



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ
ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

HEC-HMS, HEC-RAS ΚΑΙ ΓΣΠ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΧΕΙΜΑΡΡΟ ΞΗΡΙΑ , Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

Αναστάσιος Γ. Μούκος – Ιωάννης Γ. Παρασκευάς

Βόλος, Ιούλιος 2013

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Καθ. Αθανάσιος Λουκάς

Αναπλ. Καθ. Ευαγγελία Φαρσιρώτου

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κα. Φαρσιρώτου Ευαγγελία καθώς και τον κ. Λουκά Αθανάσιο, τους επιβλέποντες καθηγητές, για την ανάθεση του θέματος και την καθοδήγηση τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης του με καίριες επισημάνσεις.

Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον κ. Παπαϊωάννου Γεώργιο, υποψήφιο διδάκτορα, για τα δεδομένα που μας παραχώρησε και περισσότερο για τον ουκ ολίγο χρόνο που μας αφιέρωσε, όπως επίσης και τον κ. Βασιλειάδη Λάμπρο για την βοήθεια του στην άμεση επίλυση οποιονδήποτε αποριών.

Τέλος, ευχαριστούμε τον κ. Μπάρκα Δ., Τοπογράφο Μηχανικό, για την παραχώρηση των τοπογραφικών σημείων αποτύπωσης του χείμαρρου Ξηριά, που χωρίς αυτά το όλο εγχείρημα δεν θα ήταν εφικτό.

*Α. Μούκος – Ι. Παρασκευάς
Βόλος, Ιούλιος 2013*

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	iii
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Υδρολογικός Κύκλος	1
1.2 Πλημμύρα	2
1.2.1 Πλημμύρες στην Ελλάδα	3
1.2.2 Έργα, δράσεις και μέτρα πρόληψης και ετοιμότητας για την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων	4
1.3 Υδρολογικά Μοντέλα	5
1.4 Το Υδρολογικό Μοντέλο HEC-HMS	7
1.5 Το Υδραυλικό Μοντέλο HEC-RAS	9
1.6 Σκοπός και Διάρθρωση Εργασίας	9
Κεφάλαιο 2 Η Περιοχή Μελέτης	11
2.1 Ο Ποταμός Ξηρίας	11
2.2 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης	14
Κεφάλαιο 3 Υδρολογική Προσομοίωση	17
3.1 Γεωμορφολογικά και Υδρολογικά στοιχεία λεκάνης απορροής	18
3.1.1 Προεπεξεργασία του μοντέλου εδάφους μέσω του πακέτου εντολών Terrain Pre-Processing	19
3.1.2 Επεξεργασία λεκάνης και δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS	22
3.1.3 Επιλογή προτύπων υπολογισμού υδρολογικών παραμέτρων και δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS	25
3.2 Υδρολογική Απόκριση Λεκάνης	26
3.2.1 Μοντέλο Λεκάνης Απορροής (Basin Model Component)	28
3.2.1.1 Πρότυπο υπολογισμού απωλειών βροχής	29
3.2.1.2 Πρότυπο υπολογισμού βασικής ροής	33
3.2.1.3 Πρότυπο υπολογισμού άμεσης απορροής	34
3.2.1.4 Πρότυπο διόδευσης πλημμύρας	43
3.2.2 Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorologic Model Component)	46
3.2.3 Αρχείο Προσομοιώσεων (Control Specifications Component)	50
3.2.4 Αποτελέσματα	50
Κεφάλαιο 4 Υδραυλική προσομοίωση	52
4.1 Δημιουργία Αρχείου Γεωμετρικών Δεδομένων	53

4.1.1 Δημιουργία μοντέλου εδάφους (TIN) _____	53
4.1.2 Δημιουργία θεματικών επιπέδων (RAS Layers) _____	53
4.1.2.1 Κύρια γραμμή ροής ποταμού (Stream centerline) _____	54
4.1.2.2 Όχθες Ποταμού (Bank Lines) _____	54
4.1.2.3 Διατομές (Cross-sectional cut lines) _____	55
4.1.2.4 Γέφυρες (Bridges) _____	56
4.1.2.5 Χρήσεις γης (Land uses) _____	57
4.1.3 Σύνθεση θεματικών επιπέδων και εξαγωγή στο HEC-RAS _____	59
4.2 Υδραυλική Προσομοίωση Υδατορρέυματος _____	59
4.2.1 Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων _____	60
4.2.2 Μόνιμη Ροή _____	63
4.2.2.1 Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων _____	63
4.2.2.2 Ρύθμιση παραμέτρων και εκτέλεση υδραυλικών υπολογισμών _	65
4.2.2.3 Παράμετροι επίλυσης της εξίσωσης ενέργειας _____	66
4.2.2.4 Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε GIS _____	70
4.2.3 Μη Μόνιμη Ροή _____	72
4.2.3.1 Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων _____	72
4.2.3.2 Βασικές σχέσεις υπολογισμού για συνθήκες μη μόνιμης ροής _	77
 Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης _____	 81
5.1 Αποτελέσματα Υδρολογικής Προσομοίωσης _____	81
5.1.1 Αποτελέσματα με χρήση ΜΥΓ Clark _____	82
5.1.1.1 Περίοδο επαναφοράς T=50 _____	83
5.1.1.2 Περίοδο επαναφοράς T=100 _____	86
5.1.2 Αποτελέσματα με χρήση ΜΥΓ Snyder _____	89
5.1.2.1 Περίοδος επαναφοράς T=50 _____	89
5.1.2.2 Περίοδος επαναφοράς T=100 _____	92
5.1.3 Αποτελέσματα με χρήση ΜΥΓ SCS _____	95
5.1.3.1 Περίοδος επαναφοράς T=50 _____	95
5.1.3.2 Περίοδος επαναφοράς T=100 _____	98
5.2 Αποτελέσματα Υδραυλικής Προσομοίωσης _____	101
5.2.1 Συνθήκες Μόνιμης ροής _____	101
5.2.2 Συνθήκες Μη Μόνιμης ροής _____	121
 Κεφάλαιο 6 Μέτρα Αντιπλημμυρικής Προστασίας _____	 134
6.1 Σκοπός εφαρμογής αντιπλημμυρικών έργων _____	134
6.2 Τροποποίηση υδατορρέυματος σε περιβάλλον HEC-RAS _____	135
6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων _____	137
6.4 Φωτογραφικό υλικό υφιστάμενης κατάστασης _____	143

Κεφάλαιο 7	Συμπεράσματα	148
7.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων Υδρολογικής Προσομοίωσης	148
7.2	Σύγκριση αποτελεσμάτων Υδραυλικής Προσομοίωσης	150
7.2.1	Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής για περιόδους επαναφοράς T=50 και T=100 έτη	150
7.2.2	Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη	151
7.3	Σχολιασμός υπολογιστικών λογισμικών	153
7.3.1	HEC – HMS	153
7.3.2	HEC – RAS	154
7.3.3	Λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcMap)	155
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	157
	Παραρτήματα	161

Περίληψη

Η παρούσα προπτυχιακή εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης, μέσω της αξιοποίησης των υπολογιστικών δυνατοτήτων λογισμικών επεξεργασίας και οπτικοποίησης της υδρολογικής, υδραυλικής και γεωγραφικής πληροφορίας.

Πιο συγκεκριμένα, η κατάρτιση της προτεινόμενης μεθοδολογίας βασίστηκε στη χρήση του υδρολογικού προγράμματος "HEC-HMS" για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής και στη χρήση του υδραυλικού προγράμματος προσομοίωσης της ροής σε ανοικτούς αγωγούς "HEC-RAS".

Τα δύο αυτά λογισμικά συνεργάζονται με το ευρέως διαδεδομένο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών "ArcGIS" για την ενδιάμεση επεξεργασία των δεδομένων και την οπτικοποίηση των τελικών αποτελεσμάτων υπό μορφή χαρτών.

Συνοπτικά, η μεθοδολογία δομήθηκε ως εξής:

- Συλλογή και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων (Ψηφιακό μοντέλο εδάφους, χάρτες χρήσεων γης και τύπων εδάφους, υδρολογική πληροφορία κ.λ.π.).
- Υδρολογική προσομοίωση λεκάνης απορροής για την εκτίμηση πλημμυρών σχεδιασμού, για δυο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς.
- Υδραυλική προσομοίωση της ροής κατά μήκος του ποταμού και μελέτη εφαρμογής αντιπλημμυρικών έργων.
- Σύνθεση χαρτών πλημμύρας.

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε τμήμα μήκους 4,5 km από τις εκβολές του χείμαρρου Ξηριά, στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Βόλου του Νομού Μαγνησίας, καθώς και η υδρολογική λεκάνη που αντιστοιχεί στο υπό μελέτη υδατόρρευμα. Για την περιοχή αυτή αποκτήθηκαν ως πρωτογενή δεδομένα το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, οι χρήσεις γης και οι τύποι εδάφους, ενώ ελλείπει βροχομετρικών δεδομένων, έγινε προσεγγιστική εκτίμηση του υδρολογικού καθεστώτος με χρήση των όμβριων καμπυλών Σωτηρίου - Ν. Αγχιάλου. Εξάλλου, ο εξαρχής στόχος της εργασίας δεν ήταν τόσο η ακριβής υδρολογική μελέτη της περιοχής, όσο η διερεύνηση των πλημμυρικών περιοχών για διάφορα πλημμυρικά επεισόδια και η τυποποίηση της μεθοδολογίας παραγωγής πλημμυρικών χαρτών.

Η εκτέλεση της υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης έδωσε τα υδρογραφήματα σχεδιασμού για 2 περιόδους επαναφοράς (50 και 100 έτη) καθώς και για τρεις μεθόδους υπολογισμού της άμεσης απορροής (Clark, SCS και Snyder). Επιλέγοντας το δυσμενέστερο υδρογράφημα

ακολούθησε η υδραυλική προσομοίωση της ροής του υδατορρεύματος, υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής.

Αποτέλεσμα των αριθμητικών προσομοιώσεων ήταν ο υπολογισμός των πλημμυρικών περιοχών για το δυσμενέστερο υδρογράφημα και για κάθε περίοδο επαναφοράς και εν συνεχεία η σύγκριση υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής.

Τέλος, έγινε εφαρμογή, μέσω του υδραυλικού προγράμματος "HEC-RAS", των υπό κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων και μελέτη τις επιρροής τους στη ροή του υδατορρεύματος και στον περιορισμό των πλημμυρικών εκτάσεων.

Abstract

The scope of the undergraduate thesis, entitled as “Hydrologic and hydraulic simulation and composing flood maps with the use of HEC-RAS, HEC-HMS and GIS”. The current project is applied in Xirias River in Magnisia and it is the development of an integrated methodology, which combines the fields of hydrology, hydraulics, geomatics and cartography for the creation of several return-period flood maps. The study was accomplished through the use of two softwares, developed by the Hydrologic Engineering Center of the U.S. Army Corps of Engineers. Specifically, the methodology takes advantage of the software “HEC-HMS”, which simulates the hydrologic processes of river basins and determines the design flood hydrographs in several return periods and the hydraulic software “HEC-RAS”, which simulates open channel flows (river systems). Both packages are compatible with the well-known geographical information system ArcGIS, which can be used for further data processing and visualization for cartographical purposes.

Methodology outline:

- Assembling raw data for setting up the simulation (Digital Elevation Model, Land use maps, Geology maps, Hydrologic data etc.).
- Hydrologic simulation of the case study basin in order to estimate the design flood hydrographs for two different return-periods (50 and 100 years) and three methods for estimating direct runoff (Clark, SCS and Snyder).
- Hydraulic simulation of river channel flow and application of flood protection for a specified part of Xirias river.
- Composing Inundation maps.

The last 4.5 km from Xirias river outfall and the hydrologic basin that shed in this part of river was chosen as the case study of this thesis. For the above area, raw data, such as DEM, Land use and Geology maps were collected. As for the hydrologic inputs, the lack of rainfall data resulted in using rainfall intensity curves in order to estimate the design flood hydrograph. It has to be noticed that our main target is not so much the elaboration of a precise hydrologic study, but the determination of the basin response to several flood episodes and the creation of a complete methodology for creating flood maps.

The design flood hydrographs were computed through the simulation of the basin’s hydrologic model for two return-periods (50 and 100 years) and three methods for estimating direct runoff (Clark, SCS and Snyder). The worst case scenario (the hydrograph with the greater peak flow) was chosen as input for the hydraulic numerical simulation. In “HEC-RAS”

numerical simulation there were created two simulation runs for steady and unsteady flow analysis.

The results of hydrologic and hydraulic numerical simulation provide all the necessary data for the creation of floodplain maps, which is implemented through the use of "HEC-GeoRAS". The extend of the inundated areas is compared for each return period under steady and unsteady flow conditions.

Finally, the ongoing flood protection works were applied in the hydraulic model and the simulation was repeated in order to study how they contribute in flow conditions and in the reduction of flood areas.

1.1 Υδρολογικός Κύκλος

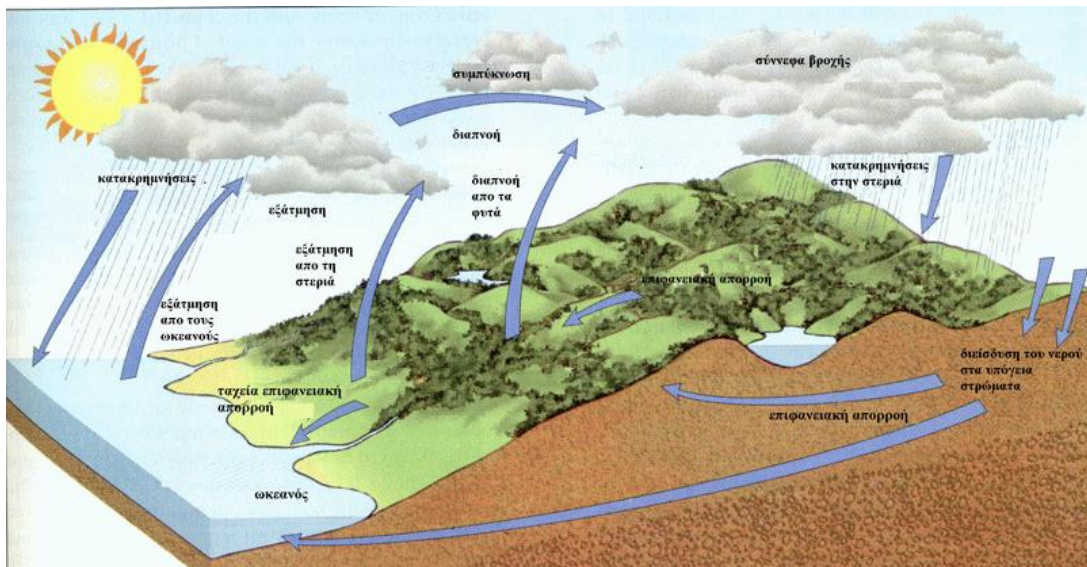
Σαν κύκλος που είναι, ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει αρχή, αλλά είναι βολικό να ξεκινήσει κανείς απ' τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς), το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και η διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες. Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την απορροή από λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς.

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορρεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του

νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπάνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" ... και "ξεκινάει" (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Σχηματική απεικόνιση των διεργασιών του υδρολογικού κύκλου.

1.2 Πλημμύρα

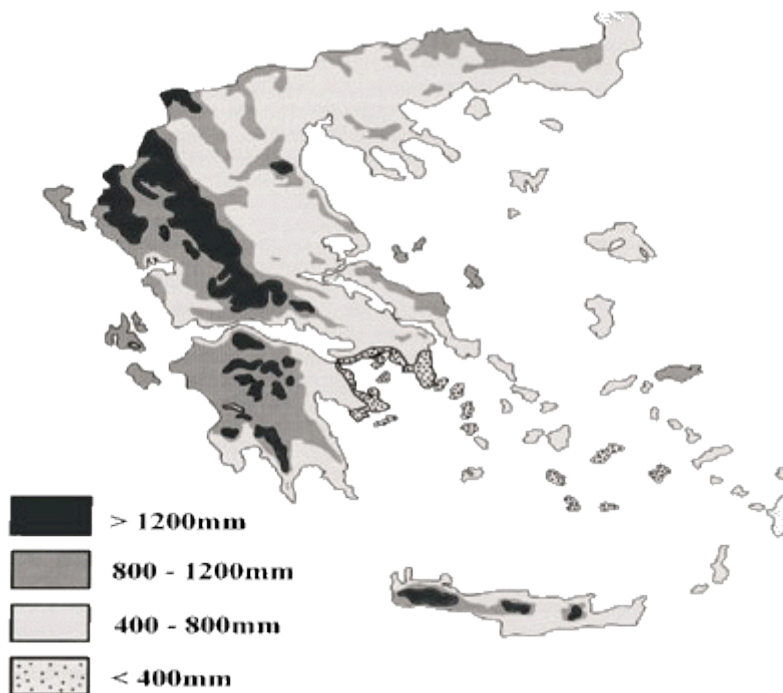
Μία **πλημμύρα** είναι η υπερχειλίση του επιπλέον νερού που καλύπτει τη ξηρά. Η οδηγία της Ε.Ε. για τις πλημμύρες ορίζει μια πλημμύρα ως προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Κατά η έννοια του «ρέοντος νερού», μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στην εισροή της παλίρροιας. Οι πλημμύρες μπορεί να προκύψουν από τον όγκο νερού μέσα σε ένα σώμα του ύδατος, όπως ένα ποτάμι ή λίμνη, η οποία υπερχειλίζει ή σπάει τα αναχώματα, με αποτέλεσμα το νερό να διαφύγει από τα συνήθη όριά του, ενώ το μέγεθος της λίμνης ή άλλου φορέα του νερού που ποικίλλει ανάλογα με τις εποχιακές αλλαγές στις βροχοπτώσεις και στα χιόνια που λιώνουν, δεν είναι μια σημαντική πλημμύρα εκτός αν τέτοιες διαρροές νερού θέσουν σε κίνδυνο τις εκτάσεις που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο σαν ένα χωριό, πόλη ή άλλη κατοικημένη περιοχή.

Οι πλημμύρες μπορεί επίσης να εμφανιστούν στα ποτάμια, όταν ροή υπερβαίνει την χωρητικότητα του καναλιού του ποταμού, ιδίως σε στροφές ή μαιάνδρους. Οι πλημμύρες συχνά προκαλούν ζημιές σε σπίτια και επιχειρήσεις, εφόσον έχουν τοποθετηθεί σε φυσικές περιοχές κατάκλισης

των ποταμών. Ενώ οι ζημιές από τις πλημμύρες μπορεί να έχουν σχεδόν εξαλειφθεί με την απομάκρυνση του ανθρώπου από τους ποταμούς και άλλους φορείς του νερού, δεδομένου ότι ανέκαθεν, οι άνθρωποι έχουν ζήσει και εργαστεί κοντά το νερό για να αναζητήσουν τροφή και να αξιοποιήσει τα οφέλη της φθηνής και εύκολης μετακίνησης και το εμπόριο με το να είναι κοντά νερό. Ότι οι άνθρωποι συνεχίζουν να κατοικήσουν περιοχές που απειλούνται με ζημιές από πλημμύρες είναι απόδειξη ότι η αξία του να ζουν κοντά στο νερό υπερβαίνει το κόστος των επαναλαμβανόμενων περιοδικών πλημμύρων.

1.2.1 Πλημμύρες στην Ελλάδα

Η εκδήλωση πλημμυρικών απωλειών στην Ελλάδα είναι κυρίως απόρροια της έντονης γεωγραφικής μεταβλητότητας των κλιματικών στοιχείων λόγω της συνύπαρξης ανεπτυγμένης ακτογραμμής και ορογραφίας. Σε αυτή την κατεύθυνση η οροσειρά της Πίνδου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και αποτελεί ένα «υδρολογικό σύνορο», μιας και η μέση ετήσια βροχή στην Ελλάδα είναι της τάξης των 1800 mm ενώ στα ανατολικά το αντίστοιχο μέγεθος είναι περίπου 400 mm όπως παρατίθενται και στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα (Κουσούρης Θ., 1998:Μονογραφίες Θαλάσσιων Επιστημών).

Ωστόσο, η παρατήρηση σχετικά με την ανομοιομορφία των βροχοπτώσεων δεν συμβαδίζει και με την αντίστοιχη εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων στο ανατολικό και δυτικό μέρος της χώρας. Συνεπώς, παρότι οι βροχοπτώσεις στα δυτικά είναι κατά περίπου τρεις φορές μεγαλύτερες απ’

ότι στα ανατολικά, οι πλημμυρικές απορροές στα ανατολικά είναι κατά πολύ συχνότερες (Γκικόκας 2009). Συγκεκριμένα, συναντώνται μεγαλύτερα ύψη βροχής στα ανατολικά (π.χ. Αττική) απ' ότι στα δυτικά, γεγονός που εξηγεί την συχνότητα των πλημμυρικών απορροών στα μέρη αυτά. Εξάλλου, η πλημμύρα, ως επί τω πλείστο προκαλείται από μεγάλα ύψη βροχής σε μικρό χρόνο.

1.2.2 Έργα, δράσεις και μέτρα πρόληψης και ετοιμότητας για την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων

Με δεδομένη την εμφάνιση του καταστροφικού φαινομένου των πλημμυρών καθ' όλη την διάρκεια του έτους, με ιδιαίτερη έμφαση στους χειμερινούς μήνες, προκύπτει η ανάγκη για δρομολόγηση συντονισμένων έργων και δράσεων πρόληψης και ετοιμότητας που θα συμβάλουν στην αντιμετώπισή τους. Τα έργα, οι δράσεις και τα μέτρα πρόληψης και ετοιμότητας που εφαρμόζονται στη χώρα μας για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, ενόψει της χειμερινής περιόδου όπου εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα, προσδιορίζονται θεματικά στις παρακάτω ενότητες.

1. Σχολαστικός έλεγχος όλων των αντιπλημμυρικών έργων και συντήρησή τους, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η απρόσκοπτη λειτουργία τους, κατά προτεραιότητα σε περιοχές που έχουν πληγεί από τις πρόσφατες καταστροφικές δασικές πυρκαγιές.
2. Μελέτη και εκτέλεση έργων συγκράτησης των εδαφών σε δασικές εκτάσεις που η φυσική τους βλάβιση πρόσφατα έχει καταστραφεί από πυρκαγιές, (κορμοδέματα, κορμοφράγματα, αυλακώσεις κλπ.).
3. Έλεγχος και προληπτικός καθαρισμός των κοιτών των ρεμάτων με σκοπό την αποκατάσταση της φυσικής τους ροής.
4. Λήψη των απαραίτητων μέτρων προστασίας από τον κίνδυνο των πλημμυρών στις εγκαταστάσεις των Εταιριών Ύδρευσης Αποχέτευσης, ιδιαίτερα των αντλιοστασίων και των υδραγωγείων.
5. Εντός του αστικού χώρου απομάκρυνση όλων των απορριμμάτων, φερτών υλικών, φυλλώματος δένδρων, κλπ, τα οποία βρίσκονται σε δρόμους και κοινόχρηστους χώρους και μπορεί να προκαλέσουν εμφράξεις σε παρακείμενα φρεάτια απορροής όμβριων υδάτων.
6. Επιτάχυνση εργασιών, ενόψει της χειμερινής περιόδου, για την ολοκλήρωση αντιπλημμυρικών έργων σε περιοχές που βαρύνονται με ανάλογο ιστορικό και κατά προτεραιότητα σε περιοχές που έχουν πληγεί από τις πρόσφατες καταστροφικές δασικές πυρκαγιές.

7. Ενημέρωση του κοινού για τη λήψη μέτρων πρόληψης και αυτοπροστασίας από κινδύνους που προέρχονται από πλημμύρες, κατά προτεραιότητα σε περιοχές που έχουν πληγεί από τις πρόσφατες καταστροφικές δασικές πυρκαγιές.

8. Σύγκληση συσκέψεων υπηρεσιακών παραγόντων κατ' εντολή των Γ.Γ. Περιφερειών με την συμμετοχή όλων των επιχειρησιακά εμπλεκόμενων Δ/νσεων των Περιφερειών καθώς και των επιχειρησιακά εμπλεκόμενων φορέων σε επίπεδο Περιφέρειας με σκοπό τον καλύτερο συντονισμό τους σε θέματα πρόληψης, ετοιμότητας και αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών που μπορεί να προκύψουν από έντονες βροχοπτώσεις και πλημμύρες.

1.3 Υδρολογικά Μοντέλα

Γενικά, τα μοντέλα είναι αλγόριθμοι που αναπαριστούν τη συμπεριφορά και την απόκριση ενός φυσικού υδατορρεύματος. Περιλαμβάνουν τα γνωστά στοιχεία (παράμετροι) και τα άγνωστα στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν (μεταβλητές σχεδιασμού).

Ως υδρολογικό μοντέλο θεωρείται ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που σκοπό έχουν την αναπαράσταση διαφόρων υδρολογικών διεργασιών σε κατάλληλη χρονική και χωρική κλίμακα, έχοντας δεδομένα πεδίου (υδρολογικά, γεωμορφολογικά κ.τ.λ.) και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς (Ευστρατιάδης 2008).

Η μαθηματική αναπαράσταση ενός υδρολογικού μοντέλου θα μπορούσε να ήταν η εξής :

$$y = h(s_0, x, \theta)$$

όπου :

s_0 : οριακές συνθήκες του φυσικού συστήματος

x : οι υδρολογικές μεταβλητές εισόδου ή φορτίσεις (βροχόπτωση, δυναμική εξατμισοδιαπνοή κ.α.)

y : οι μεταβλητές εξόδου, ή αποκρίσεις του μοντέλου (επιφανειακή και υπόγεια απορροή, διαφυγές κ.α.)

θ : τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος, παράμετροι εξαρτώμενοι από ιδιότητες πεδίου

Τα δεδομένα εισόδου σε ένα μοντέλο δύνονται με τη μορφή χρονοσειρών και αναπαριστούν διεργασίες σε συγκεκριμένη θέση ή περιοχή μιας λεκάνης. Πιθανά λάθη στις μετρήσεις αλλά και ελλιπείς πληροφορίες οδηγούν μοντελοποιήσεις είτε για τη συμπλήρωση στοιχείων είτε για μελλοντικές προβλέψεις.

Τα υδρολογικά μοντέλα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με :

- Το πεδίο εφαρμογής τους
- Τη χωρική τους κλίμακα
- Τη μαθηματική τους δομή
- Τη χρονική τους διακριτότητα

Το πεδίο εφαρμογής :

Τα πεδία εφαρμογής των υδρολογικών μοντέλων είναι τα εξής (Ευστρατιάδης 2008) :

- Εκτίμηση επιφανειακού και υπόγειου υδατικού δυναμικού.
- Εκτίμηση πλημμυρικών μεγεθών (υδρογραφήματα, παροχές αιχμής κ.α.)
- Εκτίμηση επιπτώσεων εξαιτίας αλλαγών στις χρήσεις γης, στα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (αστικοποίηση, αποψίλωση, διευθετήσεις ποταμών).
- Πρόγνωση υδρολογικών μεγεθών σε πραγματικό χρόνο.

Η χωρική κλίμακα :

- *Αδιαμέριστα ή συγκεντρωτικά (lumped)*: Κοινές φορτίσεις κοινές παράμετροι για όλη τη λεκάνη
- *Ημικατανεμημένα (semi-distributed)*: Διαφορετικές φορτίσεις και παράμετροι ανά χωρική ενότητα.
- *Ημιαδιαμέριστα (semi-lumped)*: Διαφορετικές φορτίσεις αλλά κοινές παράμετροι ανά χωρική ενότητα.
- *Κατανεμημένα (distributed)*: Κατάτμηση σε πού μικρές χωρικές ενότητες

Η μαθηματική δομή :

Τα υδρολογικά μοντέλα, ανάλογα με τη μαθηματική τους δομή, εντάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- (α) μοντέλα φυσικής βάσης
- (β) εννοιολογικά μοντέλα
- (γ) στατιστικά και στοχαστικά μοντέλα
- (δ) μοντέλα «μαύρου κουτιού»

Το θεωρητικό υπόβαθρο των υδρολογικών μοντέλων όπως και η φυσική συνέπειά τους αναλύονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1.1)

Πίνακας1.1: Σύγκριση υδρολογικών μοντέλων με βάση τη μαθηματική τους δομή.

Τύπος μοντέλου	Θεωρητικό υπόβαθρο	Φυσική συνέπεια
Φυσικής βάσης	Εξισώσεις ακόρεστης και κορεσμένης ροής, άλλες εμπειρικές εξισώσεις από πειραματικές λεκάνες	Θεωρητικά πλήρης, αλλά μόνο σε πολύ μικρή (απειροστή) χωρική κλίμακα
Εννοιολογικά	Παραμετρικές σχέσεις σε υδραυλικά ανάλογα που αναπαριστούν τις κύριες υδρολογικές διεργασίες	Σχετική, εφόσον οι παράμετροι θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές των μακροσκοπικών ιδιοτήτων της λεκάνης
Στατιστικά και στοχαστικά	Σχέσεις που αναπαράγουν την στατιστική δομή των παρατηρημένων δειγμάτων	Στοιχειώδης φυσική συνέπεια, πλήρης στατιστική συνέπεια
«Μαύρου κουτιού»	Μη γραμμικοί μετασχηματισμοί σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος	Απολύτως καμία

Χρονική διακριτότητα

Η χρονική διακριτότητα είναι άμεσα εξαρτώμενη από το σκοπό του μοντέλου. Για παράδειγμα, σχήματα προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για διαχειριστικούς σκοπούς υιοθετούν τη μηνιαία ή σπανιότερα, την ημερήσια κλίμακα, ενώ τα μοντέλα πλημμυρών ή τα συνδυαστικά μοντέλα υιοθετούν μικρότερες κλίμακες, με μέγιστη την ημερήσια.

1.4 Το Υδρολογικό Μοντέλο HEC-HMS

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο που σχεδιάστηκε από το Σώμα του Αμερικάνικου Στρατού (US Army Corps of Engineer) για την προσομοίωση των διεργασιών βροχόπτωσης-απορροής σε λεκάνες απορροής με δενδροειδή μορφή. Εφαρμόζεται τόσο σε μεγάλες αγροτικές λεκάνες απορροής όσο σε αστικές ή ημιαστικές λεκάνες. Τα υδρογραφήματα που παράγονται από το μοντέλο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες :

- Διαθεσιμότητας υδατικών πόρων.
- Συνέπειες μελλοντικής αστικοποίησης λεκάνης απορροής
- Πρόγνωσης πλημμυρών.
- Σχεδιασμό αντιμετώπισης καταστροφών από πλημμύρες.
- Διευθέτησης περιοχής κατάκλισης πλημμύρας.
- Σχεδιασμός υπερχειλιστών πλημμύρας.

Στο πρόγραμμα αυτό, ένα μοντέλο λεκάνης κατασκευάζεται με το διαχωρισμό του υδρολογικού κύκλου σε επιμέρους μέρη με δυνατότητα επεξεργασίας του καθενός χωριστά. Κάθε συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου αναπαριστάται με ένα μαθηματικό μοντέλο. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αρκετές οι επιλογές του χρήστη για την προσομοίωση της κάθε συνιστώσας. Η επιλογή για την εφαρμογή της πιο κατάλληλης μεθόδου, είναι απόρροια της γνώσης του φυσικού συστήματος, των στόχων της υδρολογικής μελέτης καθώς και της κρίσης και της εμπειρίας του ερευνητή (Fleining and Scharffenberg, 2010).

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μία βάση δεδομένων, η οποία δέχεται δεδομένα εισόδου και εξάγει αποτελέσματα με χρήση διάφορων ενσωματωμένων εργαλείων. Στην παρούσα εργασία, δίνονται συγκεκριμένα επεισόδια βροχής για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (T=50 και T=100) στην περιοχή μελέτης με τελικά εξαγόμενα υδρογραφήματα σχεδιασμού.

Τα βασικά μέρη είναι το μοντέλο λεκάνης απορροής όπως έχει σχηματοποιηθεί στο HEC-GeoHMS, και το μετεωρολογικό μοντέλο. Το μοντέλο λεκάνης απορροής απεικονίζει τα υδρολογικά στοιχεία συνδέοντάς τα σε δενδροειδές δίκτυο, με τη διαδικασία υπολογισμού να ξεκινά από τα ανάντη προς τα κατόντη. Στο πρόγραμμα διατίθενται διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού των απωλειών βροχής, της άμεσης απορροής, της βασικής και της διόδευσης πλημμύρας.

Ο χρήστης επιλέγει πιο μαθηματικό πρότυπο θα χρησιμοποιήσει δεδομένου των συνθηκών και των διαθέσιμων στοιχείων.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα μαθηματικά πρότυπα των παραπάνω διεργασιών :

Εκτίμηση απωλειών :

- Initial constant (δείκτης ϕ)
- SCS Curve Number
- Gridded SCS Curve Number
- Exponential (εκθετική συνάρτηση του χρόνου)
- Green-Ampt

Υπολογισμός Επιφανειακής Απορροής : Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- Snyder
- SCS
- Clark Instantaneous Unit Hydrograph
- Ορισμένο από τον χρήστη

Βασική Ροή

- Recession method(εκθετικά μειούμενη)
- Σταθερή ροή
- Linear reservoir method (εκφόρτιση διηθούμενου νερού στο υδατόρρευμα με διατήρηση μάζας)

Διόδευση

- Lag method (Μέθοδος καθυστέρησης – όχι εξασθένησης πλημμυρικού κύματος)
- Muskingum
- Kinematic Wave
- Muskingum-Cunge

Το πρόγραμμα σε γενικές γραμμές θεωρείται εύχρηστο, με αρνητικό σημείο ότι στην περίπτωση ύπαρξης λαθών ή προβλημάτων κατά το υπολογισμό δεν υπάρχει σαφής καθοδήγηση για την επίλυσή τους, παρά μόνο η παρουσία μηνυμάτων-σφαλμάτων. Εκτενής αναφορά στην χρήση του προγράμματος γίνεται στο Κεφάλαιο 3 (Υδρολογική Προσομοίωση).

1.5 Το Υδραυλικό Μοντέλο HEC-RAS

Το μοντέλο HEC-RAS είναι ένα πολυχρηστικό εργαλείο για τη μονοδιάστατη ανάλυση και προσομοίωση φυσικών υδατορρευμάτων. Πρόκειται για ένα σύνολο μοντέλων με 4 συνιστώσες ανάλυσης (Bruner 2008a):

- Υπολογισμός του προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας σε συνθήκες μόνιμης ροής
- Υπολογισμοί σε συνθήκες μη μόνιμης ροής
- Υπολογισμοί απόθεσης φερτών υλών
- Υπολογισμοί σχετικά με τη θερμοκρασία του νερού

Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της στάθμης του νερού για βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή σε δίκτυο τεχνητών αγωγών, σε σύστημα υδατορρευμάτων με τεχνικά έργα ή φυσικές κοίτες σε συνθήκες υποκρίσιμης ή υπερκρίσιμης ροής. Επίσης, δύναται να υπολογίσει υδραυλικά άλματα, υδραυλικές συνθήκες σε γέφυρες, ρουφράκτες, οχετούς, υπερχειλιστές (με ή χωρίς θυροφράγματα), στενώσεις καθώς και τη διάβρωση της κοίτης στις γέφυρες. Εκτενής αναφορά στην χρήση του προγράμματος γίνεται στο κεφάλαιο 4 (Υδραυλική Προσομοίωση).

1.6 Σκοπός και Διάρθρωση Εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ολοκληρωμένη περιγραφή της υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού, της μετέπειτα υδραυλικής προσομοίωσης της

ελεύθερης επιφάνειας του νερού σε τμήμα φυσικού υδατορρεύματος και τελικά, η εξαγωγή χαρτών πλημμυρικής κατάκλισης για διάφορες περιόδους επαναφοράς.

Η περιοχή που επιλέχτηκε είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Ξηριά στην περιοχή του Βόλου. Η επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε συνδυαστικά σε περιβάλλον ArcGis (HEC-GeoHMS), και στο υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS και ομοίως η υδραυλική ανάλυση αρχικά ξεκίνησε σε περιβάλλον ArcGis (HEC-GeoRAS) και ολοκληρώθηκε στο υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS.

Συγκεκριμένα μετά την παρουσίαση της περιοχής μελέτης στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολουθεί η ανάλυση της προεπεξεργασίας των γεωγραφικών δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή υδρογραφικού δικτύου και τη χάραξη υπολεκανών απορροής (HEC-GeoHMS), και στη συνέχεια, η τελική επεξεργασία αυτών στο μοντέλο HEC-HMS, με αποτέλεσμα την υδρολογική απόκριση των υπολεκανών απορροής της περιοχής μελέτης υπό τη μορφή υδρογραφημάτων.

Ακολούθως, πραγματοποιείται η επεξεργασία του ποταμού (HEC-GeoHMS) για τη δημιουργία γεωμετρικού αρχείου το οποίο τελικά εισάγεται στο πρόγραμμα HEC-RAS, όπου σε συνδυασμό με το υδρολογικό αρχείο που παρήχθη από την υδρολογική προσομοίωση, εκτελείται η μονοδιάστατη υδραυλική προσομοίωση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στο φυσικό υδατόρρευμα υπό συνθήκες μόνιμης ροής και μη μόνιμης ροής.

Τέλος, ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων της υδρολογικής και της υδραυλικής προσομοίωσης, εξάγεται σε περιβάλλον ArcGIS, έτσι ώστε παράγονται τελικά, οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλισης της υπό μελέτη περιοχής.

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία αναλυτική περιγραφή της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία του υπό μελέτη φυσικού υδατορρεύματος, το γεωμορφολογικό ανάγλυφο, οι εδαφικοί τύποι καθώς και οι χρήσεις γης της περιοχής μελέτης. Επίσης, δίνονται και οι χάρτες που συνοδεύουν τα ανωτέρω στοιχεία.

2.1 Ο Ποταμός Ξηριάς

Ο Ξηριάς είναι πόταμος στο νομό Μαγνησίας που ξεκινά από το Όρος Πήλιο και καταλήγει στον Παγασητικό κόλπο αφού καλύπτει μια μεγάλη απόσταση μέσα στο βουνό. Η ονομασία Ξηριάς προέρχεται από το γεγονός ότι το ποτάμι έχει νερό μόνον μετά από νεροποντή ή τον χειμώνα μετά τις χιονοπτώσεις. Το μεγαλύτερο μήκος του υδατορρεύματος βρίσκεται κυρίως σε περιοχές αραιής δόμησης και γεωργικών καλλιεργειών. Ωστόσο διασταυρώνεται με τον αστικό ιστό σε ένα τμήμα του στα βορειοδυτικά του δήμου Ν. Ιώνιας καθώς και στο σημείο που εκβάλλει στην οδική γέφυρα της Λ. Αθηνών.

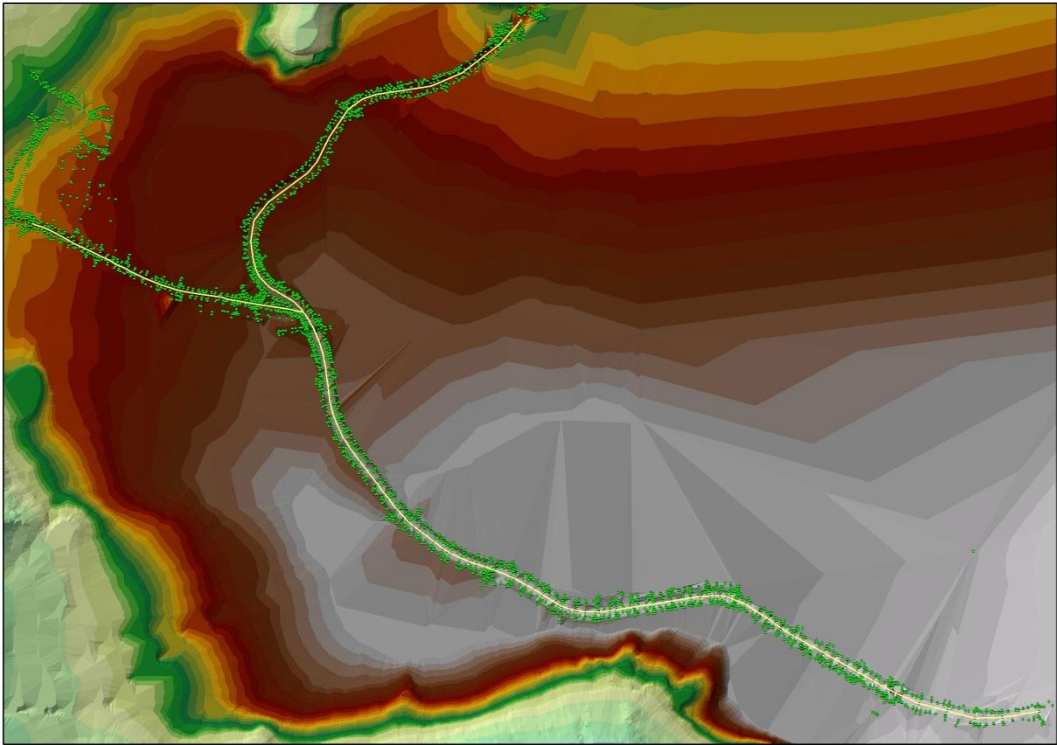
Η περιοχή μελέτης αποτελείται από το κατώτερο τμήμα του ποταμού και συγκεκριμένα τα τελευταία 4,350 km, από την οδική γέφυρα Λ. Λαρίσης ως της εκβολές του ποταμού. Στο κομμάτι αυτό κατά μήκος του υδατορρεύματος συναντώνται αρκετές γέφυρες, πέντε τον αριθμό, οι οποίες για λόγους ακριβείας έχουν ψηφιοποιηθεί και συμπεριληφθεί στην υδραυλική προσομοίωση, κάποιες σκυροδετημένες περιοχές πυθμένα, μικρού μήκους κοντά στις γέφυρες, καθώς και κάποιοι αναβαθμοί στο ύψος της οδικής γέφυρας Λ. Λαρίσης. Η μέση κλίση πυθμένα είναι σχετικά ήπια, από 7‰ στο ανάντη τμήμα του ποταμού (από τη Λ. Λαρίσης μέχρι τη θέση συμβολής με τον χείμαρρο Σεσκουλιώτη) μέχρι 2‰ (από τη συμβολή μέχρι την εκβολή). Στα πρηνή του υδατορρεύματος παρατηρείται αραιή βλάστηση σε όλο το μήκος του υδατορρεύματος.

Στην θέση 1.455 km, από την αρχή της υδραυλικής προσομοίωσης, ο Ξηριάς διασταυρώνεται με τον χείμαρρο Σεσκουλιώτη. Ο χείμαρρος Σεσκουλιώτης αποτελεί την εκβολή του πλημμυρικού αγωγού της λίμνης Κάρλας και προσθέτει στην παροχή του ποταμού 10 m³/s επιπλέον σε περίπτωση υπερχείλισης της λίμνης. Για την ακριβέστερη προσομοίωση συμπεριλήφθηκε η συμβολή του ποταμού Ξηριά με τον χείμαρρο Σεσκουλιώτη, όπως και κάποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατά μήκος του τελευταίου με σκοπό την δημιουργία ψηφιοποιημένων διατομών.

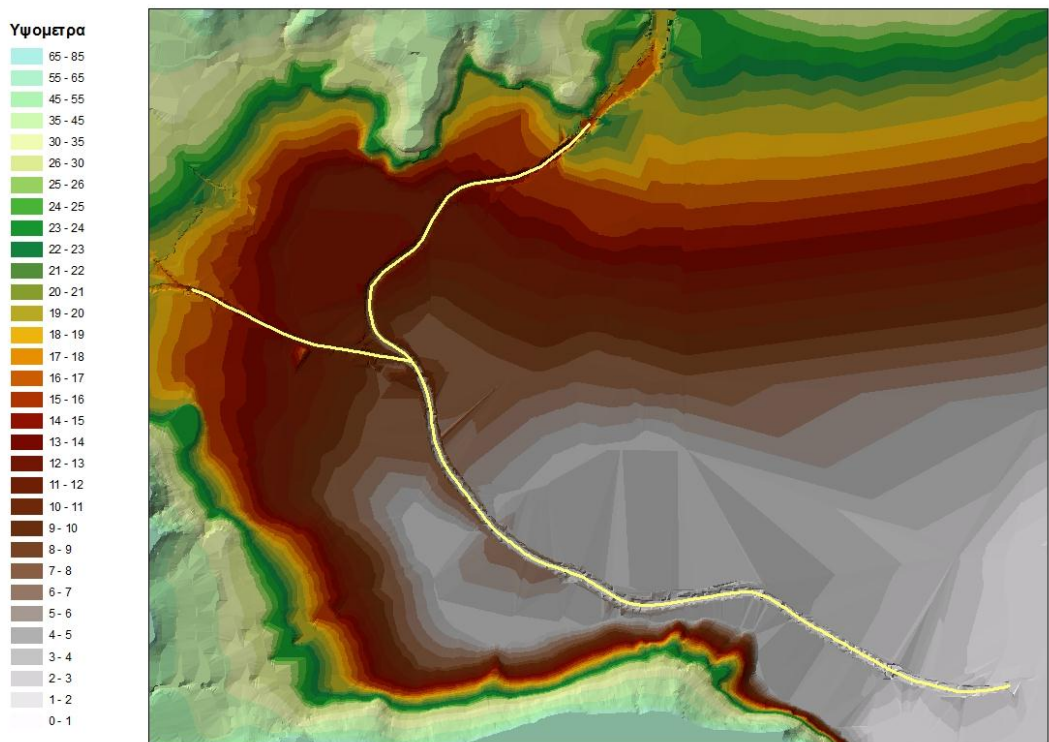
Παρακάτω παρατίθεται χάρτης δορυφορικής απεικόνισης της περιοχής μελέτης (Google Earth) (Σχήμα 2.1), χάρτης τοπογραφικών σημείων αποτύπωσης του υδατορρεύματος που μας παραχωρήθηκαν από τον κ. Μπάρκα Δ. (Σχήμα 2.2) και χάρτης με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ΤΙΝ) που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των διατομών και όλων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που χρειάστηκαν για την προσομοίωση (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.1: Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.2: Τοπογραφικά σημεία αποτύπωσης του υδατορρεύματος.

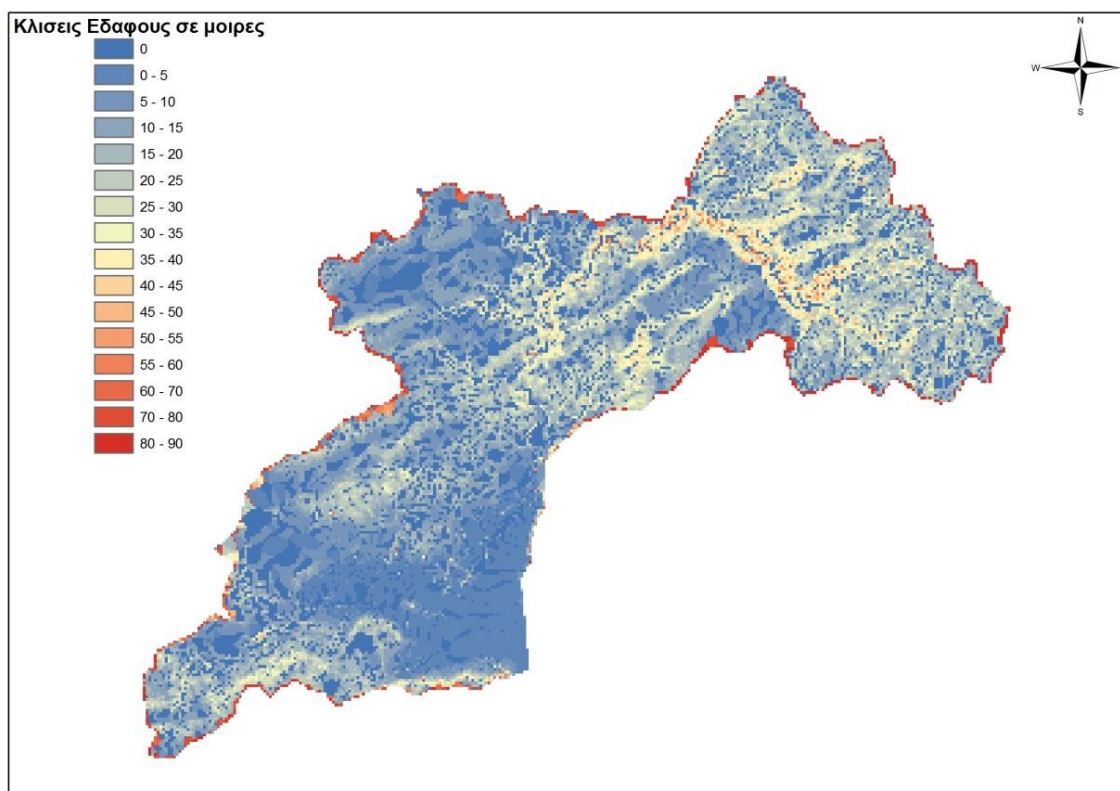


Σχήμα 2.3: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

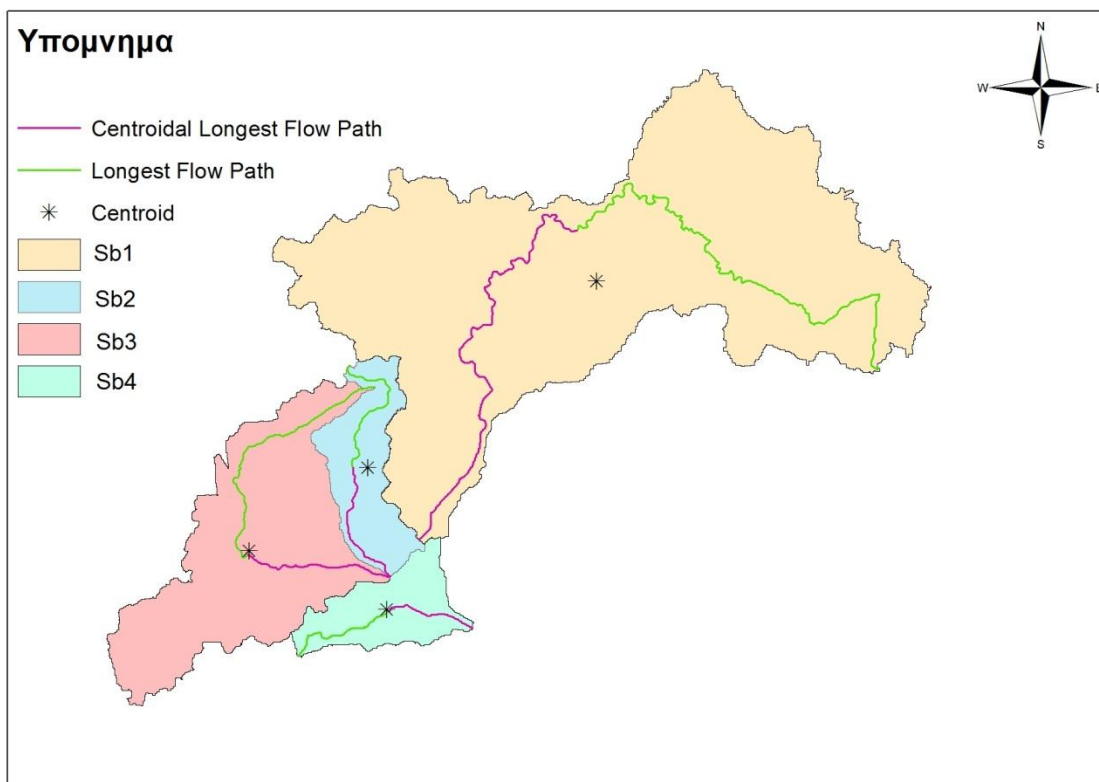
2.2 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Σε ότι αφορά το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής, το υψόμετρο κυμαίνεται από 0 έως 1600 m, με μέσο υψόμετρο στα 450 m. Συνδυάζοντας το τοπογραφικό ανάγλυφο με τις χρήσεις γης, παρατηρείται ότι οι ηπιότερες κλίσεις βρίσκονται στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης, με κλίσεις της τάξης του 10%, στην εκβολή του ποταμού, ενώ οι εντονότερες κλίσεις εμφανίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης με μέση κλίση 30%, όπως προέκυψε από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Σχήμα 2.4).

Συνοπτικά παρουσιάζεται χάρτης με τον τελικό διαχωρισμό των υπολεκανών, όπως προέκυψε από το HEC-GeoHMS (Σχήμα 2.5). Η περιοχή μελέτης διαχωρίστηκε σε τέσσερις υπολεκάνες. Η υπολεκάνη 1 (Sb 1) προσαρμόστηκε ώστε το σημείο εξόδου της να συμπίπτει με το σημείο αρχής της προσομοίωσης και η υπολεκάνη 2 (Sb 2) πρόεκυψε από μια περιοχή οι απορροές της οποίας εκρέουν κοντά στην συμβολή Ξηριά-Σεσκουλιώτη, επί του Ξηριά. Η υπολεκάνη 3 (Sb 3) οριοθετήθηκε ώστε να περικλείει την περιοχή που απορρέει στον χείμαρρο Σεσκουλιώτη και η υπολεκάνη 4 (Sb 4) αφορά τις πλευρικές εισροές στο τελευταίο τμήμα του ποταμού. Στο χάρτη 2.5 φαίνονται χαρακτηριστικά στοιχεία που χρειάστηκαν στην υδρολογική προσομοίωση, όπως το μέγιστο μήκος του υδατορρεύματος της κάθε υπολεκάνης, το κεντροειδές καθώς και το μήκος του ποταμού από αυτό (Σχήμα 2.5).



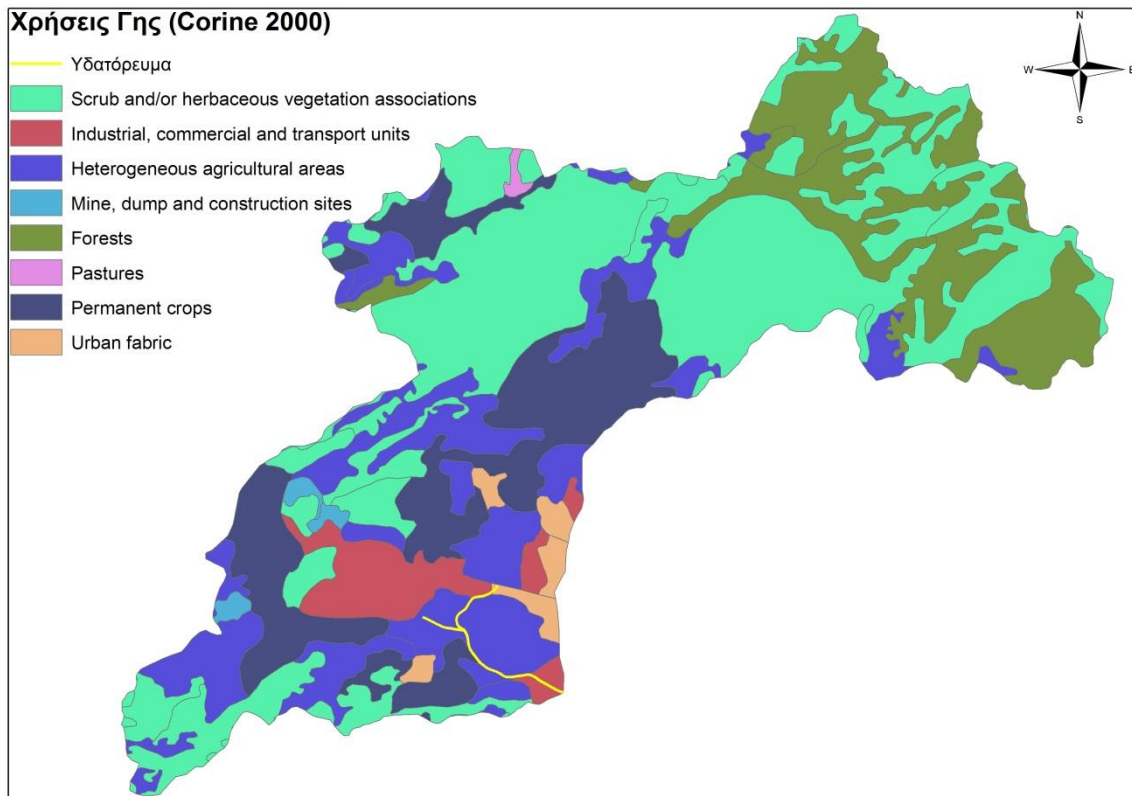
Σχήμα 2.4: Κλίσεις εδάφους λεκάνης απορροής.



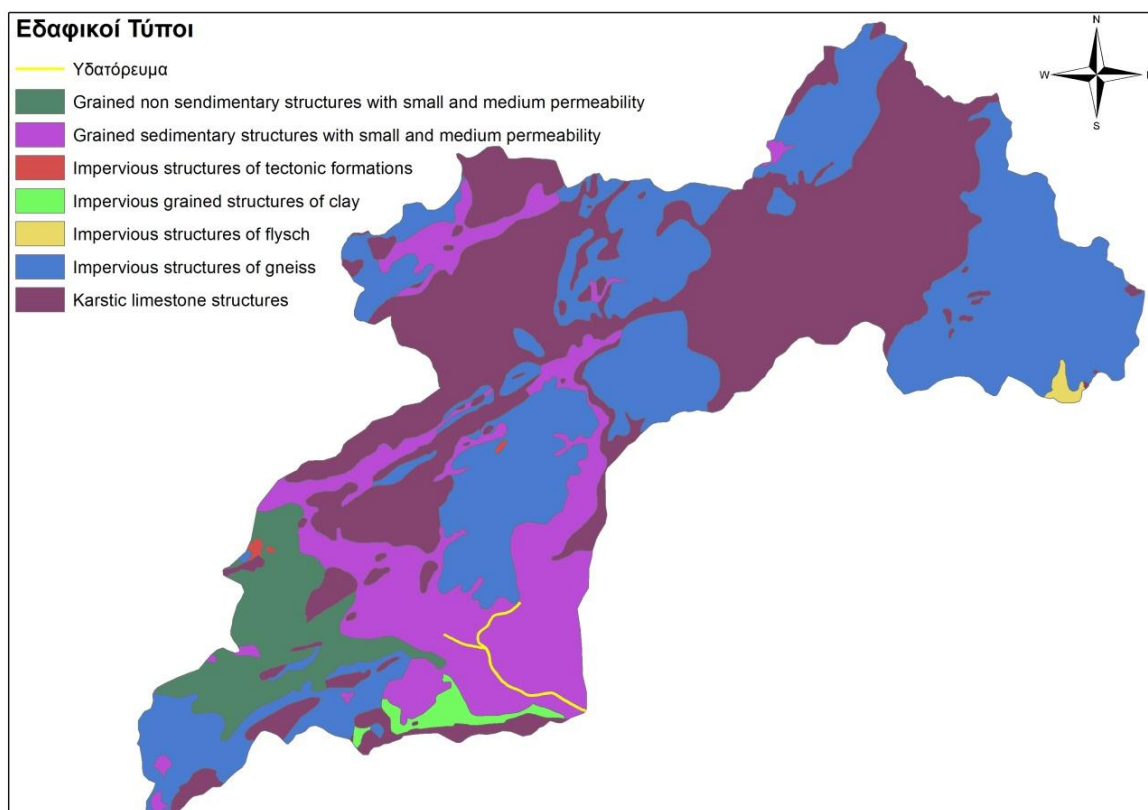
Σχήμα 2.5: Επιμέρους υπολεκάνες και χαρακτηριστικά τους στοιχεία.

Σχετικά με τις χρήσεις γης (Corine 2000), όπως προαναφέρθηκε, το μεγαλύτερο μέρος του υδατορρέυματος διέρχεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις αραιής δόμησης όπως διαπιστώθηκε από επίσκεψη στην περιοχή και επιβεβαιώνεται στον Σχήμα 2.6. Υπάρχουν ορισμένα σημεία που ο ποταμός εισέρχεται σε αστικές και βιομηχανικές ζώνες όπου και μπορούν να θεωρηθούν ως αδιαπέρατες περιοχές. Ένα άλλο συμπέρασμα που εξάγεται από τον χάρτη χρήσεων γης σε συνδυασμό με τον Σχήμα 2.4 είναι η εύλογη κάλυψη χρήσεων καλλιέργειας γης στις περιοχές ήπιας κλίσης.

Τέλος, παρατηρώντας τα υδρολιθολογικά στοιχεία (γεωλογικοί χάρτες ΠΓΜΕ) της περιοχής μελέτης (Σχήμα 2.7) συνοψίζουμε ότι οι τύποι που εμφανίζονται κατά μήκος του υδατορρέυματος είναι στο σύνολό τους κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις χαμηλής και μεσαίας περατότητας.



Σχήμα 2.6: Χρήσεις γης της περιοχής μελέτης.

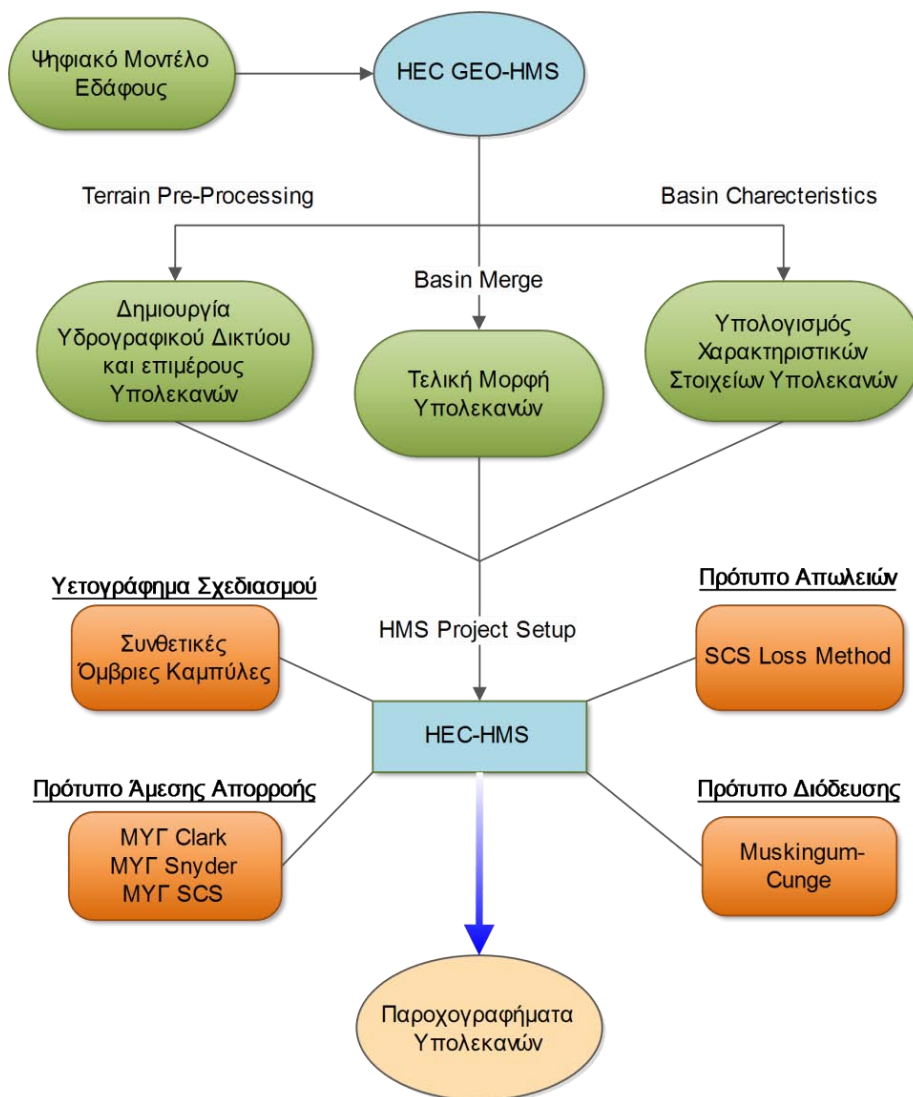


Σχήμα 2.7: Εδαφικοί τύποι της περιοχής μελέτης.

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό δίδεται βήμα προς βήμα η σύνθεση της μεθοδολογίας για την εκτίμηση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης απορροής σε συγκεκριμένα επεισόδια βροχόπτωσης. Η ανάλυση γίνεται στο περιβάλλον των λογισμικών HEC-GeoHMS και HEC-HMS και έχει ως τελικό εξαγόμενο το υδρογράφημα σχεδιασμού της λεκάνης για κάθε περίοδο επαναφοράς.

Στο ακόλουθο εποπτικό διάγραμμα (Σχήμα 3.1) δίνεται η αλληλουχία των λειτουργιών του προγράμματος HEC-HMS για την υδρολογική προσομοίωση της υπό μελέτης λεκάνης απορροής.



Σχήμα 3.1: Διαδικασία εκτέλεσης υδρολογικής προσομοίωσης μέσω HEC-HMS.

3.1 Γεωμορφολογικά και Υδρολογικά στοιχεία λεκάνης απορροής

Η ανάλυση των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης πραγματοποιείται μέσω της επέκτασης HEC-GeoHMS του ArcMap .

Το HEC-GeoHMS είναι μια επέκταση του ArcGIS και αναπτύχθηκε ως ένα γεωχωρικό (geo-spatial) εργαλείο υδρολογίας για υδρολόγους μηχανικούς με περιορισμένη εμπειρία σε συστήματα γεωγραφικής πληροφορίας. Το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να οπτικοποιεί τη χωρική πληροφορία, να καταγράφει χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, να οριοθετεί τις υπολεκάνες και τα ρέματα, να παράγει αρχεία εισόδου σε υδρολογικά μοντέλα κλπ.

Το HEC-GeoHMS χρησιμοποιεί ως εισόδους το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), τους ψηφιακούς χάρτες με τους τύπους εδαφών και χρήσεων γης και κάποια βοηθητικά αρχεία χωρικών δεδομένων υπό διανυσματική μορφή, όπως για παράδειγμα το υδρογραφικό δίκτυο. Η επεξεργασία και η ανάλυση αυτών των χωρικών δεδομένων συνίσταται στη χάραξη των υπολεκάνων απορροής και του υδρογραφικού δικτύου και στον προσδιορισμό των υδρολογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τους, σε μορφή συμβατή για χρήση τους από το πρόγραμμα HEC-HMS.

Σαν αποτέλεσμα της εκτέλεσης του προγράμματος έχουμε τη δημιουργία δύο αρχείων εισόδου: το πρώτο είναι το αρχείο χάρτη (background map file) και το δεύτερο το αρχείο του μοντέλου της λεκάνης απορροής (basin model file) σε ενιαία ή κατανεμημένη μορφή. Στο αρχείο χάρτη οπτικοποιούνται οι υπολεκάνες απορροής και τα υδατορρεύματα της περιοχής μελέτης. Το αρχείο του μοντέλου της λεκάνης απορροής περιέχει τα υδρολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης. Τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου, που απαιτούνται για τη λειτουργία του HEC-HMS, είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα, τα παρατηρημένα υδρογραφήματα, καθώς επίσης και ορισμένες παράμετροι για την εφαρμογή των μαθηματικών προτύπων του HEC-HMS.

Οι εργασίες που επιτελούνται είναι οι εξής:

- Προεπεξεργασία του μοντέλου εδάφους μέσω του πακέτου εντολών Terrain Pre-Processing,
- Επεξεργασία λεκάνης απορροής και εξαγωγή υδρολογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων
- Επιλογή προτύπων υπολογισμού υδρολογικών παραμέτρων και δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS

3.1.1 Προεπεξεργασία του μοντέλου εδάφους μέσω του πακέτου εντολών Terrain Pre-Processing

Για την εκκίνηση της διαδικασίας απαιτείται - ως πρωτογενές δεδομένο – το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Μέσα από τις επιλογές Terrain Preprocessing της εργαλειοθήκης ArcHydro του ArcGIS γίνεται επεξεργασία των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών του μοντέλου εδάφους. Οι εντολές, που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Εντολές του μενού Terrain Pre-Processing.

