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.40	1.66
Run9_900_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.02	0.41
Run9_900_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.67	2.30
Run9_900_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.16	0.64
Run9_900_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.28	0.91
Run9_900_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.42	1.44
Run9_900_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.15	0.50
Run9_900_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.12	1.09
Run9_900_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.48	4.05
Run9_900_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.65	2.15
Run9_900_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.25	0.66
Run9_900_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.45	1.66
Run9_900_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.07	0.42
Run9_900_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	7.74	2.30
Run9_900_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.20	0.65
Run9_900_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.32	0.92
Run9_900_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.47	1.46
Run9_900_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.20	0.52
Run9_900_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.14	1.09
Run9_900_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	1.58	4.16
Run9_900_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.73	2.14
Run9_900_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.35	0.70
Run9_900_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.66	1.66
Run9_900_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.26	0.49
Run9_900_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.01	2.30
Run9_900_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.33	0.71
Run9_900_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.44	0.99
Run9_900_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.64	1.56
Run9_900_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.09	0.51
Run9_900_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.20	1.09
Run9_1300_T50	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	2.01	4.50

Σενάριο	Σημείο ενδιαφέροντος	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/s)
Run9_1300_T50	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.64	2.17
Run9_1300_T50	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.25	0.66
Run9_1300_T50	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.83	1.81
Run9_1300_T50	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.32	0.53
Run9_1300_T50	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.33	2.46
Run9_1300_T50	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.26	0.68
Run9_1300_T50	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.38	0.95
Run9_1300_T50	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.55	1.54
Run9_1300_T50	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.29	0.56
Run9_1300_T50	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.17	1.09
Run9_1300_T100	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	2.03	4.51
Run9_1300_T100	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.65	2.15
Run9_1300_T100	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.26	0.67
Run9_1300_T100	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.86	1.80
Run9_1300_T100	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.36	0.54
Run9_1300_T100	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.37	2.46
Run9_1300_T100	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.29	0.69
Run9_1300_T100	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.41	0.97
Run9_1300_T100	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.59	1.57
Run9_1300_T100	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	2.34	0.57
Run9_1300_T100	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.18	1.09
Run9_1300_T1000	1 - Βαρβάρα - ΥΗ - Θυροφράγματα - Λεκάνη αποτόνωσης	2.15	4.54
Run9_1300_T1000	7 - Τ66 - Παλιά Γέφυρα Κουλούρας	8.74	2.14
Run9_1300_T1000	9 - Τ66 - Γέφυρα Κουλούρας	0.35	0.70
Run9_1300_T1000	13 - Συμβολή Τ66 με Αλιάκμονα	3.99	1.80
Run9_1300_T1000	15 - ΥΗ Μακροχωρίου 2	1.53	0.59
Run9_1300_T1000	16 - Αλιάκμονας - Επ. Κουλούρας - Μελίκης	8.52	2.46
Run9_1300_T1000	17 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 1	2.40	0.74
Run9_1300_T1000	18 - Κυψέλη - Αλιάκμονας - 2 - Αποστραγγιστική τάφρος	2.52	1.03
Run9_1300_T1000	19 - Βενζινάδικο που φτάνει πλημμύρα	1.75	1.65
Run9_1300_T1000	20 - ΠΕΟ Αθηνών - Θεσσαλονίκης Πλημμυρίζει από Αλιάκμονα	0.16	0.54
Run9_1300_T1000	21 - Α/Δ ΠΑΘΕ - Αλιάκμονας πριν το Δέλτα	1.24	1.10

Παράρτημα Γ: Πίνακες κατακλυζόμενων εκτάσεων ανά σενάριο, ανά κωδικό χρήσης γης κατά Corine και ανά κλάση μέγιστου βάθους και μέγιστης ταχύτητας ροής

01 – Run2_Base_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	539.88	1,232.91	32.90	8.23	4,006.12	36,848.82	56,430.29	479.86	13,710.64	705.24	2,750.40	496.17	3,850.78	5,289.42	8,038.99	9,764.32	144,184.96
0.00–0.75	491.49	633.31	24.81	8.23	1,580.23	23,737.78	43,964.67	444.74	8,137.56	236.96	1,044.94	93.06	925.65	4,165.15	1,997.13	9,764.32	97,250.02
0.75–1.50	48.40	441.92	6.82		2,246.24	11,286.89	8,685.38	34.65	4,361.08	128.92	609.29	157.12	1,976.46	1,124.27	1,611.52		32,718.95
1.50–3.00		157.66	1.28		178.54	1,819.00	3,736.12	0.42	964.06	313.41	1,087.88	140.96	721.56		2,203.54		11,324.45
3.00–6.00		0.02			1.11	5.14	44.11	0.04	171.56	25.41	8.28	94.88	218.79		1,688.72		2,258.06
>6.00						0.01			76.39	0.54		10.16	8.32		538.07		633.48
Ταχύτητα ροής (m/s)	539.88	1,232.91	32.90	8.23	4,006.12	36,848.82	56,430.29	479.86	13,710.64	705.24	2,750.40	496.17	3,850.78	5,289.42	8,038.99	9,764.32	144,184.96
0.00–0.20	364.72	319.18	10.83	5.42	60.71	21,676.30	35,072.47	58.11	6,600.48	214.12	478.64	72.03	1,004.75	533.96	1,426.17	6,589.68	74,487.60
0.20–0.60	159.33	491.21	7.09	2.82	2,791.24	12,022.28	16,245.71	419.86	6,690.18	249.11	1,993.57	298.59	1,812.15	4,338.72	3,015.59	3,172.36	53,709.81
0.60–1.20	11.52	290.70	1.53		1,085.02	3,132.24	4,944.06	1.65	226.48	242.00	248.06	119.76	932.13	416.46	2,127.43	2.28	13,781.33
1.20–2.40	4.31	102.24	1.25		69.14	14.35	154.54	0.23	132.91		30.12	5.78	99.52	0.28	1,189.03		1,803.70
>2.40		29.58	12.20			3.64	13.51		60.59		0.00		2.22		280.77		402.53
Άθροισμα	539.88	1,232.91	32.90	8.23	4,006.12	36,848.82	56,430.29	479.86	13,710.64	705.24	2,750.40	496.17	3,850.78	5,289.42	8,038.99	9,764.32	144,184.96

02 – Run2_Base_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	866.52	1,352.62	47.90	8.70	4,038.70	41,441.04	58,826.93	480.11	14,835.92	734.54	2,972.40	500.08	3,905.02	5,339.75	8,249.55	9,764.88	153,364.66
0.00–0.75	734.14	688.23	32.55	8.70	1,397.04	25,563.53	45,136.88	426.58	8,409.14	258.99	1,150.36	86.89	875.51	3,902.14	2,018.38	9,764.88	100,453.94
0.75–1.50	130.86	460.81	13.06		2,260.97	13,303.20	8,962.05	53.05	5,016.66	125.35	616.89	155.02	2,037.66	1,437.61	1,566.40		36,139.59
1.50–3.00	1.53	203.51	2.29		379.38	2,567.64	4,682.56	0.43	1,149.08	320.52	1,195.14	146.06	749.40		2,344.43		13,741.98
3.00–6.00		0.07	0.01		1.31	6.65	45.44	0.04	183.92	28.98	10.02	101.78	233.44		1,758.45		2,370.10
>6.00						0.01			77.12	0.69		10.33	9.01		561.90		659.05
Ταχύτητα ροής (m/s)	866.52	1,352.62	47.90	8.70	4,038.70	41,441.04	58,826.93	480.11	14,835.92	734.54	2,972.40	500.08	3,905.02	5,339.75	8,249.55	9,764.88	153,364.66
0.00–0.20	568.82	353.44	17.29	5.08	63.44	24,423.35	35,150.98	39.91	6,948.08	190.45	586.48	65.37	933.33	476.29	1,356.18	5,661.78	76,840.25
0.20–0.60	261.40	499.70	11.15	3.62	2,733.66	12,986.10	17,966.03	438.14	7,449.17	284.45	2,023.61	300.81	1,884.68	4,421.94	3,197.00	4,093.19	58,554.66
0.60–1.20	30.40	324.04	1.71		1,166.80	4,004.46	5,502.52	1.82	249.23	259.60	324.12	128.16	971.08	441.22	2,160.85	9.90	15,575.92
1.20–2.40	5.91	138.99	1.58		72.75	22.74	190.99	0.24	137.08	0.03	37.84	5.74	111.52	0.30	1,234.66		1,960.36
>2.40		36.46	16.18		2.05	4.39	16.42		52.37		0.36		4.40		300.86		433.47
Άθροισμα	866.52	1,352.62	47.90	8.70	4,038.70	41,441.04	58,826.93	480.11	14,835.92	734.54	2,972.40	500.08	3,905.02	5,339.75	8,249.55	9,764.88	153,364.66

03 – Run2_Base_T1000

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,531.25	1,639.56	81.48	9.30	4,094.89	51,008.52	62,605.14	480.53	17,996.18	762.88	3,368.09	534.00	4,041.68	5,392.34	8,710.04	9,765.66	172,021.54
0.00–0.75	1,174.24	813.98	12.00	9.30	1,138.61	27,618.05	46,530.81	298.14	8,788.51	266.14	964.98	75.36	775.83	3,516.58	1,969.58	9,765.66	103,717.77
0.75–1.50	285.10	500.41	28.84		2,189.04	18,359.44	9,962.33	181.84	6,520.16	79.64	988.08	145.31	2,096.21	1,875.76	1,397.55		44,609.70
1.50–3.00	71.91	324.30	38.94		764.29	5,017.35	6,060.20	0.50	2,355.90	356.08	1,383.60	170.26	850.22		2,579.78		19,973.33
3.00–6.00		0.87	1.70		2.95	13.66	51.64	0.05	250.29	59.58	31.38	131.64	307.61		2,082.99		2,934.36
>6.00						0.02	0.16		81.32	1.46	0.06	11.42	11.80		680.13		786.38
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,531.25	1,639.56	81.48	9.30	4,094.89	51,008.52	62,605.14	480.53	17,996.18	762.88	3,368.09	534.00	4,041.68	5,392.34	8,710.04	9,765.66	172,021.54
0.00–0.20	896.42	374.58	24.54	4.91	57.57	28,034.88	32,508.08	1.50	7,932.27	50.78	288.21	59.52	902.68	315.30	1,245.49	2,930.68	75,627.42
0.20–0.60	466.87	556.86	26.60	4.39	2,556.33	16,686.10	23,431.30	476.01	9,454.25	382.88	2,491.29	320.46	1,956.15	4,587.97	3,488.08	6,759.29	73,644.82
0.60–1.20	157.32	406.22	3.37		1,409.78	6,242.75	6,364.94	2.81	410.01	315.07	530.06	147.78	1,006.07	488.46	2,294.11	75.69	19,854.44
1.20–2.40	10.64	228.42	2.50		71.21	40.24	273.72	0.21	149.39	14.16	56.31	6.24	172.47	0.60	1,325.78		2,351.89
>2.40		73.49	24.47			4.55	27.10		50.26		2.23		4.30		356.58		542.96
Άθροισμα	1,531.25	1,639.56	81.48	9.30	4,094.89	51,008.52	62,605.14	480.53	17,996.18	762.88	3,368.09	534.00	4,041.68	5,392.34	8,710.04	9,765.66	172,021.54

04 – Run2_300_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	822.72	1,411.26	93.80	8.81	4,056.47	44,177.36	59,623.82	480.30	15,527.51	748.88	3,084.12	519.87	4,144.48	5,353.03	8,607.41	9,765.04	158,424.87
0.00–0.75	761.57	714.53	9.91	8.81	1,334.90	26,688.52	45,478.51	398.21	8,880.13	261.46	1,092.16	78.15	891.02	3,829.71	1,909.70	9,765.04	102,102.34
0.75–1.50	60.32	459.53	12.46		2,229.95	14,436.71	9,107.74	81.60	4,999.03	116.95	730.24	154.20	2,085.87	1,523.32	1,461.20		37,459.11
1.50–3.00	0.83	237.09	60.84		490.05	3,044.15	4,991.32	0.45	1,337.00	333.07	1,249.29	156.51	853.19		2,484.26		15,238.05
3.00–6.00		0.12	10.58		1.56	7.96	46.25	0.04	230.05	36.50	12.44	120.05	303.07		2,123.72		2,892.34
>6.00						0.01			81.30	0.91		10.96	11.33		628.53		733.03
Ταχύτητα ροής (m/s)	822.72	1,411.26	93.80	8.81	4,056.47	44,177.36	59,623.82	480.30	15,527.51	748.88	3,084.12	519.87	4,144.48	5,353.03	8,607.41	9,765.04	158,424.87
0.00–0.20	496.81	398.15	12.60	5.00	64.03	27,860.62	36,987.56	22.69	6,999.71	153.83	690.45	49.09	950.39	522.10	1,383.88	5,368.94	81,965.86
0.20–0.60	274.37	500.35	38.17	3.80	2,717.29	12,072.10	16,949.16	455.27	8,026.46	303.13	1,990.59	288.48	2,051.81	4,379.64	3,130.78	4,374.97	57,556.39
0.60–1.20	44.55	310.01	16.10		1,205.33	4,220.74	5,461.94	2.13	307.88	291.88	360.22	174.78	1,002.23	450.99	2,364.98	21.12	16,234.87
1.20–2.40	6.99	162.34	26.92		69.82	19.50	205.08	0.21	147.95	0.04	42.14	7.52	135.96	0.30	1,494.99		2,319.76
>2.40		40.42				4.40	20.08		45.52		0.71		4.09		232.78		348.00
Άθροισμα	822.72	1,411.26	93.80	8.81	4,056.47	44,177.36	59,623.82	480.30	15,527.51	748.88	3,084.12	519.87	4,144.48	5,353.03	8,607.41	9,765.04	158,424.87

05 – Run2_300_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,199.33	1,523.90	95.53	9.14	4,075.26	47,357.78	60,866.88	480.40	16,452.54	754.69	3,267.07	525.16	4,208.16	5,378.78	8,725.56	9,765.46	164,685.66
0.00–0.75	1,054.94	775.48	9.02	9.14	1,215.52	27,578.45	45,888.40	370.92	8,954.80	264.57	1,156.81	73.92	848.74	3,630.83	1,932.89	9,765.46	103,529.90
0.75–1.50	141.84	469.89	11.76		2,242.58	15,974.32	9,325.04	108.97	5,606.94	109.58	787.67	153.79	2,130.53	1,747.96	1,396.42		40,207.29
1.50–3.00	2.55	278.23	59.19		615.21	3,795.25	5,605.60	0.46	1,563.91	338.25	1,305.19	161.14	891.56		2,559.72		17,176.26
3.00–6.00		0.30	15.56		1.95	9.74	47.84	0.05	244.32	41.28	17.40	125.16	325.41		2,170.47		2,999.50
>6.00						0.02			82.57	1.01		11.15	11.92		666.06		772.72
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,199.33	1,523.90	95.53	9.14	4,075.26	47,357.78	60,866.88	480.40	16,452.54	754.69	3,267.07	525.16	4,208.16	5,378.78	8,725.56	9,765.46	164,685.66
0.00–0.20	754.91	432.58	12.12	4.94	63.38	29,267.61	35,963.24	11.48	7,339.25	109.48	696.70	49.34	897.59	460.46	1,332.20	4,215.68	81,610.96
0.20–0.60	351.13	501.57	39.67	4.20	2,662.09	13,248.85	18,762.72	466.40	8,564.29	339.09	2,102.63	283.97	2,117.58	4,445.00	3,209.36	5,495.55	62,594.10
0.60–1.20	84.88	344.57	16.48		1,279.32	4,807.48	5,884.07	2.31	341.02	305.33	418.30	184.16	1,035.10	472.90	2,414.60	54.24	17,644.76
1.20–2.40	8.42	190.92	27.26		70.47	28.69	234.14	0.21	149.14	0.78	48.20	7.69	151.95	0.43	1,525.63		2,443.94
>2.40		54.26				5.16	22.70		58.84		1.25		5.94		243.75		391.90
Άθροισμα	1,199.33	1,523.90	95.53	9.14	4,075.26	47,357.78	60,866.88	480.40	16,452.54	754.69	3,267.07	525.16	4,208.16	5,378.78	8,725.56	9,765.46	164,685.66

