



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ &
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ
ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**«Η επίδραση των κοιλοτήτων του εδάφους στην εκτίμηση του
πλημμυρικού κινδύνου σε οδικά δίκτυα:
Η περίπτωση της Παλαιάς Εθνικής Οδού
(Π.Ε.Ο) Λάρισας-Βόλου»**



Φοιτητής: Αντωνίου Θωμάς

**Επιβλέπων:
Επίκουρος Καθηγητής Ι. Ναλμπάντης**

**Αθήνα
Οκτώβριος 2013**

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Ευχαριστίες	v
Περίληψη	vi
Abstract	viii
Κατάλογος συμβόλων	x
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος.....	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	2
2 Το φαινόμενο της πλημμύρας και η επίδραση της σε οδικά δίκτυα	4
2.1 Γενικά περί πλημμυρών.....	4
2.2 Ο πλημμυρικός κίνδυνος σε οδικά δίκτυα.....	6
2.3 Η προσέγγιση των Δανών.....	7
3 Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου σε οδικά δίκτυα	10
3.1 Γενικά.....	10
3.2 Καθορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού.....	11
3.2.1 Ανάλυση όμβριων καμπυλών.....	11
3.2.2 Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού.....	11
3.3 Υπολογισμός περισσεύματος βροχόπτωσης.....	13
3.3.1 Γενικά.....	13
3.3.2 Εκτίμηση περισσεύματος βροχής με τη μέθοδο SCS	15
3.4 Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα.....	19
3.4.1 Γενικά.....	19
3.4.2 Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.....	21
3.5 Διόδευση πλημμύρας διαμέσου υδατορεύματος.....	21
3.5.1 Γενικά.....	21
3.5.2 Διόδευση πλημμύρας με τη μέθοδο Muskingum	23
3.6 Διόδευση πλημμύρας μέσω κοιλοτήτων του εδάφους.....	24
3.6.1 Γενικά.....	24
3.6.2 Προσδιορισμός καμπύλης Στάθμης-Παροχής εκροής.....	24
3.7 Το λογισμικό HEC-HMS.....	25
3.7.1 Γενικά.....	25
3.7.2 Φυσική περιγραφή λεκάνης απορροής.....	26
3.7.3 Εισαγωγή χρονοσειρών των δεδομένων	27
3.7.4 Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic Model).....	28

3.7.5	Αρχείο προσομοίωσης.....	28
4	Περιοχή μελέτης	29
4.1	Επιλογή Περιοχής Μελέτης.....	29
4.2	Γενικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης.....	29
4.2.1	Γεωμορφολογία Περιοχής.....	29
4.2.2	Υδατικό Δυναμικό Περιοχής.....	29
4.2.3	Η περιοχή από υδρολογική άποψη.....	30
4.3	Δεδομένα Περιοχής Μελέτης.....	30
4.3.1	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.....	30
4.3.2	Εδαφολογικά χαρακτηριστικά περιοχής.....	33
4.3.3	Χρήσεις γης περιοχής.....	34
5	Επεξεργασία-Προετοιμασία πρωτογενών δεδομένων	36
5.1	Επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων.....	36
5.1.1	Γενικά.....	36
5.1.2	Προεπεξεργασία εδάφους- Πρώτη προσέγγιση.....	36
5.1.3	Προεπεξεργασία εδάφους- Δεύτερη προσέγγιση.....	41
5.1.4	Σύγκριση των δύο προσεγγίσεων.....	43
5.1.5	Διόρθωση ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....	43
5.1.6	Προεπεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους- Διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο.....	46
5.2	Βροχομετρικά δεδομένα- Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού.....	49
5.3	Προετοιμασία δεδομένων για είσοδο στο HEC-HMS.....	55
5.3.1	Επιλογή τελικών λεκανών απορροής.....	55
5.3.2	Χαρακτηριστικά λεκανών απορροής.....	57
5.3.3	Επιλογή τελικών κοιλοτήτων για κάθε λεκάνη.....	64
5.3.4	Εύρεση παραμέτρων Muskingum για τη διόδευση μέσω υδατορεύματος.....	69
6	Εφαρμογή μεθοδολογίας με τη χρήση του προγράμματος HEC-HMS- Αποτελέσματα	71
6.1	Εισαγωγή.....	71
6.2	Εισαγωγή δεδομένων στο HEC-HMS.....	71
6.2.1	Ρύθμιση νέας εργασίας στο HEC-HMS.....	71
6.2.2	Μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model).....	72
6.2.3	Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic Model) και συνθήκες ελέγχου (Control Specifications).....	76
6.3	Αποτελέσματα της εφαρμογής από το HEC-HMS.....	78
6.3.1	Γενικά.....	78
6.3.2	Αποτελέσματα εφαρμογής λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους.....	79
6.3.3	Αποτελέσματα εφαρμογής παραλείποντας τις κοιλότητες του εδάφους.....	87
6.3.4	Σύγκριση των δύο προσεγγίσεων.....	92

6.4	Ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης	98
6.4.1	Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού.....	98
6.4.2	Αποτελέσματα εφαρμογής με τοποθέτηση της αιχμής του κάθε υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης	100
7	Σύνοψη-Συμπεράσματα	107
	Αναφορές	110
	Στην ελληνική γλώσσα	110
	Ξενόγλωσσες	110
	Διαδικτυακοί τόποι	111
	Παράρτημα Α: Υετογράμματα σχεδιασμού	112
	Παράρτημα Β: Ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης	123

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση ενός πολύ σημαντικού κύκλου σπουδών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και συγκεκριμένα στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

Κατά τη διάρκεια αυτής της πενταετούς φοίτησης, αποκομίσθησαν πολλές και σημαντικές γνώσεις, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό υπόβαθρο για την μετέπειτα εργασιακή πορεία.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα αυτής της εργασίας κ. Ιωάννη Ναλμπάντη, για την προτροπή του, για την ενασχόληση μου με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, την αμέριστη βοήθεια του και τις καίριες παρεμβάσεις του για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την κ. Λήδα Στάμου, Ε.Τ.Ε.Π του εργαστηρίου Χαρτογραφίας για την καθοριστική συμβολή της στο θέμα της υδρολογικής ανάλυσης ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε περιβάλλον ΓΣΠ.

Οφείλω, ακόμη, να ευχαριστήσω την κ. Ινώ Παπαγεωργάκη, για την τεράστια συμβολή της στην εκμάθηση του προγράμματος Arcgis, για την υπομονή της τις φορές που χρειάστηκε να συναντηθούμε, καθώς και τις υποδείξεις της στο θέμα της επεξεργασίας των δεδομένων σε περιβάλλον ΓΣΠ, χωρίς τις οποίες το συγκεκριμένο τμήμα αυτής της εργασίας δεν θα είχε ολοκληρωθεί.

Ολοκληρώνοντας, δεν μπορώ να παραλείψω να ευχαριστήσω το καλό μου φίλο και συνάδελφο, Γιάννη Αποστολόπουλο, για τη βοήθεια του τόσο στην παρούσα διπλωματική, όσο και για την συνεργασία μας καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου στην σχολή.

Τέλος, πρέπει να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τους φίλους μου και γενικά όσους μου στάθηκαν ηθικά στη δύσκολη αυτή πορεία στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αντωνίου Θωμάς

Οκτώβριος 2013

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο πλημμυρικός κίνδυνος σε εθνικά οδικά δίκτυα, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των κοιλοτήτων του εδάφους. Το οδικό τμήμα που μελετάται είναι ένα τμήμα της Παλαιάς Εθνικής Οδού (Π.Ε.Ο), που συνδέει την πόλη της Λάρισας με αυτή του Βόλου. Η μελέτη περιλαμβάνει την επίδραση που έχουν οι κοιλότητες του εδάφους, στην πλημμυρική παροχή και στον όγκο απορροής, σε συγκεκριμένα σημεία του υπό μελέτη οδικού τμήματος. Χρησιμοποιήθηκε λοιπόν, μία μεθοδολογία εκτίμησης της πλημμυρικής παροχής και του όγκου απορροής στα συγκεκριμένα σημεία, λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους, αλλά και παραλείποντας αυτές.

Οι κοιλότητες του εδάφους μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον περιορισμό του κινδύνου της δημιουργίας πλημμυρών. Οι κοιλότητες που υπάρχουν στο έδαφος, μπορούν να λειτουργήσουν σαν ταμιευτήρες και να αποθηκεύσουν κάποια ποσότητα νερού. Η ποσότητα του νερού που θα αποθηκευθεί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως, π.χ., ο όγκος της κοιλότητας. Η αποθήκευση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής, με το ποσοστό αυτό της μείωσης να διαφέρει ανάλογα με την περίπτωση.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής περιλαμβάνει δύο προσεγγίσεις: Η πρώτη προσέγγιση περιλαμβάνει την εκτίμηση των δύο παραπάνω μεγεθών λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους, ενώ η δεύτερη προσέγγιση υπολογίζει την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής, παραλείποντας τις κοιλότητες του εδάφους. Και για τις δύο προσεγγίσεις οι υπολογισμοί έγιναν στο λογισμικό HEC-HMS.

Και στις δύο προσεγγίσεις το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την εξαγωγή των υετογραμμάτων σχεδιασμού, με γνωστή όμβρια καμπύλη (στην περιοχή της Λάρισας), για διάφορες περιόδους επαναφοράς και χρονικές διάρκειες βροχόπτωσης. Στη συνέχεια, με τη μέθοδο SCS, μετατρέπονται τα ύψη βροχόπτωσης σε περισεύματα βροχόπτωσης και με βάση τα μορφομετρικά στοιχεία κάθε λεκάνης, τα οποία προέκυψαν μετά από επεξεργασία σε ΓΣΠ, κατασκευάζεται το αδιάστατο συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS. Σύμφωνα με αυτό, μετατρέπεται η βροχόπτωση σε απορροή. Κατόπιν, προσδιορίζονται οι παράμετροι που αφορούν την διόδευση της πλημμύρας μέσω των υδατορευμάτων, αλλά και μέσω των κοιλοτήτων του εδάφους στην προσέγγιση που λαμβάνονται υπόψη οι κοιλότητες. Οι κοιλότητες που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από ανάλυση σε ΓΣΠ, με τον ορισμό μία τιμής σαν κατώφλι, ώστε να απορριφθούν οι πολύ μικρές κοιλότητες. Τέλος, έγινε η εισαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων στο υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS και, στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις, ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα για την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής και για τις δύο προσεγγίσεις. Από τα αποτελέσματα αυτά έγινε μία σύγκριση, ώστε να φανεί η επίδραση των κοιλοτήτων στην παροχή αιχμής και στον όγκο απορροής, για περιόδους επαναφοράς από 25 μέχρι 10000 έτη και χρονικές διάρκειες 6 h, 12 h, 24 h και 48 h.

Η σύγκριση αυτή έγινε σε συγκεκριμένα σημεία του οδικού τμήματος, τα σημεία εκείνα του δρόμου, τα οποία τέμνονται με υδατορεύματα. Τα σημεία στα οποία κάποιο υδατόρευμα έτεμνε το δρόμο ήταν επτά. Η σύγκριση των δύο αυτών προσεγγίσεων έδειξε ότι η παροχή

αιχμής και ο όγκος απορροής μειώνονται στην περίπτωση που λαμβάνονται υπόψη οι κοιλότητες του εδάφους. Τα ποσοστά αυτής της μείωσης διαφέρουν για κάθε σημείο ανάλογα με τον όγκο των εκάστοτε ανάντη κοιλοτήτων, αλλά και τα μορφομετρικά στοιχεία της λεκάνης απορροής. Υπήρχαν περιπτώσεις που το ποσοστό αυτής της μείωσης άγγιζε και το 100%, δηλαδή η επίδραση της κοιλότητας ήταν τέτοια ώστε να μην υπάρχει καθόλου απορροή. Το ποσοστό της μείωσης, μειώνεται όσο μεγαλώνει η περίοδος επαναφοράς και η διάρκεια της βροχόπτωσης, δηλαδή είναι μικρότερη η επίδραση των κοιλοτήτων για μεγάλες περιόδους επαναφοράς και διάρκειες βροχόπτωσης. Αυτό είναι λογικό, αφού σε μεγάλες περιόδους επαναφοράς και διάρκειες βροχόπτωσης, η ποσότητα της βροχής που φτάνει στο έδαφος είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα να γεμίζουν γρήγορα οι κοιλότητες.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση που αφορά τη ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης. Η ανάλυση αυτή απαιτούσε την κατασκευή νέων υετογραμμάτων σχεδιασμού με την τοποθέτηση της αιχμής του κάθε υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης και όχι στο 50%, όπως έγινε προηγουμένως. Αφού δημιουργήθηκαν τα νέα υετογράμματα σχεδιασμού για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς και διάρκειες βροχόπτωσης, έγιναν ξανά οι προσομοιώσεις στο λογισμικό HEC-HMS και για τις δύο προσεγγίσεις.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρήθηκε ότι η παροχή αιχμής εμφανίζεται χρονικά αργότερα για κάθε υδρολογικό στοιχείο, στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος τοποθετηθεί στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης και για τις δύο προσεγγίσεις. Η μεταγενέστερη αυτή χρονική στιγμή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παροχής αιχμής, τόσο στην προσέγγιση που λαμβάνονται υπόψη οι κοιλότητες, όσο και σε αυτή που παραλείπονται αυτές. Η ποσοστιαία αυτή αύξηση διαφέρει για κάθε σημείο ενδιαφέροντος. Ο όγκος απορροής δεν υφίσταται κάποια μεταβολή και παραμένει ο ίδιος και για τις δύο προσεγγίσεις, ανεξάρτητα από την θέση της αιχμής του υετογράμματος σχεδιασμού. Τέλος, έγινε μία σύγκριση στην οποία εκτιμήθηκε σε ποια περίπτωση είναι μεγαλύτερη η επίδραση των κοιλοτήτων του εδάφους, όσον αφορά στη θέση της αιχμής του υετογράμματος σχεδιασμού. Η σύγκριση αυτή έδειξε ότι στις μικρές διάρκειες βροχής (6 h και 12 h) η επίδραση των κοιλοτήτων είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος σχεδιασμού τοποθετηθεί στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης, ενώ για τις μεγάλες διάρκειες (24 h και 48 h) η επίδραση των κοιλοτήτων είναι μικρότερη στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος σχεδιασμού τοποθετηθεί στο 75% της διάρκειας.

Η ανάλυση που έγινε στην παρούσα εργασία δείχνει ότι η επίδραση των κοιλοτήτων του εδάφους μπορεί να είναι πολύ σημαντική, καθώς μειώνει την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής. Βέβαια, για να είναι ασφαλή τα συμπεράσματα χρειάζονται καλύτερης ανάλυσης δεδομένα, από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Τέλος, να σημειωθεί ότι κατά την μελέτη και κατασκευή ενός αντιπλημμυρικού έργου θα πρέπει οι κοιλότητες του εδάφους να λαμβάνονται υπόψη, διότι θα αποφευχθούν φαινόμενα υπερκοστολόγησης και υπερδιαστασιολόγησης των έργων αυτών.

Abstract

In the present study the flood risk on national roads is examined by taking into consideration the effect of ground depressions. The road section under study is a part of the Old National Road, which connects the city of Larissa to that of Volos. The study includes the effect of ground depressions on the flood peak discharge and on the runoff volume at particular points of the road section under study. An assessment methodology is being used for the flood peak discharge and runoff volume at those specific points both by taking into consideration the ground depressions, as well as ignoring them.

The ground depressions can play an important role in reducing the risk of flood. The ground depressions can act as reservoirs and store a certain amount of water. The amount of water that can be stored depends on various factors, as for example the volume of the depression. This water-storing results to reduction of the peak discharge and runoff volume. The percentage of this reduction varies with the case.

The methodology that was used to determine the peak discharge and runoff volume includes two approaches: the first approach calculates the peak discharge and runoff volume by taking into consideration the ground depressions, while the second approach calculates the peak discharge and runoff volume ignoring the ground depressions. For both approaches the calculations were performed by the HEC-HMC software.

For both approaches the first step is to construct the design hyetographs with a known IDF curve (in Larissa) for various return periods and durations of rainfall. Then, the rainfall depths are transformed into excess rainfall depths via the SCS method and the unit hydrograph is constructed based on the dimensionless unit hydrograph proposed by SCS. The necessary morphometric information of the basin comes after processing geographical information within GIS. With the aid of this Unit Hydrograph rainfall is transformed into runoff. Afterwards, the parameters for the flood routing through waterways and ground depressions are specified for the approach that takes into consideration the ground depressions. These depressions resulted after analysis in GIS by defining a threshold that enabled us to reject very small depressions. Finally, after importing all the necessary data to the HEC-HMC hydrological software, simulations were run in order to obtain results for the peak discharge and runoff volume for both approaches. These results were compared to show the effect of the ground depressions on the peak discharge and runoff volume for return periods of 25 to 10000 years and time durations of 6 h, 12 h, 24 h and 48 h.

This comparison was made at specific points of the road network, i.e., those points where the road intersected with a waterway. There were seven such points. The comparison of the two approaches showed that the peak discharge and the runoff volume were reduced when taking into consideration the ground depressions. The percentage of the reduction differs for each point depending on the volume of upstream depressions and the morphometric information of the basin. In fact, there are cases where there is almost 100% reduction, which means that the effect of the ground depression is such that there is no runoff. The reduction of the percentage is inversely proportional to the return period and the rainfall duration. In other words, the effect of the ground depressions is less for large return periods and large rainfall durations.

This is natural since for large return periods and large rainfall durations, the amount of rainfall reaching the ground is large, thus resulting to quick filling of the ground depressions.

Last, an analysis regarding the sensitivity of the results to the temporal distribution of rainfall within each event was conducted. New design hyetographs were required for this analysis. The peak of each hyetograph was placed at 75% of the rainfall duration and not at 50%, as it was previously done. After creating the new design hyetographs for the same return periods and rainfall durations, simulations were run with the aid of the HEC-HMS software for both approaches.

The simulation results show that for both approaches the peak discharge appears at a later time in each output hydrograph for the case when the peak of the hyetograph was placed at 75% of the rainfall duration. This later time results also to an increase of the peak discharge, both when the ground depressions are considered as well as when they are ignored. The percentage increment is different for each point of interest. The runoff volume stays the same for both approaches, regardless of the position of the peak of the design hyetograph. Furthermore, a comparison regarding the position of the peak of the design hyetograph was made, in order to evaluate the effect of the ground depressions. This comparison showed that for low rainfall durations (6 h and 12 h) the impact of ground depressions is greater when the peak of the design hyetograph is placed at 75% of the rainfall duration, while for high rainfall durations (24 h and 48 h) the impact of ground depressions is limited in the case where the peak of the design hyetograph is placed at 75% of the rainfall duration.

The analysis in the present study shows that the effect of ground depressions can be very important since it can reduce the peak discharge and runoff volume. For more concrete results, though, there is need for data of better quality than the data used in this study. Finally, it is noted that during the design and implementation of an anti-flooding project, the ground depressions should be taken into consideration in order to avoid overcosting and oversizing of the project.

Κατάλογος συμβόλων

i	Ένταση βροχόπτωσης
t	Διάρκεια βροχόπτωσης
T	Περίοδος επαναφοράς
ψ, λ, η	Παράμετροι όμβριων καμπυλών
h_r	Ύψος βροχόπτωσης
h_R	Ύψος περισσέυματος βροχόπτωσης
S	Μέγιστο θεωρητικό ύψος απωλειών για την εκτίμηση περισσέυματος βροχής (SCS)
CN	Αριθμός καμπύλης απορροής
Q	Παροχή
Q_P	Παροχή αιχμής
T_P	Χρόνος ανόδου μοναδιαίου υδρογραφήματος
C_u	Συντελεστής αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος κατά SCS
A	Εμβαδόν λεκάνης απορροής
t_P	Χρόνος υστέρησης
t_c	Χρόνος συγκέντρωσης
I	Εισροή στο τμήμα ποταμού
S	Αποθήκευση στο τμήμα του ποταμού για την διόδευση με την μέθοδο Muskingum
K	Συντελεστής με διαστάσεις χρόνου στην μέθοδο διόδευσης Muskingum
x	Αδιάστατος αριθμός για την μέθοδο διόδευσης Muskingum
z	Στάθμη νερού
A_w	Εμβαδόν υγρής διατομής
P	Βρεχόμενη περίμετρος
R	Υδραυλική ακτίνα
S_f	Μέση κατά μήκος κλίση των πρώτων 500 μέτρων κατάντη της κοιλότητας
n	Συντελεστής τραχύτητας κατά Manning
V	Όγκος νερού
L	Μήκος κύριας μισγάγγειας
S_m	Μέση κλίση λεκάνης
ΔH	Υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου λεκάνης και υψομέτρου εξόδου

V	Ταχύτητα του νερού για την εύρεση του συντελεστή K για τη διάδοση
-----	---

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Το φαινόμενο της πλημμύρας αποτελεί μία από τις συχνότερες φυσικές καταστροφές. Αποτελεί τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή μετά από τις πυρκαγιές. Οι συνέπειες από τις πλημμύρες μπορεί να αποβούν καταστροφικές, τόσο για την ανθρώπινη ζωή όσο και για τις οικονομικές ζημιές που θα προκύψουν για τα κράτη που θα τις υποστούν.

Το φαινόμενο της πλημμύρας οφείλεται σε φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν να ελεγχθούν από τον άνθρωπο. Μία πλημμύρα μπορεί να δημιουργηθεί λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και ισχυρών καταιγίδων, από το ανέβασμα της στάθμης των ποταμών ή από το λιώσιμο του χιονιού. Μπορεί να συμβεί επίσης από υποχώρηση φραγμάτων και, στην περίπτωση αυτή, οι συνέπειες είναι πολύ μεγάλες.

Τα φυσικά φαινόμενα από τα οποία προέρχονται οι πλημμύρες δεν μπορούν, όπως ειπώθηκε, να ελεγχθούν, αλλά το μέγεθος της ζημιάς που αποφέρουν μπορεί να προβλεφθούν και να περιοριστούν από ανθρώπινες δράσεις. Αυτές οι δράσεις έχουν σκοπό στην πρόβλεψη και διαχείριση του κινδύνου από πλημμύρες αλλά και την πρόληψη με την εφαρμογή κατασκευαστικών αλλά και μη κατασκευαστικών μέτρων με: (1) κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων, (2) την ετοιμότητα για αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, (3) μέτρα που θα ληφθούν μετά από την πλημμύρα, και (4) την αποκατάσταση των ζημιών που θα προκληθούν.

Χωρίς τις απαραίτητες επενδύσεις σε αντιπλημμυρικά έργα, το ετήσιο κόστος των πλημμυρών μπορεί να ξεπεράσει μέχρι το 2050 το ένα τρισεκατομμύριο δολάρια. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγει έρευνα της Παγκόσμιας Τράπεζας, την οποία παρουσιάζει το περιοδικό Nature Climate Change. Το 2005 οι ζημιές που προέκυψαν μετά από πλημμύρες στις 136 μεγαλύτερες πόλεις-λιμάνια του κόσμου και οι οποίες συμπεριλήφθηκαν στην έρευνα, ξεπέρασαν τα 6 δις δολάρια.

Για τις μεμονωμένες πόλεις οι επιστήμονες έβαλαν στο μικροσκόπιο τους σημερινούς και μελλοντικούς κινδύνους πλημμυρών καθώς και αντιπλημμυρικά έργα. Στη συνέχεια, προχώρησαν σε υπολογισμούς στη βάση τριών σεναρίων: με μηδενική αύξηση της στάθμης της θάλασσας, με μία αύξηση κατά 20 εκατοστά, καθώς και μία αύξηση κατά 40 εκατοστά μέχρι το 2050. Από τα δεδομένα που προέκυψαν υπολογίστηκε το ύψος των ζημιών σε περιπτώσεις πλημμυρών.

Ως βασικοί λόγοι για την κατακόρυφη αύξηση του κόστους αναφέρονται, πέρα από την αύξηση της στάθμης των θαλασσών, η διάβρωση του εδάφους και η αύξηση του πληθυσμού στις συγκεκριμένες πόλεις. Για να αποφευχθεί η κατακόρυφη αυτή αύξηση του κόστους, κάθε μία από τις 136 αυτές πόλεις που έλαβε υπόψη της η έρευνα θα πρέπει να επενδύσει κατά μέσο όρο 350 εκατομμύρια δολάρια ετησίως σε αντιπλημμυρικά έργα.

Η αναφορά στη συγκεκριμένη έρευνα έγινε για να δειχθεί ότι, παρά την αδυναμία πρόβλεψης των φυσικών φαινομένων που προκαλούν τις πλημμύρες, υπάρχει τρόπος να προβλεφθούν οι κίνδυνοι από τις πλημμύρες, και, κατά το μέτρο του δυνατού, να υπάρξει πρόληψη με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων.

Τα δύο βασικά μεγέθη που μπορούν να προσδιοριστούν για μία πλημμύρα είναι η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής. Ανάλογα λοιπόν με την τιμή της παροχής αιχμής και του όγκου της απορροής κατασκευάζονται τα αντιπλημμυρικά έργα που απαιτείται να κατασκευαστούν. Το κόστος κατασκευής αυτών των έργων εξαρτάται από την παροχή αιχμής: όσο μεγαλύτερη η παροχή αιχμής, τόσο μεγαλύτερο και το κόστος κατασκευής.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να προσδιορισθούν οι τιμές της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής, σε συγκεκριμένα σημεία του οδικού τμήματος της Π.Ε.Ο Λάρισας-Βόλου, εκεί δηλαδή που τα ρέματα τέμνουν το υπό μελέτη οδικό τμήμα. Στον υπολογισμό της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής θα συμπεριληφθούν οι κοιλοότητες του εδάφους και θα γίνει μία προσπάθεια να βρεθεί η επίδραση των κοιλοτήτων αυτών του εδάφους στην τελική τιμή τόσο της παροχής αιχμής όσο και του όγκου απορροής για κάποιες περιόδους επαναφοράς και διάρκειες βροχής.

1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει επτά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή και χρησιμοποιείται για να εισάγει τον αναγνώστη στο θέμα. Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει γενικά στοιχεία για τις πλημμύρες, στοιχεία για πλημμύρες σε οδικά δίκτυα, καθώς και μία προσέγγιση από τη Δανική διεύθυνση δρόμων για μια μέθοδο εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου σε εθνικά οδικά δίκτυα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε οδικά δίκτυα. Παρατίθενται συγκεκριμένες μεθοδολογίες από την επιστήμη της υδρολογίας σχετικά με:

- α) τον καθορισμό της βροχόπτωσης σχεδιασμού (ανάλυση των όμβριων καμπυλών, κατάρτιση των υετογραμμάτων σχεδιασμού),
- β) τον υπολογισμό του περισσέυματος της βροχόπτωσης,
- γ) την κατασκευή του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος,
- δ) την διόδευση πλημμύρας τόσο μέσω υδατορεύματος, όσο και μέσω των κοιλοτήτων του εδάφους.

Τέλος, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρεται και το υδρολογικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, το HEC-HMS.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης. Παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τον τρόπο που έγινε η επιλογή της περιοχής μελέτης, γενικά στοιχεία για την περιοχή, όπως γεωμορφολογικά στοιχεία, στοιχεία για το υδατικό δυναμικό της περιοχής και υδρολογικά στοιχεία. Ακόμη, παρουσιάζονται το ψηφιακό μοντέλο της περιοχής (ΨΜΕ), οι τύποι του εδάφους της περιοχής μελέτης και οι χρήσεις γης που υπάρχουν σε αυτή.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, όπως τα βροχομετρικά δεδομένα, τα γεωγραφικά δεδομένα με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, ώστε να εξαχθούν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους τα μορφομετρικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά για τις λεκάνες απορροής. Ακόμη, περιλαμβάνεται και η προετοιμασία των δεδομένων αυτών σε μορφή κατάλληλη για το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας μέσω του προγράμματος HEC-HMS καθώς και τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνεται η εισαγωγή των δεδομένων στο HEC-HMS, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή

λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή μη λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες και η σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών προσεγγίσεων. Τέλος, περιλαμβάνεται και μία ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιέχεται μία σύνοψη της παρούσας εργασίας και τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν.

Τέλος, στο Παράρτημα Α παρατίθενται κάποια υετογράμματα σχεδιασμού, ενώ στα Παράρτημα Β πινακοποιημένα αποτελέσματα που αφορούν την ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης.

2 Το φαινόμενο της πλημμύρας και η επίδραση της σε οδικά δίκτυα

2.1 Γενικά περί πλημμυρών

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία περιοχές, που συνήθως είναι στεγνές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού προέρχονται από:

- την τοπική βροχόπτωση
- την υπερχείλιση ποταμού
- την εισροή της θάλασσας σε παραθαλάσσιες περιοχές
- τη θραύση φράγματος.

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα (αφού συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις), όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο του νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση.

Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με την ανθρώπινη παρέμβαση.

Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία.

Σε μία δεδομένη βροχόπτωση οι ζημιές που θα προκληθούν λόγω πλημμύρας, εξαρτώνται από τρεις κύριους παράγοντες:

- την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων
- την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος που έχει αποτέλεσμα την αύξηση του πλημμυρικού όγκου και τη μείωση του χρόνου συγκέντρωσης των νερών και
- την ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας σε περιοχές που αποτελούν πεδία πλημμυρών με κάποια πιθανότητα.

Τα προστατευτικά μέτρα σχεδιάζονται για να παρέχουν προστασία σε ένα επίπεδο πλημμύρας. Το επίπεδο προστασίας που επιλέγεται εξαρτάται από το κόστος, την επιθυμία της κοινωνίας, την εν δυνάμει ζημία, την επίδραση στο περιβάλλον και άλλους παράγοντες. Η προστασία από τις πλημμύρες δεν είναι ποτέ απόλυτη (Μαμάσης, 2012).

Η αντιμετώπιση των πλημμυρών γίνεται με μία σειρά από μέτρα που διακρίνονται ανάλογα με:

- την κατασκευή ή όχι τεχνικών έργων
- το αν προστατεύουν συγκεκριμένες κατασκευές ή μεγαλύτερες περιοχές
- το αν έχουν σκοπό:
 - a) να διαφοροποιήσουν την πλημμύρα

- b) να μειώσουν την ευπάθεια σε πλημμύρα
- c) να μειώσουν την επίδραση της πλημμύρας

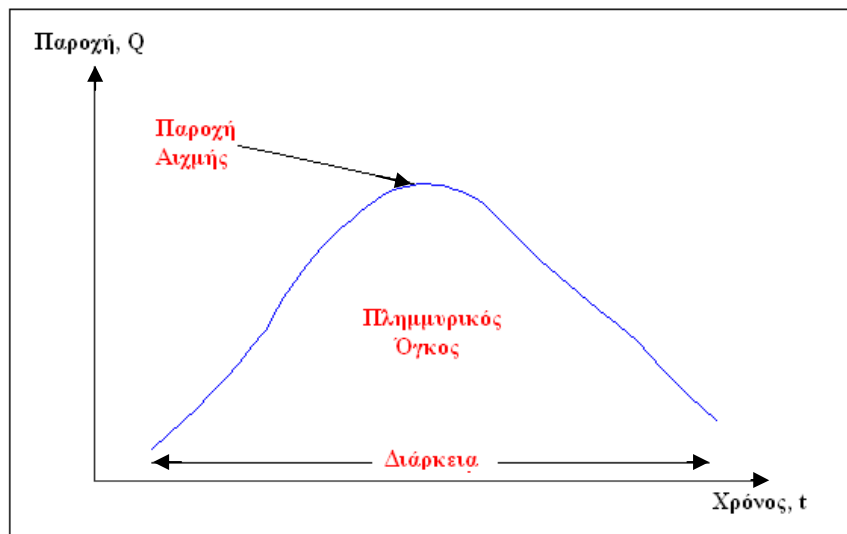
Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμυρών (βροχόπτωση, στάθμη της θάλασσας) είναι φυσικά φαινόμενα, τα οποία δεν μπορούν στην ουσία να προβλεφθούν. Εντούτοις, το εάν μια δεδομένη βροχόπτωση, θα προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες ενέργειες, όπως:

- η αστικοποίηση
- η αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής
- η ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών
- η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλυσης
- η ανεπαρκής αποστράγγιση
- η οικοδόμηση κτιρίων και κατασκευών σε επικίνδυνα πεδία κατάκλυσης.

Τα τρία κύρια μεγέθη της πλημμύρας είναι:

- η παροχή αιχμής
- ο πλημμυρικός όγκος
- η χρονική διάρκεια

και απεικονίζονται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Τα κύρια μεγέθη της πλημμύρας.

Τα μεγέθη των πλημμυρών συνδέονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, ένταση, διάρκεια), της λεκάνης απορροής (έκταση, συντελεστής απορροής, χρόνος συγκέντρωσης) και των υδατορευμάτων (διατομή, κλίση, ταχύτητα, κατάντη στάθμες).

Οι επιπτώσεις από τις πλημμύρες μπορεί να αποβούν καταστροφικές τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για το φυσικό περιβάλλον. Ακόμη οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν καταστροφικές ζημιές σε κατασκευές, όπως π.χ. κτίρια, δρόμοι, κ.α. Οι πλημμύρες μπορεί να έχουν πολύ σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως όταν:

- κατακλύζονται εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων,

- πλήττονται εργοστάσια στα οποία υπάρχουν μεγάλες ποσότητες τοξικών χημικών προϊόντων,
- καταστρέφονται υγρότοποι και μειώνεται η βιοποικιλότητα.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η Ευρώπη επλήγη από περισσότερες από εκατό μεγάλες ζημιογόνες πλημμύρες μεταξύ του 1998 και του 2002, συμπεριλαμβανομένων και των καταστρεπτικών πλημμυρών των ποταμών Δούναβη και Έλβα το 2002. Από το 1998 οι πλημμύρες έχουν προκαλέσει περίπου 700 θανάτους, τον εκτοπισμό σχεδόν μισού εκατομμυρίου ατόμων και τουλάχιστον 25 δισεκατομμύρια ευρώ σε ασφαλισμένες οικονομικές απώλειες (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Environmental issue report no. 35, Έκθεση για περιβαλλοντικά ζητήματα αριθ. 35, 2003).

Οι πλημμύρες στην Ελλάδα οφείλονται συνήθως στις έντονες βροχοπτώσεις. Οι περισσότερες έντονες βροχοπτώσεις παράγονται από το πέρασμα χαμηλών βαρομετρικών, τα οποία συνήθως συνοδεύονται από ψυχρά μέτωπα (και πιο σπάνια από θερμά) και καταφθάνουν από τα δυτικά, νοτιοδυτικά και βορειοδυτικά. Η μείωση των δασικών εκτάσεων και η αστικοποίηση παίζουν επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση πλημμυρών, διότι αυξάνουν την πλημμυρική απορροή και μειώνουν το χρόνο συγκέντρωσης. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι υπεύθυνοι για την αυξανόμενη σοβαρότητα και την καταστροφική δύναμη των πλημμυρικών γεγονότων. Η αποδάσωση και η διάβρωση του εδάφους που αυτή συνεπάγεται είναι ένα σοβαρότατο πρόβλημα στην Ελλάδα.

2.2 Ο πλημμυρικός κίνδυνος σε οδικά δίκτυα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μία πλημμύρα μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις, τόσο στον άνθρωπο, όσο και στο περιβάλλον, αλλά και στις κατασκευές (π.χ. κτίρια, σπίτια, δρόμοι). Υπάρχουν πολλά φαινόμενα πλημμυρών στο παρελθόν σε οδικά δίκτυα. Για να πλημμυρίσει ένα δρόμος πρέπει να συμβαίνουν δύο εκδοχές. Η πρώτη είναι να μην λειτουργεί σωστά το αποχετευτικό δίκτυο των δρόμων, κυρίως επειδή οι σχάρες των όμβριων υδάτων είναι γεμάτες με σκουπίδια ή με χώμα, και η δεύτερη αυτή που θα μας απασχολήσει είναι εάν υπάρχουν ρέματα ή ποτάμια τα οποία τέμνουν το οδικό δίκτυο. Σε αυτή τη περίπτωση, απαιτούνται κάποια έργα τα οποία μπορούν να προστατέψουν το δρόμο από το νερό των ρεμάτων, και ονομάζονται αντιπλημμυρικά έργα. Τα αντιπλημμυρικά έργα είναι κατασκευές οι οποίες μπορούν να προστατέψουν σε περίπτωση πλημμύρας. Τέτοιου είδους έργα μπορεί να είναι αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες, αναχώματα, δίκτυα ομβρίων, εκτροπές ποταμών και άλλα. Στα οδικά δίκτυα τα αντιπλημμυρικά έργα που μπορούν να κατασκευαστούν είναι κυρίως γέφυρες και οχετοί. Οι γέφυρες και οι οχετοί είναι δύο παρόμοιες κατασκευές, αλλά διαφοροποιούνται ανάλογα με τις διατάσεις τους. Οι πιο μεγάλες κατασκευές ονομάζονται γέφυρες, ενώ οι μικρότερες οχετοί. Και οι δύο αυτές κατασκευές έχουν σκοπό την ασφαλή διέλευση των ομβρίων υδάτων μέσω επιχωμάτων οδών, όπου αυτές τέμνονται με ρέματα ή χείμαρρους, αλλά και την προστασία των οδών από πλημμύρες. Για την κατασκευή αυτών των έργων απαιτείται να τεθούν κάποια οικονομικοτεχνικά κριτήρια. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή και το κόστος αυτών εξαρτάται από την παροχή αιχμής, που έχουν τα ρέματα αυτά στο συγκεκριμένο σημείο του δρόμου. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή, τόσο πιο ακριβή θα είναι η κατασκευή. Έτσι λοιπόν, η παροχή αιχμής αποτελεί το πλέον σημαντικό μέγεθος για την μελέτη και την κατασκευή αυτών των έργων.

Πολλές φορές, το έδαφος έχει πολύ σημαντική επίδραση σε μία πλημμύρα. Η δυνατότητα του εδάφους να συγκρατεί μια ορισμένη ποσότητα βροχής καθορίζει μέχρι ένα βαθμό το μέγεθος

της απορροής και της παροχής, οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν πλημμυρικά φαινόμενα. Η ποσότητα της βροχόπτωσης, την οποία θα μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, ορισμένοι εκ των οποίων είναι το βάθος του, η υφή του, η δομή του, η αρχική κατάσταση υγρασίας του, κ.α. Η δομή του εδάφους είναι ικανή να μειώσει την παροχή αιχμής μίας πλημμύρας. Οι κοιλότητες που μπορεί να περιέχει το έδαφος, μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της απορροής και της παροχής μιας πλημμύρας.

Ο κύριος τρόπος λοιπόν, με τον οποίο, μπορούν οι κοιλότητες του εδάφους, να μεταβάλλουν τα πλημμυρικά φαινόμενα, είναι η αποθήκευση του νερού των πλημμυρών και η απόδοση του βαθμιαία μετά το τέλος της πλημμύρας, με αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής αιχμής της πλημμύρας.

Έτσι λοιπόν, οι κοιλότητες του εδάφους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη και την κατασκευή μιας υδραυλικής κατασκευής, όπως είναι οι οχετοί, διότι εάν το ρέμα μέχρι να φτάσει στο σημείο του δρόμου συναντήσει κοιλότητες, τότε αυτό θα σημαίνει ότι οι κοιλότητες θα αποθηκεύσουν κάποιον όγκο νερού, το οποίο έχει ως συνέπεια τόσο η παροχή αιχμής, όσο και ο όγκος της απορροής που θα φτάσει στο σημείο του δρόμου να είναι μειωμένα. Έτσι, λοιπόν εάν υπάρχουν μεγάλες κοιλότητες, οι οποίες θα αποθηκεύσουν μεγάλο όγκο νερού, είναι πολύ πιθανόν η κατασκευή να γίνει με μικρότερο κόστος.

Πρέπει λοιπόν, κατά την υδρολογική μελέτη να μπορεί να εκτιμηθεί εάν η επίδραση αυτών των κοιλοτήτων του εδάφους, είναι τέτοια ώστε να μειώνει τόσο την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής, ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί το έργο με τον πλέον συμφέροντα, ασφαλή και οικονομικό τρόπο.

2.3 Η προσέγγιση των Δανών

Η Δανική διεύθυνση δρόμων βλέποντας τις κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια, οι οποίες έχουν οδηγήσει σε ακραία γεγονότα βροχής, τα οποία αναμένεται να γίνουν συχνότερα στο μέλλον και λαμβάνοντας υπόψη το ιστορικό σε δανικούς δρόμους, ιδιαίτερα το 2007 και 2009 που πολλοί δρόμοι υπέστησαν σοβαρές ζημιές από τις πλημμύρες, αποφάσισε να ξεκινήσει ένα έργο, το οποίο θα προετοιμάσει και θα προστατέψει τους δανικούς δρόμους από τις κλιματικές αυτές αλλαγές. Ανέπτυξε λοιπόν, μία μέθοδο για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε εθνικά οδικά δίκτυα στο νότιο τμήμα της χερσονήσου της Γιουτλάνδης (Nielsen et al., 2011).

Ο στόχος του συγκεκριμένου έργου ήταν: (1) να αναγνωριστούν κάποιες κοιλότητες του εδάφους (blue spots, όπως τις ονομάζουν), οι οποίες είναι πιθανόν να αποθηκεύσουν το νερό, χωρίς δυνατότητα αποστράγγισης αυτού, με αποτέλεσμα να είναι επίφοβες για να προκαλέσουν πλημμύρες και (2) να απεικονιστούν σε χάρτες. Έτσι λοιπόν, αυτοί οι χάρτες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τον σχεδιασμό νέων δρόμων στη φάση της μελέτης για να προσδιορισθούν οι περιοχές κινδύνου, αλλά και στους υπάρχοντες δρόμους, για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Η ανάλυση αυτή για καλύτερη κατανόηση του κινδύνου πλημμυρών χωρίστηκε σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο αναγνωρίζονται οι κοιλότητες του εδάφους (blue spots), με την υπόθεση 100% συντελεστή απορροής, δηλαδή όλο το νερό παραμένει στην κοιλότητα χωρίς καθόλου αποστραγγιστική ικανότητα. Αναγνωρίζονται επίσης, οι περιοχές που κινδυνεύουν από την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας. Τα αναχώματα συμπεριλήφθηκαν κανονικά, προστατεύουν δηλαδή από πλημμύρες, εκτός αν το νερό υπερβεί το ύψος τους. Στο δεύτερο στάδιο υπολογίζονται οι προτιμώμενες διαδρομές του νερού και οι λεκάνες απορροής για

κάθε κοιλότητα, και υπολογίζεται ο κίνδυνος πλημμύρας για τις συμβαλλόμενες περιοχές, με την υπόθεση ότι δεν υπάρχει αποστράγγιση μεταξύ των κοιλοτήτων. Τέλος, στο τρίτο στάδιο γίνεται ένα υδροδυναμικό μοντέλο για τη ροή του νερού μεταξύ κοιλοτήτων. Το υδροδυναμικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Mike Urban και οι υπολογισμοί έγιναν για περιόδους επαναφοράς $T = 100$ και $T = 500$ έτη, για συντελεστή τραχύτητας Manning ίσο με $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ και χρόνο συγκέντρωσης για κάθε λεκάνη ίσο με 14 λεπτά.

Το Ψηφιακό Μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε παράχθηκε από δεδομένα LiDAR και μάλιστα η πυκνότητα των σημείων ήταν $1.6 \times 1.6 \text{ m}$. Για τη συγκεκριμένη μελέτη, το ψηφιακό μοντέλο χωρίστηκε σε τρία μέρη.

Η αναγνώριση των επικίνδυνων σημείων έγινε αποκλειστικά και μόνο με βάση τις κοιλοότητες του εδάφους. Από τις αναγνωρισμένες κοιλοότητες τέθηκε σαν κατώφλι αυτές που θα χρησιμοποιηθούν να έχουν ελάχιστο όγκο 10 m^3 . Επίσης, για κάθε μια από τις κοιλοότητες προσδιορίστηκε η χωρική κατανομή της, το μέγεθος και ο όγκος της. Οι γέφυρες παρουσιάζονταν στο ψηφιακό μοντέλο σαν αναχώματα και δημιουργούσαν ψευδή blue spots με αποτέλεσμα να αφαιρεθούν. Ακόμη, αξιολογήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο η επίδραση της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, για το που θα συσσωρευτεί το νερό βγαίνοντας στην ακτή. Έτσι, πραγματοποιήθηκε το πρώτο επίπεδο της μελέτης, του οποίου τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε περιβάλλον ArcGis.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη είναι σε μορφή χαρτών και αφορούν τα εξής:

- Την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι χάρτες που προέκυψαν παρουσιάζουν τις επικίνδυνες περιοχές για να πλημμυρίσουν από άνοδο της στάθμης της θάλασσας 1, 2, και 3 m. Δείχνουν ακόμη που θα κατευθυνθεί το νερό, όταν βγει στη στεριά, και ποια τμήματα του οδικού δικτύου θα επηρεαστούν από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
- Τις κοιλοότητες με τις προτιμώμενες διαδρομές του νερού μεταξύ αυτών των κοιλοτήτων και τα όρια των λεκανών απορροής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι κοιλοότητες που εξάγονται στους χάρτες έχουν ελάχιστο όγκο 10 m^3 . Για όλες τις κοιλοότητες υπάρχει πίνακας, ο οποίος παρουσιάζει την έκταση και τον όγκο τους. Οι υπολογισμοί έγιναν με τη καλύτερη δυνατή ανάλυση και σαν όριο χρησιμοποιήθηκε το 1 km, γύρω από τις εθνικές οδούς. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται σε χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν τις περιοχές κινδύνου, δηλαδή τις κοιλοότητες, που συσσωρεύουν το νερό και μπορεί να προκαλέσουν πλημμύρες, καθώς και την κατανομή αυτών των κοιλοτήτων με την έκταση, τον όγκο και το μέγιστο βάθος τους. Να σημειωθεί ότι, για τον προσδιορισμό αυτών των κοιλοτήτων έγινε παραδοχή ότι οι επιφάνειες τους ήταν αδιαπέρατες και δεν υπήρχε δυνατότητα μεταφοράς και απορροής του νερού μέσω του αποχετευτικού συστήματος. Ακόμη, μέσω του ψηφιακού μοντέλου, υπολογίστηκαν οι προτιμώμενες διαδρομές του νερού, δηλαδή ποια κατεύθυνση ακολουθεί το νερό όταν κινείται από κοιλότητα σε κοιλότητα και τα όρια των σχετικών λεκανών απορροής καθώς και τη γεωγραφική κατανομή τους. Το ελάχιστο όριο που ορίστηκε για τον υπολογισμό ήταν οι λεκάνες να είχαν έκταση τουλάχιστον ένα εκτάριο (1 ha). Για τον υπολογισμό των προτιμώμενων διαδρομών του νερού και των ορίων των λεκανών απορροής της κάθε κοιλότητας, έγινε η παραδοχή ότι κάθε λεκάνη περιλαμβάνει μία κοιλότητα και δεν υπάρχει ανταλλαγή νερού ανάμεσα στις λεκάνες απορροής. Η συχνότητα των πλημμυρών εκτιμάται σε γενικό επίπεδο στο

ψηφιακό μοντέλο, χωρίς να περιλαμβάνεται σύστημα αποχέτευσης και ο προσδιορισμός του κινδύνου γίνεται όταν μία κοιλότητα γεμίσει πλήρως με νερό. Ο όγκος των κοιλοτήτων σχετίζεται άμεσα με την έκταση των λεκανών απορροής. Δηλαδή, μια μεγάλη λεκάνη απορροής που περιέχει μια μικρή κοιλότητα είναι πιο επικίνδυνη για πλημμύρα, σε σχέση με μία μικρή που περιέχει μια μεγάλη κοιλότητα καθώς απαιτούνται λιγότερα χιλιοστά βροχόπτωσης για να γεμίσει η κοιλότητα της πρώτης λεκανής. Ο υπολογισμός των χιλιοστών βροχής που απαιτούνται, έγινε χρησιμοποιώντας τιμές συντελεστή απορροής 20-40-50-60-80-100%, καθώς, μετά από μία υγρή περίοδο, ο κίνδυνος της επιφανειακής απορροής είναι γενικά υψηλός.

- Υδροδυναμική προσομοίωση για μία συγκεκριμένη, επικίνδυνη για πλημμύρα, περιοχή. Αναγνωρίστηκαν όλες οι κοιλότητες του εδάφους που μπορούν να αποθηκεύσουν νερό στη συγκεκριμένη περιοχή. Έχουν υπολογιστεί από προηγούμενα στάδια όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τις κοιλότητες (έκταση, όγκος). Η προσομοίωση έγινε μέσω του λογισμικού Mike Urban και έγιναν δοκιμές για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ και $T = 500$ έτη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση εξηγούν την επίδραση κάθε κοιλότητας. Για παράδειγμα, στη συγκεκριμένη περιοχή, αποδείχθηκε ότι για περίοδο επαναφοράς 100 έτη μία κοιλότητα 817 m^3 , δεν δέχεται καμία εισροή από ανάντη κοιλότητες, καθώς τα χιλιοστά της βροχής που έπεσε δεν κατάφεραν να τις γεμίσουν. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, θα γέμιζαν και οι ανάντη κοιλότητες και έτσι θα συνεισφέρανε ακόμη περισσότερο και η παροχή προς το δρόμο θα ήταν μεγαλύτερη. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν όλες οι κοιλότητες.
- Προσδιορισμός χαρτών πλημμυρικού κινδύνου. Οι χάρτες πλημμυρών περιλαμβάνουν όλες τις πιθανές επικίνδυνες θέσεις (κοιλότητες). Ακόμη έχει γίνει μία κατάταξη για να δοθεί μεγαλύτερη σημασία στις πιο επικίνδυνες περιοχές. Συγκεκριμένα, κάθε κοιλότητα έχει κατηγοριοποιηθεί σε ένα πίνακα που δείχνει την πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός βροχής και της συνέπειες που αυτό θα προκαλέσει. Έτσι, λοιπόν, κατατάσσονται όλες οι κοιλότητες για να βρεθούν οι πιο επικίνδυνες. Η εφαρμογή αυτών των χαρτών μπορεί να χρησιμεύσει τόσο στην δημιουργία νέων δρόμων, όσο και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε ήδη υπάρχοντες δρόμους.

Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί στην χερσόνησο της Γιουτλάνδης, και είναι άμεσα εφαρμόσιμη και σε άλλες περιοχές της Δανίας. Τα συμπεράσματα και οι χάρτες που προέκυψαν είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, αφού αποτελούν μία βάση στη σχεδίαση νέων οδικών δικτύων και στην προστασία των ήδη υπάρχοντων σε περίπτωση ανάγκης. Να σημειωθεί βέβαια, ότι για την εφαρμογή αντίστοιχων μελετών θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν υψηλής ακρίβειας δεδομένα, για να υπάρχει όσο καλύτερη απεικόνιση της επιφάνειας του εδάφους.

Η συγκεκριμένη μελέτη αποτέλεσε την έμπνευση για την ενασχόληση με τη παρούσα διπλωματική, για το κατά πόσο θα μπορούσε να εφαρμοστεί κάτι αντίστοιχο στην Ελλάδα με τα δεδομένα που είναι εδώ διαθέσιμα και για την επίδραση που έχουν κοιλότητες του εδάφους σε μία πλημμύρα σε τμήματα του οδικού δικτύου.

3 Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου σε οδικά δίκτυα

3.1 Γενικά

Με τον όρο πλημμύρα εννοούμε το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή (επιφανειακή και ταχεία υπεδάφια) είναι τόσο σημαντική ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει τη διοχετευτική ικανότητα του υδατορεύματος και να κατακλύζει τις γύρω περιοχές με όλες τις δυσμενείς συνέπειες που ακολουθούν. Το μέγεθος το οποίο χαρακτηρίζει τον πλημμυρικό κίνδυνο είναι η «πλημμυρική παροχή», το «ύψος ή στάθμη πλημμύρας» και ο «όγκος πλημμύρας». Ο καθορισμός της πλημμύρας σχεδιασμού, δηλαδή της πλημμύρας μιας δεδομένης περιόδου επαναφοράς, είναι απαραίτητο στάδιο για την κατασκευή έργων που αποσκοπούν στη μείωση του κινδύνου από τις πλημμύρες, δηλαδή των αντιπλημμυρικών έργων.

Οι περισσότερες πλημμύρες οφείλονται κυρίως στη συνολική ποσότητα και τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης, στην περατότητα του εδάφους και την τοπογραφία. Το μέγεθος της πλημμύρας σχετίζεται με την ποσότητα και την ένταση της βροχόπτωσης. Οι καταστροφικές πλημμύρες είναι αποτέλεσμα σπάνιων, μεγάλων και έντονων καταιγίδων, ενώ οι μικρότερες πλημμύρες που εμφανίζονται και πιο συχνά, δημιουργούνται από λιγότερο έντονες καταιγίδες (Λέκκας, 1996).

Στην εργασία αυτή διερευνάται η ενδεχόμενη μείωση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην Π.Ε.Ο Λάρισας- Βόλου, λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει διάφορα στάδια για την μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων σε παροχές.

Η μεθοδολογία, λοιπόν λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους, περιλαμβάνει την κατάρτιση των υετογραμμάτων σχεδιασμού, με δοσμένη την όμβρια καμπύλη της περιοχής, τον υπολογισμό των περισσευμάτων της βροχόπτωσης και την παραγωγή του υδρογραφήματος σχεδιασμού, μετά την εξαγωγή του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Ακόμη, περιλαμβάνει τη διόδευση της πλημμύρας τόσο μέσω των υδατορευμάτων, όσο και μέσω των κοιλοτήτων του εδάφους. Η ίδια μεθοδολογία εφαρμόζεται και στην περίπτωση που δεν λαμβάνονται υπόψη οι κοιλότητες του εδάφους, παραλείποντας βέβαια το βήμα της διόδευσης της πλημμύρας μέσω των κοιλοτήτων. Είναι λοιπόν δυνατό να κατασκευαστούν υδρογραφήματα σχεδιασμού τόσο λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους, όσο και παραβλέποντάς τες και να γίνει η διερεύνηση τους για διάφορες περιόδους επαναφοράς.

Για την επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα λογισμικά Η/Υ, όπως το Microsoft Excel, όσο και το λογισμικό HEC-HMS.

3.2 Καθορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού

3.2.1 Ανάλυση όμβριων καμπυλών

Ένα από τα πρώτα βήματα σε τέτοιου είδους προβλήματα είναι ο καθορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού. Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση είναι να χρησιμοποιηθεί μία βροχόπτωση σχεδιασμού που να χρησιμοποιεί μία σχέση μεταξύ της έντασης της βροχόπτωσης, της διάρκειας και της περιόδου επαναφοράς. Κατάλληλες για το σκοπό αυτό είναι οι όμβριες καμπύλες.

Οι όμβριες λοιπόν καμπύλες είναι το κύριο εργαλείο του υδρολόγου μηχανικού σε τέτοιου είδους προβλήματα. Πρόκειται για μαθηματικές παραστάσεις που εκφράζουν τη σχέση της έντασης i , της διάρκειας t και της περιόδου επαναφοράς T της βροχόπτωσης.

Σχετικά με την φύση αυτών των μεταβλητών διευκρινίζεται ότι:

- Η διάρκεια της βροχόπτωσης t δεν αντιπροσωπεύει κάποια πραγματική ολική διάρκεια ισχυρής καταιγίδας, αλλά είναι μία δεδομένη διάρκεια που καθορίζει τη χρονική κλίμακα παρατήρησης του φαινομένου.
- Η ένταση βροχόπτωσης i δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη καταιγίδα, αλλά θεωρείται ως η πραγματοποίηση μιας τυχαίας μεταβλητής I που αντιπροσωπεύει τον πληθυσμό των ισχυρών βροχοπτώσεων, για τη συγκεκριμένη διάρκεια παρατήρησης t . Συνδέεται με το ύψος βροχής της διάρκειας t με τη σχέση 3.1:

$$i = \frac{h}{t} \quad (3.1)$$

και, κατά συνέπεια, αντιπροσωπεύει τη μέση ένταση της βροχόπτωσης και όχι τη στιγμιαία ένταση.

- Η περίοδος επαναφοράς T αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα σε έτη που χρειάζεται κατά μέσο όρο να παρέλθει ώστε η μέση ένταση βροχόπτωσης I σε διάρκεια t να υπερβεί την τιμή i .

Η κατάρτιση της όμβριας καμπύλης δεν έγινε στη παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά δόθηκε έτοιμη η όμβρια καμπύλη της περιοχής (Λάρισας), η οποία ήταν της μορφής

$$i = \frac{\frac{1}{\lambda} \left[\psi - \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]}{t^\eta} \quad (3.2)$$

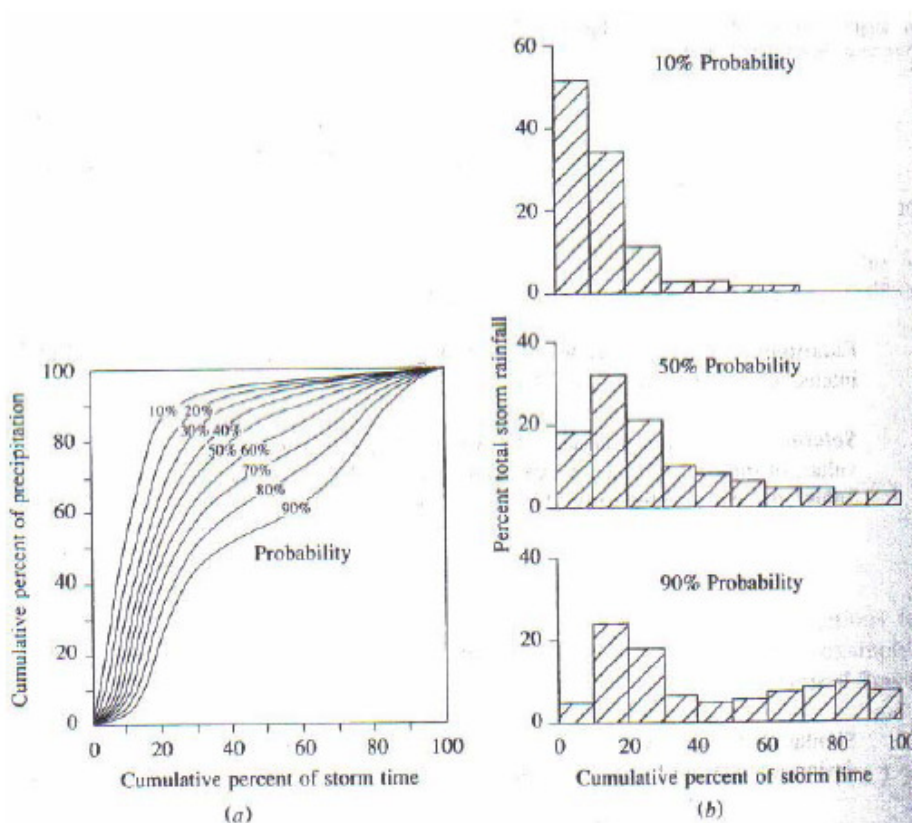
όπου $\psi = 1.140$, $\lambda = 0.110$, $\eta = 0.718$ (για την περιοχή της Λάρισας)

3.2.2 Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού

Η βροχόπτωση σχεδιασμού είναι ένα πρότυπο βροχόπτωσης που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό υδραυλικών έργων. Συνήθως η βροχόπτωση σχεδιασμού εισάγεται στο χρησιμοποιούμενο σύστημα και εξάγονται τιμές παροχών χρησιμοποιώντας σχέσεις βροχόπτωσης-απορροής και διαδικασίες διόδευσης. Μία βροχόπτωση σχεδιασμού μπορεί να προσδιοριστεί με την τιμή του ύψους βροχόπτωσης σε ένα σημείο, με ένα υετόγραμμα σχεδιασμού που καθορίζει τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας ή με ένα χάρτη ισουέτιων καμπυλών, που προσδιορίζει το χρονικό πρότυπο της βροχόπτωσης (Shaw, 1983).

Οι βροχοπτώσεις σχεδιασμού μπορούν να βασιστούν σε ιστορικά δεδομένα βροχόπτωσης σε μία περιοχή ή μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας τα γενικά χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης της γύρω περιοχής.

Με την ανάλυση των παρατηρούμενων γεγονότων βροχόπτωσης μπορεί να προσδιοριστεί η χρονική αλληλουχία της βροχόπτωσης σε τυπικές καταιγίδες. Ο Huff (1967) ανέπτυξε πρότυπα χρονικής κατανομής για ισχυρές καταιγίδες σε περιοχές που κυμαίνονταν μέχρι τα 400 mi² στο Illinois των ΗΠΑ. Τα πρότυπα αναπτύχθηκαν για τέσσερις ομάδες στις οποίες μπορεί να χωριστούν οι βροχοπτώσεις, από την ομάδα με τις πιο ισχυρές (πρώτο τεταρτημόριο) μέχρι τις λιγότερο ισχυρές (τελευταίο τεταρτημόριο). Το Σχήμα 3.1 (a) δείχνει την κατανομή της αθροιστικής βροχόπτωσης ως συνάρτηση του ποσοστού χρόνου βροχόπτωσης για διάφορες πιθανότητες (για το πρώτο τεταρτημόριο). Η πιθανότητα αυτή εκφράζει το αν η πραγματική κατανομή της βροχόπτωσης βρίσκεται στα αριστερά της αντίστοιχης καμπύλης. Το Σχήμα 3.1 (b) δείχνει επιλεγμένα ιστογράμματα καταιγίδων του πρώτου τεταρτημορίου για συγκεκριμένη αθροιστική πιθανότητα εμφάνισης.

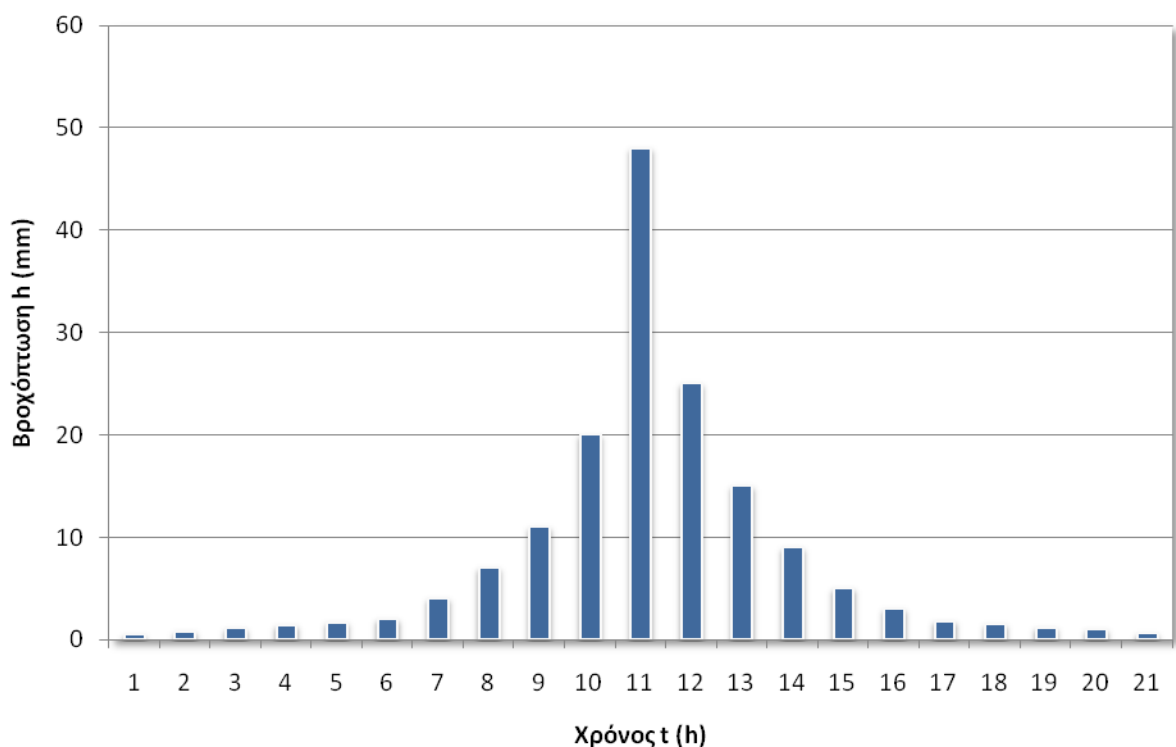


Σχήμα 3.1: α) Χρονική κατανομή για καταιγίδες του πρώτου τεταρτημορίου για διάφορες πιθανότητες. β) Επιλεγμένα ιστογράμματα για καταιγίδες του πρώτου τεταρτημορίου (Chow et al., 1988).

Οι μέθοδοι που είχαν αναπτυχθεί χρόνια πριν στον υδρολογικό σχεδιασμό, όπως η ορθολογική μέθοδος χρησιμοποιούσαν μόνον τη παροχή αιχμής και δε λάμβαναν υπόψη τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Οι πιο πρόσφατες μέθοδοι χρησιμοποιούν προβλέψεις του νετογράμματος σχεδιασμού για να αποκτηθεί το υδρογράφημα σχεδιασμού. Παρακάτω αναπτύσσεται μία τέτοια μέθοδος παραγωγής νετογράμματος σχεδιασμού από μία όμβρια

καμπύλη. Αυτή είναι και η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική με τη χρήση της όμβριας καμπύλης που αναφέρθηκε παραπάνω.

Η μέθοδος αυτή είναι η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating blocks) (Chow et al., 1988), η οποία είναι ένας απλός τρόπος παραγωγής ενός εικονικού υετογράμματος με διαθέσιμη την όμβρια καμπύλη. Η μέθοδος αυτή δίνει μία ικανοποιητική μέση λύση, αφού δεν υπάρχουν επαρκή ιστορικά δεδομένα για να καταλήξουμε με ακρίβεια σε μία συγκεκριμένη κατανομή της βροχόπτωσης. Το υετόγραμμα σχεδιασμού που παράγεται από αυτή τη μέθοδο ορίζει το ύψος βροχόπτωσης που συμβαίνει σε n διαδοχικά χρονικά διαστήματα διάρκειας Δt σε μία ολική διάρκεια $d = n\Delta t$. Μετά την επιλογή της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού, η ένταση υπολογίζεται από την όμβρια καμπύλη για κάθε μία από τις διάρκειες $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$, ενώ το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης βρίσκεται σαν γινόμενο της έντασης βροχόπτωσης και της αντίστοιχης διάρκειας. Παίρνοντας τις διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών υψών βροχόπτωσης, βρίσκεται το ποσό της βροχόπτωσης που είναι να προστεθεί για κάθε επιπρόσθετη μονάδα χρόνου Δt . Τα μπλοκ βροχόπτωσης που παράγονται καταγράφονται καταρχήν με φθίνουσα σειρά από το μεγαλύτερο στο μικρότερο. Κατόπιν, ανακατανέμονται ώστε το μέγιστο ύψος να τοποθετηθεί στο κεντρικό μπλοκ και τα εναπομείναντα μπλοκ με φθίνουσα σειρά και με εναλλαγή μία στα δεξιά και μία στα αριστερά του κεντρικού μπλοκ σχηματίζοντας έτσι το υετόγραμμα σχεδιασμού (Σχήμα 3.2) (Chow et al., 1988).



Σχήμα 3.2: Τυπικό υετόγραμμα σχεδιασμού με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

3.3 Υπολογισμός περισσέυματος βροχόπτωσης

3.3.1 Γενικά

Μετά τον σχηματισμό και την πτώση της βροχής και πριν την δημιουργία της απορροής, αρχίζουν διάφορες διεργασίες που συντελούν σε αυτό που ονομάζεται απώλειες της βροχής.

Πιο συγκεκριμένα, από την ποσότητα της βροχής (και πριν αυτή φτάσει στο έδαφος) ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και άλλα ψηλά εμπόδια και λέγεται συγκράτηση. Συνήθως το τμήμα αυτής της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στη φυτοκομή και εξατμίζεται λέγεται απώλεια συγκράτησης.

Χρονικά έπεται η πτώση της βροχής στο έδαφος και ακολουθεί το φαινόμενο της διήθησης που αποτελεί επίσης απώλεια. Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και διήθησης και εφόσον η βροχή συνεχίζεται, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του ανάγλυφου. Ακολουθεί η επιφανειακή αποθήκευση. Το νερό που συγκεντρώνεται σε αυτές τις κοιλότητες ή στην επιφάνεια εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί επίσης απώλεια.

Το τμήμα που δημιουργεί την επιφανειακή απορροή και είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους απώλειες λέγεται καθαρή βροχή. Στην απορροή είναι δύσκολο να απομονώσουμε την επιφανειακή απορροή επειδή στο μέρος της επιπλέον απορροής που ακολουθεί ένα γεγονός βροχής, γνωστής ως άμεσης απορροής, εμπεριέχεται και η ταχεία υπεδάφια ροή. Για το λόγο αυτό, το μέρος της βροχής που προκαλεί την άμεση απορροή είναι η καθαρή βροχή και το τμήμα που προκαλεί την ταχεία υπεδάφια ροή (που ουσιαστικά εμπεριέχεται στο μέρος που διηθείται), που μαζί αναφέρονται απλοποιητικά περίσσειμα βροχής.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι οι κυριότερες απώλειες της βροχής είναι οι εξής:

- Η απώλεια συγκράτησης φυτοκόμης. Η απώλεια συγκράτησης είναι, όπως είναι φυσικό συνάρτηση της ικανότητας και του τύπου βλάστησης. Επομένως η απώλεια αυτή μπορεί να είναι σημαντική κυρίως σε περιπτώσεις πυκνής κάλυψης. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι σε δασικές περιοχές υγρού κλίματος έχουν παρατηρηθεί απώλειες συγκράτησης που φτάνουν μέχρι και το 25% του ετήσιου βροχομετρικού ύψους (Pierce et al., 1970).
- Το φαινόμενο της διήθησης. Το φαινόμενο της διήθησης παρακολουθείται με τη μέτρηση της ταχύτητας διήθησης (ταχύτητα με την οποία το νερό εισέρχεται στο έδαφος από την επιφάνεια του) σε κάθε χρονική στιγμή ή με τη μέτρηση της αθροιστικής διήθησης (του συνολικού όγκου νερού που διηθήθηκε). Η ταχύτητα διήθησης του νερού της βροχής και κατ' επέκταση η απώλεια λόγω διήθησης εξαρτάται από δύο παράγοντες: την διηθητικότητα του εδάφους (δηλαδή την ικανότητα του εδάφους για διήθηση) και την ένταση της βροχής.
- Η απώλεια συγκράτησης σε επιφανειακές κοιλότητες. Η απώλεια αυτή εξαρτάται κυρίως από το ανάγλυφο.

Είναι λοιπόν εμφανές ότι η εκτίμηση των απωλειών της βροχής είναι συνήθως ένα δύσκολο πρόβλημα που εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης όσο και από τα χαρακτηριστικά της βροχής. Η καθαρή βροχή προκύπτει ως τμήμα της βροχής μετά την αφαίρεση των διαφόρων απωλειών (συγκράτηση φυτοκόμης, συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες και διήθηση).

Πέρα από την αναλυτική εκτίμηση των απωλειών λόγω συγκράτησης και διήθησης υπάρχει η ανάγκη αδρομερούς εκτίμησης των συνολικών απωλειών με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να συσχετιστούν με την άμεση απορροή. Αυτό επιτυγχάνεται με μετρημένα στοιχεία βροχόπτωσης και απορροής. Με τον τρόπο αυτό, προσδιορίζονται διάφοροι δείκτες που μπορούν μετά να χρησιμοποιούνται για την λεκάνη και οποιαδήποτε βροχή για τον προσδιορισμό του περισσεύματος βροχής.

Σύμφωνα με μία προσέγγιση οι συνολικές απώλειες μπορούν αδρομερώς να εκτιμηθούν ως περίπου ίσες με την αθροιστική ποσότητα διήθησης που ακολουθεί το φαινόμενο της βροχής.

Σήμερα για τον υπολογισμό του περισσεύματος βροχής επινοήθηκαν και χρησιμοποιούνται ποσότητες γνωστές ως Δείκτες απωλειών.

Οι πιο διαδεδομένοι δείκτες είναι:

- Ο δείκτης Φ
- Ο δείκτης W
- Ο συντελεστής απορροής C

Ο υπολογισμός του περισσεύματος βροχής στη συγκεκριμένη εργασία θα γίνει με τη μέθοδο SCS, η οποία θα περιγραφεί αναλυτικά παρακάτω.

3.3.2 Εκτίμηση περισσεύματος βροχής με τη μέθοδο SCS

Είναι φανερό ότι στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες η εκτίμηση του περισσεύματος βροχής αποτελεί ουσιαστικά δύσκολο πρόβλημα. Η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ παρουσίασε μία μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος της βροχής από μία δεδομένη βροχή με την βοήθεια τριών μεταβλητών: του ύψους βροχής, της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους και του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους-καλύμματος, το οποίο αντιπροσωπεύει τον τύπο του εδάφους από υδρολογική άποψη και την κατηγορία φυτοκάλυψης και χρήσης γης. Αυτό μπορεί να εκφραστεί με το αριθμό καμπύλης απορροής CN (SCS, 1972).

Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS έγινε η εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες (συγκράτησης και εξάτμισης) είναι 20% των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ βροχής (h_r) και περισσεύματος βροχής (h_R).

Σύμφωνα με τη μέθοδο:

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2S)^2}{(h_r + 0.8S)} \quad \text{για } h_r > 0.2S \quad (3.3)$$

$$h_R = 0 \quad \text{για } h_r < 0.2S \quad (3.4)$$

Όπου h_R : το ύψος του περισσεύματος βροχής (ή άμεση απορροή)

h_r : το ύψος βροχόπτωσης

S : το μέγιστο θεωρητικό ύψος απωλειών

Εάν είναι διαθέσιμα δεδομένα απορροών εξάγονται οι συνολικές απώλειες (S) από την εξίσωση 3.5 και προκύπτει:

$$S = 5h_r + 10h_R - 10\sqrt{h_R(h_R + 1.25h_r)} \quad (3.5)$$

Επιπλέον το μέγιστο ύψος των συνολικών απωλειών (S) μπορεί να εκτιμηθεί με την χρήση της παραμέτρου CN από την εξίσωση 3.6:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{σε mm}) \quad (3.6)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και χρήσης γης στη λεκάνη απορροής καθώς και τις

προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας, οι οποίες εξαρτώνται από τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από τις προηγούμενες.

Αρχικά, η υπηρεσία SCS κατατάσσει τα εδάφη στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την διαπερατότητα και την βασική διηθητικότητα τους:

- Κατηγορία A: Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη.
- Κατηγορία B: Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφριάς σύστασης εδάφη, π.χ. αμμώδης πηλός.
- Κατηγορία C: Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου και εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.
- Κατηγορία D: Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπογείου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα, π.χ. πλαστικές άργιλοι.

Κατόπιν, η SCS ορίζει τους ακόλουθους τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας (AMC):

- 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 (ή 35 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).
- Τύπος II: Μέσες συνθήκες. Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεταξύ 13 και 38 mm (ή μεταξύ 35 και 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).
- Τύπος III: Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεγαλύτερη από 38 mm (ή μεγαλύτερη από 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

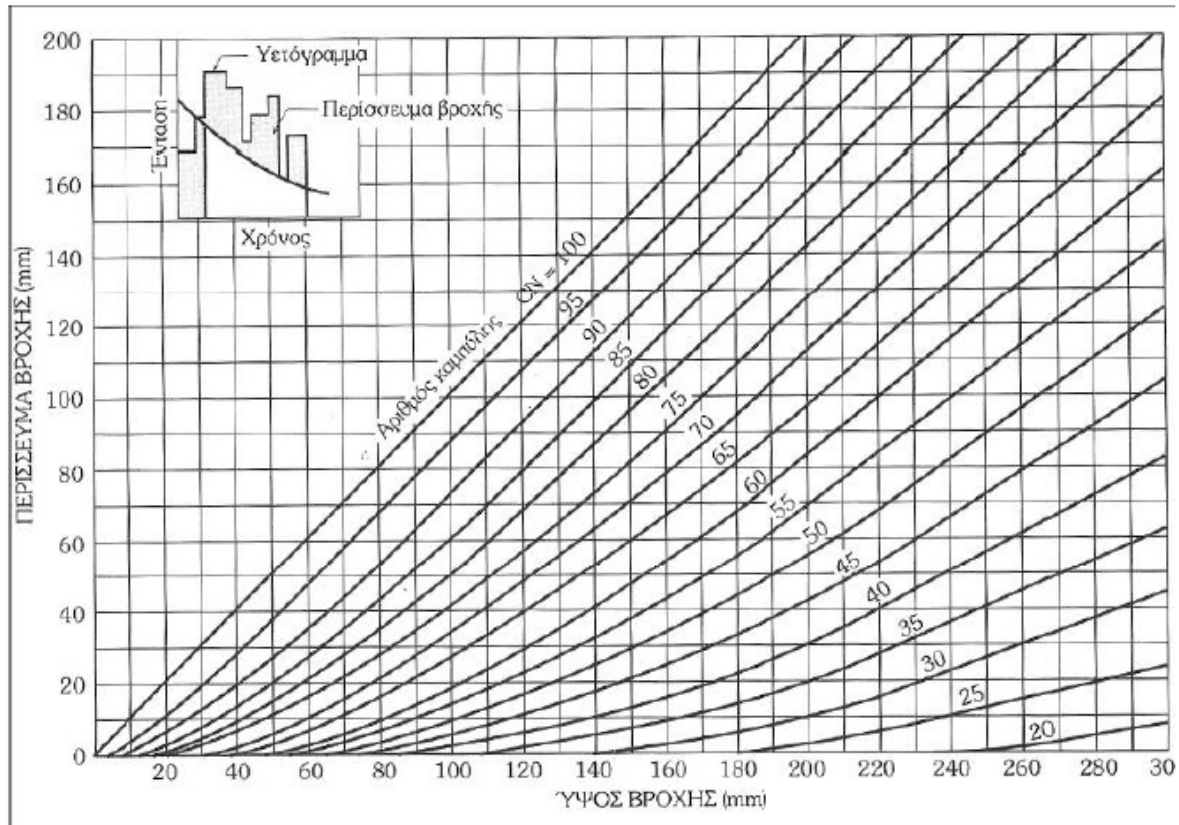
Για συνθήκες υγρασίας Τύπου II, η SCS δίνει τις τιμές του αριθμού CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης, τις οποίες παρουσιάζει παρακάτω ο Πίνακας 3.1. Επειδή, οι κατηγορίες χρήσης γης και φυτοκάλυψης που περιέχει ο Πίνακας 3.1 δεν αντιπροσωπεύουν τις Ελληνικές συνθήκες, προτείνονται οι τιμές που έδωσε ο Wanielista (1978) στο CN για τις ίδιες συνθήκες υγρασίας (Τύπου II) και παρουσιάζει παρακάτω ο Πίνακας 3.2. Το περίσσειμα βροχής, h_R , προκύπτει με είσοδο το ύψος βροχής, h_T , και με γνωστό τον αριθμό καμπύλης CN από το Σχήμα 3.3.

Πίνακας 3.1: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS για αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας (AMC) τύπου II (Chow et al., 1988).

Περιγραφή χρήσης γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους					
	A	B	C	D		
Καλλιεργημένες εκτάσεις	62 - 72	71 - 81	78 - 88	81 - 91		
Λιβάδια, βοσκότοποι	30 - 68	58 - 79	71 - 86	78 - 89		
Δάση	25 - 45	55 - 66	70 - 77	77 - 83		
Ανοιχτοί χώροι, πάρκα, νεκροταφεία κτλ.						
με κάλυψη από πράσινο > 75%	39	61	74	80		
με κάλυψη από πράσινο < 75%	49	69	79	84		
Εμπορικές περιοχές	89	92	94	95		
Βιομηχανικές ζώνες (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		

Πίνακας 3.2: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) για αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας (AMC) τύπου II (Wanielista, 1978).

Χρήσεις Γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις				
• Χωρίς έργα συντήρησης	72	81	88	91
• Με έργα συντήρησης	62	71	78	81
Ορεινοί βοσκότοποι				
• Κακή κατάσταση	68	79	86	89
• Καλή κατάσταση	39	61	74	80
Λιβαδικές εκτάσεις				
• Καλή κατάσταση	30	58	71	78
Δασικές εκτάσεις				
• Αραιή συστάδα	45	66	77	83
• Πυκνή συστάδα	25	55	70	77
Ελεύθερες εκτάσεις, γήπεδα γκολφ, πάρκα				
• Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης	39	61	74	80
• Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της περιοχής	49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατες)	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές				
Μέσο μέγεθος οικοπέδου Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας				
<500		65		
1000		40		
1500		30		
2000		25		
4000		20		
Χώροι πάρκινγκ, στέγες, κ.λ.π.	98	98	98	98
Δρόμοι				
• με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων	98	98	98	98
• χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
• χωματόδρομοι	72	82	87	89
Αστικές συνθήκες				
• Γυμνό έδαφος	77	86	91	94
• Κήποι ή θάμνοι	72	81	88	91
• Μεγάλη κάλυψη με πράσινο (>75% της διαπερατής περιοχής)	39	61	74	80
• Μέτρια κάλυψη πρασίνου (50-75% της διαπερατής περιοχής)	49	69	79	84
• Μικρή κάλυψη πρασίνου (<50% της διαπερατής περιοχής)	68	79	86	89
• Άλση	36	60	73	79



Σχήμα 3.3: Υπολογισμός του περισσέυματος βροχής με τη μέθοδο SCS (Τσακίρης, 1995).

Για τους άλλους δύο τύπους συνθηκών υγρασίας γίνεται αναγωγή του CN με βάση τις σχέσεις 3.7 και 3.8:

$$CN_I = \frac{0.42CN_{II}}{1 - 0.0058CN_{II}} \quad (3.7)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 + 0.013CN_{II}} \quad (3.8)$$

3.4 Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα

3.4.1 Γενικά

Ως μοναδιαίο υδρογράφημα μιας βροχής διάρκειας περισσέυματος t_R ομοιόμορφα κατανεμημένης σε μία λεκάνη απορροής ονομάζεται το αντίστοιχο υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προήλθε από περίσσευμα βροχής $h_R = 1$ cm. Το μοναδιαίο υδρογράφημα (ΜΥΓ) είναι ουσιαστικά ένα μοντέλο που περικλείει όλα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και αναφέρεται στη συγκεκριμένη διάρκεια περισσέυματος βροχής. Για κάθε δηλαδή διάρκεια περισσέυματος υπάρχει και ένα διαφορετικό μοναδιαίο υδρογράφημα, το οποίο αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό του υδρογραφήματος άμεσης απορροής από οποιοδήποτε ύψος περισσέυματος της ίδιας διάρκειας. Αυτός είναι και ο λόγος που ονομάζεται μοναδιαίο.

Η χρησιμότητα του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι μεγάλη, διότι το ΜΥΓ μπορεί να μετασχηματιστεί κάτω από ορισμένες παραδοχές οποιοδήποτε περίσσευμα ραγδαίας βροχής διαφορετικής έστω διάρκειας σε υδρογράφημα της άμεσης απορροής.

Οι αρχές που στηρίζεται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι οι ακόλουθες:

- Αρχή της αναλογίας. Σύμφωνα με την αρχή αυτή δύο βροχές με περίσσειμα βροχόπτωσης της ίδιας διάρκειας αλλά με διαφορετικές εντάσεις περισσεύματος βροχόπτωσης δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση αλλά με τεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων. Δηλαδή για εντάσεις με λόγο k μεταξύ τους αλλά της ίδιας διάρκειας προκύπτουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με τεταγμένες που έχουν λόγο k και την ίδια χρονική βάση T .
- Αρχή της επαλληλίας. Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας το συνολικό υδρογράφημα άμεσης απορροής που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των υδρογραφημάτων άμεσης απορροής των επιμέρους βροχοπτώσεων.

Οι παραπάνω αρχές πηγάζουν ουσιαστικά από τις ακόλουθες παραδοχές (Linsley et al., 1949) που αποτελούν και προϋποθέσεις για την χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος:

- Η κατανομή του περισσεύματος της βροχής στο χώρο και στο χρόνο είναι η ίδια για βροχές με την ίδια διάρκεια.
- Η ένταση της βροχής είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του γεγονότος της βροχής.
- Δύο ραγδαίες βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικού ύψους περισσεύματος βροχής δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με τεταγμένες ανάλογες των υψών περισσεύματος βροχής
- Από δύο ραγδαίες βροχές με το ίδιο ύψος περισσεύματος της βροχής και την ίδια διάρκεια που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους προκύπτουν εντελώς όμοια μοναδιαία υδρογραφήματα.
- Για μία λεκάνη απορροής το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος δεδομένης διάρκειας βροχής αντιπροσωπεύει τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.

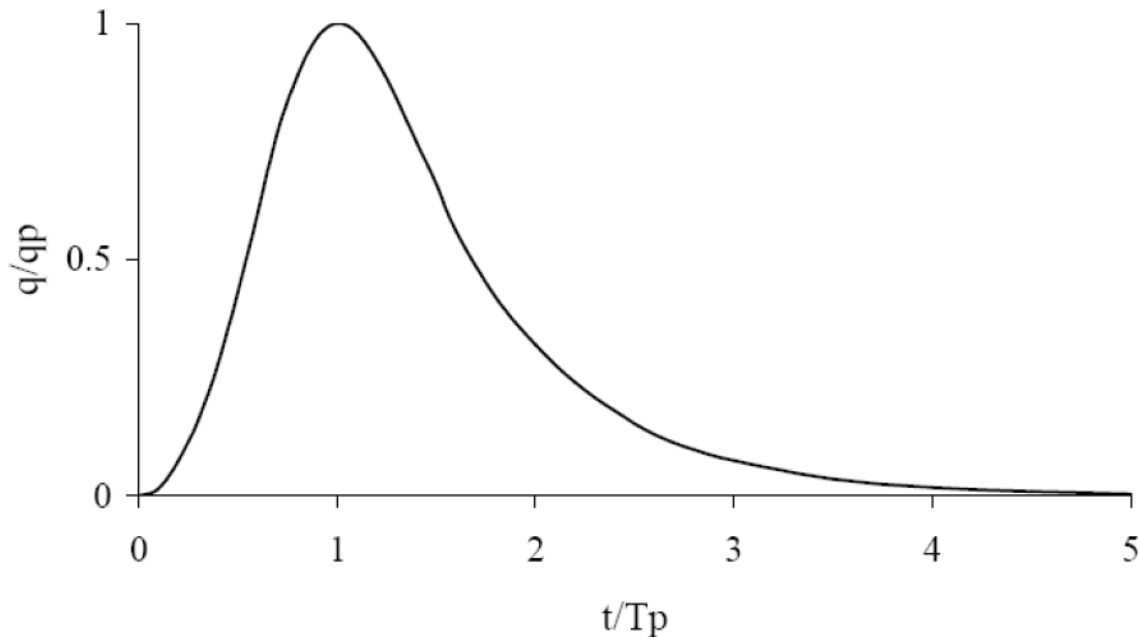
Το μοναδιαίο υδρογράφημα που παράγεται από δεδομένα βροχοπτώσεων και παροχών σε μία λεκάνη απορροής, βρίσκει εφαρμογή μόνο στη συγκεκριμένη λεκάνη και στο σημείο του υδατορεύματος όπου έχουν ληφθεί στοιχεία για την παροχή. Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη μοναδιαίων υδρογραφημάτων για άλλες τοποθεσίες από τις οποίες διέρχεται το υδατόρευμα, στην ίδια λεκάνη απορροής ή σε παρακείμενες λεκάνες με παρόμοια χαρακτηριστικά. Τρεις τύποι συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων χρησιμοποιούνται:

- Εκείνα που συσχετίζουν χαρακτηριστικά υδρογραφημάτων (παροχή αιχμής, χρόνος βάσης, κ.τ.λ.) με χαρακτηριστικά λεκανών απορροής, όπως το συνθετικό υδρογράφημα κατά Snyder.
- Εκείνα που βασίζονται σε ένα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα, όπως το μοναδιαίο υδρογράφημα της Soil Conservation Service (SCS).
- Εκείνα που βασίζονται σε μοντέλα αποθήκευσης, όπως το συνθετικό υδρογράφημα κατά Clark.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS, το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω.

3.4.2 Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS

Το συγκεκριμένο μοναδιαίο υδρογράφημα είναι ένα συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα, στο οποίο η παροχή εκφράζεται από το λόγο της παροχής Q προς την παροχή αιχμής Q_p , ενώ στον άξονα x , απεικονίζεται ο λόγος του χρόνου t προς τον χρόνο ανόδου T_p . Με γνωστή την παροχή αιχμής και τον χρόνο υστέρησης για τη διάρκεια του περισσέυματος βροχόπτωσης, υπολογίζεται το μοναδιαίο υδρογράφημα για την εκάστοτε λεκάνη απορροής. Στο Σχήμα 3.4 απεικονίζεται το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.



Σχήμα 3.4: Αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.

Μπορεί ναδειχθεί ότι η παροχή αιχμής είναι:

$$Q_p = \frac{C_u A}{T_p} \quad (3.9)$$

όπου $C_u = 2.08$ και A το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε km^2 .

Επιπλέον μία μελέτη μοναδιαίων υδρογραφημάτων από πολλές μεγάλες και μικρές λεκάνες απορροής έδειξε ότι ο χρόνος υστέρησης ισούται με $t_p = 0.6t_c$, όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης. Επίσης, ο χρόνος ανόδου μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του χρόνου υστέρησης και της διάρκειας του περισσέυματος βροχόπτωσης t_R από τον τύπο 3.10:

$$T_p = \frac{t_R}{2} + t_p \quad (3.10)$$

3.5 Διόδευση πλημμύρας διαμέσου υδατορεύματος

3.5.1 Γενικά

Διόδευση πλημμύρας ονομάζεται η τεχνική που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της χωροχρονικής εξέλιξης μιας πλημμύρας μέσω ενός επιφανειακού υδροφορέα (π.χ. υδατόρευμα, ταμιευτήρας, τμήμα υδρογραφικού δικτύου). Γενικότερα, η διόδευση

αναφέρεται στην επίδραση των χαρακτηριστικών ενός υδρογραφικού συστήματος στο σχήμα και την χρονική εξέλιξη μιας πλημμύρας.

Η τεχνική της διόδευσης χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας. Η διαδικασία σχεδιασμού που συνήθως ακολουθείται είναι με δοκιμές. Δηλαδή, δίνονται αρχικά μεγέθη σχεδιασμού με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά του επιφανειακού υδροφορέα (π.χ. ταμιευτήρας) να είναι γνωστά. Ακολουθεί η διόδευση της πλημμύρας μελέτης (της πλημμύρας με την κατάλληλη περίοδο επαναφοράς για το συγκεκριμένο έργο) και τέλος ελέγχονται τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εκροής σε σχέση με την ικανότητα του υδατορεύματος στην κατάντη θέση που μας ενδιαφέρει. Στην περίπτωση που η μέγιστη παροχή εκροής (αιχμή του υδατογραφήματος εκροής) είναι μεγαλύτερη της διοχετευτικής ικανότητας του ρεύματος στη θέση αυτή, δοκιμάζονται άλλα χαρακτηριστικά του υπό σχεδιασμό επιφανειακού υδροφορέα.

Η τεχνική της διόδευσης χρησιμοποιείται και στην πρόβλεψη και τον έλεγχο της πλημμύρας σε πραγματικό χρόνο και φτάνει και μέχρι τα συστήματα προειδοποίησης για την μείωση των δυσμενών επιπτώσεων από την πλημμύρα. Στην περίπτωση του πραγματικού χρόνου γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εισροής σε μία θέση και προβλέπουμε την εξέλιξη της πλημμύρας εκροής στη θέση που μας ενδιαφέρει για τις αμέσως επόμενες ώρες.

Επίσης, η τεχνική της διόδευσης αποτελεί σημαντικό τμήμα των μοντέλων μετασχηματισμού των βροχοπτώσεων σε απορροές στην περίπτωση έλλειψης στοιχείων απορροής. Τέλος, χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πληροφοριών απορροής από τη θέση ενός υδρομετρικού σταθμού στη θέση που μας ενδιαφέρει.

Δύο είναι οι χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες διόδευσης:

- Η υδρολογική, και
- Η υδραυλική

a) Η υδρολογική βασίζει την πρόβλεψη εξέλιξης της πλημμύρας στην εξίσωση της συνέχειας και σε μία συνάρτηση της χωρητικότητας του συστήματος. Αν ο φορέας διαμέσου του οποίου γίνεται η διόδευση είναι ταμιευτήρας απαιτείται επιπλέον και μία συνάρτηση που συνδέει την παροχή εκροής με την αποθήκευση του φορέα.

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν δεδομένα της πλημμύρας εισόδου και προβλέπουν τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εξόδου. Οι μέθοδοι αυτές δε δίνουν πληροφορίες για την πλήρη χωροχρονική εξέλιξη της πλημμύρας και δεν απαιτούν γνώσεις των χαρακτηριστικών του φορέα (κλίσεις, διατομές, κ.τ.λ.).

b) Η υδραυλική βασίζει την μαθηματική αναπαράσταση της εξέλιξης της πλημμύρας στην χρησιμοποίηση των εξισώσεων ασταθούς ροής σε ανοικτούς αγωγούς (εξισώσεις Saint Venant).

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας δίνουν όλες τις πληροφορίες κατά τη διέλευση μιας πλημμύρας μέσω ενός υδρογραφικού δικτύου, χρησιμοποιούν όμως στοιχεία που σπάνια είναι γνωστά και οι παραδοχές που γίνονται για την απλοποίηση και την επίλυση των εξισώσεων, ανατρέπουν σε κάποιο βαθμό την ακρίβεια και την αξιοπιστία των μεθόδων αυτών.

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος διόδευσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η υδρολογική μέθοδος- μέθοδος Muskingum, η οποία θα παρουσιαστεί αναλυτικά παρακάτω.

3.5.2 Διόδευση πλημμύρας με τη μέθοδο Muskingum

Για υδρολογική διόδευση πλημμύρας διαμέσου τμήματος ποταμού, η μέθοδος Muskingum χρησιμοποιεί την απλοποιημένη εξίσωση συνέχειας σε ένα τμήμα ποταμού

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (3.11)$$

όπου: I : η εισροή στο τμήμα του ποταμού

Q : η εκροή

S : η αποθήκευση στο τμήμα του ποταμού

t : ο χρόνος

Η σχέση αποθήκευσης με την εισροή και την εκροή εκφράζεται μετά από απλοποίηση, με μία γραμμική σχέση:

$$S = K [xI + (1-x)Q] \quad (3.12)$$

όπου: K : σταθερά που προσεγγίζεται από το μέσο χρόνο διαδρομής της αιχμής της πλημμύρας διαμέσου τμήματος σε μονάδες χρόνου.

x : αδιάστατος αριθμός που λαμβάνει τιμές από 0 έως 0,5.

Η εξίσωση 3.11 μετά από μετασχηματισμό σε πεπερασμένες διαφορές για διάστημα Δt μετατρέπεται:

$$S_{i+1} - S_i = K [x(I_{i+1} - I_i) + (1-x)(Q_{i+1} - Q_i)] \quad (3.13)$$

και έτσι η εξίσωση που δίνει την εκροή στο επόμενο χρονικό βήμα είναι:

$$Q_{i+1} = C_0 I_{i+1} + C_1 I_i + C_2 Q_i \quad (3.14)$$

όπου:

$$C_0 = \frac{-Kx + 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \quad (3.15)$$

$$C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \quad (3.16)$$

$$C_2 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \quad (3.17)$$

Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι για την χρησιμοποίηση της μεθόδου θεωρείται ότι η ροή στο υδατόρευμα είναι μόνιμη και ομοιόμορφη πριν την εκδήλωση της πλημμύρας εισόδου,

Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι για τον προσδιορισμό των παραμέτρων K και x χρησιμοποιούνται υδρογραφήματα εισροής και εκροής εάν είναι διαθέσιμα. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα τέτοια υδρογραφήματα όπως συνέβη και στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας έγινε μία εκτίμηση των δύο αυτών παραμέτρων με τρόπο ο οποίος θα αναφερθεί επόμενο κεφάλαιο.

3.6 Διόδευση πλημμύρας μέσω κοιλοτήτων του εδάφους

3.6.1 Γενικά

Στην περίπτωση διόδευσης πλημμύρας διαμέσου κοιλοτήτων του εδάφους (λειτουργούν σαν ταμιευτήρας) η υπολογιστική διαδικασία στηρίζεται στην εξίσωση της συνέχειας:

$$S_2 + \frac{\Delta t}{2} Q_2 = S_1 + \frac{\Delta t}{2} (I_2 + I_1 - Q_1) \quad (3.18)$$

όπου το δεύτερο μέλος είναι γνωστό σε κάθε βήμα της διαδικασίας υπολογισμού. Επίσης απαιτείται η σχέση μεταξύ αποθήκευσης και εκροής που δίνεται συνήθως έμμεσα από τις συναρτήσεις:

- i. Αποθήκευσης-Στάθμης νερού στον ταμιευτήρα (κοιλότητα)

$$S = f_1(H) \quad (3.19)$$

- ii. Στάθμης-Παροχής εκροής (π.χ. από υπερχειλιστή)

$$Q = f_2(H) \quad (3.20)$$

Η παροχή της εκροής από κάθε κοιλότητα από δύο κύριους παράγοντες:

1. Την παροχευτικότητα του υπερχειλιστή ευρείας στέψης που σχηματίζεται και
2. την παροχευτικότητα του κατάντη φυσικού ανοικτού αγωγού για κάθε στάθμη ύδατος.

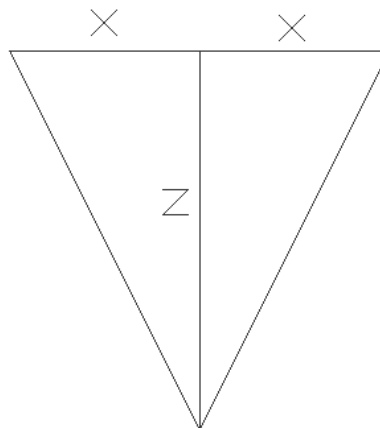
Κάνοντας την παραδοχή ότι, λόγω του πεδινού χαρακτήρα της περιοχής, ο δεύτερος παράγοντας υπερέχει προσδιορίζουμε τη καμπύλη στάθμης-παροχής εκροής όπως φαίνεται στο επόμενο εδάφιο.

3.6.2 Προσδιορισμός καμπύλης Στάθμης-Παροχής εκροής

Η παροχή εκροής για κάθε στάθμη θα υπολογιστεί από τη σχέση του Manning 3.21 κάνοντας την παραδοχή ότι ο υπερχειλιστής είναι τριγωνικής μορφής.

$$Q = \frac{1}{n} A_w R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (3.21)$$

Έστω ότι ο υπερχειλιστής είναι της μορφής που διακρίνεται στο Σχήμα 3.5:



Σχήμα 3.5: Η τριγωνική μορφή του υπερχειλιστή.

Η καμπύλη κατασκευάζεται ως εξής:

Για κάθε στάθμη z υπολογίζεται το εμβαδόν της υγρής διατομής (A_w) από τη σχέση 3.22:

$$A_w = \frac{1}{2} 2xz \quad (3.22)$$

Επίσης υπολογίζεται για κάθε z η βρεχόμενη περίμετρος (P) από τη σχέση 3.23:

$$P = 2\sqrt{x^2 + z^2} \quad (3.23)$$

Ακόμη υπολογίζεται η υδραυλική ακτίνα για κάθε z από τη σχέση 3.24:

$$R = \frac{A}{P} \quad (3.24)$$

Τέλος, έχοντας γνωστά τον συντελεστή τραχύτητας Manning (n) και τη μέση κατά μήκος κλίση των πρώτων 500 μέτρων κατόντη της κοιλάτητας (S_f), μπορούμε όπως είπαμε προηγουμένως την παροχή εκροής από τη σχέση 3.21.