Εντολή	Ενεργοποίηση
DEM reconditioning	Terrain Preprocessing => DEM Manipulation => DEM reconditioning.
Fill sinks	Terrain Preprocessing => DEM Manipulation => Fill Sinks.
Flow direction	Terrain Preprocessing => Flow Direction
Flow accumulation	Terrain Preprocessing => Flow Accumulation
Stream definition	Terrain Preprocessing => Stream definition
Stream Segmentation	Terrain Preprocessing => Stream Segmentation
Catchment Grid Delineation	Terrain Preprocessing => Catchment Grid Delineation
Catchment Polygon Processing	Terrain Preprocessing => Catchment Polygon Processing
Drainage Line Processing	Terrain Preprocessing => Drainage Line Processing
Adjoint Catchment Processing	Terrain Preprocessing => Adjoint Catchment Processing

Η εντολή «DEM reconditioning»

Η εντολή αυτή ανακατατάσσει τα κελιά του καννάβου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους κατά μήκος των ρεμάτων με σκοπό να διορθώσει λανθασμένα ή ελλιπή υψόμετρα. Η λειτουργία αυτή είναι απαραίτητη, καθώς στο αρχικό μοντέλο εδάφους πιθανότατα υπάρχουν ελλιπή δεδομένα αποτύπωσης της υψομετρίας κατά μήκος των ρεμάτων κάτι το οποίο μπορεί να διορθωθεί με την αξιοποίηση του ψηφιοποιημένου υδρογραφικού δικτύου (Merwade, 2008). Στη συγκεκριμένη εργασία εφόσον υπήρχε το υδρογραφικό δίκτυο (Papaioannou, 2011) χρησιμοποιήθηκε για ακριβέστερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, χρειάστηκαν αρκετές δοκιμές (μέσω της εντολής Agree Stream) για τη βέλτιστη αποτύπωσή του στο μοντέλο.

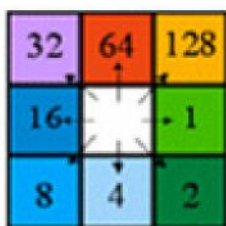
Η εντολή «Fill Sinks»

Κατά τη δημιουργία του DEM προκύπτουν ψευδή βυθίσματα στο ανάγλυφο. Τα βυθίσματα αυτά πρέπει να διορθωθούν, ώστε να μην υπάρχουν μικρά τμήματα της λεκάνης, όπου το νερό εγκλωβίζεται, παρακωλύοντας την υδρολογική ανάλυση.

Η εντολή «Flow direction»

Χρησιμοποιώντας το διορθωμένο DEM γίνεται ο προσδιορισμός της λεκάνης απορροής και του υδρολογικού δικτύου που βρίσκονται εντός της περιοχής. Για να γίνει αυτό θα πρέπει αρχικά να προσδιοριστεί ο κάρναβος με τις διευθύνσεις απορροής.

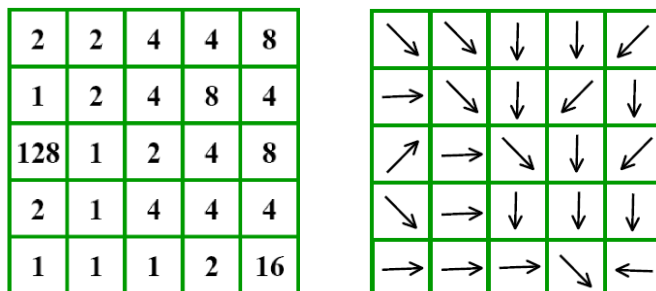
Η βασική αρχή του κάρναβου απορροής είναι ότι απορροή υπάρχει από κάθε εικονοστοιχείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προς ένα μόνο από τα 8 γειτονικά εικονοστοιχεία (με βάση τη μεγαλύτερη κλίση). Η κλίση μεταξύ ενός εικονοστοιχείου και ενός γειτονικού του υπολογίζεται από τη διαφορά των υψομέτρων τους διαιρεμένη με $\sqrt{2}$ όταν το γειτονικό εικονοστοιχείο βρίσκεται διαγώνια του αρχικού (4 από τα 8 εικονοστοιχεία) και με 1 για τα υπόλοιπα 4 εικονοστοιχεία. Ανάλογα με τη διεύθυνση της απορροής, το εικονοστοιχείο παίρνει μια τιμή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.



1= ανατολικά, 2= νοτιοανατολικά
 4= νότια, 8= νοτιοδυτικά
 16= δυτικά, 32= βορειοδυτικά
 64= βόρεια, 128= βορειοανατολικά

Σχήμα 3.2: Τιμή κεντρικού εικονοστοιχείου ανάλογα με τη διεύθυνση απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2009).

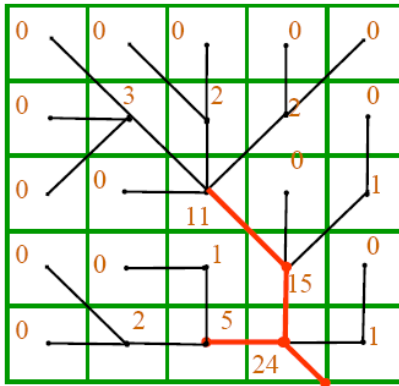
Η ολοκλήρωση της ως άνω διαδικασίας έχει ως εξαγόμενο τη δημιουργία του τελικού κάρναβου διευθύνσεων απορροής (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Κάρναβος διευθύνσεων απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη 2009).

Η εντολή «Flow Accumulation»

Η συγκεντρωτική ροή για κάθε φατνίο του καννάβου ισούται με το άθροισμα των γειτονικών φατνίων, που απορρέουν σε αυτό. Τα φατνία συγκεντρωτικής ροής με υψηλές τιμές αντιστοιχούν στις μισγάγγειες ενώ τα φατνία με μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις κορυφογραμμές (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4: Κάνναβος Αθροίσματος Φατνίων Απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη 2009).

Το βήμα αυτό καθορίζει τον αριθμό των ανάντη κελιών, που αποστραγγίζονται σε ένα συγκεκριμένο κελί. Το εμβαδόν της ανάντη περιοχής αποστράγγισης μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την τιμή της συσσώρευσης της ροής στο κατάντη κελί με το εμβαδόν του κελιού.

Η εντολή «Stream Definition»

Η εντολή επιλέγει όλα τα κελιά, που παρουσιάζουν συσσώρευση ροής μεγαλύτερη από μια ελάχιστη τιμή που έχει προσδιοριστεί από το χρήστη. Τα επιλεγθέντα κελιά καταρτίζουν το δίκτυο ροής. Η προκαθορισμένη ελάχιστη τιμή είναι ίση με το 1% της μεγαλύτερης περιοχής αποστράγγισης σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής.

Η εντολή «Stream Segmentation»

Η εντολή αυτή διαιρεί το υδατόρρευμα σε μικρότερα κομμάτια με βάση την κατηγοριοποίηση του υδρογραφικού δικτύου (πχ με τη μέθοδο Strahler).

Η εντολή «Catchment Grid Delineation»

Το βήμα αυτό δημιουργεί έναν υδροκρίτη για κάθε τμήμα του υδατορρεύματος, σχηματίζοντας έτσι υπολεκάνες.

Η εντολή «Catchment Polygon Processing»

Η εντολή αυτή μετατρέπει την αναπαράσταση των υπολεκανών από μορφή grid σε διανυσματική μορφή (vector)

Η εντολή «Drainage Line Processing»

Η εντολή αυτή επιτελεί ακριβώς την ίδια λειτουργία με την προηγούμενη. Μετατρέπει το υδρογραφικό δίκτυο από μορφή GRID σε διανυσματική μορφή.

Η εντολή «Adjoint Catchment Processing»

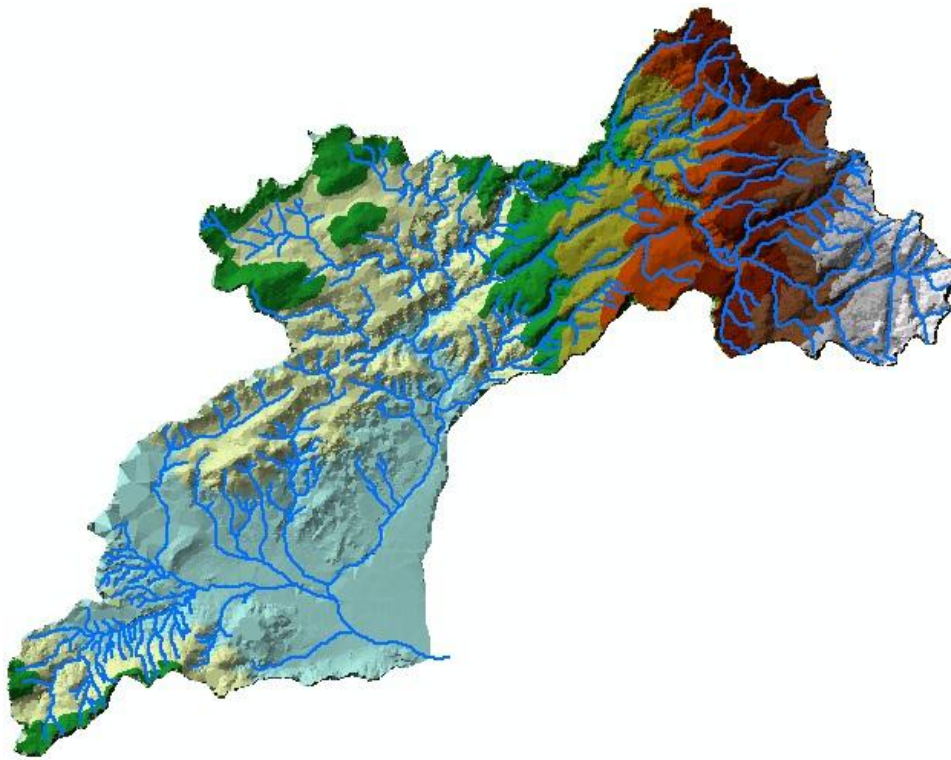
Το βήμα αυτό αθροίζει όλες τις ανάντη υπολεκάνες σε κάθε συμβολή του ποταμού. Αυτό είναι ένα αναγκαίο βήμα, το οποίο πραγματοποιείται για να βελτιώσει την υπολογιστική ισχύ του προγράμματος και δεν έχει κάποια υδρολογική σημασία (HEC 2003).

3.1.2 Επεξεργασία λεκάνης και δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS

Το Μενού «HMS Project Setup» της εργαλειοθήκης MainView του HEC-GeoHMS είναι υπεύθυνο να αποσπά τις απαραίτητες πληροφορίες από τη χωρική βάση δεδομένων και να δημιουργεί αρχεία εισόδου για το HEC-HMS. Απαραίτητο για τη διαδικασία αυτή είναι να οριστεί αρχικά η περιοχή μελέτης, αν αυτή είναι μικρότερη από αυτή που εξεταζόταν μέχρι τώρα, όπως και στην περίπτωση μας. Η εργασία αυτή εκτελείται ορίζοντας ένα σημείο εξόδου.

Μέσω της εντολής «Start New Project» του HMS Project setup, δίνουμε ένα όνομα στο αρχείο της μελέτης και ορίζουμε τις μήτρες δεδομένων για το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το υδρογραφικό δίκτυο, τον κάρναβο συγκεντρωτικής ροής κλπ, με βάση τα αρχεία που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα βήματα.

Ως σημείο εξόδου (Project point) επιλέγεται με το εργαλείο το επιθυμητό σημείο και εν συνεχεία μέσω της εντολής generate project παράγεται η περιοχή μελέτης. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3.5), όπου με γαλάζιο χρώμα φαίνεται η παραχθείσα περιοχή μελέτης, έκτασης περίπου 110 km².

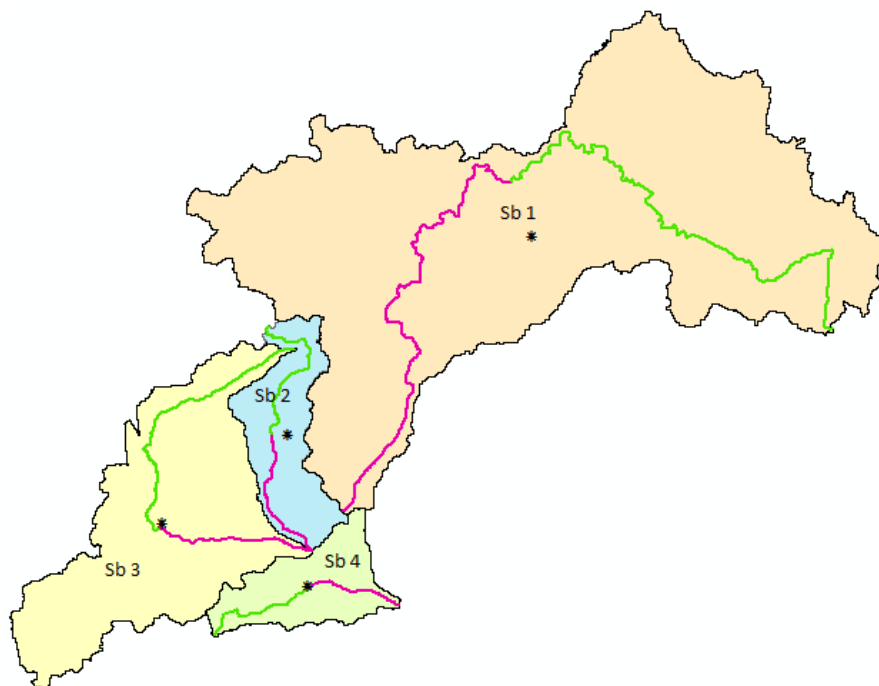


Σχήμα 3.5: Περιοχή μελέτης σε περιβάλλον HEC-GeoHMS.

Στο παράθυρο εργασίας Project View γίνεται περαιτέρω επεξεργασία της περιοχής μελέτης μέσα από τα Μενού «Basin Processing», «Basin Characteristics» και «hydrologic Parameters». Το Μενού «Basin Processing» εκτελεί χρήσιμους υπολογισμούς για τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και του υδατορρεύματος.

Εξαγωγή τοπογραφικών χαρακτηριστικών «Basin Characteristics»

Στο Μενού «Basin Characteristics» το HEC-GeoHMS υπολογίζει διάφορα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των ρευμάτων και της λεκάνης απορροής. Έτσι, υπολογίζεται το μήκος του ποταμού, η μέση κλίση του, το κέντρο βάρους της κάθε υπολεκάνης απορροής (με τα αντίστοιχα υψόμετρα), το μέγιστο μήκος υδάτινης διαδρομής μιας λεκάνης μέχρι την έξοδό της και το μήκος της υδάτινης διαδρομής από το κέντρο βάρους της λεκάνης μέχρι την έξοδό της. Τα στοιχεία αυτά χρησιμεύουν ως δεδομένα εισόδου στη διαμόρφωση των υδρολογικών παραμέτρων του HMS, όπως θα αναλυθεί και στο εδάφιο της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης. Ο διαχωρισμός των υπολεκανών καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φαίνονται στο σχήμα 3.6 και στον πίνακα 3.2.



Σχήμα 3.6: Διαχωρισμός υπολεκάνων, μήκος μέγιστου υδατορρεύματος και κεντροειδές.

Πίνακας 3.2: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπολεκάνων.

	Υπολεκάνες			
	1	2	3	4
Εμβαδά(km ²)	73.68	7.25	22.92	6.01
Μέση κλίση λεκάνης(%)	29.428	16.601	18.974	11.909
Μήκος του κυρίου υδατορρεύματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο σε km	31.703	10.268	13.701	5.394
Μήκος του κυρίου υδατορρεύματος από το πλησιέστερο σημείο στο κεντροειδές της λεκάνης μέχρι την έξοδο σε km	12.825	3.463	3.906	2.370

3.1.3 Επιλογή προτύπων υπολογισμού υδρολογικών παραμέτρων και δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS

Μετά την εξαγωγή των τοπογραφικών χαρακτηριστικών των ρεμάτων και των υπολεκανών, ο χρήστης ορίζει τα πρότυπα για την εκτέλεση της υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης, ήτοι τα πρότυπα για τον υπολογισμό των απωλειών βροχής, της άμεσης απορροής, της βασικής απορροής και της διόδευσης του υδρογραφήματος. Η εργασία εκτελείται μέσω του παραθύρου Select HMS processes του μενού Hydrologic Parameters. Σημειώνεται ότι ο χρήστης μπορεί να αλλάξει αργότερα τα πρότυπα με αντίστοιχες επιλογές του HEC-HMS, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Για την τελική δημιουργία των αρχείων HMS ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στον πίνακα 3.3.

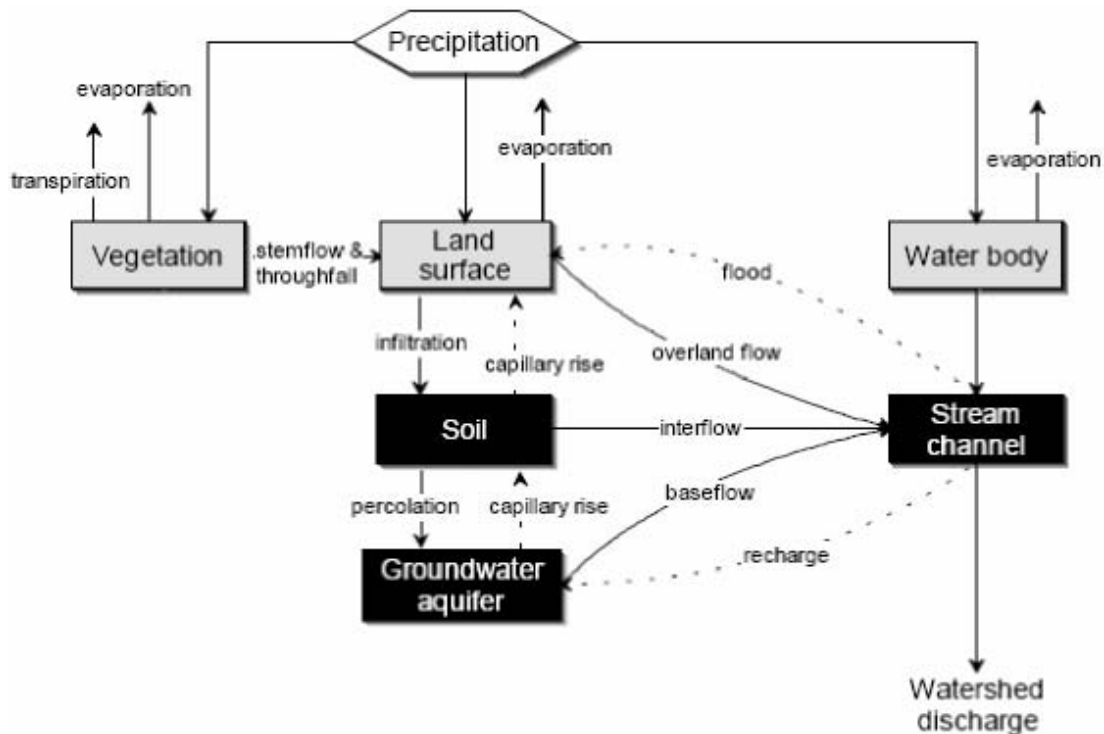
Πίνακας 3.3: Δημιουργία υποβάθρου HMS από το μενού HMS.

Εντολή	Λειτουργία
Map to HMS unit	Μετατρέπει τα δεδομένα σε μονάδες συμβατές στο HMS
HMS check data	Ελέγχει την ορθότητα των δεδομένων
HMS schematic	Δημιουργεί ένα απλό υδρολογικό δίκτυο και αποτυπώνει τη συνδεσιμότητα των κόμβων (nodes) και των διαύλων (Link)
HMS legend	Αποτυπώνει με εικονίδια στοιχεία κόμβων και διαύλων
Add co-ordinates	Εξαγωγή συντεταγμένων στα στοιχεία κόμβων και διαύλων
Prepare data for model export	Κωδικοποιεί σε πίνακες τα δεδομένα σε μορφή ASCII για να συγκροτηθεί το μοντέλο λεκάνης (basin model)
Background map – Basin File	Εξαγωγή χάρτη αναγνώσιμου σε περιβάλλον HMS
HMS Project setup	Δημιουργία τελικού αρχείου δεδομένων εισόδου για το HMS

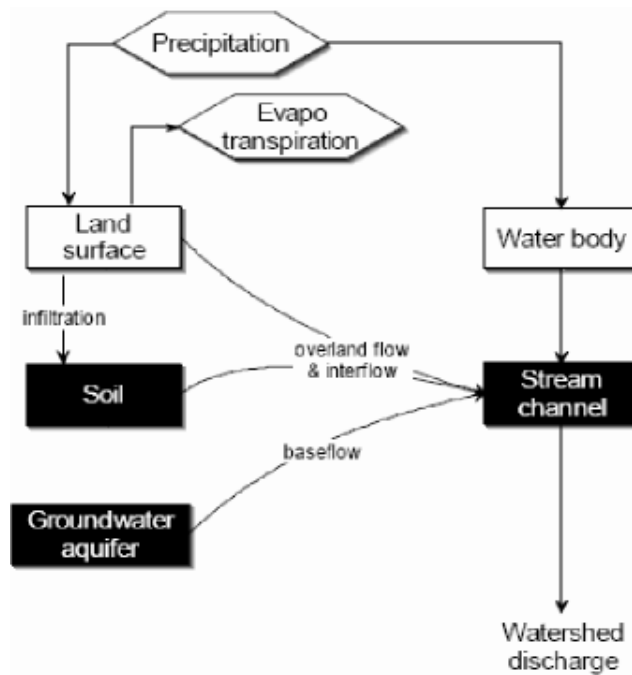
3.2 Υδρολογική Απόκριση Λεκάνης

Σκοπός του συγκεκριμένου τμήματος της εργασίας είναι η ανάλυση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης μελέτης για συγκεκριμένα επεισόδια βροχής. Η επεξεργασία γίνεται σε περιβάλλον HEC-HMS και ακολουθεί τα βήματα, τα οποία παρουσιάστηκαν στο σχήμα 3.1.

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS ανήκει στα προσδιοριστικά παραμετρικά μοντέλα και βασίζεται στη θεωρία του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος για τη μετατροπή της βροχής σε απορροή. Σχεδιάστηκε από το σώμα μηχανικών του Αμερικανικού στρατού για την προσομοίωση των διαδικασιών βροχής-απορροής σε λεκάνες με δένδροειδή μορφή. Είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε μεγάλες λεκάνες απορροής της υπαίθρου αλλά και σε μικρές αστικές λεκάνες. Τα υδρογραφήματα, που παράγει, χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων, καθώς η χρησιμότητά τους είναι εμφανής σε περιπτώσεις όπως: μελέτες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, αποστραγγιστικά έργα, μελέτες πρόγνωσης πλημμυρών, σχεδιασμό υπερχειλιστών φραγμάτων κ.α. (Feldman 2000). Η αναπαράσταση των διαδικασιών βροχής απορροής απλοποιείται και μοντελοποιείται σε περιβάλλον HEC-HMS ως παρατίθεται στα ακόλουθα σχήματα 3.7 και 3.8.



Σχήμα 3.7: Απεικόνιση διεργασιών βροχής - απορροής (Feldman 2000).



Σχήμα 3.8: Μοντελοποίηση απορροής από το HEC-HMS (Feldman 2000).

Από την παράθεση του πραγματικού συστήματος και του αντίστοιχου απλοποιημένου μοντέλου HMS παρατηρείται η λεπτομερής ανάλυση μόνο εκείνων των στοιχείων που απαιτούνται για την πρόβλεψη της απορροής. Τα υπόλοιπα είτε συγχωνεύονται είτε αμελούνται. Για παράδειγμα το HMS μπορεί να παραλείπει τη λεπτομερή ανάλυση της κίνησης του νερού εντός του εδάφους αλλά και του υδροφορέα, θεωρεί ότι η υπεδάφια και η επιφανειακή ροή μπορούν να θεωρηθούν ως άμεση απορροή και τέλος αγνοεί την εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Οι παράμετροι, που λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά είναι βέβαια απόφαση του μελετητή και εξαρτάται από το είδος της μελέτης.

Το HEC-HMS χωρίζει τον υδρολογικό κύκλο σε επιμέρους συνιστώσες και αντιμετωπίζει την καθεμία ξεχωριστά. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τα μαθηματικά μοντέλα για καθεμία διαδικασία χωριστά και να κάνει τους δικούς του συνδυασμούς ή ακόμη και να κάνει σύγκριση μεταξύ των διάφορων προτύπων. Φυσικά, κάθε μαθηματικό πρότυπο έχει συγκεκριμένους περιορισμούς και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση, καθώς οι συνθήκες ποικίλουν. Η σωστή επιλογή επαφίεται στην κρίση του μελετητή και τους στόχους που έχει θέσει για τη μελέτη του, καθώς επίσης και στον αριθμό των διαθέσιμων δεδομένων.

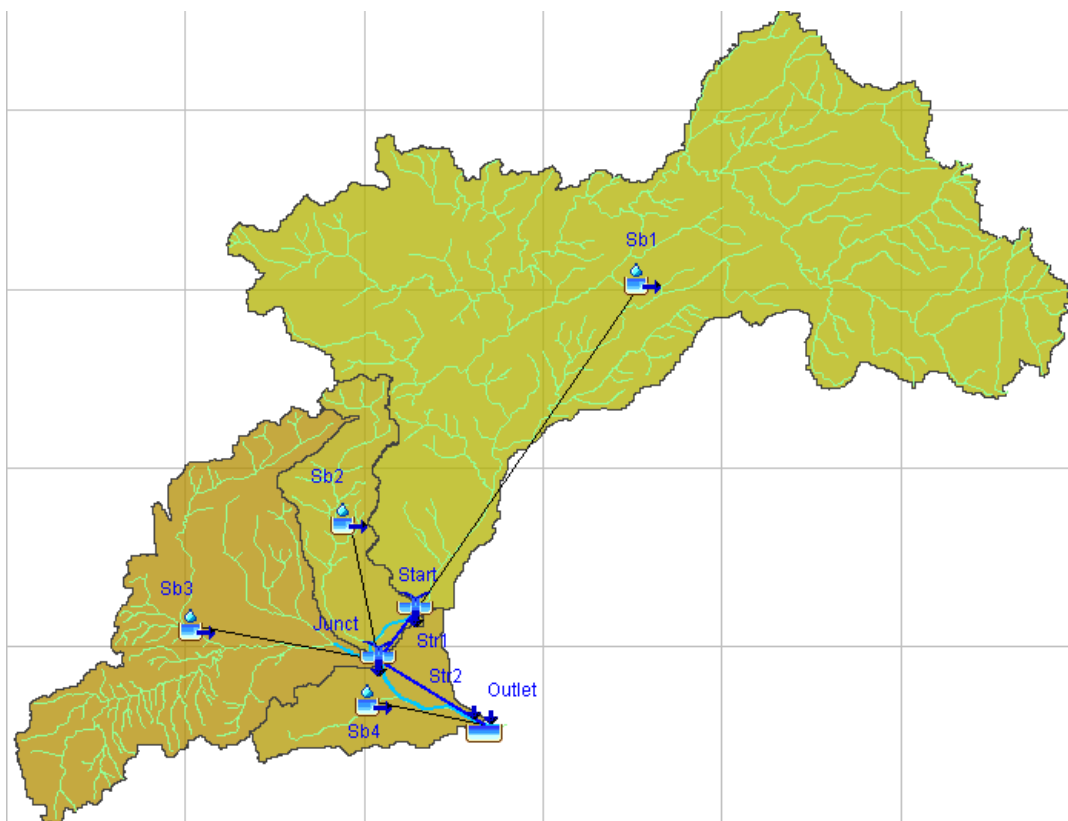
Τα μαθηματικά πρότυπα που διατίθενται στο HEC-HMS - κατ' αντιστοιχία με τις διαδικασίες που περιγράφει - χωρίζονται σε:

- Πρότυπα υπολογισμού απωλειών βροχής
- Πρότυπα υπολογισμού άμεσης απορροής
- Πρότυπα υπολογισμού βασικής απορροής
- Πρότυπα διόδευσης υδρογραφήματος

3.2.1 Μοντέλο Λεκάνης Απορροής (Basin Model Component)

Μέσω των βημάτων του HEC-GeoHMS, τα οποία παρουσιάστηκαν στον πίνακα 3.3, δημιουργήθηκε ένα αρχείο μοντελοποίησης της λεκάνης απορροής. Το αρχείο εισάγεται στο HEC-HMS με την εντολή `import -> basin model` και στην οθόνη του χρήστη προβάλλεται μια απλοποιημένη δομή της λεκάνης ως ένα σύστημα κόμβων και διαύλων, που συνδέουν διάφορα υδρολογικά στοιχεία (hydrologic elements).

Ο χρήστης μπορεί επίσης να παραθέσει και τους χάρτες υποβάθρου της λεκάνης και του ποταμού για να έχει μια εποπτική εικόνα. Η λειτουργία αυτή γίνεται μέσω της εντολής `view -> background maps`, όπου εκεί φορτώνονται οι χάρτες (σε μορφή `.shp`), που δημιουργήθηκαν από το HEC-GeoHMS, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Μοντέλο λεκάνης απορροής.

Τέλος, η κατάρτιση του μοντέλου λεκάνης προϋποθέτει την επιλογή

προτύπων για τον υπολογισμό των απωλειών της βροχής και τον υπολογισμό της άμεσης απορροής. Εν συνεχεία, γίνεται μικρή αναφορά των επιλογών που προσφέρονται για την όσο το δυνατόν πληρέστερη αποτύπωση των δυνατοτήτων του μοντέλου HMS.

3.2.1.1 Πρότυπο υπολογισμού απωλειών βροχής

Ο τρόπος έκφρασης των απωλειών βροχής στον υδρολογικό κύκλο έχει να κάνει με τη χρονική κλίμακα στην οποία εξετάζονται. Όταν εξετάζεται κλίμακα έτους ή και μεγαλύτερη, οι απώλειες βροχής (διαφορά όγκου κατακρημνισμάτων και όγκου απορροής) οφείλονται στην εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Σε μικρότερη όμως κλίμακα, και ειδικά στην περίπτωση ενός μεμονωμένου γεγονότος βροχόπτωσης, οι απώλειες αυτές θεωρούνται αμελητέες σε σύγκριση με τον όγκο απορροής (Ντοανίδης 2007). Στις περιπτώσεις αυτές ως απώλειες λαμβάνεται ο όγκος του νερού που κατακρατείται σε κοιλότητες του εδάφους και ο όγκος που διηθείται.

Τα μαθηματικά πρότυπα, που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της διήθησης είναι εμπειρικά ή ημιεμπειρικά αφού αδυνατούν να κάνουν ακριβή θεώρηση των φυσικών μηχανισμών.

Η μέθοδος της SCS αποτελεί ένα ρεαλιστικό πρότυπο για τον υπολογισμό των απωλειών της βροχόπτωσης. Η ευρεία εφαρμογή του οφείλεται κύρια στην ανάγκη καθορισμού μόνο μιας παραμέτρου - του αριθμού CN, ο οποίος είναι συνάρτηση του τύπου εδάφους, της χρήσης γης και της περατότητας του εδάφους.

Δόμηση προτύπου και εξισώσεις

Καθώς το έδαφος δέχεται τα κατακρημνίσματα για ένα διάστημα t_0 όλη η ποσότητα βροχής κατακρατείται και διηθείται. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε ένα αρχικό έλλειμμα h_0 .

Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος αρχίζει η ενεργός βροχόπτωση, η οποία συνεπάγεται ποσότητες βροχής, που απορρέουν επιφανειακά και άλλες που συνεχίζουν να κατακρατούνται μέχρι ενός ορίου, γνωστού ως «δυναμική μέγιστη κατακράτηση S». Το μέγιστο ύψος της ενεργού βροχόπτωσης h_e δεν μπορεί να υπερβεί την ποσότητα της διαφοράς του αρχικού ελλείμματος h_0 από τη συνολική ακαθάριστη βροχόπτωση h .

Η μέθοδος υπολογίζει το ενεργό ύψος βροχής σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση (Natural Resources Conservation Service):

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h-0.2S)^2}{h+0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (\text{E.3.1})$$

Η παραπάνω εξίσωση επιτρέπει την πλήρη μελέτη της χρονικής εξέλιξης του φαινομένου, αλλά ο προσδιορισμός της τιμής S απαιτεί την ύπαρξη δεδομένων για την απορροή. Αν αυτά τα δεδομένα δεν υπάρχουν τότε ακολουθείται άλλη εμπειρική μεθοδολογία για την εκτίμηση της παραμέτρου S , μέσω μιας άλλης παραμέτρου, του αριθμού καμπύλης απορροής CN . Οι δύο παράμετροι συνδέονται με την ακόλουθη έκφραση (Natural Resources Conservation Service):

$$S_{[mm]} = 254 \left(\frac{100}{CN} \right) - 1 \quad (\text{E.3.2})$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100 και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους, τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής, καθώς και τις πρότερες συνθήκες υγρασίας.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι χρήσεις γης από το Corinne 2000 και αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκαν τα $CN(CNII)$ για κάθε κατηγορία εδάφους και χρήσεις γης από τους πίνακες 3.4, 3.5 και 3.6.

Σημειώνεται ότι με την αύξηση της πρότερης εδαφικής υγρασίας (Τύπος III) μειώνεται η μέγιστη εδαφική κατακράτηση και επομένως και οι απώλειες, ενώ αντίστροφα συμβαίνει για μείωση της πρότερης εδαφικής υγρασίας (Τύπος I).

Πίνακας 3.4: Τύποι συνθηκών υγρασίας κατά SCS (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

- 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).

Πίνακας 3.5: Τύποι εδαφών κατά SCS ανάλογα με τη διαπερατότητά τους (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

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

Πίνακας 3.6 : CN για χρήσεις γης Corine 2000 (Fausto Miliani, Giovanni Ravazzani, Marco Mancini).

<u>CORINE land cover class</u>	<u>Hydrologic soil group</u>			
	A	B	C	D
1.1.1 Continuous urban fabric	89	92	94	95
1.1.2 Discontinuous urban fabric	77	85	90	92
1.2.1 Industrial or commercial units	81	88	91	93
1.2.2 Road and rail networks and associated land	98	98	98	98
1.2.3 Port areas	81	88	91	93
1.2.4 Airports	72	82	87	89
1.3.1 Mineral extraction sites	72	82	87	89
1.3.2 Dump sites	72	82	87	89
1.3.3 Construction sites	72	82	87	89
1.4.1 Green urban areas	68	79	86	89
1.4.2 Sport and leisure facilities	49	69	79	84
2.1.1 Nonirrigated arable land	49	69	79	84
2.1.2 Permanently irrigated land	49	69	79	84
2.1.3 Rice fields	59	70	78	81
2.2.1 Vineyards	67	77	83	87
2.2.2 Fruit trees and berry plantations	65	75	82	86
2.2.3 Olive groves	65	75	82	86
2.3.1 Pastures	49	69	79	84
2.4.1 Annual crops associated with permanent crops	62	71	78	81
2.4.2 Complex cultivation patterns	67	78	85	89
2.4.3 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation.	67	78	85	89

2.4.4 Agroforestry areas	45	66	77	83
3.1.1 Broad-leaved forest	60	65	70	77
3.1.2 Coniferous forest	60	65	70	77
3.1.3 Mixed forest	60	65	70	77
3.2.1 Natural grassland	60	65	74	80
3.2.2 Moors and heathland	60	65	74	80
3.2.3 Sclerophyllous vegetation	60	65	74	80
3.2.4 Transitional woodland-scrub	60	65	74	80
3.3.1 Beaches, dunes, sands	25	55	70	77
3.3.2 Bare rocks	68	79	86	89
3.3.3 Sparsely vegetated areas	68	79	86	89
3.3.4 Burnt areas	68	79	86	89
3.3.5 Glaciers and perpetual snow	79	79	79	79
4.1.1 Inland marshes	98	98	98	98
5.1.1 Water courses	99	99	99	99
5.1.2 Water bodies	99	99	99	99
5.2.1 Coastal lagoons	99	99	99	99

Επειδή όμως κάθε λεκάνη δεν απαρτίζεται από μία μόνο χρήση γης και τύπο εδάφους, υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος αριθμός καμπύλης απορροής από την εξής σχέση:

$$CN_{\text{μέσο}} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (\text{E.3.3})$$

όπου CN : ο αριθμός καμπύλης απορροής παίρνει τιμές από 35 (εδάφη με τη μεγαλύτερη διήθηση) μέχρι 98 (αδιαπέρατες επιφάνειες).

Η διαδικασία για τον υπολογισμό του αριθμού CN για κάθε υπολεκάνη βασίζεται στη χρήση συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας και συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- Εισαγωγή του χάρτη με τα όρια των υπολεκανών απορροής, για τις οποίες θα υπολογιστεί ο αριθμός CN
- Εισαγωγή χαρτών με υδρολιθολογικούς τύπους εδαφών και χρήσεις γης
- Επικάλυψη των 2 χαρτών για την εξαγωγή ενός συγχωνευμένου χάρτη, που περιέχει τα χαρακτηριστικά και των 2 (εντολή intersect στην εργαλειοθήκη arctoolbox του arcmap)
- Δημιουργία πίνακα αναφοράς με τις τιμές CN για συνδυασμούς εδαφών και χρήσεων (προετοιμασία σε excel και εισαγωγή σε

arcmap)

- Δημιουργία GRID με τον αριθμό CN για κάθε κελί (από το μενού utility του project view του HEC-GeoHMS – εντολή Generate CN grid)
- Υπολογισμός μέσου όρου CN για κάθε υπολεκάνη με την εισαγωγή του μαθηματικού τύπου για τον σταθμισμένο μέσο όρο (από το μενού spatial analyst του ArcMap – εντολή Map Algebra).

Ο πίνακας 3.7 που ακολουθεί παρουσιάζει το σταθμισμένο μέσο όρο του CN ανά υπολεκάνη καθώς και το ποσοστό των αδιαπέρατων περιοχών (impervious).

Πίνακας 3.7: Μέσος σταθμισμένος μέσος όρος του CN και ποσοστού αδιαπέρατων περιοχών.

Υπολεκάνες	1	2	3	4
CN	76.74	80.29	73.39	70.09
Impervious(%)	1.45	15.37	17.58	11.20

Ο χρήστης λοιπόν μεταβαίνει στο παράθυρο Transform και τοποθετεί τον αριθμό CN της λεκάνης. Στο πεδίο initial abstraction ο χρήστης θέτει τιμή για το αρχικό έλλειμμα. Αν αυτό αγνοηθεί τότε το πρόγραμμα θεωρεί ότι το αρχικό έλλειμμα ισούται με το 20% της δυνητικής μέγιστης κατακράτησης, κάτι στο οποίο βασίζεται άλλωστε και η κύρια σχέση για τον υπολογισμό του ενεργού ύψους βροχής. Τέλος, για τη μέθοδο της SCS, χρειάζεται το ποσοστό των αδιαπέρατων περιοχών ώστε το μοντέλο να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

3.2.1.2 Πρότυπο υπολογισμού βασικής ροής

Το σχήμα ενός υδρογραφήματος που προκαλείται από μια βροχή με σχετικά μικρή διάρκεια και καλύπτει όλη την υδρολογική λεκάνη έχει κατά κανόνα μία πρότυπη μορφή. Η μορφή αυτή είναι κωδωνοειδούς σχήματος (Μιμίκου και Μπαλτάς 2003) εμφανίζει στην αρχή έναν ανοδικό κλάδο, που σημαίνει ότι κατά τη διάρκειά του η παροχή του υδατορρεύματος συνεχώς αυξάνει μέχρι μια μέγιστη τιμή και κατόπιν ακολουθεί ένας καθοδικός κλάδος όπου η παροχή μειώνεται συνεχώς και μπορεί να φτάσει και στο μηδέν, εξαρτώμενη από την ύπαρξη ή όχι βασικής ροής. Η μέγιστη αιχμή, που προκαλείται από μια βροχή δεδομένης διάρκειας και εντάσεως, εμφανίζεται όταν όλα τα τμήματα της υδρολογικής λεκάνης συνεισφέρουν νερό, όταν δηλαδή το μέρος της λεκάνης που βρίσκεται πιο κοντά στην έξοδό της εξακολουθεί να συνεισφέρει νερό όταν και το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της

έχει φθάσει στην έξοδο.

Το HEC-HMS χρησιμοποιεί διάφορα πρότυπα για τον υπολογισμό της βασικής ροής, με το πιο δημοφιλές να είναι αυτό της εκθετικής μείωσης. Στην παρούσα εργασία, εφόσον υπολογίζουμε το υδρογράφημα σχεδιασμού, ως δυσμενέστερη περίπτωση αποφασίσθηκε η μη ενσωμάτωση της βασικής ροής στο υδρολογικό μοντέλο.

3.2.1.3 Πρότυπο υπολογισμού άμεσης απορροής

Η άμεση απορροή είναι φυσική συνέπεια της ενεργού βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με τη συνολική βροχόπτωση μείον τις απώλειες. Έτσι καθορίζεται ο συνολικός όγκος της άμεσης απορροής, όχι όμως και η χρονική κατανομή του. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν διάφορα μαθηματικά πρότυπα τα οποία πιο συγκεκριμένα προσδιορίζουν το χρόνο και την τιμή της παροχής αιχμής, τη διάρκεια της άμεσης απορροής και το χρόνο υστέρησης της άμεσης απορροής, που ορίζεται ως η χρονική διαφορά ανάμεσα στο κέντρο βάρους της ενεργού βροχόπτωσης και της παροχής αιχμής. Η ανάπτυξη αυτών των μοντέλων ακολούθησε δύο διαφορετικούς δρόμους. Από τη μία αναπτύχθηκαν τα μοντέλα φυσικής βάσης όπως το πρότυπο του κινηματικού κύματος, τα οποία στηρίζονται στις θεμελιώδεις εξισώσεις της υδραυλικής και από την άλλη αναπτύχθηκαν τα μοντέλα που στηρίζονται στη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος (Ντοανίδης, 2007). Τα πρώτα απαιτούν τη γνώση πολλών παραμέτρων, υδραυλικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, και για το λόγο αυτό είναι δύσχρηστα αφού συνήθως δεν υπάρχουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα. Τα δεύτερα παρότι εμπεριέχουν απλουστευτικές παραδοχές και περιορισμούς, παρέχουν αρκετά καλές προσεγγίσεις και είναι πιο εύκολα στην εφαρμογή τους.

Βασικές αρχές του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι το υδρογράφημα που προκαλείται από ενεργό βροχή ύψους 10mm, ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την έκταση της λεκάνης και έχει σταθερή ένταση.

Βασικές αρχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η αρχή της αναλογίας και η αρχή τα επαλληλίας. Σύμφωνα με την πρώτη, δύο ενεργές βροχές ίσης διάρκειας αλλά διαφορετικών εντάσεων, προκαλούν υδρογραφήματα που έχουν την ίδια χρονική βάση και σε κάθε χρονική στιγμή ο λόγος των παροχών τους είναι ίσος με το λόγο των εντάσεών τους. Η αρχή αυτή είναι άμεσα συνυφασμένη με τη γραμμικότητα της λεκάνης απορροής. Σύμφωνα με τη δεύτερη, το υδρογράφημα που προκαλείται από επιμέρους βροχές έχει τεταγμένες (παροχές) ίσες με το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων για κάθε χρονική στιγμή.

Εκτός από αυτές τις βασικές αρχές (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2003), η θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος στηρίζεται στις εξής παραδοχές:

1. Σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής, ενεργές βροχές ίσης διάρκειας αλλά με διαφορετική ένταση, δίνουν άμεσα υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση.
2. Σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια βροχή είναι ανεξάρτητη από προηγούμενες βροχοπτώσεις ή τις επόμενες.
3. Η κατάσταση της λεκάνης απορροής παραμένει αμετάβλητη σε σχέση με το χρόνο.

Τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα χρησιμοποιούνται στις θέσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις. Οι μέθοδοι αυτές είναι εμπειρικές και μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στον προσδιορισμό των παραμέτρων που αφορούν τον υπολογισμό της αιχμής και του χρόνου υστέρησης. Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν οι εξής μέθοδοι δημιουργίας ΜΥΓ :

- Μέθοδος ΜΥΓ Snyder
- Μέθοδος ΜΥΓ Clark(ισόχρονες καμπύλες)
- Μέθοδος ΜΥΓ SCS

Το θεωρητικό υπόβαθρο των μεθόδων καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

(Σημειώνεται ότι αναλυτικές πληροφορίες τόσο για την υπολογιστική διαδικασία που ακολουθεί το HEC-HMS όσο και για τον υπολογισμό των παραμέτρων βρίσκονται στο Technical Reference Manual του HEC-HMS στο Chapter 6).

ΜΥΓ Snyder

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder βασίζεται στις ακόλουθες σχέσεις:

$$t_l = 5.5t_r \quad (E.3.4)$$

όπου t_l ο χρόνος υστέρησης και t_r η διάρκεια της ενεργού βροχόπτωσης.

Ο χρόνος υστέρησης υπολογίζεται από τα μορφολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής αλλά και από τα στοιχεία υδρολογίας της περιοχής, με βάση τη σχέση:

$$t_l = C_1 C_i (LL_c)^{0.3} \quad (E.3.5)$$

$$q_p = \frac{C_2 C_p A}{t_l} \quad (E.3.6)$$

$$T_{base} = 3 + \frac{t_l}{8} \quad (E.3.7)$$

όπου:

C_1 : συντελεστής που παίρνει την τιμή 0,75 για το μετρικό σύστημα (για μετατροπή μονάδων)

C_i : συντελεστής που αντιπροσωπεύει τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και παίρνει τιμές από 1,80 έως 2,20 με μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν σε λεκάνες με μικρές κλίσεις

L : το μήκος του κυρίου υδατορρέυματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης απορροής μέχρι την έξοδο σε km

L_c : το μήκος του κυρίου υδατορρέυματος από το πλησιέστερο σημείο στο κέντρο βάρους της λεκάνης απορροής μέχρι την έξοδο σε km

q_p : παροχή αιχμής σε m^3/sec

C_2 : συντελεστής που παίρνει την τιμή 2,75 στο μετρικό σύστημα

C_p : συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις συνθήκες μεταφοράς του πλημμυρικού κύματος και της αποθήκευσης της λεκάνης απορροής και κυμαίνεται από 0,4 έως 0,8, με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν σε λεκάνες απορροής με μεγάλες κλίσεις.

A : το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε km^2

T_{base} : η χρονική βάση του υδρογραφήματος σε ημέρες

Αν το ζητούμενο συνθετικό ΜΥ έχει διάρκεια $T_r' > t_r$ τότε ο χρόνος υστέρησης διορθώνεται με τη σχέση:

$$T_l' = t_l + 0.25(T_r' - t_r) \quad (E.3.8)$$

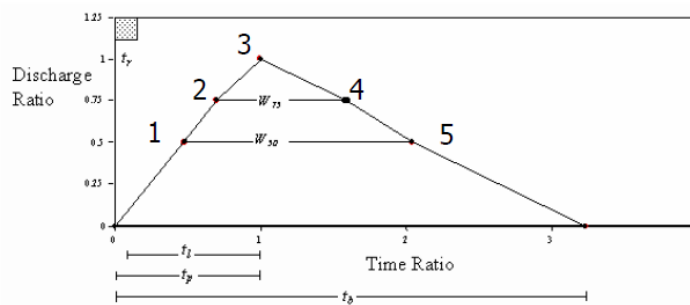
Η διορθωμένη τιμή του χρόνου υστέρησης πρέπει να αντικατασταθεί στις προηγούμενες εξισώσεις για να υπολογιστούν οι διορθωμένες τιμές της παροχής αιχμής και του χρόνου βάσης του υδρογραφήματος. Με τις διορθωμένες τιμές μπορούν πλέον να υπολογιστούν τα πλάτη W_{50} και W_{75} με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$W_{50} = 2,143 \left(\frac{q_p'}{A} \right)^{-1,08} \quad (E.3.9)$$

$$W_{75} = 1,225 \left(\frac{q_p'}{A} \right)^{-1,08} \quad (\text{E.3.10})$$

Από την εφαρμογή της ως άνω μεθοδολογίας προκύπτουν τέσσερα σημεία του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος με τις συντεταγμένες του παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.10).

Σημείο	X	Y
1.	$T_1 - W_{50}/3$	$0.5 Q_p$
2.	$T_1 - W_{75}/3$	$0.75 Q_p$
3.	T_1	Q_p
4.	$T_1 + (2 * W_{75}/3)$	$0.75 Q_p$
5.	$T_1 + (2 * W_{50}/3)$	$0.5 Q_p$



Σχήμα 3.10: Σύνθετο μοναδιαίο υδρογράφημα με τη μέθοδο του Snyder.

Σε περιβάλλον HEC-HMS, ο χρήστης καλείται να δώσει τιμές δύο παραμέτρων, οι οποίες είναι ο χρόνος υστέρησης t_1 και ο συντελεστής C_p . Ο χρόνος υστέρησης για κάθε υπολεκάνη υπολογίζεται μέσω της ήδη αναφερθείσας σχέσης (E.3.5).

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό του χρόνου υστέρησης των 4 υπολεκανών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8: Χαρακτηριστικά μεγέθη για MYG Snyder.

		Υπολεκάνες			
		1	2	3	4
	Μέση κλίση λεκάνης(%)	29.428	16.601	18.974	11.909
C_1	Μετατροπή μονάδων σε μετρικό σύστημα	0.756	0.756	0.756	0.756
C_t	Αντιπροσωπεύει τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και παίρνει τιμές από 1,80 έως 2,20 με μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν σε λεκάνες με μικρές κλίσεις	1.800	2.000	2.000	2.100
L	Μήκος του κυρίου υδατορρέυματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο σε km	31.703	10.268	13.701	5.394
L_c	μήκος του κυρίου υδατορρέυματος από το πλησιέστερο σημείο στο κεντροειδές της λεκάνης μέχρι την έξοδο σε km	12.825	3.463	3.906	2.370
t_l	$t_{lag}=C_1*C_t(L*L_c)^{0.3}$	8.252	4.414	4.990	3.410
C_p	Για την εισαγωγή στο πρόγραμμα απαιτείται και ο συντελεστής C_p (Peaking Coeff.). Ο συντελεστής κυμαίνεται μεταξύ 0.4-0.8 και με τις χαμηλότερες τιμές να αντιστοιχούν σε απότομα υδρογραφήματα. Αναφέρεται στο εγχειρίδιο του HMS ότι μεγάλες τιμές C_p αντιστοιχούν σε μικρές τιμές C_t .	0.7	0.6	0.6	0.5

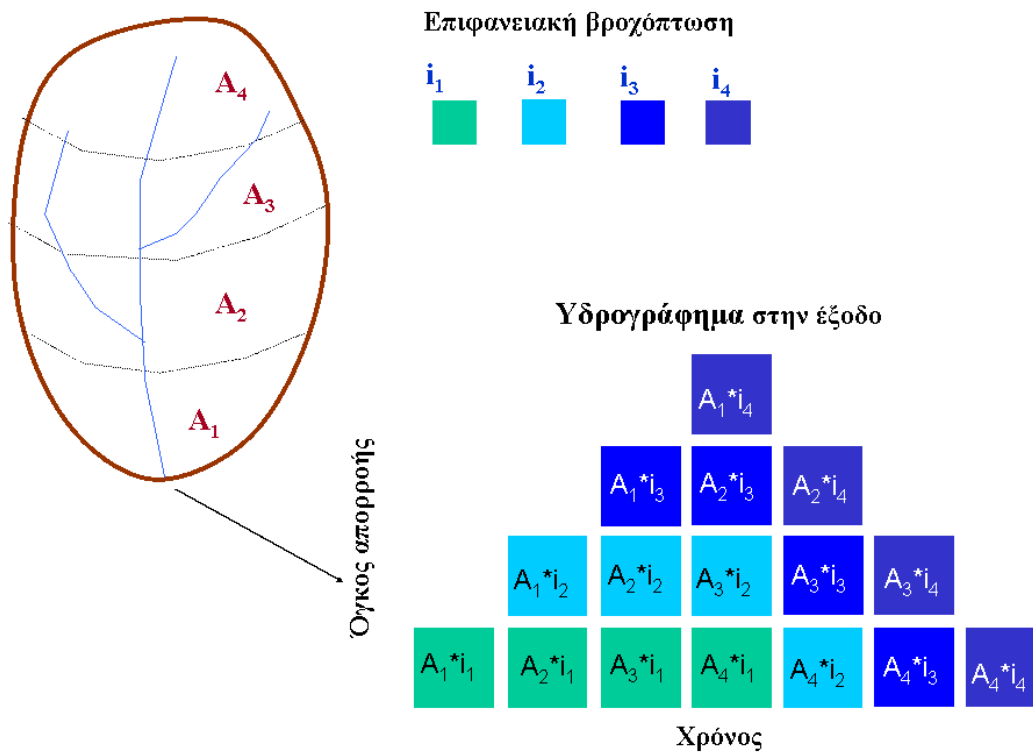
MYG Clark

Η μέθοδος των ισοχρόνων καμπυλών μετασχηματίζει την ενεργό βροχή σε υδρογράφημα, υπολογίζοντας τον χρόνο που χρειάζεται το νερό ώστε να φτάσει στην έξοδο, από κάθε γεωγραφική περιοχή της λεκάνης απορροής. Ουσιαστικά, το υδρογράφημα είναι μετασχηματισμός του ιστογράμματος της έκτασης που απορρέει στην έξοδο ανά χρονικό διάστημα. Στα αρχικά της στάδια, η μέθοδος κυρίως χρησίμευε για την κατανόηση του μηχανισμού της απορροής, αλλά με την εισαγωγή των Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ) μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά το φαινόμενο, και με κατάλληλη ρύθμιση να δώσει εύλογα υδρογραφήματα.

Σύμφωνα με την αρχική έκδοση της μεθόδου, η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε ζώνες, σε κάθε μια από τις οποίες τα όμβρια ύδατα θα κάνουν τον ίδιο χρόνο να φτάσουν στην έξοδο. Εφόσον η βροχόπτωση θεωρηθεί χωρικά ομοιόμορφη, το υδρογράφημα στην έξοδο κατά το πρώτο χρονικό διάστημα αποτελείται από τα όμβρια ύδατα της κοντινότερης ζώνης, ενώ

στη συνέχεια (και εφόσον συνεχίζεται η ενεργός βροχόπτωση), περισσότερες ζώνες συμβάλλουν στο συνολικό υδρογράφημα.

Ο μηχανισμός δημιουργίας υδρογραφήματος με την απλή μέθοδο των ισόχρονων, σε μια υποθετική λεκάνη απορροής που χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες ίσου εμβαδού, οι οποίες δέχονται ενεργό βροχόπτωση ίσης έντασης, φαίνεται στο κάτω σχήμα (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11: Μηχανισμός δημιουργίας υδρογραφήματος σε μια υποθετική λεκάνη απορροής που χωρίζεται σε ζώνες διαφορετικού εμβαδού, οι οποίες δέχονται διαφορετική βροχόπτωση.

Στη γενική περίπτωση, η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε n ζώνες με εμβαδά A_1, A_2, \dots, A_n , οι οποίες απορρέουν σε χρόνους $t = 1, 2, \dots, n$, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3.12). Εφόσον σημειωθεί συνολική βροχόπτωση διάρκειας ίσης με το χρόνο συγκέντρωσης, με επιμέρους εντάσεις βροχής i_1, i_2, \dots, i_n , τότε η απορροή σε κάθε χρονικό βήμα είναι:

$$Q_n = i_n A_1 + i_{n-1} A_2 + \dots + i_1 A_n \quad (\text{E.3.11})$$

IA = Αρχική κατακράτηση , in

RTIMP = Αδιαπέρατες περιοχές σε μορφή κλάσματος

Τελικά λόγω απουσίας δεδομένων έγινε η παραδοχή ότι $R=1.165 \cdot T_c$

Ακολουθεί πίνακας με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς (πίνακας 3.9).

Πίνακας 3.9:Γεωμετρικά δεδομένα μεθόδου MYΓ Clark ανά υπολεκάνη.

	Υπολεκάνες				Μονάδες
T_c	4.196	2.821	3.894	3.273	hrs
A	73.681	7.246	22.917	6.010	km
H_m	611.100	140.500	168.350	47.750	m
H_{min}	15.930	6.050	5.920	1.020	m
H_{max}	1593.470	340.000	460.000	260.000	m
R	4.888	3.287	4.536	3.813	hrs

MYΓ SCS

Το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS είναι ένα συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα στο οποίο η παροχή εκφράζεται ως λόγος της παροχής ως προς την παροχή αιχμής q_p και ο χρόνος ως λόγος του χρόνου προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος T_p . Με δεδομένα την παροχή αιχμής και τη χρονική επιβράδυνση για συγκεκριμένη διάρκεια περισεύματος βροχόπτωσης, το μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να εκτιμηθεί από το συνθετικό αδιάστατο υδρογράφημα για μια δεδομένη λεκάνη.

Το παρακάτω σχήμα 3.13 απεικονίζει το αδιάστατο υδρογράφημα το οποίο έχει προέλθει από τα μοναδιαία υδρογραφήματα σε διαφορές λεκάνες απορροής. Οι τιμές του q_p και του T_p μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας ένα απλοποιητικό μοντέλο ενός τριγωνικού μοναδιαίου υδρογραφήματος όπου χρόνος απόσυρσης λαμβάνεται άσος με $1,67 T_p$. Η επιφάνεια που περικλείεται από την καμπύλη του μοναδιαίου υδρογραφήματος πρέπει να είναι ίση με άμεση απορροή ύψους 1 cm. Η παροχή αιχμής q_p είναι:

$$q_p = \frac{C \cdot A}{T_p} \quad (\text{E.3.14})$$

όπου :

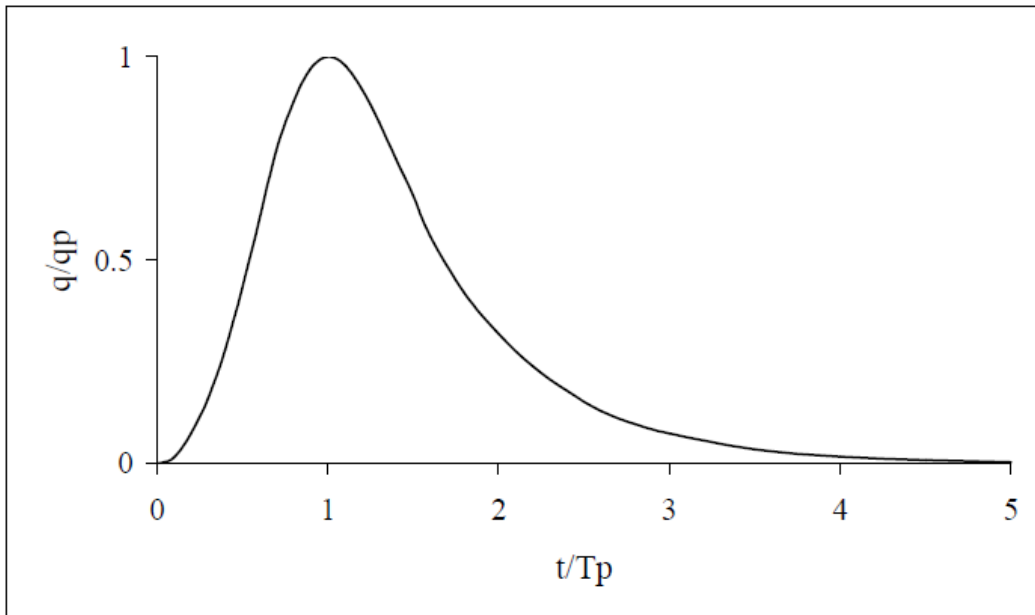
$$C=2.08$$

A : η επιφάνεια της λεκάνης απορροής σε km²

T_p : ο χρόνος ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε hr

Επιπλέον η επεξεργασία μοναδιαίων υδρογραφημάτων σε μικρές και μεγάλες λεκάνες απορροής έδειξε ότι η χρονική επιβράδυνση της λεκάνης t_p είναι περίπου ίση με 0,6 t_c (χρόνος συγκέντρωσης). Από το παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι ο χρόνος T_p μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της χρονικής επιβράδυνσης και της διάρκειας του περισσέυματος βροχόπτωσης t_R.

$$T_p = 0.5t_R + t_p \quad (E.3.15)$$



Σχήμα 3.13: Απεικόνιση του αδιάστατου υδρογραφήματος.

Για την εφαρμογή του προγράμματος ο χρήστης καλείται να εισάγει μόνο τον χρόνο υστέρησης (t_{lag}).

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του χρόνου υστέρησης t_{lag} (University of Twente) :

$$t_{lag} = \frac{2.587 * L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 * H^{0.5}} \quad (E.3.16)$$

όπου :

L: το μήκος του κυρίου υδατορρεύματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης απορροής μέχρι την έξοδο σε km

H: το ποσοστό μέσης κλίσης του κυρίως υδατορρεύματος

Ο παραπάνω τύπος είναι μετατροπή σε μετρικό σύστημα του τύπου που βρίσκεται στη βιβλιογραφία ((Environmental Modeling Systems) :

$$T_{LAG} = L^{0.8} \frac{(S+1)^{0.1}}{1900\sqrt{Y}} \quad (E.3.17)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (E.3.18)$$

Οι χρόνοι υστέρησης για κάθε υπολεκάνη βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα 3.10.

Πίνακας 3.10: Χρόνοι υστέρησης ανά υπολεκάνη.

	Υπολεκάνες			
	1	2	3	4
t_{lag}	2.657	1.288	1.862	1.221

3.2.1.4 Πρότυπο διόδευσης πλημμύρας

Τα μοντέλα διόδευσης που είναι διαθέσιμα στο πρόγραμμα είναι τα εξής:

- Lag
- Muskingum
- Modified Puls
- Κινηματικού κύματος
- Muskingum Cunge

Καθένα από τα παραπάνω μοντέλα υπολογίζει ένα υδρογράφημα για τα κατάντη, αφού εισαχθεί ένα ανάντη υδρογράφημα ως οριακή συνθήκη. Αυτό γίνεται επιλύοντας τις εξισώσεις συνέχειας και δυναμικού.

Για τη διόδευση υδρογραφήματος, επιλέχτηκε το πρότυπο Muskingum – Cunge. Παρόλο που θα ακολουθήσει υδραυλική προσομοίωση του ποταμού η διόδευση μέσω HMS έγινε για δυο βασικούς λόγους. Ο πρώτος είναι ότι δεν έχουμε παρατηρημένα δεδομένα και θα ήταν καλό να υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης μεταξύ των δυο προσομοιώσεων και δεύτερον ότι πιθανών να χρειαζόμαστε διόδευμένα υδρογραφήματα για συγκεκριμένες θέσεις του ποταμού (π.χ. συμβολή) για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα HEC-RAS.

Το μοντέλο του Muskingum, αν και είναι εύχρηστο και δημοφιλές, εμπεριέχει παραμέτρους οι οποίες δεν έχουν φυσικό νόημα και είναι δύσκολο να εκτιμηθούν. Επιπλέον, το μοντέλο αυτό βασίζεται σε υποθέσεις οι οποίες συχνά παραβιάζονται στα φυσικά κανάλια. Η προέκτασή του, το μοντέλο Muskingum-Cunge, ξεπερνά αυτούς τους περιορισμούς (Κουλίκας, 2009).

Το μοντέλο βασίζεται στην επίλυση της ακόλουθης μορφής της εξίσωσης συνέχειας (με δευτερεύουσα εισροή, q_L):

$$\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} = q_L \quad (\text{E.3.19})$$

Και η μορφή διάχυσης της εξίσωσης δυναμικού είναι:

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{E.3.20})$$

Ο συνδυασμός αυτών των δύο εξισώσεων (E.3.19 και 3.20), και με τη χρήση μια γραμμικής προσέγγισης δίνει την εκ μεταφοράς εξίσωση διάχυσης:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + c q_L \quad (\text{E.3.21})$$

Όπου

c : η ταχύτητα κύματος και

μ : η υδραυλική διάχυση.

Η ταχύτητα κύματος και η υδραυλική διάχυση εκφράζονται ως:

$$c = \frac{\partial Q}{\partial A} \quad (\text{E.3.22}) \quad \text{και} \quad \mu = \frac{q}{2BS_o} \quad (\text{E.3.22})$$

Όπου, B : το πλάτος της επιφάνειας. Μια προσέγγιση πεπερασμένων διαφορών των μερικών παραγώγων, συνδυαζόμενη με την (E.3.23), δίνει την (E.3.24).

$$O_t = \left(\frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_t + \left(\frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_{t-1} + \left(\frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \right) O_{t-1} \quad (\text{E.3.23})$$

$$O_t = C_1 I_{t-1} + C_2 I_t + C_3 O_{t-1} + C_4 (q_L \Delta x) \quad (\text{E.3.24})$$

Οι συντελεστές είναι:

$$C_1 = \frac{\frac{\Delta t}{K} + 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (\text{E.3.25})$$

$$C_2 = \frac{\frac{\Delta t}{K} - 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (\text{E.3.26})$$

$$C_3 = \frac{2(1-X) - \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (\text{E.3.27})$$

$$C_4 = \frac{2 \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (\text{E.3.28})$$

Οι παράμετροι K και X είναι:

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (\text{E.3.29})$$

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BS_o c \Delta x} \right) \quad (\text{E.3.30})$$

Καθώς τα c και B αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, οι συντελεστές C_1, C_2, C_3, C_4 θα αλλάξουν και αυτοί. Το πρόγραμμα τους υπολογίζει ξανά για κάθε χρονικό και χωρικό διάστημα χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο που πρότεινε ο Ponce (1986).

Η επιλογή των βημάτων αυτών είναι κρίσιμη. Η επιλογή γίνεται έτσι ώστε να διασφαλιστεί ακρίβεια και σταθερότητα. Το Δt επιλέγεται ως το ελάχιστο από τα ακόλουθα: το χρονικό βήμα του χρήστη από τις προδιαγραφές ελέγχου, τον χρόνο ταξιδιού μέσω του καναλιού και το $1/20^{\circ}$ του χρόνου αιχμής της εισροής με τον πιο απότομο ανοδικό κλάδο, στρογγυλοποιημένο με το κοντινότερο πολλαπλάσιο ή διαιρέτη του χρονικού βήματος του χρήστη. Αφού επιλεγεί το Δt , το Δx υπολογίζεται ως:

$$\Delta x = c \Delta t \quad (\text{E.3.31})$$

Και ισχύει ο ακόλουθος περιορισμός:

$$\Delta x < \frac{1}{2} \left(c \Delta t + \frac{Q_o}{BS_o c} \right) \quad (\text{E.3.32})$$

Εδώ Q_o : η παροχή αναφοράς, η οποία υπολογίζεται από το υδρογράφημα εισροής ως:

$$Q_o = Q_B + \frac{1}{2} (Q_{peak} - Q_B) \quad (\text{E.3.33})$$

Όπου Q_B : η βασική απορροή, και Q_{peak} : η αιχμή εισροής

Τα δεδομένα για την εισαγωγή στο πρόγραμμα φαίνονται στα παρακάτω σχήματα 3.14 και 3.15 για τα δυο τμήματα του ποταμού, αντίστοιχα.

Field	Value
Basin Name	dok2
Element Name	Str1
Time Step Method	Automatic Fixed Interval
*Length (M)	1455.815
*Slope (M/M)	0.007006
*Manning's n	0.04
Invert (M)	
Shape	Trapezoid
*Bottom Width (M)	28
*Side Slope (xH:1V)	1.6

Σχήμα 3.14: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υδατορρεύματος μέχρι την συμβολή.

Reach		Routing		Options	
Basin Name: dok2					
Element Name: Str2					
Time Step Method:	Automatic Fixed Interval				
*Length (M)	2904.027				
*Slope (M/M)	0.002014				
*Manning's n:	0.033				
Invert (M)					
Shape:	Trapezoid				
*Bottom Width (M)	30				
*Side Slope (xH:1V)	2.3				

Σχήμα 3.15: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υδατορρεύματος μετά την συμβολή

3.2.2 Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorologic Model Component)

Η κατάρτιση του μετεωρολογικού μοντέλου αφορά στην εισαγωγή των στοιχείων της μετεωρολογικής πληροφορίας, που ενσωματώνει τις απαραίτητες οριακές συνθήκες για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Η μετεωρολογική αυτή πληροφορία εισάγεται είτε μέσω παρατηρημένων βροχογραφημάτων είτε μέσω καθορισμού υποθετικών επεισοδίων βροχής με συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Στην ιδανική περίπτωση διεξάγεται υδρολογική μελέτη στην περιοχή, καταρτίζονται όμβριες καμπύλες και εκτελείται υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής με ρύθμιση (calibration) με βάση τα παρατηρημένα βροχογραφήματα.