06 – Run2_300_T1000

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,834.81	1,746.50	102.46	9.50	4,116.52	53,990.04	63,821.04	480.72	19,129.88	767.43	3,414.95	563.55	4,367.52	5,407.73	8,968.25	9,766.12	178,487.02
0.00–0.75	1,430.66	816.73	7.91	9.50	1,057.08	27,487.17	46,481.37	224.02	8,464.41	259.73	696.20	81.62	784.12	3,328.16	1,900.61	9,766.12	102,795.44
0.75–1.50	330.56	551.82	9.49		2,182.19	20,146.64	10,761.45	256.10	7,432.80	63.88	1,195.72	109.24	2,143.43	2,079.57	1,292.16		48,555.04
1.50–3.00	73.60	376.19	40.74		872.76	6,336.95	6,520.04	0.55	2,813.34	358.54	1,463.87	215.54	960.75		2,548.20		22,581.06
3.00–6.00		1.76	44.33		4.48	19.25	57.48	0.05	330.18	83.44	59.03	145.09	464.60		2,395.43		3,605.14
>6.00						0.02	0.70		89.15	1.83	0.13	12.06	14.60		831.84		950.34
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,834.81	1,746.50	102.46	9.50	4,116.52	53,990.04	63,821.04	480.72	19,129.88	767.43	3,414.95	563.55	4,367.52	5,407.73	8,968.25	9,766.12	178,487.02
0.00–0.20	782.54	324.12	11.07	4.84	56.91	28,268.93	32,989.60	0.35	8,248.80	28.63	130.69	63.14	839.30	312.72	1,132.20	592.92	73,786.77
0.20–0.60	622.56	612.40	42.65	4.66	2,462.63	18,876.02	23,850.86	476.88	10,149.68	379.20	2,546.32	278.82	2,222.97	4,579.68	3,475.51	9,053.25	79,634.08
0.60–1.20	416.49	454.32	20.32		1,509.81	6,782.34	6,646.34	3.27	518.04	336.70	674.99	212.27	1,086.28	514.35	2,518.35	119.95	21,813.82
1.20–2.40	13.22	252.67	28.42		87.17	56.21	301.32	0.22	154.21	22.90	59.99	9.31	212.46	0.99	1,555.77		2,754.84
>2.40		102.99				6.54	32.93		59.15		2.96		6.51		286.42		497.51
Άθροισμα	1,834.81	1,746.50	102.46	9.50	4,116.52	53,990.04	63,821.04	480.72	19,129.88	767.43	3,414.95	563.55	4,367.52	5,407.73	8,968.25	9,766.12	178,487.02

07 – Run2_600_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,313.12	1,597.16	108.83	9.30	4,095.50	49,972.01	61,999.78	480.55	17,670.42	763.87	3,402.35	547.21	4,511.43	5,392.90	8,904.88	9,765.70	170,535.03
0.00–0.75	1,233.49	782.35	8.02	9.30	1,134.92	27,580.01	46,215.92	290.02	9,068.11	265.99	1,010.67	65.74	873.01	3,487.80	1,868.89	9,765.70	103,659.94
0.75–1.50	77.31	495.72	8.05		2,200.08	17,597.16	9,678.37	189.98	6,118.55	83.09	978.40	131.66	2,125.06	1,905.11	1,255.61		42,844.15
1.50–3.00	2.32	318.28	23.72		757.68	4,781.32	6,053.76	0.50	2,047.51	356.52	1,382.43	197.07	979.12		2,462.82		19,363.04
3.00–6.00		0.82	68.85		2.82	13.50	51.58	0.05	345.14	56.87	30.79	140.91	518.78		2,415.82		3,645.94
>6.00			0.19			0.02	0.14		91.11	1.40	0.06	11.82	15.46		901.75		1,021.95
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,313.12	1,597.16	108.83	9.30	4,095.50	49,972.01	61,999.78	480.55	17,670.42	763.87	3,402.35	547.21	4,511.43	5,392.90	8,904.88	9,765.70	170,535.03
0.00–0.20	741.04	421.72	6.12	4.91	59.58	30,889.70	36,796.62	2.09	7,554.04	61.28	378.07	44.12	819.38	483.24	1,190.61	2,878.13	82,330.66
0.20–0.60	445.66	536.75	33.68	4.39	2,574.85	13,887.89	18,759.43	475.55	9,454.77	358.53	2,509.96	241.60	2,328.26	4,420.09	3,181.05	6,807.75	66,020.21
0.60–1.20	115.84	351.94	25.25		1,390.99	5,158.03	6,159.23	2.70	449.88	331.75	460.10	244.24	1,144.82	488.96	2,520.87	79.82	18,924.42
1.20–2.40	10.59	215.58	38.17		70.08	31.77	256.20	0.21	162.08	12.30	52.42	17.24	214.48	0.61	1,655.51		2,737.26
>2.40		71.18	5.60			4.62	28.29		49.65		1.80		4.50		356.84		522.48
Άθροισμα	1,313.12	1,597.16	108.83	9.30	4,095.50	49,972.01	61,999.78	480.55	17,670.42	763.87	3,402.35	547.21	4,511.43	5,392.90	8,904.88	9,765.70	170,535.03

08 – Run2_600_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,642.50	1,670.85	110.71	9.46	4,105.02	52,087.76	63,034.58	480.63	18,382.45	765.76	3,440.37	555.92	4,552.18	5,403.94	8,965.92	9,765.94	174,973.99
0.00–0.75	1,471.19	792.93	8.92	9.46	1,073.80	27,435.17	46,432.43	259.89	8,950.00	264.10	895.74	68.95	861.18	3,347.01	1,872.34	9,765.94	103,509.04
0.75–1.50	167.27	525.35	7.97		2,213.30	18,974.41	10,167.26	220.16	6,687.95	75.74	1,098.43	119.04	2,141.00	2,056.93	1,234.38		45,689.20
1.50–3.00	4.03	351.23	22.24		814.38	5,662.13	6,379.39	0.53	2,285.58	360.20	1,404.04	211.54	992.18		2,471.02		20,958.48
3.00–6.00		1.34	71.30		3.54	16.03	55.13	0.05	366.63	64.18	42.06	144.36	541.62		2,444.11		3,750.35
>6.00			0.29			0.02	0.38		92.28	1.54	0.10	12.04	16.21		944.07		1,066.91
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,642.50	1,670.85	110.71	9.46	4,105.02	52,087.76	63,034.58	480.63	18,382.45	765.76	3,440.37	555.92	4,552.18	5,403.94	8,965.92	9,765.94	174,973.99
0.00–0.20	779.12	362.02	7.08	4.86	57.36	30,565.15	36,092.39	0.84	7,883.53	45.33	273.44	48.78	800.45	354.96	1,114.18	1,012.21	79,401.69
0.20–0.60	586.80	610.95	33.56	4.60	2,529.40	15,708.96	20,191.80	476.68	9,822.88	363.49	2,584.56	240.27	2,357.86	4,538.68	3,269.87	8,648.98	71,969.36
0.60–1.20	264.83	378.48	26.09		1,444.42	5,764.62	6,443.06	2.90	479.67	336.80	523.70	249.15	1,153.76	509.40	2,542.12	104.75	20,223.75
1.20–2.40	11.75	234.10	38.32		73.83	42.57	277.22	0.21	153.87	20.14	56.41	17.71	234.80	0.90	1,674.22		2,836.06
>2.40		85.29	5.66			6.45	30.12		42.50		2.26		5.31		365.53		543.13
Άθροισμα	1,642.50	1,670.85	110.71	9.46	4,105.02	52,087.76	63,034.58	480.63	18,382.45	765.76	3,440.37	555.92	4,552.18	5,403.94	8,965.92	9,765.94	174,973.99

09 – Run2_600_T1000

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,702.10	1,852.65	129.08	9.72	4,138.79	58,445.20	64,968.71	480.94	20,293.89	770.26	3,511.80	608.66	4,660.70	5,421.72	9,119.35	9,766.74	186,880.31
0.00–0.75	1,950.28	793.17	12.74	9.72	993.22	27,644.84	38,210.41	134.32	7,770.30	226.44	395.96	97.68	793.40	2,957.58	1,741.20	9,760.86	93,492.11
0.75–1.50	675.67	629.52	12.92		2,192.44	22,668.18	19,781.05	345.96	8,122.60	72.65	1,399.66	90.88	2,192.78	2,464.14	1,317.92	5.88	61,972.25
1.50–3.00	76.15	427.05	23.54		946.57	8,104.84	6,911.75	0.60	3,818.73	329.72	1,604.89	242.33	973.96		2,365.28		25,825.39
3.00–6.00		2.91	78.91		6.57	27.30	63.93	0.06	485.47	139.10	111.10	164.67	679.59		2,580.90		4,340.50
>6.00			0.98			0.03	1.58		96.79	2.36	0.20	13.10	20.97		1,114.06		1,250.07
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,702.10	1,852.65	129.08	9.72	4,138.79	58,445.20	64,968.71	480.94	20,293.89	770.26	3,511.80	608.66	4,660.70	5,421.72	9,119.35	9,766.74	186,880.31
0.00–0.20	994.67	309.12	7.94	4.64	59.78	28,157.77	23,525.81	0.27	7,942.94	21.11	152.83	69.19	720.28	312.18	915.38	206.70	63,400.62
0.20–0.60	790.17	537.42	40.76	5.07	2,395.82	22,032.98	33,934.41	476.69	11,388.15	352.81	2,320.26	248.14	2,441.24	4,562.19	3,509.22	9,384.01	94,419.35
0.60–1.20	841.02	573.40	35.08	0.01	1,534.30	8,147.98	7,136.56	3.76	748.50	363.00	968.66	270.40	1,207.94	545.40	2,557.64	176.03	25,109.66
1.20–2.40	76.04	294.49	39.53		148.89	96.53	336.05	0.22	160.04	33.34	66.08	20.93	286.74	1.95	1,737.39		3,298.22
>2.40	0.21	138.21	5.76			9.94	35.89		54.26		3.97		4.50		399.72		652.47
Άθροισμα	2,702.10	1,852.65	129.08	9.72	4,138.79	58,445.20	64,968.71	480.94	20,293.89	770.26	3,511.80	608.66	4,660.70	5,421.72	9,119.35	9,766.74	186,880.31

10 – Run2_900_T50

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,840.80	9.08	1,740.15	531.27	9.55	4,120.79	54,740.42	63,751.30	480.77	19,170.99	768.22	3,542.42	592.05	4,703.27	5,410.94	9,049.70	9,766.19	180,227.93
0.00–0.75	1,667.50	9.08	776.51	60.16	9.55	1,036.78	27,647.31	46,234.43	204.70	8,742.20	255.10	687.16	87.28	787.26	3,235.24	1,849.37	9,766.19	103,055.83
0.75–1.50	168.98		576.28	82.76		2,196.19	20,433.06	10,844.02	275.45	6,888.98	64.04	1,307.54	92.81	2,219.72	2,175.70	1,189.21		48,514.72
1.50–3.00	4.32		385.42	171.93		883.16	6,639.71	6,613.53	0.57	2,904.49	360.89	1,479.17	240.60	966.00		2,328.84		22,978.62
3.00–6.00			1.95	214.25		4.66	20.32	58.53	0.05	538.54	86.33	68.42	158.64	707.54		2,553.50		4,412.74
>6.00				2.18			0.02	0.79		96.77	1.86	0.14	12.73	22.76		1,128.78		1,266.03
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,840.80	9.08	1,740.15	531.27	9.55	4,120.79	54,740.42	63,751.30	480.77	19,170.99	768.22	3,542.42	592.05	4,703.27	5,410.94	9,049.70	9,766.19	180,227.93
0.00–0.20	654.05	9.08	331.71	56.84	4.78	60.31	30,862.68	33,299.04	0.36	7,787.72	50.93	230.53	59.24	695.03	312.44	1,004.01	474.33	75,893.08
0.20–0.60	598.82		605.06	225.20	4.77	2,450.90	17,216.36	23,392.57	477.08	10,546.41	324.11	2,633.10	216.93	2,362.02	4,576.46	3,276.62	9,162.94	78,069.36
0.60–1.20	573.82		441.25	155.56		1,515.29	6,597.06	6,738.25	3.11	619.09	362.51	615.28	287.16	1,338.13	520.84	2,526.98	128.92	22,423.26
1.20–2.40	14.12		255.85	69.62		94.29	58.36	293.17	0.22	169.42	30.66	60.62	28.72	303.24	1.19	1,798.12		3,177.60
>2.40			106.28	24.05			5.96	28.27		48.36		2.89		4.85		443.97		664.63
Άθροισμα	1,840.80	9.08	1,740.15	531.27	9.55	4,120.79	54,740.42	63,751.30	480.77	19,170.99	768.22	3,542.42	592.05	4,703.27	5,410.94	9,049.70	9,766.19	180,227.93