Έτσι λοιπόν, για οποιαδήποτε στάθμη (z) μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή εκροής (Q). Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να προσδιορίσουμε τη καμπύλη στάθμης-παροχής εκροής. Επειδή όμως, όπως θα αναφερθεί αργότερα, στο πρόγραμμα HEC-HMS απαιτείται να εισαχθεί η καμπύλη αποθήκευσης- παροχής εκροής, πρέπει να υπολογιστεί και ο όγκος του νερού που αποθηκεύεται για κάθε στάθμη. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί εύκολα μέσω της σχέσης 3.25:

$$V(z_m) = A(z_m - z_0) \quad (3.25)$$

όπου z_m = η εκάστοτε στάθμη, z_0 = το υψόμετρο του πυθμένα και A = το αντίστοιχο εμβαδόν υγρής διατομής για κάθε στάθμη z_m .

Βέβαια, να σημειωθεί ότι η παραπάνω σχέση ισχύει μόνον εάν τα τοιχώματα είναι κατακόρυφα και ο πυθμένας οριζόντιος.

Έτσι λοιπόν, μπορούμε να προσδιορίσουμε και τη καμπύλη αποθήκευσης-παροχής εκροής, η οποία τελικά θα εισαχθεί στο HEC-HMS, για να περιγραφεί η κοιλάτητα του εδάφους.

3.7 Το λογισμικό HEC-HMS

3.7.1 Γενικά

Το HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) αναπτύχθηκε από τον Οργανισμό του Ειδικού Σώματος Μηχανικών του Στρατού του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων ΗΠΑ και είναι σχεδιασμένο για την προσομοίωση των διαδικασιών βροχόπτωσης-απορροής σε λεκάνες απορροής δενδριτικού τύπου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μεγάλες αγροτικές λεκάνες όσο και σε μικρές αστικές και ημιαστικές. Βρίσκει εφαρμογές σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων, σε μελέτες πρόγνωσης πλημμυρών, στο σχεδιασμό υπερχειλιστών κ.α.

Περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο και τον εξετάζει τμηματικά. Για κάθε τμήμα του υδρολογικού κύκλου δίνεται μια πληθώρα επιλογών στο χρήστη, ο οποίος επιλέγει την κατάλληλη ανάλογα με τον στόχο της υδρολογικής μελέτης, την εμπειρία του αλλά και τα διαθέσιμα στοιχεία που υπάρχουν για την περιοχή μελέτης (Παναγιωτοπούλου, 2012). Ακόμη, δίνεται η δυνατότητα για σύγκριση μεταξύ των διαφόρων μεθόδων που προσομοιώνουν κάθε διαδικασία του υδρολογικού κύκλου.

Τα πακέτα εγκατάστασης για το πρόγραμμα είναι διαθέσιμα από τον διαδικτυακό τόπο του Υδρολογικού Κέντρου Μηχανικής- HEC (<http://www.hec.usace.army.mil>) και στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η προτελευταία έκδοση HEC-HMS 3.4.(Hydrologic Modeling System- Technical Manual, 2000),καθώς υπήρχαν κάποια τεχνικά προβλήματα στη χρήση της τελευταίας έκδοσης HEC-HMS 3.5.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν το συγκεκριμένο λογισμικό έγιναν δύο προσεγγίσεις. Η μία στην οποία έγινε η υδρολογική προσομοίωση λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους και η δεύτερη στην οποία δεν λήφθηκαν υπόψη οι κοιλότητες. Έτσι, θα μπορούσε να γίνει η σύγκριση των τελικών παροχών, για να διαπιστωθεί η επίδραση των κοιλοτήτων.

3.7.2 Φυσική περιγραφή λεκάνης απορροής

Η φυσική περιγραφή της λεκάνης απορροής στο πρόγραμμα υλοποιείται με το Μοντέλο Λεκάνης, Basin Model. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το HEC-HMS χρησιμοποιεί ξεχωριστά μοντέλα για κάθε μέρος του υδρολογικού κύκλου. Συγκεκριμένα για το μοντέλο της λεκάνης είναι διαθέσιμα τα ακόλουθα:

- Μοντέλα για την εκτίμηση των απωλειών
- Μοντέλα άμεσης απορροής
- Μοντέλα βασικής ροής
- Μοντέλα διόδευσης
- Μοντέλα για δεξαμενές αποθήκευσης

Τα μοντέλα εκτίμησης απωλειών που είναι διαθέσιμα είναι τα εξής:

1. Ποσοστό αρχική και σταθερή
2. SCS (Curve Number)
3. SCS (Curve Number) σε κάρναβο
4. Εκθετική
5. Μέτρηση Εδαφικής Υγρασίας (SMA)
6. Ποσοστό και σταθερή σε κάρναβο
7. SMA σε κάρναβο
8. Green and Ampt
9. Smith Parlange

Τα μοντέλα άμεσης απορροής που είναι διαθέσιμα είναι τα εξής:

1. ΜΥΓ του Clark
2. Κινηματικό Κύμα
3. ΜΥΓ του Snyder
4. ΜΥΓ της SCS
5. ΜΥΓ Modclark
6. ΜΥΓ δοσμένο από το χρήστη
7. Διάγραμμα S δοσμένο από το χρήστη

Τα μοντέλα βασικής ροής που είναι διαθέσιμα είναι τα εξής:

1. Σταθερά μηνιαία
2. Εκθετικά μειούμενη
3. Εκφόρτιση του διηθούμενου νερού σε υδατόρευμα με διατήρηση μάζας
4. Μη γραμμική κατά Boussinesq

Τα μοντέλα διόδευσης που είναι διαθέσιμα είναι τα εξής:

1. Κινηματικό κύμα
2. Lag (μέθοδος καθυστέρησης)
3. Τροποποιημένη μέθοδος Puls
4. Muskingum
5. Muskingum-Cunge
6. Straddle Stragger

Για τις δεξαμενές τα μοντέλα που είναι διαθέσιμα είναι τα εξής:

1. Καμπύλη εκροής (Outflow Curve)
2. Δομές εκροής (Outflow Structures)
3. Καθορισμένο από το χρήστη

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν:

- Για την εκτίμηση των απωλειών η μέθοδος της SCS, της οποίας το θεωρητικό υπόβαθρο αναλύεται παραπάνω. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ζητείται να δοθεί στο πρόγραμμα ο αριθμός καμπύλης (Curve Number (CN)).
- Για την άμεση απορροή χρησιμοποιήθηκε το MYΓ της SCS, του οποίου το θεωρητικό υπόβαθρο αναλύεται παραπάνω. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ζητείται να δοθεί στο πρόγραμμα ο χρόνος υστέρησης (lag time) σε ώρες.
- Για τη διόδευση επιλέχθηκε η μέθοδος του Muskingum, της οποίας το θεωρητικό υπόβαθρο παρουσιάζεται παραπάνω αναλυτικά. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο χρήστης καλείται να δώσει στο πρόγραμμα τις τιμές των παραμέτρων K σε ώρες και x , ενώ ζητείται και ο αριθμός των ανάντη παραποτάμων.
- Για τις δεξαμενές χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καμπύλης εκροής (Outflow Curve). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο χρήστης καλείται να επιλέξει μία μέθοδο αποθήκευσης από τις: Στάθμη-Εμβαδόν-Παροχή εκροής, Στάθμη-Αποθήκευση-Παροχή εκροής και Αποθήκευση-Παροχή εκροής. Από αυτές επιλέχθηκε η καμπύλη αποθήκευσης-παροχής εκροής, ο προσδιορισμός της οποίας εξηγείται σε προηγούμενο εδάφιο.

3.7.3 Εισαγωγή χρονοσειρών των δεδομένων

Η εισαγωγή των χρονοσειρών των δεδομένων γίνεται με την επιλογή Time-Series Data Manager. Κάποιες από τις επιλογές που είναι διαθέσιμες αφορούν σε κατακρήμνιση, ακτινοβολία, θερμοκρασία κ.α.

Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε η επιλογή της κατακρήμνισης. Αφού επιλέχθηκε αυτή η επιλογή εισήχθησαν κάποια στοιχεία για το επεισόδιο της βροχής που επιλέχθηκε, όπως το

χρονικό βήμα, ο τρόπος εισαγωγής του επεισοδίου βροχής και οι μονάδες των υψών βροχής, η διάρκεια του επεισοδίου βροχής, οι τιμές των τμηματικών υψών βροχής που περιγράφει το επεισόδιο της βροχής και τέλος το υετόγραμμα σχεδιασμού.

Το υετόγραμμα σχεδιασμού έγινε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, όπως ειπώθηκε προηγουμένως.

3.7.4 Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic Model)

Με τη δημιουργία του μετεωρολογικού μοντέλου επιτυγχάνεται η εισαγωγή μετεωρολογικής πληροφορίας για την εκτέλεση της υδρολογικής προσομοίωσης. Εισάγονται είτε παρατηρούμενα επεισόδια βροχόπτωσης είτε υποθετικά επεισόδια βροχόπτωσης για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς. Στην ουσία το μοντέλο αυτό συνδέει το μοντέλο της λεκάνης με την βροχόπτωση.

Στην παρούσα εργασία έγιναν υποθετικά επεισόδια βροχόπτωσης, τα οποία δημιουργήθηκαν με την επιλογή Time-Series Data Manager, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

3.7.5 Αρχείο προσομοίωσης

Το αρχείο της προσομοίωσης αποτελεί το τελευταίο βήμα πριν την εκτέλεση των υπολογισμών της υδρολογικής προσομοίωσης. Σε αυτό ορίζεται η χρονική διάρκεια του πλημμυρογραφήματος καθώς επίσης και το χρονικό βήμα αυτού. Η εντολή που εκτελεί αυτή την διαδικασία είναι Control Specifications Manager.

4 Περιοχή μελέτης

4.1 Επιλογή Περιοχής Μελέτης

Το πρώτο βήμα για να ξεκινήσει η παρούσα διπλωματική εργασία είναι η επιλογή της κατάλληλης περιοχής, για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί ο σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης. Η αναζήτηση της κατάλληλης περιοχής έγινε με βάση κάποια κριτήρια. Βασικό κριτήριο ήταν η περιοχή στην οποία θα πραγματοποιηθεί η μελέτη να είναι ιδιαίτερα πεδινή, χωρίς μεγάλες εναλλαγές ανάγλυφου. Μία άλλη βασική προϋπόθεση ήταν στην συγκεκριμένη περιοχή να υπάρχει ιστορικό πλημμυρών. Τέλος, στην περιοχή να υπάρχει ένα οδικό δίκτυο, το οποίο να δέχεται ικανοποιητικό φόρτο.

Με βάση τις παραπάνω προϋποθέσεις και κριτήρια επιλέχθηκε περιοχή στην Θεσσαλία και συγκεκριμένα στον Νομό Λάρισας, ανατολικά της πόλης της Λάρισας, στην περιοχή Πλατύκαμπος. Είναι μία περιοχή, η οποία είναι πεδινή, έχουν παρατηρηθεί αρκετά φαινόμενα πλημμύρας, ενώ ο υπό μελέτη δρόμος είναι η Παλαιά Εθνική Οδός (Π.Ε.Ο) Λάρισας-Βόλου. Η περιοχή βρίσκεται στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Πηνειού.

4.2 Γενικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης

4.2.1 Γεωμορφολογία Περιοχής

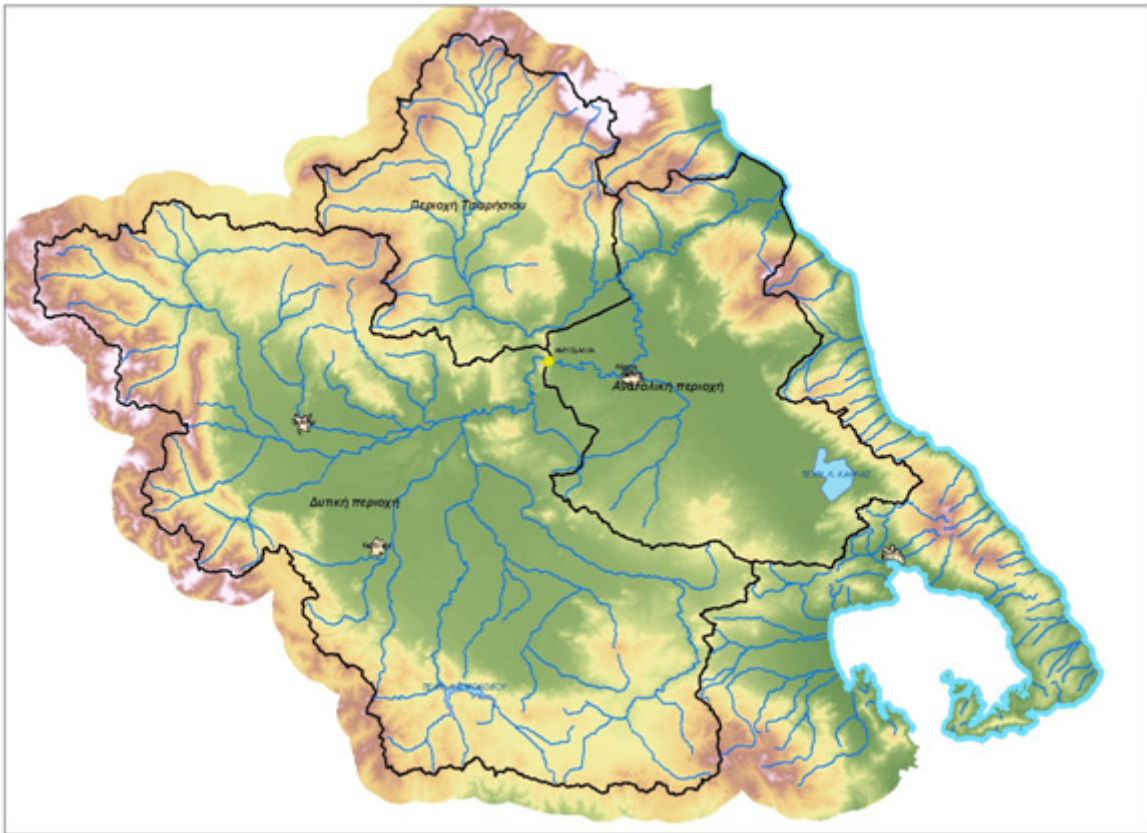
Η περιοχή παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα με τα ορεινά τμήματά του στις περιφερειακές περιοχές και τα πεδινά τμήματα στις κεντρικές. Το Θεσσαλικό πεδίο είναι ένα τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου – Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου – Όσσης στα ανατολικά. Χωρίζεται από τα μικρά Χαλκηδόνια όρη στις πεδινές εκτάσεις της Δυτικής και Ανατολικής Θεσσαλίας, οι οποίες θεωρούνται ανεξάρτητες από υδρογεωλογική άποψη.

4.2.2 Υδατικό Δυναμικό Περιοχής

Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας περιλαμβάνει τις Λεκάνες Απορροής Πηνειού και Αλμυρού-Πηλίου. Η συνολική επιφάνεια του είναι ίση με 13.136 km². Περιλαμβάνει το νομό Λάρισας σχεδόν στο σύνολό του, πολύ μεγάλο μέρος των νομών Μαγνησίας, Καρδίτσας και Τρικάλων και μικρά τμήματα των νομών Πιερίας, Γρεβενών (στα βόρεια) και Φθιώτιδας (στα νότια).

Η κύρια υδρολογική λεκάνη του Υδατικού Διαμερίσματος είναι εκείνη του Πηνειού, με επιφάνεια στη θέση Πυργετός, κοντά στις εκβολές, ίση με περίπου 9.500 km². Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι προς τα νότια ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης (στον οποίο κατασκευάστηκε το φράγμα Σμοκόβου) και ο Καλέντζης (που δέχεται τα νερά από την εκτροπή του π. Ταυρωπού μέσω του ταμιευτήρα Πλαστήρα), προς τα δυτικά το ρ. Μαλακασιώτικο, ο Πορταϊκός και ο Πάμισος (Πλιούρης) και προς τα βόρεια ο Ληθαίος (που διασχίζει την πόλη των Τρικάλων), ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος. Στο Υδατικό Διαμέρισμα βρίσκεται ακόμα και η κλειστή λεκάνη της Λίμνης Κάρλας (ή Αλμυρού-Πηλίου), το σύστημα της οποίας βρίσκεται υπό διαμόρφωση, με ένα σύστημα τάφρων αμφίδρομης ροής προς και από τον Πηνειό για αντιπλημμυρική προστασία των πεδινών καλλιεργημένων εκτάσεων. Η

περιοχή που επιλέχθηκε βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Πηνειού (ανατολική περιοχή) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1 :



Σχήμα 4.1: Λεκάνη Απορροής Πηνειού.

4.2.3 Η περιοχή από υδρολογική άποψη

Από υδρολογική άποψη η μέση ετήσια κατακρήμνιση στη Θεσσαλία υπολογίζεται ίση με 686.8 mm (για την περίοδο 1980-81 έως 2000-01), με μικρότερα κατακρημνίσματα να καταγράφονται στα κεντρικά πεδινά αυξανόμενες προς την ορεινή περιφέρεια, κυρίως όμως προς τα Δυτικά. Τα λιγότερα κατακρημνίσματα καταγράφηκαν στο σταθμό Σωτήριο (393,3 mm) ενώ τα μεγαλύτερα στο σταθμό Στουρναραίικα του ΥΠΓΕ (1705,4 mm).

4.3 Δεδομένα Περιοχής Μελέτης

4.3.1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας απαιτείται η χρήση και η επεξεργασία κατάλληλης γεωγραφικής πληροφορίας. Η βασική αυτή πληροφορία που απαιτείται είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ). Το ΨΜΕ είναι μία αναπαράσταση τμήματος της φυσικής γήινης επιφάνειας. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύνολο σημείων σε ένα τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (X,Y,Z) , το οποίο προσεγγίζει την πραγματική επιφάνεια. Ένα ΨΜΕ συνήθως δημιουργείται από την ψηφιοποίηση της υψομετρικής πληροφορίας με:

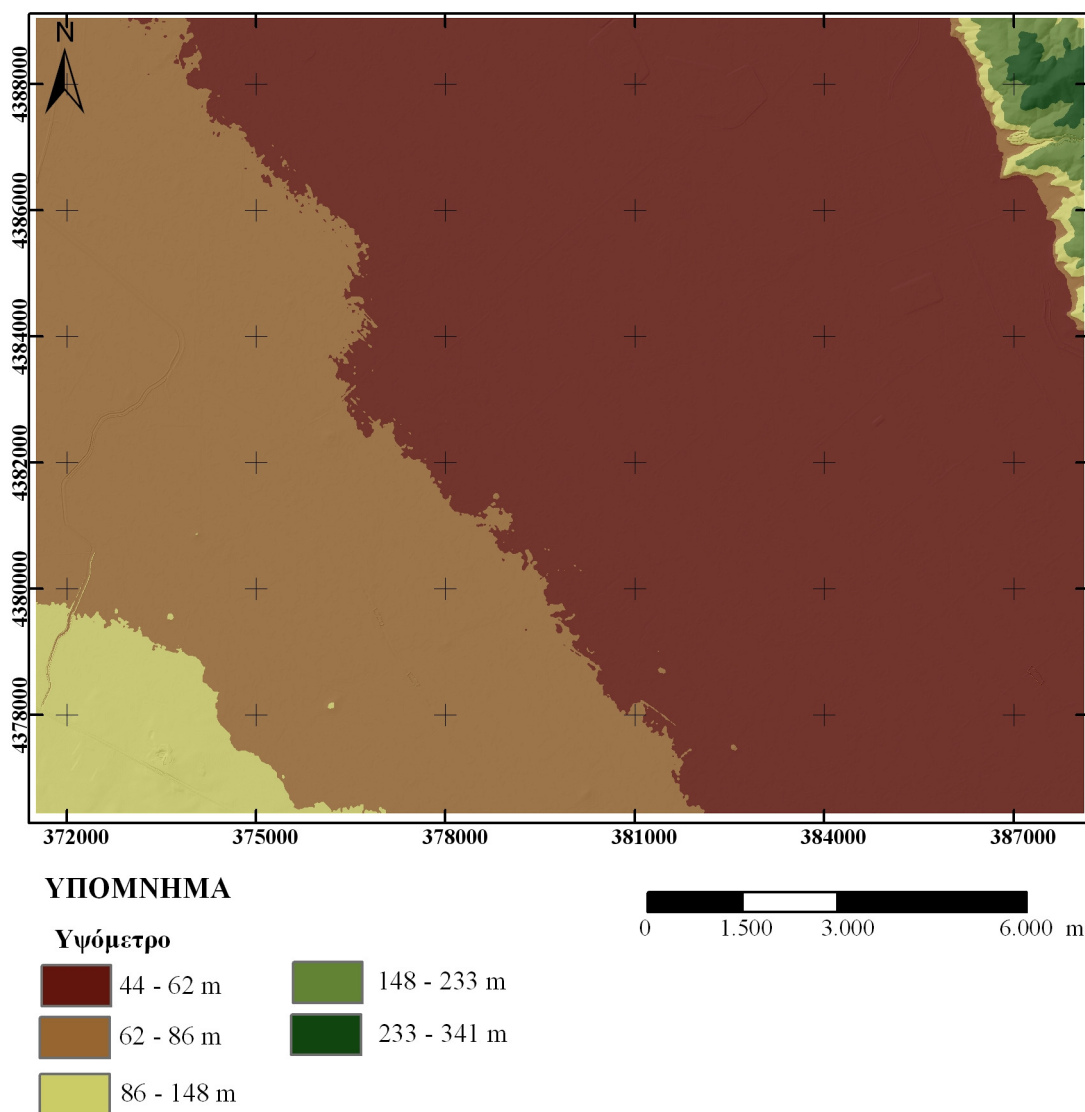
- Επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους
- Τοπογραφικούς χάρτες (ψηφιοποίηση ισοϋψών)
- Στερεοσκοπικά φωτογραμμετρικά μοντέλα

- Δορυφορικά μοντέλα
- LiDAR και SAR

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας η ιδανική λύση θα ήταν το ΨΜΕ που θα χρησιμοποιηθεί, να είχε παραχθεί από δεδομένα προερχόμενα από δέκτες LiDAR, διότι υπάρχει καλύτερη υψομετρική ακρίβεια. Παρόλα αυτά, επειδή δεν υπήρχε τέτοιου είδους δυνατότητα, καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος δεν εφαρμόζεται ακόμη στην Ελλάδα, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί κάποιος άλλος τρόπος δημιουργίας του ΨΜΕ. Είναι λοιπόν εύκολα κατανοητό ότι η δημιουργία του ΨΜΕ είναι μία ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία η οποία δεν πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Εν τέλει, το ΨΜΕ παρασχέθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε. κατόπιν αιτήσεως που έγινε σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή. Το συγκεκριμένο ΨΜΕ υπέστη μετατροπή, ώστε να μεταφερθεί στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87), ακολουθώντας τις κατάλληλες μετατροπές, για να ακολουθείται κοινό σύστημα αναφοράς σε όλα τα δεδομένα της μελέτης. Η διάσταση του φατνίου (pixel) του ΨΜΕ είναι 5x5 m. Η ακρίβεια του ΨΜΕ δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, καθώς από την Κτηματολόγιο Α.Ε. δίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στην οριζοντιογραφική θέση (X, Y) και λιγότερη στην υψομετρική (Z). Παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο ΨΜΕ.

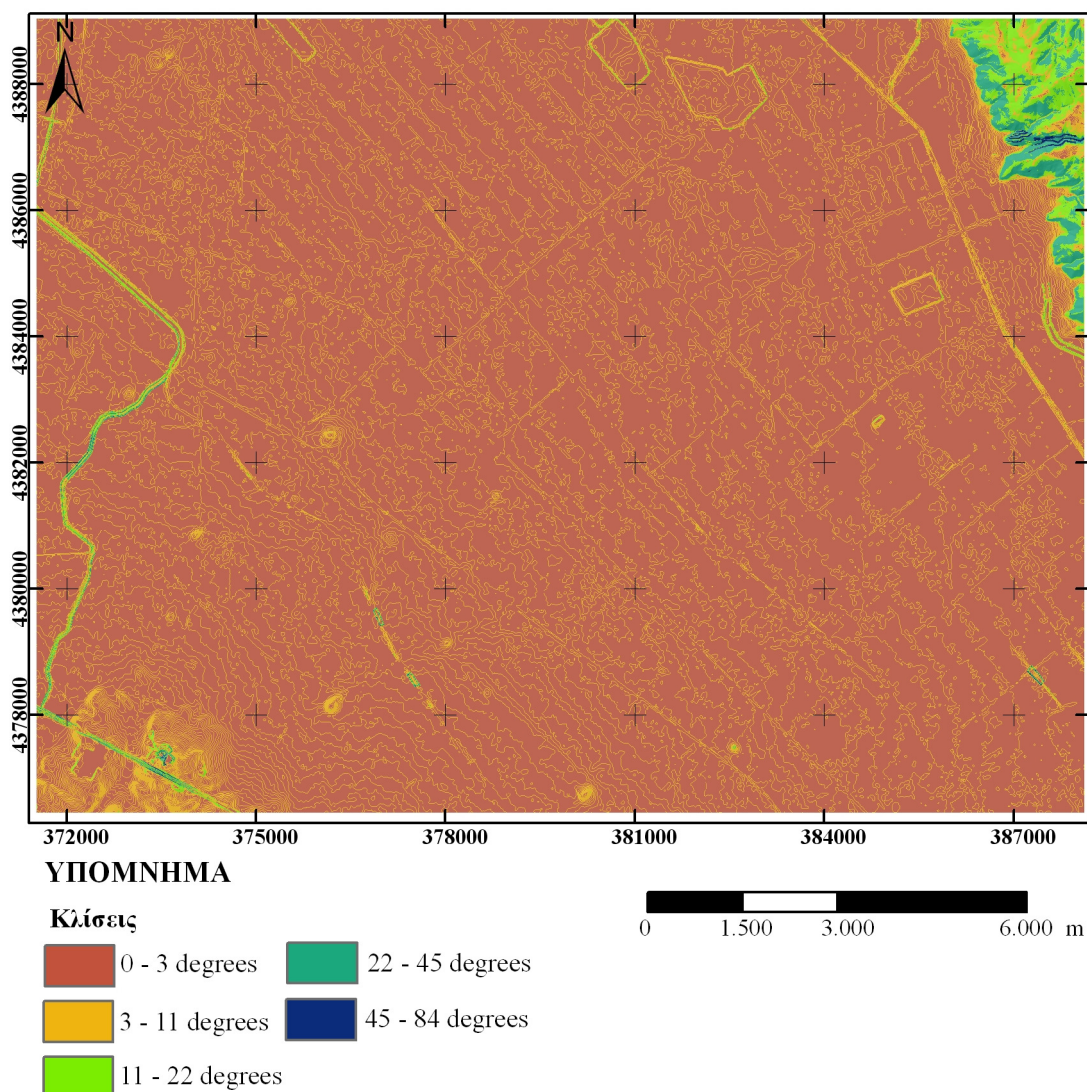
Παρακάτω παρουσιάζεται το ΨΜΕ της περιοχής καθώς και μία εικόνα των κλίσεων της. Έτσι λοιπόν, στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το ΨΜΕ της περιοχής, ενώ στο Σχήμα 4.3 οι κλίσεις της.

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής



Σχήμα 4.2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής.

Κλίσεις του εδάφους της περιοχής

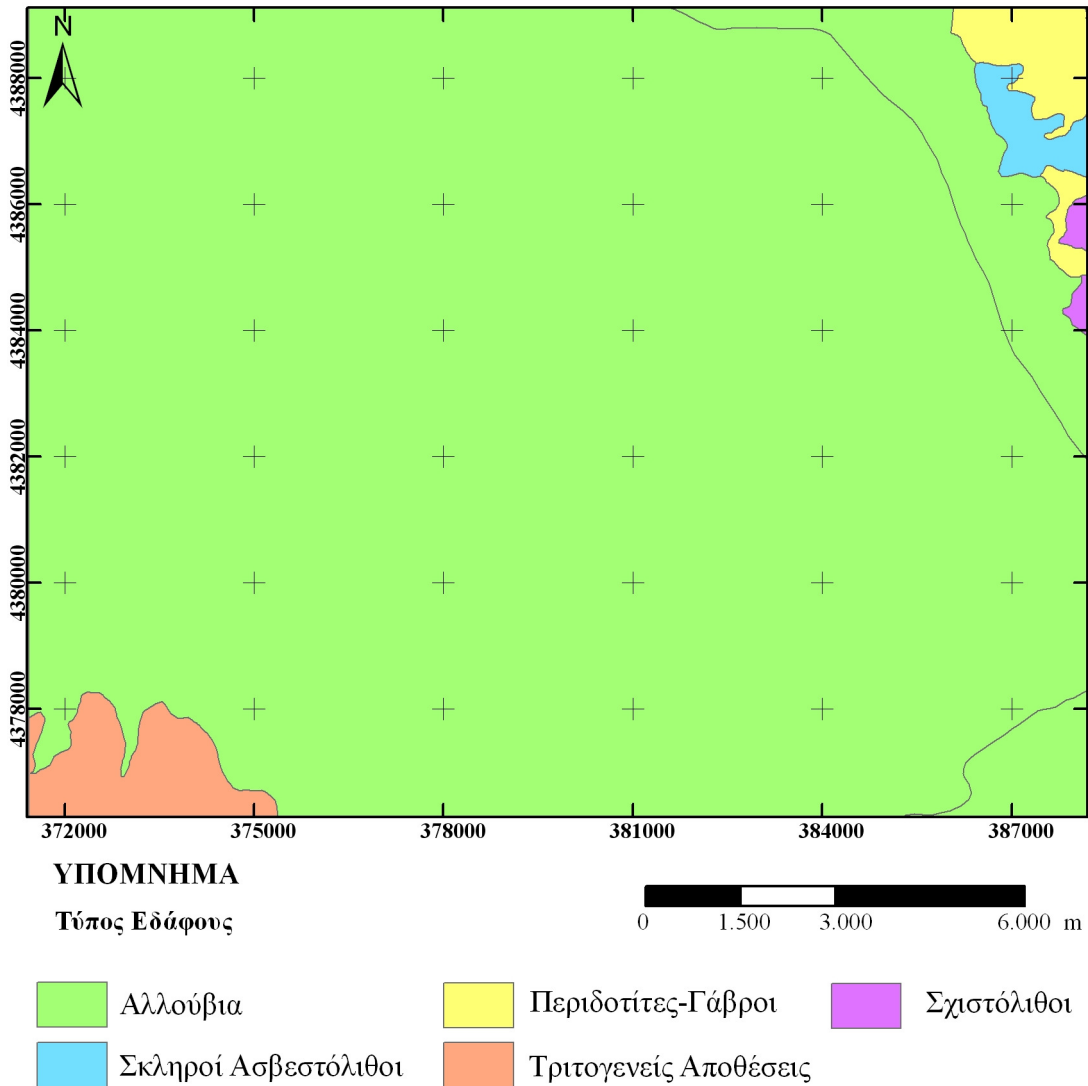


Σχήμα 4.3: Οι κλίσεις της περιοχής.

4.3.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά περιοχής

Για την εύρεση του τύπου των εδαφών που υπάρχουν στην περιοχή έγινε αίτηση στο Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών (Φύλλο Πλατύκαμπος), ώστε να γίνει η παραλαβή των δεδομένων. Τα δεδομένα ήταν σε μορφή shapefiles για εισαγωγή σε περιβάλλον GIS. Τελικά, ο χάρτης με τους εδαφικούς τύπους παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4 που ακολουθεί.

Οι τύποι του εδάφους της περιοχής



Σχήμα 4.4: Οι τύποι εδάφους της περιοχής

4.3.3 Χρήσεις γης περιοχής

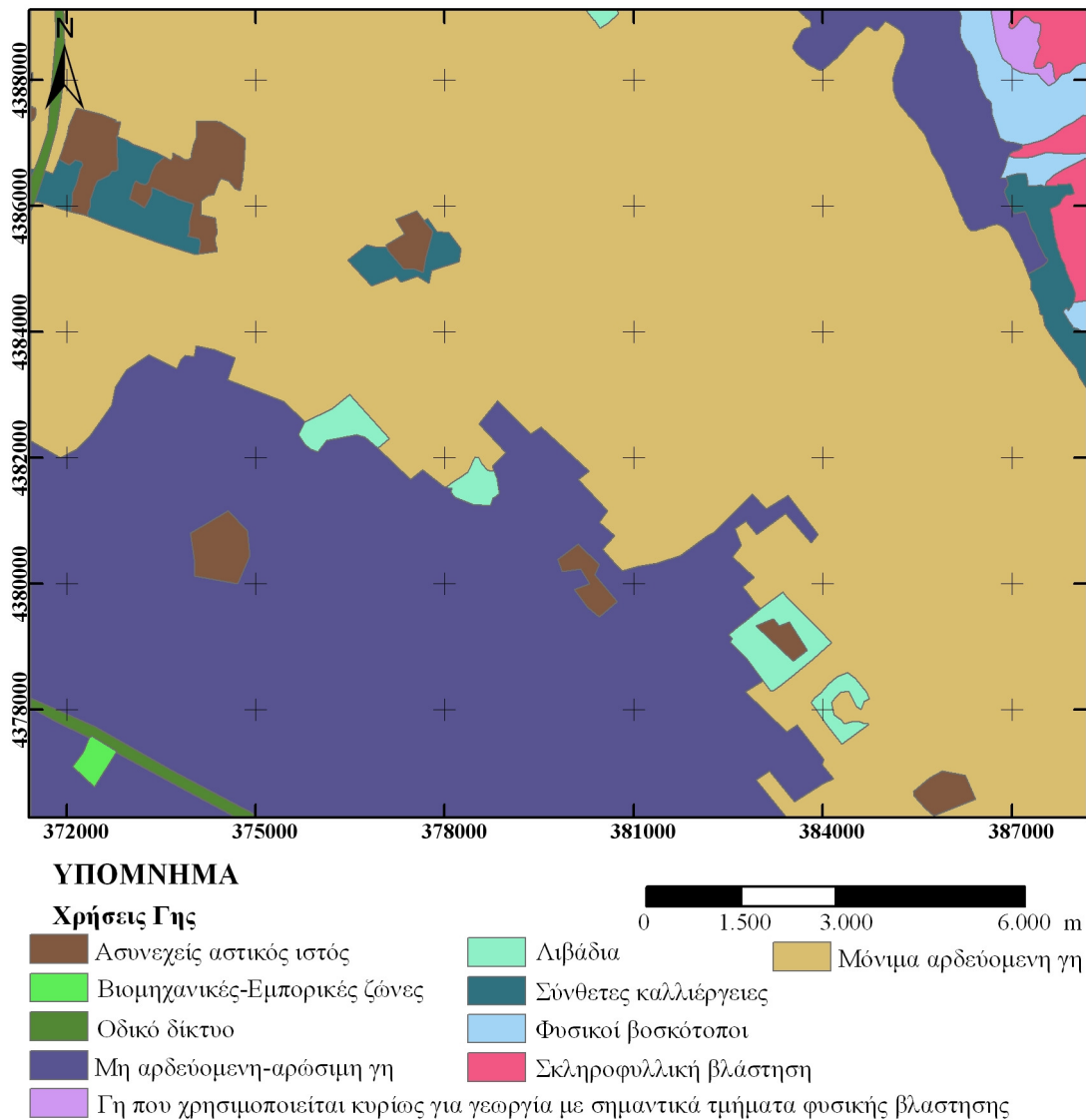
Το Corine Land Cover (Coordination of information on the environment -CLC) είναι ένα Ευρωπαϊκό πρόγραμμα το οποίο ξεκίνησε το 1985 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αποσκοπούσε στη συγκέντρωση πληροφοριών σχετικών με το περιβάλλον σε συγκεκριμένες περιοχές υψηλής σημασίας, για την Ευρωπαϊκή Ένωση (αέρας, νερό, έδαφος, κάλυψη γης κτλ). Από το 1994 η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environment Agency-EEA) συμπεριέλαβε το corine στο δικό της πρόγραμμα. Η EEA είναι υπεύθυνη για την παροχή συγκεκριμένων έγκαιρων και έγκυρων πληροφοριών για το περιβάλλον της Ευρώπης.

Αρχικά το πρόγραμμα αυτό εφάρμοσε μια μέθοδο για τη συλλογή δεδομένων της γήινης επιφάνειας βασισμένα σε μια συλλογή από εκτυπωμένες δορυφορικές εικόνες μικρής διακριτικής ικανότητας. Αυτό αποδείχθηκε ως η πιο εφικτή προσέγγιση στις αρχές του προγράμματος. Αυτή η μέθοδος έκανε μόνο περιορισμένη χρήση επεξεργασίας εικόνας και λογισμικού γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (G.I.S.). Παρόλα αυτά η τεχνολογική

εξέλιξη κατέστησε δυνατή την εισαγωγή της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών μέσω της διαδικασίας του “χτισίματος” της συλλογής των εικόνων.

Από το διαδικτυακό τόπο <http://www.geodata.gov.gr>, είναι διαθέσιμα δεδομένα με τις χρήσεις γης στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. Τα δεδομένα αυτά είναι σε μορφή shapefile και κατεβαίνουν δωρεάν από την παραπάνω ιστοσελίδα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εισαχθούν σε περιβάλλον Gis και με την κατάλληλη επεξεργασία, προκύπτει ο χάρτης με τις χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης μας, όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 4.5.

Οι χρήσεις γης της περιοχής



Σχήμα 4.5: Οι χρήσεις γης της περιοχής.

5 Επεξεργασία-Προετοιμασία πρωτογενών δεδομένων

5.1 Επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων

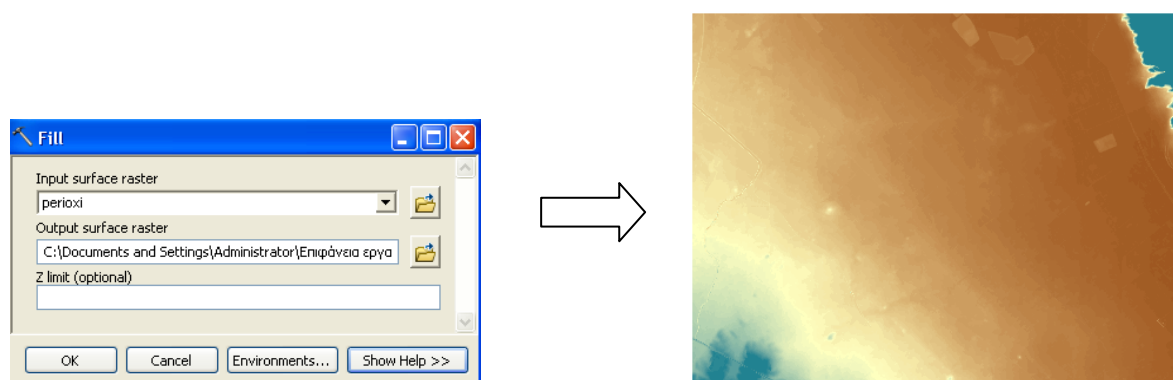
5.1.1 Γενικά

Για την εφαρμογή της παρούσας εργασίας είναι αναγκαία η χρήση και η επεξεργασία κατάλληλης γεωγραφικής πληροφορίας. Αυτή η πληροφορία λήφθηκε και υπέστη επεξεργασία με κατάλληλα πακέτα λογισμικού. Στην συγκεκριμένα εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arcinfo. Η πρωτογενής πληροφορία που χρειάζεται το λογισμικό είναι το ψηφιακό μοντέλο της περιοχής (ΨΜΕ).

Πιο συγκεκριμένα, ήταν αναγκαία η απόκτηση του ψηφιακού μοντέλου της περιοχής, του οποίου ο τρόπος απόκτησης αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Εφόσον εισήχθη το ψηφιακό μοντέλο στο λογισμικό το επόμενο βήμα ήταν η επεξεργασία του. Η επεξεργασία αποσκοπούσε στην απόκτηση των μορφομετρικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής της περιοχής, καθώς επίσης και στη γνώση του υδρογραφικού δικτύου. Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη για την εξαγωγή στοιχείων χρήσιμων για το μοντέλο βροχόπτωσης απορροής με την βοήθεια του υδρολογικού προγράμματος HEC-HMS. Όσον αφορά την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου έγινε προσπάθεια να γίνουν δύο προσεγγίσεις. Η μία προσέγγιση αφορούσε στην επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου με την εξάλειψη όλων των βυθισμάτων, ενώ η δεύτερη προσέγγιση αφορούσε την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου χωρίς την πλήρωση των βυθισμάτων του. Παρακάτω αναλύονται και οι δύο προσεγγίσεις πιο λεπτομερώς.

5.1.2 Προεπεξεργασία εδάφους- Πρώτη προσέγγιση

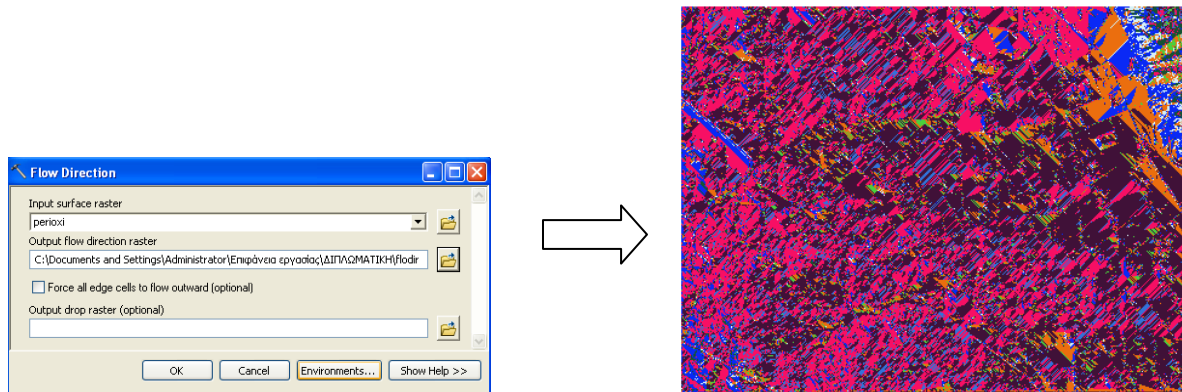
Σε πρώτη φάση απαιτείται η διόρθωση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με την πλήρωση όλων των βυθισμάτων του. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε με την εντολή Arc toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Fill. Με την εκπλήρωση της εντολής προέκυψε ένα νέο διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Σχήμα 5.1), από το οποίο είχαν εξαλειφθεί τα βυθίσματα. Το διορθωμένο αυτό μοντέλο χρησιμοποιείται στα επόμενα βήματα.



Σχήμα 5.1: Εντολή πλήρωσης βυθισμάτων (fill) στο Arcmap και διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

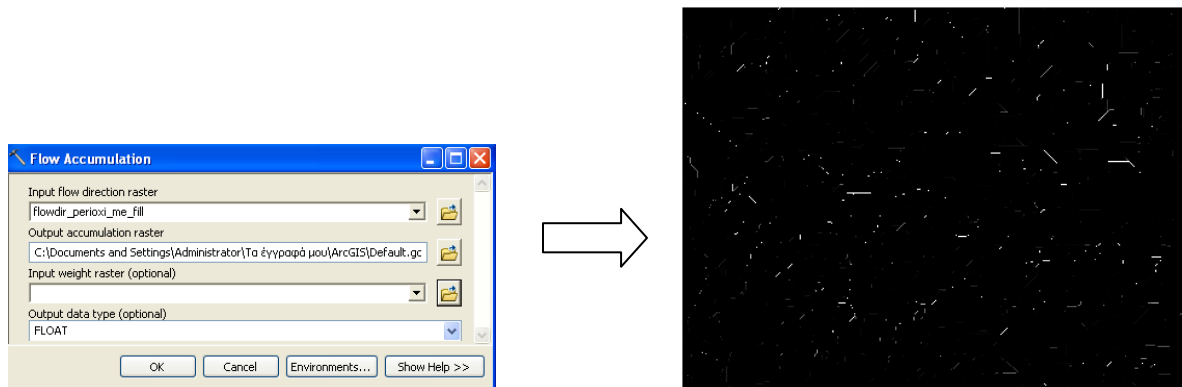
Κατόπιν υπολογίζεται ο κλάσσητος κατεύθυνσης ροής (Σχήμα 5.2), όπου καθορίζεται η κατεύθυνση της ροής κάθε κελιού. Ο υπολογισμός της κατεύθυνσης γίνεται με μία μέθοδο στην οποία κάθε κελί μπορεί να κατευθυνθεί σε ένα από τα οκτώ γειτονικά του κελιά

(μέθοδος D-8). Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται με την εκτέλεση της εντολής Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Direction.



Σχήμα 5.2: Εντολή δημιουργίας καννάβου ροής (flow direction) και παραγόμενος κάρναβος.

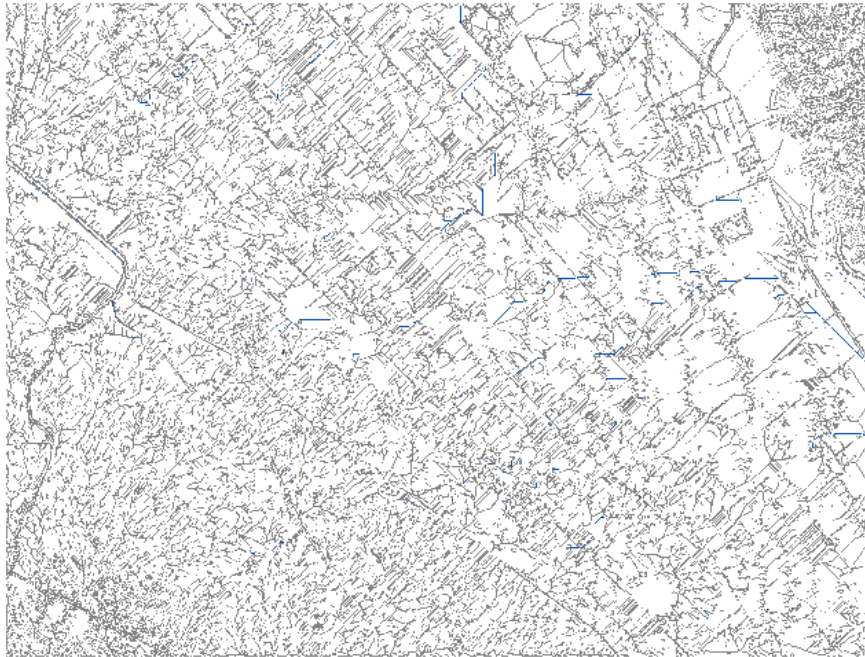
Επόμενο βήμα είναι η παραγωγή του καννάβου συγκεντρωτικής ροής (Σχήμα 5.3). Σύμφωνα με τον κάρναβο αυτόν καθορίζεται ο αριθμός των κελιών που απορρέουν σε κάθε κελί. Η εντολή που χρησιμοποιείται για να παραχθεί ο κάρναβος συγκεντρωτικής ροής είναι Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Accumulation.



Σχήμα 5.3: Εντολή δημιουργίας καννάβου συγκεντρωτικής ροής (flow accumulation) και παραγόμενος κάρναβος.

Στην συνέχεια πρέπει να παραχθεί το υδρογραφικό δίκτυο. Για να παραχθεί το υδρογραφικό δίκτυο πρέπει πρώτα να πραγματοποιηθεί μία διαδικασία δοκιμών. Το αποτέλεσμα της παραπάνω εντολής δίνει ένα πρώτο δείγμα του υδρογραφικού δικτύου. Για τον εντοπισμό του κύριου υδρογραφικού δικτύου πρέπει να γίνει μία σειρά από δοκιμές, αλλάζοντας κάθε φορά το κατώφλι που χρησιμοποιείται, ώστε να απεικονιστεί ορθότερα και πιο ξεκάθαρα το υδρογραφικό δίκτυο. Η εντολή με την οποία γίνεται αυτή η διαδικασία είναι Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify. Στην ουσία, η εντολή αυτή χωρίζει το κάρναβο της συγκεντρωτικής ροής σε κλάσεις, τα όρια (κατώφλια) των οποίων ορίζει ο χρήστης, μέχρι να φτάσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα (Σκοπελίτη και Στάμου, 2005). Παρακάτω θα παρατεθούν κάποιες από τις δοκιμές που έγιναν για να γίνει κατανοητή η παραπάνω διαδικασία.

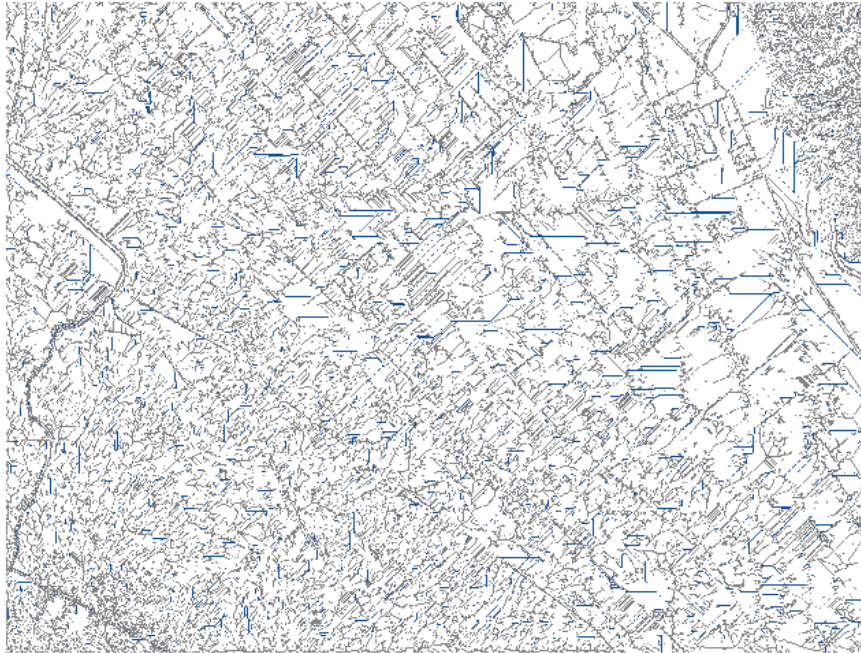
Στην πρώτη δοκιμή οι κλάσεις που ορίστηκαν ήταν τρεις: η πρώτη κλάση έπαιρνε τιμές από 0- 2 (στην ουσία αυτή η κλάση απεικόνιζε τα υψηλότερα σημεία, όχι το υδρογραφικό δίκτυο), η δεύτερη κλάση έπαιρνε τιμές από 2- 100000 και τέλος η τρίτη κλάση είχε τιμές από 100000- 3346844 (η τρίτη κλάση είναι αυτή που παρουσιάζει το υδρογραφικό δίκτυο). Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται το αποτέλεσμα της πρώτης δοκιμής.