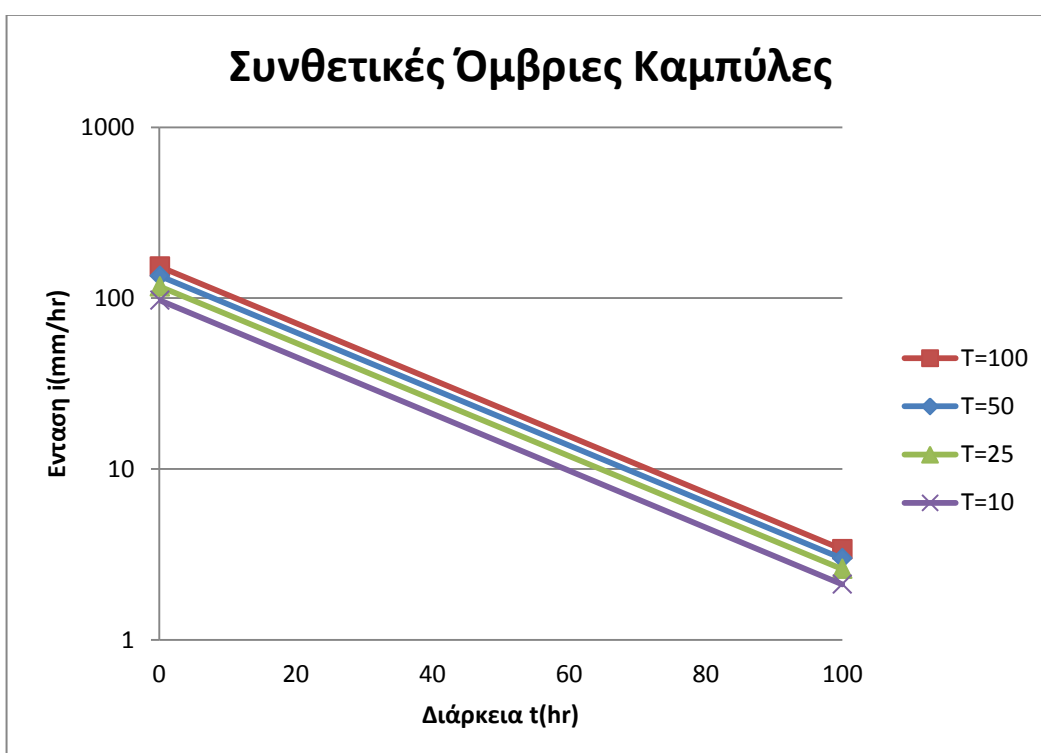
Στην παρούσα εργασία, καθώς υπάρχει απουσία δεδομένων βροχομετρίας, αποφασίστηκε η επιλογή της μεθόδου του καθορισμένου νετογραφήματος (user-specified hyetograph).

Ως αρχικό στοιχείο για την ανάλυση θα πρέπει να ληφθεί μια όμβρια καμπύλη για την περιοχή. Η όμβρια καμπύλη που χρησιμοποιήσαμε ήταν μια συνθετική όμβρια καμπύλη της περιοχής από τις όμβριες καμπύλες των περιοχών Ν. Αγκιάλου και Σωτήριου (Χούσος Ι., 2002) όπου υπάρχουν βροχογράφοι, άρα και επαρκή στοιχεία και έγινε η παραδοχή ότι η περίοδος επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού είναι ίδια με αυτή της πλημμύρας σχεδιασμού ($T_r=T_Q$). Η όμβρια καμπύλη (E.3.34) που χρησιμοποιήσαμε φαίνεται στο σχήμα 3.16 και στον πίνακα 3.11 και είναι τύπου Montana.

$$i = at^n \quad (E.3.34)$$

Πίνακας 3.11: Παράμετροι a και n των συνθετικών όμβριων καμπυλών.

Περίοδος επαναφοράς, T (έτη)	a	n
10	27.087	-0.554
25	32.817	-0.551
50	37.84	-0.551
100	42.857	-0.551



Σχήμα 3.16: Συνθετικές όμβριες καμπύλες στην περιοχή μελέτης, για επιλεγμένες περιόδους επαναφοράς.

Η μέθοδος των εναλλασσόμενων τμηματικών υψών

Ως κρίσιμη διάρκεια βροχής μιας λεκάνης ορίζεται ο χρόνος συρροής της (χρόνος συγκέντρωσης) και ως κρίσιμη ένταση, η ένταση που αντιστοιχεί σε αυτόν το χρόνο. Στην προκειμένη περίπτωση υποθέσαμε ότι η κρίσιμη διάρκεια βροχής είναι ίση με το μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης από τις 4 υπολεκάνες, $t_c=4,2$ hr, που πρόεκυψε από τη χρήση του εμπειρικού τύπου Giandotti. Οι κρίσιμες εντάσεις που προέκυψαν για περιόδους επαναφοράς $T=50$ έτη και 100 έτη είναι $i_{50}=17.16$ mm/hr και $i_{100}=19.44$ mm/hr, αντίστοιχα.

Έτσι δημιουργήθηκε υποτιθέμενο επεισόδιο βροχής διάρκειας ίσο με $t_c=4,2$ hr και για περιόδους επαναφοράς $T=50$ έτη και 100 έτη. Αρχικά υπολογίζονται τα ύψη βροχής ανά 15min με αξιοποίηση της εξίσωσης της συνθετικής όμβριας καμπύλης και εν συνεχεία γίνεται επιφανειακή αναγωγή του σημειακού ύψους βροχής με υπολογισμό συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ϕ από τη σχέση:

$$\phi = 1 - \frac{0,048 * A^{0,36 - 0,01 * \ln A}}{d^{0,35}} \quad (E.3.35)$$

Έπειτα υπολογίζεται ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής για κάθε χρονικό βήμα για κάθε υπολεκάνη. Ύστερα πολλαπλασιάζεται κάθε σημειακό ύψος βροχής h με τον ελάχιστο συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ϕ , ο οποίος πρόεκυψε για $d=4.2hr$, και λαμβάνουμε το επιφανειακό ύψος βροχής. Ο λόγος που επιλέχτηκε το ελάχιστο ϕ είναι επειδή δίνει τα μεγαλύτερα ύψη βροχής κάτι που συνάδει με την φιλοσοφία σχεδιασμού που πραγματευόμαστε στη παρούσα μελέτη. Επειδή η κάθε τιμή ύψους βροχής περιέχει και την προηγούμενη γίνεται τμηματικός υπολογισμός για κάθε ώρα και στη συνέχεια τα τμηματικά ύψη βροχής ανακατατάσσονται, ούτως ώστε η μεγαλύτερη τιμή να τοποθετείται στη μέση του επεισοδίου, η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη μια ώρα μετά, η αμέσως επόμενη μια ώρα πριν κ.ο.κ. Το τελικό βήμα αφορά στον υπολογισμό του αθροιστικού ύψους βροχής. Η μέθοδος εναλλασσόμενων υψών τοποθετεί τη μέγιστη τιμή βροχόπτωσης στο κέντρο του γεγονότος με αποτέλεσμα να οδηγεί σε μεγαλύτερες παροχές και να λειτουργεί υπέρ της ασφαλείας. Το γεγονός αυτό καθώς και η απλότητα εφαρμογής της μεθόδου καθιστούν τα δυο βασικά κριτήρια επιλογής. Ακολούθως παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαδικασία των παραπάνω βημάτων και τα αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς $T=50$ έτη για την υπολεκάνη 1 συνολικού εμβαδού $A=73,681$ km² (πίνακας 3.12).

Πίνακας 3.12: Βήματα υπολογισμού υετογραφήματος σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για $T=50$.

t(h)	t(min)	h_1	ϕ	$h * \phi$	Τμημ/κό Ύψος	Αναδ/ξη	Αθροιστικό Ύψος
0.25	15	20.306	0.973	18.722	18.722	1.687	1.687
0.5	30	27.720	0.973	25.344	6.622	1.815	3.502
0.75	45	33.255	0.973	30.256	4.912	1.973	5.475
1	60	37.840	0.973	34.308	4.052	2.177	7.652
1.25	75	41.828	0.973	37.821	3.513	2.452	10.104
1.5	90	45.396	0.973	40.957	3.136	2.853	12.958
1.75	105	48.649	0.973	43.810	2.853	3.513	16.471
2	120	51.655	0.973	46.442	2.632	4.912	21.383

2.25	135	54.460	0.973	48.894	2.452	18.722	40.105
2.5	150	57.099	0.973	51.197	2.303	6.622	46.727
2.75	165	59.595	0.973	53.374	2.177	4.052	50.779
3	180	61.970	0.973	55.442	2.068	3.136	53.914
3.25	195	64.237	0.973	57.415	1.973	2.632	56.546
3.5	210	66.411	0.973	59.305	1.889	2.303	58.849
3.75	225	68.500	0.973	61.119	1.815	2.068	60.917
4	240	70.514	0.973	62.867	1.748	1.889	62.807
4.25	255	72.460	0.973	64.555	1.687	1.748	64.555

Ο μελετητής καλείται λοιπόν, αφού καταρτίσει τα υετογραφήματα σχεδιασμού της λεκάνης απορροής, να ενσωματώσει τα δεδομένα στο HEC-HMS. Η διαδικασία συνοψίζεται στα βήματα του παρακάτω πίνακα 3.13.

Πίνακας 3.13: Εισαγωγής δεδομένων στο HEC-HMS.

Εντολή	Παρατηρήσεις
Components-> Meteorologic model manager	Δημιουργία νέου μετεωρολογικού αρχείου που θα δεχθεί τα δεδομένα. Στη φάση αυτή ο χρήστης καθορίζει και τον τύπο των δεδομένων (π.χ. αθροιστικό υετογράφημα).
Components->Time series data manager	Δημιουργία αρχείου που θα δεχθεί δεδομένα σε μορφή χρονοσειράς (αν το δεδομένο εισόδου είναι ένα υετογράφημα).
Time window	Καθορισμός επεισοδίου βροχόπτωσης (π.χ. 24 h με βήμα 15 min)
Time series gage	Εισαγωγή δεδομένων χρονοσειράς είτε χειροκίνητα είτε μέσω αρχείου .dss που έχει δημιουργηθεί σε άλλο πρόγραμμα (π.χ. Excel)

Σε περίπτωση όπου η μελέτη γίνεται για ένα μικρό επεισόδιο βροχόπτωσης όπως στην προκείμενη, ο χρήστης μπορεί να εισάγει χειροκίνητα τις τιμές του υετογραφήματος σε πίνακες που προσφέρει το πρόγραμμα. Ωστόσο, στην περίπτωση που απαιτείται ανάλυση σε χρονικό βήμα πχ 15 λεπτών για ένα 24-ώρο επεισόδιο βροχόπτωσης η διαδικασία

είναι χρονοβόρα και καλό είναι να γίνει επεξεργασία σε φύλλο δεδομένων του Excel και μετά εισαγωγή των δεδομένων στο HMS μέσω ενδιάμεσης επεξεργασίας σε λογισμικό HEC-DSSVue.

3.2.3 Αρχείο Προσομοιώσεων (Control Specifications Component)

Στην τελευταία φάση πριν την εκτέλεση των υπολογισμών, το HEC-HMS ζητά από το χρήστη να δημιουργήσει ένα αρχείο προσομοίωσης, στο οποίο καθορίζεται η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης καθώς και τα δεδομένα εισόδου, που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενα βήματα. Η ενεργοποίηση της εντολής γίνεται μέσω του μενού component, control specifications manager.

Επιλέχτηκε χρονική διάρκεια 1 ημέρας για τις μεθόδους SCS και Clark ενώ για την Snyder, λόγω του ότι ο χρόνος υστέρησης ήταν πολύ μεγαλύτερος από τις προηγούμενες χρειάστηκε χρονική διάρκεια 2 ημερών ώστε να μηδενιστεί το παροχογράφημα.

3.2.4 Αποτελέσματα

Συνοψίζοντας οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε στάδιο είναι:

- Πρότυπο απωλειών
Μέθοδος SCS(CN)
- Διόδευση Πλημμύρας
Muskingum – Cunge
- Πρότυπο άμεσης απορροής
Μέθοδος MYΓ Snyder
Μέθοδος MYΓ SCS
Μέθοδος MYΓ Clark

Τα δεδομένα εισαγωγής αποτελούνται από υδρογραφήματα για κάθε υπολεκάνη για περιόδους επαναφοράς $T=50$ έτη , $T=100$ έτη.

Δημιουργήθηκαν δυο Simulation Run για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$ και μέσω της εντολής Computer Run εκτελεστήκαν όλοι οι συνδυασμοί μεθόδων που επιλέχτηκαν να χρησιμοποιηθούν και πρόέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.14

Πίνακας 3.14: Μέγιστες παροχές υδρογραφημάτων και συνολικοί απορροϊκοί όγκοι για περίοδο επαναφοράς T=50 έτη.

T=50 έτη						
	SCS		Snyder		Clark	
Subbasin	Q(m ³ /s)	V(mm)	Q(m ³ /s)	V(mm)	Q(m ³ /s)	V(mm)
1	100.4	19.8	35.5	19.8	52.8	19.8
2	25	32.88	8.8	32.88	11.7	32.88
3	48.1	25.4	19.1	25.4	22	25.4
4	12.5	20.27	4.6	20.27	5.3	20.27

Πίνακας 3.15: Μέγιστες παροχές υδρογραφημάτων και συνολικοί απορροϊκοί όγκοι για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη

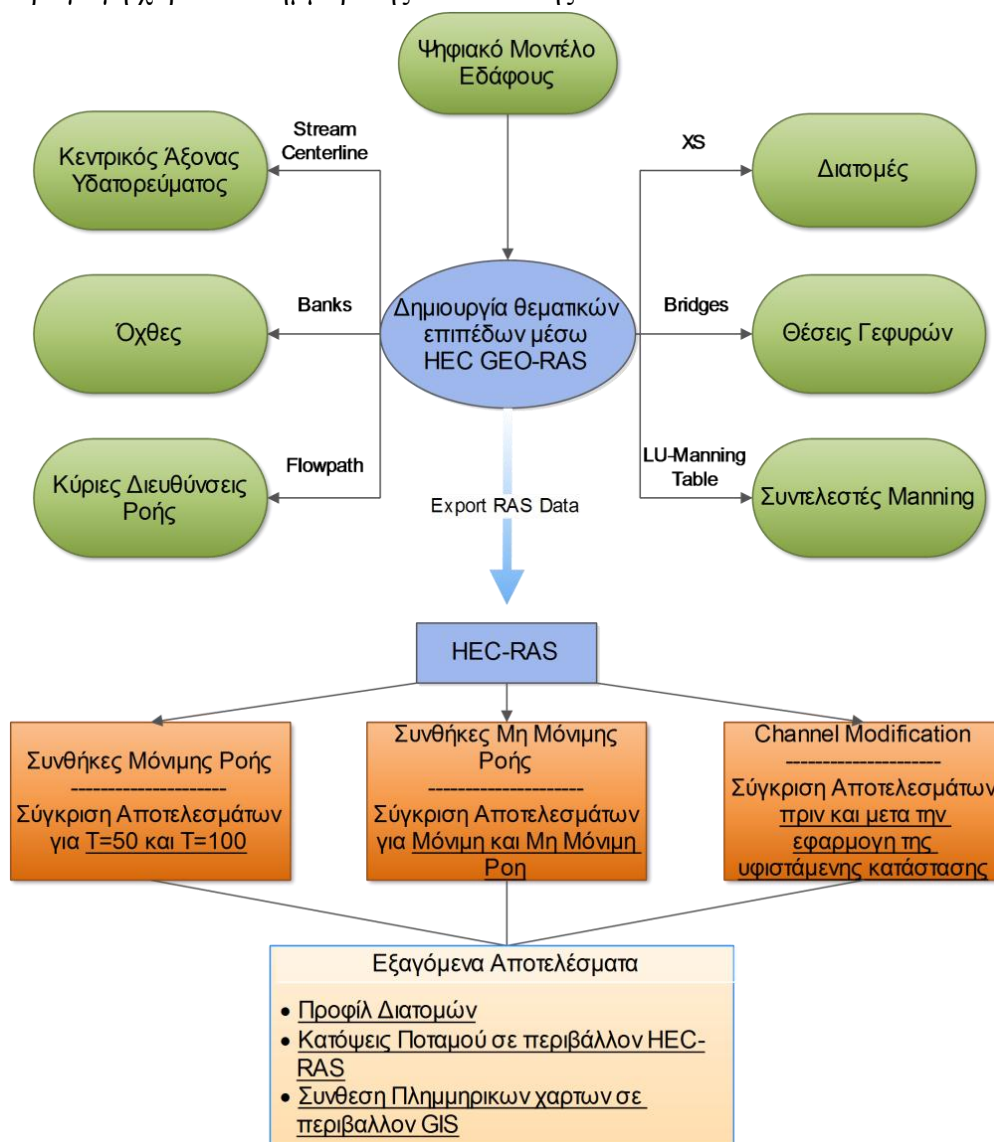
T=100 έτη						
	SCS		Snyder		Clark	
Subbasin	Q(m ³ /s)	V(mm)	Q(m ³ /s)	V(mm)	Q(m ³ /s)	V(mm)
1	152.3	30.1	54	30.1	80.3	30.1
2	32.6	42.77	11.5	42.77	15.3	42.77
3	66.2	34.72	26.2	34.72	30.2	34.72
4	17.4	27.73	6.4	27.73	7.3	27.73

Τελικά, για την υδραυλική προσομοίωση της ροής στο υπό μελέτη τμήμα του φυσικού υδατορρεύματος θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που πρόεκυψαν από την μέθοδο SCS, τα οποία όπως φαίνεται είναι και τα δυσμενέστερα. Επιπλέον θεωρείται ότι για την συγκεκριμένη μέθοδο υπάρχουν τα ακριβέστερα γεωγραφικά δεδομένα και ότι για τον υπολογισμό των παραμέτρων εισαγωγής (Curve Number, μέσες κλίσεις υπολεκανών) χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από Γ.Σ.Π. (GIS) που εξασφαλίζουν την ακρίβεια των υπολογισμών.

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό δίδεται βήμα προς βήμα η σύνθεση της μεθοδολογίας για την υδραυλική προσομοίωση. Η ανάλυση γίνεται στο περιβάλλον των λογισμικών HEC-GeoRAS και HEC-RAS και έχει ως τελικό εξαγόμενο τον υπολογισμό των πλημμυρικών περιοχών σε όλο το εύρος της κοίτης του ποταμού.

Στο ακόλουθο εποπτικό διάγραμμα (Σχήμα 4.1) δίνεται η αλληλουχία των λειτουργιών των προγραμμάτων HEC-RAS και HEC-GeoRAS για την παραγωγή χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης.



Σχήμα 4.1: Διαδικασία εκτέλεσης υδραυλικής προσομοίωσης μέσω του προγράμματος HEC-RAS.

4.1 Δημιουργία Αρχείου Γεωμετρικών Δεδομένων

Η δημιουργία του γεωμετρικού αρχείου πραγματοποιείται μέσω της επέκτασης HEC-GeoRAS του ArcMap. Τα βήματα που συνθέτουν τη διαδικασία συνοψίζονται ως εξής:

- Δημιουργία μοντέλου εδάφους (TIN)
- Δημιουργία επιπέδων για χρήση με Geo-RAS
- Κύρια γραμμή ροής (υποχρεωτικό)
- Όχθες ποταμού (προαιρετικό)
- Κύριες διευθύνσεις ροής (προαιρετικό)
- Διατομές (υποχρεωτικό)
- Κατασκευές (προαιρετικό)
- Περιοχές ανενεργού ροής (προαιρετικό)
- Χρήσεις γης (προαιρετικό)
- Αναχώματα (προαιρετικό)
- Περιοχές αποθήκευσης νερού (προαιρετικό)
- Σύνθεση θεματικών επιπέδων και εξαγωγή γεωμετρικού αρχείου

4.1.1 Δημιουργία μοντέλου εδάφους (TIN)

Το μοντέλο εδάφους, σε μορφή TIN, δημιουργήθηκε από χάρτες ψηφιοποιημένων υψομετρικών καμπυλών που μας δόθηκαν, με ισοδιάσταση 4 m (Papaioannou, 2011) που αφορούσαν το υπό μελέτη υδατόρρευμα αλλά και από τοπογραφικά σημεία που μας παραχωρήθηκαν από τον Τοπογράφο Μηχανικό κ. Μπάρκα Δ. (Μπάρκας Δ., 2008). Όσον αφορά την κοίτη του ποταμού οι ισούψεις αφαιρέθηκαν στο τμήμα της κοίτης λόγω του ότι τα τοπογραφικά σημεία ήταν μεγαλύτερης ακρίβειας και το αποτέλεσμα θα ήταν σαφώς καλύτερο.

4.1.2 Δημιουργία θεματικών επιπέδων (RAS Layers)


Τα “RAS Layers” είναι τα θεματικά επίπεδα που περιέχουν πληροφορίες και δεδομένα για τη γεωμετρία του ποταμού και της περιοχής μελέτης. Με την επιλογή RAS Geometry / Create RAS Layers δημιουργείται μια κενή βάση δεδομένων για το εκάστοτε θεματικό επίπεδο. Με το εργαλείο (Edit tool) μπορεί να γίνει η πλήρης επεξεργασία της βάσης. Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν πέντε θεματικά επίπεδα:

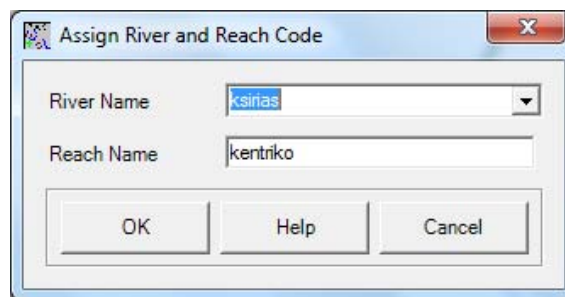
- Κύρια γραμμή ροής ποταμού (Stream Centerline)
- Όχθες ποταμού (Banks)

- ο Κύριες διευθύνσεις ροής (Flowpaths)
- ο Διατομές ποταμού (Cross sections , XS)
- ο Γεφυρες (Bridges)
- ο Χρήσεις γης (Land Use, LUtable)

4.1.2.1 Κύρια γραμμή ροής ποταμού (Stream centerline)

Το τοπογραφικό σχέδιο του ποταμού περιείχε εμφανή σημεία, αρχειοθετημένα, ώστε να μπορεί να σχεδιαστεί εντός του GIS ο κύριος άξονας του ποταμού. Σημειώνεται ότι η ψηφιοποίηση πρέπει να γίνει κατά τη φορά της ροής σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προγράμματος.

Αφού ψηφιοποιηθεί η κύρια γραμμή ροής, θα πρέπει στη συνέχεια να ονομαστεί. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση του εργαλείου . Το παράθυρο που εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.2), επιτρέπει την εισαγωγή του ονόματος του ποταμού και του αντίστοιχου τμήματός του.



Σχήμα 4.2: Εισαγωγή ονόματος ποταμού και αντίστοιχου τμήματος.

Με την εκτέλεση της εντολής Ras Geometry / Stream Centerline Attribute / All υπολογίζονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Topology: Ελέγχει τη σύνδεση και τον προσανατολισμό των τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου που έχει σχηματιστεί.

Lengths/Stations: Υπολογίζει τα μήκη της κύριας γραμμής ροής για κάθε τμήμα και καθορίζει τη φορά της ροής.

Elevations: Μετατρέπει τη δισδιάστατη γραμμή ροής σε τρισδιάστατη χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

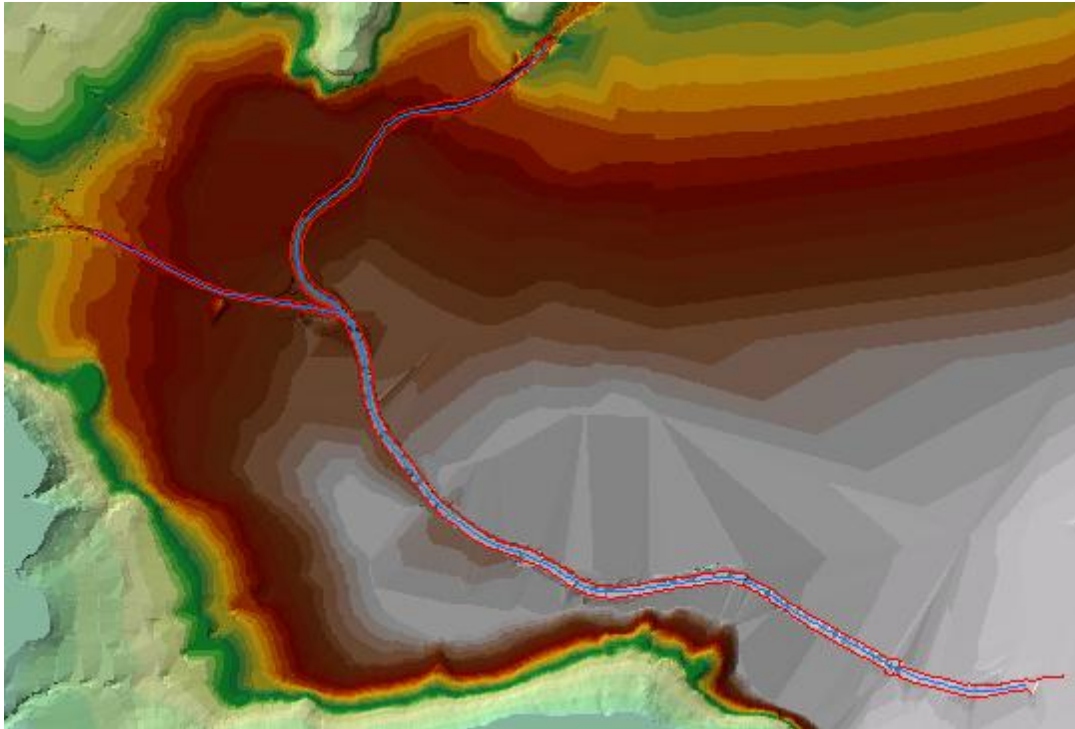
4.1.2.2 Όχθες Ποταμού (Bank Lines)

Οι όχθες του ποταμού είναι δύο πολυγωνικές γραμμές εκατέρωθεν της κύριας γραμμής του, οι οποίες διαχωρίζουν τη ροή εντός και εκτός της κοίτης του ποταμού. Αν και προαιρετική, η δημιουργία αυτού του θεματικού επιπέδου διευκολύνει τον μετέπειτα ορισμό των οχθών στο HEC RAS. Οι κανόνες στους οποίους θα πρέπει να θεμελιώνεται η κατασκευή αυτών των γραμμών είναι οι

ακόλουθοι :

- Ακριβώς δύο τέτοιες γραμμές πρέπει να τέμνουν κάθε διατομή.
- Οι γραμμές μπορεί να είναι συνεχείς ή διακοπτόμενες (π.χ. στην περιοχή της συμβολής).

Η ακριβής ψηφιοποίηση των οχθών έγινε με τον ίδιο τρόπο όπως και για το κυρίως υδατόρρευμα. Η τελική ψηφιοποιημένη μορφή της κύριας γραμμής ροής ποταμού και των οχθών φαίνεται στο σχήμα 4.3.



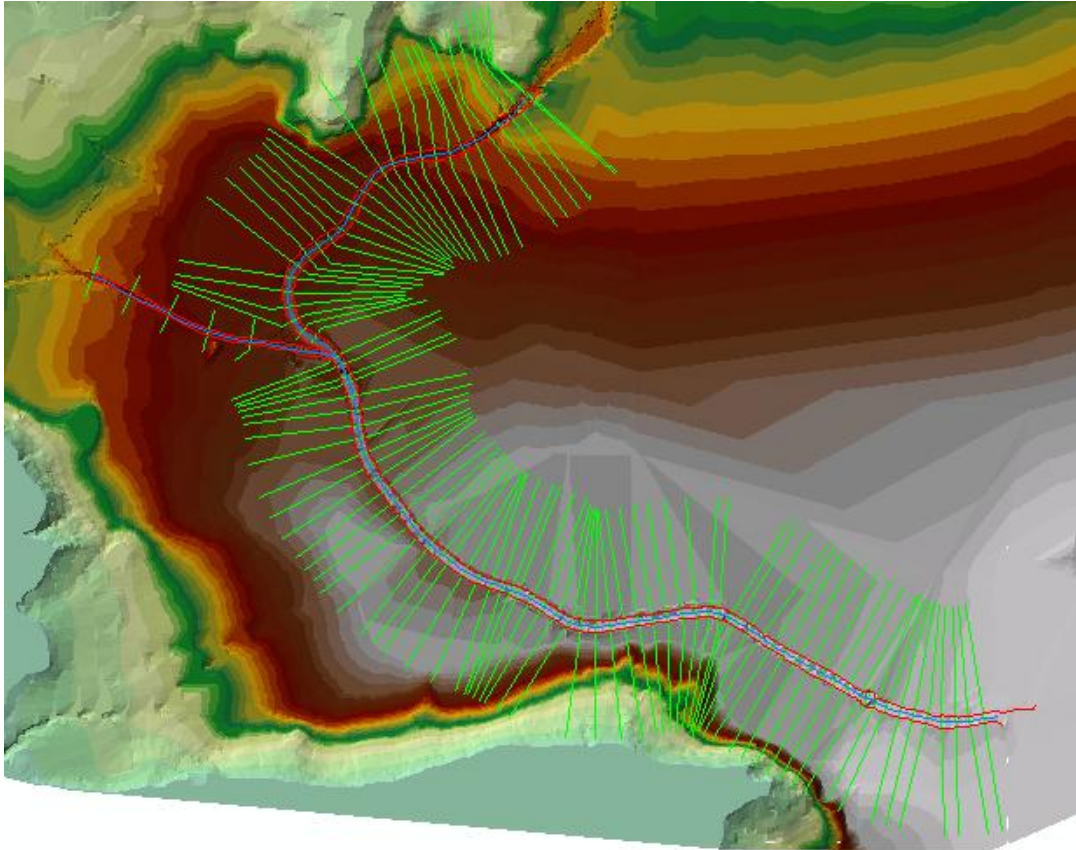
Σχήμα 4.3: Ψηφιοποιημένη μορφή κύριας γραμμής ροής ποταμού και οχθών.

4.1.2.3 Διατομές (Cross-sectional cut lines)

Το θεματικό επίπεδο αυτό αφορά στην κατασκευή διατομών σε αντιπροσωπευτικές θέσεις του ποταμού. Οι διατομές αυτές πρέπει πάντα να σχεδιάζονται κάθετα στη ροή του ποταμού, από αριστερά προς δεξιά κοιτώντας προς τα κατάντη και να καλύπτουν όλη την περιοχή κατάκλυσης.

Οι διατομές κατασκευάστηκαν αυτόματα όλες μαζί με εφαρμογή του εργαλείου Construct Cut Lines, όπου επιλέγεται από το χρήστη η απόσταση μεταξύ των διατομών καθώς και το μήκος τους. Στην παρούσα μελέτη επιλέχτηκε απόσταση διατομών 50 m και μήκος 800 m για το κυρίως υδατόρρευμα και για τη συμβολή απόσταση 150 m και μήκος 150 m (Σχήμα 4.4). Η εκτέλεση της εντολής συνεπάγεται τη δημιουργία διατομών σε καθορισμένη απόσταση και με καθορισμένο πλάτος. Ωστόσο, γίνεται σαφές

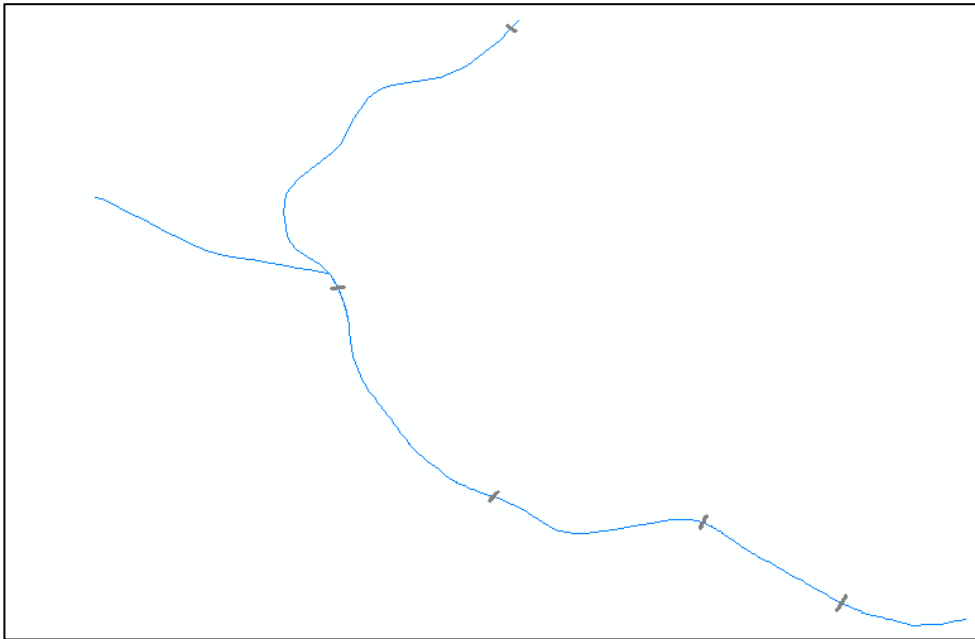
ότι υπάρχει η περίπτωση σύμπτωσης δύο ή και περισσότερων διατομών οπότε ο μελετητής καλείται να τροποποιήσει ή να σβήσει κάποια διατομή μέσω της εργαλειοθήκης *editor*. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης μεμονωμένων διατομών σε όποιο σημείο επιθυμούμε με τη χρήση του εργαλείου *Edit Tool* (από αριστερά προς δεξιά και κάθετα στη ροή). Στην συγκεκριμένη εργασία η παραπάνω διαδικασία έγινε επί παραδείγματι στα σημεία των γεφυρών, όπου προστέθηκαν διατομές ανάντη και κατάντη τους για να προσδώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην γεωμετρία τους.



Σχήμα 4.4: Ψηφιοποιημένη μορφή διατομών.

4.1.2.4 Γέφυρες (Bridges)

Αφού δημιουργηθεί το ανάλογο θεματικό επίπεδο με το εργαλείο *Edit Tool* σημειώνονται οι θέσεις των γεφυρών (Σχήμα 4.5). Ως σημείο εισαγωγής των γεφυρών στο κυρίως υδατόρρευμα ορίζεται το ανάντη όριο τους, ώστε μετά την εξαγωγή των γεωμετρικών δεδομένων σε περιβάλλον *HEC-RAS* να υπάρχει η ακριβής θέση τους ώστε μετέπειτα να γίνει η γεωμετρική τους επεξεργασία.

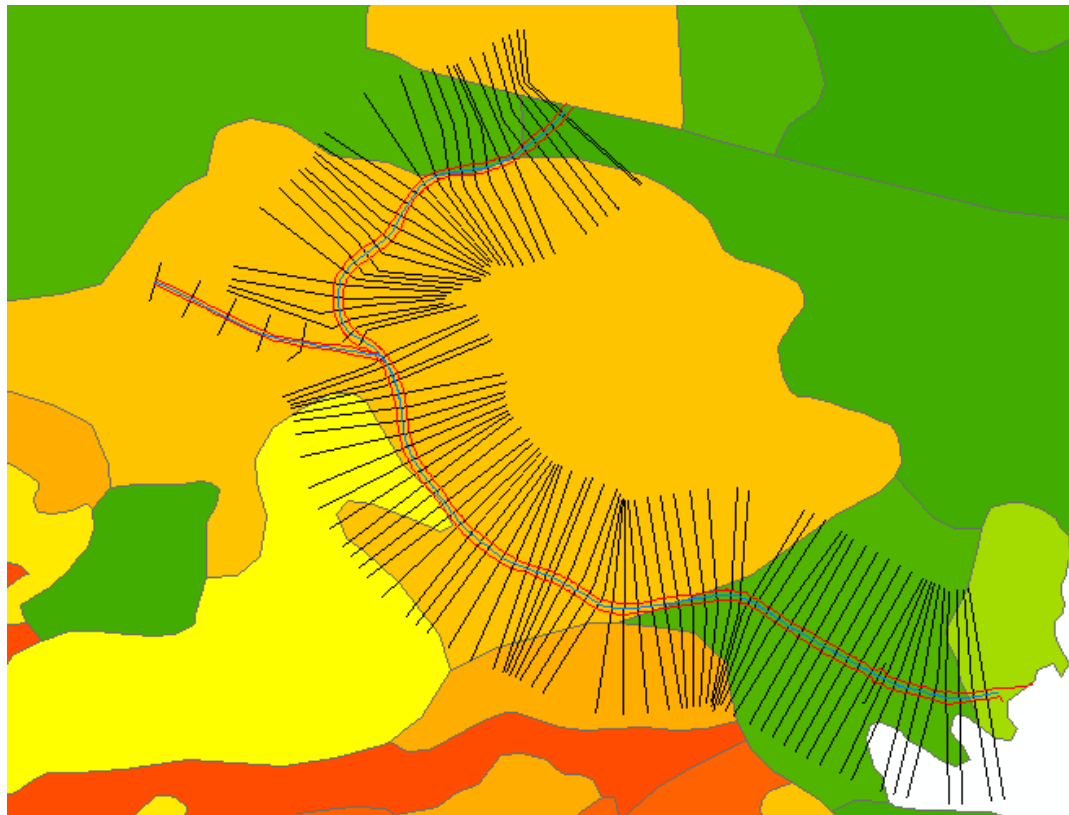


Σχήμα 4.5: Θέσεις γεφυρών.

4.1.2.5 Χρήσεις γης (Land uses)

Το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης αξιοποιείται στην εκτίμηση του συντελεστή Manning στη θέση κάθε διατομής. Ανάλογα λοιπόν με το πολύγωνο χρήσης γης εκτιμάται η αντίστοιχη τιμή n του Manning από πίνακες.

Αρχικά, μέσω της επιλογής RAS Geometry -> create RAS layers -> Land use area δημιουργείται το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης. Στο θεματικό αυτό επίπεδο επικολλούνται από το αρχικό layer των χρήσεων γης όσα πολύγωνα τέμνουν τις σχεδιασθείσες διατομές. Έτσι, δημιουργείται ένα layer που περιέχει μόνο τα πολύγωνα που χρειάζονται για την εκτίμηση του συντελεστή n στις περιοχές που εκτείνονται οι διατομές.



Σχήμα 4.6: Εξαγωγή πολυγώνων χρήσεων γης που τέμνουν τις γραμμές των διατομών.

Εν συνεχεία - αποδίδοντας τιμές του συντελεστή n σε κάθε πολύγωνο αναλόγως της χρήσεως γης (Corine 2000) - καταρτίζεται πίνακας μέσω της εντολής RAS Geometry \rightarrow Manning N values \rightarrow Create LU Manning table και τέλος, εξάγονται οι τιμές που αφορούν κάθε διατομή σε νέο πίνακα μέσω της εντολής RAS Geometry \rightarrow Manning N values \rightarrow Extract N values. Όπως γίνεται αντιληπτό, ακόμα και κατά μήκος της ίδιας διατομής μπορεί να απαντώνται διαφορετικοί συντελεστές Manning. (Σημείωση: Να αποφεύγεται η χρήση της εντολής Dissolve διότι το πρόγραμμα αναγνωρίζει μονοσήμαντα τα πολύγωνα).

Πίνακας 4.1: Απόδοση τιμών συντελεστή Manning σε πολύγωνα χρήσεων γης.

LUCode	Description	N Value
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0,012
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0,012
121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	0,015
121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	0,015
133	Χώροι οικιστικής	0,015
222	Όπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0,1
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0,035
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0,035
243	Γη που χρησιμοποιείται για γεωργία	0,1

4.1.3 Σύνθεση θεματικών επιπέδων και εξαγωγή στο HEC-RAS

Το τελικό βήμα για την παραγωγή του γεωμετρικού αρχείου εισόδου του προγράμματος HEC-RAS είναι η σύνθεση των δημιουργηθέντων θεματικών επιπέδων και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Η σύνθεση γίνεται μέσω της εντολής RAS Geometry -> layer setup και η εξαγωγή του αρχείου γίνεται μέσω της εντολής RAS Geometry -> Extract GIS data.

4.2 Υδραυλική Προσομοίωση Υδατορρεύματος

Το μοντέλο HEC-RAS είναι ένα πολυχρηστικό εργαλείο για τη μονοδιάστατη ανάλυση και προσομοίωση φυσικών υδατορρευμάτων. Πρόκειται για ένα σύνολο μοντέλων με 4 συνιστώσες ανάλυσης (Bruner 2008a):

- Υπολογισμός του προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας σε συνθήκες μόνιμης ροής
- Υπολογισμοί σε συνθήκες μη μόνιμης ροής
- Υπολογισμοί απόθεσης φερτών υλών
- Υπολογισμοί σχετικά με τη θερμοκρασία του νερού

Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της στάθμης του νερού για βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή σε δίκτυο τεχνητών αγωγών, σε σύστημα υδατορρευμάτων με τεχνικά έργα ή φυσικές κοίτες σε συνθήκες υποκρίσιμης ή υπερκρίσιμης ροής. Επίσης, δύναται να υπολογίσει υδραυλικά άλματα, υδραυλικές συνθήκες σε γέφυρες, οχετούς, υπερχειλιστές (με ή χωρίς θυροφράγματα), στενώσεις καθώς και τη διάβρωση της κοίτης στις γέφυρες.

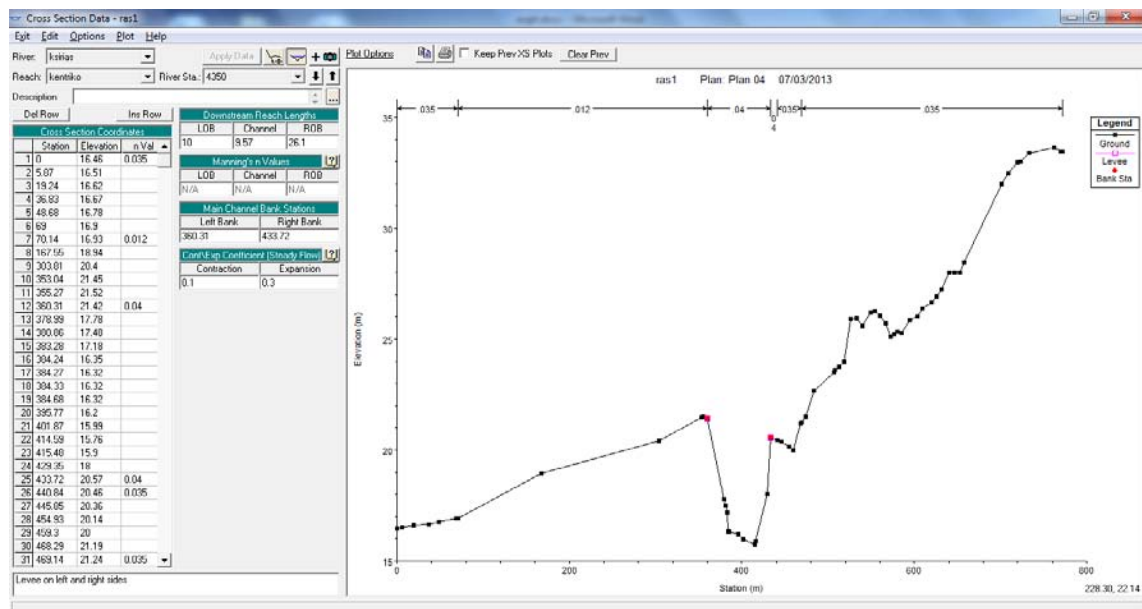
Στην παρούσα εργασία θα γίνει η υδραυλική προσομοίωση επιλεγμένου φυσικού υδατορρεύματος σε συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής. Τα βήματα που συνθέτουν τη διαδικασία υδραυλικής προσομοίωσης συνοψίζονται ως εξής:

- Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων
- Γεωμετρική επεξεργασία γεφυρών
- Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων
- Ρύθμιση παραμέτρων και εκτέλεση υδραυλικών υπολογισμών
- Επισκόπηση αποτελεσμάτων
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων στο HEC-GeoRAS
- Σύνθεση χαρτών πλημμυρικής περιοχής

4.2.1 Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων

Η εισαγωγή των γεωμετρικών δεδομένων, που παρήχθησαν από το HEC-GeoRAS γίνεται μέσω της εντολής File > Geometric Data από το κεντρικό παράθυρο του HEC RAS και στη συνέχεια File > Import Geometry > GIS Format (από το παράθυρο των γεωμετρικών στοιχείων).

Έπειτα, θα πρέπει να επεξεργαστούν τα γεωμετρικά δεδομένα των διατομών. Αυτό γίνεται με την εφαρμογή της εντολής (Edit Cross Section). Με αυτή την εντολή εμφανίζονται όλα τα χαρακτηριστικά μιας διατομής, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7: Επεξεργασία των γεωμετρικών στοιχείων κάθε διατομής.

Στο παράθυρο αυτό ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τα ακόλουθα στοιχεία:

River / Reach: Όνομα / τμήμα του ποταμού στο οποίο ανήκει η διατομή

River Station: Κωδικός αριθμός της διατομής

Cross Section Coordinates: Πίνακας με όλα τα σημεία της διατομής, την απόστασή τους από το αριστερό της άκρο (Station), και το αντίστοιχο υψόμετρό τους (Elevation)

Downstream Reach Lengths: Αποστάσεις δυο διαδοχικών διατομών κατά μήκος των κύριων διευθύνσεων ροής

Main Channel Bank Stations: Αποστάσεις της αριστερής και της δεξιάς όχθης από το αριστερό άκρο της διατομής.

Cont / Exp Coefficients: Προεπιλεγμένες τιμές για τον υπολογισμό των συντελεστών τοπικών απωλειών σε συστολή και διαστολή αντίστοιχα. Σύμφωνα με το Hydraulic Reference Manual του HEC-RAS το προτείνονται

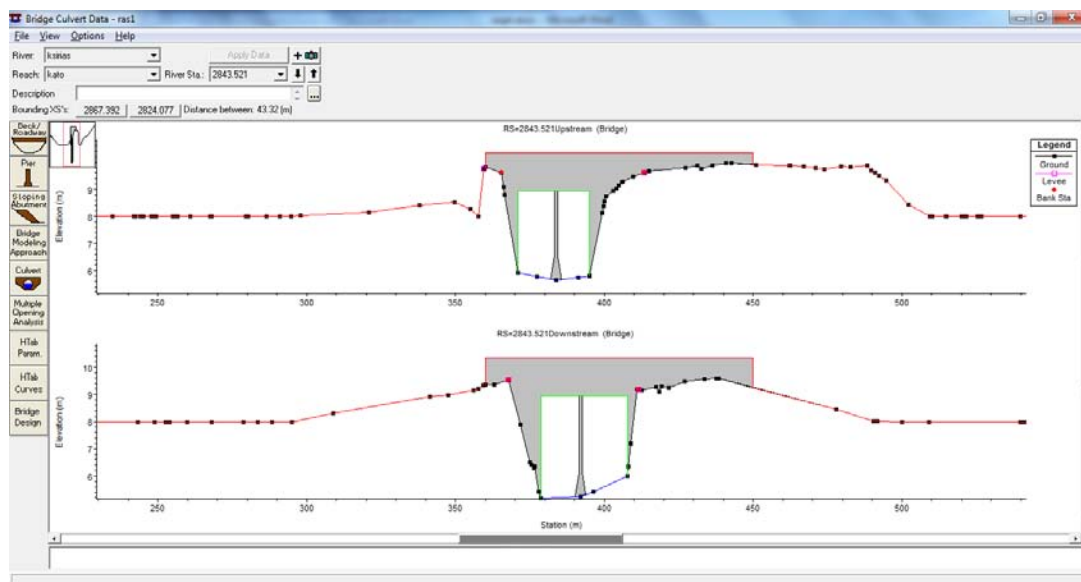
καθορισμένες τιμές, για τους συντελεστές συστολής και διαστολής (Cont / Exp Coefficients), ανάλογα με την συναρμογή μεταξύ διαδοχικών διατομών, όπως φαίνονται στο πινάκα 4.2. Στην συγκεκριμένη μελέτη οι συντελεστές συστολής και διαστολής διατηρήθηκαν 0,1 και 0,3, αντίστοιχα, για όλες τις διατομές, πλην των διατομών ανάντη και κατάντη των γεφυρών στις οποίες οι συντελεστές αντικαταστάθηκαν με τις προτεινόμενες τιμές για *Τυπικές Διατομές Γεφυρών*, 0.3 και 0.5.

Πίνακας 4.2 : Προτεινόμενες τιμές για συντελεστές Συστολής/Διαστολής

	Συστολή	Διαστολή
Χωρίς απώλειες συναρμογής	0.0	0.0
Σταδιακή Συναρμογή	0.1	0.3
Τυπικές Διατομές Γεφυρών	0.3	0.5
Ασυνέχειες Συναρμογής	0.6	0.8

Γεωμετρική επεξεργασία γεφυρών

Το μενού δημιουργίας και επεξεργασίας των γεφυρών βρίσκεται στο παράθυρο Geometric Data με την ονομασία *Bridg/Culv* όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8: Μενού δημιουργίας και επεξεργασίας γεφυρών.

Για την δημιουργία της γεωμετρίας των γεφυρών ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- ο Δημιουργία οδοστρώματος (Deck/Roadway)

- ο Δημιουργία βάθρων (Piers)

Για την δημιουργία του οδοστρώματος ο χρήστης καλείται να δώσει την απόσταση μεταξύ της αρχής της γέφυρας και της τελευταίας ανάντη διατομής, το πλάτος της, το συντελεστή υπερχειλίσης της γέφυρας, καθώς, και να δώσει συντεταγμένες για την κατασκευή του ανώτατου και κατώτατου ορίου της γέφυρας. Τα στοιχεία της γεωμετρίας της παραπάνω γέφυρας φαίνονται στο σχήμα 4.9.

Distance		Width		Weir Coef	
16.3		10.9		1.4	

Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1 360.	10.34	8.94	360.	10.34	8.94
2 371.06	10.34	5.92	378.82	10.34	5.18
3 371.07	10.34	8.94	378.821	10.34	8.94
4 395.	10.34	8.94	407.739	10.34	8.94
5 395.01	10.34	5.79	407.74	10.34	6.01
6 450.	10.34	8.94	450.	10.34	8.94
7					
8					

U.S Embankment SS: 0 D.S Embankment SS: 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

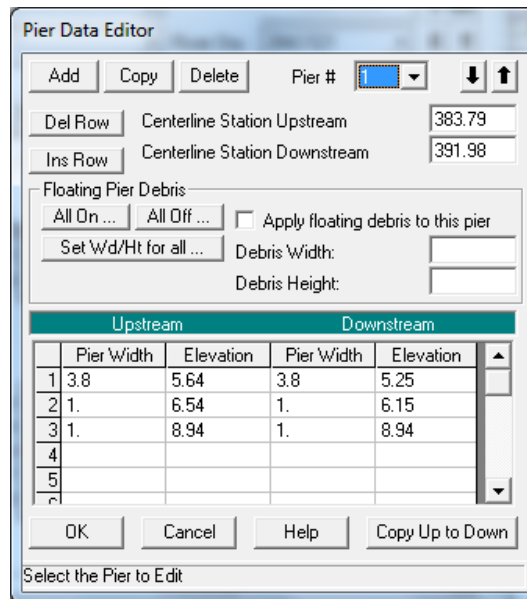
Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Σχήμα 4.9: Εισαγωγή γεωμετρίας γέφυρας.

Για την δημιουργία των βάθρων ο χρήστης εισάγει την θέση του βάθρου στην ανάντη και κατάντη διατομή της γέφυρας, καθώς, και το πάχος του συναρτήσει του ύψους (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10: Εισαγωγή γεωμετρίας βάθρων.

Τέλος, παρόλο που δεν εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία σημειώνεται ότι το υδραυλικό πρόγραμμα δίνει επιπλέον τη δυνατότητα δημιουργίας πρανών (Sloping Adjustment) καθώς και τη δυνατότητα δημιουργίας οχετών (Culverts).

4.2.2 Μόνιμη Ροή

4.2.2.1 Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων της μόνιμης ροής στο HEC-RAS γίνεται μέσω του μενού Edit>Steady Flow Data. Στο συγκεκριμένο μενού υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής των παροχών, παροχές αιχμής στην συγκεκριμένη περίπτωση. Εκτός από την εισαγωγή παροχών στις αρχικές διατομές των ποταμών, οι οποίες είναι και απαραίτητες, δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής και σε επιλεγμένες διατομές κατά μήκος του υδατορρεύματος (Σχήμα 4.11). Επίσης, υπάρχει η επιλογή δημιουργίας πολλαπλών προφίλ για ένα αρχείο Steady Flow, για παράδειγμα για T=50 έτη και T=100 έτη όπως έγινε και στην παρούσα μελέτη.

Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των υδρολογικών δεδομένων επιτυγχάνεται με τον ορισμό των οριακών συνθηκών του προβλήματος. Οι οριακές συνθήκες αποτελούν ουσιαστικά το σημείο έναρξης της βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό των επιμέρους στοιχείων της εξίσωσης ενέργειας. Η θέση, όπου ορίζονται οι οριακές συνθήκες εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος.

Συνεπώς, για θεώρηση υπερκρίσιμης ροής, οι υπολογισμοί γίνονται από κατάντη προς ανάντη και η οριακή συνθήκη ορίζεται στην πλέον ανάντη θέση.

Ανάλογα, στην περίπτωση της υποκρίσιμης ροής οι υπολογισμοί γίνονται από ανάντη προς κατάντη και απαιτείται εισαγωγή οριακής συνθήκης στα κατάντη του υπό μελέτη τμήματος και τέλος στην περίπτωση μεικτής ροής χρειάζεται ορισμός οριακής συνθήκης και στα δύο άκρα.

Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε επίλυση για μεικτή ροη και συνεπώς χρειάζεται ο ορισμός οριακών συνθηκών στις αρχικές θέσεις των δυο ποταμών και στο τέλος του υδατορρέυματος. Ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μια εκ των παρακάτω επιλογών για την εισαγωγή οριακών συνθηκών μέσω του υδραυλικού προγράμματος:

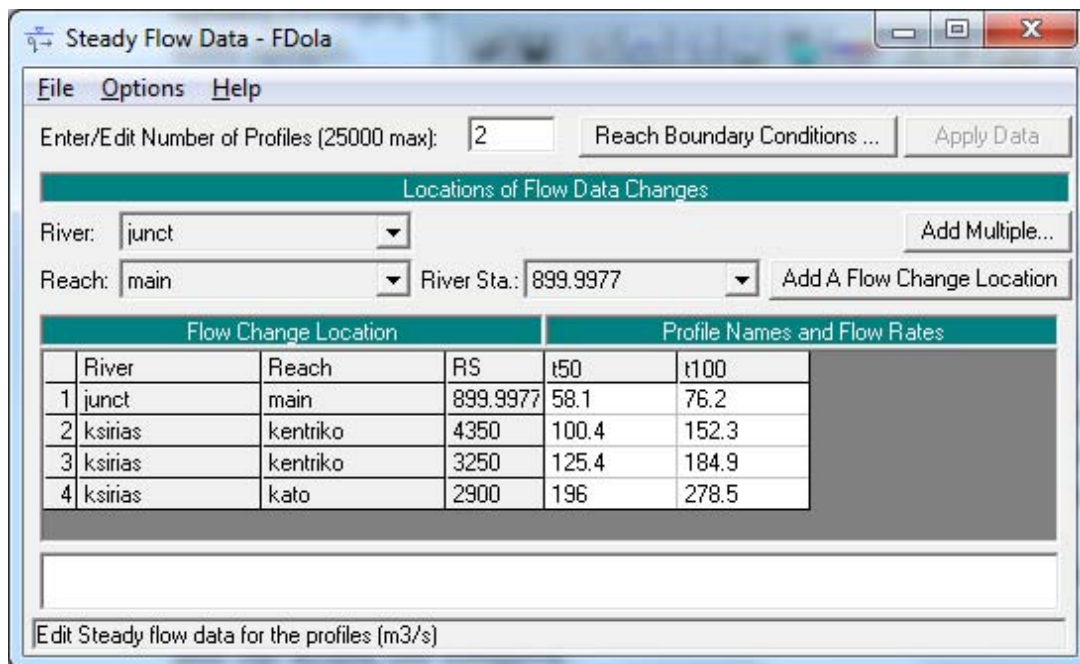
Known Water Surface Elevation (Γνωστό πιεζομετρικό φορτίο): Για αυτή την οριακή συνθήκη, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει ένα πιεζομετρικό φορτίο για κάθε προφίλ.

Critical Depth (Κρίσιμο βάθος): Με αυτήν την επιλογή δε χρειάζεται καμία επιπλέον πληροφορία. Το πρόγραμμα υπολογίζει από μόνο του το κρίσιμο βάθος για κάθε προφίλ και το χρησιμοποιεί σαν οριακή συνθήκη.

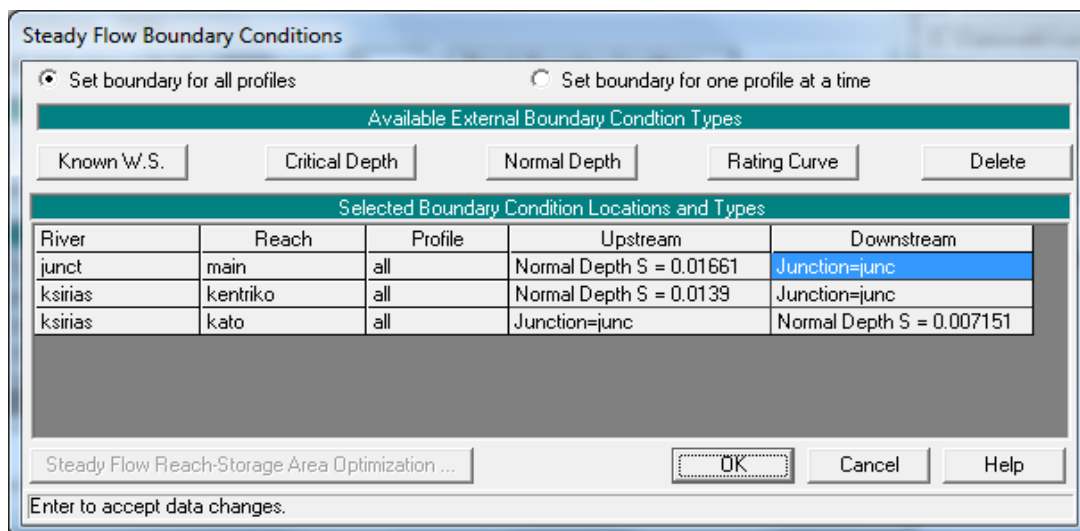
Normal Depth (Ομοιόμορφο βάθος): Εισάγεται η κλίση της γραμμής ενέργειας, για να υπολογιστεί κατόπιν το ομοιόμορφο βάθος για κάθε προφίλ. Όταν η κλίση αυτή δεν είναι γνωστή, ο χρήστης μπορεί να την προσεγγίσει είτε με χρήση της κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας είτε με χρήση της κλίσης του πυθμένα (Bruner, 2008b).

Rating Curve (Καμπύλη στάθμης – παροχής): Μόλις επιλεγεί αυτή η οριακή συνθήκη εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ζεύγη τιμών στάθμης – παροχής. Από την καμπύλη αυτή το πρόγραμμα μπορεί με παρεμβολή να υπολογίσει το πιεζομετρικό φορτίο για την αντίστοιχη παροχή.

Εξαιτίας της απουσίας στοιχείων υδρομέτρησης στην περιοχή επιλέγεται ως οριακή συνθήκη για ανάντη και κατάντη, το ομοιόμορφο βάθος το οποίο προκύπτει από την κλίση του πυθμένα (Σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.11: Εισαγωγή παροχών για περιόδους επαναφοράς $T=50$ έτη και $T=100$ έτη.



Σχήμα 4.12: Εισαγωγή οριακών συνθηκών

4.2.2.2 Ρύθμιση παραμέτρων και εκτέλεση υδραυλικών υπολογισμών

Η εκτέλεση των υδραυλικών υπολογισμών είναι το τελευταίο βήμα για την προσομοίωση σε περιβάλλον HEC-RAS. Η διεργασία πραγματοποιείται από την εντολή Run -> steady flow analysis, όπου ο χρήστης καθορίζει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ονομασία σχεδίου (Plan ID)
- Μήτρα γεωμετρικών δεδομένων (Geometry file)
- Μήτρα υδρολογικών δεδομένων μόνιμης ροής (Steady flow file)
- Είδος ροής (Συνθήκες Μεικτής Ροής)

4.2.2.3 Παράμετροι επίλυσης της εξίσωσης ενέργειας

Σε συνθήκες μόνιμης ροής το HEC-RAS υπολογίζει την ελεύθερη επιφάνεια του νερού επιλύοντας ουσιαστικά την εξίσωση της ενέργειας σε μονοδιάστατη ανάλυση. Η επίλυση γίνεται από διατομή σε διατομή διαδοχικά με επαναληπτικό αλγόριθμο, με στόχο τη μεγαλύτερη σύγκλιση μεταξύ 2 υπολογισμένων πιεζομετρικών βαθών για την ίδια διατομή.

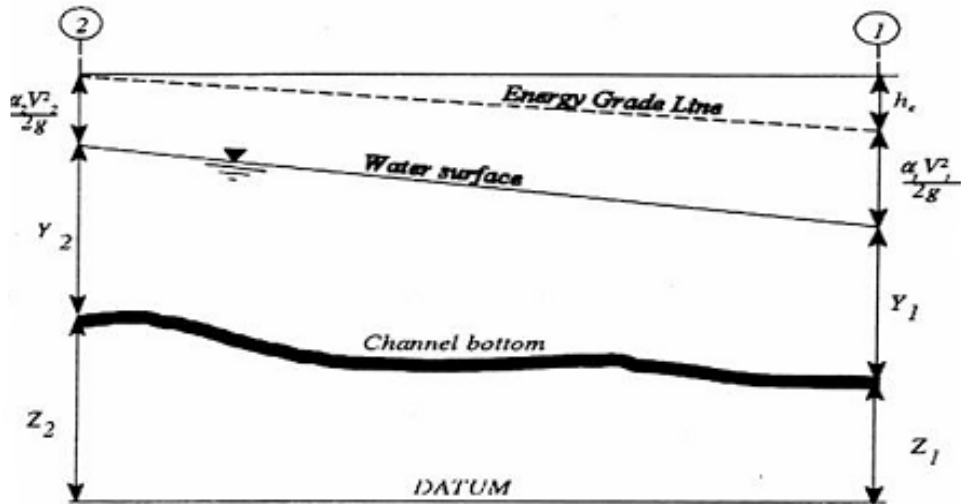
Πιο αναλυτικά, η εξίσωση ενέργειας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές διατομές είναι:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (\text{E.4.1})$$

όπου:

- Y_1, Y_2 = τα βάθη ροής στις διατομές 1 και 2, αντίστοιχα
- Z_1, Z_2 = τα αντίστοιχα υψόμετρα πυθμένα
- V_1, V_2 = οι αντίστοιχες μέσες ταχύτητες ροής
- α_1, α_2 = σταθμικοί συντελεστές της ταχύτητας
- g = η επιτάχυνση της βαρύτητας
- h_e = η απώλεια του υδραυλικού φορτίου

Οι παραπάνω συμβολισμοί φαίνονται στο σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13: Συμβολισμοί για την παράσταση της ροής με ελεύθερη επιφάνεια.

Οι απώλειες φορτίου μεταξύ δύο διατομών οφείλονται σε τριβές και σε απώλειες λόγω στενώσεων και διευρύνσεων. Η εξίσωση από την οποία δίνονται είναι:

$$h_e = L\bar{S}_f + c \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (\text{E.4.2})$$

όπου:

L = το ανοιγμένο μήκος μεταξύ των διατομών 1 και 2.

S_f = η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής μεταξύ των δύο διατομών, που υπολογίζεται με βάση την εξίσωση του Manning.

C = ο συντελεστής στενώσεως ή διευρύνσεως.

$\left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$ = Διαφορά κινητικής ενέργειας μεταξύ 2 διαδοχικών διατομών

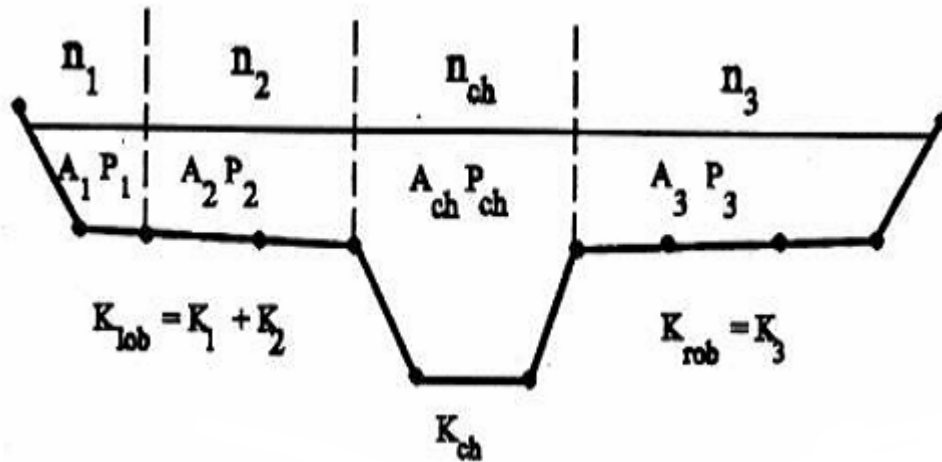
Το ανοιγμένο μήκος L υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (\text{E.4.3})$$

όπου:

L_{lob} , L_{rob} , L_c τα μήκη της αριστερής, της δεξιάς και της κεντρικής κοίτης, αντίστοιχα \bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} οι μέσες παροχές των ανωτέρω αντιστοίχων

τμημάτων της διατομής.



Σχήμα 4.14: Σχηματική παράσταση της υποδιαίρεσης της διατομής με το συντελεστή τραχύτητας του Manning.

Ο υπολογισμός των απωλειών λόγω τριβής εκτελείται μέσω της εντολής «Friction slope methods», όπου διατίθενται 6 επιλογές, εκ των οποίων τελικά επιλέγεται η μέθοδος του μέσου όρου «Average conveyance». Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η μέση κλίση γραμμής ενέργειας δίνεται από τη σχέση E.4.4:

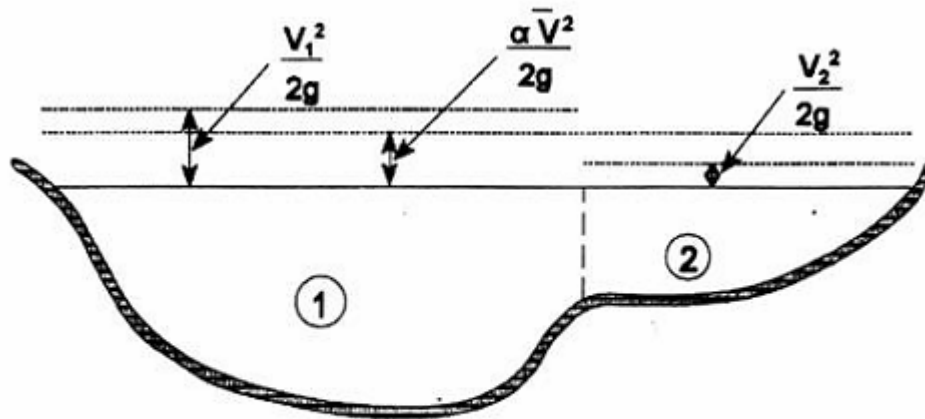
$$S_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (\text{E.4.4})$$

Q_1, Q_2 : Μέσες παροχές στις 2 διαδοχικές διατομές

K_1, K_2 : Συντελεστής K για κάθε διατομή

Τοπικές απώλειες ενέργειας

Μετά τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών έπεται η εκτίμηση των τοπικών απωλειών. Εκτός του συντελεστή συστολής/διαστολής απαιτείται και ο υπολογισμός της μέσης κινητικής ενέργειας κάθε διατομής με βάση το σχήμα 4.15 και τη σχέση E.4.5.



V_1 = mean velocity for subarea 1

V_2 = mean velocity for subarea 2

Σχήμα 4.15: Υπολογισμός του μέσου φορτίου κινητικής ενέργειας.