11 – Run2_900_T100

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,459.76	25.63	1,801.36	533.64	9.67	4,127.43	57,184.44	64,582.33	480.83	19,754.70	768.92	3,563.08	600.37	4,719.43	5,418.38	9,102.23	9,766.58	184,898.79
0.00–0.75	2,012.92	25.63	781.43	59.24	9.67	1,005.07	27,873.33	40,662.43	181.94	8,465.76	247.45	561.69	92.16	766.04	3,036.12	1,791.98	9,766.58	97,339.46
0.75–1.50	440.71	0.00	608.52	81.59		2,209.63	21,943.21	17,072.61	298.26	7,484.57	62.67	1,399.51	89.30	2,226.50	2,382.26	1,253.28		57,552.62
1.50–3.00	6.13		409.10	172.34		907.45	7,345.36	6,785.44	0.58	3,142.79	357.62	1,520.43	243.50	969.94		2,326.55		24,187.24
3.00–6.00			2.32	217.87		5.28	22.51	60.78	0.05	564.00	99.16	81.28	162.46	732.96		2,575.03		4,523.70
>6.00				2.59			0.03	1.07		97.57	2.03	0.16	12.95	24.00		1,155.38		1,295.78
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,459.76	25.63	1,801.36	533.64	9.67	4,127.43	57,184.44	64,582.33	480.83	19,754.70	768.92	3,563.08	600.37	4,719.43	5,418.38	9,102.23	9,766.58	184,898.79
0.00–0.20	968.46	22.55	315.45	51.46	4.71	61.34	30,726.34	26,039.79	0.33	7,973.97	40.50	175.75	60.91	681.29	313.34	915.62	249.83	68,601.65
0.20–0.60	707.06	3.08	562.85	228.39	4.96	2,426.46	19,179.90	31,203.66	477.00	10,888.26	329.40	2,623.48	220.10	2,360.36	4,565.07	3,384.31	9,352.16	88,516.51
0.60–1.20	746.21		525.38	157.58		1,532.74	7,199.96	6,994.32	3.29	671.49	364.71	697.50	289.96	1,358.84	538.20	2,543.04	164.59	23,787.79
1.20–2.40	37.96		276.19	72.07		106.89	70.47	314.10	0.22	168.60	34.31	63.07	29.40	313.45	1.78	1,808.76		3,297.27
>2.40	0.08		121.50	24.13			7.76	30.45		52.38		3.27		5.50		450.50		695.57
Άθροισμα	2,459.76	25.63	1,801.36	533.64	9.67	4,127.43	57,184.44	64,582.33	480.83	19,754.70	768.92	3,563.08	600.37	4,719.43	5,418.38	9,102.23	9,766.58	184,898.79

12 – Run2_900_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,149.48	47.14	1,921.66	549.18	9.85	4,153.34	61,043.21	65,838.52	481.14	21,728.25	775.61	3,644.07	630.39	4,781.60	5,432.44	9,207.80	9,767.15	193,160.85
0.00–0.75	2,070.49	12.82	775.40	49.34	9.85	941.86	27,269.20	30,340.49	62.83	7,619.10	172.17	297.71	103.93	730.08	2,360.40	1,603.80	9,588.62	84,008.10
0.75–1.50	995.45	33.92	677.29	71.05		2,226.72	23,848.12	28,260.21	416.80	8,612.25	119.12	1,468.28	75.00	2,210.48	3,072.05	1,414.83	178.53	73,680.11
1.50–3.00	83.54	0.40	464.67	173.30		976.40	9,890.86	7,152.13	1.45	4,681.00	278.26	1,726.59	253.58	952.27		2,233.42		28,867.87
3.00–6.00			4.30	249.84		8.36	34.99	83.37	0.06	712.38	203.38	151.24	183.59	853.68		2,676.63		5,161.82
>6.00				5.65			0.04	2.32		103.52	2.67	0.24	14.29	35.10		1,279.12		1,442.95
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,149.48	47.14	1,921.66	549.18	9.85	4,153.34	61,043.21	65,838.52	481.14	21,728.25	775.61	3,644.07	630.39	4,781.60	5,432.44	9,207.80	9,767.15	193,160.85
0.00–0.20	824.29	20.09	287.36	41.77	4.48	67.14	27,550.07	17,810.01	0.20	8,072.36	4.54	150.62	58.50	641.50	309.98	697.65	95.07	56,635.64
0.20–0.60	1,074.46	27.02	511.31	232.51	5.33	2,356.12	23,292.33	39,857.82	476.59	12,318.58	351.90	2,197.46	237.46	2,343.82	4,542.27	3,613.58	9,448.38	102,886.93
0.60–1.20	988.25	0.03	595.80	172.05	0.04	1,506.51	10,021.98	7,765.23	4.13	1,105.66	370.41	1,218.68	302.81	1,411.06	576.99	2,561.08	223.70	28,824.41
1.20–2.40	261.38		360.92	77.84		223.58	167.03	368.80	0.22	173.00	48.75	72.74	31.62	378.48	3.21	1,851.81		4,019.35
>2.40	1.11		166.28	25.02			11.81	36.66		58.64		4.58		6.74		483.68		794.52
Άθροισμα	3,149.48	47.14	1,921.66	549.18	9.85	4,153.34	61,043.21	65,838.52	481.14	21,728.25	775.61	3,644.07	630.39	4,781.60	5,432.44	9,207.80	9,767.15	193,160.85

13 – Run2_1300_T50

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,840.25	110.80	1,880.84	581.85	9.83	4,145.92	60,006.45	65,588.30	481.04	23,175.24	776.26	4,299.26	630.07	4,842.70	5,428.61	9,208.43	9,767.08	193,772.91
0.00–0.75	2,131.14	55.44	765.98	35.29	9.83	953.95	27,325.44	31,808.99	97.89	10,332.60	209.49	973.01	103.91	710.46	2,505.81	1,629.65	9,645.87	89,294.74
0.75–1.50	699.91	19.92	662.84	49.15		2,225.10	23,561.76	26,632.94	382.45	8,035.72	87.43	1,501.99	66.58	2,167.68	2,922.80	1,388.52	121.21	70,526.00
1.50–3.00	9.19	35.28	448.68	159.36		959.64	9,089.16	7,072.66	0.64	3,797.34	313.28	1,694.33	257.15	1,018.70		2,180.39		27,035.81
3.00–6.00		0.15	3.33	310.14		7.22	30.06	71.85	0.06	890.06	163.58	129.65	188.11	878.50		2,636.59		5,309.30
>6.00				27.92			0.03	1.86		119.52	2.49	0.29	14.32	67.36		1,373.27		1,607.06
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,840.25	110.80	1,880.84	581.85	9.83	4,145.92	60,006.45	65,588.30	481.04	23,175.24	776.26	4,299.26	630.07	4,842.70	5,428.61	9,208.43	9,767.08	193,772.91
0.00–0.20	740.06	77.56	279.39	14.73	4.54	65.39	30,732.21	18,241.23	0.28	9,244.58	13.38	769.31	50.56	598.19	309.00	689.40	112.82	61,942.62
0.20–0.60	1,063.70	30.82	545.51	110.60	5.26	2,381.75	20,145.77	39,369.80	476.84	12,609.47	340.84	2,511.72	207.53	2,195.64	4,550.48	3,467.38	9,441.55	99,454.64
0.60–1.20	911.96	2.42	583.37	214.30	0.03	1,522.78	8,991.96	7,604.17	3.68	1,077.86	372.49	941.22	323.90	1,592.00	566.28	2,613.10	212.72	27,534.25
1.20–2.40	123.70		326.97	174.56		176.00	126.09	339.40	0.24	190.79	49.55	73.14	48.08	450.93	2.85	1,836.22		3,918.53
>2.40	0.82		145.60	67.66			10.41	33.69		52.54		3.86		5.93		602.34		922.87
Άθροισμα	2,840.25	110.80	1,880.84	581.85	9.83	4,145.92	60,006.45	65,588.30	481.04	23,175.24	776.26	4,299.26	630.07	4,842.70	5,428.61	9,208.43	9,767.08	193,772.91

14 – Run2_1300_T100

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,097.97	143.33	1,906.20	583.67	9.86	4,150.32	61,258.40	66,044.75	481.10	23,906.29	778.74	4,447.82	632.66	4,849.33	5,433.52	9,239.14	9,767.32	196,730.42
0.00–0.75	2,204.92	71.78	758.72	34.29	9.86	928.10	27,431.80	28,464.50	78.03	10,281.77	194.44	1,063.37	103.09	698.86	2,177.59	1,566.80	9,450.14	85,518.05
0.75–1.50	878.47	28.00	680.76	47.00		2,245.82	24,070.51	30,332.21	402.12	8,508.11	101.40	1,513.68	65.01	2,156.94	3,255.93	1,454.56	317.17	76,057.70
1.50–3.00	14.57	43.23	462.88	158.46		968.65	9,723.74	7,164.87	0.90	4,062.66	297.30	1,728.94	258.48	1,025.61		2,175.06		28,085.36
3.00–6.00		0.32	3.82	312.48		7.76	32.32	81.06	0.06	931.04	182.99	141.53	191.44	894.82		2,644.04		5,423.68
>6.00				31.43			0.03	2.11		122.71	2.60	0.31	14.64	73.11		1,398.69		1,645.62
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,097.97	143.33	1,906.20	583.67	9.86	4,150.32	61,258.40	66,044.75	481.10	23,906.29	778.74	4,447.82	632.66	4,849.33	5,433.52	9,239.14	9,767.32	196,730.42
0.00–0.20	799.41	90.69	274.86	14.69	4.48	66.27	30,383.42	17,406.80	0.26	9,507.51	8.62	784.62	46.90	592.02	308.69	633.44	76.28	60,998.96
0.20–0.60	1,101.68	46.26	531.83	111.74	5.34	2,369.33	21,108.22	40,378.11	476.76	12,992.77	345.30	2,537.33	210.41	2,191.83	4,536.00	3,533.00	9,452.45	101,928.38
0.60–1.20	993.52	6.36	588.71	214.51	0.04	1,512.97	9,604.90	7,869.67	3.84	1,159.72	372.27	1,046.51	326.88	1,594.93	585.28	2,617.91	238.58	28,736.62
1.20–2.40	202.24	0.01	354.54	174.91		201.74	150.34	356.38	0.24	191.58	52.54	75.17	48.46	464.39	3.56	1,848.26		4,124.37
>2.40	1.12		156.25	67.81			11.53	33.79		54.70		4.19		6.16		606.54		942.09
Άθροισμα	3,097.97	143.33	1,906.20	583.67	9.86	4,150.32	61,258.40	66,044.75	481.10	23,906.29	778.74	4,447.82	632.66	4,849.33	5,433.52	9,239.14	9,767.32	196,730.42

15 – Run2_1300_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,420.53	163.33	1,994.63	593.83	9.98	4,171.56	65,616.13	66,773.98	481.30	26,161.23	783.51	5,045.34	637.68	4,871.88	5,442.42	9,306.37	9,767.67	205,241.37
0.00–0.75	1,952.50	73.33	728.31	26.90	9.98	874.28	28,522.79	24,961.73	14.78	10,252.88	84.30	1,529.13	84.73	654.82	1,895.56	1,467.00	8,695.22	81,828.25
0.75–1.50	1,326.80	39.18	708.81	43.38		2,285.33	24,589.61	34,255.86	453.54	8,995.26	209.80	1,295.48	66.70	2,126.50	3,546.86	1,521.76	1,072.45	82,537.31
1.50–3.00	141.22	49.91	548.20	147.94		1,001.40	12,453.28	7,395.90	12.89	5,640.38	217.24	2,012.11	263.05	995.39		2,123.11		33,002.03
3.00–6.00		0.91	9.31	324.62		10.55	50.41	157.11	0.09	1,136.51	268.79	208.19	207.01	988.02		2,671.14		6,032.66
>6.00				51.00			0.04	3.38		136.20	3.38	0.44	16.19	107.14		1,523.36		1,841.12
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,420.53	163.33	1,994.63	593.83	9.98	4,171.56	65,616.13	66,773.98	481.30	26,161.23	783.51	5,045.34	637.68	4,871.88	5,442.42	9,306.37	9,767.67	205,241.37
0.00–0.20	708.69	94.42	284.33	14.78	4.38	60.54	29,140.79	16,450.43	0.16	9,714.54	8.97	605.10	22.34	570.93	302.35	554.06	41.16	58,577.96
0.20–0.60	987.41	54.45	480.09	116.80	5.52	2,315.86	24,265.61	41,085.48	476.06	14,314.66	331.68	2,787.89	225.22	2,152.86	4,513.58	3,597.84	9,437.32	107,148.35
0.60–1.20	1,273.90	13.89	580.62	217.21	0.09	1,510.72	11,920.45	8,789.56	4.82	1,876.34	372.44	1,562.72	339.63	1,585.07	621.40	2,635.77	289.19	33,593.81
1.20–2.40	448.36	0.57	456.26	176.52		284.45	272.90	408.88	0.25	194.97	70.41	84.37	50.50	556.94	5.09	1,880.08		4,890.53
>2.40	2.17		193.34	68.52			16.38	39.63		60.72		5.25		6.08		638.63		1,030.72
Άθροισμα	3,420.53	163.33	1,994.63	593.83	9.98	4,171.56	65,616.13	66,773.98	481.30	26,161.23	783.51	5,045.34	637.68	4,871.88	5,442.42	9,306.37	9,767.67	205,241.37

16 – Run5_Base_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,053.06	1,437.62	54.39	8.94	4,051.23	45,466.66	60,147.03	480.23	15,699.43	742.49	3,103.63	506.01	3,931.37	5,362.04	8,394.32	9,765.27	160,203.73
0.00–0.75	842.58	735.95	33.10	8.94	1,310.53	27,557.36	45,727.69	413.68	8,633.87	260.46	1,183.59	85.10	850.27	3,777.72	2,056.31	9,765.27	103,242.41
0.75–1.50	196.38	468.40	17.98		2,281.28	14,810.88	9,316.28	66.08	5,399.85	121.76	678.38	152.73	2,062.70	1,584.32	1,528.57		38,685.59
1.50–3.00	14.10	233.16	3.28		457.99	3,090.94	5,056.90	0.44	1,393.04	326.44	1,230.23	149.73	761.41		2,419.25		15,136.90
3.00–6.00		0.10	0.02		1.43	7.48	46.16	0.04	194.62	33.02	11.44	107.86	247.46		1,813.11		2,462.76
>6.00						0.01			78.05	0.81		10.59	9.53		577.07		676.06
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,053.06	1,437.62	54.39	8.94	4,051.23	45,466.66	60,147.03	480.23	15,699.43	742.49	3,103.63	506.01	3,931.37	5,362.04	8,394.32	9,765.27	160,203.73
0.00–0.20	673.85	397.58	19.58	5.00	63.01	27,347.83	35,031.46	28.81	7,316.40	167.53	673.58	61.76	919.49	441.91	1,362.87	4,903.12	79,413.78
0.20–0.60	323.96	498.31	13.50	3.94	2,708.08	13,612.57	19,231.57	449.18	7,917.33	301.92	2,025.35	304.14	1,895.51	4,461.41	3,299.19	4,827.24	61,873.22
0.60–1.20	48.65	340.89	1.78		1,209.81	4,476.82	5,658.02	2.02	277.64	272.72	362.71	134.43	993.16	458.39	2,184.55	34.92	16,456.51
1.20–2.40	6.60	160.07	1.69		70.32	25.60	208.71	0.22	143.16	0.31	41.29	5.68	120.33	0.33	1,250.11		2,034.42
>2.40		40.76	17.84			3.85	17.27		44.90		0.70		2.88		297.60		425.81
Άθροισμα	1,053.06	1,437.62	54.39	8.94	4,051.23	45,466.66	60,147.03	480.23	15,699.43	742.49	3,103.63	506.01	3,931.37	5,362.04	8,394.32	9,765.27	160,203.73