Σχήμα 5.4: Αποτέλεσμα πρώτης δοκιμής από την εντολή Reclassify.

Στο Σχήμα 4 βλέπουμε με γκρι χρώμα την πρώτη κλάση, με λευκό χρώμα τη δεύτερη κλάση και με μπλε χρώμα (υδρογραφικό δίκτυο) την τρίτη κλάση. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι το υδρογραφικό δίκτυο που παράχθηκε είναι πολύ αραιό. Το αποτέλεσμα αυτό δεν μας ικανοποιεί, επομένως θα ακολουθήσει δεύτερη δοκιμή.

Η δεύτερη δοκιμή έχει σαν στόχο να γίνει πιο πυκνό το υδρογραφικό δίκτυο. Για να γίνει πιο πυκνό το υδρογραφικό δίκτυο θα πρέπει να μεγαλώσει η τρίτη κλάση και να μειωθεί η δεύτερη. Με βάση την παραπάνω λογική οι κλάσεις της δεύτερης δοκιμής είναι οι εξής: 0- 2, η πρώτη κλάση, 2- 1000, η δεύτερη κλάση και τέλος η τρίτη κλάση από 1000- 3346844. Παρατηρούμε ότι με την συγκεκριμένη επιλογή των ορίων των κλάσεων έχουμε μειώσει τον αριθμό των pixel της δεύτερης κλάσης και έχουμε αυξήσει τον αριθμό των pixel της τρίτης κλάσης. Έτσι, περιμένουμε να είναι πιο πυκνό το υδρογραφικό δίκτυο σε αυτή τη δοκιμή. Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα της δεύτερης δοκιμής (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5: Αποτέλεσμα δεύτερης δοκιμής από την εντολή Reclassify.

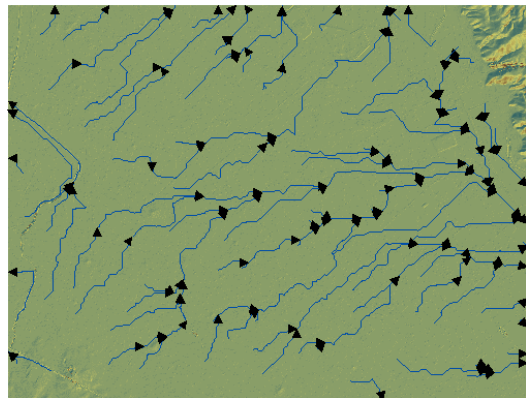
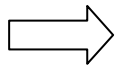
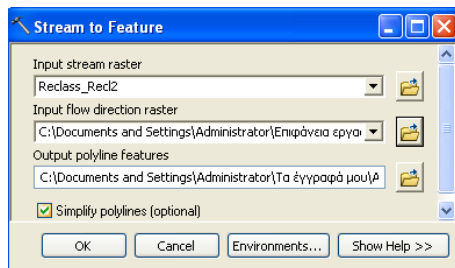
Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα παρατηρούμε πράγματι ότι το υδρογραφικό δίκτυο έχει γίνει αρκετά πιο πυκνό. Παρόλα αυτά θέλουμε το τελικό υδρογραφικό δίκτυο να είναι μία ενδιάμεση κατάσταση των δύο προηγούμενων δοκιμών. Έτσι, θα πραγματοποιηθεί μία τελευταία δοκιμή, στην οποία θα αλλάξουμε το κατώφλι της δεύτερης και τρίτης κλάσης και θα του δώσουμε μία ενδιάμεση τιμή από το 1000- 100000 που είχαν οι δύο προηγούμενες κλάσεις.

Έτσι λοιπόν, οι κλάσεις της τρίτης και τελευταίας δοκιμής είναι οι εξής: η πρώτη κλάση από 0- 2, η δεύτερη κλάση από 2- 25000 και η τρίτη κλάση από 25000- 3346844. Έχουμε λοιπόν, ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα για το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο είναι ορατό στο Σχήμα 5.6.



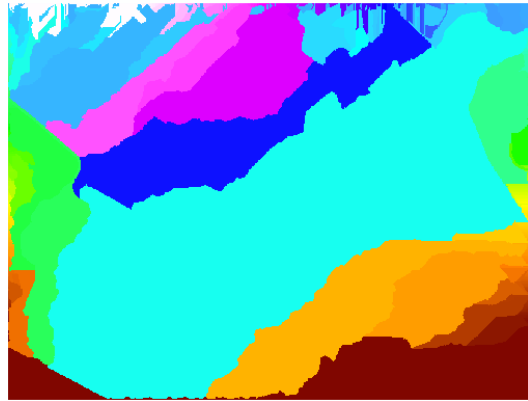
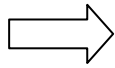
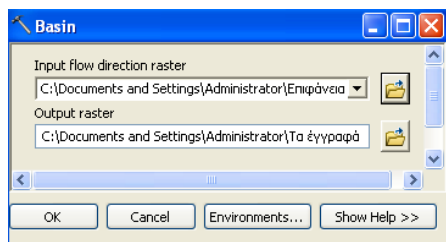
Σχήμα 5.6: Αποτέλεσμα τρίτης δοκιμής από την εντολή Reclassify.

Εφόσον με τη παραπάνω διαδικασία καταλήξαμε στο τελικό υδρογραφικό δίκτυο, ακολουθεί η τελική παραγωγή του με όλα τα ρέματα που περιλαμβάνει (Σχήμα 5.7). Για να παραχθεί το τελικό υδρογραφικό δίκτυο, χρησιμοποιείται η εντολή Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Stream to Feature.



Σχήμα 5.7: Εντολή παραγωγής τελικού υδρογραφικού δικτύου και απεικόνιση του αποτελέσματος.

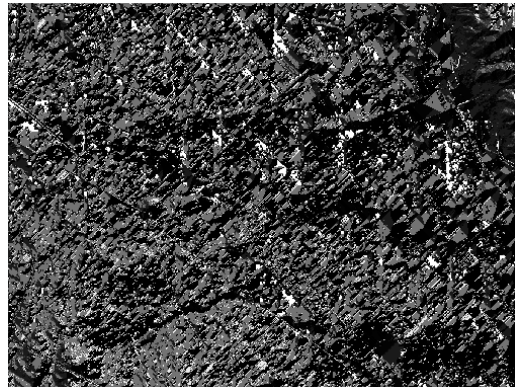
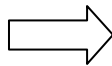
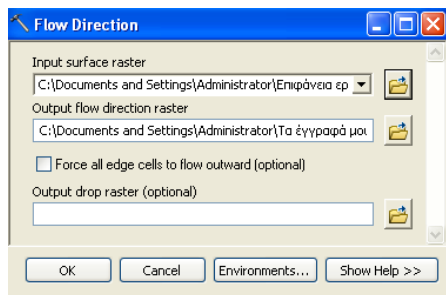
Τέλος, το τελευταίο βήμα της υδρολογικής ανάλυσης είναι η παραγωγή των λεκανών απορροής της περιοχής (Σχήμα 5.8). Για την παραγωγή των λεκανών απορροής χρησιμοποιείται η εντολή Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Basin.



Σχήμα 5.8: Εντολή παραγωγής λεκανών απορροής και οι παραγόμενες τελικές λέκάνες απορροής.

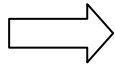
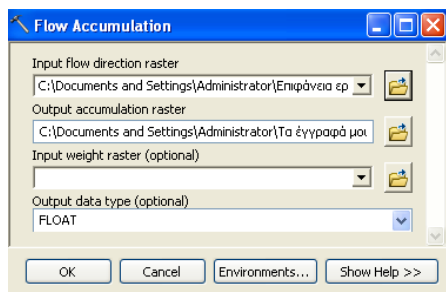
5.1.3 Προεπεξεργασία εδάφους- Δεύτερη προσέγγιση

Σε αντίθεση με την πρώτη προσέγγιση, στη δεύτερη παραλείπεται το πρώτο βήμα, αυτό της πλήρωσης των βυθισμάτων του ψηφιακού μοντέλου. Έτσι, το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός του καννάβου κατεύθυνσης ροής. Χρησιμοποιείται ακριβώς η ίδια εντολή όπως προηγουμένως και το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας φαίνεται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9: : Εντολή δημιουργίας καννάβου ροής και παραγόμενος κάρναβος.

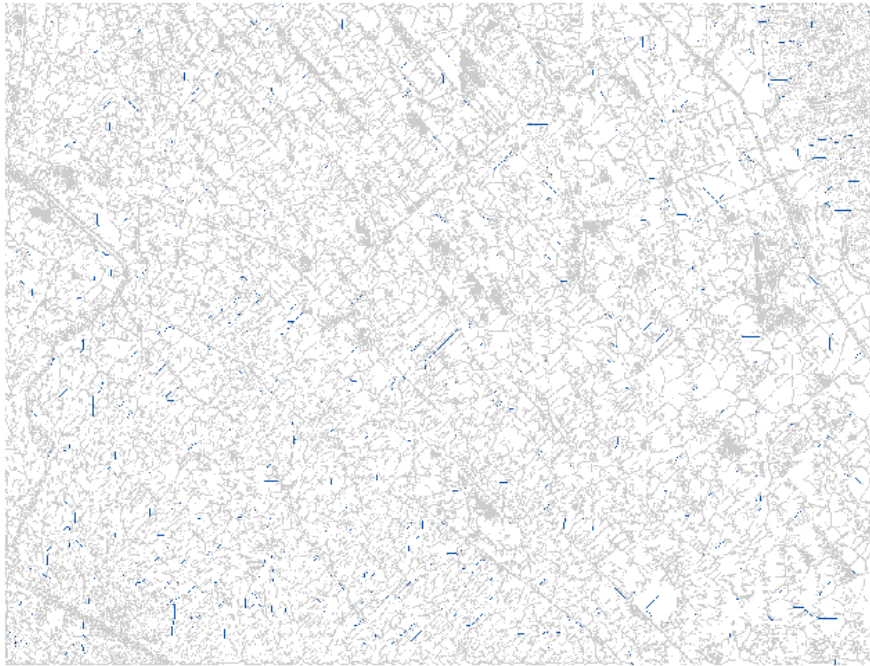
Το επόμενο βήμα, όπως και στην πρώτη προσέγγιση είναι ο υπολογισμός του καννάβου της συγκεντρωτικής ροής. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι η ίδια με τη πρώτη προσέγγιση και το αποτέλεσμα της απεικονίζεται στο Σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.10: Εντολή δημιουργίας καννάβου συγκεντρωτικής ροής και παραγόμενος κάρναβος.

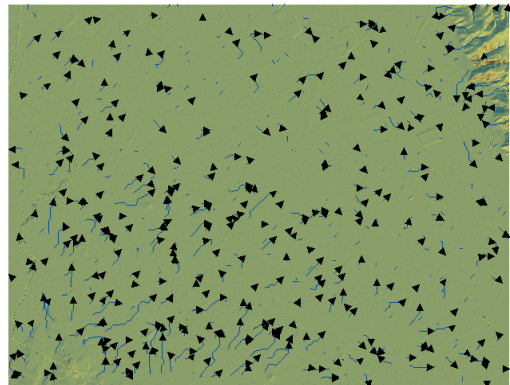
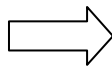
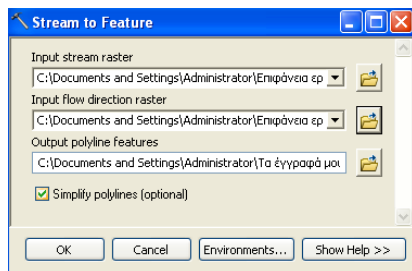
Κατόπιν ακολουθεί η διαδικασία των δοκιμών μέσω της εντολής Reclassify όπως έγινε και προηγουμένως. Η διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια και δεν θα αναφερθεί εδώ. Μετά από μία σειρά δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν το τελικό αποτέλεσμα είχε τις εξής τρεις κλάσεις: 0-

2, η πρώτη κλάση, 2- 5000, η δεύτερη κλάση και η τρίτη κλάση 5000- 45249. Το αποτέλεσμα της παραπάνω τελικής δοκιμής απεικονίζεται στο Σχήμα 5.11.



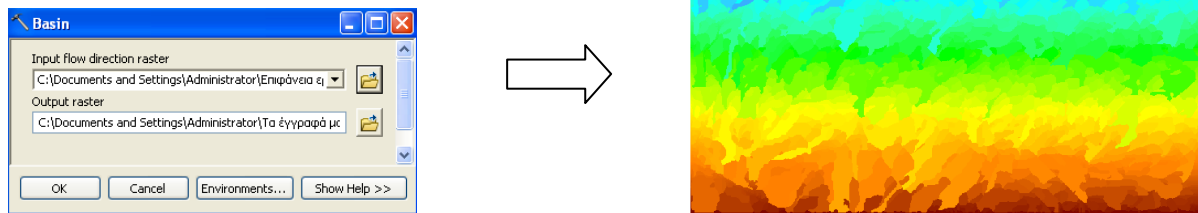
Σχήμα 5.11: Αποτέλεσμα τελικής δοκιμής από την εντολή Reclassify.

Έπειτα, ακολουθεί η παραγωγή του τελικού υδρογραφικού δικτύου με όλα τα ρέματα που περιλαμβάνει. Με τη χρήση της ίδιας εντολής από την πρώτη προσέγγιση δημιουργείται το υδρογραφικό δίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.12.



Σχήμα 5.12: Εντολή παραγωγής υδρογραφικού δικτύου και παραγόμενο υδρογραφικό δίκτυο.

Τέλος, όπως και στην πρώτη προσέγγιση, το τελευταίο βήμα της ανάλυσης είναι η εξαγωγή των λεκανών απορροής. Η εξαγωγή τους γίνεται με την ίδια εντολή όπως και προηγουμένως και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ορατό στο Σχήμα 5.13.



Σχήμα 5.13: Εντολή εξαγωγής λεκανών απορροής και τελικές λεκάνες απορροής.

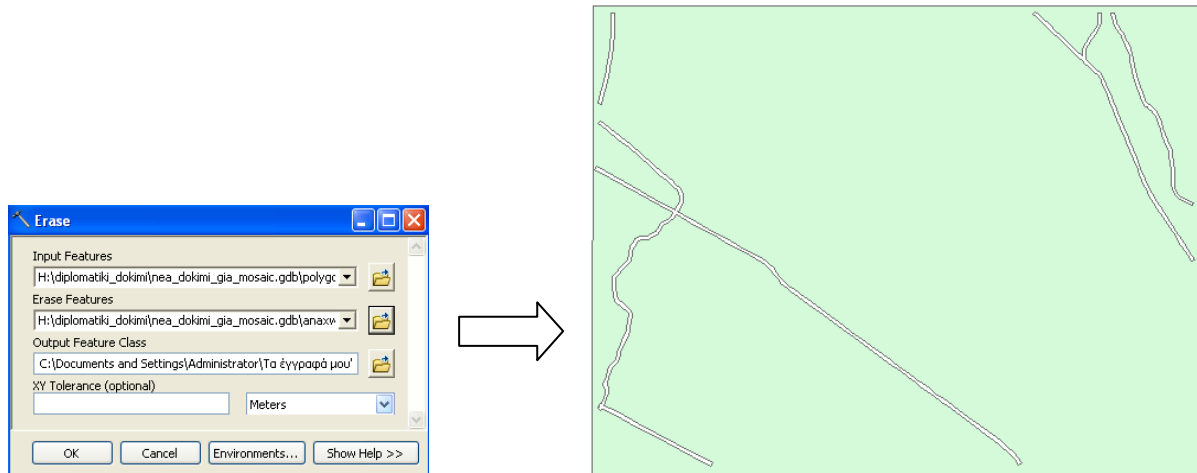
5.1.4 Σύγκριση των δύο προσεγγίσεων

Αφού παρουσιάστηκαν παραπάνω οι δύο προσεγγίσεις, έπρεπε να παρθεί η απόφαση για ποια από τις δύο προσεγγίσεις θα επιλέγονταν για την εκτέλεση της διπλωματικής. Από τις δύο προσεγγίσεις που έγιναν παρατηρήθηκε ότι στην δεύτερη προσέγγιση (χωρίς πλήρωση βυθισμάτων) η δημιουργία του καννάβου ροής δεν βασίστηκε στην μέθοδο D-8, όπως έγινε στην πρώτη προσέγγιση (με πλήρωση βυθισμάτων). Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα κάποιος άλλος αλγόριθμος υπολογισμού της ροής, άγνωστος για το χρήστη, γεγονός που καθιστά αβέβαιο το αποτέλεσμα. Επίσης, σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζεται τελείως ασύνδετο, έχοντας πολλά και μικρά παρακλάδια, σε σχέση με την πρώτη προσέγγιση που υπάρχει ένα πλήρες υδρογραφικό δίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι εύκολα διαχειρίσιμο από το χρήστη για την συνέχεια της εργασίας. Τέλος, βλέποντας τις λεκάνες απορροής της δεύτερης προσέγγισης παρατηρείται ότι υπάρχουν πολλές μικρές λεκάνες που δεν μπορούν να χρησιμεύσουν σε αυτή τη μορφή για το σκοπό της εργασίας, ενώ η επεξεργασία τους για να μπορέσει να έρθει σε μορφή που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ήταν πολύ χρονοβόρα και ξέφυγε από το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τελικά, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η πρώτη προσέγγιση, δηλαδή η επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με πλήρωση των βυθισμάτων του.

5.1.5 Διόρθωση ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Μετά την επιλογή που αφορά στο ποια προσέγγιση θα χρησιμοποιηθεί, το επόμενο βήμα είναι να εξαχθούν τα κατάλληλα στοιχεία που χρειάζονται για την εισαγωγή στο πρόγραμμα HEC-HMS. Τα στοιχεία αυτά που χρειάζεται να εξαχθούν από το επεξεργασμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, είναι οι λεκάνες απορροής που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή, οι κύριες μισγάγγειες των λεκανών, καθώς και οι κοιλότητες που περιλαμβάνει κάθε λεκάνη. Αφού επιλέχθηκε η πρώτη προσέγγιση, έπρεπε αμέσως μετά να επιλέγουν οι κατάλληλες λεκάνες απορροής. Μετά την εξαγωγή των λεκανών απορροής, παρατηρήθηκε ότι τα όρια κάποιων από αυτών αποτελούσαν όρια δρόμων και τάφρων, τα οποία αντιλαμβάνονταν το ψηφιακό μοντέλο σαν αναχώματα. Με προσεκτική παρατήρηση, έγινε αντιληπτό ότι το δεδομένο που είχαμε ήταν κάτι ενδιάμεσο από ψηφιακό μοντέλο εδάφους και ψηφιακό μοντέλο επιφανείας. Δηλαδή, σε κάποια σημεία του αντιλαμβάνονταν τις τεχνικές κατασκευές (π.χ. δρόμοι), με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερο υψόμετρο από την γύρω περιοχή και να παρουσιάζονται σαν αναχώματα. Έτσι, οι λεκάνες απορροής δεν οριοθετούνταν σωστά. Με βάση τα παραπάνω αναζητήθηκε κάποιος τρόπος να μειώσουμε τα υψόμετρα των αναχωμάτων που υπήρχαν στο ψηφιακό μοντέλο. Η διαδικασία αυτή της μείωσης των υψομέτρων των αναχωμάτων έγινε ως εξής:

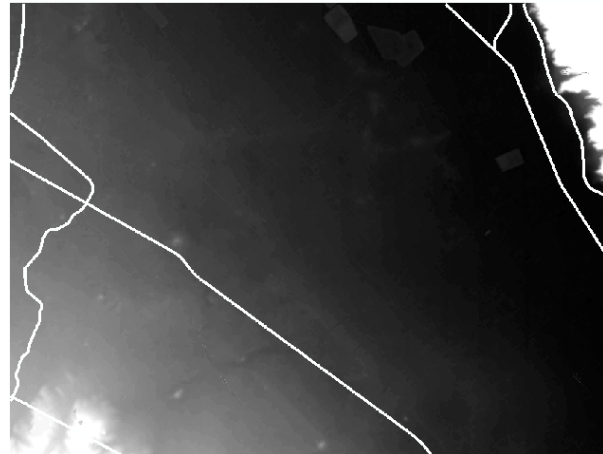
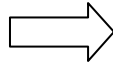
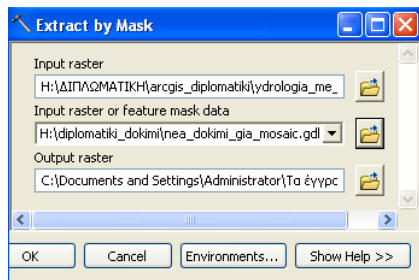
- Αναγνώριση όλων των αναχωμάτων που υπήρχαν στο ψηφιακό μοντέλο
- Σχεδίαση κλειστών πολυγώνων που αντιπροσώπευαν τα αναχώματα
- Εισαγωγή σημείων στα όρια των αναχωμάτων
- Αφαίρεση υψομέτρου από αυτά τα σημεία μέσω της εντολής Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Values to Points.
- Δημιουργία πολυγώνου της περιοχής από το οποίο έχουν αφαιρεθεί τα πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν τα αναχώματα μέσω της εντολής Arctoolbox → Analysis Tools → Overlay → Erase. Το αποτέλεσμα της εντολής αυτής είναι ορατό στο Σχήμα 5.14.



Σχήμα 5.14: Εντολή δημιουργίας πολυγώνου της περιοχής χωρίς τα αναχώματα και παραγόμενο αποτέλεσμα.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι, από το πολύγωνο όλης της περιοχής έχουν αφαιρεθεί τα αναχώματα.

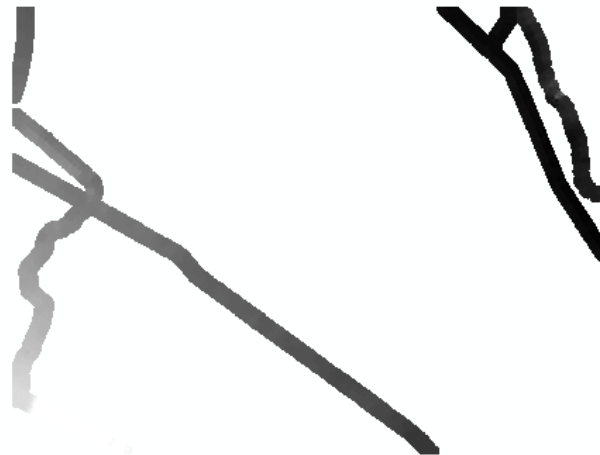
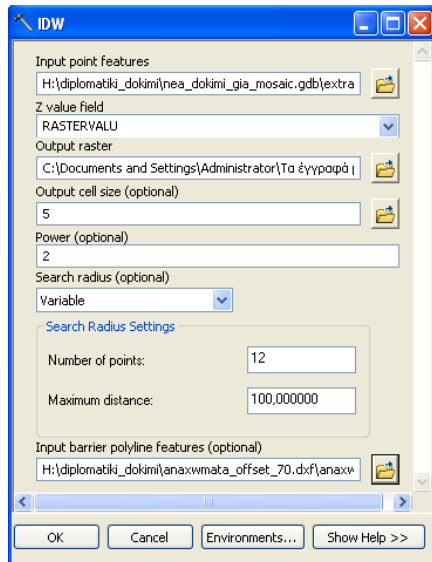
- Δημιουργία αρχείου raster του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής με χρήση μάσκας το πολύγωνο που προέκυψε από την παραπάνω εντολή. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα εμπεριέχει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, χωρίς τα αναχώματα, στα οποία θα έχει σαν τιμή υψομέτρου No data (δηλαδή δεν έχει δεδομένα). Η διαδικασία αυτή γίνεται με την εντολή Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by mask. Το αποτέλεσμα της εντολής είναι ορατό στο Σχήμα 5.15.



Σχήμα 5.15: Εντολή Extract by mask και το παραγόμενο αποτέλεσμα.

Πράγματι, παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα περιέχει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους χωρίς τα αναχώματα (άσπρες γραμμές).

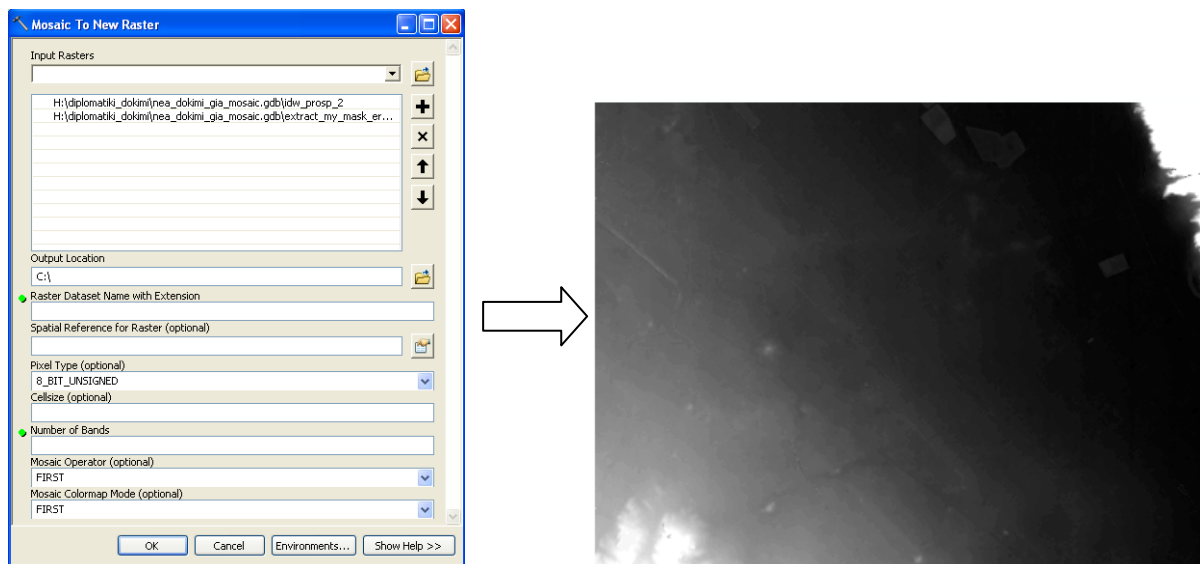
- Δημιουργία αρχείου raster, το οποίο περιλαμβάνει τα αναχώματα με νέες τιμές υψόμετρου οι οποίες προέκυψαν από παρεμβολή. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η παρεμβολή είναι Arc toolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → IDW. Η εντολή αυτή κάνει παρεμβολή για να προσδιορίσει το υψόμετρο των ζητούμενων σημείων χρησιμοποιώντας σαν βάρος την απόσταση των σημείων από τα οποία θα λάβει την τιμή του υψόμετρου μέχρι τα ζητούμενα σημεία. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο κοντά βρίσκεται κάποιο σημείο στο ζητούμενο τόσο μεγαλύτερο βάρος θα έχει όταν θα γίνει η παρεμβολή. Στο Σχήμα 5.16 φαίνεται τόσο η εντολή IDW, όσο και το αποτέλεσμα αυτής.



Σχήμα 5.16: Η εντολή IDW και το παραγόμενο αποτέλεσμα.

Παρατηρούμε ότι η εντολή ζητάει σαν προαπαιτούμενα για να εκτελεστεί αρχικά τα σημεία τα οποία έχουν εισαχθεί στα όρια των αναχωμάτων μαζί με το πεδίο που αναφέρεται στο υψόμετρο τους, το μέγεθος του κελιού καθώς επίσης και τον αριθμό των κοντινότερων σημείων που θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει η παρεμβολή (12). Επίσης, ζητάει και την μέγιστη απόσταση μέχρι την οποία θα βρίσκονται τα προς αναζήτηση κοντινότερα σημεία. Τέλος, ζητάει και ένα πολύγωνο σαν όριο στην αναζήτηση των υποψήφιων σημείων. Παρατηρούμε στο αποτέλεσμα ότι τα αναχώματα πλέον έχουν λάβει τιμή υψόμετρου.

- Το τελευταίο βήμα για να ολοκληρωθεί η διόρθωση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι να δημιουργηθεί το τελικό raster αρχείο που θα περιλαμβάνει την περιοχή με τα διορθωμένα αναχώματα που προέκυψαν από την εντολή IDW. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιείται η εντολή Arctoolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Dataset → Mosaic to new raster. Το αποτέλεσμα της παραπάνω εντολής είναι ορατό στο Σχήμα 5.17.



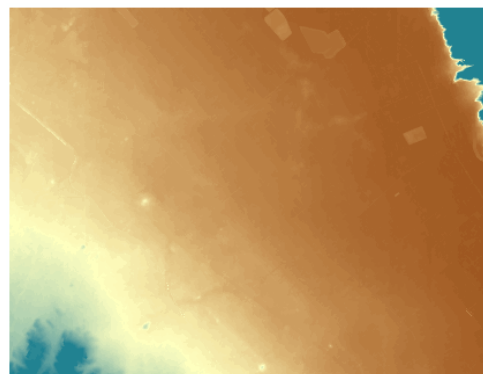
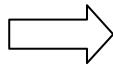
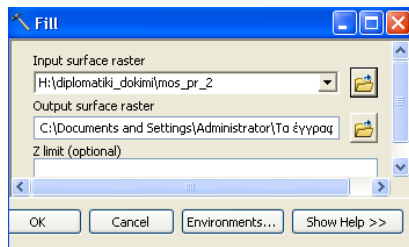
Σχήμα 5.17: Εντολή δημιουργίας νέου διορθωμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους και το τελικό διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο.

Το παραγόμενο λοιπόν αποτέλεσμα, είναι μια σύμπτυξη του raster που προέκυψε από την εντολή extract by mask και του raster που προέκυψε από την εντολή IDW. Έτσι, έχουμε πλέον το νέο διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, απαλλαγμένο από τα αναχώματα.

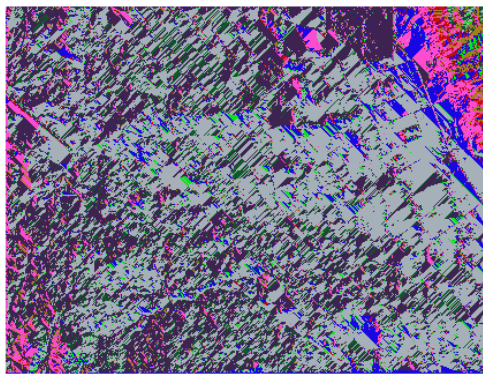
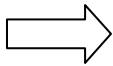
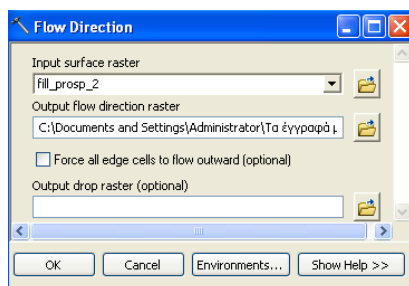
5.1.6 Προεπεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους- Διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο

Η διαδικασία της προεπεξεργασίας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους έχει αναλυθεί εκτενώς σε προηγούμενο υποκεφάλαιο. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο δεν θα ξαναγίνει η ανάλυση. Απλά θα παρατεθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση των εντολών, καθώς αυτά θα είναι και τα τελικά αποτελέσματα πάνω στα οποία θα στηριχθεί η συνέχεια της εργασίας. Η διαδικασία θα γίνει όπως ειπώθηκε και προηγουμένως σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση.

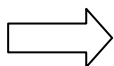
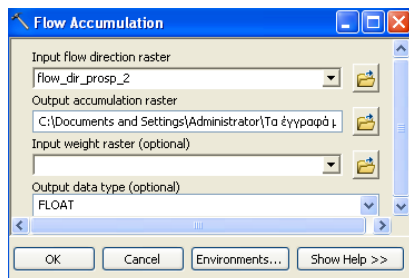
Έτσι λοιπόν, έχουμε αρχικά την πλήρωση όλων των βυθισμάτων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Σχήμα 5.18), τον κάνναβο της ροής (Σχήμα 5.19), τον κάνναβο της συγκεντρωτικής ροής (Σχήμα 5.20), το τελικό αποτέλεσμα της ομαδοποίησης του καννάβου συγκεντρωτικής ροής με τις ακόλουθες κλάσεις (0- 2, 2- 25000, 25000- 2626390) (Σχήμα 5.21), το παραγόμενο υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 5.22), τις λεκάνες απορροής (Σχήμα 5.23) και τέλος τις κοιλάδες της περιοχής (Σχήμα 5.24).



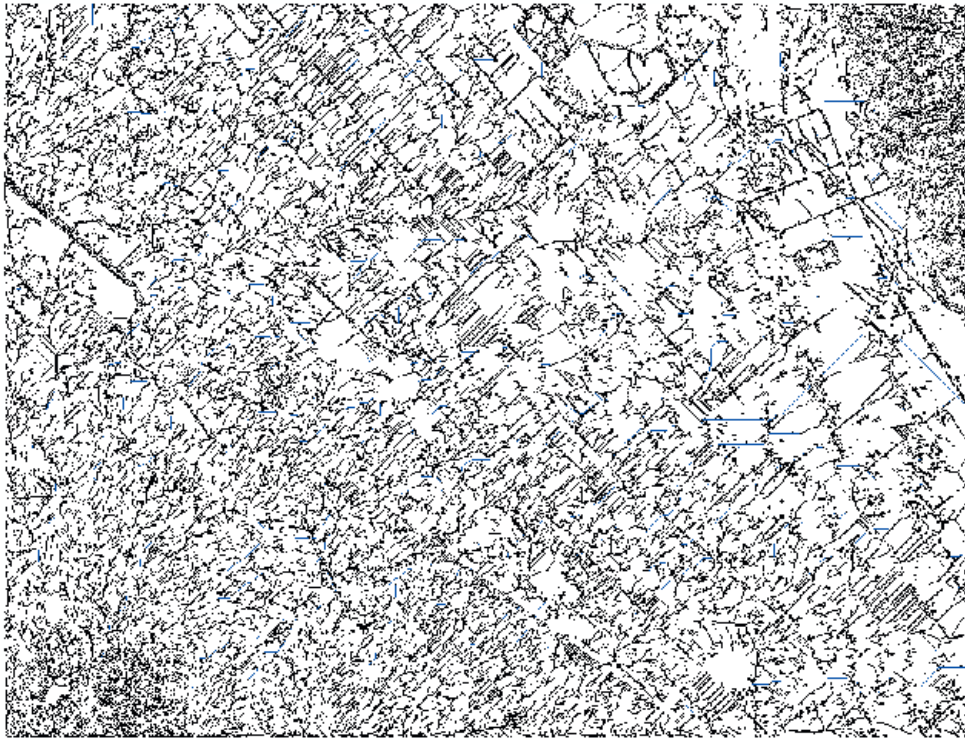
Σχήμα 5.18: Εντολή πλήρωσης βυθισμάτων (fill) και παραγόμενο αποτέλεσμα.



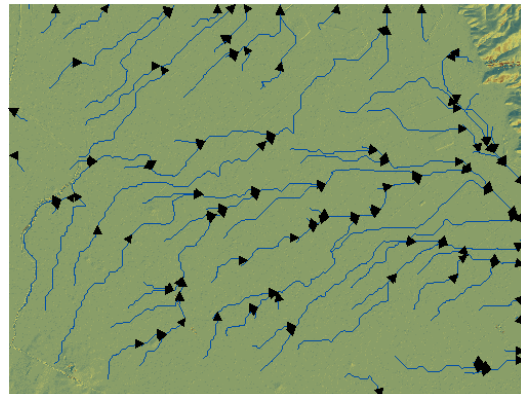
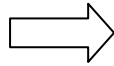
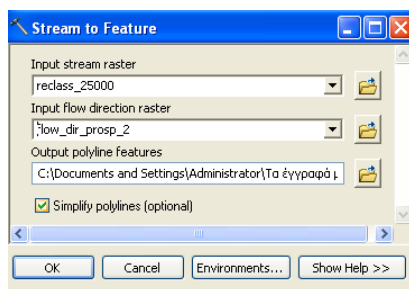
Σχήμα 5.19: Εντολή δημιουργίας καννάβου ροής (flow direction) και παραγόμενος κάρναβος.



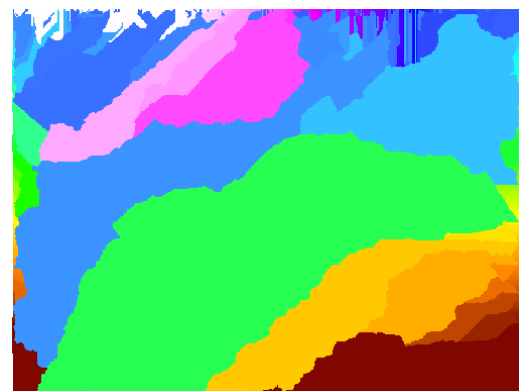
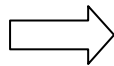
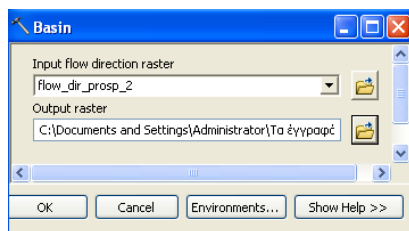
Σχήμα 5.20: Εντολή δημιουργίας καννάβου συγκεντρωτικής ροής (flow accumulation) και παραγόμενος κάρναβος.



Σχήμα 5.21: Αποτέλεσμα ομαδοποίησης καννάβου συγκεντρωτικής ροής (reclass).



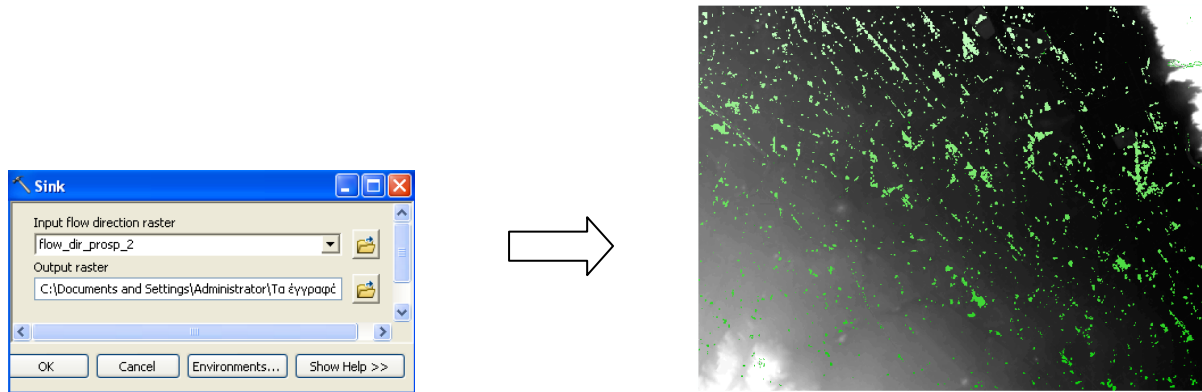
Σχήμα 5.22: Εντολή δημιουργίας υδρογραφικού δικτύου (stream to feature) και παραγόμενο υδρογραφικό δίκτυο.



Σχήμα 5.23: Εντολή δημιουργίας λεκανών απορροής (basin) και παραγόμενες λεκάνες απορροής.

Στις προηγούμενες προσεγγίσεις δεν έγινε ο υπολογισμός των κοιλοτήτων του εδάφους που υπάρχουν στην περιοχή. Οι κοιλοότητες του εδάφους είναι πολύ σημαντικές για την συνέχεια

της εργασίας και για αυτό το λόγο παρουσιάζονται σε αυτό το σημείο, για να είναι οι κοιλότητες του τελικού και διορθωμένου ψηφιακού μοντέλου.



Σχήμα 5.24: Εντολή δημιουργίας κοιλοτήτων εδάφους (sink) και παραγόμενες κοιλότητες.

5.2 Βροχομετρικά δεδομένα- Κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού

Τα υετογράμματα σχεδιασμού κατασκευάζονται, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ για κάθε επιθυμητή διάρκεια. Οι παλαιότερες μέθοδοι υδρολογικού σχεδιασμού δεν λάμβαναν υπόψη την χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Για να αποκτηθεί το υδρογράφημα σχεδιασμού, χρειάζεται όμως και αξιόπιστο υετόγραμμα σχεδιασμού. Η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ είναι μία εύκολη και σχετικά αξιόπιστη μέθοδος παραγωγής υετογράμματος σχεδιασμού, και αυτή επιλέγεται για την προσέγγισή μας, όπου η έλλειψη ιστορικών δεδομένων δεν μας επιτρέπει να έχουμε καλύτερη γνώση της κατανομής της βροχόπτωσης.

Για να παραχθεί όμως το υετόγραμμα σχεδιασμού πρέπει να έχουμε την όμβρια καμπύλη της περιοχής. Η όμβρια καμπύλη που μας δόθηκε ήταν της μορφής που φαίνεται στη σχέση 5.1.

$$i = \frac{1}{0.110} \left[\frac{1.140 - \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)}{t^{0.718}} \right] \quad (5.1)$$

Για την όμβρια καμπύλη που δόθηκε δοκιμάστηκαν αρκετές περιόδους επαναφοράς από 25-10000 έτη. Η συνηθέστερη πάντως περίοδος επαναφοράς που χρησιμοποιείται στα υδραυλικά έργα είναι $T = 50$ έτη. Ακόμη να σημειωθεί ότι οι διάρκειες που επιλέχθηκαν για την εξαγωγή των υετογραμμάτων σχεδιασμού ήταν 6 h, 12 h, 24 h, 48 h.

Τα χρονικά βήματα που εξετάζονται είναι των 30 και 15 λεπτών, τα οποία για τις εξεταζόμενες λεκάνες, θεωρούνται τα πλέον κατάλληλα για την παραγωγή των τελικών πλημμυρικών υδρογραφημάτων. Το βασικό κριτήριο της επιλογής αυτού του βήματος είναι ότι στο μοναδιαίο υδρογράφημα πρέπει να ισχύει γενικά η εμπειρική σχέση $\Delta t \leq 0.2T_p$ (Nalbantis et al., 1994). Παρόλα αυτά κατά την εφαρμογή των χρονικών βημάτων αυτών στο HEC-HMS μόνο το χρονικό βήμα των 15 λεπτών πληρούσε τον παραπάνω περιορισμό.

Ο Πίνακας 5.1 και ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζουν την εφαρμογή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ (Λυμπερόπουλος, 2008). Στην πρώτη στήλη παρουσιάζεται η διάρκεια της βροχόπτωσης. Η ένταση υπολογίζεται από την όμβρια καμπύλη για κάθε μία από τις διάρκειες Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, ..., (στήλη 2) και το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης βρίσκεται σαν γινόμενο της έντασης βροχόπτωσης και της αντίστοιχης διάρκειας. (στήλη 3). Οι τιμές της στήλης 4 προκύπτουν από διαδοχικές αφαιρέσεις της στήλης 3 που δίνουν το ύψος

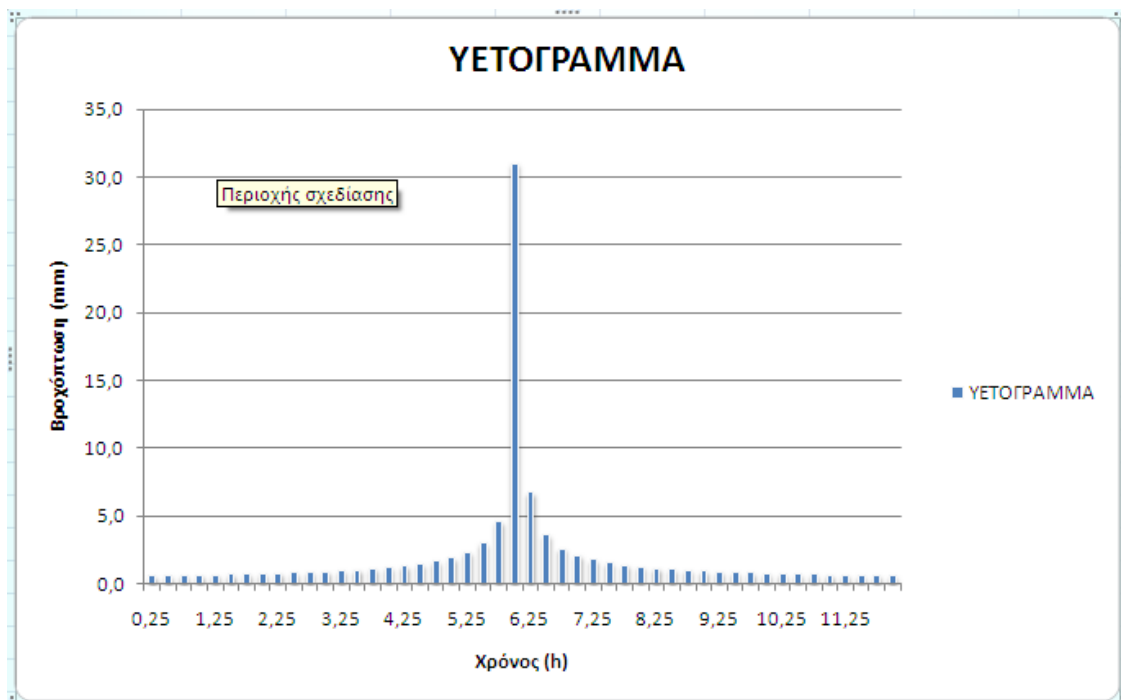
βροχόπτωσης για κάθε διάστημα που μελετάται (στην περίπτωση μας 0,25 h). Οι τιμές της στήλης 4 αναδιανέμονται όπως φαίνεται στη στήλη 6 και η μεγαλύτερη τιμή βροχόπτωσης ανά χρονική διάρκεια τοποθετείται στο κεντρικό μπλοκ του νετογράμματος. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή κατανέμεται δεξιά του κεντρικού μπλοκ, η επόμενη μεγαλύτερη τιμή αριστερά του κεντρικού μπλοκ κ.ο.κ. Έτσι, για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη και χρονικό βήμα 0,25 h (15 λεπτά) καταλήξαμε στα νετογράμματα σχεδιασμού διάρκειας 12 h και 24 h, τα οποία παρατίθενται στο Σχήμα 5.25 και στο Σχήμα 5.26 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 12 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	124.02	31.00	31.00	0 – 0.25	0.56
0.5	75.40	37.70	6.69	0.25 – 0.5	0.57
0.75	56.35	42.26	4.57	0.5 – 0.75	0.59
1	45.84	45.84	3.57	0.75 - 1	0.61
1.25	39.05	48.81	2.98	1 – 1.25	0.64
1.5	34.26	51.39	2.58	1.25 – 1.5	0.66
1.75	30.67	53.67	2.28	1.5 – 1.75	0.69
2	27.87	55.73	2.06	1.75 - 2	0.72
2.25	25.61	57.61	1.88	2 – 2.25	0.75
2.5	23.74	59.35	1.74	2.25 – 2.5	0.79
2.75	22.17	60.97	1.62	2.5 – 2.75	0.83
3	20.83	62.48	1.51	2.75 - 3	0.88
3.25	19.66	63.91	1.43	3 – 3.25	0.94
3.5	18.65	65.26	1.35	3.25 – 3.5	1.00
3.75	17.74	66.54	1.28	3.5 – 3.75	1.08
4	16.94	67.76	1.22	3.75 - 4	1.17
4.25	16.22	68.93	1.17	4 – 4.25	1.28
4.5	15.57	70.05	1.12	4.25 – 4.5	1.43
4.75	14.97	71.13	1.08	4.5 – 4.75	1.62
5	14.43	72.16	1.04	4.75 - 5	1.88
5.25	13.94	73.16	1.00	5 – 5.25	2.28
5.5	13.48	74.13	0.97	5.25 – 5.5	2.98
5.75	13.05	75.06	0.94	5.5 – 5.75	4.57
6	12.66	75.97	0.91	5.75 - 6	31.00
6.25	12.30	76.85	0.88	6 – 6.25	6.69
6.5	11.95	77.70	0.85	6.25 – 6.5	3.57
6.75	11.63	78.54	0.83	6.5 – 6.75	2.58
7	11.34	79.35	0.81	6.75 - 7	2.06
7.25	11.05	80.13	0.79	7 – 7.25	1.74
7.5	10.79	80.90	0.77	7.25 – 7.5	1.51
7.75	10.54	81.66	0.75	7.5 – 7.75	1.35
8	10.30	82.39	0.73	7.75 - 8	1.22

Πίνακας 5.1 (Συνέχεια): Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 12 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
8.25	10.07	83.11	0.72	8 – 8.25	1.12
8.5	9.86	83.81	0.70	8.25 – 8.5	1.04
8.75	9.66	84.50	0.69	8.5 – 8.75	0.97
9	9.46	85.17	0.67	8.75 - 9	0.91
9.25	9.28	85.83	0.66	9 – 9.25	0.85
9.5	9.10	86.48	0.65	9.25 – 9.5	0.81
9.75	8.94	87.12	0.64	9.5 – 9.75	0.77
10	8.77	87.74	0.62	9.75 - 10	0.73
10.25	8.62	88.35	0.61	10 – 10.25	0.70
10.5	8.47	88.96	0.60	10.25 – 10.5	0.67
10.75	8.33	89.55	0.59	10.5 – 10.75	0.65
11	8.19	90.13	0.58	10.75 - 11	0.62
11.25	8.06	90.70	0.57	11 – 11.25	0.60
11.5	7.94	91.27	0.56	11.25 – 11.5	0.58
11.75	7.81	91.82	0.56	11.5 – 11.75	0.56
12	7.70	92.37	0.55	11.75 -12	0.55



Σχήμα 5.25: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 12 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών.