Για τον υπολογισμό του μέσου ύψους κινητικής ενέργειας υπολογίζεται ο συντελεστής a από τη σχέση:

$$a \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) + Q_2 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)}{Q_1 + Q_2} \quad (\text{E.4.5})$$

$$a \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) + Q_2 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)}{Q_1 + Q_2} \quad (\text{E.4.6})$$

$$a = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{Q (Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \quad (\text{E.4.7})$$

Σε γενική μορφή καταλήγουμε στη σχέση:

$$a = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2} \quad (\text{E.4.8})$$

Ο συντελεστής της ταχύτητας a υπολογίζεται με βάση την παροχετευτικότητα στα τρία τμήματα της διατομής στην κεντρική κοίτη και στις δύο πλημμυρικές κοίτες. Μπορεί επίσης να εκφραστεί με βάση την

παροχτευτικότητα και την υγρή επιφάνεια με την ακόλουθη σχέση:

$$a = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3} \quad (E.4.9)$$

όπου:

A_t = η ολική υγρή επιφάνεια της διατομής

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} = οι επιμέρους υγρές επιφάνειες της αριστερής, της κεντρικής και της δεξιάς πλημμυρικής κοίτης

K_t = η ολική παροχτευτικότητα

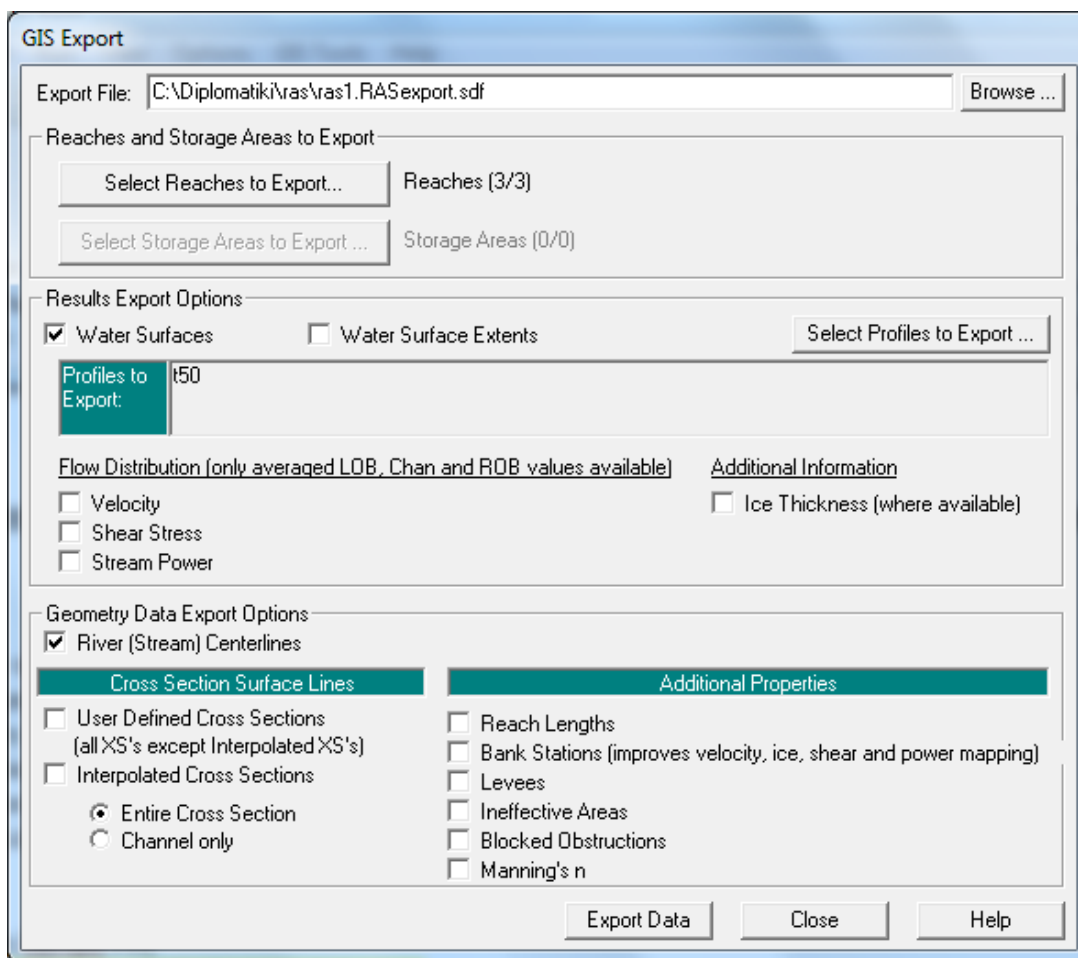
K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} = η παροχτευτικότητα των επιμέρους τμημάτων της διατομής (αριστερή, κεντρική και δεξιά πλημμυρική κοίτη)

Για την εκτέλεση της επαναληπτικής προσομοίωσης του αλγορίθμου, έχει καθοριστεί εξαρχής αν το καθεστώς ροής είναι υπερκρίσιμο ή υποκρίσιμο. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε μεικτή ροή

Τέλος, κατά τη διάρκεια των υπολογισμών το πρόγραμμα υπολογίζει το κρίσιμο βάθος - με μέθοδο που ορίζεται από την εντολή «Critical Depth Computation Method» - και το συγκρίνει με το πιεζομετρικό βάθος στην διατομή μελέτης, συμβάλλοντας στον έλεγχο της ορθότητας των εισαχθέντων δεδομένων.

4.2.2.4 Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε GIS

Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων από HEC-RAS σε GIS γίνεται μέσω της εντολής File> Export Gis Data, όπου ο χρήστης καλείται να επιλέξει τις παραμέτρους που θα εξάγει (Σχήμα 4.16).



Σχήμα 4.16: Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε GIS.

Το πρόγραμμα προσφέρει μεγάλη ποικιλία δεδομένων για εξαγωγή, στην παρούσα μελέτη όμως επιλέχθηκε η εξαγωγή μόνο για τα προφίλ των διατομών (Water Surfaces), τα αναχώματα που τοποθετήθηκαν (Levees) και για τα σημεία των οχθών (Banks Stations) στοιχεία απαραίτητα για την σύνθεση των πλημμυρικών χαρτών. Στη συνέχεια αφού δημιουργηθεί το εξαγόμενο αρχείο, χρειάζεται μια σειρά από εντολές στο HEC GeoRAS. Συγκεκριμένα, αρχικά μετατρέπουμε το αρχείο επέκτασης “.sdf” σε “.xml” μέσω της εντολής “Import RAS sdf file”. Έπειτα στο μενού RAS Mapping > Create RAS Layers προσδιορίζονται το αρχείο αποτελεσμάτων, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους καθώς και το αρχείο που αυτά θα αποθηκευτούν. Τέλος, ακολουθώντας τις εντολές “Import RAS Data” και “Inundation Mapping” το πρόγραμμα συνθέτει αυτόματα τους χάρτες πλημμυρικής κατάκλισης (Σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17: Χάρτης πλημμυρικής κατάκλισης για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

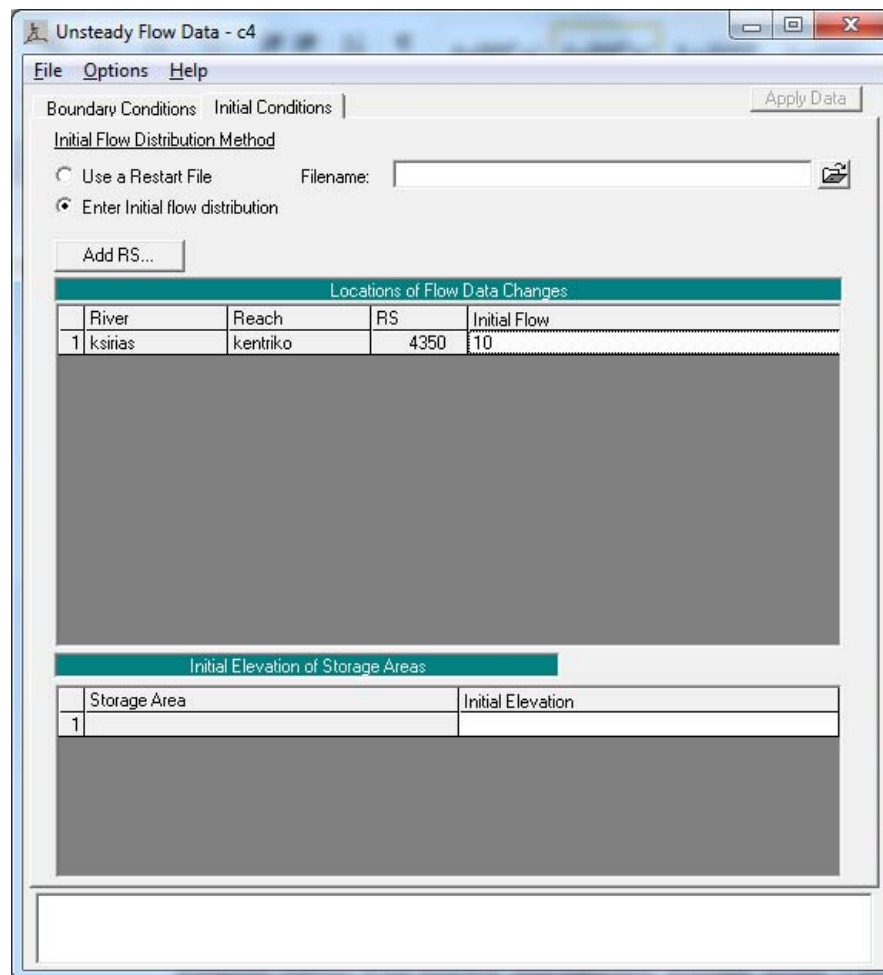
4.2.3 Μη Μόνιμη Ροή

4.2.3.1 Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων

Η εισαγωγή των υδρολογικών δεδομένων για συνθήκες μη μόνιμης ροής στο HEC-RAS γίνεται μέσω του μενού Edit>Unsteady Flow Data. Στο συγκεκριμένο μενού ο χρήστης καλείται να εισάγει τις αρχικές και οριακές συνθήκες που απαιτούνται για την υλοποίηση των υπολογισμών του προγράμματος.

Αρχικές Συνθήκες

Ως αρχικές συνθήκες το πρόγραμμα απαιτεί μια αρχική παροχή (Initial Flow) για τις αρχικές και επιλεγμένες θέσεις του ποταμού (Σχήμα 4.18).



Σχήμα 4.18: Εισαγωγή αρχικών συνθηκών.

Οριακές Συνθήκες

Σε όλα τα ελεύθερα ανοίγματα του ποτάμιου συστήματος μπορούν να προσομοιαστούν οριακές συνθήκες (εξωτερικές οριακές συνθήκες). Στο πρόγραμμα εισάγονται οι εξής οριακές συνθήκες ανάντη του υδατορρέυματος στην περίπτωση της μη μόνιμης ροής:

1. Υδρογράφημα παροχής
2. Υδρογράφημα βάθους ροής
3. Υδρογράφημα παροχής και υδρογράφημα βάθους ροής

Οι κατάντη οριακές συνθήκες στη μη μόνιμη ροή που μπορούν να εισαχθούν είναι:

1. Καμπύλη συσχέτισης στάθμης ροής και παροχής
2. Κλίση της ενέργειας (από τον τύπο του Manning)
3. Υδρογράφημα παροχής
4. Υδρογράφημα βάθους ροής

5. Υδρογράφημα παροχής και υδρογράφημα βάθους ροής Stage/Flow Hydrograph

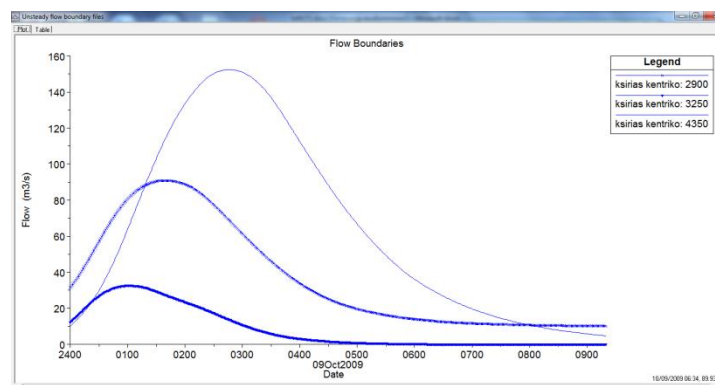
Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής οριακών συνθηκών σε εσωτερικές θέσεις του ποταμού όπως εισαγωγή πλευρικού υδρογραφήματος εισόδου, υπόγειας εισροής.

Στην παρούσα μελέτη χρειάστηκαν να οριστούν οριακές συνθήκες για την αρχική διατομή του ποταμού, τις ενδιάμεσες και την τελική.

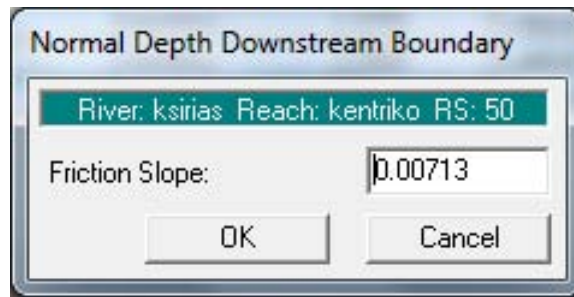
Αρχική διατομή: Έγινε εισαγωγή του υδρογραφήματος (Flow Hydrograph) που πρόεκυψε από την υδρολογική προσομοίωση με βήμα 1 min και συνολικής διάρκειας 9 hrs και 20 min. Τα υδρολογικά δεδομένα χρειάστηκε να τροποποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί «ευστάθεια» στους υπολογισμούς του προγράμματος (Σχήμα 4.19).

Ενδιάμεσες διατομές: Έγινε εισαγωγή υδρογραφήματος πλευρικής εισροής (Lateral Inflow Hydrograph) όπως πρόεκυψε από την υδρολογική προσομοίωση με βήμα 1 min και συνολικής διάρκειας 9 hrs και 20 min (Εικόνα 4.18).

Τελική διατομή: Επιλέχτηκε ως οριακή συνθήκη το ομοιόμορφο βάθος (Normal Depth). Ομοιόμορφο βάθος είναι η κλίση της γραμμής ενέργειας. Όταν η κλίση αυτή δεν είναι γνωστή, ο χρήστης μπορεί να την προσεγγίσει είτε με χρήση της κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας είτε με χρήση της κλίσης του πυθμένα (Bruner, 2008b) (Σχήμα 4.20).



Σχήμα 4.19: Υδρογραφήματα αρχικής και ενδιάμεσων διατομών.

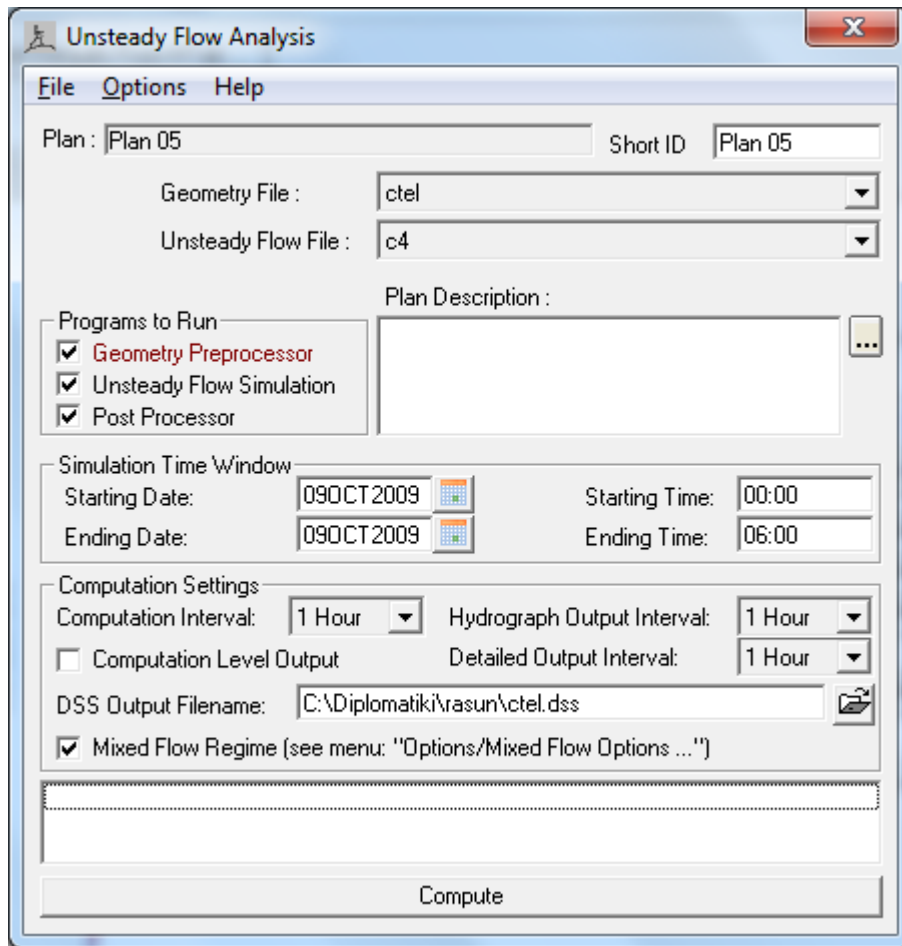


Σχήμα 4.20: Κλίση πυθμένα τελικής διατομής

Σημειώνεται ότι ο βασικότερος παράγοντας για την ολοκλήρωση των υπολογισμών του προγράμματος για όλες τις διατομές και όλα τα χρονικά βήματα, όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά και στο εγχειρίδιο, είναι η “ευστάθεια” (Stability). Για την εξάλειψη των ασταθειών έγιναν τροποποιήσεις στα δεδομένα εισαγωγής αρχικών και οριακών συνθηκών. Συγκεκριμένα, έγιναν τροποποιήσεις στην διάρκεια των υδρογραφημάτων, της αρχικής παροχής καθώς και στις καμπύλες Elevation/Flow των γεφυρών. Επίσης έγινε εισαγωγή επιπλέον διατομών, μέσω του μενού Geometric Data > Tools > XS Interpolation, στις διατομές ανάντη και κατόντη των γεφυρών καθώς και διόρθωση γεωμετρικών σφαλμάτων στον πυθμένα του υδατορεύματος.

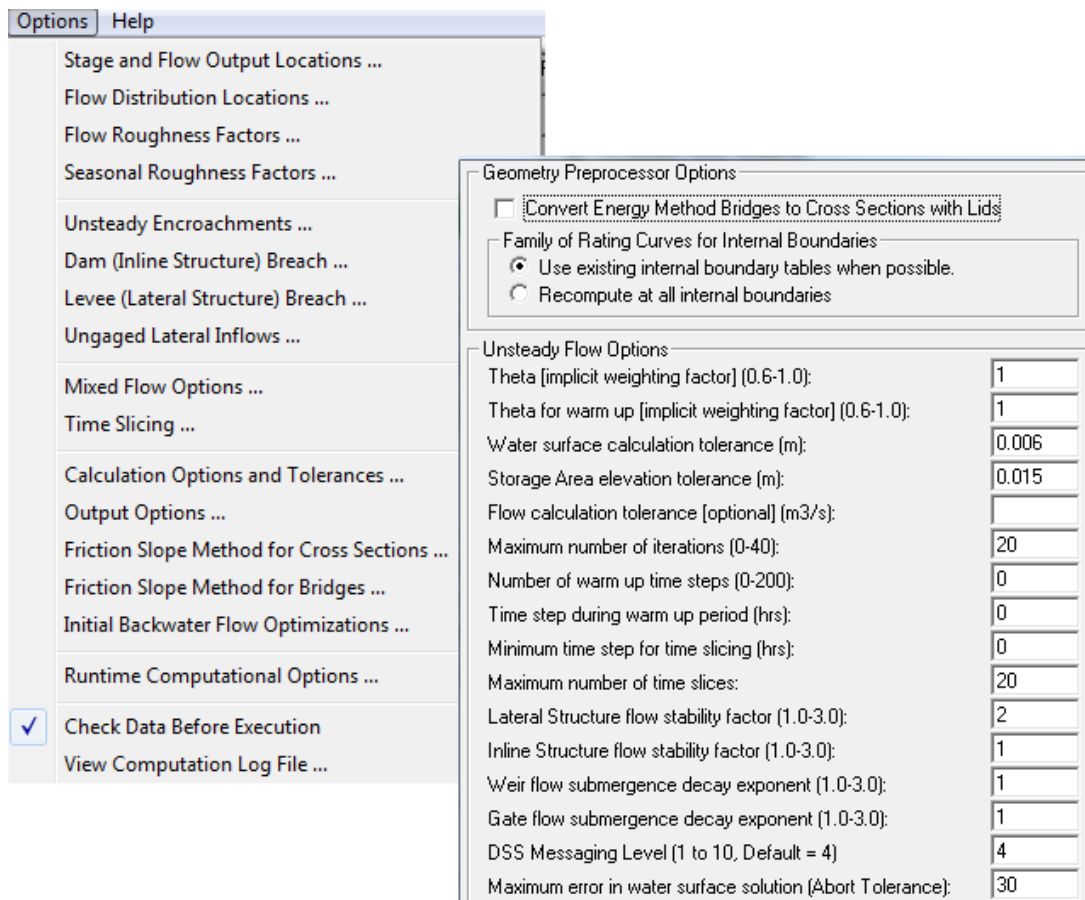
Εκτέλεση Υδραυλικής Προσομοίωσης

Στο μενού Run > Unsteady Flow Analysis γίνεται η συμπλήρωση του χρονικού διαστήματος που θα γίνει η προσομοίωση καθώς και του χρονικού βήματος υπολογισμού και εξαγωγής αποτελεσμάτων (Σχήμα 4.21).



Σχήμα 4.21: Εκτέλεση υδραυλικής προσομοίωσης.

Επίσης, υπάρχουν διάφορες επιλογές για την ρύθμιση πολλών παραμέτρων της προσομοίωσης. Στην παρούσα εργασία δεν έγιναν αλλαγές αλλά διατηρηθήκαν οι προτεινόμενες τιμές (Σχήμα 4.22).

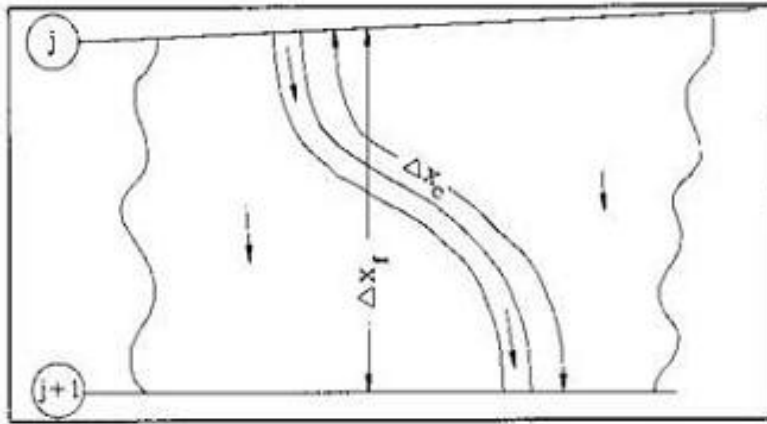


Σχήμα 4.22: Παράθυρο αλλαγής παραμέτρων υδραυλικής προσομοίωσης.

4.2.3.2 Βασικές σχέσεις υπολογισμού για συνθήκες μη μόνιμης ροής

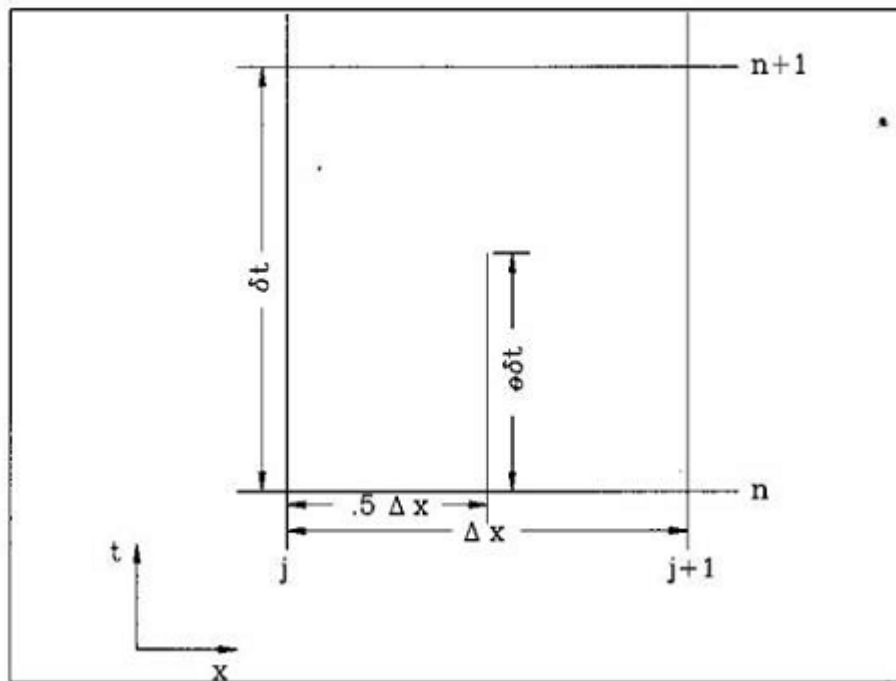
Το σχήμα 4.23 επεξηγεί δισδιάστατα την αλληλεπίδραση μεταξύ της κύριας κοίτης και των πλημμυρικών κοιτών. Όταν αυξάνεται η παροχή, το νερό κινείται προς της πλημμυρικές κοίτες και γεμίζει τις διαθέσιμες περιοχές αποθήκευσης. Αντίθετα, όταν η παροχή μειώνεται, τότε το νερό κινείται και πάλι προς την κύρια κοίτη.

Επειδή η διεύθυνση της ροής είναι προσανατολισμένη κατά μήκος της κύριας κοίτης η ροή μπορεί να προσεγγιστεί και μονοδιάστατα.



Σχήμα 4.23: Απεικόνιση της κύριας κοίτης και των πλημμυρικών κοιτών

Εξισώσεις σύμφωνα με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών



Σχήμα 4.24: Απεικόνιση ενός κελιού από τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών

Η αρχική εξίσωση έχει ως εξής:

$$f_f = f_f^n \quad (\text{E.4.10})$$

και

$$\Delta f_f = f_f^{n+1} - f_f^n \quad (\text{E.4.11})$$

Τότε:

$$f_f^{n+1} = f_f + \Delta f_f \quad (\text{E. 4.12})$$

Οι γενικοί τύποι της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών είναι:

1. Χρονικής παραγωγίσισης

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{0.5(\Delta f_{f+1} + \Delta f_f)}{\Delta t} \quad (\text{E.4.13})$$

2. Χωρικής παραγωγίσισης

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{(f_{f+1} - f_f) + \theta(\Delta f_{f+1} - \Delta f_f)}{\Delta x} \quad (\text{E. 4.14})$$

3. Απλής συνάρτησης

$$f \approx \bar{f} = 0.5 (f_f + f_{f+1}) + 0.5\theta (\Delta f_f + \Delta f_{f+1}) \quad (\text{E.4.15})$$

Εξίσωση συνέχειας

Σύμφωνα με τα προηγούμενα και προσθέτοντας τον όρο S, η εξίσωση της συνέχειας μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (\text{E.4.16})$$

όπου:

x	= η απόσταση κατά μήκος του υδατορρεύματος
t	= ο χρόνος
Q	= η παροχή
A	= το εμβαδόν της διατομής
S	= οι περιοχές αποθήκευσης του νερού
q	= η πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί για την κεντρική κοίτη και τις πλημμυρικές κοίτες ως εξής:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c} + \frac{\partial A_c}{\partial t} = q_f \quad (\text{E.4.17})$$

και

$$\frac{\partial Q_f}{\partial x_f} + \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} = q_c + q_i \quad (\text{E.4.18})$$

Με κατάλληλες τροποποιήσεις, η εξίσωση καταλήγει ως εξής:

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta A_f}{\Delta t} \Delta x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} \Delta x_f - \bar{Q}_i = 0 \quad (\text{E.4.19})$$

Εξίσωση της ορμής

Η εξίσωση της ορμής μπορεί να γραφεί, λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα, ως εξής:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (\text{E.4.20})$$

όπου:

g	= η επιτάχυνση της βαρύτητας
S_f	= η κλίση του υδατορρέυματος
V	= η ταχύτητα

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί για την κεντρική κοίτη και τις πλημμυρικές κοίτες ως εξής:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c} + \frac{\partial V_c Q_c}{\partial x_c} + gA_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) = M_f \quad (\text{E.4.21})$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial t} + \frac{\partial(V_f Q_f)}{\partial x_c} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{ff} \right) = M_c \quad (\text{E.4.22})$$

Με κατάλληλες τροποποιήσεις, η εξίσωση καταλήγει ως εξής:

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t \Delta x_c} + \frac{\Delta(\beta V Q)}{\Delta x_c} + g \bar{A} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_c} + \bar{S}_f \right) = 0 \quad (\text{E.4.23})$$

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Εισαγωγή

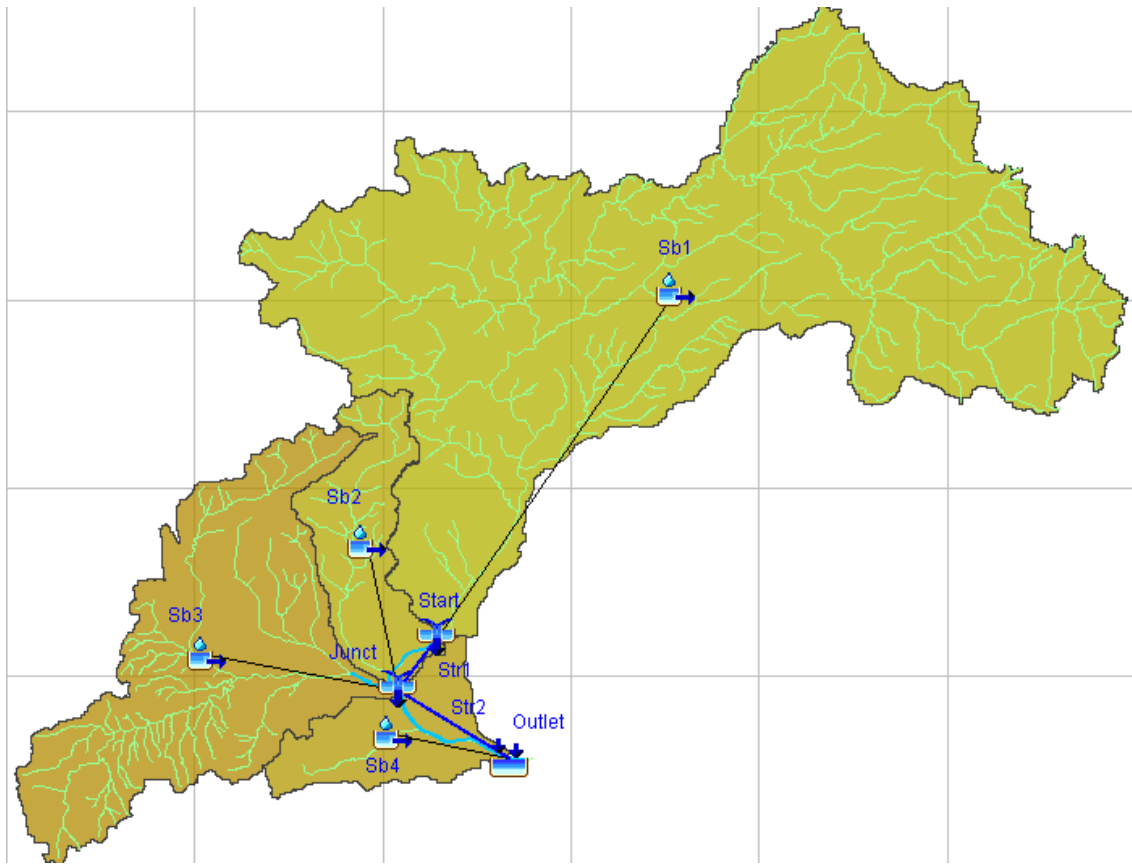
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα εξαγόμενα αποτελέσματα τόσο της υδρολογικής όσο και της υδραυλικής προσομοίωσης. Όσον αφορά την υδρολογική προσομοίωση παρατίθενται ξεχωριστά τα αποτελέσματα για τις διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού της άμεσης απορροής και για δύο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς, ενώ για την υδραυλική προσομοίωση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής καθώς και οι πλημμυρικοί τους χάρτες.

5.1 Αποτελέσματα Υδρολογικής Προσομοίωσης

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα τις υδρολογικής προσομοίωσης όπως πρόεκυψαν με την χρήση του υδρολογικού προγράμματος HEC-HMS. Συγκεκριμένα μετά τον τελικό καθορισμό των υπολεκανών (Σχήμα 5.1), τη δημιουργία των υετογραφημάτων σχεδιασμού και τη συμπλήρωση όλων των απαιτούμενων παραμέτρων, όπως έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, πρόεκυψαν τα αποτελέσματα. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις ξεχωριστές μέθοδοι μοναδιαίων υδρογραφημάτων για τον υπολογισμό της άμεσης απορροής (Clark, SCS, Snyder) καθώς και δυο περίοδοι επαναφοράς για την σύνθεση των υετογραφημάτων (T=50, T=100).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά μέθοδο ΜΥΓ και για κάθε περίοδο επαναφοράς, ανά υπολεκάνη, και αποτελούνται από:

- Τις παραμέτρους εισαγωγής.
- Συγκεντρωτικούς πίνακες που περιέχουν τα εμβαδά υπολεκανών, τις μέγιστες παροχές, τη χρονική τους στιγμή και τους απορροϊκούς όγκους.
- Βροχογραφήματα και υδρογραφήματα σχεδιασμού για κάθε υπολεκάνη απορροής και επεισόδιο βροχής.



Σχήμα 5.1: Μοντέλο λεκάνης απορροής στο πρόγραμμα HEC-HMS.

5.1.1 Αποτελέσματα με χρήση ΜΥΓ Clark

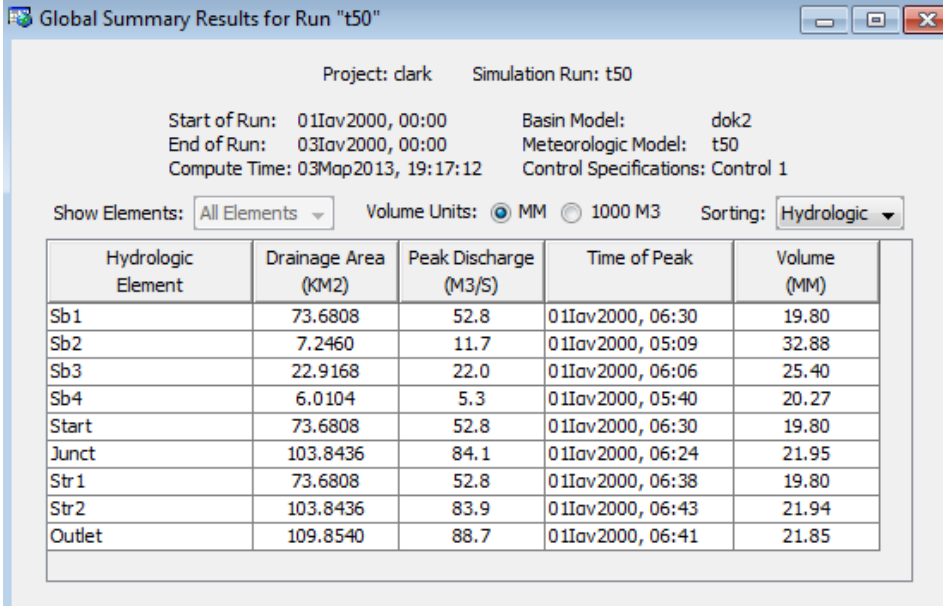
Για την εκτέλεση των υπολογισμών του ΜΥΓ Clark το πρόγραμμα απαιτεί την εισαγωγή του χρόνου συγκέντρωσης (Time of Concentration) και του συντελεστή αποθηκευτικότητας (Storage Coefficient) (Σχήμα 5.2).

Subbasin	Time of Concentration (HR)	Storage Coefficient (HR)
Sb1	4.196	4.888
Sb2	2.821	3.287
Sb3	3.894	4.536
Sb4	3.273	3.813

Σχήμα 5.2: Παράμετροι εισαγωγής για ΜΥΓ Clark στο πρόγραμμα HEC-HMS.

5.1.1.1 Αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς T=50

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές, η χρονική στιγμή που εμφανίζονται καθώς και οι απορροϊκοί όγκοι, όπως πρόεκυψαν από την προσομοίωση για MYG Clark, για κάθε υπολεκάνη και για περίοδο επαναφοράς T=50.



Project: clark Simulation Run: t50

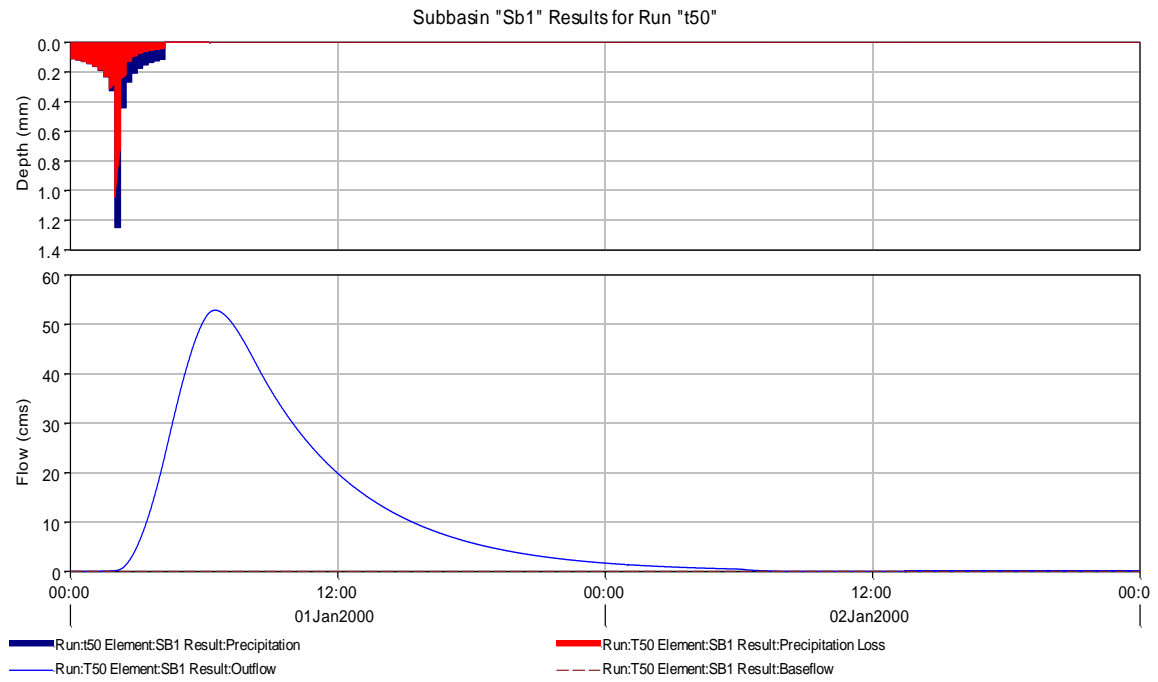
Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: dok2
End of Run: 03Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: t50
Compute Time: 03Mar2013, 19:17:12 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

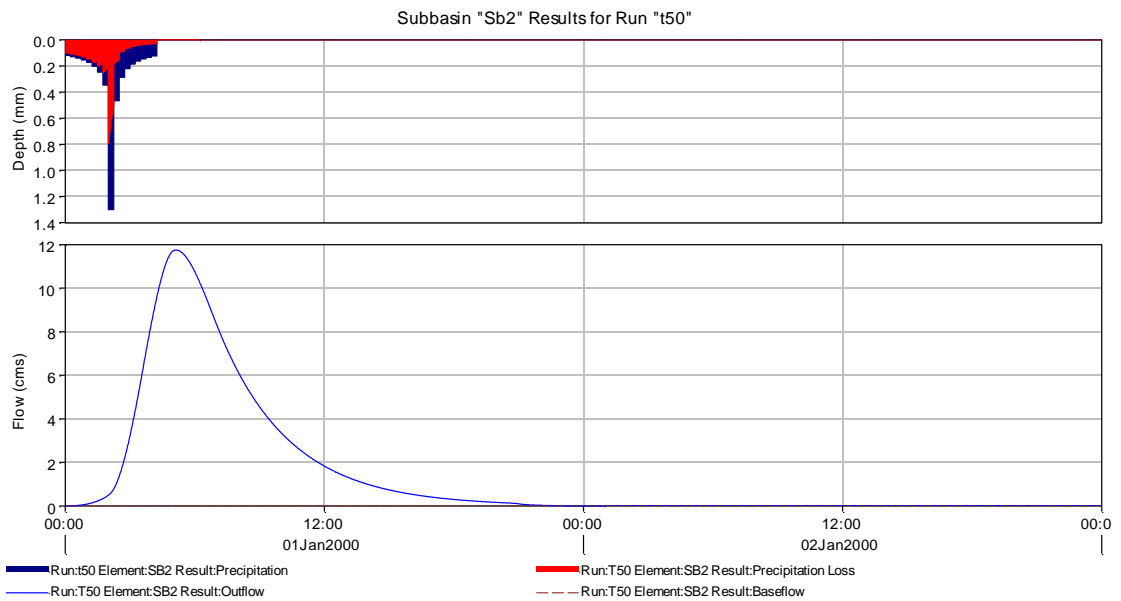
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sb1	73.6808	52.8	01Jan2000, 06:30	19.80
Sb2	7.2460	11.7	01Jan2000, 05:09	32.88
Sb3	22.9168	22.0	01Jan2000, 06:06	25.40
Sb4	6.0104	5.3	01Jan2000, 05:40	20.27
Start	73.6808	52.8	01Jan2000, 06:30	19.80
Junct	103.8436	84.1	01Jan2000, 06:24	21.95
Str1	73.6808	52.8	01Jan2000, 06:38	19.80
Str2	103.8436	83.9	01Jan2000, 06:43	21.94
Outlet	109.8540	88.7	01Jan2000, 06:41	21.85

Σχήμα 5.3: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για MYG Clark και περίοδο επαναφοράς T=50 στο πρόγραμμα HEC-HMS.

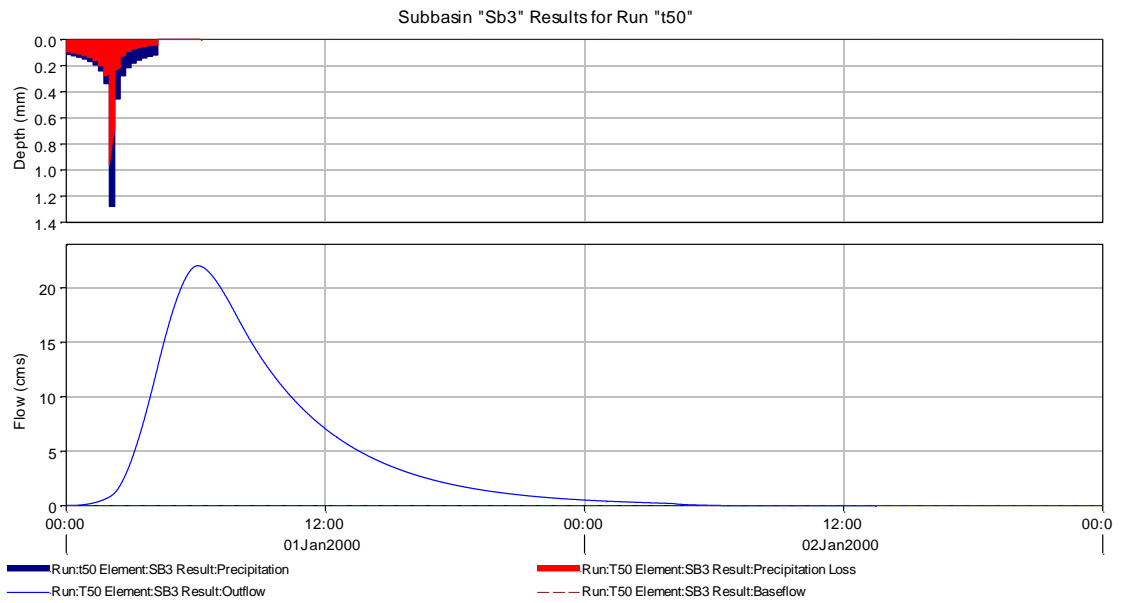
Παρακάτω στα σχήματα 5.4-5.7 φαίνονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού αντιπαραβαλλόμενα με τα υετογραφήματα ενεργού βροχής και απωλειών.



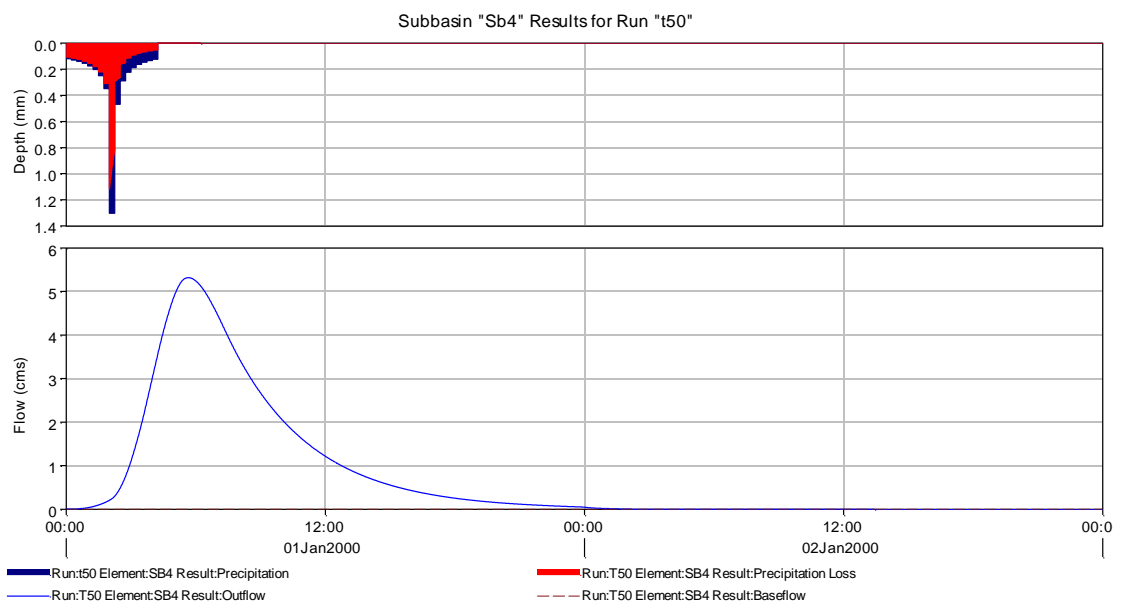
Σχήμα 5.4: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



Σχήμα 5.5: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 2 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



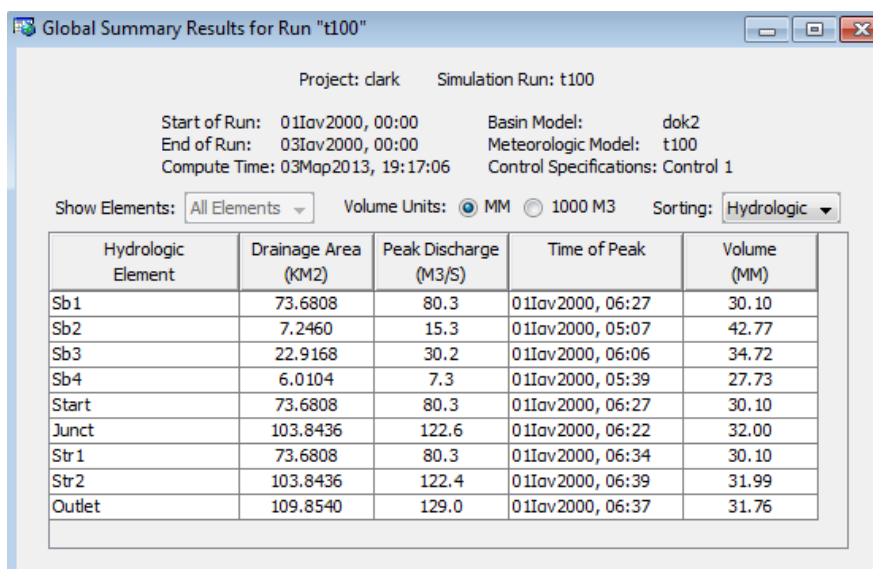
Σχήμα 5.6: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 3 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



Σχήμα 5.7: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 4 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.

5.1.1.2 Αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς T=100

Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές, η χρονική στιγμή που εμφανίζονται καθώς και οι απορροϊκοί όγκοι, όπως πρόβλεψαν από την προσομοίωση για ΜΥΓ Clark, για κάθε υπολεκάνη και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Project: clark Simulation Run: t100

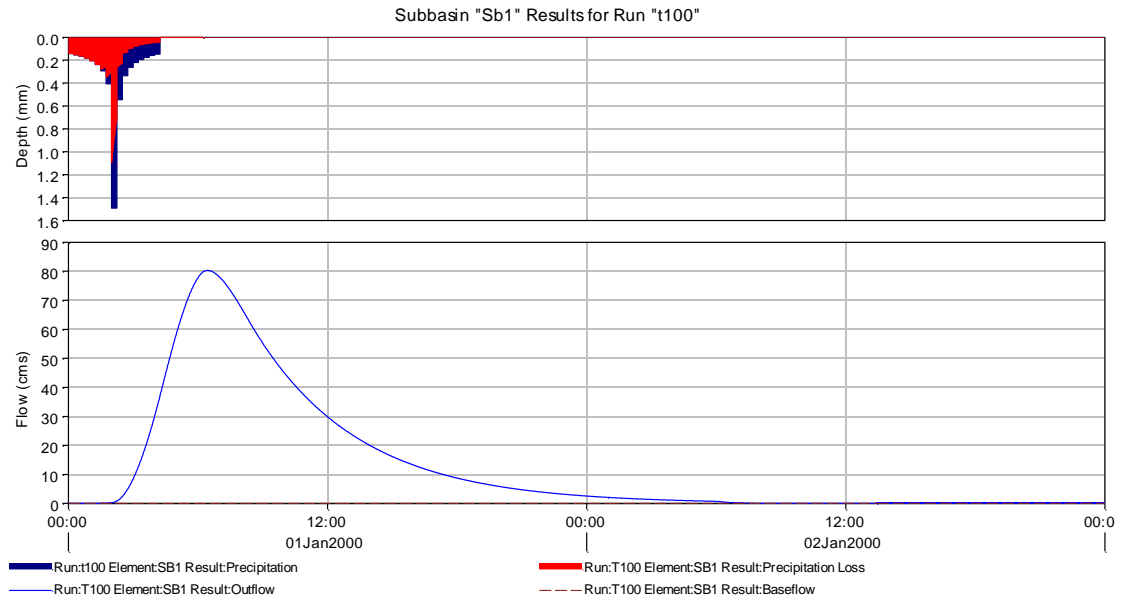
Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: dok2
End of Run: 03Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: t100
Compute Time: 03Mar2013, 19:17:06 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

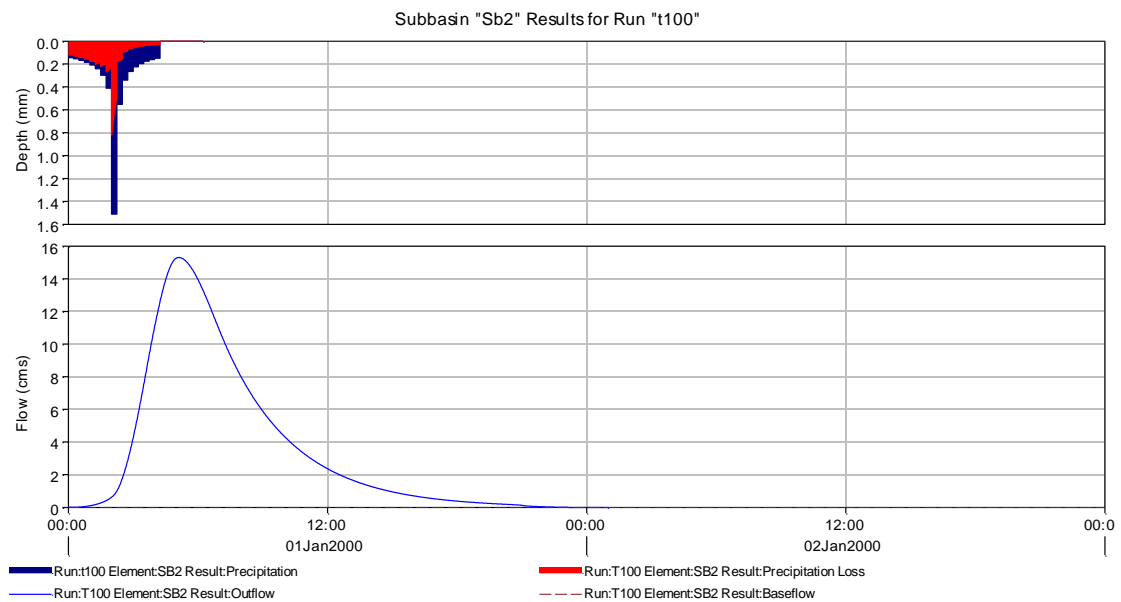
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sb1	73.6808	80.3	01Jan2000, 06:27	30.10
Sb2	7.2460	15.3	01Jan2000, 05:07	42.77
Sb3	22.9168	30.2	01Jan2000, 06:06	34.72
Sb4	6.0104	7.3	01Jan2000, 05:39	27.73
Start	73.6808	80.3	01Jan2000, 06:27	30.10
Junct	103.8436	122.6	01Jan2000, 06:22	32.00
Str1	73.6808	80.3	01Jan2000, 06:34	30.10
Str2	103.8436	122.4	01Jan2000, 06:39	31.99
Outlet	109.8540	129.0	01Jan2000, 06:37	31.76

Σχήμα 5.8: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για ΜΥΓ Clark και περίοδο επαναφοράς T=100 στο πρόγραμμα HEC-HMS.

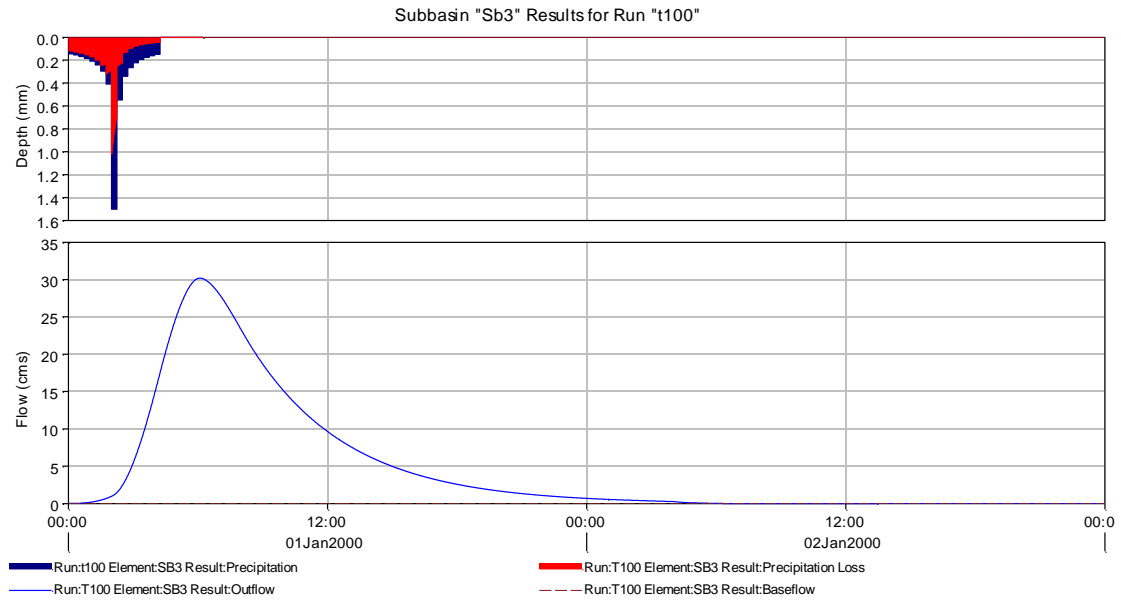
Παρακάτω στα σχήματα 5.9-5.12 φαίνονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού αντιπαραβαλλόμενα με τα υετογραφήματα ενεργού βροχής και απωλειών.



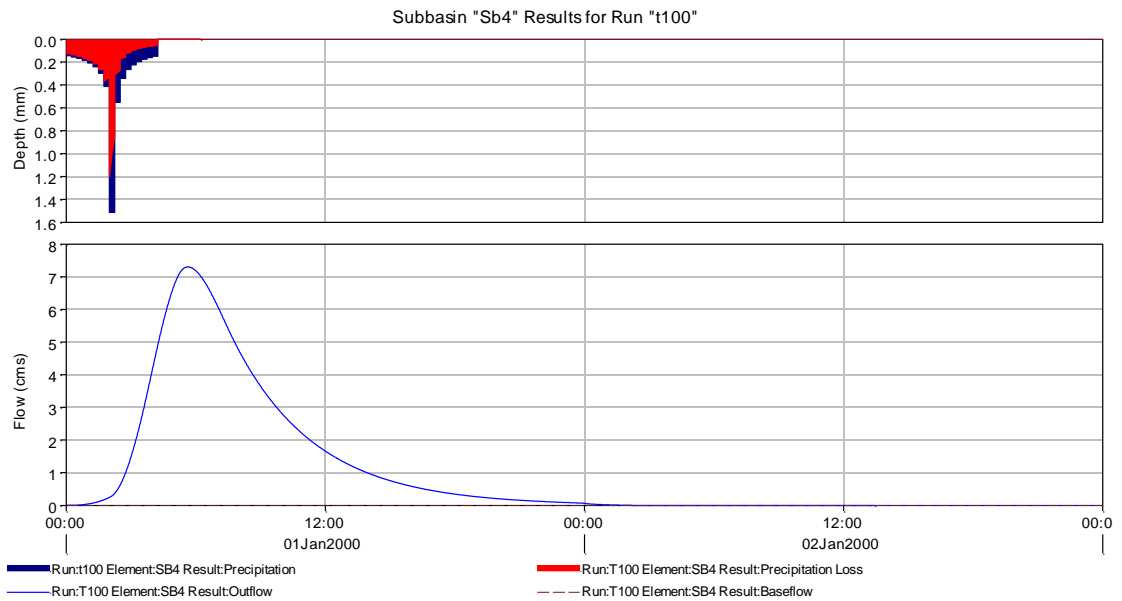
Σχήμα 5.9 : Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Σχήμα 5.10: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 2 και για περίοδο επαναφοράς T=100.



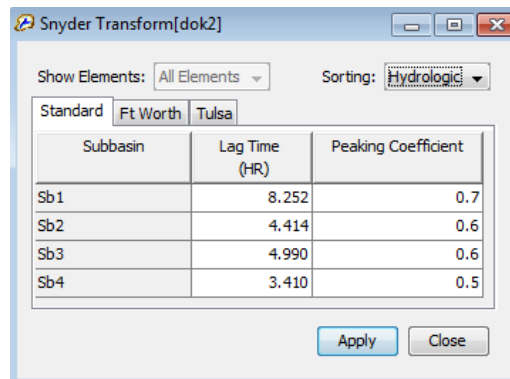
Σχήμα 5.11: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 3 και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Σχήμα 5.12: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 4 και για περίοδο επαναφοράς T=100.

5.1.2 Αποτελέσματα με χρήση ΜΥΓ Snyder

Για την εκτέλεση των υπολογισμών του ΜΥΓ Snyder το πρόγραμμα HEC-HMS απαιτεί την εισαγωγή του χρόνου υστέρησης (Lag Time) και του συντελεστή C_p (Peaking Coefficient) για κάθε υπολεκάνη (Σχήμα 5.13).

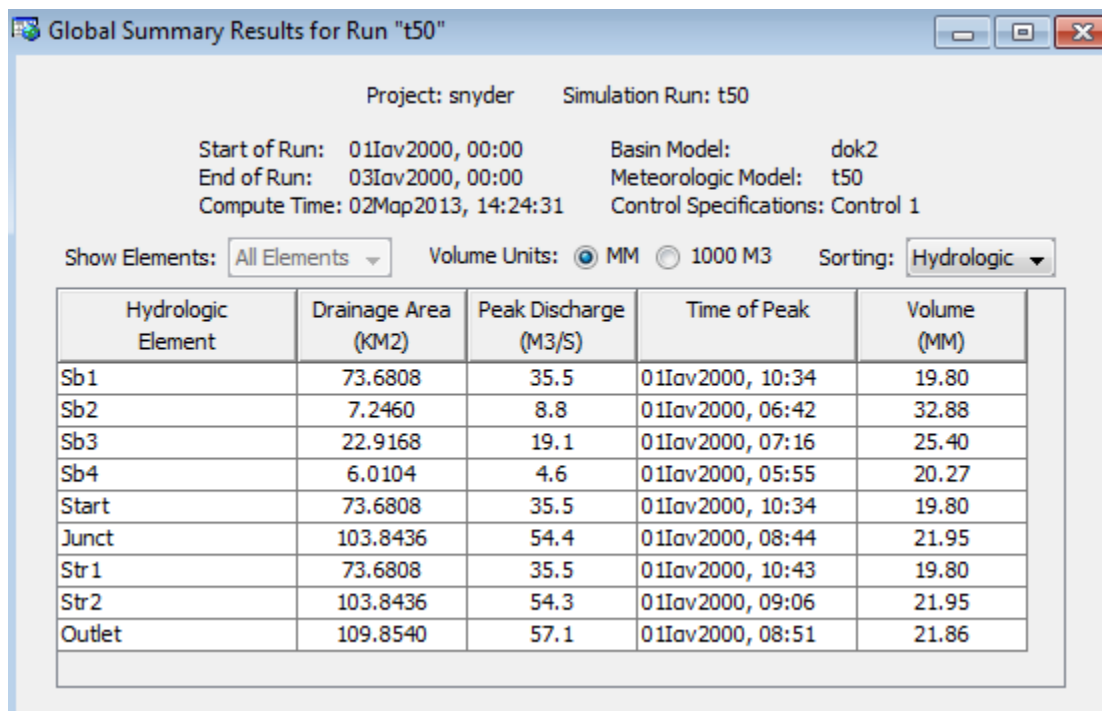


Subbasin	Lag Time (HR)	Peaking Coefficient
Sb1	8.252	0.7
Sb2	4.414	0.6
Sb3	4.990	0.6
Sb4	3.410	0.5

Σχήμα 5.13: Παράμετροι εισαγωγής για ΜΥΓ Snyder στο πρόγραμμα HEC-HMS.

5.1.2.1 Αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς T=50

Στο σχήμα 5.14 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές, η χρονική στιγμή που εμφανίζονται καθώς και οι απορροϊκοί όγκοι, όπως πρόέκυψαν από την προσομοίωση για ΜΥΓ Snyder, για κάθε υπολεκάνη και για περίοδο επαναφοράς T=50.



Project: snyder Simulation Run: t50

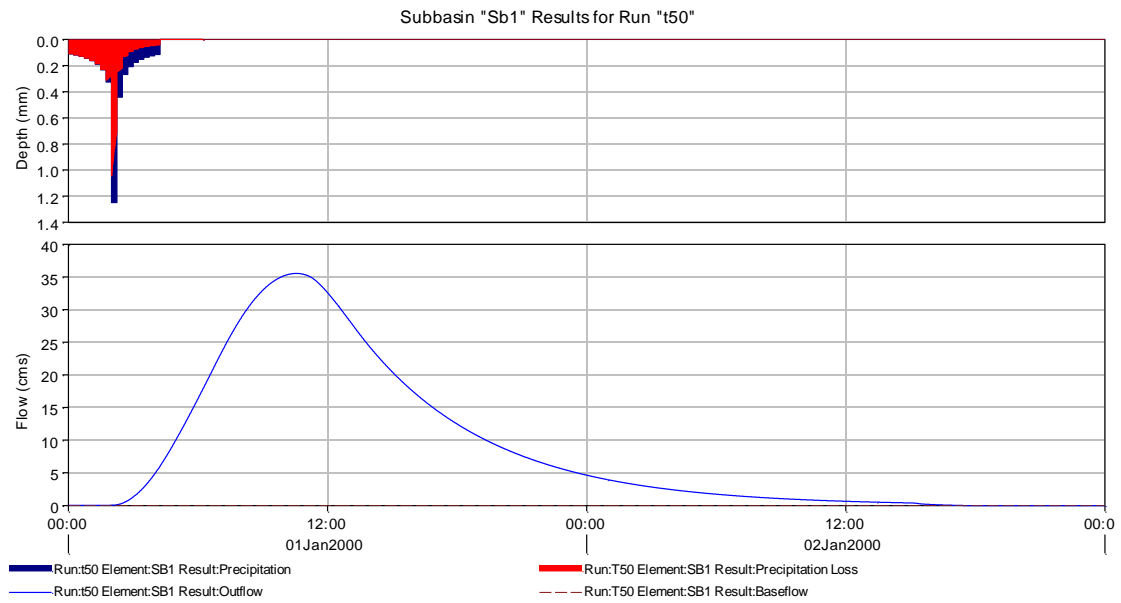
Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: dok2
End of Run: 03Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: t50
Compute Time: 02Mar2013, 14:24:31 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

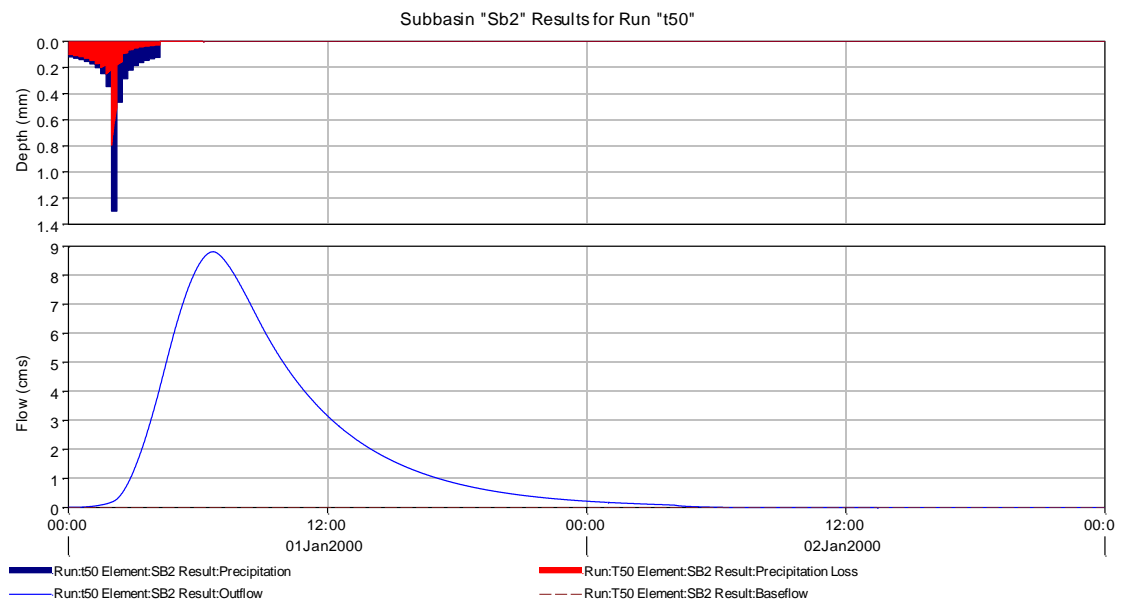
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sb1	73.6808	35.5	01Jan2000, 10:34	19.80
Sb2	7.2460	8.8	01Jan2000, 06:42	32.88
Sb3	22.9168	19.1	01Jan2000, 07:16	25.40
Sb4	6.0104	4.6	01Jan2000, 05:55	20.27
Start	73.6808	35.5	01Jan2000, 10:34	19.80
Junct	103.8436	54.4	01Jan2000, 08:44	21.95
Str1	73.6808	35.5	01Jan2000, 10:43	19.80
Str2	103.8436	54.3	01Jan2000, 09:06	21.95
Outlet	109.8540	57.1	01Jan2000, 08:51	21.86

Σχήμα 5.14: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για ΜΥΓ Snyder και περίοδο επαναφοράς T=50 στο πρόγραμμα HEC-HMS.