17 – Run5_Base_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,265.06	1,521.49	67.85	9.10	4,066.79	48,003.13	61,197.51	480.35	16,531.92	750.88	3,221.43	517.50	3,963.82	5,373.43	8,523.36	9,765.44	165,259.06
0.00–0.75	993.01	782.34	30.07	9.10	1,249.60	27,912.87	46,181.72	386.80	8,803.02	262.58	1,161.13	85.72	815.64	3,687.71	2,034.02	9,765.44	104,160.77
0.75–1.50	240.85	470.45	29.31		2,256.19	16,328.70	9,546.57	93.06	5,718.78	113.31	767.76	150.07	2,089.49	1,685.72	1,494.97		40,985.23
1.50–3.00	31.19	268.50	8.29		559.23	3,752.72	5,422.13	0.45	1,720.24	334.72	1,277.45	154.42	781.54		2,487.04		16,797.93
3.00–6.00		0.20	0.18		1.76	8.82	47.08	0.04	210.90	39.30	15.09	116.43	266.94		1,903.85		2,610.60
>6.00						0.02			78.98	0.97		10.86	10.22		603.49		704.54
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,265.06	1,521.49	67.85	9.10	4,066.79	48,003.13	61,197.51	480.35	16,531.92	750.88	3,221.43	517.50	3,963.82	5,373.43	8,523.36	9,765.44	165,259.06
0.00–0.20	801.22	426.48	22.57	4.98	63.38	28,526.02	34,753.08	14.58	7,545.95	122.88	692.25	63.59	921.47	399.29	1,347.67	4,254.93	79,960.34
0.20–0.60	385.81	504.58	20.04	4.11	2,670.58	14,501.81	20,338.12	463.30	8,486.99	336.08	2,077.41	312.72	1,907.76	4,505.89	3,370.22	5,457.59	65,343.02
0.60–1.20	70.38	355.81	2.30		1,262.50	4,944.35	5,856.96	2.26	315.77	291.17	404.65	135.38	999.42	467.84	2,233.12	52.93	17,394.84
1.20–2.40	7.66	185.78	1.96		70.34	26.69	229.11	0.21	137.32	0.75	46.01	5.81	132.25	0.40	1,257.12		2,101.42
>2.40		48.84	20.97			4.25	20.23		45.89		1.11		2.93		315.22		459.45
Άθροισμα	1,265.06	1,521.49	67.85	9.10	4,066.79	48,003.13	61,197.51	480.35	16,531.92	750.88	3,221.43	517.50	3,963.82	5,373.43	8,523.36	9,765.44	165,259.06

18 – Run5_Base_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,958.48	4.72	1,762.92	92.02	9.55	4,122.94	54,361.82	63,566.56	480.77	19,027.34	768.17	3,413.42	561.72	4,132.44	5,409.72	8,840.02	9,766.03	178,278.65
0.00–0.75	1,491.86	4.69	798.84	10.56	9.55	1,038.91	27,487.96	46,455.01	203.36	8,253.23	255.48	603.04	87.95	760.48	3,292.52	1,932.49	9,766.03	102,451.98
0.75–1.50	380.22	0.03	575.76	14.30		2,177.01	20,226.26	10,428.32	276.78	7,436.47	63.97	1,255.74	109.09	2,113.68	2,117.20	1,318.56		48,493.40
1.50–3.00	86.40		386.08	59.22		901.87	6,625.78	6,623.17	0.57	2,955.63	355.05	1,481.63	209.66	884.48		2,604.09		23,173.62
3.00–6.00			2.24	7.94		5.15	21.79	59.07	0.05	297.16	91.72	72.86	143.04	360.50		2,228.81		3,290.34
>6.00							0.03	0.99		84.86	1.94	0.15	11.97	13.30		756.08		869.32
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,958.48	4.72	1,762.92	92.02	9.55	4,122.94	54,361.82	63,566.56	480.77	19,027.34	768.17	3,413.42	561.72	4,132.44	5,409.72	8,840.02	9,766.03	178,278.65
0.00–0.20	762.98	4.72	316.05	29.94	4.79	57.47	26,696.96	32,044.03	0.32	8,200.42	38.68	106.02	74.75	858.26	312.66	1,221.80	648.02	71,377.87
0.20–0.60	616.30		601.10	28.86	4.76	2,435.06	20,614.39	24,413.86	476.98	10,099.24	377.17	2,520.36	312.68	2,041.49	4,576.76	3,551.21	9,005.50	81,675.72
0.60–1.20	564.78		476.32	3.34		1,529.84	6,979.51	6,765.49	3.26	520.92	328.74	720.78	167.53	1,031.99	519.18	2,327.91	112.52	22,052.11
1.20–2.40	14.42		258.71	2.64		100.58	64.31	310.02	0.21	150.22	23.58	62.92	6.76	196.51	1.12	1,374.72		2,566.70
>2.40			110.74	27.25			6.64	33.16		56.53		3.34		4.19		364.39		606.24
Άθροισμα	1,958.48	4.72	1,762.92	92.02	9.55	4,122.94	54,361.82	63,566.56	480.77	19,027.34	768.17	3,413.42	561.72	4,132.44	5,409.72	8,840.02	9,766.03	178,278.65

19 – Run5_300_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,385.38	1,575.34	96.32	9.28	4,083.81	49,432.94	61,895.99	480.47	17,201.17	758.28	3,328.14	529.67	4,235.79	5,388.45	8,795.12	9,765.67	168,961.82
0.00–0.75	1,161.94	791.66	8.81	9.28	1,165.94	27,740.66	46,267.74	350.00	8,979.28	265.61	1,101.84	71.17	825.69	3,527.06	1,937.30	9,765.67	103,969.64
0.75–1.50	208.34	484.53	11.56		2,237.67	17,297.74	9,712.59	129.94	6,051.31	99.00	863.95	151.94	2,140.90	1,861.39	1,370.74		42,621.60
1.50–3.00	15.10	298.67	57.77		677.98	4,383.62	5,866.46	0.48	1,829.18	345.26	1,340.72	165.80	914.45		2,591.40		18,486.88
3.00–6.00		0.48	18.18		2.22	10.90	49.20	0.05	257.91	47.26	21.62	129.42	342.39		2,203.52		3,083.16
>6.00						0.02			83.49	1.16	0.00	11.34	12.36		692.16		800.54
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,385.38	1,575.34	96.32	9.28	4,083.81	49,432.94	61,895.99	480.47	17,201.17	758.28	3,328.14	529.67	4,235.79	5,388.45	8,795.12	9,765.67	168,961.82
0.00–0.20	819.70	413.85	11.88	4.91	62.09	29,943.34	35,931.82	4.31	7,602.06	82.53	543.22	45.44	881.26	412.70	1,297.66	3,119.18	81,175.94
0.20–0.60	448.16	531.54	40.37	4.37	2,627.39	14,496.61	19,624.48	473.41	9,028.45	357.66	2,288.35	289.13	2,138.48	4,490.11	3,278.98	6,569.44	66,686.94
0.60–1.20	108.34	365.48	16.66		1,323.93	4,957.06	6,067.79	2.54	363.53	312.51	444.01	187.26	1,044.90	485.08	2,451.31	77.05	18,207.46
1.20–2.40	9.18	203.46	27.42		70.40	29.12	246.97	0.21	150.56	5.58	50.96	7.85	166.17	0.56	1,527.80		2,496.22
>2.40		61.02				6.81	24.92		56.57		1.60		4.97		239.36		395.26
Άθροισμα	1,385.38	1,575.34	96.32	9.28	4,083.81	49,432.94	61,895.99	480.47	17,201.17	758.28	3,328.14	529.67	4,235.79	5,388.45	8,795.12	9,765.67	168,961.82

20 – Run5_300_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,518.99	1,630.78	98.36	9.35	4,093.85	51,071.03	62,763.28	480.52	17,939.22	762.56	3,372.16	537.17	4,274.45	5,395.54	8,860.80	9,765.82	172,573.89
0.00–0.75	1,231.40	805.40	8.38	9.35	1,126.39	27,663.92	46,553.85	307.16	8,963.89	266.21	995.82	70.45	792.84	3,461.84	1,926.86	9,765.82	103,949.57
0.75–1.50	255.36	502.42	11.17		2,215.03	18,382.54	10,054.90	172.82	6,466.46	84.41	971.21	143.50	2,158.28	1,933.70	1,345.32		44,697.12
1.50–3.00	32.24	322.19	53.08		749.68	5,011.52	6,102.89	0.50	2,147.17	354.52	1,375.81	177.27	932.62		2,594.28		19,853.79
3.00–6.00		0.77	25.73		2.75	13.03	51.52	0.05	276.10	56.03	29.26	134.42	377.68		2,260.92		3,228.25
>6.00						0.02	0.12		85.60	1.38	0.05	11.52	13.03		733.43		845.16
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,518.99	1,630.78	98.36	9.35	4,093.85	51,071.03	62,763.28	480.52	17,939.22	762.56	3,372.16	537.17	4,274.45	5,395.54	8,860.80	9,765.82	172,573.89
0.00–0.20	854.50	376.66	11.50	4.89	58.89	29,986.94	35,586.16	2.12	7,882.90	55.20	357.19	50.18	866.74	341.06	1,250.54	1,856.13	79,541.60
0.20–0.60	496.00	575.03	41.87	4.46	2,580.49	15,544.67	20,637.15	475.44	9,443.37	376.18	2,467.57	286.19	2,161.74	4,558.13	3,354.25	7,819.10	70,821.64
0.60–1.20	158.14	385.32	17.26		1,382.32	5,499.26	6,251.45	2.76	406.17	319.36	492.63	192.68	1,057.62	495.68	2,476.77	90.59	19,228.00
1.20–2.40	10.36	221.49	27.73		72.15	34.68	262.16	0.21	151.64	11.82	52.78	8.11	183.45	0.67	1,526.12		2,563.36
>2.40		72.28				5.48	26.37		55.14		1.98		4.90		253.12		419.29
Άθροισμα	1,518.99	1,630.78	98.36	9.35	4,093.85	51,071.03	62,763.28	480.52	17,939.22	762.56	3,372.16	537.17	4,274.45	5,395.54	8,860.80	9,765.82	172,573.89

21 – Run5_300_T1000

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,834.82	1,746.50	102.46	9.50	4,116.52	53,990.22	63,821.07	480.72	19,129.89	767.43	3,414.96	563.55	4,367.52	5,407.73	8,968.26	9,766.12	178,487.26
0.00–0.75	1,430.67	816.73	7.91	9.50	1,057.08	27,487.31	46,481.30	224.02	8,464.41	259.73	696.21	81.62	784.12	3,328.16	1,900.61	9,766.12	102,795.50
0.75–1.50	330.56	551.82	9.49		2,182.20	20,146.65	10,761.54	256.10	7,432.78	63.88	1,195.72	109.24	2,143.44	2,079.58	1,292.17		48,555.15
1.50–3.00	73.60	376.19	40.74		872.76	6,336.99	6,520.05	0.55	2,813.36	358.54	1,463.87	215.54	960.75		2,548.20		22,581.13
3.00–6.00		1.76	44.33		4.48	19.25	57.48	0.05	330.18	83.44	59.03	145.09	464.60		2,395.43		3,605.14
>6.00						0.02	0.70		89.15	1.83	0.13	12.06	14.60		831.84		950.34
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,834.82	1,746.50	102.46	9.50	4,116.52	53,990.22	63,821.07	480.72	19,129.89	767.43	3,414.96	563.55	4,367.52	5,407.73	8,968.26	9,766.12	178,487.26
0.00–0.20	782.56	322.76	11.07	4.84	56.91	28,269.89	32,990.03	0.35	8,253.23	28.64	130.72	63.14	839.02	312.72	1,133.56	592.91	73,792.34
0.20–0.60	622.54	612.88	42.65	4.66	2,462.63	18,874.41	23,850.80	476.88	10,146.32	379.18	2,546.48	278.82	2,222.48	4,579.68	3,478.97	9,053.26	79,632.64
0.60–1.20	416.51	454.51	20.32		1,509.81	6,781.64	6,648.54	3.27	518.60	336.70	674.26	212.27	1,087.31	514.35	2,520.77	119.95	21,818.82
1.20–2.40	13.22	253.22	28.42		87.17	57.14	301.57	0.22	153.54	22.90	60.53	9.31	212.71	0.99	1,548.45		2,749.38
>2.40		103.13				7.14	30.14		58.20		2.96		6.00		286.51		494.08
Άθροισμα	1,834.82	1,746.50	102.46	9.50	4,116.52	53,990.22	63,821.07	480.72	19,129.89	767.43	3,414.96	563.55	4,367.52	5,407.73	8,968.26	9,766.12	178,487.26

22 – Run5_600_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,901.84	1,729.09	112.06	9.53	4,112.50	54,353.24	63,854.36	480.69	18,965.16	766.84	3,455.69	567.58	4,578.44	5,409.17	9,020.78	9,766.22	179,083.20
0.00–0.75	1,596.26	790.51	9.80	9.53	1,050.00	27,829.90	46,212.39	238.04	8,797.74	261.60	753.26	75.19	856.22	3,251.24	1,884.54	9,766.22	103,382.45
0.75–1.50	288.67	563.03	7.92		2,209.83	20,247.44	11,069.15	242.06	7,109.68	69.51	1,218.69	108.95	2,152.08	2,157.92	1,228.72		48,673.63
1.50–3.00	16.91	373.98	21.61		848.66	6,258.09	6,515.38	0.54	2,578.49	360.82	1,431.86	223.36	993.42		2,464.49		22,087.59
3.00–6.00		1.57	72.40		4.01	17.78	56.89	0.05	386.20	73.23	51.78	147.91	559.90		2,471.85		3,843.56
>6.00			0.33			0.02	0.56		93.06	1.70	0.11	12.18	16.83		971.19		1,095.97
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,901.84	1,729.09	112.06	9.53	4,112.50	54,353.24	63,854.36	480.69	18,965.16	766.84	3,455.69	567.58	4,578.44	5,409.17	9,020.78	9,766.22	179,083.20
0.00–0.20	786.35	338.34	7.58	4.82	58.09	30,708.92	33,710.04	0.47	8,183.10	38.18	202.38	52.72	794.00	315.00	1,058.08	461.19	76,719.26
0.20–0.60	632.29	624.07	34.06	4.71	2,495.80	17,419.53	23,233.57	476.94	10,070.38	360.87	2,610.05	244.24	2,379.66	4,573.71	3,360.30	9,173.63	77,693.82
0.60–1.20	470.27	421.82	26.36		1,477.58	6,168.43	6,589.91	3.07	508.69	346.94	582.84	252.50	1,159.73	519.33	2,546.84	131.40	21,205.72
1.20–2.40	12.93	247.59	38.40		81.02	50.36	289.87	0.21	155.07	20.86	57.83	18.12	240.74	1.12	1,692.72		2,906.85
>2.40		97.26	5.66			5.99	30.98		47.91		2.59		4.31		362.84		557.55
Άθροισμα	1,901.84	1,729.09	112.06	9.53	4,112.50	54,353.24	63,854.36	480.69	18,965.16	766.84	3,455.69	567.58	4,578.44	5,409.17	9,020.78	9,766.22	179,083.20

