



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Υδρολογική και υδραυλική προσέγγιση
στην ολοκληρωμένη διαχείριση του
πλημμυρικού κινδύνου, στην πεδινή
περιοχή ρέματος Ινάχου Αιτ/νίας.**

Πελεγράτη Α. Αλίκη - Γεωργία

Επιβλέπων : Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**«Υδρολογική και υδραυλική προσέγγιση στην
ολοκληρωμένη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου,
στην πεδινή περιοχή ρέματος Ινάχου Αιτ/νίας.»**

Πελεγράτη Α. Αλίκη - Γεωργία

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

EXECUTIVE SUMMARY	18
Introduction.....	18
Study Area.....	18
Datasets	22
Methodology	24
Results	25
Conclusions	33
References	35
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	37
1.1. Γενικά Στοιχεία	37
1.2. Αντικείμενο της Εργασίας.....	38
1.3. Διάρθρωση Εργασίας.....	38
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	40
2.1. Στοιχεία Περιβάλλοντος.....	40
2.1.1. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (2000/60/ΕΚ).....	40
2.1.2. Υδρολογικό Σύστημα Αχελώου.....	41
2.1.3. Γεωγραφικά στοιχεία	43
2.1.4. Γεωμορφολογικά στοιχεία.....	45
2.1.5. Χρήσεις γης.....	45
2.1.6. Κλίμα.....	45
2.1.7. Στοιχεία Πλημμυρικών Φαινομένων	46
2.2. Δεδομένα.....	51
2.2.1. Γεωχωρικά δεδομένα.....	51
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	63
3.1. Θεωρητικό Υπόβαθρο	63
3.1.1. Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου	63

3.1.2.	Όμβριες καμπύλες.....	66
3.1.3.	Περίοδος επαναφοράς.....	69
3.1.4.	Ορθολογική μέθοδος.....	70
3.1.5.	Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS.....	71
3.1.6.	Τριγωνικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS	80
3.2.	Υπολογιστικά Εργαλεία Υδρολογικής και Υδραυλικής Ανάλυσης	81
3.2.1.	ArcGIS Desktop (Έκδοση 10.8.1).....	81
3.2.2.	HEC - HMS (Έκδοση 4.7.1).....	81
3.2.3.	HEC-RAS 5.0.7	82
3.3.	Μεθοδολογία Επεξεργασίας Δεδομένων	84
3.3.1.	Επεξεργασία Γεωχωρικών Δεδομένων και Χαρτών	84
3.3.2.	Επιλογή Όμβριων Καμπύλων	85
3.3.3.	Εκτίμηση Πλημμυρικής Αιχμής με Ορθολογική Μέθοδο και Σύνθεση Πλημμυρογραφήματος	85
3.3.4.	Εκτίμηση Παραμέτρων του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος SCS και Σύνθεση Πλημμυρογραφήματος	86
3.3.5.	Υδραυλική Προσομοίωση	86
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	88
4.1.	Χαρακτηριστικά Μεγέθη Λεκανών Απορροής και Υδρογραφικού Δικτύου	89
4.2.	Όμβριες Καμπύλες.....	90
4.3.	Ορθολογική Μέθοδος.....	93
4.3.1.	Συντελεστής Απορροής C.....	93
4.3.2.	Κρίσιμη Ένταση Βροχόπτωσης i	94
4.3.3.	Πλημμυρικές Αιχμές Ορθολογικής Μεθόδου	94
4.3.4.	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα	96
4.4.	Συνθετικό Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS.....	97
4.4.1.	Προετοιμασία Δεδομένων Εισόδου HEC-HMS.....	97
4.4.2.	Σύνθεση Πλημμυρογραφήματος από το MYG κατά SCS.....	102

4.5.	Υδραυλική Προσομοίωση	106
4.5.1.	Περιοχή Νέο Χαλκινόπουλο	106
4.5.2.	Περιοχή Αμοργιανών	111
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	115
5.1.	Σύνοψη.....	115
5.2.	Συμπεράσματα	115
5.3.	Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνά	117
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	118
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	124

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά ποτάμιων συστημάτων ΣΔΛΑΠ (πηγή: http://wfdver.ypeka.gr).....	40
Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (πηγή: floods.ypeka.gr).....	42
Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών(πηγή: floods.ypeka.gr)	43
Πίνακας 2.4: Στοιχεία μηνιαίων βροχοπτώσεων από Μετεωρολογικό Σταθμό Αμφιλοχίας (πηγή: http://meteosearch.meteo.gr/).....	46
Πίνακας 2.5: Γεωλογικοί Σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης (πηγή: Χάρτες ΙΓΜΕ μετά από ψηφιοποίηση)	55
Πίνακας 2.6: Χρήσεις γης κατά Corine και αντιστοίχιση με συντ. τριβής Manning.....	60
Πίνακας 3.1: Υπολογισμός των τετμημένων στο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (πηγή: floods.ypeka.gr).....	73
Πίνακας 3.2: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS ανά υδρολογικό τύπο εδάφους και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II.	79
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη και υψόμετρα υπολεκανών και υδρογραφικού δικτύου εξεταζόμενων περιοχών.....	89
Πίνακας 4.2: Στοιχεία όμβριων καμπυλών (πηγή floods.ypeka.gr) και πολύγωνα Thiessen για υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπούλου.....	91
Πίνακας 4.3: Στοιχεία όμβριων καμπυλών (πηγή floods.ypeka.gr) και πολύγωνα Thiessen για υπολεκάνη Αμοργιανών	91
Πίνακας 4.4: Επιμέρους συντελεστής απορροής για κάθε υπολεκάνη.....	93
Πίνακας 4.5: Τελικοί συντελεστής απορροής για κάθε υπολεκάνη	94
Πίνακας 4.6:Εκτιμώμενες κρίσιμες επιφανειακές εντάσεις για κάθε υπολεκάνη	94
Πίνακας 4.7: Πλημμυρικές αιχμές Ορθολογικής Μεθόδου για υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπούλου.....	95
Πίνακας 4.8: Πλημμυρικές αιχμές Ορθολογικής Μεθόδου για υπολεκάνη Αμοργιανών.....	95
Πίνακας 4.9: Στοιχεία υπολογισμού για ΜΥΓ κατά SCS - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπούλου	99

Πίνακας 4.10: Στοιχεία υπολογισμού για ΜΥΓ SCS - Υπολεκάνη Αμοργιανών	99
Πίνακας 4.11: Καταιγίδα σχεδιασμού με τη μέθοδο Εναλλασσόμενων Μπλοκ (Alternating Blocks)	102
Πίνακας 4.12: Σύγκριση πλημμυρικών αιχμών από σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS και από Ορθολογική Μέθοδο - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου.....	105
Πίνακας 4.13: Σύγκριση πλημμυρικών αιχμών από σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS και από Ορθολογική Μέθοδο - Υπολεκάνη Αμοργιανών	105
Πίνακας 4.14: Πίνακας με σενάρια υδραυλικής προσομοίωσης με το λογισμικό HEC-RAS, για την υπολεκάνη «Νεό Χαλκιόπουλο»	106
Πίνακας 4.15: Πίνακας με σενάρια υδραυλικής προσομοίωσης με το λογισμικό HEC-RAS, για την υπολεκάνη «Αμοργιανοί».....	106
Πίνακας 7.1: Συντελεστής Cr: Ανάγλυφο εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου .	125
Πίνακας 7.2: Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου	126
Πίνακας 7.3: Συντελεστής Cv: Φυτική Κάλυψη εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου	127
Πίνακας 7.4: Συντελεστής Cs: Αποθηκευτικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου.....	128
Πίνακας 7.5: Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών	129
Πίνακας 7.6: Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών	130
Πίνακας 7.7: Συντελεστής Cv : Φυτική κάλυψη εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών	131
Πίνακας 7.8: Συντελεστής Cs: Αποθηκευτικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών	132
Πίνακας 7.9: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 50 έτη.	133
Πίνακας 7.10: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 100 έτη.	134
Πίνακας 7.11: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 1000 έτη.	135
Πίνακας 7.12: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 50 έτη.	136

Πίνακας 7.13: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 100 έτη.	138
Πίνακας 7.14: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 1000 έτη.	139

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Θέση Ποταμού Ινάχου στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Ελλάδας EL 04 (πηγή: floods.ypeka.gr)	41
Σχήμα 2.2: Σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου που ακολουθήθηκε στα ΣΔΚΠ (πηγή: floods.ypeka)	42
Σχήμα 2.3: Θέση εξεταζόμενης λεκάνης (υπόβαθρο: 1:50.000 ΓΥΣ)	44
Σχήμα 2.5: Αποψη της γέφυρας προς Αμοργιανούς.....	49
Σχήμα 2.4: Αποψη του ανάντη τμήματος της γέφυρας προς Αμοργιανούς.	49
Σχήμα 2.6: Χάρτης με καταγεγραμμένα πλημμυρικά συμβάντα στον Ίναχο (πηγή: floods.ypeka).....	50
Σχήμα 2.7: Χάρτης Ζωνών Κινδύνου Πλημμύρας Ποταμού Ινάχου - ΣΔΚΠ ΥΔ EL04 (πηγή: floods.ypeka)	47
Σχήμα 2.8: Το ΨΜΕ εντός της περιοχής μελέτης.	52
Σχήμα 2.9: Χάρτης κατανομής κλίσεων εδάφους (πηγή: ΨΜΕ του ΟΚΧΕ μετά από επεξεργασία σε ΣΓΠ)	53
Σχήμα 2.10: Γεωλογικοί σχηματισμοί λεκάνης απορροής (πηγή: Χάρτες ΠΜΕ μετά από ψηφιοποίηση).....	54
Σχήμα 2.11: Χάρτης υδρολιθολογικών σχηματισμών (πηγή: floods.ypeka)	57
Σχήμα 2.12: Χάρτης κατάταξης εδαφικών τύπων (πηγή: floods.ypeka)	58
Σχήμα 2.13: Χάρτης κατανομής κάλυψης γης κατά CORINE Landcover (πηγή: land.copernicus.eu μετά από επεξεργασία).....	59
Σχήμα 2.14: Χάρτης βλάστησης (πηγή: floods.ypeka)	61
Σχήμα 3.1: Επιρροή του σχήματος της λεκάνης στ τη μορφή και την αισιμή του υδρογραφήματος (πηγή: NRCS, 2007).....	64
Σχήμα 3.2: Το Αδιάστατο Υδρογράφημα της SCS (πηγή: floods.ypeka).....	72
Σχήμα 3.3: Το τριγωνικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS	80
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας	84
Σχήμα 4.1:Εξεταζόμενες περιοχές με τις αντίστοιχες υπολεκάνες.....	88

Σχήμα 4.2: Χάρτης επιρροής πλησιέστερων σταθμών και πολυγώνων επιρροής Thiessen (πηγή:floods.ypeka)	92
Σχήμα 4.3: Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα SCS, Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου, T = 50, 100 και 1000 έτη	96
Σχήμα 4.4: Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα SCS, Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 50, 100 και 1000 έτη	97
Σχήμα 4.5: Χάρτης σχηματοποίησης υδρογραφικού δικτύου από το ΣΔΚΠ.....	98
Σχήμα 4.6: Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για περίοδο επαναφοράς T = 50, 100 και 1000 έτη.....	101
Σχήμα 4.7: Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS υπολεκάνης Αμοργιανών, για περίοδο επαναφοράς T = 50, 100 και 1000 έτη.....	101
Σχήμα 4.8: Πλημμυρογράφημα Σχεδιασμού (MYΓ SCS), Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου, T = 50 έτη.....	103
Σχήμα 4.9: Πλημμυρογράφημα Σχεδιασμού (MYΓ SCS), Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου, T = 100 έτη.....	103
Σχήμα 4.10: Πλημμυρογράφημα Σχεδιασμού (MYΓ SCS), Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου, T = 1000 έτη.....	103
Σχήμα 4.11: Πλημμυρογράφημα Σχεδιασμού (MYΓ SCS), Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 50 έτη.....	104
Σχήμα 4.12: Πλημμυρογράφημα Σχεδιασμού (MYΓ SCS), Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 100 έτη.....	104
Σχήμα 4.13: Πλημμυρογράφημα Σχεδιασμού (MYΓ SCS), Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 1000 έτη.....	104
Σχήμα 4.14: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για T = 50 έτη:	108
Σχήμα 4.15: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για T = 50 έτη:	108
Σχήμα 4.16: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για T = 1000 έτη:.....	109
Σχήμα 4.17: Σύγκριση ζωνών πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου (όλα τα σενάρια).....	110

Σχήμα 4.18: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, για $T = 50$ έτη	112
Σχήμα 4.14: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, για $T = 100$ έτη	112
Σχήμα 4.14: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, για $T = 1000$ έτη	113
Σχήμα 4.21: Σύγκριση ζωνών πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, (όλα τα σενάρια).	114

LIST OF TABLES

Table 1: Land cover type and Manning roughness coefficient values	23
Table 2: Subbasins geomorphological and main hydrological characteristics	25
Table 3: IDF curves determination.....	26
Table 4: Runoff coefficient determination.....	26
Table 5: Final values of runoff coefficient.....	26
Table 6: Rainfall intensity	27
Table 7: Rational method results.....	27

LIST OF FIGURES

Figure 1: The two examined subbasins	20
Figure 2: Workflow of Methodology	24
Figure 3: SCS triangular unit hydrograph for (a) Chalkiopoulos and (b) Amorgiani	28
Figure 4: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Chalkiopoulos subbasin, T=50y	28
Figure 5: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Chalkiopoulos subbasin, T=100y ..	28
Figure 6: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Chalkiopoulos subbasin, T=1000 y	29
Figure 7: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Ammorgiani subbasin, T=50y	29
Figure 8: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Ammorgiani subbasin, T=100y	29
Figure 9: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Ammorgiani subbasin, T=1000y .	30
Figure 10: Hydraulic analysis results for Neo Chalkiopoulos subbasin.....	31
Figure 11: Hydraulic analysis results for Amorgiani subbasin	33

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ / GREEK ACRONYMS

- ΓΥΣ : Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
- ΕΓΣΑ '87 : Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
- ΙΓΜΕ : Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
- ΖΔΚΠ : Ζώνη Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας
- ΚΥΑ : Κοινή Υπουργική Απόφαση
- ΜΥ : Μοναδιαίο Υδρογράφημα
- ΣΓΠ : Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
- ΣΔΚΠ : Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας
- ΣΔΛΑΠ : Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών
- ΥΔ : Υδατικό Διαμέρισμα
- ΥΠΕΝ/ΥΠΕΚΑ : Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
- ΨΜΕ : Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ / ENGLISH ACRONYMS

- CORINE : Coordination of Information of the Environment
- DEM : Digital Elevation Model
- GIS : Geographical Information System
- HEC - HMS : Hydrologic Engineering Centre - Hydrologic Modelling System
- HEC - RAS : Hydrologic Engineering Centre – River Analysis System
- NTUA : National Technical University of Athens
- USACE : US Army Corps of Engineers

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και επιβλέποντα της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, για την έμπρακτη υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας μου στο Δ.Π.Μ.Σ., καθώς και για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση του και γενικότερα τη σημαντική συμβολή του στην εκπόνηση της εν λόγω μεταπτυχιακής εργασίας.

Ακόμη ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Νικόλαο Μαμάση, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και τον κ. Ηλία Παπακωνσταντή, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Επίσης ευχαριστώ τον κ. Απόλλωνα Μπουρνά, υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την βοήθειά του και τις εποικοδομητικές συμβουλές του. Η συμβολή του ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ακόμη ευχαριστώ την Δρ Ελισσάβετ Φελώνη, διδάσκουσα του Δ.Π.Μ.Σ., η οποία με στηρίξε εμπράκτως και με καθοδήγησε αποτελεσματικά καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ τους γονείς μου και την αδερφή μου, που η αγάπη τους με στηρίζει πάντα, όσα χιλιόμετρα κι αν μας χωρίζουν. Τέλος ευχαριστώ το σύντροφό μου για την προτροπή του να παρακολουθήσω το Δ.Π.Μ.Σ. και για την ουσιαστική υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια παρακολούθησης του.

Πελεγράτη Α. Αλίκη - Γεωργία
Φεβρουάριος 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή μεθοδολογίας για τη διερεύνηση της υδρολογικής και υδραυλικής απόκρισης, με στόχο την παραγωγή χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, χρησιμοποιώντας σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία (ArcGIS, HEC-HMS, HEC-RAS). Η εφαρμογή γίνεται σε δύο επλεγμένες θέσεις κατά μήκος του Ίναχου Ποταμού Αιτωλοακαρνανίας, οι οποίες υπόκεινται σε συχνά πλημμυρικά φαινόμενα, εξαιτίας του μικρού βάθους του ποταμού και της ήπιας κλίσης των παρόχθιων εκτάσεων.

Η γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ-GIS). Η υδρολογική ανάλυση έγινε θεωρώντας κάθε υπολεκάνη ως ενιαίο (lumped) μοντέλο, με χρήση του λογισμικού HEC - HMS. Συγκεκριμένα, έγινε εφαρμογή και σύγκριση δύο ευρέως διαδεδομένων εμπειρικών μεθόδων βροχής-απορροής, α) η μέθοδος του Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά την SCS και β) η εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου μέσω τριγωνικού ΜΥΓ. Τα υετογραφήματα σχεδιασμού υπολογίστηκαν για περιόδους επαναφοράς (T) για 50, 100 και 1000 έτη, με επιφανειακή αναγωγή από σημειακές όμβριες καμπύλες που προτάθηκαν κατά την σύνταξη των Σχέδιων Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας. Η κατανομή της βροχόπτωσης έγινε με τη μέθοδο των Εναλλασσόμενων Μπλοκ, ενώ οι υδρολογικές απώλειες υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο CN της SCS. Τέλος, η υδραυλική προσομοίωση έγινε με το λογισμικό HEC-RAS 2D, χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ), ύστερα από διόρθωση των διατομών του ποταμού, ενώ ο συντελεστής Manning υπολογίστηκε μέσω των χρήσεων γης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι και στις δύο μελετώμενες περιοχές, η πλημμυρική αιχμή που υπολογίστηκε με την Ορθολογική μέθοδο, για T = 50 και T = 100 έτη είναι μεγαλύτερη από την αιχμή που υπολογίστηκε με το ΜΥΓ κατά SCS, ενώ για T = 1000 έτη ισχύει το αντίστροφο.

Λέξεις κλειδιά: Ίναχος, Αιτωλοακαρνανία, πλημμυρική κατάκλυση, ΣΓΠ, Υδραυλική προσομοίωση, Αδιάστατο ΜΥΓ SCS, Ορθολογική Μέθοδος.

ABSTRACT

In this research work, an integrated hydrological and hydraulic analysis is performed in order to determine flood inundation maps for three return periods. The analysis is with the use of specialized. The methodology is implemented using specialized software, such as the ArcGIS, HEC-HMS and HEC-RAS, and is applied for two particular areas of interest across Inachos river. Inachos river basin lies within the regional unit of Aetolia and Acarnania and floods is the most common of all weather-related natural disasters in the lowlands due to the shallow depth of river channel and mild terrain slope of floodplains. The geomorphological analysis is performed with the aid of Geographical Information Systems (GIS) for spatial data analysis and processing and for the evaluation of various datasets. The hydrological analysis was performed with the use of HEC-HMS software, assuming lumped model for each subbasin. Particularly, two well-known and widely used rainfall - runoff models were applied; the SCS dimensionless synthetic unit hydrograph and the SCS triangular unit hydrograph method, using the Rational method for the peak flow estimation. Design hyetographs are calculated for 50-, 100- and 1000-year return period, using the intensity - duration - frequency (IDF) curves in given meteorological stations' positions. The temporal distribution of rainfall is determined using the alternating block method and the hydrological losses are estimated with the SCS - CN method. Finally, hydraulic simulation is performed in the HEC-RAS 2D software, utilizing the DEM as input terrain and the layer regarding Manning coefficient derived from the current Corine Land Cover dataset. Along with the inundation maps, results indicate that in both areas, the peak flow calculated with rational method for 50-year and 100-year return periods is higher than the corresponding values calculated with the SCS dimensionless unit hydrograph, whereas for the 1000-year return period, SCS dimensionless unit hydrograph results in a higher value of peak discharge.

Key words: Inachos River, Aetolia and Acarnania, inundation map, hydraulic simulation, NRCS (SCS) Synthetic Curvilinear Dimensionless Unit Hydrograph, Rational method, rainfall-runoff, flood, GIS, HEC-HMS, HEC-RAS.

EXECUTIVE SUMMARY

Introduction

The study of floods is important for the evaluation of an area's flood characteristics and their hydrological response to a specific precipitation event. The analysis is mainly concentrated on the flood extend, the flow velocity and the water depth determination in order to adopt proper flood mitigation policies. Current studies couple hydrological and two-dimensional (2D) numerical simulation hydraulic models to perform the integrated flood simulations (e.g., Thakur et al. 2017; Rollason et al., 2018). In this research work, three synthetic flood events are simulated, for two subbasins of the Inachos River Basin. The geomorphological analysis and the data pre-processing are performed using Geographic Information Systems (GIS) and particularly the ArcGIS software was used, the flood hydrographs are then calculated using the HEC-HMS model, while the HEC-RAS 2-D model was used to numerically simulate the flood from a hydraulic perspective across the river and in the floodplain. Finally, two methods regarding rainfall-runoff transformation are compared, the Unit Hydrograph (UH) and the rational method. The UH is calculated using the SCS dimensionless synthetic UH, while estimated peak flow estimation the using the Rational method was converted into a hydrograph using the the SCS triangular unit hydrograph method. The analysis was performed for three design hyetographs, for three return periods (50, 100 and 1000 years) using derived intensity-duration curves (IDF). The analysis contributes to the identification of the flood impact resulting from rainfall events of specific return periods and, also, discusses the discrepancy in estimates after considering different approaches, a fact that should be taken into consideration regarding flood mitigation policies adopted.

Study Area

The investigation of the hydrological – hydraulic response for specific rainfall events is performed in two locations across Inachos River, a subbasin of Acheloos River Basin, located in Aetolia and Acarnania Region, providing the corresponding flood hazard maps

for two sections; Section #1 near Neo Chalkiopoulos settlement corresponds to a sub-basin of 130.54 km², and Section #2 near Amorgianoi settlement, downstream the first section, including a total area of 278.50 km², which practically coincides with the whole Inachos River Basin.

The total basin area of Inachos River is in Valtos Province, northwest of the city of Amfilochia, located in the northern part of the Municipality of Amfilochia. Inachos River, springs from the mountains of Valtos, upstream Patiopoulos settlement, crosses the valley between the mountains of Valtos and Makrinoros, with a general direction from North to the South and flows into the artificial lake Kastraki. The total area of the basin up to Kastraki is about 280 km² and the mainstream total length is 37 km. The hydrological basin is bordered to the North by the prefecture boundaries between Aetoloacarnania and Arta and the mountains Helona (maximum elevation: 1538 m) and Tourkogianni (maximum elevation: 1432 m). The western boundary of the basin is defined by the mountains of Makrinoros (830 m) and then the hilltops named Psilo Vouni, Dendrotos (789 m), Pyrgakia (834 m), Stavros (738 m), Mnimata (736 m), Strogilovouni (797 m), Tragostalos (881 m), Paleokastro (856 m) and Felos (773 m). To the East, the basin is bounded by the hilltops of Valtos; named Loutsa (1318 m), Korfoula (1648 m), Profitis Ilias (1584 m), Psilovouni (1463 m) and Androni (1372 m), Paliorroura (884 m), Tsouka (583 m), Pyrgos (845 m), Paliokoproula (676 m) and Strogilo (380 m). The southern boundary is the reservoir of Kastraki dam. The entire basin of the Inachos River, administratively belongs to the Municipality of Amfilochia, in Aetolia and Acarnania Regional Unit (Region of Western Greece). The local road network that crosses the basin on the North - South axis is the Provincial Road Stratou - Chalkiopoulos - Patiopoulos. The main settlements from North to South are: Patiopoulos, Thyamos, Kaminos, Grammatsouli, Neo Agridi, Empessos, Sykia, Potamia, Prosilia, Neo Chalkiopoulos, Agios Minas, Maraneli, Ano Kampos, Petrona, Nea Malesiada, Chamoriki, Giannopouli, Paliampela and Amorgianoi. Figure 1 shows the examined subbasins of Inachos.

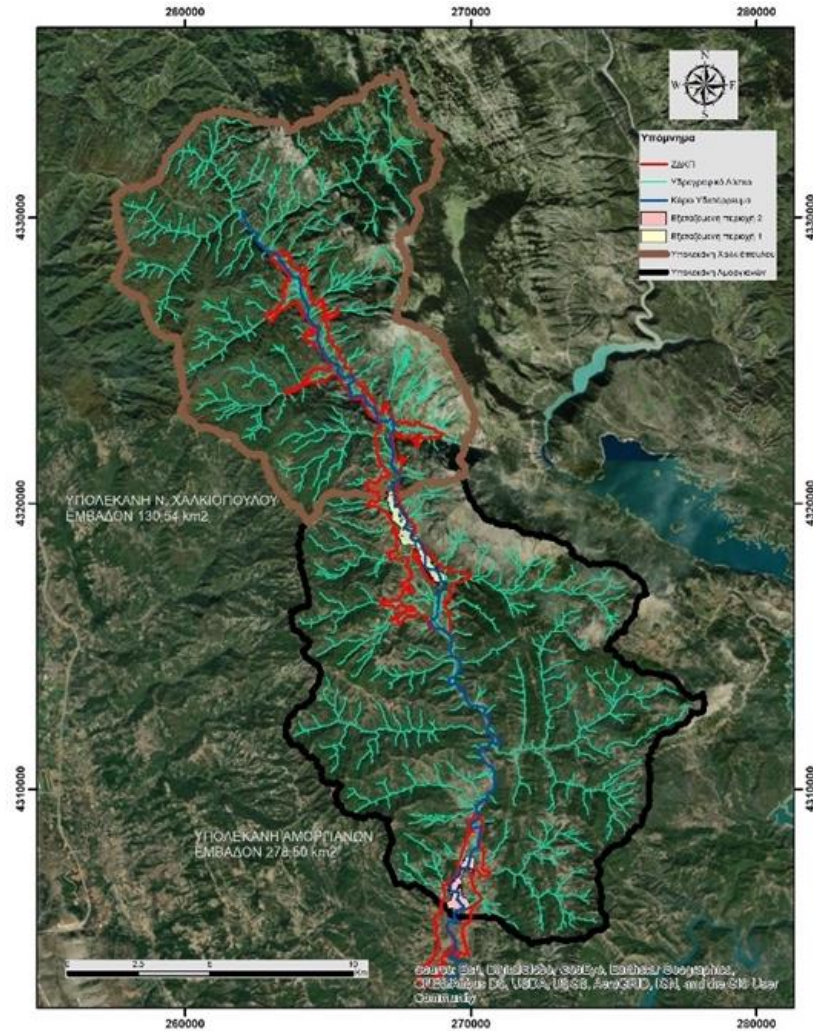


Figure 1: The two examined subbasins

Regarding geomorphology, from the position of confluence with the Tornos tributary and downstream, Inachos river presents gentle slopes (maximum value equal to 5%). Higher slopes (of up to 25%) are observed in the small basins of torrents that contribute to Inachos. The streams that constitute Inachos hydrographic network are: Tornos, Kamaraki, Gavros, Papachristou stream, Kato Vrysi, Vromoneri, Kalamos, Mega Rema, Palianorevma, Klimatorema, Valtoneri, Nerostoma, Varkorema and Saradapori. Land uses in the catchment are mainly forests, in the mountainous areas, and agricultural land, along the riverbed, in the lowlands of the alluvial deposits. The climate is characterized as Mediterranean, and particularly the annual precipitation depth in the River Basin

District (RBD) of Western Greece (EL04) is the second highest in the country after that of the RBD of Epirus (EL05). The average annual rainfall ranges from about 800 to 1000 mm in the coastal and lowlands and reaches 1400 mm in the mountains, while at high altitudes it exceeds 1800 mm. The wettest months are four, from November to February, while the driest months are July and August. The snowfall is intense in the mountainous areas of the region and, as expected, the number of snow days increases from the coast to the mainland. After analysing the available rainfall records of the automatic meteorological station of NOANN, located in Amfilochia (altitude: 40 m; position: DEYA Amfilochias; 38° 53 '37 "N, 21° 08' 49" E), which has been operating since 2016 and is the closest to the area, it is observed that in recent years the total annual rainfall ranges from 780 mm to 1090 mm. The area suffers from frequent flood events, with the most important events of recent years the first ten days of February 2015 and on December 1-2, 2017. Especially, after the events of 2017, a state of emergency has been declared for the region. Recently, on 04.01.2021, in the downstream area of Inachos, the water overflowed the bridge close to Amorgiani; water depth exceeded locally the value of 4 m. During this two-day event, total rainfall depth recorded in Amfilochia station was 180 mm. The riparian areas affected by floods are mainly rural with gentle slopes. In these areas, the riverbed is relatively shallow and has a gentle slope, and floods usually affecting the neighbouring crops. A contributing factor for the severity of local flood events is the debris flow and landslides activity, due to the loose formations of clay flysch in combination with the high surface slope of the mountainous parts of the watershed.

Datasets

In the context of the present work, the following data were analysed in a GIS environment, in order to create the necessary thematic layers.

A Digital Elevation Model (DEM) which was provided by the National Cadastre and Mapping Agency S.A. which features a pixel size on the ground of 5.00 m. The geometric accuracy of the product is $RMSE_z \leq 2.00m$ and the absolute accuracy ≤ 3.92 m for a 95% confidence level. Derived slope maps indicate an average slope of the basin at 40.81%.

Soil maps, used to estimate the sub-soil relief factor C_r and the sub-soil storage coefficient C_s , which relate to the runoff coefficient of the Rational Method. The map defines four classes, according to a classification introduced by the responsible organization of the Ministry of Environment and Energy (GRDG, 2002).

The Regarding the geology/lithology of the region, the digitization of geological maps of "Alevrada", "Amfilochia", "Peta" and "Raptopoulo" (scale 1:50000) provided by the IGME is performed. It is observed that the majority of the catchment area (71%) is occupied by flysch, the next formation that is found is limestone (16%) and alluvium and ridges are usually found in the lowlands (about 13% of the total area). Regarding the geological formations that are found in the catchment, there are formations of the alpine geotectonic zones of Gavrovo and the Ionian Zone. Neogene and quaternary deposits cover the alpine formations, especially in the lowlands.

The information regarding soil permeability is based on the geological formations identification by classifying the permeability category, taking into account information regarding hydrolithology and the hydrological soil classification as provided through the Flood Risk Management Plans (Special Secretariat of Water, 2018). Data were introduced in a GIS environment to estimate the individual soil permeability coefficient, C_i , which is necessary for the implementation of the Rational Method.

CORINE Land Cover database (Copernicus, 2018) were used to represent the land use distribution map in the study area. Areas with natural and/or forest vegetation occupy

81.19% of the basin, agricultural lands correspond to 18.26% and the urban areas constitutes 0.55% of the total. In addition, Table 1 includes the Manning roughness coefficient (n) values that correspond to each land cover category (as proposed according to the global literature; e.g., Arcement and Schneider, 1989; Barnes, 1967), a record that is used to define the Manning coefficient spatial distribution layer, which is further used in the hydraulic simulation with HEC-RAS software.

Table 1: Land cover type and Manning roughness coefficient values

A/A	LC Code	n
1	112	0.013
2	211	0.030
3	242	0.040
4	243	0.050
5	311	0.100
6	312	0.100
7	313	0.100
8	321	0.040
9	323	0.050
10	324	0.060
11	333	0.027
12	334	0.025

Furthermore, the CORINE land cover map that is related to vegetation is also categorized into vegetation density classes, taking into account data from the related map of the Flood Risk Management Plans (Special Secretariat of Water, 2018). Data were analysed in a GIS environment for the estimation of the vegetation factor C_v , which contributes to the runoff coefficient value determination, necessary for the implementation of the Rational Method.

Additional data, which were utilized in the context of this research work, are freely available geospatial data from the following sites:

- Geoportal of the River Basin Management Plans for the RBD EL04.
- Geoportal of the Flood Risk Management Plans for the RBD EL04.

- Geospatial data records of historical flood events, significant flood events and the Revised Potentially High Flood Risk Zones.
- Geodata of the website geodata.gov.gr regarding the administrative boundaries, etc.
- Additional geographical information was obtained from the following maps: (i) View orthophotos, freely available from the Hellenic Land Registry, for various periods, (ii) Google Earth Browser Maps, available through the free Google Earth Pro 7.3.

Methodology

The flowchart of Figure 2 summarizes the main steps of the methodology. The methodology followed involves data processing in a GIS environment to define various characteristics of the catchment area and the hydrographic network, the IDF curves determination, the calculation of the time of concentration according to Giandotti's formula (Giandotti, 1934) and the estimation of the runoff coefficient.

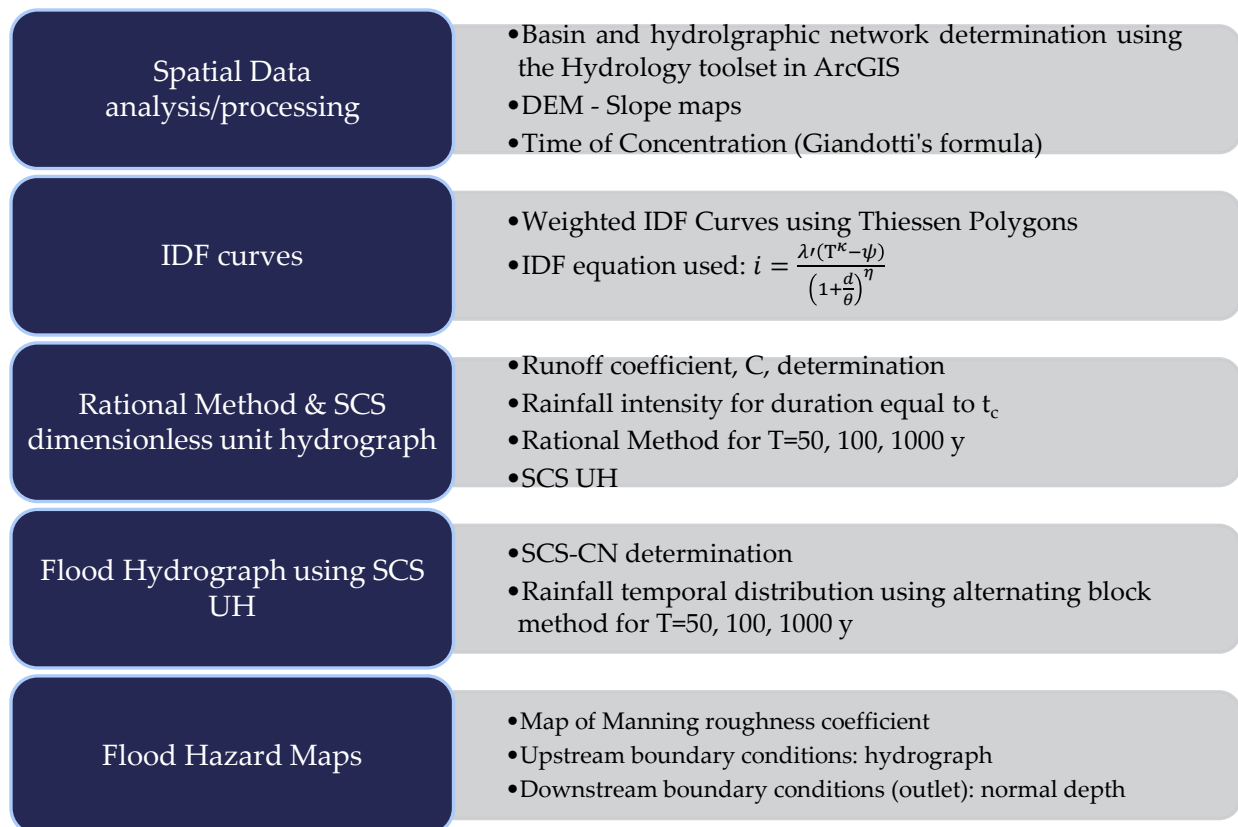


Figure 2: Workflow of Methodology

These steps are necessary for the Rational Method implementation and for the determination of the SCS Unit Hydrograph, using the HEC-HMS. Finally, the HEC-RAS 2-D was used to produce flood hazard maps, after incorporating the products of GIS and hydrologic analysis.

Results

The analysis regarding integrated flood risk assessment includes the determination of the catchment characteristics, the hydrological analysis and the 2-D hydraulic simulation.

Table 2 summarizes the geomorphological characteristics for the two subbasins.

Table 2: Subbasins geomorphological and main hydrological characteristics

Area	Perimeter	Horizontal projection of basin's length	$N_{\sigma x}$	t_c
[m ²]	[m]	[m]	[-]	[h]
Neo Chalkiopoulos				
130537700.00	79890.00	14902.83	0.59	4.40
Amorgiani				
278500957.86	104010.93	29413.96	0.32	7.34
Max Elevation	Elevation at the basin outlet	Elevation at the longest flowpath	Mean Elevation	Mean Slope
[m]	[m]	[m]	[m]	[m/m]
Neo Chalkiopoulos				
1643.97	260.27	1540.00	717.23	44.90 %
Amorgiani				
1643.97	148.52	1540.00	604.74	40.81 %
Mainstream length	Longest flowpath length	Total hydrographic network length	Stream Order (Strahler)	D_d
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]
Neo Chalkiopoulos				
19724.00	24215.80	311866.00	5 th	2.39
Amorgiani				
39490.77	42939.60	657863.00	5 th	2.36

The IDF curve is determined using the parameters defined for the stations that operate in the region, and their values are calculated weighted using the Thiessen polygons method

for each station's percentage estimation. Both Thiessen weights and IDF parameters are shown in Table 3. Table 4 summarizes the coefficients that result in the runoff coefficient determination, which is the same for both subbasins. Finally, the change in t_c value in relation to the return period, is shown in Table 5.

Table 3: IDF curves determination

	Station	λ'	ψ'	κ	η	θ	Thiessen weights
Neo Chalkiopoulo	Perdikaki	91.741	0.409	0.123	0.627	0.334	62.47%
	Skoulikaria	123.637	0.546	0.123	0.627	0.334	37.53%
Amorgiani	Perdikaki	91.741	0.409	0.123	0.627	0.334	58.55%
	Skoulikaria	123.637	0.546	0.123	0.627	0.334	17.59%
	HES Kremasta	117.398	0.609	0.123	0.627	0.334	23.85%

Table 4: Runoff coefficient determination

Relief	Cr	0.28
Permability	Ci	0.10
Vegetation	Cv	0.06
Water Storage Capacity	Cs	0.10
Total	C'	0.55

Table 5: Final values of runoff coefficient

Return period	C
T = 50 y	0.66
T = 100 y	0.69
T = 1000 y	0.69

The critical rainfall intensity that is defined as a function of time of concentration, t_c , and return period, T, are summarized in the following Table for both subbasins. Table 7 includes the resulting peak discharge determined using the Rational Method.

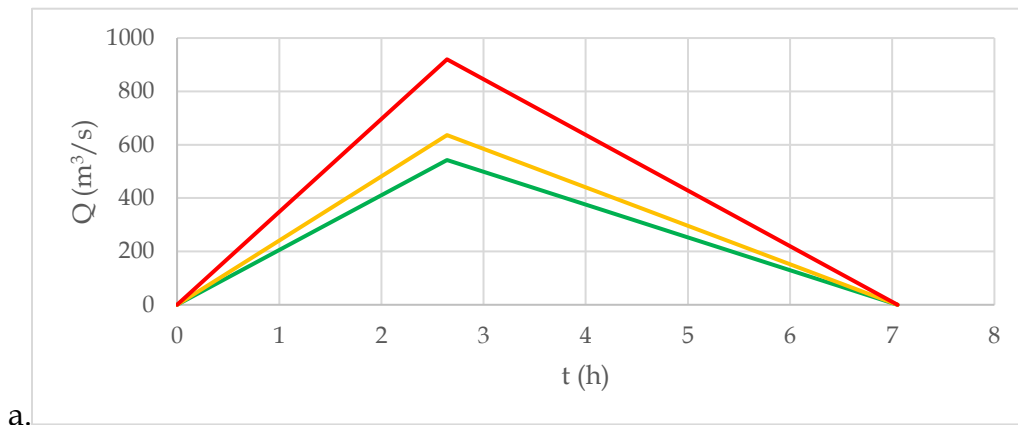
Table 6: Rainfall intensity

Subbasin	Return period	Rainfall intensity
Neo Chalkiopoulos	T = 50 y	i=22.57 mm/h
	T = 100 y	i=25.40 mm/h
	T = 1000 y	i=36.75 mm/h
Amorgiani	T = 50 y	i=16.32 mm/h
	T = 100 y	i=18.41 mm/h
	T = 1000 y	i=26.77 mm/h

Table 7: Rational method results

Subbasin	Return period	Peak discharge
Neo Chalkiopoulos	T = 50 y	542.58 m ³ /s
	T = 100 y	636.09 m ³ /s
	T = 1000 y	920.17 m ³ /s
Amorgiani	T = 50 y	836.24 m ³ /s
	T = 100 y	982.48 m ³ /s
	T = 1000 y	1428.73 m ³ /s

Finally, the following figures depict the resulting hydrographs that determined using (a) the SCS triangular unit hydrograph (linked to the peak discharge derived from the Rational method implementation) and (b) the NRCS (SCS) Synthetic Curvilinear Dimensionless Unit Hydrograph (linked to the storm event determined with the alternating block method and with hydrological losses based on SCS-CN approach).



