



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
«ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων με τη χρήση σύγχρονου ελεύθερου λογισμικού

Φρυσάλη Δήμητρα
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων Καθηγητής
Θεοδοσίου Νικόλαος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ

Άλλο ένα όμορφο διδακτικό ταξίδι φαίνεται να φτάνει στη λήξη του. Ωστόσο, τίποτα δεν τελειώνει όταν η περιέργεια είναι αυτή που καθορίζει τα μονοπάτια της ζωής. Η μεταπτυχιακή μου εργασία αποτέλεσε σημαντικό σταθμό στην πορεία μου για την παραλαβή του μεταπτυχιακού διπλώματος, προσφέροντας μου κίνητρα και ιδέες για το μέλλον. Ωστόσο τίποτα από όλα αυτά δε θα μπορούσε να είχε συμβεί εάν δεν είχα την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση των καθηγητών μου. Σε αυτό λοιπόν το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες καθώς και την εκτίμηση μου στον κ. Θεοδοσίου Νικόλαο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Βρισκόταν πάντοτε δίπλα μου, για καθοδήγηση, υποστήριξη και ενθάρρυνση, προσφέροντας μου τη ευκαιρία να εργαστώ πάνω στο θέμα μου ελεύθερα. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον κ. Μάλλιο Ζήση για την πολύτιμη βοήθεια του. Χωρίς αυτήν τη βοήθεια και τις γνώσεις του το ταξίδι μου θα αντιμετώπιζε πολλές «φουρτούνες». Στάθηκε δίπλα μου οποιαδήποτε στιγμή τον χρειάστηκα αφιερώνοντας πολύτιμες ώρες από το χρόνο του. Φυσικά δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ στο Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας Εδαφοϋδατικών πόρων (ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ) στη Θεσσαλονίκη και ειδικά τον κ. Χατζηγιαννάκη Ευάγγελο και Ανδρέα Ηλία, όπου χάρις στα δεδομένα και τις πληροφορίες που μου προσέφεραν, κατάφερα να φέρω εις πέρας αυτήν την εργασία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους τους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου σε αυτήν μου την προσπάθεια.

Στις επόμενες σελίδες λοιπόν ακολουθεί η περιγραφή όσων ασχολήθηκα τους τελευταίους μήνες.

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τη δυνατότητα προσομοίωσης μιας υδρολογικής λεκάνης αποκλειστικά και μόνο με τη χρήση ελεύθερου λογισμικού. Χρησιμοποιώντας τη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα και τα προγράμματα HMS, QGIS, Vortex, DSSVue ελέγχεται αυτή η δυνατότητα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα πλήθος δεδομένων όπως μετεωρολογικά και τοπογραφικά δεδομένα, χάρτες υδρογεωλογικών ιδιοτήτων, χρήσεων γης και πολλά ακόμα. Το μετεωρολογικό μοντέλο το οποίο κατασκευάζεται αναπαριστά τις μετεωρολογικές διεργασίες, καθώς και τις διεργασίες εδάφους οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη ροή στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα. Επιπλέον εισάγονται δεδομένα χρονοσειρών για την προσομοίωση των κατακρημνίσεων και των παροχών του φράγματος της Αγίας Βαρβάρας. Με τη χρήση γνωστών υδρολογικών μεθόδων, προσομοιώνονται όλες οι φυσικές διεργασίες οι οποίες παρεμβάλλονται μεταξύ της απορροής και της κατακρήμνισης.

Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του μοντέλου γίνεται με τη χρήση παρατηρούμενων μετρήσεων από το σταθμό του Νησελίου, για τον οποίο υπήρξαν δεδομένα με χρονικό βήμα μισής ώρας για την παροχή στο συγκεκριμένο σημείο του ποταμού. Με τον τρόπο αυτό το μοντέλο αρχικά τροποποιήθηκε για διάφορα σενάρια που εφαρμόστηκαν, έως να είναι ικανό να προσομοιώσει οποιοδήποτε περιστατικό. Για αυτόν ακριβώς το λόγο το μοντέλο υποβλήθηκε σε σενάριο επαλήθευσης και εφόσον κρίθηκε ικανό, χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της απορροής σε τυχαία μελλοντικά περιστατικά. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από το μοντέλο, τα οποία αφορούν κατά κύριο λόγο την προσομοίωση μέσα από το λογισμικό πρόγραμμα HEC – HMS.

Abstract

The present study examines the possibility of simulating a hydrological basin exclusively using free software. Using the Aliakmonas river basin and the HMS, QGIS, Vortex, DSSVue programs, this possibility is examined. In order to achieve this, a variety of data were used such as meteorological and topographic data, maps of hydrogeological properties, land uses and much more. The meteorological model that is constructed represents the meteorological processes, as well as the soil processes which are responsible for the flow in the catchment area of the river Aliakmonas. In addition, time series data are entered to simulate the precipitation and flow of the Agia Varvara dam. Using known hydrological methods, all natural processes that are interposed between runoff and precipitation are simulated.

The control of the results of the model is done with the use of observed measurements from the station of Niseli, for which there were data with a time step of half an hour for the supply in the specific point of the river. In this way the model was initially modified for various scenarios applied, until it was able to simulate any incident. For this very reason the model was subjected to a verification scenario and if deemed competent, it was used to predict runoff in random future events. At the end of the work are presented the conclusions that emerged from the model, which mainly concern the simulation through the software program HEC - HMS.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο - Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας	1
1.2 Χρήσιμοι ορισμοί	2
1.3 Ο κύκλος του νερού	4
1.5 Προσομοίωση	5
Κεφάλαιο 2ο - Περιοχή μελέτης – Λεκάνη απορροής Αλιάκμονα	6
2.1 Γεωγραφική θέση	6
2.2 Γεωμορφολογία	6
2.3 Κλιματολογικές συνθήκες.....	8
2.4 Χρήσεις γης.....	9
2.5 Ποταμός Μογλενίτσας – Αλμωπαίος.....	10
2.6 Υδροηλεκτρικά έργα ΔΕΗ	10
2.6.1 Φράγμα Πολυφύτου.....	11
2.6.2 Φράγμα Σφηκιάς	12
2.6.3 Φράγμα Ασωμάτων	12
2.6.4 Φράγμα Αγίας Βαρβάρας	13
Κεφάλαιο 3ο - Υλικά και Μέθοδοι	14
3.1 Δεδομένα	14
3.1.1 Τοπογραφικά δεδομένα	14
3.1.2 Γεωλογικά δεδομένα.....	15
3.1.3 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	15
3.1.4 Δορυφορικά δεδομένα.....	16
3.1.5 Δεδομένα χρήσεων γης	16
3.1.6 Δεδομένα λειτουργίας φράγματος.....	17
3.1.7 Μετρήσεις παροχής και στάθμης στο σταθμό Νησελίου	17
3.2 Λογισμικό.....	19
Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).....	19
3.2.1 Λογισμικό QGIS	20
3.2.1 Λογισμικό HEC-HMS.....	21
3.3 Συνοπτική περιγραφή μεθοδολογίας.....	22
Κεφάλαιο 4ο - Κατασκευή ομοιώματος λεκάνης απορροής	25
4.1 Προεπεξεργασία	25
4.2 Επεξεργασία στο HEC-HMS	25
4.2.1 Coordinate System	26

4.2.2 Terrain Reconditioning	26
4.2.3 Preprocess Sinks	26
4.2.4 Preprocess drainage	27
4.2.5 Identify Streams	27
4.2.6 Breaking Point	28
4.2.7 Delineate Elements	28
4.2.8 Split Elements.....	29
4.3 Χαρακτηριστικά υπολεκανών	29
Κεφάλαιο 5ο - Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης απορροής.....	30
5.1 Οργάνωση της προσομοίωσης σε υπολογιστικό περιβάλλον.....	30
Μοντέλο λεκάνης απορροής.....	30
Μετεωρολογικό μοντέλο	30
5.2 Μοντέλο λεκάνης απορροής.....	32
5.2.1 Συστατικά του μοντέλου της λεκάνης απορροής	32
Στοιχεία υδρολογικού δικτύου	32
Μέθοδοι προσομοίωσης	33
5.2.2 Μέθοδος Canopy	33
5.2.3 Μέθοδος Surface	35
5.2.4 Μέθοδος Loss.....	37
5.2.5 Μέθοδος Transform.....	39
5.2.6 Μέθοδος Baseflow	41
5.2.7 Μέθοδος Υδρολογικής διασύνδεσης υδατορευμάτων.....	44
5.3 Μετεωρολογικό μοντέλο	46
5.3.1 Κατακρημνίσεις	46
5.3.2 Εξατμισοδιαπνοή	49
5.4 Εισαγωγή δεδομένων σε σημεία παρατήρησης.....	51
5.4.1 Χρονοσειρές κατακρήμισης	51
5.4.2 Χρονοσειρές παροχής Αγίας Βαρβάρας	53
5.4.3 Χρονοσειρές παροχής Νησελίου	55
5.4.4 Προδιαγραφές ελέγχου	56
Κεφάλαιο 6ο - Προσομοιώσεις - Σενάρια.....	57
6.1 1° Σενάριο προσομοίωσης.....	57
6.2 2° Σενάριο προσομοίωσης.....	65
6.3 3° Σενάριο προσομοίωσης.....	73
6.4 4° Σενάριο προσομοίωσης.....	80
6.5 Σενάριο επαλήθευσης λειτουργικότητας μοντέλου	87

6.6 Σενάρια πρόβλεψης	95
Κεφάλαιο 7ο - Συμπεράσματα.....	100

Κεφάλαιο 1ο

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή σύγχρονου, ελεύθερου λογισμικού για την προσομοίωση της λειτουργίας επιφανειακών υδάτινων πόρων. Για την εφαρμογή των μοντέλων αυτών, χρησιμοποιήθηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα. Στόχος υπήρξε η χρήση του σύγχρονου ελεύθερου λογισμικού σε όλη τη διαδικασία μελέτης, ώστε το μοντέλο προσομοίωσης να είναι σε θέση να προβλέπει ικανοποιητικά την παροχή του ποταμού κοντά στις εκβολές του. Για να τεκμηριωθεί η ικανότητα αυτή, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με δ εδομένα τα οποία είχαν καταγραφεί από το σταθμό στη γέφυρα του Νησελίου από το Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας Εδαφοϋδατικών πόρων (ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ) στη Θεσσαλονίκη.

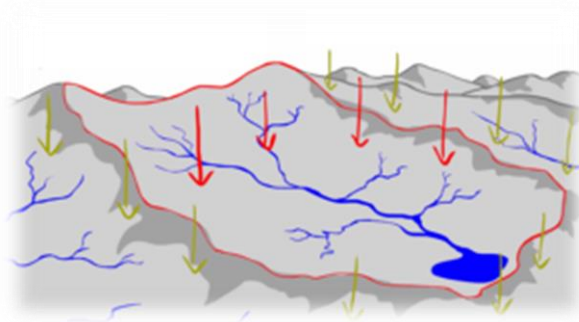
Στο προκατασκευαστικό στάδιο συγκεντρώθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα και με τη χρήση του λογισμικού QGIS δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την περιοχή (DEM). Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους υπήρξε ο οδηγός οριοθέτησης της περιοχής και η επεξεργασία του ήταν εκείνη που παρείχε χρήσιμα στοιχεία όπως γεωμετρικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά για την υπό μελέτη περιοχή. Στη συνέχεια, το ίδιο μοντέλο εισήχθη στο HEC-HMS το οποίο πλέον διαθέτει όλα τα απαραίτητα εργαλεία επεξεργασίας του εδαφικού μοντέλου, ώστε να δημιουργηθεί και το μετεωρολογικό μοντέλο προσομοίωσης των κατακρημνίσεων όπως αυτό ελήφθη από το ERA-5. Προκειμένου να επιτευχθεί η μετατροπή της κατακρήμνισης σε απορρέοντα όγκο νερού επιλέχθηκαν αρκετές διεργασίες και μέθοδοι οι οποίες φαίνεται να ικανοποιούσαν σε καλό βαθμό τις απαιτήσεις της προσομοίωσης.

Βασικό κομμάτι μελέτης υπήρξε πέραν των φυσικών διεργασιών όπως οι κατακρημνίσεις και η μελέτη του φράγματος της Αγίας Βαρβάρας καθώς λειτούργησε με τη μορφή πρόσθετης πηγής στο μοντέλο, το οποίο τροφοδοτούσε διαρκώς με επιπλέον παροχή. Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν στοιχεία από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τις εκροές στο φράγμα, οι οποίες κατέστησαν ικανή την αποτίμηση του όγκου νερού που εισέρχεται στον Αλιάκμονα.

1.2 Χρήσιμοι ορισμοί

Λεκάνη απορροής – Υδρολογική λεκάνη

Η λεκάνη απορροής ενός υδατορρέυματος ορίζεται ως το σύνολο της τοπογραφικής επιφάνειας που αποστραγγίζεται από αυτό το υδατόρρευμα και τους παραποτάμους του. Κάθε λεκάνη απορροής περιορίζεται και χωρίζεται από τις άλλες που την περιβάλλουν από τη γραμμή διαχωρισμού των νερών ή υδροκρίτη, που ακολουθεί τις κορυφογραμμές του εδαφικού αναγλύφου. Κάθε λεκάνη απορροής εμφανίζει κάποια χαρακτηριστικά:



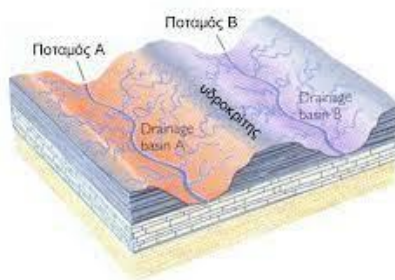
Σχήμα 1.1: Σχηματική απεικόνιση παραδείγματος λεκάνης απορροής

Κάθε λεκάνη απορροής εμφανίζει κάποια χαρακτηριστικά:

- ✓ Τοπογραφικά – γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (επιφάνεια σε Km², κλίση %, υδρογραφικό δίκτυο κ.α.).
- ✓ Γεωλογικά – εδαφολογικά (τύπος βλάστησης, τύπος εδαφών κ.α.).[1]

Υδροκρίτης

Υδροκριτική γραμμή ή υδροκρίτης ορίζεται η νοητή γραμμή η οποία οριοθετεί τη λεκάνη απορροής και αντιστοιχεί στην κορυφογραμμή εκείνη εκατέρωθεν της οποίας τα επιφανειακά νερά κατευθύνονται σε διαφορετικές λεκάνες απορροής.[2]



Σχήμα 2.2: Σχηματική απεικόνιση παραδείγματος υδροκρίτη

Υδατόρευμα

Ως υδατόρευμα ή υδατόρεμα ορίζεται η φυσική ή διευθετημένη διαμόρφωση του εδάφους το οποίο είναι ο κύριος αποδέκτης των επιφανειακών νερών και διασφαλίζει την διέλευση τους σε άλλους αποδέκτες με χαμηλότερες στάθμες.[3]

Υδρογραφικό δίκτυο

Το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους όπως αυτό είναι διαμορφωμένο αποτελεί άμεση απόρροια του κινούμενου νερού πάνω στο έδαφος. Όταν αυτό οργανώνεται σε υδάτινες μάζες όπως χειμάρρους, υδατορέματα και ρυάκια παρασύρει φερτά υλικά τα οποία διαμορφώνουν το ανάγλυφο και τις λεκάνες απορροής. Το υδρογραφικό



Σχήμα 3.3: Σχηματική απεικόνιση υδρογραφικού δικτύου Ελλάδας

δίκτυο αποτελεί δηλαδή το δρόμο αποστράγγισης του νερού, ένα δίκτυο μεταφοράς και κίνησης του επιφανειακού νερού σε μία υδρολογική λεκάνη.[4]

Εκβολές

Εκβολές ενός ποταμού είναι το τμήμα του ποταμού που καταλήγει στη θάλασσα και τις περισσότερες φορές σχηματίζεται εκεί το Δέλτα του ποταμού, δηλαδή χωρίζεται ο ποταμός σε πολλά μικρότερα τμήματα, δημιουργώντας μία περιοχή με έντονο οικολογικό ενδιαφέρον, καθώς σε τέτοιες περιοχές υπάρχει έντονη ανάπτυξη σπάνιας χλωρίδας και πανίδας.[5]

Χρόνος Συγκέντρωσης

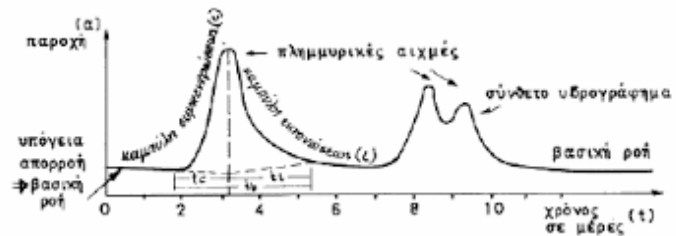
Ο χρόνος συγκέντρωσης αποτελεί τη χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της παροχής απορροής σε σχέση με το χρόνο που άρχισε η βροχή στη λεκάνη. Ο χρόνος συγκέντρωσης μπορεί να υπολογιστεί είτε στην έξοδο της λεκάνης με σύγκριση υετογραμμάτων και υδρογραφημάτων είτε σε περιπτώσεις έλλειψης μετρήσεων εμπειρικές μεθόδους που βασίζονται κυρίως στη γεωμετρία της λεκάνης.[1]

Οι κυριότερες μέθοδοι είναι οι:

- ✓ Μέθοδος Giandotti.
- ✓ Μέθοδος Kirpich.
- ✓ Μέθοδος Passini.

Υδρογράφημα Απορροής

Πρόκειται για διάγραμμα παροχής συναρτήσει του χρόνου σε ένα ορισμένο σημείο της κοίτης του ποταμού. Συνήθως εμφανίζει την ακόλουθη μορφή.[6]



Σχήμα 4.4: Σχηματική απεικόνιση παραδείγματος υδρογραφήματος

1.3 Ο κύκλος του νερού

Το νερό αποτελεί το πολυτιμότερο αγαθό για τη συνέχιση της ζωής. Χωρίς αυτό η Γη θα ήταν ένα αφιλόξενο μέρος. Ωστόσο το νερό δε παραμένει στάσιμο, κινείται διαρκώς τόσο στην επιφάνεια της Γης όσο κάτω και πάνω από αυτήν.

Η περιγραφή αυτής της κίνησης γίνεται με το γνωστό υδρολογικό κύκλο ή κύκλο του νερού. Μπορεί να βρίσκεται είτε με υγρή μορφή είτε αέρια ή πάγων και η μορφή αυτή αλλάζει διαρκώς. Πηγή ενέργειας για τη λειτουργία του υδρολογικού κύκλου είναι η θερμότητα από τον ήλιο. Ο ήλιος είναι σε θέση να εξατμίσει ποσότητες νερού από την επιφάνεια των ωκεανών, από ποτάμια και λίμνες με αποτέλεσμα τη μετατροπή του νερού σε υδρατμούς. Επιπλέον τα φυτά μέσω της διαπνοής αποδίδουν ατμούς στην ατμόσφαιρα. Πολλές φορές είναι δυσδιάκριτη η διαφοροποίηση της εξάτμισης και της διαπνοής και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο όρος εξατμισοδιαπνοή. Με τη βοήθεια ρευμάτων αέρα, οι υδρατμοί μεταφέρονται σε ανώτερα στρώματα ατμόσφαιρας όπου και μετατρέπονται σε αέριες μάζες δηλαδή τα σύννεφα. Επίσης μέσω των



Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση υδρολογικού κύκλου

με υγρή μορφή είτε αέρια ή πάγων και η μορφή αυτή αλλάζει διαρκώς. Πηγή ενέργειας για τη λειτουργία του υδρολογικού κύκλου είναι η θερμότητα από τον ήλιο. Ο ήλιος είναι σε θέση να εξατμίσει ποσότητες νερού από την επιφάνεια των ωκεανών, από ποτάμια και λίμνες με αποτέλεσμα τη μετατροπή του νερού σε υδρατμούς. Επιπλέον τα φυτά μέσω της διαπνοής αποδίδουν ατμούς στην ατμόσφαιρα. Πολλές φορές είναι δυσδιάκριτη η διαφοροποίηση της εξάτμισης και της διαπνοής και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο όρος εξατμισοδιαπνοή. Με τη βοήθεια ρευμάτων αέρα, οι υδρατμοί μεταφέρονται σε ανώτερα στρώματα ατμόσφαιρας όπου και μετατρέπονται σε αέριες μάζες δηλαδή τα σύννεφα. Επίσης μέσω των

ρευμάτων τα σύννεφα είναι σε θέση να κινούνται γύρω από την υδρόγειο. Στη συνέχεια τα σταγονίδια νερού πέφτουν ως κατακρημνίσματα κυρίως με τη μορφή βροχής αλλά και χιονιού σε κάποιες περιπτώσεις. Το χιόνι μάλιστα σε ψυχρά κλίματα όταν συσσωρεύεται δημιουργεί τους πάγους και παγετώνες, οι οποίοι με την άνοδο της θερμοκρασίας λιώνουν οδηγώντας στο λιώσιμο του χιονιού. Τα κατακρημνίσματα κατά κύριο λόγο πέφτουν στους ωκεανούς, οι οποίοι καταλαμβάνουν και το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης. Όσα δεν καταλήγουν άμεσα εκεί, οδηγούνται έμμεσα από την ξηρά λόγω βαρύτητας σε αυτούς με την επίδραση της επιφανειακής απορροής. Σημαντικό ρόλο στη μεταφορά αυτή παίζουν τα ποτάμια, τα οποία λειτουργούν με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Ωστόσο πολλές φορές το νερό ακολουθεί διαφορετική πορεία λόγω της διήθησης, όπου ένα μέρος νερού εισέρχεται στο έδαφος σχηματίζοντας το υπόγειο νερό. Το νερό αυτό μπορεί είτε να ξαναβγεί στην επιφάνεια σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη όπου και θα ακολουθήσει την προηγούμενη διαδρομή, είτε να εισχωρήσει βαθύτερα στο έδαφος και να εμπλουτίσει τους υπόγειους υδροφορείς. Στους υπόγειους υδροφορείς μπορούν να αποθηκευτούν μεγάλες ποσότητες νερού, ωστόσο ακόμα και από εκεί, αργά ή γρήγορα το νερό θα καταλήξει στους ωκεανούς και αυτός ο αέναος κύκλος συνεχίζεται.[7]

1.5 Προσομοίωση

Η προσομοίωση είναι μία διαδικασία κατά την οποία επιστήμες όπως η Στατιστική και η Πληροφορική συνεργάζονται προκειμένου να δοθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα-στόχος. Στόχος είναι η δημιουργία και αποτύπωση ενός συστήματος με τη χρήση λογικών σχέσεων, διαγραμμάτων και φυσικά προγραμμάτων στον υπολογιστή, προκειμένου να μελετηθούν υφιστάμενες καταστάσεις αλλά και να γίνουν πειράματα με την ανάλυση των δεδομένων που θα προσομοιώνουν την πραγματική κατάσταση. Βρίσκουν μεγάλη χρησιμότητα σε περιπτώσεις όπου οι αναλυτικές σχέσεις που περιγράφουν υπό μελέτη φαινόμενα είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα. Σημαντικό ρόλο παίζουν τα μοντέλα τα οποία ακριβώς αναπαριστούν αναλυτικά ένα σύστημα με σκοπό την κατανόηση του.[8]

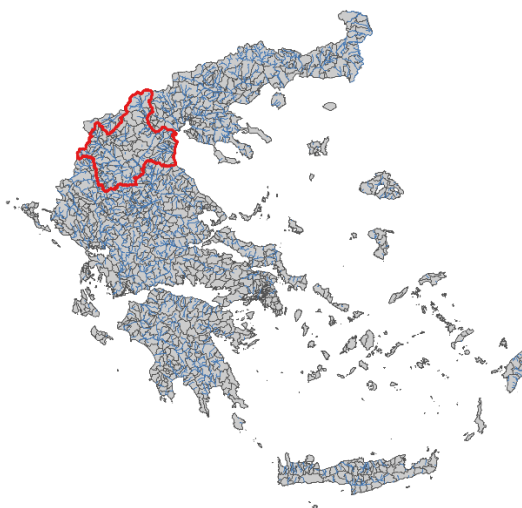
Τα υδρολογικά μοντέλα είναι μαθηματικοί σχηματισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου καθώς επίσης και υποθέσεις σχετικά με τους μηχανισμούς του υδρολογικού κύκλου με σκοπό την αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών σε κατάλληλη χρονική και χωρική κλίμακα.[9]

Κεφάλαιο 2ο

Περιοχή μελέτης – Λεκάνη απορροής Αλιάκμονα

2.1 Γεωγραφική θέση

Η λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα οφείλει το όνομα της στον ποταμό Αλιάκμονα. Το όνομα Αλιάκμονας είναι σύνθετο και προέρχεται από το άλς (άλας, θάλασσα) και από το ακμών (αμόνι). Πρόκειται για το μεγαλύτερο ποταμό της Ελλάδας, ο οποίος βρίσκεται εξολοκλήρου σε ελληνικό έδαφος με συνολικό μήκος 297 χιλιόμετρα. Από τη Δύση οριοθετείται από τα σύνορα με την Αλβανία, τα όρη Γράμμο, Βόιο, Βασιλίτσα και Λύγκο, ενώ από το νότο με τα όρη Χασιά, Καμβούνια και Όλυμπο.



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση λεκάνης απορροής Αλιάκμονα

Ανατολικά από την ακτογραμμή της Πιερίας, την περιφερειακή Τάφρο και το όρος Πάικο ενώ τέλος από το βορρά με τα σύνορα της πΓΔΜ (Δημοκρατία Βόρειας Μακεδονίας) και τα όρια των Πρεσπών. [10]

2.2 Γεωμορφολογία

Ο Αλιάκμονας παλαιότερα δεν είχε σταθερή πεδινή κοίτη. Απέκτησε ωστόσο τη δεκαετία του 1950, μετά την κατασκευή του φράγματος εκτροπής στην Αγία Βαρβάρα. Συχνά μάλιστα πλημμύριζε δημιουργώντας εκτεταμένα έλη.[11] Το ανάγλυφο είναι ορεινό – ημιορεινό με

μέσο υψόμετρο τα 750 μέτρα ενώ κυριαρχούν οι υψηλές κορυφές με κάποιες να ξεπερνούν τα 2000 μέτρα. Το ορεινό ανάγλυφο γίνεται εύκολα διακριτό και από την κατανομή των κλίσεων, καθώς κυμαίνονται από 5% έως 148%, με μέση κλίση εκείνη των 18%. Άλλωστε το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τους ιζηματογενείς σχηματισμούς οδηγούν σε έντονη διάβρωση και μεταφορά ιζημάτων στο δέλτα του ποταμού. Χαρακτηριστικό του γνώρισμα αποτελεί το εκτεταμένο εύρος υψομετρικών διαφορών κατά μήκος των τμημάτων της λεκάνης. Φυσικά εξαίρεση στα παραπάνω αποτελούν οι πεδινές περιοχές οι οποίες εκτείνονται στην περιοχή της Κοζάνης – Πτολεμαΐδας, στην Περιφερειακή Τάφρο και στην παράκτια περιοχή της Πιερίας.