23 – Run5_600_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,161.90	1,772.12	116.24	9.58	4,121.28	56,179.05	64,419.81	480.76	19,494.68	768.14	3,470.69	582.96	4,600.69	5,413.80	9,065.81	9,766.48	182,423.99
0.00–0.75	1,749.87	793.04	12.54	9.58	1,031.14	28,144.49	43,119.74	207.18	8,546.40	255.94	639.88	84.23	835.72	3,142.06	1,859.03	9,766.48	100,197.31
0.75–1.50	377.63	586.04	8.00		2,198.84	21,170.70	14,585.42	272.95	7,467.91	63.12	1,282.29	100.64	2,163.93	2,271.74	1,241.80		53,791.01
1.50–3.00	34.41	391.04	20.70		886.56	6,843.32	6,655.08	0.57	2,972.92	358.95	1,480.68	232.80	991.13		2,442.90		23,311.03
3.00–6.00		2.00	74.50		4.74	20.52	58.76	0.05	413.22	88.24	67.70	152.85	591.97		2,506.36		3,980.93
>6.00			0.49			0.02	0.82		94.23	1.88	0.15	12.44	17.95		1,015.73		1,143.71
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,161.90	1,772.12	116.24	9.58	4,121.28	56,179.05	64,419.81	480.76	19,494.68	768.14	3,470.69	582.96	4,600.69	5,413.80	9,065.81	9,766.48	182,423.99
0.00–0.20	889.24	321.13	8.34	4.76	57.79	30,563.45	29,932.34	0.34	8,267.76	30.76	164.58	60.28	759.90	316.62	1,007.75	311.74	72,696.78
0.20–0.60	641.60	611.46	36.46	4.82	2,449.53	18,919.61	27,393.46	476.92	10,448.74	359.60	2,582.71	244.44	2,413.55	4,566.06	3,427.01	9,301.96	83,877.93
0.60–1.20	616.38	464.77	27.11		1,519.62	6,628.11	6,757.28	3.28	567.18	348.21	659.30	259.52	1,169.24	529.70	2,549.34	152.78	22,251.84
1.20–2.40	14.68	263.62	38.64		94.33	60.81	304.22	0.21	161.01	29.57	61.03	18.72	253.50	1.41	1,708.58		3,010.33
>2.40		111.15	5.69			7.07	32.52		50.00		3.07		4.50		373.12		587.12
Άθροισμα	2,161.90	1,772.12	116.24	9.58	4,121.28	56,179.05	64,419.81	480.76	19,494.68	768.14	3,470.69	582.96	4,600.69	5,413.80	9,065.81	9,766.48	182,423.99

24 – Run5_600_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,193.56	4.72	1,931.12	159.34	9.87	4,154.41	60,775.90	65,577.59	481.15	20,838.29	772.60	3,561.74	626.87	4,706.99	5,432.85	9,166.47	9,767.09	191,160.56
0.00–0.75	2,050.52	4.69	779.00	24.80	9.87	939.95	27,140.58	31,679.64	60.06	7,102.42	165.37	243.06	104.73	754.78	2,474.05	1,620.46	9,634.54	84,788.52
0.75–1.50	1,045.33	0.03	677.94	18.53		2,225.90	23,632.34	26,633.56	419.36	8,457.39	124.02	1,451.38	84.08	2,216.14	2,958.80	1,402.15	132.54	71,479.51
1.50–3.00	97.71		469.49	31.41		979.91	9,966.64	7,167.93	1.66	4,615.32	279.03	1,712.13	247.76	946.42		2,306.10		28,821.52
3.00–6.00			4.69	82.93		8.65	36.30	93.96	0.06	563.74	201.52	154.92	176.42	765.61		2,648.56		4,737.35
>6.00				1.67			0.04	2.50		99.41	2.66	0.26	13.89	24.04		1,189.18		1,333.66
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,193.56	4.72	1,931.12	159.34	9.87	4,154.41	60,775.90	65,577.59	481.15	20,838.29	772.60	3,561.74	626.87	4,706.99	5,432.85	9,166.47	9,767.09	191,160.56
0.00–0.20	815.62	4.72	288.69	9.38	4.46	65.94	26,195.79	17,624.03	0.20	7,617.03	1.84	132.16	66.81	688.02	310.68	735.26	108.98	54,669.62
0.20–0.60	1,099.78		514.76	46.10	5.36	2,352.12	24,324.86	39,786.74	476.62	12,016.40	360.92	2,183.22	260.43	2,442.35	4,545.91	3,685.11	9,443.57	103,544.26
0.60–1.20	998.57		593.58	48.25	0.05	1,507.80	10,077.32	7,758.13	4.12	987.90	365.42	1,171.12	277.38	1,248.73	573.18	2,560.29	214.54	28,386.36
1.20–2.40	278.43		366.36	49.82		228.56	164.84	371.03	0.21	163.09	44.42	70.68	22.26	321.34	3.08	1,775.00		3,859.12
>2.40	1.16		167.72	5.79			13.08	37.66		53.87		4.57		6.54		410.80		701.21
Άθροισμα	3,193.56	4.72	1,931.12	159.34	9.87	4,154.41	60,775.90	65,577.59	481.15	20,838.29	772.60	3,561.74	626.87	4,706.99	5,432.85	9,166.47	9,767.09	191,160.56

25 – Run5_900_T50

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,647.02	31.67	1,831.02	534.40	9.72	4,133.33	58,428.87	65,174.36	480.89	20,270.70	769.54	3,576.04	607.82	4,731.04	5,422.08	9,146.63	9,766.87	187,561.99
0.00–0.75	2,029.51	31.63	783.96	59.09	9.72	986.42	27,857.42	35,179.40	160.16	8,231.42	238.42	499.01	96.10	753.32	2,805.99	1,721.09	9,733.14	91,175.80
0.75–1.50	598.52	0.04	623.31	81.25		2,214.36	22,722.19	23,052.66	320.09	7,909.62	64.74	1,415.35	86.22	2,229.11	2,616.08	1,335.76	33.73	65,303.03
1.50–3.00	18.98		421.24	172.34		926.78	7,824.64	6,878.74	0.60	3,444.40	347.55	1,567.28	245.24	970.29		2,318.02		25,136.08
3.00–6.00			2.51	218.93		5.77	24.59	62.28	0.05	586.82	116.64	94.24	167.06	753.32		2,596.48		4,628.69
>6.00				2.79			0.03	1.28		98.44	2.20	0.17	13.20	25.00		1,175.29		1,318.40
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,647.02	31.67	1,831.02	534.40	9.72	4,133.33	58,428.87	65,174.36	480.89	20,270.70	769.54	3,576.04	607.82	4,731.04	5,422.08	9,146.63	9,766.87	187,561.99
0.00–0.20	1,006.23	25.37	304.93	48.76	4.64	62.99	30,561.56	21,106.34	0.31	8,055.69	41.74	165.36	63.56	674.36	312.23	841.17	163.58	63,438.82
0.20–0.60	773.03	6.30	549.60	230.36	5.06	2,409.10	20,092.75	36,558.23	476.87	11,264.31	323.58	2,558.57	221.22	2,363.04	4,558.73	3,482.66	9,413.46	95,286.90
0.60–1.20	809.90		552.80	158.64	0.01	1,535.38	7,684.26	7,154.89	3.50	735.08	365.90	783.86	292.98	1,363.28	548.87	2,544.44	189.83	24,723.62
1.20–2.40	57.67		291.80	72.38		125.82	81.84	322.94	0.22	164.66	38.33	64.71	30.06	325.28	2.24	1,819.16		3,397.11
>2.40	0.18		131.88	24.25		0.04	8.46	31.96		50.97		3.54		5.07		459.20		715.54
Άθροισμα	2,647.02	31.67	1,831.02	534.40	9.72	4,133.33	58,428.87	65,174.36	480.89	20,270.70	769.54	3,576.04	607.82	4,731.04	5,422.08	9,146.63	9,766.87	187,561.99

26 – Run5_900_T100

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,798.73	37.13	1,857.07	537.62	9.76	4,139.98	59,352.70	65,497.00	480.95	20,739.72	770.39	3,589.08	617.12	4,747.24	5,425.25	9,173.96	9,767.00	189,540.70
0.00–0.75	2,026.20	32.14	778.54	57.56	9.76	972.68	27,627.48	32,996.20	129.41	7,964.62	223.74	421.30	100.85	746.74	2,634.84	1,665.23	9,687.27	88,074.57
0.75–1.50	734.85	4.99	642.07	80.02		2,214.16	23,272.92	25,458.99	350.88	8,230.46	74.16	1,435.59	83.11	2,223.70	2,790.40	1,381.76	79.74	69,057.78
1.50–3.00	37.68		433.55	172.09		946.59	8,424.88	6,975.11	0.60	3,822.76	328.88	1,619.51	247.45	965.09		2,296.26		26,270.45
3.00–6.00			2.91	224.56		6.55	27.40	65.12	0.06	622.09	141.26	112.49	172.23	784.84		2,623.42		4,782.92
>6.00				3.38			0.03	1.58		99.79	2.36	0.20	13.48	26.86		1,207.30		1,354.98
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,798.73	37.13	1,857.07	537.62	9.76	4,139.98	59,352.70	65,497.00	480.95	20,739.72	770.39	3,589.08	617.12	4,747.24	5,425.25	9,173.96	9,767.00	189,540.70
0.00–0.20	919.26	24.12	285.90	45.94	4.59	64.00	29,828.18	19,840.42	0.29	8,028.97	27.80	146.68	61.91	662.43	311.24	788.37	130.44	61,170.56
0.20–0.60	912.27	13.01	542.34	231.02	5.16	2,392.60	21,035.20	37,984.24	476.75	11,654.58	333.42	2,452.60	228.58	2,361.05	4,551.00	3,543.32	9,432.62	98,149.74
0.60–1.20	873.08		577.08	162.12	0.01	1,533.71	8,377.47	7,302.46	3.69	830.22	367.54	919.19	296.03	1,376.86	560.43	2,547.54	203.94	25,931.35
1.20–2.40	93.73		309.04	74.10		149.67	102.63	335.05	0.22	174.01	41.63	66.75	30.60	341.77	2.57	1,826.90		3,548.68
>2.40	0.40		142.72	24.45			9.22	34.83		51.95		3.87		5.13		467.82		740.36
Άθροισμα	2,798.73	37.13	1,857.07	537.62	9.76	4,139.98	59,352.70	65,497.00	480.95	20,739.72	770.39	3,589.08	617.12	4,747.24	5,425.25	9,173.96	9,767.00	189,540.70

27 – Run5_900_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,393.61	60.20	1,980.70	563.41	9.96	4,167.39	63,979.78	66,368.79	481.25	22,842.49	781.23	3,818.85	635.69	4,807.78	5,439.93	9,244.09	9,767.50	198,342.64
0.00–0.75	1,983.76	21.32	750.48	44.92	9.96	894.00	27,935.39	26,422.43	22.90	7,844.46	105.56	389.34	97.48	712.82	1,985.58	1,512.48	9,096.64	79,829.52
0.75–1.50	1,276.42	24.92	694.41	64.70		2,266.21	24,277.36	32,465.86	450.54	8,705.76	187.18	1,364.32	72.87	2,198.84	3,454.36	1,479.70	670.87	79,654.30
1.50–3.00	133.43	13.95	528.00	172.62		997.08	11,721.18	7,340.54	7.73	5,386.02	237.20	1,871.83	256.86	938.87		2,198.30		31,803.61
3.00–6.00			7.81	272.26		10.10	45.80	136.80	0.08	797.99	248.14	193.06	193.41	914.34		2,715.71		5,535.50
>6.00				8.90			0.04	3.16		108.27	3.15	0.30	15.07	42.92		1,337.91		1,519.72
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,393.61	60.20	1,980.70	563.41	9.96	4,167.39	63,979.78	66,368.79	481.25	22,842.49	781.23	3,818.85	635.69	4,807.78	5,439.93	9,244.09	9,767.50	198,342.64
0.00–0.20	753.92	46.71	279.86	46.19	4.40	67.10	27,443.30	16,411.48	0.19	8,564.65	7.62	285.22	45.58	612.03	305.68	598.88	54.45	55,527.28
0.20–0.60	1,060.61	13.49	497.56	241.17	5.48	2,319.29	24,888.12	41,117.22	476.31	12,549.60	344.57	2,039.44	247.05	2,340.18	4,523.56	3,696.72	9,449.42	105,809.79
0.60–1.20	1,200.10		578.36	172.17	0.08	1,505.28	11,397.39	8,404.02	4.53	1,496.08	370.34	1,412.38	309.95	1,436.86	606.24	2,583.16	263.63	31,740.59
1.20–2.40	377.21		435.14	78.56		275.71	236.13	396.93	0.22	175.67	58.70	76.86	33.11	413.40	4.44	1,867.20		4,429.28
>2.40	1.77		189.76	25.33			14.84	39.14		56.48		4.94		5.30		498.14		835.70
Άθροισμα	3,393.61	60.20	1,980.70	563.41	9.96	4,167.39	63,979.78	66,368.79	481.25	22,842.49	781.23	3,818.85	635.69	4,807.78	5,439.93	9,244.09	9,767.50	198,342.64

28 – Run5_1300_T50

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,178.06	149.15	1,920.07	584.65	9.87	4,154.66	62,311.67	66,310.75	481.15	24,498.65	780.08	4,562.44	634.61	4,853.07	5,435.44	9,263.58	9,767.42	198,895.32
0.00–0.75	2,157.95	71.19	750.68	33.55	9.87	916.58	27,671.12	27,203.92	59.64	10,235.92	171.16	1,136.26	101.06	691.40	2,062.04	1,546.62	9,261.09	84,080.07
0.75–1.50	988.10	32.30	690.28	46.02		2,253.80	24,369.15	31,802.56	419.77	8,772.64	123.53	1,511.64	64.21	2,150.68	3,373.40	1,477.87	506.32	78,582.27
1.50–3.00	32.00	45.19	474.71	157.81		975.98	10,236.51	7,209.35	1.68	4,399.33	279.77	1,761.37	259.79	1,022.83		2,167.35		29,023.68
3.00–6.00		0.46	4.40	314.10		8.29	34.85	92.60	0.06	965.75	202.95	152.85	194.65	911.88		2,654.34		5,537.20
>6.00				33.18			0.04	2.32		125.01	2.67	0.32	14.90	76.27		1,417.40		1,672.10
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,178.06	149.15	1,920.07	584.65	9.87	4,154.66	62,311.67	66,310.75	481.15	24,498.65	780.08	4,562.44	634.61	4,853.07	5,435.44	9,263.58	9,767.42	198,895.32
0.00–0.20	768.21	92.22	273.10	14.67	4.44	67.39	30,288.87	17,166.28	0.22	9,672.31	8.79	751.51	42.72	588.68	307.88	614.56	62.70	60,724.55
0.20–0.60	1,123.67	48.52	520.98	111.95	5.38	2,358.46	21,762.68	40,683.01	476.65	13,321.24	343.85	2,599.51	213.30	2,188.59	4,528.95	3,567.76	9,451.84	103,306.35
0.60–1.20	1,028.02	8.32	589.57	214.85	0.05	1,506.87	10,073.32	8,059.02	4.03	1,253.28	372.28	1,130.39	329.71	1,593.37	594.64	2,616.42	252.87	29,626.99
1.20–2.40	256.92	0.09	373.24	175.29		221.94	174.44	366.94	0.24	189.44	55.16	76.62	48.88	476.30	3.98	1,849.73		4,269.22
>2.40	1.24		163.17	67.90			12.36	35.50		62.38		4.41		6.13		615.11		968.20
Άθροισμα	3,178.06	149.15	1,920.07	584.65	9.87	4,154.66	62,311.67	66,310.75	481.15	24,498.65	780.08	4,562.44	634.61	4,853.07	5,435.44	9,263.58	9,767.42	198,895.32