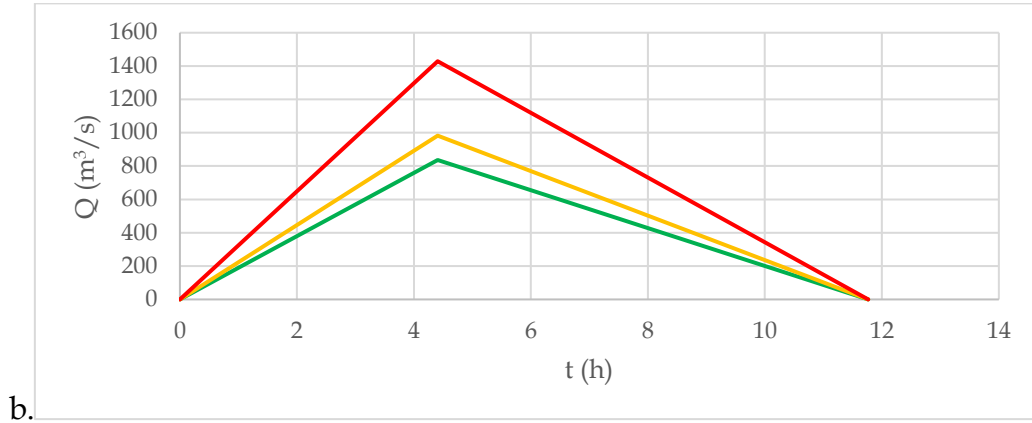
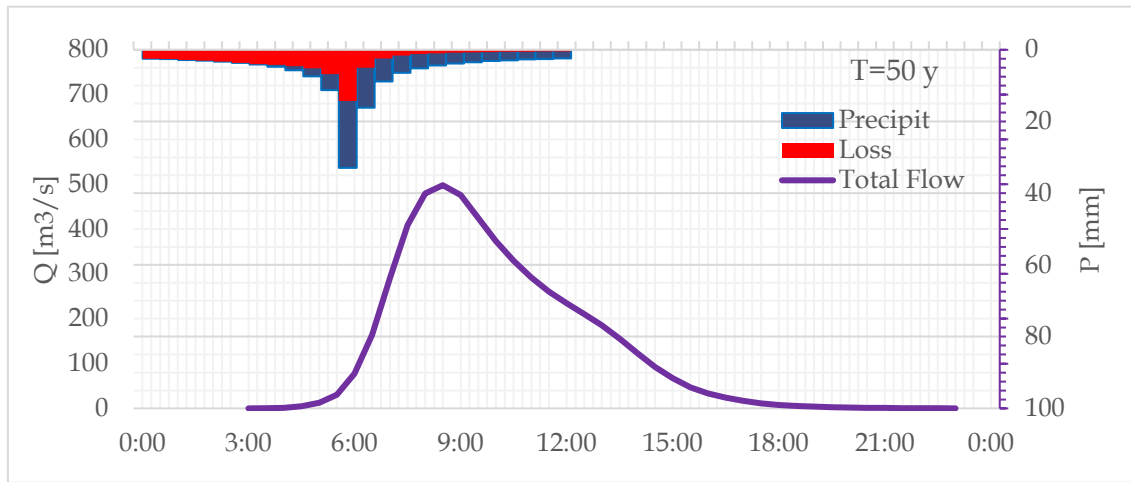
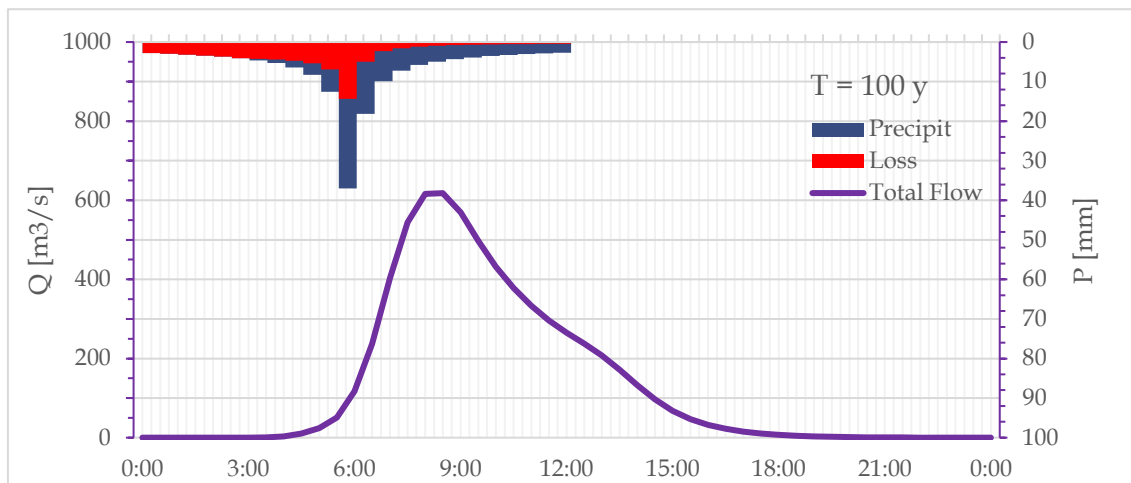


Figure 3: SCS triangular unit hydrograph for (a) Chalkiopoulo and (b) Amorgiani (green=50y, yellow=100y, red=1000y)



Figure

4: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Chalkiopoulo subbasin, T = 50 y



Figure

5: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Chalkiopoulo subbasin, T = 100 y

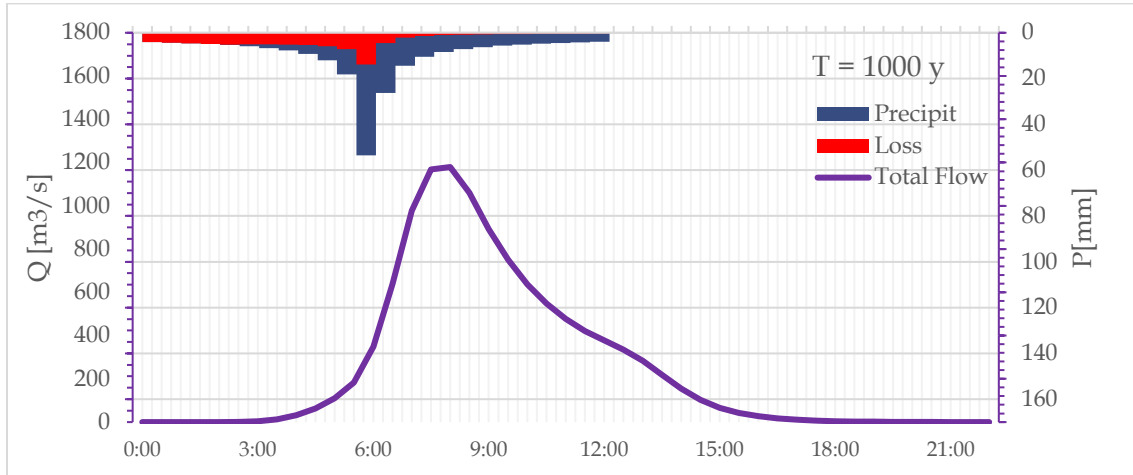


Figure 6: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Chalkiopoulos subbasin, T = 1000 y

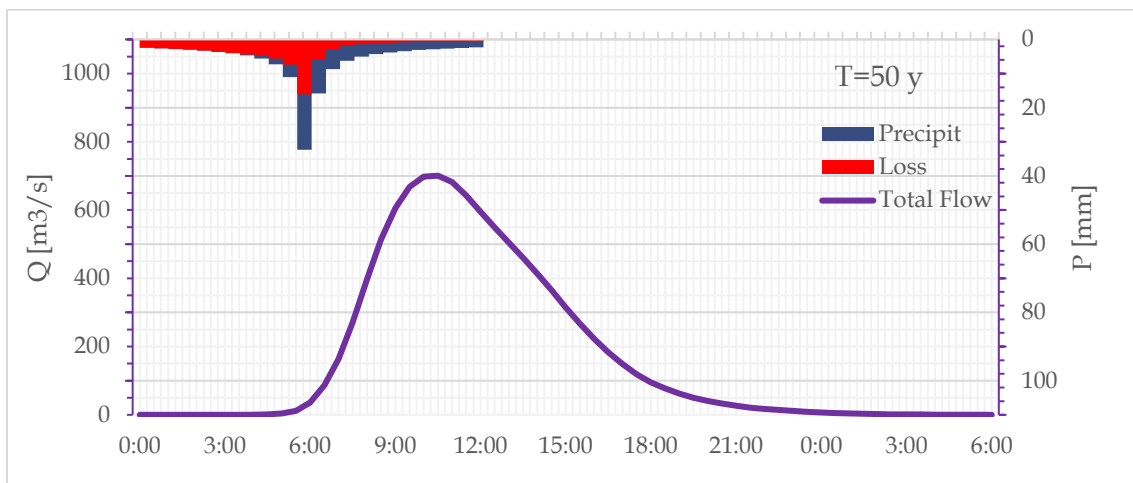


Figure 7: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Ammorgiani subbasin, T = 50 y

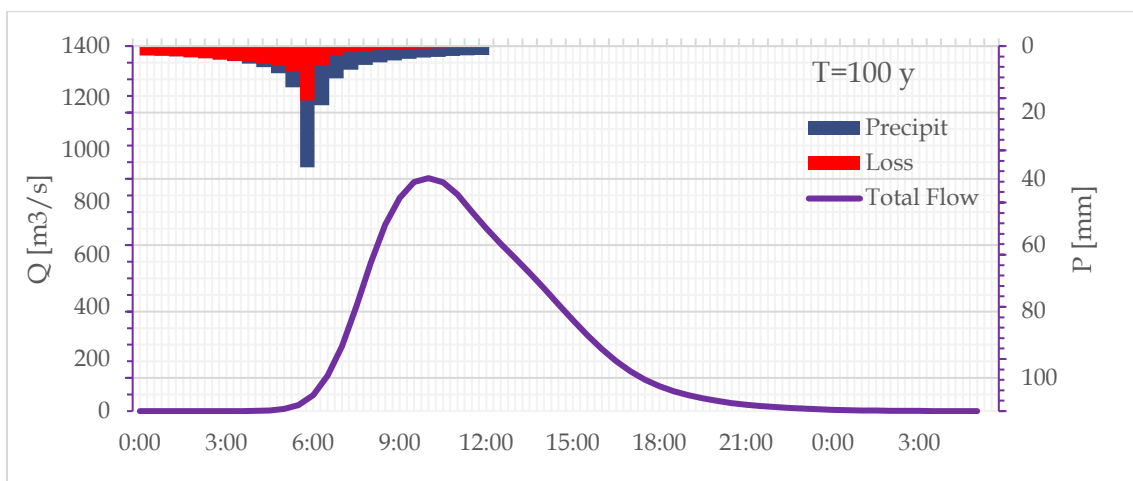


Figure 8: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Ammorgiani subbasin, T = 100 y

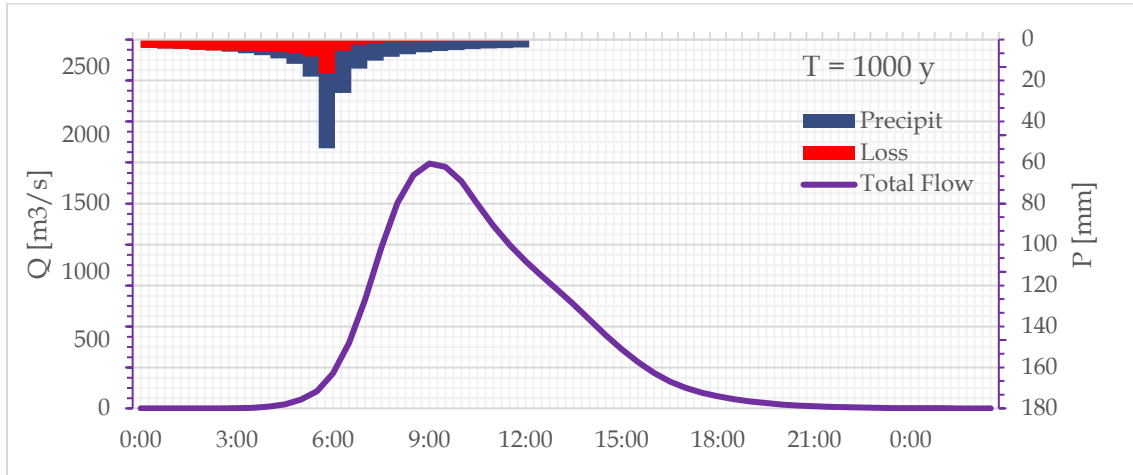
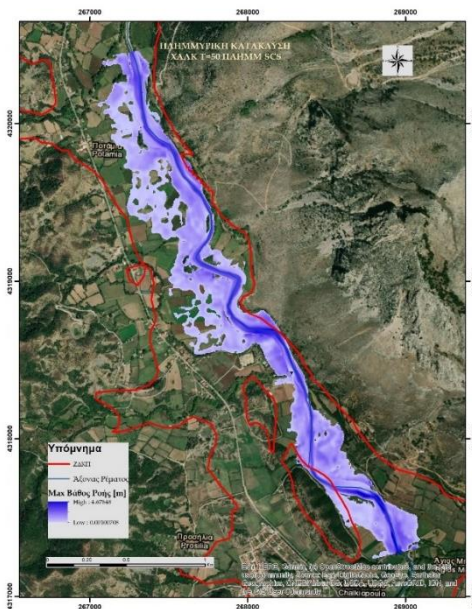
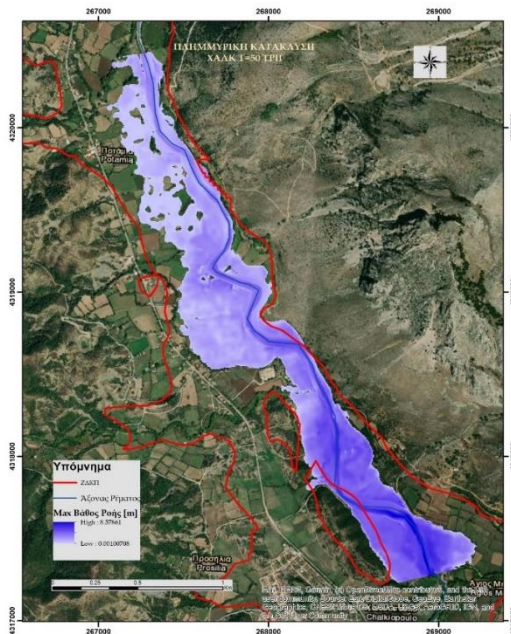


Figure 9: Flood hydrograph using NRCS (SCS) UH / Ammorgiani subbasin, T = 1000 y

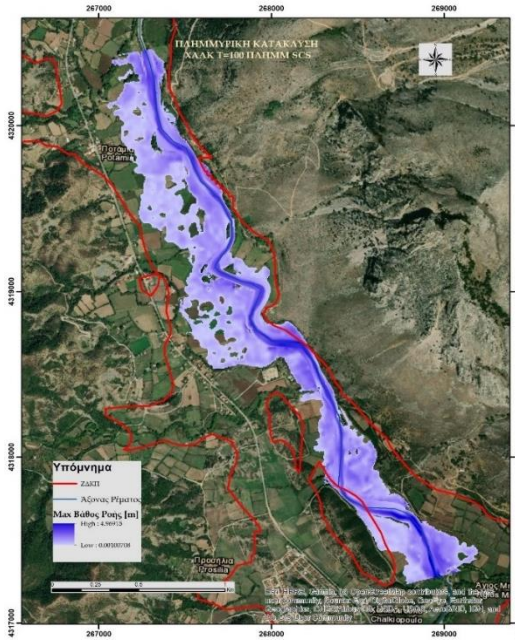
Finally, inundation maps for each one of the above-mentioned scenarios are created after performing the corresponding hydraulic analysis. This analysis is achieved using the datasets described in the third paragraph of this executive summary and the boundary conditions described in the section Methodology.



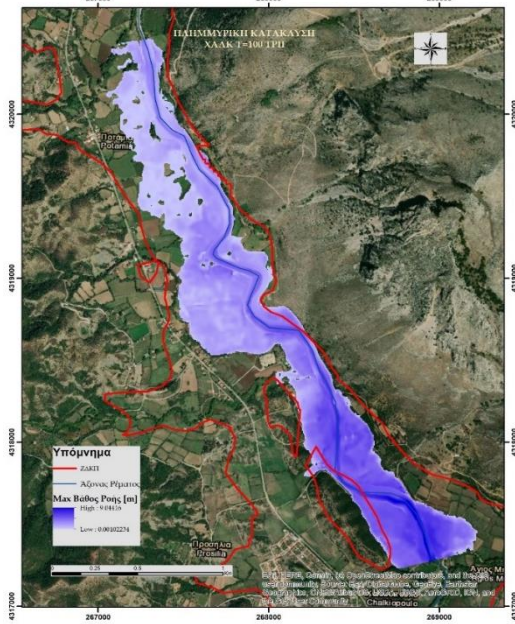
Chalkiopoulos, T=50y, NRCS (SCS) UH



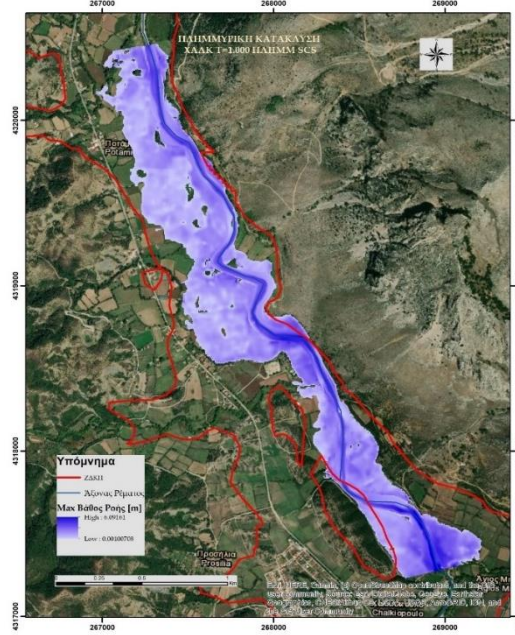
Chalkiopoulos, T=50y, SCS triangular UH/Rational



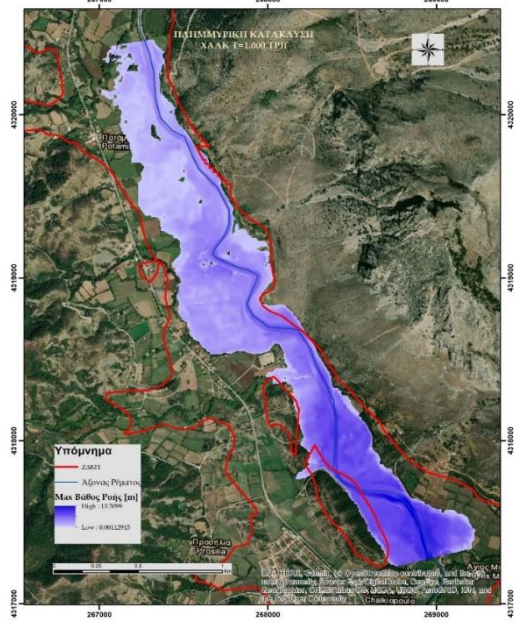
Chalkiopoulos, T=100y, NRCS (SCS) UH



Chalkiopoulos, T=100y, SCS triangular UH/Rational

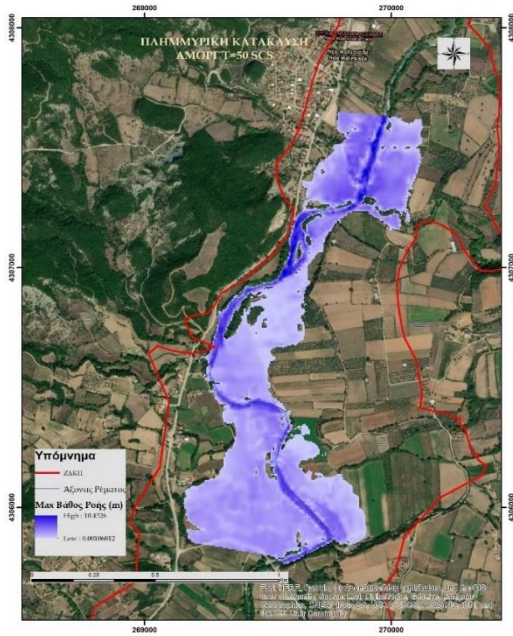


Chalkiopoulos, T=1000y, NRCS (SCS) UH

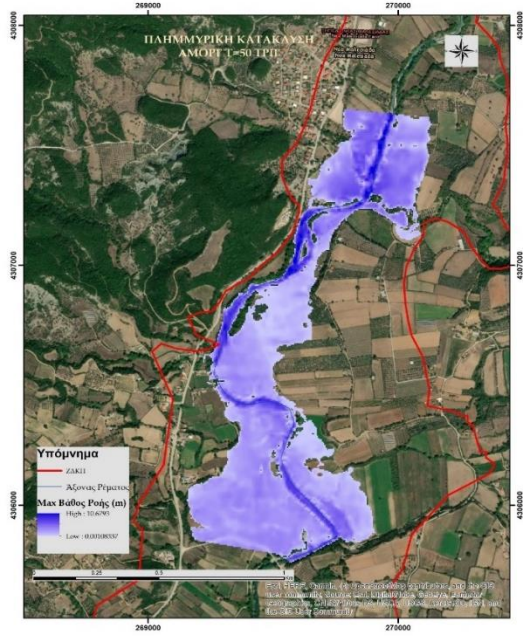


Chalkiopoulos, T=1000y, SCS triangular UH/Rational

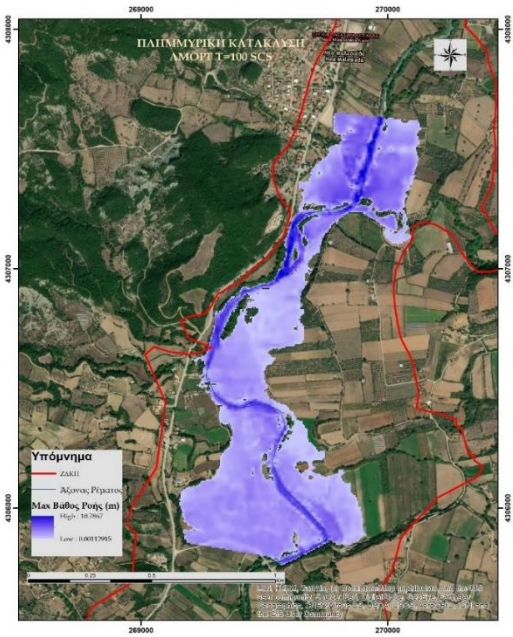
Figure 10: Hydraulic analysis results for Neo Chalkiopoulos subbasin



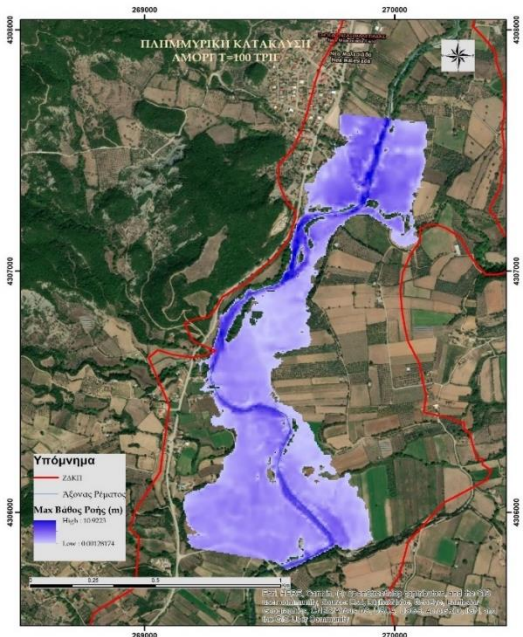
Amorgiani, T=50y, NRCS (SCS) UH



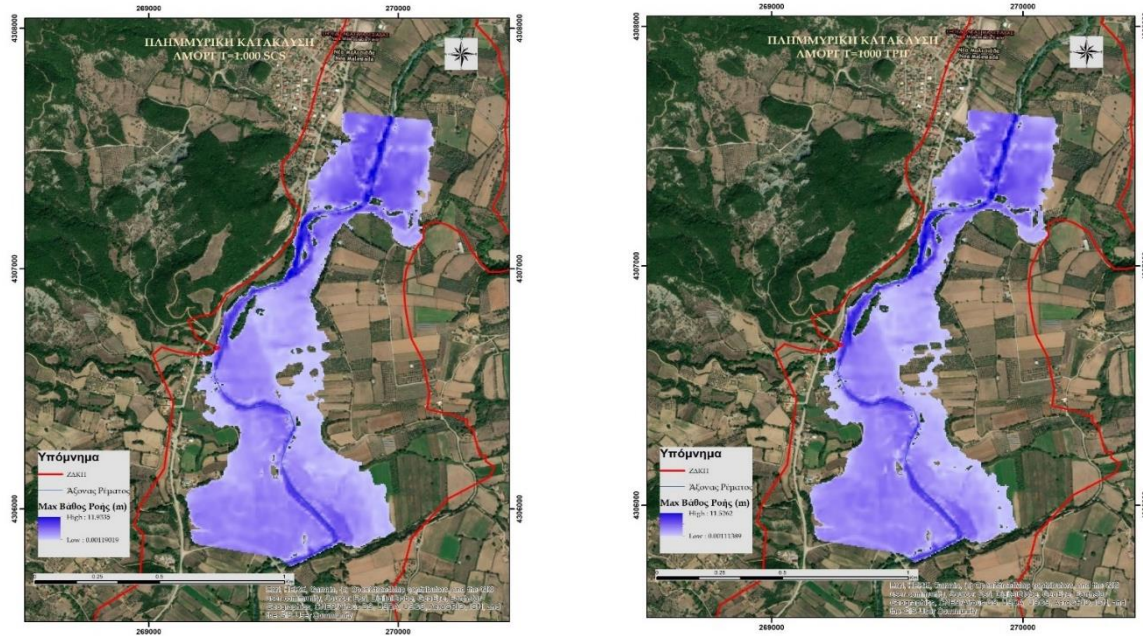
Amorgiani, T=50y, SCS triangular
UH/Rational



Amorgiani, T=100y, NRCS (SCS) UH



Amorgiani, T=100y, SCS triangular
UH/Rational



Amorgiani, T=1000y, NRCS (SCS) UH

Amorgiani, T=1000y, SCS triangular
UH/Rational

Figure 11: Hydraulic analysis results for Amorgiani subbasin

Conclusions

The analysis regarding specific flood events simulation for two subbasins of the Inachos river, up to Neo Chalkiopoulos and Amorgiani settlements, respectively, gives the following concluding remarks:

- Concerning the geomorphological analysis that is linked to the hydrological characteristics of the two study areas, it is observed that, since the basin of Neo Chalkiopoulos is a subbasin of this up to Amorgiani, a relative ratio is met among the total area, the horizontal projection of their length, the length of the mainstream and the total length of their hydrographic networks. Moreover, equal values for drainage density and runoff coefficient are calculated for both cases. Especially, for the runoff coefficient used for the implementation of the Rational Method, although it was calculated separately for each basin, using a method that estimates

separately four components regarding basin's characteristics (relief, geology-soil types, hydrolithology, and land use distribution), the resulting value is equal.

- The Rational method implementation resulted in a peak discharge (Q_{\max}) for a 100-y return period about 17% higher than this determined for a 50-y return period. The 1000-y return period peak discharge is 71% higher than this of 50-y.
- The corresponding analysis that is based on the SCS-UH-based approach and for the subbasin up to Neo Chalkiopoulo, resulted in a peak discharge ($T=100$ y) that is 24% higher than this determined for $T=50$ y. For $T=1000$ y, Q_{\max} is found about 136% higher than the 50-y one. In Amorgiani subbasin, 100-y Q_{\max} is 28% higher than the 50-y peak discharge and the 1000-y Q_{\max} is 155% higher than the value determined for $T=50$ y.
- The comparison between the results of Rational method and UH-based analysis shows that, in both subbasins, the peak discharge calculated using the Rational method, for $T=50$ and $T=100$ y is higher than this calculated with the UH theory, while for $T=1000$ y the peak discharge determined with the UH is higher in both cases. Particularly, peak discharge using the Rational Method, for $T=50$ y is between 9% and 19% higher than the maximum value observed in the flow hydrograph, for $T=100$ y is about 3% - 10% higher, while for $T=1000$ y it is about 20% - 22% lower than the corresponding value determined using the UH theory.
- The hydraulic analysis performed for the same events shows -as expected- an increase in maximum flow depth and flood extent, when return period increases. More specifically, in both subbasins and for $T=50$ y and $T=100$ y, the hydraulic simulation using hydrological data determined with the SCS triangular unit hydrograph results in higher flow depths than the analysis based on the NRCS (SCS) UH.

- Finally, the analysis for Neo Chalkiopoulos results in a flood plain that corresponds to a systematically more extended area compared to that defined in the context of Flood Risk Management Plans determination. This variation in resulting flood extend maps of same return periods may be linked to the different DEM datasets used in both cases. The current approach is based on river cross-section corrections without collecting also on-site measurements, which may be part of future work. Regarding further recommendations for future work, the hydrologic analysis with the use of other UH is proposed, to finally compare the resulting maps determined through the hydraulic analysis. Finally, the debris flow simulation in the context of an integrated analysis for sediment transport and erosion in these areas may be of value, as these phenomena are frequent, especially during autumn and winter rainfall events of high intensity.

References

- Arcement, G., Jr., and Schneider V., 1989. Guide for Selecting Manning 's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains U.S. Geological Survey Water – Supply Paper 2339, p. 37.
- Barnes, H., Jr., 1967. Roughness characteristics of natural channels: U.S. Geological Survey Water – Supply paper 1849, 213 p.
- Giandotti, M., 1934. Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. Istituto Poligrafico dello Stato, 8, 107-117.
- Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., Mazarakis, N., Papagiannaki, K. and Vougioukas, S., 2017. The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database. *Geoscience Data Journal*, 4(1), pp.4-16.
- Ministry of Regional Planning, Building and Urban Development (2002), Greek Road Design Guidelines.

Rollason, E., Bracken, L.J., Hardy, R.J. and Large, A.R.G., 2018. The importance of volunteered geographic information for the validation of flood inundation models. *Journal of hydrology*, 562, pp.267-280.

Special Secretariat of Water, 2019. Flood Risk Management Plan (FRMP). Further information available on: <http://floods.ypeka.gr/>

Thakur, B., Parajuli, R., Kalra, A., Ahmad, S. and Gupta, R., 2017. Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in Precipitation Runoff Modelling and Evaluating Flood Plain Inundation Map. World Environmental and Water Resources Congress 2017.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά Στοιχεία

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ, ως πλημμύρα ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία εκτάσεις κατακλύζονται επιφανειακά με νερό, ενώ υπό συνήθεις συνθήκες είναι στεγνές. Η περίπτωση αφορά πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους και εφήμερα ρέματα της Μεσογείου, καθώς και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές. Οι πλημμύρες εντάσσονται στις φυσικές καταστροφές και προκαλούν σημαντικό αντίκτυπο στην περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική κατάσταση των περιοχών που πλήττονται από αυτές. Ως εκ τούτου είναι αναγκαία η πρόληψη, η προστασία και η ετοιμότητα της κοινωνίας να αντιμετωπίσει φαινόμενα τέτοιου είδους.

Πρώτο βήμα της πρόληψης αποτελεί η κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας, η οποία στηρίζεται στην εύρεση του πλημμυρικού πεδίου ενός συμβάντος. Με την βοήθεια των ΣΓΠ και εξελισσόμενων υπολογιστικών προγραμμάτων που εκτελούν δισδιάστατη υδραυλική προσομοίωση, διευκολύνεται το εκτελεστικό κομμάτι της διαδικασίας αυτής. (Thakur et al. 2017; Rollason et al., 2018). Παρ' όλα αυτά, το πλημμυρογράφημα που εισάγεται στο σύστημα αποτελεί δεδομένο με εξαιρετική ευαισθησία και μπορεί να επηρεάσει εξ ολοκλήρου τα αποτελέσματα μιας τέτοιας μελέτης.

Ο ακριβής μετασχηματισμός της βροχής, που είναι το αίτιο, σε απορροή, που είναι το αποτέλεσμα, προϋποθέτει την ακριβή γνώση των υδρολογικών διεργασιών που επικρατούν σε κάθε λεκάνη απορροής, πράγμα που εκ φύσεως είναι αδύνατον, εξαιτίας της πολυπλοκότητας και της σημαντικής αβεβαιότητας με την οποία εξελίσσονται τα φαινόμενα, ως προς τον χώρο και τον χρόνο. Περαιτέρω η έλλειψη υδρομετρικών δεδομένων στην πλειοψηφία των περιπτώσεων των ρεμάτων του Ελλαδικού χώρου, καθιστά μονόδρομο την χρήση εμπειρικών μεθόδων που μετασχηματίζουν την βροχή σε απορροή για τον προσδιορισμό της υδρολογικής απόκρισης μιας λεκάνης απορροής.

Στην πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιούνται δύο ευρέως διαδεδομένες εμπειρικές μέθοδοι, η Ορθολογική Μέθοδος και το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS για την κατάρτιση χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης. Επισημαίνεται ότι οι συγκεκριμένες μέθοδοι προτείνονται και από τις προδιαγραφές της Κ.Υ.Α. 140055/13.01.2017 (ΦΕΚ Β' 428/15.02.2017) που αφορούν τη σύνταξη φακέλου οριοθέτησης ρεμάτων.

Αντικείμενο της Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή μεθοδολογίας για τη διερεύνηση της υδρολογικής και υδραυλικής απόκρισης, με στόχο την παραγωγή χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, χρησιμοποιώντας σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία (ArcGIS, HEC-HMS, HEC-RAS).

Η εφαρμογή γίνεται σε δύο επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος του Ποταμού Ίναχου Αιτωλοακαρνανίας, οι οποίες υπόκεινται σε συχνά πλημμυρικά φαινόμενα, εξαιτίας του μικρού βάθους του ποταμού και της ήπιας κλίσης των παρόχθιων εκτάσεων. Επιπλέον οι περιοχές αυτές εντάχθηκαν στις Ζώνες Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας κατά την 1η Αναθεώρηση των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΓΔΥ, 2019). Πρόκειται για τα εξής τμήματα:

- Τμήμα 1 - Νέο Χαλκιοπούλο: Στο οποίο αντιστοιχεί υπολεκάνη εμβαδού 130.54 km², με το πλημμυρογράφημα της οποίας φορτίζεται υδραυλικά η μελετώμενη περιοχή πλησίον του οικισμού Νέο Χαλκιοπούλο.
- Τμήμα 2 - Αμοργιανοί: Στο οποίο αντιστοιχεί υπολεκάνη εμβαδού 278.50 km², η οποία πρακτικά συμπίπτει με το σύνολο της λεκάνης του Ινάχου. Θεωρείται ότι με το πλημμυρογράφημα του συνόλου της λεκάνης απορροής φορτίζεται υδραυλικά η μελετώμενη περιοχή πλησίον του οικισμού Αμοργιανοί.

Για την υδρολογική απόκριση των ανωτέρω περιοχών χρησιμοποιούνται δύο ευρέως διαδεδομένες εμπειρικές μέθοδοι, η Ορθολογική Μέθοδος και το αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS, με τα πλημμυρογραφήματα των οποίων εξάγονται οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης. Σε κάθε περιοχή παρήχθησαν 6 χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης και διερευνήθηκαν οι διαφορές που επιφέρουν στα αποτελέσματα ο τύπος του πλημμυρογραφήματος και η περίοδος επαναφοράς (T) για 50, 100 και 1000 έτη.

Διάρθρωση Εργασίας

Στο Κεφάλαιο 1 καθορίζεται το αντικείμενο και η διάρθρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται αναλυτικά τα στοιχεία περιβάλλοντος που εμπίπτουν στην περιοχή μελέτης και αναλύονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αρχικά το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η εργασία. Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα υπολογιστικά

εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύονται τα βήματα της μεθοδολογίας και οι παραδοχές που υιοθετήθηκαν για την διερεύνηση της υδρολογικής και υδραυλικής απόκρισης των δύο εξεταζόμενων περιοχών.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας, οι συγκριτικές αξιολογήσεις μεταξύ των δύο τύπων πλημμυρογραφημάτων και η επίδραση που έχουν στην έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης.

Στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία και προτείνονται περαιτέρω θέματα προς μελλοντική διερεύνηση.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Συνοπτική αναφορά γίνεται στο υδρολογικό σύστημα του Αχελώου, στο οποίο ανήκει ο Ίναχος και συγκεντρώνονται στοιχεία που αφορούν στη γεωγραφία, τη γεωμορφολογία, τις χρήσεις γης και το κλίμα, ενώ δίνεται έμφαση στα πλημμυρικά συμβάντα και τις Ζώνες Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας του Ίναχου. Στη συνέχεια αναλύονται τα γεωχωρικά δεδομένα που αξιοποιήθηκαν και παρουσιάζονται οι θεματικοί χάρτες που παρήχθησαν σε περιβάλλον ΣΓΠ, με στόχο την αξιοποίηση τους κατά την υδρολογική ανάλυση.

Στοιχεία Περιβάλλοντος

2.1.1. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (2000/60/ΕΚ)

Ο ποταμός Ίναχος ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμά Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04), στην ευρύτερη Λεκάνη Απορροής του Αχελώου (EL0415).

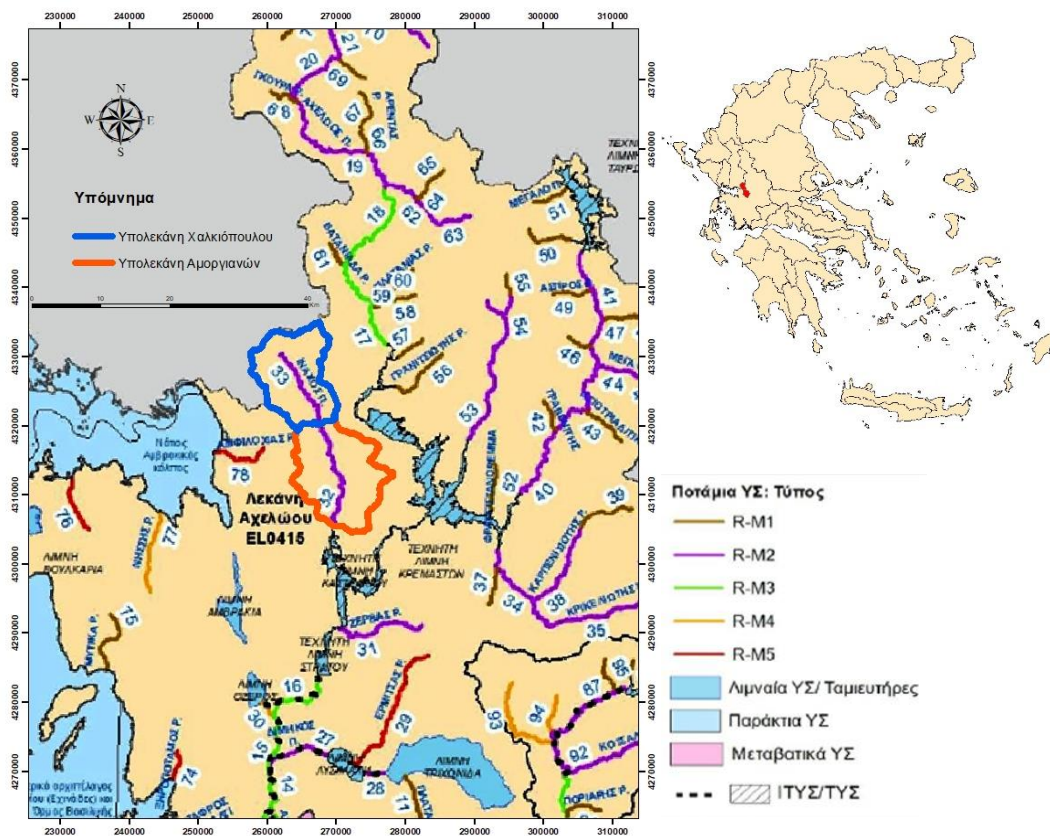
Σύμφωνα με το Εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (1^η Αναθεώρηση - ΦΕΚ Β'4681/29.12.2017), από τα 68 ποτάμια υδατικά συστήματα που απαρτίζουν τη λεκάνη απορροής του Αχελώου, τα δύο αναφέρονται στον ποταμό Ίναχο: το πρώτο σύστημα αφορά το ανάντι τμήμα του ποταμού, 3 km μετά τον οικισμό Νέο Χαλκικόπουλο, το οποίο καταγράφεται ως φυσικό ποτάμιο σύστημα, με όνομα Ίναχος Π.2. Το δεύτερο κατάντι τμήμα που φτάνει μέχρι την εκβολή στη λίμνη Καστράκι, καταγράφεται ως Ίναχος Π.1. Αμφότερα τα συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των φυσικών ποτάμιων συστημάτων και εντάσσονται στην κατηγορία R-M2, δηλαδή μεσαίο μεσογειακό ρέμα, με λεκάνη απορροής από 100 έως 1000 km², με μικτή γεωλογία και εντόνως εποχικό καθεστώς ροής. Στον Πίνακα 2.1 συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά των δύο ποτάμιων συστημάτων του Ίναχου.

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά ποτάμιων συστημάτων ΣΔΛΑΠ (πηγή: <http://wfdver.ypeka.gr>)

α/α	Κωδικός	Όνομα	Κατηγορία	Μήκος [km]	Έκταση [km ²]	Έκταση ανάντι λεκάνης [km ²]	Μέση ετήσια απορροή [hm ³]	Τύπος ΥΣ
22	EL0415R000208013N	ΙΝΑΧΟΣ Π.1	ΦΥΣ	10.6	10.6	100.22	237.10	R-M2
23	EL0415R000208014N	ΙΝΑΧΟΣ Π.2	ΦΥΣ	24.5	8.4	195.10	169.53	R-M2

Τόσο από άποψη οικολογικής κατάστασης / δυναμικού όσο και από άποψη χημικής κατάστασης, αμφότερα τα υδατικά συστήματα του Ίναχου εντάσσονται στην «καλή» κατάσταση, με επίπεδο οικολογικής και χημικής εμπιστοσύνης 1.

Επιπλέον η λεκάνη απορροής του Ίναχου τροφοδοτεί δύο υπόγειες λεκάνες: το βορειοανατολικό τμήμα της τροφοδοτεί το Υπόγειο Σύστημα Βάλτου - Εμπεσού (EL0400150) και το υπόλοιπο τμήμα τροφοδοτεί το Σύστημα Υδροφοριών της Λεκάνης Αχελώου (EL0400190). Αμφότερα τα συστήματα χαρακτηρίζονται από άποψη ποσοτικής και χημικής κατάστασης σε «καλή κατάσταση», χωρίς ποιοτικά προβλήματα και χωρίς τάση ρύπων. Τα συστήματα αυτά δεν παρουσιάζουν αυξημένες τιμές στοιχείων λόγω φυσικού υποβάθρου ή ανθρωπογενούς επίδρασης, δεν υπόκεινται σε θαλάσσια διείσδυση και το σύστημα Βάλτου - Εμπεσού υπόκειται σε προστατευόμενη περιοχή. Στο Σχήμα 2.1. απεικονίζεται η θέση του ποταμού Ίναχου και οι δύο εξεταζόμενες υπολεκάνες του, εντός του Υδατικού Διαμερισματος Δυτικής Ελλάδας.



Σχήμα 2.1: Θέση Ποταμού Ίναχου στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Ελλάδας EL 04 (πηγή: floods.ypeka.gr)

2.1.2. Υδρολογικό Σύστημα Αχελώου

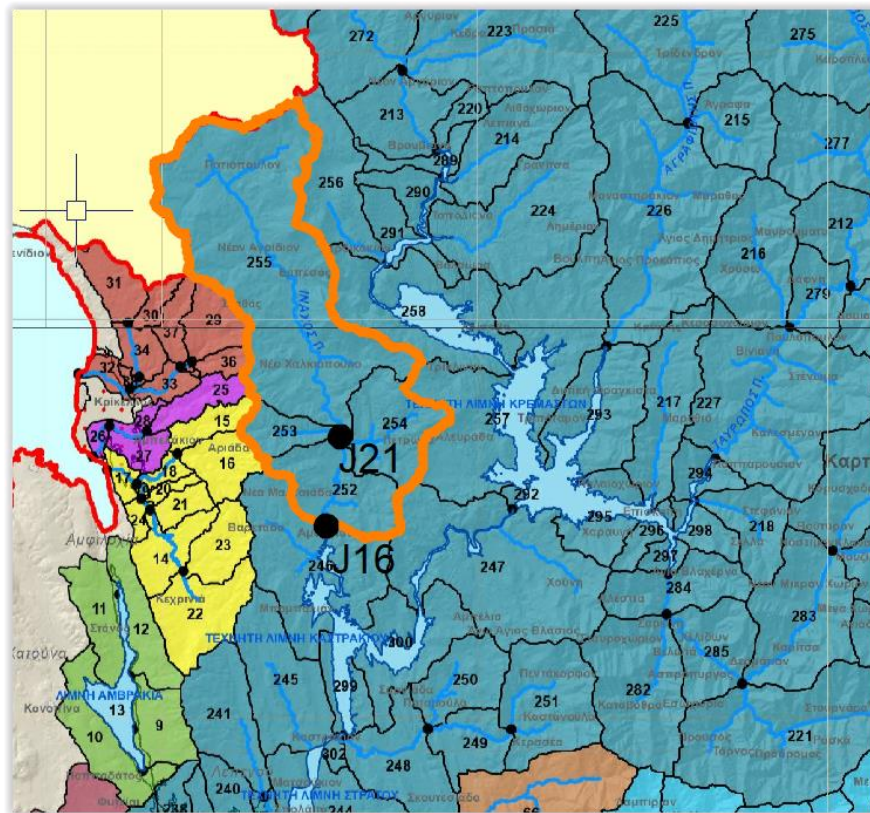
Ο Ίναχος ανήκει στο υδρολογικό σύστημα της λεκάνης του Αχελώου, το οποίο είναι αρκετά πολύπλοκο, εξαιτίας των τεσσάρων υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων σε σειρά που διαθέτει (Μεσοχώρα, Κρεμαστά, Καστράκι - στο οποίο εκβάλλει ο Ίναχος και Στράτος), ενώ ο ταμιευτήρας Πλαστήρα, στην ανάντη λεκάνη του Ταυρωπού, είναι έργο πλήρους

εκτροπής. Κατά συνέπεια, οι πλημμυρικές απορροές της λεκάνης είναι σε μεγάλο βαθμό ρυθμιζόμενες, κυρίως μέσω του ταμιευτήρα Κρεμαστών, που είναι ο μεγαλύτερος της Ελλάδας. Όσον αφορά στον Ίναχο, η ροή είναι φυσική, μη ρυθμιζόμενη.