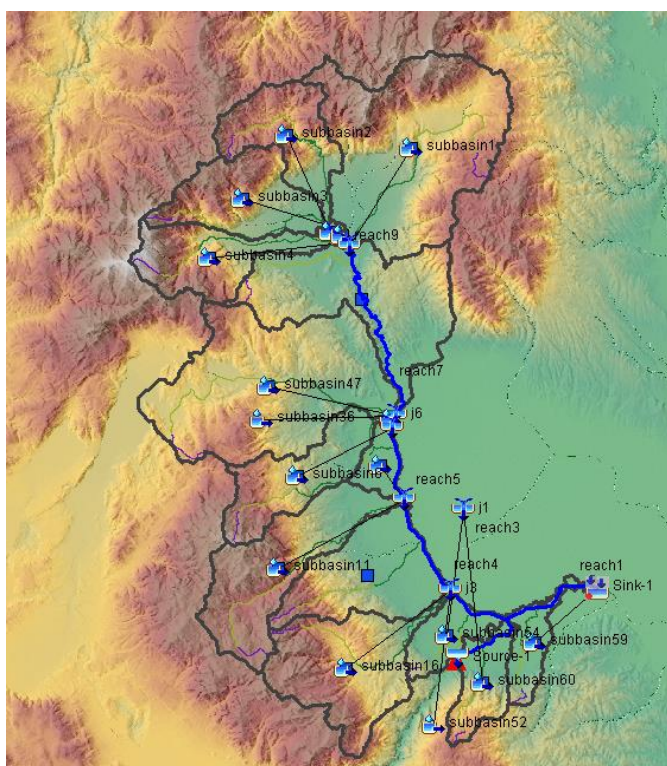
Στην περιοχή κυριαρχεί τόσο το καρστικοποιημένο ανθρακικό όσο και το κρυσταλλικό γνευσιοσχιστολιθικό υπόβαθρο. Επιπλέον στο πεδινό τμήμα της λεκάνης κυριαρχούν οι αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ στο νότιο όριο υπάρχουν επιφανειακές εμφανίσεις, μειοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις (μάργες, ψαμμίτες, λατυποπαγή και ασβεστόλιθους) αλλά και μειοπλειοκαινικές χερσαίες και θαλάσσιες αποθέσεις.

Η λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα θα μπορούσε να χωριστεί σε τέσσερις βασικές υπολεκάνες:

- ✓ Του Αλιάκμονα.
- ✓ Της κλειστής λεκάνης Πτολεμαΐδας.
- ✓ Της περιφερειακής Τάφρου.
- ✓ Της πεδιάδας Κατερίνης.

Η πρώτη, εκείνη δηλαδή του Αλιάκμονα, η οποία αποτελεί και τη μεγαλύτερη σε έκταση ακολουθεί τα όρια της φυσικής λεκάνης του ποταμού περιλαμβάνοντας και τη λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς.

Η δεύτερη κατά σειρά, της Πτολεμαΐδας η οποία και οριοθετείται από το οροπέδιο, αποστραγγίζεται επιφανειακά με τη βοήθεια των φυσικών λιμνών Βεγορίτιδας, Πετρών, Ζάζαρης και Χειμαδίτιδας, οι οποίες και διαθέτουν τεχνητή σύνδεση με κανάλια. Στη συνέχεια η υπολεκάνη της περιφερειακής Τάφρου



Σχήμα 2.2: Σχηματική απεικόνιση γεωμορφολογίας εδάφους Αλιάκμονα

αποστραγγίζει τα νερά μέσω των ποταμών Αλμωπαίου, Εδεσσαίου (με εκβολές στον Μογλενίτσα), Αράπιτσα και Τριπόταμου. Τέλος η υπολεκάνη της Κατερίνης, η οποία αποτελείται από πολλές μικρές υπολεκάνες με κυριότερη εκείνη στο Μαυρονέρι, απορρέει στο Θερμαϊκό κόλπο. Ωστόσο στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το τμήμα του ποταμού Αλιάκμονα από το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας έως τις εκβολές του ποταμού συμπεριλαμβάνοντας και τον ποταμό Μογλενίτσα ο οποίος εκβάλλει στον Αλιάκμονα.[10]

2.3 Κλιματολογικές συνθήκες

Κάποιες βασικές περιφερειακές ενότητες τις οποίες διασχίζει ο Αλιάκμονας είναι η Π.Ε. Πιερίας (Κατερίνη), Π.Ε. Ημαθίας (Βέροια), Π.Ε. Πέλλας (Εδεσσα), Π.Ε. Κοζάνης (Κοζάνη), Π.Ε. Γρεβενών (Γρεβενά), Π.Ε. Καστοριάς (Καστοριά), Π.Ε. Φλώρινας (Φλώρινα). Επομένως, οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή θα μπορούσαν να προσεγγιστούν ως επιμέρους τμήματα της περιοχής μελέτης.

Στην Κατερίνη το κλίμα είναι ήπιο και εύκρατο με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες όλο το χρόνο. Στην περιοχή υπάρχουν έντονες βροχοπτώσεις όλο το χρόνο, ακόμα και τους πιο ξηρούς μήνες. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16,3 °C, ενώ το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων ετησίως είναι 995 mm.[12]

Το κλίμα της Βέροιας όμοια φαίνεται να είναι ήπιο με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 12,8 °C, ενώ στην περιοχή υπάρχουν βροχοπτώσεις κυρίως τους χειμερινούς μήνες με μέσο ύψος βροχόπτωσης τα 773 mm.[12]

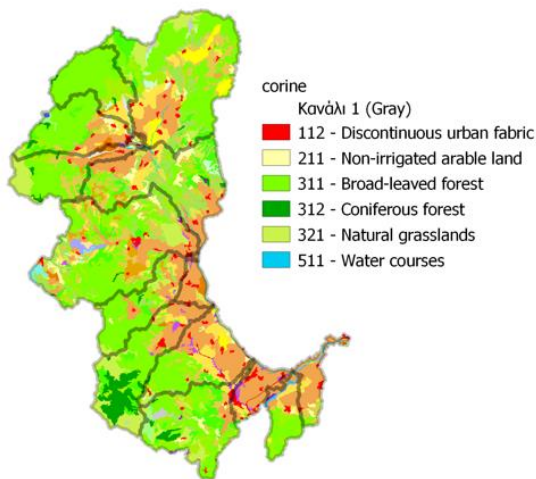
Όμοια η Καστοριά και η Φλώρινα διαθέτουν ήπιο κλίμα με τη μέση ετήσια θερμοκρασία να είναι 11,3 °C και 10,4 °C αντίστοιχα, ενώ το μέσο ύψος κατακρημνίσεων είναι 636 mm και 692 mm αντίστοιχα.[13]

Εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς από τα παραπάνω το γενικότερο κλίμα της περιοχής μελέτης. Όπως φαίνεται πρόκειται για ήπιο κλίμα με βροχοπτώσεις κυρίως τους χειμώνες και θερμοκρασίες που μπορεί να φτάσουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε κάποιες περιοχές ειδικά κατά τους χειμερινούς μήνες.

2.4 Χρήσεις γης

Προκειμένου να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα και συγκεκριμένα στο τμήμα μελέτης που περιλαμβάνει τον Αλιάκμονα από το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας έως τις εκβολές του και τον ποταμό Μογλενίτσα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Corine land και το Copernicus (high resolution layers).

Τα προαναφερθέντα και ο τρόπος που μελετήθηκαν θα αναλυθεί εκτεταμένα σε επόμενο κεφάλαιο. Στον **Πίνακα 2.1** που



Σχήμα 2.3: Χρήσεις γης Corine land

ακολουθεί δίνονται οι χρήσεις γης όπως αυτές υπολογίστηκαν. Συγκεκριμένα, έγινε διαχωρισμός σε τεχνητές εκτάσεις (imperviousness), σε δάση (forest type), σε κωνοφόρα δέντρα (tree plantation), εκτάσεις χαμηλής βλάστησης (grassland), σε υδάτινα στοιχεία (water and wetness) και τέλος σε ξερές περιοχές που αποτέλεσαν τις υπόλοιπες μη διακριτοποιημένες περιοχές.

<i>Χρήση Γης</i>	<i>Μέσος όρος ποσοστού χρήσης γης ανά υπολεκάνη %</i>
<i>Imperviousness</i>	<i>2,17</i>
<i>Forest type</i>	<i>19,56</i>
<i>Tree plantation</i>	<i>14,99</i>
<i>Grassland</i>	<i>14,30</i>
<i>Water and wetnesss</i>	<i>0,80</i>
<i>Dry areas</i>	<i>48,17</i>

Πίνακας 2.1: Ποσοστό μέσης χρήσης γης ανά υπολεκάνη

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό από τον παραπάνω πίνακα πρόκειται για μία περιοχή όπου επικρατούν οι ξερές περιοχές με ένα ποσοστό περίπου 50%, ενώ ακολουθεί η βλάστηση κυρίως με τη μορφή δασών. Ωστόσο υπάρχει ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό από κωνοφόρα δέντρα και εκτάσεις χαμηλής βλάστησης (σε επόμενο κεφάλαιο θα γίνει κατανοητός ο διαχωρισμός της βλάστησης σε διαφορετικές κατηγορίες). Οι εκτάσεις που είναι κατοικημένες φαίνεται να καταλαμβάνουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξης του 2%, ενώ τέλος τα υδάτινα στοιχεία φαίνεται να είναι τα λιγότερα εμφανή.

2.5 Ποταμός Μογλενίτσας – Αλμωπαίος

Ο Μογλενίτσας είναι ποταμός στη Μακεδονία, που διασχίζει την Π.Ε Πέλλας. Παλαιότερα ο ποταμός κατέληγε στη λίμνη των Γιαννιτσών που με τη σειρά της οδηγούσε τα νερά στον ποταμό Λουδία, ωστόσο το 1930 έγιναν αποστραγγιστικά έργα στην περιοχή με αποτέλεσμα την ξήρανση της λίμνης και την εκβολή στον ποταμό Αλιάκμονα. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Μογλενίτσα ή Αλμωπαίου όπως είναι γνωστός, οριοθετείται από το όρος Βόρα (Καϊμακτσαλάν) και είναι γνωστή ως οροπέδιο της Αριδαίας. Ωστόσο από το οροπέδιο της Αριδαίας και έπειτα, μετονομάζεται σε Τάφρος 66 και εκβάλλει στον ποταμό Αλιάκμονα. Το γενικότερο ανάγλυφο της περιοχής είναι έντονο και τραχύ, ενώ το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι δενδρικό με αρκετά ρέματα και χειμάρρους. Στην περιοχή επικρατεί έντονη γεωργική χρήση με την καλλιέργεια σιτηρών, κτηνοτροφικών φυτών, λαχανικών, αμπελιών και άλλων. Τέλος το κλίμα της περιοχής είναι ήπιο με αρκετές βροχοπτώσεις κυρίως τους χειμερινούς μήνες.[14]

2.6 Υδροηλεκτρικά έργα ΔΕΗ

Ο Αλιάκμονας αποτελώντας το μεγαλύτερο ποταμό της Ελλάδας με μεγάλο δυναμικό αποτελεί έναν πολύ κερδοφόρο πόρο εκμετάλλευσης. Αυτό ακριβώς το γεγονός εκμεταλλεύτηκε και η ΔΕΗ δημιουργώντας μία σειρά φραγμάτων και υδροηλεκτρικών σταθμών. Τα έργα αυτά είναι υψίστης σημασίας καθώς συνέβαλαν στην ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής αλλά και στη διασφάλιση των απαιτούμενων υδατικών αποθεμάτων για μεγάλο τμήμα της Μακεδονίας.[15] Τα φράγματα αυτά με τη σειρά την οποία συναντώνται στον ποταμό δίνονται στον **Πίνακα 2.1** και περιγράφονται στη συνέχεια.

Φράγματα	Έτος έναρξης λειτουργίας
Πολύφυτος	1974
Σφηκιά	1985-1986
Ασώματα	1985
Αγία Βαρβάρα	2008
Μακροχώρι	1992

Πίνακας 2.1: Φράγματα Αλιάκμονα

2.6.1 Φράγμα Πολυφύτου

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Πολυφύτου αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό σταθμό στην Ελλάδα και βρίσκεται 45 χιλιόμετρα ΝΑ της Κοζάνης. Ο σταθμός άνοιξε το 1974 και διαθέτει τρεις όμοιες μονάδες παραγωγής ενέργειας ισχύος 125 MW η καθεμία, ισχύς η οποία θα ήταν ικανή να τροφοδοτήσει περίπου 10 με 12 πόλεις (για παράδειγμα η Κοζάνη χρειάζεται 30 MW ημερησίως) περίπου.[16]

Ο σταθμός αποτελείται από:

- ✓ Τη σήραγγα εκτροπής.
- ✓ Το φράγμα.
- ✓ Τον υπερχειλιστή.
- ✓ Την υδροληψία.
- ✓ Τη σήραγγα προσαγωγής.
- ✓ Τον υδροηλεκτρικό σταθμό.
- ✓ Τη δεξαμενή αναπάλσεως.
- ✓ Το φρέαρ υπό πίεση.

Ο ταμιευτήρας του Πολυφύτου έχει χωρητικότητα $2244 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ενώ ο ωφέλιμος όγκος του είναι $1220 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Διαθέτει ανώτατη στάθμη λειτουργίας τα 291 m ενώ υπερχειλίζει στα 293 m. Το ύψος πτώσης είναι 146,5 m , γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα αξιοποιήσιμο για την παραγωγή ενέργειας.[15]

2.6.2 Φράγμα Σφηκιάς

Πρόκειται για μία φυσική κοίτη, η οποία έχει διαχωριστεί τεχνητά με το φράγμα. Βρίσκεται κοντά στη Βέροια, ενώ τα έργα από τα οποία αποτελείται είναι:

- ✓ Ταμιευτήρα.
- ✓ Σήραγγα Εκτροπής.
- ✓ Εκχειλιστή.
- ✓ Υδροληψίες.
- ✓ Σήραγγες Προσαγωγής.
- ✓ Φράγμα.
- ✓ Υδροηλεκτρικό Σταθμό.
- ✓ Εκκενωτή Πυθμένα.

Το φράγμα διαθέτει συνολικό όγκο $99 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ενώ ο ωφέλιμος όγκος του είναι $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας είναι τα 146 m με υπερχείλιση στα 147 m, ενώ η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας είναι τα 141,8 m. Το μέσο ύψος πτώσης στάθμης είναι τα 62 m στο συγκεκριμένο φράγμα.

2.6.3 Φράγμα Ασωμάτων

Το φράγμα Ασωμάτων υπήρξε σε συνδυασμό με το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας από τα φράγματα του Αλιάκμονα που απασχόλησαν περισσότερο στη συγκεκριμένη εργασία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το φράγμα των Ασωμάτων είναι το τελευταίο φράγμα πριν από την Αγία Βαρβάρα, με αποτέλεσμα οι εκροές του να αποτελούν τις εισροές της Αγίας Βαρβάρας, η οποία μελετήθηκε και θα αναφερθεί πιο αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Βρίσκεται πολύ κοντά στη Βέροια, ενώ αποτελείται από τα εξής έργα:

- ✓ Ταμιευτήρα.
- ✓ Σήραγγα Εκτροπής.
- ✓ Εκχειλιστή.
- ✓ Υδροληψίες.
- ✓ Σήραγγες Προσαγωγής.
- ✓ Φράγμα.
- ✓ Υδροηλεκτρικό Σταθμό.
- ✓ Εκκενωτή Πυθμένα.

Ο συνολικός όγκος του φράγματος είναι $53 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ενώ ο ωφέλιμος όγκος του $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας είναι τα 85,5 m, η ελάχιστη τα 81 m, ενώ το φράγμα υπερχειλίζει σε στάθμη 89 m.

2.6.4 Φράγμα Αγίας Βαρβάρας

Το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας βρίσκεται 2 χιλιόμετρα μακριά από το φράγμα Ασωμάτων και 6 χιλιόμετρα μακριά από τη Βέροια. Το φράγμα διαθέτει :

- ✓ Ένα παλιό και ένα νέο ταμιευτήρα, ωστόσο σήμερα δουλεύει στο σύνολο του.
- ✓ Φράγμα.
- ✓ Εκχειλιστή.
- ✓ Υδροληψίες.
- ✓ Αγωγό προσαγωγής.
- ✓ Μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό.
- ✓ Υδροληψία κύριας αρδευτικής διώρυγας.
- ✓ Υδροληψία μελλοντικού αρδευτικού δικτύου.

Ο ταμιευτήρας του φράγματος έχει ωφέλιμο όγκο $4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, με στάθμη λειτουργίας τα 42,5 m, ελάχιστη στάθμη τα 38,75 m και κανονική στάθμη τα 42 m.[15]

Κεφάλαιο 3ο

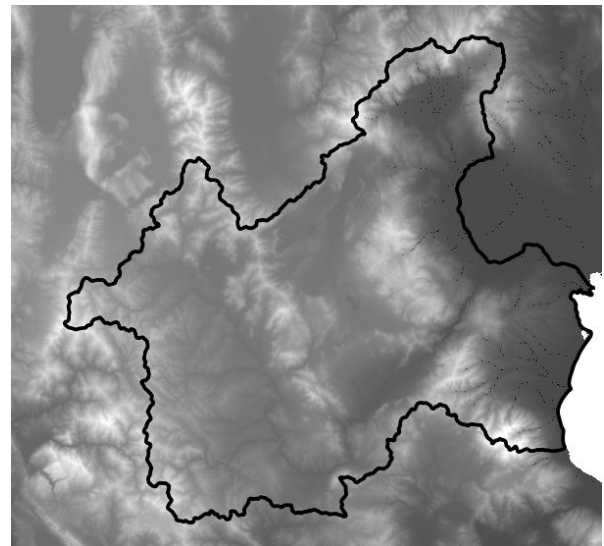
Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Δεδομένα

3.1.1 Τοπογραφικά δεδομένα

Μοντέλο ψηφιακού ανάγλυφου

Το ανάγλυφο της Γης αποτελεί ένα τρισδιάστατο σύνθετο χωρικό φαινόμενο και η απεικόνιση του συχνά απαιτεί ένα πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων. Οι τοπογραφικοί χάρτες συνήθως το αναπαριστούν με τη μορφή ισοϋψών καμπυλών, σκιάσεων και γραμμοσκιάσεων. Ο εκάστοτε τρόπος αναπαράστασης είναι αυτός που ορίζει και τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη του. Ωστόσο για να είναι εφικτή η επεξεργασία του μοντέλου εδάφους σε ψηφιακό περιβάλλον, χρησιμοποιείται το



Σχήμα 3.1: Εικόνα DEM λεκάνης απορροής Αλιάκμονα

ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM - Digital Elevation Model), με το οποίο γίνεται η αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας με διαφορετικές δομές και αλγορίθμους παρεμβολής. Επί της ουσίας, πρόκειται για ένα κάρναβο ο οποίος διαθέτει φατνία. Κάθε φατνίο έχει μία τιμή υψομέτρου, η οποία συνήθως αντιπροσωπεύει το κέντρο βάρους του φατνίου. Τα μοντέλα αυτά προέρχονται από τους δορυφόρους της NASA, οι οποίοι εκτελούν δρομολόγια γύρω από τη Γη απεικονίζοντας το ανάγλυφο. Στη συγκεκριμένη εργασία, το μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από το Copernicus (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>). Το μοντέλο που αποκτήθηκε και κάλυπτε τις ανάγκες (τη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα), ήταν αρχείο της μορφής Geotiff 25x25m, σε προβολικό σύστημα συντεταγμένων EPSG:2100 - GGRS87 / Greek Grid.

Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο αποκτήθηκε από τα δεδομένα δημόσιας διοίκησης (<http://www.geodata.gov.gr>) με τη μορφή διανυσματικού επιπέδου shapefile. Το αρχείο αυτό προστέθηκε στην εικόνα DEM, χωρίς ωστόσο να απαιτείται κάποια επαναπροσαρμογή της εικόνας προκειμένου να ταιριάξουν τα δύο αυτά αρχεία. Ο λόγος για τον οποίο δεν υπήρξε τέτοια απαίτηση είναι διότι το πρόγραμμα το οποίο θα χρησιμοποιούνταν για τη μελέτη, HEC-HMS έχει συμπεριλάβει πλέον αυτά τα βήματα στη διαδικασία δημιουργίας της λεκάνης απορροής και είναι ικανό να χαράξει το υδρογραφικό δίκτυο στη σωστή θέση από μόνο του με την εντολή terrain reconditioning.

3.1.2 Γεωλογικά δεδομένα

Για τα γεωγραφικά και γεωλογικά δεδομένα αξιοποιήθηκε ένα μεγάλο εύρος δεδομένων, άλλα προέκυψαν από τα αρχικά δεδομένα με μεθοδολογία που θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο και άλλα χρησιμοποιήθηκαν αυτούσια από ιστοσελίδες που τα παρείχαν με ελεύθερη πρόσβαση. Για παράδειγμα η διαπερατότητα του εδάφους και η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί ποσότητες νερού στην επιφάνεια ορίστηκαν τόσο από το corine land cover το οποίο είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) , όσο με επεξεργασία της εικόνας DEM, εξαγωγή κλίσεων εδάφους και άλλων μεθόδων.[17]

3.1.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

Για τα μετεωρολογικά δεδομένα, δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα HEC-HMS μετεωρολογικό μοντέλο, στο οποίο εισήχθησαν οι χρονοσειρές μελέτης όπως αυτές ελήφθησαν από το ERA5-Land. Το ERA5-Land διαθέτει μία σειρά δεδομένων ανάλυσης για μεταβλητές του εδάφους εδώ και πολλές δεκαετίες. Παρέχει δεδομένα όπως κατακρημνίσεις, λιώσιμο χιονιού, θερμοκρασίες και πολλά ακόμα. Από τη συγκεκριμένη πηγή, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για συνολικές κατακρημνίσεις και λιώσιμο χιονιού. Τα αρχεία τα οποία επιλέχθηκαν κατέβηκαν με τη μορφή αρχείων GRIB, τα οποία έπειτα από επεξεργασία στο πρόγραμμα VORTEX τροποποιήθηκαν σε μορφή αρχείου, την οποία μπορεί να διαβάσει το HMS (αρχείο dss). Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε περιγράφεται σε επόμενο

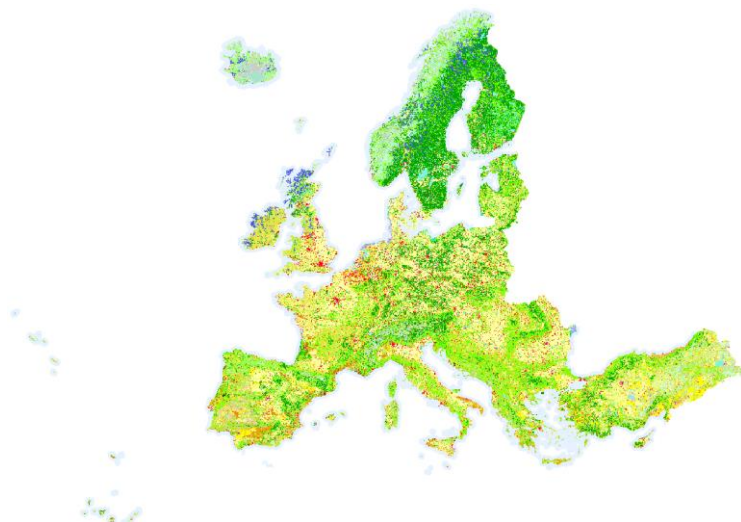
κεφάλαιο. Επιπλέον, απαραίτητα ήταν τα δεδομένα εξαμηνιαίας για το μετεωρολογικό μοντέλο τα οποία ανακτήθηκαν από αρχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.[18][19]

3.1.4 Δορυφορικά δεδομένα

Δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο από εικόνες του Google Earth προκειμένου να υπάρξει ολοκληρωμένη παρουσίαση της περιοχής μελέτης αλλά και να οριστούν με ακρίβεια οι θέσεις των φραγμάτων στην περιοχή μελέτης.

3.1.5 Δεδομένα χρήσεων γης

Οι χρήσεις γης διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο σε προσομοιώσεις όπως αυτή που περιγράφεται. Πρόκειται για δεδομένα τα οποία καθορίζουν την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης, καθώς επηρεάζουν άμεσα και σε μεγάλο βαθμό πολλές φυσικές διεργασίες. Για το λόγο αυτό αξιοποιήθηκαν δεδομένα από το Corine Land 2000 και κάποια επιπλέον High Resolution Layers. Οι χάρτες οι οποίοι αποκτήθηκαν είχαν χωρική ανάλυση 100 μέτρα και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία συνδυαστικά. Τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν, στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επιπλέον επεξεργασία στο υπολογιστικό φύλλο EXCEL και τελικά έγινε ικανή η διακριτοποίηση των χρήσεων γης σε ποσοστά ανά υπολεκάνη. Οι κατηγορίες στις οποίες έγινε διακριτοποίηση παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.[17][20]



Σχήμα 3.2: Χρήσεις γης Corine Land Cover 2000

3.1.6 Δεδομένα λειτουργίας φράγματος

Τα απαραίτητα δεδομένα για τα φράγματα όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο αντλήθηκαν από τα δεδομένα των υδροηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι παραγωγές σε MWh, οι οποίες συνδυαστικά με τα χαρακτηριστικά του φράγματος των Ασωμάτων (ωφέλιμος όγκος και ύψος στάθμης λειτουργίας) έδωσαν τις εκροές, οι οποίες άλλωστε είναι και οι εισροές στο φράγμα της Αγίας Βαρβάρας το οποίο μελετήθηκε. Αυτό με τη σειρά του με τις αντίστοιχες παραγωγές, έδωσε τις εκροές οι οποίες εισέρχονταν στον Αλιάκμονα έως στις εκβολές του.[15]

3.1.7 Μετρήσεις παροχής και στάθμης στο σταθμό Νησελίου

Τα δεδομένα για τις παροχές και τις στάθμες παρακολούθησης του Αλιάκμονα προήλθαν από το *Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων του Ινστιτούτου Εδαφοϋδατικών Πόρων*, που αποτελεί μία από τις ερευνητικές μονάδες του *Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού «ΔΗΜΗΤΡΑ»*. Στόχος του τμήματος αποτελεί η σωστή διαχείριση τόσο των εδαφικών όσο και των υδατικών πόρων με στόχο την ανάπτυξη της γεωργίας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Έπειτα λοιπόν από συνεννόηση με το τμήμα παραχωρήθηκαν μετρήσεις με χρονικό βήμα μισής ώρας από το 2018 έως και το 2020 για το σταθμό παρακολούθησης στο Νησέλι. Το τμήμα εκτελεί μετρήσεις στο πεδίο με δύο τρόπους ανάλογα την εκάστοτε σκοπιμότητα. Σε περιπτώσεις που υπάρχει ανάγκη μέτρησης μία με δύο φορές το χρόνο, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με κλασικό μιλίσκο.



Σχήμα 3.3: Μέτρηση με μιλίσκο στη γέφυρα Νησελίου

Από την άλλη πλευρά σε περιπτώσεις όπως η εξεταζόμενη οι μετρήσεις πρέπει να είναι συνεχείς και οι μετρήσεις αυτές γίνονται με RQ30.