29 – Run5_1300_T100

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,276.16	155.02	1,939.50	587.30	9.92	4,159.58	63,358.60	66,472.27	481.21	25,101.52	781.48	4,717.97	636.14	4,859.51	5,437.46	9,278.96	9,767.48	201,020.11
0.00–0.75	2,106.92	72.58	742.21	31.09	9.92	904.95	27,896.93	26,482.86	40.15	10,264.36	142.14	1,253.88	96.82	680.50	1,999.13	1,524.52	9,115.39	83,364.37
0.75–1.50	1,111.32	34.97	696.20	45.36		2,260.60	24,530.00	32,605.13	437.19	8,876.88	152.36	1,486.12	63.71	2,141.46	3,438.33	1,486.89	652.10	80,018.62
1.50–3.00	57.93	46.89	495.62	155.50		985.04	10,893.28	7,272.39	3.79	4,814.68	259.70	1,808.46	261.93	1,018.65		2,156.24		30,230.09
3.00–6.00		0.58	5.46	317.48		8.99	38.36	109.22	0.08	1,017.10	224.43	169.15	198.47	934.64		2,663.35		5,687.32
>6.00				37.88			0.04	2.66		128.50	2.85	0.36	15.21	84.25		1,447.96		1,719.71
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,276.16	155.02	1,939.50	587.30	9.92	4,159.58	63,358.60	66,472.27	481.21	25,101.52	781.48	4,717.97	636.14	4,859.51	5,437.46	9,278.96	9,767.48	201,020.11
0.00–0.20	751.39	92.62	272.28	14.85	4.44	67.12	29,972.59	16,924.93	0.19	9,770.82	9.05	641.06	34.60	584.49	305.54	595.08	55.44	60,096.47
0.20–0.60	1,127.05	51.57	508.76	113.34	5.42	2,344.35	22,488.10	40,850.48	476.56	13,668.75	341.27	2,731.09	216.84	2,178.57	4,525.51	3,575.94	9,449.37	104,652.96
0.60–1.20	1,074.41	10.58	584.64	215.40	0.06	1,501.20	10,679.04	8,279.74	4.22	1,409.83	372.14	1,262.66	334.99	1,586.93	602.14	2,624.54	262.67	30,805.19
1.20–2.40	321.89	0.26	401.95	175.67		246.91	205.37	380.86	0.24	192.27	59.03	78.45	49.72	503.41	4.28	1,859.65		4,479.95
>2.40	1.43		171.87	68.04			13.50	36.26		59.85		4.71		6.11		623.76		985.54
Άθροισμα	3,276.16	155.02	1,939.50	587.30	9.92	4,159.58	63,358.60	66,472.27	481.21	25,101.52	781.48	4,717.97	636.14	4,859.51	5,437.46	9,278.96	9,767.48	201,020.11

30 – Run5_1300_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,546.72	173.20	2,040.69	597.71	10.04	4,180.32	68,675.14	67,240.86	481.38	26,921.21	785.91	5,280.30	637.96	4,882.02	5,448.50	9,343.85	9,767.99	210,013.79
0.00–0.75	1,759.96	75.33	703.31	25.62	10.04	830.06	29,545.55	23,217.93	5.64	10,134.70	49.36	1,704.79	63.30	636.10	1,754.90	1,399.16	7,992.50	79,908.25
0.75–1.50	1,546.85	44.09	731.84	40.55		2,323.33	24,928.78	36,272.30	438.63	8,919.88	245.61	1,052.93	78.77	2,117.59	3,693.59	1,582.86	1,775.50	85,793.08
1.50–3.00	239.91	52.54	590.16	139.67		1,014.66	14,130.19	7,526.53	37.00	6,487.42	185.55	2,273.16	262.53	965.64		2,095.64		36,000.60
3.00–6.00		1.24	15.38	330.95		12.27	70.57	219.89	0.10	1,237.79	301.68	248.91	216.27	1,038.64		2,679.92		6,373.61
>6.00				60.92			0.04	4.21		141.42	3.72	0.52	17.10	124.04		1,586.27		1,938.24
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,546.72	173.20	2,040.69	597.71	10.04	4,180.32	68,675.14	67,240.86	481.38	26,921.21	785.91	5,280.30	637.96	4,882.02	5,448.50	9,343.85	9,767.99	210,013.79
0.00–0.20	658.50	101.07	284.47	14.78	4.30	50.66	29,620.12	15,815.39	0.14	9,568.64	9.66	608.19	6.01	557.61	299.18	522.84	26.17	58,147.71
0.20–0.60	879.26	55.37	460.04	117.86	5.61	2,301.43	25,957.80	41,409.64	475.66	14,815.52	318.93	2,787.78	236.93	2,142.31	4,489.88	3,621.81	9,404.79	109,480.62
0.60–1.20	1,479.35	15.96	568.41	218.79	0.13	1,513.65	12,694.96	9,544.44	5.32	2,274.18	376.81	1,788.38	343.52	1,559.61	652.70	2,634.29	337.04	36,007.56
1.20–2.40	526.51	0.79	511.78	177.40		314.58	383.62	428.58	0.25	199.63	80.51	90.26	51.50	615.50	6.74	1,909.24		5,296.90
>2.40	3.10		215.99	68.88			18.63	42.81		63.23		5.70		6.98		655.68		1,081.00
Άθροισμα	3,546.72	173.20	2,040.69	597.71	10.04	4,180.32	68,675.14	67,240.86	481.38	26,921.21	785.91	5,280.30	637.96	4,882.02	5,448.50	9,343.85	9,767.99	210,013.79

31 – Run9_Base_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,395.20	1,576.15	71.98	9.18	4,079.22	49,592.38	61,896.16	480.45	17,128.78	756.06	3,313.66	523.58	3,982.92	5,381.81	8,588.84	9,765.56	168,541.92
0.00–0.75	1,082.98	801.42	26.32	9.18	1,197.80	27,901.92	46,372.07	360.08	8,826.10	264.90	1,129.94	82.20	791.31	3,603.24	2,010.40	9,765.56	104,225.41
0.75–1.50	262.38	481.08	32.38		2,225.80	17,367.35	9,743.74	119.85	6,011.06	103.47	836.33	149.84	2,103.10	1,778.57	1,472.67		42,687.62
1.50–3.00	49.84	293.28	12.92		653.52	4,312.82	5,732.00	0.47	1,988.81	341.44	1,327.36	158.56	797.56		2,521.22		18,189.78
3.00–6.00		0.36	0.35		2.10	10.28	48.35	0.05	223.01	45.15	20.04	121.96	280.29		1,954.13		2,706.06
>6.00						0.02			79.81	1.10		11.03	10.66		630.43		733.05
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,395.20	1,576.15	71.98	9.18	4,079.22	49,592.38	61,896.16	480.45	17,128.78	756.06	3,313.66	523.58	3,982.92	5,381.81	8,588.84	9,765.56	168,541.92
0.00–0.20	844.75	421.60	23.32	4.93	62.18	29,572.13	35,717.32	6.33	7,844.57	92.82	626.98	60.65	920.79	397.08	1,461.54	3,790.38	81,847.38
0.20–0.60	440.18	532.16	22.24	4.25	2,649.19	15,091.13	19,954.41	471.43	8,761.64	361.38	2,220.48	324.69	1,912.80	4,507.84	3,320.52	5,911.38	66,485.72
0.60–1.20	101.54	364.44	2.65		1,297.64	4,897.68	5,959.50	2.48	336.76	299.38	416.04	132.35	1,003.72	476.40	2,256.21	63.80	17,610.59
1.20–2.40	8.74	200.24	2.06		70.21	26.84	241.40	0.21	139.43	2.47	48.76	5.90	142.03	0.48	1,235.90		2,124.66
>2.40		57.72	21.71			4.60	23.53		46.38		1.40		3.58		314.67		473.58
Άθροισμα	1,395.20	1,576.15	71.98	9.18	4,079.22	49,592.38	61,896.16	480.45	17,128.78	756.06	3,313.66	523.58	3,982.92	5,381.81	8,588.84	9,765.56	168,541.92

32 – Run9_Base_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,533.80	1,643.58	77.95	9.32	4,094.35	51,088.20	62,665.10	480.52	17,879.78	762.14	3,368.34	531.20	4,017.00	5,393.78	8,677.74	9,765.69	171,988.51
0.00–0.75	1,171.74	815.41	16.06	9.32	1,130.42	27,683.61	46,526.22	305.64	8,777.09	265.95	996.57	76.24	764.92	3,491.86	1,976.07	9,765.69	103,772.82
0.75–1.50	288.24	503.16	32.85		2,201.60	18,369.37	9,990.90	174.33	6,451.73	86.05	967.35	148.14	2,107.82	1,901.93	1,426.84		44,650.31
1.50–3.00	73.82	324.19	28.12		759.44	5,021.77	6,096.18	0.50	2,326.27	352.91	1,373.90	165.98	832.30		2,560.29		19,915.68
3.00–6.00		0.82	0.92		2.88	13.43	51.64	0.05	243.60	55.87	30.46	129.55	300.45		2,041.82		2,871.49
>6.00						0.02	0.16		81.08	1.36	0.06	11.30	11.52		672.72		778.21
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,533.80	1,643.58	77.95	9.32	4,094.35	51,088.20	62,665.10	480.52	17,879.78	762.14	3,368.34	531.20	4,017.00	5,393.78	8,677.74	9,765.69	171,988.51
0.00–0.20	896.54	391.40	24.64	4.91	57.84	29,493.35	35,286.02	2.30	8,065.82	59.09	315.90	61.75	905.63	335.23	1,429.00	2,775.23	80,104.65
0.20–0.60	472.80	572.39	24.84	4.42	2,573.90	16,070.94	20,871.94	475.34	9,226.49	385.99	2,523.76	324.22	1,937.09	4,567.82	3,354.20	6,911.13	70,297.27
0.60–1.20	154.05	385.38	2.94		1,392.70	5,483.69	6,218.86	2.68	391.67	306.93	473.72	139.06	1,008.25	490.10	2,298.40	79.33	18,827.75
1.20–2.40	10.42	221.72	2.27		69.90	35.12	262.12	0.21	143.63	10.12	53.09	6.18	161.51	0.64	1,264.62		2,241.55
>2.40		72.68	23.26			5.10	26.15		52.17		1.87		4.53		331.51		517.28
Άθροισμα	1,533.80	1,643.58	77.95	9.32	4,094.35	51,088.20	62,665.10	480.52	17,879.78	762.14	3,368.34	531.20	4,017.00	5,393.78	8,677.74	9,765.69	171,988.51

33 – Run9_Base_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,651.44	9.64	1,847.51	96.53	9.74	4,137.50	57,339.03	64,380.74	480.92	19,492.40	769.86	3,430.31	586.37	4,251.66	5,421.89	8,932.26	9,766.52	183,604.33
0.00–0.75	1,881.37	9.54	792.29	8.78	9.74	986.94	27,423.40	42,672.38	147.14	7,708.69	233.46	365.46	99.22	759.63	3,052.09	1,891.76	9,766.52	97,808.40
0.75–1.50	678.44	0.10	627.92	11.56		2,196.27	22,037.65	14,717.85	333.13	7,952.47	70.36	1,379.51	97.84	2,156.44	2,369.80	1,313.77		55,943.10
1.50–3.00	91.64		424.34	56.49		947.65	7,850.39	6,923.52	0.60	3,408.18	337.60	1,576.40	226.10	906.46		2,586.55		25,335.91
3.00–6.00			2.95	19.70		6.64	27.57	65.34	0.06	335.29	126.16	108.74	150.87	414.77		2,327.69		3,585.77
>6.00							0.03	1.66		87.78	2.28	0.20	12.34	14.37		812.49		931.15
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,651.44	9.64	1,847.51	96.53	9.74	4,137.50	57,339.03	64,380.74	480.92	19,492.40	769.86	3,430.31	586.37	4,251.66	5,421.89	8,932.26	9,766.52	183,604.33
0.00–0.20	1,001.09	9.64	307.12	30.16	4.62	60.85	27,182.92	26,638.55	0.30	8,063.49	32.24	94.41	85.82	851.53	310.92	1,176.47	280.44	66,130.57
0.20–0.60	753.68		544.98	31.52	5.12	2,394.89	22,157.96	30,232.53	476.87	10,585.40	370.08	2,371.98	311.01	2,119.84	4,570.82	3,638.07	9,328.86	89,893.62
0.60–1.20	828.06		572.21	3.49	0.01	1,537.65	7,897.75	7,147.93	3.55	638.97	338.20	892.79	181.94	1,059.10	538.31	2,340.72	157.22	24,137.90
1.20–2.40	68.46		287.94	2.76		144.11	90.71	328.67	0.21	148.12	29.34	67.20	7.60	217.43	1.84	1,412.70		2,807.08
>2.40	0.15		135.26	28.60			9.69	33.06		56.42		3.92		3.76		364.30		635.16
Άθροισμα	2,651.44	9.64	1,847.51	96.53	9.74	4,137.50	57,339.03	64,380.74	480.92	19,492.40	769.86	3,430.31	586.37	4,251.66	5,421.89	8,932.26	9,766.52	183,604.33

34 – Run9_300_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,651.46	1,684.38	99.05	9.43	4,102.11	52,263.29	63,350.30	480.59	18,415.46	764.91	3,395.29	543.49	4,291.77	5,400.75	8,904.62	9,765.93	175,122.84
0.00–0.75	1,313.44	816.00	8.30	9.43	1,092.63	27,521.58	46,643.36	271.06	8,866.21	264.97	914.84	72.81	779.76	3,399.52	1,925.13	9,765.93	103,664.98
0.75–1.50	287.00	520.34	10.94		2,203.54	19,191.72	10,354.73	208.97	6,771.02	76.88	1,043.49	134.42	2,162.29	2,001.22	1,331.13		46,297.68
1.50–3.00	51.01	346.79	51.21		802.54	5,534.60	6,297.73	0.51	2,402.18	358.75	1,398.64	186.90	940.15		2,594.57		20,965.60
3.00–6.00		1.25	28.60		3.40	15.37	54.16	0.05	289.02	62.78	38.23	137.71	396.06		2,294.21		3,320.85
>6.00						0.02	0.32		87.03	1.52	0.09	11.66	13.50		759.58		873.73
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,651.46	1,684.38	99.05	9.43	4,102.11	52,263.29	63,350.30	480.59	18,415.46	764.91	3,395.29	543.49	4,291.77	5,400.75	8,904.62	9,765.93	175,122.84
0.00–0.20	858.08	368.45	11.44	4.90	56.99	30,141.36	35,255.46	1.23	8,219.30	49.81	243.63	54.21	853.34	319.18	1,220.45	1,022.58	78,680.41
0.20–0.60	561.79	605.53	42.33	4.53	2,539.36	16,445.02	21,430.19	476.26	9,553.08	376.72	2,580.58	284.42	2,177.32	4,577.60	3,420.00	8,639.46	73,714.20
0.60–1.20	220.22	393.51	17.44		1,430.68	5,627.60	6,364.76	2.89	429.75	324.08	513.44	196.33	1,065.31	503.16	2,492.34	103.89	19,685.40
1.20–2.40	11.36	234.55	27.84		74.99	40.29	271.64	0.21	152.60	14.30	55.46	8.54	189.71	0.81	1,520.49		2,602.77
>2.40		82.34			0.09	9.02	28.26		60.74		2.18		6.08		251.34		440.06
Άθροισμα	1,651.46	1,684.38	99.05	9.43	4,102.11	52,263.29	63,350.30	480.59	18,415.46	764.91	3,395.29	543.49	4,291.77	5,400.75	8,904.62	9,765.93	175,122.84