Στους Πίνακες 2.2 και 2.3 παρουσιάζονται τα στοιχεία που αφορούν στον Ίναχο, με βάση τη σχηματοποίηση κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών που εφαρμόστηκε στα ΣΔΚΠ, όπως αναλύεται στο τεύχος «Πλημμυρογραφήματα» (ΕΓΥ, 2018). Η σχηματική απεικόνιση του συστήματος του Ινάχου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (πηγή: floods.ypeka.gr)

Κωδικός	Όνομα	Κόμβος ανάντη	Κόμβος κατάντη	Μήκος [km]	Μέση κλίση
R2116	ΙΝΑΧΟΣ	J21	J16	8.338	0.0061



Σχήμα 2.2: Σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου που εφαρμόστηκε στα ΣΔΚΠ (πηγή: floods.ypeka)

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη υπολεκανών (πηγή: floods.ypeka.gr)

Κωδικός	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση [km ²]	Μέσο υψόμετρο [m]	Υψόμετρο εξόδου [m]	Μέγιστο μήκος ροής [km]
GR0415FR6024 / 252	R2116	J16	39.41	388.7	148.0	12.408
GR0415FR6025 / 253		J21	14.184	568.1	199.1	8.773
GR0415FR6026 / 254		J21	38.037	521.7	199.1	10.535
GR0415FR6027 / 255		J21	185.56	657.4	199.1	35.528

2.1.3. Γεωγραφικά στοιχεία

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ίναχου εντοπίζεται βορειοδυτικά της πόλης της Αμφιλοχίας, στο βόρειο τμήμα του Δήμου Αμφιλοχίας. Ο ποταμός Ίναχος, με αφετηρία τα βουνά του Βάλτου, ψηλότερα από την Τ.Κ. Πατιόπουλου, διασχίζει την κοιλάδα ανάμεσα από τα όρη του Βάλτου και του Μακρυνόρους, με κατεύθυνση από βορρά προς νότο και εκβάλλει στη τεχνητή λίμνη Καστρακίου. Η συνολική έκταση της λεκάνης του Ίνάχου ποταμού, μέχρι την εκβολή στο Καστράκι, ανέρχεται σε 280 km² περίπου και η κοίτη έχει συνολικό μήκος περίπου 37 km. Η υδρολογική λεκάνη περιορίζεται από το Βορρά, από τα όρια μεταξύ των Π.Ε Αιτ/νίας και Άρτας και τα όρη Χελώνα, (H = 1538 m) και Τουρκογιάννη (H = 1432 m). Στα Δυτικά η λεκάνη ορίζεται από τα όρη του Μακρυνόρους με επί μέρους κορυφές περί τα 830 m και έπειτα από τις κορυφές Ψηλό Βουνί, Δενδρότοπος (H = 789 m), Πυργάκια (H = 834 m), Σταυρός (H = 738 m), Μνήματα (H = 736 m), Στρογγυλοβούνι (H = 797 m), Τραγοστάλος (H = 881 m), Παλαιόκαστρο (H = 856 m) και Φελός (H = 773 m). Αντίστοιχα από τα Ανατολικά η λεκάνη περιορίζεται στις λοφώδεις εξάρσεις των όρων του Βάλτου, Λούτσα, (H = 1318 m), Κορφούλα (H = 1648 m), Προφήτης Ηλίας (H = 1584 m), Ψηλοβούνι (H = 1463 m) και Ανδρώνη (H = 1372 m), και έπειτα από τις κορυφές Παλιορρούγκα (H = 884 m), Τσούκα (H = 583 m), Πύργος (H = 845 m) και τέλος την Παλιοκοπρούλα (H = 676 m) και το Στρογγυλό (H = 380 m). Στο Νότιο άκρο καταλήγει στον ταμιευτήρα του Καστρακίου. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζονται οι υπό εξέταση υπολεκάνες του Ίναχου, σε υπόβαθρο των φύλλων χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), κλίμακας 1:50000, «Αλευράδα», «Αμφιλοχία», «Πέτα» και «Ραπιτόπουλο».

Το σύνολο της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Ίνάχου, διοικητικά ανήκει στον Δήμο Αμφιλοχίας, της Π.Ε. Αιτ/νίας, της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας, της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας, και Ιονίου. Το βόρειο σύνορο της λεκάνης απορροής συμπίπτει με το όριο μεταξύ των Περιφερειακών Ενοτήτων Αιτωλοακαρνανίας και Άρτας. Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης εκτείνεται στη Δ.Ε. Ίνάχου, ενώ τμήματα στην δυτική πλευρά εκτείνονται εντός των ορίων της Δ.Ε. Αμφιλοχίας και Δ.Ε. Μενιδίου.

Σε επίπεδο Τοπικών Κοινοτήτων, η λεκάνη απορροής εκτείνεται στις Τοπικές Κοινότητες Πατιόπουλου, Μενιδίου, Αγριδίου, Εμπεσού, Σταθά, Χαλκιοπούλων, Λουτρού, Μαλεσιάδας, Πετρώνας, Γιανόπουλων και Αμοργιανών.



Σχήμα 2.3: Θέση εξεταζόμενης λεκάνης (υπόβαθρο: 1:50000 ΓΥΣ)

2.1.4. Γεωμορφολογικά στοιχεία

Ο ποταμός Ίναχος από τη συμβολή με τον παραπόταμό του Τόρνο και κατόπιν παρουσιάζει ήπιες κλίσεις, οι οποίες ανέρχονται το πολύ σε 5%. Έντονες κλίσεις έως και 25% παρουσιάζονται στους παραχειμάρρους που συμβάλουν στον Ίναχο. Τα κυριότερα ρέματα που συμβάλουν από τα ορεινά μέχρι τα πεδινά είναι ο Τόρνος, το Καμαράκι, ο Γάβρος, το ρέμα Παπαχρήστου, η κάτω Βρύση και το Βρομονέρι, ο Κάλαμος, το Μέγα Ρέμα, το Παλλιανορέυμα, το Κληματόρεμα, το Βαλτονέρι, το Νερόστομα, το Βαρκόρεμα και οι Σαραντάποροι.

2.1.5. Χρήσεις γης

Η περιοχή της λεκάνης του Ίναχου ποταμού είναι κατ' εξοχήν δασώδης. Κατά μήκος της κοίτης του ποταμού, στα πεδινά τμήματα των αλλουβιακών αποθέσεων, υπάρχει εκτεταμένη αγροτική εκμετάλλευση. Η βασική οδική αρτηρία που διασχίζει τη λεκάνη στον άξονα Βορρά - Νότου είναι η Επαρχιακή Οδός Στράτου - Χαλκιοπούλου - Πατιόπουλου. Οι βασικότεροι οικισμοί από βορρά προς νότο είναι: Πατιόπουλο, Θύαμος, Κάμιнос, Γραμματσούλι, Νέο Αγρίδι, Εμπεισός, Συκιά, Ποταμιά, Προσήλια, Νέο Χαλκιοπούλο Άγιος Μηνάς, Μαρανέλι, Άνω Κάμπος, Πετρώνα, Νέα Μαλεσιάδα, Χαμορίκι, Γιαννόπουλοι, Παλιάμπελα, Αμοργιανοί.

2.1.6. Κλίμα

Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04) είναι το δεύτερο υψηλότερο στη χώρα μετά από εκείνο του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (EL05). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 800 έως 1000 mm περίπου στα παράκτια και πεδινά και φτάνει τα 1400 mm στα ορεινά, ενώ σε μεγάλα υψόμετρα ξεπερνά τα 1800 mm. Η πιο βροχερή περίοδος είναι από το Νοέμβριο ως το Φεβρουάριο, ενώ οι πιο ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι έντονες στα ορεινά του υδατικού διαμερίσματος. Οι μέρες χιονόπτωσης αυξάνουν από τα παράλια προς το εσωτερικό.

Από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του ΕΑΑ στην Αμφιλοχία (υψόμετρο $H = 40$ m, θέση Δ.Ε.Υ.Α Αμφιλοχίας $38^{\circ} 53' 37''$ N LONG: $21^{\circ} 08' 49''$ E), ο οποίος λειτουργεί από το 2016 και είναι ο πλησιέστερος στην περιοχή, παρατηρείται ότι η συνολική ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από τα 780 mm μέχρι τα 1090 mm. (Lagouvardos et al., 2017)

Στον Πίνακα 2.4 σημειώνονται οι μηνιαίες καταγραφές, συμπληρωμένες με τις εκτιμώμενες απώλειες βροχής σύμφωνα με το meteο.gr.

Πίνακας 2.4: Στοιχεία μηνιαίων βροχοπτώσεων από Μετεωρολογικό Σταθμό Αμφιλοχίας (πηγή: <http://meteosearch.meteo.gr/>)

ΕΤΟΣ/ ΜΗΝΑΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σύνολο
2016	141	129	147	29	61	23	5	6	120	109	142	4	914
2017	113	57	34	15	67	14	60	0	8	39	157	208	773
2018	77	250	117	8	101	107	20	10	7	30	136	100	963
2019	272	6	37	59	43	22	72	0	18	120	317	130	1096
2020	25	58	78	64	49	1	58	3	142	54	6	250	788
ΥΠΟΜΝΗΜΑ													
Μερική έλλειψη δεδομένων (οι τιμές συμπληρώθηκαν με βάση τις εκτιμώμενες απώλειες σύμφωνα με το meteosearch.meteo.gr)													
Μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση του έτους													

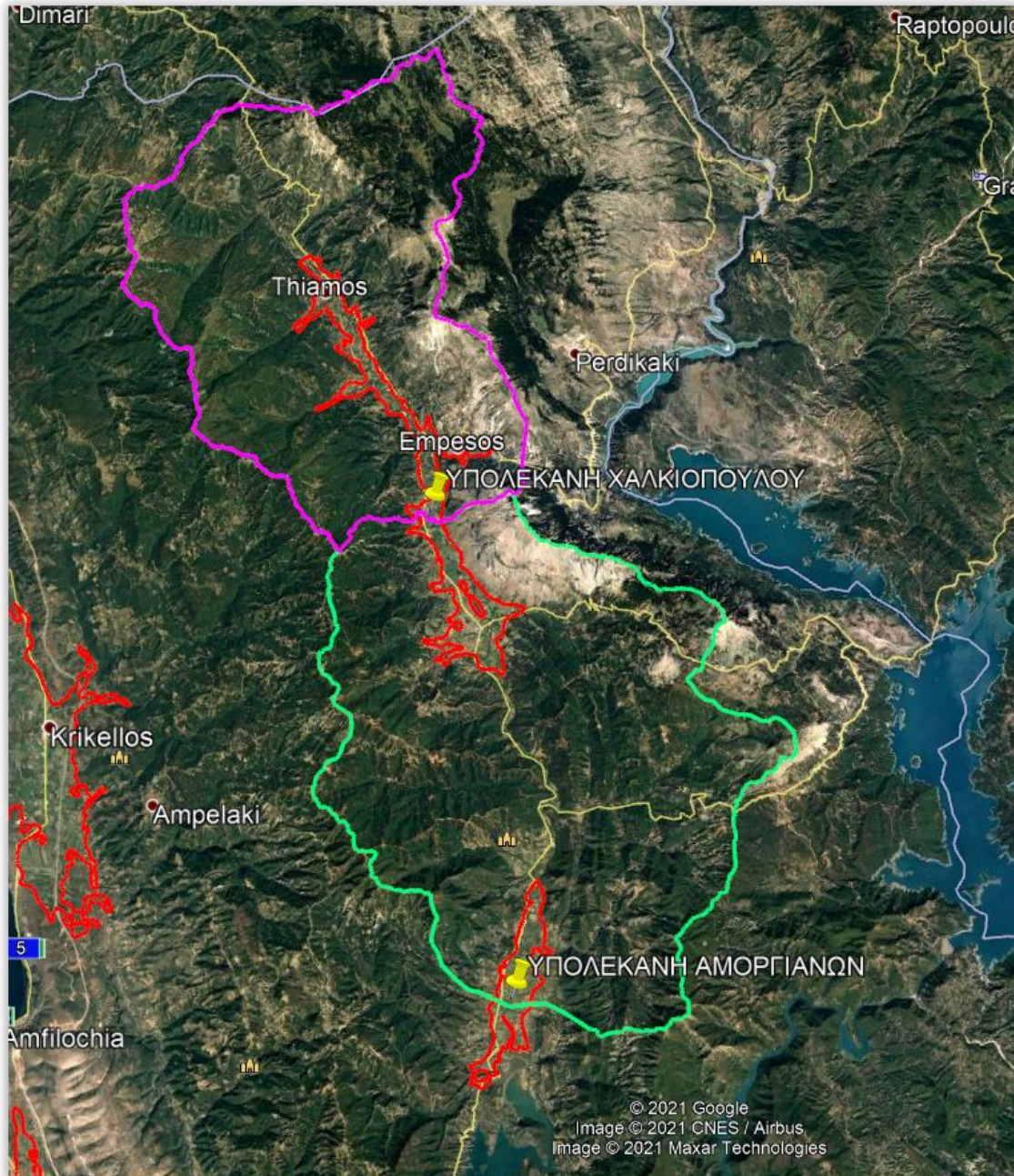
2.1.7. Στοιχεία Πλημμυρικών Φαινομένων

Ένταξη Περιοχών Ινάχου Στις Ζώνες Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας (1η Αναθεώρηση) (2007/60/ΕΚ)

Αρχικά, στην Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, ο ποταμός Ίναχος δεν συμπεριλαμβανόταν στις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας. Έπειτα όμως στην 1η Αναθεώρηση που δημοσιεύτηκε στις 02.07.2020, προτάθηκαν προς ένταξη δύο περιοχές του Ίναχου, (EL04APSF009 - Χαμηλές ζώνες π. Ίναχος) συνολικής έκτασης 16.43 km², οι οποίες περιλαμβάνουν θέσεις προσχωματικών αποθέσεων ή/και έδαφος με κλίση μικρότερη από 2% και περιλαμβάνουν δραστηριότητες ή/και χρήσεις στις οποίες είναι πιθανό να υπάρξουν αρνητικές συνέπειες σε περίπτωση πλημμύρας.

Σύμφωνα με την Έκθεση της Αναθεώρησης, για την επιλογή των προσχωματικών περιοχών χρησιμοποιήθηκαν οι υδρολιθολογικοί χάρτες από τα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων. Για την επιλογή των περιοχών με κλίσεις μικρότερες από 2% χρησιμοποιήθηκαν τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Digital Elevation Models, DEM) της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) που διαθέτει η ΓΓΦΠΥ. Η κλίμακα και των δύο αυτών πρωτογενών πηγών είναι της τάξης του 1:50000. Η ένωση των δύο αυτών επιπέδων ορίζει, για κάθε ΥΔ, τις περιοχές όπου είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα. Οι περιοχές αυτές προσδιορίζονται ανεξάρτητα από τη θέση των Επιφανειακών Υδάτινων Σωμάτων και εκτιμάται ότι αποτυπώνουν τη δυσμενέστερη συνθήκη δυνητικού πλημμυρισμού. Οι παραπάνω περιοχές αφορούν περιοχές έκτασης κάτω από 25 km², για τις οποίες είναι γνωστό ότι δεν είχαν συμπεριληφθεί στον προσδιορισμό των ΖΔΥΚΠ κατά τον 1ο κύκλο εφαρμογής της Οδηγίας και αποτελούν τμήματα περιοχών όπου παρατηρήθηκε πλημμυρικό συμβάν την περίοδο 2012 - 2018. Στην παρούσα φάση, η διαδικασία βρίσκεται στην φάση της αξιολόγησης και ενσωμάτωσης παρατηρήσεων και σχολίων από

τους εμπλεκόμενους φορείς και το κοινό. Στην επόμενη φάση θα καταρτιστούν και θα δημοσιευτούν οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας, οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας και τα λοιπά παραδοτέα. Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα οι δύο περιοχές του Ινάχου ποταμού που εντάχθηκαν κατά τη 1^η Αναθεώρηση των ΣΔΚΠ στις Ζώνες Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας.

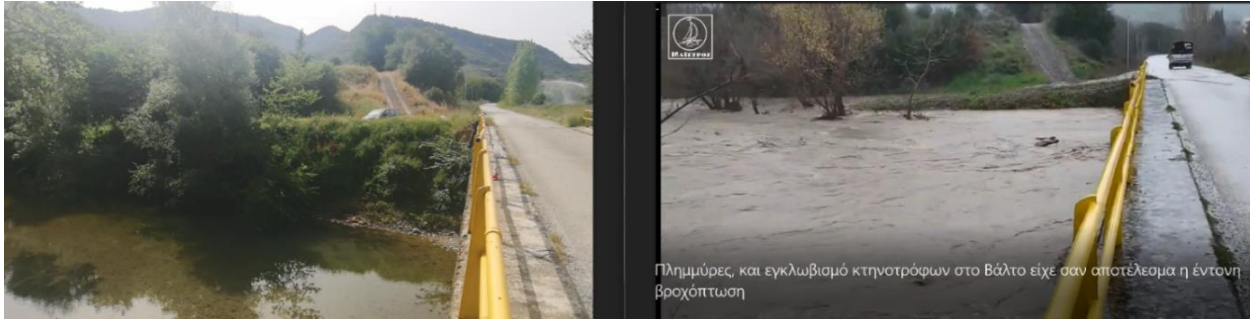


Σχήμα 2.4: Χάρτης Ζωνών Κινδύνου Πλημμύρας Ποταμού Ινάχου - ΣΔΚΠ ΥΔ EL04
(πηγή: floods.ypeka)

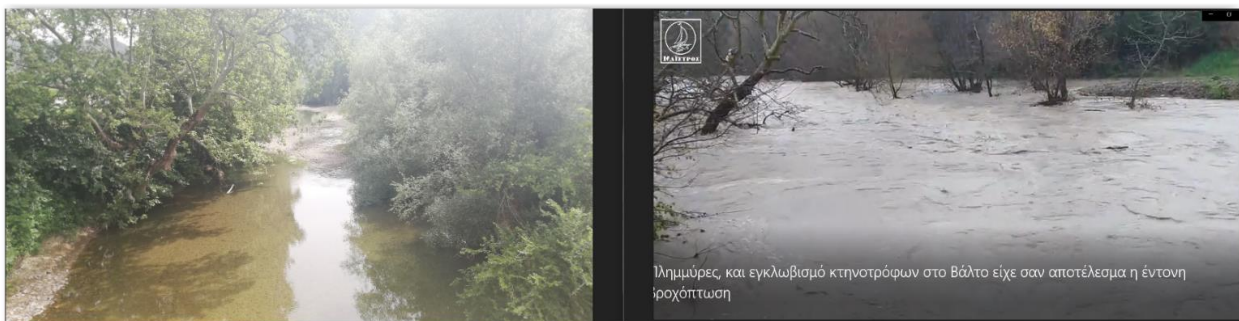
Πλημμυρικά συμβάντα

Η περιοχή παρουσιάζει με συχνή επανάληψη τα τελευταία χρόνια έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, με σημαντικότερα τα γεγονότα του πρώτου δεκαήμερου του Φεβρουαρίου 2015 και του διημέρου 1 και 2 Δεκεμβρίου 2017. Ιδίως μετά τα γεγονότα του 2017, η περιοχή στην οποία υπάγεται διοικητικά ο ποταμός Ίναχος (Δημοτική Ενότητα Αμφιλοχίας και Δημοτική Ενότητα Ινάχου) είχε κηρυχτεί σε Κατάσταση Έκτακτης Ανάγκης, με την υπ' αριθ. 336616/1661/03.12.2017 Απόφαση του Τμήματος Πολιτικής Προστασίας Π.Ε Αιτ/νίας, της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας. Για εκείνη την ημερομηνία έχουν καταγραφεί στη λεκάνη απορροής του Ίναχου, κατά την 1^η Αναθεώρηση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας, τρία πλημμυρικά συμβάντα, εντός των ορίων των Τοπικών Κοινοτήτων Εμπεισού, Σταθά και Χαλκιόπουλων.

Πρόσφατα, στις 04.01.2021, στην κατάντη πεδινή περιοχή του Ίναχου, το νερό υπερχειλίσε τη γέφυρα προς Αμοργιανούς, ξεπερνώντας τοπικά τα 4 m ύψος. Στις φωτογραφίες που απεικονίζονται στα Σχήματα 2.5 και 2.6 αντιπαρατίθεται η εικόνα μεταξύ της κατάστασης του ποταμού κατά τη θερινή περίοδο (αριστερά) και κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου (δεξιά). Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου συμβάντος, σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της Αμφιλοχίας (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) που είναι ο πλησιέστερος σταθμός στην περιοχή, καταγράφηκε συνολική βροχόπτωση 180 mm βροχής σε διάστημα 2 ημερών.



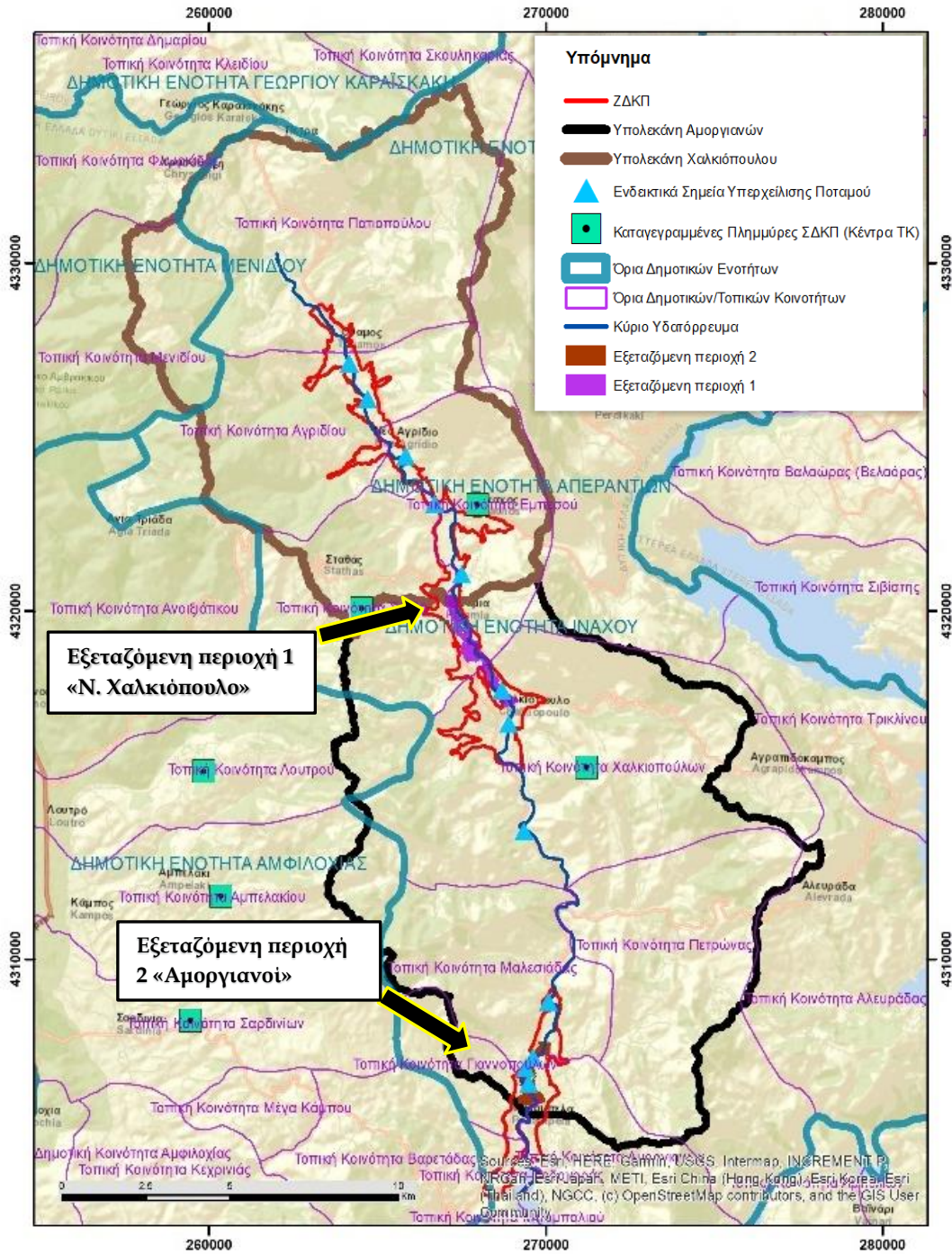
Σχήμα 2.5: Άποψη της γέφυρας προς Αμοργιανούς. Αριστερά η φωτογραφία είναι σε συνήθεις συνθήκες, τον Μάιο 2020 (πηγή: προσωπικό αρχείο). Δεξιά το ίδιο σημείο κατά τη διάρκεια πλημμυρικού επεισοδίου στις 04/01/2021 (πηγή: e-maistros.gr)



Σχήμα 2.6: Άποψη του ανάντι τμήματος της γέφυρας προς Αμοργιανούς. Αριστερά η φωτογραφία είναι σε συνήθεις συνθήκες, τον Μάιο 2020 (πηγή: προσωπικό αρχείο). Δεξιά το ίδιο σημείο κατά τη διάρκεια πλημμυρικού επεισοδίου στις 04/01/2021 (πηγή: e-maistros.gr)

Οι παρόχθιες περιοχές που πλήττονται από τα πλημμυρικά φαινόμενα έχουν ήπιες κλίσεις και είναι κυρίως αγροτικού χαρακτήρα. Στις περιοχές αυτές η κοίτη του ποταμού είναι σχετικά ρηχή και έχει ήπια κατά μήκος κλίση, με αποτέλεσμα η οποιαδήποτε πλημμυρική παροχή να εκτρέπεται στους αγρούς και τις καλλιέργειες. Επιβαρυντικός παράγοντας των πλημμυρικών φαινομένων αποτελεί και η αυξημένη κατολισθητική δραστηριότητα των ορεινών όγκων της λεκάνης, εξαιτίας των σαθρών σχηματισμών αργιλικού φλύσχη, με συνέπεια την ενίσχυση της στερεοαπορροής.

Στο Σχήμα 2.7 απεικονίζονται ενδεικτικά τα σημεία όπου έχουν καταγραφεί υπερχειλίσσεις του ποταμού Ίναχου σύμφωνα με τη Δ/νση Τεχνικών Έργων, Π.Ε. Αιτ/νίας (2015) (γαλάζια τρίγωνα), τα κέντρα των Τοπικών Κοινοτήτων όπου έχουν καταγραφεί πλημμύρες στα ΣΔΚΠ την περίοδο 2012-2018 (πράσινα τετράγωνα), οι δύο περιοχές προς εξέταση με την παρούσα εργασία και οι Ζώνες Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας που θα αναλυθούν στη συνέχεια.



Σχήμα 2.7: Χάρτης με καταγεγραμμένα πλημμυρικά συμβάντα στον Ίναχο (πηγή: floods.ypeka)

Ο ποταμός σε αρκετά σημεία οδεύει κυρίως παράλληλα με το επαρχιακό δίκτυο και διασταυρώνεται μαζί του σε αρκετά σημεία με γέφυρες. Κατά μήκος του ποταμού τα υφιστάμενα τοπικά έργα (υφιστάμενοι πρόβολοι, τοιχεία κατά μήκος της οδού,

κατασκευές από συρματοκιβώτια και αναχώματα), έχουν κατά καιρούς υποστεί ζημιές. Επίσης στα σημεία όπου ο ποταμός εφάπτεται με την Επαρχιακή Οδό Στράτου – Χαλκιοπούλου έχουν εκδηλωθεί αστοχίες του πρανούς μεταξύ της οδού και του ποταμού, λόγω υποσκαφών και διάβρωσης.

Ο ρους του ποταμού χαρακτηρίζεται από έντονους μαιανδρισμούς και τμήματα όπου η κοίτη διαπλατύνεται αισθητά επί των κυρτών καμπυλών. Από τη σύγκριση των ορθοφωτοχαρτών από το Ελληνικό Κτηματολόγιο ανάμεσα στις περιόδους 1945-1960 και 2015-2016 διαπιστώνεται η μεταβλητότητα της κοίτης (διαβρώσεις – αποθέσεις), η οποία σε αρκετά σημεία είναι έντονη.

Δεδομένα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αξιοποιήθηκαν σε περιβάλλον ΣΓΠΙ τα παρακάτω δεδομένα, τα οποία συνδυάστηκαν σε κατάλληλους θεματικούς χάρτες.

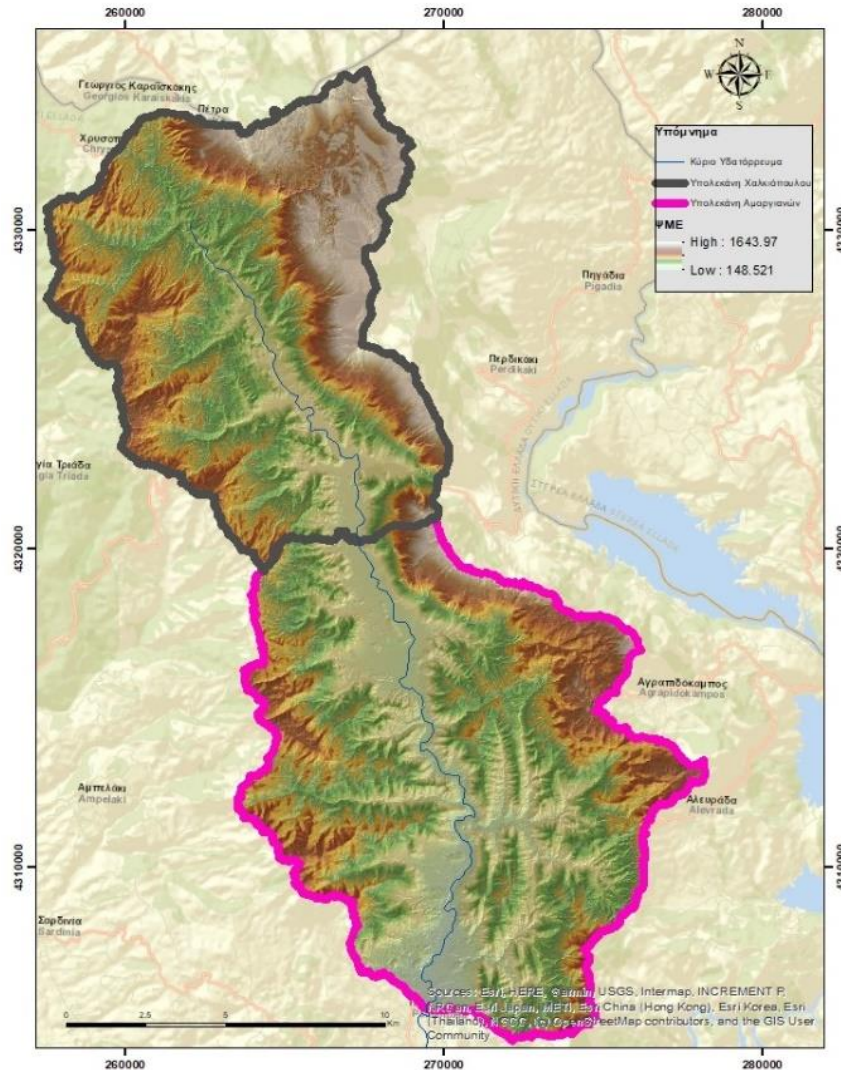
2.1.8. Γεωχωρικά δεδομένα

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ – DEM) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία χορηγήθηκε από τον ΟΚΧΕ (Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας) και έχει μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 5.00 m.

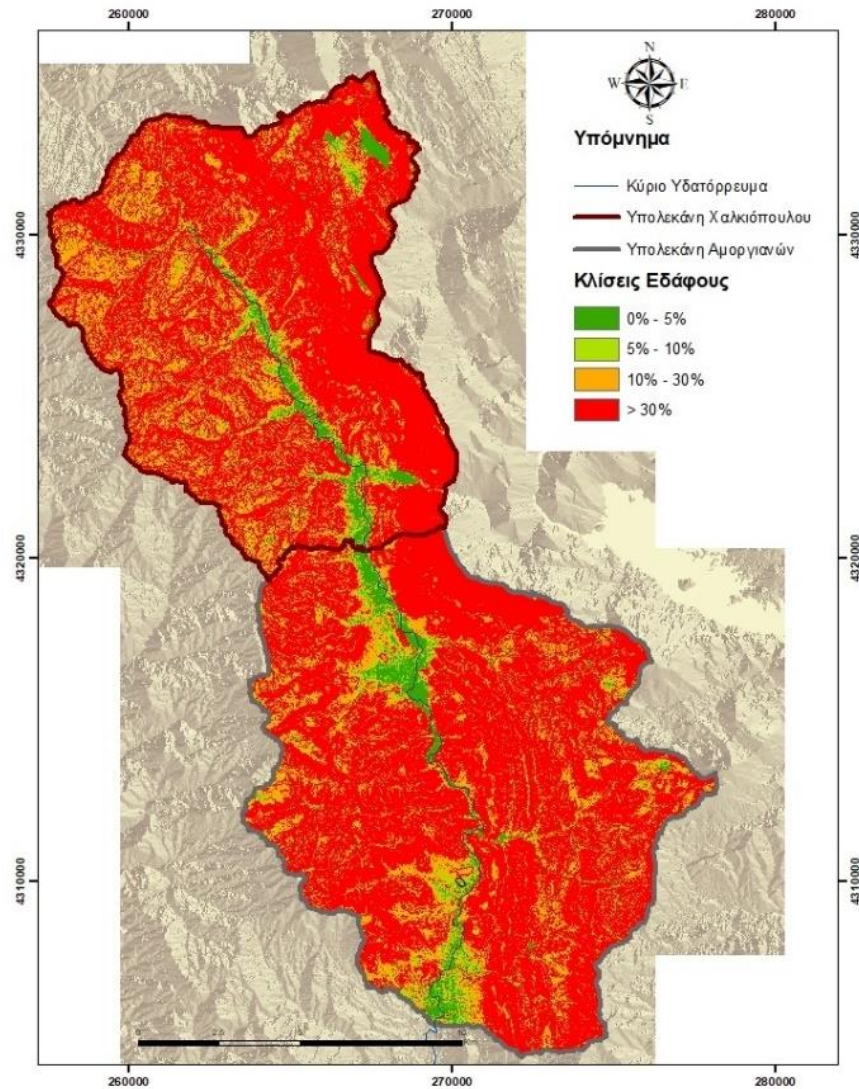
Κάθε πινακίδα ΨΜΕ έχει διαστάσεις στο έδαφος 4600 m X 3600 m, με περιμετρική επικάλυψη 300 m, και ακολουθούν τη διανομή ΕΓΣΑ'87 κλίμακας 1:5000. Η γεωμετρική ακρίβεια του προϊόντος είναι $RMSE_z \leq 2,00m$ και η απόλυτη ακρίβεια $\leq 3,92$ m για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στο σχήμα 2.8 απεικονίζεται το ΨΜΕ στα όρια της περιοχής μελέτης.



**Σχήμα 2.8: Το ΨΜΕ εντός της περιοχής μελέτης.
(πηγή: ΨΜΕ του ΟΚΧΕ μετά από επεξεργασία σε ΣΓΠ)**

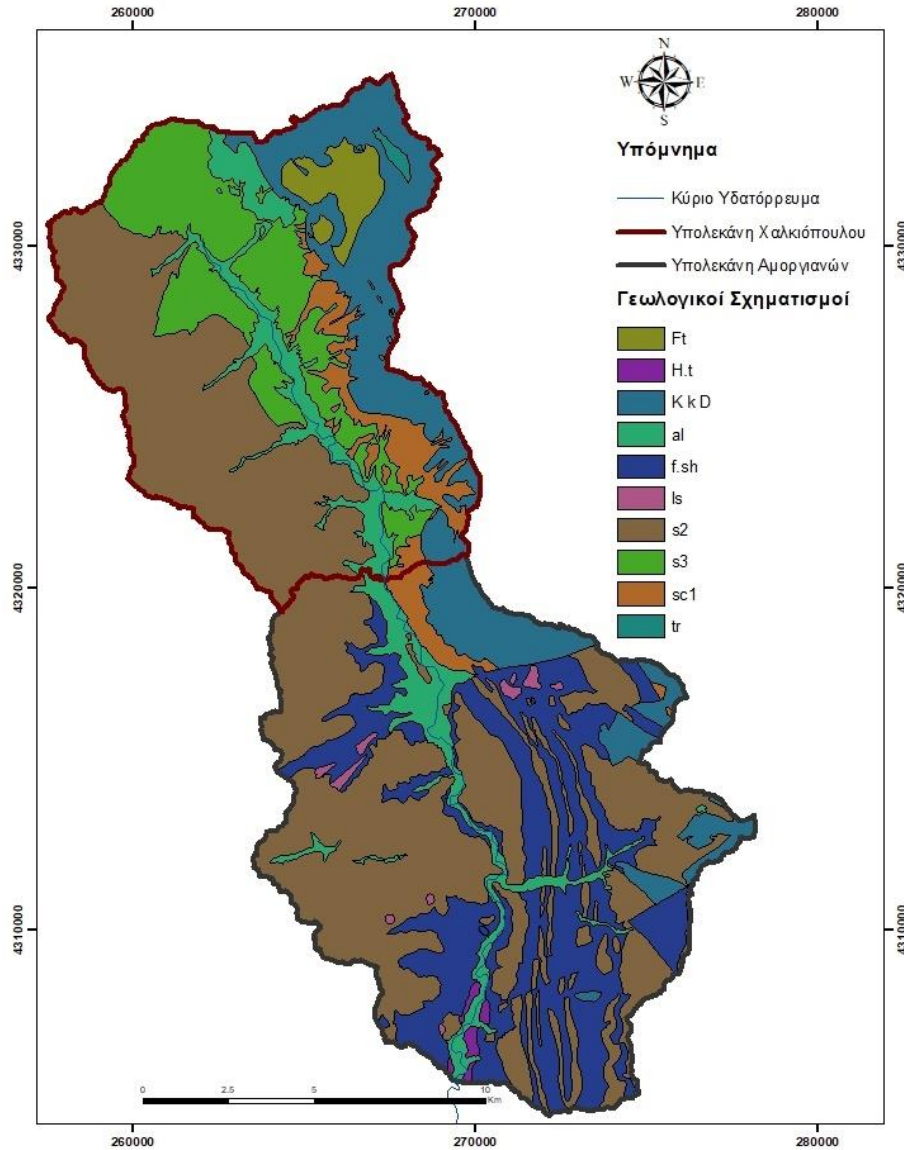
Στο σχήμα 2.9, παρουσιάζεται ο χάρτης κλίσεων εδάφους, ο οποίος αξιοποιήθηκε για την εκτίμηση του επιμέρους συντελεστή αναγλύφου εδάφους C_r και του επιμέρους συντελεστή αποθηκευτικότητας εδάφους C_s , που αφορούν στο συντελεστή απορροής της Ορθολογικής Μεθόδου. Στον χάρτη ορίστηκαν 4 κλάσεις, σύμφωνα με την διαβάθμιση των ανωτέρω συντελεστών κατά τις ΟΜΟΕ (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002). Η πλειοψηφία της λεκάνης απορροής του Ινάχου απαρτίζεται από πολύ έντονες κλίσεις, με μόνη εξαίρεση την περιοχή όπου ρέει ο ποταμός, όπου οι κλίσεις είναι εξαιρετικά ήπιες. Η μέση κλίση της λεκάνης είναι 40,81%.



Σχήμα 2.9: Χάρτης κατανομής κλίσεων εδάφους
(πηγή: ΨΜΕ του ΟΚΧΕ μετά από επεξεργασία σε ΣΓΠ)

Γεωλογία Περιοχής

Στο Σχήμα 2.10 και στον Πίνακα 2.5 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή, ύστερα από ψηφιοποίηση των γεωλογικών χαρτών ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50000, για τα φύλλα «Αλευράδα», «Αμφιλοχία», «Πέτα» και «Ραπτόπουλο».



Σχήμα 2.10: Γεωλογικοί σχηματισμοί λεκάνης απορροής (πηγή: Χάρτες ΙΓΜΕ μετά από ψηφιοποίηση)

Παρατηρείται ότι η πλειοψηφία της λεκάνης απορροής του Ύναχου ποταμού, σε ποσοστό 71% καταλαμβάνεται από φλόσχη, ο αμέσως επόμενος σχηματισμός που απαντάται είναι ο ασβεστόλιθος, σε ποσοστό 16% και τρίτος σχηματισμός είναι τα αλούβια και τα κορήματα, που απαντώνται συνήθως στις κοιλάδες ποταμών, τα οποία καταλαμβάνουν το 13%.

Πίνακας 2.5: Γεωλογικοί Σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης (πηγή: Χάρτες ΙΓΜΕ μετά από ψηφιοποίηση)

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ					
A/A	ΖΩΝΕΣ	ΕΠΟΧΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
1	-	TETAPTOΓENEΣ	al	Αλλουβιακές προσχώσεις	7.62%
2	-	TETAPTOΓENEΣ	sc ₁ / H.sc	Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων, σύγχρονα	4.83%
4	-	TETAPTOΓENEΣ	H.t	Ποτάμεις αναβαθμίδες	0.32%
5	-	TETAPTOΓENEΣ	ls	Κατολιθήσεις και ερπυσμοί	0.41%
6	-	TETAPTOΓENEΣ	tr	Ερυθρογή εντός των δολινών του Γαβρόβου	0.27%
7	ΙΟΝΙΟΣ Ζ.(ΕΣΩΤ) και Ζ. ΓΑΒΡΟΒΟΥ	ΑΝ. ΗΩΚΑΙΝΟΝ-ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΝ	3Fi - s3	Φλύσχη: Σχηματισμός Διστράτου	9.66%
8		ΑΝ. ΗΩΚΑΙΝΟΝ-ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΝ -	f.sh	Φλύσχη: Αργιλικός σχιστόλιθος συγκλίνου Αιτ/νίας	17.17%
9	ΙΟΝΙΟΣ Ζ.(ΕΣΩΤ)	ΑΝ. ΗΩΚΑΙΝΟΝ-ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΝ -	3Fi - s2 / f.st	Φλύσχη: Ψαμμίτες Ανεμορράχης / συγκλίνου Αιτ/νίας	41.95%
10	Ζ. ΓΑΒΡΟΒΟΥ	ΗΩΚΑΙΝΟΝ - ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΝ	Fτ	Φλύσχη: Γαβρόβου αδιαίρετος	1.77%
11		ΑΝ. ΠΑΛΛΑΙΟΚΑΙΝΟΝ - ΗΩΚΑΙΝΟΝ	Pcs - E.k	Ασβεστόλιθοι (διάφορα είδη)	0.02%
12		ΚΡΗΤΙΔΙΚΟΝ	K k D	Ασβεστόλιθοι και δολομίτες (διάφορα είδη)	15.98%

Όσον αφορά στους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται στη λεκάνη απορροής του Ινάχου, ισχύουν τα εξής: Από τις αλπικές γεωτεκτονικές ζώνες εμφανίζονται η Ζώνη Γαβρόβου και η Ιόνιος Ζώνη. Οι νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις καλύπτουν τους προνεογενείς σχηματισμούς των αλπικών ζωνών.

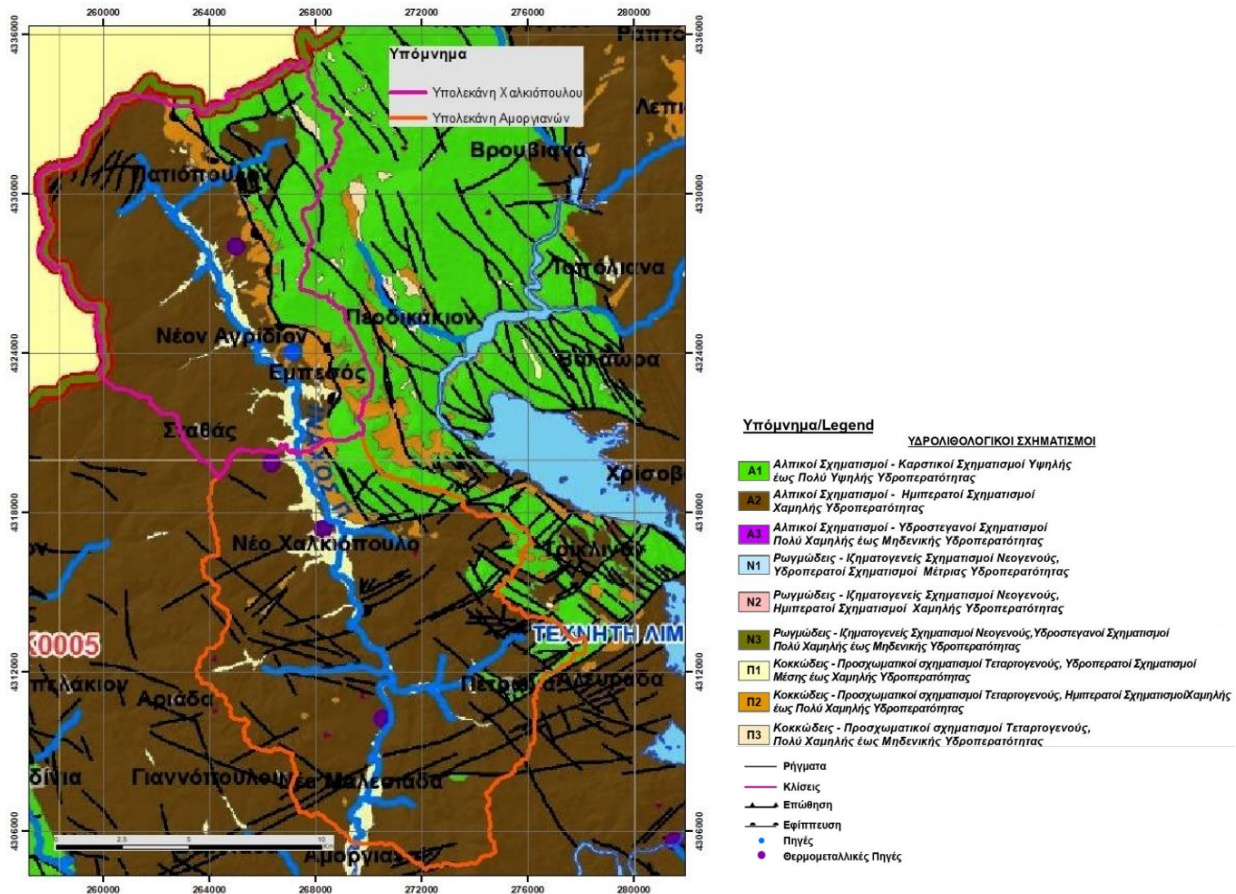
Πιο αναλυτικά, στην άμεση περιοχή του ρου του ποταμού, επικρατούν σύγχρονες αλλουβιακές προσχώσεις (al), αποτελούμενες από ασύνδετα υλικά από άμμους και κροκάλες, χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκάλες και λατύπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και υλικά μικρών χειμαρρωδών αναβαθμίδων. Σε ένα τμήμα στην περιοχή του Νέου Χαλκιοπούλου, εμφανίζεται η υποκείμενη ψαμμιτική φάση του φλύσχη (f.st). Από τον οικισμό Μαλεσιάδα και κατάντη, εξωτερικά των αλλουβιακών αποθέσεων,

απαντώνται ποτάμιες αναβαθμίδες (H.t) από πηλούς, άμμους και χαλίκια (κοιλάδα Ήναχου) σε ύψος 5-6 m από την κοίτη του ποταμού.

Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης, επικρατεί ο φλύσχη σύγκλινου Αιτ/νίας (f.st). ή ψαμμίτες Ανεμορράχης (3Fi-s2) του Ολιγόκαινου ή Ανώτερου Ηώκαινου, που είναι λεπτό- έως μεσοστρωματώδεις και εναλλάσσονται με λεπτό- έως αδρόκοκκους ψαμμίτες και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων. Ενίοτε μετέχουν και ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Ο σχηματισμός αυτός έχει συμπεριφορά βράχου. Στα κεντρικά και βόρεια της λεκάνης ο φλύσχη απαντάται σε σχηματισμό του Διοστράτου (3Fi-s3) του Ολιγόκαινου ή Ανώτερου Ηώκαινου. Πρόκειται για μονότονη τοπική σειρά της φάσης του φλύσχη. Παρατηρείται εναλλαγή στρωμάτων από λεπτόκοκκους ψαμμίτες, με ισομεγέθεις κόκκους, πιθανά συγκολλημένους και από ιλυώδεις αργιλούχες μάργες με μαρμαρυγία, συχνά σκληρές. Στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης, που έχει τους πιο απότομους ορογραφικούς συνδυασμούς, εμφανίζονται ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Κρητιδικού, (K k D) έντονα τεκτονισμένοι στο φύλλο Αλευράδα. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για δολομιτιωμένους ασβεστόλιθους, βιομικροσπαρίτες με θραύσματα ρουδιστών, βιομικρίτες, ιωσπαρίτες, ασβεστόλιθους υπολιθογραφικούς έως θρομβώδεις λατυποπαγείς, υφαλογενείς. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί αναμένονται πιο λεπτοστρωματώδεις - αργιλικοί από ότι του Ηώκαινου. Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται εναλλαγές με μικρά τμήματα από Ερυθρογή εντός των δολινών του Γαβρόβου (tr) του Τεταρτογενούς, τα οποία είναι ευδιάβρωτα. Επιπλέον υπάρχει και ένα μικρό τμήμα με φλύσχη Γαβρόβου, αδιαίρετο, (Ft) τοπικά επικλυσιγενή, του Ηώκαινου - Ολιγόκαινου, που αφορά σε εναλλαγές κυανών μαργών με ψαμμίτες, πλακώδεις ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους και πολυγενή κροκαλοπαγή. Στην περιοχή ανάμεσα στις ανατολικές κορυφογραμμές και την κοιλάδα του ποταμού, συναντώνται εναλλαγές σύγχρονων κορημάτων (sc1 - H.sc) και κώνοι κορημάτων. Πρόκειται για ασόνδετα ή μικρής συνεκτικότητας γωνιώδη τεμάχια στις πλαγιές των ασβεστολιθικών βουνών και λόφων και στις εξόδους των χειμάρρων. Προς τα νότια και δυτικά της λεκάνης, ο φλύσχη είναι στη φάση του αργιλικού σχιστόλιθου (f.sh) του Ανώτερου Ηώκαινου. Ο συγκεκριμένος φλύσχη είναι πιο λεπτόκοκκος και αργιλικός σχηματισμός, με εναλλασσόμενες ενστρώσεις πηλιτών, μαργαϊκών ιλυολίθων, ιλυολιθικών ψαμμιτών και λεπτόκοκκους ψαμμίτες, συνεπώς είναι πιο ευδιάβρωτος από τους υπολοίπους της περιοχής. Τέλος στο κατάντη τμήμα της λεκάνης, τοπικά εμφανίζονται κατολισθήσεις και ερπυσμοί (Is) που οφείλονται σε αδιαβάθμητες μάζες από κατολισθαίνοντα υλικά και ροές εδαφών, κυρίως του φλύσχη.

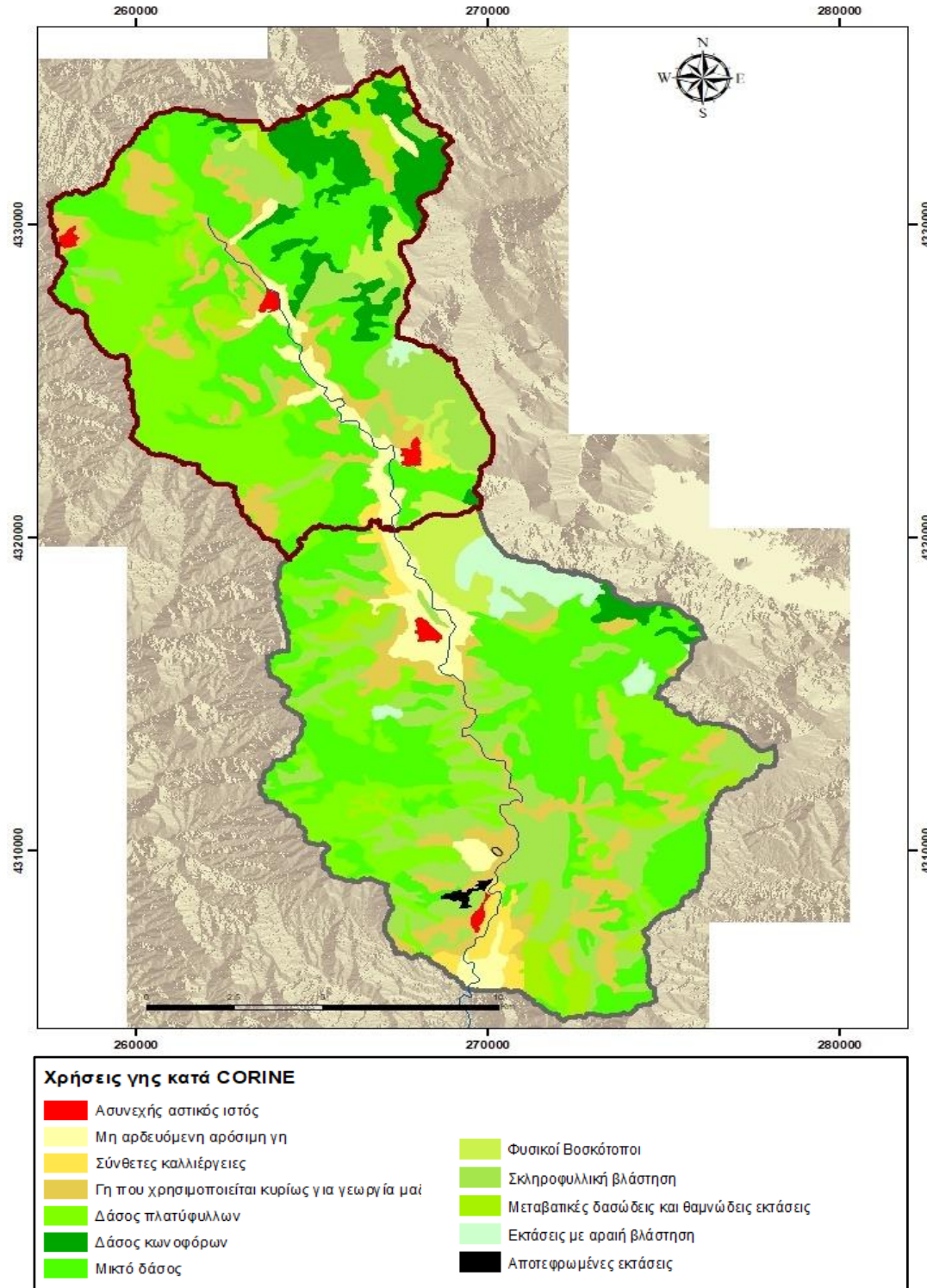
Διηθητικότητα Εδάφους

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίστηκαν από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, κατατάχθηκαν ανά κατηγορία διηθητικότητας, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία σχετικά με την υδρολιθολογία του Σχήματος 2.11 και την κατάταξη των εδαφών σχετικά με το δυναμικό επιφανειακής απορροής του Σχήματος 2.12, από τους αντίστοιχους χάρτες που έχουν αναρτηθεί στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας (ΕΓΥ, 2018). Τα στοιχεία αξιοποιήθηκαν σε περιβάλλον ΣΓΠ για την εκτίμηση του επιμέρους συντελεστή διηθητικότητας εδάφους C_i , που αφορά στο συντελεστή απορροής της Ορθολογικής Μεθόδου.



Σχήμα 2.11: Χάρτης υδρολιθολογικών σχηματισμών (πηγή: floods.ypeka)

Από τον χάρτη του Σχήματος 2.11 που απεικονίζει του υδρολιθολογικούς σχηματισμούς παρατηρείται ότι ο φλύσχος της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού χαρακτηρίζεται ως ημιπερατός σχηματισμός, χαμηλής υδροπερατότητας, ενώ ο ασβεστόλιθος χαρακτηρίζεται από υψηλής έως πολύ υψηλής υδροπερατότητας.



Σχήμα 2.13: Χάρτης κατανομής κάλυψης γης κατά CORINE Landcover
(πηγή: land.copernicus.eu μετά από επεξεργασία)

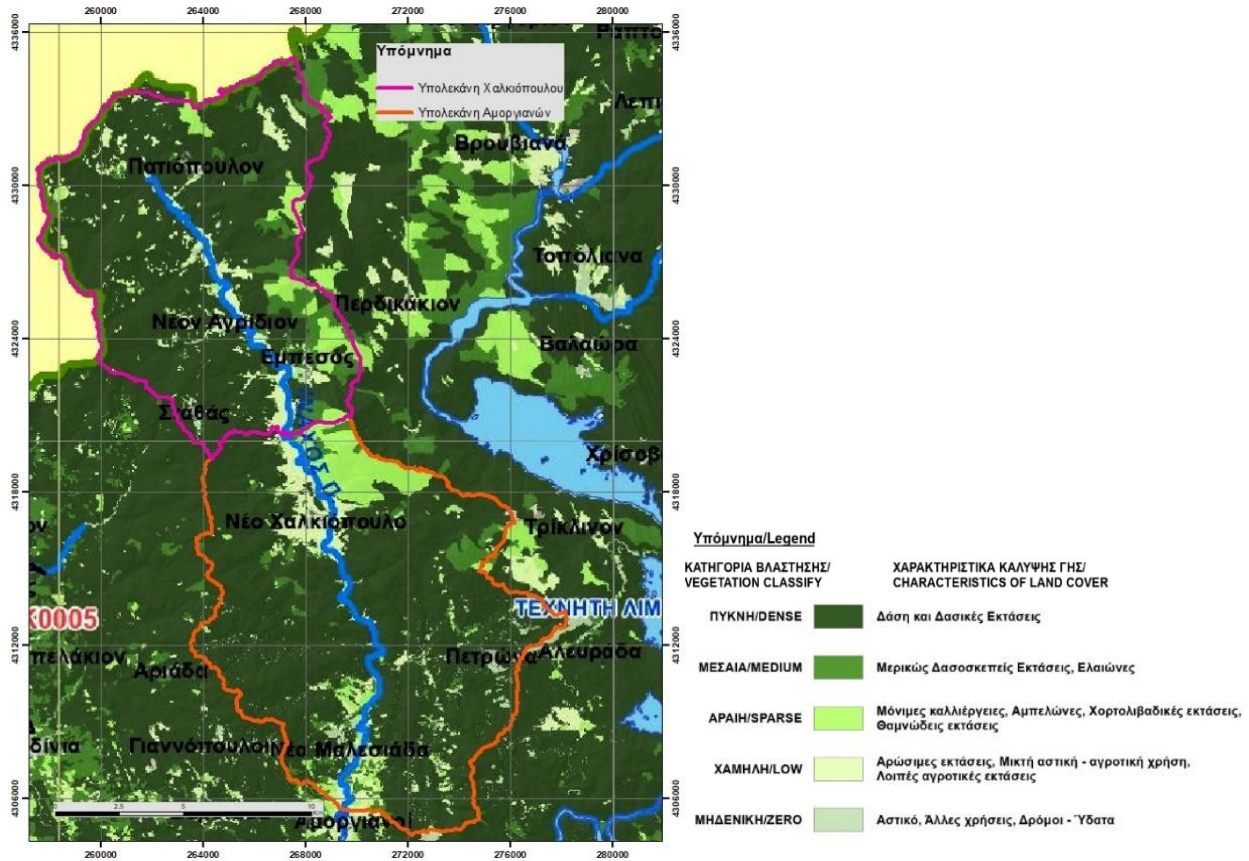
Στον Πίνακα 2.6. παρουσιάζεται επιπλέον η αντιστοίχιση του συντελεστή τριβής n Manning, που έγινε σε περιβάλλον ΣΓΠ, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. Arcement and Schneider, 1989; Barnes, 1967), αναλόγως της κατηγορίας κάλυψης γης, προκειμένου να εξαχθούν τα πολύγωνα κατανομής για χρήση τους στην υδραυλική προσομοίωση με το HEC-RAS.

Πίνακας 2.6: Χρήσεις γης κατά Corine και αντιστοίχιση με συντ. τριβής Manning

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΤΑ CORINE & ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΜΕ ΣΥΝΤ. ΤΡΙΒΗΣ MANNING				
A/A	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Χρήση γης	Manning
1	1.1 Αστικός Ιστός	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0.013
2	2.1 Αρόσιμη Γη	211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	0.030
3		242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.040
4		243	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	0.050
5	3.1 Δάση	311	Δάσος πλατύφυλλων	0.100
6		312	Δάσος κωνοφόρων	0.100
7		313	Μικτό δάσος	0.100
8		321	Φυσικοί Βοσκότοποι	0.040
9		323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.050
10		324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0.060
11		333	Εκτάσεις με αραυή βλάστηση	0.027
12		334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις	0.025

Βλάστηση

Οι χρήσεις γης που εντοπίστηκαν από τον χάρτη κάλυψης γης CORINE της προηγούμενης ενότητας και αφορούν βλάστηση, κατηγοριοποιήθηκαν σε κατηγορίες πυκνότητας βλάστησης, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία από τον χάρτη του Σχήματος 2.14 σχετικά με την πυκνότητα βλάστησης, ο οποίος έχει αναρτηθεί στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας (ΕΓΥ, 2018). Τα στοιχεία αξιοποιήθηκαν σε περιβάλλον ΣΓΠ για την εκτίμηση του επιμέρους συντελεστή φυσικής κάλυψης εδάφους C_v , που αφορά στο συντελεστή απορροής της Ορθολογικής Μεθόδου.



Σχήμα 2.14: Χάρτης βλάστησης (πηγή: floods.yreka)

Λοιπά Πληροφοριακά Δεδομένα

Στο εδάφιο αυτό αναφέρονται τα επιπλέον δεδομένα που αναζητήθηκαν για την περιοχή μελέτης, τα οποία αξιοποιήθηκαν κατά την πορεία της παρούσας εργασίας.

Πρόκειται για αρχεία ελεύθερων γεωχωρικών δεδομένων από τους εξής ιστότοπους:

- Γεωπύλη των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών, που αφορούν i) Τα αρχικά εγκεκριμένα σχέδια και ii) την 1^η Αναθεώρηση των σχεδίων του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Ελλάδας (EL04).
- Γεωπύλη των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Ελλάδας (EL04).
- Αρχεία γεωχωρικών δεδομένων των ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων, των σημαντικών πλημμυρικών συμβάντων και των Αναθεωρημένων Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ).
- Γεωπύλη της geodata.gov.gr σχετικά με τη διοικητική διαίρεση της χώρας.

Επιπλέον πληροφορίες γεωγραφικού περιεχομένου αντλήθηκαν από τους εξής χάρτες:

- Θέαση ορθοφωτογραφιών, που διατίθενται ελεύθερα από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, για διάφορες περιόδους.
- Χάρτες περιήγησης Google Earth, που προσφέρονται μέσω του ελεύθερου προγράμματος Google Earth Pro 7.3.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο στηρίχτηκε η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία και στη συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά σε βασικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου, στις όμβριες καμπύλες, τον εμπειρικό τύπο του χρόνου συρροής κατά Giandotti και έπειτα αναλύονται η Ορθολογική Μέθοδος και το Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS. Στη συνέχεια αναφέρονται τα τρία βασικά λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν και παρουσιάζεται και αναλύεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία για την παραγωγή των χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στις επόμενες ενότητες παρατίθενται βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν το συντελεστή σχήματος της λεκάνης απορροής, την μορφή και κατάταξη του υδρογραφικού δικτύου, την πυκνότητα αποστράγγισης, τις όμβριες καμπύλες, την περίοδο επαναφοράς, τον χρόνο συρροής, την Ορθολογική Μέθοδο και τη σύνθεση πλημμυρογραφήματος με βάση το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS.

3.1.1. Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου

Συντελεστής σχήματος λεκάνης απορροής

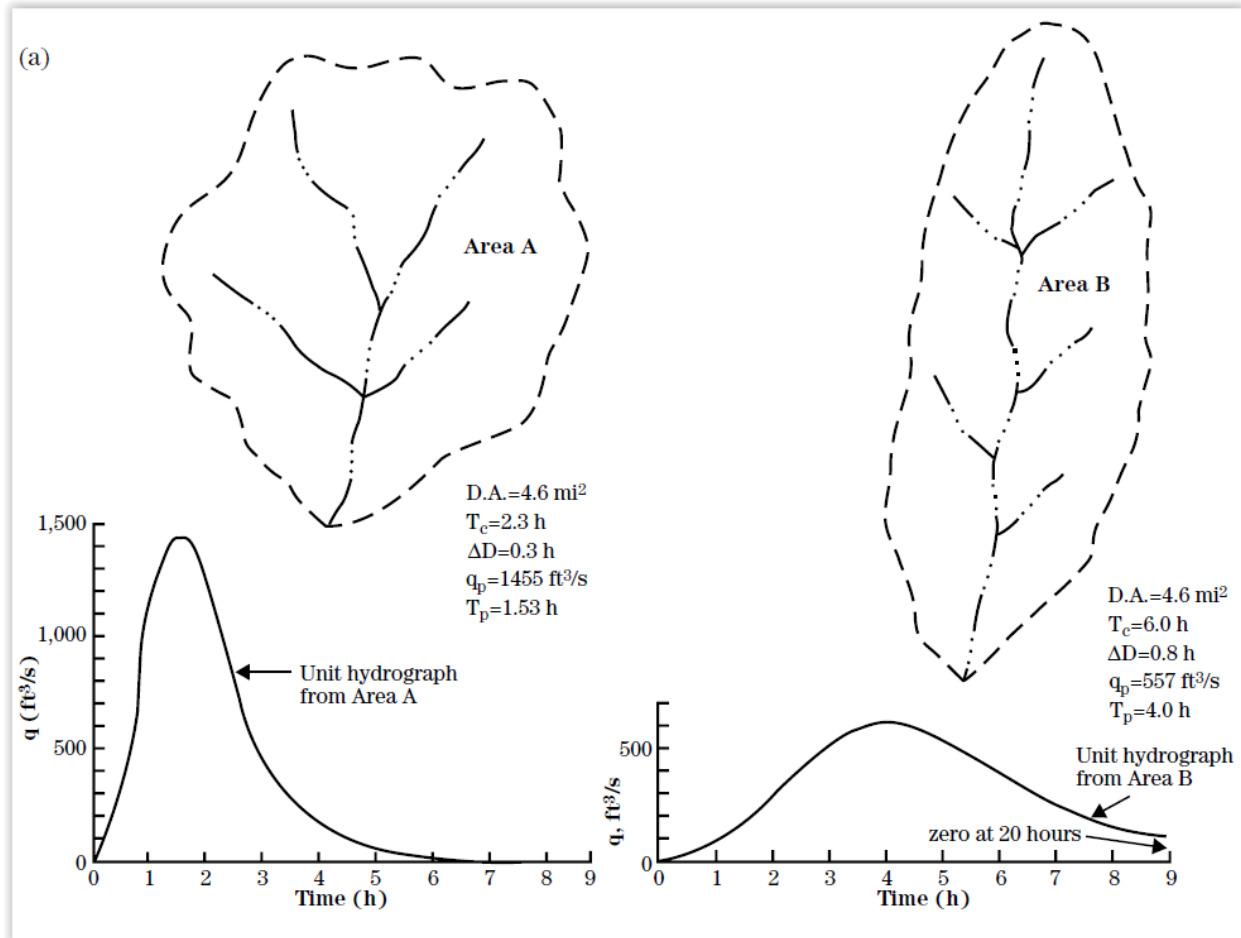
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, το σχήμα της λεκάνης απορροής επηρεάζει το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και κατά συνέπεια επηρεάζει τη μορφή το υδρογράφηματος και την αιχμή της παροχής που παρατηρείται στο στόμιο της λεκάνης. (NRCS, 2007). Ορίζεται ο αδιάστατος συντελεστής σχήματος $N_{σχ}$ από την παρακάτω εξίσωση:

$$N_{σχ} = A/L^2 \quad (3.1)$$

όπου:

- $N_{σχ}$ [-] : Συντελεστής σχήματος λεκάνης απορροής (αδιάστατος).
- A [m²] : Η επιφάνεια της λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο μελέτης.
- L [m] : Το μήκος της λεκάνης, μετρούμενο κατά μήκος ευθείας γραμμής, που συνδέει τη θέση εισόδου και τη θέση εξόδου του μεγαλύτερου σε μήκος υδατορέματος στη λεκάνη απορροής.

Ισχύει ότι για τετράγωνη λεκάνη, με την έξοδο στο μέσον μιας πλευράς, $N_{σχ} = 1$, ενώ για κυκλική λεκάνη, ισχύει ότι $N_{σχ} = \pi/4 = 0.785$ (Δερμίσης, 2013). Γενικά ισχύει ότι οι επιμήκεις λεκάνες απορροής έχουν μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης από ότι οι ριπδοειδείς ή κυκλικές και συνεπώς οι πρώτες, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, εμφανίζουν μικρότερες παροχές (Τσακίρης, 1995).



Σχήμα 3.1: Επιρροή του σχήματος της λεκάνης στη μορφή και την αισιμότητα του υδρογραφήματος (πηγή: NRCS, 2007).

Μορφή υδρογραφικού δικτύου

Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου αποστράγγισης αντανακλά τη φύση του εδάφους της λεκάνης (Shen, 1971). Από το σχήμα των διακλαδώσεων μπορεί να αντληθεί πληροφορία για το είδος του εδάφους, τον βαθμό διάβρωσής του, το βαθμό ρωγμάτωσης και την κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης.

Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική, η οποία είναι η απλούστερη μορφή υδρογραφικού δικτύου και προκύπτει από τη δράση ποτάμιων διεργασιών σε περιοχές ομογενών εδαφών χωρίς έντονη δομή (Παπαφίλιππου κ.ά., 1998).

Κατάταξη υδρογραφικού δικτύου

Η τάξη του κυρίου ρέματος δείχνει την έκταση των διακλαδώσεων των ρεμάτων μέσα σε μια λεκάνη. Η κατάταξη κατά Strahler (1952) η σύνδεση δύο κλάδων ίσης τάξης δημιουργεί νέο κλάδο της αμέσως επόμενης τάξης κ.ο.κ. (Βουβαλίδης, 2018).

Πυκνότητα αποστράγγισης

Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου υποδεικνύει το μήκος που πρέπει να διανύσει το νερό στην επιφάνεια του εδάφους, μέχρι να ενσωματωθεί σε κάποιο υδατόρευμα και υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$D_d = \Sigma L / A \quad (3.2)$$

όπου:

- D_d [-] : Συντελεστής υδρογραφικού δικτύου (αδιάστατος).
- ΣL [km] : Συνολικό μήκος των ρεμάτων της λεκάνης.
- A [km²] : Η επιφάνεια της λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο μελέτης.

Κατά τον (Horton, 1945) όταν $D_d = 1.70$ η αποστράγγιση είναι καλή ενώ για $D_d < 0.454$ η αποστράγγιση θεωρείται πτωχή. Κατά τους (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018), για τιμές $D_d \leq 0.5$ η αποστράγγιση της λεκάνης θεωρείται μικρή, ενώ για $D_d \geq 3$ η αποστράγγιση θεωρείται πολύ καλή. Η τιμή του συντελεστή εξαρτάται από τα κλιματικά χαρακτηριστικά (ένταση, διάρκεια βροχόπτωσης) και φυσικά (διαπερατότητα εδάφους) καθώς και από την ηλικία (τον χρόνο). Κατ' επέκταση, χαμηλές τιμές του συντελεστή προκύπτουν σε υψηλής διαπερατότητας εδάφη και υψηλές τιμές σε μικρής περατότητας εδάφη. Ειδικότερα, η ύπαρξη μικρής διαπερατότητας υποστρώματος του εδάφους επιτρέπει την είσοδο μικρού μέρους της απορροής στο υπέδαφος με συνέπεια τις αυξημένες παροχές και την αυξημένη διαβρωτική ικανότητα των επιφανειακά απορρεόντων υδάτων. Κατά συνέπεια, η πλημμύρα είναι πιο πιθανή για μεγάλες τιμές του συντελεστή (Δερμίσης, 2013).

Χρόνος Συρροής t_c

Ο χρόνος συρροής μια λεκάνης απορροής ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε μία σταγόνα βροχής να φτάσει στο πιο απομακρυσμένο σημείο (έξοδο) της λεκάνης (Ευστρατιάδης, 2011) και εκφράζει την χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της παροχής απορροής σε σχέση με τον χρόνο που ξεκίνησε η βροχή στη λεκάνη. Η διαδρομή του νερού περιλαμβάνει σε πρώτη φάση κίνηση επί του εδάφους σε μη

διαμορφωμένες μισγάγγειες, με ταχύτητα πολύ μικρότερη της ταχύτητας με την οποία κινείται αφότου συναντήσει το διαμορφωμένο υδρογραφικό δίκτυο (ρέμα). Προκύπτει από την ανάλυση ζευγών υετογραμμάτων και υδρογραφημάτων στην έξοδο της λεκάνης, με την προϋπόθεση ότι υφίστανται οι κατάλληλες μετρήσεις. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν οι μετρήσεις αυτές, όπως ισχύει και στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι, εκ των οποίων η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος Giandotti.

Σύμφωνα με τον (Giandotti, 1934), ο χρόνος συρροής εκτιμάται ως εξής:

$$t_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8\Delta H^{0.5}} \quad (3.3)$$

όπου:

- t_c [h] : Χρόνος συγκέντρωσης.
- A [km²] : Η επιφάνεια της λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο μελέτης.
- L [km] : Το μήκος της κύριας μισγάγγειας.
- ΔH [m] : Η διαφορά του μέσου υψόμετρου της λεκάνης από το υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης.

Σημειώνεται ότι η εξίσωση Giandotti είναι η πιο διαδεδομένη στην ελληνική πρακτική, έχει εφαρμογή σε απλές λεκάνες απορροής, οι οποίες χαρακτηρίζονται από κύρια μισγάγγεια και δεν αποτελούνται από υπολεκάνες.

3.1.2. Όμβριες καμπύλες

Όμβρια καμπύλη είναι η σχέση που συνδέει το ύψος (ή την ένταση) της βροχής με την διάρκεια της, για ορισμένη περίοδο επαναφοράς. Το ύψος της βροχής είναι αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας της βροχόπτωσης, ενώ η ένταση της βροχής είναι φθίνουσα συνάρτηση της διάρκειας της βροχόπτωσης. Η κατάρτιση των καμπυλών βασίζεται στην πιθανοτική ανάλυση παρατηρούμενων ακραίων υψών (i) ή (χρονικά μέσων) εντάσεων βροχής (h) από βροχογραφικά δεδομένα από σταθμούς της περιοχής ή γειτονικούς. Δεν υπάρχουν καμπύλες γενικής εφαρμογής, ανεξάρτητες των τοπικών συνθηκών (Κουτσογιάννης, 2016).

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν σημειακές όμβριες καμπύλες που καταρτίστηκαν στα πλαίσια των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των

Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04) και Ηπείρου (EL05) (ΕΓΥ, 2018).

Η γενική συναρτησιακή εξίσωση είναι της μορφής:

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (3.4)$$

όπου:

- i [mm/h] : Ένταση βροχής διάρκειας d [h] για περίοδο επαναφοράς T [έτη].
- $a(T)$ [έτη] : Συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς, που προκύπτει αναλυτικά από τη συνάρτηση κατανομής (Γενική Ακραιών Τιμών - ΓΑΤ) της μέγιστης έντασης βροχής.
- $b(d)$ [h] : Συνάρτηση της διάρκειας, η οποία είναι της μορφής $b(d)=(1+d/\theta)^\eta$, όπου θ και η είναι παράμετροι προς εκτίμηση, με $\theta \geq 0$ και $0 < \eta < 1$.

Η τελική έκφραση των όμβριων καμπυλών είναι της μορφής:

$$i = \frac{\lambda'(T^\kappa - \psi')}{(1 + \frac{d}{\theta})^\eta} \quad (3.5)$$

όπου:

- κ [-] : Παράμετρος σχήματος.
- λ' [-] : Παράμετρος κλίμακας.
- ψ' [-] : Παράμετρος θέσης της συνάρτησης κατανομής.
- θ, η [-] : Παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας.

Επισημαίνεται ότι για μικρές και μεσαίες περιόδους επαναφοράς π.χ. 50 έτη, οι εκτιμήσεις της παραπάνω προσέγγισης διαφέρουν ελάχιστα σε σχέση με τις συνήθεις κατανομές που εφαρμόζονται στις μελέτες πλημμυρών, π.χ. Gumbel. Ωστόσο, προκύπτουν σημαντικές διαφορές, προς την πλευρά της ασφαλείας, εφόσον εξετάζονται μεγάλες ή και ακραίες περίοδοι επαναφοράς, της τάξης των 1000 ή 10000 ετών.

Τα τελικά αξιοποιήσιμα δείγματα ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων σε διάφορες κλίμακες, προέκυψαν μέσα από διαδικασία εντοπισμού σφαλμάτων που περιγράφεται αναλυτικά στο προαναφερόμενο τεύχος, η οποία περιλαμβάνει συνοπτικά έλεγχο επάρκειας δεδομένων, έλεγχο χρονικής συνέπειας δεδομένων, έλεγχο ακραίων τιμών, έλεγχο γενικής και συνεχόμενης επαναληψιμότητας, έλεγχο ασυνεχειών μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης, έλεγχο στατιστικής συνέπειας με βάση την παράμετρο σχήματος της κατανομής ΓΑΤ και έλεγχο τελικού πλήθους τιμών.

Για την εκτίμηση των παραμέτρων λ , ψ (ή ισοδύναμα λ' , ψ'), κ , θ και η των όμβριων καμπυλών εφαρμόζεται μια συνεπής στατιστική μέθοδος, που αναπτύχθηκε από τον (Κουτσογιάννης, 1997), αποφεύγοντας τη χρήση εμπειρικών τεχνικών που χρησιμοποιούνταν παλιότερα. Η μέθοδος εκτιμά τις παραμέτρους σε δύο βήματα: Στο πρώτο βήμα γίνεται η εκτίμηση των παραμέτρων της συνάρτησης $b(d)$ (των θ και η) και στο δεύτερο αυτών της $a(T)$ (των λ , ψ και κ της κατανομής GEV).

Οι τιμές των παραμέτρων συνάρτησης διάρκειας $b(d)$, θ και η , η εκτίμηση των οποίων γίνεται αποκλειστικά από τα δεδομένα των βροχογράφων, εν τέλει προέκυψαν σταθερές και ίσες με $\theta=0.334$ και $\eta=0.627$, για το σύνολο του ΥΔ Δυτικής Ελλάδας και Ηπείρου. Αντίθετα, οι άλλες τρεις παράμετροι λ' , κ , ψ' που αφορούν τον αριθμητή της εξίσωσης, μπορούν να εκτιμηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια αξιοποιώντας και τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα βροχόμετρα (μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση και μέγιστη αθροιστική βροχόπτωση δύο ημερών). Όσον αφορά στις τιμές της παραμέτρου κ , διαμορφώθηκαν 3 ζώνες σταθερής τιμής. Οι τιμές λ' και ψ' , οι οποίες εμφανίζουν σημαντική χωρική μεταβλητότητα, ορίζονται μονοσήμαντα στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών, ενώ σε κάθε άλλη θέση, αξιοποιούνται οι σημειακές αυτές τιμές με χρήση μεθόδων χωρικής παρεμβολής.

Δεδομένου ότι εντός των δύο εξεταζόμενων λεκανών απορροής δεν έχει αναπτυχθεί σημειακή όμβρια καμπύλη, γίνεται έλεγχος μέσω των πολυγώνων επιρροής (μέθοδος Thiessen) για την εύρεση των σταθμών που δύνανται να αξιοποιηθούν για την εκτίμηση της έντασης της βροχόπτωσης στην υπό μελέτη περιοχή.

Η μέθοδος Thiessen ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων άμεσης ολοκλήρωσης με σκοπό την αναγωγή της σημειακής βροχόπτωσης σε επιφανειακή (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Ο συντελεστής βάρους κάθε σταθμού θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του, όπως αυτή ορίζεται από τις μεσοκάθετους των ευθύγραμμων τμημάτων που συνδέουν τους σταθμούς ανά ζεύγη. Με χρήση ΣΓΠ παράγονται τα πολύγωνα Thiessen των σταθμών με διαθέσιμες όμβριες καμπύλες.

Για την υδραυλική προσομοίωση του Νέου Χαλκιοπούλου, τα πολύγωνα Thiessen των διαθέσιμων με όμβρια καμπύλη σταθμών υποδεικνύουν τους σταθμούς Περδικάκι (ΥΔ-

04) και Σκουληκαριά (ΥΔ-05). Για την υδραυλική προσομοίωση στους Αμοργιανούς, στους δύο προαναφερόμενους σταθμούς προστίθεται και ο σταθμός του ΥΗΣ των Κρεμαστών.

3.1.3. Περίοδος επαναφοράς

Η περίοδος επαναφοράς T αποτελεί κρίσιμο μέγεθος για την υδραυλική προσομοίωση της ποτάμιας ροής και επηρεάζει τη λήψη μέτρων και τον σχεδιασμό των υδραυλικών έργων. Η περίοδος επαναφοράς T είναι το αντίστροφο της συχνότητας f : $T = 1/f$. Επιπλέον, η περίοδος επαναφοράς T συνδέεται με τη διακινδύνευση R μέσω της σχέσης $R=1-(1-T)^n$. Με τον όρο (υδρολογική) διακινδύνευση νοείται η πιθανότητα να εμφανιστεί πλημμύρα σχεδιασμού συχνότητας $1/T$ (ή μεγαλύτερή της), τουλάχιστον μία φορά μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα n (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018).

Στην Ορθολογική Μέθοδο που θα αναλυθεί στη συνέχεια, θεωρείται ότι η περίοδος επαναφοράς της παροχής αιχμής ταυτίζεται με την περίοδο επαναφοράς της κρίσιμης έντασης βροχής, για διάρκεια βροχής ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης. Προς το παρόν υπάρχει συζήτηση επί του θέματος για το κατά πόσο η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού ταυτίζεται ή όχι με την περίοδο επαναφοράς της πλημμύρας σχεδιασμού (πλημμυρική αιχμή), λόγω της επίδρασης των υδρολογικών απωλειών (κατακράτηση, διήθηση κλ.π.). Από τη μία σύμφωνα με (Sutcliffe, 1978), (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018), έχει παρατηρηθεί ότι γενικά απαιτείται μικρότερης συχνότητας καταιγίδα για να παραχθεί μια πλημμυρική αιχμή συγκεκριμένης συχνότητας. Η διαφορά αυτή μικραίνει με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς και μηδενίζεται στο διάστημα μεταξύ της περιόδου 500 έως 100 χρόνια. (Μιμίκου, 2006). Από την άλλη υπάρχει και η αντίθετη άποψη (Larson and Reich, 1973) ότι στην πραγματικότητα οι δύο περίοδοι επαναφοράς τείνουν να συμπίπτουν. Η τελευταία άποψη υιοθετείται και στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας.

Στα ΣΔΚΠ εξετάστηκαν υδρολογικά σενάρια που αντιστοιχούσαν σε περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (πλημμύρες υψηλής πιθανότητας υπέρβασης), $T=100$ έτη (πλημμύρες μέσης πιθανότητας υπέρβασης) και $T=1000$ έτη (πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης).

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, τόσο για την εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου όσο και για την εφαρμογή του ΜΥΓ SCS και για λόγους σύγκρισης των πλημμυρικών αιχμών μεταξύ τους και σε σχέση με ΣΔΚΠ, εξετάστηκαν επεισόδια βροχής με περίοδο επαναφοράς τα 50, 100 και 1000 έτη, η οποία θεωρείται ότι συμπίπτει με την περίοδο επαναφοράς της πλημμυρικής αιχμής.

3.1.4. Ορθολογική μέθοδος

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η Ορθολογική Μέθοδος, η οποία τυγχάνει ευρείας εφαρμογής στην ελληνική πρακτική. Υπενθυμίζεται ότι σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 140055/13.01.2017, η χρήση της Ορθολογικής Μεθόδου επιτρέπεται στα υδατορέματα, όπου η έκταση της λεκάνης απορροής είναι μεγαλύτερη από 0.5 ή 1.0 km² και μικρότερη από 5 ή 10 km² για εντός ή εκτός σχεδίου πόλεων ή οικισμών αντίστοιχα, εφόσον πρόκειται για απλή λεκάνη απορροής, (δηλαδή για λεκάνη με σαφώς ένα μόνο κύριο κλάδο υδατορέματος, χωρίς άλλες σημαντικές υπολεκάνες), επομένως δεν είναι αποδεκτή μέθοδος για την περίπτωση του Ινάχου.

Η Ορθολογική Μέθοδος βασίζεται στην αρχή ότι σε βροχές που παρουσιάζουν ομοιόμορφη ένταση και κατανομή στη λεκάνη, η μέγιστη απορροή εμφανίζεται όταν στην έξοδο της λεκάνης καταφθάσει νερό από όλα τα σημεία της.

Η Ορθολογική Μέθοδος μετασχηματίζει την βροχή σε απορροή με την εξίσωση:

$$Q = 0.278 C i A \quad (3.6)$$

όπου:

- Q [m³/s] : Μέγιστη Πλημμυρική Παροχή (η Αιχμή της Απορροής) για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς.
- C [-]: Αδιάστατος Συντελεστής Απορροής, που εξαρτάται από τα μορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.
- i [mm/h] : Μέση ένταση βροχόπτωσης, για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια ίση προς το χρόνο συγκέντρωσης.
- A [km²] : Επιφάνεια λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο μελέτης.

Για να φθάσει η πλημμυρική παροχή την μέγιστη αιχμή, πρέπει ο χρόνος βροχόπτωσης να είναι ίσος με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης, ώστε όλα τα σημεία της λεκάνης να συνεισφέρουν ταυτόχρονα στην απορροή (Μαμάσης, 2012). Επιπλέον υιοθετείται η παραδοχή ότι η περίοδος επαναφοράς της παροχής είναι ίση με την περίοδο επαναφοράς της βροχής. Η Ορθολογική Μέθοδος αποτελεί την απλούστερη μέθοδο προσδιορισμού της ενεργού βροχόπτωσης και είναι επαρκής στην περίπτωση που η βροχόπτωση έχει ομοιόμορφη ένταση σε όλη την διάρκειά της (Κουτσογιάννης, 2016).

Συντελεστής Απορροής C

Ο συντελεστής απορροής C αντιπροσωπεύει την αναλογία q_p / i , δηλαδή την αιχμή της απορροής δεδομένης συχνότητας (=περιόδου επαναφοράς) ανά μονάδα επιφάνειας μιας λεκάνης που προκαλείται από βροχή ομοιόμορφης εντάσεως της αυτής συχνότητας. Με άλλα λόγια αντιπροσωπεύει το ποσοστό του νερού που διασχίζει την επιφάνεια της αποχετευόμενης λεκάνης, κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης, το οποίο φτάνει στο εξεταζόμενο σημείο συγκέντρωσης της ροής προς το ποσοστό νερού που χάνεται, διηθείται στο έδαφος, απορροφάται από τη βλάστηση, εξατμίζεται ή/και κατακρατείται στις επιφανειακές κοιλότητες.

Ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης (C_r), την διηθητικότητα του εδάφους (C_i), την έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης (C_v), την αποθηκευτικότητα της επιφάνειας του εδάφους (C_s) και την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία κατά την έναρξη της βροχής. Από τους παράγοντες αυτούς, οι τέσσερις πρώτοι εκτιμώνται με βάση τους πίνακες από τις ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ (2002), τεύχος 8, εδάφιο 2.5.2 περί συντελεστή απορροής, ενώ ο τελευταίος παράγοντας είναι μεταβλητός και διαφέρει σε κάθε γεγονός βροχόπτωσης. Ισχύει ότι μικρότερες τιμές αφορούν δασώσεις κι απόκρημνες περιοχές, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές αφορούν αστικές περιοχές με αδιαπέρατες επιφάνειες.

Σε περίπτωση που η λεκάνη απορροής συντίθεται από διαφορετικά είδη εδάφους, ο συντελεστής απορροής υπολογίζεται ως ο μέσος σταθμισμένος συντελεστής των διαφορετικών τμημάτων της λεκάνης.

Σύμφωνα με τις Προδιαγραφές των ΟΜΟΕ (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002), για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, το άθροισμα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή διόρθωσης $C_f = 1.20$ και για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη, το άθροισμα πολλαπλασιάζεται με $C_f = 1.25$.

3.1.5. Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS

Η ομοιομορφία που προϋποθέτει η Ορθολογική Μέθοδος, τόσο στην ένταση του επεισοδίου βροχής για το σύνολο της λεκάνης όσο και στα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της, όπως αυτά αποτυπώνονται στο συντελεστή απορροής, την καθιστά κατάλληλη μέθοδο υπολογισμού παροχών αιχμής σε μικρές λεκάνες απορροής. Δεδομένου ότι η ροή σε ένα υδατόρευμα είναι μη μόνιμη (unsteady flow), δηλαδή η διερχόμενη παροχή από μια συγκεκριμένη διατομή μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, ρεαλιστικότερο είναι στις υδραυλικές προσομοιώσεις να χρησιμοποιείται πλημμυρογράφημα εισόδου.

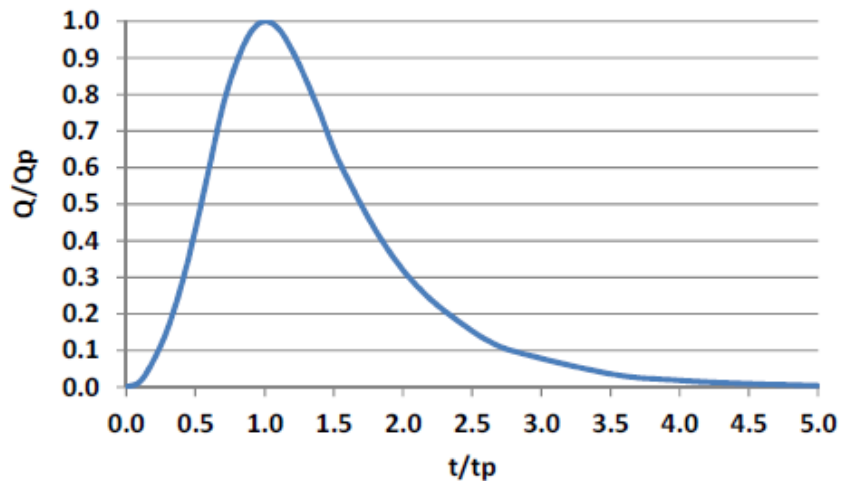
Γενικότερα το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα αποτελεί μια εμπειρική μέθοδο απόκρισης των υδρολογικών λεκανών στην βροχή σχεδιασμού (Sherman, 1932), σε περίπτωση που απουσιάζουν υδρομετρικά δεδομένα οπότε δεν είναι δυνατή η απευθείας

κατασκευή του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος με βάση τις ταυτόχρονες μετρήσεις παροχών και υψών ραγδαίας βροχής. Χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου μορφομετρικά χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης και χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, όπως: την επιφάνεια της λεκάνης απορροής, το μήκος του κυρίου υδατορεύματος, την κατά μήκος κλίση αυτού, το οικοδομημένο - αδιαπέρατο ποσοστό της λεκάνης απορροής κ.ά. (Τσακίρης, 2006).