Σχήμα 3.4: Γέφυρα Νησελίου – Μετρήσεις RQ30

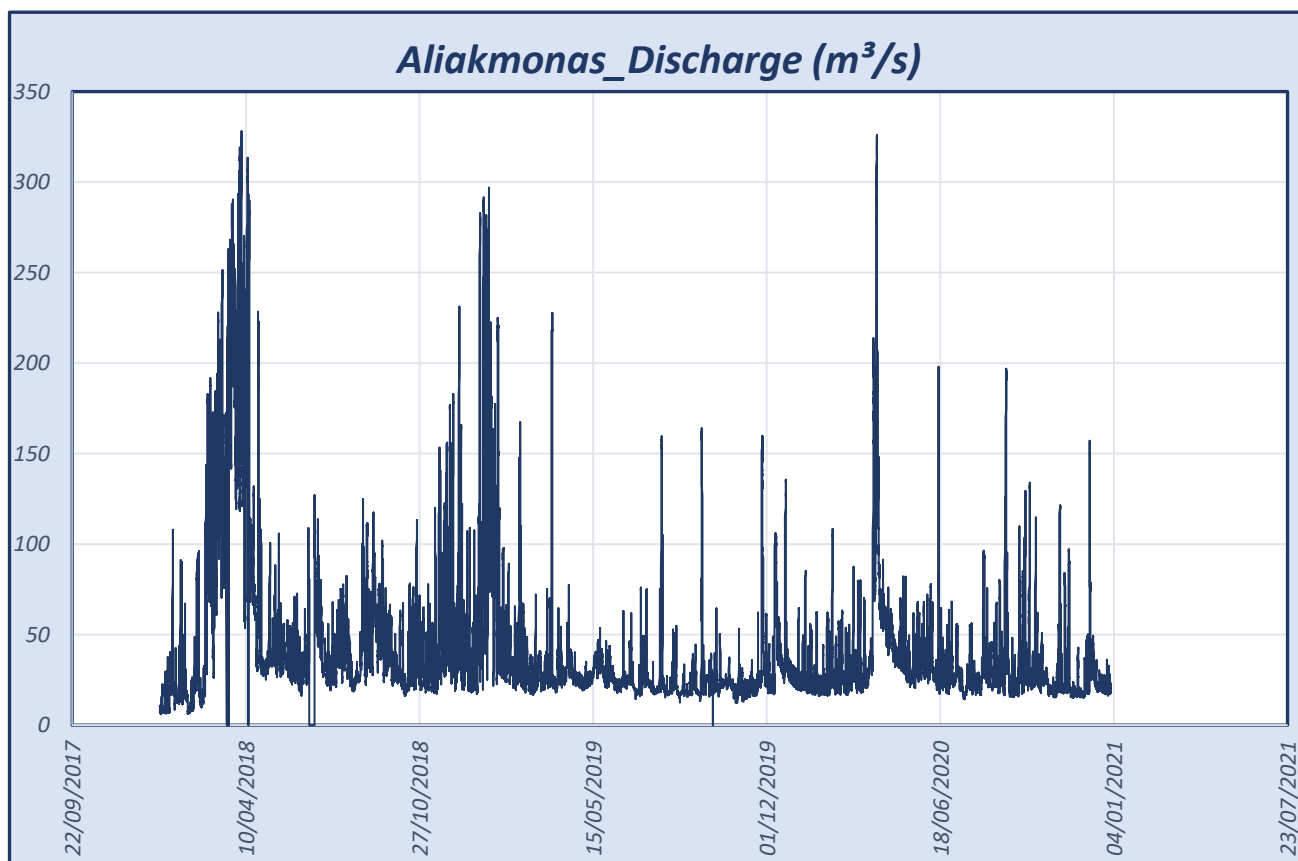
Πρόκειται για ένα radar μέτρησης της ταχύτητας επιφανειακών υδάτων του οίκου Sommer Αυστρίας. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι ότι δεν υπάρχει απαίτηση επαφής με το νερό για τις μετρήσεις. Ωστόσο προκειμένου να αξιοποιηθούν τα δεδομένα αυτά και να γίνει ο υπολογισμός της παροχής, απαραίτητο δεδομένο αποτελεί και η διατομή μελέτης στο σημείο που εξετάζεται στον Αλιάκμονα. Η διατομή και γενικότερα η διαμόρφωση της κοίτης καθορίζεται από το RiverSurveyor M9, το οποίο επί της ουσίας καταγράφει με ηχοβολιστικό το βάθος ροής, διαμορφώνοντας τον πυθμένα.



Σχήμα 3.5: Καταγραφή κοίτης με ηχοβολιστικό

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Index Velocity, οι μετρήσεις ταχύτητας που έχουν καταγραφεί σημειακά στην επιφάνεια από το radar, μετατρέπονται σε μέσες ταχύτητες διατομής με μία συσχέτιση που ακολουθείται. Η ταχύτητα αυτή σε συνδυασμό με τη διατομή είναι σε θέση να αποδώσουν την εκάστοτε παροχή μέτρησης ως γινόμενο διατομής με

ταχύτητα. Πρόκειται για ιδιαίτερα αξιόπιστες μετρήσεις, καθώς το τμήμα διενεργεί τακτικούς ελέγχους στα μηχανήματα που χρησιμοποιεί σε χώρους εργαστηρίων του τμήματος Γεωπονίας όπου και συγκρίνονται με ηλεκτρομαγνητικό μιλίσκο.[21]



Σχήμα 3.6: Ενδεικτικές παροχές στο Νησέλι για τον ποταμό Αλιάκμονα για τα έτη 2018-2020

3.2 Λογισμικό

Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS)

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών παρέχουν τη δυνατότητα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, επεξεργασίας και οπτικοποίησης δεδομένων σε ψηφιακό περιβάλλον για δεδομένα που σχετίζονται με το χώρο. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε τα δεδομένα αυτά ονομάζονται χωρικά ή χαρτογραφικά και μπορούν να συνδυαστούν με πολλά περιγραφικά δεδομένα. Βασική δυνατότητα λοιπόν που προσφέρουν αυτά τα συστήματα είναι ο συνδυασμός των χωρικών με τα περιγραφικά δεδομένα. Το καθένα από αυτά μόνο του δεν θα παρείχε κάποια σημαντική πληροφορία, ωστόσο ο συνδυασμός τους δίνει μία ολοκληρωμένη εικόνα. Τα πληροφοριακά συστήματα άλλωστε εάν το σκεφτεί κανείς υπήρχαν από την αρχαιότητα με τη χαρτογράφηση των περιοχών ήδη στους πρώτους πολιτισμούς

της Βαβυλώνας, ενώ αργότερα οι αρχαίοι Έλληνες δημιούργησαν τους πρώτους ολοκληρωμένους χάρτες. Η πρόοδος της τεχνολογίας αποτέλεσε αρωγό στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων. Ήδη με την ανάπτυξη της πληροφορικής τα συστήματα διαχωρίστηκαν σε λειτουργικά και πληροφοριακά, με τα δεύτερα να χωρίζονται αντίστοιχα σε χωρικά και μη χωρικά συστήματα πληροφοριών. Τα χωρικά συστήματα πληροφοριών αντίστοιχα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- ✓ Στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS)
- ✓ Στα πληροφοριακά συστήματα χρήσεων γης (LIS)
- ✓ Στα συστήματα χωρικής απεικόνισης (CAD)

Στη σημερινή εποχή τα GIS συστήματα έχουν πάψει να χρησιμοποιούνται ως απλά μέσα ανάκτησης και απεικόνισης πληροφοριών. Πλέον παίζουν καταλυτικό ρόλο στην απεικόνιση του πραγματικού κόσμου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη περιβαλλοντικών διαδικασιών και συνεπειών αλλά και για την πρόβλεψη πιθανών επιπτώσεων σε πιθανές παρεμβάσεις στο περιβάλλον. Πρόκειται γενικά για δυναμικά συστήματα, εξελισσόμενα τα οποία προσφέρουν πολλές δυνατότητες ανάλογα με το βαθμό ενασχόλησης του εκάστοτε χρήστη.[22]

3.2.1 Λογισμικό QGIS

Το QGIS ανήκει στα προγράμματα ελεύθερου λογισμικού των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί, να διανεμηθεί ή και να τροποποιηθεί ελεύθερα από τον οποιονδήποτε. Ο λόγος που χαρακτηρίζεται ελεύθερο έγκειται σε τέσσερις βασικές αρχές:

- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιονδήποτε σκοπό.
- ✓ Μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη, επεμβαίνοντας στον πηγαίο κώδικα του.
- ✓ Διανέμεται ελεύθερα σε όσους το επιθυμούν.
- ✓ Επιτρέπει τη βελτίωση του και τη διάθεση του στο ευρύ κοινό.

Δημιουργήθηκε το 2002, όπου έφερε και την ολοκληρωμένη ονομασία Quantum GIS, ενώ η πρώτη έκδοση του κυκλοφόρησε το 2009. Από το τότε και έπειτα αναβαθμίζεται διαρκώς προσφέροντας στο κοινό νέες βελτιωμένες εκδόσεις.

Πρόκειται για ένα λογισμικό με φιλικό περιβάλλον προς το χρήστη, ενώ δίνει τη δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από απλή προβολή δεδομένων GIS έως και τη δημιουργία σύγχρονων χαρτών εισάγοντας τα κατάλληλα

δεδομένα. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει δεδομένα layer είτε με τη μορφή raster (ψηφιδωτών) εικόνων ή με τη μορφή διανυσματικών δεδομένων. Τα διανυσματικά επίπεδα αποθηκεύουν δεδομένα με τη μορφή σημείων, γραμμών και πολυγώνων, ενώ τα ράστερ επίπεδα μπορούν να υποστηρίξουν πολλές μορφές εικόνων και σε διάφορα προβολικά συστήματα. Τα αρχεία που μπορούν να εισαχθούν είναι ποικίλων μορφών από shapfiles, dxf, geodatabases έως και πολλά άλλα. Επιπλέον δυνατότητες (plugins) γραμμένες σε γλώσσα Python και C++, μπορούν να επεκτείνουν αισθητά τις λειτουργίες του QGIS.[22][23]

3.2.1 Λογισμικό HEC-HMS

Το πρόγραμμα HEC-HMS δημιουργήθηκε από το τμήμα υδρολογίας του σώματος μηχανικών του στρατού των ΗΠΑ. Ωστόσο, έχει γίνει πλέον διαθέσιμο ως ελεύθερο λογισμικό σε όποιον το επιθυμεί. Έχει σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προσομοιώσει τις πλήρεις υδρολογικές διεργασίες των δενδριτικών συστημάτων λεκάνης απορροής. Περιλαμβάνει πολλές παραδοσιακές διεργασίες υδρολογικής ανάλυσης όπως τη διήθηση. Επίσης περιλαμβάνει πολλές διεργασίες οι οποίες απαιτούν συνεχή προσομοίωση όπως είναι η εξατμισοδιαπνοή, η τήξη του χιονιού και η υγρασία εδάφους. Συμπληρωματικά περιλαμβάνει πολλά χρήσιμα εργαλεία ανάλυσης όπως η ανάλυση βάθους περιοχής, πρόβλεψη ροής, μεταφορά διάβρωσης και ιζημάτων. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ένα σύστημα αποθήκευσης δεδομένων και να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά για μελέτες διαθεσιμότητας νερού, πρόβλεψης ροής, μελλοντικών επιπτώσεων στην αστικοποίηση κ.α. Για να μπορέσει να λάβει χώρα η διαδικασία αυτή ο υδρολογικός κύκλος διασπάται σε επιμέρους διεργασίες όπως η κατακρήμνιση, η επιφανειακή απορροή κ.α. όπου κάθε μία από αυτές μελετάται με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων. Η μελέτη αυτή μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για μεγάλα χρονικά διαστήματα όσο και για μεμονωμένα περιστατικά. Για το λόγο αυτό άλλωστε υπάρχει μία πληθώρα μεθόδων υδρολογικής ανάλυσης ανάλογα πάντοτε με το σκοπό για τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί.[24]

3.3 Συνοπτική περιγραφή μεθοδολογίας

Στο σημείο αυτό πρόκειται να γίνει μία σύντομη αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να δημιουργηθεί το υδρολογικό μοντέλο το οποίο προσομοιώνει τη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα.

Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα QGIS. Σε αυτό εισήχθησαν το ψηφιακό ανάγλυφο του εδάφους (εικόνα DEM), καθώς και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Το αρχείο αυτό, εφόσον πρώτα κόπηκε για τα όρια της περιοχής μελέτης αποθηκεύτηκε με τη μορφή αρχείου .tiff, ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή του μετέπειτα στο HMS. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψε το μοντέλο της λεκάνης απορροής.

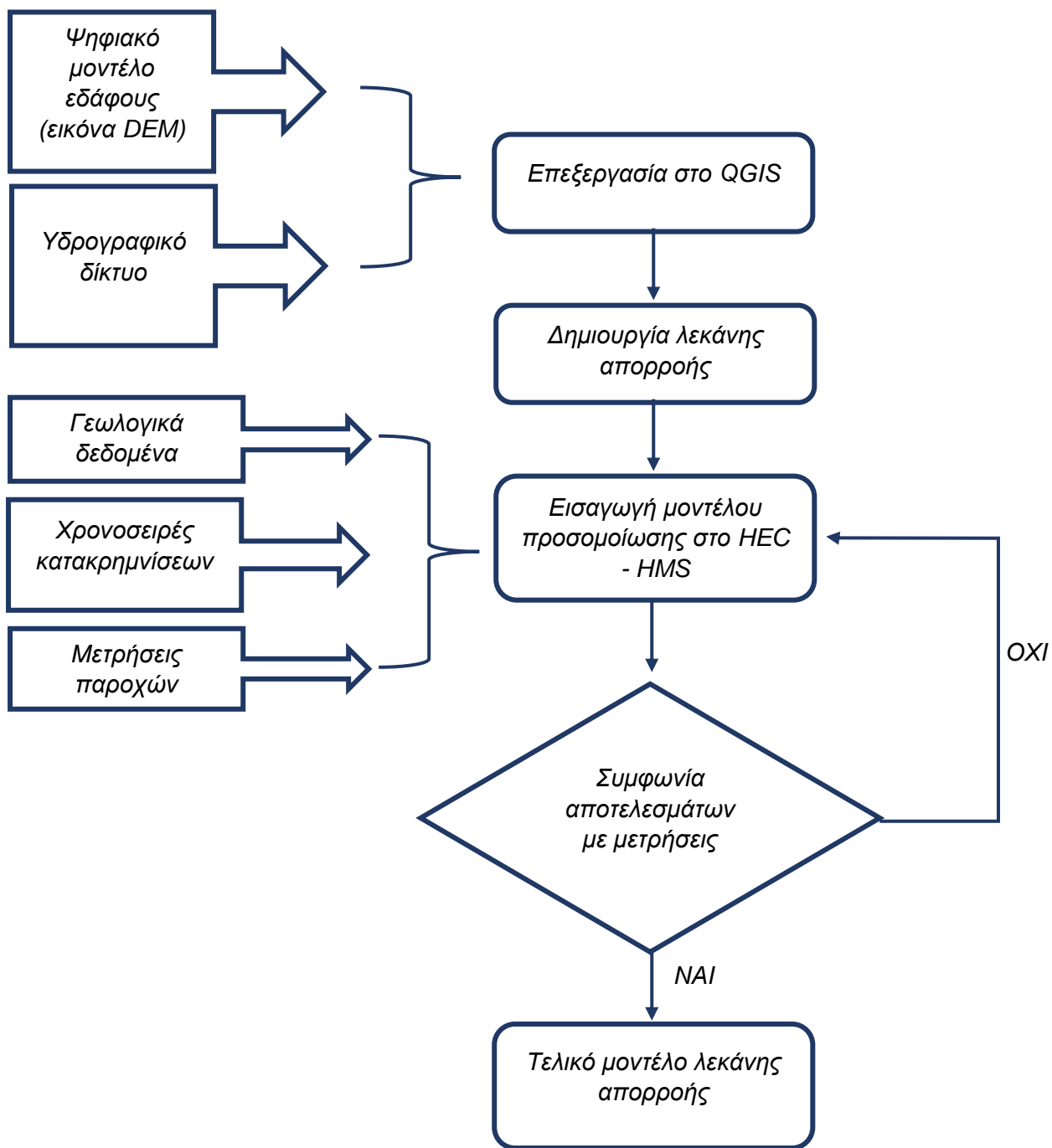
Στη συνέχεια, η λεκάνη απορροής εισήχθη στο Hec-HMS και σε αυτό το στάδιο δημιουργήθηκαν όλες οι απαραίτητες σχέσεις και συνδέσεις του υδρολογικού μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν οι υπολεκάνες, τα υδατορεύματα, οι κόμβοι, το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας και το σημείο εξόδου (σημείο παρατήρησης – γέφυρα Νησελίου). Από αυτά και μόνο τα δεδομένα το πρόγραμμα εξήγαγε ένα σύνολο πληροφοριών, τα οποία θα χρησιμοποιούνταν στη συνέχεια για υπολογισμούς. Τέτοια είναι οι εκτάσεις των υπολεκάνων, ο μέγιστος υδραυλικός δρόμος, τα μήκη των υδατορευμάτων κ.α.

Σε επόμενο στάδιο, ορίστηκαν όλοι οι απαραίτητοι παράμετροι για να λειτουργήσει το υδρολογικό μοντέλο. Τα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν ήταν προϊόντα υπολογισμών στο QGIS και περαιτέρω επεξεργασίας στο υπολογιστικό φύλλο Excel. Πρόκειται για τις χρήσεις γης σε ποσοστά ανά υπολεκάνη, οι μέσες κλίσεις ανά υπολεκάνη, ο ρυθμός διήθησης μέσω του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, ο χρόνος συγκέντρωσης στις υπολεκάνες, καθώς και θεώρηση των αρχικών συνθηκών για το υδρολογικό μοντέλο.

Στην πορεία δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα το μετεωρολογικό μοντέλο το οποίο επιλέχθηκε να λαμβάνει υπόψιν του μία μέση ετήσια τιμή εξατμισοδιαπνοής, καθώς επίσης έγινε και μία αντιστοίχιση κελιών με υπολεκάνες. Σκοπός σε αυτό υπήρξε η εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων, κυρίως κατακρημνίσεων, για κάθε υπολεκάνη. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εφόσον πρώτα υπέστησαν επεξεργασία εισήχθησαν στο μοντέλο ανά περιοχή. Ακολούθως, ορίστηκαν οι παροχές «πηγής» (Αγία Βαρβάρα), όπως αυτές υπολογίστηκαν από τα δεδομένα του υδροηλεκτρικού σταθμού της ΔΕΗ, ενώ σε τελικό βήμα εισήχθησαν οι μετρήσεις του Νησελίου ως σημείο παρατήρησης της παροχής στη γέφυρα (σημείο εξόδου). Ορίζοντας το εκάστοτε διάστημα μελέτης και «τρέχοντας» την προσομοίωση το πρόγραμμα έδινε τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο που δημιουργήθηκε.

Τα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν επιλέχθηκαν με βάση τα χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε να παρουσιάζουν ένα ενδιαφέρον μελέτης. Ως πρώτο σενάριο επιλέχθηκε η περίοδος 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020, καθώς πρόκειται για ένα διάστημα με σχεδόν μηδενική βροχόπτωση και θα ήταν κατάλληλο για να εντοπιστούν τυχόν ατέλειες στο στήσιμο του μοντέλου και να διαπιστωθεί η λειτουργικότητα του. Έπειτα επιλέχθηκε το διάστημα 16 – 22 Νοεμβρίου 2018 όπου υπήρχε ένα αρκετά έντονο περιστατικό βροχής, καθώς επίσης και το διάστημα 15 – 30 Νοεμβρίου 2019 όπου αντίστοιχα εμφανίζονταν δύο περιστατικά βροχής. Στη συνέχεια επιλέχθηκε το διάστημα 25 Μαρτίου – 16 Απριλίου 2020 το οποίο εμφάνιζε ακραία φαινόμενα με σκοπό να διαπιστωθεί η ικανότητα του προγράμματος να εντοπίσει το ακραίο αυτό περιστατικό και να το ακολουθήσει. Έπειτα από όλα αυτά τα σενάρια και εφόσον πρώτα το μοντέλο είχε στηθεί για να αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, δοκιμάστηκε ένα τελευταίο σενάριο με περιστατικά βροχής, για να γίνει έλεγχος του μοντέλου και να διαπιστωθεί ότι όντως σωστά έχουν γίνει οι εκτιμήσεις των διαφόρων παραμέτρων. Τέλος, με το μοντέλο ικανό να προσομοιώνει τη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα έγινε πρόβλεψη της απορροής για τον ποταμό Μογλενίτσα σε τρία υποθετικά περιστατικά βροχής, τα οποία είχαν ως χαρακτηριστικό ότι μελετούσαν κάποιο έντονο περιστατικό μικρής διάρκειας είτε σε όλη την λεκάνη, είτε στις υπολεκάνες που βρίσκονταν στο βόρειο τμήμα είτε τέλος στο νότιο τμήμα της λεκάνης.

Τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων και ελέγχονται ως προς την ορθότητα τους με σύγκριση με τα πρωτογενή δεδομένα από τη γέφυρα του Νησελίου. Εάν συμβαδίζουν τότε οι παράμετροι και οι αρχικές συνθήκες καλώς εκτιμήθηκαν, εάν διαφέρουν σημαντικά τότε επανεξετάζονται μέχρι να διαπιστωθεί ικανοποιητικό αποτέλεσμα σύγκλισης. Η διαδικασία παρουσιάζεται παρακάτω και σχηματικά στον **Σχήμα 3.7**.



Σχήμα 3.7: Διαδικασία μοντελοποίησης λεκάνης απορροής Αλιάκμονα

Κεφάλαιο 4ο

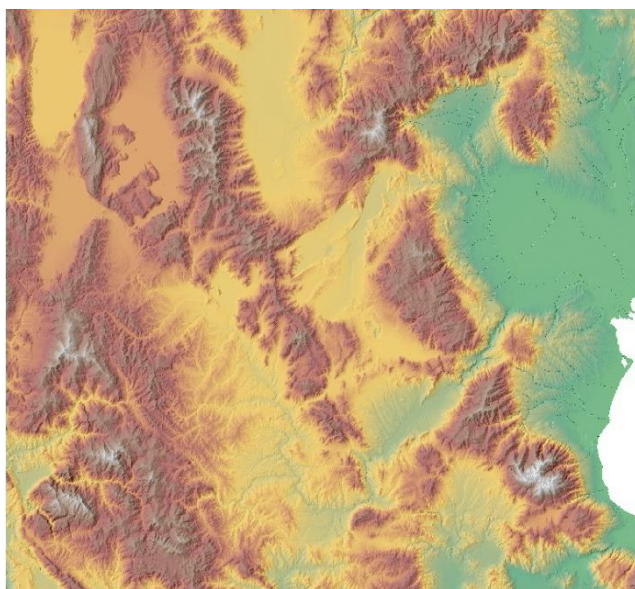
Κατασκευή ομοιώματος λεκάνης απορροής

4.1 Προεπεξεργασία

Στο πρώτο αυτό στάδιο της προεπεξεργασίας έγινε η εισαγωγή της εικόνας DEM, δηλαδή του ψηφιακού ανάγλυφου της περιοχής μελέτης στο πρόγραμμα QGIS, καθώς και του υδρογραφικού δικτύου. Στόχος στο πρώτο αυτό βήμα υπήρξε η περικοπή της περιοχής στα όρια ενδιαφέροντος για την επεξεργασία που επρόκειτο να ακολουθήσει. Στο τέλος, το αρχείο αποθηκεύτηκε με τη μορφή shapfile, ώστε να μπορέσει να εισαχθεί στο πρόγραμμα HEC-HMS για το υπόλοιπο της επεξεργασίας.

4.2 Επεξεργασία στο HEC-HMS

Προκειμένου να γίνει η εισαγωγή του αρχείου ενδιαφέροντος πρωταρχικό βήμα αποτελεί η δημιουργία ενός νέου project. Στο συγκεκριμένο στάδιο ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επιλογή συστήματος μονάδων (εδώ επιλέχθηκε το metric). Στη συνέχεια επιλέχθηκε η δημιουργία ενός νέου μοντέλου λεκάνης απορροής από την εντολή *components -> basin model manager*. Το ίδιο μοντέλο επιλέχθηκε να χρησιμοποιείται σε όλες τις προσομοιώσεις αντί τη χρήση αντιγράφου, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα σενάρια και η διαφοροποίηση που προκαλούν οι αλλαγές στις παραμέτρους για κάθε σενάριο, ώστε να εντοπιστούν σε ποιο βαθμό οι αλλαγές αυτές είναι ανεκτές. Ακολούθως, εισήχθη το μοντέλο εδάφους όπως αυτό αποθηκεύτηκε στο προηγούμενο βήμα στο QGIS με την εντολή *components -> terrain data*



Σχήμα 4.1: Αρχείο εισαγωγής στο HMS

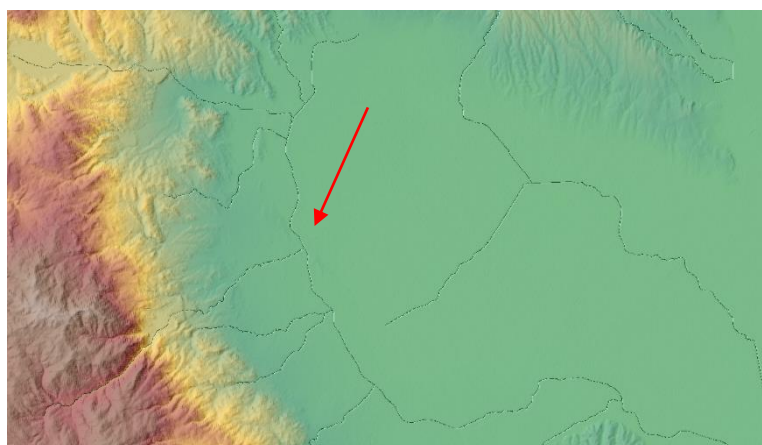
manager όπου επιλέχθηκε το αρχείο αλλά και το προβολικό σύστημα αναφοράς (να εντοπιστεί με βάση το αρχείο εισαγωγής).

4.2.1 Coordinate System

Το σύστημα αναφοράς έχει ήδη οριστεί στο προηγούμενο βήμα επομένως παραλείπεται από τη διαδικασία.

4.2.2 Terrain Reconditioning

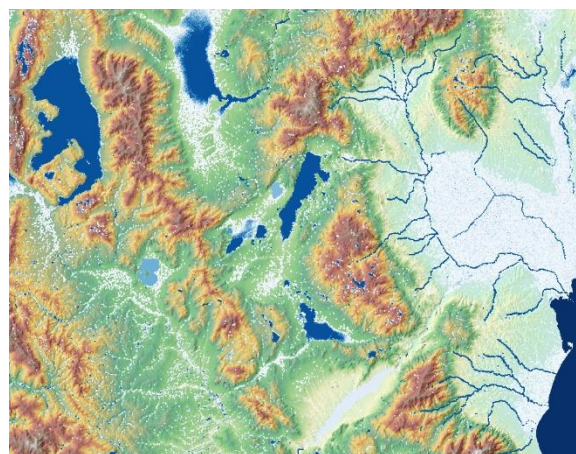
Στο στάδιο αυτό επί της ουσίας ορίζονται οι θέσεις των ρεμάτων και τα όρια της περιοχής μελέτης. Πρόκειται για μία καινούρια δυνατότητα στο HEC-HMS, η οποία δεν υπήρχε σε προηγούμενες εκδόσεις. Εδώ λοιπόν φορτώθηκε το υδρογραφικό δίκτυο για την περιοχή, με αποτέλεσμα να καταγραφούν στο πρόγραμμα τα απαραίτητα δεδομένα για τις θέσεις των ποταμών και ρεμάτων.[25]



Σχήμα 4.2: Ανάγνωση υδρογραφικού δικτύου από το HMS

4.2.3 Preprocess Sinks

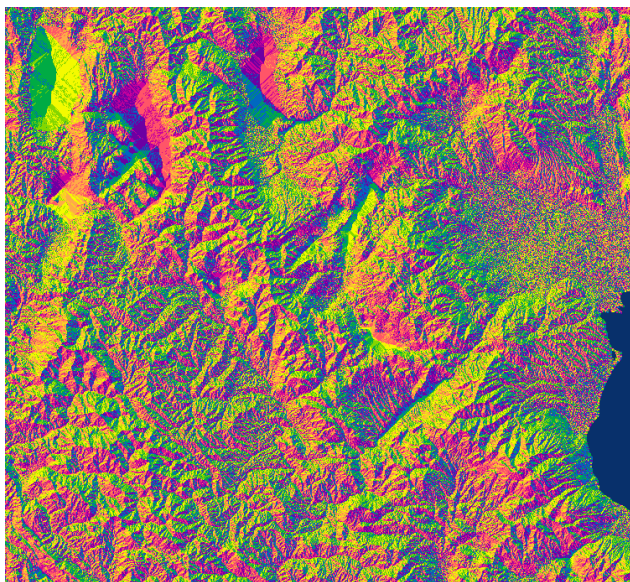
Η συγκεκριμένη εντολή έχει να κάνει με τις λακκούβες που τυχόν υπάρχουν στην εικόνα και γενικότερα με τα βυθίσματα. Εκτελώντας έναν αλγόριθμο, αφαιρεί αυτές τις περιοχές και δημιουργεί μία νέα εικόνα στην οποία υπάρχουν δύο νέα layers, το *sink fills* και το *sink locations* όπου υποδεικνύουν τις ακριβείς θέσεις των βυθισμάτων που αφαιρέθηκαν, καθώς και το βάθος το οποίο ήταν απαραίτητο να γεμίσουν.