35 – Run9_300_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	1,836.84	1,749.12	100.96	9.52	4,115.06	54,041.41	63,832.84	480.70	18,995.58	767.09	3,413.98	556.36	4,335.18	5,407.58	8,955.78	9,766.12	178,364.14
0.00–0.75	1,427.86	819.31	8.10	9.52	1,051.39	27,585.77	46,467.16	230.57	8,594.32	260.85	723.76	78.33	773.10	3,304.80	1,908.79	9,766.12	103,009.77
0.75–1.50	333.57	553.00	10.30		2,193.18	20,141.24	10,770.98	249.54	7,255.64	68.31	1,192.37	116.18	2,154.24	2,102.79	1,307.67		48,449.00
1.50–3.00	75.41	375.09	45.69		866.14	6,295.51	6,536.58	0.54	2,741.26	359.69	1,441.22	207.10	955.84		2,571.18		22,471.24
3.00–6.00		1.72	36.87		4.36	18.86	57.44	0.05	315.91	76.50	56.50	142.80	437.78		2,361.60		3,510.39
>6.00						0.02	0.68		88.44	1.74	0.13	11.96	14.22		806.54		923.73
Ταχύτητα ροής (m/s)	1,836.84	1,749.12	100.96	9.52	4,115.06	54,041.41	63,832.84	480.70	18,995.58	767.09	3,413.98	556.36	4,335.18	5,407.58	8,955.78	9,766.12	178,364.14
0.00–0.20	787.44	340.02	11.12	4.81	57.92	29,409.87	33,775.06	0.43	8,423.70	43.80	139.16	61.20	840.20	313.81	1,166.43	591.70	75,966.67
0.20–0.60	626.09	625.26	43.04	4.71	2,471.97	18,466.50	23,153.30	476.98	9,867.97	372.09	2,608.74	280.26	2,205.28	4,577.28	3,480.96	9,054.40	78,314.84
0.60–1.20	410.36	434.92	18.67		1,501.62	6,104.68	6,582.44	3.08	493.66	331.98	604.91	205.69	1,079.20	515.48	2,508.80	120.02	20,915.50
1.20–2.40	12.96	249.15	28.13		83.54	53.24	291.04	0.21	152.07	19.22	58.42	9.20	202.99	1.02	1,540.28		2,701.46
>2.40		99.77				7.13	31.00		58.19		2.75		7.51		259.32		465.66
Άθροισμα	1,836.84	1,749.12	100.96	9.52	4,115.06	54,041.41	63,832.84	480.70	18,995.58	767.09	3,413.98	556.36	4,335.18	5,407.58	8,955.78	9,766.12	178,364.14

36 – Run9_300_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,097.04	9.64	1,916.60	108.33	9.85	4,149.15	59,787.71	65,286.97	481.07	20,269.36	771.74	3,472.20	611.94	4,539.80	5,431.13	9,095.22	9,766.99	188,804.76
0.00–0.75	2,029.37	9.54	787.35	8.09	9.85	948.95	27,134.82	33,364.07	88.53	7,232.68	198.38	240.39	101.03	808.12	2,634.99	1,683.30	9,687.71	86,967.16
0.75–1.50	970.96	0.10	669.12	8.14		2,219.89	23,305.55	24,716.00	391.77	8,425.59	97.42	1,423.98	95.06	2,139.90	2,796.14	1,404.00	79.28	68,742.91
1.50–3.00	96.72		456.12	24.54		972.25	9,313.74	7,122.47	0.71	4,069.11	299.60	1,668.47	239.30	976.80		2,449.76		27,689.59
3.00–6.00			4.01	67.43		8.06	33.56	82.21	0.06	446.84	173.80	139.12	163.48	597.41		2,548.40		4,264.39
>6.00				0.13			0.03	2.22		95.14	2.54	0.24	13.08	17.57		1,009.76		1,140.72
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,097.04	9.64	1,916.60	108.33	9.85	4,149.15	59,787.71	65,286.97	481.07	20,269.36	771.74	3,472.20	611.94	4,539.80	5,431.13	9,095.22	9,766.99	188,804.76
0.00–0.20	875.86	9.64	293.04	12.95	4.50	63.86	26,885.12	18,385.66	0.22	7,873.49	9.27	112.61	84.72	812.79	310.87	860.32	132.64	56,727.55
0.20–0.60	1,075.94		529.95	41.73	5.31	2,365.83	23,355.41	38,917.16	476.78	11,352.14	374.76	2,266.30	270.55	2,339.26	4,552.44	3,758.49	9,432.22	101,114.28
0.60–1.20	947.60		593.53	24.61	0.04	1,512.28	9,392.96	7,592.26	3.86	824.08	352.23	1,018.77	244.57	1,117.97	565.07	2,536.78	202.12	26,928.73
1.20–2.40	196.70		341.74	29.04		207.11	140.52	355.88	0.21	157.53	35.48	70.18	12.10	263.80	2.76	1,615.16		3,428.23
>2.40	0.94		158.35			0.07	13.70	36.00		62.13		4.33		5.98		324.47		605.98
Άθροισμα	3,097.04	9.64	1,916.60	108.33	9.85	4,149.15	59,787.71	65,286.97	481.07	20,269.36	771.74	3,472.20	611.94	4,539.80	5,431.13	9,095.22	9,766.99	188,804.76

37 – Run9_600_T50

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,391.64	1,802.04	118.06	9.64	4,127.60	57,199.10	64,705.55	480.83	19,805.39	768.90	3,480.17	591.14	4,612.24	5,417.25	9,089.81	9,766.58	184,365.94
0.00–0.75	1,863.93	790.72	13.65	9.64	1,014.10	27,994.70	40,637.29	181.88	8,304.61	247.81	544.78	89.10	820.13	3,067.55	1,806.69	9,766.58	97,153.16
0.75–1.50	474.41	603.40	8.16		2,196.39	21,888.32	17,232.93	298.32	7,703.64	63.08	1,338.91	96.82	2,170.95	2,349.70	1,284.34		57,709.37
1.50–3.00	53.30	405.56	20.44		911.74	7,293.12	6,773.59	0.58	3,271.42	355.54	1,514.58	236.50	991.70		2,429.42		24,257.50
3.00–6.00		2.35	75.25		5.38	22.94	60.64	0.05	430.71	100.44	81.73	156.13	610.88		2,528.89		4,075.40
>6.00			0.56			0.03	1.10		95.01	2.04	0.16	12.58	18.58		1,040.47		1,170.52
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,391.64	1,802.04	118.06	9.64	4,127.60	57,199.10	64,705.55	480.83	19,805.39	768.90	3,480.17	591.14	4,612.24	5,417.25	9,089.81	9,766.58	184,365.94
0.00–0.20	967.89	318.97	8.29	4.71	59.91	30,115.99	26,972.13	0.31	8,297.52	34.00	153.46	67.08	741.26	314.81	974.22	255.74	69,286.28
0.20–0.60	671.92	578.69	38.11	4.93	2,424.06	20,055.49	30,477.53	476.96	10,688.77	353.66	2,541.60	242.67	2,427.28	4,564.84	3,480.34	9,346.86	88,373.71
0.60–1.20	727.16	509.46	27.24		1,535.98	6,950.44	6,911.70	3.36	610.74	354.31	719.32	262.21	1,179.50	535.96	2,547.60	163.98	23,038.96
1.20–2.40	24.67	273.64	38.72		107.66	68.59	310.98	0.21	157.02	26.93	62.47	19.17	259.78	1.64	1,716.94		3,068.42
>2.40	0.00	121.27	5.70			8.59	33.21		51.33		3.32		4.42		370.72		598.57
Άθροισμα	2,391.64	1,802.04	118.06	9.64	4,127.60	57,199.10	64,705.55	480.83	19,805.39	768.90	3,480.17	591.14	4,612.24	5,417.25	9,089.81	9,766.58	184,365.94

38 – Run9_600_T100

	112	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,704.53	1,856.26	124.93	9.73	4,137.04	58,500.19	64,983.02	480.92	20,190.44	769.95	3,496.51	603.61	4,638.12	5,422.35	9,115.28	9,766.77	186,799.66
0.00–0.75	1,943.70	797.23	14.07	9.73	989.13	27,774.21	37,884.58	145.07	7,911.91	231.87	414.65	95.47	796.39	2,938.43	1,743.87	9,758.12	93,448.44
0.75–1.50	683.08	630.25	12.84		2,200.74	22,693.88	20,113.38	335.20	8,022.45	70.10	1,394.03	92.66	2,183.69	2,483.92	1,326.78	8.65	62,251.64
1.50–3.00	77.76	426.00	20.03		940.85	8,005.56	6,919.70	0.60	3,696.28	339.86	1,582.24	240.87	987.65		2,393.57		25,630.96
3.00–6.00		2.79	77.22		6.32	26.51	63.84	0.06	463.53	125.83	105.40	161.64	650.51		2,564.20		4,247.84
>6.00			0.78			0.03	1.51		96.28	2.28	0.19	12.96	19.88		1,086.86		1,220.77
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,704.53	1,856.26	124.93	9.73	4,137.04	58,500.19	64,983.02	480.92	20,190.44	769.95	3,496.51	603.61	4,638.12	5,422.35	9,115.28	9,766.77	186,799.65
0.00–0.20	1,011.57	316.86	7.66	4.62	61.78	29,250.82	23,020.56	0.30	8,191.24	27.90	148.24	69.20	718.37	313.03	914.97	200.52	64,257.64
0.20–0.60	790.81	546.78	41.17	5.10	2,399.74	21,328.24	34,479.47	476.85	11,087.50	351.04	2,440.74	246.31	2,442.51	4,563.78	3,534.75	9,388.49	94,123.28
0.60–1.20	831.47	564.08	31.45	0.01	1,537.16	7,824.53	7,123.27	3.57	696.34	358.15	839.06	268.23	1,199.68	543.55	2,547.68	177.76	24,545.99
1.20–2.40	70.47	292.76	38.92		138.35	87.52	325.55	0.21	164.75	32.86	64.76	19.87	273.06	1.99	1,739.34		3,250.41
>2.40	0.21	135.78	5.72			9.08	34.16		50.62		3.71		4.50		378.54		622.33
Άθροισμα	2,704.53	1,856.26	124.93	9.73	4,137.04	58,500.19	64,983.02	480.92	20,190.44	769.95	3,496.51	603.61	4,638.12	5,422.35	9,115.28	9,766.77	186,799.66

39 – Run9_600_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,381.44	24.87	1,978.95	243.89	9.96	4,165.03	63,272.57	66,248.28	481.24	21,277.47	779.24	3,588.39	633.32	4,734.24	5,439.22	9,212.68	9,767.46	195,238.26
0.00–0.75	1,994.26	24.77	756.99	60.73	9.96	897.28	27,569.16	26,763.38	28.78	6,843.71	117.28	210.74	102.24	725.50	2,008.91	1,526.10	9,170.20	78,809.97
0.75–1.50	1,256.59	0.10	694.07	38.68		2,262.51	24,210.90	32,019.26	446.25	8,531.19	174.46	1,375.01	78.26	2,222.73	3,430.31	1,481.70	597.26	78,819.29
1.50–3.00	130.60		520.43	52.75		995.32	11,448.26	7,328.45	6.14	5,180.08	246.70	1,815.68	253.33	923.79		2,270.64		31,172.18
3.00–6.00			7.46	89.31		9.92	44.22	134.10	0.08	621.04	237.78	186.68	184.91	835.38		2,691.83		5,042.69
>6.00				2.42			0.04	3.09		101.46	3.01	0.29	14.58	26.83		1,242.41		1,394.13
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,381.44	24.87	1,978.95	243.89	9.96	4,165.03	63,272.57	66,248.28	481.24	21,277.47	779.24	3,588.39	633.32	4,734.24	5,439.22	9,212.68	9,767.46	195,238.26
0.00–0.20	787.24	23.70	279.20	18.66	4.41	66.78	27,579.39	15,970.72	0.19	7,496.78	6.36	125.82	59.17	662.68	306.26	630.03	57.82	54,075.20
0.20–0.60	1,103.71	1.16	504.47	76.58	5.46	2,323.97	24,425.83	41,552.04	476.40	12,270.68	352.37	2,044.02	261.84	2,434.51	4,525.79	3,783.14	9,450.98	105,592.96
0.60–1.20	1,195.38		579.55	76.10	0.08	1,506.53	11,030.69	8,295.51	4.44	1,280.83	368.76	1,337.96	289.02	1,278.10	602.85	2,568.51	258.66	30,672.99
1.20–2.40	293.45		428.18	65.95		267.74	221.09	391.02	0.21	168.13	51.75	75.78	23.30	354.08	4.32	1,804.98		4,149.98
>2.40	1.66		187.55	6.59			15.58	38.99		61.04		4.82		4.88		426.02		747.13
Άθροισμα	3,381.44	24.87	1,978.95	243.89	9.96	4,165.03	63,272.57	66,248.28	481.24	21,277.47	779.24	3,588.39	633.32	4,734.24	5,439.22	9,212.68	9,767.46	195,238.26