Πίνακας 5.2: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 24 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

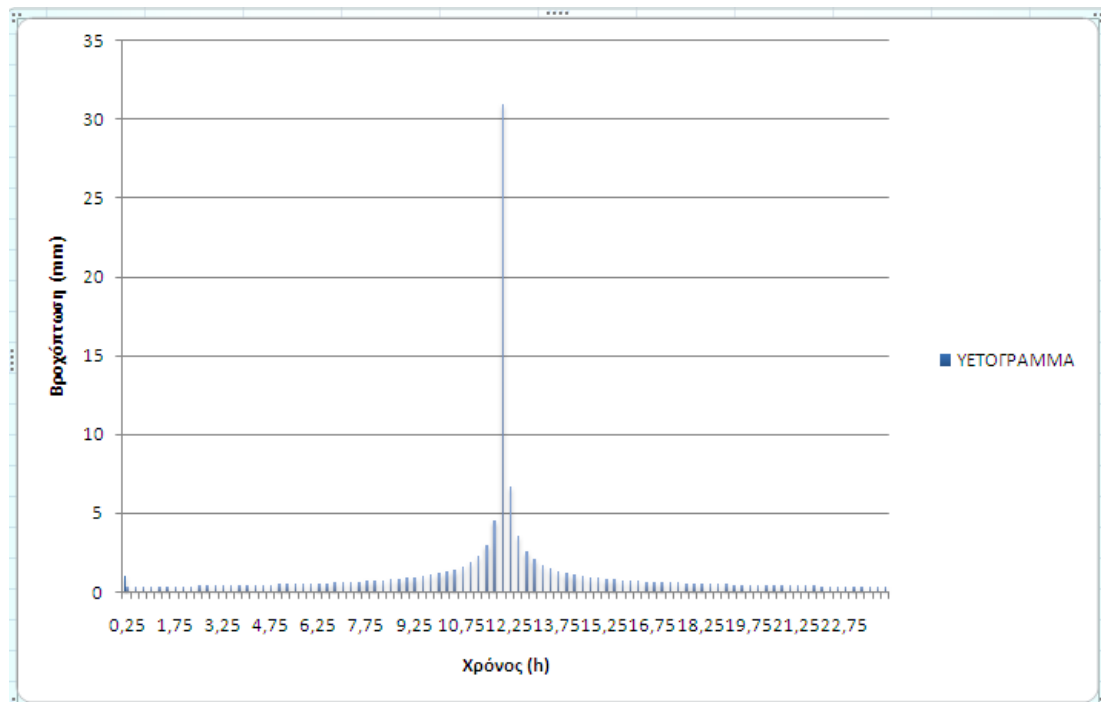
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	106.72	26.68	26.68	0 – 0.25	0.29
0.5	64.88	32.44	5.76	0.25 – 0.5	0.29
0.75	48.49	36.37	3.93	0.5 – 0.75	0.30
1	39.44	39.44	3.07	0.75 - 1	0.30
1.25	33.60	42.00	2.56	1 – 1.25	0.31
1.5	29.48	44.22	2.22	1.25 – 1.5	0.31
1.75	26.39	46.18	1.96	1.5 – 1.75	0.32
2	23.98	47.96	1.77	1.75 - 2	0.32
2.25	22.03	49.58	1.62	2 – 2.25	0.33
2.5	20.43	51.07	1.50	2.25 – 2.5	0.33
2.75	19.08	52.46	1.39	2.5 – 2.75	0.34
3	17.92	53.76	1.30	2.75 - 3	0.35
3.25	16.92	54.99	1.23	3 – 3.25	0.35
3.5	16.04	56.15	1.16	3.25 – 3.5	0.36
3.75	15.27	57.26	1.10	3.5 – 3.75	0.37
4	14.58	58.31	1.05	3.75 - 4	0.38
4.25	13.96	59.31	1.01	4 – 4.25	0.39
4.5	13.40	60.28	0.96	4.25 – 4.5	0.40
4.75	12.88	61.20	0.93	4.5 – 4.75	0.41
5	12.42	62.10	0.89	4.75 - 5	0.42
5.25	11.99	62.96	0.86	5 – 5.25	0.43
5.5	11.60	63.79	0.83	5.25 – 5.5	0.44
5.75	11.23	64.59	0.80	5.5 – 5.75	0.45
6	10.90	65.37	0.78	5.75 - 6	0.46
6.25	10.58	66.13	0.76	6 – 6.25	0.48
6.5	10.29	66.86	0.74	6.25 – 6.5	0.49
6.75	10.01	67.58	0.72	6.5 – 6.75	0.51
7	9.75	68.28	0.70	6.75 - 7	0.53
7.25	9.51	68.95	0.68	7 – 7.25	0.55
7.5	9.28	69.62	0.66	7.25 – 7.5	0.57
7.75	9.07	70.26	0.65	7.5 – 7.75	0.59
8	8.86	70.90	0.63	7.75 - 8	0.62
8.25	8.67	71.51	0.62	8 – 8.25	0.65
8.5	8.48	72.12	0.60	8.25 – 8.5	0.68
8.75	8.31	72.71	0.59	8.5 – 8.75	0.72
9	8.14	73.29	0.58	8.75 - 9	0.76
9.25	7.98	73.86	0.57	9 – 9.25	0.80
9.5	7.83	74.42	0.56	9.25 – 9.5	0.86
9.75	7.69	74.96	0.55	9.5 – 9.75	0.93

Πίνακας 5.2 (Συνέχεια 1): Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 24 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Βροχόπτωση		Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
		Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	ανά διαστήματα (mm)		
10	7.55	75.50	0.54	9.75 - 10	1.01
10.25	7.42	76.03	0.53	10 - 10.25	1.10
10.5	7.29	76.55	0.52	10.25 - 10.5	1.23
10.75	7.17	77.06	0.51	10.5 - 10.75	1.39
11	7.05	77.56	0.50	10.75 - 11	1.62
11.25	6.94	78.05	0.49	11 - 11.25	1.96
11.5	6.83	78.54	0.49	11.25 - 11.5	2.56
11.75	6.72	79.01	0.48	11.5 - 11.75	3.93
12	6.62	79.48	0.47	11.75 - 12	26.68
12.25	6.53	79.95	0.46	12 - 12.25	5.76
12.5	6.43	80.40	0.46	12.25 - 12.5	3.07
12.75	6.34	80.85	0.45	12.5 - 12.75	2.22
13	6.25	81.30	0.44	12.75 - 13	1.77
13.25	6.17	81.74	0.44	13 - 13.25	1.50
13.5	6.09	82.17	0.43	13.25 - 13.5	1.30
13.75	6.01	82.59	0.43	13.5 - 13.75	1.16
14	5.93	83.02	0.42	13.75 - 14	1.05
14.25	5.85	83.43	0.42	14 - 14.25	0.96
14.5	5.78	83.84	0.41	14.25 - 14.5	0.89
14.75	5.71	84.25	0.41	14.5 - 14.75	0.83
15	5.64	84.65	0.40	14.75 - 15	0.78
15.25	5.58	85.04	0.40	15 - 15.25	0.74
15.5	5.51	85.43	0.39	15.25 - 15.5	0.70
15.75	5.45	85.82	0.39	15.5 - 15.75	0.66
16	5.39	86.20	0.38	15.75 - 16	0.63
16.25	5.33	86.58	0.38	16 - 16.25	0.60
16.5	5.27	86.95	0.37	16.25 - 16.5	0.58
16.75	5.21	87.32	0.37	16.5 - 16.75	0.56
17	5.16	87.69	0.37	16.75 - 17	0.54
17.25	5.10	88.05	0.36	17 - 17.25	0.52
17.5	5.05	88.41	0.36	17.25 - 17.5	0.50
17.75	5.00	88.76	0.35	17.5 - 17.75	0.49
18	4.95	89.11	0.35	17.75 - 18	0.47
18.25	4.90	89.46	0.35	18 - 18.25	0.46
18.5	4.85	89.80	0.34	18.25 - 18.5	0.44
18.75	4.81	90.14	0.34	18.5 - 18.75	0.43
19	4.76	90.48	0.34	18.75 - 19	0.42
19.25	4.72	90.82	0.33	19 - 19.25	0.41

Πίνακας 5.2 (Συνέχεια 2): Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 24 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	
			Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
19.5	4.67	91.15	19.25 – 19.5	0.40
19.75	4.63	91.47	19.5 – 19.75	0.39
20	4.59	91.80	19.75 - 20	0.38
20.25	4.55	92.12	20 – 20.25	0.37
20.5	4.51	92.44	20.25 – 20.5	0.37
20.75	4.47	92.76	20.5 – 20.75	0.36
21	4.43	93.07	20.75 - 21	0.35
21.25	4.39	93.38	21 – 21.25	0.34
21.5	4.36	93.69	21.25 -21.5	0.34
21.75	4.32	94.00	21.5 -21.75	0.33
22	4.29	94.30	21.75 - 22	0.33
22.25	4.25	94.60	22 – 22.25	0.32
22.5	4.22	94.90	22.25 – 22.5	0.31
22.75	4.18	95.20	22.5 – 22.75	0.31
23	4.15	95.49	22.75 - 23	0.30
23.25	4.12	95.78	23 – 23.25	0.30
23.5	4.09	96.07	23.25 – 23.5	0.29
23.75	4.06	96.36	23.5 – 23.75	0.29
24	4.03	96.64	23.75 - 24	0.28



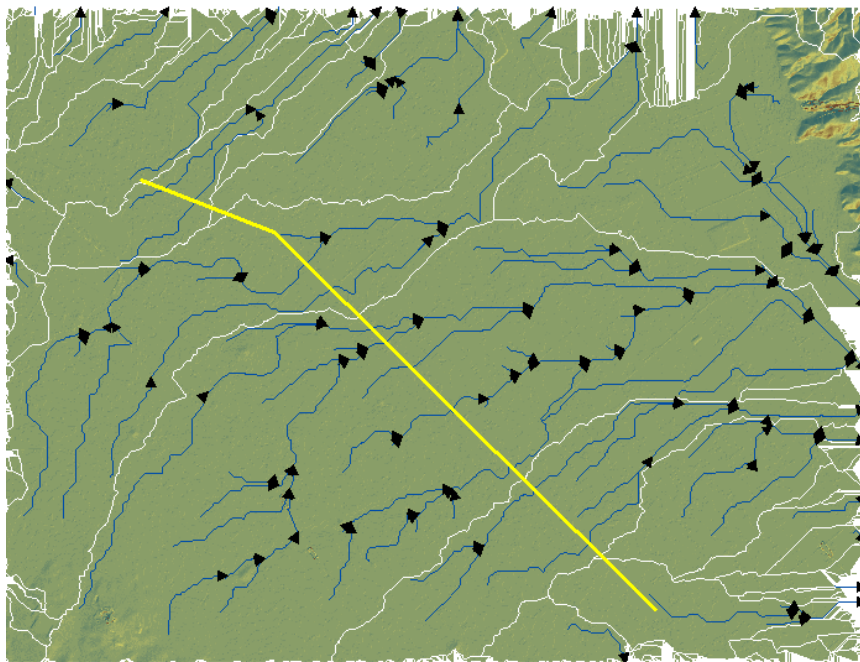
Σχήμα 5.26: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη διάρκειας 24 h και χρονικό βήμα 15 λεπτών.

Αυτά λοιπόν, είναι τα υετογράμματα που θα εισαχθούν τελικά στο HEC-HMS, όπως θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

5.3 Προετοιμασία δεδομένων για είσοδο στο HEC-HMS

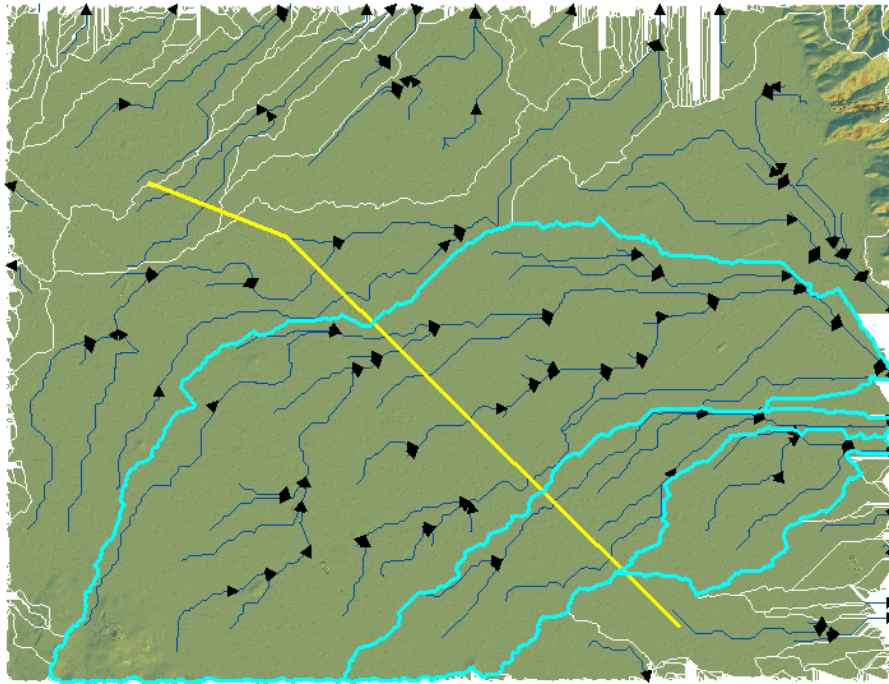
5.3.1 Επιλογή τελικών λεκανών απορροής

Μετά την παραπάνω ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους πρόβλεψε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, αλλά και οι λεκάνες απορροής. Φυσικά, δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην μελέτη όλες οι λεκάνες απορροής, αλλά μόνο αυτές που μας ενδιαφέρουν για το σκοπό της εργασίας. Η επιλογή των τελικών λεκανών απορροής σχετίζεται άμεσα με το υπό μελέτη οδικό δίκτυο (Π.Ε.Ο Λάρισας-Βόλου). Έτσι λοιπόν, ένα βασικό κριτήριο επιλογής των τελικών λεκανών απορροής ήταν να συμπεριλαμβάνουν τμήμα του παραπάνω οδικού δικτύου. Επίσης, σημαντικό ρόλο στην επιλογή έπαιξε και η κατεύθυνση του υδρογραφικού δικτύου. Οι λεκάνες απορροής, οι οποίες μετέφεραν τα νερά τους σε κατεύθυνση που ήταν τελείως ασύνδετη με το οδικό δίκτυο απορρίφθηκαν. Στο Σχήμα 5.27 παρατηρούμε τις όλες τις λεκάνες απορροής της περιοχής, το υδρογραφικό δίκτυο και την κατεύθυνση του καθώς και το υπό μελέτη οδικό τμήμα (κίτρινο χρώμα).



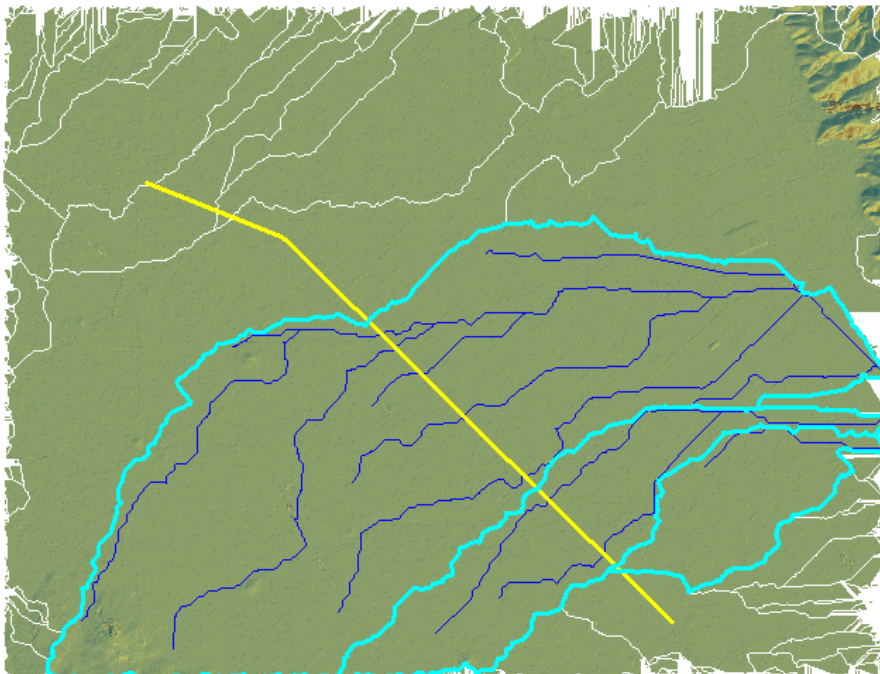
Σχήμα 5.27: Απεικόνιση όλων των λεκανών απορροής, υδρογραφικού δικτύου και υπό μελέτη δρόμος.

Με βάση τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν παραπάνω έγινε η τελική επιλογή των λεκανών απορροής απορρίπτοντας όλες τις λεκάνες, στις οποίες η κατεύθυνση ροής είναι βορειοανατολικά και επιλέχθηκαν εκείνες, στις οποίες οι κατεύθυνση ροής είναι κυρίως ανατολικά. Οι τελικές λεκάνες που επιλέχθηκαν είναι ορατές (με θαλασσί χρώμα) στο Σχήμα 5.28.



Σχήμα 5.28: Τελικές λεκάνες απορροής.

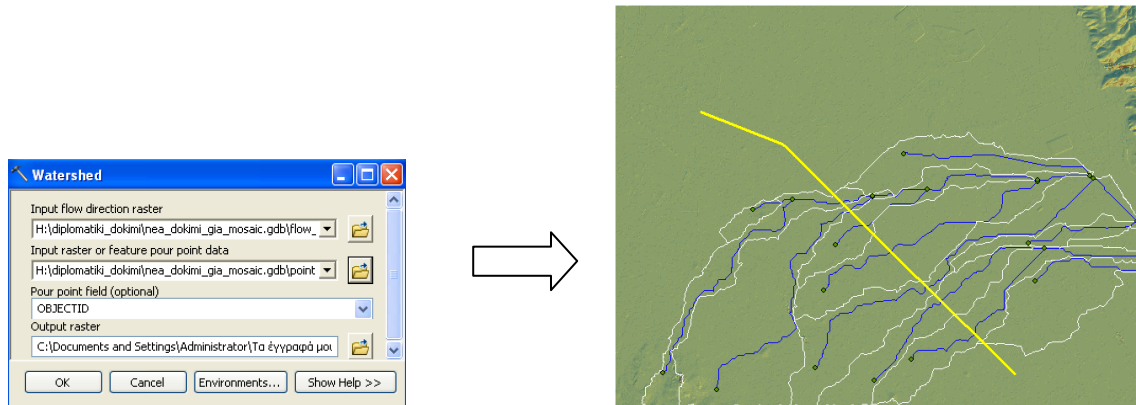
Εξαιτίας της μεγάλης έκτασης της μίας λεκάνης, δημιουργήθηκε η ανάγκη του διαχωρισμού της σε υπολεκάνες. Το τελικό αποτέλεσμα που θέλουμε είναι η κάθε λεκάνη να περιέχει ένα κλάδο υδρογραφικού δικτύου. Έτσι λοιπόν, αρχικά έγινε μία απλοποίηση του υδρογραφικού δικτύου με την εξαγωγή του αρχείου στο Autocad. Το απλοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο που προέκυψε μετά από την επεξεργασία του στο Autocad παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.29.



Σχήμα 5.29: Απλοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο.

Εφόσον, απλοποιήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο, πλέον μπορούσε να χωριστεί η μεγάλη λεκάνη σε υπολεκάνες και κάθε μία να περιλαμβάνει ένα κλάδο υδρογραφικού δικτύου. Η εντολή που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό αυτόν είναι Arctoolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Watershed. Η εντολή αυτή για να πραγματοποιηθεί απαιτούνται να είναι γνωστά ο κάρναβος ροής (flow direction) αλλά και τα σημεία συμβολής (pour points),

δηλαδή τα σημεία εκείνα στα οποία το νερό ρέει έξω από την επιφάνεια που ορίζουν, στην ουσία κάτι σαν την έξοδο της υπολεκάνης. Άρα αρχικά ορίστηκαν τα σημεία συμβολής και κατόπιν εκτελέστηκε η εντολή. Να σημειωθεί εδώ ότι έγιναν αρκετές δοκιμές με το που πρέπει να μπουν τα σημεία συμβολής (pour points) και εκτελέστηκε αρκετές φορές η εντολή μέχρι να έχουμε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά στο Σχήμα 5.30 παρουσιάζεται η τελευταία και πιο ικανοποιητική από τις δοκιμές που έγιναν. Επίσης στο Σχήμα φαίνονται η εντολή, τα σημεία συμβολής, αλλά και ο δρόμος.

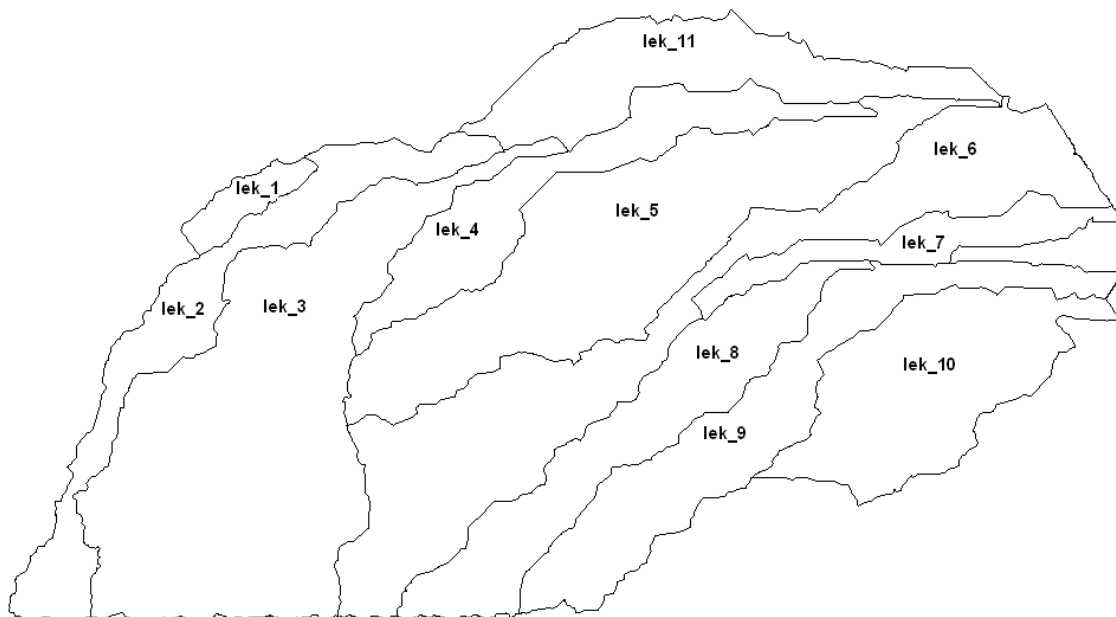


Σχήμα 5.30: Η εκτέλεση της εντολής Watershed και το παραγόμενο αποτέλεσμα.

Έτσι λοιπόν, έχουμε τις τελικές λεκάνες απορροής, οι οποίες έχουν ένα κλάδο υδρογραφικού, και είναι αυτές που θα εισαχθούν αργότερα στο υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS. Ο αριθμός των τελικών λεκανών είναι έντεκα.

5.3.2 Χαρακτηριστικά λεκανών απορροής

Αφού, έγινε η επιλογή των τελικών λεκανών απορροής (Σχήμα 5.31) μέσα από την διαδικασία που αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, είναι αναγκαίο να υπολογιστούν κάποια χαρακτηριστικά τους, τα οποία θα εισαχθούν στο HEC-HMS. Η ανάλυση για το HEC-HMS θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο αναλυτικά, στον παρών κεφάλαιο γίνεται απλά η προετοιμασία των δεδομένων που θα εισαχθούν σε αυτό.



Σχήμα 5.31: Οι τελικές λεκάνες απορροής.

- Εμβαδόν λεκάνης απορροής και μήκος κύριας μισγάγγειας

Ο υπολογισμός αυτών των στοιχείων γίνεται αυτόματα στο πρόγραμμα Arcswat. Ο Πίνακας 5.3 που ακολουθεί παρουσιάζει το εμβαδόν και το μήκος της κύριας μισγάγγειας για κάθε μία από τις λεκάνες απορροής.

Πίνακας 5.3: Εμβαδόν και μήκος κύριας μισγάγγειας κάθε λεκάνης απορροής.

ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (A) (km ²)	ΜΗΚΟΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ (L) (km)
ΛΕΚΑΝΗ 1	1.000	0.984
ΛΕΚΑΝΗ 2	6.051	10.678
ΛΕΚΑΝΗ 3	17.902	10.427
ΛΕΚΑΝΗ 4	5.264	7.347
ΛΕΚΑΝΗ 5	12.998	10.527
ΛΕΚΑΝΗ 6	13.651	14.484
ΛΕΚΑΝΗ 7	2.601	4.189
ΛΕΚΑΝΗ 8	6.904	7.320
ΛΕΚΑΝΗ 9	7.694	9.577
ΛΕΚΑΝΗ 10	7.716	3.889
ΛΕΚΑΝΗ 11	6.196	6.191

- Χρόνος συγκέντρωσης και χρόνος υστέρησης λεκανών απορροής

Ακόμη δύο σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να υπολογιστούν, γιατί θα εισαχθούν αργότερα στο HEC-HMS είναι ο χρόνος συγκέντρωσης (t_c) και κατά συνέπεια ο χρόνος υστέρησης (t_p). Ο χρόνος συγκέντρωσης (t_c) ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το νερό να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης (ακολουθώντας το υδρογραφικό δίκτυο) ως την έξοδο (Τσακίρης, 1995).

Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης του χρόνου συγκέντρωσης. Οι πιο σημαντικές είναι οι παρακάτω:

1. t_c κατά Kirpich:

$$t_c = 0.0078L^{0.77} S_m^{-0.385} \quad (5.2)$$

όπου L = μήκος κύριου υδατορεύματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο (m) και S_m = μέση κλίση λεκάνης (m/m).

2. t_c κατά Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (5.3)$$

όπου A = η έκταση της λεκάνης απορροής (km²), L = η απόσταση κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος μέχρι την έξοδο της λεκάνης (km) και ΔH = η υψομετρική διαφορά μεταξύ του μέσου υψόμετρου της λεκάνης (Z_m) και της κοίτης του υδατορεύματος στην έξοδο (Z_{\min}) (m).

3. t_c κατά SCS:

$$t_c = \frac{0.57L^{0.8} [(1000 / CN - 9)]^{0.7}}{S_m^{0.5}} \quad (5.4)$$

όπου L = μήκος της κύριας μισγάγγειας (m), CN = ο αριθμός καμπύλης της μεθόδου SCS και S_m = η μέση κλίση της λεκάνης (%).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο χρόνος συγκέντρωσης (t_c) εκτιμήθηκε από την εμπειρική σχέση του Giandotti 5.2 η οποία θεωρείται ότι, για λεκάνες της Μεσογείου, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Σύμφωνα λοιπόν με τη σχέση 5.2 του Giandotti, πρέπει να είναι γνωστά το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (A), το οποίο είναι γνωστό, το μήκος της κύριας μισγάγγειας (L), το οποίο επίσης είναι γνωστό όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, καθώς επίσης και δύο υψόμετρα, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (Z_m) και το υψόμετρο εξόδου της λεκάνης (Z_{min}), τα οποία προσδιορίζονται ως εξής:

Ο υπολογισμός του υψομέτρου εξόδου της λεκάνης υπολογίζεται στο Arcmap με τη χρήση του εργαλείου Identify, χτυπώντας τοπικά στην έξοδο της λεκάνης με το ποντίκι, ενώ όσον αφορά το μέσο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίζεται με σταθμισμένο μέσο όρο για κάθε λεκάνη. Για κάθε λεκάνη εξάγεται σε φύλλο excel ο πίνακας που παρουσιάζει την τιμή του υψομέτρου καθώς και τον αριθμό των pixel που λαμβάνει κάθε τιμή υψομέτρου. Σταθμίζοντας λοιπόν, το μέσο όρο των τιμών των διαφορετικών υψομέτρων και χρησιμοποιώντας σαν βάρος, για κάθε τιμή του υψομέτρου που εμφανίζεται στη λεκάνη, τον αριθμό των pixel που αντιστοιχούν σε κάθε υψόμετρο προκύπτει το μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει το μέσο υψόμετρο (Z_m) και το υψόμετρο εξόδου κάθε λεκάνης (Z_{min}), καθώς και τον υπολογισμένο χρόνο συγκέντρωσης με την σχέση του Giandotti.

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά υψόμετρα κάθε λεκάνης και υπολογισμένος χρόνος συγκέντρωσης σε h.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	Z_m (m)	Z_{min} (m)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ t_c
			(h)
ΛΕΚΑΝΗ 1	69	62	2.587
ΛΕΚΑΝΗ 2	80	56	6.597
ΛΕΚΑΝΗ 3	79	55	8.309
ΛΕΚΑΝΗ 4	57	47	7.984
ΛΕΚΑΝΗ 5	56	46	11.942
ΛΕΚΑΝΗ 6	60	46	12.196
ΛΕΚΑΝΗ 7	48	46	11.255
ΛΕΚΑΝΗ 8	62	48	7.179
ΛΕΚΑΝΗ 9	57	45	9.187
ΛΕΚΑΝΗ 10	50	45	9.473
ΛΕΚΑΝΗ 11	52	46	9.820

Εφόσον υπολογίστηκε ο χρόνος συγκέντρωσης t_c , ακολουθεί ο υπολογισμός του χρόνου υστέρησης t_p για κάθε λεκάνη, ο οποίος είναι και ο χρόνος που θα εισαχθεί το HEC-HMS.

Ο χρόνος υστέρησης ορίζεται ως το 60% του χρόνου συγκέντρωσης. Δηλαδή, υπολογίζεται από τη σχέση 5.5:

$$t_p = 0.6t_c \quad (5.5)$$

Ο Πίνακας 5.5 παρουσιάζει το χρόνο υστέρησης για κάθε λεκάνη σε h.

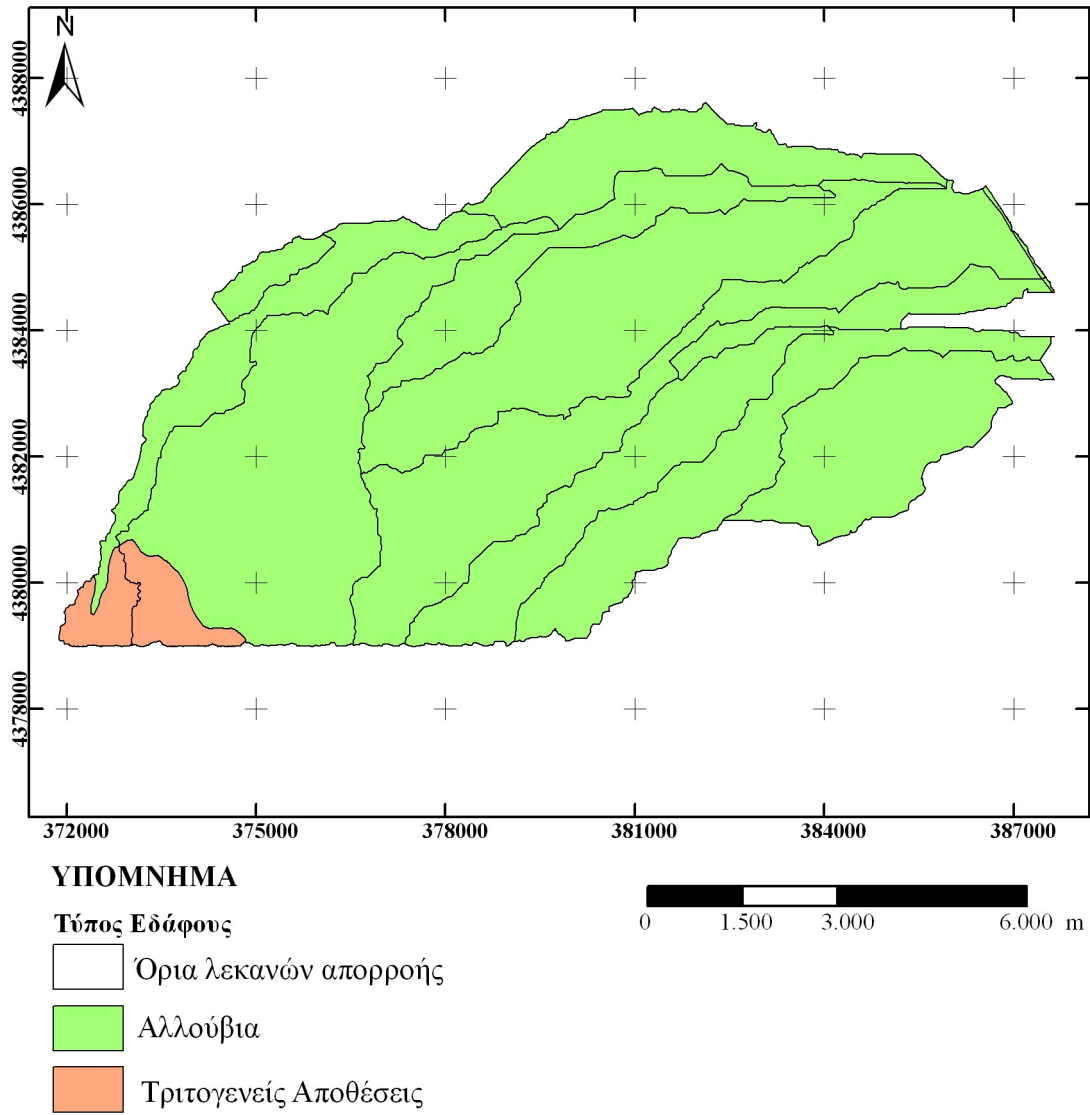
Πίνακας 5.5: Χρόνος υστέρησης για κάθε λεκάνη απορροής.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ t_p (h)
ΛΕΚΑΝΗ 1	1.552
ΛΕΚΑΝΗ 2	3.958
ΛΕΚΑΝΗ 3	4.985
ΛΕΚΑΝΗ 4	4.790
ΛΕΚΑΝΗ 5	7.165
ΛΕΚΑΝΗ 6	7.317
ΛΕΚΑΝΗ 7	6.753
ΛΕΚΑΝΗ 8	4.308
ΛΕΚΑΝΗ 9	5.512
ΛΕΚΑΝΗ 10	5.684
ΛΕΚΑΝΗ 11	5.892

- Αριθμός καμπύλης CN (Curve Number)

Η μέθοδος εκτίμησης των απωλειών βροχής στην παρούσα διπλωματική είναι η μέθοδος SCS, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη μέθοδο, το θεωρητικό υπόβαθρο της οποίας επεξηγείται αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο, απαιτείται η γνώση ενός αριθμού, αριθμού καμπύλης όπως ονομάζεται, CN. Ο αριθμός καμπύλης CN μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα από πίνακες, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3. Για να βρεθεί ο CN για κάθε μια από τις λεκάνες απορροής, απαιτείται να είναι γνωστά για την λεκάνη η κατηγορία εδάφους καθώς επίσης και οι χρήσεις γης που περιέχονται στην λεκάνη. Εφόσον είναι γνωστά αυτά τα στοιχεία, υπολογίζεται ο αριθμός CN, από τον Πίνακα του Wanielista (Πίνακας 3.2). Στο Σχήμα 5.32 παρατηρούμε από ποια εδάφη αποτελούνται οι λεκάνες απορροής και ο Πίνακας 5.6 δείχνει τον υδρολογικό τύπο του εδάφους για κάθε λεκάνη.

Οι τύποι εδάφους των λεκανών απορροής



Σχήμα 5.32: Οι τύποι εδάφους των τελικών λεκανών απορροής.

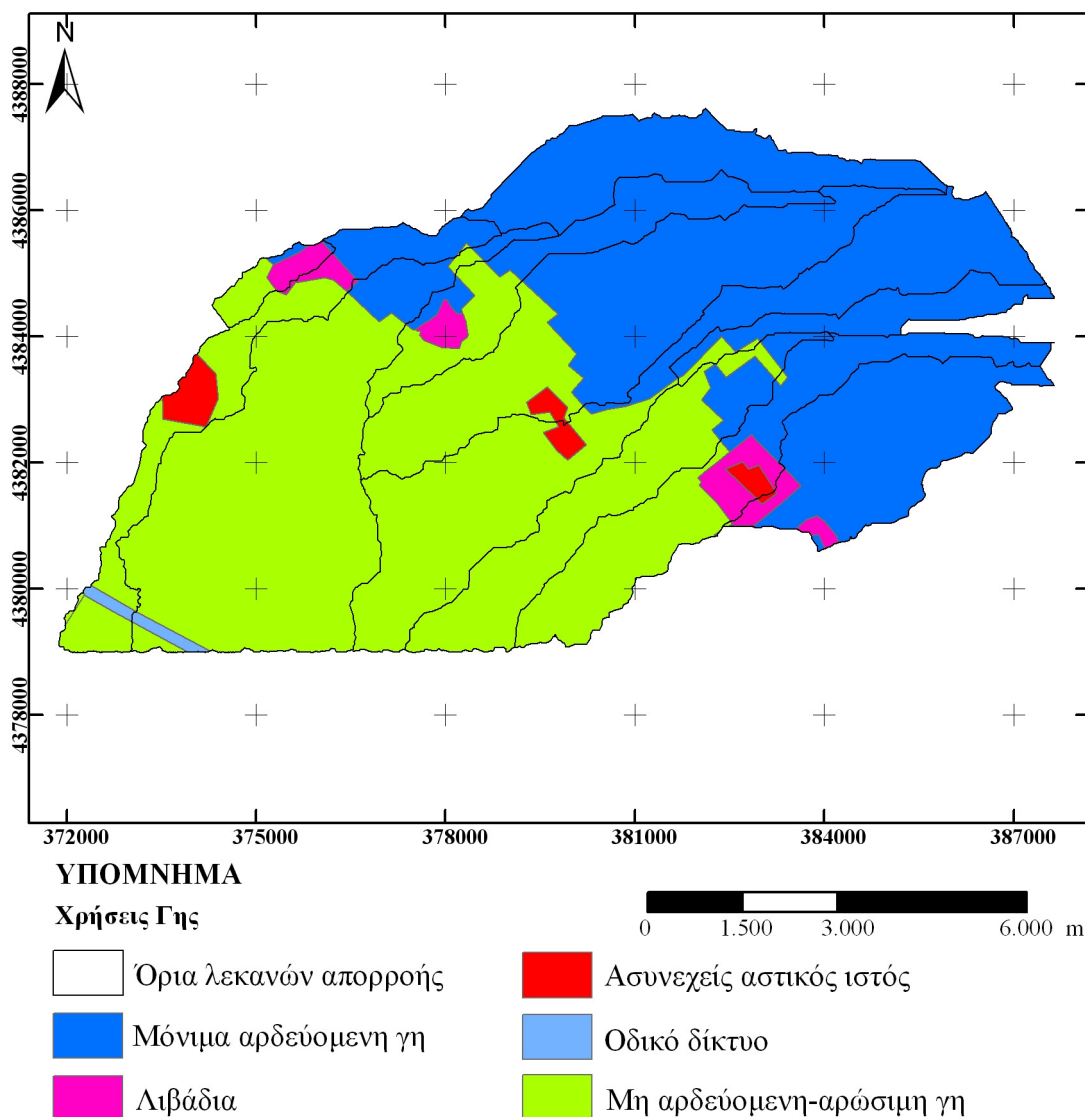
Πίνακας 5.6: Παρουσίαση τύπου εδάφους για κάθε λεκάνη απορροής.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΔΑΦΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΛΕΚΑΝΗ 1	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 2	ΑΛΛΟΥΒΙΑ ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	A
ΛΕΚΑΝΗ 3	ΑΛΛΟΥΒΙΑ ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	A
ΛΕΚΑΝΗ 4	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 5	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 6	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 7	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 8	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 9	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 10	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A
ΛΕΚΑΝΗ 11	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	A

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε για το έδαφος προέκυψε ότι όλες οι λεκάνες αποτελούνταν από αλλούβια, ενώ μόνο δύο λεκάνες είχαν και ένα πολύ μικρό ποσοστό τριτογενών αποθέσεων. Τα υλικά από τα οποία αποτελούνταν τόσο τα αλλούβια, όσο και οι τριτογενείς αποθέσεις ήταν αμμώδη και χαλικώδη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα, γεγονός το οποίο μας βοήθησε να τα ταξινομήσουμε στην πρώτη από τις κατηγορίες εδαφών από υδρολογική άποψη (κατηγορία A).

Συνεπώς, είναι γνωστός ο τύπος εδάφους, το μόνο λοιπόν που μένει για τον προσδιορισμό του αριθμού CN είναι οι χρήσεις γης για κάθε λεκάνη. Στο Σχήμα 5.33 βλέπουμε τις χρήσεις γης, από τις οποίες αποτελείται η κάθε λεκάνη.

Οι χρήσεις γης των λεκανών απορροής



Σχήμα 5.33: Οι χρήσεις γης των τελικών λεκανών απορροής.

Παρατηρούμε ότι κάθε λεκάνη αποτελείται από παραπάνω από μια χρήση γης. Συνεπώς θα υπολογιστεί ο σταθμισμένος μέσος όρος του αριθμού CN μέσω της σχέσης 5.6:

$$CN = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (5.6)$$

όπου CN= ο τελικός αριθμός CN για κάθε λεκάνη, A_i = το εμβαδό της χρήσης γης i στην λεκάνη και CN_i = ο αριθμός CN της χρήσης γης i από τον Πίνακα του Wanielista.

Για τον προσδιορισμό του σταθμισμένου λοιπόν CN απαιτείται μια διαδικασία στο Arcmap. Αρχικά, επικαλύπτονται οι χάρτες τόσο των λεκανών απορροής, όσο και των χρήσεων γης. Το αποτέλεσμα αυτής της επικάλυψης είναι αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 5.33. Η εντολή που χρησιμοποιείται στο Arcmap για αυτή τη διαδικασία είναι Arc toolbox → Analysis Tool → Overlay → Intersect. Κατόπιν, ανοίγεται ο πίνακας που δημιουργείται με την εκτέλεση της παραπάνω εντολής, μέσα στον οποίο βρίσκονται για κάθε λεκάνη οι χρήσεις γης που την απαρτίζουν, καθώς και το εμβαδό κάθε μιας από αυτές τις χρήσεις γης. Τέλος, με βάση την

παραπάνω διαδικασία υπολογίζεται ο τελικός αριθμός CN για κάθε λεκάνη. Ο Πίνακας 5.7 παρουσιάζει τόσο τις χρήσεις γης κάθε λεκάνης, όσο και το εμβαδόν που καταλαμβάνει κάθε μια από αυτές αλλά και το τελικό CN για κάθε λεκάνη.

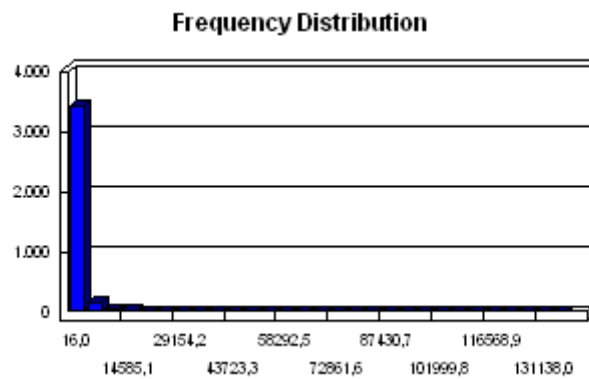
Πίνακας 5.7: Τελικά CN για κάθε λεκάνη.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	CN (ΤΥΠΟΣ Α)	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΤΕΛΙΚΟ CN
ΛΕΚΑΝΗ 1	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	547474.283	56
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	83247.128	
	231	ΛΙΒΑΔΙΑ	30	368894.863	
ΛΕΚΑΝΗ 2		ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΑΣΤΙΚΗ			67
	112	ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ	51	622501.064	
	122	ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	98	152655.750	
	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	3636261.795	
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	1401705.753	
ΛΕΚΑΝΗ 3	231	ΛΙΒΑΔΙΑ	30	237747.780	72
	122	ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	98	211262.934	
	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	16312920.089	
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	1372472.913	
ΛΕΚΑΝΗ 4	231	ΛΙΒΑΔΙΑ	30	5785.637	63
	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	1917910.793	
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	2973117.974	
ΛΕΚΑΝΗ 5	231	ΛΙΒΑΔΙΑ	30	372471.640	65
		ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΑΣΤΙΚΗ			
	112	ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ	51	195960.415	
	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	4549773.042	
ΛΕΚΑΝΗ 6	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	8251944.431	67
		ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΑΣΤΙΚΗ			
	112	ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ	51	214501.227	
ΛΕΚΑΝΗ 7	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	7680130.433	63
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	5755956.678	
ΛΕΚΑΝΗ 8	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	196972.727	63
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	2403770.635	
ΛΕΚΑΝΗ 9	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	5806198.820	70
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	1097639.560	
		ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΑΣΤΙΚΗ			
	112	ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ	51	227629.916	
ΛΕΚΑΝΗ 10	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	3957606.457	64
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	2751686.594	
	231	ΛΙΒΑΔΙΑ	30	756589.006	
		ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΑΣΤΙΚΗ			
	112	ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ	51	25452.079	
ΛΕΚΑΝΗ 11	211	ΜΗ ΑΡΔΕΥΣΙΜΗ ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	72	6214.696	60
	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	7216260.033	
	231	ΛΙΒΑΔΙΑ	30	468265.154	
ΛΕΚΑΝΗ 11	212	ΜΟΝΙΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΗ	62	6196091.134	62

5.3.3 Επιλογή τελικών κοιλοτήτων για κάθε λεκάνη

Όπως είδαμε και παραπάνω, παρουσιάστηκαν στο Arcmap, μέσω της εντολής sink, όλες οι κοιλότητες του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ). Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των

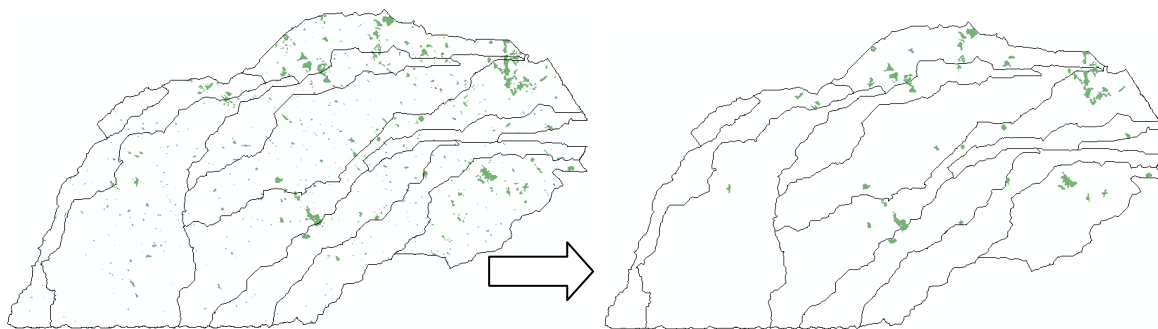
κοιλοτήτων που εμφανίζονται, κρίθηκε αναγκαίο να οριστεί ένα κατώφλι, χρησιμοποιώντας σαν κριτήριο την έκταση των κοιλοτήτων, ώστε να μειωθεί ο αριθμός του και να γίνει πιο εύκολα διαχειρίσιμος για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για να οριστεί αυτό το κατώφλι προσδιορίστηκε η συνάρτηση στατιστικής κατανομής του εμβαδού των κοιλοτήτων. Το Σχήμα 5.34 παρουσιάζει αυτή τη συνάρτηση σε διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει στον άξονα των x την έκταση των κοιλοτήτων και στον άξονα των y τον αριθμό εμφάνισης τους ανάλογα με την έκταση.



Σχήμα 5.34: Συνάρτηση πυκνότητας-πιθανότητας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι περίπου το 97% των κοιλοτήτων παρουσιάζουν έκταση κάτω από 10000 m² και από αυτό το 97%, το 95% έχει έκταση 25 m², δηλαδή ίσα με ένα pixel του ψηφιακού μοντέλου. Προφανώς αυτή η έκταση δεν μπορεί να αντιπροσωπεύει κοιλότητα. Έτσι λοιπόν, χρησιμοποιείται σαν κατώφλι τα 10000 m², με αποτέλεσμα να απορρίπτονται όλες οι μικρές κοιλότητες και να παραμένουν μόνο οι σημαντικές. Οι σημαντικές κοιλότητες αποτελούν το μόλις το 3% του δείγματος.

Στο Σχήμα 5.35 βλέπουμε τις κοιλότητες που υπάρχουν στις λεκάνες απορροής πριν τον ορισμό του κατωφλιού (αριστερά) και τις κοιλότητες που υπάρχουν στις λεκάνες μετά τον ορισμό του κατωφλιού.



Σχήμα 5.35: Οι κοιλότητες στις λεκάνες απορροής πριν και μετά τον ορισμό του κατωφλιού.

Παρατηρούμε λοιπόν πράγματι ότι οι μικρές κοιλότητες έχουν εξαλειφθεί και έχουν παραμείνει μόνο οι σημαντικές κοιλότητες. Για τις ανάγκες της εργασίας είναι επιθυμητό να υπήρχε μία κοιλότητα σε κάθε λεκάνη. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολλές λεκάνες που περιέχουν περισσότερες από μία κοιλότητες. Επομένως γίνεται η παραδοχή ότι θα χρησιμοποιηθεί μια ισοδύναμη κοιλότητα για κάθε λεκάνη, η οποία θα τοποθετηθεί κοντά στην έξοδο της κάθε λεκάνης. Ο Πίνακας 5.8 παρουσιάζει πόσες κοιλότητες υπάρχουν σε κάθε λεκάνη.

Πίνακας 5.8: Αριθμός κοιλοτήτων σε κάθε λεκάνη απορροής.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΛΕΚΑΝΗ
ΛΕΚΑΝΗ 1	0
ΛΕΚΑΝΗ 2	3
ΛΕΚΑΝΗ 3	1
ΛΕΚΑΝΗ 4	2
ΛΕΚΑΝΗ 5	4
ΛΕΚΑΝΗ 6	11
ΛΕΚΑΝΗ 7	1
ΛΕΚΑΝΗ 8	3
ΛΕΚΑΝΗ 9	1
ΛΕΚΑΝΗ 10	5
ΛΕΚΑΝΗ 11	14

Η δημιουργία της ισοδύναμης κοιλότητας στηρίζεται στα εξής:

1. Η τελική ισοδύναμη κοιλότητα πρέπει να έχει έκταση ίση με το άθροισμα των εκτάσεων από τις οποίες προήλθε.
2. Η τελική ισοδύναμη κοιλότητα πρέπει να έχει όγκο ίσο με το άθροισμα των όγκων από τις οποίες προήλθε.