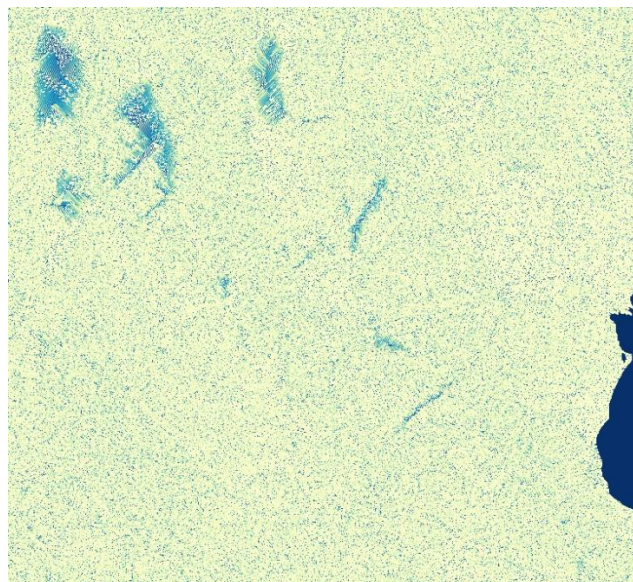
Σχήμα 4.3: Αποτέλεσμα Preprocess Sinks

4.2.4 Preprocess drainage

Η εντολή αυτή έχει ως στόχο τον καθορισμό της κατεύθυνσης ροής. Και σε αυτήν την περίπτωση παράγονται δύο layers, το ένα αφορά την κατεύθυνση της ροής (*flow direction*), ενώ το δεύτερο έχει ως σκοπό τον εντοπισμό και του μικρότερου πιθανού υδατορεύματος. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας παρουσιάζονται σχηματικά παρακάτω.



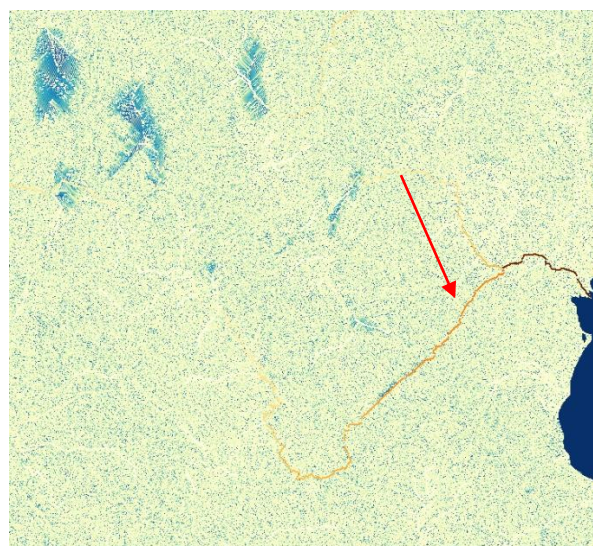
Σχήμα 4.4: Αποτέλεσμα *Flow Direction*



Σχήμα 4.5: Αποτέλεσμα *Flow Accumulation*

4.2.5 Identify Streams

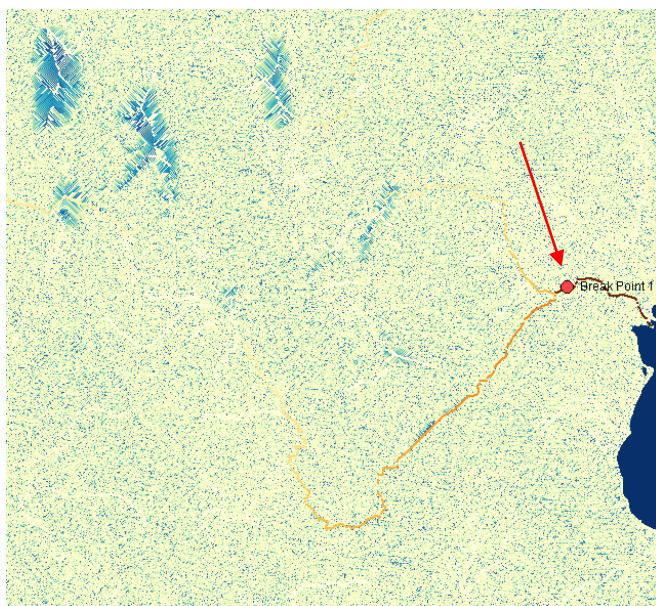
Η εντολή αυτή σκοπό είχε να ορίσει τα όρια της περιοχής αποστράγγισης για τη λεκάνη. Επί της ουσίας από που ξεκινάει η ροή και που καταλήγει.



Σχήμα 4.6: Αποτέλεσμα *Identify Streams*

4.2.6 Breaking Point

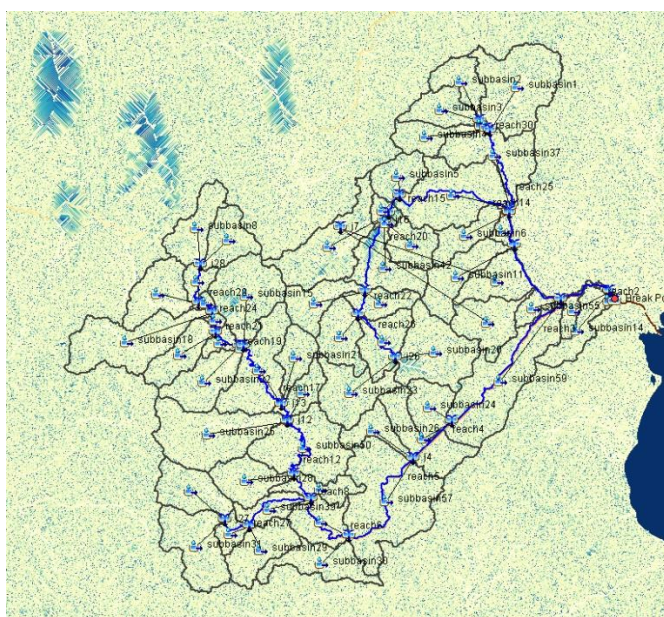
Στο επόμενο βήμα τοποθετείται το breaking point. Το σημείο αυτό τοποθετείται σε ένα σημείο πάνω στο δίκτυο που έχει εμφανιστεί από το προηγούμενο βήμα και αντιπροσωπεύει στην ουσία τις εκβολές του ποταμού. Στην παρούσα εργασία αντιπροσωπεύει το σημείο παρατήρησης της παροχής του ποταμού, επομένως τη γέφυρα του Νησελίου. Επιλέχθηκε συνειδητά σημείο το οποίο δεν είναι ακριβώς ταυτόσημο με τις εκβολές, καθώς το πρόγραμμα αντιμετωπίζει συχνά προβλήματα στην τοποθέτηση των μετεωρολογικών δεδομένων όταν η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει θάλασσα. Συνεπώς προς την πλευρά της ασφάλειας, η περιοχή μελέτης οριοθετείται στην ξηρά και μόνο.



Σχήμα 4.7: Εισαγωγή Breaking Point

4.2.7 Delineate Elements

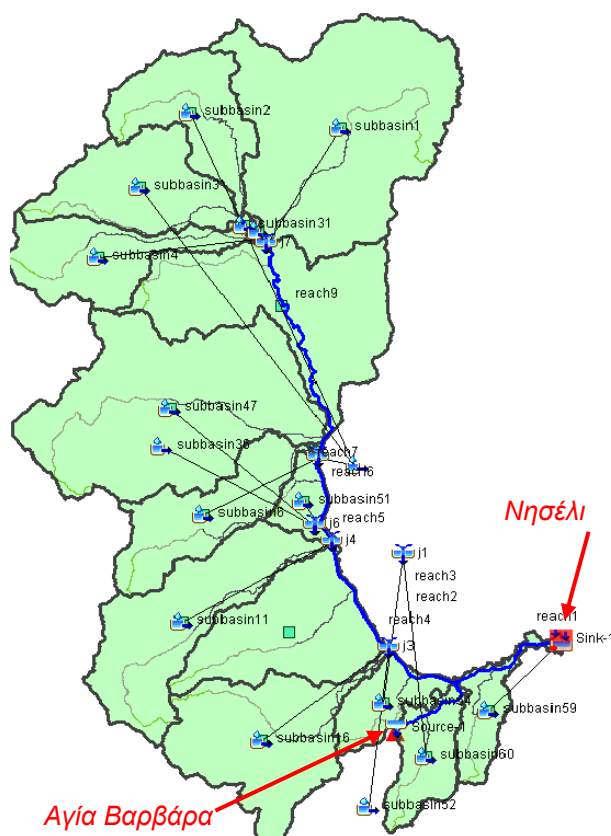
Η εντολή αυτή χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργήσει το δίκτυο συνδεδεμένων υπολεκανών και reaches. Τα reaches είναι στοιχεία που μπορεί να έχουν πολλές εισροές, αλλά μόνο μία εκροή. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η λεκάνη απορροής όπως αυτή φαίνεται στο διπλανό σχήμα.[26]



Σχήμα 4.8: Δημιουργία συνδέσεων

4.2.8 Split Elements

Εφόσον πρώτα διαγράφηκαν όσα στοιχεία δεν επρόκειτο να μελετηθούν, χρησιμοποιήθηκε η συγκεκριμένη εντολή προκειμένου ένα στοιχείο reach το οποίο περιλάμβανε περιοχή που δεν ενδιέφερε και συγκεκριμένα τμήμα πριν την Αγία Βαρβάρα να κοπεί και να περιοριστεί μόνο στην περιοχή ενδιαφέροντος. Για το λόγο αυτό το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας επιλέχθηκε ως σημείο να εισαχθεί με τη μορφή πηγής Source.



Σχήμα 4.9: Περιοχή μελέτης

4.3 Χαρακτηριστικά υπολεκανών

Τα γεωμετρικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά των υπολεκανών ανακτώνται από την εντολή *characteristics* -> *subbasin* και *characteristics* -> *reach* καθώς επίσης και από το *subbasin area*. Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω, ενώ το σύνολο των δεδομένων με τις αντίστοιχες τιμές παρατίθεται στο Παράρτημα.

Μέγιστη διαδρομή απορροής	Longest Flowpath Length (Km)
Μέγιστη κλίση στη διαδρομή απορροής	Longest Flowpath Slope
Μέγιστη διαδρομή απορροής από το κέντρο βάρους της υπολεκάνης	Centroidal Flowpath Length (Km)
Μέγιστη κλίση στη διαδρομή απορροής από το κέντρο βάρους της υπολεκάνης	Centroidal Flowpath Slope

Πίνακας 4.1: Παράδειγμα χαρακτηριστικών υπολεκανών που εξάγει

Κεφάλαιο 5ο

Προσομοίωση λειτουργίας λεκάνης απορροής

5.1 Οργάνωση της προσομοίωσης σε υπολογιστικό περιβάλλον

Παρακάτω παρουσιάζονται σε ενότητες όλα τα απαραίτητα δεδομένα και ρυθμίσεις που απαιτούνται, προκειμένου να γίνει η προσομοίωση της λεκάνης απορροής για τα διάφορα σενάρια που πρόκειται να εξεταστούν.

Μοντέλο λεκάνης απορροής

Όλα τα απαραίτητα υδρολογικά στοιχεία, τα οποία απαιτούνται την προσομοίωση της λεκάνης απορροής, απεικονίζονται στο πρόγραμμα με τη μορφή κατάλληλα επιλεγμένων συμβόλων. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται το δενδρικό δίκτυο της μορφής που δόθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει τις υπολεκάνες, τα υδατορεύματα, το φράγμα, τις συνδέσεις και την εκβολή – σημείο παρατήρησης. Όλοι οι υπολογισμοί ξεκινάνε από τα ανάντη της λεκάνης και καταλήγουν στα κατόντη έως το σημείο εξόδου – εκβολές. Το πρώτο αυτό βήμα αποτελεί και απαραίτητο στοιχείο προκειμένου να ενσωματωθούν όλες οι φυσικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στη λεκάνη.

Μετεωρολογικό μοντέλο

Ο ρόλος του μετεωρολογικού μοντέλου είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην προσομοίωση. Επί της ουσίας είναι υπεύθυνο για την προετοιμασία των οριακών συνθηκών που θα υπάρχουν στην έκταση της λεκάνης απορροής κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Σε περιπτώσεις όπως η μελετώμενη, όπου υπάρχουν υπολεκάνες πρέπει να καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα δημιουργούνται οι βροχοπτώσεις για κάθε υπολεκάνη. Το φαινόμενο της τήξης του χιονιού λαμβάνεται υπόψιν ανάλογα με την αναγκαιότητα της προσομοίωσης. Στη δεδομένη περίπτωση δεν ελήφθη υπόψιν καθώς μελετήθηκαν χειμερινοί μήνες όπου δεν συντρέχει λόγος τήξης χιονιού. Ο λόγος που επιλέχθηκαν χειμερινοί μήνες είναι για ευκολία

μελέτης και εξαιτίας απουσίας αναλυτικών δεδομένων για τη λειτουργία του φράγματος της Αγίας Βαρβάρας. Πιο συγκεκριμένα τους καλοκαιρινούς μήνες ένα μεγάλο τμήμα της παροχής νερού που εκρέει από το φράγμα χρησιμοποιείται για άρδευση στις γύρω περιοχές και προκειμένου να μην υπάρξει σφάλμα στις παραμέτρους, επιλέχθηκαν αυτές οι περίοδοι. Συνεπώς όπως προαναφέρθηκε δεν ελήφθη υπόψιν το λιώσιμο του χιονιού. Ωστόσο αυτό το οποίο όντως συμπεριλήφθηκε ήταν το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Τα δεδομένα για μία μέση τιμή εξατμισοδιαπνοής προέκυψαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.[27]

Το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, το οποίο αποτελεί τον συνδυασμό της εξάτμισης που συμβαίνει από την επιφάνεια του εδάφους και της διαπνοής που συμβαίνει από τη βλάστηση. Η εξάτμιση του ελεύθερου νερού μπορεί να προέρχεται τόσο από την επιφάνεια της βλάστησης, όσο και από την επιφάνεια του εδάφους. Είτε με τον ένα τρόπο, είτε με τον άλλο, αυτό που έχει σημασία είναι ότι το νερό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια της γης ή από το υπέδαφος. Παρότι λαμβάνονται υπόψιν μαζί ως φαινόμενο η εξάτμιση και η διαπνοή, η δεύτερη είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό κίνησης του νερού. Συχνά γίνεται λόγος για ποσοστό επιστροφής νερού της τάξεως του 50% του συνόλου των κατακρημνίσεων στην ατμόσφαιρα.

Το μετεωρολογικό μοντέλο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ποια μέθοδο επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Αρχικά δίνεται η δυνατότητα επιλογής αν θα ληφθεί υπόψιν η ακτινοβολία μικρού κύματος, πρόκειται για την εισερχόμενη ακτινοβολία από τον ήλιο και για μία από τις μεγαλύτερες πηγές ενέργειας που υπάρχουν στη γη. Ο συγκεκριμένος τύπος ακτινοβολίας ονομάζεται ακτινοβολία βραχυκυμάτων (είναι μηδενική τη νύχτα) και στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε να μη ληφθεί υπόψιν με κανένα πιθανό τρόπο από τις επιλογές, καθώς δεν ήταν απαραίτητο. Ο λόγος που δεν ήταν απαραίτητο ήταν διότι η εξατμισοδιαπνοή δεν υπολογίστηκε με τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου αλλά εισήχθη με έτοιμα δεδομένα. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο δεν ελήφθη υπόψιν ούτε η ακτινοβολία μεγάλου κύματος. Η συγκεκριμένη προέρχεται από την ενέργεια που εκπέμπεται από όλα τα σώματα. Ωστόσο αυτό που δόθηκε σημασία και συμπεριλήφθη στην εργασία ήταν οι βροχοπτώσεις (precipitation). Σε αυτό περιλαμβάνονται όλες οι κατακρημνίσεις, δηλαδή τόσο οι βροχοπτώσεις όσο και οι χιονοπτώσεις στην επιφάνεια της γης. Αποτελεί απαραίτητο στοιχείο καθορισμού ειδικά σε περιπτώσεις όπως η εξεταζόμενη όπου υπάρχει ένα πλήθος υπολεκανών. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος *specified hyetograph*. [27]

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί τα δεδομένα των κατακρημνίσεων εισήχθησαν όπως αυτά ανακτήθηκαν από το ERA5 (με μία διαδικασία που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια). Επομένως δε γίνεται λόγος για υπολογισμό με κάποια

μέθοδο και για αυτόν ακριβώς το λόγο, δηλαδή ότι εισάγονται ακριβείς χρονοσειρές αυτούσιες, επιλέχθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος. Επιπλέον επιλέγοντας στις επιλογές του μετεωρολογικού μοντέλου ότι η λεκάνη αποτελείται από υπολεκάνες δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης των υπολεκανών με κελιά-δείκτες, όπου σε αυτά εισάγονται οι χρονοσειρές ανά υπολεκάνη.[28] Έχοντας αυτά τα δεδομένα το μετεωρολογικό μοντέλο έχει καθοριστεί.

5.2 Μοντέλο λεκάνης απορροής

5.2.1 Συστατικά του μοντέλου της λεκάνης απορροής

Στοιχεία υδρολογικού δικτύου

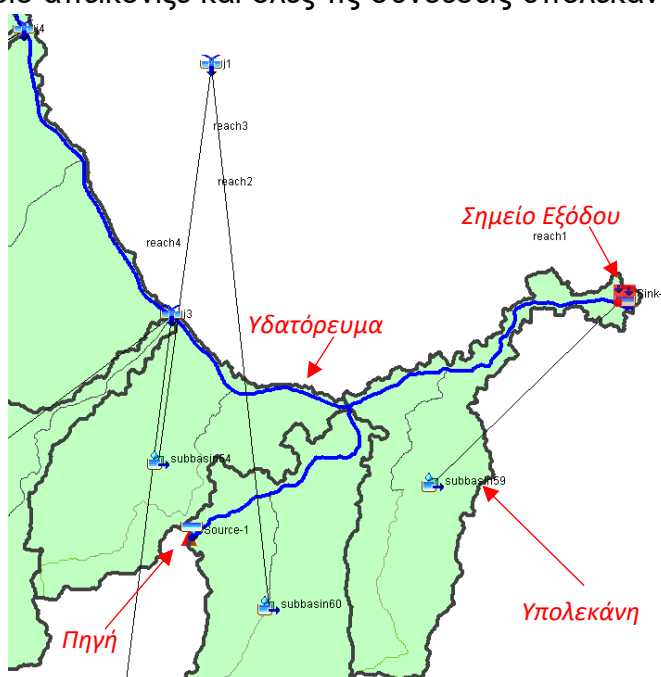
Στο αρχικό στάδιο επεξεργασίας η λεκάνη απορροής χωρίστηκε σε υπολεκάνες και χαράχθηκε το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο απεικονίζει και όλες τις συνδέσεις υπολεκανών και υδατορευμάτων.

Οι υπολεκάνες είναι στοιχεία τα οποία δε δέχονται καμία εισροή πέραν των κατακρημνίσεων και έχουν μοναδική εκροή. Η εκροή αυτή υπολογίζεται με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα, αφαιρώντας τις απώλειες και προσθέτοντας τις αρχικές συνθήκες ροής (baseflow).[29]

Τα υδατορεύματα είναι στοιχεία τα οποία μπορούν να δεχθούν μία ή περισσότερες εισροές αλλά μόνο μία εκροή. Οι εισροές προέρχονται από διαφορετικά στοιχεία του μοντέλου. Σε

περιπτώσεις όπου υπάρχουν παραπάνω από μία εισροές, τότε αυτές προστίθενται προτού υπολογιστεί η εκροή. Εν προκειμένω αναπαριστά ένα τμήμα του ποταμού, καθώς επίσης και τις ροές που δέχεται από τα υπόλοιπα στοιχεία.[30]

Μία πηγή αναπαριστά ένα στοιχείο το οποίο δεν έχει εισροές και έχει μία μοναδική εκροή. Χρησιμοποιείται για να δώσει τις οριακές συνθήκες στο μοντέλο, στην παρούσα εργασία να αποδώσει μελετώμενη εκροή από το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας.[31]



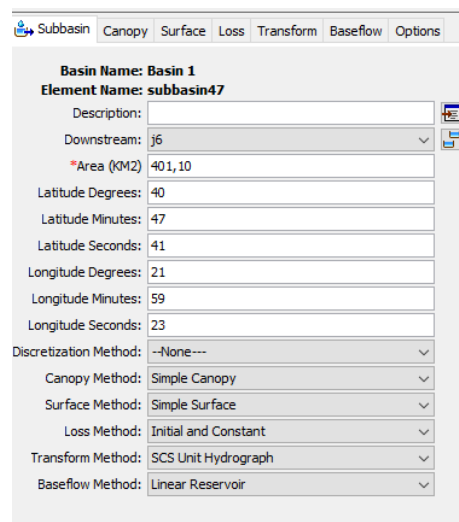
Σχήμα 5.1: Σύμβολα υδρολογικών στοιχείων

Τέλος το σημείο εξόδου, το χαμηλότερο σημείο στο οποίο συγκεντρώνονται οι απορροές, δέχεται μία ή παραπάνω εισροές αλλά δεν έχει εκροή. Πρόκειται για την έξοδο του μοντέλου απορροής της λεκάνης.

Μέθοδοι προσομοίωσης

Το HMS διαθέτει και χρησιμοποιεί ένα πλήθος μεθόδων με τις οποίες αναπαριστά τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη λεκάνη, προκειμένου να προσομοιωθεί καλύτερα η απορροή. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέθοδοι για τις οποίες ο χρήστης οφείλει να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα εργαστεί αλλά και να υπολογίσει τα απαιτούμενα δεδομένα σε κάθε περίπτωση.

- ✓ Μέθοδος *Canopy*.
- ✓ Μέθοδος *Surface*.
- ✓ Μέθοδος *Loss*.
- ✓ Μέθοδος *Transform*.
- ✓ Μέθοδος *Baseflow*.



Basin Name: Basin 1	
Element Name:	subbasin47
Description:	
Downstream:	j6
*Area (KM2):	401,10
Latitude Degrees:	40
Latitude Minutes:	47
Latitude Seconds:	41
Longitude Degrees:	21
Longitude Minutes:	59
Longitude Seconds:	23
Discretization Method:	--None---
Canopy Method:	Simple Canopy
Surface Method:	Simple Surface
Loss Method:	Initial and Constant
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	Linear Reservoir

Σχήμα 5.2: Μέθοδοι προσομοίωσης

5.2.2 Μέθοδος *Canopy*

Η συγκεκριμένη μέθοδος αφορά τη φυτοκάλυψη και ο χρήστης ορίζει για κάθε υπολεκάνη παραμέτρους με τις οποίες περιγράφει τη φυτοκάλυψη στην περιοχή. Ο λόγος που είναι σημαντική μέθοδος είναι διότι τα φυτά έχουν την ικανότητα να συγκρατούν ποσοστό των κατακρημνίσεων με αποτέλεσμα να μη φτάνουν στην επιφάνεια του εδάφους. Το νερό αυτό που αναχαιτίζεται, εξατμίζεται και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Μία άλλη σημαντική διεργασία είναι ότι τα φυτά μέσω της διαπνοής εξάγουν νερό από το έδαφος.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι από τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια επιθυμεί να εφαρμόσει. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος *simple canopy* ως καταλληλότερη, ωστόσο παρακάτω δίνονται λίγα λόγια για την κάθε μία.

Dynamic Method : Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει μία χωρητικότητα αποθήκευσης για τη συγκράτηση νερού αλλά και ένα συντελεστή συγκομιδής συναρτήσεως του χρόνου. Με αυτόν

τον τρόπο δηλώνεται ότι δε θα υπάρξει πτώση νερού στο έδαφος προτού γεμίσει ο χώρος αποθήκευσης.

Gridded Simple Method : Η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται στο ότι εφαρμόζεται με βάση πλέγματα. Κάθε κελί πλέγματος έχει ξεχωριστές τιμές τόσο για τις παραμέτρους όσο και για την καθίζηση.