40 – Run9_900_T50

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	2,940.50	39.22	1,879.26	539.89	9.82	4,144.80	60,074.74	65,651.71	481.01	21,030.84	773.84	3,595.57	621.77	4,754.56	5,428.20	9,188.33	9,767.06	190,921.09
0.00–0.75	2,038.20	23.06	773.06	56.12	9.82	959.13	27,507.33	31,970.34	106.31	7,783.53	213.47	364.42	102.96	741.87	2,530.22	1,639.81	9,653.75	86,473.40
0.75–1.50	845.86	16.16	658.42	78.36		2,219.78	23,598.50	26,555.49	374.02	8,390.02	84.68	1,455.91	80.80	2,220.05	2,897.98	1,401.46	113.31	70,990.79
1.50–3.00	56.43		444.49	172.19		958.71	8,939.09	7,053.42	0.62	4,113.75	314.79	1,648.98	248.75	964.20		2,283.98		27,199.41
3.00–6.00			3.29	229.60		7.18	29.79	70.61	0.06	642.86	158.46	126.04	175.57	800.68		2,639.42		4,883.54
>6.00				3.61			0.03	1.85		100.68	2.44	0.22	13.69	27.76		1,223.66		1,373.94
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,940.50	39.22	1,879.26	539.89	9.82	4,144.80	60,074.74	65,651.71	481.01	21,030.84	773.84	3,595.57	621.77	4,754.56	5,428.20	9,188.33	9,767.06	190,921.09
0.00–0.20	866.82	22.66	279.41	46.57	4.56	64.95	29,593.53	18,716.57	0.28	8,077.72	17.40	146.70	62.69	653.44	310.45	750.76	115.28	59,729.77
0.20–0.60	1,027.20	16.56	541.77	230.57	5.23	2,379.75	21,452.93	39,098.51	476.76	11,833.99	344.84	2,421.38	230.45	2,364.24	4,548.75	3,584.71	9,440.36	99,998.00
0.60–1.20	914.51		586.92	163.45	0.03	1,527.03	8,896.80	7,461.83	3.74	892.78	368.54	955.14	297.82	1,383.20	566.20	2,550.11	211.43	26,779.52
1.20–2.40	131.30		322.14	74.63		173.06	121.18	340.85	0.23	171.60	43.06	68.40	30.82	348.15	2.80	1,835.00		3,663.23
>2.40	0.66		149.02	24.66			10.30	33.94		54.75		3.96		5.52		467.76		750.57
Άθροισμα	2,940.50	39.22	1,879.26	539.89	9.82	4,144.80	60,074.74	65,651.71	481.01	21,030.84	773.84	3,595.57	621.77	4,754.56	5,428.20	9,188.33	9,767.06	190,921.09

41 – Run9_900_T100

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,148.80	45.16	1,924.53	545.32	9.86	4,151.44	61,072.27	65,867.03	481.12	21,487.39	778.06	3,607.27	628.23	4,768.95	5,432.75	9,205.94	9,767.18	192,921.31
0.00–0.75	2,065.20	13.03	779.48	51.84	9.86	938.48	27,378.18	29,995.65	73.13	7,600.24	189.23	289.65	104.64	733.89	2,321.45	1,604.10	9,571.84	83,719.90
0.75–1.50	998.76	32.08	677.93	74.36		2,232.04	23,916.97	28,631.74	406.88	8,563.31	107.23	1,472.37	76.57	2,212.68	3,111.30	1,423.08	195.34	74,132.65
1.50–3.00	84.85	0.06	463.08	172.33		972.86	9,743.19	7,153.43	1.04	4,537.43	291.04	1,699.86	252.29	958.91		2,257.40		28,587.77
3.00–6.00			4.04	242.30		8.07	33.89	83.99	0.06	684.08	187.94	145.15	180.67	832.77		2,664.78		5,067.74
>6.00				4.48			0.03	2.22		102.33	2.62	0.24	14.06	30.70		1,256.57		1,413.25
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,148.80	45.16	1,924.53	545.32	9.86	4,151.44	61,072.27	65,867.03	481.12	21,487.39	778.06	3,607.27	628.23	4,768.95	5,432.75	9,205.94	9,767.18	192,921.31
0.00–0.20	839.25	26.18	289.00	45.55	4.48	66.24	28,727.15	17,597.86	0.22	8,132.08	7.72	132.81	60.36	642.91	309.88	690.37	91.40	57,663.46
0.20–0.60	1,104.93	18.98	528.94	232.30	5.33	2,363.04	22,519.66	40,132.42	476.76	12,122.93	353.68	2,355.71	235.68	2,359.52	4,541.52	3,649.19	9,449.47	102,450.07
0.60–1.20	988.05		591.56	166.53	0.04	1,508.14	9,660.94	7,744.32	3.90	1,005.78	369.76	1,043.85	300.86	1,395.48	578.09	2,548.27	226.32	28,131.88
1.20–2.40	215.48		354.01	76.03		214.02	152.84	357.74	0.23	172.92	46.90	70.64	31.33	362.30	3.27	1,842.85		3,900.56
>2.40	1.09		161.02	24.91		0.01	11.68	34.69		53.68		4.25		8.75		475.26		775.34
Άθροισμα	3,148.80	45.16	1,924.53	545.32	9.86	4,151.44	61,072.27	65,867.03	481.12	21,487.39	778.06	3,607.27	628.23	4,768.95	5,432.75	9,205.94	9,767.18	192,921.31

42 – Run9_900_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,490.36	78.86	2,015.18	571.88	10.02	4,174.82	66,320.02	66,949.50	481.32	23,912.40	783.72	3,983.64	637.24	4,825.55	5,445.32	9,293.58	9,767.83	202,741.23
0.00–0.75	1,850.66	36.05	716.60	40.74	10.02	853.41	28,505.76	24,086.84	11.20	8,312.87	71.26	520.48	88.64	697.54	1,828.35	1,447.81	8,375.21	77,453.43
0.75–1.50	1,456.61	16.86	720.00	59.00		2,303.00	24,661.55	35,213.78	451.88	8,658.70	222.74	1,181.30	74.20	2,179.29	3,616.97	1,550.58	1,392.62	83,759.09
1.50–3.00	183.10	25.95	566.78	166.06		1,007.16	13,093.91	7,458.60	18.14	5,930.10	209.51	2,058.92	258.55	932.08		2,175.44		34,084.30
3.00–6.00			11.79	292.36		11.24	58.76	186.51	0.09	897.07	276.71	222.60	200.06	966.04		2,733.85		5,857.08
>6.00				13.71			0.04	3.78		113.67	3.50	0.35	15.78	50.60		1,385.89		1,587.32
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,490.36	78.86	2,015.18	571.88	10.02	4,174.82	66,320.02	66,949.50	481.32	23,912.40	783.72	3,983.64	637.24	4,825.55	5,445.32	9,293.58	9,767.83	202,741.23
0.00–0.20	707.25	71.07	271.80	50.20	4.35	56.96	28,503.65	15,611.37	0.16	9,246.34	8.71	423.69	34.65	596.48	300.22	557.52	33.70	56,478.12
0.20–0.60	970.40	7.08	482.72	242.86	5.56	2,310.47	25,503.01	41,966.94	476.00	12,604.54	337.65	1,873.00	249.33	2,308.24	4,503.49	3,738.52	9,424.46	107,004.25
0.60–1.20	1,391.21	0.71	571.97	173.29	0.11	1,507.56	11,997.96	8,921.98	4.93	1,832.16	370.68	1,599.92	317.80	1,460.42	635.76	2,588.65	309.68	33,684.77
1.20–2.40	418.95		481.21	79.80		298.80	297.47	410.31	0.24	172.16	66.69	81.77	35.46	454.57	5.86	1,893.47		4,696.76
>2.40	2.54		207.48	25.73		1.02	17.92	38.90		57.21		5.26		5.84		515.42		877.32
Άθροισμα	3,490.36	78.86	2,015.18	571.88	10.02	4,174.82	66,320.02	66,949.50	481.32	23,912.40	783.72	3,983.64	637.24	4,825.55	5,445.32	9,293.58	9,767.83	202,741.23

43 – Run9_1300_T50

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,333.84	156.48	1,956.50	588.12	9.94	4,164.06	64,232.40	66,604.80	481.24	25,433.40	782.26	4,786.63	636.80	4,862.14	5,439.50	9,288.41	9,767.59	202,524.12
0.00–0.75	2,043.89	72.97	731.58	29.89	9.94	892.70	28,171.20	25,762.46	29.68	10,242.11	121.88	1,305.32	93.93	674.62	1,951.74	1,502.51	8,934.81	82,571.24
0.75–1.50	1,199.81	35.64	704.40	45.61		2,270.66	24,613.56	33,391.32	445.62	8,923.34	172.32	1,444.64	64.10	2,137.35	3,487.76	1,502.66	832.78	81,271.56
1.50–3.00	90.14	47.26	514.00	154.56		991.19	11,406.11	7,325.91	5.86	5,095.43	248.57	1,854.81	262.56	1,013.43		2,148.97		31,158.82
3.00–6.00		0.61	6.52	318.61		9.51	41.48	122.20	0.08	1,042.24	236.50	181.47	200.72	949.52		2,671.07		5,780.53
>6.00				39.46			0.04	2.90		130.28	2.98	0.39	15.48	87.22		1,463.20		1,741.97
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,333.84	156.48	1,956.50	588.12	9.94	4,164.06	64,232.40	66,604.80	481.24	25,433.40	782.26	4,786.63	636.80	4,862.14	5,439.50	9,288.41	9,767.59	202,524.12
0.00–0.20	746.51	91.94	270.17	14.64	4.41	67.29	30,046.40	16,554.97	0.19	9,838.60	9.17	622.65	32.44	580.53	303.84	568.95	48.47	59,801.17
0.20–0.60	1,119.04	52.22	504.74	113.33	5.47	2,333.97	22,984.05	41,202.38	476.46	13,842.76	339.00	2,753.82	221.27	2,175.72	4,521.23	3,602.22	9,444.89	105,692.57
0.60–1.20	1,161.17	11.97	583.10	215.74	0.07	1,497.26	10,962.97	8,421.88	4.34	1,502.24	372.54	1,325.44	333.26	1,585.61	609.78	2,620.03	274.23	31,481.64
1.20–2.40	305.54	0.35	420.11	176.10		265.53	224.60	387.11	0.24	191.76	61.54	80.00	49.82	514.28	4.65	1,873.64		4,555.26
>2.40	1.59		178.38	68.31			14.38	38.45		58.06		4.72		6.01		623.58		993.48
Άθροισμα	3,333.84	156.48	1,956.50	588.12	9.94	4,164.06	64,232.40	66,604.80	481.24	25,433.40	782.26	4,786.63	636.80	4,862.14	5,439.50	9,288.41	9,767.59	202,524.12

44 – Run9_1300_T100

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,414.40	160.15	1,995.37	590.97	9.98	4,170.25	65,527.75	66,815.67	481.28	25,929.86	783.40	4,923.87	637.43	4,867.69	5,442.51	9,304.36	9,767.69	204,822.62
0.00–0.75	1,960.04	73.40	730.20	27.64	9.98	873.59	28,512.86	24,768.68	17.81	10,230.55	94.09	1,419.57	88.44	661.91	1,882.52	1,464.79	8,630.38	81,446.45
0.75–1.50	1,313.51	37.45	712.92	44.85		2,287.39	24,708.51	34,501.60	453.08	8,969.57	200.26	1,345.48	65.36	2,130.68	3,559.99	1,530.02	1,137.30	82,997.98
1.50–3.00	140.85	48.54	543.64	151.64		998.95	12,257.97	7,391.24	10.30	5,498.13	228.15	1,957.60	263.09	1,003.20		2,136.63		32,629.92
3.00–6.00		0.76	8.61	322.01		10.32	48.37	150.86	0.09	1,097.92	257.66	200.80	204.58	975.04		2,675.67		5,952.68
>6.00				44.83			0.04	3.30		133.69	3.24	0.43	15.96	96.86		1,497.24		1,795.59
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,414.40	160.15	1,995.37	590.97	9.98	4,170.25	65,527.75	66,815.67	481.28	25,929.86	783.40	4,923.87	637.43	4,867.69	5,442.51	9,304.36	9,767.69	204,822.62
0.00–0.20	740.98	93.54	282.76	14.59	4.38	65.22	29,917.54	16,207.36	0.18	9,870.42	9.29	599.56	28.19	572.31	302.00	547.30	39.62	59,295.23
0.20–0.60	1,027.20	53.82	490.15	114.79	5.51	2,319.98	23,887.89	41,476.88	476.31	14,077.25	334.44	2,763.94	220.47	2,169.80	4,512.14	3,617.88	9,434.76	106,983.21
0.60–1.20	1,306.10	12.30	584.70	216.39	0.09	1,506.95	11,448.91	8,693.79	4.54	1,732.94	372.49	1,473.10	338.45	1,580.47	623.16	2,627.73	293.32	32,815.41
1.20–2.40	338.01	0.50	447.81	176.68		278.10	257.28	399.13	0.24	192.73	67.18	82.34	50.32	538.72	5.21	1,881.40		4,715.66
>2.40	2.11		189.95	68.52			16.12	38.50		56.51		4.93		6.40		630.05		1,013.11
Άθροισμα	3,414.40	160.15	1,995.37	590.97	9.98	4,170.25	65,527.75	66,815.67	481.28	25,929.86	783.40	4,923.87	637.43	4,867.69	5,442.51	9,304.36	9,767.69	204,822.62

45 – Run9_1300_T1000

	112	121	122	131	142	211	212	213	221	222	231	242	243	411	421	511	523	Άθροισμα
Βάθος ροής (m)	3,600.32	184.40	2,074.64	600.61	10.07	4,186.42	70,669.16	67,743.11	481.42	27,626.30	787.09	5,462.79	638.04	4,891.12	5,452.24	9,381.49	9,768.17	213,557.39
0.00–0.75	1,667.05	80.90	686.28	24.66	10.07	800.40	29,816.71	22,287.05	3.36	10,176.88	37.70	1,809.27	47.77	625.72	1,676.77	1,350.00	7,460.18	78,560.78
0.75–1.50	1,583.79	45.90	749.55	38.54		2,347.70	25,503.75	37,565.59	419.71	8,837.16	257.28	956.04	88.12	2,111.74	3,775.46	1,635.30	2,307.99	88,223.64
1.50–3.00	349.48	55.98	617.93	132.70		1,024.68	15,262.80	7,618.72	58.25	7,134.31	171.01	2,418.22	259.02	943.23		2,080.20		38,126.52
3.00–6.00		1.60	20.88	335.32		13.64	85.84	266.94	0.10	1,332.52	317.18	278.70	225.50	1,072.31		2,683.00		6,633.54
>6.00				69.39			0.05	4.81		145.44	3.92	0.56	17.64	138.12		1,632.99		2,012.92
Ταχύτητα ροής (m/s)	3,600.32	184.40	2,074.64	600.61	10.07	4,186.42	70,669.16	67,743.11	481.42	27,626.30	787.09	5,462.79	638.04	4,891.12	5,452.24	9,381.49	9,768.17	213,557.39
0.00–0.20	601.46	109.97	276.04	14.71	4.26	47.52	28,206.01	15,106.03	0.13	9,636.70	9.55	638.82	1.34	548.61	293.42	492.65	19.62	56,006.85
0.20–0.60	837.53	56.36	437.18	117.23	5.66	2,291.29	28,440.52	42,074.59	475.27	15,134.34	307.85	2,758.09	237.16	2,133.31	4,467.62	3,649.36	9,371.52	112,794.88
0.60–1.20	1,533.74	16.98	584.18	220.06	0.16	1,512.86	13,489.97	10,066.67	5.78	2,597.22	382.35	1,964.75	347.42	1,546.68	682.86	2,640.02	377.03	37,968.72
1.20–2.40	623.70	1.08	543.01	178.85		334.76	512.78	452.21	0.25	195.72	87.34	94.83	52.12	656.08	8.34	1,925.84		5,666.91
>2.40	3.90		234.23	69.75			19.88	43.61		62.31		6.30		6.44		673.61		1,120.03
Άθροισμα	3,600.32	184.40	2,074.64	600.61	10.07	4,186.42	70,669.16	67,743.11	481.42	27,626.30	787.09	5,462.79	638.04	4,891.12	5,452.24	9,381.49	9,768.17	213,557.39