Το βάθος της κοιλότητας θα υπολογιστεί από την σχέση $V = Ah \rightarrow h = \frac{V}{A}$, όπου V = ο συνολικός όγκος των κοιλοτήτων που αποτελούν την ισοδύναμη κοιλότητα και A = η αντίστοιχη συνολική έκταση.

Η έκταση κάθε κοιλότητας υπολογίστηκε πολύ εύκολα από το Arcmap. Αντίθετα, ο όγκος δεν μπορούσε να υπολογιστεί αυτόματα στο Arcmap. Για να υπολογιστεί λοιπόν ο όγκος κάθε κοιλότητας χρησιμοποιήθηκε ένα εργαλείο του Arcmap, το οποίο δεν υπήρχε μέσα στις εντολές αλλά έπρεπε να εγκατασταθεί. Πρόκειται για το εργαλείο ArcHydro. Έτσι λοιπόν, ο όγκος των κοιλοτήτων υπολογίστηκε μέσω της εντολής ArcHydro \rightarrow Sink Evaluations. Συνεπώς, αθροίστηκαν οι συνολικές εκτάσεις και οι συνολικοί όγκοι κάθε κοιλότητας που υπήρχε σε κάθε μία από τις λεκάνες και έτσι προέκυψαν οι τελικές εκτάσεις και οι τελικοί όγκοι της μίας ισοδύναμης κοιλότητας κάθε λεκάνης. Τέλος, με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω υπολογίστηκε και το βάθος τους.

Ο Πίνακας 5.9 παρουσιάζει τις τελικές ισοδύναμες κοιλότητες κάθε λεκάνης με τα εμβαδά τους, τους όγκους τους και τα βάθη τους.

Πίνακας 5.9: Τελικές ισοδύναμες κοιλότητες για κάθε λεκάνη απορροής.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ	ΕΜΒΑΔΟΝ A (m ²)	ΟΓΚΟΣ V (m ³)	ΒΑΘΟΣ (m)
ΛΕΚΑΝΗ 1	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 1	-	-	-
ΛΕΚΑΝΗ 2	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 2	39634.343	39634.343	1
ΛΕΚΑΝΗ 3	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 3	15582.824	15582.824	1
ΛΕΚΑΝΗ 4	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 4	51193.4533	51193.4533	1
ΛΕΚΑΝΗ 5	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 5	62690.88163	62690.88163	1
ΛΕΚΑΝΗ 6	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 6	367034.3439	367034.3439	1
ΛΕΚΑΝΗ 7	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 7	14419.41756	14419.41756	1
ΛΕΚΑΝΗ 8	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 8	48313.2037	48313.2037	1
ΛΕΚΑΝΗ 9	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 9	16896.74253	16896.74253	1
ΛΕΚΑΝΗ 10	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 10	144569.5387	144569.5387	1
ΛΕΚΑΝΗ 11	ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 11	384750.8431	384750.8431	1

Το βάθος και ο όγκος κάθε κοιλότητας παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο για την παρούσα διπλωματική εργασία. Το πρόγραμμα HEC-HMS για τις κοιλότητες απαιτεί να γνωρίζει μία καμπύλη αποθήκευσης-εκροής.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, για να δημιουργηθεί η καμπύλη αποθήκευσης-εκροής, απαιτείται να γίνει η παραδοχή ότι το σχήμα του υπερχειλιστή είναι τριγωνικό. Σύμφωνα λοιπόν και με τη μεθοδολογία για να υπολογιστεί η εκροή κάθε κοιλότητας για κάποια τιμή του z απαιτείται να είναι γνωστά η μέση κατά μήκος κλίση των πρώτων 500 μέτρων κατάντη της κοιλότητας (S), το εμβαδόν της υγρής διατομής για την τιμή του z (A), η βρεχόμενη περίμετρος (P), η υδραυλική ακτίνα (R) και τέλος ο συντελεστής τραχύτητας (n).

Για κάθε κοιλότητα λοιπόν υπολογίστηκαν τόσο η μέση κατά μήκος κλίση των πρώτων 500 μέτρων κατάντη κάθε κοιλότητας, όσο και ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning. Σύμφωνα λοιπόν με τον Huang, 2005 και το γεγονός ότι σε όλες τις λεκάνες κυριαρχεί ως χρήση γης η μόνιμα αρδευόμενη γη, η μη αρδευόμενη αρόσιμη γη και τα λιβάδια, ο συντελεστής Manning ισούται με 0.035, καθώς οι τρεις προαναφερθείσες χρήσεις γης έχουν τον ίδιο συντελεστή Manning ($n = 0.035$). Έτσι λοιπόν, ο Πίνακας 5.10 παρουσιάζει για κάθε ισοδύναμη κοιλότητα τη μέση κλίση των πρώτων 500 μέτρων κατάντη κάθε κοιλότητας, που υπολογίστηκε εύκολα μέσω του Arcmap.

Πίνακας 5.10: Μέση κλίση και συντελεστής τραχύτητας Manning για κάθε κοιλότητα.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ (S)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ
		Manning (n)
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 1	-	-
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 2	0.010	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 3	0.012	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 4	0.002	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 5	0.006	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 6	0.004	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 7	0.002	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 8	0.008	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 9	0.004	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 10	0.002	0.035
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 11	0.002	0.035

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 3, προέκυψαν για κάθε κοιλοότητα οι εξής καμπύλες αποθήκευσης-παροχής εκροής, τις οποίες παρουσιάζει ο Πίνακας 5.11.

Πίνακας 5.11: Καμπύλη Αποθήκευσης-Παροχής εκροής.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ z (m)	ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ V (m ³)	ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΡΟΗΣ Q (m ³)/s
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 1	-	-	-
	0.0	0.00	0.00
	1.0	39.63	0.00
	1.5	59.63	2.83
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 2	2.0	79.63	8.88
	2.5	99.63	17.20
	27.3	1119.90	709.35
	0.0	0.00	0.00
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 3	1.0	15.58	0.00
	1.5	23.58	3.10
	2.0	31.58	9.70
	2.5	39.58	18.80
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 4	56.1	914.00	1607.00
	0.0	0.00	0.00
	1.0	51.19	0.00
	1.5	77.19	1.30
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 5	2.0	103.19	4.00
	2.5	129.19	7.70
	21.0	1122.00	242.63
	0.0	0.00	0.00
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 6	1.0	62.69	0.00
	1.5	94.19	2.20
	2.0	129.19	6.90
	2.5	157.19	13.30
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 7	22.3	1467.00	446.88
	0.0	0.00	0.00
	1.0	367.00	0.00
	1.5	550.53	1.80
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 8	2.0	734.03	5.60
	2.5	917.53	10.90
	25.9	9862.70	425.34
	0.0	0.00	0.00
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 9	1.0	14.00	0.00
	1.5	21.00	1.30
	2.0	28.00	4.00
	2.5	35.00	7.70
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 10	109.0	1540.00	1281.00
	0.0	0.00	0.00
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 11	1.0	48.31	0.00

Πίνακας 5.11 (Συνέχεια): Καμπύλη Αποθήκευσης-Παροχής εκροής.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ z (m)	ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ V (m ³)	ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΡΟΗΣ Q (m ³)/s
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 9	1.5	72.31	2.50
	2.0	96.31	7.90
	2.5	120.31	15.37
	24.0	1207.40	556.72
	0.0	0.00	0.00
	1.0	16.90	0.00
	1.5	25.40	1.80
	2.0	33.90	5.60
	2.5	42.40	10.90
	21.6	384.00	353.08
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 10	0.0	0.00	0.00
	1.0	144.57	0.00
	1.5	217.07	1.26
	2.0	289.57	4.00
	2.5	362.07	7.70
	6.7	1096.10	94.11
ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ 11	0.0	0.00	0.00
	1.0	385.00	0.00
	1.5	577.50	1.26
	2.0	770.00	4.00
	2.5	962.50	7.70

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι το βάθος κάθε κοιλότητας ισούται με ένα μέτρο, για αυτό το λόγο έχουμε παροχή εκροής ίση με το μηδέν. Κατόπιν, αυξάνοντας το υψόμετρο υπολογίστηκε η αντίστοιχη αποθηκευτικότητα και η αντίστοιχη παροχή εκροής.

Να σημειωθεί εδώ ότι σύμφωνα με το Σχήμα 3.5, η τιμή του x είναι ίση με 5 μέτρα, δηλαδή 5 μέτρα δεξιά και 5 μέτρα αριστερά από το σημείο της υπερχειλίσης.

5.3.4 Εύρεση παραμέτρων Muskingum για τη διόδευση μέσω υδατορεύματος

Στο Κεφάλαιο 3 εξεξηγήθηκε αναλυτικά η μέθοδος διόδευσης μέσω υδατορεύματος Muskingum. Η μέθοδος αυτή θα χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η διόδευση μέσω των ποταμών που θα υπάρχουν. Σύμφωνα με το πρόγραμμα HEC-HMS πρέπει να είναι γνωστές οι δύο παράμετροι της μεθόδου Muskingum K και x καθώς και ο αριθμός των παραποτάμων ανάντη της εισόδου του κάθε τμήματος του ποταμού. Για να βρεθεί ο αριθμός αυτών των παραποτάμων πρέπει να στηθεί πρώτα το μοντέλο στο HEC-HMS, οπότε θα αναφερθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Για την εκτίμηση των παραμέτρων K και x της μεθόδου χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες μεθόδων. Οι μέθοδοι της πρώτης κατηγορίας είναι ημιεμπειρικές και περιλαμβάνουν είτε δοκιμαστικές επαναλήψεις με επιλογή τιμών του x και γραφική εκτίμηση της τιμής του K , είτε άμεση γραφική εκτίμηση των x και K . Οι μέθοδοι της δεύτερης κατηγορίας στηρίζονται στη θεωρία ανάλυσης χρονοσειρών.

Όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση των παραμέτρων της μεθόδου. Έτσι, η παράμετρος K μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση 5.7 (Κουτσογιάνης, 1999):

$$K = \frac{L}{V} \quad (5.7)$$

όπου L = το μήκος από την είσοδο μέχρι την έξοδο του υπό μελέτη τμήματος ποταμού και V = η ταχύτητα του νερού.

Λόγω έλλειψης λοιπόν μετρήσεων παροχής στην περιοχή, για την εκτίμηση της τιμής του K χρησιμοποιείται η σχέση 5.7. Η παράμετρος x συχνά επιλέγεται ίση με 0.2, όπως έγινε και στην παρούσα μελέτη (Κουτσογιάνης, 1999). Επίσης, η ταχύτητα του νερού επιλέχθηκε ίση με 1.0 m/s. Έτσι, υπολογίζονται οι τιμές των παραμέτρων της μεθόδου, τις οποίες παρουσιάζει ο Πίνακας 5.12.

Πίνακας 5.12: Παράμετροι μεθόδου διόδου Muskingum.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΣΤΑΘΕΡΑ K (h)	ΣΤΑΘΕΡΑ x
ΛΕΚΑΝΗ 1	0.3	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 2	3.0	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 3	2.9	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 4	2.0	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 5	2.9	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 6	4.0	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 7	1.2	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 8	2.0	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 9	2.7	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 10	1.1	0.2
ΛΕΚΑΝΗ 11	1.7	0.2

6 Εφαρμογή μεθοδολογίας με τη χρήση του προγράμματος HEC-HMS- Αποτελέσματα

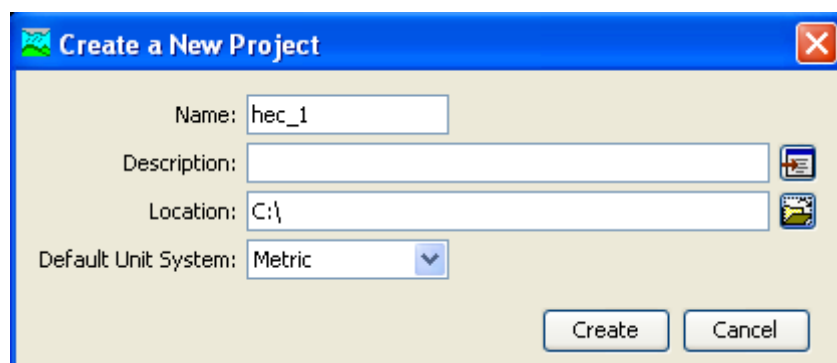
6.1 Εισαγωγή

Η υδρολογική προσομοίωση αποτελεί μια διαδικασία απεικόνιση των υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής, με σκοπό τον υπολογισμό των πλημμυρογραφημάτων για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση του υδρολογικού προγράμματος HEC-HMS. Οι προσεγγίσεις που έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος είναι δύο. Η πρώτη προσέγγιση έχει ως στόχο την εκτέλεση της υδρολογικής προσομοίωσης, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των κοιλοτήτων του εδάφους, ενώ στη δεύτερη προσέγγιση δε λαμβάνονται υπόψη οι κοιλότητες. Αφού πραγματοποιήθηκαν οι δύο προσεγγίσεις έγινε τελικά η σύγκριση των παροχών αιχμής και των όγκων απορροής ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις στα σημεία ενδιαφέροντος, δηλαδή στα σημεία που τα υδατορεύματα τέμνουν τον υπό μελέτη δρόμο. Τέλος, πραγματοποιήθηκε και μία ανάλυση για την ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης. Αυτή η διαδικασία επιτεύχθηκε μετά από μία σειρά υπολογισμών, τοποθετώντας αυτή τη φορά την αιχμή του κάθε υετογράμματος σχεδιασμού στο 75% της διάρκειας βροχόπτωσης και όχι στο 50% που είχε επιλεγεί έως τώρα στις δύο προσεγγίσεις.

6.2 Εισαγωγή δεδομένων στο HEC-HMS

6.2.1 Ρύθμιση νέας εργασίας στο HEC-HMS

Ο καθορισμός της ονομασίας της νέας εργασίας, καθώς και της περιοχής που θα αποθηκεύονται όλα τα συναφή αρχεία πραγματοποιείται μέσω της εντολής File → New. Με την εκτέλεση της εντολής ανοίγεται ένα νέο παράθυρο με την ονομασία Create a New Project (Σχήμα 6.1), στο οποίο ζητούνται να εισαχθούν το όνομα της νέας εργασίας, μία περιγραφή για αυτή, την τοποθεσία που θα αποθηκευτούν όλα τα αρχεία και τέλος το σύστημα μέτρησης.

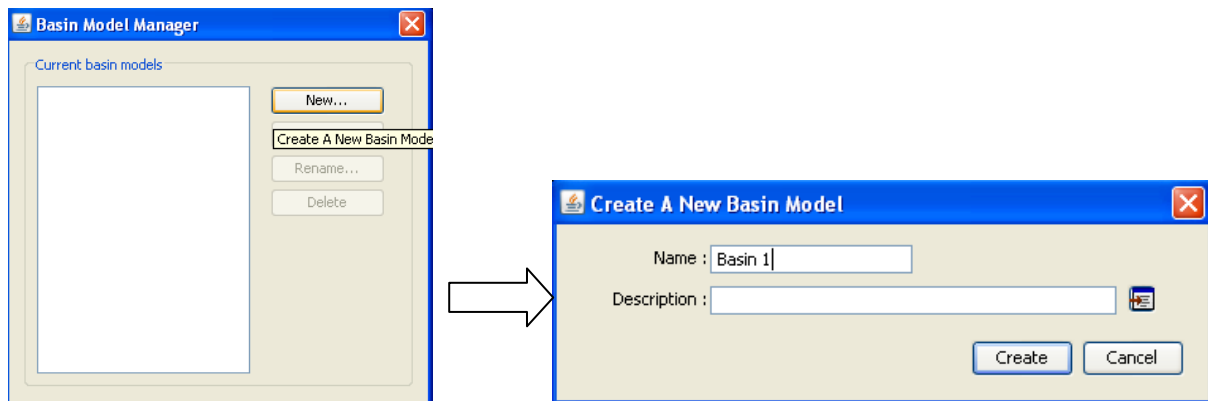


Σχήμα 6.1: Δημιουργία νέας εργασίας στο HEC-HMS.

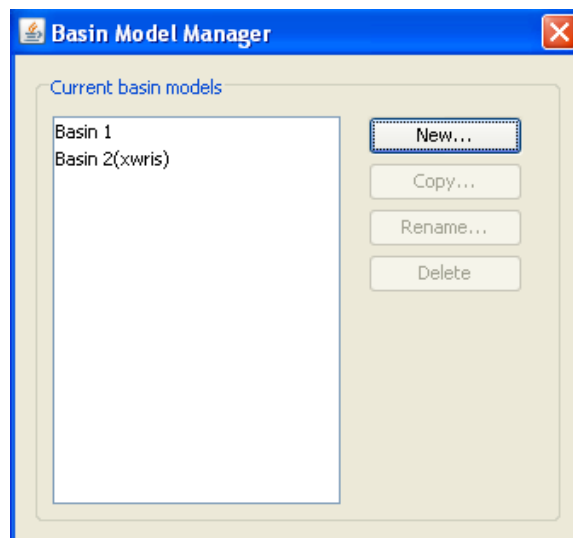
Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του μοντέλου λεκάνης (Basin Model), το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο εδάφιο.

6.2.2 Μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model)

Η δημιουργία του μοντέλου λεκάνης απορροής πραγματοποιείται μέσω της εντολής Components → Basin Model Manager. Μόλις εκτελεστεί η παραπάνω εντολή εμφανίζεται στην οθόνη το αντίστοιχο παράθυρο, στο οποίο πατώντας New δημιουργείται το ζητούμενο μοντέλο. Στην περίπτωση μας έγιναν δύο μοντέλα λεκάνης απορροής, το ένα λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες (Basin 1) και το δεύτερο παραλείποντας τις (Basin 2(xwris)). Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η χρήση της παραπάνω εντολής, και στο Σχήμα 6.3 τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν.

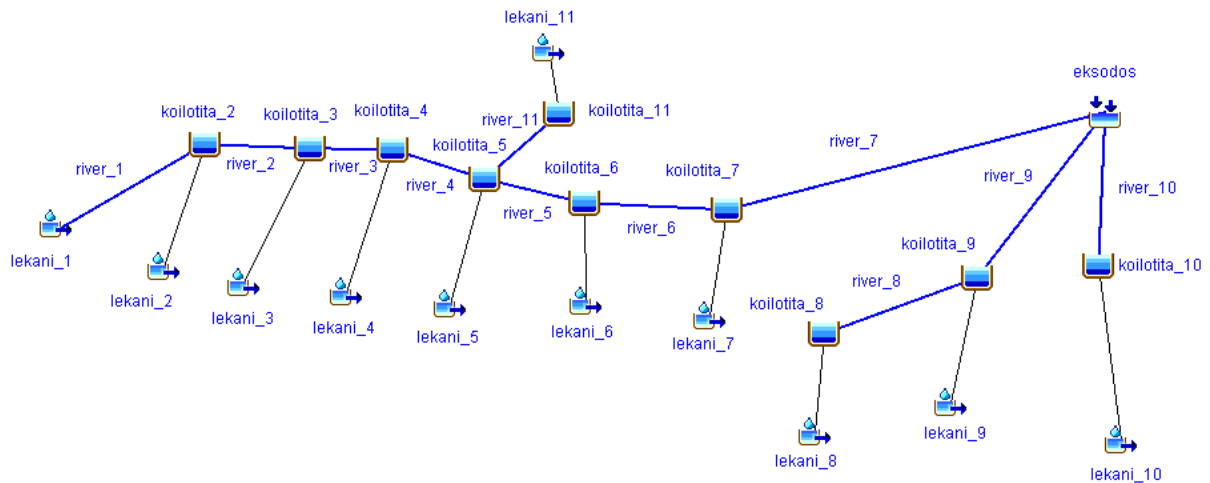


Σχήμα 6.2: Δημιουργία μοντέλου λεκάνης απορροής (Basin Model).

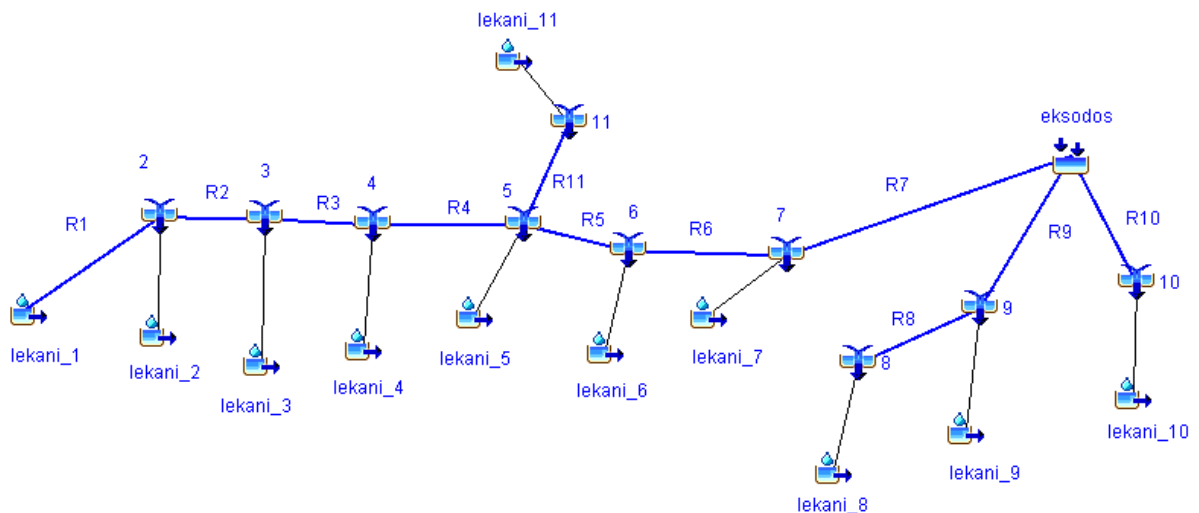


Σχήμα 6.3: Τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν.

Από τη στιγμή που έχουν δημιουργηθεί τα δύο μοντέλα λεκάνης απορροής ανοίγει μία επιφάνεια εργασίας, στην οποία θα αναπτυχθεί το μοντέλο. Ταυτόχρονα με αυτή την επιφάνεια ενεργοποιούνται και κάποια χαρακτηριστικά εικονίδια, όπως εικονίδια που αντιπροσωπεύουν υπολεκάνες, δεξαμενές, υδατορεύματα, συμβολές, κ.α. Έτσι λοιπόν, στη νέα επιφάνεια εργασίας που δημιουργήθηκε, αναπτύχθηκαν τα δύο μοντέλα, στο μεν Basin 1, το οποίο λάμβανε υπόψη τις κοιλότητες χρησιμοποιήθηκαν εικονίδια για τις υπολεκάνες, τα υδατορεύματα, τις δεξαμενές (αντιπροσωπεύουν τις κοιλότητες) και μία τελική έξοδος για τις υπολεκάνες. Αντίθετα, στο άλλο μοντέλο, Basin 2 (xwris), χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια εικονίδια αλλά χωρίς τις δεξαμενές, τις θέσεις των οποίων πήραν οι συμβολές. Στο Σχήμα 6.4 παρατηρούμε το πρώτο μοντέλο (Basin 1), ενώ στο Σχήμα 6.5 το δεύτερο μοντέλο Basin 2 (xwris).



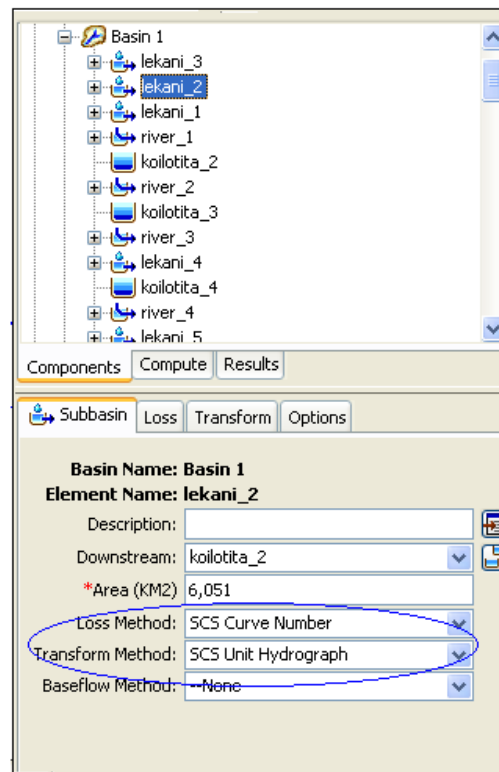
Σχήμα 6.4: Basin 1 (λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες).



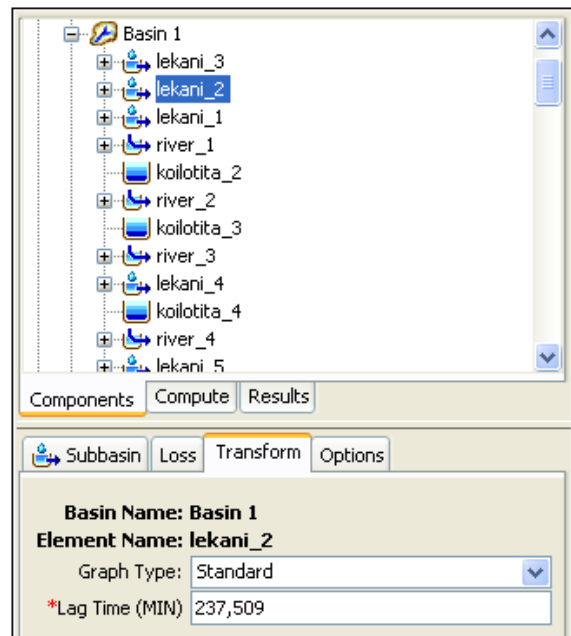
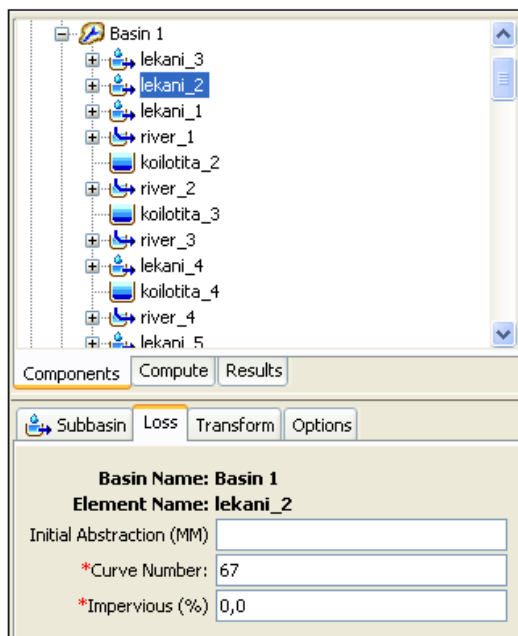
Σχήμα 6.5: Basin 2(xwris) (παραλείποντας τις κοιλότητες).

Σε αυτή τη φάση και εφόσον έχουν δημιουργηθεί τα δύο μοντέλα λεκάνης εισάγονται τα στοιχεία και οι μέθοδοι που αφορούν κάθε υπολεκάνη. Αυτά τα στοιχεία και οι μέθοδοι είναι τα ίδια και για τα δύο μοντέλα. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.6, στο πεδίο της μεθόδου απωλειών (Loss Method) επιλέγεται η μέθοδος SCS Curve Number, ενώ στη μέθοδο της μετατροπής σε απορροή (Transform Method), επιλέγεται σαν μέθοδος το MYG της SCS. Το θεωρητικό υπόβαθρο των δύο αυτών μεθόδων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3. Ακόμη, στην ίδια καρτέλα (Σχήμα 6.6) συμπληρώνεται το εμβαδόν της αντίστοιχης υπολεκάνης, το κατάντη στοιχείο με το οποίο συνδέεται, ενώ στη μέθοδο βασικής ροής (baseflow method) επιλέγεται η επιλογή None καθώς δεν υπάρχει. Στο πεδίο Loss τώρα και αφού έχει επιλεγεί σαν μέθοδος η SCS Curve Number, αρχικά απαιτείται η εισαγωγή του αρχικού ελλείμματος. Ο αριθμός αυτός καθορίζει το ποσό της κατακρήμνισης που πρέπει να σημειωθεί πριν προκληθεί ροή από την επιφάνεια και παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο υπολογισμένο βάθος ροής αλλά και στην παροχή αιχμής του υδρογραφήματος. Στην παρούσα μελέτη το πεδίο αφέθηκε κενό και έτσι υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα ως το 20% της δυνητικής κατακράτησης που υπολογίζεται από τον αριθμό CN. Ακόμη, σε αυτό το πεδίο σημειώνεται ο αριθμός CN, ο οποίος υπολογίστηκε με την διαδικασία που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5, ενώ το ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών που επίσης ζητείται, θεωρήθηκε

ίσο με το μηδέν. Τέλος, στην καρτέλα Transform εισάγεται ο χρόνος υστέρησης, του οποίου ο υπολογισμός αναλύεται στο Κεφάλαιο 5. (Σχήμα 6.7).



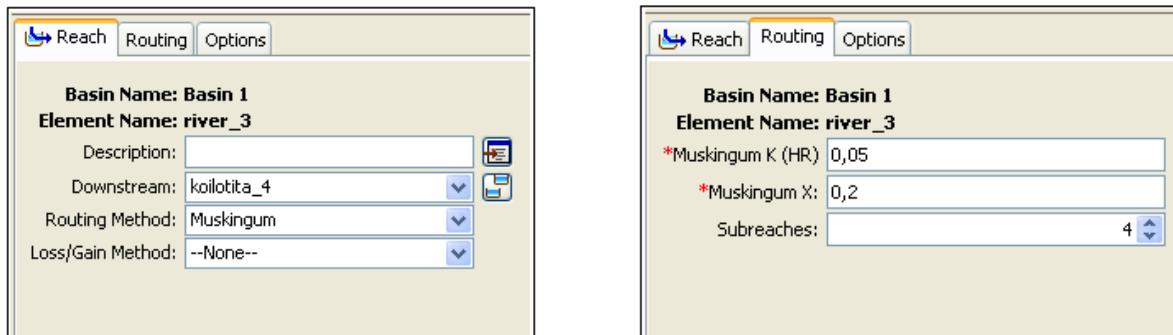
Σχήμα 6.6: Καθορισμός στοιχείων και μεθόδων για τις υπολεκάνες.



Σχήμα 6.7: Καθορισμός παραμέτρων μεθόδου απαισιών και μεθόδου μετατροπής απορροών για μία υπολεκάνη.

Για κάθε υδατόρευμα τώρα αρχικά επιλέγεται η μέθοδος διόδευσης που έχει χρησιμοποιηθεί, στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέθοδος Muskingum, το θεωρητικό κομμάτι της οποίας αναφέρεται εκτενώς στο Κεφάλαιο 3. Κατόπιν, στην καρτέλα Routing ζητείται να εισαχθούν οι παράμετροι στις μεθόδου Muskingum (K και x), ο υπολογισμός των οποίων

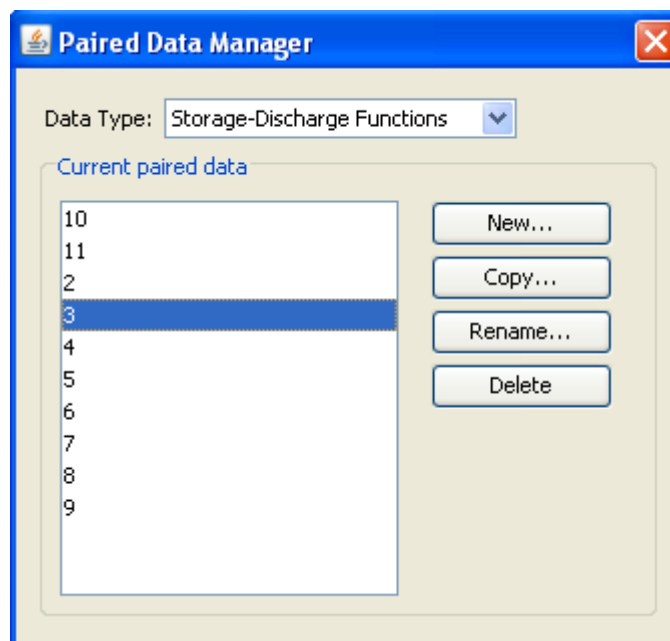
παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5. Ακόμη, ζητείται και ο αριθμός των παραποτάμων ανάντη της εισόδου του κάθε τμήματος ποταμού, ο οποίο προκύπτει κοιτώντας το μοντέλο λεκάνης απορροής. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.8 που ακολουθεί.



Σχήμα 6.8: Καθορισμός μεθόδου και παραμέτρων διάδευσης για ένα υδατόρευμα.

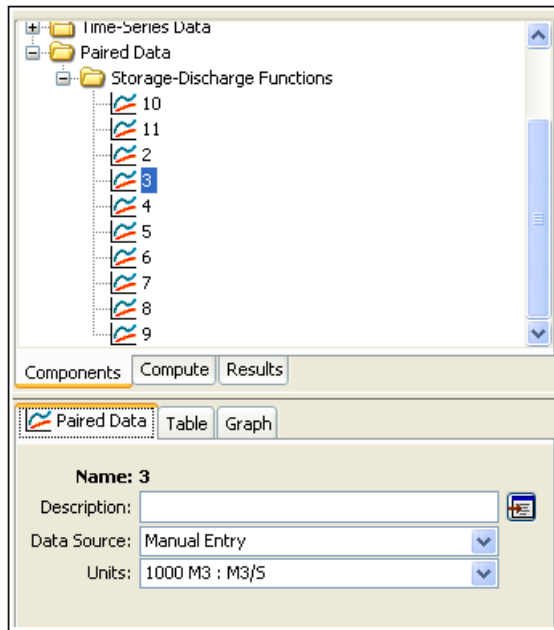
Να σημειωθεί ότι και για τα δύο μοντέλα λεκάνης δεν αλλάζει κάτι όσον αφορά τα υδατορεύματα.

Τέλος, όσον αφορά το μοντέλο λεκάνης απορροής το οποίο περιλαμβάνει τις κοιλότητες, απαιτείται να εισαχθεί η καμπύλη αποθήκευσης-παροχής εκροής. Αρχικά, πρέπει να δημιουργηθεί η καμπύλη αυτή, μέσω της εντολής Components → Paired Data Manager. Όταν εκτελείται η εντολή, ανοίγει ένα παράθυρο, το οποίο αρχικά ζητάει να προσδιορισθεί ο τύπος της καμπύλης (στη περίπτωση μας αποθήκευση-παροχή εκροής) και κατόπιν πατώντας New δημιουργείται η καμπύλη. Στο Σχήμα 6.9 παρουσιάζεται το παραπάνω παράθυρο και οι καμπύλες που έχουν δημιουργηθεί για κάθε κοιλότητα.

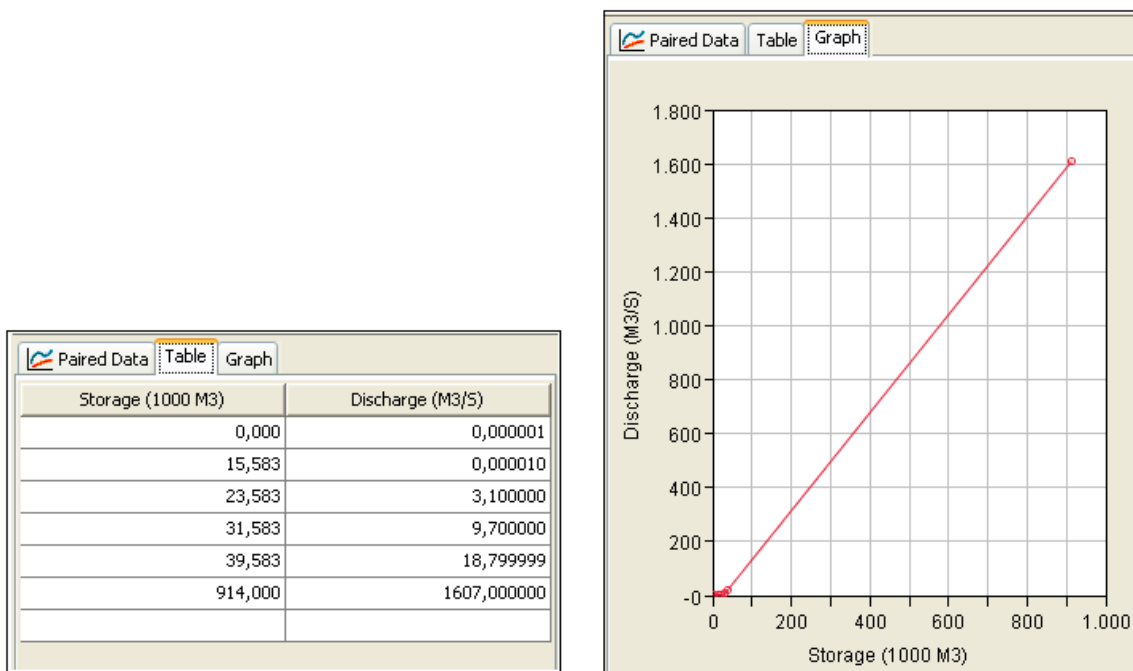


Σχήμα 6.9: Εντολή δημιουργίας καμπύλης αποθήκευσης-παροχής εκροής.

Κατόπιν, επιλέγοντας τη καμπύλη ανοίγουν τρεις καρτέλες. Στην καρτέλα Paired Data ορίζεται ο τρόπος εισαγωγής της καμπύλης στο πρόγραμμα (χειροκίνητα) στη περίπτωση μας και το σύστημα μέτρησης (1000 m^3 , m^3/s) (Σχήμα 6.10). Στις άλλες δύο καρτέλες παρουσιάζεται ο πίνακας με τις τιμές αποθήκευσης-παροχής εκροής, οι οποίες προέκυψαν από τη διαδικασία που αναφέρεται στο Κεφάλαιο 5, καθώς επίσης και το γράφημα της καμπύλης (Σχήμα 6.11).



Σχήμα 6.10: Ορισμός στοιχείων για τη καμπύλη.

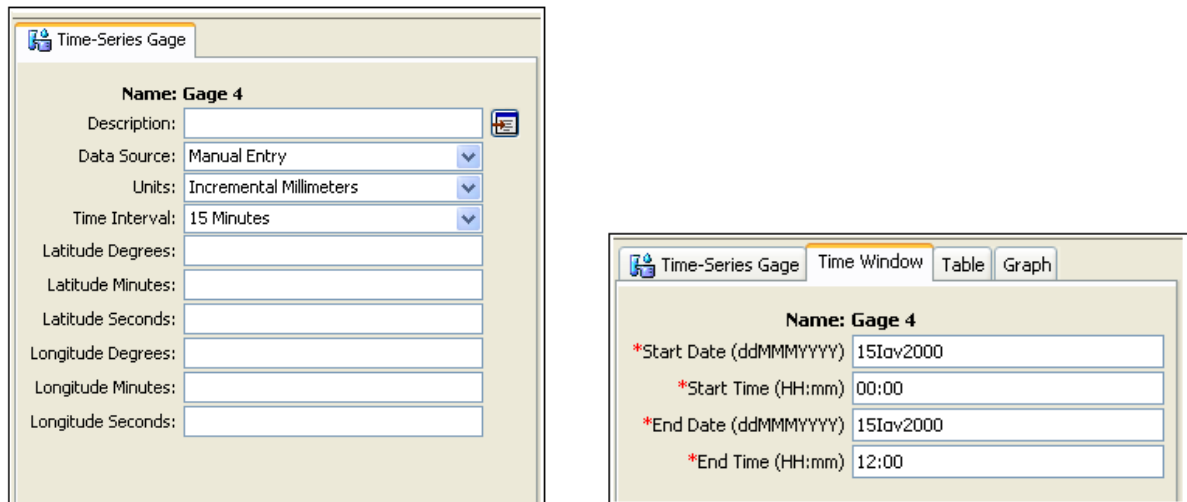


Σχήμα 6.11: Καμπύλης αποθήκευσης-παροχής εκροής και το αντίστοιχο γράφημα για μια κοιλάτητα.

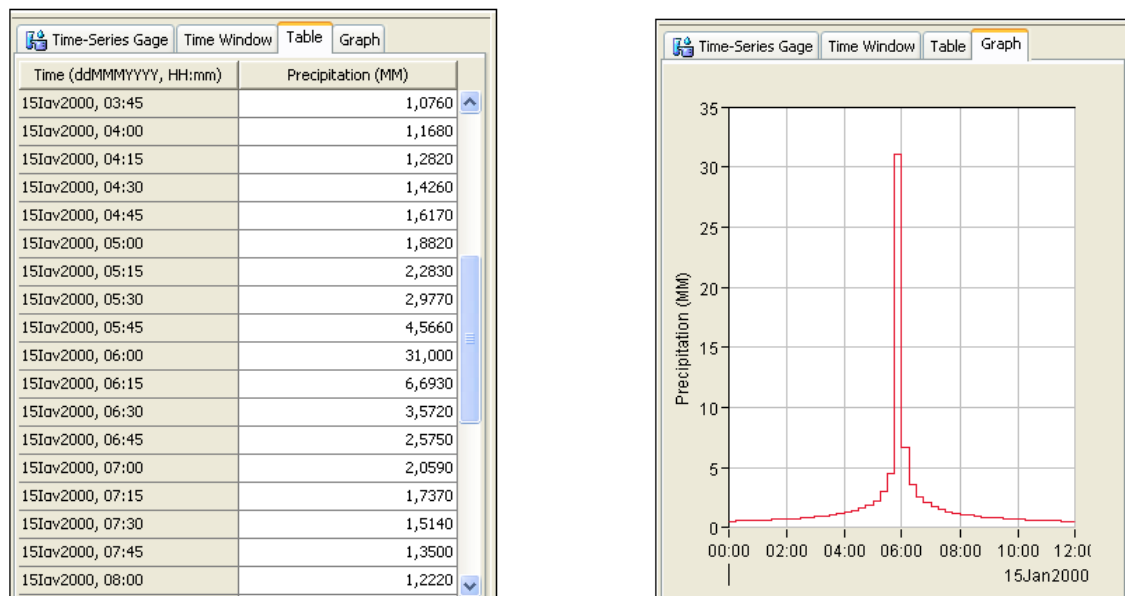
6.2.3 Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic Model) και συνθήκες ελέγχου (Control Specifications)

Αφού έχει δημιουργηθεί και συμπληρωθεί το μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model), επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του μετεωρολογικού μοντέλου (Meteorologic Model). Εκτελώντας λοιπόν την εντολή Components → Meteorologic Model Manager εισάγεται το μετεωρολογικό μοντέλο για τις λεκάνες απορροής. Για να ολοκληρωθεί όμως το μοντέλο αυτό πρέπει να εισαχθούν οι διαθέσιμες χρονοσειρές δεδομένων. Αυτές περιλαμβάνουν τα υποθετικά υετογράμματα που δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ όπως αναφέρθηκε τόσο στο Κεφάλαιο 3, όσο και στο Κεφάλαιο 5. Από το μενού λοιπόν, Components → Time-Series Data Manager εισάγονται τα δεδομένα βροχόπτωσης.

Συγκεκριμένα, επιλέγονται τα χιλιοστά ως μονάδες μέτρησης της βροχής και ως χρονικό βήμα το ένα τέταρτο (15 λεπτά) και εισάγονται τα δεδομένα για το παράθυρο χρόνου (ημερομηνία και ώρα αρχής και τέλους επεισοδίου) (Σχήμα 6.12). Στο Σχήμα 6.13 σημειώνονται οι τιμές βροχόπτωσης για κάθε τέταρτο και τέλος το υετόγραμμα.

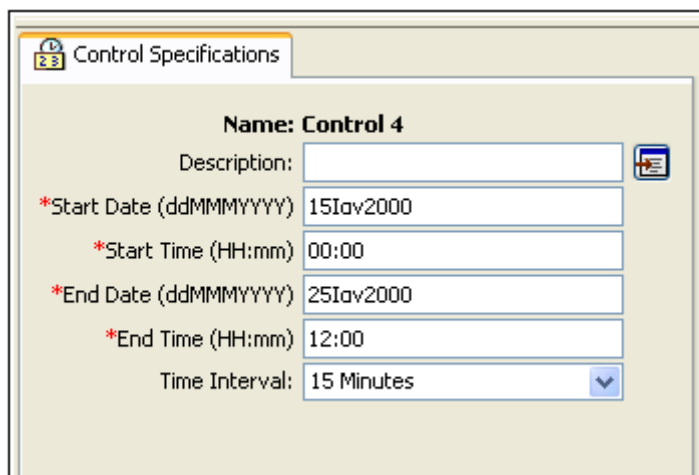


Σχήμα 6.12: Παράδειγμα καθορισμού χρόνου προσομοίωσης για ένα πλημμυρικό επεισόδιο.



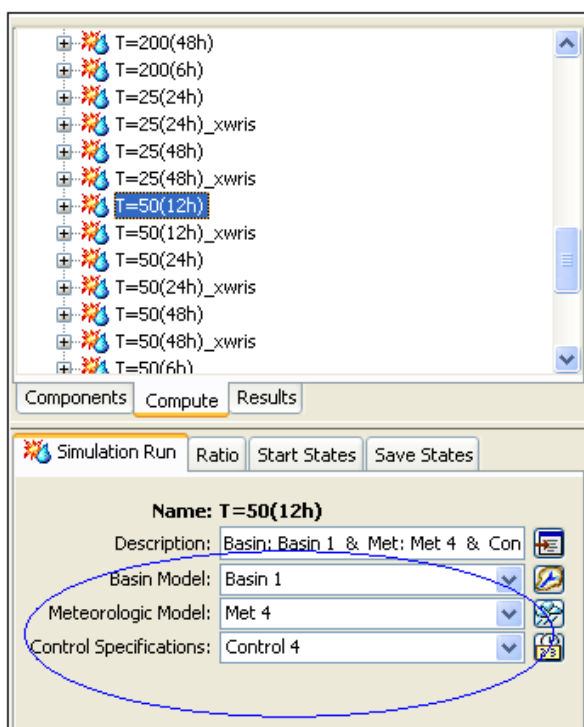
Σχήμα 6.13: Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων βροχόπτωσης και αντίστοιχου υετογράμματος.

Τέλος, από την επιλογή Components → Control Specifications Manager ορίζονται οι συνθήκες ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται η ημερομηνία και η ώρα της αρχής και του τέλους της προσομοίωσης και το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης, το οποίο επιλέγεται ίσα με το χρονικό βήμα των βροχοπτώσεων. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.14.



Σχήμα 6.14: Παράδειγμα καθορισμού χρόνου προσομοίωσης απορροής για ένα πλημμυρικό επεισόδιο.

Αφού οριστούν όλα αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, το πρόγραμμα είναι έτοιμο να τρέξει τη προσομοίωση. Κάθε τρέξιμο προσομοίωσης αποτελείται από ένα μοντέλο λεκάνης, ένα μετεωρολογικό μοντέλο και τις συνθήκες ελέγχου όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.15. Επιλέγοντας έτσι, την εντολή Compute → Create Simulation Run, δημιουργείται το τρέξιμο της προσομοίωσης, και πατώντας Compute πραγματοποιείται τελικά η προσομοίωση.



Σχήμα 6.15: Καθορισμός στοιχείων για το τρέξιμο της προσομοίωσης.

6.3 Αποτελέσματα της εφαρμογής από το HEC-HMS

6.3.1 Γενικά

Αφού έγινε η εισαγωγή των δεδομένων στο HEC-HMS και πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις, προέκυψαν τα αποτελέσματα που εξάγει το πρόγραμμα. Όπως αναφέρθηκε ήδη, πραγματοποιήθηκαν δύο προσεγγίσεις, η μία λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους και η δεύτερη αγνοώντας αυτές. Τα αποτελέσματα που εξάγονται από το HEC-HMS

αποτελούνται από έναν συνοπτικό πίνακα που δείχνει αποτελέσματα για όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ για κάθε στοιχείο ξεχωριστά υπάρχουν αποτελέσματα, όπως πίνακες και διαγράμματα. Στη συγκεκριμένη μελέτη έγιναν πολλές προσομοιώσεις για περιόδους επαναφοράς ($T = 25, 50, 100, 500, 1000, 10000$ έτη) και χρονικές διάρκειες βροχόπτωσης (6 h, 12 h, 24 h, 48 h). Οι προσομοιώσεις αυτές έγιναν και για τις δύο προσεγγίσεις και κατόπιν έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων στα σημεία ενδιαφέροντος, τόσο για την παροχή αιχμής, όσο και για τον όγκο απορροής. Τα σημεία ενδιαφέροντος είναι τα σημεία εκείνα στα οποία τα υδατορεύματα τέμνουν τον υπό μελέτη δρόμο. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.16.