Simple Canopy Method : Η συγκεκριμένη μέθοδος η οποία και επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία, είναι μία απλή εφαρμογή της διαδικασίας αναχαίτησης νερού βροχής από τα φυτά όπως περιεγράφηκε παραπάνω. Όλο το νερό συγκρατείται από τα φυτά έως να πληρωθεί αυτή η ικανότητα, ενώ στη συνέχεια περαιτέρω κατακρημνίσεις οδηγούνται

στο έδαφος. Προκειμένου να εφαρμοστεί η δεδομένη μέθοδος απαραίτητο είναι να προσδιοριστούν οι παράμετροι που φαίνονται στο **Σχήμα 5.3**. Η παράμετρος *initial storage* (%) αναφέρεται στην αρχική ποσότητα νερού, τη βλάστηση χαμηλού ύψους που υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους και συγκρατεί ποσότητα νερού. Εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι λιγότερο νερό συγκρατείται σε ξερές περιοχές χωρίς βλάστηση, ενώ περισσότερο σε περιοχές οι οποίες για παράδειγμα έχουν μεγάλη κάλυψη με πευκοβελόνες. Πρόκειται για αυθαίρετη απόφαση, εδώ τέθηκε το ποσοστό του 50% ως μία μέση απόφαση. Η παράμετρος *max storage* (mm) εξαρτάται από τη φύση του εδάφους, δηλαδή τις χρήσεις γης που υπάρχουν στην περιοχή. Για παράδειγμα σε μία αστική περιοχή τείνει στο 0, ενώ σε μία περιοχή όπου υπάρχει πυκνό δάσος παίρνει πολύ μεγαλύτερες τιμές.[32]

Basin Name: Basin 1	
Element Name: subbasin47	
*Initial Storage (%)	50
*Max Storage (MM)	1,57
Crop Coefficient:	1,0
Evapotranspiration:	Only Dry Periods
Uptake Method:	--None--

Σχήμα 5.3: Μέθοδος Simple Canopy

Εκτίμηση παραμέτρων

Προκειμένου να υπολογιστεί η παράμετρος *max storage* σε χιλιοστά ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια. Σε αρχικό στάδιο προσδιορίστηκαν οι χρήσεις γης ανά υπολεκάνη σε ποσοστά %. Η διαδικασία αυτή διενεργήθηκε στο πρόγραμμα QGIS. Εφόσον φορτώθηκαν το αρχείο υπολεκανών το οποίο δημιουργήθηκε στο στάδιο επεξεργασίας από το HEC-HMS, το αρχείο *corine land 2000* το οποίο περιγράφει όλες τις χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης αλλά και τα *high resolution layers* τα οποία και αυτά με τη σειρά τους περιγράφουν τις χρήσεις γης υπολογίσθηκε το ποσοστό χρήσης γης. Ο λόγος για τον οποίο δε χρησιμοποιήθηκε εξ ολοκλήρου το *corine land* ήταν διότι δεν παρέχει μεγάλη ακρίβεια με αποτέλεσμα να υπάρχει σε κάποιες περιπτώσεις υπερεκτίμηση και σε άλλες υποεκτίμηση των χρήσεων γης. Ωστόσο τα *high resolution layers* δε διαθέτουν πληροφορίες

για ολόκληρη την επιφάνεια, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αδιευκρίνιστες περιοχές. Άρα, αυτό που πραγματοποιήθηκε ήταν η εύρεση του ποσοστού χρήσης για τις τεχνητές εκτάσεις (imperviousness), για δάση (forest type), για κωνοφόρα δέντρα (tree plantation), εκτάσεις χαμηλής βλάστησης (grassland), και για υδάτινα στοιχεία (water and wetness). Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκε η εντολή *zonal histogram* και *zonal statistics* στο QGIS. Με την εντολή αυτή παράγεται ένας πίνακας για κάθε layer όπου καθορίζονται για κάθε υπολεκάνη πόσα κελιά από τα συνολικά καταλαμβάνουν τη συγκεκριμένη χρήση. Βγάζοντας έναν σταθμισμένο μέσο όρο για κάθε υπολεκάνη προκύπτει το τελικό ποσοστό. Η διαφοροποίηση στις δύο εντολές έγκειται στον τρόπο με τον οποίο είναι διαμορφωμένο κάθε layer. Πιο συγκεκριμένα στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν διακριτές τιμές χρησιμοποιείται η εντολή *zonal histogram*, ενώ σε περιπτώσεις με συνεχείς τιμές χρησιμοποιείται το *zonal statistics* όπου βγάζει κατευθείαν μία μέση τιμή για κάθε υπολεκάνη. Ωστόσο αυτές οι χρήσεις γης από τα high resolution layers δεν καλύπτουν όλη την επιφάνεια. Το υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης καταλαμβάνεται κυρίως από ξερές, άγονες περιοχές και προκειμένου να προσδιοριστούν αυτές οι χρήσεις αθροίστηκαν όλα τα high resolution layers, παράγοντας ένα νέο layer με το raster calculator του QGIS και η τελική εικόνα αφαιρέθηκε από το corine. Όμοια από το υπόλοιπο προσδιορίστηκαν τα ποσοστά των περιοχών αυτών.

Στη συνέχεια τα ποσοστά αυτά πολλαπλασιάστηκαν με αντίστοιχους συντελεστές, οι οποίοι αντιστοιχούν σε κάθε χρήση γης, ώστε να υπολογιστεί το ζητούμενο max storage (mm). Τέλος αθροίζοντας όλα τα γινόμενα προέκυψε το τελικό max storage (mm) για κάθε υπολεκάνη. Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρατίθενται στο παράρτημα.

5.2.3 Μέθοδος Surface

Πρόκειται για μέθοδο κατά την οποία υπολογίζεται η ικανότητα του εδάφους να κατακρατεί νερό στην επιφάνεια του. Μέρος αυτής της αποθήκευσης μπορεί να διηθήσει στο έδαφος και να υποστεί στη συνέχεια το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Και σε αυτήν την περίπτωση δίνεται η δυνατότητα επιλογής μίας από τις παρακάτω μεθόδους, ενώ στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος simple surface.

Gridded Simple Surface Method : Πρόκειται για μία απλή μέθοδο η οποία εφαρμόζει ανάλυση σε πλέγματα – κελιά. Κάθε κελί – πλέγμα διαθέτει ξεχωριστές παραμέτρους και δεδομένα καθίζησης.

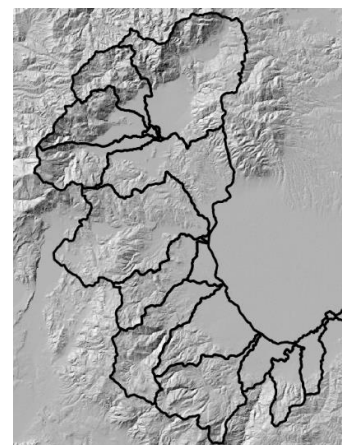
Simple Surface Method : Πρόκειται για μία πιο σύνθετη μέθοδο. Στη συγκεκριμένη μέθοδο γίνεται η θεώρηση αποθήκευσης όλων των κατακρημνίσεων στην επιφάνεια, ωστόσο υπάρχει η ικανότητα διείσδυσης στο έδαφος προτού γεμίσει η χωρητικότητα της επιφάνειας. Μόνο εφόσον γεμίσουν οι αποθηκευτικοί χώροι στο υπέδαφος συνεχίζει να αποθηκεύεται στην επιφάνεια για όση χωρητικότητα διαθέτει. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία καθώς ήταν αρκετά απλή η διαδικασία υπολογισμού των απαραίτητων παραμέτρων αλλά και ακριβής. Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο έτσι και εδώ πρέπει να καθοριστούν κάποιοι παράμετροι. Συγκεκριμένα η παράμετρος *initial storage* αφορά τις αρχικές συνθήκες με τις οποίες ξεκινάει η λεκάνη, δηλαδή το ποσοστό νερού που ήδη υπάρχει αποθηκευμένο στην επιφάνεια. Πρόκειται και πάλι για ένα αυθαίρετο νούμερο το οποίο επιλέγεται ως 50% για μία μέση λύση. Ωστόσο αυτό το οποίο πρέπει να υπολογιστεί είναι το *max storage (mm)*. Πρόκειται για μία παράμετρο που περιγράφει τη μέγιστη ποσότητα νερού η οποία μπορεί να συκρατηθεί στην επιφάνεια προτού να ξεκινήσει το φαινόμενο της επιφανειακής απορροής.[33]

Subbasin	Canopy	Surface	Loss	Transform	Baseflow	Options
Basin Name: Basin 1						
Element Name: subbasin47						
*Initial Storage (%)		50				
*Max Storage (MM)		7,655				

Σχήμα 5.4: Μέθοδος Simple Surface

Εκτίμηση παραμέτρων

Προκειμένου να υπολογιστεί η παράμετρος *max storage* πρωταρχικό βήμα αποτέλεσε ο υπολογισμός των κλίσεων για τις υπολεκάνες. Το βήμα αυτό πραγματοποιήθηκε στο QGIS, όπου εφαρμόστηκε η εντολή *slope* στην αρχική εικόνα DEM που είχε εισαχθεί. Περιορίζοντας την περιοχή στα όρια της λεκάνης απορροής, δηλαδή στην περιοχή ενδιαφέροντος υπολογίσθηκαν οι μέσες κλίσεις των υπολεκανών. Αυτές με τη σειρά τους χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένο ώστε με γραμμική παρεμβολή στον **Πίνακα 6.1** να προκύψει η τιμή για κάθε υπολεκάνη. Αναλυτικά αποτελέσματα για τον υπολογισμό κάθε υπολεκάνης παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 5.5: Κλίσεις λεκάνης απορροής

<i>Slope %</i>	<i>Surface Storage(mm)</i>
0-5	50,8
6-30	6,35-12,70
>30	1,02

Πίνακας 5.1: Αντιστοίχιση κλίσεων με Surface storage

5.2.4 Μέθοδος Loss

Κάθε στοιχείο υπολεκάνης αντιπροσωπεύει επί της ουσίας το σύνολο της διείσδυσης, της επιφανειακής απορροής και το σύνολο των επιφανειακών διεργασιών που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Ωστόσο οι υπολογισμοί της ποσότητας του νερού που διεισδύει στο υπέδαφος πραγματοποιείται με μία μέθοδο απωλειών. Υπάρχουν πάρα πολλές μέθοδοι απωλειών με τις οποίες μπορεί να εργαστεί ο εκάστοτε χρήστης με κοινό στοιχείο όλων, ότι εφαρμόζουν την αρχή διατήρησης της μάζας. Δηλαδή, το άθροισμα της διείσδυσης και της βροχόπτωσης που απομένει στην επιφάνεια, θα ισούται σε όλες με τη συνολική κατακρήμνιση.

Deficit and Constant Loss Method : Πρόκειται για μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί ένα μοναδικό ενιαίο στρώμα εδάφους προκειμένου να υπολογίσει τις συνεχείς μεταβολές της υγρασίας εδάφους. Για να χρησιμοποιηθεί κρίνεται απαραίτητος ο συνδυασμός της με κάποια μέθοδο κάλυψης η οποία να λαμβάνει υπόψιν την εξαγωγή νερού από το έδαφος μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Πρόκειται για μία μέθοδο κατάλληλη για παρακολούθηση μεγάλων χρονικών διαστημάτων, καθώς λαμβάνει υπόψιν της όλες τις μεταβολές της υγρασίας.

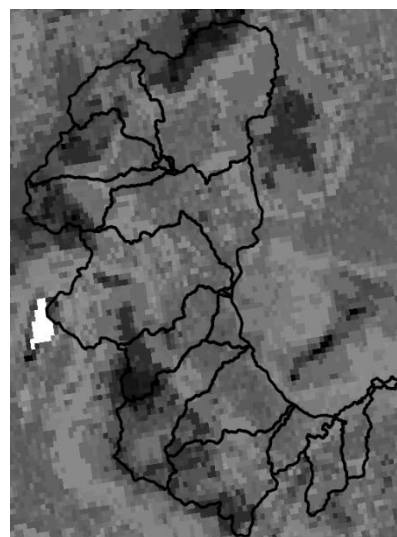
Initial and Constant Loss Method :

Πρόκειται για τη μέθοδο η οποία επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία. Η εφαρμογή της μεθόδου αρχικών και σταθερού ρυθμού απωλειών απαιτεί τον προσδιορισμό κάποιων παραμέτρων προκειμένου να χρησιμοποιηθεί. Η συγκεκριμένη μέθοδος κάνει τη θεώρηση ότι όλη η ποσότητα νερού αρχικά διηθείται στο έδαφος έως ότου να υπάρξει πληρότητα. Έως το τέλος της προσομοίωσης ένα σταθερό μέρος διηθείται και το υπόλοιπο απορροεί επιφανειακά.

Σχήμα 5.6: Μέθοδος Initial and Constant Loss

Εκτίμηση παραμέτρων

Η πρώτη παράμετρος η οποία καθορίστηκε είναι το initial loss (mm). Πρόκειται για μία προσέγγιση της αρχικής καθίζησης και το νούμερο που επιλέχθηκε για τις υπολεκάνες ήταν αυθαίρετο, βασισμένο στις πληροφορίες του hms manual. Οι τιμές που λαμβάνει συνήθως είναι 10-20% και από την πλευρά της ασφάλειας επιλέχθηκε εδώ το 15%. Εξαρτάται από το πόσο κορεσμένο είναι το έδαφος. Για παράδειγμα ένα ξερό έδαφος απορροφάει περισσότερο από ότι ένα κορεσμένο. Το constant rate αντίθετα αντιπροσωπεύει το ρυθμό διήθησης σε mm/hr. Μία καλή προσέγγιση αυτού του ρυθμού είναι η παράμετρος *hydraulic saturated conductivity* – υδραυλικής αγωγιμότητας. Επομένως, για να προσδιοριστεί χρησιμοποιήθηκε από τον ESDAC ένας χάρτης που διαθέτει αυτήν την πληροφορία ως layer. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο zonal statistics στο QGIS, βρέθηκε μία μέση τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας για κάθε υπολεκάνη. Ωστόσο, τα αποτελέσματα μετατράπηκαν σε μονάδες σύμφωνες με το σύστημα αναφοράς του λογισμικού, δηλαδή από cm/day σε mm/hr. Τα αναλυτικά αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν παρουσιάζονται στο παράρτημα.



Σχήμα 5.7: Υδραυλική αγωγιμότητα λεκάνης

SCS Curve Number Method : Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μία απλή σχετικά μέθοδος όπου βασίζεται στον υπολογισμό του μοναδικού αριθμού για κάθε υπολεκάνη CN. Επί της ουσίας ο αριθμός αυτός εκφράζει τον όγκο του νερού που θα απορρεύσει σε σχέση πάντοτε με το είδος του εδάφους καθώς και τις χρήσεις γης που υπάρχουν. Ωστόσο, πρόκειται για μέθοδο εφαρμόσιμη μόνο σε μεμονωμένα περιστατικά βροχόπτωσης ή για λίγες μόνο ημέρες, καθώς το έδαφος θεωρείται ότι εξακολουθεί να έχει τον ίδιο βαθμό κορεσμού σε όλη την προσομοίωση.[34]

Soil Moisture Accounting Method : Πρόκειται για μέθοδο η οποία για να λειτουργήσει χρειάζεται να οριστούν οι αρχικές παράμετροι αποθηκευτικότητας και υγρασίας. Χωρίζει το έδαφος σε πέντε διαδοχικά επίπεδα, από τα οποία τα πρώτα δύο προσομοιώνουν την κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη και ως βασική μεθοδολογία χρησιμοποιείται ότι κάθε φορά γεμίζει διαδοχικά ένα επίπεδο και δεν ξεκινάει η κατείδυση σε άλλο εάν προηγουμένως δεν έχει πληρωθεί το προηγούμενο.[34]

Exponential Loss Method : Πρόκειται για μία εμπειρική μέθοδο κατά την οποία προσομοιώνεται ο ρυθμός κορεσμού του εδάφους από μία λογαριθμική συνάρτηση. Η διήθηση ακολουθεί αρχικά έναν αυξανόμενο ρυθμό έως ένα σημείο, όπου και αρχίζει να μειώνεται. Απαιτεί βαθμονόμηση και δεν ενδείκνυται παρά μόνο για ειδικές περιπτώσεις, καθώς δεν είναι κατάλληλη για συνεχή προσομοίωση.[34]

Green and Ampt Loss Method : Χρησιμοποιείται για μη μόνιμες ροές στο έδαφος. Για την εφαρμογή του απαιτούνται ένα πλήθος δεδομένων όπως ο αρχικός κορεσμός, ο μέγιστος κορεσμός, το ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας κ.α.[35]

Smith Parlange Loss Method : Χρησιμοποιείται μόνο για προσομοίωση περιστατικών βροχής και προσεγγίζει την εξίσωση Richard. Θεωρεί ότι το μέτωπο διαβροχής μπορεί να αναπαρασταθεί ικανοποιητικά με τη χρήση υδραυλικής αγωγιμότητας.[34]

Οι υπόλοιπες μέθοδοι είναι όμοιες με αυτές που περιεγράφηκαν παραπάνω με τη μόνη διαφοροποίηση ότι χωρίζουν τη λεκάνη απορροής σε κάρναβο με κελιά, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα καθορισμού διαφορετικής τιμής παραμέτρου σε κάθε κελί.

5.2.5 Μέθοδος Transform

Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι η μετατροπή των κατακρημνίσεων σε σημειακή απορροή. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος SCS Unit Hydrograph. Ωστόσο, παρακάτω περιγράφονται όλες οι πιθανές μέθοδοι.

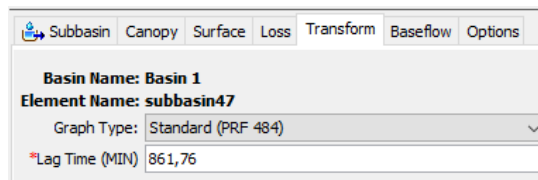
Clark Unit Hydrograph Method : Πρόκειται για τη μέθοδο μοναδιαίου υδρογραφήματος κατά Clark. Απαιτούμενα δεδομένα είναι κάποια βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι χρήσεις γης. Δημιουργείται ένα διάγραμμα επιφάνειας – χρόνου όπου αναπαριστά το ποσοστό της λεκάνης το οποίο συμμετέχει κάθε χρονική στιγμή στη σημειακή απορροή, έως ότου συγκεντρωθεί όλος ο όγκος νερού στο σημείο εξόδου. Η απορροή συμβαίνει με τη χρήση γραμμικού ταμιευτήρα, όπου το πλεόνασμα της βροχής που διέρχεται μέσα από τον ταμιευτήρα μειώνεται με τη μερική αποθήκευση του.

ModClark Method : Η τροποποιημένη μέθοδος Clark έχει ακριβώς τον ίδιο τρόπο λειτουργίας και χαρακτηριστικά με την απλή μέθοδο Clark.

Kinematic Wave Method : Η κινηματική μέθοδος κυμάτων αποτελεί τη μοναδική μέθοδο, η οποία χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να αναπαραστήσει την απορροή σε αστικό περιβάλλον. Βασική αρχή λειτουργίας της αποτελεί ότι χωρίζει το έδαφος σε δύο τμήματα, το διαπερατό και το αδιαπέρατο και υπολογίζει την απορροή χωριστά που αντιστοιχεί στο καθένα. Το νερό μπορεί να καταλήγει στο σημείο εξόδου είτε με φυσικούς ή με τεχνητούς

αγωγούς. Η τελική απορροή αποτελεί το άθροισμα των γινομένων ποσοστού συνεισφοράς επιπέδου με απορροή.

SCS Unit Hydrograph Method : Η μέθοδος αυτή, η οποία και επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία, αρχικά αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό της απορροής σε αγροτικές εκτάσεις. Απαραίτητοι παράμετροι για τη χρήση είναι η επιλογή του κατάλληλου τύπου υδρογραφήματος και ο υπολογισμός του χρόνου καθυστέρησης lag time.



Σχήμα 5.8: SCS Unit Hydrograph

Εκτίμηση παραμέτρων

Στην εξεταζόμενη περίπτωση θεωρήθηκε ότι για τον τύπο υδρογραφήματος, καταλληλότερο θα ήταν το Standard (PRF 484) από τις δοθείσες επιλογές. Για το χρόνο συγκέντρωσης – καθυστέρησης επιλέχθηκε ο τύπος Giandotti. Γενικά, υπάρχουν πάρα πολλές διαφορετικές μέθοδοι και τύποι για να υπολογίσει κανείς το χρόνο συγκέντρωσης σε μία λεκάνη. Βιβλιογραφικά, προτείνεται η αξιολόγηση του σχήματος της λεκάνης για τη χρήση του τύπου που αρμόζει σε κάθε περίπτωση. Δεδομένου ότι ο τύπος Giandotti, είναι ένας γενικά εύχρηστος μαθηματικός τύπος και ότι έχει εφαρμοσθεί πειραματικά στην Ιταλία αποδεικνύοντας ότι επιφέρει πολύ αξιόλογα αποτελέσματα και λαμβάνοντας υπόψιν τις μορφολογικές ομοιότητες του εδάφους της Ιταλίας με την Ελλάδα, θεωρήθηκε η καταλληλότερη επιλογή.[35][36][37]

$$\text{Τύπος Giandotti: } \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{\min}} - H_{\min}}$$

Επομένως, για τον υπολογισμό απαιτείται το εμβαδόν της υπολεκάνης (A) το οποίο προκύπτει από το στάδιο δημιουργίας της λεκάνης στο HMS και βρέθηκε με την εντολή *Parameters-> Subbasin area*, η μέγιστη διαδρομή απορροής (L), η οποία προέκυψε από την εντολή *Subbasin Characteristics* και τέλος το ελάχιστο (Hmin) και το μέσο υψόμετρο (Hmn) κάθε υπολεκάνης. Τα δύο τελευταία δεδομένα προέκυψαν από το πρόγραμμα QGIS και πιο συγκεκριμένα μέσα από την εντολή *slope* που είχε ήδη χρησιμοποιηθεί. Χρησιμοποιώντας λοιπόν, *zonal statistics* και επιλέγοντας ως επιθυμητά εξαγόμενα δεδομένα την ελάχιστη και μέση τιμή για κάθε υπολεκάνη προέκυψαν και αυτά τα δεδομένα. Αναλυτικά αποτελέσματα για τους χρόνους συγκέντρωσης και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στο παράρτημα.

Synder Unit Hydrograph Method : Η μέθοδος μοναδιαίου υδρογραφήματος κατά Synder είναι μία ειδική μονάδα υδρογραφήματος. Απαιτούμενοι παράμετροι είναι η καθυστέρηση σε ώρες και ένας συντελεστής αιχμής.

User – Specified S-graph Method : Στις περιπτώσεις όπου ο χρήστης επιθυμεί να καθορίσει μόνος του τη σχέση μεταξύ περίσσειας κατακρήμνισης και απορροής χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη μέθοδο. Ωστόσο, για να γίνει αυτό είναι απαραίτητη η γνώση των ακριβών σχέσεων μεταξύ κατακρήμνισης και απορροής.

User – Specified Unit Hydrograph Method : Πρόκειται για μέθοδο που χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως και η προηγούμενη.[35]

5.2.6 Μέθοδος Baseflow

Το baseflow είναι από τα πιο κρίσιμα στοιχεία της λεκάνης. Περιγράφει τη ροή του νερού από τις πηγές, το πώς το νερό φτάνει στις πηγές και από εκεί στο ποτάμι. Γίνεται η θεώρηση ότι το νερό αφού φτάσει στο έδαφος κατεισδύει σε αυτό, ωστόσο λόγω της φύσης του εδάφους ένα μέρος ξαναβγαίνει στην επιφάνεια. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αναπαράστασης του baseflow. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η Linear Reservoir, η οποία θεωρήθηκε η καταλληλότερη μέθοδος. Στη συνέχεια γίνεται λόγος για τις μεθόδους που μπορούν να επιλεγθούν.

Recession Method : Η μέθοδος υποχώρησης χρησιμοποιεί εκθετική κατανομή για την πτώση του baseflow. Θεωρείται κατάλληλη μέθοδος για περιπτώσεις όπου ο υδροκρίτης επηρεάζεται έντονα από τις βροχοπτώσεις.

Bounded Recession Method : Πρόκειται για παραλλαγή της προηγούμενης μεθόδου. Πρόκειται για μέθοδο κατάλληλη για προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο. Η διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να καθορίσει χωριστά τις μηνιαίες τιμές του baseflow.

Constant Monthly Method : Η σταθερή μηνιαία βασική ροή αποτελεί την πιο απλή μέθοδο προσομοίωσης. Για να χρησιμοποιηθεί απαιτείται μόνο ο προσδιορισμός μιας σταθερής τιμής baseflow, η οποία μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μήνα.

Nonlinear Boussinesq Method : Η μέθοδος αυτή είναι σχεδιασμένη να προσεγγίζει τη τυπική συμπεριφορά των λεκανών απορροής όταν η ροή του καναλιού υποχωρεί ύστερα από κάποιο έντονο περιστατικό. Έχει κοινά στοιχεία με τη μέθοδο βασικής ροής, ωστόσο στη συγκεκριμένη μέθοδο μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα πεδίου. Επιλέγεται κατά κύριο λόγο για την προσομοίωση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως καταιγίδες και έχει τη

δυνατότητα να επανέρχεται αυτόματα στις αρχικές συνθήκες μετά από καταιγίδα, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για συνεχή προσομοίωση.

Linear Reservoir Method : Η συγκεκριμένη μέθοδος όπως προαναφέρθηκε επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία ως η καταλληλότερη μέθοδος. Στη μέθοδο αυτή γίνεται η θεώρηση ύπαρξης δύο υπόγειων δεξαμενών οι οποίες τροφοδοτούν το ποτάμι με το baseflow. Οι υπόγειες δεξαμενές τροφοδοτούνται με το loss της προηγούμενης μεθόδου που περιεγράφηκε. Στο σημείο αυτό γίνεται ένα λογικό

άλμα. Στην υδρολογία χρησιμοποιείται ο όρος συντελεστής απορροής, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού της βροχής που απορρέει επιφανειακά. Για παράδειγμα, ένα ποσοστό 30% σημαίνει ότι το 30% απορρέει επιφανειακά και το 70% κατεισδύει. Ωστόσο, το baseflow ως μέθοδος υποστηρίζει ότι ένα μέρος του νερού θα ξαναβγει στην επιφάνεια. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής απορροής. Για τον υπολογισμό του υπάρχει η ορθολογική μέθοδος, η οποία λαμβάνει υπόψιν και πάλι το ποσοστό φυτοκάλυψης του εδάφους και πολλά ακόμα δεδομένα, δίνοντας τελικά το συντελεστή απορροής για κάθε υπολεκάνη. Πρόκειται για τη μοναδική μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί την αρχή διατήρησης της μάζας μέσα στη λεκάνη.

Parameter	Value
Basin Name	Basin 1
Element Name	subbasin47
Reservoirs	2
Initial Type	Discharge
*GW 1 Flow Type	Baseflow
*GW 1 Initial (M3/S)	0,43131
*GW 1 Fraction	0,037
*GW 1 Coefficient (HR)	143,6264172
*GW 1 Steps	1
*GW 2 Flow Type	Baseflow
*GW 2 Initial (M3/S)	0,43131
*GW 2 Fraction	0,275
*GW 2 Coefficient (HR)	1149,011338
*GW 2 Steps	1

Σχήμα 5.9: Linear Reservoir

Εκτίμηση παραμέτρων

Αρχικά υπολογίστηκε ο συντελεστής απορροής, δηλαδή το fraction. Ο συντελεστής αυτός χωρίστηκε μετά στις δύο δεξαμενές με τη λογική ότι στη δεξαμενή ένα θα βρίσκεται το 10% περίπου του συντελεστή και στη δεξαμενή δύο το υπόλοιπο 90% περίπου. Πρόκειται για έναν αρκετά σύνθετο συντελεστή στον υπολογισμό του, καθώς αναλύεται σε τέσσερις συνιστώσες, οι οποίες υπολογίστηκαν χωριστά και στο τέλος αθροίστηκαν προκειμένου να δώσουν το συνολικό συντελεστή. Οι συνιστώσες αυτές είναι:

- ✓ C_f , το οποίο εξαρτάται από το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους της λεκάνης απορροής.
- ✓ C_i , το οποίο εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους.
- ✓ C_v , το οποίο εξαρτάται από το ποσοστό και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης.

- ✓ Cs, το οποίο εξαρτάται από την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της λεκάνης απορροής.[38]

Χαρακτηριστικά επιφάνειας εδάφους		Ακραίες	Υψηλές	Συνήθεις	Χαμηλές
#	1	2	3	4	5
1	Cr Ανάγλυφο εδάφους	0,28-0,35 επικλινές, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	0,20-0,28 λοφώδες, με μέσες κλίσεις 10 έως 30%	0,14-0,20 κυματώδες, με μέσες κλίσεις 5-10%	0,08-0,14 σχετικά επίπεδο με μέσες κλίσεις 0- 5%
2	Ci Διηθητικότητα εδάφους	0,12 - 0,16 μη επηρεαζόμενο κάλλυμα εδάφους, είτε βραχώδες, είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0,08-0,12 βραδείας διηθητικότητας, άργυλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0,06-0,08 κανονικής διηθητικότητας, καλά αποστραγγιζόμενο μικρής ή μεσαίας μακροφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη ιλύες και ιλύδη εδάφη	0,04-0,06 υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος, ή άλλο έδαφος, που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμεν α εδάφη
3	Cv Φυτική κάλυψη εδάφους	0,12-0,16 βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	0,08-0,12 πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυτικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0,06-0,08 μέτρια έως καλή, περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0,04-0,06 καλή έως άριστη, περίπου το 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
4	Cs Αποθηκευτικό επιφάνειας εδάφους	0,10-0,12 αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα ή βάλτοι.	0,08-0,10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα, βάλτοι	0,06-0,08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα ή βάλτοι	0,04-0,06 υψηλή, αποθηκευτικότη α, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών, ή τελμάτων, βάλτων

Πίνακας 5.2: Επιμέρους συντελεστές απορροής (πηγή ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ 2013)

Για τη συνιστώσα Cr χρησιμοποιήθηκαν οι κλίσεις που είχαν βρεθεί για κάθε υπολεκάνη και με αυτές έγινε γραμμική παρεμβολή στα όρια που αναφέρονται στον **Πίνακα 5.2**.