Στη θεωρία του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος γίνονται 3 παραδοχές (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018):

- α) Σε συγκεκριμένη λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση, ανεξαρτήτως της έντασης της βροχής.
- β) Σε συγκεκριμένη λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες ή τις επόμενες βροχές.
- γ) Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει αμετάβλητη σε σχέση με τον χρόνο.

Η SCS (Soil Conservation, ΗΠΑ) μετά από μελέτη μεγάλου αριθμού λεκανών απορροής, όρισε ένα τυπικό αδιάστατο υδρογράφημα κωδωνοειδούς σχήματος, για το οποίο ο μελετητής καλείται να υπολογίσει μόνο την παροχή αιχμής του και τον χρόνο υστέρησης t_{lag} και που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε λεκάνη εάν γνωρίζουμε το εμβαδόν και τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται η μορφή του αδιάστατου υδρογραφήματος και στον Πίνακα 3.1 αναγράφονται οι συντεταγμένες του.



Σχήμα 3.2: Το Αδιάστατο Υδρογράφημα της SCS (πηγή: floods.ypeka)

Πίνακας 3.1: Υπολογισμός των τετμημένων στο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (πηγή: floods.ypeka)

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

Το αδιάστατο υδρογράφημα μετατρέπεται σε Μοναδιαίο Υδρογράφημα της λεκάνης, με πολλαπλασιασμό των τετμημένων και τεταγμένων του με τον χρόνο υστέρησης t_{Lag} και την παροχή αιχμής του ΜΥ που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη λεκάνη.

Εν συνεχεία το τελικό πλημμυρογράφημα προκύπτει από τη σύνθεση του Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, σε συνδυασμό με το συνθετικό υετόγραμμα, σύμφωνα με τις αρχές της αναλογίας και της επαλληλίας. Περαιτέρω, εάν μια λεκάνη χωριστεί σε αρκετές υπολεκάνες και εφαρμοστεί σε κάθε μια χωριστά το τυπικό υδρογράφημα, τότε το τελικό πλημμυρικό υδρογράφημα της λεκάνης υπολογίζεται με σύνθεση των υδρογραφημάτων των υπολεκάνων με ικανοποιητική ακρίβεια.

Στην παρούσα μελέτη λόγω της απλότητας του υδρογραφικού δικτύου δεν έγινε διαχωρισμός σε επιμέρους υπολεκάνες.

Για τη σύνθεση του πλημμυρογραφήματος χρειάζεται να καθοριστούν οι κάτωθι παράμετροι:

Καθορισμός Διάρκειας D Βροχής Σχεδιασμού

Γενικά, η διάρκεια βροχής σχεδιασμού D συνδέεται άμεσα με τον χρόνο απορροής της λεκάνης και πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με αυτόν, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η πλημμυρική παροχή. Είθισται η διάρκεια βροχής να λαμβάνεται ως πολλαπλάσια τιμή των 3h ή 6h. Στις προδιαγραφές με βάση τις οποίες καταρτίστηκαν οι μελέτες για τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, αναφέρεται ότι «Για την κατάρτιση των υετογραφημάτων για καταιγίδες με τις προαναφερθείσες περιόδους επαναφοράς, η διάρκεια βροχής λαμβάνεται ως πολλαπλάσιο του χρόνου συγκέντρωσης της ανάντη λεκάνης απορροής». (ΕΓΥ, 2018) και εν τέλει εφαρμόστηκε διάρκεια βροχής 48 h στις μεγάλες λεκάνες απορροής, ενώ στις μικρότερες εφαρμόστηκαν βροχές διάρκειας 12 ή 24 h. Στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος (ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ, 2014), προτείνεται η

διάρκεια του υετογραφήματος σχεδιασμού, να επιλέγεται ίση με το τριπλάσιο, τουλάχιστον, του χρόνου συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης. Κατά τον (Τσακίρη, 1995) για τον ελληνικό χώρο αντί της 24ωρης διάρκειας βροχής, μπορεί να ελέγχεται η 12ωρη, γιατί συνήθως οι λεκάνες είναι μικρές και το ανάγλυφο αρκετά έντονο. Στην παρούσα εργασία και για τις δύο υπολεκάνες επιλέχθηκε διάρκεια βροχόπτωσης 12 h, που είναι άλλωστε και η ελάχιστη εκ των προτεινόμενων διαρκειών και στα Σ.Δ.Κ.Π.

Καθορισμός Χρονικής Διακριτότητας Δt της βροχής Σχεδιασμού

Η χρονική διακριτότητα Δt είναι η διάρκεια κάθε τμηματικού ύψους βροχής και καθορίζει το χρονικό βήμα των υπολογισμών. Σύμφωνα με τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, σε περίπτωση που η λεκάνη χωρίζεται σε υπολεκάνες, το χρονικό βήμα πρέπει να είναι υποπολλαπλάσιο του μικρότερου από τους χρόνους συγκέντρωσης των υπολεκανών, ώστε να μπορεί να απεικονιστεί σωστά το σχήμα του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος της υπολεκάνης. Η τιμή της χρονικής διακριτότητας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να προσδιορίζεται ο ανερχόμενος κλάδος και η παροχή αιχμής του υδρογραφήματος αλλά όχι πολύ μικρή που θα είχε ως συνέπεια πολλούς επιπλέον υπολογισμούς.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιλέγεται χρονική διακριτότητα της βροχής σχεδιασμού $\Delta t = 30 \text{ min}$.

Προσδιορισμός Χρόνου Ανόδου t_{Lag}

Ο χρόνος ανόδου t_a προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$t_a = \Delta t/2 + t_{Lag} \quad (3.11)$$

όπου:

- t_a [h] : Χρόνος ανόδου.
- Δt [h] : Το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης.
- t_{Lag} [h] : Χρόνος υστέρησης ή επιβράδυνσης στην λεκάνη απορροής, δηλ. η χρονική διαφορά μεταξύ του κέντρου βάρους των κατακρημνισμάτων και της αιχμής του πλημμυρογραφήματος Q_p .

Ο χρόνος υστέρησης προκύπτει ως το 60% του χρόνου συρροής κατά Giandotti. Στις προδιαγραφές των ΣΔΚΠ λαμβάνεται υπόψη ότι εκ φύσεως ο χρόνος συρροής μειώνεται όσο αυξάνει η παροχή του νερού. Για το λόγο αυτό ο χρόνος συρροής κατά Giandotti

μειώνεται ανάλογα, όσο αυξάνει η περίοδος επαναφοράς, σύμφωνα με την εμπειρική σχέση από (ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ, 2014):

$$t_c(T) = t_c * \sqrt{\frac{i(5)}{i(T)}} \quad (3.12)$$

όπου:

- $i(5)$: Η κρίσιμη ένταση βροχής που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη, για την οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική η εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης κατά Giandotti.
- $i(T)$: Η ένταση βροχής που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς της μελέτης.

Αιχμή Μοναδιαίου Υδρογραφήματος SCS

Η αιχμή του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος SCS προκύπτει από την εξίσωση:

$$Q_p = 2.08 A H 1000/t_a \quad (3.13)$$

όπου:

- A [km²] : Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής.
- H [mm] : Το ύψος της ενεργού βροχόπτωσης.
- t_a [s] : Ο χρόνος ανόδου.

Τέλος η σύνθεση του τελικού πλημμυγραφήματος γίνεται με τις αρχές της αναλογίας και της επαλληλίας, με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου HEC - HMS.

Χρονική Κατανομή Ύψους Βροχής - Μέθοδος Εναλλασσόμενων Μπλοκ

Με βάση τα επιφανειακά ανηγμένα ύψη βροχής από την εφαρμογή των πολυγώνων Thiessen στις όμβριες καμπύλες, καταστρώνεται το υετογράφημα της βροχής σχεδιασμού. Η κατανομή των υψών βροχής P γίνεται σύμφωνα με την μέθοδο των Εναλλασσόμενων Μπλοκ (Alternating Blocks Method) (Chow et al., 1988), τοποθετώντας τα τμηματικά ύψη έτσι ώστε η μεγαλύτερη τμηματική βροχόπτωση να βρίσκεται στο μέσον του υετογραφήματος και οι υπόλοιπες τιμές, κατά φθίνουσα σειρά, να διαταχθούν εναλλάξ δεξιά και αριστερά της μέγιστης τιμής, μέχρι να ολοκληρωθούν οι επιμέρους διάρκειες.

Προσδιορισμός Υδρολογικών Απωλειών (Μέθοδος SCS - Curve Number CN)

Από το υετογράφημα που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο και αντικατοπτρίζει την ολική επιφανειακή βροχόπτωση, θα πρέπει να αφαιρεθούν οι υδρολογικές απώλειες (κατακράτηση, διήθηση, εξατμισιοδιαπνοή) προκειμένου να προκύψει η ενεργός βροχόπτωση (effective rainfall) που μετατρέπεται σε απορροή. Σημειώνεται ότι η εξατμισιοδιαπνοή στην κλίμακα χρόνου λεπτών ή λίγων ωρών που μελετάται το φαινόμενο, θεωρείται αμελητέα (Κουτσογιάννης, 2016).

Στην ελληνική βιβλιογραφία και στα Σχέδια Διαχείρισης προτείνεται για τον προσδιορισμό της ενεργούς βροχόπτωσης η μέθοδος του Soil Conservation Service (SCS, 1972 - αναφέρεται πλέον ως Natural Resources Conservation Service - NRCS), σύμφωνα με την εξίσωση (3.7):

όπου:

$$H = \begin{cases} 0, & P \leq 0,2S \\ \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}, & P > 0,2S \end{cases} \quad (3.7)$$

όπου:

- H [mm] : Το αντίστοιχο ενεργό ύψος βροχής
- P [mm] : Το ολικό ύψος βροχής στην τυχούσα στιγμή, το οποίο υπολογίζεται αθροιστικά από την έναρξη βροχής
- S [mm] : Παράμετρος μέγιστης δυνητικής κατακράτησης, η οποία συνδέεται με τον δείκτη απωλειών CN (Curve Number - Αριθμός Καμπύλης) μέσω της σχέσης:

$$S[mm] = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Ο αριθμός καμπύλης απορροής (CN) λαμβάνει τιμές από 0 μέχρι 100 (πρακτικά από 30 έως 98 σύμφωνα με τα ΣΔΚΠ) και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και χρήσης γης της λεκάνης απορροής, από τις προηγούμενες συνθήκες υγρασίας, οι οποίες συναρτώνται με την χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από τις προηγούμενες. Σχετικά υψηλές τιμές του CN έχουμε όταν το έδαφος είναι σχετικώς κορεσμένο στην αρχική του κατάσταση, ενώ όταν είναι σχετικώς ξηρό, η τιμή του CN μειώνεται.

Η σχέση εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής αλλά και για τις ενδιάμεσες τιμές του και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου.

Η μέθοδος υδρολογικών απωλειών SCS κατατάσσει τα εδάφη στις ακόλουθες 4 κλάσεις, ανάλογα με τη διαπερατότητα τους:

- Ομάδα Α: Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης π.χ. αμμώδη και χαλικώδη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.
- Ομάδα Β: Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδης πηλός.
- Ομάδα C: Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.
- Ομάδα D: Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι. Στην ίδια ομάδα περιλαμβάνονται εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους υποορίζοντες κοντά στην επιφάνεια.

Στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας επικρατεί η ταξινόμηση με βάση την παραδοχή ότι η δυνητική απορροή είναι αντιστρόφως ανάλογη της Υδραυλικής Αγωγιμότητας Κορεσμού και συνεπώς της ταχύτητας διήθησης (cm/h).

- Τύπος Α: Χαμηλή δυνητική απορροή. Το νερό κινείται ελεύθερα μέσα στο έδαφος, ακόμη και μετά από διαβροχή. Αφορά κυρίως βαθιά, καλά στραγγιζόμενα αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη. Ταχύτητα διήθησης > 0.76 cm/h. Τα ταξινομικά - διαγνωστικά όρια του τύπου Α είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) όλων των οριζόντων να είναι μεγαλύτερη από 40 $\mu\text{m}/\text{sec}$, η αδιαπέραστη στρώση να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 50 cm και το βάθος του υδροφόρου οριζοντα να είναι μεγαλύτερο από 60 cm. Τέλος, εδάφη βάθους άνω των 100 cm εντάσσονται στον Τύπο Α, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων είναι μεγαλύτερη των 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$.
- Τύπος Β: Εδάφη με χαμηλή έως μεσαία δυνητική απορροή, μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως εδάφη μετρίως βαθιά, μετρίως καλά στραγγιζόμενα με μέση έως λεπτή κοκκομετρία. Ταχύτητα διήθησης μεταξύ 0.4 και 0.76 cm/h. Τα ταξινομικά - διαγνωστικά όρια του τύπου Β είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) στον οριζοντα με τη χαμηλότερη περατότητα των πρώτων 50 cm να κυμαίνεται μεταξύ 10 και 40 $\mu\text{m}/\text{sec}$, το βάθος της αδιαπέραστης στρώσης να είναι μεγαλύτερο των 50 cm και το βάθος του υδροφόρου οριζοντα να είναι μεγαλύτερο των 60 cm. Τέλος εδάφη βάθους άνω των 100 cm εντάσσονται στον

Τύπο Β, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων είναι μεγαλύτερη των 4 $\mu\text{m}/\text{sec}$, αλλά και μικρότερη των 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$.

- Τύπος C: Εδάφη με μεσαία έως υψηλή δυνητική απορροή μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως εδάφη είτε με οριζοντα ή στρώση που περιορίζει την κατεισδυση είτε με μέση έως λεπτή κοκκομετρία. Ταχύτητα διήθησης μεταξύ 0.12 και 0.4 cm/h . Τα ταξινομικά-διαγνωστικά όρια του τύπου C είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) στον οριζοντα με τη χαμηλότερη περατότητα των πρώτων 50 cm να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$ το βάθος της αδιαπέραστης στρώσης να είναι μεγαλύτερο από 50 cm και το βάθος του υδροφόρου οριζοντα να είναι μεγαλύτερο από 60 cm . Εδάφη βάθους άνω των 100 cm εντάσσονται στον Τύπο C, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων στα πρώτα 100 cm είναι μεγαλύτερη των 0.4 $\mu\text{m}/\text{sec}$, αλλά και μικρότερη των 4 $\mu\text{m}/\text{sec}$.
- Τύπος D: Υψηλή δυνητική απορροή. Η κίνηση της υγρασίας στο πορώδες τους γίνεται με περιορισμούς ή/και παρεμποδίζεται μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως αργιλώδη εδάφη με υψηλή δυνητική διόγκωση, είτε με μόνιμο υδροφορέα σε μικρό βάθος, είτε με αργιλικό οριζοντα ή στρώση που περιορίζει την κατεισδυση σε μικρό βάθος. Ταχύτητα διήθησης μικρότερη των 0.12 cm/h . Όλα τα εδάφη με στρώση μη διαπερατή από το νερό σε βάθος μικρότερο των 50 cm και όλα τα εδάφη με βάθος υδροφόρου οριζοντα μικρότερο των 60 cm , ανήκουν στον τύπο D. Όπως επίσης και εδάφη με βάθος αδιαπέραστης στρώσης μεταξύ 50 και 100 cm η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού (SHC) στον οριζοντα με τη χαμηλότερη περατότητα είναι μικρότερη από 1 $\mu\text{m}/\text{sec}$ και εδάφη βάθους άνω των 100 cm (μέχρι τη μη περατή στρώση ή τον υδροφορέα) εντάσσονται στον Τύπο D, αν η Υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού όλων των στρώσεων στα πρώτα 100 cm είναι μικρότερη των 0.4 $\mu\text{m}/\text{sec}$.

Επιπλέον η μέθοδος απωλειών SCS ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας, ήτοι:

- Τύπος I: Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά, αλλά πάνω από το σημείο μαρασμού). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερη από 13 mm .
- Τύπος II: Μέσες συνθήκες. Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεταξύ 13 και 38 mm .

- Τύπος III: Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεγαλύτερη από 38mm.

Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει τον κάτωθι Πίνακα 3.2, με τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης (Chow et al., 1988)

Πίνακας 3.2: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS ανά υδρολογικό τύπο εδάφους και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II.

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

Για τους άλλους 2 τύπους συνθηκών υγρασίας γίνεται αναγωγή του CN με βάση τις εξισώσεις:

$$CN_I = \frac{4.2 * CN_{II}}{10 - 0.058 * CN_{II}} \quad (3.9)$$

και

$$CN_{III} = \frac{23 * CN_{II}}{10 + 0.13 * CN_{II}} \quad (3.10)$$

Στην παρούσα εργασία σε κάθε υπολεκάνη ορίστηκε ενιαία τιμή της καμπύλης CN, θεωρώντας συγκεντρωτικό (lumped) μοντέλο.

3.1.6. Τριγωνικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS

Μια απλή μορφή μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι το τριγωνικό υδρογράφημα SCS στο οποίο ο χρόνος καθόδου (recession time) είναι 1.67 φορές μεγαλύτερος από τον χρόνο ανόδου (peak time) (Drumond et al., 2018). Οι σχέσεις που ισχύουν είναι (Μαθιουδάκη, 2012):

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_L \quad (3.14)$$

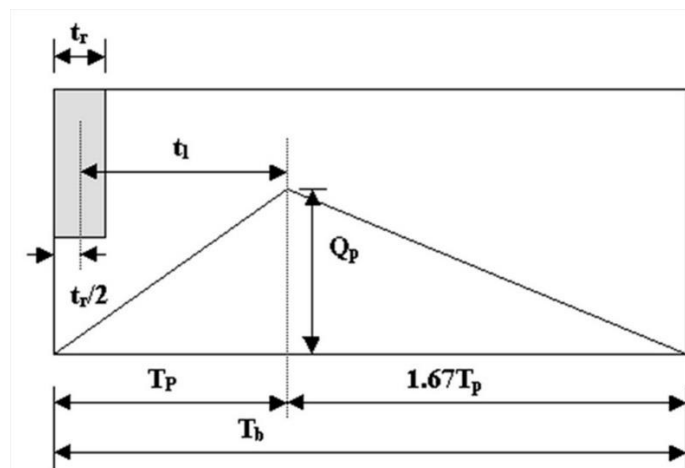
$$t_p = 0.6t_c \quad (3.15)$$

$$t_r = 1.67t_p \quad (3.16)$$

$$Q_p = 0.75 C i A \quad (3.17)$$

όπου:

- t_p [h] : Ο χρόνος ανόδου.
- t_L [h] : Ο χρόνος υστέρησης, ο οποίος εκφράζει την απόσταση από το κέντρο βάρους του ενεργού υετογραφήματος, μέχρι την αιχμή του πλημμυρογραφήματος.
- t_r [h] : Ο χρόνος καθόδου.
- t_c [h]: Ο χρόνος συγκέντρωσης
- t_r [h]: Η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής
- Q_p [h]: Η αιχμή του υδρογραφήματος



Σχήμα 3.3: Το τριγωνικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (πηγή: (Chow et al., 1988),

Στην παρούσα εργασία, θα παραχθεί το τριγωνικό πλημμυρογράφημα με χρήση της πλημμυρικής αιχμής από την Ορθολογική Μέθοδο και για χρόνο ανόδου ίσο με το 60% του χρόνου συρροής .

Υπολογιστικά Εργαλεία Υδρολογικής και Υδραυλικής Ανάλυσης

3.1.7. ArcGIS Desktop (Έκδοση 10.8.1)



Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ή Geographical Information System (GIS) αποτελούν απαραίτητο εργαλείο όλων των φυσικών επιστημών που σχετίζονται με τη Γεωπληροφορική. Η διαχείριση κινδύνου και η εκτίμηση ρίσκου όπως λ.χ. σε φυσικές καταστροφές (κατολισθήσεις, πυρκαγιές, σεισμούς, πλημμύρες, κλιματική αλλαγή κ.ά.) δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την οργάνωση και αξιοποίηση της πληροφορίας μέσω ΣΓΠ.

Αξίζει να αναφερθεί ότι πλέον και στην Ελλάδα ολοένα και περισσότεροι φορείς του δημοσίου (π.χ. ΥΠΕΝ, ΓΥΣ κλ.π.) οργανώνουν τον τεράστιο όγκο των αναλογικών στοιχείων που διαθέτουν σε βάσεις δεδομένων ΣΓΠ και ψηφιακούς χάρτες, κάνοντας την πληροφορία πιο εύκολα διαθέσιμη προς κάθε ενδιαφερόμενο. Η ενσωμάτωση των ΣΓΠ στις μελέτες του υδρολόγου - υδραυλικού μηχανικού αποτελεί μονόδρομο για την κατάρτιση ολοκληρωμένων μελετών και χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας. Αναλυτικές οδηγίες χρήσης έχουν συγγραφεί από (Τσούλος και Σκοπελίτη, 2015).

Το ArcGIS Desktop πρόκειται για ευρέως διαδομένη σουίτα προγραμμάτων (ΣΓΠ). Οι κυριότερες εφαρμογές είναι το ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcScene με τις οποίες δημιουργούνται χάρτες, καταχωρείται η γεωχωρική πληροφορία σε οργανωμένες βάσεις δεδομένων, υλοποιείται η χωρική ανάλυση (spatial analysis) και δημιουργούνται θεματικοί χάρτες αποτελεσμάτων. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το ArcMap 10.8.1. το οποίο διαθέτει εκτός των άλλων και χρήσιμα εργαλεία υδρολογικής ανάλυσης για τον καθορισμό υδρολογικών λεκανών, με βάση το ΨΜΕ. Εξίσου χρήσιμη λειτουργία είναι η ικανότητα διεπικοινωνίας του ArcMap με τα λογισμικά υδρολογικής προσομοίωσης, HEC-HMS και υδραυλικής προσομοίωσης, HEC-RAS.

3.1.8. HEC - HMS (Έκδοση 4.7.1)



Το HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) είναι ελεύθερο λογισμικό της USACE (US Army Corps of Engineers - Ειδικό Σώμα Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ) και αναπτύχθηκε με στόχο την προσομοίωση της υδρολογικής απόκρισης δενδροειδών συστημάτων λεκανών απορροής.

Το πρόγραμμα έχει δυνατότητα τόσο για προσομοίωση ενός μεμονωμένου επεισοδίου βροχής (event based), όπως λ.χ. με μοναδιαία υδρογραφήματα και με υδρολογικές μεθόδους διόδευσης πλημμύρας, όσο και για συνεχόμενη προσομοίωση (continuous

simulation) λαμβάνοντας υπόψη τις συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου όπως την εξατμισιοδιαπνοή και την τήξη χιονιού.

Το μοντέλο της λεκάνης απορροής δημιουργείται με διαχωρισμό του υδρολογικού κύκλου σε συνιστώσες και με ορισμό οριακών συνθηκών σε αυτή. Κάθε συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου υπολογίζεται με ένα μαθηματικό μοντέλο. Για την ορθή επιλογή του μοντέλου απαιτείται γνώση του φυσικού συστήματος, των στόχων της υδρολογικής μελέτης, όπου μεγάλο ρόλο παίζουν η κρίση και η εμπειρία του μελετητή.

Το σύστημα λεκανών μπορεί να προσομοιωθεί είτε ως μοντέλο α) συγκεντρωτικό (lumped), είτε ως β) ημι - κατανεμημένο (semi-distributed), όπου δίκτυο των (υπο)λεκάνων απορροής, αναπαρίσταται με κόμβους και κλάδους ορισμένων υδρολογικών διεργασιών, είτε τέλος ως γ) κατανεμημένο (distributed), όπου είναι η υδρολογική ανάλυση γίνεται με την ημικατανεμημένη μέθοδο μετασχηματισμού απορροής ModClark.

Τα δεδομένα εισόδου περιλαμβάνουν το μοντέλο λεκάνης (Basin Model), το μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorological Model), τη μέθοδο απωλειών (Loss Method), τη μέθοδο επιφανειακής απορροής (Transform Method), και τη μέθοδο υδρολογικής διόδευσης (Routing Method), (Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2018). Επιπρόσθετα παρέχονται διαδικασίες βαθμονόμησης (Calibration) των παραμέτρων των μοντέλων.

Στην παρούσα εργασία, η εφαρμογή έγινε για σύνθεση πλημμυρογραφήματος από το MYT SCS, για συγκεντρωτικό μοντέλο (lumped), θεωρώντας μία ενιαία λεκάνη (basin).

3.1.9. HEC-RAS 5.0.7



Το HEC - RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) είναι ελεύθερο λογισμικό της USACE (US Army Corps of Engineers - Ειδικό Σώμα Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ) το οποίο αναπτύχθηκε με στόχο την υδραυλική προσομοίωσή. Το λογισμικό διαθέτει επιλογή για προσομοίωση ανάμεσα σε μία (1D), δύο (2D) ή τρεις διαστάσεις (3D), ενώ η ροή μπορεί να προσομοιωθεί είτε ως μόνιμη (Steady Flow), (μόνο για την περίπτωση της 1D προσομοίωσης), είτε ως μη μόνιμη (Unsteady Flow). Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης μοντέλων μεταφοράς ιζημάτων (Sediment/Mobile Bed) σε ροή ψευδό-μη μόνιμη (Quasi - Unsteady) ή μη μόνιμη (Unsteady Flow) και μοντέλων θερμοκρασίας και ποιότητας νερού (Water Temperature/ Quality).

Το πρόγραμμα επιλύει σενάρια (Plans) που προκύπτουν από τον συνδυασμό συγκεκριμένου αρχείου γεωμετρίας (Geometry file) και αρχείου ροής (Steady or Unsteady or Quasi-Unsteady Flow). Η βασική γεωμετρία στην περίπτωση της 1D προσομοίωσης αποτελείται από χαρακτηριστικές διατομές κατά μήκος μιας κοίτης (Cross-Sections) ενώ

στην περίπτωση της 2D και 3D προσομοίωσης η γεωμετρία αντλεί υψομετρικά δεδομένα από ΨΜΕ. Για την προσομοίωση της ροής, το σύστημα ανάλογα με την επιλεγμένη μέθοδο, δέχεται διάφορες οριακές συνθήκες, όπως είναι η στάθμη ύδατος (Known W.S.), το κρίσιμο βάθος (Critical Depth), το ομοιόμορφο βάθος (Normal Depth), η καμπύλη στάθμης - παροχής, το πλημμυρογράφημα εισόδου (Flow Hydrograph) κ.ά. (US Army Corps of Engineers, 2020).

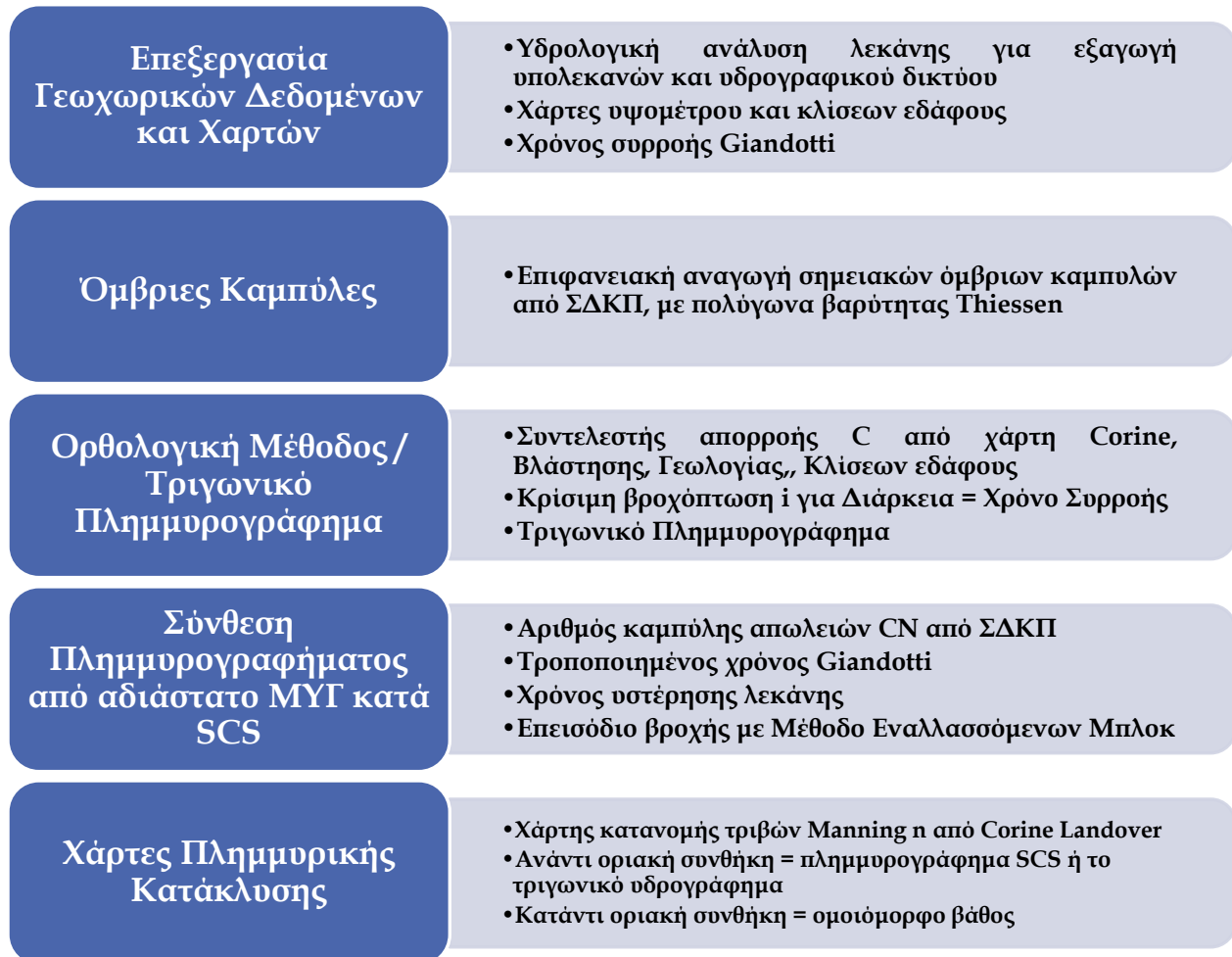
Σύμφωνα με τον οδηγό της (US Army Corps of Engineers, 2020), η πιο βασική διαφορά ανάμεσα στη μονοδιάστατη και στη διδιάστατη προσομοίωση, είναι ότι στη μονοδιάστατη προσομοίωση 1D υπολογίζεται μια ενιαία στάθμη επιφάνειας (water surface), σε ολόκληρη τη διατομή, ενώ η 2D προσομοίωση υπολογίζει διαφορετική στάθμη επιφάνειας σε κάθε κελί (cell) του υπολογιστικού κανάβου. Επιπλέον στο 1D μοντέλα για την ταχύτητα υπολογίζεται η μέση ταχύτητα (τόσο στον κάθετο όσο και στο οριζόντιο άξονα) για το κανάλι και για τις δύο όχθες, σε κάθε διατομή. Αντίθετα στη 2D προσομοίωση η ταχύτητα υπολογίζεται σε κάθε πλευρά κάθε κελιού (cell face) του υπολογιστικού κανάβου. Επιπρόσθετα στην 2D προσομοίωση υπολογίζεται η τυρβώδης ροή που δημιουργείται εξαιτίας της επιτάχυνσης του νερού στα κεντρικά σημεία της κοίτης και της επιβράδυνσης του νερού στις όχθες της κοίτης. Η 2D προσομοίωση ενδείκνυται για την κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας στις ζώνες κατάκλυσης και την γραφική παράσταση διάδοσης του πλημμυρικού κύματος, όπως εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία. Ενδείκνυται επίσης σε περιπτώσεις όπου δεν είναι προκαθορισμένη η διαδρομή του νερού, όπως π.χ. σε σενάριο θραύσης φράγματος όπου η κατάντη περιοχή είναι με ήπιες κλίσεις ή σε σενάριο όπου το νερό υπερπηδάει αναχώματα και μπορεί να κινηθεί προς διάφορες κατευθύνσεις.

Η 1D προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν οι ροϊκές γραμμές είναι ξεκάθαρες και παράλληλες με τον άξονα του ρέματος, καθώς επίσης και σε απότομης κλίσης βαθιά ρέματα, που δεν υπερχειλίζουν (ορεινές κοίτες) και οι δυνάμεις βαρύτητας κυριαρχούν στην κίνηση του νερού. Σε περίπτωση τεχνικών έργων (γέφυρες, οχετοί, θυροφράγματα αναχώματα κλ.π.) συνίσταται ο συνδυασμός 1D προσομοίωσης μέσα στην κοίτη και 2D προσομοίωσης στις όχθες και στο πεδίο κατάκλυσης, δεδομένης της μεγαλύτερης σταθερότητας του προγράμματος στην ανάλυση τεχνικών έργων με μονοδιάστατη προσομοίωση, ιδίως σε περιπτώσεις όπου η ροή περνά από το κρίσιμο βάθος.

Στην παρούσα εργασία, η εφαρμογή έγινε σε μοντέλο δύο διαστάσεων (2D), σε συνθήκες μη μόνιμης ροής (Unsteady Flow), που ισχύουν στην πλειοψηφία των πλημμυρικών φαινομένων φυσικών ρεμάτων μεγάλης τάξης, όπου οι πλημμυρικές αιχμές των υπολεκανών δεν διαδεύονται ταυτόχρονα.

Μεθοδολογία Επεξεργασίας Δεδομένων

Στο παρόν εδάφιο παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία για τις δύο υπολεκάνες. Η πορεία μεθοδολογίας συνοψίζεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 3.4, το οποίο και αναλύεται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας

3.1.10. Επεξεργασία Γεωχωρικών Δεδομένων και Χαρτών

Αρχικά εισήχθησαν και γεωαναφερθηκαν όπου ήταν απαιτητό οι βοηθητικοί θεματικοί χάρτες (Google Earth, ΣΔΚΠ, ΙΓΜΕ, ΓΥΣ) και τα βοηθητικών επιθεμάτων (layers) και τα πληροφοριακά αρχεία τύπου shp (Διοικητικά Όρια, CORINE Landcover κ.ά.). Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία του ΨΜΕ της περιοχής σε περιβάλλον ΣΓΠ), για εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου και εκτιμήθηκαν οι υπολεκάνες απορροής σε συγκεκριμένο στόμιο, με χρήση των εργαλείων Spatial Analyst (Fill, Flow Direction, Flow

Accumulation, Reclassify, Flow Length, , Snap Pour Point, Basin, Watershed, Extract by Mask). Στη συνέχεια απομονώθηκε ο κύριος κλάδος του ποταμού, με χρήση των εργαλείων Stream Order και Stream to Feature. Τα παραπάνω διορθώθηκαν κατάλληλα, μετά από επισκόπηση με τον ψηφιοποιημένο άξονα του ποταμού και τους χάρτες Google Earth και ΓΥΣ και με χρήση των εργαλείων Aspect, Hillshade, Sink. Από την παραπάνω ανάλυση προέκυψαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη του υδρογραφικού δικτύου και της υδρολογικής λεκάνης, με βάση τα οποία υπολογίστηκε ο χρόνος συρροής κατά Giandotti, για κάθε υπολεκάνη.

3.1.11. Επιλογή Όμβριων Καμπύλων

Σε περιβάλλον ΣΓΠ χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Thiessen για την επιλογή των σημειακών όμβριων καμπύλων από τις διαθέσιμες όμβριες στα ΣΔΚΠ ΥΔ Δυτικής Ελλάδας (04) και Ηπείρου (05).

3.1.12. Εκτίμηση Πλημμυρικής Αιχμής με Ορθολογική Μέθοδο και Σύνθεση Πλημμυρογραφήματος

Για την εκτίμηση του μέσου σταθμισμένου συντελεστή απορροής της Ορθολογικής Μεθόδου, αξιολογήθηκαν θεματικοί χάρτες μετά από κατάλληλη ψηφιοποίηση, σε περιβάλλον ΣΓΠ και χωρίσθηκαν οι δύο υπολεκάνες σε ζώνες με ενιαία χαρακτηριστικά, στις οποίες έγινε αντιστοίχιση με κάποια χαρακτηριστική τιμή από τον αντίστοιχο πίνακα των ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ (2002), τεύχος 8, εδάφιο 2.5.2. Πιο συγκεκριμένα:

- ο συντελεστής αναγλύφου του εδάφους Cr και ο συντελεστής αποθηκευτικότητας εδάφους Cs, προέκυψαν με βάση τον χάρτη κλίσεων εδάφους που προέκυψε από την επεξεργασία του ΨΜΕ (εργαλείο Slope του ArcMap).
- ο συντελεστής διηθητικότητας του εδάφους Ci, προέκυψε με βάση τους χάρτες γεωλογίας ΠΜΕ, υδρολιθολογικών σχηματισμών ΣΔΚΠ και εδαφικών τύπων ΣΔΚΠ.
- ο συντελεστής φυτικής κάλυψης του εδάφους Cv, προέκυψε με βάση τον χάρτη εδαφικής κάλυψης Corine Landcover και τον χάρτη πυκνότητας βλάστησης ΣΔΚΠ.

Οι ανωτέρω χάρτες παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2. Για την εκτίμηση των μέσων σταθμισμένων επιμέρους συντελεστών χρησιμοποιήθηκαν στο ArcMap τα εργαλεία Reclassify και Zonal Geometry ώστε να καταμετρηθεί το εμβαδόν της κάθε ζώνης.

Η κρίσιμη ένταση βροχόπτωσης ορίστηκε για διάρκεια βροχής ίση με τον χρόνο συρροής κατά Giandotti σε κάθε υπολεκάνη, για περίοδο επαναφοράς $T = 50$, $T = 100$ και $T = 1000$ έτη και αναγωγή επί των σημειακών εντάσεων των όμβριων καμπυλών με βάση τα πολύγωνα Thiessen. Τελικά προσδιορίστηκε η πλημμυρική αιχμή από την εξίσωση 3.6, με βάση την οποία στη συνέχεια υπολογίστηκε το τριγωνικό πλημμυρογράφημα, με χρόνο ανόδου = 60% του χρόνου συρροής και χρόνο καθόδου = 167% του χρόνου συρροής. Σε κάθε εξεταζόμενη περιοχή μελέτης καταρτίστηκαν 3 τριγωνικά πλημμυρογραφήματα Ορθολογικής Μεθόδου, τα οποία αποτέλεσαν μετέπειτα είσοδο στην υδραυλική προσομοίωση με το HEC-RAS.

3.1.13. Εκτίμηση Παραμέτρων του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος SCS και Σύνθεση Πλημμυρογραφήματος

Επιλέχθηκε διάρκεια βροχής σχεδιασμού $D = 12$ h, χρονικό βήμα $\Delta t = 0.5$ h και περίοδος επαναφοράς $T = 50$, 100 και $T = 1000$ έτη. Η τιμή του ενιαίου δείκτη απωλειών CN ελήφθη απευθείας από το ΣΔΚΠ, για μέσες συνθήκες υγρασίας. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέγιστη δυνατή κατακράτηση S , το μεικτό και ενεργό ύψος βροχής, ο τροποποιημένος χρόνος συγκέντρωσης Giandotti, ο χρόνος υστέρησης t_{Lag} , ο χρόνος ανόδου του ΜΥ t_p , ο χρόνος βάσης του ΜΥ T_b και η παροχή αιχμής Q_p του ΜΥ. Έπειτα καταστρώθηκε το επεισόδιο βροχής σχεδιασμού, (ολική βροχόπτωση) με τη Μέθοδο των Εναλλασσόμενων Μπλοκ (Alternating Blocks), με αναγωγή επί των σημειακών υψών βροχής με βάση τα πολύγωνα Thiessen.

Η σύνθεση του πλημμυρογραφήματος έγινε με χρήση του HEC HMS 4.7.1, όπου αρχικά ορίστηκαν η μέθοδος μετασχηματισμού (SCS Unit Hydrograph) και η μέθοδος απωλειών (SCS Curve Number) και στη συνέχεια δόθηκαν δεδομένα: το εμβαδόν της υπολεκάνης, τις αρχικές απώλειες, τον αριθμό καμπύλης CN, τις αδιαπέρατες επιφάνειες (= 0%), τη βασική ροή (=0), το χρόνο υστέρησης t_{Lag} και το υετογράφημα σχεδιασμού ολικής βροχόπτωσης. Σε κάθε εξεταζόμενη περιοχή έγινε παραδοχή συγκεντρωτικού (lumped) μοντέλου, αποτελούμενο μόνο από μια λεκάνη, χωρίς κλάδους διόδευσης. Εν τέλει σε κάθε εξεταζόμενη περιοχή μελέτης καταρτίστηκαν 3 κωδωνοειδή πλημμυρογραφήματα, τα οποία αποτέλεσαν μετέπειτα είσοδο στην υδραυλική προσομοίωση με το HEC-RAS.

3.1.14. Υδραυλική Προσομοίωση

Αρχικά εισήχθη στο πρόγραμμα HEC-RAS 5.0.7 το ΨΜΕ της περιοχής, το οποίο χρειάστηκε να διορθωθεί κατάλληλα κατά μήκος της κοίτης του ποταμού, δεδομένου ότι ο ποταμός έχει μόνιμη ροή και πυκνή παρόχθια βλάστηση. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας η διόρθωση έγινε στο περιβάλλον του HEC-RAS 1D, ορίζοντας τον άξονα της πραγματικής κοίτης (Reach) και διατομές του ποταμού (Cross Sections), των οποίων τα

υψόμετρα στη συνέχεια τροποποιήθηκαν χειροκίνητα, ώστε να προσομοιώνουν την κοίτη πιο ρεαλιστικά. Έπειτα, με διαδικασία γραμμικής παρεμβολής (Interpolation) παράχθηκε από τις διατομές αυτές ένα τροποποιημένο ΨΜΕ αρχείο, το οποίο ενσωματώθηκε στο αρχικό ΨΜΕ και εν τέλει απέδωσε το τελικό Τροποποιημένο ΨΜΕ (Burned DEM).

Στη συνέχεια σε περιβάλλον ΣΓΠ προετοιμάστηκε ο χάρτης κατανομής συντελεστών τριβής κατά Manning, με αντιστοιχία της κάθε κατηγορίας κάλυψης γης κατά CORINE (CODE_18) με συγκεκριμένο συντελεστή τριβής (Manning n). Από το συνδυασμό του τροποποιημένου ΨΜΕ και του χάρτη κατανομής Manning δημιουργήθηκαν αρχεία γεωμετρίας (Geometry) για τις 2 εξεταζόμενες περιοχές, αποτελούμενα από υπολογιστικό πλέγμα (2D Mesh), οριακές και ενδιάμεσες Breaklines και πολύγωνο κατανομής συντελεστών κατά Manning (Region) στην άμεση περιοχή του ποταμού.

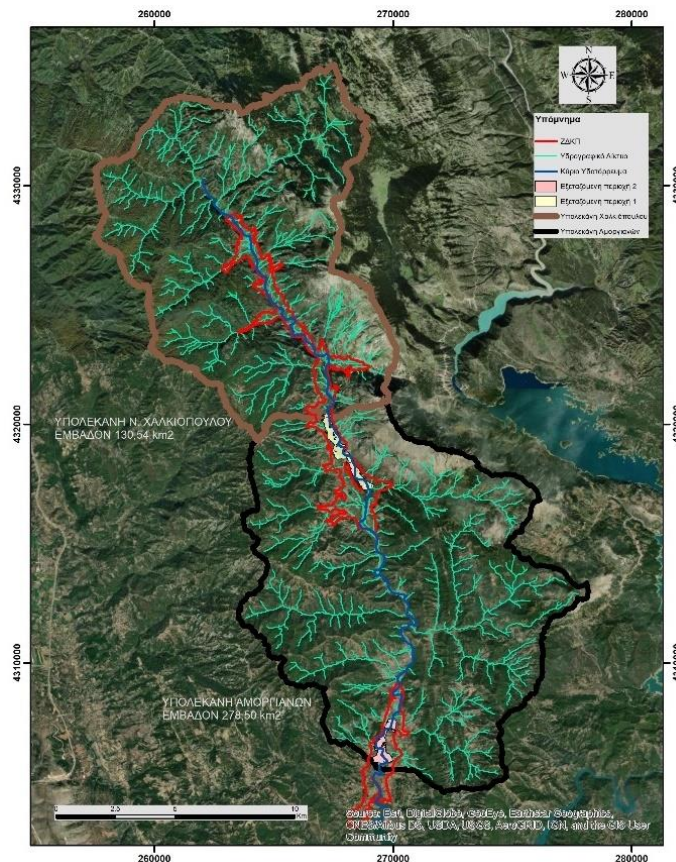
Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν αρχεία μη μόνιμης ροής (Unsteady Flow), με ανάντη συνοριακή συνθήκη είτε το πλημμυρογράφημα που παράχθηκε από το αδιάστατο ΜΥΓ SCS, είτε το τριγωνικό πλημμυρογράφημα της Ορθολογικής Μεθόδου και με κατάντη συνοριακή συνθήκη το ομοιόμορφο βάθος (πρακτικά η κλίση του ποταμού στην κατάντη περιοχή).