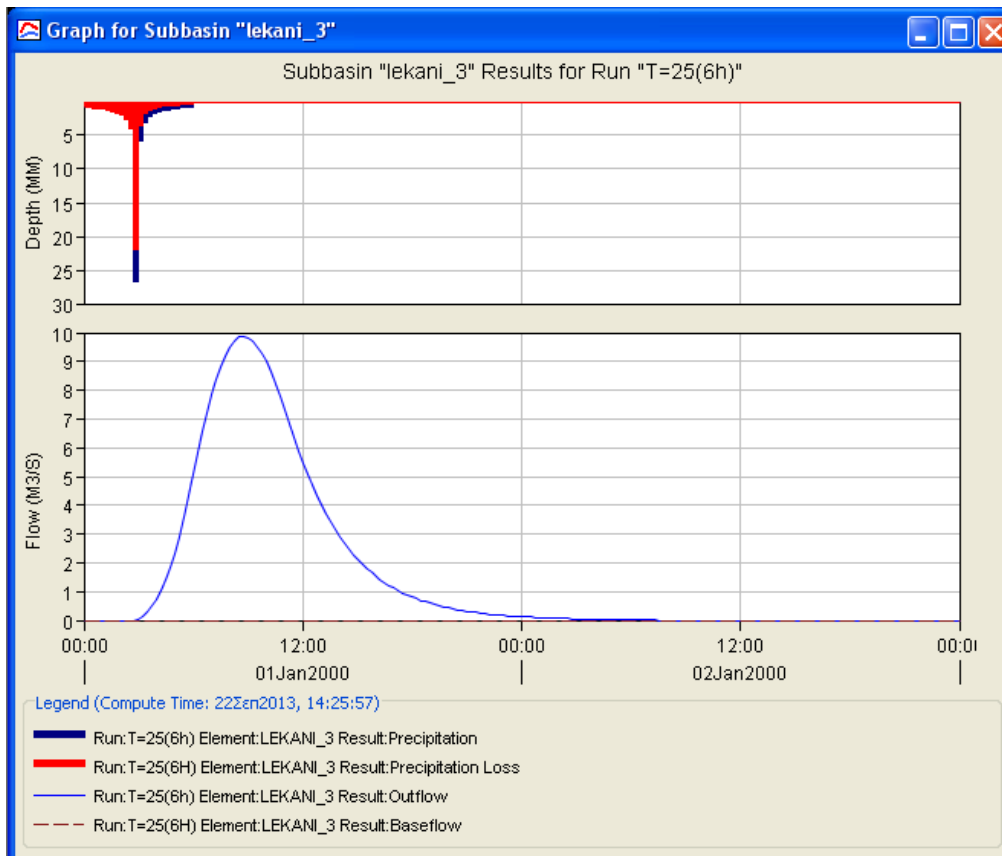
Σχήμα 6.16: Τα σημεία ενδιαφέροντος (όπου τα υδατορεύματα που τέμνουν το δρόμο).

Οι θέσεις λοιπόν που μας ενδιαφέρουν είναι τα: R2, R3, R4, R5, R6, R8 και R9.

6.3.2 Αποτελέσματα εφαρμογής λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους

Τα στοιχεία τα οποία μας αφορούν κυρίως είναι τα υδατορεύματα, διότι αυτά συνδέουν τις κοιλότητες μεταξύ τους, οπότε γνωρίζοντας τον όγκο των κοιλοτήτων μπορούμε να δούμε τις απώλειες που θα έχουν τα υδατορεύματα, λόγω της συγκράτησης νερού από τις κοιλότητες. Παρακάτω θα παρατεθούν πίνακες που δείχνουν τη σχέση τόσο της παροχής αιχμής όσο και του όγκου απορροής με κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια βροχόπτωσης στα σημεία που τα υδατορεύματα τέμνουν τον δρόμο. Παρόλα αυτά, πριν δούμε τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν ενδεικτικά τα αποτελέσματα που εξάγει το HEC-HMS για τις λεκάνες και τις κοιλότητες.

Στο Σχήμα 6.17 παρουσιάζεται το διάγραμμα που εξάγεται σαν αποτέλεσμα για μία λεκάνη, ενώ το Σχήμα 6.18 παρουσιάζει το συνοπτικό πίνακα που εξάγεται για τη λεκάνη απορροής.



Σχήμα 6.17: Διαγραμματικά αποτελέσματα από το HEC-HMS για μια λεκάνη απορροής.

Summary Results for Subbasin "lekani_3"			
Project: hec_1			
Simulation Run: T=25(6h)		Subbasin: lekani_3	
Start of Run: 01Jan2000, 00:00	Basin Model: Basin 1		
End of Run: 03Jan2000, 00:00	Meteorologic Model: T=25(6h)		
Compute Time: 22Zen2013, 14:25:57	Control Specifications: T=25(6h)		
Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	9,9 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	01Jan2000, 08:48
Total Precipitation :	1170,3 (1000 M3)	Total Direct Runoff :	258,0 (1000 M3)
Total Loss :	912,3 (1000 M3)	Total Baseflow :	0,0 (1000 M3)
Total Excess :	258,0 (1000 M3)	Discharge :	258,0 (1000 M3)

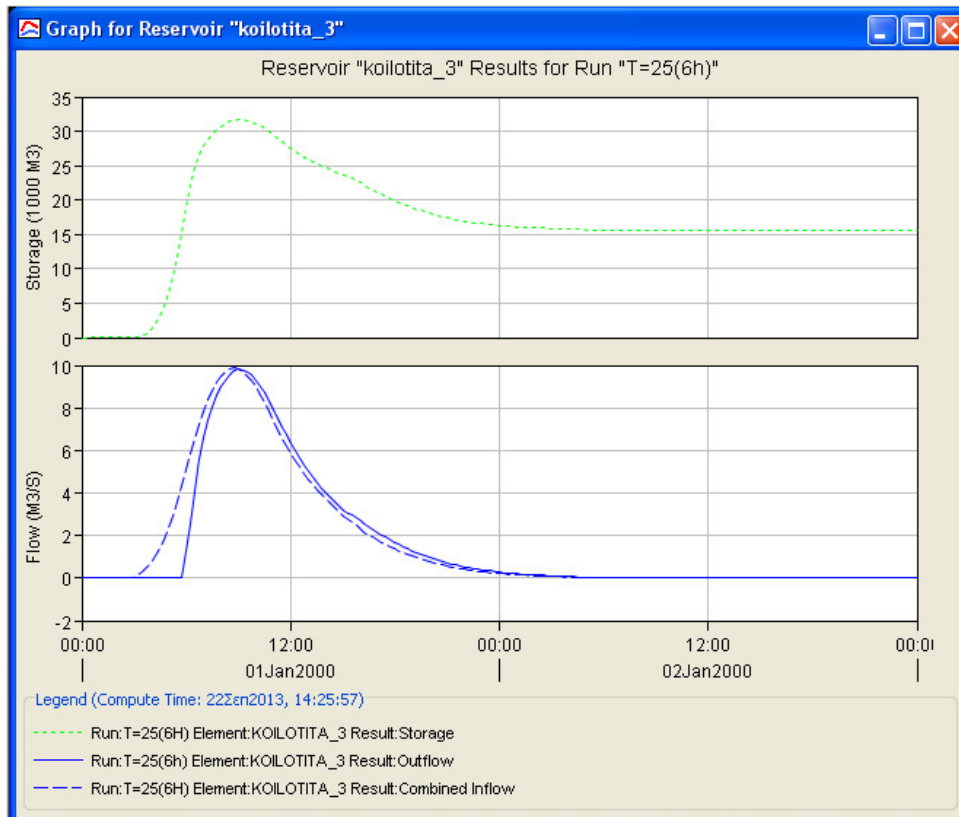
Σχήμα 6.18: Συνοπτικό αποτέλεσμα σε πίνακα από το HEC-HMS για μία λεκάνη απορροής.

Στο Σχήμα 6.17 βλέπουμε την βροχόπτωση που δέχεται η λεκάνη, καθώς και τις απώλειες που υπάρχουν σε αυτή, όπως υπολογίστηκαν με τη μέθοδο SCS. Επίσης, βλέπουμε και την απορροή που έχει η λεκάνη.

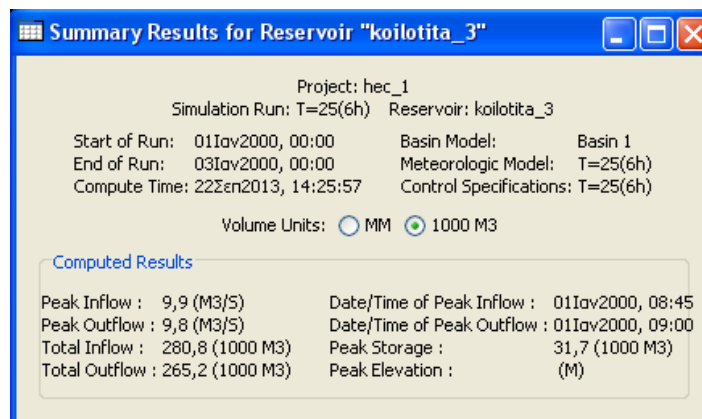
Τέλος, στο Σχήμα 6.18, παρατηρούμε σε μονάδες όγκου (1000 m^3) την συνολική βροχόπτωση που δέχεται η λεκάνη, τις απώλειες που έχει αυτή και τελικά αφαιρώντας από τη συνολική βροχόπτωση τις απώλειες έχουμε την τελική απορροή από τη λεκάνη. Ακόμη, βλέπουμε και την παροχή αιχμής της λεκάνης σε μονάδες m^3/s .

Ακόμη είναι διαθέσιμα σαν αποτελέσματα και ο πίνακας που δείχνει όλα τα παραπάνω στοιχεία καθώς και τη χρονική στιγμή πόσο ισούται κάθε ένα από αυτά.

Στο Σχήμα 6.19 απεικονίζεται το διαγραμματικά το αποτέλεσμα για μια κοιλότητα του εδάφους, ενώ στο Σχήμα 6.20 απεικονίζεται ο συνοπτικός πίνακας που εξάγεται για μία κοιλότητα.



Σχήμα 6.19: Διαγραμματικά αποτελέσματα από το HEC-HMS για μία κοιλότητα.



Σχήμα 6.20: Συνοπτικό αποτέλεσμα σε πίνακα από το HEC-HMS για μία κοιλότητα.

Παρατηρούμε στο Σχήμα 6.19 ότι η αποθήκευση αυξάνεται όσο αυξάνεται η εισροή και όταν αρχίζει και μειώνεται η εισροή, τότε η αποθήκευση μειώνεται μέχρι να σταθεροποιηθεί στην τιμή που ισούται με τον όγκο της κοιλότητας. Στο Σχήμα 6.20 βλέπουμε σε μονάδες όγκου τη συνολική εισροή και την συνολική εκροή. Αφαιρώντας από την εισροή, την εκροή προκύπτει ο όγκος της κοιλότητας. Τέλος, παρουσιάζονται η εισροή και εκροή αιχμής και η αποθήκευση αιχμής.

- Για το υδατόρευμα R2

Ο Πίνακας 6.1 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R2 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R2.

Πίνακας 6.1: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R2 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	0.8	2.2	3.3	4.7
50	2.0	3.8	5.2	7.0
100	3.3	5.6	7.3	9.4
500	7.1	10.1	12.6	15.6
1000	8.9	12.3	15.1	18.4
10000	15.4	19.9	23.9	28.2

Πίνακας 6.2: Όγκος απορροής σε $1000 m^3$ στη θέση R2 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	22.8	66.9	130.7	220.0
50	55.1	113.9	196.6	310.0
100	91.7	165.8	268.0	405.7
500	190.1	301.0	449.5	644.3
1000	237.1	364.3	533.0	752.5
10000	408.2	590.4	826.6	1128.6

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς αυξάνεται τόσο η παροχή αιχμής του υδατορεύματος όσο και ο όγκος απορροής. Το ίδιο συμβαίνει και για τη χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης, δηλαδή όσο αυξάνεται τόσο αυξάνει και η παροχή αιχμής και ο όγκος.

- Για το υδατόρευμα R3

Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R3 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.4 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R3.

Πίνακας 6.3: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R3 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	9.8	13.3	17.1	22.2
50	13.9	19.1	24.4	30.9
100	18.7	25.9	32.4	40.1
500	32.8	43.4	52.5	62.7
1000	39.6	51.5	61.7	73.0
10000	64.0	80.2	93.8	107.6

Πίνακας 6.4: Όγκος απορροής σε $1000 m^3$ στη θέση R3 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	265.2	454.2	717.6	1074.8
50	404.5	648.9	982.3	1427.3
100	557.9	859.1	1263.8	1796.2
500	956.3	1392.5	1963.7	2700.1
1000	1142.4	1637.4	2280.7	3104.9
10000	1805.9	2497.7	3380.7	4495.5

- Για το υδατόρευμα R4

Ο Πίνακας 6.5 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R4 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.6 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R4.

Πίνακας 6.5: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R4 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	7.4	13.3	18.1	23.9
50	13.0	20.2	26.2	33.5
100	19.0	27.7	35.0	43.7
500	34.6	46.9	57.2	68.7
1000	42.0	55.8	67.3	80.1
10000	68.4	87.3	102.8	118.6

Πίνακας 6.6: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R4 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	249.5	468.3	775.2	1194.4
50	410.7	695.0	1085.6	1610.4
100	588.7	940.9	1417.2	2047.3
500	1055.0	1569.2	2246.2	3122.8
1000	1274.0	1859.1	2623.1	3606.0
10000	2058.8	2881.5	3935.7	5270.8

- Για το υδατόρευμα R5

Ο Πίνακας 6.7 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R5 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.8 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R5.

Πίνακας 6.7: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R5 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	7.3	15.7	22.7	30.0
50	14.4	24.9	33.1	42.3
100	22.4	34.4	44.3	55.3
500	42.1	58.8	72.5	87.3
1000	51.3	70.0	85.4	101.7
10000	84.1	109.9	130.6	151.3

Πίνακας 6.8: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R5 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	292.0	592.6	1015.3	1597.3
50	513.7	904.5	1445.9	2177.9
100	758.1	1244.9	1907.9	2790.0
500	1403.4	2120.3	3069.3	4457.0
1000	1708.2	2526.0	3661.3	5229.2
10000	2806.2	4073.1	5758.2	7902.9

- Για το υδατόρευμα R6

Ο Πίνακας 6.9 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R6 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.10 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R6.

Πίνακας 6.9: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R6 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	0.4	3.6	10.2	17.2
50	2.5	8.8	19.5	27.7
100	6.2	16.8	29.3	38.8
500	21.2	37.7	53.4	66.3
1000	28.7	47.1	64.3	78.7
10000	55.1	79.7	102.4	121.5

Πίνακας 6.10: Όγκος απορροής σε $1000 m^3$ στη θέση R6 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	16.9	450.8	1003.8	1765.9
50	347.8	859.0	1568.0	2527.5
100	667.3	1304.8	2173.8	3330.9
500	1512.4	2452.7	3698.1	5468.3
1000	1912.1	2985.2	4455.1	6452.8
10000	3352.9	4981.2	7130.0	9864.4

- Για το υδατόρευμα R8

Ο Πίνακας 6.11 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R8 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.12 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R8.

Πίνακας 6.11: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R8 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	6	12	24	48
25	1.2	2.8	4.1	5.5	
50	2.5	4.6	6.1	8.0	
100	4.1	6.5	8.4	10.7	
500	8.3	11.5	14.1	17.2	
1000	10.3	13.7	16.7	20.2	
10000	17.2	21.9	25.9	30.0	

Πίνακας 6.12: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R8 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	6	12	24	48
25	37.8	89.7	162.3	261.0	
50	76.1	143.4	235.4	358.4	
100	118.3	201.4	313.2	460.5	
500	228.2	348.8	506.8	710.7	
1000	279.7	416.5	594.6	822.8	
10000	463.2	654.6	899.2	1207.9	

- Για το υδατόρευμα R9

Ο Πίνακας 6.13 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R9 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.14 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R9.

Πίνακας 6.13: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R9 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	6	12	24	48
25	2.1	4.7	7.0	9.6	
50	4.2	7.8	10.6	13.9	
100	6.9	11.1	14.6	18.6	
500	13.8	19.8	24.7	30.4	
1000	17.2	23.9	29.4	35.7	
10000	29.3	38.6	46.1	53.9	

Πίνακας 6.14: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R9 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	78.9	175.8	314.4	506.6
50	150.0	278.0	456.5	699.2
100	229.9	390.1	609.5	902.8
500	442.4	680.0	995.9	1408.1
1000	543.3	814.9	1172.8	1636.4
10000	908.2	1294.3	1792.5	2426.7

Παρατηρούμε ότι σε όλα τα υδατορεύματα που τέμνουν το δρόμο συμβαίνει ότι ακριβώς συμβαίνει και για το R2, δηλαδή ότι όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς και η διάρκεια της βροχόπτωσης τόσο αυξάνονται και η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής. Στο επόμενο υποκεφάλαιο αναλύεται τι συμβαίνει με την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής εάν δεν υπήρχαν οι κοιλότητες.

6.3.3 Αποτελέσματα εφαρμογής παραλείποντας τις κοιλότητες του εδάφους

Προηγουμένως είδαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα HEC-HMS για την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής των υδατορευμάτων που τέμνουν τον δρόμο για διάφορες περιόδους επαναφοράς και χρονικές διάρκειες βροχόπτωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους. Οι κοιλότητες αυτές κατακρατούν έναν όγκο νερού όσο είναι η αποθηκετικότητα τους με αποτέλεσμα, τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο όγκος απορροής των υδατορευμάτων να είναι μειωμένος. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα εξεταστεί η σχέση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής των ίδιων υδατορευμάτων με την περίοδο επαναφοράς και τη διάρκεια βροχόπτωσης χωρίς να ληφθούν υπόψη οι κοιλότητες του εδάφους.

- Για το υδατόρευμα R2

Ο Πίνακας 6.15 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R2 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.16 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R2.

Πίνακας 6.15: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R2 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	2.4	3.5	4.6	6.0
50	3.6	5.1	6.5	8.2
100	5.0	6.8	8.6	10.7
500	8.7	11.4	13.9	16.8
1000	10.5	13.5	16.4	19.5
10000	17.0	21.3	25.2	29.0

Πίνακας 6.16: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R2 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	62.4	106.5	170.3	259.6
50	94.7	153.5	236.3	349.6
100	131.4	205.4	307.7	445.3
500	229.7	340.7	489.1	683.9
1000	276.7	404.0	572.6	792.2
10000	447.8	630.1	866.3	1168.2

- Για το υδατόρευμα R3

Ο Πίνακας 6.17 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R3 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.18 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R3.

Πίνακας 6.17: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R3 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	12.8	16.4	20.7	26.1
50	17.0	22.8	28.3	34.9
100	22.7	29.7	36.5	44.1
500	37.5	47.5	56.8	66.7
1000	44.4	55.7	66.1	76.8
10000	69.1	84.5	98.1	111.1

Πίνακας 6.18: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R3 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	320.4	509.4	772.8	1130.0
50	459.7	704.2	1037.5	1482.5
100	613.1	914.3	1319.0	1851.4
500	1011.5	1447.7	2018.9	2755.3
1000	1197.6	1692.6	2335.9	3160.2
10000	1861.1	2552.9	3435.9	4550.7

- Για το υδατόρευμα R4

Ο Πίνακας 6.19 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R4 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.20 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R4.

Πίνακας 6.19: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R4 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	12.9	18.2	23.2	29.5
50	18.8	25.6	32.0	39.7
100	25.3	33.6	41.5	50.5
500	42.3	54.3	65.3	77.0
1000	50.3	63.9	76.1	88.9
10000	79.0	97.7	113.8	129.4

Πίνακας 6.20: Όγκος απορροής σε $1000 m^3$ στη θέση R4 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	356.4	574.7	881.6	1300.8
50	517.1	801.4	1192.1	1716.8
100	695.2	1047.3	1523.6	2153.7
500	1161.4	1675.6	2352.6	3229.2
1000	1380.4	1965.5	2729.6	3712.5
10000	2165.2	2987.9	4042.1	5377.2

- Για το υδατόρευμα R5

Ο Πίνακας 6.21 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R5 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.22 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R5.

Πίνακας 6.21: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R5 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	16.5	24.3	31.4	40.2
50	24.5	34.6	43.8	54.9
100	33.4	45.9	57.2	70.3
500	57.1	75.3	91.3	108.7
1000	68.3	89.0	106.9	126.0
10000	108.8	137.6	161.7	185.5

Πίνακας 6.22: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R5 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	502.1	832.7	1304.6	1957.3
50	744.9	1180.7	1787.3	2610.7
100	1017.1	1561.8	2306.7	3301.2
500	1739.5	2545.8	3616.6	5013.1
1000	2082.0	3003.2	4216.0	5786.2
10000	3319.4	4627.8	6314.7	8461.8

- Για το υδατόρευμα R6

Ο Πίνακας 6.23 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R6 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.24 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R6.

Πίνακας 6.23: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R6 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	18.7	28.2	37.0	47.2
50	27.7	40.1	51.5	64.3
100	37.8	53.2	67.2	82.4
500	64.7	87.3	106.9	127.2
1000	77.5	103.1	125.2	147.4
10000	123.6	159.4	189.1	217.0

Πίνακας 6.24: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R6 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	636.4	1058.2	1765.9	2493.9
50	946.2	1502.4	2276.9	3328.4
100	1293.6	1989.0	2940.1	4210.2
500	2215.9	3245.4	4612.9	6396.5
1000	2653.1	3829.6	5378.5	7384.0
10000	4233.5	5904.4	8058.8	10800.9

- Για το υδατόρευμα R8

Ο Πίνακας 6.25 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R8 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.26 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R8.

Πίνακας 6.25: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R8 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	3.2	4.5	5.7	7.2
50	4.7	6.3	7.8	9.7
100	6.3	8.2	10.1	12.3
500	10.4	13.2	15.8	18.6
1000	12.4	15.5	18.4	21.4
10000	19.3	23.6	27.4	31.0

Πίνακας 6.26: Όγκος απορροής σε 1000 m³ στη θέση R8 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλότητων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	86.1	138.1	210.6	309.3
50	124.4	191.7	283.7	406.7
100	166.6	249.7	361.5	508.8
500	276.5	397.1	555.1	759.0
1000	328.0	464.8	642.9	871.1
10000	511.5	703.0	947.5	1256.2

- Για το υδατόρευμα R9

Ο Πίνακας 6.27 παρουσιάζει την παροχή αιχμής του υδατορεύματος R9 για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια, ενώ ο Πίνακας 6.28 παρουσιάζει τον αντίστοιχο πίνακα αλλά με τον όγκο απορροής του R9.

Πίνακας 6.27: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R9 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	4.8	7.1	9.2	11.9
50	7.2	10.2	13.0	16.3
100	9.9	13.6	17.0	21.0
500	17.0	22.4	27.2	32.5
1000	20.3	26.5	32.0	37.8
10000	32.5	41.2	48.5	55.7

Πίνακας 6.28: Όγκος απορροής σε $1000 m^3$ στη θέση R9 για την περίπτωση χωρίς θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	144.1	241.0	379.6	571.8
50	215.2	343.2	521.7	764.4
100	295.1	455.3	674.7	968.0
500	507.6	745.2	1061.1	1473.3
1000	608.5	880.1	1238.0	1701.6
10000	973.4	1359.5	1857.7	2491.9

Παρατηρούμε ότι η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής αυξάνεται όσο αυξάνουν η περίοδος επαναφοράς και η διάρκεια της βροχόπτωσης, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση που λαμβάνονται υπόψη οι κοιλοότητες του εδάφους. Ακόμη παρατηρούμε αύξηση τόσο της παροχής όσο και του όγκου απορροής σε σχέση με την προσέγγιση που λαμβάνονται υπόψη οι κοιλοότητες, πράγμα που είναι απολύτως φυσιολογικό.

6.3.4 Σύγκριση των δύο προσεγγίσεων

Από τις δύο προσεγγίσεις που έγιναν παρατηρείται με μια πρώτη ματιά μείωση τόσο της παροχής αιχμής όσο και του όγκου απορροής, όταν λαμβάνονται υπόψη οι κοιλοότητες του εδάφους. Παρακάτω θα ακολουθήσουν πίνακες για τα υδατορεύματα που αναλύθηκαν προηγουμένως, που θα περιλαμβάνουν την ποσοστιαία αυτή μείωση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής λόγω της επίδρασης των κοιλοτήτων για διάφορες χρονικές περιόδους και χρονικές διάρκειες της βροχόπτωσης.

- Για το υδατόρευμα R2

Ο Πίνακας 6.29 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.30 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.29: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R2 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	66.7	37.1	28.3	21.7
50	44.4	25.5	20.0	14.6
100	34.0	17.6	15.1	12.1
500	18.4	11.4	9.4	7.1
1000	15.2	8.9	7.9	5.6
10000	9.4	6.6	5.2	2.8

Πίνακας 6.30: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R2 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	63.5	37.2	23.3	15.3
50	41.8	25.8	16.8	11.3
100	30.2	19.3	12.9	8.9
500	17.2	11.7	8.1	5.8
1000	14.3	9.8	6.9	5.0
10000	8.8	6.3	4.6	3.4

- Για το υδατόρευμα R3

Ο Πίνακας 6.31 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.32 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.31: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R3 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
		6	12	24	48
25	23.4	18.9	17.4	14.9	
50	18.2	16.2	13.8	11.5	
100	17.6	12.8	11.2	9.1	
500	12.5	8.6	7.6	6.0	
1000	10.8	7.5	6.7	4.9	
10000	7.4	5.1	4.4	3.2	

Πίνακας 6.32: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R3 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
		6	12	24	48
25	17.2	10.8	7.1	4.9	
50	12.0	7.9	5.3	3.7	
100	9.0	6.0	4.2	3.0	
500	5.5	3.8	2.7	2.0	
1000	4.6	3.3	2.4	1.7	
10000	3.0	2.2	1.6	1.2	

- Για το υδατόρευμα R4

Ο Πίνακας 6.33 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.34 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.33: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R4 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
		6	12	24	48
25	42.6	26.9	22.0	19.0	
50	30.9	21.1	18.1	15.6	
100	24.9	17.6	15.7	13.5	
500	18.2	13.6	12.4	10.8	
1000	16.5	12.7	11.6	9.9	
10000	13.4	10.6	9.7	8.3	

Πίνακας 6.34: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R4 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	30.0	18.5	12.1	8.2
50	20.6	13.3	8.9	6.2
100	15.3	10.2	7.0	4.9
500	9.2	6.3	4.5	3.3
1000	7.7	5.4	3.9	2.9
10000	4.9	3.6	2.6	2.0

- Για το υδατόρευμα R5

Ο Πίνακας 6.35 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.36 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.35: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R5 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	55.8	35.4	27.7	25.4
50	41.2	28.0	24.4	23.0
100	32.9	25.1	22.6	21.3
500	26.3	21.9	20.6	19.7
1000	24.9	21.3	20.1	19.3
10000	22.7	20.1	19.2	18.4

Πίνακας 6.36: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R5 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	41.8	28.8	22.2	18.4
50	31.0	23.4	19.1	16.6
100	25.5	20.3	17.3	15.5
500	19.3	16.7	15.1	11.1
1000	18.0	15.9	13.2	9.6
10000	15.5	12.0	8.8	6.6

- Για το υδατόρευμα R6

Ο Πίνακας 6.37 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.38 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.37: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R6 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	97.9	87.2	72.4	63.6
50	91.0	78.1	62.1	56.9
100	83.6	68.4	56.4	52.9
500	67.2	56.8	50.0	47.9
1000	63.0	54.3	48.6	46.6
10000	55.4	50.0	45.8	44.0

Πίνακας 6.38: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R6 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	97.3	57.4	39.6	29.2
50	63.2	42.8	31.1	24.1
100	48.4	34.4	26.1	20.9
500	31.7	24.4	19.8	14.5
1000	27.9	22.0	17.2	12.6
10000	20.8	15.6	11.5	8.7

- Για το υδατόρευμα R8

Ο Πίνακας 6.39 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.40 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.39: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R8 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	62.5	37.8	28.1	23.6	
50	46.8	27.0	21.8	17.5	
100	34.9	20.7	16.8	13.0	
500	20.2	12.9	10.8	7.5	
1000	16.9	11.6	9.2	5.6	
10000	10.9	7.2	5.5	3.2	

Πίνακας 6.40: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R8 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	56.1	35.0	22.9	15.6	
50	38.8	25.2	17.0	11.9	
100	29.0	19.3	13.4	9.5	
500	17.5	12.2	8.7	6.4	
1000	14.7	10.4	7.5	5.5	
10000	9.4	6.9	5.1	3.8	

- Για το υδατόρευμα R9

Ο Πίνακας 6.41 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, ενώ ο Πίνακας 6.42 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής για την ίδια αιτία.

Πίνακας 6.41: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R9 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	56.3	33.8	23.9	19.3	
50	41.7	23.5	18.5	14.7	
100	30.3	18.4	14.1	11.4	
500	18.8	11.6	9.2	6.5	
1000	15.3	9.8	8.1	5.6	
10000	9.8	6.3	4.9	3.2	

Πίνακας 6.42: Ποσοστιαία αύξηση του όγκου απορροής (%) στη θέση R9 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	45.2	27.1	17.2	11.4
50	30.3	19.0	12.5	8.5
100	22.1	14.3	9.7	6.7
500	12.8	8.7	6.1	4.4
1000	10.7	7.4	5.3	3.8
10000	6.7	4.8	3.5	2.6

Από τη σύγκριση των δύο προσεγγίσεων προκύπτει ότι όσο μεγαλώνει η περίοδος επαναφοράς αλλά και η διάρκεια της βροχόπτωσης, τόσο μικρότερη είναι η ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής, δηλαδή τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των κοιλοτήτων του εδάφους. Η πιο μεγάλη αύξηση παρατηρείται για $T=25$ και διάρκεια βροχόπτωσης 6 h. Ακόμη, παρουσιάζεται τεράστια επίδραση των κοιλοτήτων στη θέση R6, γεγονός που είναι λογικό καθώς ο κλάδος R6 δέχεται την επίδραση των κοιλοτήτων των ανάντη κλάδων του.

6.4 Ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης

6.4.1 Κατάρτιση υετογραμμμάτων σχεδιασμού

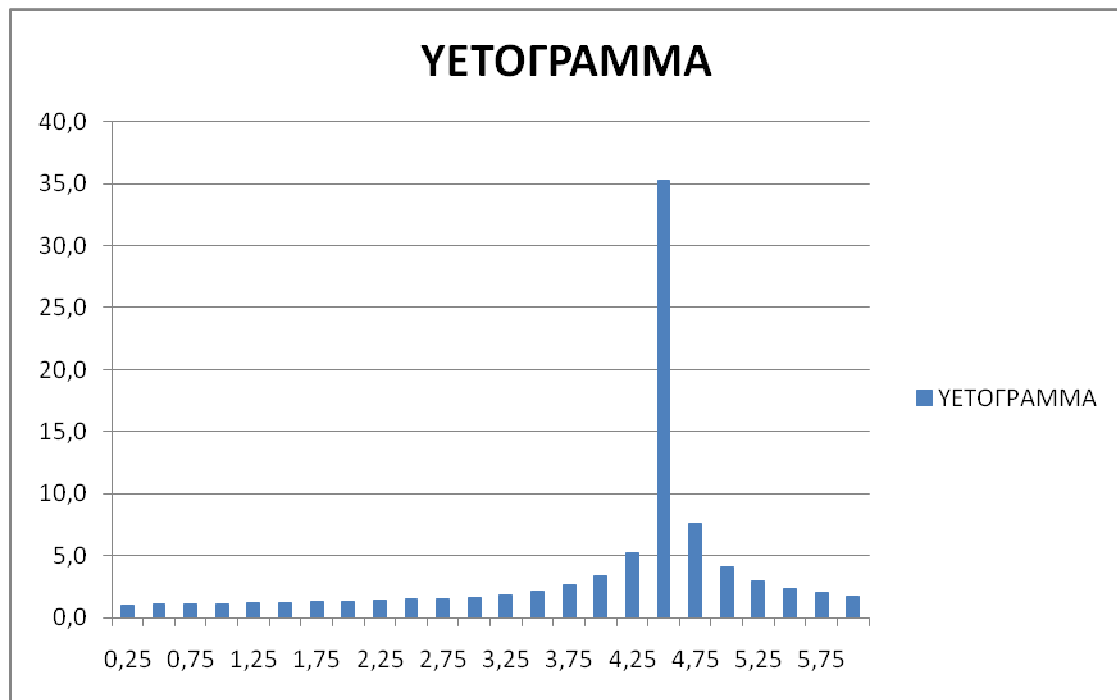
Η ανάλυση που έγινε για να προσδιοριστεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης, απαιτούσε την κατάρτιση νέων υετογραμμμάτων σχεδιασμού, για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς και χρονικές διάρκειες βροχόπτωσης, αλλά αυτή τη φορά τοποθετώντας την αιχμή του κάθε υετογράμματος στο 75%, και όχι στο 50% όπως είχε επιλεγεί αρχικά. Πλέον η κατανομή της βροχόπτωσης είναι ασύμμετρη. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση της συμμετρικής κατανομής της βροχόπτωσης, αυτή των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ για τη συγκεκριμένη περίπτωση εκτελείται ως εξής: μέχρι και την στήλη 4 οι τιμές για την ένταση και το ύψος βροχόπτωσης προκύπτουν ακριβώς όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Πλέον, οι τιμές της στήλης 4 αναδιανέμονται διαφορετικά, τοποθετώντας τη μεγαλύτερη τιμή της βροχόπτωσης στη θέση που αντιπροσωπεύει το 75% της διάρκειας. (και όχι στο 50%, που έγινε αρχικά). Έτσι λοιπόν για να συμπληρωθεί η στήλη πηγαίνει κανείς δεξιά-αριστερά από την μεγαλύτερη τιμή μέχρι να συμπληρωθεί το 25% της διάρκειας, και κατόπιν τα υπόλοιπα τμηματικά ύψη θα τοποθετηθούν μόνο από την αριστερή πλευρά.

Ο Πίνακας 6.43 παρουσιάζει την εφαρμογή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ για μία τυχαία χρονική διάρκεια βροχόπτωσης και μία τυχαία περίοδο επαναφοράς, ενώ στο Σχήμα 6.21 φαίνεται το υετόγραμμα σχεδιασμού που προέκυψε από τον παραπάνω.

Πίνακας 6.43: Υετόγραμμα σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη και χρονική διάρκεια 6 h με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	141.1918	35.2980	35.2980	0 – 0.25	1.0318
0.5	85.8361	42.9181	7.6201	0.25 – 0.5	1.0646
0.75	64.1559	48.1169	5.1989	0.5 – 0.75	1.0999
1	52.1832	52.1832	4.0663	0.75 - 1	1.1382
1.25	44.4579	55.5724	3.3892	1 – 1.25	1.1798
1.5	39.0029	58.5044	2.9320	1.25 – 1.5	1.2253
1.75	34.9164	61.1037	2.5993	1.5 – 1.75	1.2752
2	31.7242	63.4484	2.3448	1.75 - 2	1.3302
2.25	29.1517	65.5913	2.1428	2 – 2.25	1.3913
2.5	27.0277	67.5693	1.9781	2.25 – 2.5	1.4596
2.75	25.2400	69.4100	1.8407	2.5 – 2.75	1.5365
3	23.7114	71.1342	1.7242	2.75 - 3	1.6239
3.25	22.3871	72.7581	1.6239	3 – 3.25	1.8407
3.5	21.2270	74.2947	1.5365	3.25 – 3.5	2.1428
3.75	20.2011	75.7543	1.4596	3.5 – 3.75	2.5993
4	19.2864	77.1456	1.3913	3.75 - 4	3.3892
4.25	18.4649	78.4759	1.3302	4 – 4.25	5.1989
4.5	17.7225	79.7511	1.2752	4.25 – 4.5	35.2980
4.75	17.0476	80.9763	1.2253	4.5 – 4.75	7.6201
5	16.4312	82.1561	1.1798	4.75 - 5	4.0663
5.25	15.8656	83.2943	1.1382	5 – 5.25	2.9320
5.5	15.3444	84.3942	1.0999	5.25 – 5.5	2.3448
5.75	14.8624	85.4588	1.0646	5.5 – 5.75	1.9781
6	14.4151	86.4906	1.0318	5.75 -6	1.7242



Σχήμα 6.21: Τυπικό υετογράμμα σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης 6 h με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

6.4.2 Αποτελέσματα εφαρμογής με τοποθέτηση της αιχμής του κάθε υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης

Εφόσον, δημιουργήθηκαν τα νέα υετογράμματα σχεδιασμού με την τοποθέτηση της αιχμής στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης, εισήχθησαν στο υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS. Όσον αφορά το μοντέλο λεκάνης απορροής αυτό δεν άλλαξε. Το μόνο που άλλαξε ήταν η τοποθέτηση των νέων υετογραμμμάτων και έγινε νέο τρέξιμο προσομοίωσης. Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για τα υδρολογικά στοιχεία παρατηρήθηκε, τόσο λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες, όσο και παραλείποντάς τες, μία αύξηση των παροχών αιχμής, ενώ ο όγκος απορροής παρέμεινε ο ίδιος, όπως ήταν στην προσέγγιση με την αιχμή των υετογραμμμάτων στο 50%. Η αύξηση αυτή στην παροχή αιχμής παρουσιάστηκε εξαιτίας του γεγονότος ότι η παροχή αιχμής για κάθε υδρολογικό στοιχείο εμφανίστηκε χρονικά αργότερα από ό,τι εμφανίζεται όταν η αιχμή του υετογράμματος είναι στο 50%. Στο Σχήμα 6.22 παρουσιάζεται η διαφορά στη χρονική στιγμή που παρουσιάζεται η παροχή αιχμής για ένα τυχαίο υδρολογικό στοιχείο, όταν η αιχμή του υετογράμματος είναι στο 75%.

Project: hec_3 Simulation Run: T=50(12h) Subbasin: Iekani_3								Project: hec_1 Simulation Run: T=50(12h) Subbasin: Iekani_3							
Start of Run: 15Iav2000, 00:00				Basin Model: Basin 1				Start of Run: 15Iav2000, 00:00				Basin Model: Basin 1			
End of Run: 25Iav2000, 12:00				Meteorologic Model: Met 4				End of Run: 25Iav2000, 12:00				Meteorologic Model: Met 4			
Compute Time: 27Zen2013, 19:16:28				Control Specifications: Control 4				Compute Time: 11Zen2013, 19:52:49				Control Specifications: Control 4			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)	Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
15Iav2000	11:45	0,97	0,33	0,64	10,9	0,0	10,9	15Iav2000	09:00	0,91	0,33	0,57	9,9	0,0	9,9
15Iav2000	12:00	0,91	0,30	0,60	12,6	0,0	12,6	15Iav2000	09:15	0,85	0,31	0,54	11,2	0,0	11,2
15Iav2000	12:15	0,00	0,00	0,00	14,2	0,0	14,2	15Iav2000	09:30	0,81	0,29	0,52	12,5	0,0	12,5
15Iav2000	12:30	0,00	0,00	0,00	15,6	0,0	15,6	15Iav2000	09:45	0,77	0,27	0,50	13,6	0,0	13,6
15Iav2000	12:45	0,00	0,00	0,00	17,0	0,0	17,0	15Iav2000	10:00	0,73	0,26	0,47	14,7	0,0	14,7
15Iav2000	13:00	0,00	0,00	0,00	18,1	0,0	18,1	15Iav2000	10:15	0,70	0,25	0,46	15,6	0,0	15,6
15Iav2000	13:15	0,00	0,00	0,00	19,1	0,0	19,1	15Iav2000	10:30	0,67	0,23	0,44	16,4	0,0	16,4
15Iav2000	13:30	0,00	0,00	0,00	19,8	0,0	19,8	15Iav2000	10:45	0,65	0,22	0,42	17,0	0,0	17,0
15Iav2000	13:45	0,00	0,00	0,00	20,4	0,0	20,4	15Iav2000	11:00	0,62	0,21	0,41	17,5	0,0	17,5
15Iav2000	14:00	0,00	0,00	0,00	20,8	0,0	20,8	15Iav2000	11:15	0,60	0,21	0,40	17,9	0,0	17,9
15Iav2000	14:15	0,00	0,00	0,00	21,1	0,0	21,1	15Iav2000	11:30	0,58	0,20	0,39	18,2	0,0	18,2
15Iav2000	14:30	0,00	0,00	0,00	21,2	0,0	21,2	15Iav2000	11:45	0,56	0,19	0,37	18,3	0,0	18,3
15Iav2000	14:45	0,00	0,00	0,00	21,0	0,0	21,0	15Iav2000	12:00	0,55	0,18	0,36	18,4	0,0	18,4
15Iav2000	15:00	0,00	0,00	0,00	20,7	0,0	20,7	15Iav2000	12:15	0,00	0,00	0,00	18,3	0,0	18,3
15Iav2000	15:15	0,00	0,00	0,00	20,3	0,0	20,3	15Iav2000	12:30	0,00	0,00	0,00	18,2	0,0	18,2
15Iav2000	15:30	0,00	0,00	0,00	19,7	0,0	19,7	15Iav2000	12:45	0,00	0,00	0,00	17,9	0,0	17,9
15Iav2000	15:45	0,00	0,00	0,00	19,1	0,0	19,1	15Iav2000	13:00	0,00	0,00	0,00	17,6	0,0	17,6
15Iav2000	16:00	0,00	0,00	0,00	18,4	0,0	18,4	15Iav2000	13:15	0,00	0,00	0,00	17,2	0,0	17,2
15Iav2000	16:15	0,00	0,00	0,00	17,5	0,0	17,5	15Iav2000	13:30	0,00	0,00	0,00	16,7	0,0	16,7
15Iav2000	16:30	0,00	0,00	0,00	16,6	0,0	16,6	15Iav2000	13:45	0,00	0,00	0,00	16,1	0,0	16,1
15Iav2000	16:45	0,00	0,00	0,00	15,5	0,0	15,5	15Iav2000	14:00	0,00	0,00	0,00	15,4	0,0	15,4
15Iav2000	17:00	0,00	0,00	0,00	14,5	0,0	14,5	15Iav2000	14:15	0,00	0,00	0,00	14,7	0,0	14,7
15Iav2000	17:15	0,00	0,00	0,00	13,4	0,0	13,4	15Iav2000	14:30	0,00	0,00	0,00	14,0	0,0	14,0

Σχήμα 6.22: Η χρονική στιγμή που παρουσιάζεται η παροχή αιχμής για μία τυχαία λεκάνη απορροής στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος είναι στο 75% (αριστερά) και η χρονική στιγμή που παρουσιάζεται η παροχή αιχμής για την ίδια λεκάνη όταν η αιχμή του υετογράμματος είναι στο 50% της διάρκειας της βροχής (δεξιά).

Παρατηρείται λοιπόν, ότι η παροχή αιχμής για μία λεκάνη απορροής είναι διαφορετική τόσο σαν τιμή (μεγαλύτερη στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος τοποθετείται στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης), αλλά παρουσιάζεται και σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή από όταν η αιχμή τοποθετείται στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει για κάθε υδρολογικό στοιχείο (λεκάνη, υδατόρευμα, κοιλότητα). Από την άλλη πλευρά, ο όγκος απορροής παραμένει ο ίδιος καθώς ότι νερό θα απορρευθεί ανεξάρτητα τη χρονική στιγμή που θα συμβεί αυτό.

Συνεπώς, μία πρώτη σύγκριση που μπορεί να γίνει όταν η αιχμή του υετογράμματος τοποθετείται στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης και όχι στο 50%, είναι η σύγκριση ανάμεσα στην παροχή αιχμής των υδρολογικών στοιχείων. Η σύγκριση δείχνει ότι η παροχή αιχμής στην περίπτωση της τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 75%, αυξάνεται σε σχέση με την περίπτωση που η αιχμή είναι στο 50%. Ο όγκος απορροής παραμένει σταθερός. Αυτό ισχύει τόσο στην περίπτωση της θεώρησης κοιλοτήτων, όσο και στην περίπτωση μη θεώρησης τους.

Ενδεικτικά θα δοθεί ένα παράδειγμα για να διαπιστωθεί ακριβώς τι συμβαίνει με την παροχή αιχμής για ένα τυχαίο υδατόρευμα (το R2), τόσο λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλοότητες, όσο και παραλείποντας τες.

Ο Πίνακας 6.44 παρουσιάζει την παροχή αιχμής για το υδατόρευμα R2 για διάφορες περιόδους επαναφοράς και διάφορες χρονικές διάρκειες της βροχόπτωσης, στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος έχει τοποθετηθεί στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης και στη θεώρηση των κοιλοτήτων.

Πίνακας 6.44: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R2 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	0.8	2.4	4.4	6.1	
50	2	4.2	6.6	8.7	
100	3.4	6.2	9	11.6	
500	7.3	11.3	15.1	18.3	
1000	9.2	13.7	17.8	21.3	
10000	15.8	22.2	27.5	31.3	

Παρατηρούμε ότι η παροχή αιχμής αυξάνεται τόσο μεγαλώνοντας η περίοδος επαναφοράς, όσο και η διάρκεια βροχόπτωσης, πράγμα που συνέβαινε και στην περίπτωση της τοποθέτησης της αιχμής στο 50% της διάρκειας.

Ο Πίνακας 6.45 παρουσιάζει την αύξηση στην παροχή αιχμής λόγω της αλλαγής της τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος από το 75% στο 50% της διάρκειας, όπως προέκυψε με την σύγκριση του Πίνακα 6.44 με τον Πίνακα 6.1, που περιλαμβάνει τις τιμές της παροχής αιχμής στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων και της αιχμής του υετογράμματος στο 50%.

Πίνακας 6.45: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R2 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του υετογράμματος από 50% σε 75%, στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	0.0	8.3	25.0	23.0	
50	0.0	9.5	21.2	19.5	
100	2.9	9.7	18.9	19.0	
500	2.7	10.6	16.6	14.8	
1000	3.3	10.2	15.2	13.6	
10000	2.5	10.4	13.1	9.9	

Παρατηρείται γενικά μία μικρή αύξηση της παροχής αιχμής όσο μεγαλώνει η διάρκεια της βροχόπτωσης, αλλά παρατηρείται μείωση της αύξησης από την χρονική διάρκεια των 24 h στην χρονική διάρκεια των 48 h. Ακόμη, δεν υπάρχει σαφής εικόνα για την αύξηση της παροχής όσο μεγαλώνει η περίοδος επαναφοράς καθώς, για τις διάρκειες των 6 h και 12 h, υπάρχει αυξομείωση για την αύξηση της παροχής, ενώ για τις διάρκειες των 24 h και 48 h, όσο μεγαλώνει η περίοδος επαναφοράς τόσο μειώνεται η αύξηση της παροχής αιχμής.

Να σημειωθεί ότι ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και για τα υπόλοιπα υδατορεύματα, αλλά δεν μπορούν να αναφερθούν στο κεφάλαιο αυτό οι αντίστοιχοι πίνακες όλων των υδατορέυματων που μας ενδιαφέρουν αλλά παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Ο Πίνακας 6.46 παρουσιάζει την παροχή αιχμής για το υδατόρευμα R2 για διάφορες περιόδους επαναφοράς και διάφορες χρονικές διάρκειες της βροχόπτωσης, στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος έχει τοποθετηθεί στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης και στη μη θεώρηση των κοιλοτήτων.

Ακόμη, ο Πίνακας 6.47 παρουσιάζει την αύξηση στην παροχή αιχμής λόγω της αλλαγής της τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος από το 75% στο 50% της διάρκειας, όπως προέκυψε με την σύγκριση του Πίνακα 6.47 με τον Πίνακα 6.15, που περιλαμβάνει τις τιμές της παροχής αιχμής στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων και της αιχμής στου υετογράμματος στο 50%.

Πίνακας 6.46: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R2 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	2.5	4.1	5.7	7.3	
50	3.8	5.8	7.9	9.9	
100	5.2	7.8	10.3	12.5	
500	9.1	12.9	16.3	19.1	
1000	10.9	15.3	19	22	
10000	17.6	23.7	28.4	31.9	

Πίνακας 6.47: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R2 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του υετογράμματος από 50% σε 75%, στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)		
	6	12	24	48	
25	4.0	14.6	19.3	17.8	
50	5.3	12.1	17.7	17.2	
100	3.8	12.8	16.5	14.4	
500	4.4	11.6	14.7	12.0	
1000	3.7	11.8	13.7	11.4	
10000	3.4	10.1	11.3	9.1	

Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι ακριβώς τα ίδια με την περίπτωση της θεώρησης κοιλοτήτων, όπως αυτά αναγράφονται παραπάνω.

Μία δεύτερη σύγκριση που μπορεί να γίνει είναι να βρεθεί η ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής στην περίπτωση της μη θεώρησης κοιλοτήτων. Ενδεικτικά, θα αναφερθεί η περίπτωση του υδατορέυματος R2. Ο Πίνακας 6.48 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων συγκρίνοντας τις τιμές του Πίνακα 6.44 και του Πίνακα 6.46.

Πίνακας 6.48: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R2 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	68.0	41.5	22.8	16.4
50	47.4	27.6	16.5	12.1
100	34.6	20.5	12.6	7.2
500	19.8	12.4	7.4	4.2
1000	15.6	10.5	6.3	3.2
10000	10.2	6.3	3.2	1.9

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς και η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης, τόσο μειώνεται η ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, πράγμα που σημαίνει ότι τόσο μικρότερη γίνεται η επίδραση των κοιλοτήτων.

Να σημειωθεί ότι και στην περίπτωση που η τοποθέτηση της αιχμής του νετογράμματος γίνεται στο 50% της διάρκειας, εξάγονται ακριβώς τα ίδια συμπεράσματα. Τέλος, τα ίδια συμπεράσματα ισχύουν και για τα υπόλοιπα υδατορεύματα που μας ενδιαφέρουν.

Μία τρίτη και τελευταία σύγκριση που μπορεί να γίνει είναι να βρεθεί η ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

Ο Πίνακας 6.49 περιέχει αυτήν την ποσοστιαία μεταβολή για το υδατόρευμα R2, συγκρίνοντας τις τιμές του Πίνακα 6.29 και του Πίνακα 6.48. Να σημειωθεί ότι οι τιμές, προέκυψαν αφαιρώντας από τον πίνακα που προκύπτει από την αιχμή στο 75% (Πίνακας 6.48), τον πίνακα που προκύπτει από την αιχμή στο 50% (Πίνακας 6.29).

Πίνακας 6.49: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R2 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	2.0	10.4	-23.9	-31.8
50	6.2	7.6	-21.5	-20.7
100	1.8	14.0	-19.8	-68.7
500	7.0	8.1	-27.0	-70.5
1000	2.3	15.0	-25.5	-77.3
10000	8.0	-3.8	-62.8	-46.7

Αυτό που παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα είναι ότι για τις χρονικές διάρκειες της βροχόπτωσης 6 h και 12 h, η ποσοστιαία αυτή μεταβολή είναι θετική (αύξηση), πράγμα που σημαίνει ότι η ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, στην περίπτωση της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της στην περίπτωση της

τοποθέτησης της αιχμής στο 50%, δηλαδή η επίδραση της κοιλότητας είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση που η αιχμή τοποθετείται στο 75% της διάρκειας. Ακόμη, παρατηρείται ότι για τις διάρκειες 24 h και 48 h, η ποσοστιαία μεταβολή είναι αρνητική (μείωση), πράγμα που σημαίνει η επίδραση της κοιλότητας είναι μικρότερη για την περίπτωση που η αιχμή είναι στο 75%.