Για τη συνιστώσα Ci χρησιμοποιήθηκε χάρτης διηθητικότητας στο QGIS. Στο χάρτη αυτό με την εντολή zonal statistics υπολογίσθηκε μία μέση τιμή για κάθε υπολεκάνη. Αυτή η μέση τιμή χρησιμοποιήθηκε για γραμμική παρεμβολή στα παραπάνω όρια, θεωρώντας ότι οι ακραίες τιμές λαμβάνονται στα ελάχιστα και μέγιστα όρια της εικόνας διηθητικότητας.

Για τη συνιστώσα Cv έγινε ένας μετασχηματισμός των τιμών του χάρτη με τιμές από 0,04 – 0,16, όπως παρατίθεται στο παράρτημα με στόχο την εύρεση μίας μέσης τιμής σε κάθε υπολεκάνη.

Για τη συνιστώσα Cs δημιουργήθηκε στο QGIS ένα νέο layer. Αφαιρώντας από την αρχική εικόνα DEM το layer fillsinks που παράχθηκε στο στάδιο επεξεργασίας στο hms,

δημιουργήθηκε το νέο layer, το οποίο και αυτό με γραμμική παρεμβολή έλαβε τα κατάλληλα αποτελέσματα.

Αθροίζοντας όλες τις προαναφερθείσες συνιστώσες προέκυψε ο συνολικός συντελεστής απορροής, ο οποίος και μοιράστηκε στις δύο δεξαμενές.

Οι χρόνοι οι οποίοι απαιτούνται να εισαχθούν στο πρόγραμμα έχει διαπιστωθεί ότι αποτελούν κάποιο παράγωγο του χρόνου συγκεντρώσεως, ο οποίος υπολογίστηκε σε προηγούμενη μέθοδο. Στην παρούσα εργασία μέσα από τα σενάρια τα οποία διενεργήθηκαν και τα οποία περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο διαπιστώθηκε ποιες τιμές ήταν οι καταλληλότερες ώστε να ταιριάζουν τελικά στο σύνολο της λεκάνης και να αποδίδουν αποδεκτά αποτελέσματα σε κάθε υποθετικό σενάριο που θα υποβαλλόταν το μοντέλο.

Όμοια και ο συντελεστής initial αποτελεί τις αρχικές συνθήκες τις οποίες λαμβάνει υπόψιν το μοντέλο ξεκινώντας, δηλαδή μία αρχική παροχή η οποία υπάρχει θεωρητικά στις δεξαμενές. Πρόκειται και σε αυτήν την περίπτωση για ένα νούμερο το οποίο δεν υπολογίζεται, αλλά μέσα από τα σενάρια και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, υπολογίστηκε πόσο θα έπρεπε να ήταν. Αυτό το νούμερο έπειτα διαιρέθηκε διά δύο, ώστε να είναι ίσο και στις δύο δεξαμενές. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι πρόκειται για ένα δεδομένο το οποίο μεταβάλλεται ανά σενάριο προσομοίωσης. Καθώς γίνεται λόγος για αρχική συνθήκη, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι ανάλογα με το χρονικό διάστημα που επιλέγεται αυτό διαφοροποιείται, επομένως για κάθε σενάριο επιλέχθηκε εκείνο που ταίριαζε καλύτερα στα δεδομένα.

5.2.7 Μέθοδος Υδρολογικής διασύνδεσης υδατορευμάτων

Με τη μέθοδο υδρολογικής διασύνδεσης υδατορευμάτων περιγράφεται η κίνηση του νερού εντός του κύριου υδατορεύματος. Είναι γνωστά ως μοντέλα δρομολόγησης και η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση ανοιχτών αγωγών, στις εξισώσεις συνέχειας και στην εξίσωση ορμής. Στο πρόγραμμα υπάρχουν έξι διαθέσιμες μέθοδοι για τη συγκεκριμένη προσομοίωση. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Lag, για την οποία θα γίνει λόγος εκτενέστερα στη συνέχεια.

- ✓ Kinematic Wave
- ✓ Lag
- ✓ Modified Puls
- ✓ Muskingum
- ✓ Muskingum - Cunge

✓ Straddle Stagger

Kinematic Wave Method : Πρόκειται για μία μέθοδο η οποία αγνοεί τις δυνάμεις αδράνειας και πίεσης και προσεγγίζει σε λειτουργία τις εξισώσεις μόνιμης ροής. Γενικά χρησιμοποιείται για απότομα υδατορεύματα, καθώς η κλίση της γραμμής ενέργειας ακολουθεί την κλίση του ποταμού.

Modified Puls Method : Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί τη διατήρηση της μάζας και της εισροής εκροής στο υδατόρευμα, ωστόσο δε χρησιμοποιεί τη διατήρηση της ορμής. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η εξασθένιση είναι με την αποθήκευση και την καθυστερημένη εκροή. Χρησιμοποιείται γενικά σε περιορισμένες ροές και στάσιμα νερά.

Muskingum Method : Η συγκεκριμένη μέθοδος διαφέρει από τις προηγούμενες στο ότι ναι μεν χρησιμοποιεί την αρχή διατήρησης της μάζας, ωστόσο δεν κάνει τη θεώρηση επίπεδης επιφάνειας του νερού. Με αυτήν τη θεώρηση δημιουργείται μία γραμμική αλλά όχι επίπεδη επιφάνεια νερού, έχοντας ως αποτέλεσμα αυξημένη αποθηκευτικότητα στα ανάντη του πλημμυρικού κύματος και μειωμένη στα κατόντη. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στα βάρη που δίνονται στις εισροές και εκροές για να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Muskingum – Cunge Method : Βασίζεται τόσο στη διατήρηση της μάζας όσο και στη διάχυση της ορμής. Πρόκειται για πιο χρονοβόρα μέθοδο, καθώς απαιτείται ο υπολογισμός των παραμέτρων σε κάθε θέση εκ νέου λαμβάνοντας υπόψιν το διαφορετικό βάθος ροής.

Straddle Stagger Method : Πρόκειται για περισσότερο εμπειρική μέθοδο, καθώς χρησιμοποιεί εμπειρικές απεικονίσεις της εξασθένισης του κύματος, θεωρώντας επίσης μία χρονική καθυστέρηση της εισροής σε συγκεκριμένο χρόνο. Η τελική εκροή υπολογίζεται με βάση το μέσο όρο των καθυστερημένων ροών.[35]

Lag Method : Πρόκειται για τη μέθοδο η οποία επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία ως η καταλληλότερη. Είναι η μοναδική μέθοδος η οποία αντιπροσωπεύει μόνο την μετάδοση των κυμάτων, χωρίς να αναπαριστά το φαινόμενο της εξασθένισης ή της διάχυσης. Για το λόγο αυτό θεωρείται και πιο απλή, καθώς είναι εύκολα προσαρμόσιμη σε μικρά υδατορεύματα, χωρίς να εξαρτάται από το βάθος της ροής. Η μόνη παράμετρος η οποία πρέπει να προσδιοριστεί είναι ο χρόνος υστέρησης.

Reach	Initial Type	Initial Discharge (M ³ /S)	Lag Time (MIN)
reach7	Discharge = Inflow		159,724
reach9	Discharge = Inflow		16,402
reach8	Discharge = Inflow		6,428
reach6	Discharge = Inflow		8,780
reach5	Discharge = Inflow		55,816
reach4	Discharge = Inflow		75,760
reach3	Discharge = Inflow		49,376
reach2	Discharge = Inflow		57,657
reach1	Discharge = Inflow		77,189

Σχήμα 5.10: Routing – Lag Method

Εκτίμηση παραμέτρων

Η παράμετρος η οποία απαιτείται για τη χρήση της δεδομένη μεθόδου όπως αναφέρθηκε κι παραπάνω είναι ο χρόνος υστέρησης. Ο χρόνος αυτός υπολογίστηκε για μία σταθερή ταχύτητα κίνησης του νερού στο υδατόρευμα. Γενικά το εύρος των ταχυτήτων είναι από 1 m/s έως 3 m/s. Μη γνωρίζοντας ποια θα ήταν η κατάλληλη ταχύτητα για το μοντέλο, δοκιμάστηκαν ταχύτητες στα διάφορα σενάρια έως ότου να επιλεγθεί ένα νούμερο το οποίο θα ήταν ικανοποιητικό. Στη δεδομένη περίπτωση επιλέχθηκε το 3 m/s. Χρησιμοποιώντας λοιπόν, το μήκος σε Km των υδατορευμάτων, το οποίο δίνεται στα χαρακτηριστικά για κάθε ένα και την εξίσωση της κίνησης, δηλαδή ότι ο χρόνος υστέρησης ισούται με το μήκος διά την ταχύτητα, προέκυψαν οι χρόνοι. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του χρόνου υστέρησης παρουσιάζονται και στο παράρτημα, όπως ακριβώς αυτά εισήχθησαν στο μοντέλο.

5.3 Μετεωρολογικό μοντέλο

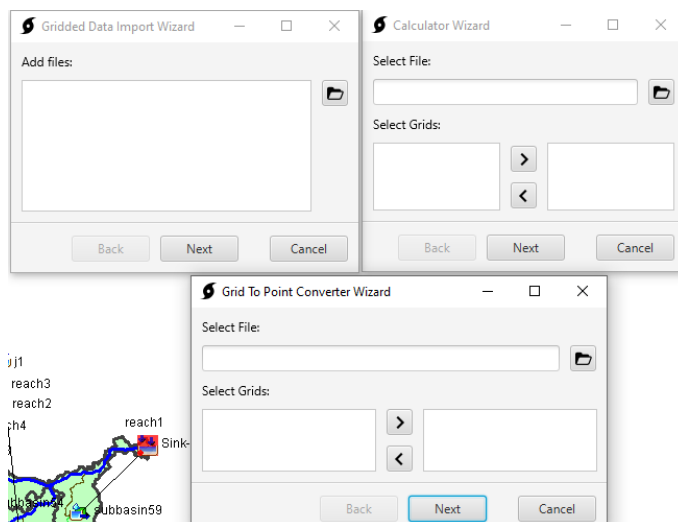
5.3.1 Κατακρημνίσεις

Εφόσον εισήχθησαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα που περιγράφουν τη λεκάνη απορροής, επόμενο βήμα αποτέλεσε η εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων για τα οποία το μοντέλο θα έδινε τα αποτελέσματα. Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί, ότι τα δεδομένα της συνολικής κατακρήμνισης τα οποία μελετήθηκαν, ανακτήθηκαν από το ERA-5. Πρόκειται για μία σχετικά απλή διαδικασία αναζήτησης των δεδομένων. Έχοντας προσδιορίσει τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής μελέτης από το google earth και επιλέγοντας στη μάσκα εισόδου το χρονικό διάστημα (έτος, μήνες, ώρες) , την ακριβή τοποθεσία (συντεταγμένες) και τον τύπο των δεδομένων προς εξαγωγή (συνολική κατακρήμνιση), ανακτήθηκαν τα δεδομένα σε αρχείο της μορφής grib. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στην ωριαία κατακρήμνιση μετρημένη σε m.

Το αρχείο αυτό για να είναι επεξεργάσιμο εισήχθη στο πρόγραμμα Vortex. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα συνεργαζόμενο με το HMS γραμμένο σε γλώσσα Java, το οποίο έχει αυτήν τη χρήση, δηλαδή της επεξεργασίας των δεδομένων τέτοιας μορφής αρχείων, την ανάγνωση αλλά και εισαγωγή τους στο πρόγραμμα. Αρχικά τα δεδομένα αυτά για να μπορέσουν να εισαχθούν στο Vortex πρέπει να υπάρχει ένα αρχείο μορφής dss, στο οποίο να αποθηκευτούν. Για το λόγο αυτό η διαδικασία έγινε μέσα από το HMS -> Import -> Gridded data, όπου δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης σε αρχείο dss. Ωστόσο τα δεδομένα αυτά, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι σε m, ενώ το HMS έχει τη δυνατότητα ανάγνωσης

της κατακρήμνισης σε mm. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Vortex -> calculator, το οποίο δίνει τη δυνατότητα πραγματοποίησης των τεσσάρων βασικών μαθηματικών πράξεων.

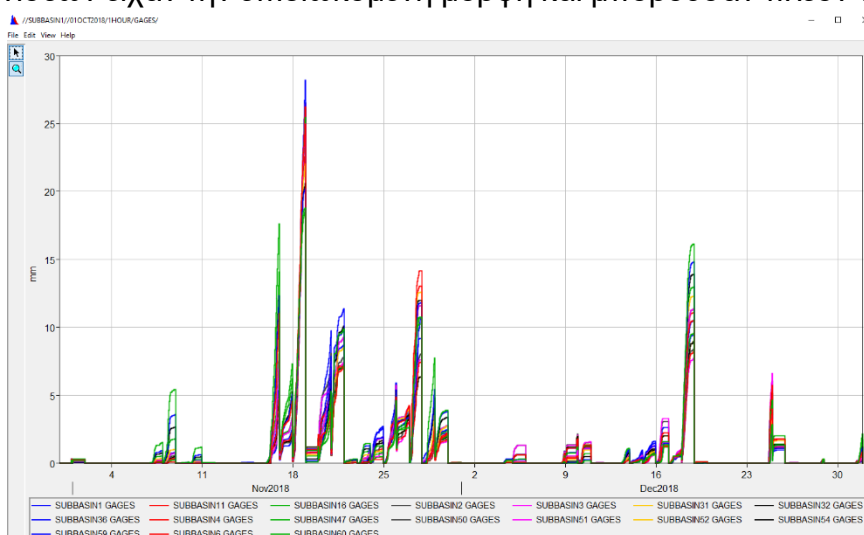
Πολλαπλασιάζοντας όλα τα δεδομένα με 1000, τα δεδομένα μετατράπηκαν σε mm. Πάλι ωστόσο, τα δεδομένα δεν ήταν σε μορφή που να μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα, καθώς ναι μεν ήταν σε σωστές μονάδες αλλά δεν ήταν ομαδοποιημένα ανά υπολεκάνη. Έτσι χρησιμοποιήθηκε ακόμα το εργαλείο Vortex -> Grid to point converter. Στο εργαλείο αυτό εισάγοντας τη λεκάνη απορροής σε μορφή shapefile που υπήρχε από το



Σχήμα 5.11: Εργαλεία Vortex

QGIS και των δεδομένων σε mm, έγινε αντιστοίχιση τους σε υπολεκάνες. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονταν με αθροιστική μορφή, το οποίο σημαίνει ότι δε μπορούσαν να εισαχθούν ως ωριαίες μετρήσεις μεμονωμένα ως είχαν. Έτσι, εξήχθησαν στο υπολογιστικό φύλλο excel όπου χρησιμοποιώντας την εντολή if και επιλέγοντας κάθε επόμενη μέτρηση να συγκρίνεται με την προηγούμενη και να αφαιρείται εφόσον είναι μεγαλύτερη, τα αποτελέσματα των κατακρημνίσεων είχαν την επιδιωκόμενη μορφή και μπορούσαν πλέον να εισαχθούν στο HMS.

Σε όλη αυτήν τη διαδικασία προκειμένου να ελέγχονται τα βήματα και τα εξαγόμενα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HEC – DSSVue, το οποίο εμφανίζει τα εισαγόμενα δεδομένα σε διαγράμματα.



Σχήμα 5.12: Αθροιστικά αποτελέσματα DSSVue

Μετά από αυτήν την επεξεργασία των δεδομένων και έχοντας δημιουργήσει στο HMS ένα μετεωρολογικό μοντέλο με τις ιδιότητες *precipitation -> Specified hyetograph*, επιλέχθηκε να ληφθεί υπόψιν ότι η λεκάνη απορροής αποτελείται από υπολεκάνες. Έτσι, κάθε

υπολεκάνη πρέπει να αντιστοιχηθεί με ένα gage. Τα gages αυτά είναι γνωστά ως precipitation gages. Για να δημιουργηθούν αυτά, επιλέχθηκε η εντολή *time series data -> precipitation gages* όπου δημιουργήθηκαν τόσα gages όσες και υπολεκάνες.

Specified Hyetograph	
Met Name: Met 1	
Subbasin Name	Gage
subbasin1	Gage 1
subbasin11	Gage 11
subbasin16	Gage 16
subbasin2	Gage 2
subbasin3	Gage 3
subbasin31	Gage 31
subbasin32	Gage 32
subbasin36	Gage 36
subbasin4	Gage 4
subbasin47	Gage 47
subbasin50	Gage 50
subbasin51	Gage 51
subbasin52	Gage 52
subbasin54	Gage 54
subbasin59	Gage 59
subbasin6	Gage 6
subbasin60	Gage 60

Σχήμα 5.13: Αντιστοίχιση υπολεκανών με gages

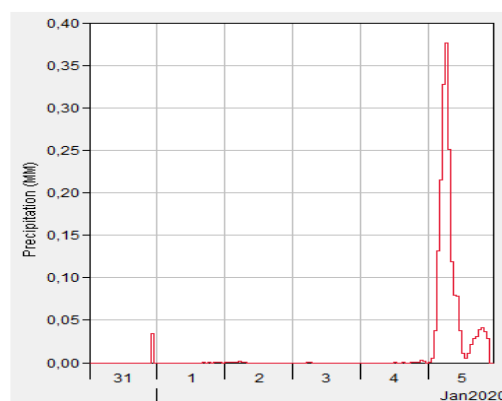
Time-Series Gage	
Time Window	
Table	
Graph	
Gage Name: Gage 1	
*Start Date (ddMMYYYY)	31Δεκ2019
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMYYYY)	05Ιαν2020
*End Time (HH:mm)	23:00

Σχήμα 5.14: Ορισμός χρονικού διαστήματος δεδομένων

Έπειτα, αυτά αντιστοιχήθηκαν με τις υπολεκάνες και σε κάθε ένα από αυτά δόθηκαν τα στοιχεία χρονικού διαστήματος για το οποίο θα εισάγονταν τα δεδομένα της κατακρήμισης. Με το που ορίστηκε το χρονικό διάστημα και το βήμα με το οποίο θα εμφανιστούν οι μετρήσεις, εδώ επιλέχθηκε χρονικό βήμα μίας ώρας, επικολλήθηκαν τα επεξεργασμένα δεδομένα από το excel. Με αυτή τη διαδικασία ορίστηκαν οι κατακρημνίσεις για κάθε σενάριο μελέτης στο μοντέλο. Τέλος το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα οπτικοποίησης των εισαγόμενων δεδομένων με τη μορφή γραφήματος όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα.

Time-Series Gage	
Time Window	
Table	
Graph	
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
31Δεκ2019, 00:00	
31Δεκ2019, 01:00	0,0000
31Δεκ2019, 02:00	0,0000
31Δεκ2019, 03:00	0,0000
31Δεκ2019, 04:00	0,0000
31Δεκ2019, 05:00	0,0000
31Δεκ2019, 06:00	0,0000
31Δεκ2019, 07:00	0,0000
31Δεκ2019, 08:00	0,0000

Σχήμα 5.15: Δεδομένα κατακρήμισης

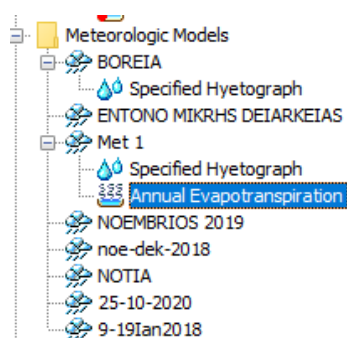


Σχήμα 5.16: Γράφημα δεδομένων κατακρήμισης

5.3.2 Εξατμισοδιαπνοή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην παρούσα εργασία ελήφθη υπόψιν το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Για το φαινόμενο αυτό υπάρχουν πολλές μέθοδοι με τις οποίες το HMS μπορεί να λάβει υπόψιν την εξατμισοδιαπνοή. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η ετήσια μέθοδος.[39]

Annual Evapotranspiration: Η ετήσια μέθοδος εξατμισοδιαπνοής λειτουργεί με ένα μέγιστο ημερήσιο ρυθμό σε συνδυασμό με ένα προαιρετικό μοτίβο διακύμανσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στη συγκεκριμένη εργασία δεν ελήφθη υπόψιν αυτό το μοτίβο. Η εισαγωγή μιας μέσης ημερήσιας τιμής για προσομοιώσεις μικρού διαστήματος όπως τα μελετούμενα, που διαρκούν δηλαδή λίγες ημέρες, μπορεί να επιφέρει καλά αποτελέσματα. Στη δεδομένη περίπτωση, επιλέχθηκε μία μέση ετήσια τιμή από την εθνική μετεωρολογική υπηρεσία για όλη την περιοχή της λεκάνης απορροής από το σταθμό της Λάρισας, που βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση από όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις.



Σχήμα 5.17: Εισαγωγή ετήσιας εξατμισοδιαπνοής

Annual Evapotranspiration		
Met Name: Met 1		
Subbasin Name	Rate (MM/DAY)	Percent Pattern
subbasin 1	9,4	--None--
subbasin 11	9,4	--None--
subbasin 16	9,4	--None--
subbasin 2	9,4	--None--
subbasin 3	9,4	--None--
subbasin 31	9,4	--None--
subbasin 32	9,4	--None--
subbasin 36	9,4	--None--
subbasin 4	9,4	--None--
subbasin 47	9,4	--None--
subbasin 50	9,4	--None--
subbasin 51	9,4	--None--
subbasin 52	9,4	--None--
subbasin 54	9,4	--None--
subbasin 59	9,4	--None--
subbasin 6	9,4	--None--
subbasin 60	9,4	--None--

Σχήμα 5.18: Δεδομένα εξατμισοδιαπνοής ανά υπολεκάνη

Hamon: Πρόκειται για μία περισσότερο σύνθετη μέθοδο, η οποία βασίζεται σε μία εμπειρική σχέση σύμφωνα με την οποία η συγκέντρωση των κορεσμένων υδρατμών είναι ανάλογη με τη μέση εξατμισοδιαπνοή. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα με τη χρήση ενός συντελεστή ημέρας, ο οποίος εξαρτάται από την απόκριση των φυτών, την ακτινοβολία και τη διάρκεια της αναταραχής. Θεωρείται γενικά κατάλληλη μέθοδος σε περιπτώσεις περιορισμένων δεδομένων.[39]

Hargreaves: Σε περιπτώσεις με μικρό χρονικό βήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη μέθοδος. Έχει βασιστεί σε μία εμπειρική σχέση όπου το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία. Η σχέση αυτή

προέκυψε από μία σειρά παρατηρήσεων οχτώ χρόνων σε καλλιέργεια με τη χρήση λυσιμέτρου ακριβείας.

Monthly average: Πρόκειται για αρκετά εύχρηστη μέθοδο, η οποία έχει δημιουργηθεί για να λειτουργεί με μετρημένες μέσες ημερήσιες τιμές εξάτμισης. Ωστόσο, μπορεί να λειτουργήσει και με αποτελέσματα τα οποία έχουν προκύψει από σύγχρονες μεθόδους. Σε κάθε περίπτωση τα δεδομένα παρουσιάζονται με τη μορφή μέσου βάθους νερού το οποίο εξατμίζεται και μπορούν να αντληθούν τόσο από χάρτες όσο και από πίνακες.

Penman Monteith: Οι εξισώσεις της συγκεκριμένης μεθόδου στηρίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο και στη μεταφορά μάζας. Στη μέθοδο αυτή λαμβάνεται ένας περιορισμός της εξατμισοδιαπνοής λόγω φυσικών φαινομένων όπως ο αέρας. Ο αέρας ο οποίος περνάει πάνω από τη βλάστηση δημιουργεί μία αντίσταση τριβής περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή. Πρόκειται για ιδιαίτερα σύνθετη μέθοδο η οποία λαμβάνει υπόψιν της πολλές παραμέτρους όπως τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την ακτινοβολία μικρού και μεγάλου κύματος κ.α.

Pristley Taylor: Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψιν της μία απλοποιημένη σχέση ενεργειακού ισοζυγίου. Θεωρεί ότι η παροχή νερού στο έδαφος είναι απεριόριστη και για να λειτουργήσει χρειάζεται δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας.

Specified Evapotranspiration: Είναι ιδανική μέθοδος σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μετρούμενες παρατηρήσεις, δηλαδή χρονοσειρές δεδομένων, οι οποίες έχουν επεξεργαστεί εκτός του προγράμματος και έπειτα εισάγονται αυτούσιες στο πρόγραμμα.

Gridded Hamon: Πρόκειται για την ίδια μέθοδο με την απλή Hamon, με τη διαφορά ότι τα δεδομένα εισάγονται για κελιά. Τα κελιά αυτά δε φέρουν μία μέση τιμή αλλά οριακές συνθήκες για κάθε υπολεκάνη.

Gridded Hargreaves: Πρόκειται για την ίδια μέθοδο με την απλή Hargreaves, με τη διαφορά ότι σε αυτήν τη μέθοδο τα δεδομένα εισάγονται για κελιά και όχι ως μία μέση τιμή εμβαδού σε ολόκληρη τη λεκάνη.

Gridded Penman Monteith: Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με βάση το μετασχηματισμό ModClark. Διαφέρει από την απλή Penman στο ότι τα δεδομένα εισάγονται για κελιά με οριακές συνθήκες και όχι με μέσες τιμές για τη λεκάνη.

Gridded Pristley Taylor: Όμοια αποτελεί την ίδια μέθοδο με την απλή Pristley με τη διαφορά εισαγωγής οριακών τιμών για κελιά και όχι μέση τιμή λεκάνης.