Από το συνδυασμό αρχείου γεωμετρίας και αρχείου ροής, δημιουργήθηκαν συνολικά 12 σενάρια (Plans), που αντιστοιχούν στις 2 υπολεκάνες, για $T = 50, 100$ και 1000 έτη, με το πλημμυρογράφημα από το αδιάστατο ΜΥΓ SCS, ή το τριγωνικό πλημμυρογράφημα της Ορθολογικής Μεθόδου. Μετά την επισκόπηση αποτελεσμάτων παρήχθησαν οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης στο Ras Mapper.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της διαδικασίας που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Υπενθυμίζεται ότι η εφαρμογή έγινε σε δύο τμήματα του ποταμού Ινάχου, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 4.1:

- Θέση 1 - Νέο Χαλκιόπουλο: Υπολεκάνη εμβαδού 130.54 km², με το πλημμυρογράφημα της οποίας προσομοιώνεται υδραυλικά η μελετώμενη περιοχή πλησίον του οικισμού Νέο Χαλκιόπουλο (εφεξής θα ονομάζεται «Νέο Χαλκιόπουλο»).
- Θέση 2 - Αμοργιανοί: Υπολεκάνη εμβαδού 278.50 km², η οποία πρακτικά συμπίπτει με το σύνολο της λεκάνης του Ινάχου. Θεωρείται ότι με το πλημμυρογράφημα του συνόλου της λεκάνης απορροής φορτίζεται η μελετώμενη περιοχή πλησίον του οικισμού Αμοργιανοί (εφεξής θα ονομάζεται «Αμοργιανοί»). Σημειώνεται ότι για λόγους οικονομίας χώρου η εξέταση της υδραυλικής απόκρισης της περιοχής των Αμοργιανών έγινε με πλημμυρογράφημα που αντιστοιχεί στο σύνολο της λεκάνης απορροής του Ινάχου και όχι στο ανάντη τμήμα αυτής.



Σχήμα 4.1:Εξεταζόμενες περιοχές με τις αντίστοιχες υπολεκάνες

Χαρακτηριστικά Μεγέθη Λεκανών Απορροής και Υδρογραφικού Δικτύου

Στον συγκεντρωτικό Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά κάθε μελετώμενης λεκάνης. Η πλειοψηφία των στοιχείων προέκυψε από την ανάλυση των λεκανών σε περιβάλλον ΣΓΠ, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με εξαίρεση τον συντελεστή σχήματος, την πυκνότητα αποστράγγισης και το χρόνο συρροής κατά Giandotti, για τα οποία ακολουθήθηκαν οι εξισώσεις 3.1 και 3.2 και 3.3 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη και υψόμετρα υπολεκανών και υδρογραφικού δικτύου εξεταζόμενων περιοχών.

Χαρακτηριστικά Μεγέθη Λεκάνης Απορροής				
Επιφάνεια	Περίμετρος	Οριζόντια Προβολή Μήκους της λεκάνης	Συντελεστής Σχήματος	Χρόνος Συρροής Giandotti
[m ²]	[m]	[m]	[-]	[h]
Ποταμός Ιναχος, Τμήμα Νέο Χαλκιοπούλο				
130537700.00	79890.00	14902.83	0.59	4.40
Ποταμός Ιναχος, Τμήμα Αμοργιανοί				
278500957.86	104010.93	29413.96	0.32	7.34

Χαρακτηριστικά Υψόμετρα της Λεκάνης Απορροής				
Μαx υψόμετρο	Υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης	Υψόμετρο πλέον απομακρυσμ.σημείου	Μέσο υψόμετρο	Μέση κλίση της λεκάνης
[m]	[m]	[m]	[m]	[m/m]
Ποταμός Ιναχος, Τμήμα Νέο Χαλκιοπούλο				
1643.97	260.27	1540.00	717.23	44.90%
Ποταμός Ιναχος, Τμήμα Αμοργιανοί				
1643.97	148.52	1540.00	604.74	40.81%

Χαρακτηριστικά Υδρογραφικού Δικτύου				
Μήκος κυρίου υδατορεύματος	Μήκος πλέον απομακρυσμ. σταγόνας	Συνολικό μήκος ρεμάτων λεκάνης	Τάξη κυρίως ρέματος κατά Strahler	Πυκνότητα Αποστράγγισης
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]
Ποταμός Ιναχος, Τμήμα Νέο Χαλκιοπούλο				
19724.00	24215.80	311866.00	5ης τάξης	2.39
Ποταμός Ιναχος, Τμήμα Αμοργιανοί				
39490.77	42939.60	657863.00	5ης τάξης	2.36

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι στις δύο υπολεκάνες τηρείται περίπου η ίδια αναλογία στο εμβαδόν τους (46.8%), στο μήκος του κυρίου υδατορεύματος (50.0%), στο συνολικό μήκος των ρεμάτων της κάθε υπολεκάνης (47.4%) και τέλος στην οριζόντια προβολή του μήκους της λεκάνης (50.6%).

Ο συντελεστής σχήματος για την υπολεκάνη του Ν. Χαλκιοπούλου είναι 0.59 και για την υπολεκάνη των Αμοργιανών είναι 0.32. Όπως είναι άλλωστε οπτικά εμφανές, η υπολεκάνη των Αμοργιανών έχει πιο επίμηκες σχήμα από ότι η υπολεκάνη του Νέου Χαλκιοπούλου.

Η μέση κλίση τους είναι αρκετά παρεμφερής, το οποίο είναι αναμενόμενο, αφού η μία αποτελεί υπολεκάνη της άλλης και ισχύουν παρόμοια υψομετρικά χαρακτηριστικά. Η μεγαλύτερη μέση κλίση, εμφανίζεται στην ανάντη λεκάνη.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι είναι σχεδόν όμοια η πυκνότητα αποστράγγισης στις δύο υπολεκάνες και αρκετά υψηλή, με τιμές 2.39 και 2.36, που σημαίνει ότι η διαπερατότητα των εδαφών είναι μικρή, το υδρογραφικό δίκτυο των λεκανών είναι αρκετά ανεπτυγμένο και συνεπώς αναμένεται να έχουν αυξημένη επιφανειακή απορροή και διαβρωτική ικανότητα.

Ο χρόνος συρροής υπολογίστηκε σε 4.40 h για την υπολεκάνη του Ν. Χαλκιοπούλου και 7.34 h για την υπολεκάνη των Αμοργιανών.

Όμβριες Καμπύλες

Από τον έλεγχο των πολυγώνων Thiessen που έγινε σε περιβάλλον ΣΓΠ, προέκυψαν οι σταθμοί που έχουν επιρροή στις δύο λεκάνες. Υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιήθηκαν σημειακές όμβριες καμπύλες που καταρτίστηκαν στα πλαίσια των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04) και Ηπείρου (EL05). Για την περίπτωση της υπολεκάνης του Νέου Χαλκιοπούλου οι σταθμοί που επηρεάζουν την περιοχή είναι δύο (Περδικάκι, Σκουληκαριά), ενώ στην περίπτωση της υπολεκάνης των Αμοργιανών, προστίθεται και ο σταθμός του ΗΥΣ Κρεμαστών. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζεται ο χάρτης με τα πολύγωνα επιρροής Thiessen των βροχομετρικών σταθμών ενώ στους Πίνακες 4.2 και 4.3 παρατίθενται τα πολύγωνα επιρροής των σταθμών καθώς και οι συντελεστές των σημειακών όμβριων καμπυλών.

Πίνακας 4.2: Στοιχεία όμβριων καμπυλών (πηγή floods.ypeka.gr) και πολύγωνα Thiessen για υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου

Βροχομετρικοί Σταθμοί - Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιόπουλου								
Τύπος	Περιοχή	Ζώνη	λ'	ψ'	κ	η	θ	Ποσοστό Thiessen
Βροχόμετρο (ΥΠΕΚΑ)	ΠΕΡΔΙΚΑΚΙ	ΥΔ 04	91.741	0.409	0.123	0.627	0.334	62.47%
Βροχόμετρο (ΔΕΗ)	ΣΚΟΥΛΗΚΑΡΙΑ	ΥΔ 05	123.637	0.546	0.123	0.627	0.334	37.53%
Σύνολο								100.00%

Πίνακας 4.3: Στοιχεία όμβριων καμπυλών (πηγή floods.ypeka.gr) και πολύγωνα Thiessen για υπολεκάνη Αμοργιανών

Βροχομετρικοί Σταθμοί - Λεκάνη απορροής Αμοργιανών								
Τύπος	Περιοχή	Ζώνη	λ'	ψ'	κ	η	θ	Ποσοστό Thiessen
Βροχόμετρο (ΥΠΕΚΑ)	ΠΕΡΔΙΚΑΚΙ	ΥΔ04	91.741	0.409	0.123	0.627	0.334	58.55%
Βροχόμετρο (ΔΕΗ)	ΣΚΟΥΛΗΚΑΡΙΑ	ΥΔ 05	123.637	0.546	0.123	0.627	0.334	17.59%
Βροχογράφος (ΔΕΗ)	ΥΗΣ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ	ΥΔ 04	117.398	0.609	0.123	0.627	0.334	23.85%
Σύνολο								100.00%

Ορθολογική Μέθοδος

Η Ορθολογική Μέθοδος εφαρμόζεται για περίοδο επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη ενώ ο χρόνος του επεισοδίου λαμβάνεται σύμφωνα με το χρόνο συρροής κατά Giandotti. Η παροχή αιχμής που υπολογίζεται με την ορθολογική μέθοδο στο παρόν εδάφιο θα συγκριθεί με την αιχμή του πλημμυρογραφήματος που θα υπολογιστεί στο επόμενο κεφάλαιο από το ΜΥΓ SCS και θα αποτελέσει την αιχμή του τριγωνικού πλημμυρογραφήματος.

Σε κάθε υπολεκάνη γίνεται αναγωγή των σημειακών εντάσεων βροχής σε επιφανειακές, σύμφωνα με τα πολύγωνα επιρροής Thiessen που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο και υπολογίζονται οι επιμέρους μέσοι σταθμισμένοι συντελεστές απορροής με χρήση ΣΓΠ.

4.1.1. Συντελεστής Απορροής C

Με χρήση ΣΓΠ, αναλύθηκαν οι δύο υπολεκάνες σε ζώνες με ενιαία χαρακτηριστικά, σύμφωνα με το εδάφιο 3.3.4. της μεθοδολογίας. Στο παράρτημα εμφανίζονται οι πίνακες των σταθμισμένων επιμέρους συντελεστών απορροής. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι οι επιμέρους συντελεστές στις δύο λεκάνες απορροής προέκυψαν όμοιοι.

Ο συγκεντρωτικός Πίνακας 4.4 των επιμέρους συντελεστών απορροής παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 4.4: Επιμέρους συντελεστής απορροής για κάθε υπολεκάνη

Επιμέρους Συντελεστές Απορροής - Λεκάνη Απορροής Νέου Χαλκιάου και Αμοργιανών		
Ανάγλυφο	Cr	0.28
Διηθητικότητα	Ci	0.10
Φυτική Κάλυψη	Cv	0.06
Αποθηκευτικότητα	Cs	0.10
ΣΥΝΟΛΟ	C'	0.55

Σύμφωνα με τις Προδιαγραφές των ΟΜΟΕ, για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, ο συντελεστής C' που υπολογίστηκε στον παραπάνω πίνακα, πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή διόρθωσης $C_f = 1.20$ για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη και με $C_f = 1.25$ για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη. Για περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη δεν υπάρχει οδηγία, οπότε πολλαπλασιάστηκε εξίσου με $C_f = 1.25$.

Εν τέλει στον Πίνακα 4.5 αναγράφονται οι τελικές τιμές του συντελεστή απορροής για κάθε περίοδο.

Πίνακας 4.5: Τελικοί συντελεστής απορροής για κάθε υπολεκάνη

Τελικοί Συντελεστές Απορροής - Λεκάνη Απορροής Νέου Χαλκιοπούλου και Αμοργιανών	
Περίοδος Επαναφοράς	(Τελικός) Συντελεστής Απορροής
T = 50 έτη	0.66
T = 100 έτη	0.69
T = 1000 έτη	0.69

4.1.2. Κρίσιμη Ένταση Βροχόπτωσης i

Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται για περίοδο επαναφοράς T = 50, 100 και 1000 έτη, οι κρίσιμες εντάσεις βροχής που προέκυψαν μετά από αναγωγή μέσω των πολυγώνων Thiessen από τις αντίστοιχες σημειακές εντάσεις βροχής των βροχομετρικών σταθμών, στις 2 εξεταζόμενες υπολεκάνες και για διάρκεια επεισοδίου ίση με τη χρόνο Giandotti.

Πίνακας 4.6:Εκτιμώμενες κρίσιμες επιφανειακές εντάσεις για κάθε υπολεκάνη

Κρίσιμες Επιφανειακές Εντάσεις [mm/h] για Ορθολογική Μέθοδο - Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιοπούλου	
Περίοδος Επαναφοράς	Κρίσιμη Ένταση i
T = 50 έτη	22.57 mm/h
T = 100 έτη	25.40 mm/h
T = 1000 έτη	36.75 mm/h

Πίνακας 4.6:Εκτιμώμενες κρίσιμες επιφανειακές εντάσεις για κάθε υπολεκάνη (συνέχεια)

Κρίσιμες Επιφανειακές Εντάσεις [mm/h] για Ορθολογική Μέθοδο - Λεκάνη απορροής Αμοργιανών	
Περίοδος Επαναφοράς	Κρίσιμη Ένταση i
T = 50 έτη	16.32 mm/h
T = 100 έτη	18.41 mm/h
T = 1000 έτη	26.77 mm/h

4.1.3. Πλημμυρικές Αιχμές Ορθολογικής Μεθόδου

Εν κατακλείδι υπολογίστηκαν οι πλημμυρικές αιχμές της Ορθολογικής Μεθόδου, σύμφωνα με την εξίσωση 3.6 του κεφαλαίου 3. Τα αποτελέσματα ανά λεκάνη και περίοδο επαναφοράς παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.7 και 4.8.

Πίνακας 4.7: Πλημμυρικές αιχμές Ορθολογικής Μεθόδου για υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπούλου

Πλημμυρικές Αιχμές [m ³ /s] από Ορθολογική Μέθοδο - Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιοπούλου	
Περίοδος Επαναφοράς	Πλημμυρική Αιχμή Ορθολογικής Μεθόδου
T = 50 έτη	542.58 m ³ /s
T = 100 έτη	636.09 m ³ /s
T = 1000 έτη	920.17 m ³ /s

Πίνακας 4.8: Πλημμυρικές αιχμές Ορθολογικής Μεθόδου για υπολεκάνη Αμοργιανών

Πλημμυρικές Αιχμές [m ³ /s] από Ορθολογική Μέθοδο - Λεκάνη απορροής Αμοργιανών	
Περίοδος Επαναφοράς	Πλημμυρική Αιχμή Ορθολογικής Μεθόδου
T = 50 έτη	836.24 m ³ /s
T = 100 έτη	982.48 m ³ /s
T = 1000 έτη	1.428.73 m ³ /s

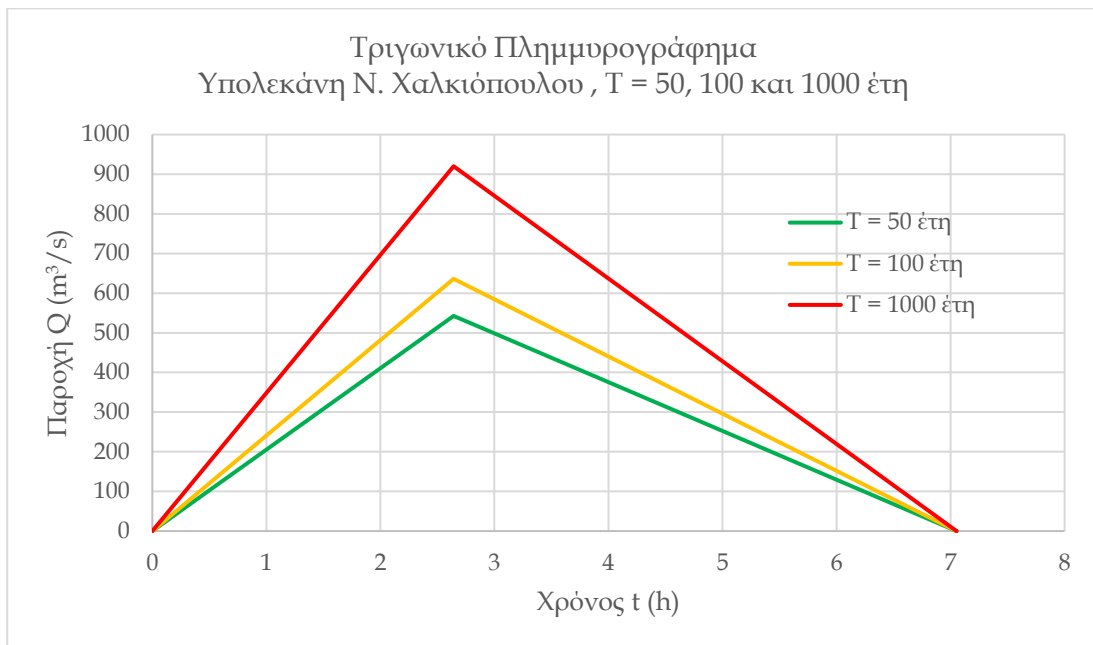
Από τους Πίνακες 4.8 και 4.9 παρατηρείται ότι:

- Η πλημμυρική αιχμή 100ετίας είναι μόλις 17% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας. Η πλημμυρική αιχμή 1000ετίας είναι 71% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας.
- Επειδή η Ορθολογική Μέθοδος στηρίζεται στην παραδοχή ομοιόμορφης έντασης και κατανομής της βροχόπτωσης, είναι εύλογο ότι αυτές οι συνθήκες στην πραγματικότητα προσεγγίζονται σε μικρές σχετικά λεκάνες απορροής. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, επικρατούν διαφορετικές απόψεις για τη μέγιστη έκταση όπου μπορεί να εφαρμοστεί η Ορθολογική Μέθοδος. Κατά τους (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018), προτείνεται η εφαρμογή σε εκτάσεις μέχρι 35 km², κατά τον (Τσακίρης, 1995) προτείνεται εφαρμογή μέχρι 10 km², ενώ κατά τους (Wanielista and Ron, 1997) προτείνεται σε ακόμα μικρότερες λεκάνες, μέχρι 0.4 km². Σήμερα οι Προδιαγραφές οριοθέτησης ρεμάτων της Κ.Υ.Α. 140055/13.01.2017 δέχονται την χρήση της Ορθολογικής Μεθόδου σε λεκάνες μεγέθους έως 10 km² για εκτός σχεδίου περιοχές και έως 5 km² στις εντός σχεδίου πόλεων ή οικισμών περιοχές. Επιπλέον μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί για διάρκειες βροχής μικρότερες του χρόνου συγκέντρωσης. (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018).

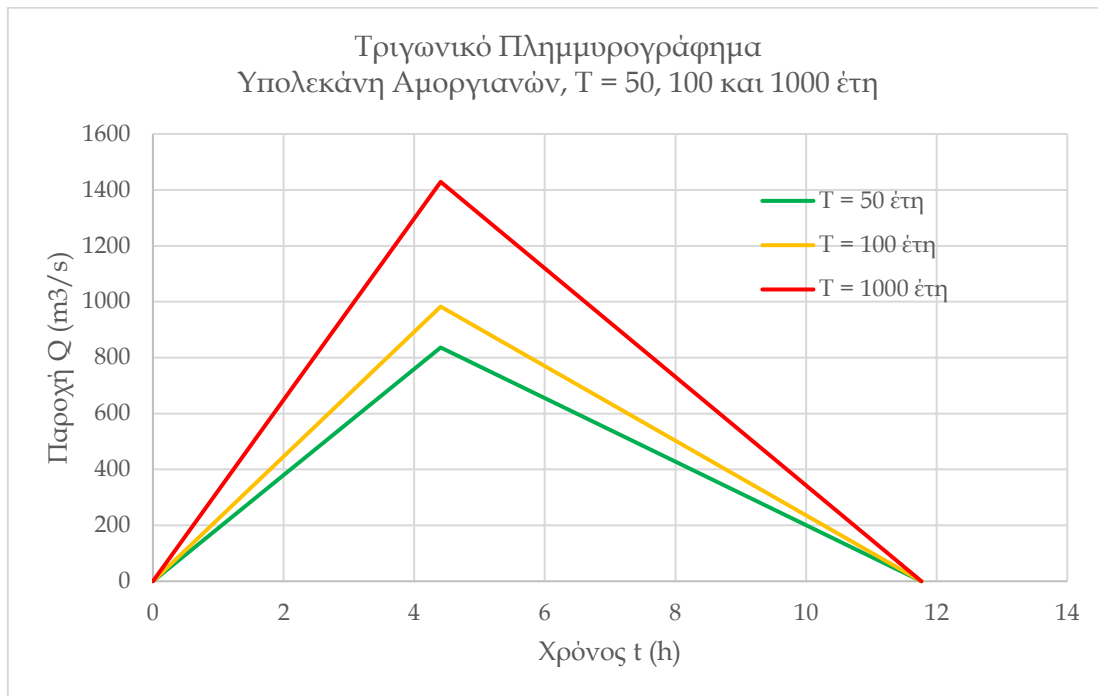
- Η πιο ευαίσθητη μεταβλητή της Ορθολογικής Μεθόδου είναι ο συντελεστής απορροής C , στην τιμή του οποίου ενσωματώνονται μια σειρά από τοπογραφικά, φυσιογραφικά και πολεοδομικά μεγέθη. (Κουτσογιάννης, 2016). Εξυπακούεται λοιπόν ότι η ακρίβεια της Ορθολογικής Μεθόδου είναι μεγαλύτερη, όταν η χρήση γης και τα λοιπά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής είναι ενιαία σε όλη την έκταση της λεκάνης.
- Η Ορθολογική Μέθοδος επιπλέον στηρίζεται στην παραδοχή ότι ο χρόνος καθόδου του υδρογραφήματος t_k ισούται με τον χρόνο συγκέντρωσης t_c . Αυτή η παραδοχή όμως είναι δυσμενής, καθώς στην πραγματικότητα τα φαινόμενα διάδευσης οδηγούν σε αυξημένο χρόνο καθόδου. (Κουτσογιάννης, 2016). Αντίθετα η παραδοχή αυξημένου χρόνου καθόδου, όπως προτείνει η μέθοδος SCS (Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα) οδηγεί σε απομειωμένες τιμές της παροχής αιχμής.

4.1.4. Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα

Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 απεικονίζονται τα τριγωνικά πλημμυρογραφήματα που κατασκευάστηκαν σε κάθε περιοχή μελέτης, με παροχή αιχμής ίση με την παροχή που υπολογίστηκε στην ορθολογική μέθοδο και χρόνο ανόδου ίσο με το 60% του χρόνου συρροής κατά Giandotti.



Σχήμα 4.3: Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα SCS, Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου,
 $T = 50, 100$ και 1000 έτη



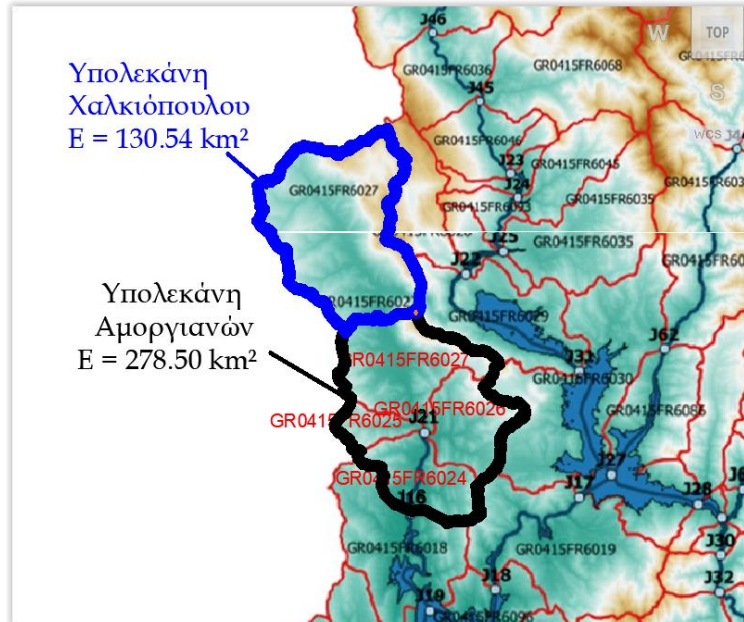
Σχήμα 4.4: Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα SCS, Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 50, 100 και 1000 έτη

Συνθετικό Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS

4.1.5. Προετοιμασία Δεδομένων Εισόδου HEC-HMS

Στο Σχήμα 4.5 απεικονίζονται οι δύο υπό εξέταση λεκάνες, σε σχέση με την σχηματοποίηση κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ΣΔΚΠ. Η λεκάνη του Χαλκιοπούλου (E = 130.54 km²) αποτελεί τμήμα της υπολεκάνης GR0415FR6027 (E = 185.56 km²). Η λεκάνη των Αμοργιανών θεωρείται ότι συμπίπτει με τον κόμβο J16, ο οποίος δέχεται τα νερά των υπολεκάνων GR0415FR6024, GR0415FR6025, GR0415FR6026 και GR0415FR6027. Υπενθυμίζεται ότι οι υπολεκάνες του ΣΔΚΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6. του κεφαλαίου 2.4.

Επιλέχθηκε να υπολογιστεί το ΜΥΓ SCS στις δύο υδρολογικές λεκάνες, για διάρκεια βροχής σχεδιασμού 12 h και με χρονικό βήμα 30 min. Η προετοιμασία των απαραίτητων στοιχείων για τον υπολογισμό του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά SCS, το οποίο εφαρμόστηκε και στις δύο υπολεκάνες, για περίοδο επαναφοράς T = 50, 100 και 1000 έτη, έχει ως εξής:



Σχήμα 4.5: Χάρτης σχηματοποίησης υδρογραφικού δικτύου από το ΣΔΚΠ.

Ο σταθμισμένος αριθμός καμπύλης CN λαμβάνεται, για μέσες συνθήκες υγρασίας, από το παράρτημα του Παραδοτέου 4 (τεύχος «Πλημμυρογραφήματα», ΥΠΕΝ, 2018) του ΣΔΚΠ ως εξής: Για τη λεκάνη απορροής του Χαλκιόπουλου, ο αριθμός καμπύλης CN λαμβάνεται ίσος με της υπολεκάνης GR0415FR6027, θεωρώντας ότι έχει ανάλογα χαρακτηριστικά, καθώς αποτελεί τμήμα της. Για τη λεκάνη απορροής των Αμοργιανών, υπολογίζεται ο σταθμισμένος συντελεστής των 4 επιμέρους λεκανών GR0415FR6024, GR0415FR6025, GR0415FR6026 και GR0415FR6027.

Στη συνέχεια υπολογίζονται η μέγιστη δυνατική κατακράτηση S από το δείκτη CN και οι αρχικές απώλειες, σύμφωνα με τις εξισώσεις 3.7 και 3.8 του κεφαλαίου 3.

Έπειτα με χρήση των όμβριων καμπυλών και των αντίστοιχων βαρών που προκύπτουν από τα πολύγωνα Thiessen, υπολογίζεται το συνολικό επιφανειακό ύψος βροχόπτωσης για κάθε περίοδο επαναφοράς.

Στην συνέχεια, από την εξίσωση 3.12 υπολογίζεται ο τροποποιημένος χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti, ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς, χρησιμοποιώντας επιφανειακή αναγωγή των συντελεστών κ και ψ' των υπεισερχόμενων όμβριων καμπυλών με βάση τα πολύγωνα Thiessen. Ο χρόνος υστέρησης t_{Lag} , που αποτελεί δεδομένο εισόδου έπειτα στο HEC-HMS, ορίζεται ως το 60% του τροποποιημένου χρόνου

Giandotti. Εν συνεχεία προκύπτουν ο χρόνος ανόδου του ΜΥΓ t_a από την εξίσωση 3.11, ο χρόνος βάσης του ΜΥΓ T_b και η παροχή αιχμής Q_p του ΜΥΓ από την εξίσωση 3.13.

Στους Πίνακες 4.9 και 4.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανωτέρω διαδικασίας, για κάθε υπολεκάνη και περίοδο επαναφοράς.

Πίνακας 4.9: Στοιχεία υπολογισμού για ΜΥΓ κατά SCS - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπούλου

Στοιχεία για ΜΥΓ κατά SCS - Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιοπούλου			
	T = 50 έτη	T = 100 έτη	T = 1000 έτη
Εμβαδόν A [km ²]	130.54		
Διάρκεια Βροχής Σχεδιασμού D [h]	12		
Χρονικό Βήμα Δt [h]	0.5		
Αριθμός καμπύλης απορροής CN (για μέσες συνθήκες υγρασίας)	73.3		
Μέγιστη δυναμική κατακράτηση [mm]	92.52		
Αρχικές απώλειες [mm]	18.504		
Ολικό ύψος βροχής [mm]	145.82	164.11	237.40
Ενεργό ύψος βροχής [mm]	73.73	89.03	153.87
Χρόνος συγκέντρωσης Giandotti [h]	4.40		
Συντελεστής κ επιφανειακής όμβριας καμπύλης	0.123		
Συντελεστής ψ' επιφανειακής όμβριας καμπύλης	0.460		
Τροποποιημένος Χρόνος συγκέντρωσης [h]	3.56	3.36	2.80
Χρόνος υστέρησης tL[h]	2.14	2.02	1.69
Χρόνος υστέρησης tL [min]	128.29	120.99	100.71
Χρόνος ανόδου t_p [h]	2.39	2.27	1.93
Χρόνος βάσης του ΜΥΓ, t_b [h]	11.94	11.33	9.64
Παροχή αιχμής του ΜΥΓ [m ³ /s]	113.69	119.80	140.79

Πίνακας 4.10: Στοιχεία υπολογισμού για ΜΥΓ SCS - Υπολεκάνη Αμοργιανών

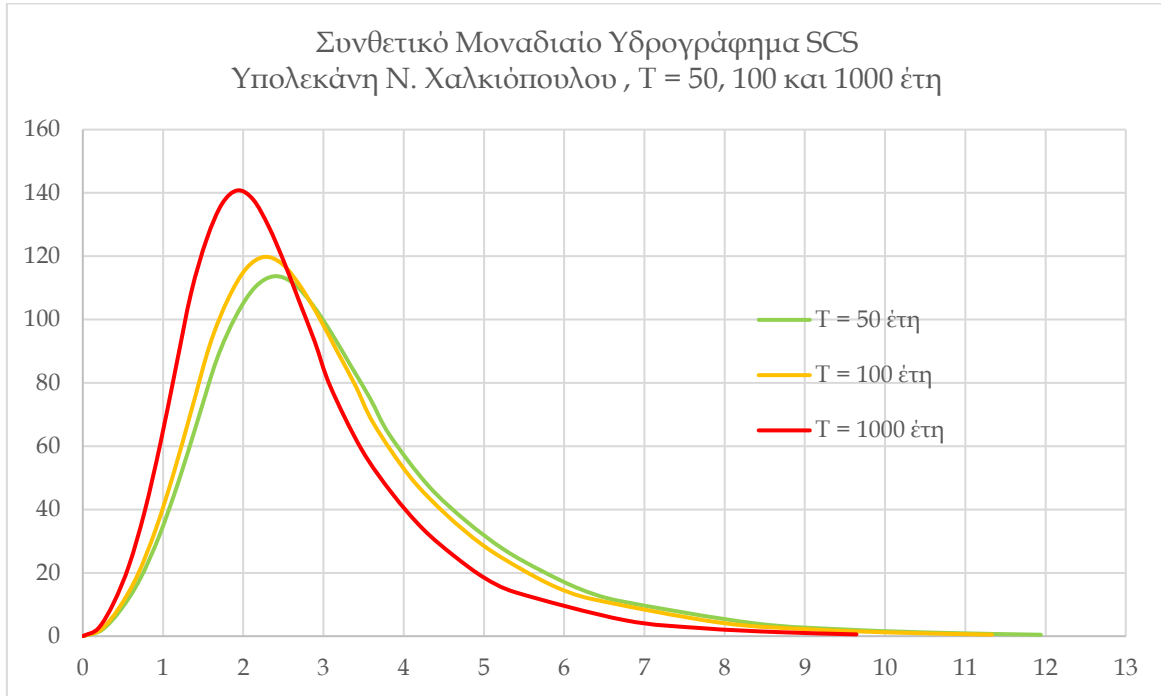
Στοιχεία για ΜΥΓ SCS - Λεκάνη απορροής Αμοργιανών			
	T = 50 έτη	T = 100 έτη	T = 1000 έτη
Εμβαδόν A [km ²]	278.50		
Διάρκεια Βροχής Σχεδιασμού D [h]	12		
Χρονικό Βήμα Δt [h]	0.5		
Αριθμός καμπύλης απορροής CN (για μέσες συνθήκες υγρασίας)	70.49		
Μέγιστη δυναμική κατακράτηση [mm]	106.32		
Αρχικές απώλειες [mm]	21.26		
Ολικό ύψος βροχής [mm]	143.42	161.76	235.23
Ενεργό ύψος βροχής [mm]	65.31	79.98	142.94
Χρόνος συγκέντρωσης Giandotti [h]	7.34		
Συντελεστής κ επιφανειακής όμβριας καμπύλης	0.123		

Συντελεστής ψ' επιφανειακής όμβριας καμπύλης	0.481		
Τροποποιημένος Χρόνος συγκέντρωσης [h]	5.92	5.57	4.63
Χρόνος υστέρησης tL[h]	3.55	3.34	2.78
Χρόνος υστέρησης tL [min]	213.03	200.70	166.66
Χρόνος ανόδου tp [h]	3.80	3.59	3.03
Χρόνος βάσης του ΜΥΓ, tb [h]	19.00	17.97	15.14
Παροχή αιχμής του ΜΥΓ [m ³ /s]	152.42	161.14	191.33

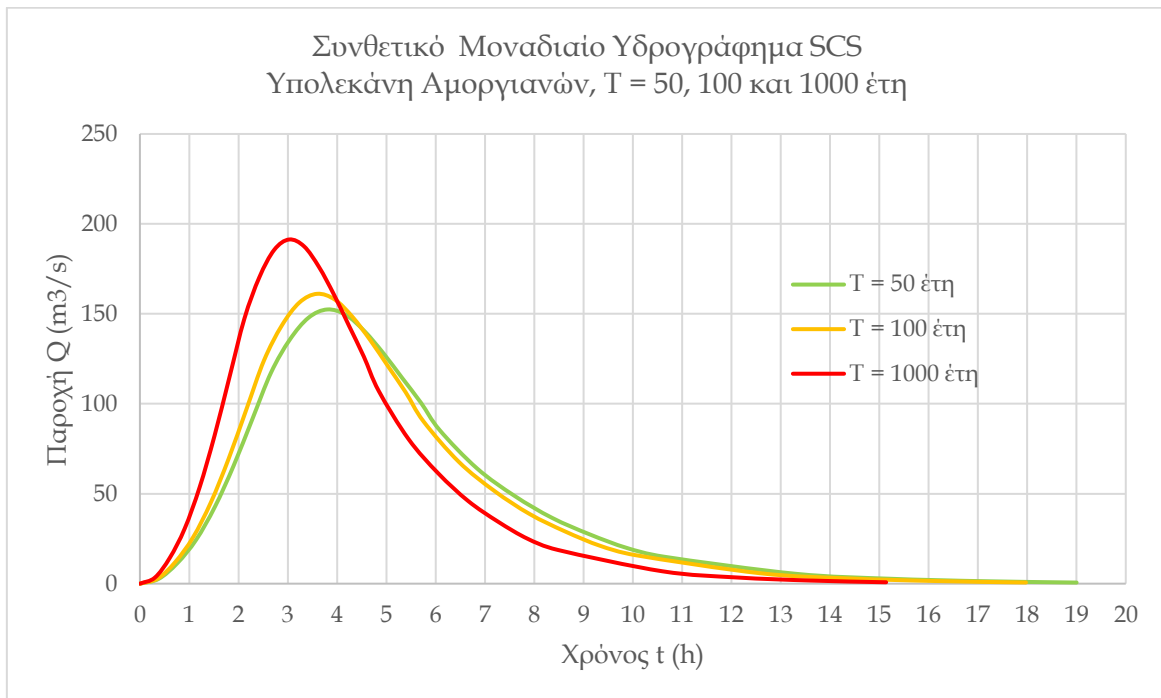
Από τους Πίνακες 4.9 και 4.10 παρατηρείται ότι :

- Το συνολικό ύψος της βροχής σχεδιασμού, όπως είναι αναμενόμενο, αυξάνεται όσο αυξάνει και η περίοδος επαναφοράς. Συγκεκριμένα, το συνολικό ύψος της βροχής σχεδιασμού για T=100 έτη είναι κατά 12% αυξημένο και για T=1000 έτη είναι κατά 62% - 64% αυξημένο, σε σχέση με το ύψος βροχής για T = 50 έτη.
- Ο χρόνος συγκέντρωσης τροποποιείται σε σχέση με τον αρχικά υπολογιζόμενο κατά Giandotti, έτσι ώστε να μειώνεται όσο η περίοδος επαναφοράς αυξάνεται. Για περίοδο επαναφοράς T = 50 έτη, ο χρόνος συγκέντρωσης μειώνεται κατά 19%, για T = 100 έτη μειώνεται κατά 24%, και για περίοδο επαναφοράς T = 1000 έτη μειώνεται κατά 36-37%.
- Ο χρόνος υστέρησης αντίστοιχα, που αποτελεί και δεδομένο εισόδου στο HEC - HMS, μειώνεται όσο η περίοδος επαναφοράς αυξάνεται. Για περίοδο επαναφοράς T = 100 έτη, ο χρόνος συγκέντρωσης μειώνεται κατά 6%, και για T = 1000 έτη μειώνεται κατά 21-22%.
- Η παροχή αιχμής του ΜΥΓ είναι αυξημένη κατά 6% για περίοδο επαναφοράς T = 100 έτη και κατά 26% για περίοδο επαναφοράς T = 1000 έτη .
- Τα παραπάνω ισχύουν και στις δύο υπολεκάνες με πολύ μικρές διαφορές.

Στα Σχήματα 4.6 και 4.7 απεικονίζονται οι τα Μοναδιαία Υδρογραφήματα SCS των 2 λεκανών απορροής.



Σχήμα 4.6: Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για περίοδο επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη.



Σχήμα 4.7: Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS υπολεκάνης Αμοργιανών, για περίοδο επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη.

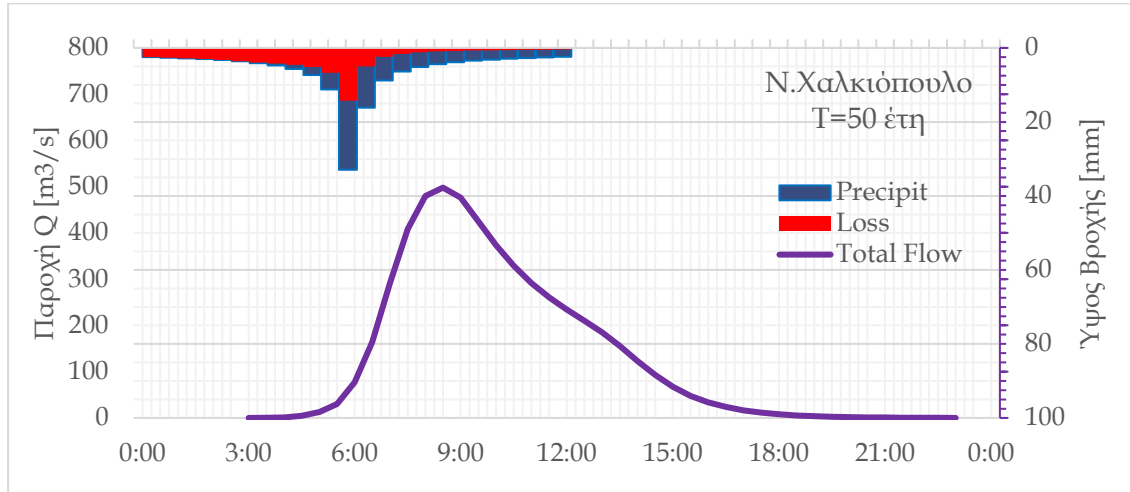
Στη συνέχεια καταρτίστηκε το υετογράφημα σχεδιασμού, με κατανομή βροχής σύμφωνα με τη μέθοδο των Εναλλασσόμενων Μπλοκ (Alternating Blocks). Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζονται συνοπτικά οι καταιγίδες σχεδιασμού, για κάθε λεκάνη και περίοδο επαναφοράς, οι τιμές των οποίων εισήχθησαν ως μετεωρολογικά δεδομένα στο HEC - HMS. Οι αναλυτικοί πίνακες παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Πίνακας 4.11: Καταιγίδα σχεδιασμού με τη μέθοδο Εναλλασσόμενων Μπλοκ (Alternating Blocks)

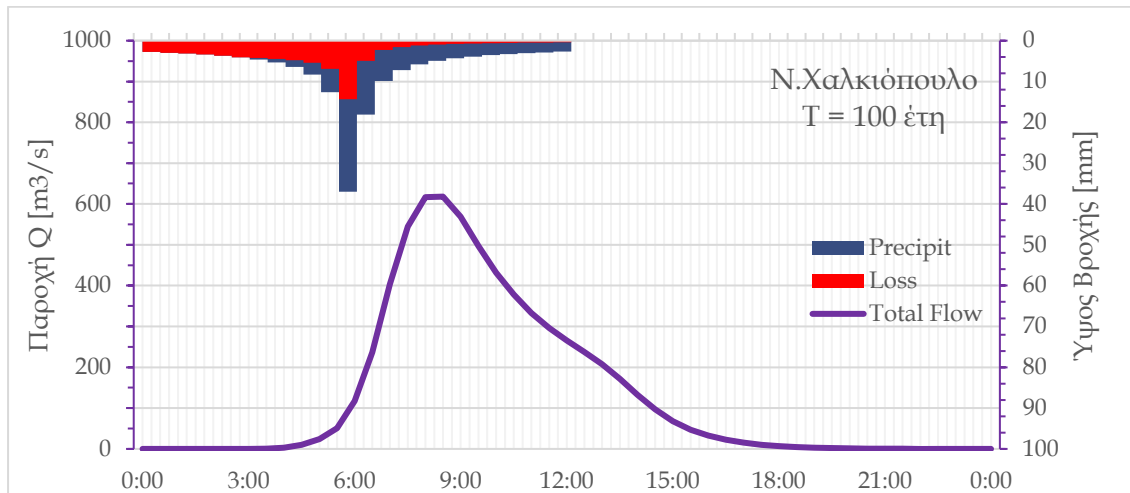
Καταιγίδα Σχεδιασμού με Εναλλασσόμενα Μπλοκ						
Χρονικό Βήμα Δt	Λεκάνη Απορροής Χαλκιοπούλο			Λεκάνη Απορροής Αμοργιανοί		
	T=50 έτη	T=100 έτη	T=1000 έτη	T=50 έτη	T=100 έτη	T=1000 έτη
[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0.5	2.47	2.78	4.02	2.43	2.74	3.99
1.0	2.63	2.96	4.28	2.58	2.91	4.24
1.5	2.81	3.16	4.58	2.76	3.12	4.53
2.0	3.03	3.41	4.93	2.98	3.36	4.89
2.5	3.30	3.72	5.38	3.25	3.66	5.33
3.0	3.65	4.10	5.94	3.59	4.05	5.88
3.5	4.10	4.62	6.68	4.03	4.55	6.62
4.0	4.73	5.33	7.71	4.66	5.25	7.64
4.5	5.70	6.41	9.27	5.60	6.32	9.19
5.0	7.37	8.29	12.00	7.25	8.17	11.89
5.5	11.20	12.61	18.24	11.02	12.43	18.07
6.0	32.90	37.02	53.56	32.36	36.49	53.07
6.5	16.11	18.13	26.23	15.85	17.87	25.99
7.0	8.81	9.91	14.34	8.66	9.77	14.21
7.5	6.40	7.20	10.42	6.29	7.10	10.32
8.0	5.16	5.81	8.40	5.07	5.72	8.32
8.5	4.39	4.94	7.15	4.32	4.87	7.08
9.0	3.86	4.34	6.28	3.79	4.28	6.22
9.5	3.46	3.90	5.64	3.41	3.84	5.59
10.0	3.16	3.56	5.14	3.11	3.50	5.10
10.5	2.92	3.28	4.75	2.87	3.23	4.70
11.0	2.71	3.06	4.42	2.67	3.01	4.38
11.5	2.55	2.87	4.15	2.50	2.82	4.11
12.0	2.40	2.70	3.91	2.36	2.67	3.88
ΣΥΝΟΛΟ	145.82	164.11	237.40	143.42	161.76	235.23

4.1.6. Σύνθεση Πλημμυρογραφήματος από το ΜΥΓ κατά SCS

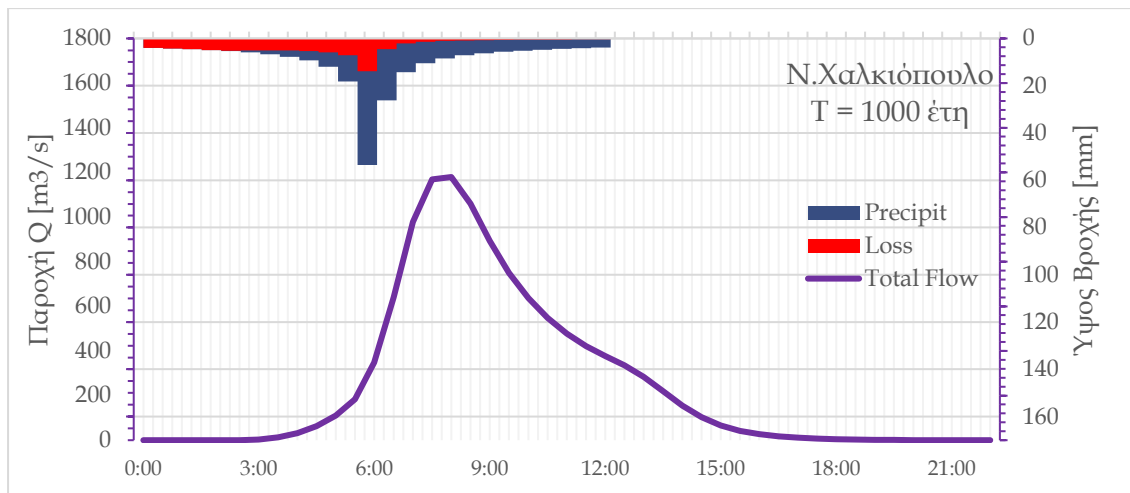
Στα Σχήματα 4.8 έως 4.13 παρατίθενται τα πλημμυρογραφήματα που παρήχθησαν μέσα από το λογισμικό HEC - HMS, με χρήση του ΜΥΓ κατά SCS. Πρόκειται για συνολικά 6 πλημμυρογραφήματα, για τις δύο υπολεκάνες, και για περίοδο επαναφοράς T = 50, 100 και 1000 έτη.