Να σημειωθεί ότι, για τα υπόλοιπα υδατορεύματα μπορεί να μην ισχύει το ίδιο συμπέρασμα που εξάγεται για το υδατόρευμα R2, αλλά μία γενική άποψη είναι ότι για τις διάρκειες 6 h και 12 h η μεταβολή είναι αύξηση, χωρίς σε κάποια περίπτωση να αποκλείεται και κάποια μείωση για κάποια περίοδο επαναφοράς, ενώ για τις διάρκειες 24 h και 48 h, η μεταβολή είναι κυρίως μείωση.

Τα αποτελέσματα των υπόλοιπων υδατορευμάτων θα παρατεθούν στο Παράρτημα Β.

Τέλος, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα άλλα υδατορεύματα που μας ενδιαφέρουν, εξάγεται το συμπέρασμα ότι όσο προχωράμε σε κατάντη υδατορεύματα η ποσοστιαία αυτή μεταβολή (είτε αύξηση είτε μείωση) είναι μικρότερη κατά απόλυτη τιμή, δηλαδή η επίδραση των κοιλοτήτων (είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη) δεν διαφοροποιείται και πάρα πολύ σε σχέση με την περίπτωση που η αιχμή του νετογράμματος έχει τοποθετηθεί στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης. Για να γίνει κατανοητό αυτό θα αναφερθεί το παράδειγμα του κλάδου R6, ο οποίος κλάδος παρουσιάζει τεράστια ποσοστιαία αύξηση στη παροχή αιχμής του, δηλαδή πολύ μεγάλη επίδραση των κοιλοτήτων, γεγονός λογικό καθώς ο κλάδος αυτός δέχεται συγκεντρωμένη την επίδραση των κοιλοτήτων των ανάντη κλάδων. Ο Πίνακας 6.50 παρουσιάζει την ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής για το υδατόρευμα R6 για την περίπτωση που η αιχμή του νετογράμματος είναι στο 75% της διάρκειας, ενώ ο Πίνακας 6.51 δείχνει την ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης, η οποία είναι πολύ μικρή (σχεδόν αμελητέα) κατά απόλυτη τιμή είτε πρόκειται για μείωση είτε για αύξηση, γεγονός που σημαίνει ότι, ανεξάρτητα από το που είναι χρονικά η αιχμή του νετογράμματος, η επίδραση των κοιλοτήτων είναι παρόμοια.

Πίνακας 6.50: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R6 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	97.9	88.1	75.6	60.2
50	91.2	79.5	64.5	53.9
100	84.1	70.6	58.4	50.3
500	68.0	59.0	51.6	45.6
1000	63.6	56.5	50.0	44.4
10000	56.1	51.8	46.7	41.9

Πίνακας 6.51: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R6 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)			
	6	12	24	48
25	0.1	0.9	4.1	-5.5
50	0.3	1.9	3.6	-5.5
100	0.6	3.0	3.4	-5.2
500	1.1	3.7	3.1	-5.0
1000	1.1	3.8	2.7	-5.1
10000	1.3	3.6	1.8	-5.1

7 Σύνοψη-Συμπεράσματα

Οι κοιλότητες του εδάφους φαίνεται να λειτουργούν ανασχετικά για τα πλημμυρικά φαινόμενα σε υδατορεύματα, και κατά επέκταση στα οδικά τμήματα που τέμνουν αυτά τα υδατορεύματα. Η αποθήκευση του νερού που καταλήγει από τα υδατορεύματα σε κοιλότητες του εδάφους, έχει ως επακόλουθο την προστασία κατά κάποιο τρόπο, και σε κάποιο βαθμό, των οδικών δικτύων από φαινόμενα πλημμύρας.

Τα μεγέθη της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής των υδατορευμάτων που καταλήγουν στο υπό μελέτη οδικό τμήμα, παρουσιάζονται μειωμένα σε κάποιο βαθμό, και σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετά μεγάλο βαθμό, λαμβάνοντας υπόψη τις κοιλότητες του εδάφους. Η μείωση αυτών των δύο μεγεθών κρίνεται φυσιολογική, καθώς η ύπαρξη των κοιλοτήτων του εδάφους θα υποχρεώσει ένα μέρος της απορροής των υδατορευμάτων να αποθηκευτεί σε αυτές, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής.

Η ποσοστιαία αυτή μείωση της παροχής αιχμής αλλά και του όγκου απορροής, που δείχνει πόσο σημαντική είναι η επίδραση της εκάστοτε κοιλότητας, μειώνεται όσο μεγαλώνει η περίοδος επαναφοράς και η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης. Η μείωση αυτή σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς και η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης, τόσο λιγότερο σημαντική είναι η κοιλότητα, δηλαδή δεν θα υπήρχε πολύ μεγάλη διαφορά σε περίπτωση που δεν υπήρχε. Η μείωση αυτή ήταν αναμενόμενη, καθώς όταν μελετηθεί μια μεγάλη περίοδος επαναφοράς και μία εξίσου μεγάλη διάρκεια βροχόπτωσης, η ποσότητα της βροχόπτωσης που θα φτάσει στο έδαφος και που θα μετατραπεί σε απορροή, θα είναι μεγαλύτερη, γεγονός που σημαίνει ότι οι κοιλότητες θα γεμίζουν πολύ πιο γρήγορα και δεν θα υπάρχει συνεπώς μεγάλη διαφορά στην παροχή αιχμής και στον όγκο απορροής.

Το πόσο μεγάλη ή μικρή θα είναι αυτή η ποσοστιαία μείωση της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής, καθορίζεται εκτός της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας της βροχόπτωσης και από τον όγκο που μπορούν να αποθηκεύσουν οι κοιλότητες του εδάφους. Για παράδειγμα, για μία μικρή περίοδο επαναφοράς (π.χ. $T = 25$ ή $T = 50$ έτη) και μία διάρκεια βροχής 6 h και 12 h, εάν ο όγκος της απορροής του υδατορευματος προσεγγίζει τον όγκο αποθήκευσης της κοιλότητας, τότε η επίδραση της κοιλότητας αυτής είναι πολύ σημαντική, καθώς θα αποθηκεύει μεγάλο μέρος αυτού, και, κατά συνέπεια, η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής που θα καταλήξει στο οδικό τμήμα θα είναι κατά πολύ λιγότερα εάν δεν υπήρχε η κοιλότητα αυτή.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, φάνηκε ότι τα υδατορεύματα τα οποία αποτελούνται από αρκετούς ανάντη κλάδους (π.χ. το R6), η ποσοστιαία μείωση της παροχής είναι πολύ μεγάλη, ειδικά για μικρές περιόδους επαναφοράς και διάρκειες βροχόπτωσης. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο όγκος απορροής λειτουργούν αθροιστικά, δηλαδή ο όγκος της απορροής που θα καταλήξει στο υδατόρευμα R6 και κατά συνέπεια στο αντίστοιχο σημείο του οδικού τμήματος, θα έχει υποστεί τις απώλειες όλων των προηγούμενων κοιλοτήτων από τους ανάντη κλάδους του υδατορευματος R6. Βέβαια δεν εξαρτάται μόνο από αυτό, αλλά και από τον όγκο απορροής που θα συνδράμει η λεκάνη απορροής που περιέχει την κάθε κοιλότητα. Αυτός ο όγκος με τη σειρά του εξαρτάται από τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Να σημειωθεί

ότι αυτό συμβαίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση και δεν ισχύει για όλες τις περιπτώσεις μελετών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε και μία προσπάθεια να αναλυθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης. Η ανάλυση αυτή βασίζεται στον τρόπο κατάρτισης των υετογραμμάτων σχεδιασμού. Τα υετογράμματα σχεδιασμού κατασκευάστηκαν με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Τα αποτελέσματα που αναφέρονται παραπάνω έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας υετογράμματα με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ και τοποθετώντας την αιχμή του κάθε υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης. Έτσι λοιπόν, με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκαν νέα υετογράμματα σχεδιασμού με την ίδια μέθοδο και, αυτή τη φορά, τοποθετώντας την αιχμή του κάθε υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν με τα νέα υετογράμματα σχεδιασμού έγινε η ανάλυση αυτή της ευαισθησίας στη χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν, για την παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής, όπως ήταν λογικό, προέκυψε μείωση τους, λόγω της ύπαρξης των κοιλοτήτων. Όπως συνέβη και με τα αποτελέσματα της προσέγγισης που η αιχμή των υετογραμμάτων ήταν στο 50%, η ποσοστιαία μείωση της παροχής μειώνεται όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς και η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης, δηλαδή τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των κοιλοτήτων, γεγονός που οφείλεται στους λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω. Ακόμη, η μεγαλύτερη επίδραση των κοιλοτήτων εμφανίζεται και σε αυτή την περίπτωση για το υδατόρευμα R6.

Η τοποθέτηση της αιχμής των υετογραμμάτων στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης είχε σαν αποτέλεσμα, όλα τα υδρολογικά στοιχεία της μελέτης (λεκάνες απορροής, υδατορεύματα, κοιλοότητες) να εμφανίζουν την παροχή αιχμής τους σε χρονική στιγμή μεταγενέστερη από αυτή που την εμφάνιζαν όταν η αιχμή των υετογραμμάτων ήταν τοποθετημένη στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει καθώς η μεγαλύτερη τιμή της βροχόπτωσης καταλήγει στο έδαφος σε χρονική στιγμή μεγαλύτερη από αυτή που ίσχυε στην περίπτωση της τοποθέτησης της αιχμής στο 50% της διάρκειας.

Εξαιτίας λοιπόν, αυτής της διαφοράς της χρονικής στιγμής εμφάνισης της παροχής αιχμής, υπάρχει μία μικρή αλλά όχι τελείως αμελητέα αύξηση της παροχής αιχμής. Αυτό σημαίνει ότι εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής των υετογραμμάτων στο 75% της διάρκειας και όχι στο 50%, η παροχή αιχμής των υδατορευμάτων εμφανίζεται αυξημένη κατά ένα ποσοστό. Να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει σαφής εικόνα για το πώς κινείται αυτή η ποσοστιαία αύξηση ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς και την χρονική διάρκεια. Ενώ τώρα, η παροχή αιχμής αυξάνεται, και στην περίπτωση που λαμβάνονται υπόψη οι κοιλοότητες του εδάφους και σε αυτή που παραλείπονται, ο όγκος απορροής δεν έχει μεταβολές σε σχέση με την προσέγγιση της τοποθέτησης της αιχμής της πλημμύρας στο 50% της διάρκειας, γεγονός φυσιολογικό καθώς, ανεξάρτητα από την στιγμή που τα υδατορεύματα θα εμφανίσουν την παροχή αιχμής τους, ο όγκος απορροής που θα υπολογιστεί θα είναι ο ίδιος, αφού δεν έχει αλλάξει ούτε η ποσότητα της βροχόπτωσης που θα πέσει στο έδαφος, ούτε κάποιο από τα στοιχεία των λεκανών απορροής.

Να σημειωθεί ότι η ποσοστιαία αυτή αύξηση της παροχής αιχμής στις μικρές διάρκειες βροχόπτωσης κυμαίνονταν από 0% ως 10% το πολύ, ενώ και σε μεγάλες διάρκειες και περιόδους επαναφοράς το μεγαλύτερο ποσοστό που φτάνει είναι το 25%.

Αυτό συμβαίνει και για την περίπτωση θεώρησης των κοιλοτήτων, αλλά και για την περίπτωση που δεν υπάρχουν κοιλότητες, με την σημείωση ότι, όταν δεν υπάρχουν κοιλότητες, η ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής είναι κάπως μικρότερη σε σχέση με την περίπτωση που υπάρχουν κοιλότητες.

Τέλος, έγινε μία προσπάθεια να προσδιοριστεί σε ποια από τις δύο περιπτώσεις (στο 50% και 75% η αιχμή των υετογραμμμάτων) είναι μεγαλύτερη η επίδραση των κοιλοτήτων. Για να γίνει αυτό, πραγματοποιήθηκε μία απόπειρα να συγκριθούν οι ποσοστιαίες αυξήσεις της παροχής αιχμής των δύο περιπτώσεων και να βρεθεί η ποσοστιαία μεταβολή τους. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, καθώς η ποσοστιαία αυτή μεταβολή ήταν μία αρνητική μια θετική. Η αρνητική μεταβολή (μείωση) σημαίνει ότι η ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής στην περίπτωση που η αιχμή του υετογράμματος ήταν τοποθετημένη στο 75% είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της στο 50%, ενώ, όταν είναι θετική (αύξηση), συμβαίνει το αντίθετο.

Ένα στοιχείο που προκύπτει πάντως από τη σύγκριση είναι ότι για μικρές διάρκειες η ποσοστιαία αυτή μεταβολή είναι πολύ μικρή, γεγονός που φανερώνει ότι δεν παίζει και μεγάλο ρόλο η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης στην επίδραση των κοιλοτήτων. Ακόμη στις μεγάλες διάρκειες για τις οποίες, συνήθως, η μεταβολή είναι αρνητική (μείωση), οι διαφορές είναι μεγαλύτερες, αλλά σε αυτή την περίπτωση είναι μικρές οι ποσοστιαίες αυξήσεις των δύο περιπτώσεων, γεγονός που δείχνει ότι ούτε εκεί έχει μεγάλη σημασία η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης στις κοιλότητες.

Η ανάλυση και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δεν είναι μεγάλης ακρίβειας, διότι η ακρίβεια είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Ένας κύριος παράγοντας είναι η ακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, για να μπορούν να προσδιοριστούν ακριβώς οι κοιλότητες του εδάφους. Στην παρούσα διπλωματική η ακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου δεν ήταν άκρως ικανοποιητική και το γεγονός ότι απαιτήθηκε να διορθωθεί το ψηφιακό μοντέλο πρόσθεσε ένα επιπλέον σφάλμα. Ακόμη, η ακρίβεια εξαρτάται από την ακρίβεια της κάθε μεθόδου που έχει χρησιμοποιηθεί, ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα. Επίσης, στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν αρκετές παραδοχές, γεγονός που συμβάλλει στην τελική ακρίβεια του αποτελέσματος. Παρόλα αυτά, προέκυψαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα, έστω και με λίγο μειωμένη ακρίβεια.

Όπως φαίνεται, οι κοιλότητες έχουν αρκετά σημαντική επίδραση στην παροχή αιχμής και τον όγκο απορροής σε μία πλημμύρα. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε μία μελέτη για την κατασκευή ενός αντιπλημμυρικού έργου όχι μόνο σε οδικό δίκτυο (π.χ. οχετός) αλλά γενικά. Η επίδραση των κοιλοτήτων όπως έδειξαν τα αποτελέσματα είναι σημαντική, για την συγκεκριμένη περιοχή. Για άλλες περιοχές, όταν γίνεται μία μελέτη, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, έτσι ώστε να φανεί η επίδραση τους στην συγκεκριμένη περιοχή. Τέλος, εάν αυτή η επίδραση είναι σημαντική, θα μπορούσε να μειώσει σε κάποιο βαθμό το κόστος των έργων που πρέπει να κατασκευαστούν.

Αναφορές

Στην ελληνική γλώσσα

- Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, *Παροχή εδαφολογικών χαρτών και εδαφοτομών της περιοχής μελέτης Πλατύκαμπος*, Αθήνα, 2013.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- Λέκκας, Ε., *Φυσικές και Τεχνολογικές καταστροφές*, Αθήνα, 1996.
- Λυμπερόπουλος, Σ., *Επίδραση δασικών πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής: Η περίπτωση του ρέματος Γιαννούλα στην Πάρνηθα*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2008.
- Μαμάσης, Ν., *Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2012.
- Ναλμπάντης, Ι., *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007
- Παναγιωτοπούλου, Μ., *Επίδραση της χωρικής διαμέρισης στην εκτίμηση της απορροής με ημικαταναμημένα μοντέλα: Διερεύνηση με τη βοήθεια των μοντέλων HEC-HMS και AFFDEF*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2012.
- Σκοπελίτη, Α., και Στάμου, Λ., *Υδρολογική ανάλυση ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε περιβάλλον ΓΣΠ*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2005.
- Τσακίρης, Γ., *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1995.

Ξενόγλωσσες

- Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
- Hydrologic Modeling System HEC-HMS, *Technical Reference Manual*, 2000.
- Huang, Y., *Appropriate modelling for intergrated flood risk assessment*, Dissertation, University of Twente, The Netherlands, 2005.
- Huff, F.A., *Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms*, Water Resources Research, 3, 1007-1019.
- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus J., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1949.
- Nalbantis, I., Ch. Obled, and J.Y. Rodriguez, *Unit hydrograph and effective precipitation identification*, J. Hydrol., 168, 127-157, 1995.
- Nielsen, N.H., Larsen, M.R.A., Rasmussen, S.F, *Development of a screening method to assess flood risk on Danish national roads and highway system*. In: WATER SCIENCE and TECHNOLOGY, 63, 12, 2957-2966, 2011.

Pierce, R., Hornbeck, J., Likens, C. and Bormann, F., *Effect of elimination of vegetation on stream water quantity and quality*, IASH-UNESCO Publ. 96, 311-328, 1970.

Shaw, E., *Hydrology in practice*, 2nd edition, Great Britain, 1983.

Soil Conservation Service (SCS), *National Engineering Handbook*, Washington D.C., Section 4, Hydrology, 1972.

Wanielista, M., *Stormwater Management, Quantity and Quality*, Ann Arbor Science, Ann Arbor, 1978.

Διαδικτυακοί τόποι

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

<http://www.hec.usace.army.mil/>

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

<http://www.energia.gr>

<https://maps.google.com/>

Παράρτημα Α: Υετογράμματα σχεδιασμού

Πίνακας Α.1: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 25$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	106.7160	26.6790	26.6790	0 – 0.25	0.8046
0.5	64.8769	32.4384	5.7594	0.25 – 0.5	0.8603
0.75	48.4905	36.3678	3.9294	0.5 – 0.75	0.9261
1	39.4412	39.4412	3.0734	0.75 - 1	1.0054
1.25	33.6023	42.0029	2.5616	1 – 1.25	1.1032
1.5	29.4793	44.2189	2.2160	1.25 – 1.5	1.2274
1.75	26.3906	46.1835	1.9646	1.5 – 1.75	1.3913
2	23.9779	47.9558	1.7722	1.75 - 2	1.6196
2.25	22.0335	49.5754	1.6196	2 – 2.25	1.9646
2.5	20.4282	51.0704	1.4951	2.25 – 2.5	2.5616
2.75	19.0770	52.4617	1.3913	2.5 – 2.75	3.9294
3	17.9216	53.7649	1.3032	2.75 - 3	26.6790
3.25	16.9207	54.9922	1.2274	3 – 3.25	5.7594
3.5	16.0439	56.1536	1.1613	3.25 – 3.5	3.0734
3.75	15.2685	57.2568	1.1032	3.5 – 3.75	2.2160
4	14.5771	58.3084	1.0516	3.75 - 4	1.7722
4.25	13.9562	59.3138	1.0054	4 – 4.25	1.4951
4.5	13.3950	60.2776	0.9638	4.25 – 4.5	1.3032
4.75	12.8850	61.2037	0.9261	4.5 – 4.75	1.1613
5	12.4191	62.0955	0.8917	4.75 - 5	1.0516
5.25	11.9916	62.9557	0.8603	5 – 5.25	0.9638
5.5	11.5976	63.7871	0.8313	5.25 – 5.5	0.8917
5.75	11.2333	64.5917	0.8046	5.5 – 5.75	0.8313
6	10.8953	65.3716	0.7799	5.75 - 6	0.7799

Πίνακας Α.2: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	124.0178	31.0044	31.0044	0 – 0.25	0.9351
0.5	75.3953	37.6977	6.6932	0.25 – 0.5	0.9997
0.75	56.3522	42.2642	4.5665	0.5 – 0.75	1.0762
1	45.8358	45.8358	3.5717	0.75 - 1	1.1684
1.25	39.0502	48.8128	2.9770	1 – 1.25	1.2821
1.5	34.2587	51.3881	2.5753	1.25 – 1.5	1.4264
1.75	30.6693	53.6712	2.2831	1.5 – 1.75	1.6168
2	27.8654	55.7308	2.0596	1.75 - 2	1.8822
2.25	25.6058	57.6130	1.8822	2 – 2.25	2.2831
2,5	23.7402	59.3504	1.7375	2.25 – 2.5	2.9770
2.75	22.1699	60.9673	1.6168	2.5 – 2.75	4.5665
3	20.8272	62.4817	1.5145	2.75 - 3	31.0044
3.25	19.6640	63.9081	1.4264	3 – 3.25	6.6932
3.5	18.6451	65.2577	1.3496	3.25 – 3.5	3.5717
3.75	17.7440	66.5398	1.2821	3.5 – 3.75	2.5753
4	16.9405	67.7619	1.2221	3.75 - 4	2.0596
4.25	16.2189	68.9304	1.1684	4 – 4.25	1.7375
4.5	15.5668	70.0504	1.1201	4.25 – 4.5	1.5145
4.75	14.9740	71.1267	1.0762	4.5 – 4.75	1.3496
5	14.4326	72.1630	1.0363	4.75 - 5	1.2221
5.25	13.9358	73.1627	0.9997	5 – 5.25	1.1201
5.5	13.4780	74.1288	0.9661	5.25 – 5.5	1.0363
5.75	13.0546	75.0639	0.9351	5.5 – 5.75	0.9661
6	12.6617	75.9702	0.9063	5.75 - 6	0.9063

Πίνακας Α.3: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 100$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	141.1918	35.2980	35.2980	0 – 0.25	1.0646
0.5	85.8361	42.9181	7.6201	0.25 – 0.5	1.1382
0.75	64.1559	48.1169	5.1989	0.5 – 0.75	1.2253
1	52.1832	52.1832	4.0663	0.75 - 1	1.3302
1.25	44.4579	55.5724	3.3892	1 – 1.25	1.4596
1.5	39.0029	58.5044	2.9320	1.25 – 1.5	1.6239
1.75	34.9164	61.1037	2.5993	1.5 – 1.75	1.8407
2	31.7242	63.4484	2.3448	1.75 - 2	2.1428
2.25	29.1517	65.5913	2.1428	2 – 2.25	2.5993
2.5	27.0277	67.5693	1.9781	2.25 – 2.5	3.3892
2.75	25.2400	69.4100	1.8407	2.5 – 2.75	5.1989
3	23.7114	71.1342	1.7242	2.75 - 3	35.2980
3.25	22.3871	72.7581	1.6239	3 – 3.25	7.6201
3.5	21.2270	74.2947	1.5365	3.25 – 3.5	4.0663
3.75	20.2011	75.7543	1.4596	3.5 – 3.75	2.9320
4	19.2864	77.1456	1.3913	3.75 - 4	2.3448
4.25	18.4649	78.4759	1.3302	4 – 4.25	1.9781
4.5	17.7225	79.7511	1.2752	4.25 – 4.5	1.7242
4.75	17.0476	80.9763	1.2253	4.5 – 4.75	1.5365
5	16.4312	82.1561	1.1798	4.75 - 5	1.3913
5.25	15.8656	83.2943	1.1382	5 – 5.25	1.2752
5.5	15.3444	84.3942	1.0999	5.25 – 5.5	1.1798
5.75	14.8624	85.4588	1.0646	5.5 – 5.75	1.0999
6	14.4151	86.4906	1.0318	5.75 - 6	1.0318

Πίνακας Α.4: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 500$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	180.8784	45.2196	45.2196	0 – 0.25	1.3638
0.5	109.9632	54.9816	9.7620	0.25 – 0.5	1.4581
0.75	82.1890	61.6418	6.6602	0.5 – 0.75	1.5697
1	66.8510	66.8510	5.2092	0.75 - 1	1.7041
1.25	56.9543	71.1928	4.3419	1 – 1.25	1.8699
1.5	49.9660	74.9489	3.7561	1.25 – 1.5	2.0804
1.75	44.7308	78.2789	3.3299	1.5 – 1.75	2.3581
2	40.6414	81.2827	3.0039	1.75 - 2	2.7451
2.25	37.3457	84.0278	2.7451	2 – 2.25	3.3299
2.5	34.6248	86.5619	2.5341	2.25 – 2.5	4.3419
2.75	32.3346	88.9200	2.3581	2.5 – 2.75	6.6602
3	30.3763	91.1289	2.2088	2.75 - 3	45.2196
3.25	28.6798	93.2092	2.0804	3 – 3.25	9.7620
3.5	27.1936	95.1776	1.9684	3.25 – 3.5	5.2092
3.75	25.8793	97.0475	1.8699	3.5 – 3.75	3.7561
4	24.7075	98.8300	1.7824	3.75 - 4	3.0039
4.25	23.6551	100.5341	1.7041	4 – 4.25	2.5341
4.5	22.7039	102.1677	1.6336	4.25 – 4.5	2.2088
4.75	21.8395	103.7374	1.5697	4.5 – 4.75	1.9684
5	21.0498	105.2488	1.5114	4.75 - 5	1.7824
5.25	20.3251	106.7069	1.4581	5 – 5.25	1.6336
5.5	19.6575	108.1160	1.4091	5.25 – 5.5	1.5114
5.75	19.0400	109.4798	1.3638	5.5 – 5.75	1.4091
6	18.4669	110.8017	1.3219	5.75 - 6	1.3219

Πίνακας Α.5: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 1000$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	197.9403	49.4851	49.4851	0 – 0.25	1.4925
0.5	120.3357	60.1679	10.6828	0.25 – 0.5	1.5956
0.75	89.9417	67.4563	7.2884	0.5 – 0.75	1.7177
1	73.1569	73.1569	5.7006	0.75 - 1	1.8649
1.25	62.3266	77.9083	4.7514	1 – 1.25	2.0463
1.5	54.6791	82.0187	4.1104	1.25 – 1.5	2.2766
1.75	48.9501	85.6627	3.6440	1.5 – 1.75	2.5805
2	44.4750	88.9499	3.2872	1.75 - 2	3.0041
2.25	40.8684	91.9540	3.0041	2 – 2.25	3.6440
2.5	37.8908	94.7271	2.7731	2.25 – 2.5	4.7514
2.75	35.3846	97.3076	2.5805	2.5 – 2.75	7.2884
3	33.2416	99.7248	2.4172	2.75 - 3	49.4851
3.25	31.3851	102.0014	2.2766	3 – 3.25	10.6828
3.5	29.7587	104.1555	2.1541	3.25 – 3.5	5.7006
3.75	28.3205	106.2018	2.0463	3.5 – 3.75	4.1104
4	27.0381	108.1524	1.9506	3.75 - 4	3.2872
4.25	25.8864	110.0172	1.8649	4 – 4.25	2.7731
4.5	24.8455	111.8049	1.7877	4.25 – 4.5	2.4172
4.75	23.8995	113.5227	1.7177	4.5 – 4.75	2.1541
5	23.0353	115.1767	1.6540	4.75 - 5	1.9506
5.25	22.2424	116.7723	1.5956	5 – 5.25	1.7877
5.5	21.5117	118.3143	1.5420	5.25 – 5.5	1.6540
5.75	20.8360	119.8068	1.4925	5.5 – 5.75	1.5420
6	20.2089	121.2533	1.4466	5.75 - 6	1.4466

Πίνακας Α.6: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 10000$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 50% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	254.5886	63.6471	63.6471	0 – 0.25	1.9196
0.5	154.7745	77.3872	13.7401	0.25 – 0.5	2.0523
0.75	115.6820	86.7615	9.3743	0.5 – 0.75	2.2093
1	94.0935	94.0935	7.3320	0.75 - 1	2.3986
1.25	80.1638	100.2048	6.1112	1 – 1.25	2.6319
1.5	70.3277	105.4915	5.2867	1.25 – 1.5	2.9281
1.75	62.9591	110.1784	4.6869	1.5 – 1.75	3.3191
2	57.2032	114.4064	4.2280	1.75 - 2	3.8638
2.25	52.5645	118.2702	3.8638	2 – 2.25	4.6869
2.5	48.7348	121.8369	3.5667	2.25 – 2.5	6.1112
2.75	45.5113	125.1560	3.3191	2.5 – 2.75	9.3743
3	42.7550	128.2650	3.1090	2.75 – 3	63.6471
3.25	40.3671	131.1931	2.9281	3 – 3.25	13.7401
3.5	38.2753	133.9637	2.7706	3.25 – 3.5	7.3320
3.75	36.4255	136.5956	2.6319	3.5 – 3.75	5.2867
4	34.7761	139.1044	2.5088	3.75 - 4	4.2280
4.25	33.2948	141.5030	2.3986	4 – 4.25	3.5667
4.5	31.9561	143.8023	2.2993	4.25 – 4.5	3.1090
4.75	30.7393	146.0116	2.2093	4.5 – 4.75	2.7706
5	29.6278	148.1390	2.1274	4.75 - 5	2.5088
5.25	28.6079	150.1913	2.0523	5 – 5.25	2.2993
5.5	27.6681	152.1746	1.9833	5.25 – 5.5	2.1274
5.75	26.7990	154.0942	1.9196	5.5 – 5.75	1.9833
6	25.9925	155.9547	1.8606	5.75 - 6	1.8606

Πίνακας Α.7: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 25$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	106.7160	26.6790	26.6790	0 – 0.25	0.7799
0.5	64.8769	32.4384	5.7594	0.25 – 0.5	0.8046
0.75	48.4905	36.3678	3.9294	0.5 – 0.75	0.8313
1	39.4412	39.4412	3.0734	0.75 - 1	0.8603
1.25	33.6023	42.0029	2.5616	1 – 1.25	0.8917
1.5	29.4793	44.2189	2.2160	1.25 – 1.5	0.9261
1.75	26.3906	46.1835	1.9646	1.5 – 1.75	0.9638
2	23.9779	47.9558	1.7722	1.75 - 2	1.0054
2.25	22.0335	49.5754	1.6196	2 – 2.25	1.0516
2.5	20.4282	51.0704	1.4951	2.25 – 2.5	1.1032
2.75	19.0770	52.4617	1.3913	2.5 – 2.75	1.1613
3	17.9216	53.7649	1.3032	2.75 - 3	1.2274
3.25	16.9207	54.9922	1.2274	3 – 3.25	1.3913
3.5	16.0439	56.1536	1.1613	3.25 – 3.5	1.6196
3.75	15.2685	57.2568	1.1032	3.5 – 3.75	1.9646
4	14.5771	58.3084	1.0516	3.75 - 4	2.5616
4.25	13.9562	59.3138	1.0054	4 – 4.25	3.9294
4.5	13.3950	60.2776	0.9638	4.25 – 4.5	26.6790
4.75	12.8850	61.2037	0.9261	4.5 – 4.75	5.7594
5	12.4191	62.0955	0.8917	4.75 - 5	3.0734
5.25	11.9916	62.9557	0.8603	5 – 5.25	2.2160
5.5	11.5976	63.7871	0.8313	5.25 – 5.5	1.7722
5.75	11.2333	64.5917	0.8046	5.5 – 5.75	1.4951
6	10.8953	65.3716	0.7799	5.75 - 6	1.3032

Πίνακας Α.8: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	124.0178	31.0044	31.0044	0 – 0.25	0.9063
0.5	75.3953	37.6977	6.6932	0.25 – 0.5	0.9351
0.75	56.3522	42.2642	4.5665	0.5 – 0.75	0.9661
1	45.8358	45.8358	3.5717	0.75 - 1	0.9997
1.25	39.0502	48.8128	2.9770	1 – 1.25	1.0363
1.5	34.2587	51.3881	2.5753	1.25 – 1.5	1.0762
1.75	30.6693	53.6712	2.2831	1.5 – 1.75	1.1201
2	27.8654	55.7308	2.0596	1.75 - 2	1.1684
2.25	25.6058	57.6130	1.8822	2 – 2.25	1.2221
2.5	23.7402	59.3504	1.7375	2.25 – 2.5	1.2821
2.75	22.1699	60.9673	1.6168	2.5 – 2.75	1.3496
3	20.8272	62.4817	1.5145	2.75 - 3	1.4264
3.25	19.6640	63.9081	1.4264	3 – 3.25	1.6168
3.5	18.6451	65.2577	1.3496	3.25 – 3.5	1.8822
3.75	17.7440	66.5398	1.2821	3.5 – 3.75	2.2831
4	16.9405	67.7619	1.2221	3.75 - 4	2.9770
4.25	16.2189	68.9304	1.1684	4 – 4.25	4.5665
4.5	15.5668	70.0504	1.1201	4.25 – 4.5	31.0044
4.75	14.9740	71.1267	1.0762	4.5 – 4.75	6.6932
5	14.4326	72.1630	1.0363	4.75 - 5	3.5717
5.25	13.9358	73.1627	0.9997	5 – 5.25	2.5753
5.5	13.4780	74.1288	0.9661	5.25 – 5.5	2.0596
5.75	13.0546	75.0639	0.9351	5.5 – 5.75	1.7375
6	12.6617	75.9702	0.9063	5.75 - 6	1.5145

Πίνακας Α.9: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 500$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	180.8784	45.2196	45.2196	0 – 0.25	1.3219
0.5	109.9632	54.9816	9.7620	0.25 – 0.5	1.3638
0.75	82.1890	61.6418	6.6602	0.5 – 0.75	1.4091
1	66.8510	66.8510	5.2092	0.75 - 1	1.4581
1.25	56.9543	71.1928	4.3419	1 – 1.25	1.5114
1.5	49.9660	74.9489	3.7561	1.25 – 1.5	1.5697
1.75	44.7308	78.2789	3.3299	1.5 – 1.75	1.6336
2	40.6414	81.2827	3.0039	1.75 - 2	1.7041
2.25	37.3457	84.0278	2.7451	2 – 2.25	1.7824
2.5	34.6248	86.5619	2.5341	2.25 – 2.5	1.8699
2.75	32.3346	88.9200	2.3581	2.5 – 2.75	1.9684
3	30.3763	91.1289	2.2088	2.75 - 3	2.0804
3.25	28.6798	93.2092	2.0804	3 – 3.25	2.3581
3.5	27.1936	95.1776	1.9684	3.25 – 3.5	2.7451
3.75	25.8793	97.0475	1.8699	3.5 – 3.75	3.3299
4	24.7075	98.8300	1.7824	3.75 - 4	4.3419
4.25	23.6551	100.5341	1.7041	4 – 4.25	6.6602
4.5	22.7039	102.1677	1.6336	4.25 – 4.5	45.2196
4.75	21.8395	103.7374	1.5697	4.5 – 4.75	9.7620
5	21.0498	105.2488	1.5114	4.75 - 5	5.2092
5.25	20.3251	106.7069	1.4581	5 – 5.25	3.7561
5.5	19.6575	108.1160	1.4091	5.25 – 5.5	3.0039
5.75	19.0400	109.4798	1.3638	5.5 – 5.75	2.5341
6	18.4669	110.8017	1.3219	5.75 - 6	2.2088

Πίνακας Α.10: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 1000$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	197.9403	49.4851	49.4851	0 – 0.25	1.4466
0.5	120.3357	60.1679	10.6828	0.25 – 0.5	1.4925
0.75	89.9417	67.4563	7.2884	0.5 – 0.75	1.5420
1	73.1569	73.1569	5.7006	0.75 - 1	1.5956
1.25	62.3266	77.9083	4.7514	1 – 1.25	1.6540
1.5	54.6791	82.0187	4.1104	1.25 – 1.5	1.7177
1.75	48.9501	85.6627	3.6440	1.5 – 1.75	1.7877
2	44.4750	88.9499	3.2872	1.75 - 2	1.8649
2.25	40.8684	91.9540	3.0041	2 – 2.25	1.9506
2.5	37.8908	94.7271	2.7731	2.25 – 2.5	2.0463
2.75	35.3846	97.3076	2.5805	2.5 – 2.75	2.1541
3	33.2416	99.7248	2.4172	2.75 - 3	2.2766
3.25	31.3851	102.0014	2.2766	3 – 3.25	2.5805
3.5	29.7587	104.1555	2.1541	3.25 – 3.5	3.0041
3.75	28.3205	106.2018	2.0463	3.5 – 3.75	3.6440
4	27.0381	108.1524	1.9506	3.75 - 4	4.7514
4.25	25.8864	110.0172	1.8649	4 – 4.25	7.2884
4.5	24.8455	111.8049	1.7877	4.25 – 4.5	49.4851
4.75	23.8995	113.5227	1.7177	4.5 – 4.75	10.6828
5	23.0353	115.1767	1.6540	4.75 - 5	5.7006
5.25	22.2424	116.7723	1.5956	5 – 5.25	4.1104
5.5	21.5117	118.3143	1.5420	5.25 – 5.5	3.2872
5.75	20.8360	119.8068	1.4925	5.5 – 5.75	2.7731
6	20.2089	121.2533	1.4466	5.75 - 6	2.4172

Πίνακας Α.11: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 10000$ έτη και διάρκεια 6 h, στην περίπτωση τοποθέτησης της αιχμής του υετογράμματος στο 75% της διάρκειας της βροχόπτωσης.

Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Βροχόπτωση ανά διαστήματα (mm)	Χρόνος (h)	Βροχόπτωση (mm)
0					
0.25	254.5886	63.6471	63.6471	0 – 0.25	1.8606
0.5	154.7745	77.3872	13.7401	0.25 – 0.5	1.9196
0.75	115.6820	86.7615	9.3743	0.5 – 0.75	1.9833
1	94.0935	94.0935	7.3320	0.75 - 1	2.0523
1.25	80.1638	100.2048	6.1112	1 – 1.25	2.1274
1.5	70.3277	105.4915	5.2867	1.25 – 1.5	2.2093
1.75	62.9591	110.1784	4.6869	1.5 – 1.75	2.2993
2	57.2032	114.4064	4.2280	1.75 - 2	2.3986
2.25	52.5645	118.2702	3.8638	2 – 2.25	2.5088
2.5	48.7348	121.8369	3.5667	2.25 – 2.5	2.6319
2.75	45.5113	125.1560	3.3191	2.5 – 2.75	2.7706
3	42.7550	128.2650	3.1090	2.75 - 3	2.9281
3.25	40.3671	131.1931	2.9281	3 – 3.25	3.3191
3.5	38.2753	133.9637	2.7706	3.25 – 3.5	3.8638
3.75	36.4255	136.5956	2.6319	3.5 – 3.75	4.6869
4	34.7761	139.1044	2.5088	3.75 - 4	6.1112
4.25	33.2948	141.5030	2.3986	4 – 4.25	9.3743
4.5	31.9561	143.8023	2.2993	4.25 – 4.5	63.6471
4.75	30.7393	146.0116	2.2093	4.5 – 4.75	13.7401
5	29.6278	148.1390	2.1274	4.75 - 5	7.3320
5.25	28.6079	150.1913	2.0523	5 – 5.25	5.2867
5.5	27.6681	152.1746	1.9833	5.25 – 5.5	4.2280
5.75	26.7990	154.0942	1.9196	5.5 – 5.75	3.5667
6	25.9925	155.9547	1.8606	5.75 - 6	3.1090

Παράρτημα Β: Ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην χρονική κατανομή των τμηματικών υψών βροχόπτωσης

Πίνακας Β.1: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R3 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	10.3	15.4	21.2	27.2
50	14.6	21.8	29.7	37
100	19.6	29.2	38.7	47.1
500	33.9	48.3	60.9	71.4
1000	40.9	57.1	71	82
10000	66	88.2	105.3	117.2

Πίνακας Β.2: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R3 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	13.4	18.8	25.2	31.1
50	17.7	26	33.8	40.7
100	23.7	33.8	42.8	50.5
500	39	53.4	65.1	74.3
1000	46.2	62.3	75	84.7
10000	71.7	93.3	109	120

Πίνακας Β.3: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R3 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	23.1	18.1	15.9	12.5
50	17.5	16.2	12.1	9.1
100	17.3	13.6	9.6	6.7
500	13.1	9.6	6.5	3.9
1000	11.5	8.3	5.3	3.2
10000	7.9	5.5	3.4	2.3

Πίνακας Β.4: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R3 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	4.9	13.6	19.3	18.4
50	4.8	12.4	17.8	16.5
100	4.6	11.3	16.3	14.9
500	3.2	10.1	13.8	12.2
1000	3.2	9.8	13.1	11.0
10000	3.0	9.1	10.9	8.2

Πίνακας Β.5: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R3 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	4.5	12.8	17.9	16.1
50	4.0	12.3	16.3	14.3
100	4.2	12.1	14.7	12.7
500	3.8	11.0	12.7	10.2
1000	3.9	10.6	11.9	9.3
10000	3.6	9.4	10.0	7.4

Πίνακας Β.6: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R3 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	-1.3	-4.5	-9.6	-19.2
50	-4.1	-0.5	-13.6	-26.1
100	-1.9	6.0	-17.3	-34.7
500	4.2	9.6	-17.3	-53.6
1000	5.8	9.7	-24.8	-55.2
10000	7.2	6.9	-29.1	-35.0

Πίνακας Β.7: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R4 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	7.5	14.9	22.7	29.6
50	13.3	22.5	32.1	40.4
100	19.5	30.8	42	51.6
500	35.6	51.7	66.6	78.5
1000	43.2	61.3	77.8	90.3
10000	70.2	95	115.9	129.9

Πίνακας Β.8: Παροχή αιχμής σε m^3/s στη θέση R4 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	13.5	20.9	28.3	35.3
50	19.5	29.1	38.4	46.5
100	26.3	38.1	48.9	58.1
500	43.9	60.7	75	86.1
1000	52.2	71.1	86.7	98.5
10000	81.8	107.4	126.9	140.4

Πίνακας Β.9: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R4 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	44.4	28.7	19.8	16.1
50	31.8	22.7	16.4	13.1
100	25.9	19.2	14.1	11.2
500	18.9	14.8	11.2	8.8
1000	17.2	13.8	10.3	8.3
10000	14.2	11.5	8.7	7.5

Πίνακας Β.10: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R4 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	1.3	10.7	20.3	19.3
50	2.3	10.2	18.4	17.1
100	2.6	10.1	16.7	15.3
500	2.8	9.3	14.1	12.5
1000	2.8	9.0	13.5	11.3
10000	2.6	8.1	11.3	8.7

Πίνακας Β.11: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R4 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	4.4	12.9	18.0	16.4
50	3.6	12.0	16.7	14.6
100	3.8	11.8	15.1	13.1
500	3.6	10.5	12.9	10.6
1000	3.6	10.1	12.2	9.7
10000	3.4	9.0	10.3	7.8

Πίνακας Β.12: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R4 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	4.1	6.2	-11.1	-17.6
50	3.0	7.0	-10.5	-19.0
100	3.7	8.4	-11.0	-20.4
500	3.7	8.1	-10.8	-22.1
1000	4.3	8.0	-12.6	-18.9
10000	5.4	7.8	-11.5	-11.6

Πίνακας Β.13: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R5 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	7.4	17	28	37.4
50	14.7	27	40	51.2
100	22.8	37.3	52.7	65.5
500	43	63.4	84	99.9
1000	52.4	75.4	98.1	115.1
10000	85.9	117.6	147	166.5

Πίνακας Β.14: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R5 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	17.1	27.4	38.5	48.8
50	25.4	38.8	52.7	64.9
100	34.6	51.2	67.8	81.8
500	58.9	83.1	105.5	122.8
1000	70.4	97.8	122.6	141
10000	111.9	149.8	181.4	202.9

Πίνακας Β.15: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R5 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	56.7	38.0	27.3	23.4
50	42.1	30.4	24.1	21.1
100	34.1	27.1	22.3	19.9
500	27.0	23.7	20.4	18.6
1000	25.6	22.9	20.0	18.4
10000	23.2	21.5	19.0	17.9

Πίνακας Β.16: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R5 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	1.4	7.6	18.9	19.8
50	2.0	7.8	17.3	17.4
100	1.8	7.8	15.9	15.6
500	2.1	7.3	13.7	12.6
1000	2.1	7.2	12.9	11.6
10000	2.1	6.5	11.2	9.1

Πίνακας Β.17: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R5 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	3.5	11.3	18.4	17.6
50	3.5	10.8	16.9	15.4
100	3.5	10.4	15.6	14.1
500	3.1	9.4	13.5	11.5
1000	3.0	9.0	12.8	10.6
10000	2.8	8.1	10.9	8.6

Πίνακας Β.18: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R5 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	1.7	6.8	-1.6	-8.6
50	2.1	7.8	-1.4	-8.7
100	3.4	7.7	-1.3	-7.1
500	2.7	7.6	-1.0	-5.6
1000	2.7	6.8	-0.6	-5.0
10000	2.3	6.3	-1.4	-2.8

Πίνακας Β.19: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R8 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	1.2	3	5.2	7.1
50	2.5	5.1	7.6	9.9
100	4.2	7.2	10.3	12.9
500	8.5	12.8	16.6	19.8
1000	10.6	15.3	19.6	22.9
10000	17.8	24.3	29.3	32.8

Πίνακας Β.20: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R8 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	3.4	5.2	7	8.6
50	4.9	7.2	9.4	11.3
100	6.5	9.4	11.9	14.1
500	10.8	14.9	18.1	20.7
1000	12.8	17.4	20.9	23.6
10000	20	26	30.4	33.5

Πίνακας Β.21: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R8 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	64.7	42.3	25.7	17.4
50	49.0	29.2	19.1	12.4
100	35.4	23.4	13.4	8.5
500	21.3	14.1	8.3	4.3
1000	17.2	12.1	6.2	3.0
10000	11.0	6.5	3.6	2.1

Πίνακας Β.22: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R8 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	0.0	6.7	21.2	22.5
50	0.0	9.8	19.7	19.2
100	2.4	9.7	18.4	17.1
500	2.4	10.2	15.1	13.1
1000	2.8	10.5	14.8	11.8
10000	3.4	9.9	11.6	8.5

Πίνακας Β.23: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R8 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	5.9	13.5	18.6	16.3
50	4.1	12.5	17.0	14.2
100	3.1	12.8	15.1	12.8
500	3.7	11.4	12.7	10.1
1000	3.1	10.9	12.0	9.3
10000	3.5	9.2	9.9	7.5

Πίνακας Β.24: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R8 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	3.4	10.7	-9.2	-35.4
50	4.4	7.5	-13.8	-41.5
100	1.3	11.4	-25.2	-52.8
500	5.2	8.6	-29.8	-73.1
1000	1.5	3.8	-48.5	-89.1
10000	1.1	-10.2	-51.3	-54.4

Πίνακας Β.25: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R9 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	2.1	5.1	8.9	12.3
50	4.3	8.5	13.1	17.3
100	7	12.1	17.8	22.6
500	14.2	21.7	29.2	35.3
1000	17.6	26.2	34.5	40.9
10000	30	41.9	52.5	59.5

Πίνακας Β.26: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R9 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	5	8.1	11.4	14.5
50	7.4	11.5	15.7	19.4
100	10.2	15.2	20.2	24.5
500	17.5	24.8	31.6	36.8
1000	21	29.3	36.7	42.3
10000	33.5	45	54.5	61

Πίνακας Β.27: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R9 λόγω μη θεώρησης των κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	58.0	37.0	21.9	15.2
50	41.9	26.1	16.6	10.8
100	31.4	20.4	11.9	7.8
500	18.9	12.5	7.6	4.1
1000	16.2	10.6	6.0	3.3
10000	10.4	6.9	3.7	2.5

Πίνακας Β.28: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R9 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	0.0	7.8	21.3	22.0
50	2.3	8.2	19.1	19.7
100	1.4	8.3	18.0	17.7
500	2.8	8.8	15.4	13.9
1000	2.3	8.8	14.8	12.7
10000	2.3	7.9	12.2	9.4

Πίνακας Β.29: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R9 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	4.0	12.3	19.3	17.9
50	2.7	11.3	17.2	16.0
100	2.9	10.5	15.8	14.3
500	2.9	9.7	13.9	11.7
1000	3.3	9.6	12.8	10.6
10000	3.0	8.4	11.0	8.7

Πίνακας Β.30: Ποσοστιαία μεταβολή της ποσοστιαίας αύξησης της παροχής αιχμής στη θέση R9 λόγω μη θεώρησης κοιλοτήτων, εξαιτίας της τοποθέτησης της αιχμής του νετογράμματος στο 75% και όχι στο 50%.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	3.0	8.7	-9.0	-27.4
50	0.5	9.8	-11.5	-36.0
100	3.4	9.9	-18.8	-47.4
500	0.2	7.1	-21.0	-58.5
1000	5.7	7.3	-35.5	-67.9
10000	5.8	8.4	-34.8	-31.4

Πίνακας Β.31: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R6 για την περίπτωση με θεώρηση κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	0.4	3.7	10.9	22.7
50	2.5	9	21.7	35
100	6.2	17.1	32.7	47.6
500	21.3	38.7	59.2	78.2
1000	28.9	48.4	71.1	91.8
10000	55.5	82.1	112.2	137.9

Πίνακας Β.32: Παροχή αιχμής σε m³/s στη θέση R6 για την περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	19.2	31	44.6	57.1
50	28.5	44	61.1	76
100	38.9	58.1	78.6	95.8
500	66.5	94.4	122.4	143.7
1000	79.5	111.2	142.2	165
10000	126.5	170.5	210.4	237.2

Πίνακας Β.33: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R6 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του υετογράμματος από 50% σε 75%, στην περίπτωση θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ			
	6	12	24	48
25	0.0	2.7	6.4	24.2
50	0.0	2.2	10.1	20.9
100	0.0	1.8	10.4	18.5
500	0.5	2.6	9.8	15.2
1000	0.7	2.7	9.6	14.3
10000	0.7	2.9	8.7	11.9

Πίνακας Β.34: Ποσοστιαία αύξηση της παροχής αιχμής (%) στη θέση R6 λόγω της αλλαγής της χρονικής στιγμής της αιχμής του νετογράμματος από 50% σε 75%,στην περίπτωση μη θεώρησης κοιλοτήτων, για διάφορες τιμές της διάρκειας γεγονότος βροχόπτωσης και διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)	
	6	12	24	48
25	2.6	9.0	17.0	17.3
50	2.8	8.9	15.7	15.4
100	2.8	8.4	14.5	14.0
500	2.7	7.5	12.7	11.5
1000	2.5	7.3	12.0	10.7
10000	2.3	6.5	10.1	8.5