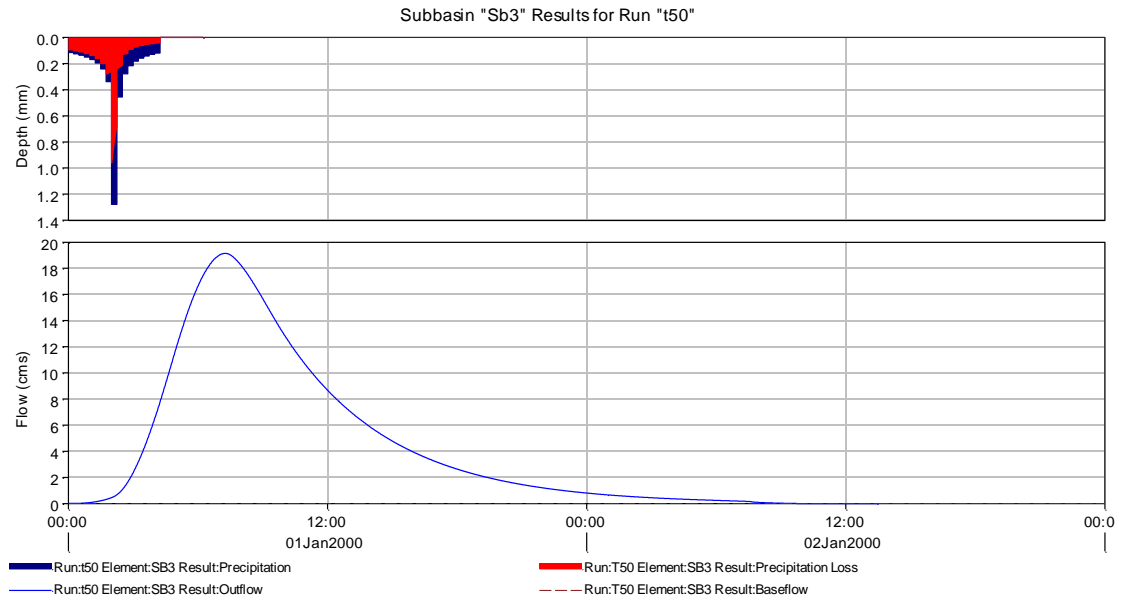
Παρακάτω στα σχήματα 5.15-5.18 φαίνονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού αντιπαραβαλλόμενα με τα υετογραφήματα ενεργού βροχής και απωλειών.



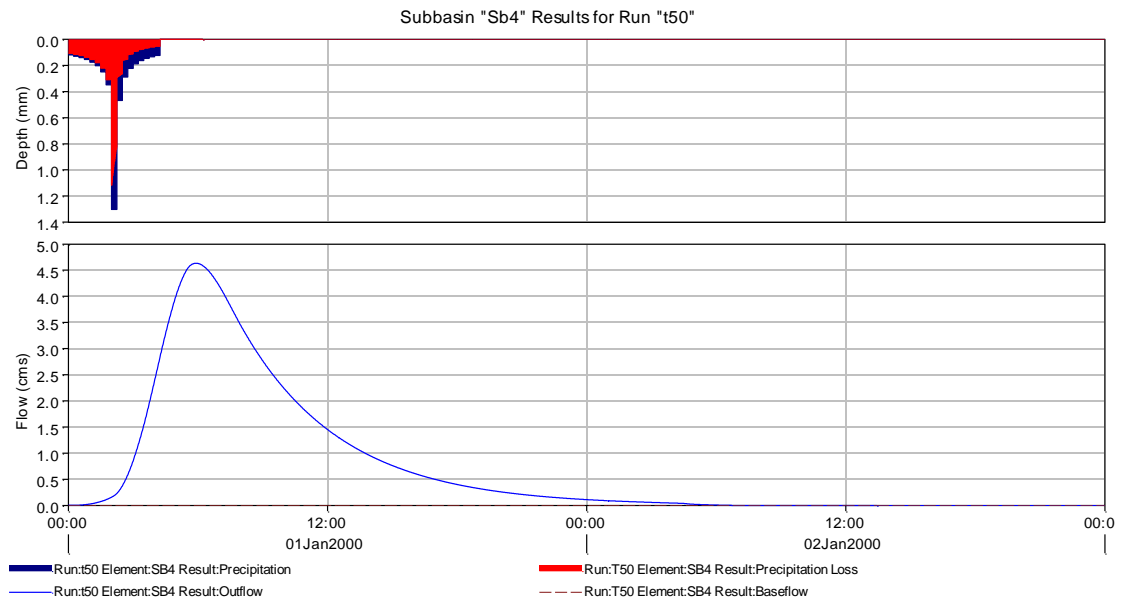
Σχήμα 5.15: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



Σχήμα 5.16: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 2 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



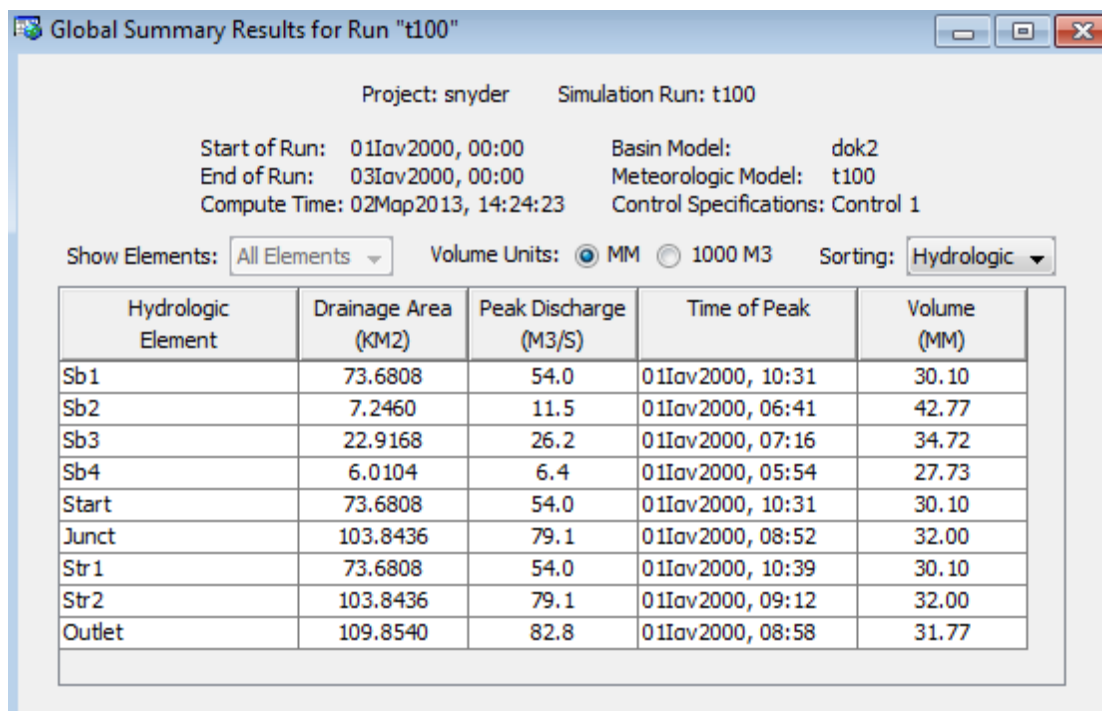
Σχήμα 5.17: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 3 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



Σχήμα 5.18: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 4 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.

5.1.2.2 Αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς T=100

Στο σχήμα 5.19 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές, η χρονική στιγμή που εμφανίζονται καθώς και οι απορροϊκοί όγκοι, όπως πρόβλεψαν από την προσομοίωση για ΜΥΓ Snyder, για κάθε υπολεκάνη και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Project: snyder Simulation Run: t100

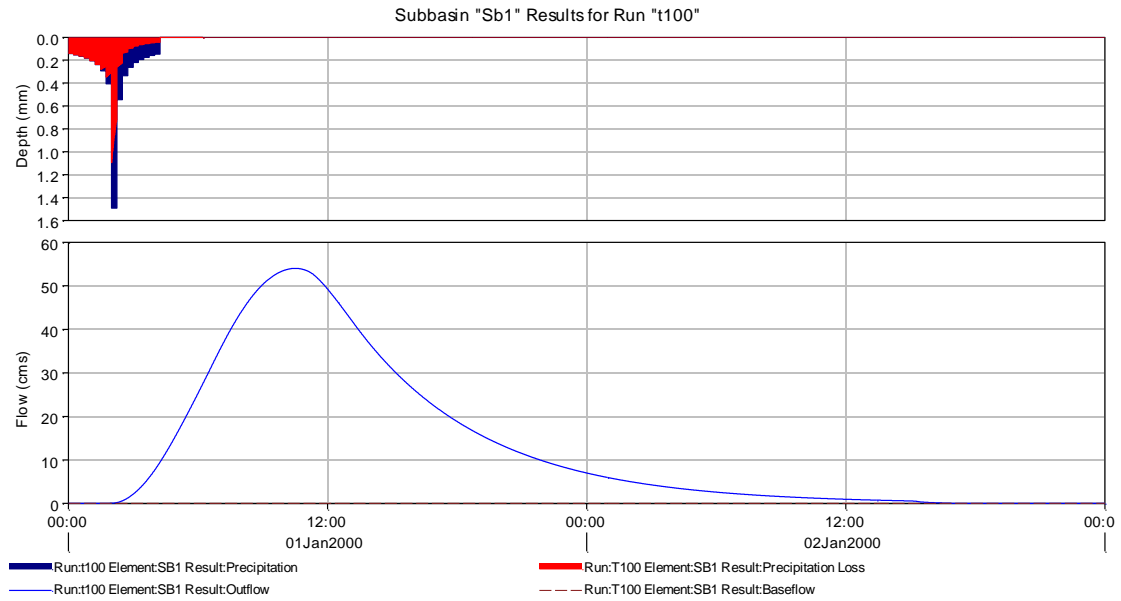
Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: dok2
End of Run: 03Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: t100
Compute Time: 02Map2013, 14:24:23 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

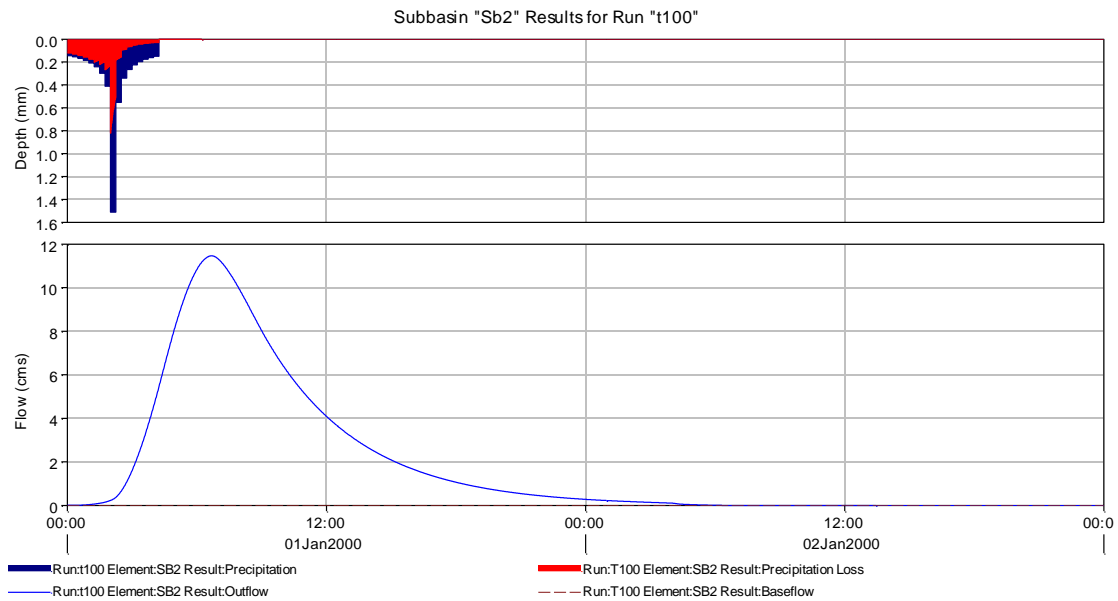
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sb1	73.6808	54.0	01Jan2000, 10:31	30.10
Sb2	7.2460	11.5	01Jan2000, 06:41	42.77
Sb3	22.9168	26.2	01Jan2000, 07:16	34.72
Sb4	6.0104	6.4	01Jan2000, 05:54	27.73
Start	73.6808	54.0	01Jan2000, 10:31	30.10
Junct	103.8436	79.1	01Jan2000, 08:52	32.00
Str1	73.6808	54.0	01Jan2000, 10:39	30.10
Str2	103.8436	79.1	01Jan2000, 09:12	32.00
Outlet	109.8540	82.8	01Jan2000, 08:58	31.77

Σχήμα 5.19: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για ΜΥΓ Snyder και περίοδο επαναφοράς T=100 στο πρόγραμμα HEC-HMS.

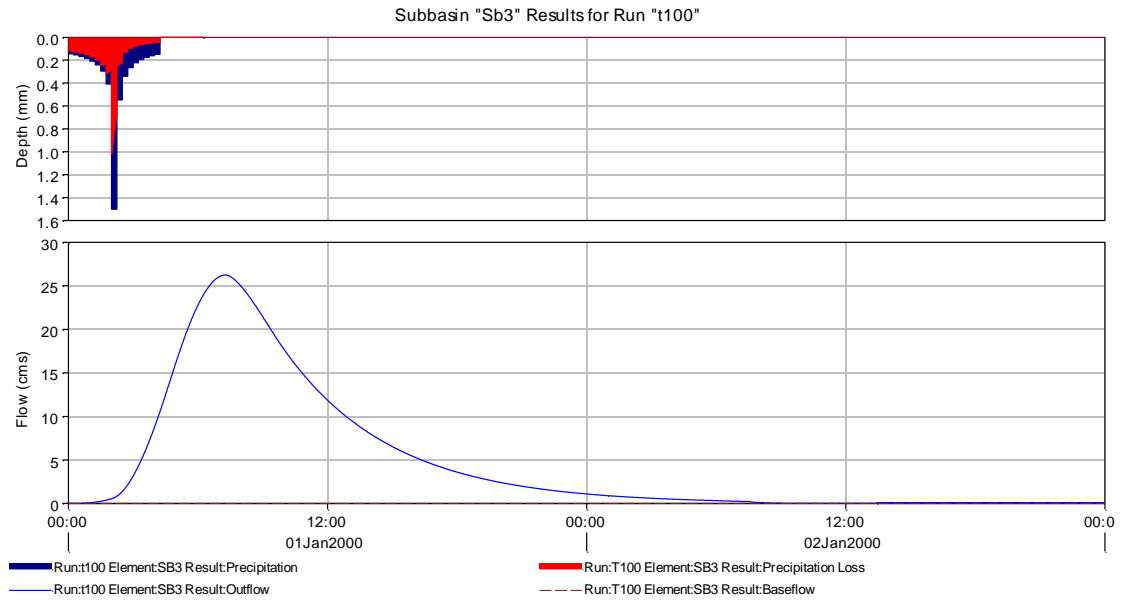
Παρακάτω στα σχήματα 5.20-5.23 φαίνονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού αντιπαραβαλλόμενα με τα υετογραφήματα ενεργού βροχής και απωλειών.



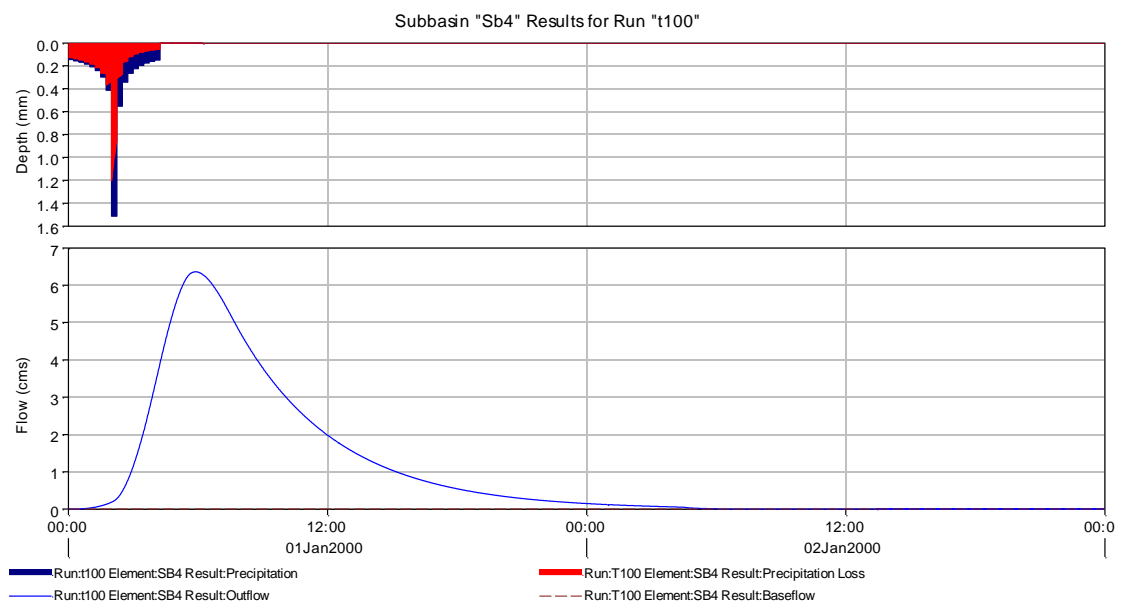
Σχήμα 5.20: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.21: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 2 και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



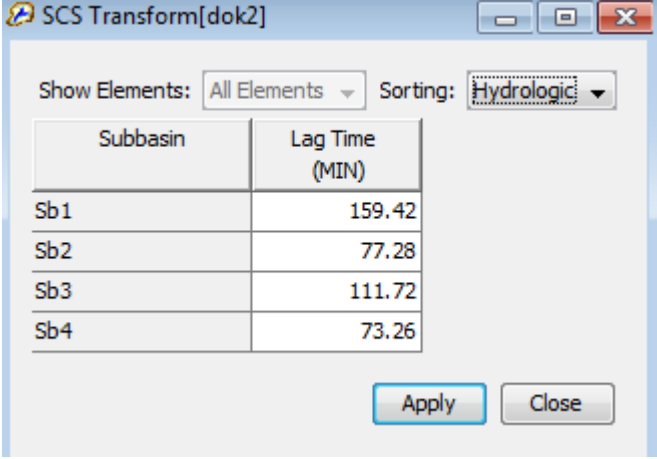
Σχήμα 5.22: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 3 και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Σχήμα 5.23: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 4 και για περίοδο επαναφοράς T=100.

5.1.3 Αποτελέσματα με χρήση MYΓ SCS

Για την εκτέλεση των υπολογισμών του MYΓ SCS το πρόγραμμα απαιτεί την εισαγωγή του χρόνου υστέρησης (Lag Time) (Σχήμα 5.24).

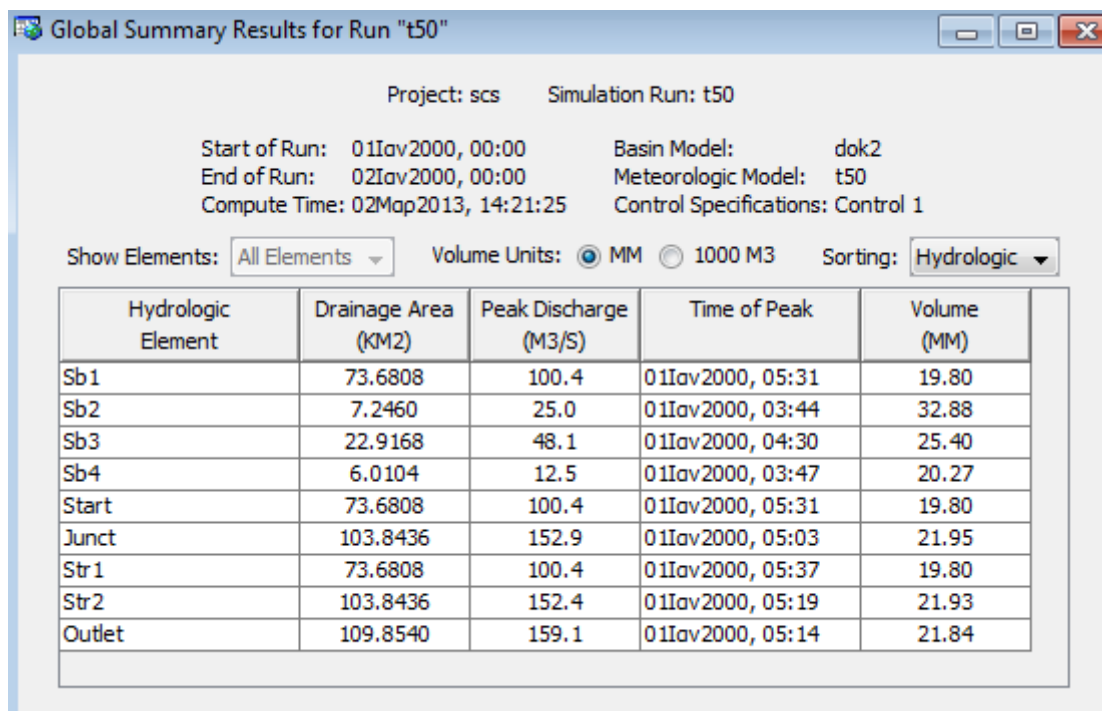


Subbasin	Lag Time (MIN)
Sb1	159.42
Sb2	77.28
Sb3	111.72
Sb4	73.26

Σχήμα 5.24: Παράμετροι εισαγωγής για MYΓ SCS στο πρόγραμμα HEC - HMS.

5.1.3.1 Αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς T=50

Στο σχήμα 5.25 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές, η χρονική στιγμή που εμφανίζονται καθώς και οι απορροϊκοί όγκοι, όπως πρόεκυψαν από την προσομοίωση για MYΓ SCS, για κάθε υπολεκάνη και για περίοδο επαναφοράς T=50.



Project: scs Simulation Run: t50

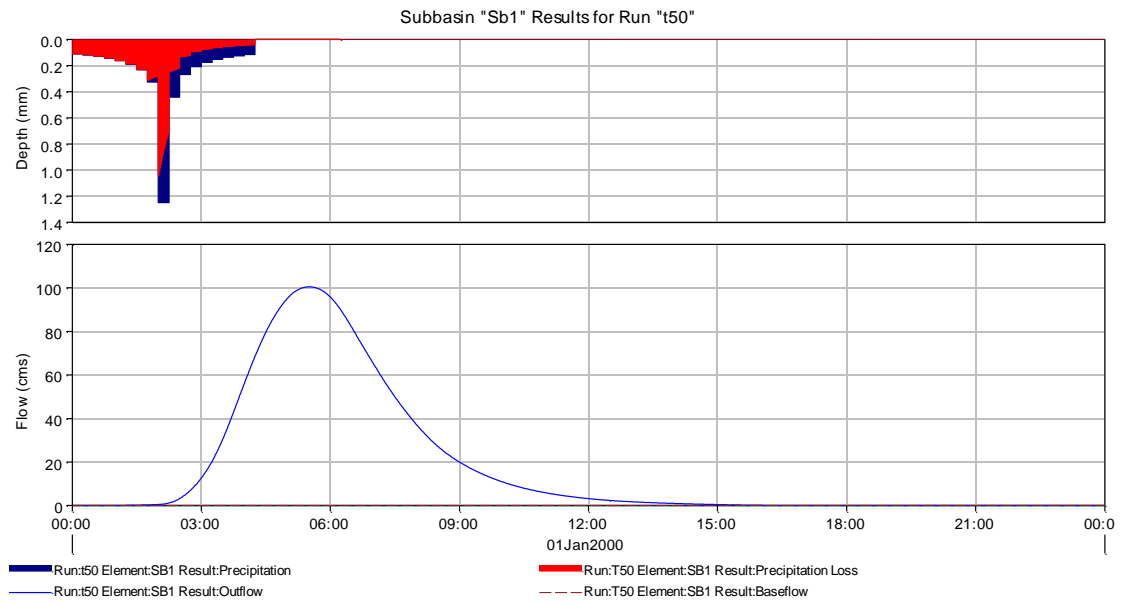
Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: dok2
End of Run: 02Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: t50
Compute Time: 02Mar2013, 14:21:25 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

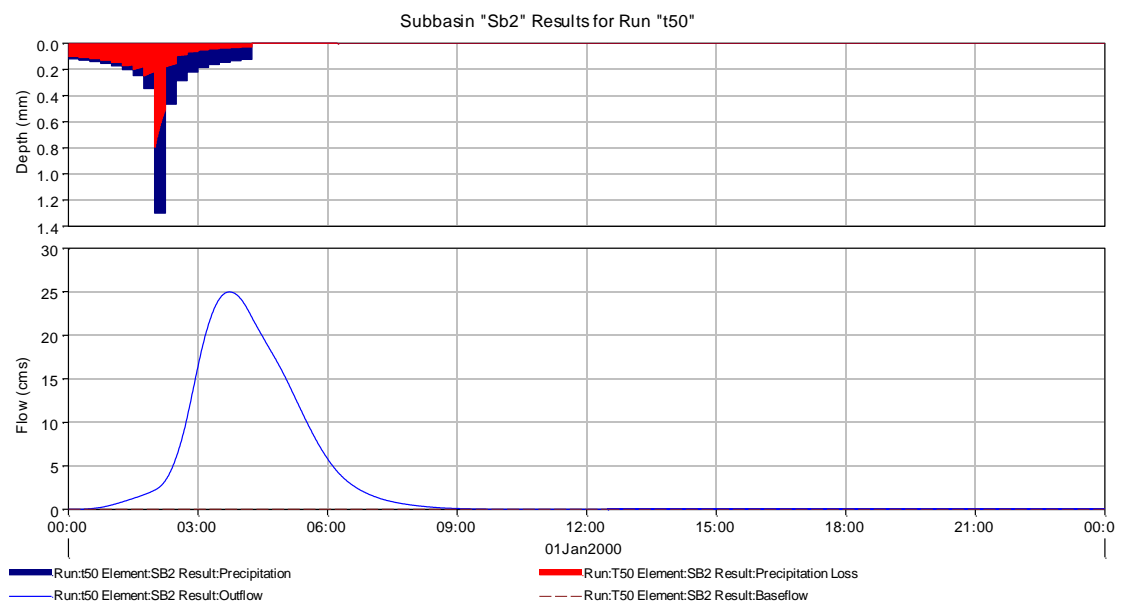
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sb1	73.6808	100.4	01Jan2000, 05:31	19.80
Sb2	7.2460	25.0	01Jan2000, 03:44	32.88
Sb3	22.9168	48.1	01Jan2000, 04:30	25.40
Sb4	6.0104	12.5	01Jan2000, 03:47	20.27
Start	73.6808	100.4	01Jan2000, 05:31	19.80
Junct	103.8436	152.9	01Jan2000, 05:03	21.95
Str1	73.6808	100.4	01Jan2000, 05:37	19.80
Str2	103.8436	152.4	01Jan2000, 05:19	21.93
Outlet	109.8540	159.1	01Jan2000, 05:14	21.84

Σχήμα 5.25: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για MYΓ SCS και περίοδο επαναφοράς T=50 στο πρόγραμμα HEC-HMS.

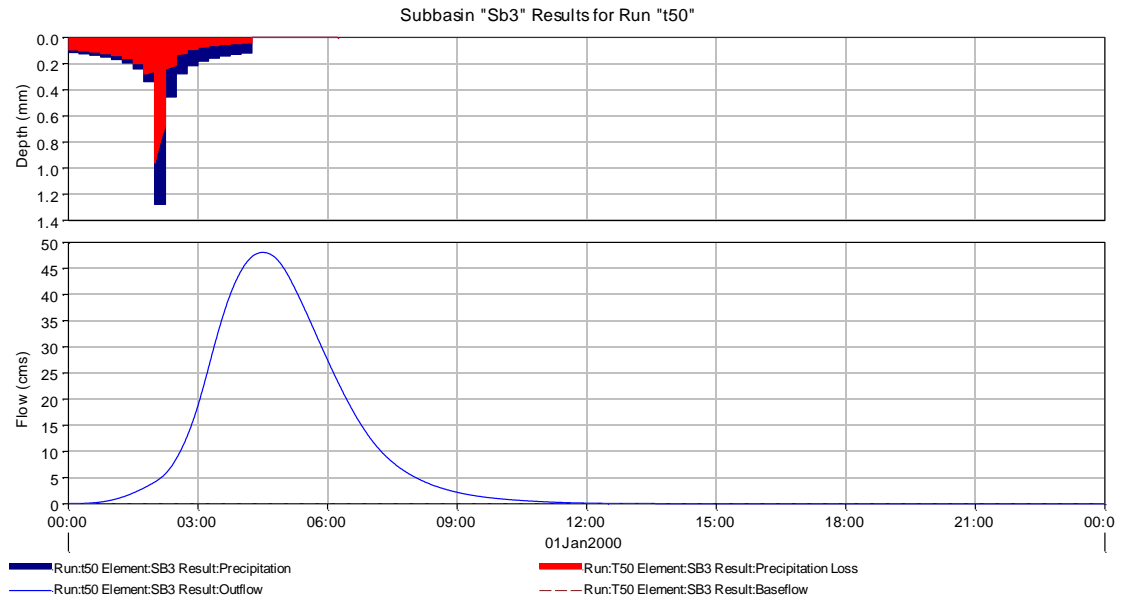
Παρακάτω στα σχήματα 5.26-5.29 φαίνονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού αντιπαραβαλλόμενα με τα υετογραφήματα ενεργού βροχής και απωλειών.



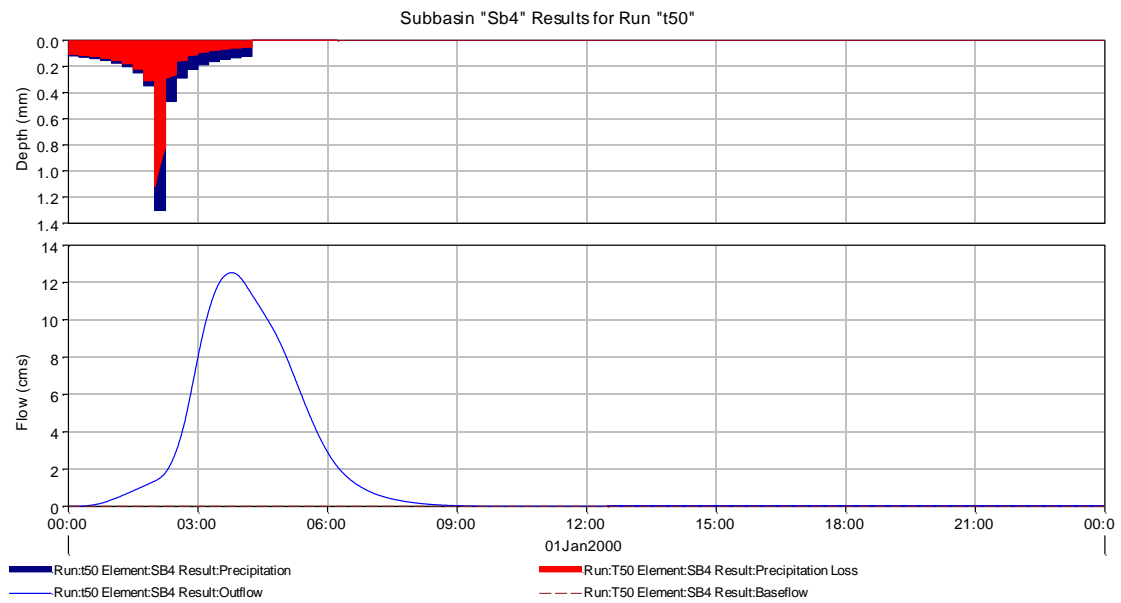
Σχήμα 5.26: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για περίοδο επαναφοράς T=50.



Σχήμα 5.27: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 2 και για περίοδο επαναφοράς T=50.



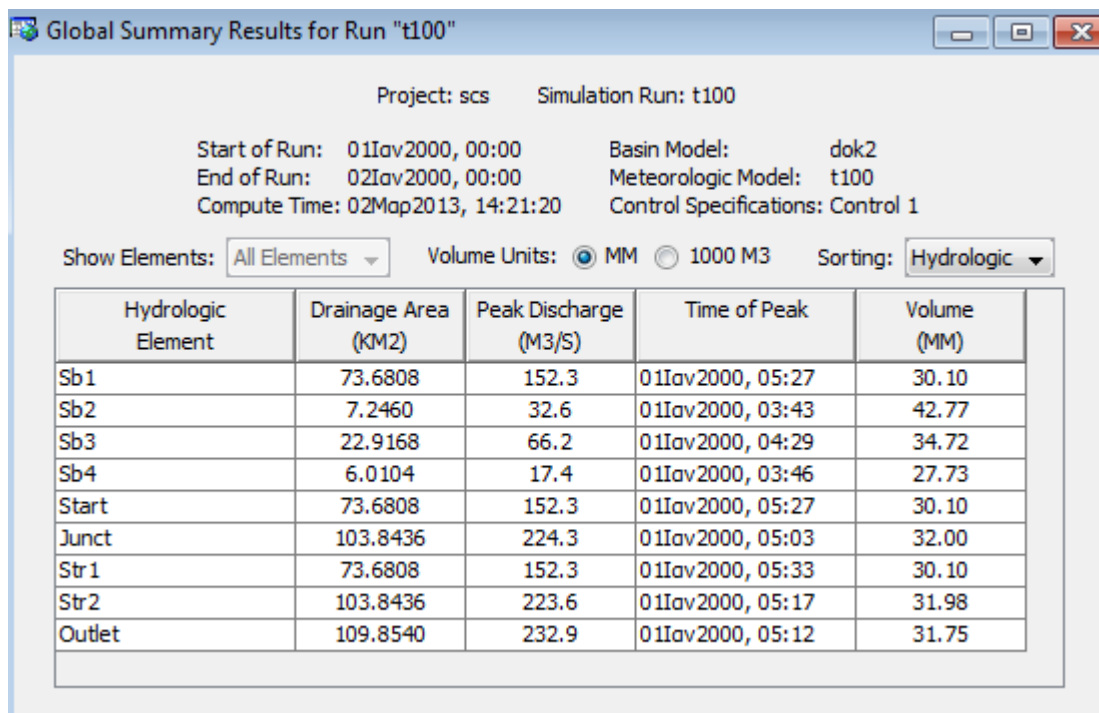
Σχήμα 5.28: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 3 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



Σχήμα 5.29: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 4 και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.

5.1.3.2 Αποτελέσματα για περίοδο επαναφοράς T=100

Στο σχήμα 5.30 παρουσιάζονται οι μέγιστες παροχές, η χρονική στιγμή που εμφανίζονται καθώς και οι απορροϊκοί όγκοι, όπως πρόεκυψαν από την προσομοίωση για ΜΥΓ SCS, για κάθε υπολεκάνη και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Project: scs Simulation Run: t100

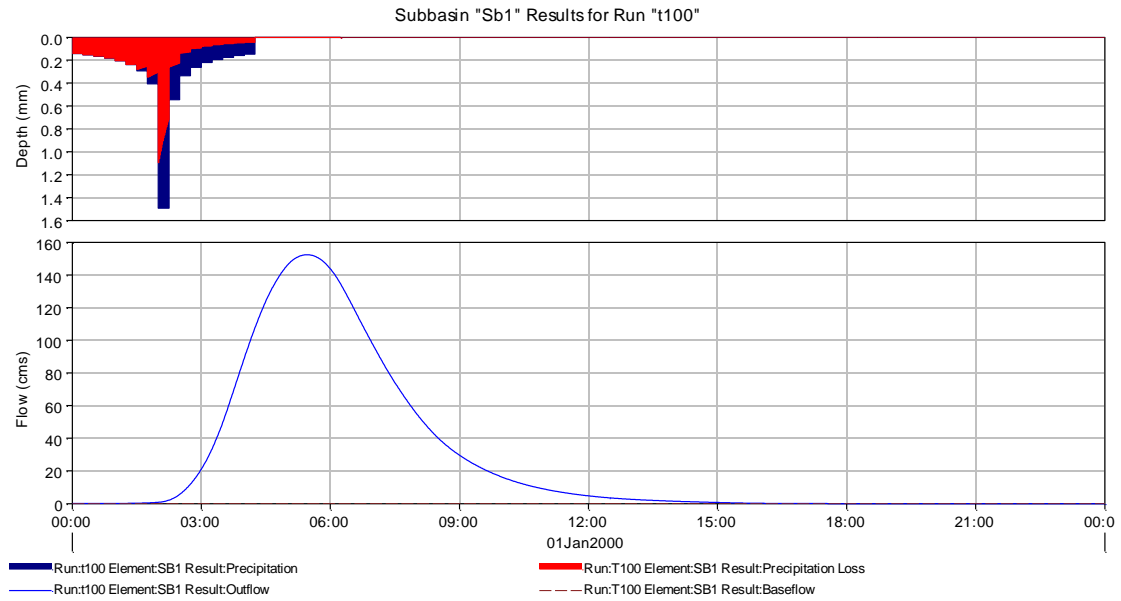
Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: dok2
End of Run: 02Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: t100
Compute Time: 02Mar2013, 14:21:20 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

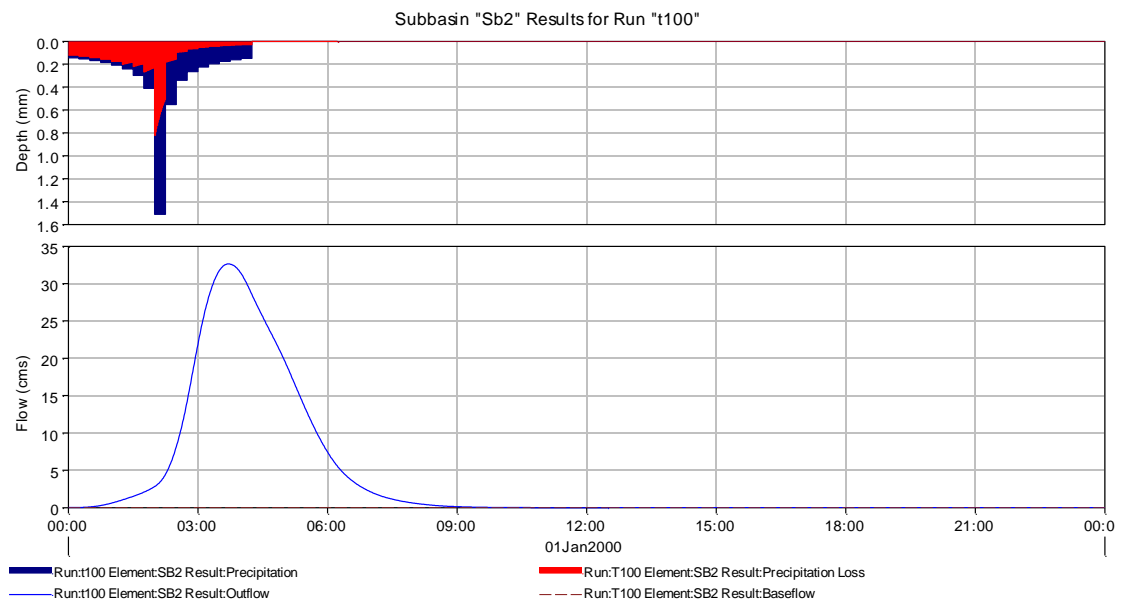
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sb1	73.6808	152.3	01Jan2000, 05:27	30.10
Sb2	7.2460	32.6	01Jan2000, 03:43	42.77
Sb3	22.9168	66.2	01Jan2000, 04:29	34.72
Sb4	6.0104	17.4	01Jan2000, 03:46	27.73
Start	73.6808	152.3	01Jan2000, 05:27	30.10
Junct	103.8436	224.3	01Jan2000, 05:03	32.00
Str1	73.6808	152.3	01Jan2000, 05:33	30.10
Str2	103.8436	223.6	01Jan2000, 05:17	31.98
Outlet	109.8540	232.9	01Jan2000, 05:12	31.75

Σχήμα 5.30: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για ΜΥΓ SCS και περίοδο επαναφοράς T=100 στο πρόγραμμα HEC-HMS.

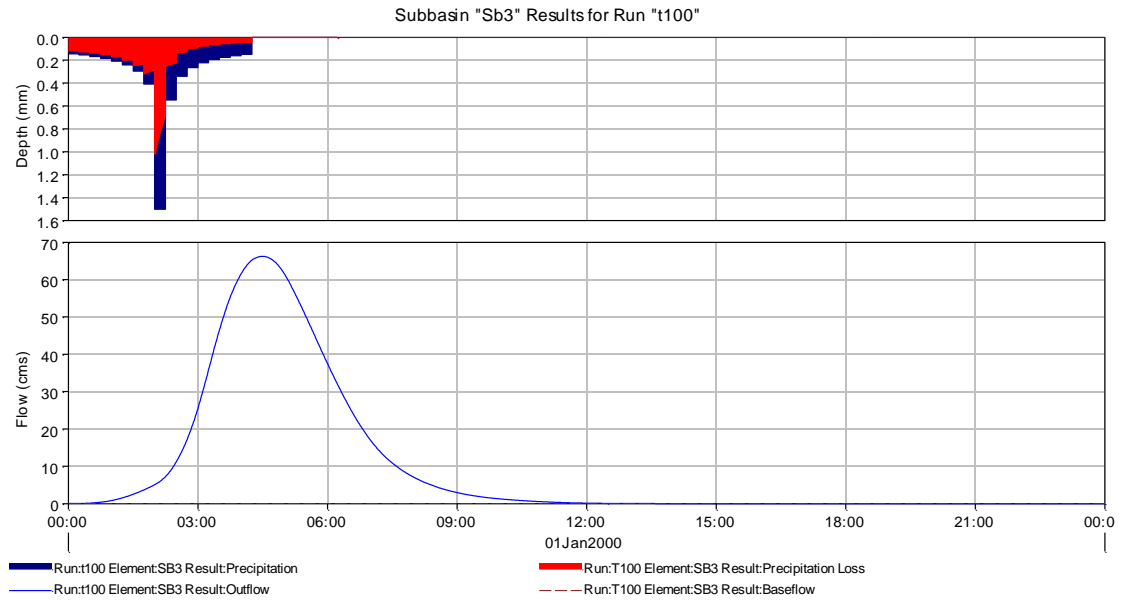
Παρακάτω στα σχήματα 5.31-5.34 φαίνονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού αντιπαραβαλλόμενα με τα υετογραφήματα ενεργού βροχής και απωλειών.



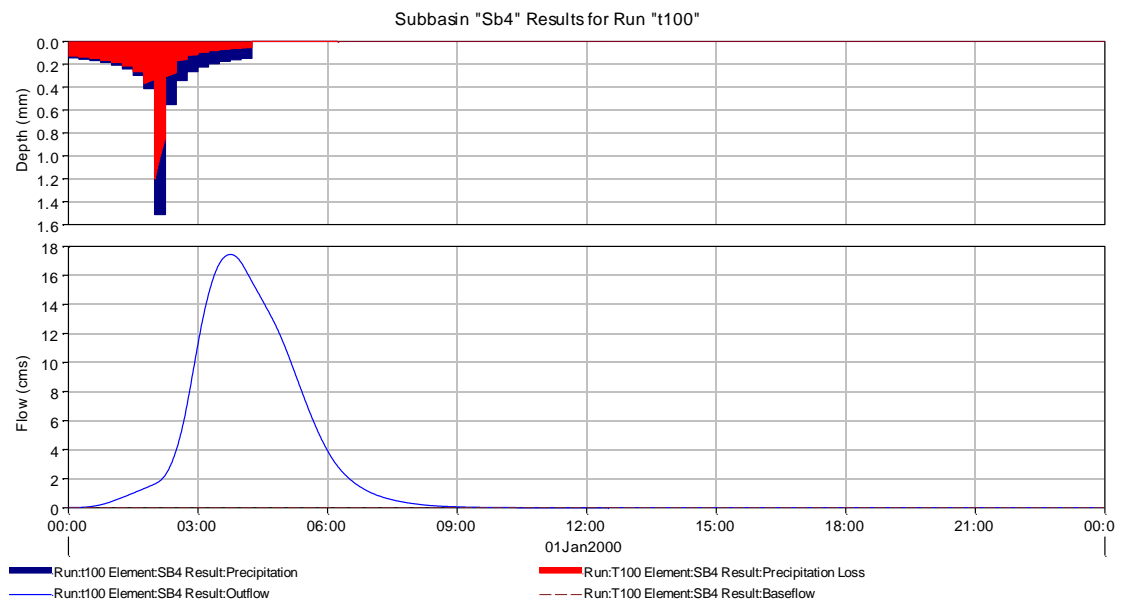
Σχήμα 5.31: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 1 και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Σχήμα 5.32: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 2 και για περίοδο επαναφοράς T=100.



Σχήμα 5.33: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 3 και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.34: Βροχογράφημα και υδρογράφημα σχεδιασμού για την υπολεκάνη 4 και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

5.2 Αποτελέσματα Υδραυλικής Προσομοίωσης

Για την υδραυλική προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της μεθόδου MYΓ SCS ,όπως αναφέρετε και στο τέλος του Κεφαλαίου 3 , που πρόεκυψαν από την υδρολογική προσομοίωση με το πρόγραμμα HEC-HMS, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$, τα οποία ήταν και τα μέγιστα.

5.2.1 Συνθήκες Μόνιμης ροής

Στο κεφάλαιο αυτό συγκρίνονται τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης, υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.

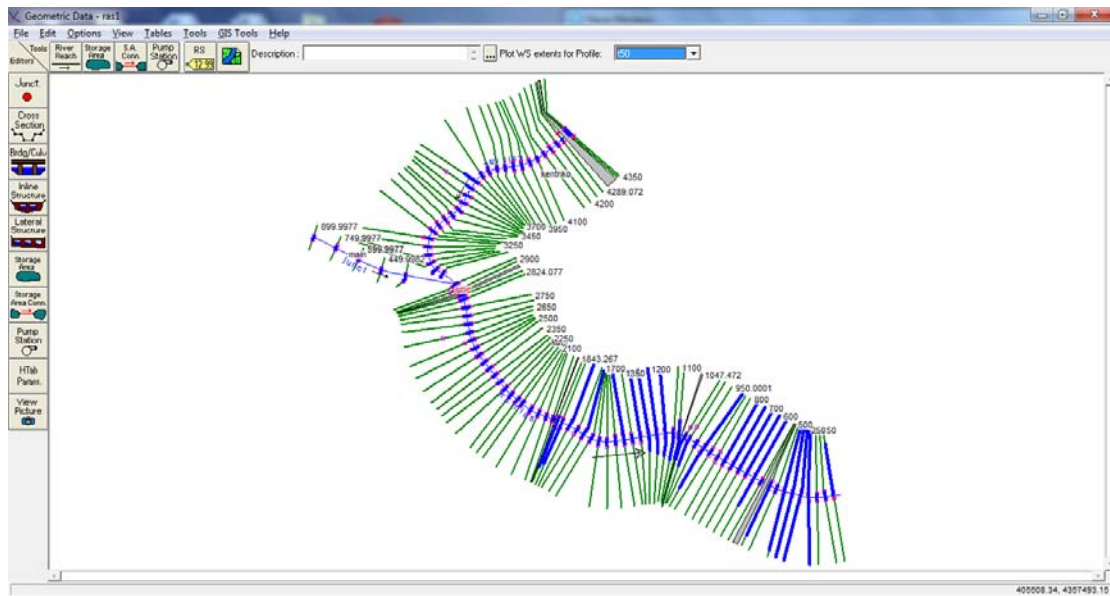
Συγκεκριμένα παραθέτονται :

- Κατόψεις ποταμού και πλημμυρισμένων διατομών σε περιβάλλον HEC- RAS, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.
- Επιλεγμένες διατομές κατά μήκος του ποταμού, όπου φαίνεται το βάθος του νερού για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.
- Χάρτες πλημμυρικών περιοχών και ύψους ελεύθερης επιφάνειας, οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.

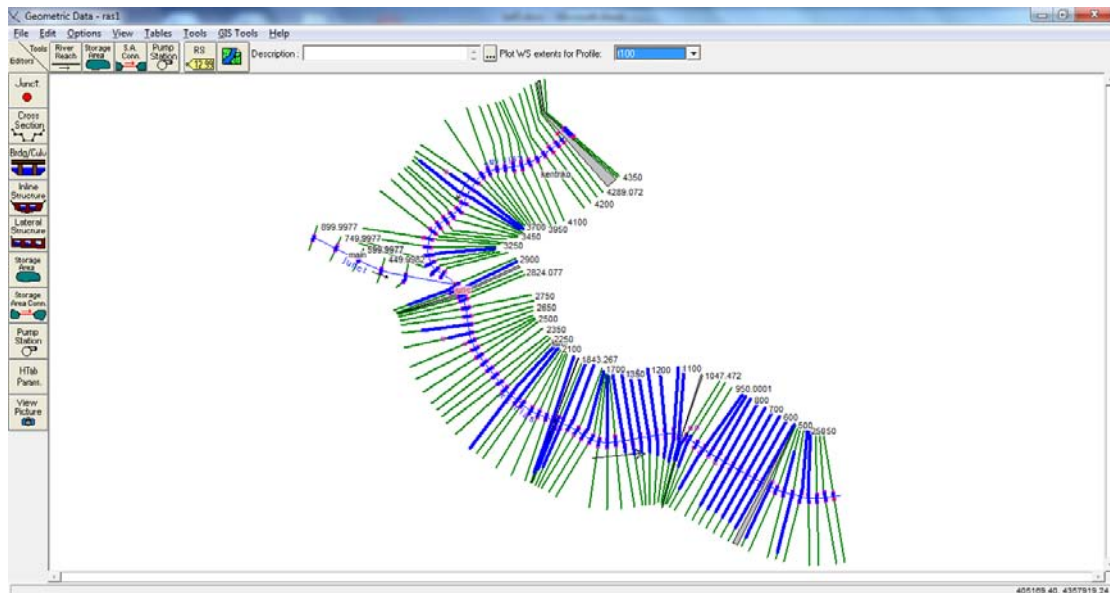
Οι υδραυλικές συνθήκες φαίνονται αναλυτικά, για συνθήκες μόνιμης ροής και για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$, στο Παράρτημα Α.

Κατόψεις ποταμού

Στα σχήματα 5.35 και 5.36 φαίνονται οι κατόψεις του ποταμού και των πλημμυρισμένων διατομών σε περιβάλλον HEC- RAS, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$, αντίστοιχα.



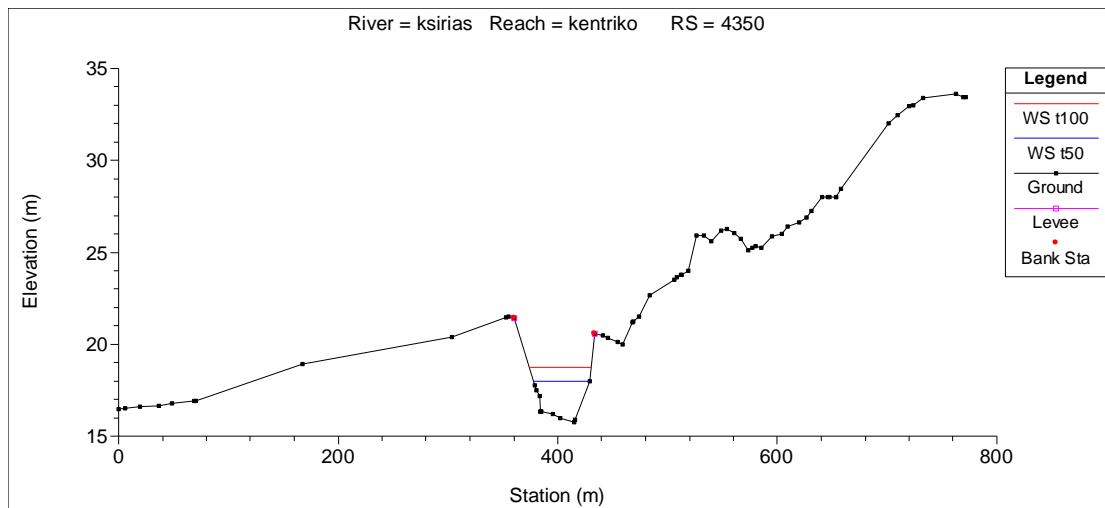
Σχήμα 5.35 : Κάτοψη ποταμού και πλημμυρισμένων διατομών υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



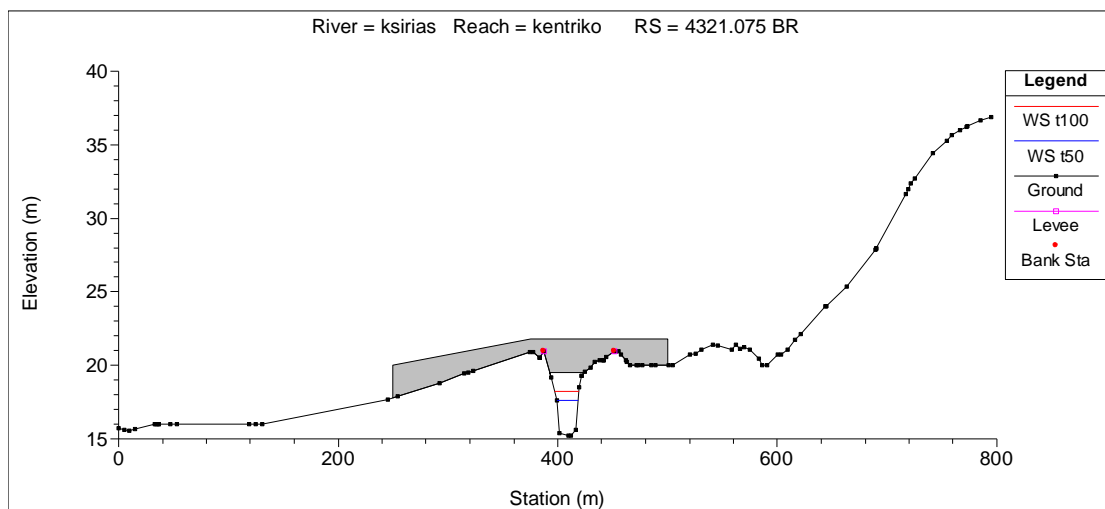
Σχήμα 5.36: Κάτοψη ποταμού και πλημμυρισμένων διατομών υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

Διατομές Ποταμού Ξηριά

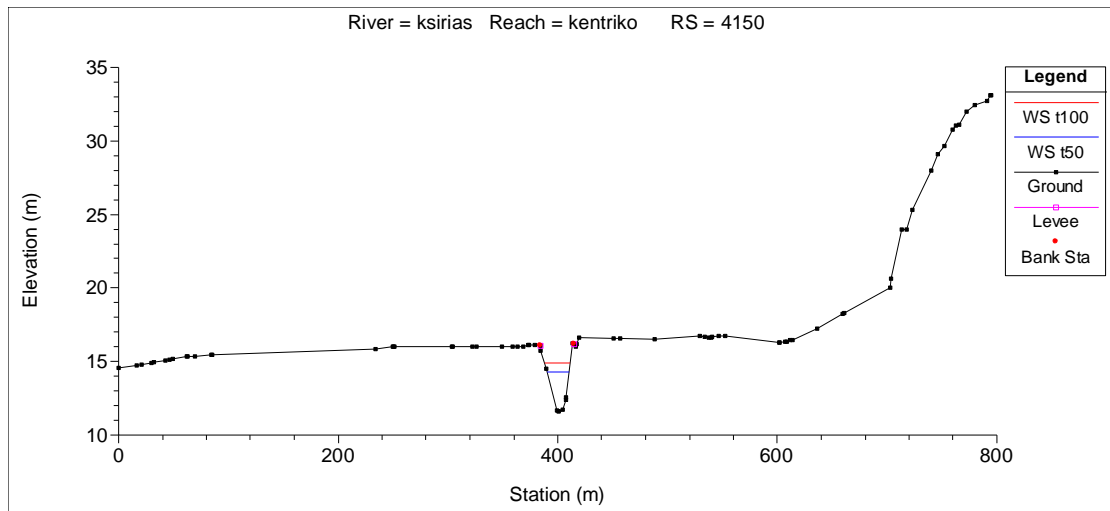
Στα παρακάτω σχήματα 5.37 – 5.66 φαίνεται η στάθμη ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$. Με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται η στάθμη ελεύθερης επιφάνειας για περίοδο επαναφοράς $T=100$, ενώ με μπλε γραμμή για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



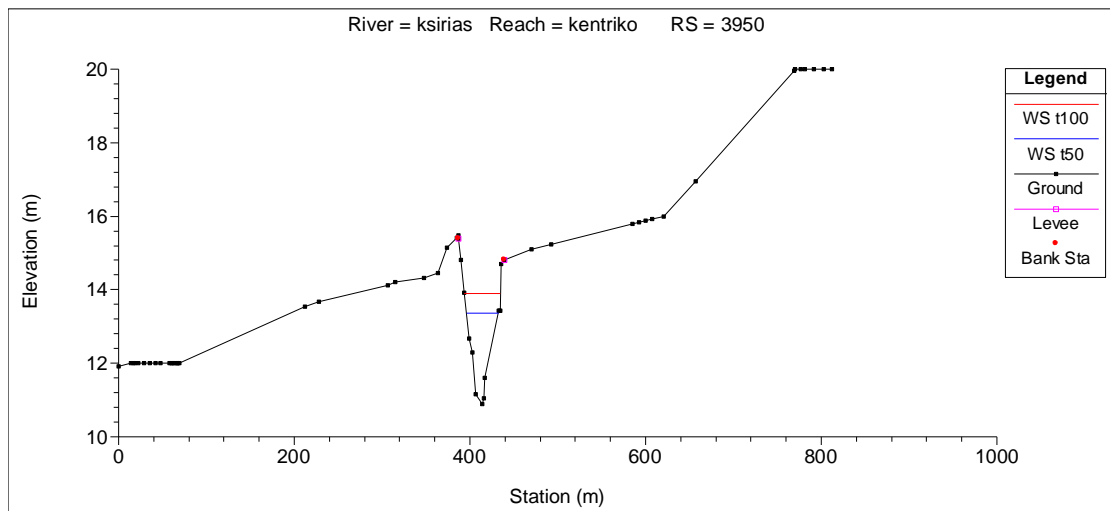
Σχήμα 5.37: Διατομή 4350 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



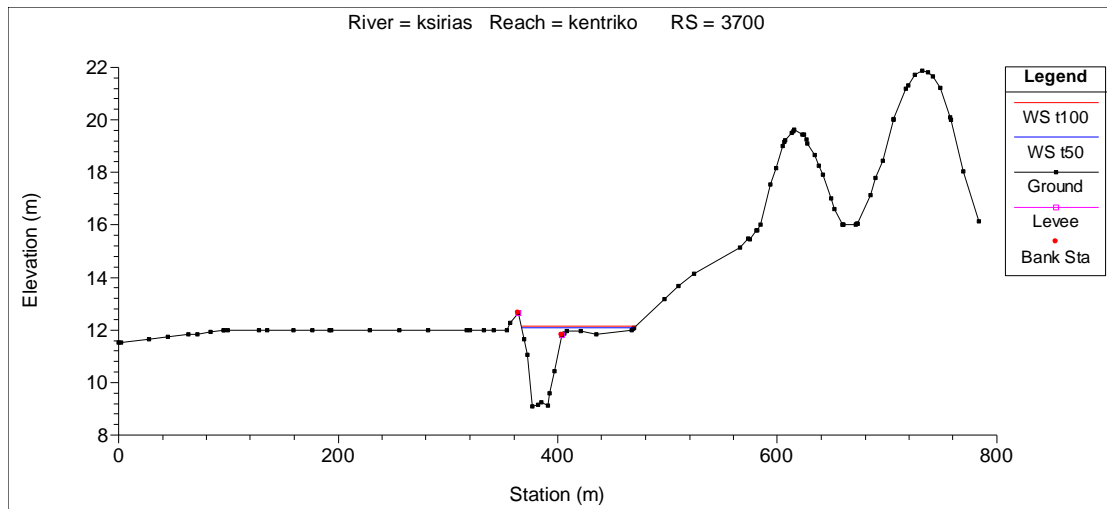
Σχήμα 5.38: Διατομή 4321 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



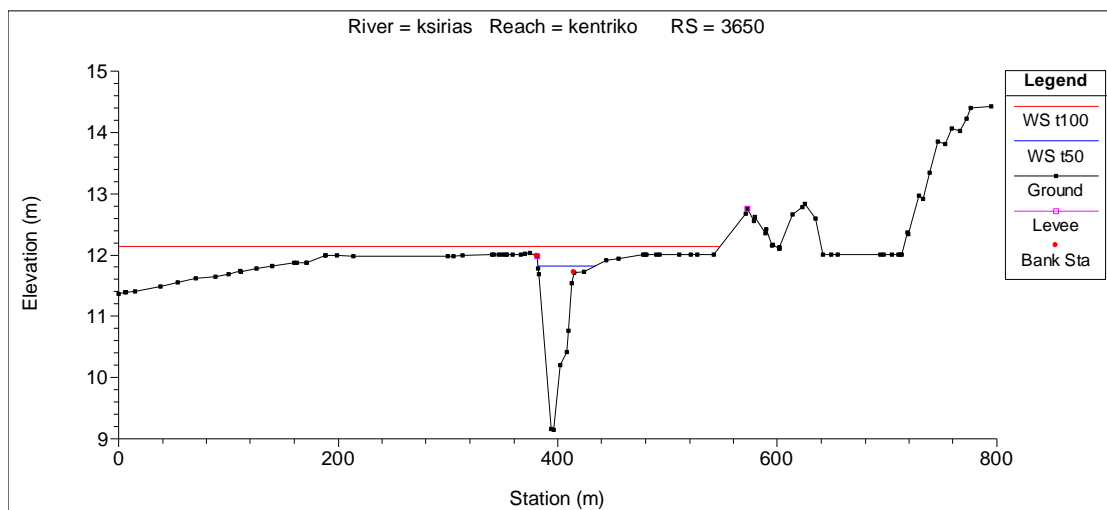
Σχήμα 5.39: Διατομή 4150 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



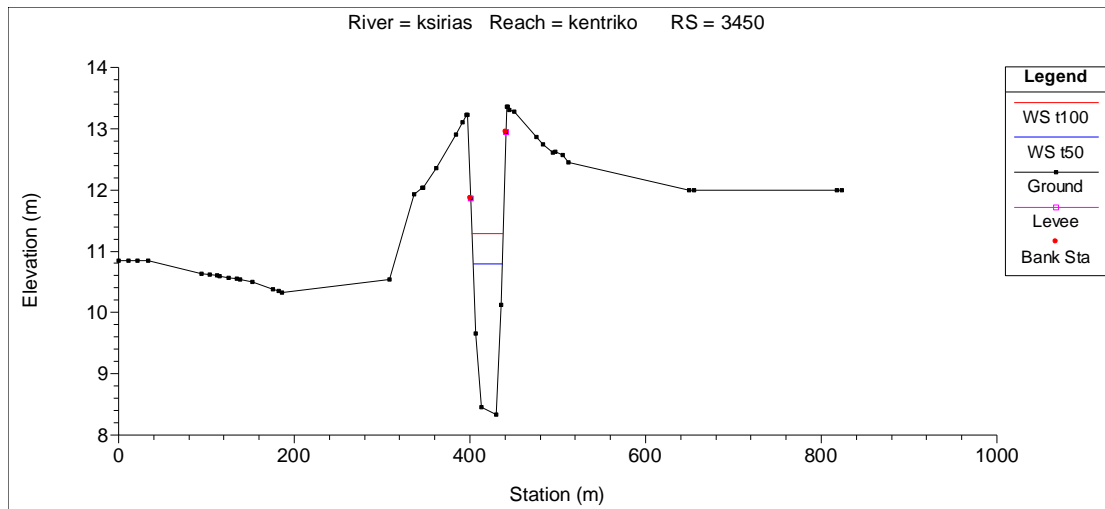
Σχήμα 5.40: Διατομή 3950 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



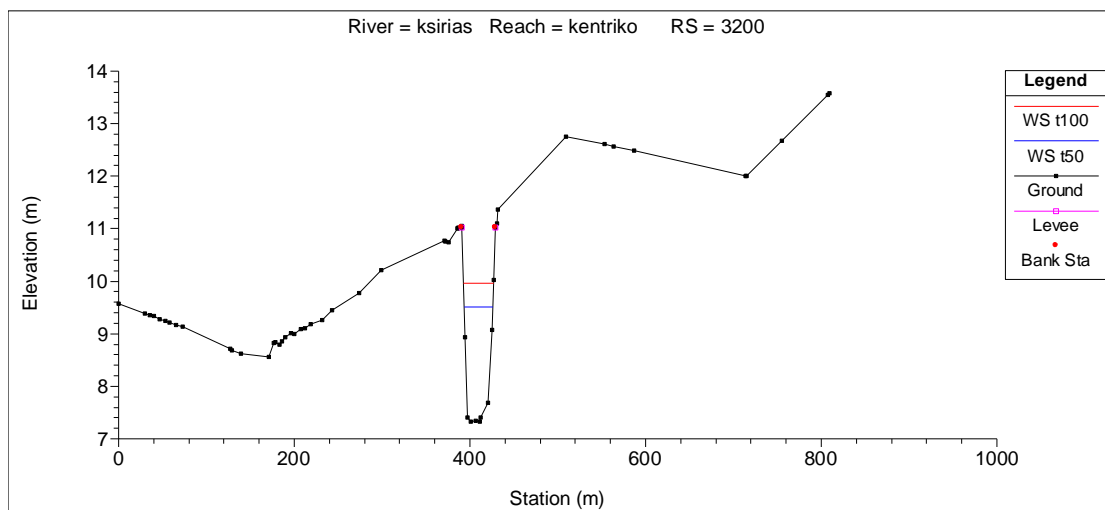
Σχήμα 5.41: Διατομή 3700 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



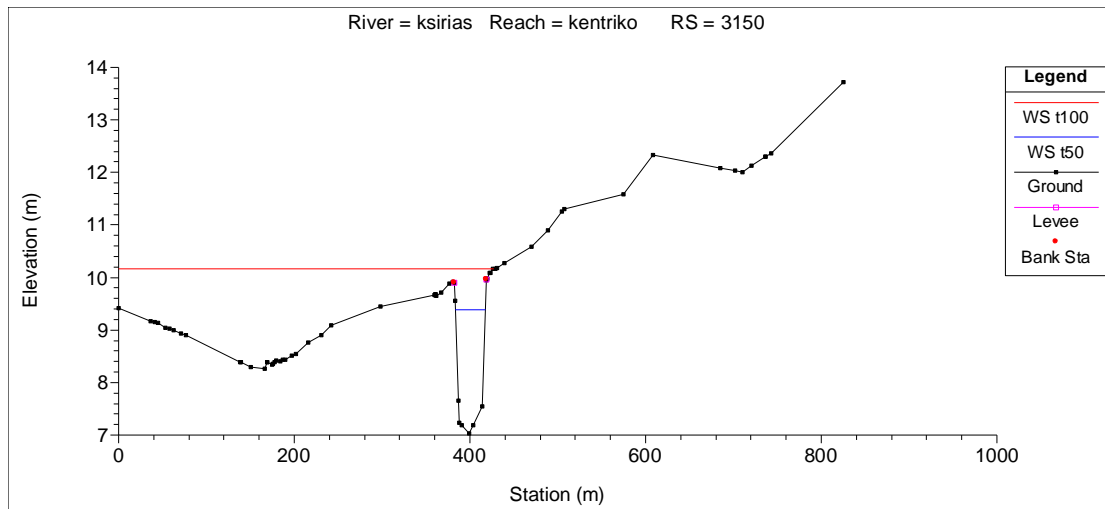
Σχήμα 5.42: Διατομή 3650 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



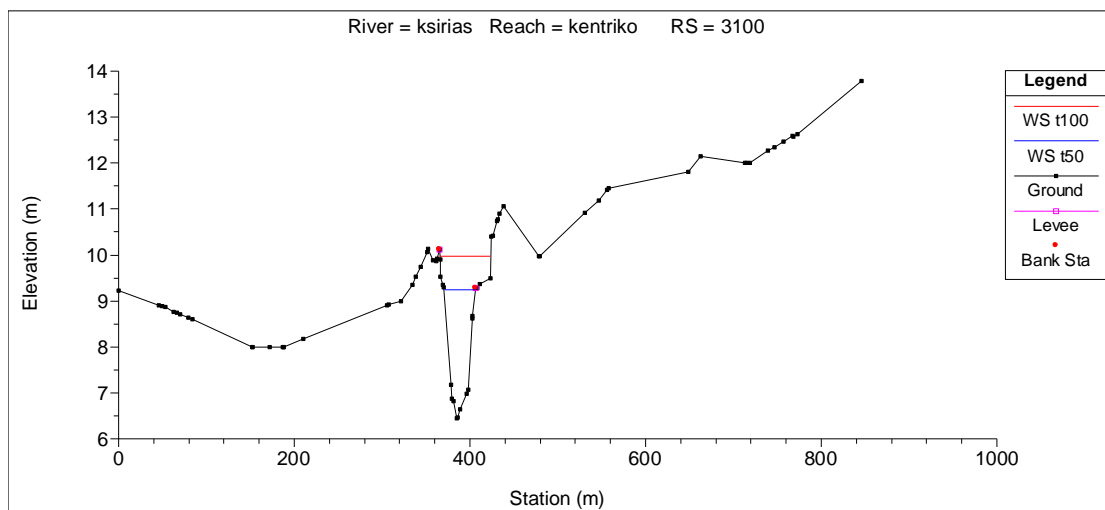
Σχήμα 5.43: Διατομή 3450 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