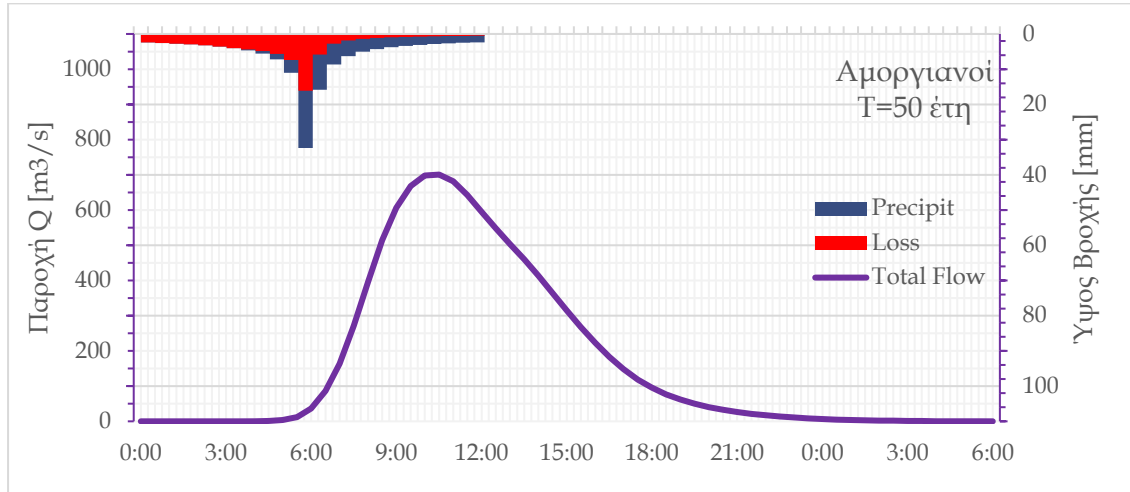
Σχήμα 4.8: Πλημμυρογράφημα (ΜΥΓ SCS), Υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπουλου, T = 50 έτη.



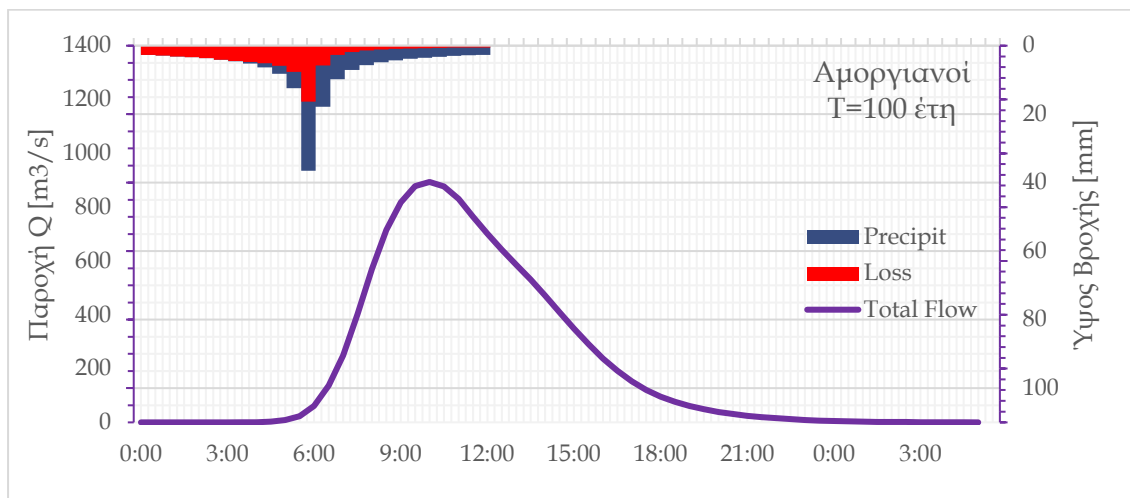
Σχήμα 4.9: Πλημμυρογράφημα (ΜΥΓ SCS), Υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπουλου, T = 100 έτη.



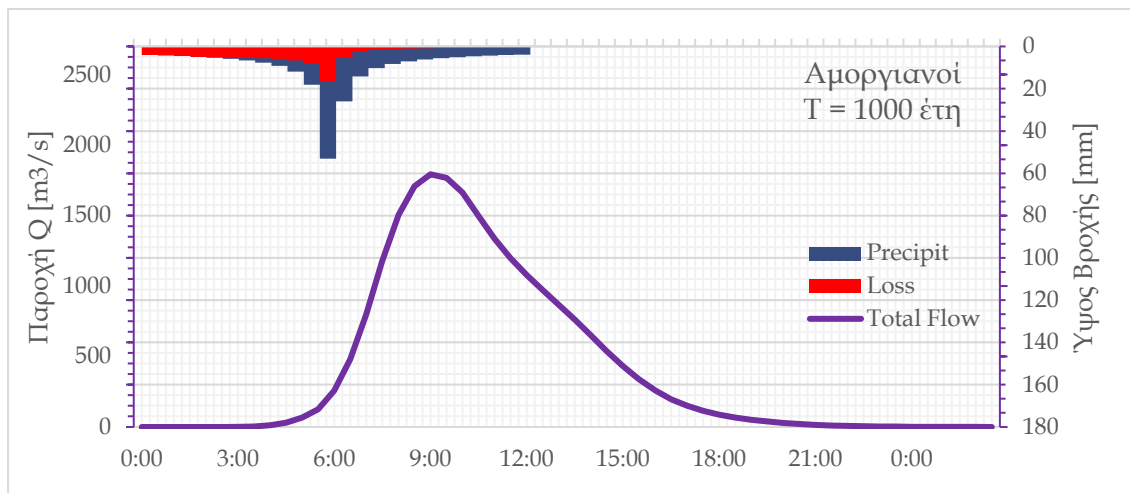
Σχήμα 4.10: Πλημμυρογράφημα (ΜΥΓ SCS), Υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπουλου, T = 1000 έτη.



Σχήμα 4.11: Πλημμυρογράφημα (ΜΥΓ SCS), Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 50 έτη.



Σχήμα 4.12: Πλημμυρογράφημα (ΜΥΓ SCS), Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 100 έτη.



Σχήμα 4.13: Πλημμυρογράφημα (ΜΥΓ SCS), Υπολεκάνη Αμοργιανών, T = 1000 έτη.

Στους Πίνακες 4.12 και 4.13 παρατίθενται οι πλημμυρικές αιχμές που υπολογίστηκαν από την Ορθολογική Μέθοδο και από τη σύνθεση πλημμυρογραφήματος με βάση το αδιάστατο ΜΥΓ κατά της SCS.

Πίνακας 4.12: Σύγκριση πλημμυρικών αιχμών από σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS και από Ορθολογική Μέθοδο - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου

Πλημμυρικές Αιχμές [m ³ /s] από Ορθολογική Μέθοδο και σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS - Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιόπουλου		
Περίοδος Επαναφοράς	Ορθολογική Μέθοδος	Αιχμή Πλημμυρογραφήματος από σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS
T = 50 έτη	542.58	497.90
T = 100 έτη	636.09	618.00
T = 1000 έτη	920.17	1179.20

Πίνακας 4.13: Σύγκριση πλημμυρικών αιχμών από σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS και από Ορθολογική Μέθοδο - Υπολεκάνη Αμοργιανών

Πλημμυρικές Αιχμές [m ³ /s] από Ορθολογική Μέθοδο και σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS - Λεκάνη απορροής Αμοργιανών		
Περίοδος Επαναφοράς	Ορθολογική Μέθοδος	Αιχμή Πλημμυρογραφήματος από σύνθεση ΜΥΓ κατά SCS
T = 50 έτη	836.24	700.70
T = 100 έτη	982.48	893.60
T = 1000 έτη	1428.73	1792.90

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούνται τα εξής:

- Στη λεκάνη του Νέου Χαλκιόπουλου η αιχμή 100ετίας του πλημμυρογραφήματος που υπολογίστηκε με σύνθεση του ΜΥΓ κατά SCS είναι κατά 24% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας και η πλημμυρική αιχμή 1000ετίας είναι κατά 136% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας. Αντίστοιχα, στη λεκάνη των Αμοργιανών η αιχμή 100ετίας είναι κατά 28% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας και η πλημμυρική αιχμή 1000ετίας είναι κατά 155% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας.
- Και στις δύο μελετώμενες περιοχές, η πλημμυρική αιχμή που υπολογίστηκε με την Ορθολογική μέθοδο, για T = 50 και T = 100 έτη είναι μεγαλύτερη από την αιχμή που υπολογίστηκε με σύνθεση του ΜΥΓ κατά SCS, ενώ για T = 1000 έτη ισχύει το αντίστροφο.
- Πιο συγκεκριμένα, η Ορθολογική Μέθοδος δίνει μεγαλύτερη αιχμή σε σχέση με το πλημμυρογράφημα που υπολογίστηκε με σύνθεση του ΜΥΓ κατά SCS, για T = 50

έτη κατά 9%-19%, για T = 100 έτη κατά 3% -10%, ενώ για T = 1000 έτη δίνει 20%-22% μικρότερη αιχμή.

Υδραυλική Προσομοίωση

Στους Πίνακες 4.14 και 4.15 αναφέρονται για κάθε υπολεκάνη ο τύπος πλημμυρογράφηματος εισόδου και η περίοδος, με βάση τα οποία προσομοιώθηκε κάθε σενάριο. Υπενθυμίζεται ότι σε κάθε μία μελετώμενη περιοχή πραγματοποιήθηκαν 6 προσομοιώσεις, με πλημμυρογράφημα εισόδου βασισμένο είτε στο ΜΥΓ κατά SCS, είτε στο τριγωνικό ΜΥΓ SCS, για περίοδο επαναφοράς T = 50, 100 και 1000 έτη.

Πίνακας 4.14: Πίνακας με σενάρια υδραυλικής προσομοίωσης με το λογισμικό HEC-RAS, για την υπολεκάνη «Νέο Χαλκιάοπουλο»

Σενάρια Υδραυλικής Προσομοίωσης / Υπολεκάνη «Νέο Χαλκιάοπουλο»		
A/A	Πλημμυρογράφημα Εισόδου	Περίοδος Επαναφοράς
1	Πλημμυρογράφημα ΜΥΓ - SCS	T = 50 έτη
2	Πλημμυρογράφημα από ΜΥΓ - SCS	T = 100 έτη
3	Πλημμυρογράφημα από ΜΥΓ - SCS	T = 1000 έτη
4	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα Ορθολογικής Μεθόδου	T = 50 έτη
5	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα Ορθολογικής Μεθόδου	T = 100 έτη
6	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα Ορθολογικής Μεθόδου	T = 1000 έτη

Πίνακας 4.15: Πίνακας με σενάρια υδραυλικής προσομοίωσης με το λογισμικό HEC-RAS, για την υπολεκάνη «Αμοργιανοί»

Σενάρια Υδραυλικής Προσομοίωσης / Υπολεκάνη «Αμοργιανοί»		
A/A	Πλημμυρογράφημα Εισόδου	Περίοδος Επαναφοράς
1	Πλημμυρογράφημα από ΜΥΓ - SCS	T = 50 έτη
2	Πλημμυρογράφημα από ΜΥΓ - SCS	T = 100 έτη
3	Πλημμυρογράφημα από ΜΥΓ - SCS	T = 1000 έτη
4	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα Ορθολογικής Μεθόδου	T = 50 έτη
5	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα Ορθολογικής Μεθόδου	T = 100 έτη
6	Τριγωνικό Πλημμυρογράφημα Ορθολογικής Μεθόδου	T = 1000 έτη

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες με τις ζώνες κατάκλυσης και τα μέγιστα βάθη ροής που προέκυψαν για κάθε σενάριο και επιχειρείται σύγκριση μεταξύ τους. Σε κάθε χάρτη απεικονίζεται και η αντίστοιχη Ζώνη Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας, όπως έχει προταθεί στην 1^η Αναθεώρηση των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας (ΕΓΥ, 2019).

4.1.7. Περιοχή Νέο Χαλκιάοπουλο

Για την εξεταζόμενη περιοχή του Νέου Χαλκιάοπουλου: Οι πρώτοι τρεις χάρτες (Σχήματα 4.14, 4.15 και 4.16) απεικονίζουν συγκριτικά για κάθε μέθοδο βροχής απορροής, ΜΥΓ κατά SCS και ορθολογική με τριγωνικό, το εύρος της πλημμυρικής κατάκλυσης και τα μέγιστα βάθη ροής για κάθε περίοδο επαναφοράς. Ακολουθώντας στον χάρτη του Σχήματος

4.17, απεικονίζεται συγκριτικά το έυρος της πλημμυρικής κατάκλυσης για όλα τα σενάρια, δηλαδή για κάθε Μέθοδο ΜΥΓ και για κάθε περίοδο επαναφοράς.

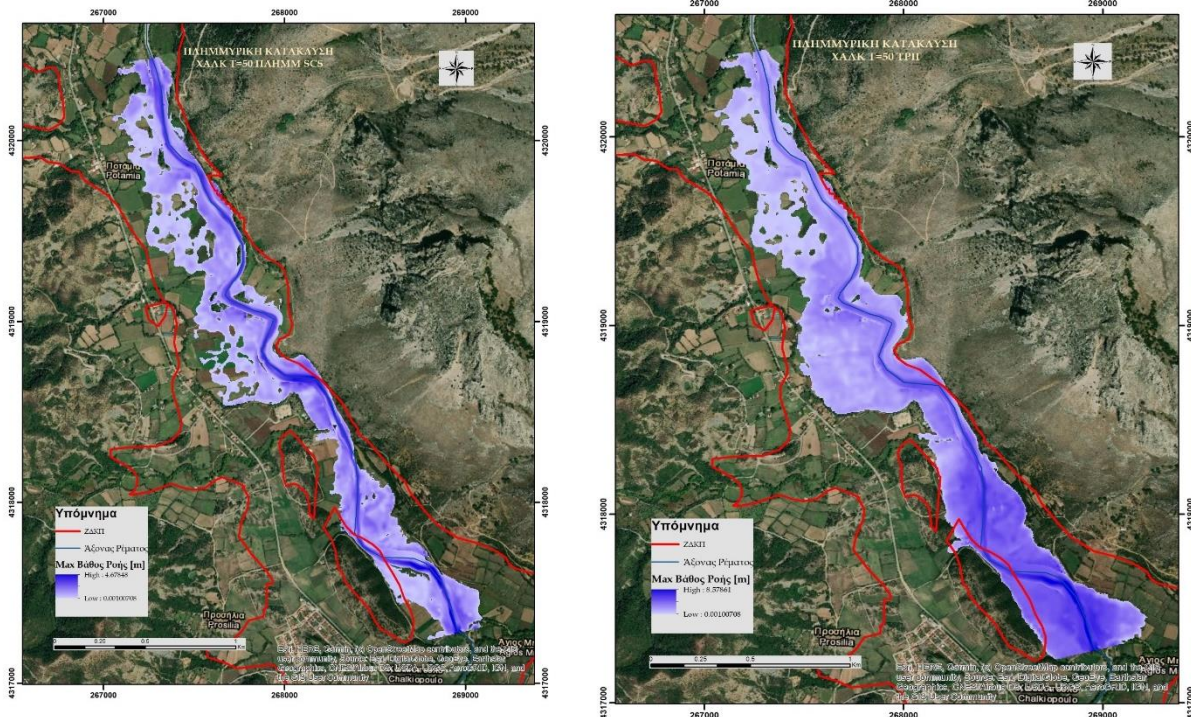
Με βάση τους προαναφερόμενους χάρτες της εξεταζόμενης περιοχής του Νέου Χαλκιόπουλου, επισημαίνεται ότι στην προσομοίωση με πλημμυρογράφημα εισόδου βασισμένο στο ΜΥΓ κατά SCS, το μέγιστο βάθος ροής για $T = 50$ έτη είναι 4.67 m, και η έκταση πλημμυρικής κατάκλυσης είναι 0.93 km², για $T = 100$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 4.96 m και η έκταση είναι 1.05 km² και για $T = 1000$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 6.09 m και η έκταση 1.24 km². Αντίστοιχα, στην προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα εισόδου, το μέγιστο βάθος ροής για $T = 50$ έτη είναι 8.57 m και η έκταση πλημμυρικής κατάκλυσης είναι 1.24 km², για $T = 100$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 9.04 m και η έκταση είναι 1.28 km² και για $T = 1000$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 10.30 m και η έκταση είναι 1.39 km².

Επισημαίνονται τα εξής:

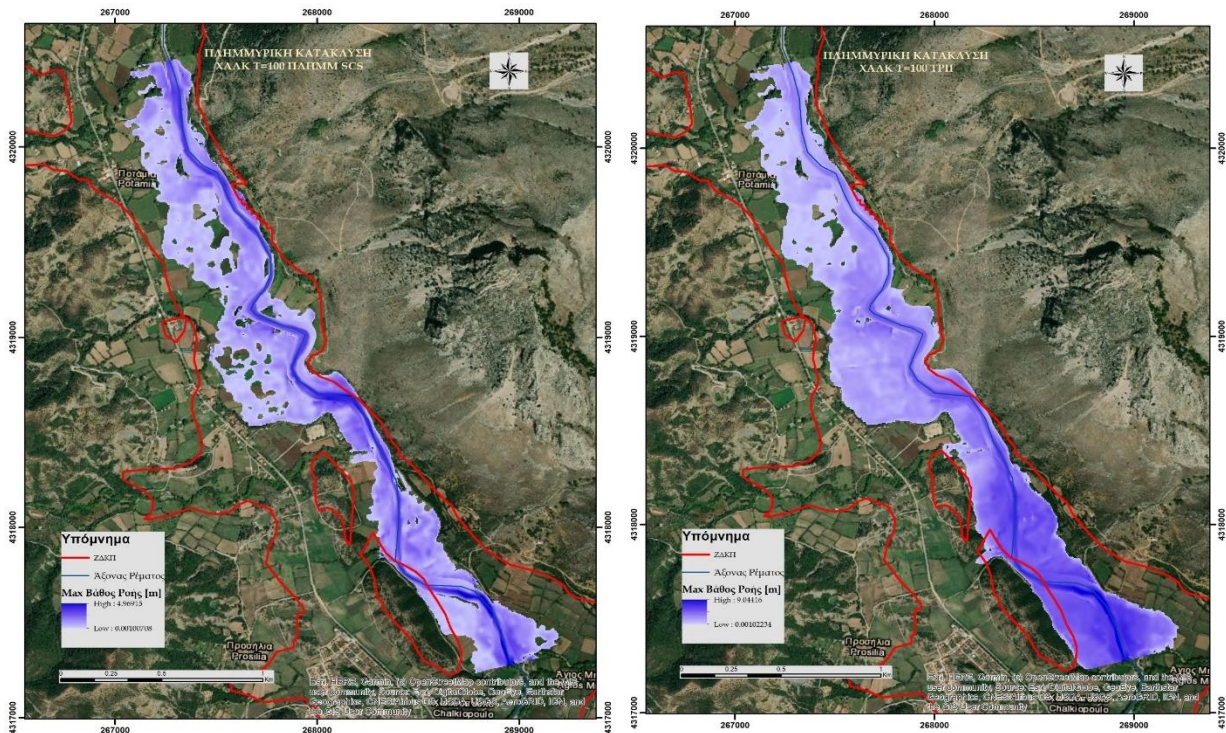
Το μέγιστο βάθος ροής και η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης, όπως αναμένεται, αυξάνονται με την περίοδο επαναφοράς. Ειδικότερα, στην προσομοίωση με το πλημμυρογράφημα εισόδου βασισμένο στο ΜΥΓ κατά SCS, η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης, σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, αυξάνεται κατά 13% για $T = 100$ έτη και κατά 30% για $T = 1000$ έτη. Αντίστοιχα, στην προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα, η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, αυξάνεται κατά 3% για $T = 100$ έτη και κατά 12% για $T = 1000$ έτη.

Στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, παρατηρείται ότι η προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα αποδίδει πολύ μεγαλύτερα βάθη ροής από το πλημμυρογράφημα του ΜΥΓ κατά SCS, ακόμα και για $T = 50$ έτη.

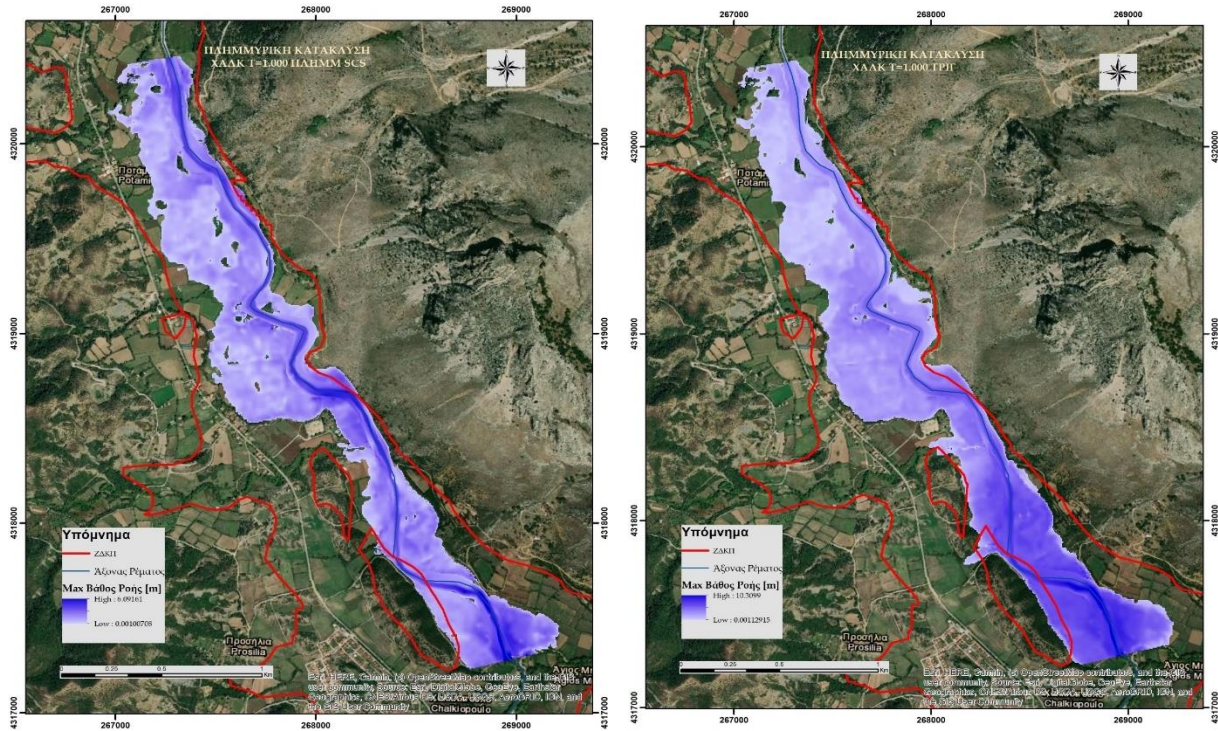
Τέλος στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, παρατηρείται ότι τα όρια της πλημμυρικής κατάκλυσης, ακόμα και στο ευμενές σενάριο για $T = 50$ έτη, υπερβαίνουν τα όρια των Ζωνών Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην ποιότητα του ΨΜΕ που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, καθότι η διόρθωση της διατομής του ποταμού έγινε χειροκίνητα και χωρίς επιτόπου μετρήσεις. Πράγματι, σύμφωνα με τους (Laks et al., 2017) εκ φύσεως τα ΨΜΕ (DEM) δεν περιλαμβάνουν πληροφορία για την βαθυμετρία της κοίτης ενός ποταμού και συνεπώς, πριν την υδραυλική προσομοίωση, χρειάζονται επαλήθευση με επί τόπου μετρήσεις πεδίου. Σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να οδηγήσουν σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα όσον αφορά το βάθος ροής και την έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης (DEM).



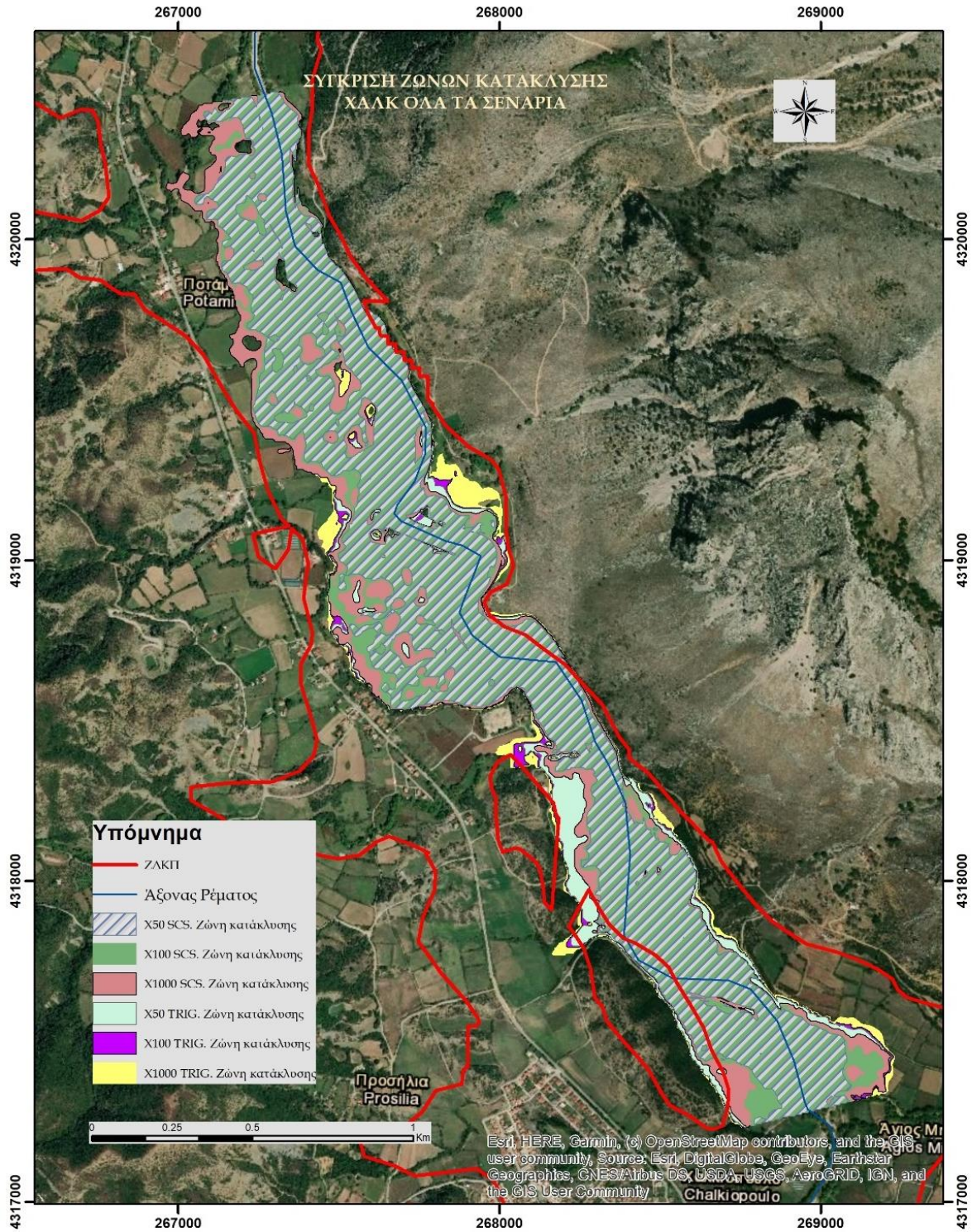
Σχήμα 4.14: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για T = 50 έτη: Αριστερά: Με Αδιάστατο ΜΥΤ κατά SCS, Δεξιά: Με Ορθολογική - Τριγωνικό.



Σχήμα 4.15: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για T = 100 έτη: Αριστερά: Με Αδιάστατο ΜΥΤ κατά SCS, Δεξιά: Με Ορθολογική - Τριγωνικό.



Σχήμα 4.16: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου, για T = 1000 έτη: Αριστερά: Με Αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS, Δεξιά: Με Ορθολογική - Τριγωνικό.



Σχήμα 4.17: Σύγκριση ζωνών πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Νέου Χαλκιόπουλου (όλα τα σενάρια).

4.1.8. Περιοχή Αμοργιανών

Αντιστοιχώς, για την εξεταζόμενη περιοχή των Αμοργιανών: Οι πρώτοι τρεις χάρτες (Σχήματα 4.18, 4.19 και 4.20) απεικονίζουν συγκριτικά για κάθε μέθοδο βροχής απορροής, ΜΥΓ κατά SCS και ορθολογική με τριγωνικό, το εύρος της πλημμυρικής κατάκλυσης και τα μέγιστα βάθη ροής για κάθε περίοδο επαναφοράς. Ακολούθως στον χάρτη του Σχήματος 4.21 απεικονίζεται συγκριτικά το εύρος της πλημμυρικής κατάκλυσης για όλα τα σενάρια, δηλαδή για κάθε Μέθοδο ΜΥΓ και για κάθε περίοδο επαναφοράς.

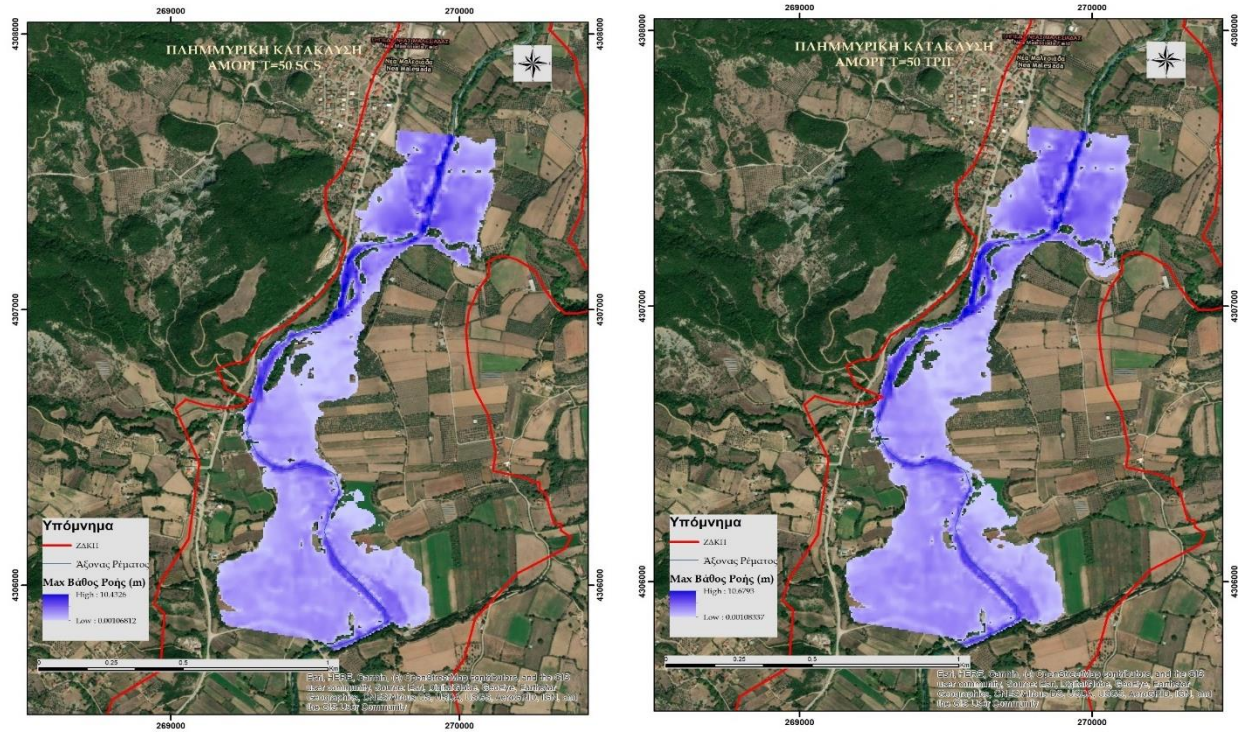
Από τους προαναφερόμενους χάρτες της εξεταζόμενης περιοχής των Αμοργιανών, παρατηρείται ότι στην προσομοίωση με πλημμυρογράφημα εισόδου βασισμένο στο ΜΥΓ κατά SCS, το μέγιστο βάθος ροής για $T = 50$ έτη είναι 10.43 m, και η έκταση πλημμυρικής κατάκλυσης είναι 0.61 km², για $T = 100$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 10.78 m και η έκταση είναι 0.65 km² και για $T = 1000$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 11.94 m και η έκταση 0.78 km². Αντίστοιχα, στην προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα εισόδου, το μέγιστο βάθος ροής για $T = 50$ έτη είναι 10.67 m και η έκταση πλημμυρικής κατάκλυσης είναι 0.64 km², για $T = 100$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 10.92 m και η έκταση είναι 0.66 km² και για $T = 1000$ έτη το μέγιστο βάθος είναι 11.52 m και η έκταση είναι 0.75 km².

Επισημαίνονται τα εξής:

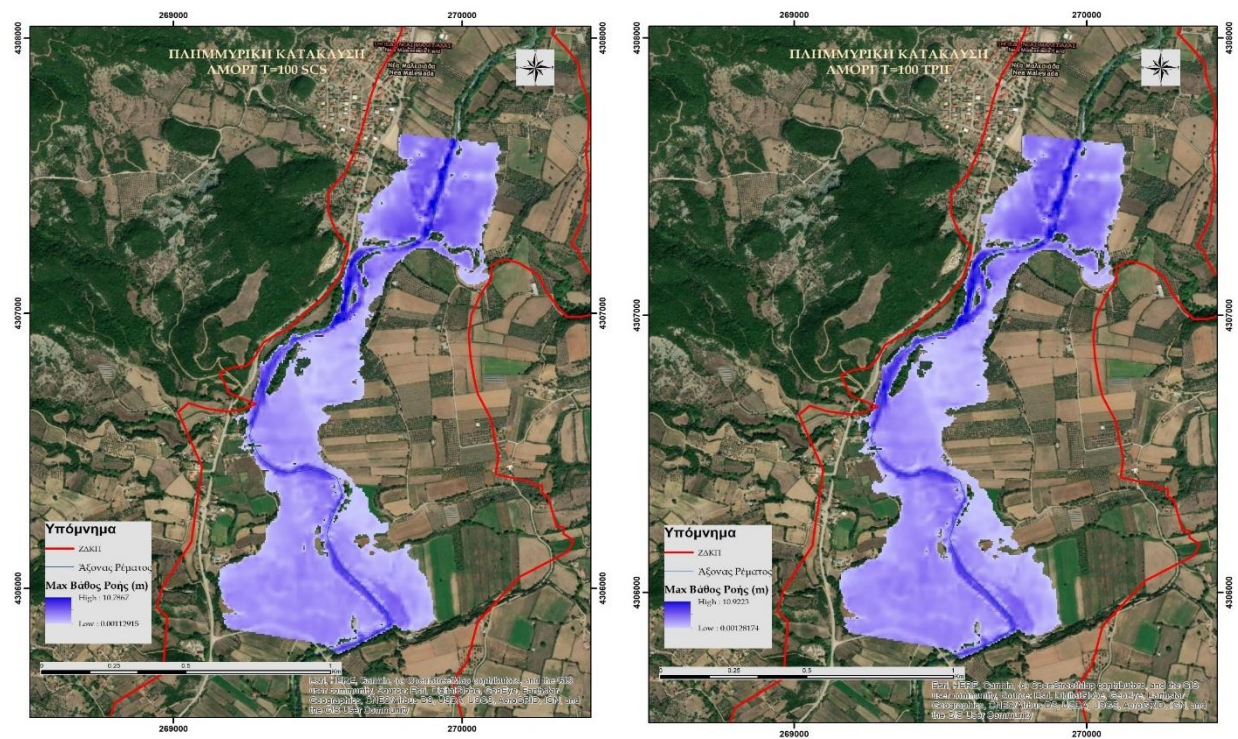
Το μέγιστο βάθος ροής και η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης, όπως αναμένεται, αυξάνονται με την περίοδο επαναφοράς. Ειδικότερα, στην προσομοίωση με το πλημμυρογράφημα εισόδου βασισμένο στο ΜΥΓ κατά SCS, η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης, σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, αυξάνεται κατά 7% για $T = 100$ έτη και κατά 27% για $T = 1000$ έτη. Αντίστοιχα, στην προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα, η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, αυξάνεται κατά 3% για $T = 100$ έτη και κατά 17% για $T = 1000$ έτη.

Στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, παρατηρείται ότι η προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα αποδίδει για $T = 50$ έτη και για $T = 100$ έτη, αντίστοιχα, μεγαλύτερα βάθη ροής σε σχέση με το πλημμυρογράφημα του ΜΥΓ κατά SCS, ενώ το αντίθετο ισχύει για $T = 1000$ έτη.

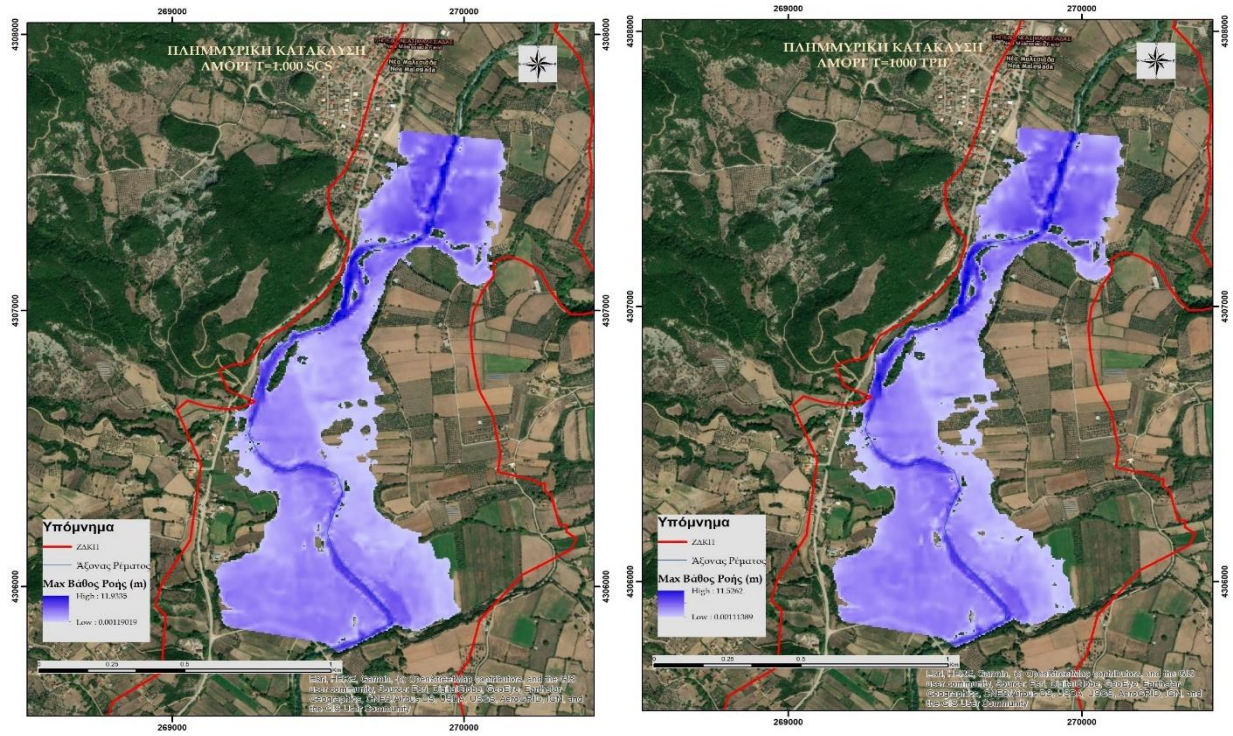
Τέλος στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, τα όρια της πλημμυρικής κατάκλυσης δεν υπερβαίνουν τα όρια των Ζωνών Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας.