5.4 Εισαγωγή δεδομένων σε σημεία παρατήρησης

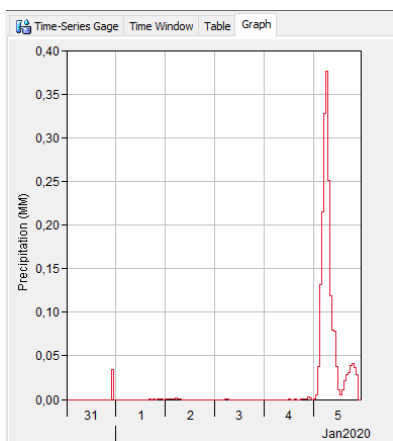
5.4.1 Χρονοσειρές κατακρήμνισης

Οι μετρήσεις της βροχόπτωσης εισήχθησαν στο πρόγραμμα HMS με τη μορφή χρονοσειρών time series data σε όλα τα gages, με τη διαδικασία που περιεγράφηκε προηγουμένως. Για κάθε gage καθορίστηκε η χρονική περίοδος, το χρονικό βήμα και οι μονάδες μέτρησης της βροχής. Ως μονάδες μέτρησης του ύψους της βροχής ορίστηκαν τα mm και χρονικό βήμα ορίστηκε η μία ώρα, καθώς και τα δεδομένα που ανακτήθηκαν είχαν χρονικό βήμα μίας ώρας. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν τέσσερις χρονικές περίοδοι για εισαγωγή κατακρημνίσεων με στόχο την επεξεργασία και προσαρμογή του μοντέλου και έπειτα άλλη μία τυχαία χρονική περίοδος με στόχο την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν:

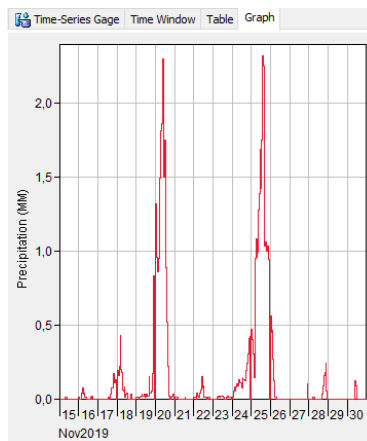
- ✓ *31 Δεκεμβρίου 2019 – 6 Ιανουαρίου 2020*, όπου η βροχόπτωση ήταν σχεδόν μηδενική προκειμένου να είναι εύκολη η παραμετροποίηση του μοντέλου όπου χρειάζεται και η διόρθωση τυχόν σφαλμάτων.
- ✓ *16 - 22 Νοεμβρίου 2019*, όπου υπήρχε ένα έντονο περιστατικό βροχής για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία του μοντέλου σε πιο ακραίες συνθήκες και να διορθωθούν παράμετροι οι οποίοι θα έκαναν το μοντέλο να διαφέρει από τα αποτελέσματα.
- ✓ *15 – 30 Νοεμβρίου 2018*, όπου σε αυτήν την περίοδο υπήρχαν σε σύντομο χρονικό διάστημα δύο έντονα περιστατικά βροχής, ώστε να επαληθευτεί σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση ότι όντως σε περιστατικά βροχής το μοντέλο εξακολουθεί να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- ✓ *25 Μαρτίου – 10 Απριλίου 2020*, πρόκειται για περίοδο με έντονη βροχόπτωση σε πολύ σύντομη διάρκεια, το οποίο επιλέχθηκε από ενδιαφέρον διαφορετικής περιόδου, είναι το μοναδικό το οποίο δεν ανήκει σε χειμερινούς μήνες και το οποίο ακολούθησε ικανοποιητικά αλλά όχι στο βαθμό των υπολοίπων τα αποτελέσματα.
- ✓ *9 – 19 Ιανουαρίου 2018*, μία περίοδος με βροχοπτώσεις, η οποία επιλέχθηκε για να επιβεβαιώσει ότι όντως το μοντέλο μετά τις διορθώσεις που υπέστη από τα προηγούμενα σενάρια λειτουργεί πλέον σε κάθε πιθανό σενάριο.

Τέλος, επιλέχθηκαν μη υπαρκτές βροχοπτώσεις, κατασκευασμένες για να εισαχθούν και να δοθεί η απορροή που προκύπτει από το μοντέλο, γνωρίζοντας πλέον ότι λειτουργεί σωστά με αξιόπιστα αποτελέσματα.

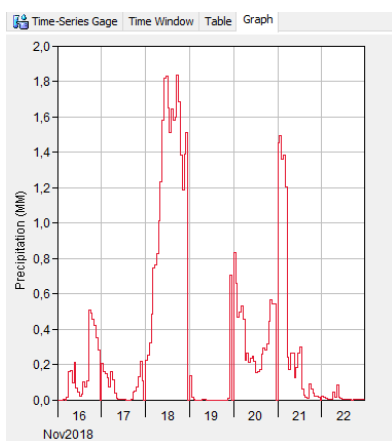
Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά πέντε γραφήματα από τις περιόδους που αναφέρθηκαν για τις κατακρήμνισεις όπως προκύπτουν από το HMS.



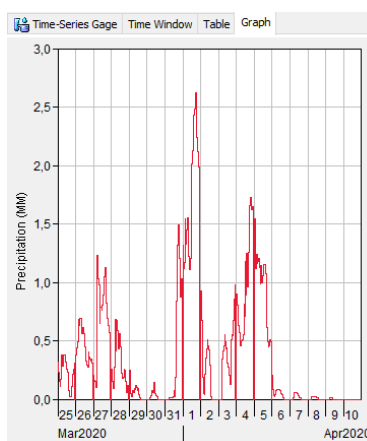
Σχήμα 5.19: Κατακρήμνιση περιόδου 31Δεκ -6ϊαν 2020



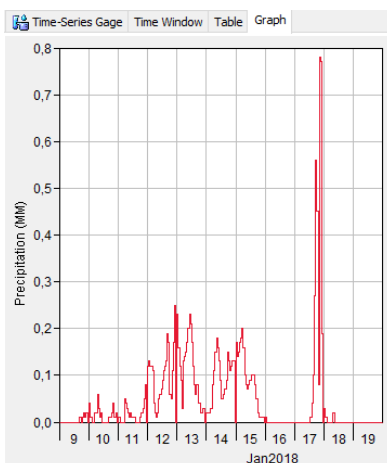
Σχήμα 5.20: Κατακρήμνιση περιόδου 15Νοε -30Νοε 2019



Σχήμα 5.21: Κατακρήμνιση περιόδου 16Νοε -22Νοε 2018



Σχήμα 5.22: Κατακρήμνιση περιόδου 25Μαρ – 10Απρ 2020



Σχήμα 5.23: Κατακρήμνιση περιόδου 9ϊαν – 19ϊαν 2018

5.4.2 Χρονοσειρές παροχής Αγίας Βαρβάρας

Η διαδικασία υπολογισμού της χρονοσειράς παροχών για το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας ήταν ιδιαίτερα σύνθετη, καθώς δεν υπήρχαν έτοιμα δεδομένα για να εισαχθούν στο πρόγραμμα όπως συνέβη στις κατακρημνίσεις αντίστοιχα. Αυτό που υπήρχε εδώ διαθέσιμο ήταν αρχεία του ΑΔΜΗΕ, τα οποία παρείχαν πληροφορίες για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας σε MWh στο φράγμα Ασωμάτων με χρονικό βήμα ημέρας. Η ποσότητα του νερού που εκρέει από το φράγμα και κατά συνέπεια εισρέει στην Αγία Βαρβάρα υπολογίστηκε με βάση το ύψος στάθμης στα Ανώματα και ενός συντελεστή απόδοσης.

Έχοντας το ποσοστό πλήρωσης με το οποίο ξεκινάει το φράγμα και τον συνολικό ωφέλιμο όγκο του φράγματος από τις πληροφορίες των υδροηλεκτρικών έργων, προκύπτει ότι ο όγκος του νερού που υπάρχει μέσα στο φράγμα είναι το ποσοστό πλήρωσης επί τον ωφέλιμο όγκο. Για το διάστημα κατά το οποίο δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας, δε μειώνεται ο όγκος το νερού μέσα, επομένως και το ποσοστό πλήρωσης παραμένει σταθερό. Επίσης σταθερό παραμένει και το αρχικό ύψος στάθμης νερού. Το τελευταίο υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψιν το ελάχιστο ύψος λειτουργίας του φράγματος. Ως συντελεστής απόδοσης επιλέχθηκε το 0,9, ενώ το μέσο ύψος πτώσης στάθμης επιλέχθηκε 42 m μόνο για τις ώρες κατά τις οποίες δούλευε ο υδροηλεκτρικός σταθμός. Η εκροή λοιπόν προέκυψε ως το πηλίκο ισχύς διά συντελεστή απόδοσης, διαφορά ύψους και ειδικού βάρους νερού. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για όλες τις μέρες. Για την εκροή αυτή θεωρήθηκε ότι αυτή εισρέει αντίστοιχα στο φράγμα της Αγίας Βαρβάρας και αυτούσια εκρέει έπειτα από αυτή.

Ωστόσο η διαδικασία που αναφέρθηκε εφαρμόστηκε σε αρχικό βήμα. Παρατηρήθηκε, συγκρίνοντας και με τα αποτελέσματα από το σταθμό του Νησελίου ότι η κατανομή αυτή των παροχών δεν ήταν η βέλτιστη. Ένας λόγος είναι ότι κάποιες μικρές ποσότητες νερού που εκρέουν από το φράγμα και θεωρούνται αμελητέες σε επίπεδο παραγωγής ενέργειας αγνοούνται στην καταγραφή. Άλλος λόγος είναι ότι οι ποσότητες που εκρέουν δεν φεύγουν στιγμιαία πολλές φορές, δηλαδή στην αρχή κάποιας ώρας για παράδειγμα, αλλά πιο κατανεμημένα σε διάστημα περισσότερων ωρών. Τέλος, έπρεπε να ληφθεί υπόψιν το γεγονός της υστέρησης, δηλαδή οι παρατηρούμενες ανάγκες για παροχή από το Νησέλι ήταν μεταγενέστερες από τις ώρες εκροής του φράγματος, καθώς απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της εκροής έως τη στιγμή της μέτρησης στο Νησέλι.

Επομένως, έχοντας κάνει μία πρώτη κατανομή με βάση τη στάθμη λειτουργίας των φραγμάτων και έχοντας το συνολική ημερήσια παροχή που εκρέει από το φράγμα, αυτή κατανεμήθηκε στις 24 ώρες της ημέρας. Παρατηρήθηκε ο ρυθμός με τον οποίο το φράγμα επέτρεπε στο νερό να εκρέει και το οποίο διέφερε ανάλογα με την χρονική περίοδο μελέτης.

Γενικά δόθηκε η εικόνα ότι τηρείται ένα μοντέλο οχταώρου κατανομής 50% - 25% - 25%. Παρόλα αυτά, η λειτουργία που αναφέρθηκε αφορούσε ημέρες κατά τις οποίες δεν υπήρχε έντονη βροχόπτωση. Σε περιπτώσεις με έντονη βροχόπτωση τα ποσοστά διέφεραν προκειμένου να μην υπερβεί το φράγμα τη μέγιστη στάθμη. Άρα, όλες οι κατανομές έγιναν βάση παρατηρούμενων αναγκών και πάντοτε με την τήρηση των ορίων λειτουργίας ύψους στάθμης. Συγκεκριμένα για το φράγμα Ασωμάτων όπως ήδη έχει αναφερθεί η ελάχιστη στάθμη είναι τα 81 m και η μέγιστη τα 89 m, ενώ η στάθμη λειτουργίας τα 85,5 m. Όμοια για την Αγία Βαρβάρα είναι ελάχιστη τα 38,75 m, μέγιστη τα 42,5 m και λειτουργίας τα 42 m.

Έχοντας κάνει την κατανομή αυτή και έχοντας ολοκληρώσει τη δημιουργία της χρονοσειράς τα δεδομένα εισήχθησαν στο HMS. Προκειμένου να γίνει αυτό αρχικά δημιουργήθηκε ένα *discharge gage* με την ίδια διαδικασία που δημιουργήθηκε και το *precipitation gage*. Συνήθως, χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για μία πραγματική ροή που συνέβη. Επιλέγοντας ως τρόπο εισαγωγής το *manual entry*, δηλαδή να εισαχθούν από το χρήστη οι μετρήσεις, τις μονάδες μέτρησης παροχής σε m³/s και το χρονικό βήμα να είναι μίας ώρας, επικολλήθηκαν οι χρονοσειρές όπως αυτές είχαν προκύψει στο υπολογιστικό φύλλο excel. Φυσικά, προηγουμένως είχε καθοριστεί το χρονικό διάστημα αναφοράς των μετρήσεων που είχαν εισαχθεί.

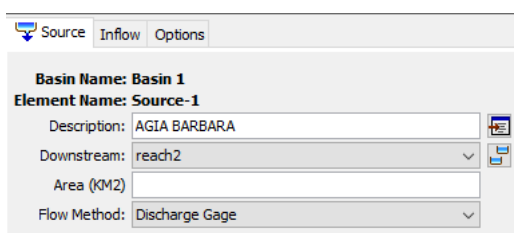
Σχήμα 5.24: Discharge gage

Σχήμα 5.25: Χρονικό διάστημα δεδομένων

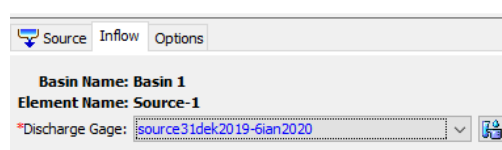
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Discharge (M3/S)
15Nov2019, 00:00	9,00000
15Nov2019, 01:00	11,00000
15Nov2019, 02:00	11,00000
15Nov2019, 03:00	9,00000
15Nov2019, 04:00	10,00000
15Nov2019, 05:00	12,00000
15Nov2019, 06:00	12,00000
15Nov2019, 07:00	10,00000
15Nov2019, 08:00	8,00000
15Nov2019, 09:00	7,00000
15Nov2019, 10:00	6,00000
15Nov2019, 11:00	8,00000
15Nov2019, 12:00	8,00000
15Nov2019, 13:00	6,00000
15Nov2019, 14:00	4,00000
15Nov2019, 15:00	2,00000
15Nov2019, 16:00	2,00000
15Nov2019, 17:00	3,00000

Σχήμα 5.26: Εισαγωγή δεδομένων

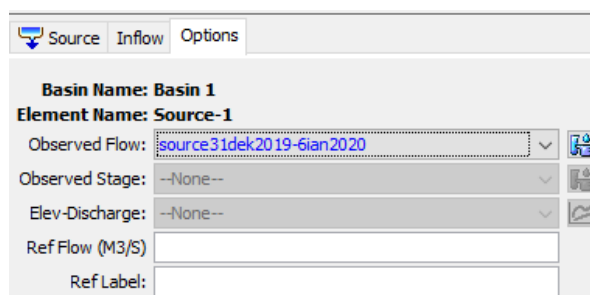
Ωστόσο, για να συνδεθούν τα δεδομένα αυτά με το στοιχείο που προσομοιώνει το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας, επιλέχθηκε το στοιχείο source, το οποίο είχε δημιουργηθεί για αυτή τη χρήση και σε αυτό δόθηκε η εντολή να συνδεθεί με το discharge gage. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε στο flow method ότι πρόκειται για discharge gage και ακολούθως, στην καρτέλα inflow να λαμβάνει δεδομένα από το επιθυμητό discharge gage. Τέλος, στην καρτέλα options, επιλέχθηκε ως observed flow το discharge gage που είχε δημιουργηθεί. Με αυτόν τον τρόπο πλέον το στοιχείο source απέκτησε την ιδιότητα να δίνει παροχή στον Αλιάκμονα όπως θα έδινε μία πηγή αλλά ακολουθώντας τη χρονοσειρά που εισήχθη.



Σχήμα 5.27: Flow method – Αγία Βαρβάρα



Σχήμα 5.28: Ορισμός Discharge gage



Σχήμα 5.29: Observed Flow – Discharge gage

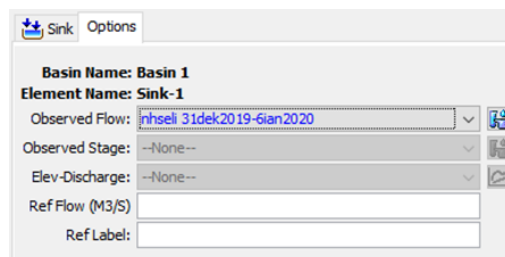
5.4.3 Χρονοσειρές παροχής Νησελίου

Οι παροχές για το σταθμό Νησελίου ανακτήθηκαν για τα έτη 2018 – 2020 όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο από το Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας Εδαφοϋδατικών πόρων (ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ) στη Θεσσαλονίκη. Πρόκειται για μετρήσεις με χρονικό βήμα μισής ώρας. Άλλωστε το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής διαφορετικού χρονικού βήματος για όλα τα στάδια όπου αντλεί πληροφορίες, ενώ το τελικό χρονικό βήμα ορίζεται από τις προδιαγραφές ελέγχου. Και σε αυτήν την περίπτωση όπως στις παροχές για το φράγμα δημιουργήθηκε discharge gage, το οποίο συνδέθηκε με το

σημείο εξόδου. Υπενθυμίζεται ότι ως σημείο εξόδου - παρατήρησης, επιλέχθηκε συνειδητά πριν τις εκβολές, στη γέφυρα του Νησελίου, ώστε να εισαχθεί το discharge gage και να συγκριθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου με αυτά της πραγματικής ροής. Τα δεδομένα με την ίδια διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω εισήχθησαν στο discharge gage και στη συνέχεια επιλέχθηκε το στοιχείο sink, το οποίο αντιπροσωπεύει το σταθμό παρατήρησης, όπου δόθηκε στην καρτέλα options ότι το observed flow αντιστοιχεί με το συγκεκριμένο discharge gage.



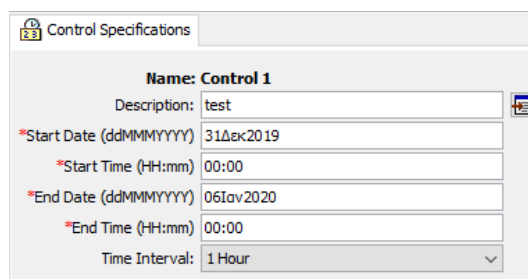
Σχήμα 5.30: Sink – Σταθμός Νησελίου



Σχήμα 5.31: Observed Flow - Νησέλι

5.4.4 Προδιαγραφές ελέγχου

Οι προδιαγραφές ελέγχου όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν έχουν πολλές παραμέτρους που πρέπει να καθοριστούν. Επί της ουσίας ορίζουν το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης και το χρονικό βήμα με το οποίο θα γίνει η προσομοίωση.



Σχήμα 5.32: Control Specifications

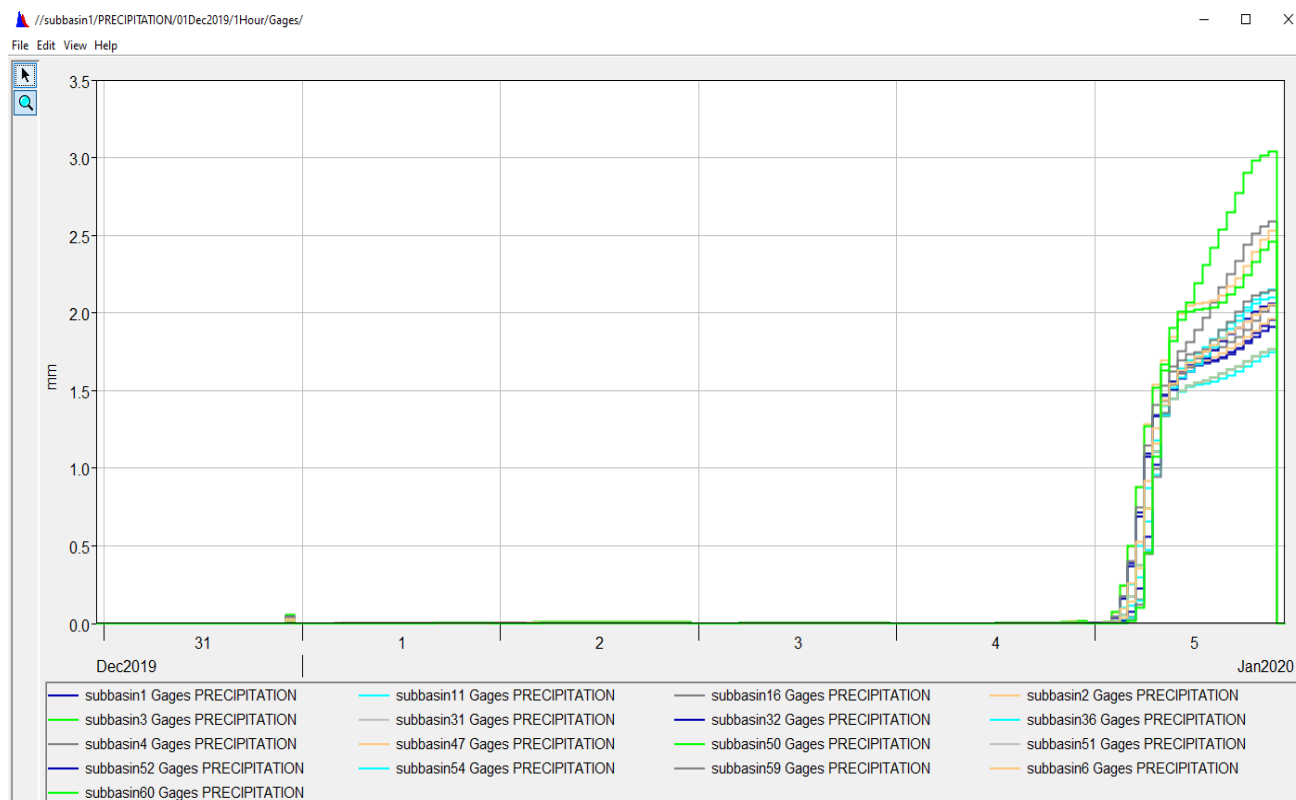
Κεφάλαιο 6ο

Προσομοιώσεις - Σενάρια

Στο παρόν κεφάλαιο πρόκειται να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου. Οι τιμές των μεγεθών προκύπτουν σε ωριαία βάση για όλα τα σενάρια. Σε όλα τα σενάρια γίνεται αποτίμηση του μοντέλου με σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις μετρήσεις από το σταθμό του Νησελίου.

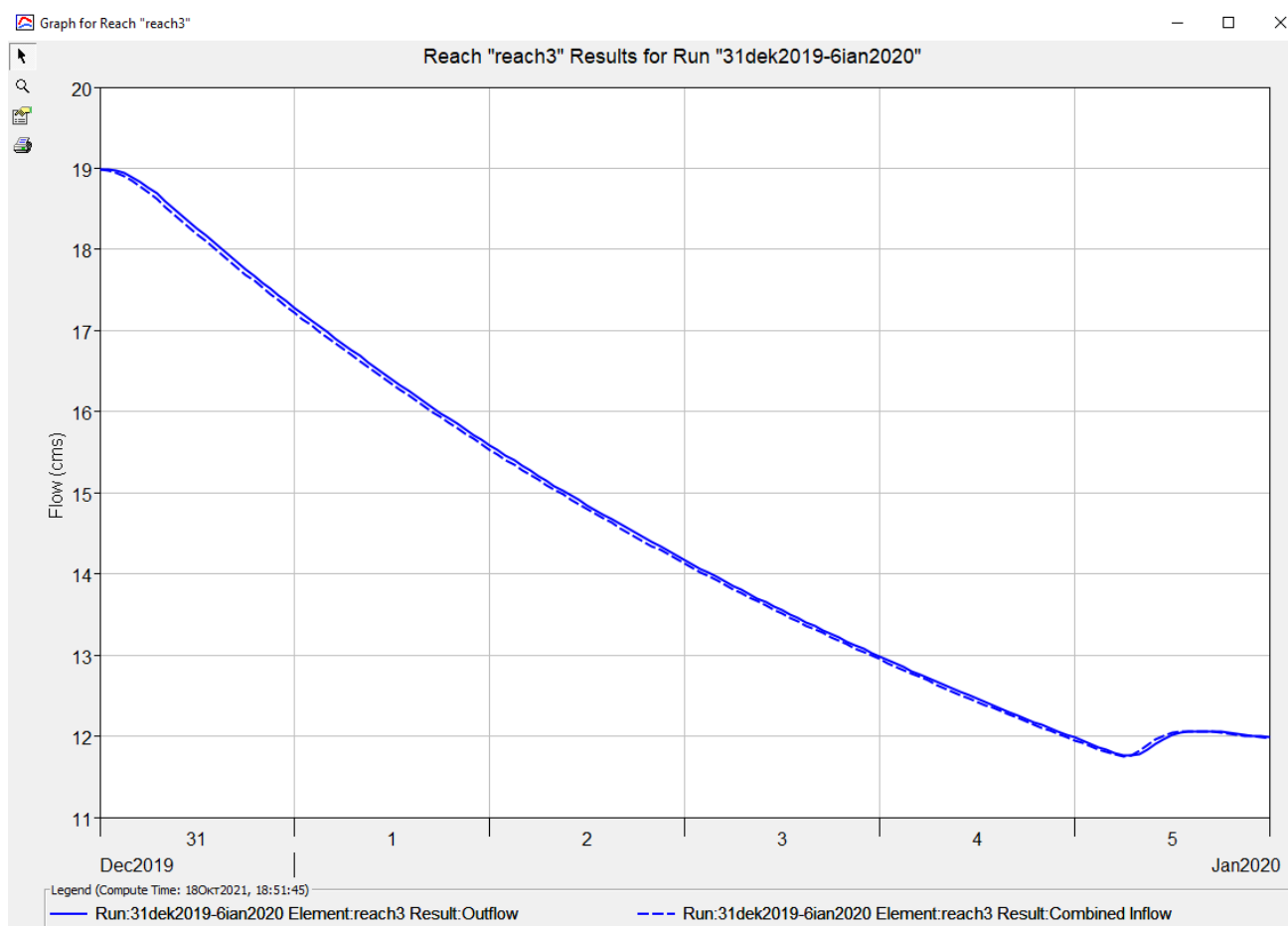
6.1 1^ο Σενάριο προσομοίωσης

Το πρώτο σενάριο προσομοίωσης όπως ήδη έχει αναφερθεί αφορούσε την περίοδο 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο δεν υπήρχαν έντονες κατακρημνίσεις, κάτι το οποίο υπήρξε βοηθητικό στοιχείο στο στήσιμο του μοντέλου. Ήταν περισσότερο φανερά σφάλματα στις παραμέτρους που τυχόν υπήρχαν εφόσον δεν επηρεάζονταν από την κατακρήμνιση.



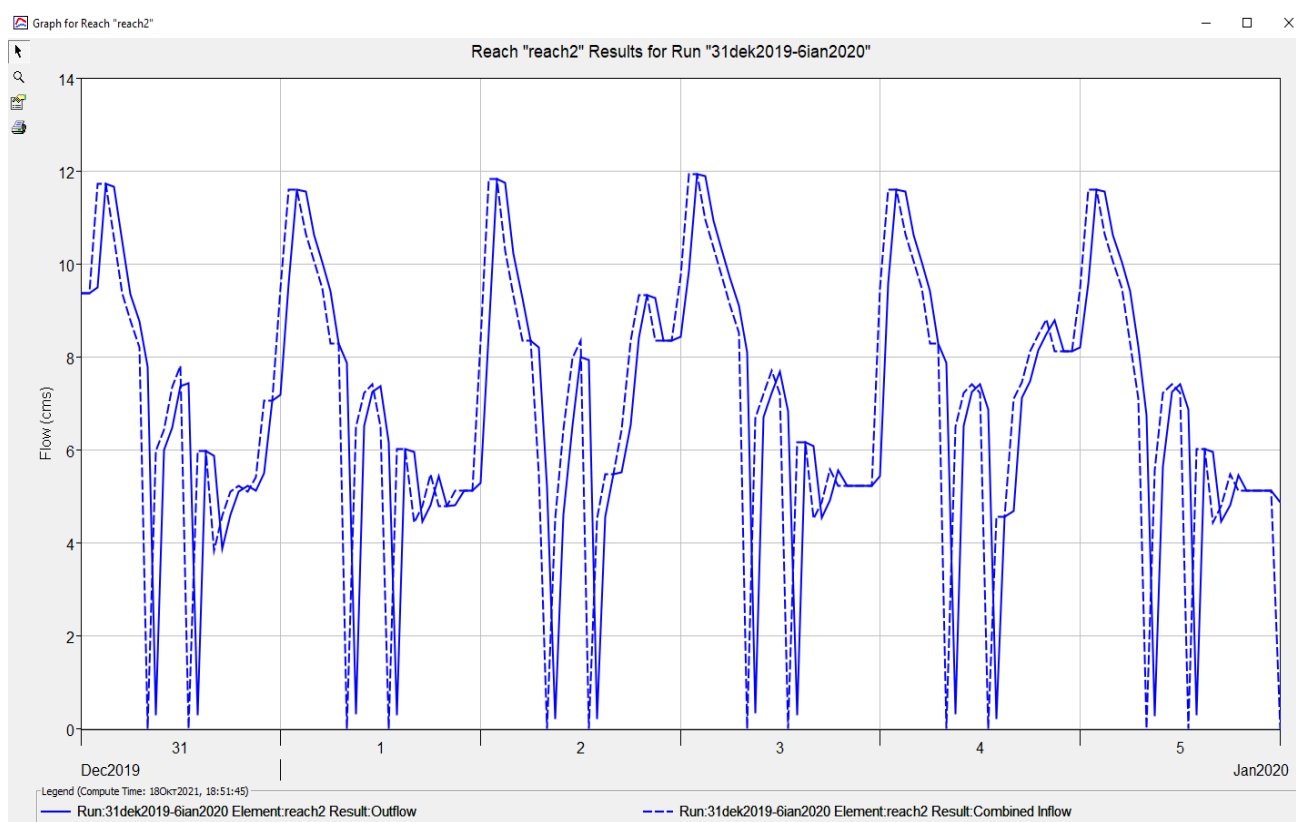
Σχήμα 6.1: Κατακρημνίσεις 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η βροχόπτωση που υπήρξε τη μελετώμενη περίοδο μέσα από το πρόγραμμα HEC – DSSVue. Εύκολα βλέπει κανείς ότι το χρονικό διάστημα από 31 έως και 4 Ιανουαρίου δεν υπήρχε καθόλου κατακρήμνιση, ενώ την τελευταία ημέρα υπήρξε ένα μικρό συνολικό ύψος βροχής, αγγίζοντας σε κάποιες υπολεκάνες τα 3 mm. Η βροχόπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ασθενής και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μελέτης ως φαινόμενο βροχόπτωσης. Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί χρησιμοποιήθηκε με διαφορετικό σκοπό. Να σημειωθεί, ότι η βροχόπτωση του σχήματος είναι σε αθροιστική μορφή, δηλαδή στο τέλος κάθε ώρας προστίθενται τα χιλιοστά της προηγούμενης με αποτέλεσμα στο διάγραμμα η μέγιστη τιμή να αντιστοιχεί στο συνολικό ύψος βροχόπτωσης κάθε ημέρας. Με αυτά τα δεδομένα, δηλαδή ασθενή βροχόπτωση μόνο μίας ημέρας αναμένεται και τα αποτελέσματα απορροής και παροχής να είναι πιο ήπια. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αντίστοιχα σχήματα όπως αυτά προέκυψαν.