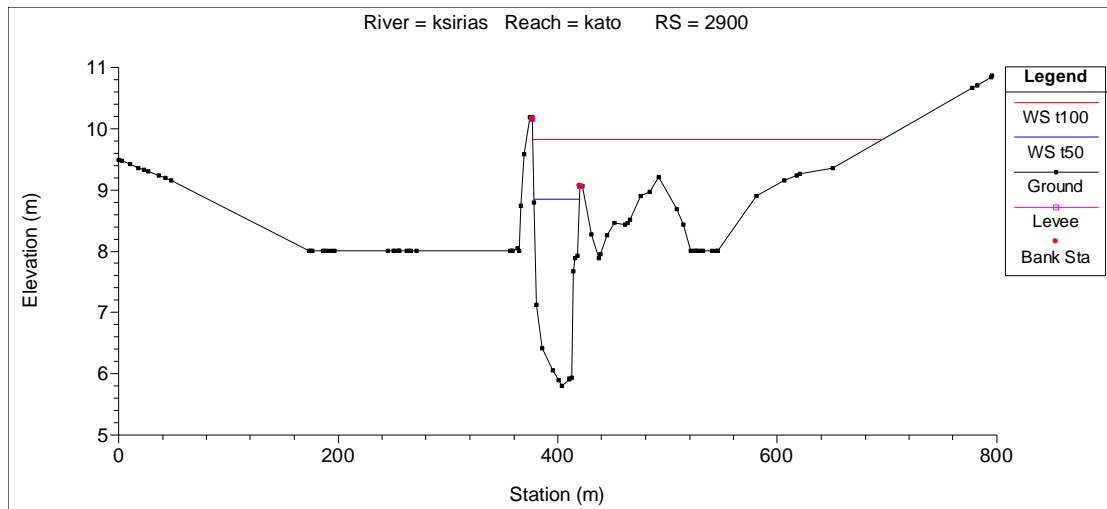
Σχήμα 5.44: Διατομή 3200 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



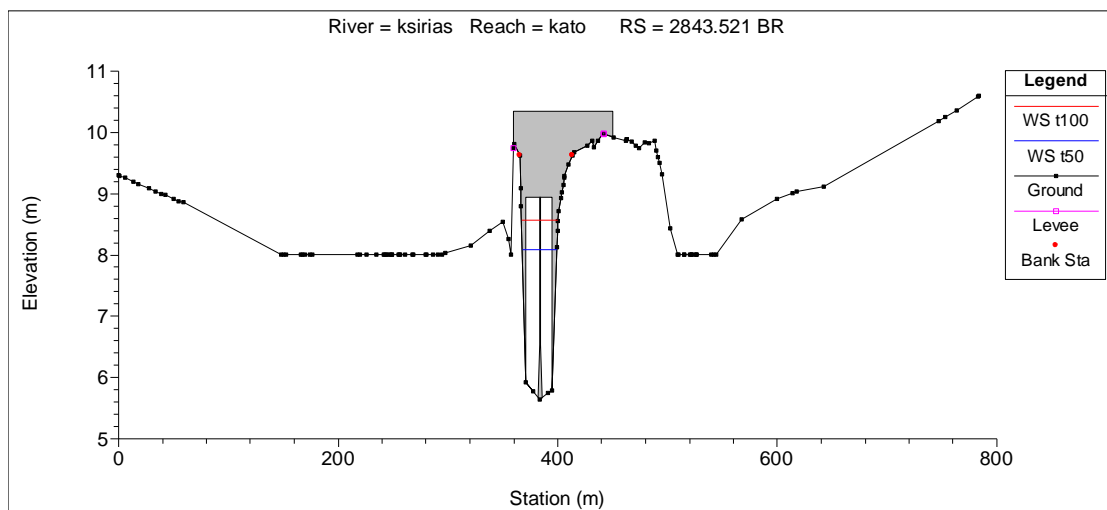
Σχήμα 5.45: Διατομή 3150 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



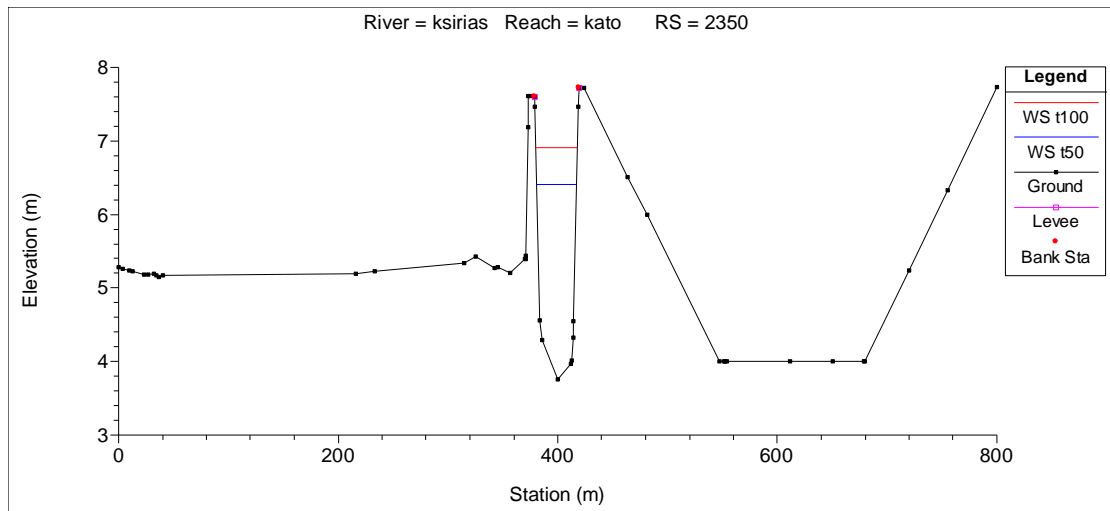
Σχήμα 5.46: Διατομή 3100 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



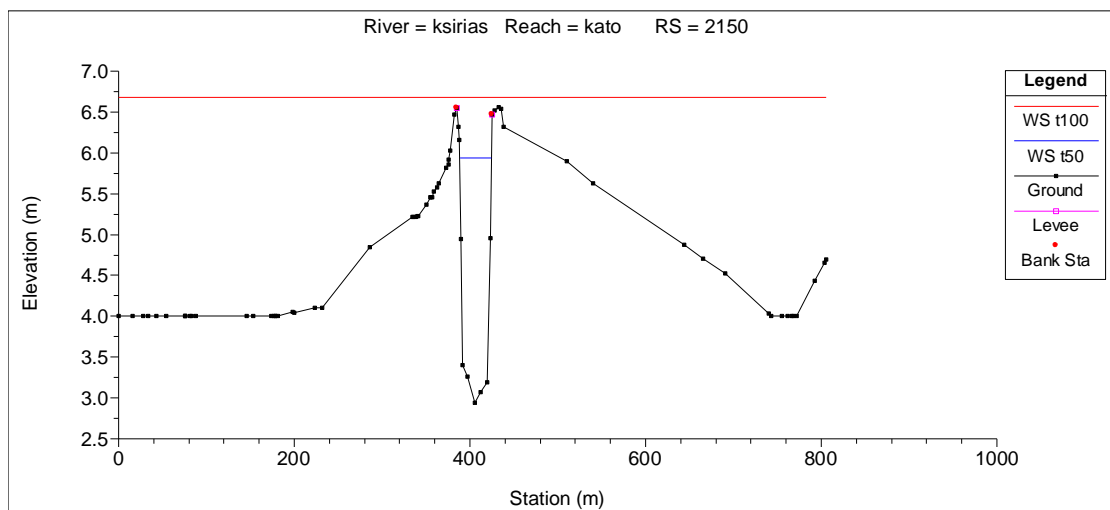
Σχήμα 5.47: Διατομή 2900 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



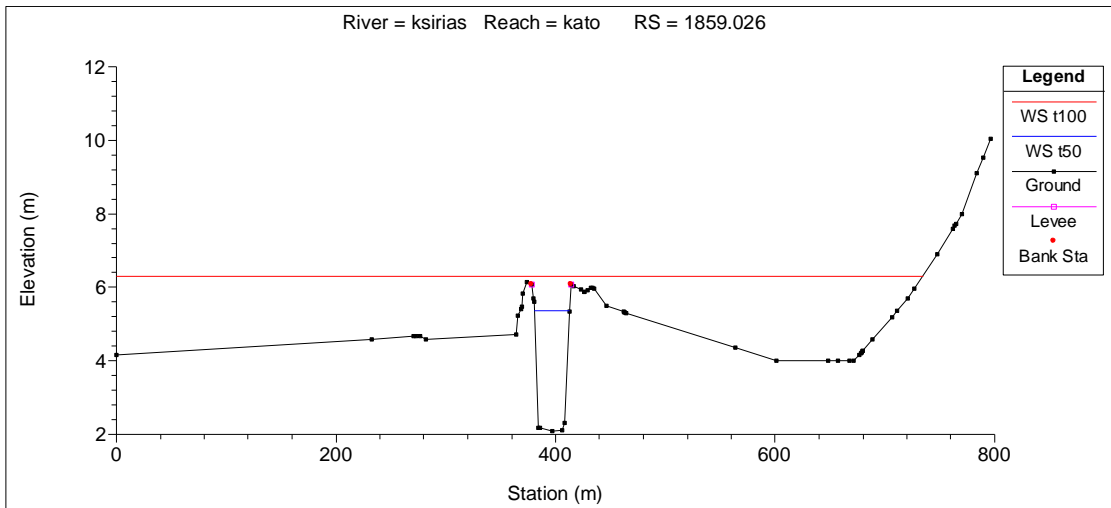
Σχήμα 5.48: Διατομή 2843.5 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



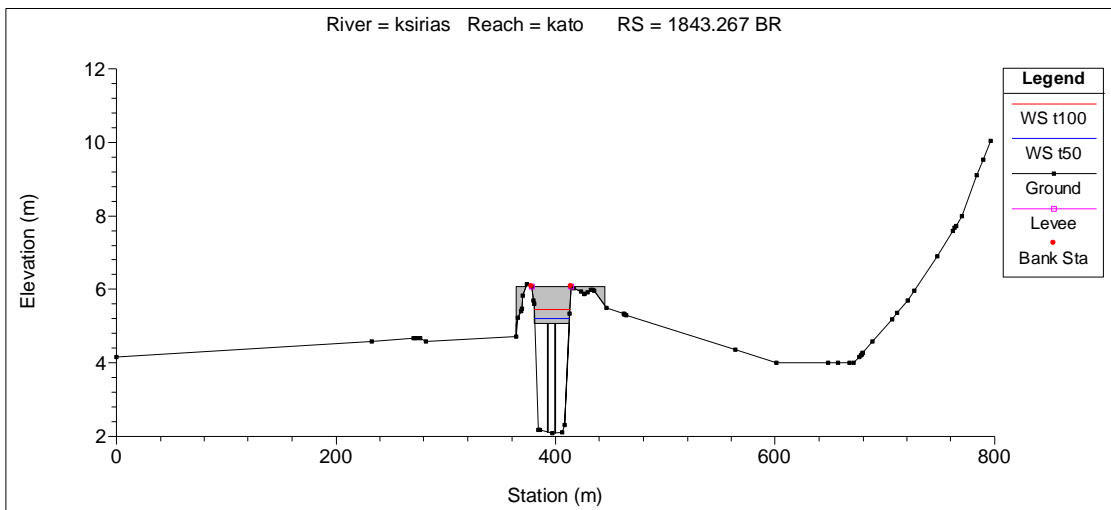
Σχήμα 5.49: Διατομή 2350 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



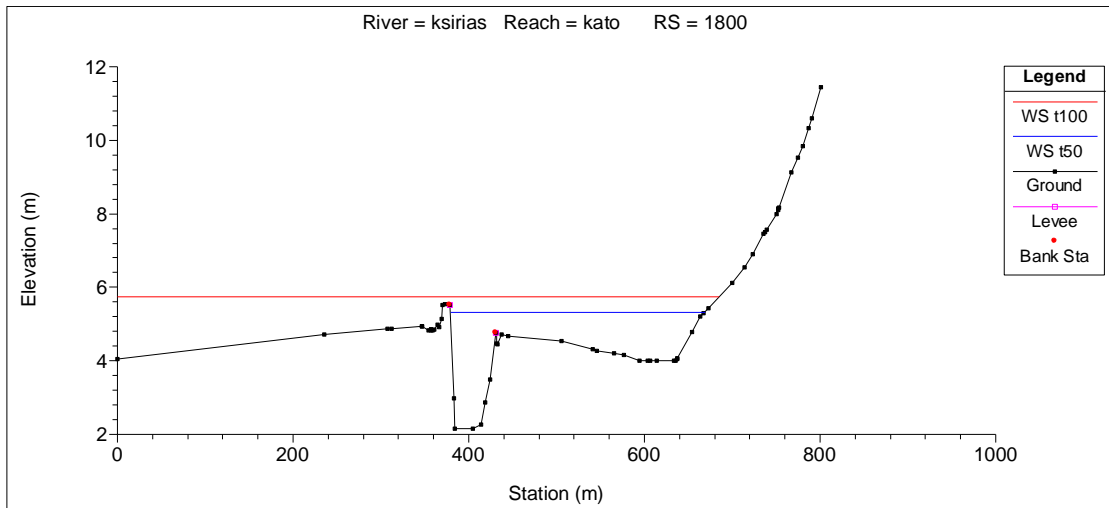
Σχήμα 5.50: Διατομή 2150 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



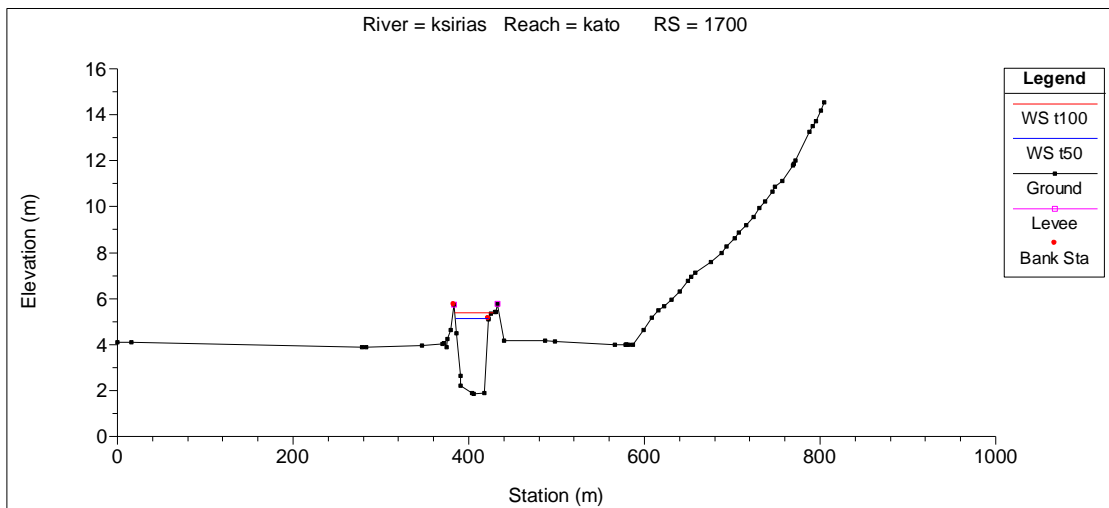
Σχήμα 5.51: Διατομή 1859 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



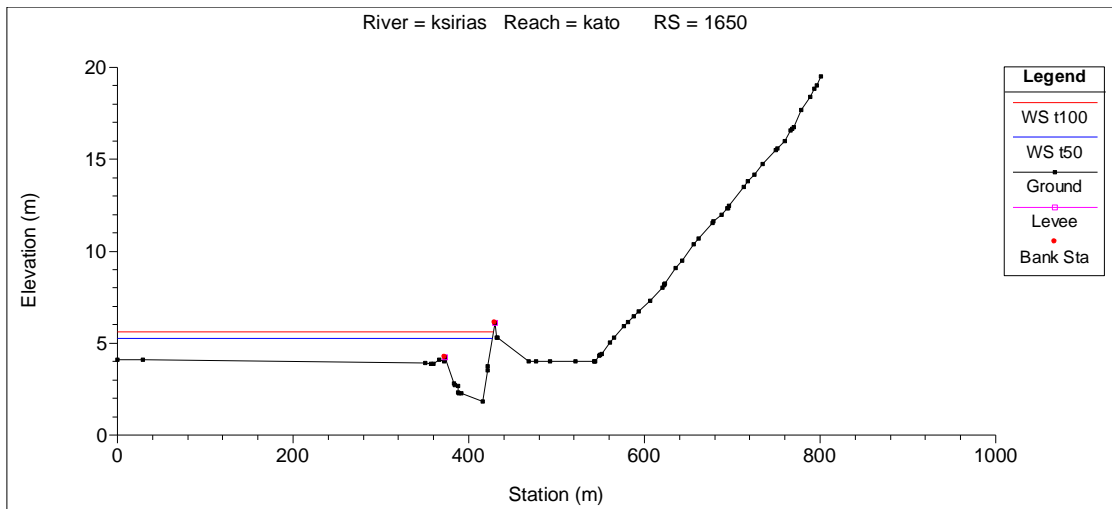
Σχήμα 5.52: Διατομή 1843 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



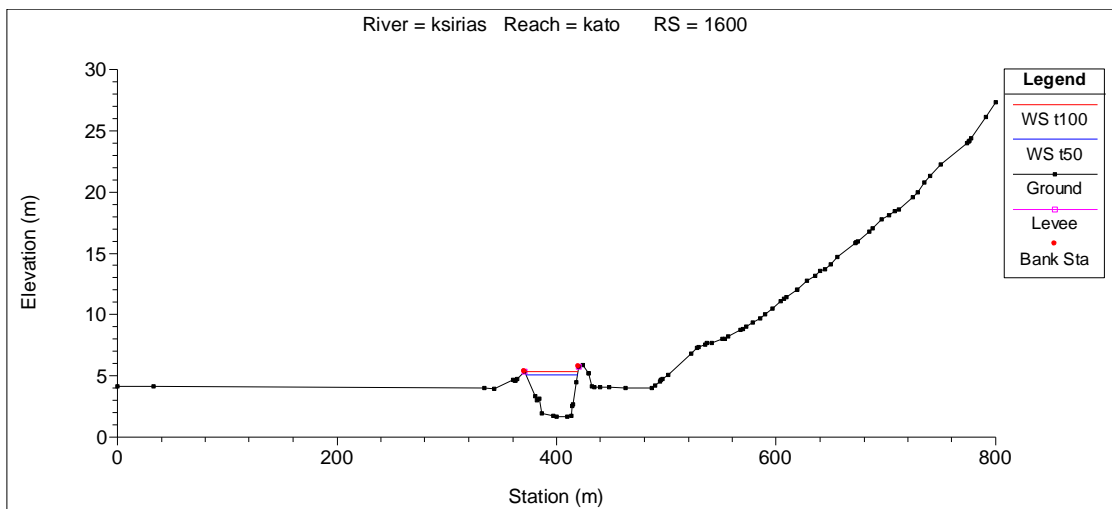
Σχήμα 5.53: Διατομή 1800 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



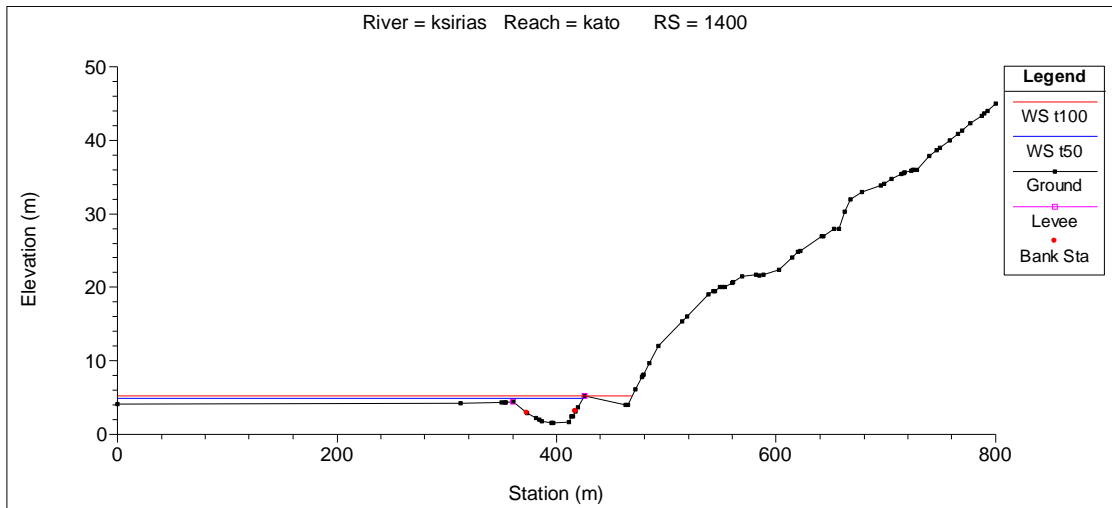
Σχήμα 5.54: Διατομή 1700 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



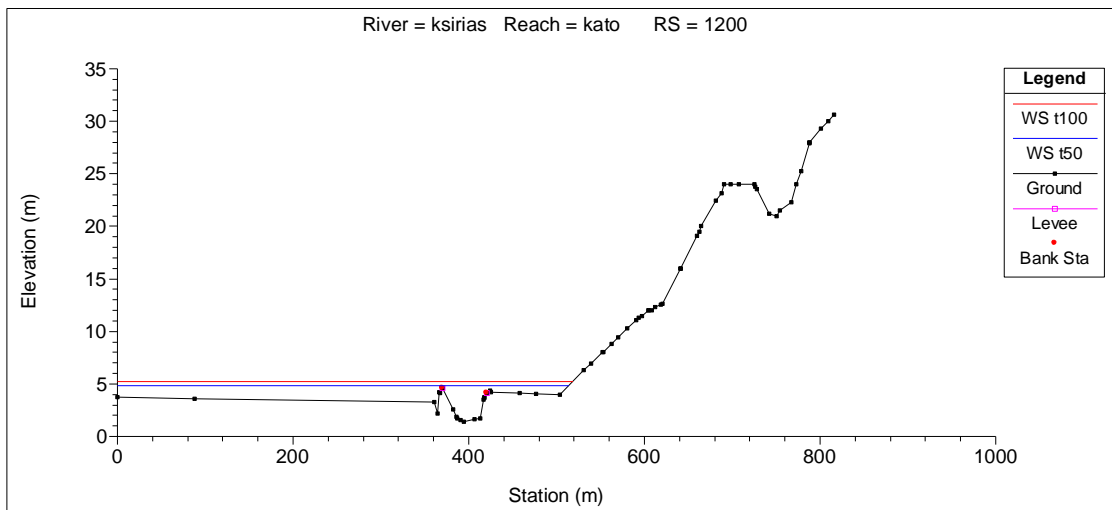
Σχήμα 5.55: Διατομή 1650 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



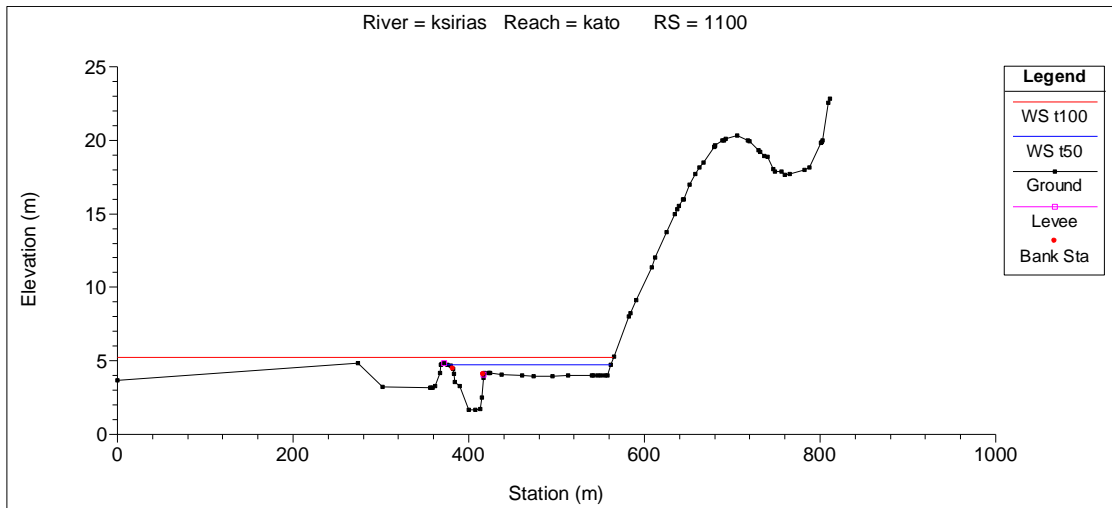
Σχήμα 5.56: Διατομή 1600 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



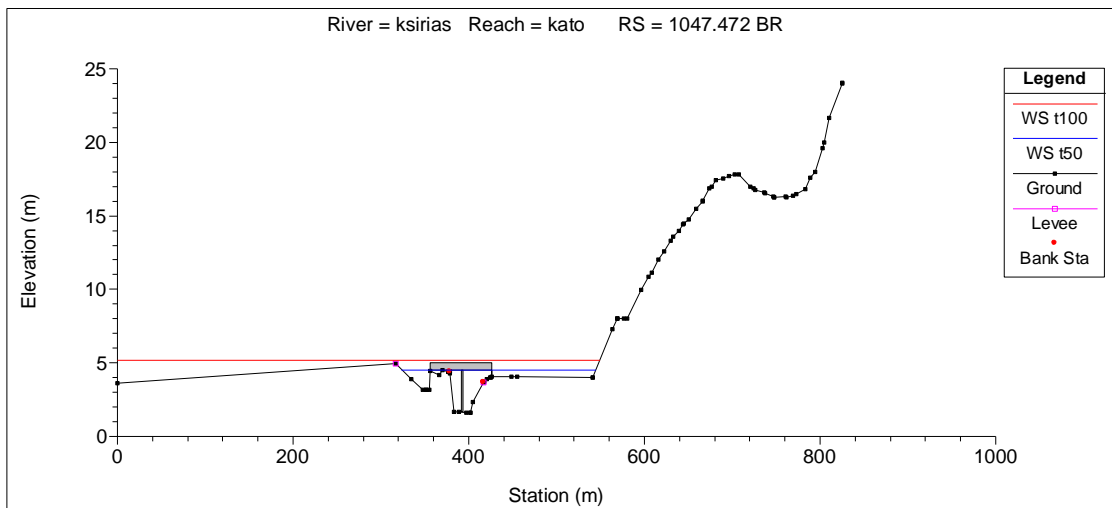
Σχήμα 5.57: Διατομή 1400 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς T=50 και T=100.



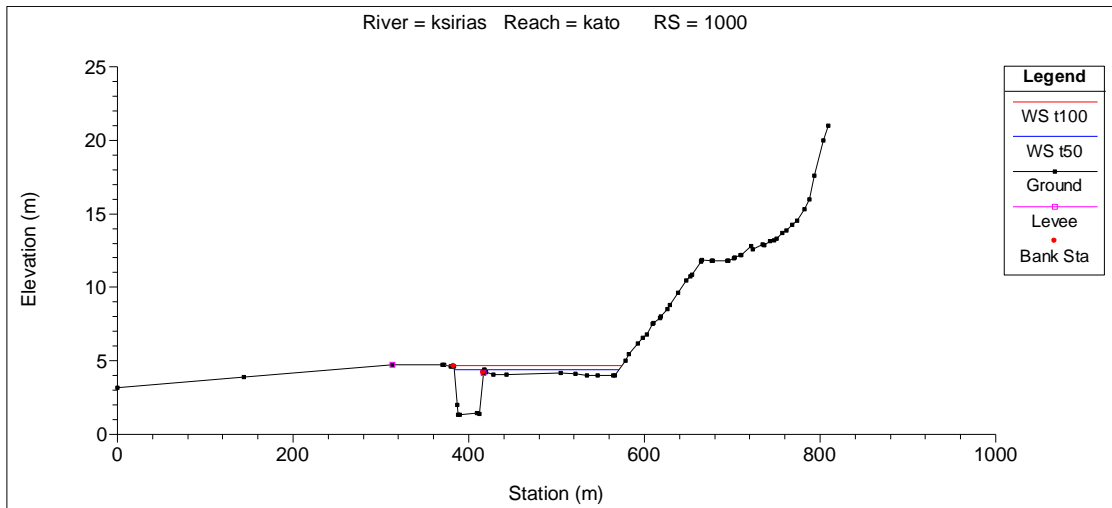
Σχήμα 5.58: Διατομή 1200 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς T=50 και T=100.



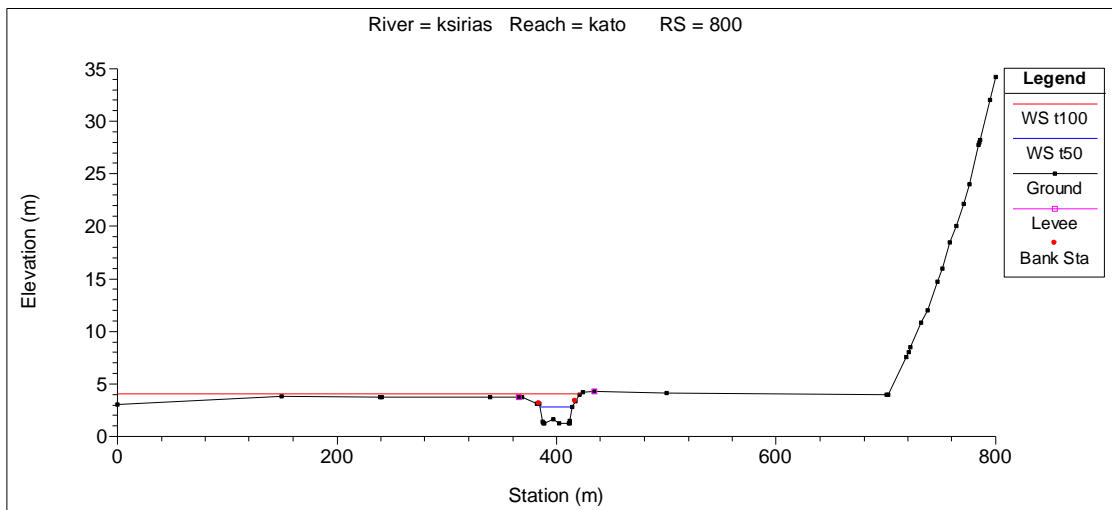
Σχήμα 5.59: Διατομή 1100 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



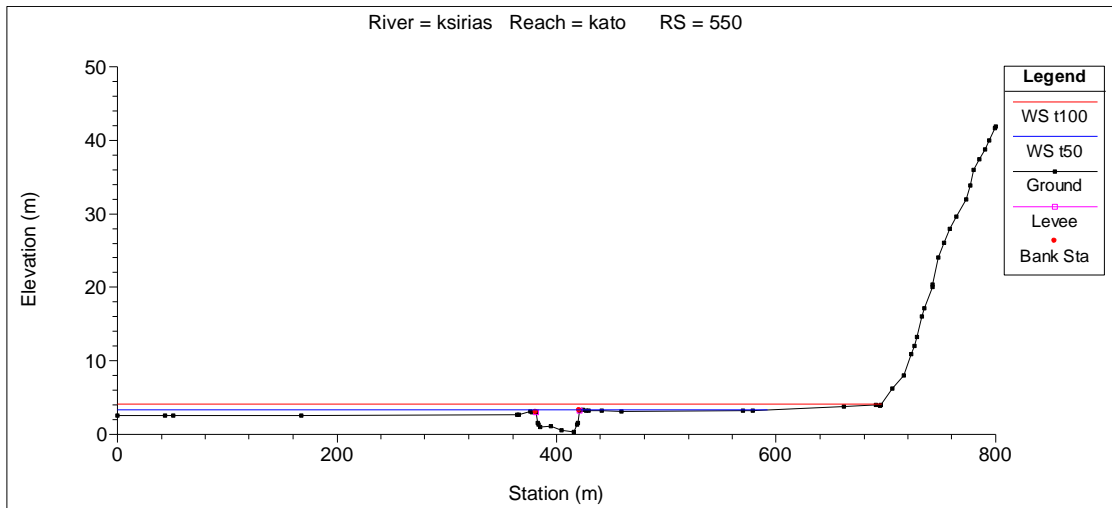
Σχήμα 5.60: Διατομή 1047.5 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



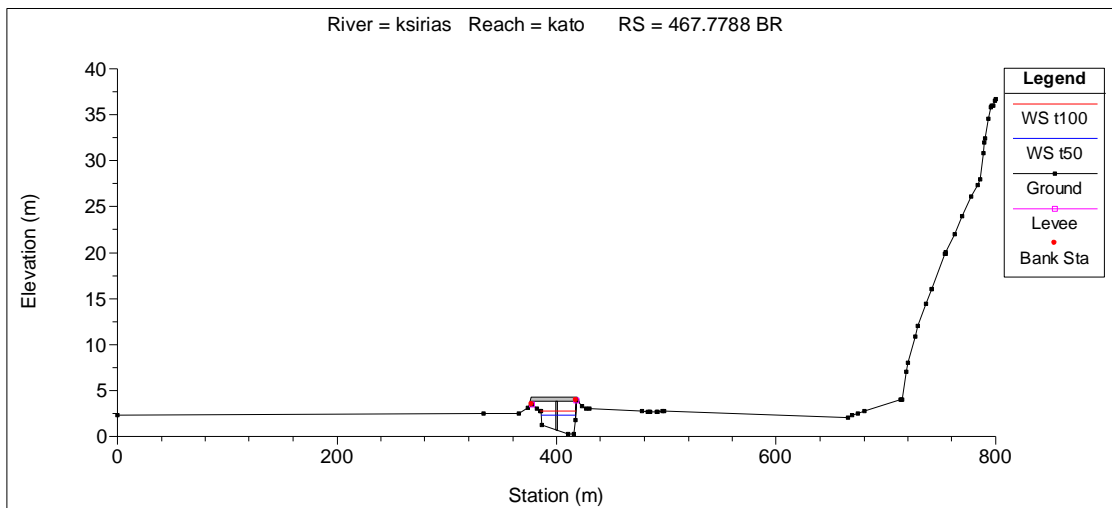
Σχήμα 5.61: Διατομή 1000 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



Σχήμα 5.62: Διατομή 800 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.

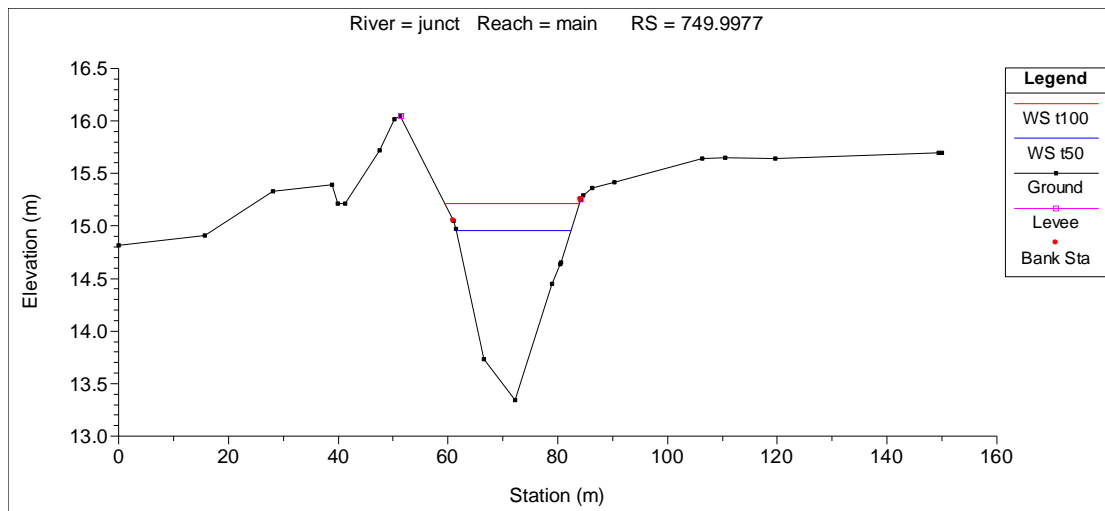


Σχήμα 5.63: Διατομή 550 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς T=50 και T=100.

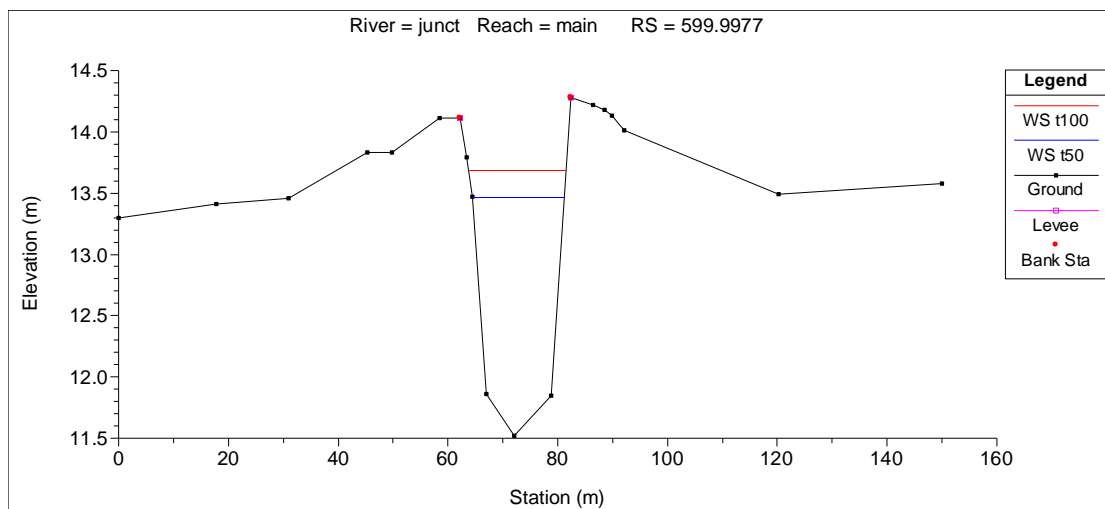


Σχήμα 5.64: Διατομή 467.8 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς T=50 και T=100.

Διατομές Χείμαρρου Σεσκουλιώτη



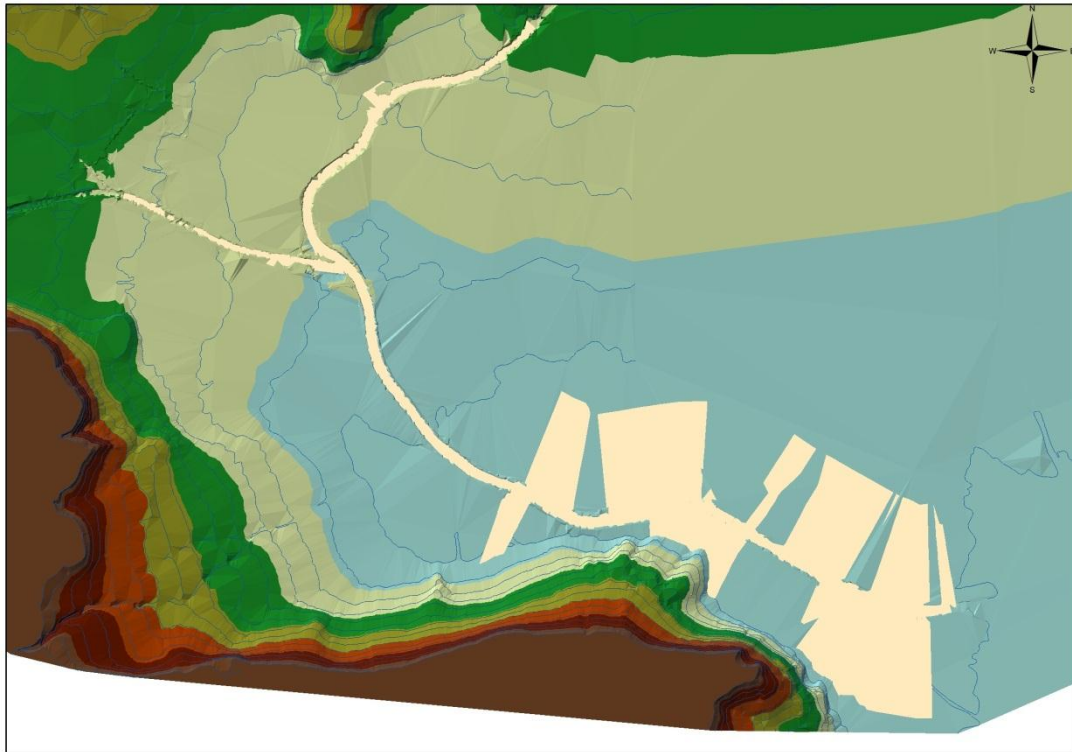
Σχήμα 5.65: Διατομή 750 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.



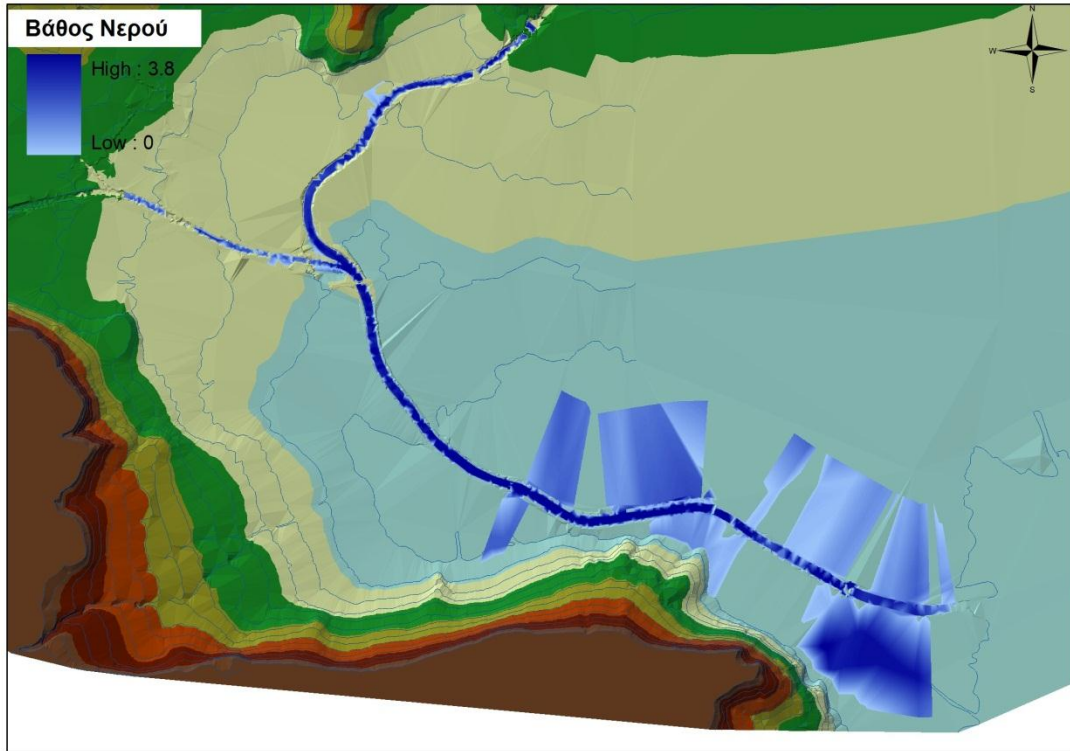
Σχήμα 5.66: Διατομή 600 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$.

Πλημμυρικοί Χάρτες

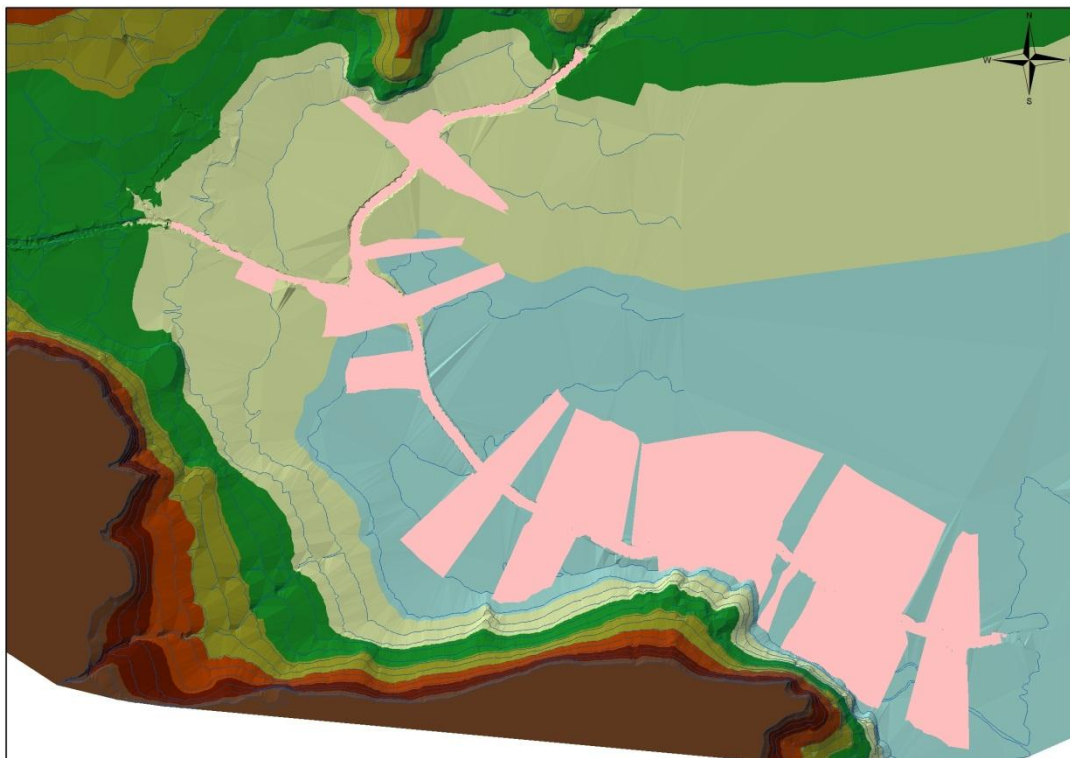
Παρακάτω φαίνονται οι χάρτες πλημμυρικών περιοχών (σχήματα 5.67 και 5.69) και ύψους ελεύθερης επιφάνειας (σχήματα 5.68 και 5.70), οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS, για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$. Στο σχήμα 5.71 φαίνεται, επίσης, η σύγκριση των πλημμυρικών περιοχών για τις δυο περιόδους επαναφοράς (αναλυτική σύγκριση ακολουθεί στο κεφάλαιο 7).



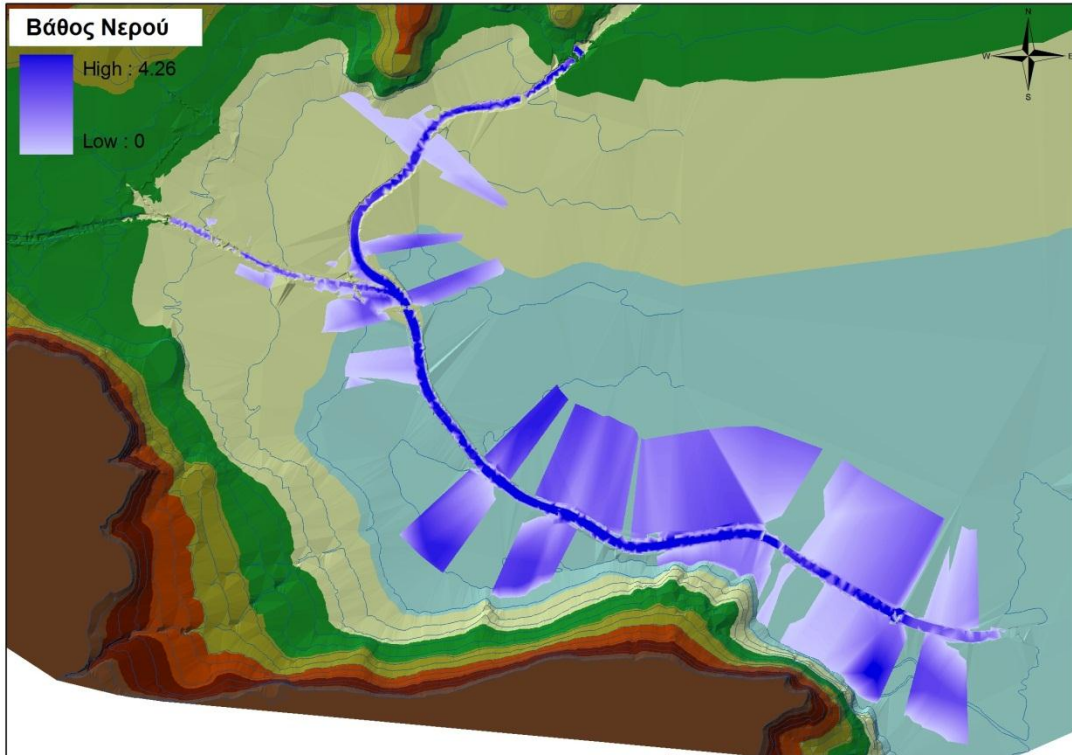
Σχήμα 5.67 : Πλημμυρική περιοχή για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



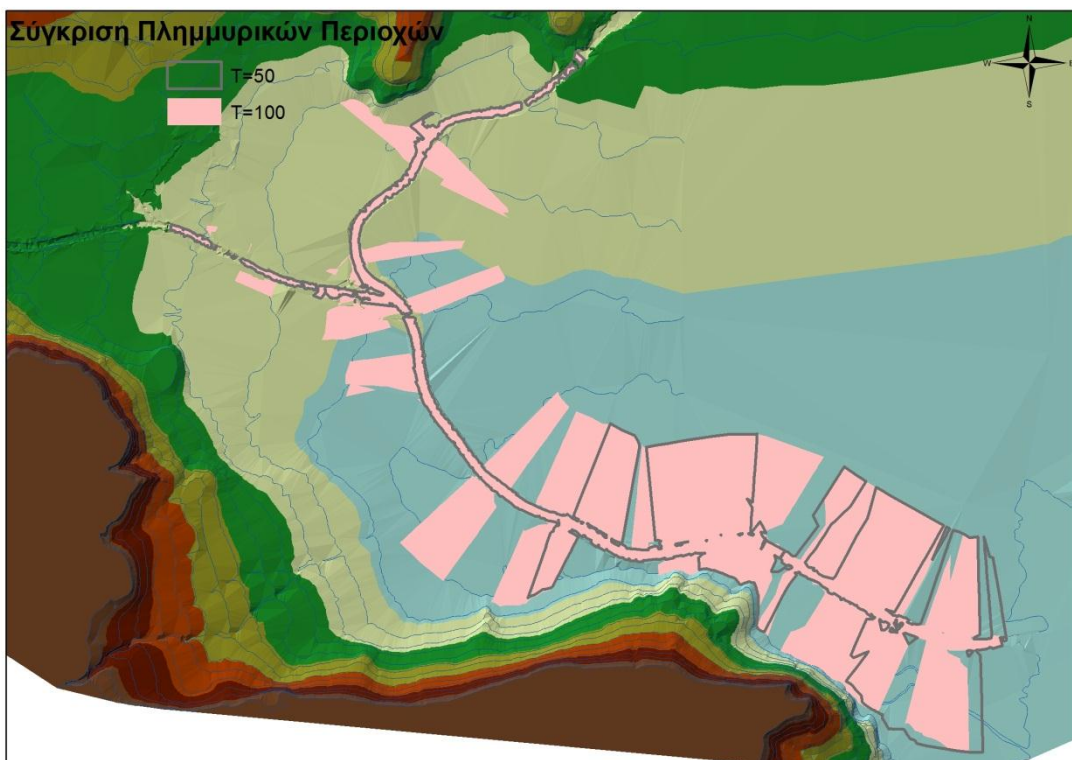
Σχήμα 5.68: Βάθος νερού πλημμυρικών περιοχών για περίοδο επαναφοράς $T=50$.



Σχήμα 5.69: Πλημμυρική περιοχή για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.70 : Βάθος νερού πλημμυρικών περιοχών για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.71: Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών $T=50$ και $T=100$.

5.2.2 Υδραυλική προσομοίωση υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής

Στην παράγραφο αυτή συγκρίνονται τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης, υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

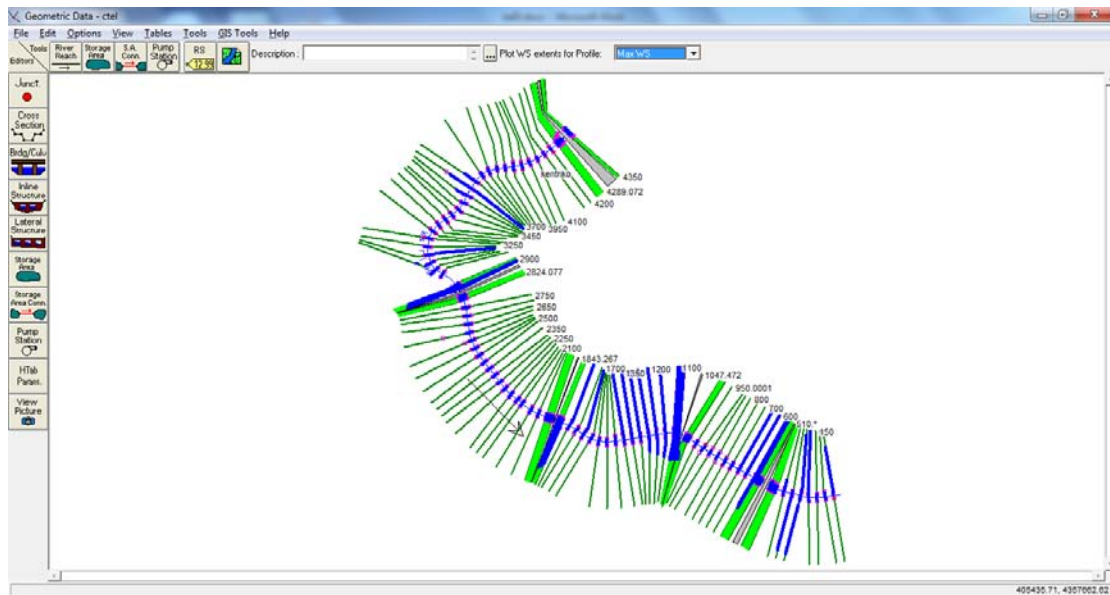
Συγκεκριμένα παραθέτονται :

- Κατόψεις ποταμού και πλημμυρισμένων διατομών σε περιβάλλον HEC- RAS, υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.
- Επιλεγμένες διατομές κατά μήκος του ποταμού, όπου φαίνεται το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού, υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.
- Χάρτες πλημμυρικών περιοχών και ύψους στάθμης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS, υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

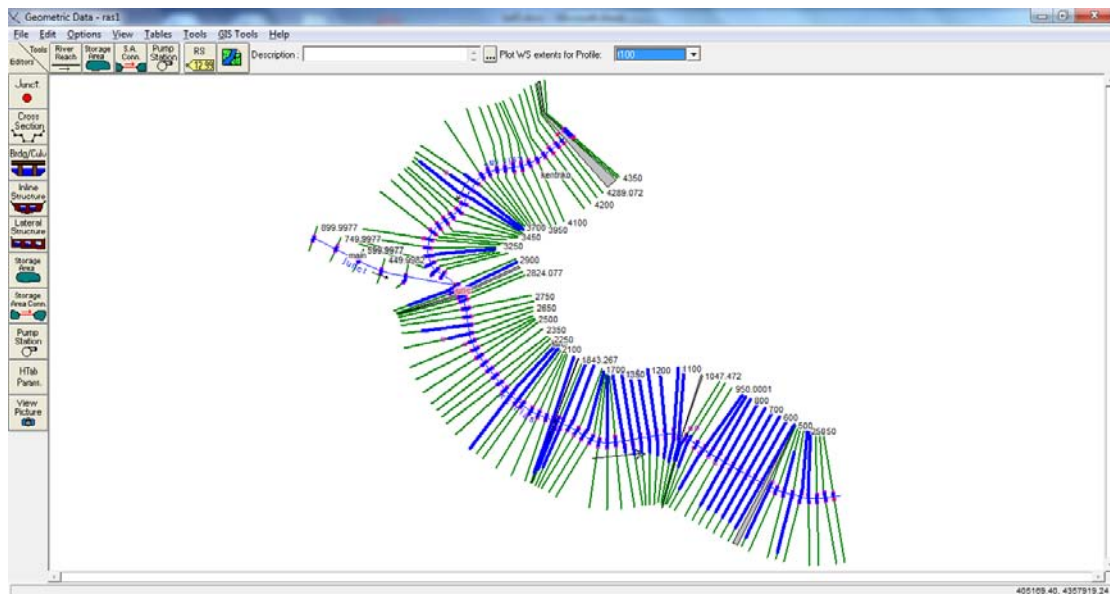
Οι υδραυλικές συνθήκες φαίνονται αναλυτικά, για συνθήκες μη μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$, στο Παράρτημα Β.

Κατόψεις ποταμού

Στα σχήματα 5.72 και 5.73 φαίνονται οι κατόψεις του ποταμού και των πλημμυρισμένων διατομών σε περιβάλλον HEC- RAS, υπό συνθήκες μη μόνιμης και μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$, αντίστοιχα.



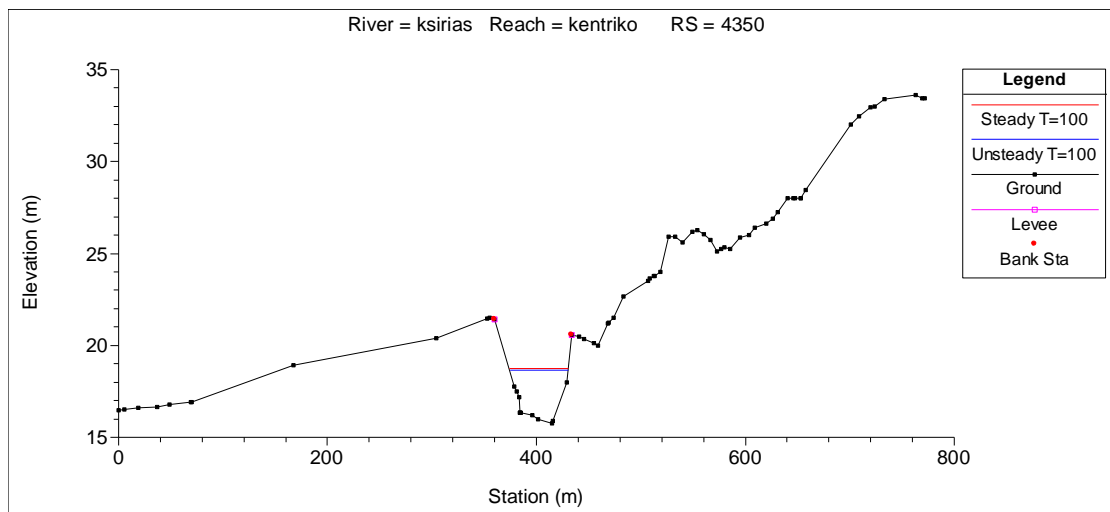
Σχήμα 5.72: Κάτοψη ποταμού και πλημμυρισμένων διατομών υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής και περίοδο επαναφοράς $T=100$.



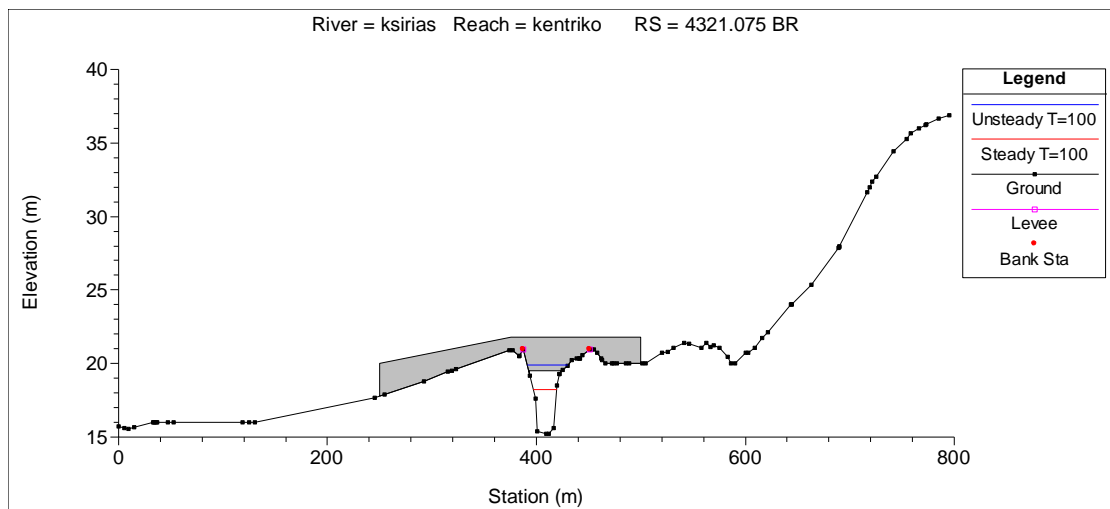
Σχήμα 5.73: Κάτοψη ποταμού και πλημμυρισμένων διατομών υπό συνθήκες μόνιμης ροής και περίοδο επαναφοράς $T=100$.

Διατομές Ποταμού Ξηριά

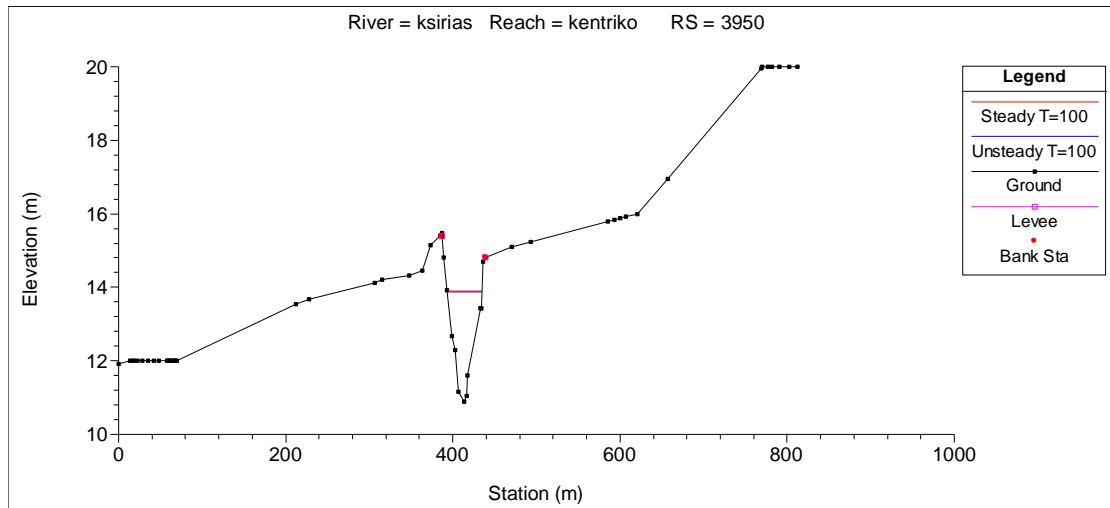
Στα παρακάτω σχήματα 5.74 – 5.90 φαίνεται η στάθμη ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς $T=100$. Με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται η στάθμη ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης ροής, ενώ με μπλε γραμμή υπό συνθήκες μη μόνιμης ροής.



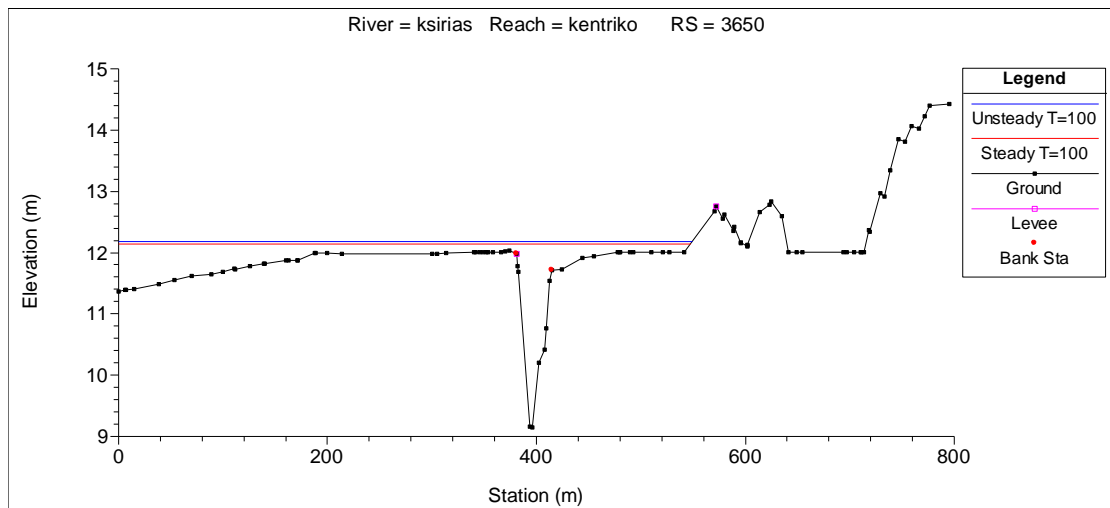
Σχήμα 5.74: Διατομή 4350 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



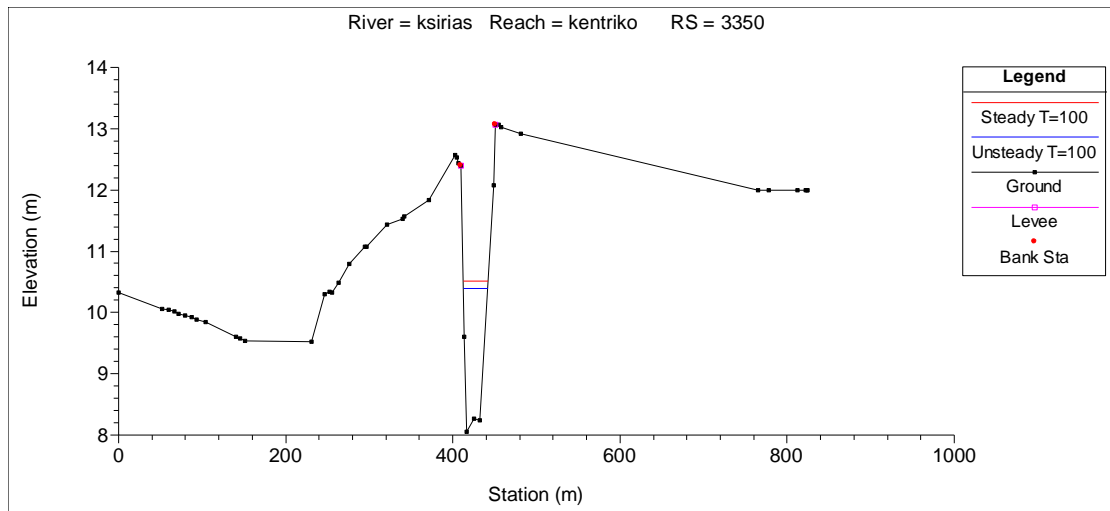
Σχήμα 5.75: Διατομή 4321 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



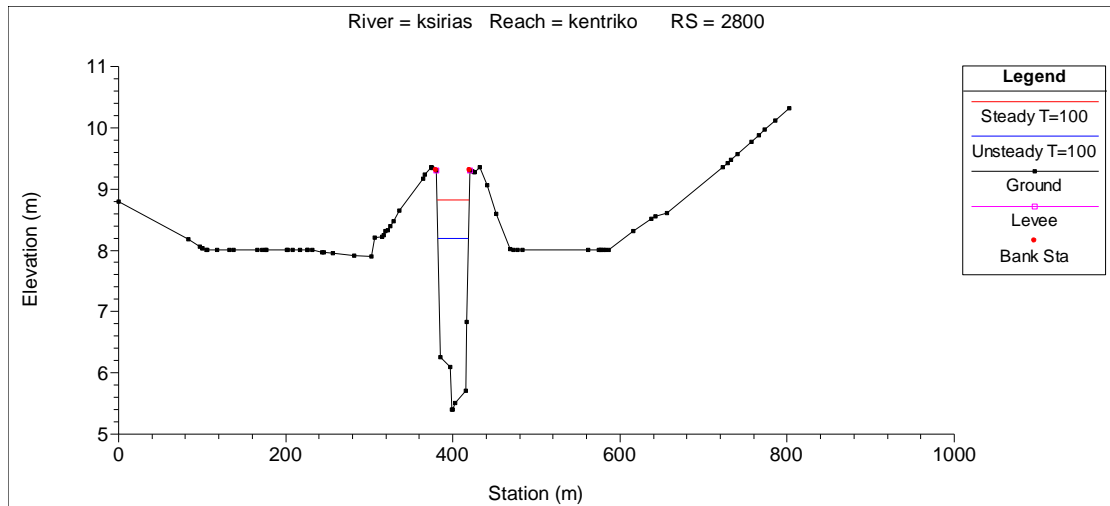
Σχήμα 5.76: Διατομή 3950 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς T=100.