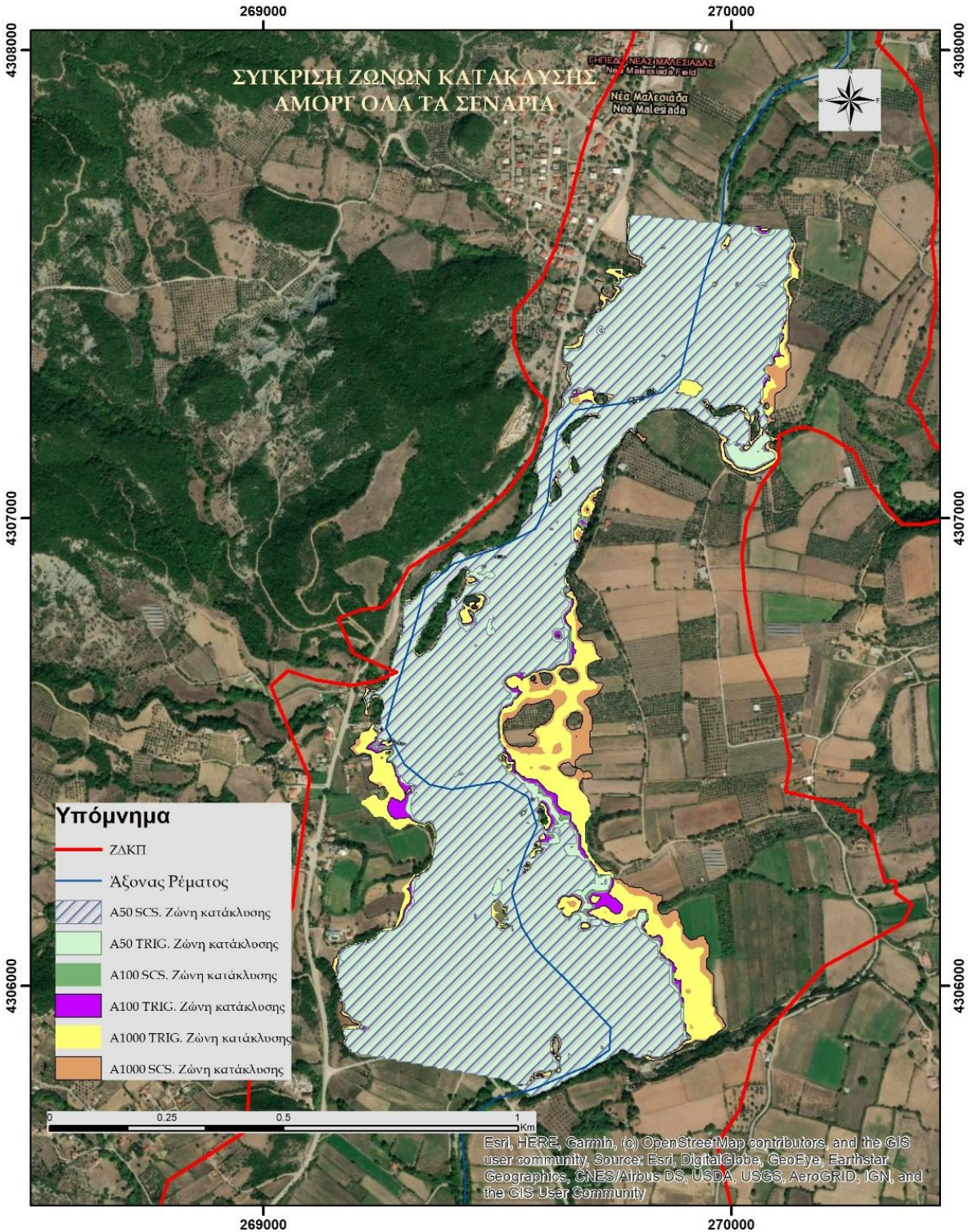
Σχήμα 4.18: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, για T = 50 έτη: Αριστερά: Με Αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS, Δεξιά: Με Ορθολογική - Τριγωνικό.



Σχήμα 4.19: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, για T = 100 έτη: Αριστερά: Με Αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS, Δεξιά: Με Ορθολογική - Τριγωνικό.



Σχήμα 4.20: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, για $T = 1000$ έτη:
Αριστερά: Με Αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS, Δεξιά: Με Ορθολογική - Τριγωνικό.



Σχήμα 4.21: Σύγκριση ζωνών πλημμυρικής κατάκλυσης υπολεκάνης Αμοργιανών, (όλα τα σενάρια).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σύνοψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επιχειρείται η υδρολογική ανάλυση και υδραυλική προσομοίωση για παραγωγή χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, σε δύο επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος του Ίναχου Ποταμού, που υπόκεινται σε συχνά πλημμυρικά φαινόμενα.

Η υδρολογική ανάλυση επιχειρείται με εμπειρικούς τύπους, χωρίς δεδομένα υδρομετρήσεων, με χρήση υπολογιστικών εργαλείων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS), και του Υδρολογικού Μοντέλου Προσομοίωσης HEC-HMS. Για το σκοπό αυτό παράγονται δύο ειδών πλημμυρογραφήματα. Συγκεκριμένα συντίθεται πλημμυρογράφημα από το ΜΥΓ κατά SCS, υποθέτοντας επεισόδια βροχής κατασκευασμένα με τη μέθοδο Εναλλασσόμενων Μπλοκ (Alternating Blocks) και θεωρώντας απώλειες βροχής σύμφωνα με τη μέθοδο SCS (Curve Number) για περίοδο επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1000 έτη. Για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς υπολογίζεται επίσης η πλημμυρική αιχμή με χρήση της Ορθολογικής Μεθόδου και συντίθεται το τριγωνικό πλημμυρογράφημα SCS. Εν τέλει καταρτίστηκαν συνολικά 12 πλημμυρογραφήματα, για κάθε περίοδο επαναφοράς και για κάθε περιοχή μελέτης.

Ακολούθως διερευνάται η υδραυλική απόκριση των ανωτέρω εξεταζόμενων τμημάτων στα προαναφερόμενα πλημμυρογραφήματα εισόδου, με διοδιάστατη προσομοίωση 2D σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, μέσω του λογισμικού HEC-RAS. Καταρτίστηκαν συνολικά 6 χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης για την περιοχή του Νέου Χαλκιόπουλου και 6 χάρτες για την περιοχή των Αμοργιανών και διερευνήθηκαν οι διαφορές που επιφέρουν στα αποτελέσματα οι διαφορετικές περίοδοι επαναφοράς και τα διαφορετικά πλημμυρογραφήματα.

Συμπεράσματα

Η δύο περιοχές μελέτης «Νέο Χαλκιόπουλο» και «Αμοργιανοί», εντοπίζονται εντός της ευρύτερης πεδινής περιοχής του Ίναχου ποταμού, επιδεκτικής στον πλημμυρικό κίνδυνο. Από την παρούσα διερεύνηση προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα και παρατηρήσεις:

- Δεδομένου ότι η λεκάνη του Νέου Χαλκιόπουλου αποτελεί υπολεκάνη των Αμοργιανών, τηρείται μεταξύ τους μια σχετική αναλογία ως προς το εμβαδόν τους, την οριζόντια προβολή του μήκους τους, το μήκος του κυρίου υδατορεύματος και το συνολικό μήκος όλων των ρεμάτων. Όμοια τιμή για τις δύο λεκάνες υπολογίστηκε για την πυκνότητα αποστράγγισης και τον συντελεστή απορροής.
- Ο συντελεστής απορροής της Ορθολογικής Μεθόδου, παρότι εκτιμήθηκε ξεχωριστά για κάθε λεκάνη με σταθμισμένους επιμέρους συντελεστές και χρήση των ανάλογων χαρτών

σχετικά με το ανάγλυφο του εδάφους, τη γεωλογία, την υδρολιθολογία, και τις χρήσεις γης προέκυψε ο ίδιος και στις δύο λεκάνες.

- Κατά την εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου προέκυψε ότι, η πλημμυρική αιχμή 100ετίας είναι μόλις 17% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας και η πλημμυρική αιχμή 1000ετίας είναι 71% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας.
- Στη λεκάνη του Νέου Χαλκιοπούλου η αιχμή 100ετίας του πλημμυρογραφήματος που υπολογίστηκε με σύνθεση του ΜΥΓ κατά SCS είναι κατά 24% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας και η αιχμή 1000ετίας είναι κατά 136% μεγαλύτερη από την αιχμή 50ετίας. Αντίστοιχα, στη λεκάνη των Αμοργιανών η αιχμή 100ετίας είναι κατά 28% μεγαλύτερη από την αιχμή 50ετίας και η αιχμή 1000ετίας είναι κατά 155% μεγαλύτερη από την πλημμυρική αιχμή 50ετίας.
- Και στις δύο μελετώμενες περιοχές, η πλημμυρική αιχμή που υπολογίστηκε με την Ορθολογική μέθοδο, για $T = 50$ και $T = 100$ έτη είναι μεγαλύτερη από την αιχμή που υπολογίστηκε με σύνθεση του ΜΥΓ κατά SCS, ενώ για $T = 1000$ έτη ισχύει το αντίστροφο. Πιο συγκεκριμένα, η Ορθολογική Μέθοδος δίνει μεγαλύτερη αιχμή σε σχέση με το πλημμυρογράφημα, για $T = 50$ έτη κατά 9%-19%, για $T = 100$ έτη κατά 3% -10%, ενώ για $T = 1000$ έτη δίνει 20%-22% μικρότερη αιχμή.
- Κατά την υδραυλική προσομοίωση και στις δύο λεκάνες απορροής, το μέγιστο βάθος ροής και η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης, όπως αναμένεται, αυξάνονται με την περίοδο επαναφοράς.
- Στην περιοχή του Νέου Χαλκιοπούλου η υδραυλική προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα αποδίδει πολύ μεγαλύτερα βάθη ροής από ότι το πλημμυρογράφημα του ΜΥΓ κατά SCS, ακόμα και για $T = 50$ έτη. Στην περιοχή των Αμοργιανών, η προσομοίωση με το τριγωνικό πλημμυρογράφημα αποδίδει για $T = 50$ έτη και για $T = 100$ έτη, αντίστοιχα, μεγαλύτερα βάθη ροής σε σχέση με το πλημμυρογράφημα του ΜΥΓ κατά SCS, ενώ το αντίθετο ισχύει για $T = 1000$ έτη.
- Τέλος στην περιοχή του Νέου Χαλκιοπούλου παρατηρείται ότι τα όρια της πλημμυρικής κατάκλυσης, ακόμα και στο ευμενές σενάριο για $T = 50$ έτη, υπερβαίνουν τα όρια των Ζωνών Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην ποιότητα του ΨΜΕ που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, καθότι η διόρθωση της διατομής του ποταμού έγινε χειροκίνητα και χωρίς επιτόπου μετρήσεις

Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Όσον αφορά στην υδρολογική απόκριση των υπό εξέταση υπολεκανών, προτείνεται η διερεύνηση και άλλων εμπειρικών συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων (λ.χ. Sierra Nevada) ή γενικώς άλλων μοντέλων βροχής απορροής (SAC-SMA, TopModel κ.α.) για την συγκριτική αξιολόγησή τους. Επίσης πολύ χρήσιμο θα ήταν, δεδομένου ότι υπάρχουν καταγεγραμμένες ζημιές την τελευταία δεκαετία, να αναζητηθούν δεδομένα επεισοδίων βροχής από τις ημερομηνίες αυτές από τους εγγύτερους σταθμούς και να ακολουθηθεί μια διαδικασία βαθμονόμησης (calibration) και επαλήθευσης (validation) του μοντέλου.

Ενδιαφέρον αντικείμενο για μελλοντική έρευνα επίσης παρουσιάζει η διερεύνηση των φαινομένων στερεοαπορροής του ποταμού Ίναχου, δεδομένου ότι η περιοχή παρουσιάζει σαθρούς γεωλογικούς σχηματισμούς φλύσχη και επιπλέον καταγράφονται εκτεταμένες λασπορροές.

Όσον αφορά στην υδραυλική προσομοίωση, αντικείμενο μελλοντικής έρευνας θα μπορούσε να αποτελέσει η περαιτέρω διερεύνηση των στοιχείων διατομής των ποταμών, όπως η ανάλυση οδογεφυρών που βρίσκονται ακριβώς κατάντη των εξεταζόμενων περιοχών, δηλαδή της γέφυρας του Αγίου Μηνά για την περιοχή του Άνω Χαλκιόπουλου και της γέφυρας των Αμοργιανών. Η προσομοίωση απαιτεί συνδυασμό μονοδιάστατης ροής στον άμεσο ρου του ποταμού, συμπεριλαμβανομένων των γεφυρών και διοδιάστατης ροής στις πλημμυρικές εκτάσεις πέρα από τις όχθες. Μια τέτοια προσομοίωση καλό θα ήταν να βασιστεί σε πραγματικά στοιχεία από επίγεια τοπογραφική αποτύπωση, καθώς και ανάλυση ιστορικών επεισοδίων βροχής προκειμένου να παράγει όσο το δυνατόν ρεαλιστικά αποτελέσματα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ / GREEK BIBLIOGRAPHY

Βουβαλιδης Κ., Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας, Ηλεκτρονικό Βιβλίο
<http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/contents00.html>

Δερμίσσης Β. (2013) Διευθετήσεις Υδατορρευμάτων, Εκδόσεις Τζιόλα.

Ευστρατιάδης Α. (06/2011), Σημειώσεις Υδρολογίας Πλημμύρων και Σχεδιασμού Έργων Αποχέτευσης Ομβρίων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ. (1997) Στατιστική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ. (2016) Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα.

Μαθιουδάκη, Μ. (2012) Διερεύνηση παραμέτρων υδρολογικού σχεδιασμού με χρήση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων μέσω ανάλυσης χαρακτηριστικών επεισοδίων πλημμύρας στην πειραματική λεκάνη Λυκορέματος Ραφήνας, Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μαμάσης Ν. (2012) Σημειώσεις για Πλημμύρες - Εκτίμηση Πλημμυρικών Αιχμών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα.

Μιμίκου Μ.Α. (2006) Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, (3η Έκδοση), Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μιμίκου Μ.Α. & Μπαλτάς Ε.Α. (2018), Τεχνική Υδρολογία (6η έκδοση), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα.

Μπαλτάς Ε., Μπουρνάς Α (2018) Υδρολογική προσομοίωση σε Περιβάλλον HEC-HMS, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα.

Παπαφίλιππου - Πέννου, Ε., Ψιλοβίκος, Α., Βαβλιάκης, Ε. και Παλικαρίδης, Χ., (1998) Επίδραση της νεοτεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού συστήματος του ρέματος. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών.

Τσακίρης Γ., (1995) Περίσσειμα βροχής. Υδατικοί Πόροι:Ι Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης Γ., (2006) Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση – Τόμος ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσούλος Λ., Σκοπελίτη Α. (2015) Χαρτογραφική Σύνθεση & Απόδοση σε Ψηφιακό Περιβάλλον, www.kallipos.gr

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ / INTERNATIONAL BIBLIOGRAPHY

Arcement, G., Jr., and Schneider V., 1989. Guide for Selecting Manning 's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains U.S. Geological Survey Water – Supply Paper 2339, p. 37.

Barnes, H., Jr., 1967. Roughness characteristics of natural channels: U.S. Geological Survey Water – Supply paper 1849, 213 p.

Chow, V. T., D. R. Maidment and L. W. Mays, (1988), Applied Hydrology, McGraw Hill, 572 p.

Drumond, Pedro & Moura, Priscilla & Coelho, Márcia. (2018). Comparison the monitoring data of an on-site stormwater detention (OSD) and the results in the use of theoretical methods for its design. RBRH. 23. 10.1590/2318-0331.231820170149.

Giandotti, M., (1934). Previsione delle piene e delle magre dei corsid'acqua. Istituto Poligrafico dello Stato, 8, 107–117

Horton, R.E., (1945) Erosional Development of Streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull.Geol.Soc. America.

Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., Mazarakis, N., Papagiannaki, K. and Vougioukas, S., 2017. The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database. Geoscience Data Journal, 4(1), pp.4-16.

Laks, Ireneusz & Sojka, Mariusz & Walczak, Zbigniew & Wróżyński, Rafał. (2017). Possibilities of Using Low Quality Digital Elevation Models of Floodplains in Hydraulic Numerical Models. Water. 9. 283. 10.3390/w9040283.

Larson C. L. and Reich B. M., (1973) Relationship of observed rainfall and runoff recurrence intervals. In Floods and Droughts. Proc. 2nd Intern. Symp. in Hydrology. Water Resources Publ. Fort Collins, CO.

Rollason, E., Bracken, L.J., Hardy, R.J. and Large, A.R.G., 2018. The importance of volunteered geographic information for the validation of flood inundation models. Journal of hydrology, 562, pp.267-280.

Shen, H.W. (ed) (1971) Stability of alluvial channels, River Mechanics I, Colorado, USA.

- Sherman, L.K. (1932). Streamflow from rainfall by the unit-graph method. Engineering News Record, vol. 108, pp. 501–505.
- Sutcliffe J. . (1978). Methods of flood estimation. A Guide to the flood studies report. No. 49. Institute of Hydrology. Wallingford. Oxon. U.K.
- Thakur, B., Parajuli, R., Kalra, A., Ahmad, S. and Gupta, R., 2017. Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in Precipitation Runoff Modelling and Evaluating Flood Plain Inundation Map. World Environmental and Water Resources Congress 2017.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2007). Hydrographs. National Engineering Handbook, Part 630, Chapter 16. Washington, DC.
- Wanielista, M. K. R.; Ron, E. Hydrology: water quality and quality control. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 567 p.

ΜΕΛΕΤΕΣ / STUDIES

- Γενική Διεύθυνση Υδάτων (2019) 1η Αναθεώρηση Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας, σύμφωνα με την οδηγία 2007/60/ΕΚ, κατ' εφαρμογή της Κ.Υ.Α. Η.Π.31822/1542/Ε103/2010 όπως ισχύει, Έκδοση 2, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- Δ/νση Τεχνικών Έργων, Π.Ε. Αιτ/νίας (2015), Τεχνική Έκθεση Ζημιών που προκλήθηκαν από ακραία καιρικά φαινόμενα την περίοδο 30 Ιανουαρίου έως 2 Φεβρουαρίου 2015, στην περιοχή Ινάχου της Π.Ε. Αιτ/νίας.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Ε.Γ.Υ.) (2012) Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας σύμφωνα με την οδηγία 2007/60/ΕΚ, κατ' εφαρμογή της Κ.Υ.Α. Η.Π.31822/1542/Ε103/2010, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Ε.Γ.Υ.) (2018) Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΕΛ04), Παραδοτέο 2: Όμβριες Καμπύλες Έκδοση 4, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Ε.Γ.Υ.) (2018) Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (ΕΛ05), Παραδοτέο 2: Όμβριες Καμπύλες Έκδοση 4, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Ε.Γ.Υ.) (2018) Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΕΛ04), Παραδοτέο 4: Πλημμυρικά Υδρογραφήματα Έκδοση 4, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Ε.Γ.Υ.) (2018) Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04), Παραδοτέο 4: Πλημμυρικά Υδρογραφήματα Παράρτημα Π4.6, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος, Α., Μιχαηλίδη Ε., Γαλιούνα Ε., Τζούκα Κ., Κούσης Α. Δ., Μαρμάσης Ν., και Κουτσογιάννης Δ. (09/2014) - 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.

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ / LEGISLATION

Κ.Υ.Α 140055/13.01.2017: Τεχνικές Προδιαγραφές σύνταξης του περιεχομένου του Φακέλου Οριοθέτησης, κατ' εφαρμογή της παρ. 5 του άρθρου 2 του Ν.4258/2014 - Διευκρινήσεις για την εφαρμογή της Διαδικασίας Οριοθέτησης. (ΦΕΚ Β' 428/15.02.2017).

Υ.Α. 901/21.12.2017 (ΦΕΚ Β'4681/29.12.2017): Έγκριση της 1ης Αναθεώρησης του Σχέδιου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Ελλάδας και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Υ.Α. 41366/325 (ΦΕΚ Β' 2686 / 06.07.2018): Έγκριση του 1ου Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών Υ.Δ. Δυτικής Στερεάς Ελλάδας EL04 και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

ΥΠΕΧΩΔΕ (2002), Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 8: Αποχέτευση, Στράγγιση, Υδραυλικά Έργα Οδών, ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ / WEBSITES

ΓΕΩΠΥΛΗ geodata.gov.gr

<http://geodata.gov.gr/>

(τελευταία επίσκεψη: 01.03.2021)

ΓΕΩΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ CORINE LANDCOVER

<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>

(τελευταία επίσκεψη: 01.11.2020)

ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ (meteo.gr) - Μηνιαίες βροχοπτώσεις

<http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>

(τελευταία επίσκεψη: 10.02.2021)

ΥΠΕΝ - ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=1036&Itemid=660

https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=1113&Itemid=115

4

(τελευταία επίσκεψη: 01.03.2021)

ΥΠΕΝ - ΣΧΕΔΙΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ

<http://wfdgis.ypeka.gr/>

(τελευταία επίσκεψη: 01.03.2021)

ΘΕΑΣΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ, ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

<https://www.ktimatologio.gr>

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ / MANUALS

ArcGIS Desktop

- <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>
- <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-spatial-analyst-toolbox.htm>

HEC - HMS

- <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwimmMnc1JTvAhU5EWMBHR7iB84QFjAAegQIARAD&url=https%3A%2F%2Feclass.duth.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FTMB178%2FHEC%2F2520-HMS.pdf&usg=AOvVaw2VIkL9BplY2J2kMcjZAlm>

HEC-RAS

- US Army Corps of Engineers (2016) HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Ver. 5.0
- US Army Corps of Engineers, Hydrologic Center (Aug 2020), Modeler Application Guidance for Steady vs Unsteady and 1D vs 2D vs 3D Hydraulic Modeling
- <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ C_r , C_i , C_v , C_s

Πίνακας 0.1: Συντελεστής C_r : Ανάγλυφο εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιοπούλου

Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιοπούλου						
1. Συντελεστής C_r : Ανάγλυφο εδάφους						
			Επικλινείς, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	Λοφώδες, με μέσες κλίσεις 10%-30%	Κυματώδες, με μέσες κλίσεις 5%- 10%	Σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0-5%
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	$C_{r_{min}}$	0.28	0.20	0.14	0.08
		$C_{r_{max}}$	0.35	0.28	0.20	0.14
		$C_{r_{μέσο}}$	0.32	0.24	0.17	0.11
Κλίσεις 0% - 5%	6808275.00	0.11				
Κλίσεις 5% - 10%	5016450.00	0.17				
Κλίσεις 10% - 30%	30115150.00	0.24				
Κλίσεις >30%	88597825.00	0.32				
ΣΥΝΟΛΟ	130537700.00	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.28	

Πίνακας 0.2: Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου

Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιόπουλου						
2. Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους						
			Μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες, είτε μανδύας λεπτόκκοκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	Βραδείας διηθητικότητας, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	Κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μερικής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμώδη παχιά εδάφη, ιλύες και ιλώδη εδάφη	Υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	Cv_{min}	0.12	0.08	0.06	0.04
		Cv_{max}	0.16	0.12	0.08	0.06
		$Cv_{\mu\epsilon\sigma\omicron}$	0.14	0.10	0.07	0.05
Χαμηλό Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (A)	0.00	0.05				
Μέτριο Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (B)	28406314.05	0.07				
Σχετικά Υψηλό Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (C)	74452338.80	0.10				
Πολύ υψηλό Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (D)	27679047.15	0.14				
ΣΥΝΟΛΟ	130537700.00	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.10	

Πίνακας 0.3: Συντελεστής C_v : Φυτική Κάλυψη εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου

Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιόπουλου						
3. Συντελεστής C_v : Φυτική κάλυψη εδάφους						
		Βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	Πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	Μέτρια έως καλή, περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	Καλή έως άριστη, περίπου το 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης	
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	$C_{v_{min}}$	0.12	0.08	0.06	0.04
		$C_{v_{max}}$	0.16	0.12	0.08	0.06
		$C_{v_{\mu\sigma\sigma}}$	0.14	0.10	0.07	0.05
Βλάστηση που δεν επηρεάζει	933715.00	0.14				
Πτωχή ως μέτρια (καλλιέργειες)	27590035.00	0.10				
Μέτρια ως καλή (50%)	21676664.00	0.07				
Καλή ως άριστη (90%)	80337286.00	0.05				
ΣΥΝΟΛΟ	130537700.00	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.06	

Πίνακας 0.4: Συντελεστής Cs: Αποθηκευτικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Νέου Χαλκιόπουλου

Λεκάνη απορροής Νέου Χαλκιόπουλου						
4. Συντελεστής Cs : Αποθηκευτικότητα εδάφους						
			Αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα, με μέσες κλίσεις >30%	Χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα, με μέσες κλίσεις 10-30%	Κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα, με μέσες κλίσεις 5-10%	Υψηλή αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων, με μέσες κλίσεις 0- 5%
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	C_{Smin}	0.10	0.08	0.06	0.04
		C_{Smax}	0.12	0.10	0.08	0.06
		$C_{Sμείο}$	0.11	0.09	0.07	0.05
Κλίσεις 0% - 5%	6808275.00			0.05		
Κλίσεις 5% - 10%	5016450.00			0.07		
Κλίσεις 10% - 30%	30115150.00			0.09		
Κλίσεις >30%	88597825.00			0.11		
ΣΥΝΟΛΟ	130537700.00		ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.10

Πίνακας 0.5: Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών

Λεκάνη απορροής Αμοργιανών						
1. Συντελεστής Cr : Ανάγλυφο εδάφους						
			Επκλινείς, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	Λοφώδες, με μέσες κλίσεις 10%-30%	Κυματώδες, με μέσες κλίσεις 5%- 10%	Σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0-5%
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m²)	<i>Cr_{min}</i>	0.28	0.20	0.14	0.08
		<i>Cr_{max}</i>	0.35	0.28	0.20	0.14
		<i>Cr_{μέσο}</i>	0.32	0.24	0.17	0.11
Κλίσεις 0% - 5%	15207230.00	0.11				
Κλίσεις 5% - 10%	11871430.00	0.17				
Κλίσεις 10% - 30%	63220200.00	0.24				
Κλίσεις >30%	188202097.86	0.32				
ΣΥΝΟΛΟ	278500957.86	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.28	

Πίνακας 0.6: Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών

Λεκάνη απορροής Αμοργιανών						
2. Συντελεστής Ci: Διηθητικότητα εδάφους						
			Μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες, είτε μανδύας λεπτόκκοκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	Βραδείας διηθητικότητας, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	Κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μερικής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ιλύες και ιλώδη εδάφη	Υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	Cv_{min}	0.12	0.08	0.06	0.04
		Cv_{max}	0.16	0.12	0.08	0.06
		$Cv_{μέσο}$	0.14	0.10	0.07	0.05
Χαμηλό Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (A)	0.00	0.05				
Μέτριο Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (B)	45494122.09	0.07				
Σχετικά Υψηλό Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (C)	204170025.13	0.10				
Πολύ υψηλό Δυναμικό Επιφανειακής Απορροής (D)	28836810.64	0.14				
ΣΥΝΟΛΟ	278500957.86	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.10	

Πίνακας 0.7: Συντελεστής C_v : Φυτική κάλυψη εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών

Λεκάνη απορροής Αμοργιανών						
3. Συντελεστής C_v : Φυτική κάλυψη εδάφους						
			Βλάστηση που δεν επηρεάζει. γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	Πτωχή έως μέτρια. καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης. λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	Μέτρια έως καλή. περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες. λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	Καλή έως άριστη, περίπου το 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	$C_{v_{min}}$	0.12	0.08	0.06	0.04
		$C_{v_{max}}$	0.16	0.12	0.08	0.06
		$C_{v_{μέσο}}$	0.14	0.10	0.07	0.05
Βλάστηση που δεν επηρεάζει	1990498.00	0.14				
Πτωχή ως μέτρια (καλλιέργειες)	71889598.00	0.10				
Μέτρια ως καλή (50%)	60017283.00	0.07				
Καλή ως άριστη (90%)	144603578.86	0.05				
ΣΥΝΟΛΟ	278500957.86	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.07	

Πίνακας 0.8: Συντελεστής Cs: Αποθηκευτικότητα εδάφους - Υπολεκάνη Αμοργιανών

Λεκάνη απορροής Αμοργιανών						
4. Συντελεστής Cs : Αποθηκευτικότητα εδάφους						
			Αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβθείς, διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα, με μέσες κλίσεις >30%	Χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα, με μέσες κλίσεις 10-30%	Κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα, με μέσες κλίσεις 5-10%	Υψηλή αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων, με μέσες κλίσεις 0-5%
ΥΠΟΖΩΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	C_{Smin}	0.10	0.08	0.06	0.04
		C_{Smax}	0.12	0.10	0.08	0.06
		$C_{Sμέσο}$	0.11	0.09	0.07	0.05
Κλίσεις 0% - 5%	15.207.230.00		0.05			
Κλίσεις 5% - 10%	11.871.430.00		0.07			
Κλίσεις 10% - 30%	63.220.200.00		0.09			
Κλίσεις >30%	188.202.097.86		0.11			
ΣΥΝΟΛΟ	278.500.957.86		ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ Μ.Ο.			0.10

ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΜΠΛΟΚ)

Πίνακας 0.9: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 50 έτη.

Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 50 έτη											
Χρονικό Βήμα Δt	Χρονικό Βήμα Δt	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Περδικάκι	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Σκουληκαριά	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Κρεμαστά	Επιφανειακή ολοκλήρωση Έντασης Βροχής	Αθροιστικό Ύψος Βροχής (απομειωμένο)	Μη Αθροιστικό Ύψος Βροχής	A/A	Αναδιάταξη A/A	Εναλλασσόμενα Μπλοκ	Νέος A/A
[min]	[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]
30	0.5	62.49	74.67	66.74	65.64	32.36	32.36	1	23	2.43	1
60	1.0	46.55	55.62	49.71	48.90	48.20	15.85	2	21	2.58	2
90	1.5	38.13	45.56	40.72	40.05	59.22	11.02	3	19	2.76	3
120	2.0	32.78	39.17	35.01	34.43	67.89	8.66	4	17	2.98	4
150	2.5	29.02	34.68	30.99	30.49	75.13	7.25	5	15	3.25	5
180	3.0	26.21	31.32	27.99	27.53	81.43	6.29	6	13	3.59	6
210	3.5	24.01	28.69	25.64	25.22	87.03	5.60	7	11	4.03	7
240	4.0	22.24	26.57	23.75	23.36	92.10	5.07	8	9	4.66	8
270	4.5	20.76	24.81	22.18	21.81	96.76	4.66	9	7	5.60	9
300	5.0	19.52	23.33	20.85	20.51	101.08	4.32	10	5	7.25	10
330	5.5	18.45	22.05	19.71	19.39	105.11	4.03	11	3	11.02	11
360	6.0	17.53	20.94	18.72	18.41	108.90	3.79	12	1	32.36	12
390	6.5	16.71	19.97	17.85	17.56	112.49	3.59	13	2	15.85	13
420	7.0	15.99	19.11	17.08	16.80	115.90	3.41	14	4	8.66	14
450	7.5	15.34	18.33	16.38	16.12	119.15	3.25	15	6	6.29	15
480	8.0	14.76	17.63	15.76	15.50	122.25	3.11	16	8	5.07	16
510	8.5	14.23	17.00	15.19	14.95	125.23	2.98	17	10	4.32	17
540	9.0	13.74	16.42	14.68	14.44	128.10	2.87	18	12	3.79	18
570	9.5	13.30	15.90	14.21	13.97	130.87	2.76	19	14	3.41	19
600	10.0	12.90	15.41	13.77	13.55	133.54	2.67	20	16	3.11	20
630	10.5	12.52	14.96	13.37	13.15	136.12	2.58	21	18	2.87	21

660	11.0	12.17	14.54	13.00	12.78	138.62	2.50	22	20	2.67	22
690	11.5	11.84	14.15	12.65	12.44	141.06	2.43	23	22	2.50	23
720	12.0	11.54	13.79	12.33	12.12	143.42	2.36	24	24	2.36	24
							143.42		ΣΥΝΟΛΟ	143.42	

Πίνακας 0.10: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχοπτώση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 100 έτη.

Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχοπτώση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 100 έτη										
Χρονικό Βήμα Δt	Χρονικό Βήμα Δt	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Περδικάκι	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Σκουληκαριά	Επιφανειακή ολοκλήρωση Έντασης Βροχής	Αθροιστικό Ύψος Βροχής (απομειωμένο)	Μη Αθροιστικό Ύψος Βροχής	A/A	Αναδιάταξη A/A	Εναλλασσόμενα Μπλοκ	Νέος A/A
[min]	[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]
30	0.5	69.93	84.70	75.47	37.02	37.02	1	23	2.78	1
60	1.0	52.09	63.09	56.22	55.16	18.13	2	21	2.96	2
90	1.5	42.67	51.68	46.05	67.77	12.61	3	19	3.16	3
120	2.0	36.68	44.43	39.59	77.68	9.91	4	17	3.41	4
150	2.5	32.48	39.34	35.05	85.97	8.29	5	15	3.72	5
180	3.0	29.33	35.53	31.66	93.18	7.20	6	13	4.10	6
210	3.5	26.87	32.55	29.00	99.59	6.41	7	11	4.62	7
240	4.0	24.88	30.14	26.86	105.39	5.81	8	9	5.33	8
270	4.5	23.24	28.15	25.08	110.72	5.33	9	7	6.41	9
300	5.0	21.85	26.46	23.58	115.66	4.94	10	5	8.29	10
330	5.5	20.65	25.02	22.29	120.28	4.62	11	3	12.61	11
360	6.0	19.62	23.76	21.17	124.62	4.34	12	1	37.02	12
390	6.5	18.70	22.65	20.19	128.72	4.10	13	2	18.13	13
420	7.0	17.89	21.67	19.31	132.62	3.90	14	4	9.91	14
450	7.5	17.17	20.79	18.53	136.34	3.72	15	6	7.20	15
480	8.0	16.51	20.00	17.82	139.89	3.56	16	8	5.81	16
510	8.5	15.92	19.29	17.18	143.30	3.41	17	10	4.94	17

540	9.0	15.38	18.63	16.60	146.59	3.28	18	12	4.34	18
570	9.5	14.89	18.03	16.07	149.75	3.16	19	14	3.90	19
600	10.0	14.43	17.48	15.57	152.80	3.06	20	16	3.56	20
630	10.5	14.01	16.97	15.12	155.76	2.96	21	18	3.28	21
660	11.0	13.62	16.50	14.70	158.63	2.87	22	20	3.06	22
690	11.5	13.26	16.05	14.31	161.41	2.78	23	22	2.87	23
720	12.0	12.92	15.64	13.94	164.11	2.70	24	24	2.70	24
ΣΥΝΟΛΟ									164.11	

Πίνακας 0.11: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 1000 έτη.

Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Χαλκιόπουλου, T = 1000 έτη										
Χρονικό Βήμα Δt	Χρονικό Βήμα Δt	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Περιδικάκι	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Σκουληκαριά	Επιφανειακή ολοκλήρωση Έντασης Βροχής	Αθροιστικό Ύψος Βροχής (απομειωμένο)	Μη Αθροιστικό Ύψος Βροχής	A/A	Αναδιάταξη A/A	Εναλλασσόμενα Μπλοκ	Νέος A/A
[min]	[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]
30	0.5	99.75	124.88	109.18	53.56	53.56	1	23	4.02	1
60	1.0	74.30	93.03	81.33	79.79	26.23	2	21	4.28	2
90	1.5	60.86	76.20	66.61	98.03	18.24	3	19	4.58	3
120	2.0	52.32	65.51	57.27	112.37	14.34	4	17	4.93	4
150	2.5	46.33	58.00	50.71	124.37	12.00	5	15	5.38	5
180	3.0	41.84	52.38	45.80	134.79	10.42	6	13	5.94	6
210	3.5	38.33	47.99	41.95	144.06	9.27	7	11	6.68	7
240	4.0	35.49	44.44	38.85	152.46	8.40	8	9	7.71	8
270	4.5	33.14	41.50	36.28	160.17	7.71	9	7	9.27	9
300	5.0	31.16	39.01	34.11	167.32	7.15	10	5	12.00	10
330	5.5	29.46	36.88	32.24	173.99	6.68	11	3	18.24	11
360	6.0	27.98	35.03	30.62	180.27	6.28	12	1	53.56	12
390	6.5	26.68	33.40	29.20	186.21	5.94	13	2	26.23	13

420	7.0	25.52	31.95	27.94	191.85	5.64	14	4	14.34	14
450	7.5	24.49	30.66	26.80	197.23	5.38	15	6	10.42	15
480	8.0	23.56	29.49	25.78	202.37	5.14	16	8	8.40	16
510	8.5	22.71	28.43	24.86	207.30	4.93	17	10	7.15	17
540	9.0	21.94	27.47	24.02	212.05	4.75	18	12	6.28	18
570	9.5	21.23	26.58	23.24	216.63	4.58	19	14	5.64	19
600	10.0	20.58	25.77	22.53	221.05	4.42	20	16	5.14	20
630	10.5	19.98	25.02	21.87	225.32	4.28	21	18	4.75	21
660	11.0	19.43	24.32	21.26	229.47	4.15	22	20	4.42	22
690	11.5	18.91	23.67	20.70	233.49	4.02	23	22	4.15	23
720	12.0	18.42	23.07	20.17	237.40	3.91	24	24	3.91	24
ΣΥΝΟΛΟ									237.40	

Πίνακας 0.12: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 50 έτη.

Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 50 έτη											
Χρονικό Βήμα Δt	Χρονικό Βήμα Δt	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Περδικάκι	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Σκουληκαριά	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Κρεμαστά	Επιφανειακή ολοκλήρωση Έντασης Βροχής	Αθροιστικό Ύψος Βροχής (απομειωμένο)	Μη Αθροιστικό Ύψος Βροχής	A/A	Αναδιάταξη A/A	Εναλλασσόμενα Μπλοκ	Νέος A/A
[min]	[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]
30	0.5	62.49	74.67	66.74	65.64	32.36	32.36	1	23	2.43	1
60	1.0	46.55	55.62	49.71	48.90	48.20	15.85	2	21	2.58	2
90	1.5	38.13	45.56	40.72	40.05	59.22	11.02	3	19	2.76	3
120	2.0	32.78	39.17	35.01	34.43	67.89	8.66	4	17	2.98	4
150	2.5	29.02	34.68	30.99	30.49	75.13	7.25	5	15	3.25	5
180	3.0	26.21	31.32	27.99	27.53	81.43	6.29	6	13	3.59	6
210	3.5	24.01	28.69	25.64	25.22	87.03	5.60	7	11	4.03	7
240	4.0	22.24	26.57	23.75	23.36	92.10	5.07	8	9	4.66	8

Μεταπτυχιακή Εργασία
Πελεγράτη Α. Αλίκη - Γεωργία

270	4.5	20.76	24.81	22.18	21.81	96.76	4.66	9	7	5.60	9
300	5.0	19.52	23.33	20.85	20.51	101.08	4.32	10	5	7.25	10
330	5.5	18.45	22.05	19.71	19.39	105.11	4.03	11	3	11.02	11
360	6.0	17.53	20.94	18.72	18.41	108.90	3.79	12	1	32.36	12
390	6.5	16.71	19.97	17.85	17.56	112.49	3.59	13	2	15.85	13
420	7.0	15.99	19.11	17.08	16.80	115.90	3.41	14	4	8.66	14
450	7.5	15.34	18.33	16.38	16.12	119.15	3.25	15	6	6.29	15
480	8.0	14.76	17.63	15.76	15.50	122.25	3.11	16	8	5.07	16
510	8.5	14.23	17.00	15.19	14.95	125.23	2.98	17	10	4.32	17
540	9.0	13.74	16.42	14.68	14.44	128.10	2.87	18	12	3.79	18
570	9.5	13.30	15.90	14.21	13.97	130.87	2.76	19	14	3.41	19
600	10.0	12.90	15.41	13.77	13.55	133.54	2.67	20	16	3.11	20
630	10.5	12.52	14.96	13.37	13.15	136.12	2.58	21	18	2.87	21
660	11.0	12.17	14.54	13.00	12.78	138.62	2.50	22	20	2.67	22
690	11.5	11.84	14.15	12.65	12.44	141.06	2.43	23	22	2.50	23
720	12.0	11.54	13.79	12.33	12.12	143.42	2.36	24	24	2.36	24
						143.42			ΣΥΝΟΛΟ	143.42	

Πίνακας 0.13: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 100 έτη.

Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών. T = 100 έτη											
Χρονικό Βήμα Δt	Χρονικό Βήμα Δt	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Περδικάκι	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Σκουληκαριά	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Κρεμαστά	Επιφανειακή ολοκλήρωση Έντασης Βροχής	Αθροιστικό Ύψος Βροχής (απομειωμένο)	Μη Αθροιστικό Ύψος Βροχής	A/A	Αναδιάταξη A/A	Εναλλασσόμενα Μπλοκ	Νέος A/A
[min]	[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]
30	0.5	69.93	84.70	76.26	74.04	36.49	36.49	1	23	2.74	1
60	1.0	52.09	63.09	56.81	55.15	54.37	17.87	2	21	2.91	2
90	1.5	42.67	51.68	46.53	45.17	66.80	12.43	3	19	3.12	3
120	2.0	36.68	44.43	40.00	38.84	76.57	9.77	4	17	3.36	4
150	2.5	32.48	39.34	35.42	34.39	84.74	8.17	5	15	3.66	5
180	3.0	29.33	35.53	31.99	31.06	91.84	7.10	6	13	4.05	6
210	3.5	26.87	32.55	29.30	28.45	98.16	6.32	7	11	4.55	7
240	4.0	24.88	30.14	27.14	26.35	103.88	5.72	8	9	5.25	8
270	4.5	23.24	28.15	25.34	24.60	109.13	5.25	9	7	6.32	9
300	5.0	21.85	26.46	23.82	23.13	114.00	4.87	10	5	8.17	10
330	5.5	20.65	25.02	22.52	21.87	118.55	4.55	11	3	12.43	11
360	6.0	19.62	23.76	21.39	20.77	122.83	4.28	12	1	36.49	12
390	6.5	18.70	22.65	20.40	19.80	126.88	4.05	13	2	17.87	13
420	7.0	17.89	21.67	19.51	18.94	130.72	3.84	14	4	9.77	14
450	7.5	17.17	20.79	18.72	18.18	134.38	3.66	15	6	7.10	15
480	8.0	16.51	20.00	18.01	17.48	137.89	3.50	16	8	5.72	16
510	8.5	15.92	19.29	17.36	16.86	141.25	3.36	17	10	4.87	17
540	9.0	15.38	18.63	16.77	16.29	144.48	3.23	18	12	4.28	18
570	9.5	14.89	18.03	16.23	15.76	147.60	3.12	19	14	3.84	19
600	10.0	14.43	17.48	15.74	15.28	150.61	3.01	20	16	3.50	20
630	10.5	14.01	16.97	15.28	14.83	153.53	2.91	21	18	3.23	21

660	11.0	13.62	16.50	14.85	14.42	156.35	2.82	22	20	3.01	22
690	11.5	13.26	16.05	14.45	14.03	159.09	2.74	23	22	2.82	23
720	12.0	12.92	15.64	14.08	13.67	161.76	2.67	24	24	2.67	24
							161.76		ΣΥΝΟΛΟ	161.76	

Πίνακας 0.14: Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών, T = 1000 έτη.

Χρονική Κατανομή Βροχής - Εναλλασσόμενα Μπλοκ (Ολική βροχόπτωση) / Λεκάνη απορροής Αμοργιανών. T = 1000 έτη											
Χρονικό Βήμα Δt	Χρονικό Βήμα Δt	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Περδικάκι	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Σκουληκαριά	Σημειακή Ένταση βροχής IDF Κρεμαστά	Επιφανειακή ολοκλήρωση Έντασης Βροχής	Αθροιστικό Ύψος Βροχής (απομειωμένο)	Μη Αθροιστικό Ύψος Βροχής	A/A	Αναδιάταξη A/A	Εναλλασσόμενα Μπλοκ	Νέος A/A
[min]	[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[-]
30	0.5	99.75	124.88	114.42	107.67	53.07	53.07	1	23	3.99	1
60	1.0	74.30	93.03	85.23	80.20	79.06	25.99	2	21	4.24	2
90	1.5	60.86	76.20	69.81	65.69	97.13	18.07	3	19	4.53	3
120	2.0	52.32	65.51	60.01	56.48	111.34	14.21	4	17	4.89	4
150	2.5	46.33	58.00	53.14	50.00	123.23	11.89	5	15	5.33	5
180	3.0	41.84	52.38	47.99	45.16	133.55	10.32	6	13	5.88	6
210	3.5	38.33	47.99	43.96	41.37	142.74	9.19	7	11	6.62	7
240	4.0	35.49	44.44	40.71	38.31	151.07	8.32	8	9	7.64	8
270	4.5	33.14	41.50	38.02	35.78	158.70	7.64	9	7	9.19	9
300	5.0	31.16	39.01	35.74	33.64	165.78	7.08	10	5	11.89	10
330	5.5	29.46	36.88	33.79	31.80	172.40	6.62	11	3	18.07	11
360	6.0	27.98	35.03	32.09	30.20	178.62	6.22	12	1	53.07	12
390	6.5	26.68	33.40	30.60	28.80	184.50	5.88	13	2	25.99	13
420	7.0	25.52	31.95	29.27	27.55	190.09	5.59	14	4	14.21	14
450	7.5	24.49	30.66	28.09	26.43	195.42	5.33	15	6	10.32	15
480	8.0	23.56	29.49	27.02	25.43	200.52	5.10	16	8	8.32	16
510	8.5	22.71	28.43	26.05	24.51	205.41	4.89	17	10	7.08	17

Μεταπτυχιακή Εργασία
Πελεγράτη Α. Αλίκη - Γεωργία

540	9.0	21.94	27.47	25.17	23.68	210.11	4.70	18	12	6.22	18
570	9.5	21.23	26.58	24.36	22.92	214.64	4.53	19	14	5.59	19
600	10.0	20.58	25.77	23.61	22.22	219.02	4.38	20	16	5.10	20
630	10.5	19.98	25.02	22.92	21.57	223.26	4.24	21	18	4.70	21
660	11.0	19.43	24.32	22.28	20.97	227.37	4.11	22	20	4.38	22
690	11.5	18.91	23.67	21.69	20.41	231.35	3.99	23	22	4.11	23
720	12.0	18.42	23.07	21.13	19.89	235.23	3.88	24	24	3.88	24
							235.23		ΣΥΝΟΛΟ	235.23	