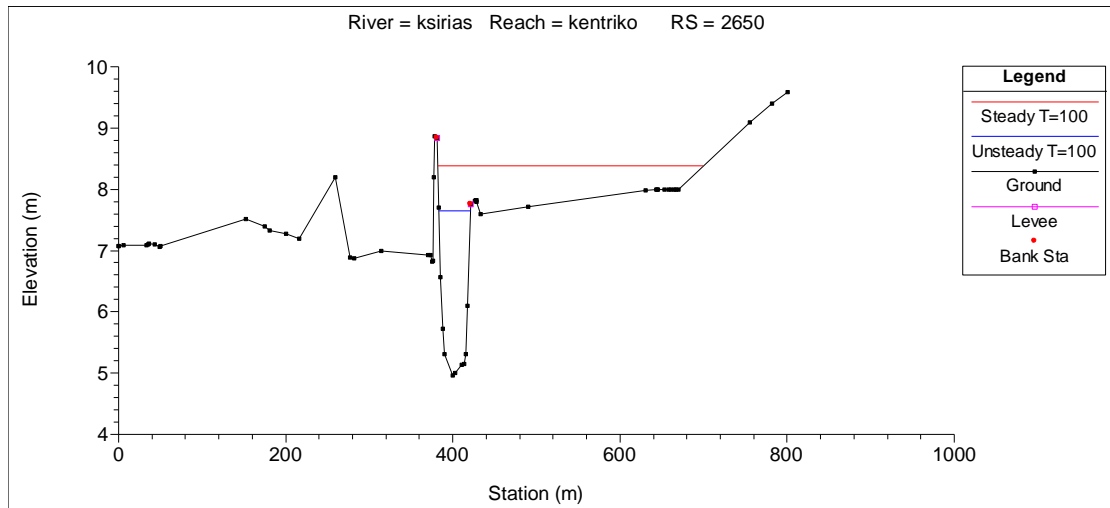
Σχήμα 5.77: Διατομή 3650 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς T=100.



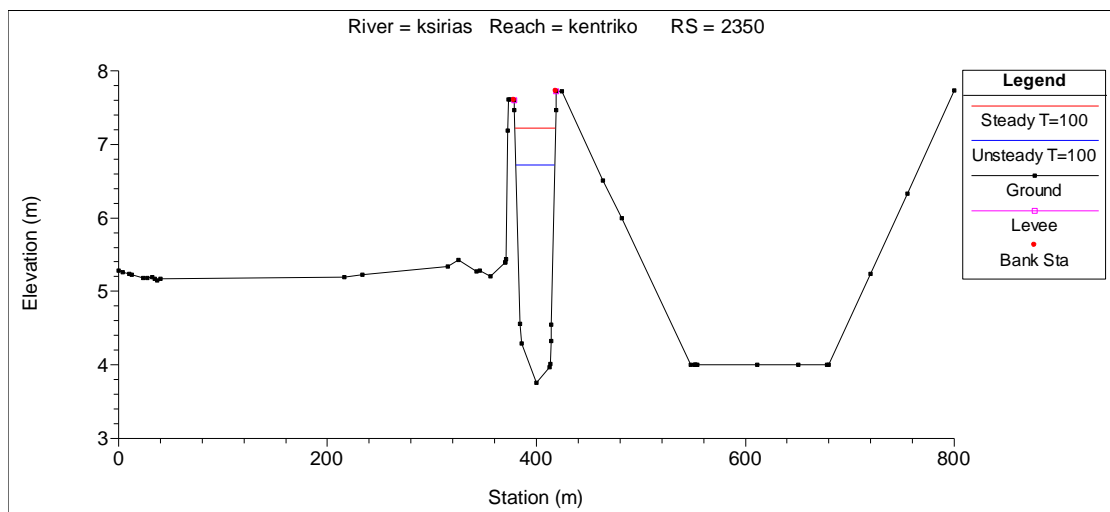
Σχήμα 5.78: Διατομή 3350 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



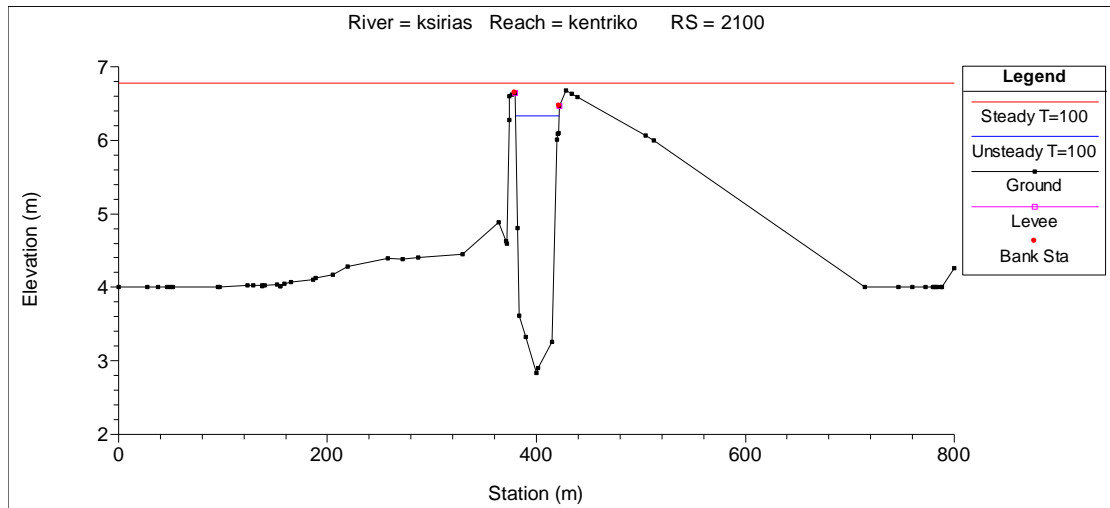
Σχήμα 5.79: Διατομή 2800 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



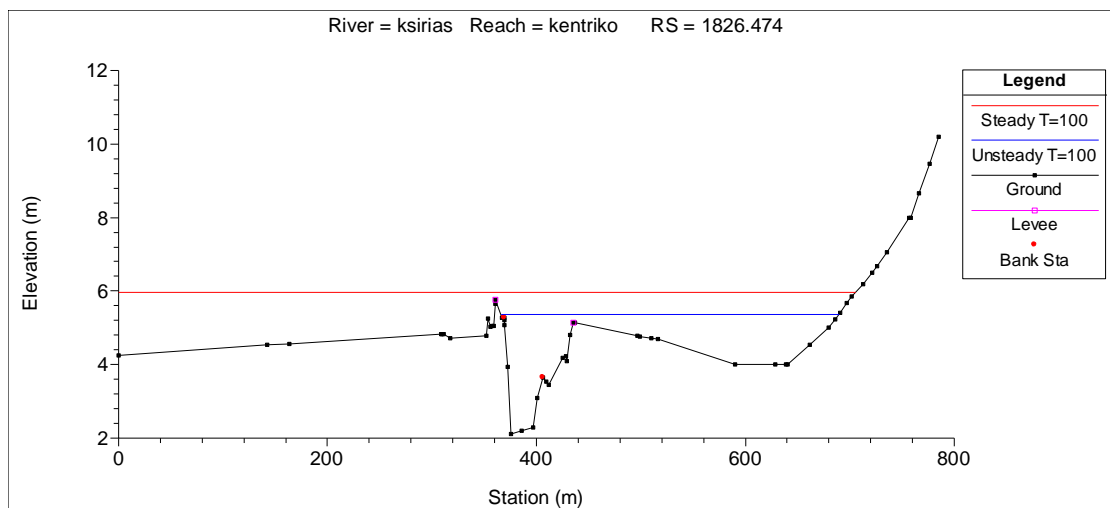
Σχήμα 5.80: Διατομή 2650 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



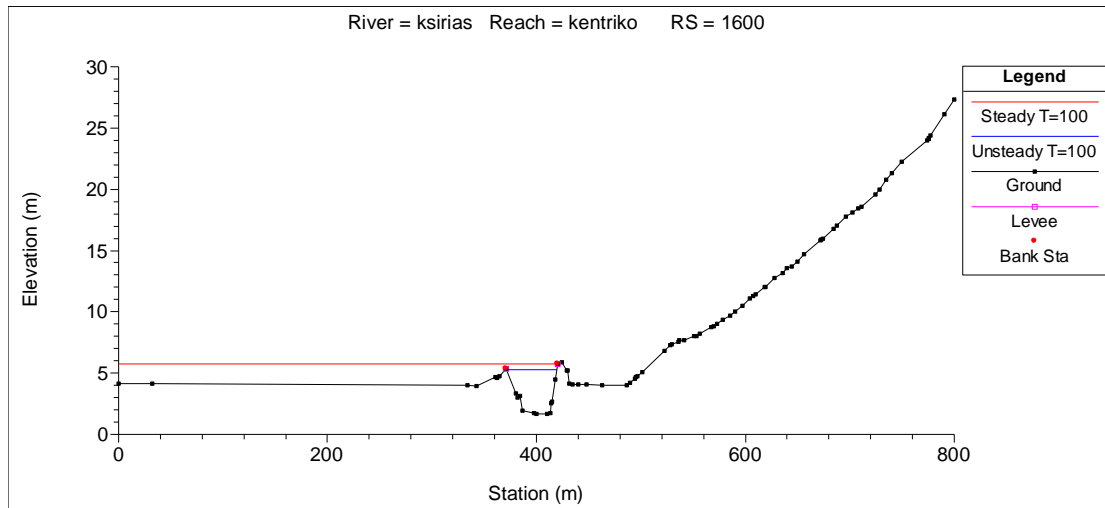
Σχήμα 5.81: Διατομή 2350 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



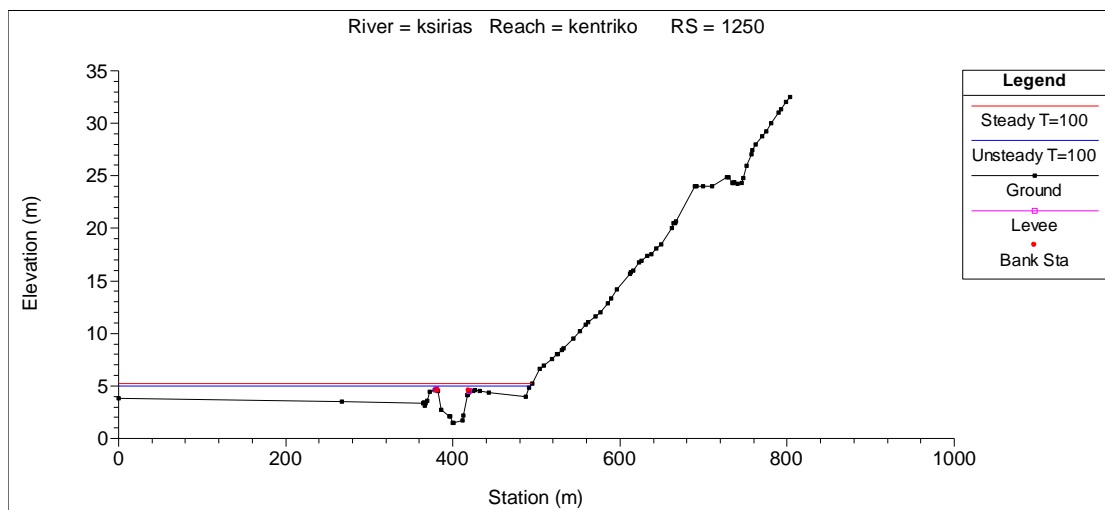
Σχήμα 5.82: Διατομή 2100 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



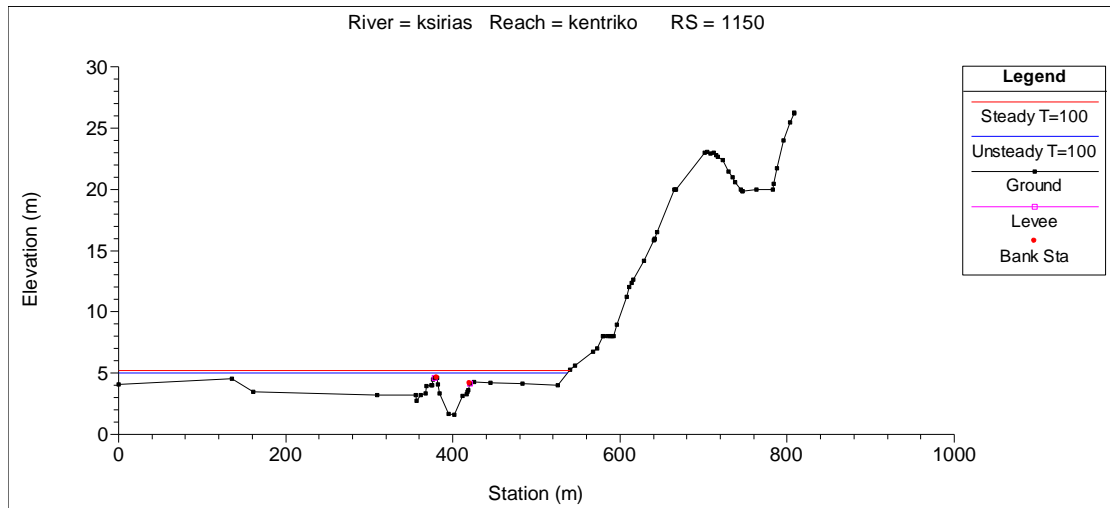
Σχήμα 5.83: Διατομή 1826.5 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



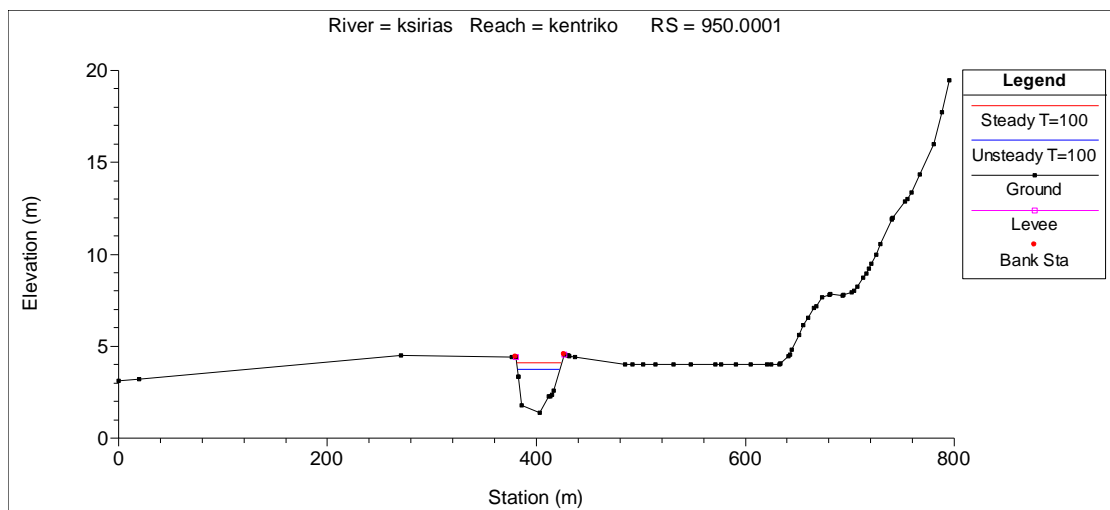
Σχήμα 5.84: Διατομή 1600 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



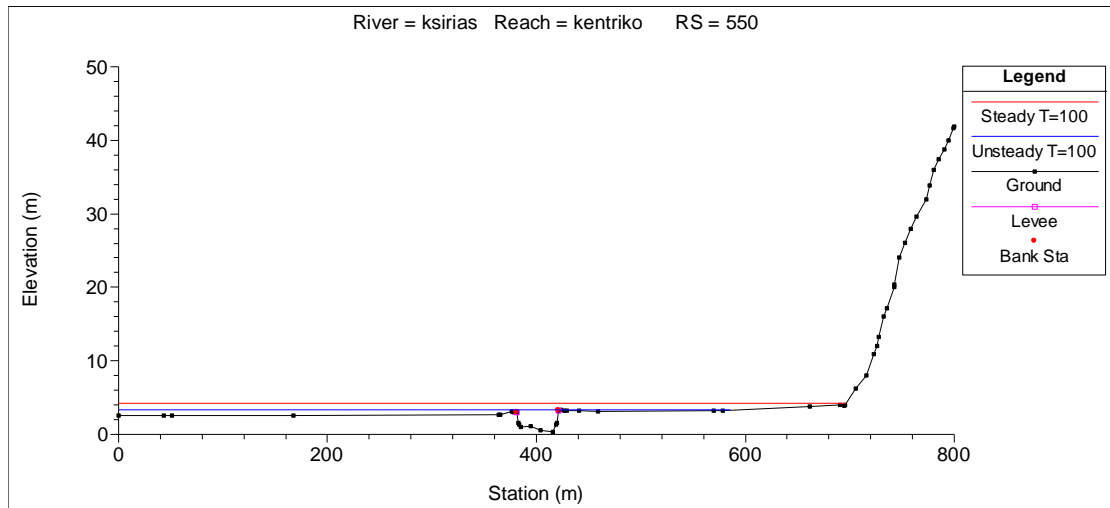
Σχήμα 5.85: Διατομή 1250 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



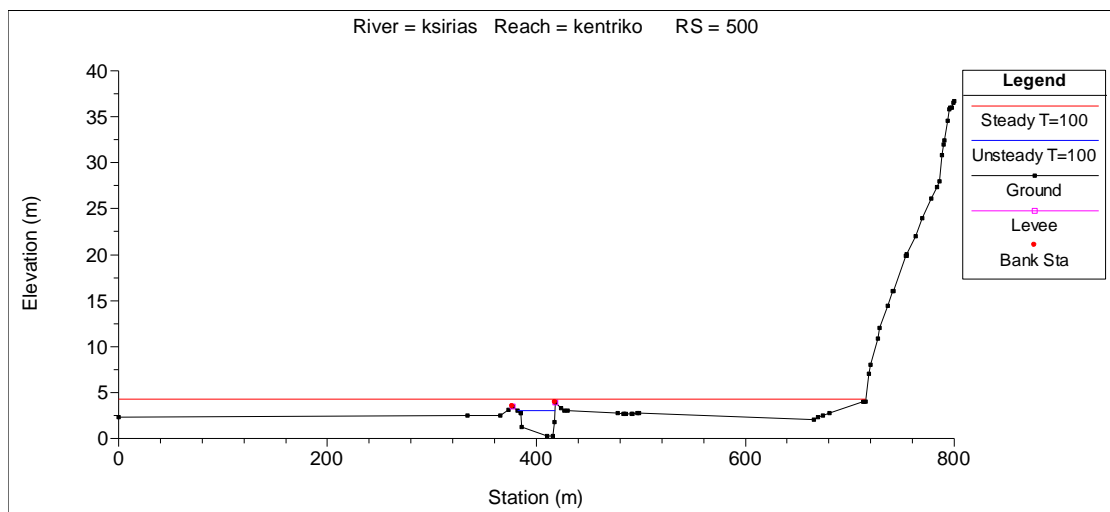
Σχήμα 5.86: Διατομή 1150 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



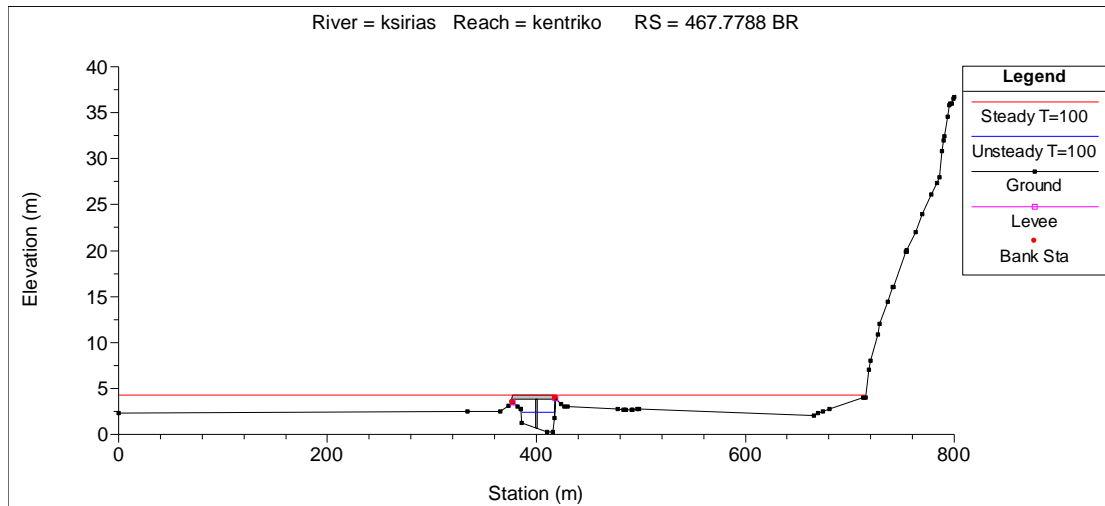
Σχήμα 5.87 Διατομή 950 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.88: Διατομή 550 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



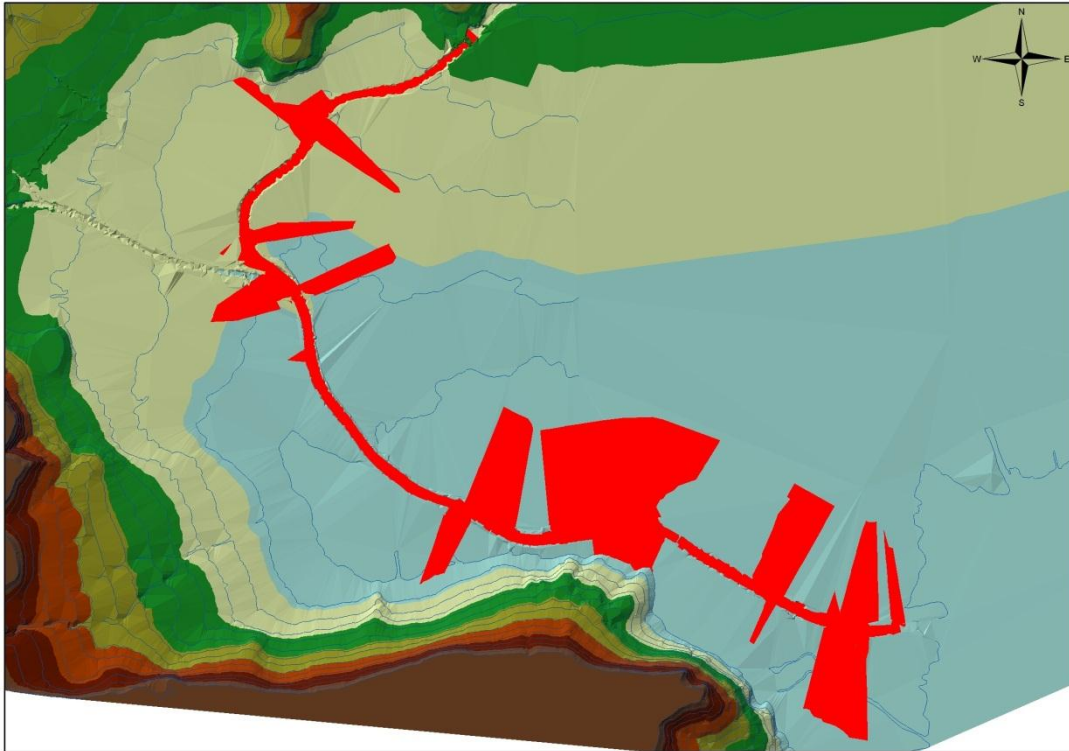
Σχήμα 5.89: Διατομή 500 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.



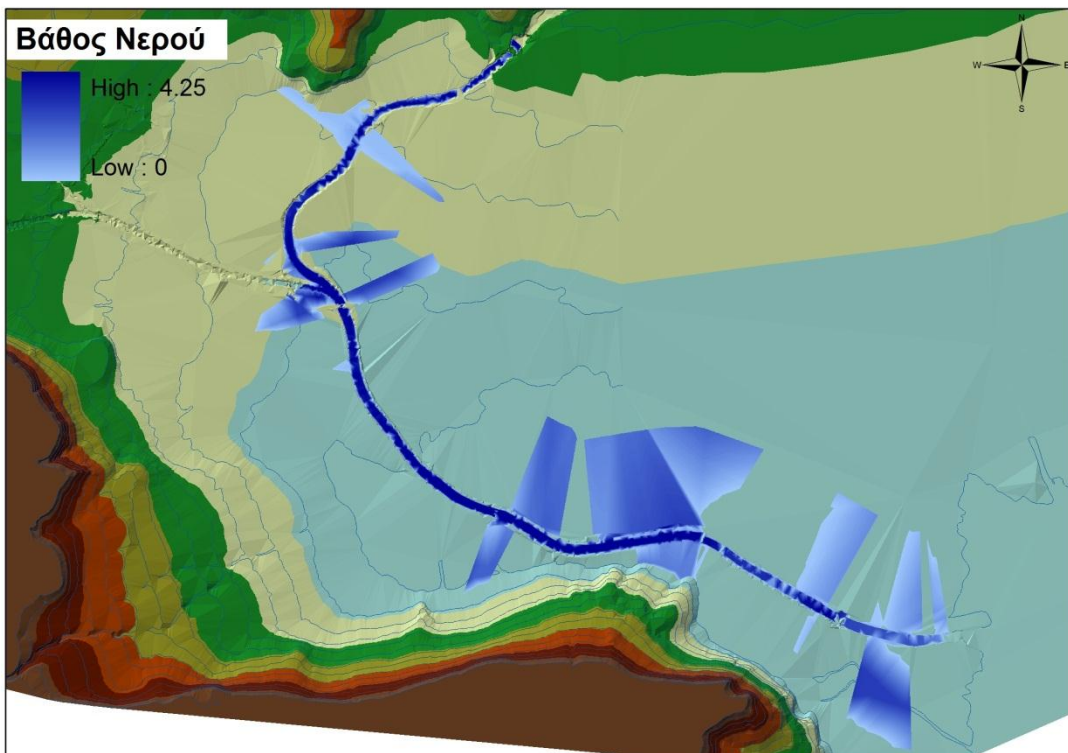
Σχήμα 5.90: Διατομή 467.8 - Σύγκριση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

Πλημμυρικοί Χάρτες

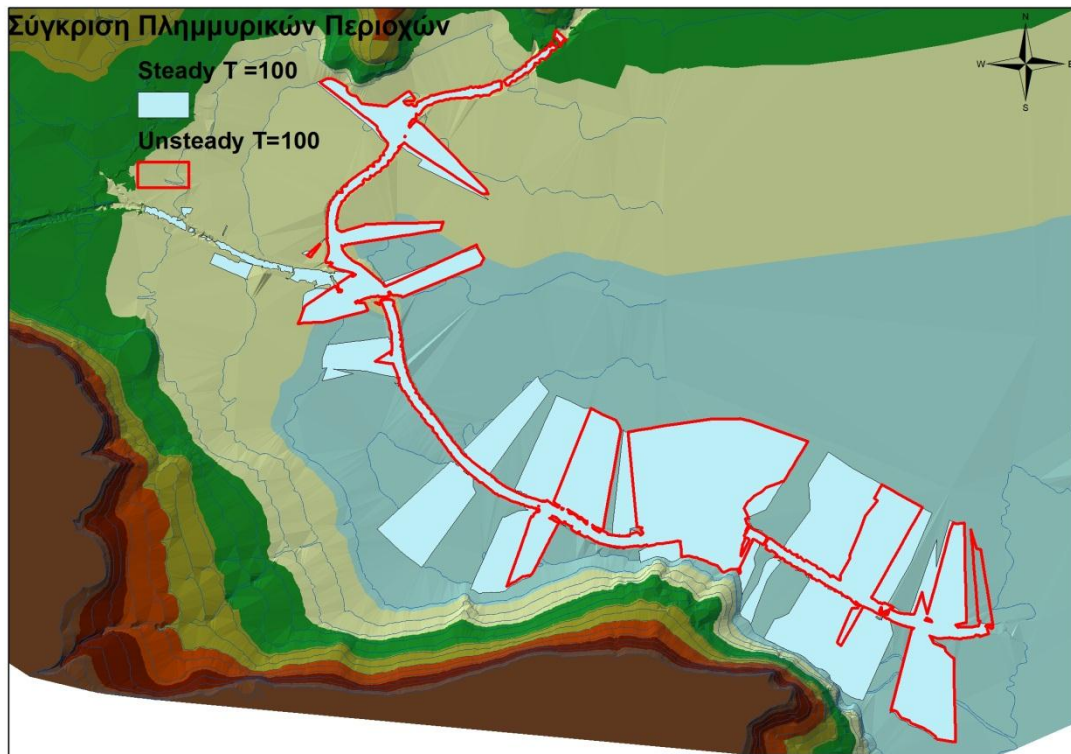
Παρακάτω φαίνονται οι χάρτες πλημμυρικών περιοχών (Σχήμα 5.91) και ύψους ελεύθερης επιφάνειας (Σχήμα 5.92), οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS, για συνθήκες μη μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$. Στο σχήμα 5.93 φαίνεται, επίσης, η σύγκριση των πλημμυρικών περιοχών για τις δυο συνθήκες ροής (αναλυτική σύγκριση ακολουθεί στο κεφάλαιο 7).



Σχήμα 5.91 : Πλημμυρική περιοχή για συνθήκες μη μόνιμης ροής και περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.92 : Βάθος νερού πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μη μόνιμης ροής και περίοδο επαναφοράς $T=100$.



Σχήμα 5.93 : Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για περίοδο επαναφοράς $T=100$ για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής.

Κεφάλαιο 6

Μέτρα Αντιπλημμυρικής Προστασίας

Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση της υδραυλικής προσομοίωσης παρατηρήθηκε έντονο πρόβλημα πλημμύρας του υδατορρέυματος και ιδιαίτερα στο κατώτερο τμήμα του ποταμού. Στο κεφάλαιο αυτό επαναλαμβάνεται η υδραυλική προσομοίωση με την εφαρμογή ορισμένων αντιπλημμυρικών έργων που έχουν ήδη πρόσφατα κατασκευαστεί στο φυσικό υδατόρρευμα και γίνεται η σύγκριση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στις νέες διευθετημένες διατομές και στις αρχικές διατομές.

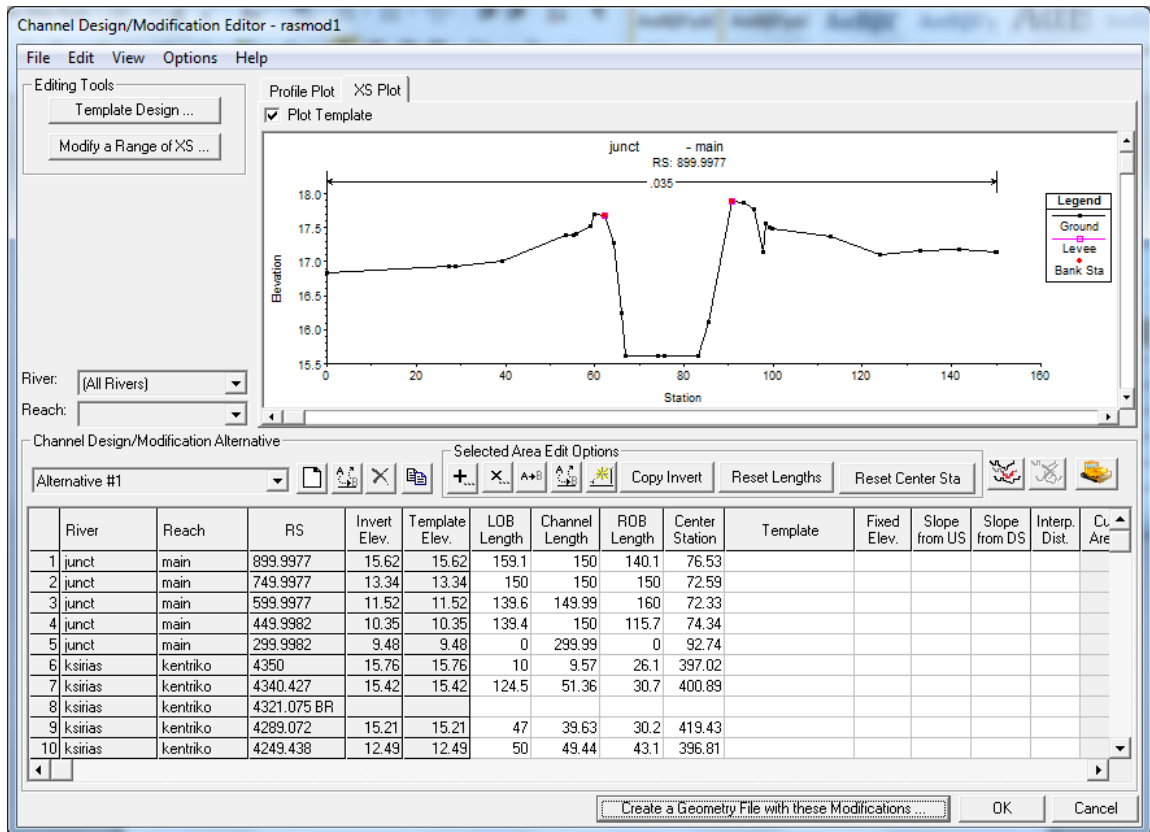
6.1 Σκοπός εφαρμογής αντιπλημμυρικών έργων

Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης υπό συνθήκες μόνιμης ροής, προέκυψε μία ευρεία πλημμυρική ζώνη γύρω από τον ποταμό. Αυτή η ζώνη εντοπίζεται στα ανατολικά του κυρίως υδατορρέυματος με ιδιαίτερα αυξημένο εύρος από το ύψος της συμβολής με τον χειμάρρο Σεσκουλιώτη και κατάντη αυτής. Η πλημμυρική αυτή περιοχή αποτελείται κυρίως από αγροτικές εκτάσεις, βιομηχανικές και αστικές περιοχές. Το γεγονός λοιπόν ότι ισχύουν οι συγκεκριμένες χρήσεις γης στην περιοχή κάνει την πλημμύρα του ποταμού ένα ιδιαίτερος επικίνδυνο φαινόμενο που απειλεί κατά κύριο λόγο ανθρώπινες ζωές. Και αυτό καθώς μιλάμε για μία περιοχή με έντονη την παρουσία του ανθρώπινου στοιχείου, τόσο λόγω της αστικοποιημένης ζώνης όσο και της βιομηχανικής. Απειλεί, όμως και με καταστροφές σε αγροτικές εκτάσεις καθώς και σε βιομηχανικές περιοχές πλήττοντας έτσι την οικονομική ζωή τόσο των κατοίκων της περιοχής όσο και όλων των υπολοίπων που εξαρτούνται από αυτή. Για αυτούς λοιπόν τους λόγους κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων προκειμένου να προστατευτεί η περιοχή από το φαινόμενο της πλημμύρας.

Στην συγκεκριμένη εργασία ως αντιπλημμυρικά έργα λήφθηκαν τα προσφάτως κατασκευασμένα αντιπλημμυρικά έργα διαμόρφωσης των διατομών του υδατορρέυματος, με σκοπό να συγκρίνουμε την περιοχή επιρροής της πλημμύρας πριν και μετά τα έργα αυτά. Η ακριβής διαδικασία καθώς και τα αποτελέσματά της παρουσιάζονται λεπτομερώς στη συνέχεια.

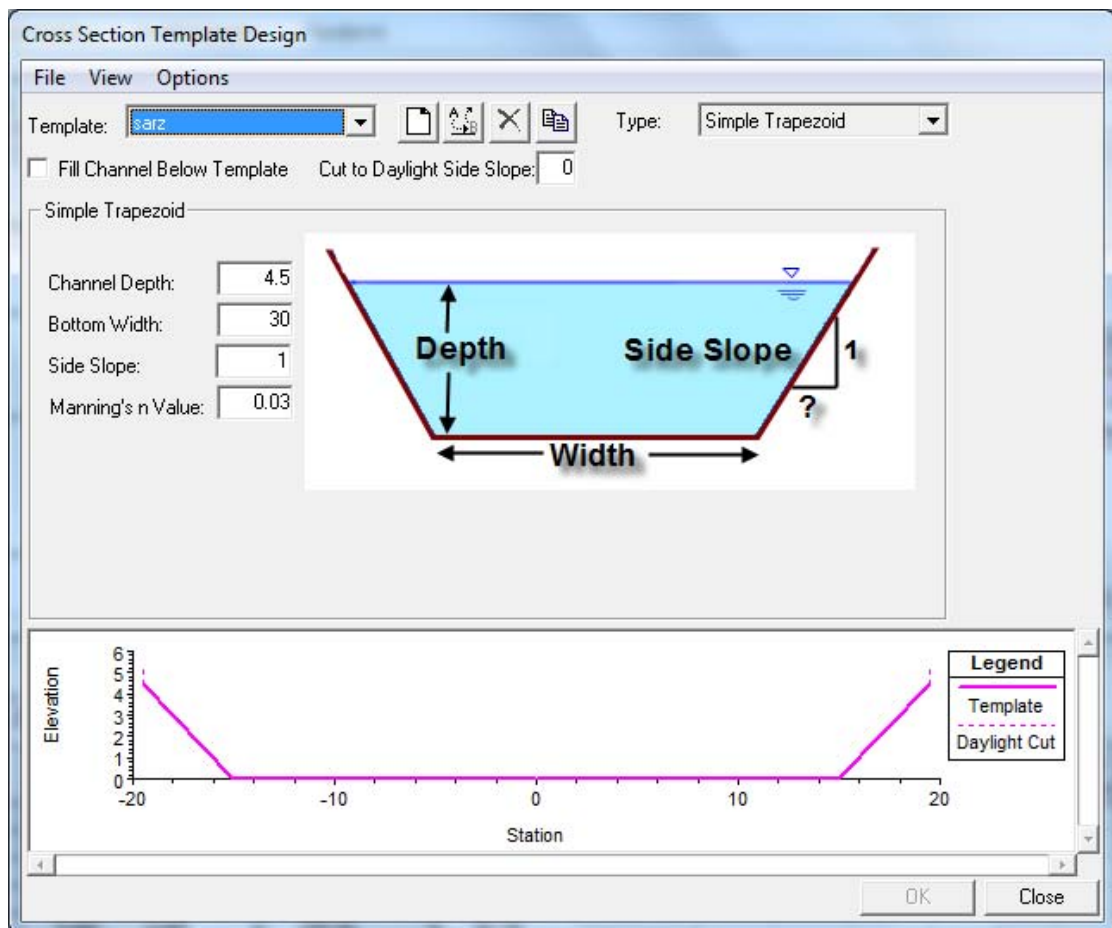
6.2 Διευθέτηση υδατορρέυματος σε περιβάλλον HEC-RAS

Η διαμόρφωση των νέων διατομών και η διευθέτηση του υδατορρέυματος σε περιβάλλον HEC-RAS έγινε μέσω του μενού Geometric Data>Tools > Channel Design/Modification (Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1: Επεξεργασία διατομής υδατορρέυματος (Channel Modification).

Στο μενού αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει επιλεγμένες διατομές του ποταμού, είτε μέσω του παραπάνω μενού, όπου μπορεί να διαμορφώσει το υψόμετρο πυθμένα και την κλίση πρανών, είτε μέσω της εντολής Template Design (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2: Διαμόρφωση προκαθορισμένων διατομών (Template).

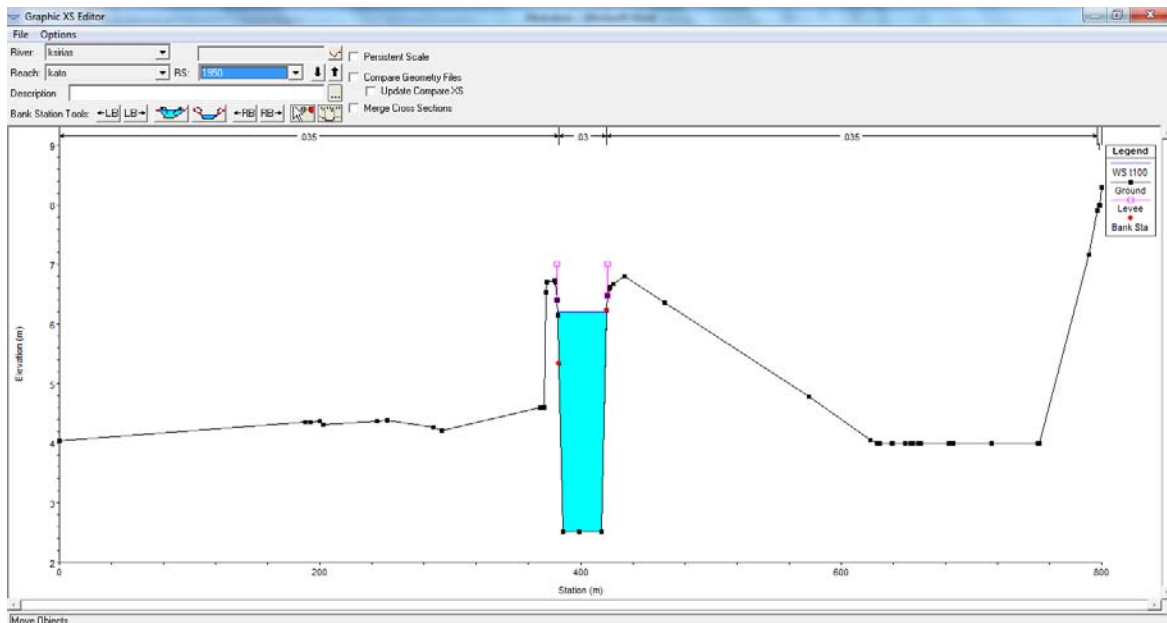
Μέσω του υδραυλικού προγράμματος HEC-RAS ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μια προκαθορισμένη διατομή τραπεζοειδή, ορθογωνική ή οποιασδήποτε γεωμετρίας επιθυμεί, την οποία μπορεί να εισάγει στις διατομές του ποταμού. Το πρόγραμμα αυτόματα προσαρμόζει το ανάγλυφο του εδάφους σύμφωνα με τη δοθείσα διατομή.

Όπως προαναφέρθηκε η επιλογή των προκαθορισμένων διατομών (Template) έγινε σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση του υδατορρεύματος μετά την περάτωση των προσφάτως κατασκευασμένων αντιπλημμυρικών έργων (φωτογραφικό υλικό φαίνεται στο υποκεφάλαιο 6.4 που ακολουθεί).

Συγκεκριμένα, επιλέχτηκε η εισαγωγή δυο ειδών διατομών, μιας ορθογωνικής και μιας τραπεζοειδούς. Η εφαρμογή της τραπεζοειδούς διατομής έγινε από την διατομή 2200 έως την 1027, ενώ η εφαρμογή της ορθογωνικής από τη διατομή 1027 και κατόντη. Η τραπεζοειδής διατομή πρόεκυψε από την τοποθέτηση σαρζανέτ στις όχθες του ποταμού, με μήκος 30.0 m και κλίση πρανών 45 μοίρες. Λόγω της διαφορετικής τραχύτητας σαρζανέτ και σκυροδέματος επιλέχτηκε ένας μέσος συντελεστής Manning με τιμή 0.03. Η ορθογωνική διατομή έχει διαστάσεις 45.0 m μήκος και ύψος 4.5 m.

Αφού, ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, με τη εντολή “Create a Geometry File with these modification” εξάγεται ένα νέο αρχείο με τη νέα διαμορφωμένη γεωμετρία.

Επειδή το πρόγραμμα δεν τοποθετεί απλώς τις διατομές που επιλέχθηκαν αλλά τις προσαρμόζει στις προϋπάρχουσες και αδυνατεί να επεκτείνει τα πρανή των προκαθορισμένων διατομών πάνω από το ανάγλυφο του εδάφους χρειάστηκε να επέμβουμε χειροκίνητα με την εφαρμογή Levees (Αναχώματα). Αυτό έγινε διότι τα πρανή των νέων διατομών ξεπερνούν το ανάγλυφο του εδάφους έχοντας την μορφή τοιχίου σκυροδέματος.



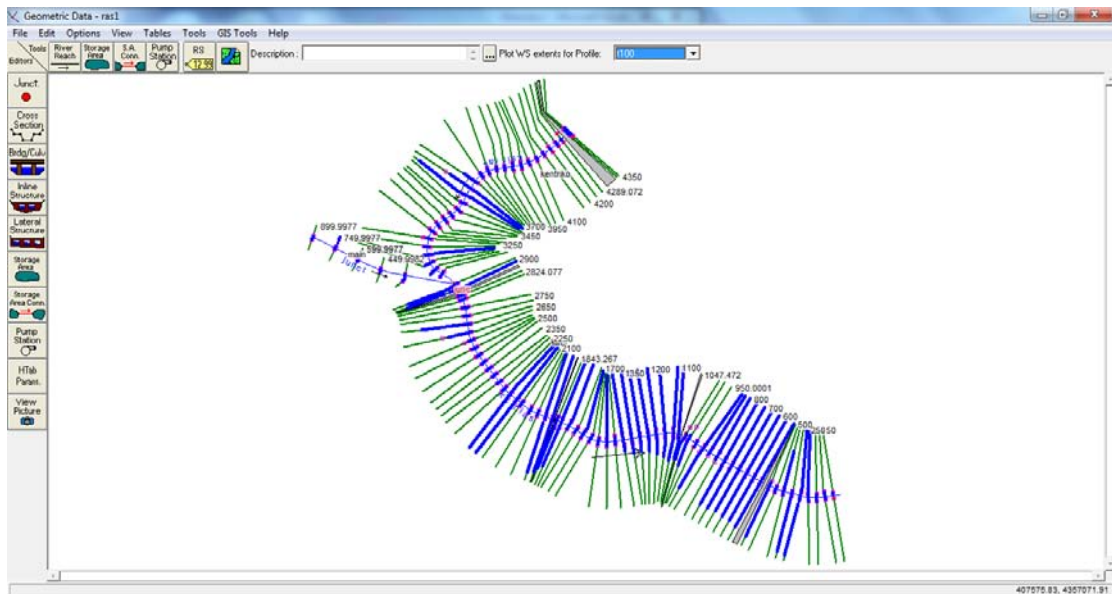
Σχήμα 6.3: Ενδεικτική επεξεργασμένη διατομή.

6.3 Σύγκριση υδραυλικών αποτελεσμάτων

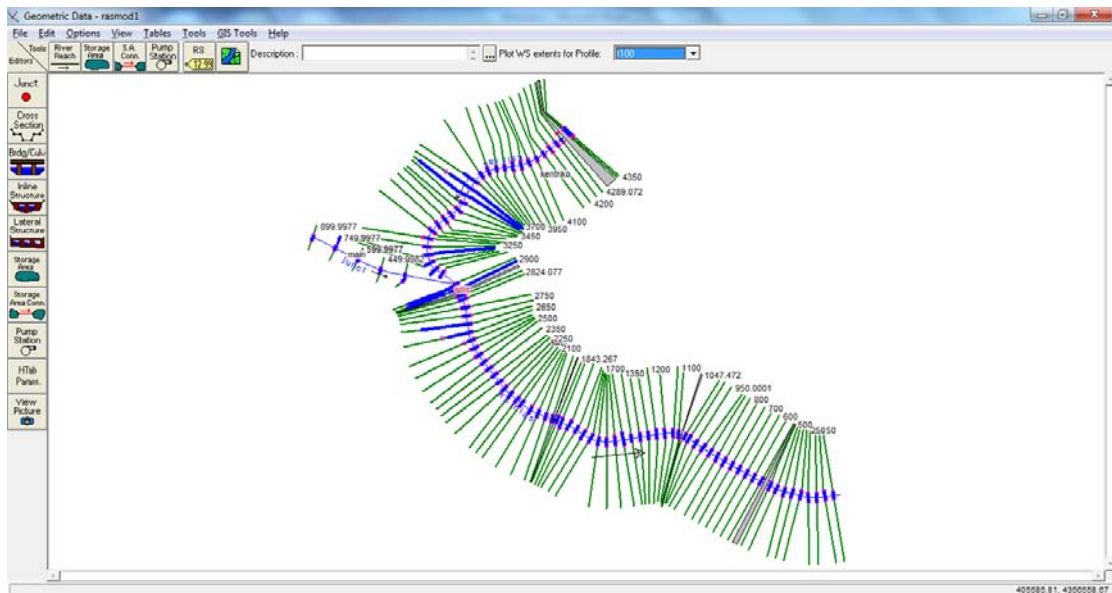
Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας του υδατορρεύματος και της εξαγωγής και αποθήκευσης του νέου αρχείου γεωμετρικών δεδομένων, επιλέγονται τα ίδια υδρολογικά δεδομένα, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, ώστε να γίνει η προσομοίωση υπό συνθήκες μόνιμης ροής.

Εξετάζοντας λοιπόν την επιρροή των αντιπλημμυρικών έργων που εφαρμόστηκαν στην περιοχή μπορούμε με σαφήνεια να διακρίνουμε τον περιορισμό της πλημμυρικής ζώνης του υδατορρεύματος, στο τμήμα μετά την συμβολή, που έγινε η τροποποίηση, το οποίο παρουσίαζε και το μεγαλύτερο πρόβλημα. Συγκεκριμένα είναι εμφανές ότι στις πλημμυρισμένες διατομές στο τελευταίο τμήμα του ποταμού η ροή έχει περιοριστεί εντός του υδατορρεύματος, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η πιθανότητα να συμβεί μια υπερχειλίση του ποταμού, με καταστροφικές συνέπειες, για ένα γεγονός πλημμύρας περιόδου επαναφοράς $T=100$, έχει μειωθεί σημαντικά, αν όχι εξαλειφθεί.

Χαρακτηριστικά τα αποτελέσματα φαίνονται στα σχήματα 6.4 & 6.5 που ακολουθούν.

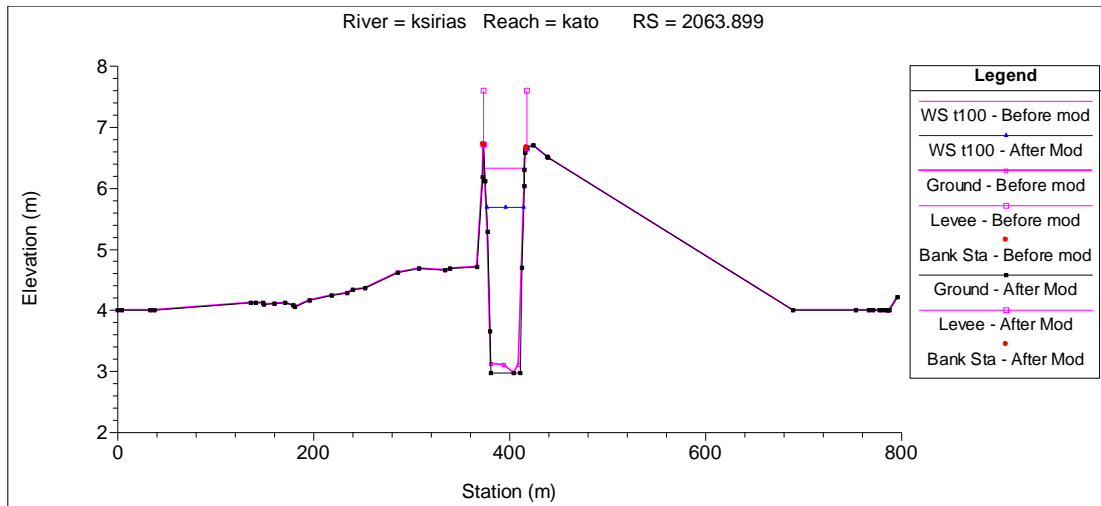


Σχήμα 6.4 : Κάτοψη ποταμού Ξηριά και πλημμυρικών περιοχών, υπό συνθήκες μόνιμης ροής, **χωρίς αντιπλημμυρική προστασία**, για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη.

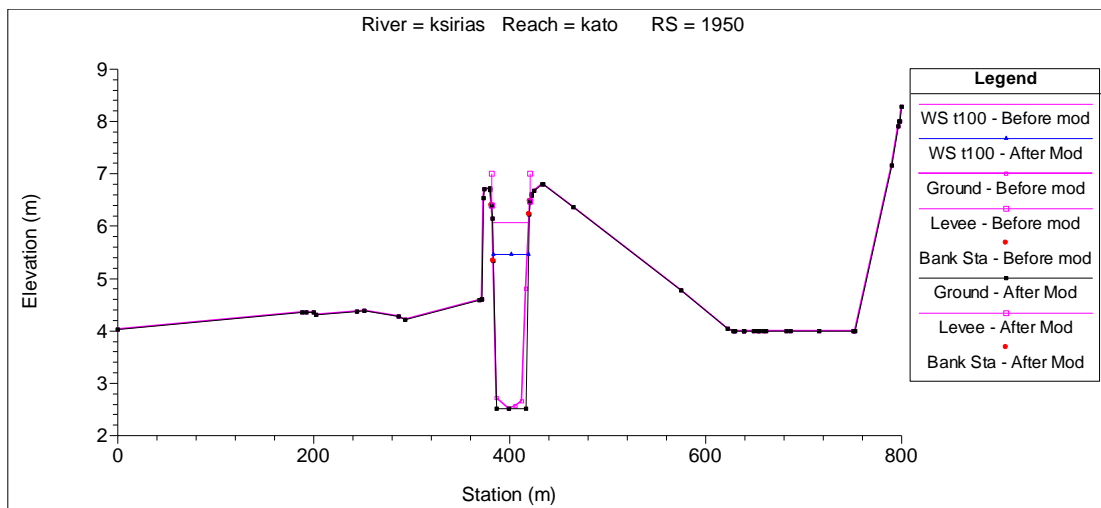


Σχήμα 6.5 : Κάτοψη ποταμού Ξηριά και πλημμυρικών περιοχών, υπό συνθήκες μόνιμης ροής, **με αντιπλημμυρική προστασία**, για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη .

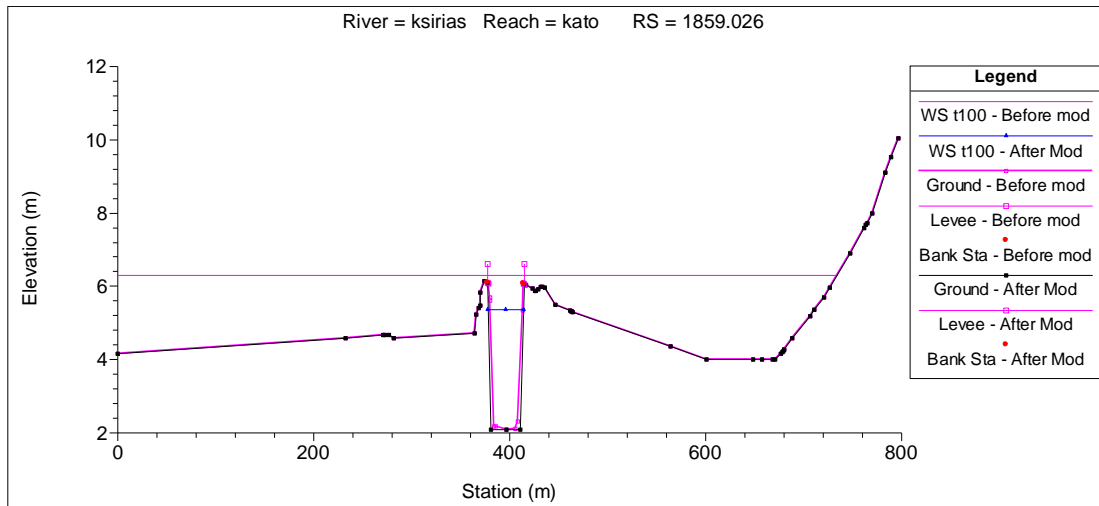
Η σύγκριση των διατομών μια προς μια στο HEC-RAS γίνεται μέσω του μενού View> Cross Sections> Options > Plans. Υπάρχει η επιλογή να εμφανίζονται στο ίδιο παράθυρο το ανάγλυφο και το ύψος στάθμης του νερού για διαφορετικά αρχεία αποτελεσμάτων υδραυλικής προσομοίωσης. Ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποιες διατομές, υπό συνθήκες μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη , πριν και μετά τη αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής.



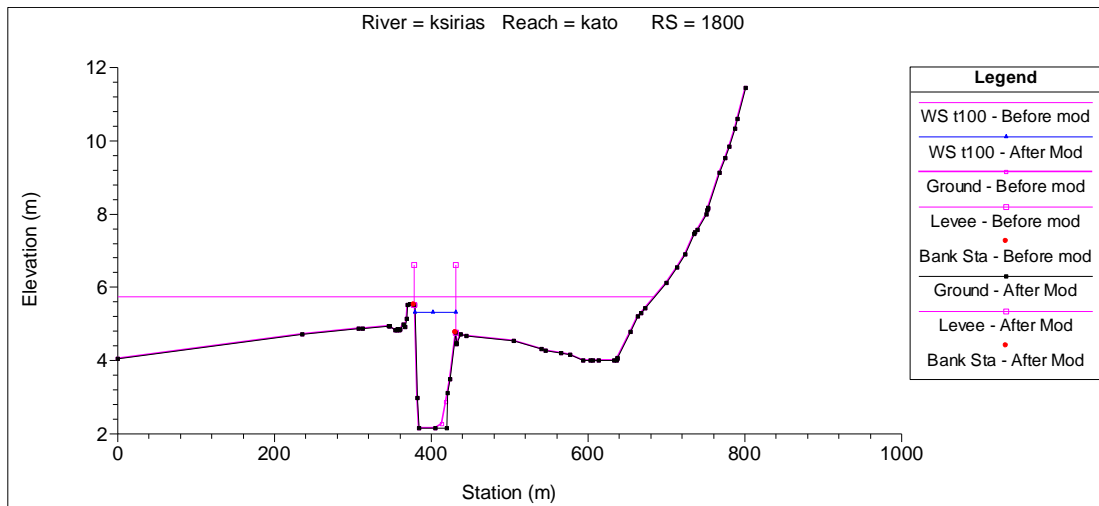
Σχήμα 6.6 : Διατομή 2063.9 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη .



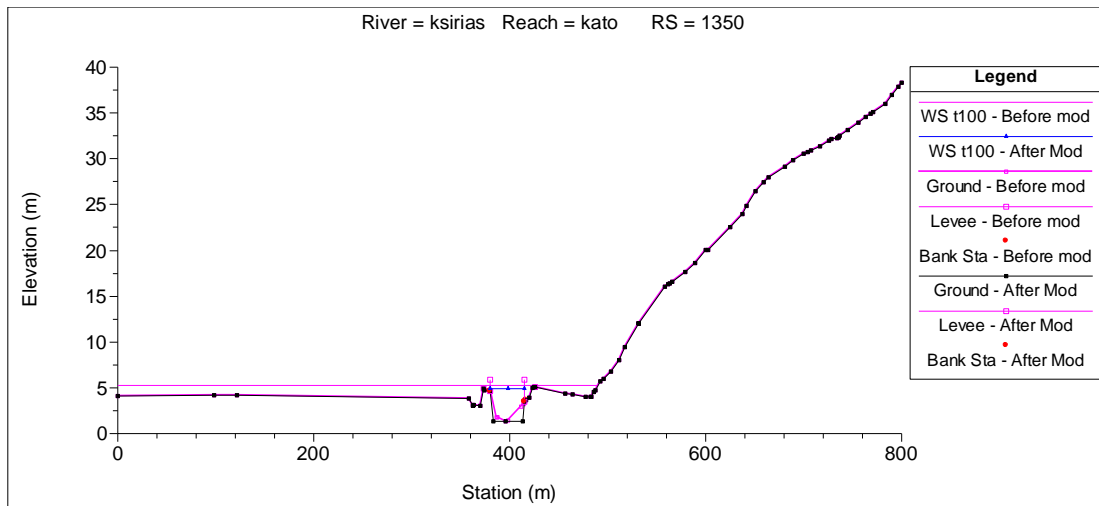
Σχήμα 6.7 : Διατομή 1950 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη .



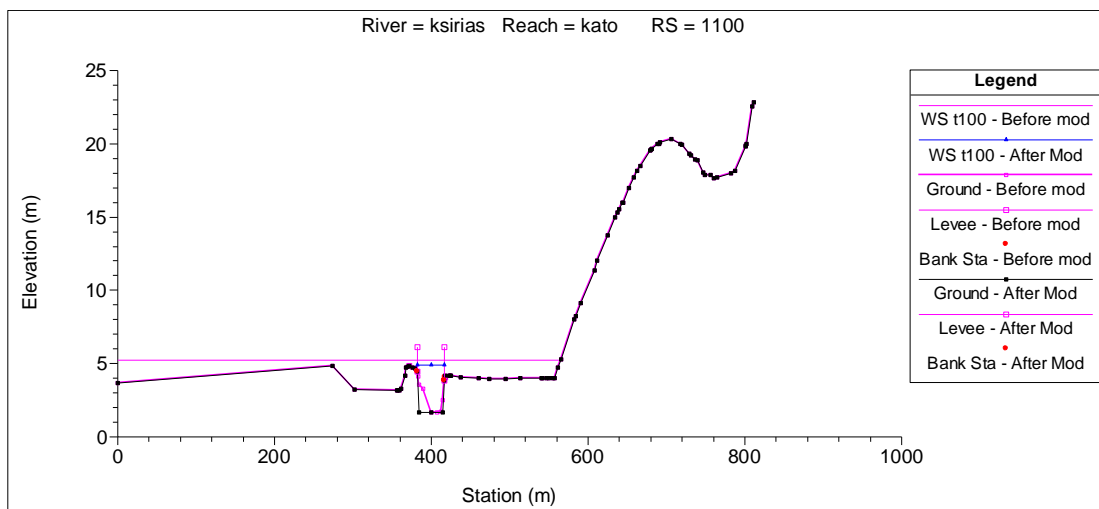
Σχήμα 6.8 : Διατομή 1859 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη .



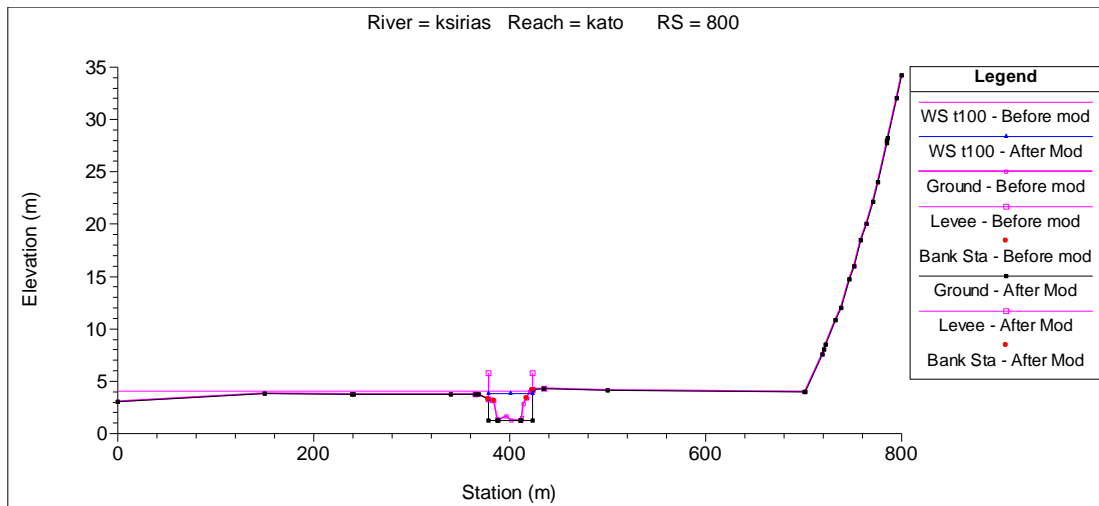
Σχήμα 6.9 : Διατομή 1800 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη .



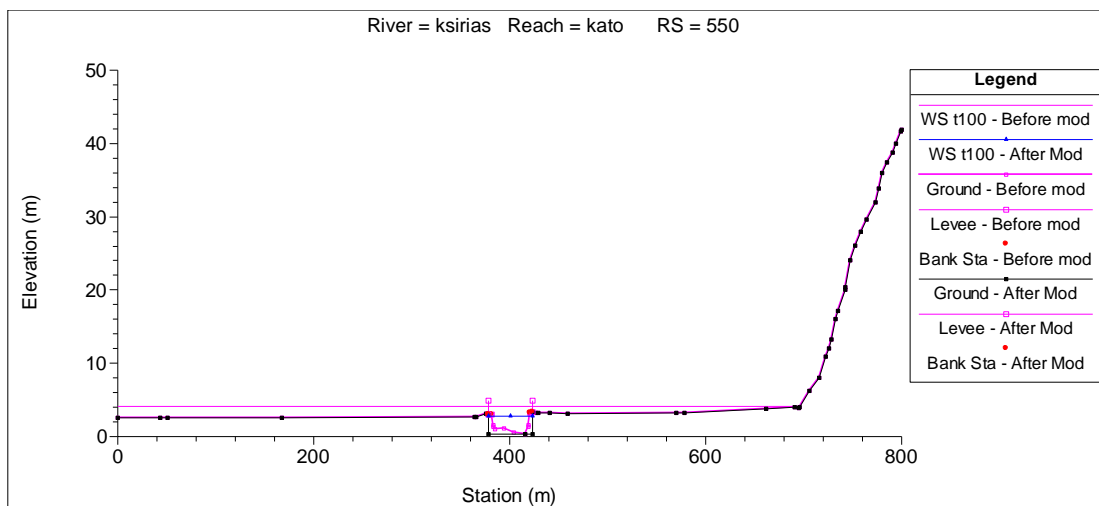
Σχήμα 6.10 : Διατομή 1350 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη .



Σχήμα 6.11 : Διατομή 1100 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη .



Σχήμα 6.12 : Διατομή 800 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη .



Σχήμα 6.13 : Διατομή 550 - Σύγκριση ελεύθερης επιφάνειας νερού πριν και μετά την αντιπλημμυρική προστασία, υπό συνθήκες μόνιμης ροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη .

6.3 Φωτογραφικό υλικό αντιπλημμυρικών έργων

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό των αντιπλημμυρικών έργων που έχουν περατωθεί στον Πόταμο Ξηριά και αποτέλεσαν το πρότυπο δημιουργίας των προκαθορισμένων διατομών για την τροποποίηση του υδατορρεύματος. Συγκεκριμένα, στις φωτογραφίες 6.1-6.3 φαίνεται το πρότυπο για την δημιουργία της ορθογωνικής διατομής ενώ αντίστοιχα στις φωτογραφίες 6.4 και 6.5 το πρότυπο για την δημιουργία της τραπεζοειδούς διατομής. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην φωτογραφία 6.3 γίνεται εμφανές πως τα πρανή των νέων διατομών ξεπερνούν το ανάγλυφο του εδάφους έχοντας την μορφή τοιχίου σκυροδέματος, αυξάνοντας έτσι το εμβαδό της διατομής.



Φωτογραφία 6.1 : Πρότυπο για την δημιουργία της ορθογωνικής διατομής.



Φωτογραφία 6.2 : Πρότυπο για την δημιουργία της ορθογωνικής διατομής.



Φωτογραφία 6.3 : Πρότυπο για την δημιουργία της ορθογωνικής διατομής.



Φωτογραφία 6.4 : Πρότυπο για την δημιουργία της τραπεζοειδούς διατομής.



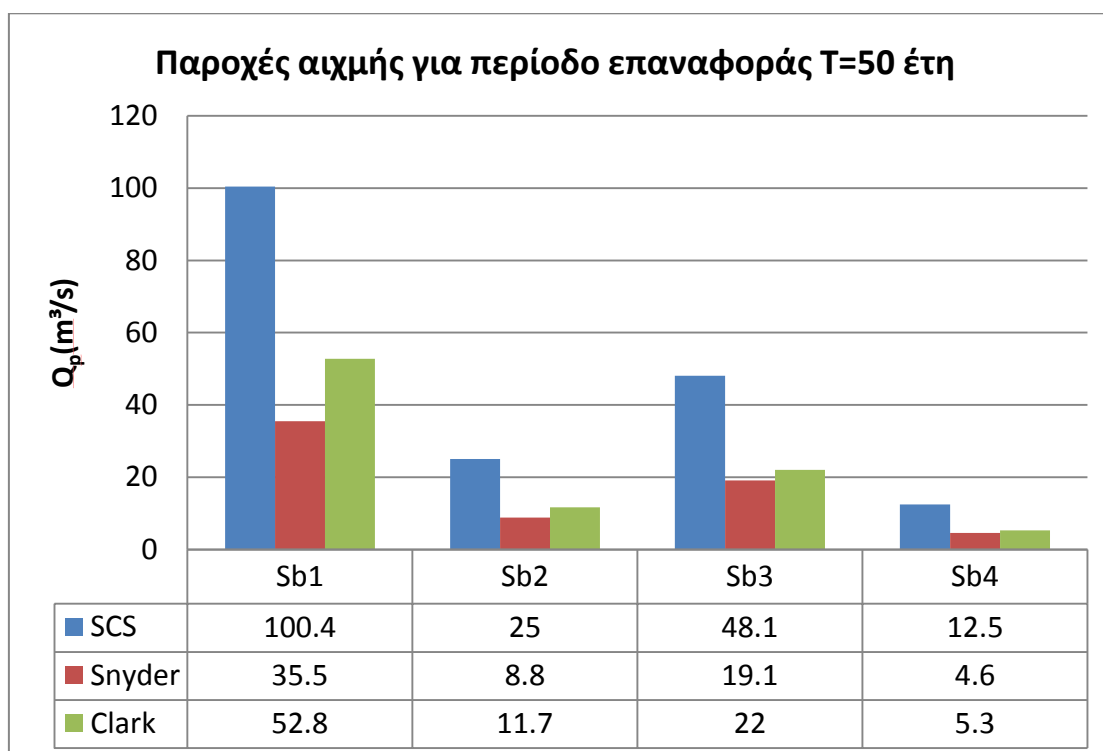
Φωτογραφία 6.5 : Πρότυπο για την δημιουργία της τραπεζοειδούς διατομής.

Εισαγωγή

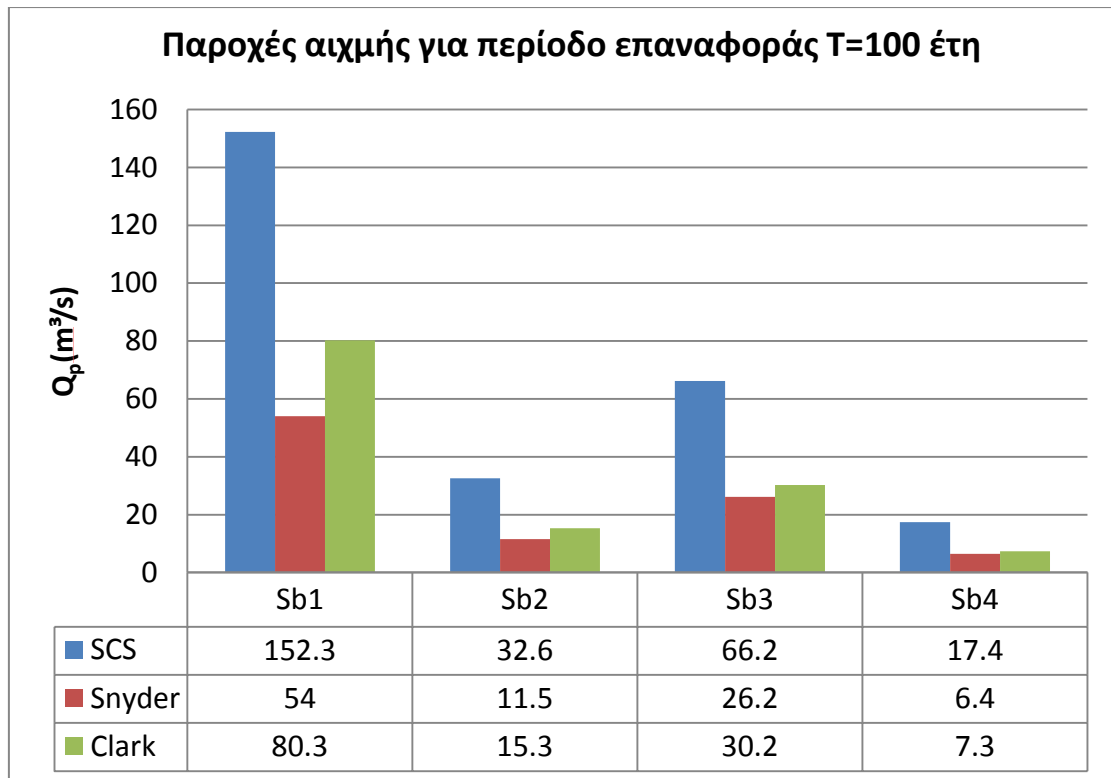
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σύνοψη των εξαγόμενων αποτελεσμάτων τόσο της υδρολογικής όσο και της υδραυλικής προσομοίωσης. Όσον αφορά την υδρολογική προσομοίωση παρατίθενται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα για τις διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού της άμεσης απορροής και για δύο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς, ενώ τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής παρουσιάζονται και συγκρίνονται με την μορφή πλημμυρικών χαρτών, που είναι και το τελικό εξαγόμενο αποτέλεσμα της παρούσας διατριβής.

7.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Υδρολογικής Προσομοίωσης

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα τις υδρολογικής προσομοίωσης όπως πρόεκυψαν με την χρήση του υδρολογικού προγράμματος HEC-HMS. Συγκεκριμένα στα σχήματα 7.1 και 7.2 φαίνονται οι παροχές αιχμής για τις τρεις μεθόδους MYG που χρησιμοποιήθηκαν (Clark, SCS, Snyder) για κάθε περίοδο επαναφοράς αντίστοιχα (T=50 και T=100 έτη).



Σχήμα 7.1: Παροχές αιχμής για περίοδο επαναφοράς T=50 έτη.



Σχήμα 7.2: Παροχές αιχμής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη.

Όπως φαίνεται και στους δυο παραπάνω πίνακες (Πίνακας 7.1 και 7.2) η μέθοδος SCS δίνει τις μεγαλύτερες παροχές αιχμής για όλες τις υπολεκάνες με την μέθοδο Clark να δίνει τα αμέσως μικρότερα αποτελέσματα με αρκετά μεγάλη διαφορά.

Στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες αυξήσεις των παροχών αιχμής της μεθόδου SCS μεταξύ των δυο περιόδων επαναφοράς για κάθε υπολεκάνη, καθώς και τα εμβαδά τους.

Πίνακας 7.1: Αύξηση της παροχής αιχμής για περιόδους επαναφοράς T=50,100, βάσει της μεθόδου SCS.

Υπολεκάνες	Εμβαδά(km ²)	Qp(T=50)(m ³ /s)	Qp(T=100)(m ³ /s)	Αύξηση Qp (%)
1	73,68	100,4	152	51,39%
2	7,25	25	32,6	30,40%
3	22,92	48,1	66,2	37,63%
4	6,01	12,5	17,4	39,20%

Θα πρέπει να τονιστεί ότι στη παρούσα διατριβή θεωρούμε ως πιο αξιόπιστη μέθοδο την μέθοδο SCS εφόσον όλα τα απαραίτητα στοιχεία εισαγωγής προέκυψαν απευθείας από Γ.Σ.Π.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί για τις μεθόδους SCS και Snyder, που έχουν ως στοιχείο εισαγωγής στο πρόγραμμα το t_{lag} , ότι σε μια πρώτη δοκιμή της υδρολογικής προσομοίωσης υπολογίστηκε το t_{lag} ως το 60% του χρόνου

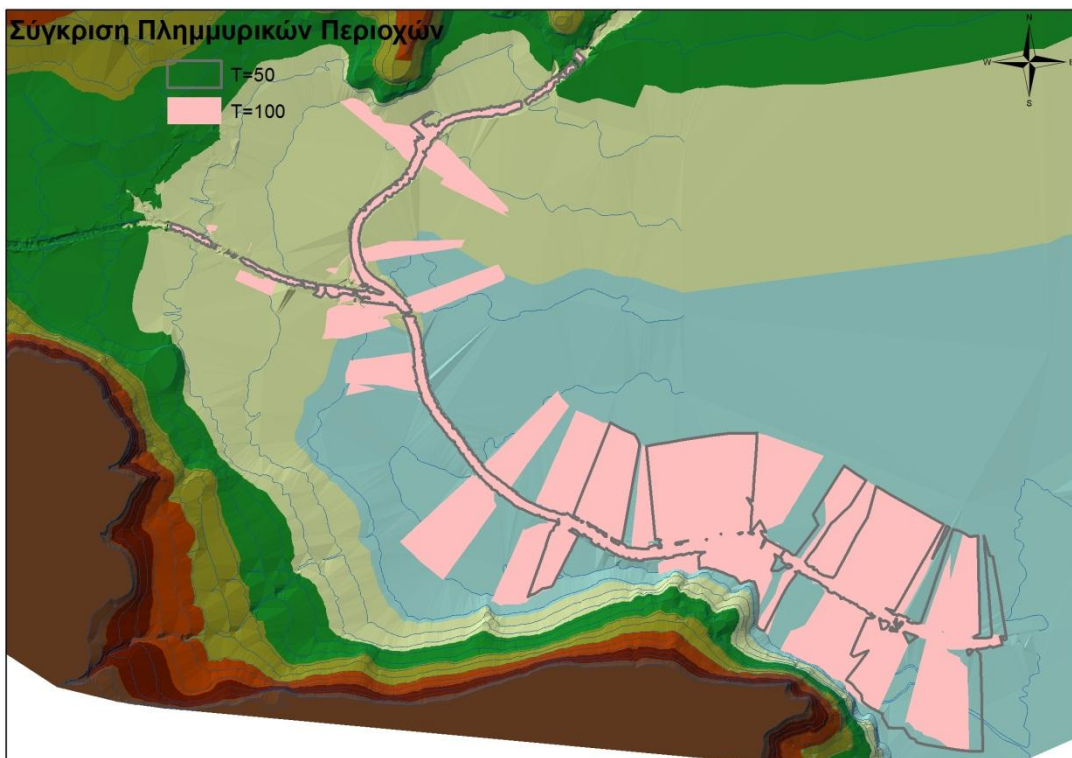
συγκέντρωσης από τον εμπειρικό τύπο Giandtotti, που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο Clark, και ότι για ίδιο t_{lag} οι δυο μέθοδοι έδωσαν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα.

7.2 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Υδραυλικής Προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σύγκριση και σχολιασμός των πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής μεταξύ των δυο περιόδων επαναφοράς ($T=50$ και $T=100$ έτη), καθώς επίσης και μεταξύ των συνθηκών μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς $T=100$.

7.2.1 Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$ έτη

Στο σχήμα 7.3 που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η σύγκριση των πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής και περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$ έτη, ενώ στον παρακάτω πίνακα 7.2 έχουν υπολογιστεί τα εμβαδά των πολυγώνων μέσω ΓΣΠ για την συγκεκριμένη περίπτωση.



Σχήμα 7.3: Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής και περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=100$ έτη.

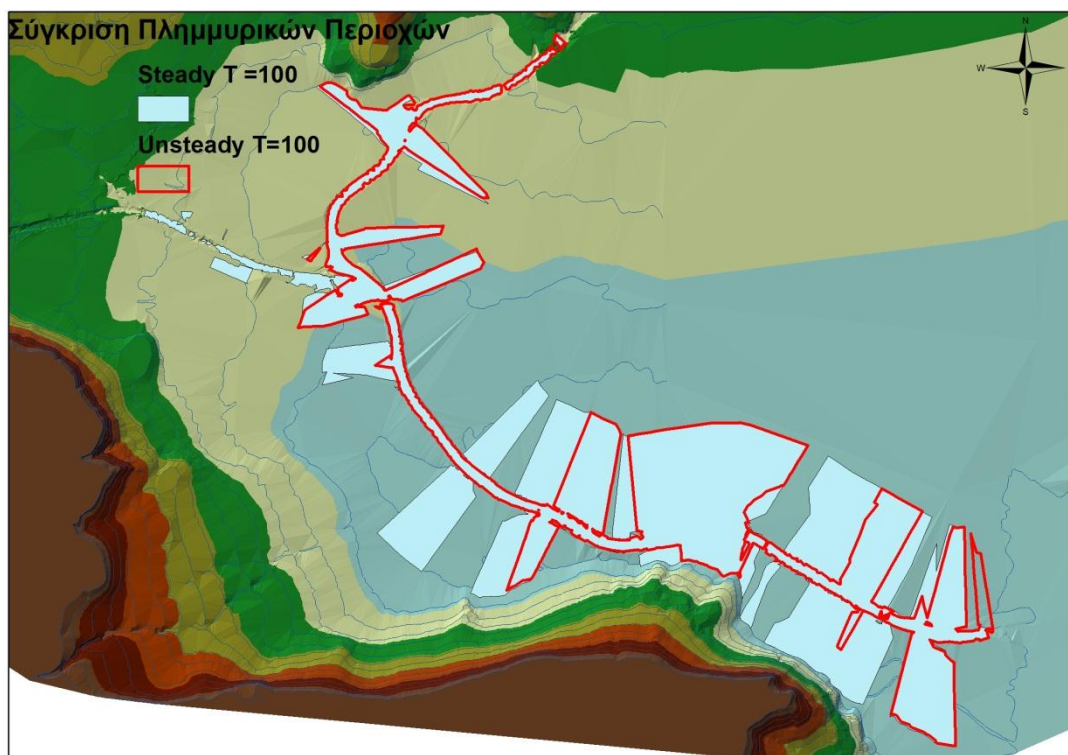
Πίνακας 7.2: Εμβαδά πολυγώνων πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής.

	T=50	T=100	Αύξηση(%)
Εμβαδά(km ²)	0,820	1,304	59,02%

Από τα παραπάνω (σχήμα 7.3 και πίνακας 7.2) είναι εμφανές ότι υπάρχει μια σημαντική αύξηση των πλημμυρικών περιοχών και μάλιστα γύρω στο 60%. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των δυο πολυγώνων παρατηρούνται στο τμήμα μετά την συμβολή, όπου συμβάλλουν όλες οι υπολεκάνες και η παροχή μεγιστοποιείται.

7.2.2 Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη

Στην εικόνα 7.4 που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η σύγκριση των πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη, ενώ στον παρακάτω πίνακα 7.3 έχουν υπολογιστεί τα εμβαδά των πολυγώνων μέσω ΓΣΠ για την συγκεκριμένη περίπτωση. Επειδή στη περίπτωση της μη μόνιμης ροής δεν προσομοιώθηκε ο χείμαρρος Σεσκουλιώτη, το κομμάτι αυτό αφαιρέθηκε από το πολύγωνο των πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης ροής ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα.



Σχήμα 7.4 : Σύγκριση πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη.

Πίνακας 7.3: Εμβαδά πολυγώνων πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη.

	Μόνιμη Ροή	Μη Μόνιμη Ροή	Μείωση(%)
Εμβαδά(km ²)	1,285	0,761	40,77%

Από τα παραπάνω (εικόνα 7.3 και πινάκας 7.5) είναι εμφανές ότι υπάρχει μια σημαντική μείωση των πλημμυρικών περιοχών και μάλιστα γύρω στο 40%. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των δυο πολυγώνων παρατηρούνται στο τμήμα μετά την συμβολή, όπου συμβάλλουν όλες οι υπολεκάνες και η παροχή μεγιστοποιείται.

Επιπλέον πρέπει να τονίσουμε ότι το «σενάριο» της μη μόνιμης ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 είναι ευνοϊκότερο ακόμη και αυτού για συνθήκες μόνιμης ροής και περίοδο επαναφοράς T=50. Συγκεκριμένα οι πλημμυρικές περιοχές φαίνονται στο παρακάτω πίνακα (Πινάκας 7.4), χωρίς βέβαια να έχει αφαιρεθεί το τμήμα των πλημμυρικών περιοχών του Σεσκουλιώτη (το οποίο είναι περίπου στα 0,02 km² για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη).

Πίνακας 7.4: Εμβαδά πολυγώνων πλημμυρικών περιοχών για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής για περιόδους επαναφοράς T=50 και T=100 έτη, αντίστοιχα.

	Μόνιμη Ροη (T=50)	Μη Μόνιμη Ροη(T=100)
Εμβαδά(km ²)	0,820	0,761

7.3 Σχολιασμός υπολογιστικών μοντέλων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται και σχολιάζονται τα αριθμητικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα περιγράφεται η χρήση των αριθμητικών προγραμμάτων καθώς και παρατηρήσεις και προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της μελέτης.

7.3.1 Υδρολογικό μοντέλο "HEC-HMS"

Χρήση

Το υδρολογικό μοντέλο "HEC-HMS" είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο που σχεδιάστηκε από το Σώμα του Αμερικάνικου Στρατού (US Army Corps of Engineer) για την προσομοίωση των διεργασιών βροχόπτωσης-απορροής σε λεκάνες απορροής με δένδροειδή μορφή. Έχει την δυνατότητα εφαρμογής συγκεκριμένων προτύπων για τον υπολογισμό των απωλειών, της επιφανειακής και βασικής ροής καθώς και της διόδευσης της πλημμύρας (Εκτενής αναφορά στην χρήση του προγράμματος γίνεται στο Κεφάλαιο 3).

Η υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής, στην παρούσα εργασία, έγινε για δυο περιόδους επαναφοράς (T=50 και 100 έτη) και τα πρότυπα που επιλέχτηκαν είναι τα εξής:

- Πρότυπο απωλειών
Μέθοδος SCS(CN)
- Διόδευση Πλημμύρας
Muskingum – Cunge
- Πρότυπα άμεσης απορροής
Μέθοδος MYΓ Snyder
Μέθοδος MYΓ SCS
Μέθοδος MYΓ Clark

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ήταν βροχογραφήματα και υδρογραφήματα για τις 4 υπολεκάνες, για κάθε περίοδο επαναφοράς καθώς και

για κάθε μέθοδο υπολογισμού της άμεσης απορροής. Τα δυσμενέστερα αποτελέσματα, που στην συγκεκριμένη περίπτωση πρόεκυψαν από την μέθοδο SCS, επιλέχθηκαν για την υδραυλική προσομοίωση.

Παρατηρήσεις

Το υδρολογικό πρόγραμμα "HEC-HMS" είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πρόγραμμα, με συνέπεια να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πληροφοριών στο διαδίκτυο για την επίλυση των όποιων προβλημάτων προκύπτουν.

Γενικά χαρακτηρίζουμε το πρόγραμμα εύχρηστο και αξιόπιστο με μοναδικά αρνητικά σημεία ότι στην περίπτωση ύπαρξης λαθών ή προβλημάτων κατά το υπολογισμό δεν υπάρχει σαφής καθοδήγηση για την επίλυσή τους, παρά μόνο η παρουσία μηνυμάτων-σφαλμάτων, καθώς και στο γεγονός ότι το μενού επεξεργασίας των εξαγόμενων δεδομένων είναι αρκετά περίπλοκο και δύσχρηστο.

7.3.2 Υδραυλικό μοντέλο "HEC – RAS"

Χρήση

Το υδραυλικό πρόγραμμα "HEC-RAS" είναι ένα πολυχρηστικό εργαλείο για τη μονοδιάστατη ανάλυση και προσομοίωση της ροής φυσικών υδατορρευμάτων. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της στάθμης του νερού για βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή σε δίκτυο τεχνητών αγωγών, σε σύστημα υδατορρευμάτων με τεχνικά έργα ή φυσικές κοίτες, υπό συνθήκες υποκρίσιμης ή υπερκρίσιμης ροής. Επίσης, δύναται να υπολογίσει υδραυλικά άλματα, υδραυλικές συνθήκες σε γέφυρες, ρουφράκτες, οχετούς, υπερχειλιστές (με ή χωρίς θυροφράγματα), στενώσεις καθώς, τη διάβρωση της κοίτης στις θέσεις των γεφυρών και τη μεταβολή του πυθμένα φυσικών υδατορρευμάτων (Εκτενής αναφορά στην χρήση του προγράμματος γίνεται στο Κεφάλαιο 4).

Στην παρούσα εργασία έγινε η υδραυλική προσομοίωση του υδατορρεύματος σε συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής. Τα βήματα που συνθέτουν τη διαδικασία υδραυλικής προσομοίωσης συνοψίζονται ως εξής:

- Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων
- Γεωμετρική επεξεργασία γεφυρών
- Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων
- Ρύθμιση παραμέτρων και εκτέλεση υδραυλικών υπολογισμών
- Επισκόπηση αποτελεσμάτων
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων στο HEC-GeoRAS
- Σύνθεση χαρτών πλημμυρικής περιοχής

Παρατηρήσεις

Το μοντέλο της μόνιμης ροής είναι εύχρηστο και απλοϊκό και απαιτεί περιορισμένο αριθμό δεδομένων για την εκτέλεση του. Χαρακτηριστικό είναι ότι όποιο σενάριο και αν επιλέχτηκε για την εκτέλεση της προσομοίωσης, ολοκληρώθηκε χωρίς να παρουσιαστούν προβλήματα και δίνοντας πάντα εύλογα αποτελέσματα.

Όσον αφορά το μοντέλο της μη μόνιμης ροής τα σχόλια δεν είναι τόσο θετικά. Σημαντικό ρόλο στην επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου έχει η «ευστάθεια», η οποία επηρεάζεται από πολυάριθμους παράγοντες με τους οποίους ο χρήστης πρέπει να είναι εξοικειωμένος και να χειρίζεται άρτια. Κάποιοι από τους παράγοντες που δοκιμάσαμε να τροποποιήσουμε ήταν οι αρχικές συνθήκες, το χρονικό βήμα και η διάρκεια των παροχογραφημάτων, οι καμπύλες ύψους-στάθμης στις διατομές των γεφυρών όπως επίσης έγινε και πύκνωση των διατομών πριν και μετά τις γέφυρες καθώς και τα γεωμετρικά δεδομένα του πυθμένα.

Γίνεται προφανές ότι για την επίτευξη της ευστάθειας του μοντέλου, όταν αυτή δεν υφίσταται, χρειάζεται μεγάλος αριθμός δοκιμών και ιδιαίτερα όταν το πρόγραμμα δεν δίνει συγκριμένη κατεύθυνση για την πηγή του προβλήματος. Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα ευστάθειας εντοπίστηκε στα γεωμετρικά δεδομένα του υδατορρέυματος και πιο συγκεκριμένα σε ανωμαλίες της κλίσης του πυθμένα.

Εν κατακλείδι η εφαρμογή του μοντέλου της μη μόνιμης ροής ήταν αρκετά δύσχρηστη και η επίλυση των προβλημάτων που προέκυψαν χρονοβόρα. Παρόλα αυτά τα εξαγόμενα αποτελέσματα θεωρούνται αποδεκτά και αξιόπιστα.

7.3.3 Λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcMap)

Χρήση

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΠΣ) είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά.

Στην παρούσα εργασία, αφού δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, χρησιμοποιήθηκαν κατά βάσει οι γραμμές εργαλείων HEC GEO-

HMS” και “HEC GEO-RAS”, οι οποίες είναι επεκτάσεις των προαναφερθέντων προγραμμάτων σε περιβάλλον GIS.

Με τη χρήση του “HEC GEO-HMS” έγινε η δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου, η οριστικοποίηση των υπολεκανών, ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών τους στοιχείων και η εξαγωγή των δεδομένων αυτών στο πρόγραμμα HEC-HMS.

Αντίστοιχα με την χρήση του HEC GEO-RAS δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα θεματικά επίπεδα (κύριος άξονας υδατορρεύματος, διατομές, γέφυρες κτλ) από τα οποία προέκυψαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ποταμού.

Παρατηρήσεις

Η χρήση των γραμμών εργαλείων σε περιβάλλον GIS είναι ιδιαίτερα φιλική προς το χρήστη. Ωστόσο παρουσιάστηκαν αρκετά προβλήματα στην εξαγωγή ή την εισαγωγή δεδομένων μεταξύ του προγράμματος και της επέκτασης του στο ArcMap. Συγκεκριμένα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, αφορούσαν το γεωγραφικό σύστημα αναφοράς κατά την μεταφορά το δεδομένων στο “HEC-RAS” όπως επίσης και κατά την μεταφορά των αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης στο ArcMap με σκοπό την σύνθεση χαρτών πλημμύρας.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Γκικόκας, Ε.-Α. 2009. *Κατάρτιση μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας. Εφαρμογή στο νομό Αρκαδίας*. Μεταπτυχιακή εργασία. ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 95 σελίδες.
- Ευστρατιάδης Α., 2008. *Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα Βελτιστοποίησης Υδατικών Πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων*. Διδακτορική διατριβή. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. ΕΜΠ, 392 σελίδες
- Δερμίσσης Β., 2010. *Διευθετήσεις Υδατορρέυματος*. ISBN: 978-960-418-296-1.
- ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ. *Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*.
- Κουλίκας Σ., 2009. *Συγκριτική ανάλυση και αξιολόγηση των προγραμμάτων HEC-1 και HEC-HMS*. Διπλωματική εργασία. Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.
- Κουσούρης Θ., 1998. *Μονογραφίες Θαλάσσιων Επιστημών*.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος, Θ., 1999. *Τεχνική Υδρολογία*. Έκδοση 3, 418 σελίδες. ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μιμίκου, Μ. και Μπαλτάς, Ε., 2003. *Τεχνική Υδρολογία γ έκδοση*. 297 σελίδες, ΕΜΠ.
- Μπάρκας Δ., 2008. *Μελέτη επειγόντων αντιπλημμυρικών έργων χείμαρρων Ξηριά, Σεσκουλιώτη, Κακαβιώτη*. Προμελέτη. Γραφείο Μαχαίρα ΑΕ.
- Ντοανίδης, Λ., 2007. *Συγκριτική εφαρμογή του υδρολογικού ομοιώματος HEC-HMS σε ενιαία και ημικατανεμημένη μορφή στη λεκάνη του ποταμού Καλαμά*. ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 111 σελίδες.
- Παπαμχαηλ Δ., 2011. *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*. ISBN: 960-7425-81-2.

- Στάμου, Λ. και Σκοπελίτης, Α., 2009. *Παρουσίαση στο μάθημα «Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών τους Υδατικούς Πόρους» του μεταπτυχιακού προγράμματος ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*. Εργαστήριο Υδρολογίας και αξιοποίησης υδατικών πόρων. Σχολή πολιτικών μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Τουτζιάρη, Μ., 2012. *Υλοποίηση Μεθοδολογικού Πλαισίου για την Εκπόνηση Χαρτών Πλημμύρας. Εφαρμογή στο Σαρανταπόταμο Ελευσίνας*. Μεταπτυχιακή εργασία. ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 105 σελίδες.
- Χούσος, Ι., 2002. *Διαχείριση Υδατικών Πόρων της Μείζονος Υδρολογικής Δεκάνης Βόλου*. Υδρολογική Μελέτη. Αθήνα.

Ξενόγλωσσα Βιβλιογραφία

- Ackerman, P.E., Cameron, T., 2011. *HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using Arc GIS User's Manual*. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.
- Bedient, P. and Huber, W. (1992), "*Hydrology and floodplain analysis*. Addison - Wesley, New York, NY."
- Bruner, G. (2008a), *HEC-RAS, river analysis system user's manual*. US army corps of engineers. Hydrologic engineering center.
- Bruner, G. (2008b), *HEC-RAS, river analysis system hydraulic reference manual*, US army corps of engineers. Hydrologic engineering center.
- Doan, J. H., and Fleming, M. J., 2010. *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension Version 5.0 User's Manual*. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.
- David Ford, Nathan Pingel, J.J. DeVries , 2008. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Application Guide*.
- Fausto Miliani, Giovanni Ravazzani, and Marco Mancini. *Adaptation of Precipitation Index for the Estimation of Antecedent Moisture Condition in Large Mountainous Basins*.
- Feldman, A. (2000). "*Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*". US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.

Fleming, M. J., and Scharffenberger, W. A., 2010. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.

John C. Warner, Gary W. Brunner, Brent C. Wolfie, and Steven S. Piper , 2009. *HEC-RAS, river analysis system application Guide*.

Merwade, V. (2008), *Watershed and Stream Network Delineation*. School of Civil Engineering, Purdue University.

Papaioannou, G., Loukas, A., Vasiliades, L., Aronica, G.T., (2011). “ *Flood prone areas mapping through GIS and Multi-Criteria Analysis*”, EGU Leonardo Conference, 23-25 November 2011, Bratislava, Slovakia.

Southern Sandoval County Arroyo Flood Control Authority (SSCAFCA), 2009. *Technical Documentation for use of HEC-HMS with the Development Process Manual*.

Διαδικτυακοί τόποι

<http://www.itc.nl/ilwis/applications/application11.asp> (Twente University)

<https://maps.google.gr/> (Google Maps)

<http://www.ems-i.com/> (Environmental Modeling Systems, Inc)

http://www.gcmrc.gov/library/reports/physical/fine_sed/8thfisc2006/3rdfihmc/poster_charley.pdf (HEC Dss Value)

<http://geodata.gov.gr/geodata/> (Corine 2000)

<http://www.nrcs.usda.gov/> (Natural Resources Conservation Service)

Εκδόσεις υπολογιστικών λογισμικών

HEC – RAS 4.1.0	Υδραυλική προσομοίωση φυσικού υδατορρεύματος σε συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής.
HEC - HMS 3.5	Υδρολογική απόκριση λεκάνης απορροής. Παραγωγή υδρογραφημάτων και λοιπών υδρολογικών δεδομένων για την εισαγωγή και αξιοποίηση σε περιβάλλον HEC-RAS.
HEC Geo RAS 4.3.93 (ArcMap 9.3)	Επεξεργασία γεωμορφολογικών δεδομένων λεκάνης απορροής και φυσικού υδατορρεύματος. Παραγωγή αρχείων συμβατών με το HEC-RAS. Εισαγωγή αποτελεσμάτων του HEC-RAS για περαιτέρω επεξεργασία και οπτικοποίηση
HEC Geo HMS 5.0 (ArcMap 9.3)	Επεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους για τη χάραξη των υπολεκανών απορροής και του υδρογραφικού δικτύου και τον προσδιορισμό των υδρολογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τους. Παραγωγή αρχείων συμβατών στο HEC-HMS

ksirias	kentriko	4100	t50	100.4	11.47	13.99	13.44	14.4	0.00591	2.84	35.38	18.33	0.65
ksirias	kentriko	4100	t100	152.3	11.47	14.39	13.98	15.03	0.008056	3.54	42.99	20.1	0.77
ksirias	kentriko	4050	t50	100.4	11.22	13.91	13.15	14.12	0.003511	2.04	49.17	29.71	0.51
ksirias	kentriko	4050	t100	152.3	11.22	14.35	13.59	14.65	0.00406	2.41	63.24	33.23	0.56
ksirias	kentriko	4000	t50	100.4	11.22	13.59	13.2	13.88	0.00661	2.38	42.18	32.89	0.67
ksirias	kentriko	4000	t100	152.3	11.22	14.06	13.61	14.4	0.00585	2.61	58.29	35.9	0.65
ksirias	kentriko	3950	t50	100.4	10.9	13.36	12.84	13.58	0.004836	2.08	48.33	36.46	0.58
ksirias	kentriko	3950	t100	152.3	10.9	13.89	13.22	14.13	0.003952	2.19	69.42	41.33	0.54
ksirias	kentriko	3900	t50	100.4	10.72	13.1	12.52	13.35	0.004243	2.21	45.37	27.89	0.55
ksirias	kentriko	3900	t100	152.3	10.72	13.58	12.9	13.92	0.004379	2.57	59.29	29.62	0.58
ksirias	kentriko	3850	t50	100.4	10.27	12.77	12.3	13.09	0.005784	2.51	40.07	25.74	0.64
ksirias	kentriko	3850	t100	152.3	10.27	13.19	12.74	13.64	0.006507	2.97	51.28	27.77	0.7
ksirias	kentriko	3800	t50	100.4	10.18	12.37	12.1	12.74	0.008403	2.69	37.29	28.78	0.76
ksirias	kentriko	3800	t100	152.3	10.18	12.85	12.52	13.28	0.007839	2.92	52.1	33.96	0.75
ksirias	kentriko	3751.542	t50	100.4	9.82	12.04	11.71	12.35	0.00712	2.47	40.61	31.65	0.7
ksirias	kentriko	3751.542	t100	152.3	9.82	12.1	12.1	12.75	0.014579	3.59	42.37	32.25	1
ksirias	kentriko	3700	t50	100.4	9.09	12.07	10.69	12.16	0.001111	1.31	82.21	101.98	0.3
ksirias	kentriko	3700	t100	152.3	9.09	12.15	11.11	12.31	0.002054	1.81	90.25	104.31	0.4

ksirias	kentriko	3650	t50	100.4	9.15	11.82	11.23	12.04	0.004379	2.1	48.99	52.31	0.56
ksirias	kentriko	3650	t100	152.3	9.15	12.14	11.64	12.2	0.001561	1.43	200.28	547.62	0.35
ksirias	kentriko	3600	t50	100.4	9.28	11.63	11.06	11.83	0.00384	1.98	50.81	34.77	0.52
ksirias	kentriko	3600	t100	152.3	9.28	12.11	11.4	12.15	0.000806	1.09	263.98	726.2	0.25
ksirias	kentriko	3550	t50	100.4	8.93	11.12	10.96	11.51	0.010695	2.75	36.44	32.79	0.83
ksirias	kentriko	3550	t100	152.3	8.93	11.62	11.33	12.03	0.008039	2.83	53.74	37.33	0.75
ksirias	kentriko	3500	t50	100.4	8.62	10.83	10.33	11.12	0.005307	2.37	42.42	28.01	0.61
ksirias	kentriko	3500	t100	152.3	8.62	11.33	10.75	11.69	0.005263	2.66	57.36	31.61	0.63
ksirias	kentriko	3450	t50	100.4	8.33	10.79	9.78	10.92	0.00191	1.62	61.79	33.34	0.38
ksirias	kentriko	3450	t100	152.3	8.33	11.29	10.15	11.48	0.002111	1.92	79.26	35.7	0.41
ksirias	kentriko	3401.49	t50	100.4	8.16	10.36	10.03	10.73	0.0077	2.71	37.04	26.25	0.73
ksirias	kentriko	3401.49	t100	152.3	8.16	10.9	10.56	11.29	0.007307	2.76	55.18	36.71	0.72
ksirias	kentriko	3350	t50	100.4	8.06	9.97	9.66	10.34	0.007545	2.68	37.43	26.57	0.72
ksirias	kentriko	3350	t100	152.3	8.06	10.45	10.07	10.91	0.007171	2.99	50.92	29.41	0.73
ksirias	kentriko	3300	t50	100.4	7.86	9.94	9.07	10.08	0.002223	1.7	59.17	33.24	0.41
ksirias	kentriko	3300	t100	152.3	7.86	10.44	9.41	10.64	0.002377	2	76.29	35.13	0.43
ksirias	kentriko	3250	t50	125.4	7.58	9.68	9.04	9.93	0.003822	2.18	57.49	33.35	0.53

ksirias	kentriko	3250	t100	184.9	7.58	10.15	9.4	10.47	0.00398	2.51	73.57	35.43	0.56
ksirias	kentriko	3200	t50	125.4	7.32	9.51	8.79	9.74	0.003479	2.14	58.5	32.49	0.51
ksirias	kentriko	3200	t100	184.9	7.32	9.96	9.17	10.28	0.003817	2.52	73.45	34.18	0.55
ksirias	kentriko	3150	t50	125.4	7.03	9.38	8.53	9.58	0.002751	1.96	64.04	34.21	0.46
ksirias	kentriko	3150	t100	184.9	7.03	10.17	8.9	10.17	0.000109	0.47	528.48	427.57	0.1
ksirias	kentriko	3100	t50	125.4	6.44	9.25	8.3	9.44	0.002739	1.94	64.8	35.33	0.46
ksirias	kentriko	3100	t100	184.9	6.44	9.97	8.71	10.15	0.001963	1.9	102.54	57.82	0.4
ksirias	kentriko	3050	t50	125.4	6.16	9.19	7.93	9.32	0.00153	1.62	78.58	45.55	0.35
ksirias	kentriko	3050	t100	184.9	6.16	9.89	8.32	10.02	0.001185	1.68	119.05	58.55	0.32
ksirias	kentriko	3000	t50	125.4	6.48	9.11	7.93	9.24	0.001594	1.62	77.58	36.27	0.35
ksirias	kentriko	3000	t100	184.9	6.48	9.79	8.28	9.95	0.001476	1.8	102.74	37.9	0.35
ksirias	kato	2900	t50	196	5.8	8.85	7.7	9.06	0.001766	2.05	95.7	41.41	0.43
ksirias	kato	2900	t100	278.5	5.8	9.83	8.14	9.86	0.000307	1.05	408.51	319.36	0.19
ksirias	kato	2867.392	t50	196	5.64	8.73	7.58	8.99	0.002006	2.3	85.35	33.95	0.46
ksirias	kato	2867.392	t100	278.5	5.64	9.84	8.04	9.85	0.000069	0.45	896.6	675.88	0.09
ksirias	kato	2843.521		Bridge									
ksirias	kato	2824.077	t50	196	5.18	8.25	7.04	8.46	0.001601	2.03	96.61	39.22	0.41

ksirias	kato	2400	t50	196	4.04	6.53	5.83	6.89	0.003287	2.65	74.1	34.73	0.58
ksirias	kato	2400	t100	278.5	4.04	7.03	6.25	7.5	0.003469	3.04	91.76	36.19	0.61
ksirias	kato	2350	t50	196	3.76	6.41	5.61	6.73	0.002807	2.48	78.91	36.33	0.54
ksirias	kato	2350	t100	278.5	3.76	6.91	6.03	7.32	0.003009	2.86	97.28	37.92	0.57
ksirias	kato	2300	t50	196	3.32	6.31	5.28	6.59	0.002247	2.37	82.58	34.08	0.49
ksirias	kato	2300	t100	278.5	3.32	6.77	5.73	7.18	0.002651	2.81	98.94	35.6	0.54
ksirias	kato	2250	t50	196	3.23	6.1	5.31	6.46	0.003051	2.64	74.29	33.2	0.56
ksirias	kato	2250	t100	278.5	3.23	6.5	5.76	7.01	0.003755	3.17	87.73	34.56	0.64
ksirias	kato	2200	t50	196	3.06	6	5.05	6.3	0.00244	2.44	80.48	34.12	0.51
ksirias	kato	2200	t100	278.5	3.06	6.36	5.49	6.82	0.003193	2.99	93.1	35.33	0.59
ksirias	kato	2150	t50	196	2.94	5.94	4.79	6.18	0.001853	2.19	89.69	36.27	0.44
ksirias	kato	2150	t100	278.5	2.94	6.68	5.22	6.68	0.000017	0.23	1583.34	805.84	0.04
ksirias	kato	2100	t50	196	2.83	5.86	4.72	6.08	0.001719	2.08	94.24	39.13	0.43
ksirias	kato	2100	t100	278.5	2.83	6.68	5.12	6.68	0.000014	0.22	1641.49	799.88	0.04
ksirias	kato	2063.899	t50	196	2.97	5.77	4.71	6.01	0.002023	2.2	88.91	38.16	0.46
ksirias	kato	2063.899	t100	278.5	2.97	6.33	5.13	6.65	0.002139	2.51	111.03	40.82	0.49
ksirias	kato	2000	t50	196	2.6	5.67	4.41	5.89	0.001593	2.08	94.26	36.63	0.41
ksirias	kato	2000	t100	278.5	2.6	6.22	4.83	6.51	0.001901	2.41	115.68	41.14	0.46

ksirias	kato	1950	t50	196	2.51	5.57	4.35	5.81	0.001767	2.17	90.18	35.44	0.43
ksirias	kato	1950	t100	278.5	2.51	6.07	4.79	6.41	0.002061	2.56	108.63	37.21	0.48
ksirias	kato	1900	t50	196	2.27	5.38	4.31	5.7	0.002314	2.49	78.8	30.48	0.49
ksirias	kato	1900	t100	278.5	2.27	6.3	4.79	6.3	0.000023	0.29	1349.88	727.43	0.05
ksirias	kato	1859.026	t50	196	2.08	5.36	3.98	5.6	0.001602	2.17	90.24	32.45	0.42
ksirias	kato	1859.026	t100	278.5	2.08	6.3	4.44	6.3	0.000027	0.32	1292.57	734.59	0.06
ksirias	kato	1843.267		Bridge									
ksirias	kato	1826.474	t50	196	2.11	5.33	4.08	5.35	0.000284	0.91	343.5	322.73	0.18
ksirias	kato	1826.474	t100	278.5	2.11	5.73	4.48	5.75	0.000228	0.9	475.9	337.33	0.16
ksirias	kato	1800	t50	196	2.16	5.33	3.7	5.35	0.000215	0.78	357.38	290.12	0.15
ksirias	kato	1800	t100	278.5	2.16	5.74	4.05	5.74	0.000067	0.48	919.98	685.48	0.09
ksirias	kato	1750	t50	196	1.92	5.33	3.83	5.34	0.000078	0.46	593.84	419.96	0.09
ksirias	kato	1750	t100	278.5	1.92	5.74	4.36	5.74	0.000038	0.35	1089.09	647.74	0.07
ksirias	kato	1700	t50	196	1.84	5.12	3.65	5.31	0.001289	1.92	101.91	37.99	0.37
ksirias	kato	1700	t100	278.5	1.84	5.39	4.08	5.7	0.001932	2.48	112.67	44.34	0.46
ksirias	kato	1650	t50	196	1.81	5.24	3.64	5.25	0.000078	0.46	595.04	427.03	0.09
ksirias	kato	1650	t100	278.5	1.81	5.6	4	5.6	0.000077	0.5	747.26	428.24	0.09

ksirias	kato	1600	t50	196	1.68	5.09	3.47	5.23	0.000983	1.63	120.09	47.32	0.33
ksirias	kato	1600	t100	278.5	1.68	5.35	3.88	5.57	0.001498	2.1	132.57	49.04	0.41
ksirias	kato	1550	t50	196	1.64	4.98	3.57	5.16	0.001293	1.92	102.32	38.68	0.38
ksirias	kato	1550	t100	278.5	1.64	5.2	3.98	5.48	0.001868	2.39	132.39	73	0.46
ksirias	kato	1500	t50	196	1.57	4.92	3.47	5.1	0.001202	1.85	105.68	39.89	0.36
ksirias	kato	1500	t100	278.5	1.57	5.37	3.88	5.38	0.000145	0.7	615.48	467.82	0.13
ksirias	kato	1450	t50	196	1.57	4.87	3.43	5.03	0.001348	1.78	110.37	49.02	0.38
ksirias	kato	1450	t100	278.5	1.57	5.07	3.86	5.34	0.002158	2.31	120.54	51.38	0.48
ksirias	kato	1400	t50	196	1.58	4.95	3.25	4.97	0.000176	0.78	422.08	424.38	0.14
ksirias	kato	1400	t100	278.5	1.58	5.23	3.6	5.25	0.000158	0.78	569.08	469.07	0.14
ksirias	kato	1350	t50	196	1.38	4.68	3.69	4.93	0.001999	2.23	89.91	48.3	0.46
ksirias	kato	1350	t100	278.5	1.38	5.23	4.14	5.24	0.000141	0.68	613.14	490.31	0.13
ksirias	kato	1300	t50	196	1.46	4.83	3.74	4.84	0.000121	0.54	521.64	421.19	0.11
ksirias	kato	1300	t100	278.5	1.46	5.23	4.21	5.24	0.000087	0.51	729.22	485.6	0.1
ksirias	kato	1250	t50	196	1.45	4.83	3.69	4.83	0.000086	0.47	590.88	491.4	0.1
ksirias	kato	1250	t100	278.5	1.45	5.22	4.13	5.23	0.000068	0.46	786.3	494.95	0.09
ksirias	kato	1200	t50	196	1.42	4.83	3.24	4.83	0.000054	0.38	682.09	513.72	0.08

ksirias	kato	1200	t100	278.5	1.42	5.22	3.64	5.23	0.000045	0.39	886.93	518.51	0.07
ksirias	kato	1150	t50	196	1.58	4.82	3.96	4.83	0.000096	0.47	569.81	535.33	0.1
ksirias	kato	1150	t100	278.5	1.58	5.22	4.5	5.22	0.000067	0.43	783.97	540.22	0.09
ksirias	kato	1100	t50	196	1.66	4.75	3.91	4.81	0.000425	1	185.41	186.38	0.21
ksirias	kato	1100	t100	278.5	1.66	5.21	4.39	5.22	0.000082	0.5	692.3	564.81	0.1
ksirias	kato	1067.294	t50	196	1.61	4.76	3.66	4.8	0.000251	0.82	234.12	227.1	0.17
ksirias	kato	1067.294	t100	278.5	1.61	5.2	4.26	5.22	0.000084	0.53	631.73	549.56	0.1
ksirias	kato	1047.472		Bridge									
ksirias	kato	1027.716	t50	196	1.4	4.44	3.29	4.58	0.001177	1.8	125.84	161.84	0.36
ksirias	kato	1027.716	t100	278.5	1.4	4.7	4.41	4.74	0.000367	1.06	387.04	462.47	0.2
ksirias	kato	1000	t50	196	1.36	4.42	3.21	4.54	0.000976	1.64	139.51	187.87	0.32
ksirias	kato	1000	t100	278.5	1.36	4.7	3.66	4.72	0.000247	0.88	428.15	506.64	0.17
ksirias	kato	950.0001	t50	196	1.37	4.21	3.37	4.47	0.001754	2.25	86.98	43.87	0.51
ksirias	kato	950.0001	t100	278.5	1.37	3.81	3.77	4.61	0.006587	3.97	70.15	40.9	0.97
ksirias	kato	900.0001	t50	196	1.52	4.35	3.53	4.39	0.000099	1.13	352.44	679.07	0.24
ksirias	kato	900.0001	t100	278.5	1.52	4.2	4.2	4.36	0.000424	2.24	251.54	677.52	0.49
ksirias	kato	850.0001	t50	196	1.42	3.63	3.63	4.31	0.002029	3.65	53.7	39.53	1

ksirias	kato	850.0001	t100	278.5	1.42	3.98	4.08	4.32	0.001066	2.96	158.84	418.9	0.75
ksirias	kato	800	t50	196	1.24	2.78	3.17	4.1	0.004192	5.09	38.5	29.2	1.41
ksirias	kato	800	t100	278.5	1.24	4.05	3.95	4.18	0.000298	2.03	253.66	422.19	0.42
ksirias	kato	750	t50	196	2.54	3.73	3.73	3.87	0.001202	2.14	149.21	427.3	0.72
ksirias	kato	750	t100	278.5	2.54	4.1	3.81	4.14	0.000264	1.23	331.97	699.3	0.36
ksirias	kato	700	t50	196	2.37	3.47	3.55	3.74	0.004998	3.17	99.74	423.87	1.36
ksirias	kato	700	t100	278.5	2.37	4.1	3.62	4.13	0.000136	0.87	430	696.51	0.25
ksirias	kato	650	t50	196	1.28	3.2	3.34	3.61	0.001392	3.08	103.1	419.83	0.83
ksirias	kato	650	t100	278.5	1.28	4.11	3.44	4.12	0.000051	0.8	559.15	688.84	0.17
ksirias	kato	600	t50	196	0.64	3.33	2.23	3.38	0.000113	1.23	277.6	420.79	0.26
ksirias	kato	600	t100	278.5	0.64	4.11	2.62	4.12	0.000022	0.65	726.83	696.92	0.12
ksirias	kato	550	t50	196	0.36	3.34	2.22	3.36	0.000055	0.87	396.33	591.86	0.18
ksirias	kato	550	t100	278.5	0.36	4.11	2.6	4.12	0.000013	0.5	896.67	695.95	0.09
ksirias	kato	500	t50	196	0.25	2.94	2.27	3.32	0.000703	2.75	71.31	34.37	0.61
ksirias	kato	500	t100	278.5	0.25	4.11	2.69	4.11	0.000006	0.32	1192.3	714.91	0.06
ksirias	kato	467.7788		Bridge									
ksirias	kato	441.6043	t50	196	0.25	2.71	2.08	2.71	0.000013	0.38	588.32	356.72	0.08

junction	main	899.9977	t50	58.1	15.62	16.71	16.63	17.09	0.009894	2.73	21.26	22.03	0.89
junction	main	899.9977	t100	76.2	15.62	16.72	16.82	17.36	0.016623	3.56	21.42	22.06	1.15
junction	main	749.9977	t50	58.1	13.34	14.95	14.95	15.42	0.012624	3.01	19.27	20.88	1
junction	main	749.9977	t100	76.2	13.34	15.22	15.22	15.57	0.008271	2.74	32.1	50.75	0.83
junction	main	599.9977	t50	58.1	11.52	13.46	12.99	13.74	0.004231	2.33	24.9	16.72	0.61
junction	main	599.9977	t100	76.2	11.52	13.68	13.23	14.04	0.004921	2.65	28.74	17.81	0.67
junction	main	449.9982	t50	58.1	10.35	12.24	12.23	12.73	0.011718	3.11	18.8	20.18	0.97
junction	main	449.9982	t100	76.2	10.35	12.48	12.48	13	0.01003	3.23	24.5	25	0.93
junction	main	299.9982	t50	58.1	9.48	10.43	10.43	10.7	0.014746	2.31	25.16	46.28	1
junction	main	299.9982	t100	76.2	9.48	10.47	10.5	10.87	0.02094	2.82	27	47.84	1.2

Παράρτημα Β: Συνθήκες Μη Μόνιμης Ροής για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
kentriko	4350	Max WS	152.3	15.76	18.66		18.75	0.001115	1.33	114.4	56.01	0.3
kentriko	4347.60*	Max WS	152.3	15.67	18.66		18.75	0.001022	1.32	115.76	53.85	0.29
kentriko	4345.21*	Max WS	152.3	15.59	18.66		18.75	0.000941	1.3	116.75	51.24	0.28
kentriko	4342.82*	Max WS	152.3	15.5	18.66		18.75	0.000873	1.3	117.11	48.15	0.27
kentriko	4340.427	Max WS	152.3	15.42	18.66	16.92	18.74	0.000815	1.31	116.61	44.38	0.26
kentriko	4321.075		Bridge									
kentriko	4289.072	Max WS	152.3	15.21	16.68	17.43	19.17	0.063337	6.99	21.78	17.63	2.01
kentriko	4285.10*	Max WS	152.3	14.94	16.44	17.19	18.89	0.061273	6.95	21.93	17.52	1.98
kentriko	4281.14*	Max WS	152.3	14.67	16.2	16.95	18.58	0.057901	6.84	22.27	17.48	1.93
kentriko	4277.18*	Max WS	152.3	14.39	15.99	16.71	18.23	0.052589	6.63	22.96	17.56	1.85
kentriko	4273.21*	Max WS	152.3	14.12	15.79	16.47	17.82	0.046036	6.32	24.11	18.01	1.74
kentriko	4269.25*	Max WS	152.3	13.85	15.62	16.22	17.36	0.039302	5.84	26.09	19.61	1.62
kentriko	4265.29*	Max WS	152.3	13.58	15.48	15.9	16.84	0.032149	5.15	29.55	23.28	1.46
kentriko	4261.32*	Max WS	152.3	13.31	15.38	15.54	16.28	0.020452	4.21	36.19	27.65	1.17
kentriko	4257.36*	Max WS	152.3	13.03	15.32		15.9	0.01082	3.38	45.03	29.53	0.87
kentriko	4253.40*	Max WS	152.3	12.76	15.48		15.8	0.004256	2.52	60.51	30.3	0.57
kentriko	4249.438	Max WS	152.3	12.49	15.56		15.78	0.002345	2.1	72.41	29.76	0.43
kentriko	4200	Max WS	152.3	11.47	15.31		15.64	0.003623	2.53	60.22	26.05	0.53
kentriko	4150	Max WS	152.3	11.6	14.85		15.39	0.007035	3.25	46.88	23.04	0.73
kentriko	4100	Max WS	152.3	11.47	14.34		15.01	0.008592	3.63	41.92	19.81	0.8

kentriko	4050	Max WS	152.3	11.22	14.34		14.64	0.004138	2.43	62.8	33.13	0.56
kentriko	4000	Max WS	152.3	11.22	14.02		14.38	0.006218	2.67	56.96	35.5	0.67
kentriko	3950	Max WS	152.3	10.9	13.87		14.12	0.004097	2.22	68.59	41.22	0.55
kentriko	3900	Max WS	152.3	10.72	13.57		13.91	0.00448	2.59	58.83	29.57	0.59
kentriko	3850	Max WS	152.24	10.27	13.18		13.64	0.006616	2.99	50.97	27.72	0.7
kentriko	3800	Max WS	152.28	10.18	12.75		13.24	0.009294	3.11	48.96	32.92	0.81
kentriko	3751.542	Max WS	149.41	9.82	12.25		12.75	0.010358	3.16	47.34	33.87	0.85
kentriko	3700	Max WS	110.72	9.09	12.16		12.24	0.001041	1.29	91.78	104.76	0.29
kentriko	3650	Max WS	145.73	9.15	12.18		12.22	0.001125	1.23	221.31	549.27	0.3
kentriko	3600	Max WS	173.67	9.28	11.97	11.53	12.34	0.005567	2.71	69.99	107.85	0.65
kentriko	3550	Max WS	167.92	8.93	11.69		12.14	0.008494	2.98	56.29	37.71	0.78
kentriko	3500	Max WS	163	8.62	11.38		11.77	0.005593	2.77	58.93	31.96	0.65
kentriko	3450	Max WS	162.4	8.33	11.37		11.57	0.002168	1.98	82.08	36.07	0.42
kentriko	3401.49	Max WS	161.48	8.16	10.93		11.35	0.007779	2.87	56.24	36.97	0.74
kentriko	3350	Max WS	159.33	8.06	10.39		10.93	0.008713	3.25	49.09	29.04	0.8
kentriko	3300	Max WS	158.72	7.86	10.35		10.59	0.002915	2.17	73.26	34.8	0.48
kentriko	3250	Max WS	158.21	7.58	10.23		10.45	0.002625	2.08	76.22	35.78	0.45
kentriko	3200	Max WS	153.28	7.32	10		10.21	0.002474	2.05	74.9	34.34	0.44
kentriko	3150	Max WS	168.94	7.03	10.08		10.08	0.000115	0.47	490.5	421.79	0.1
kentriko	3100	Max WS	168.44	6.44	10.08		10.21	0.001375	1.64	109.53	68.86	0.34
kentriko	3050	Max WS	161.54	6.16	9.94		10.03	0.000845	1.43	122.01	58.63	0.27
kentriko	3000	Max WS	158.69	6.48	9.87		9.98	0.000997	1.5	105.77	38.09	0.29
kentriko	2900	Max WS	159.05	5.8	9.85		9.86	0.000096	0.59	415.27	321.44	0.11
kentriko	2895.34*	Max WS	228.64	5.78	9.83		9.85	0.000221	0.89	400.06	323.31	0.16
kentriko	2890.68*	Max WS	228.64	5.75	9.82		9.85	0.000237	0.91	390.51	326.96	0.17
kentriko	2886.02*	Max WS	228.63	5.73	9.82		9.85	0.000257	0.94	380.57	330.63	0.17

kentriko	2881.36*	Max WS	228.59	5.71	9.84		9.87	0.000271	0.95	376.14	335.96	0.18
kentriko	2876.70*	Max WS	228.53	5.69	9.84		9.84	0.000047	0.39	908.29	708.49	0.07
kentriko	2872.05*	Max WS	228.46	5.66	9.84		9.84	0.000049	0.39	899.72	710.72	0.07
kentriko	2867.392	Max WS	228.4	5.64	9.84	7.77	9.84	0.000047	0.37	892.98	673.07	0.07
kentriko	2843.521		Bridge									
kentriko	2824.077	Max WS	228.4	5.18	8.77		8.96	0.00122	1.95	117.21	41.01	0.37
kentriko	2819.26*	Max WS	228.4	5.22	8.71		8.93	0.011986	2.08	110.02	40.47	0.4
kentriko	2814.44*	Max WS	228.4	5.27	8.61		8.86	0.014907	2.24	102.11	39.68	0.45
kentriko	2809.63*	Max WS	228.4	5.31	8.48		8.78	0.018915	2.43	94.15	38.77	0.5
kentriko	2804.81*	Max WS	228.4	5.36	8.32		8.68	0.025031	2.67	85.66	37.71	0.56
kentriko	2800	Max WS	228.33	5.4	8.19		8.61	0.003752	2.86	79.94	36.74	0.62
kentriko	2750	Max WS	228.33	5.26	8.07		8.44	0.003007	2.7	84.44	35.66	0.56
kentriko	2700	Max WS	228.29	5.08	7.83		8.27	0.003795	2.94	77.63	34.82	0.63
kentriko	2650	Max WS	228.28	4.96	7.65		8.04	0.003499	2.77	82.38	38.26	0.6
kentriko	2600	Max WS	228.27	4.82	7.48		7.88	0.003506	2.82	81.15	40.78	0.6
kentriko	2550	Max WS	228.12	4.58	7.33		7.71	0.003132	2.73	83.88	40.29	0.57
kentriko	2500	Max WS	228.11	4.46	7.14		7.55	0.003565	2.84	80.37	36.19	0.61
kentriko	2450	Max WS	228.1	4.13	6.9		7.36	0.003981	3	76.11	34.23	0.64
kentriko	2400	Max WS	228.08	4.04	6.8		7.18	0.003092	2.73	83.53	35.52	0.57
kentriko	2350	Max WS	228.08	3.76	6.71		7.04	0.002547	2.53	90.05	37.3	0.52
kentriko	2300	Max WS	228.04	3.32	6.62		6.92	0.002099	2.44	93.54	35.11	0.48
kentriko	2250	Max WS	228.02	3.23	6.45		6.81	0.002667	2.65	86.04	34.39	0.53
kentriko	2200	Max WS	222.76	3.06	6.39		6.67	0.00199	2.37	93.92	35.41	0.46
kentriko	2150	Max WS	227.7	2.94	6.46		6.68	0.00146	2.08	109.37	39.71	0.4
kentriko	2100	Max WS	216.87	2.83	6.33		6.52	0.001255	1.92	112.99	41.66	0.37
kentriko	2063.899	Max WS	216.81	2.97	6.26		6.47	0.001386	2	108.5	40.52	0.39

kentriko	2000	Max WS	210.12	2.6	6.21		6.38	0.001092	1.82	115.33	41.11	0.35
kentriko	1950	Max WS	209.27	2.51	6.14		6.32	0.001086	1.88	111.23	37.45	0.35
kentriko	1900	Max WS	144.08	2.27	6.18		6.28	0.000554	1.39	103.98	32.78	0.25
kentriko	1895.44*	Max WS	389.63	2.25	6.05		6.8	0.035847	3.85	101.29	32.69	0.7
kentriko	1890.89*	Max WS	305.61	2.23	6.1		6.54	0.0203	2.92	104.51	33.26	0.53
kentriko	1886.34*	Max WS	239.62	2.21	5.95		6.24	0.013826	2.37	101.03	33.07	0.43
kentriko	1881.78*	Max WS	238.36	2.19	5.88		6.17	0.014144	2.38	100.1	33.18	0.44
kentriko	1877.23*	Max WS	237.65	2.16	5.81		6.1	0.014495	2.39	99.23	33.25	0.44
kentriko	1872.68*	Max WS	237	2.14	5.73		6.03	0.014891	2.41	98.27	33.26	0.45
kentriko	1868.13*	Max WS	236.44	2.12	5.66		5.96	0.015303	2.43	97.24	33.18	0.45
kentriko	1863.57*	Max WS	197.46	2.1	5.59		5.8	0.010931	2.05	96.37	33.01	0.38
kentriko	1859.026	Max WS	197.45	2.08	5.56	3.99	5.77	0.001312	2.04	97.02	33.03	0.38
kentriko	1843.267		Bridge									
kentriko	1826.474	Max WS	216.62	2.11	5.35		5.38	0.000327	0.98	350.9	323.63	0.19
kentriko	1822.06*	Max WS	214.28	2.12	5.35		5.38	0.002539	0.95	348.38	319.76	0.19
kentriko	1817.64*	Max WS	216.53	2.13	5.35		5.38	0.002492	0.94	350.06	312.88	0.18
kentriko	1813.23*	Max WS	214.27	2.14	5.35		5.37	0.002367	0.91	350.5	307.49	0.18
kentriko	1808.82*	Max WS	214.26	2.14	5.34		5.37	0.002279	0.89	351.81	301.78	0.18
kentriko	1804.41*	Max WS	214.02	2.15	5.34		5.36	0.002177	0.87	354.3	296.08	0.17
kentriko	1800	Max WS	214.02	2.16	5.33		5.35	0.000255	0.85	358.1	290.22	0.17
kentriko	1750	Max WS	214.01	1.92	5.33		5.34	0.000093	0.5	594.82	419.96	0.1
kentriko	1700	Max WS	213.17	1.84	5.2		5.41	0.001396	2.03	104.97	38.97	0.39
kentriko	1650	Max WS	213.83	1.81	5.27		5.28	0.000087	0.49	608.59	427.14	0.1
kentriko	1600	Max WS	213.8	1.68	5.25		5.39	0.00098	1.67	127.77	48.39	0.33
kentriko	1550	Max WS	218.59	1.64	5.06		5.28	0.001466	2.07	105.53	38.95	0.4
kentriko	1500	Max WS	212.1	1.57	5		5.19	0.001299	1.95	108.55	40.14	0.38

kentriko	1450	Max WS	194.13	1.57	4.95		5.09	0.00121	1.7	114.18	49.96	0.36
kentriko	1400	Max WS	213.49	1.58	5		5.02	0.000182	0.8	444.13	424.59	0.15
kentriko	1350	Max WS	211.58	1.38	4.99		5	0.000191	0.75	462.4	423.98	0.15
kentriko	1300	Max WS	213.63	1.46	5		5	0.000097	0.51	590.94	426.01	0.1
kentriko	1250	Max WS	213.63	1.45	4.99		5	0.000067	0.43	672.3	492.79	0.09
kentriko	1200	Max WS	213.72	1.42	4.99		5	0.000043	0.36	768.1	515.74	0.07
kentriko	1150	Max WS	213.72	1.58	4.99		5	0.00007	0.42	660.84	537.41	0.09
kentriko	1100	Max WS	204.91	1.66	4.98		4.99	0.000086	0.48	562.77	563.18	0.1
kentriko	1095.32*	Max WS	204.91	1.65	4.98		4.99	0.000055	0.75	550.76	561.24	0.15
kentriko	1090.65*	Max WS	213.62	1.65	4.98		4.99	0.000069	0.72	540.01	559.66	0.14
kentriko	1085.98*	Max WS	213.72	1.64	4.98		4.99	0.000075	0.66	530.79	554.48	0.13
kentriko	1081.31*	Max WS	213.72	1.63	4.98		4.99	0.000079	0.64	523.55	551.21	0.13
kentriko	1076.63*	Max WS	213.72	1.62	4.98		4.99	0.000085	0.6	517.54	549.48	0.12
kentriko	1071.96*	Max WS	213.77	1.62	4.98		4.99	0.000089	0.56	512.26	548.51	0.11
kentriko	1067.294	Max WS	201.89	1.61	4.97	3.68	4.99	0.000085	0.5	506.37	547.97	0.1
kentriko	1047.472		Bridge									
kentriko	1027.716	Max WS	213.77	1.4	4.08	3.4	4.49	0.003554	2.88	77.8	88.96	0.61
kentriko	1023.09*	Max WS	213.77	1.39	4.06	3.54	4.55	0.004463	3.1	70.99	81.59	0.68
kentriko	1018.47*	Max WS	213.71	1.39	4.04	3.62	4.58	0.005204	3.25	66.18	65.34	0.73
kentriko	1013.85*	Max WS	213.71	1.38	4.02		4.57	0.005536	3.31	64.68	35.15	0.75
kentriko	1009.23*	Max WS	213.71	1.37	3.99		4.54	0.005359	3.27	65.35	32.47	0.74
kentriko	1004.61*	Max WS	213.71	1.37	3.97		4.47	0.004741	3.15	67.9	32.47	0.69
kentriko	1000	Max WS	213.71	1.36	3.95		4.39	0.003904	2.95	72.37	32.56	0.63
kentriko	950.0001	Max WS	213.63	1.37	3.75		4.26	0.004304	3.16	67.67	40.44	0.78
kentriko	900.0001	Max WS	213.52	1.52	3.6	3.64	4.38	0.00193	3.94	55.11	41.05	0.99
kentriko	850.0001	Max WS	213.38	1.42	3.46	3.72	4.5	0.003458	4.52	47.24	37.69	1.29

kentriko	800	Max WS	213.04	1.24	3.34	3.29	4.07	0.00167	3.8	56.85	40.05	0.93
kentriko	750	Max WS	212.84	1.1	3.27		3.72	0.000984	2.96	71.89	40.96	0.71
kentriko	700	Max WS	212.83	0.96	3.23		3.63	0.00075	2.8	76.04	38.13	0.63
kentriko	650	Max WS	212.63	0.82	3.2	2.39	3.45	0.000431	2.27	136.15	419.92	0.49
kentriko	600	Max WS	212.76	0.64	3.28		3.35	0.000157	1.44	258.08	420.7	0.3
kentriko	550	Max WS	212.7	0.36	3.3		3.33	0.000076	1.01	371.65	583.89	0.21
kentriko	545.*	Max WS	212.7	0.35	3.3		3.33	0.000071	0.97	387.24	600.45	0.2
kentriko	540.*	Max WS	212.69	0.34	3.3		3.33	0.000072	0.96	365.43	420.37	0.2
kentriko	535.*	Max WS	212.69	0.33	3.3		3.33	0.000069	0.94	372.6	420.05	0.2
kentriko	530.*	Max WS	212.69	0.32	3.13		3.46	0.000579	2.56	83.16	39.79	0.56
kentriko	525.*	Max WS	212.68	0.31	3.11		3.46	0.000621	2.61	81.4	39.72	0.58
kentriko	520.*	Max WS	212.68	0.29	3.1		3.46	0.000666	2.67	79.71	39.6	0.6
kentriko	515.*	Max WS	212.68	0.28	3.08		3.46	0.000713	2.73	78.04	39.38	0.62
kentriko	510.*	Max WS	212.68	0.27	3.06		3.45	0.000756	2.78	76.51	38.98	0.63
kentriko	505.*	Max WS	212.68	0.26	3.04		3.45	0.000775	2.83	75.22	37.8	0.64
kentriko	500	Max WS	212.68	0.25	3.03	2.36	3.45	0.000737	2.85	74.69	35.42	0.63
kentriko	467.7788		Bridge									
kentriko	441.6043	Max WS	204.78	0.25	2.03	2.08	2.84	0.002281	3.98	51.79	39.31	1.06
kentriko	436.981*	Max WS	212.8	0.25	2.02	2.16	2.95	0.002737	4.27	50.05	38.6	1.15
kentriko	432.358*	Max WS	212.79	0.25	2.02	2.25	2.97	0.00288	4.33	49.23	37.69	1.18
kentriko	427.736*	Max WS	212.79	0.25	2	2.2	2.97	0.002937	4.34	48.97	36.25	1.19
kentriko	423.113*	Max WS	212.79	0.25	1.99	2.17	2.93	0.002861	4.3	49.51	36.63	1.18
kentriko	418.490*	Max WS	212.79	0.25	1.98	2.11	2.87	0.002678	4.19	50.75	37.18	1.15
kentriko	413.868*	Max WS	212.79	0.25	1.97	2.05	2.8	0.002401	4.04	52.73	37.75	1.09
kentriko	409.245*	Max WS	212.79	0.25	1.96	1.98	2.71	0.002056	3.84	55.44	38.13	1.02
kentriko	404.622*	Max WS	212.79	0.25	1.95		2.61	0.001716	3.61	58.93	38.7	0.93

kenriko	400	Max WS	212.71	0.25	1.97		2.53	0.001371	3.32	64.13	40.13	0.84
kenriko	350	Max WS	212.69	0.25	1.89	1.84	2.54	0.001639	3.56	62.08	93.29	0.91
kenriko	300	Max WS	212.42	0.25	1.86		1.88	0.000049	0.59	418.52	368.19	0.16
kenriko	250	Max WS	212.41	0.46	1.86		1.88	0.000057	0.5	463.19	703.37	0.16
kenriko	200	Max WS	212.41	0.25	1.8		1.88	0.000372	1.64	209.11	418.64	0.43
kenriko	150	Max WS	212.4	0.25	1.73	1.84	2.56	0.00251	4.03	52.64	38.85	1.11
kenriko	100	Max WS	212.4	0.25	1.24	1.3	4.33	0.017386	7.83	27.94	43.97	2.72
kenriko	50	Max WS	212.4	0.25	0.75	0.85	1.07	0.007143	2.22	85.05	288.35	1.42