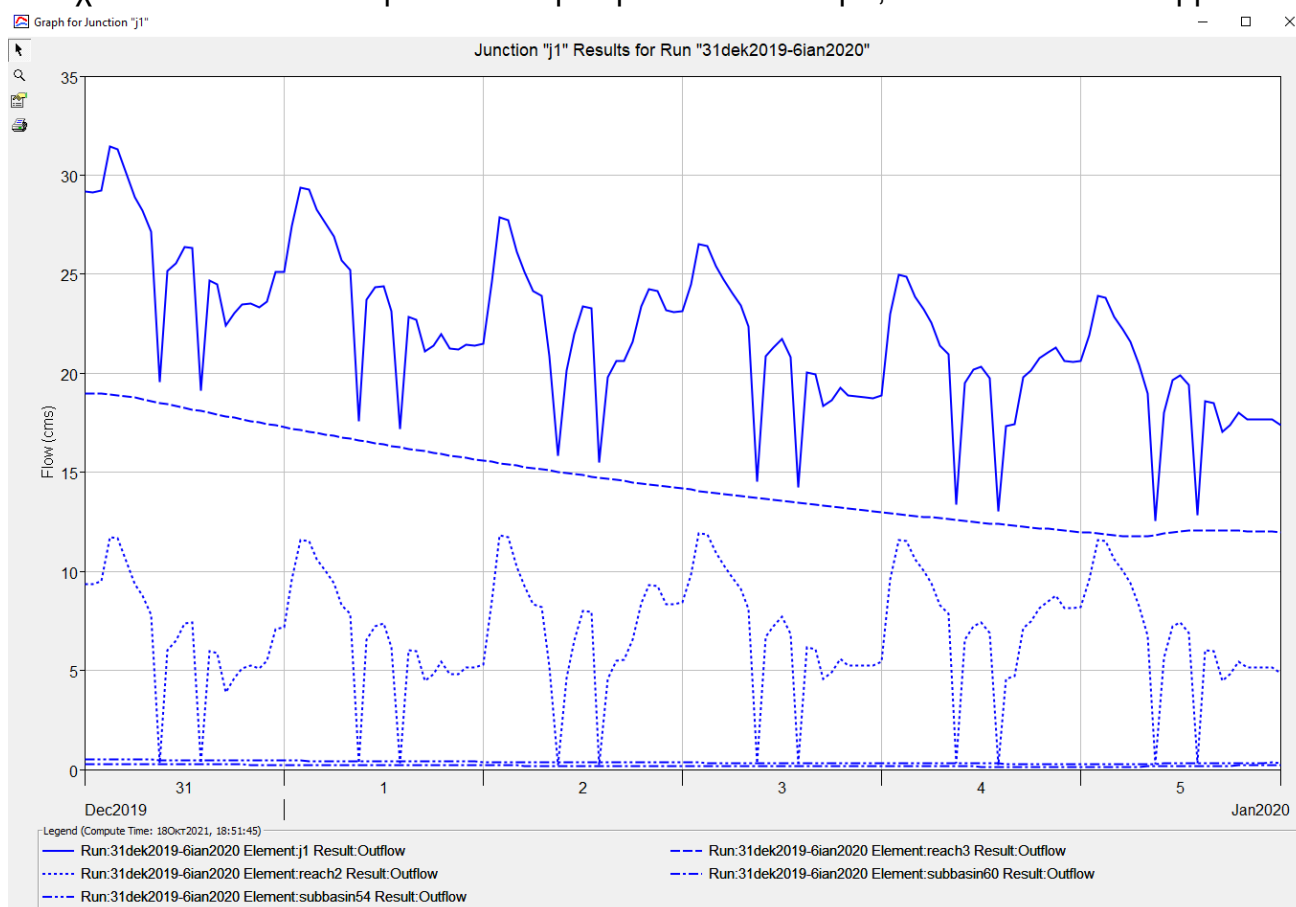
Σχήμα 6.2: Απορροή Μογλενίτσα 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η παροχή η οποία προέρχεται από το ποταμό Μογλενίτσα για το μελετώμενο διάστημα. Όπως γίνεται αντιληπτό η βροχόπτωση δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το διάγραμμα και αυτό μπορεί κάποιος να το παρατηρήσει την τελευταία ημέρα. Το διάγραμμα ξεκινάει με τα 19 m³/s, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς η παροχή αυτή αποτελεί τις αρχικές συνθήκες στις πηγές όπως ορίστηκαν από το χρήστη για τη μέθοδο baseflow. Συνολικά είχαν τοποθετηθεί 20 m³/s, ωστόσο το 1 m³/s είχε τοποθετηθεί στις υπολεκάνες 59 και 60 και γι' αυτό το λόγο δεν εμφανίζεται εδώ, καθώς ο Μογλενίτσας δεν επηρεάζεται από αυτές τις υπολεκάνες. Ξεκινώντας λοιπόν, στο διάγραμμα εμφανίζονται οι αρχικές συνθήκες για τις οποίες τις επόμενες ημέρες εφόσον φυσικά δεν υπάρχει ανατροφοδότηση με κατακρημνίσεις υπάρχει πτωτική τάση. Μόνο την τελευταία ημέρα φαίνεται να εμφανίζεται μία ελάχιστη αύξηση λόγω της ασθενούς βροχής όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο. Συνοπτικά λοιπόν θα έλεγε κανείς ότι το μοντέλο φαίνεται να αντιλαμβάνεται τις εξωτερικές συνθήκες σωστά και να ανταποκρίνεται όπως ήταν το προσδοκώμενο. Στο Σχήμα 6.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την παροχή η οποία προέρχεται από το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας.



Σχήμα 6.3: Παροχή Αγίας Βαρβάρας 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

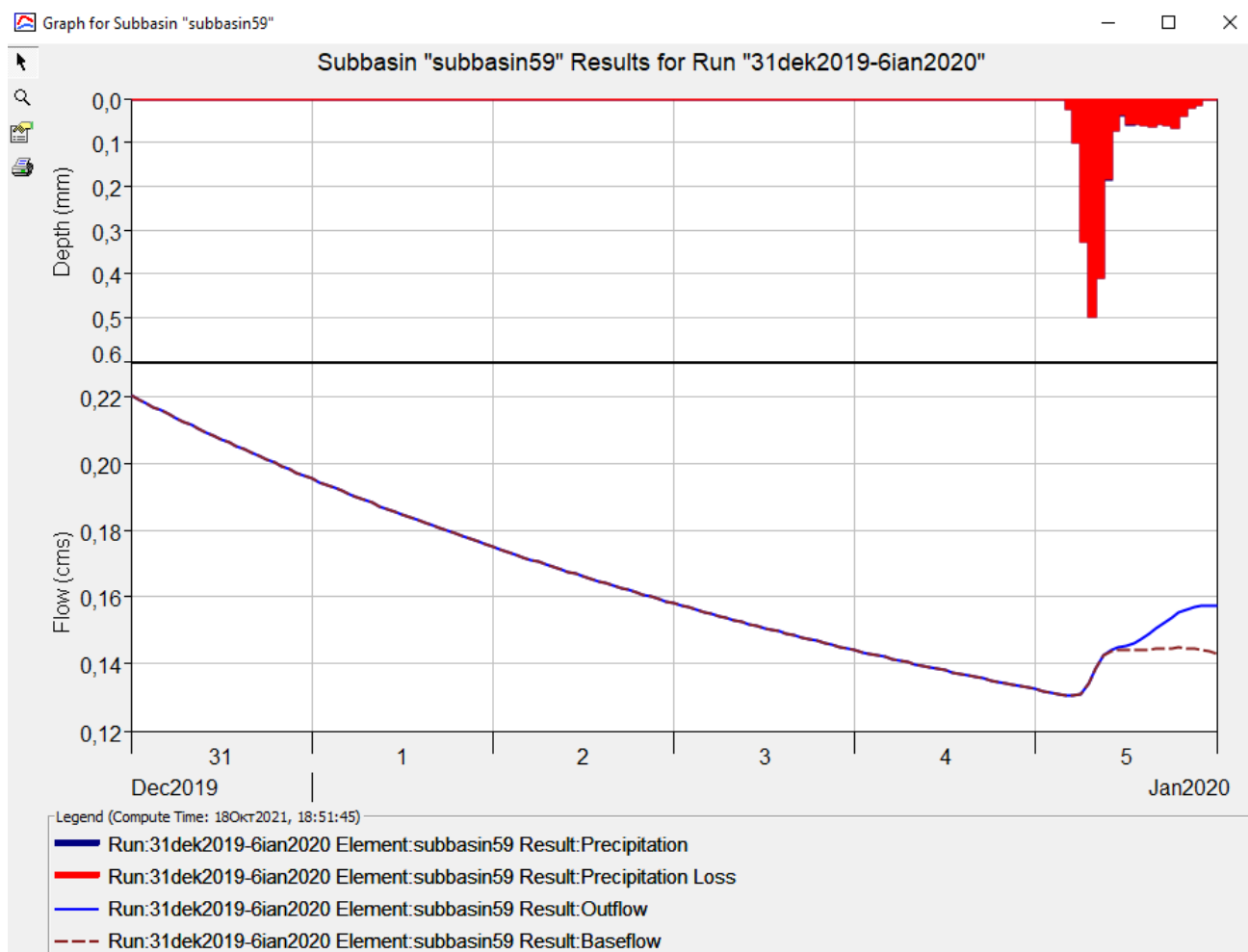
Για την παροχή της Αγίας Βαρβάρας υπάρχουν αρκετά τα οποία μπορούν να σχολιασθούν. Αρχικά στο σύνολο το διάγραμμα φαίνεται να παρουσιάζει μία επαναληψιμότητα. Υπενθυμίζεται ότι η συγκεκριμένη περίοδος δεν έχει βροχοπτώσεις πέραν της τελευταίας ημέρας, γεγονός που οδηγεί σε ένα εύλογο συμπέρασμα. Τις ημέρες όπου δεν υπάρχουν βροχοπτώσεις, άρα δεν αυξάνεται το ύψος στάθμης στα φράγματα φαίνεται ότι ο υδροηλεκτρικός σταθμός ακολουθεί ένα μοτίβο με το οποίο αφήνει παροχή να εκρέει από το φράγμα. Η ποσότητα αυτή έχει να κάνει με τις ελάχιστες ανάγκες κάλυψης σε ενέργεια αλλά και με την παροχή άρδευσης για τις κοντινές περιοχές. Επίσης η μορφή του διαγράμματος είναι λογική και αναμενόμενη, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί η Αγία Βαρβάρα δεν είναι το μοναδικό φράγμα της περιοχής αλλά προηγούνται άλλα φράγματα προηγουμένως. Επομένως τροφοδοτείται από το προηγούμενο φράγμα, αυτό των Ασωμάτων. Στην αρχή κάθε ημέρας φαίνεται ότι το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας έχει την ανάγκη εκφόρτισης καθώς πιθανόν εκείνη την ώρα δέχεται την παροχή του προηγούμενου φράγματος. Έτσι στην αρχή αφήνει μία μεγάλη ποσότητα νερού να εκρεύσει, ενώ στη συνέχεια πιο σταδιακά την υπόλοιπη περίσσεια ποσότητα, ώστε πάντοτε να βρίσκεται



Σχήμα 6.4: Αποτελέσματα στον κόμβο j1, 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

ανάμεσα στις επιθυμητές στάθμες. Το μοτίβο αυτό ακολουθείται σε κάθε ημέρα. Το γεγονός της ασθενούς βροχόπτωσης την τελευταία ημέρα φαίνεται να μην επηρέασε ιδιαίτερα την εξερχόμενη παροχή, καθώς δεν ήταν ποσότητα η οποία μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του φράγματος. Γενικά, φαίνεται ότι η παροχή η οποία εκρέει από το φράγμα κυμαίνεται από 12 m³/s το μέγιστο έως και μηδέν σε κάποιες περιπτώσεις.

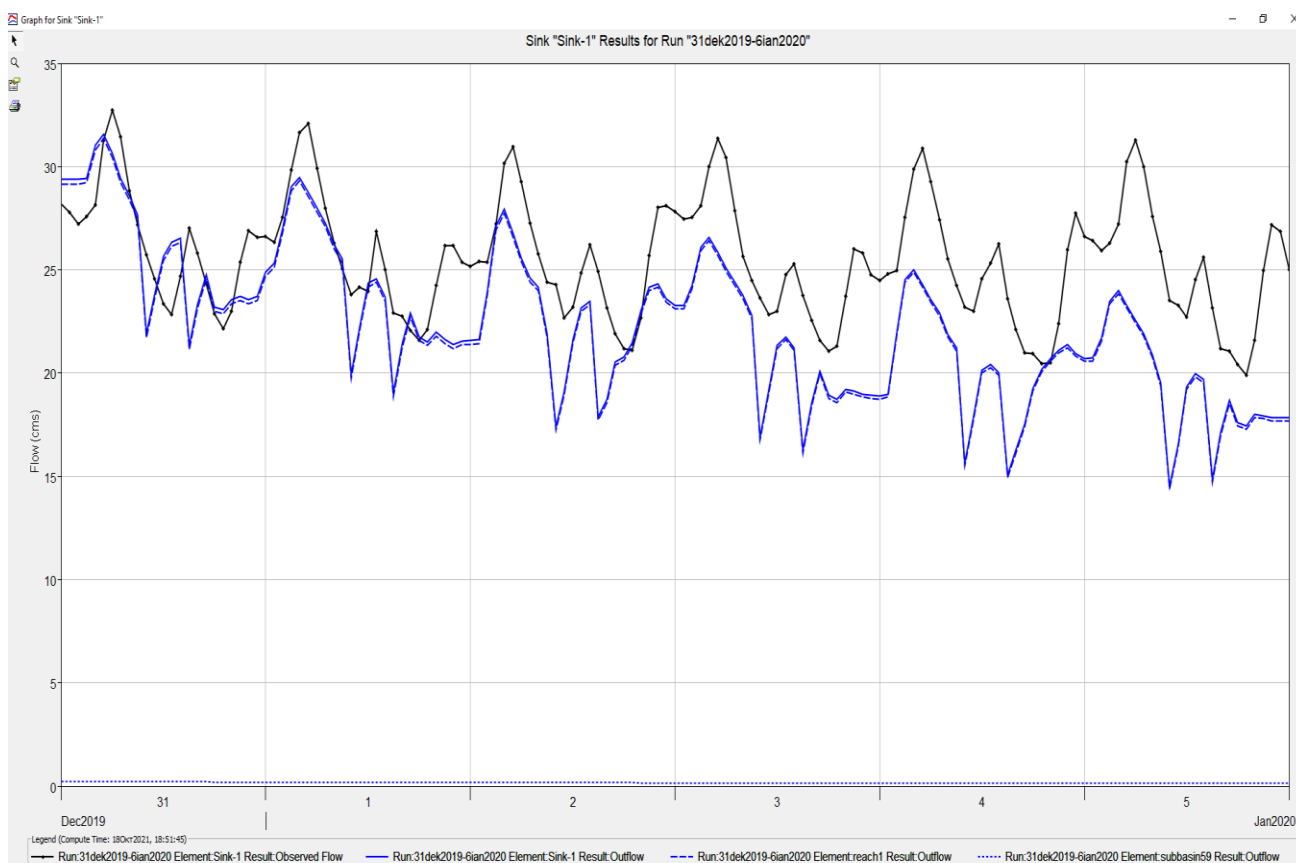
Στο σχήμα 6.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν από το HMS στον κόμβο J1. Ο κόμβος αυτός έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς αποτελεί το σημείο σύνδεσης της παροχής που προέρχεται από την Αγία Βαρβάρα και από τον ποταμό Μογλενίτσα. Επομένως με τη διακεκομμένη γραμμή κάτω παρουσιάζεται η παροχή από την Αγία Βαρβάρα, η αμέσως επόμενη διακεκομμένη γραμμή αποτελεί την παροχή από το Μογλενίτσα και το τελικό αποτέλεσμα είναι η συνεχής γραμμή στο πάνω μέρος του σχήματος. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία να σχολιασθούν, καθώς αποτελεί την άθροιση των προηγούμενων δύο διαγραμμάτων. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι αποτελεί εύχρηστο διάγραμμα σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται



Σχήμα 6.5: Αποτελέσματα υπολεκάνης 59, 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

διαφοροποιήσεις στα εξαγόμενα αποτελέσματα και στις παρατηρούμενες μετρήσεις, καθώς είναι ευκολότερο να προσδιοριστεί η πηγή του σφάλματος.

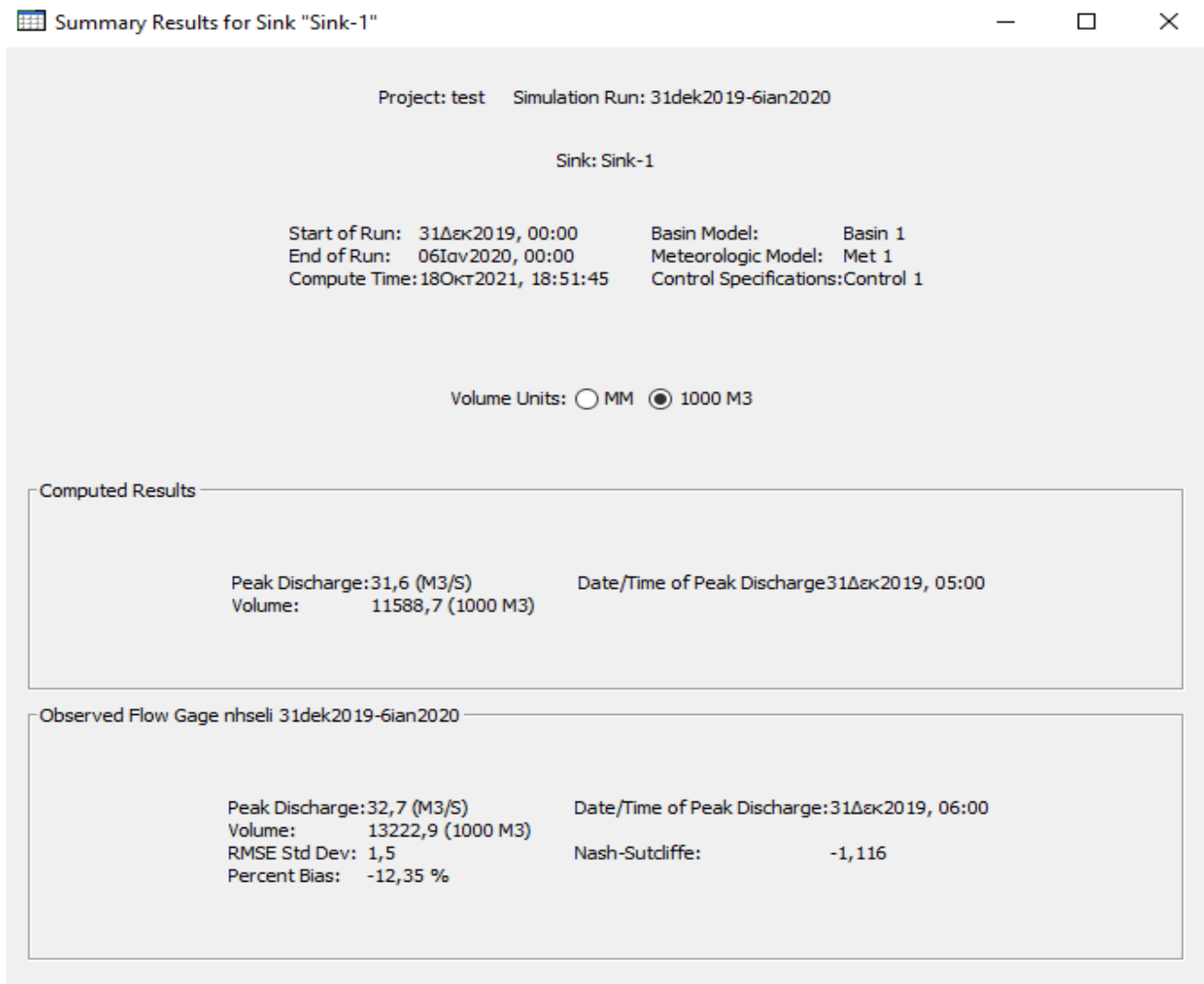
Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα για την υπολεκάνη 59. Η συγκεκριμένη υπολεκάνη επιλέχθηκε αυθαίρετα, θα μπορούσε να επιλεγεί οποιαδήποτε υπολεκάνη, ωστόσο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη επειδή είναι η τελευταία υπολεκάνη πριν το σημείο εξόδου. Στο διάγραμμα με κόκκινο είναι το νερό το οποίο κατείσδυει, ενώ με μπλε είναι η ποσότητα νερού για την οποία γίνεται απευθείας απορροή. Η καφέ γραμμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού, η οποία πρώτα κατείσδυσε στο έδαφος και μετά ξαναβγήκε στην επιφάνεια όπως είχε αναφερθεί η διαδικασία στη μεθοδολογία του basflow. Η καφέ γραμμή είναι αυτή η οποία τροφοδοτεί τη ροή όταν δεν υπάρχει βροχή. Επομένως αυτό το οποίο φαίνεται από το συγκεκριμένο διάγραμμα είναι ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπήρξε απευθείας απορροή αλλά μόνο κατείσδυση. Επιπλέον, επειδή δεν υπήρξαν βροχοπτώσεις καθόλου τις πρώτες ημέρες, η ροή ταυτίζεται με το basflow, ενώ μόνο την τελευταία ημέρα με την ασθενή βροχόπτωση διαφοροποιείται ελάχιστα όπου η καφέ γραμμή (basflow), βρίσκεται χαμηλότερα της ροής όπως ήταν και αναμενόμενο.



Σχήμα 6.6: Αποτελέσματα στο σημείο εξόδου, 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

Το Σχήμα 6.6 αντιπροσωπεύει τα συνολικά αποτελέσματα στο σημείο εξόδου αλλά και τις παρατηρούμενες μετρήσεις παροχής από το σταθμό του Νησελίου. Όπως φαίνεται το μοντέλο δείχνει να ακολουθεί ικανοποιητικά τις παρατηρούμενες μετρήσεις. Ως πρώτο σενάριο, κατά το οποίο ρυθμίζονταν οι παράμετροι, αυτό που ενδιέφερε ήταν να εντοπιστεί η ικανότητα του μοντέλου να παίρνει την ίδια μορφή με τις παρατηρήσεις. Διαφορές όπως αυτές του σχήματος είναι ανεκτές καθώς μπορεί να ευθύνονται σε κάποια υποτίμηση του baseflow, δηλαδή των αρχικών συνθηκών, ή σε λανθασμένη κατανομή των συντελεστών baseflow, δηλαδή να δόθηκε περισσότερη βαρύτητα στους συντελεστές του 1^{ου} κύματος και όχι του 2^{ου}, η αλλιώς περισσότερη βαρύτητα στους συντελεστές της 1^{ης} πηγής και όχι της 2^{ης} σύμφωνα πάντοτε με τη θεώρηση των δύο πηγών. Αυτό που μπορεί κανείς να παρατηρήσει είναι ότι τα εξαγόμενα αποτελέσματα παρουσιάζουν μία πιο ήπια μορφή καμπύλης, χωρίς έντονες αιχμές όπως στις παρατηρήσεις. Ο λόγος που συνέβη είναι διότι στις παραμέτρους του baseflow οι χρόνοι που επιλέχθηκαν ήταν μεγαλύτεροι από αυτούς που απαιτούνταν. Η επιλογή των χρόνων έχει να κάνει με αυτήν ακριβώς τη λειτουργία, δηλαδή όσο μεγαλύτεροι οι χρόνοι, τόσο μεγαλύτερο το χρονικό διάστημα στο οποίο εξελισσόταν η ίδια παροχή άρα πιο ήπια καμπύλη, ενώ αντίθετα μικρότεροι χρόνοι σημαίνει μικρότερο διάστημα να δοθεί η συγκεκριμένη παροχή άρα πιο έντονες αιχμές στην καμπύλη. Ωστόσο, η επιλογή αυτή έγινε διότι έπρεπε το μοντέλο να μπορεί να ακολουθεί τα αποτελέσματα σε κάθε σενάριο και συνεχίζοντας στις προσομοιώσεις παρατηρήθηκε ότι οι επιλεγμένοι χρόνοι ήταν οι καταλληλότεροι για τα περισσότερα σενάρια. Τονίζεται εδώ, ότι στόχος δεν υπήρξε η τελειοποίηση μίας προσομοίωσης μόνο αλλά η δημιουργία ενός μοντέλου λεκάνης που θα μπορούσε να εκπροσωπεί οποιεσδήποτε κλιματολογικές συνθήκες ικανοποιητικά, γι' αυτό και η διαδικασία των σεναρίων ήταν αμφίδρομη, δηλαδή κάθε σενάριο μεταγενέστερο ή μη είχε να προσφέρει στα προηγούμενα και στα επόμενα σενάρια, προκειμένου να στηθεί ένα ολοκληρωμένο και λειτουργικό μοντέλο.

Στη συνέχεια το Σχήμα 6.7 είναι ένας εύκολος τρόπος να δοθεί η εικόνα μίας πετυχημένης προσομοίωσης ή μη. Στον πίνακα αυτό μπορεί κανείς αρχικά να διαπιστώσει εάν στις παρατηρήσεις και στα εξαγόμενα αποτελέσματα υπάρχει η ίδια μέγιστη τιμή αλλά και σε ποια χρονική στιγμή υπήρξε αυτή η μέγιστη τιμή. Όπως παρατηρεί κανείς η μέγιστη τιμή είναι σχεδόν ταυτόσημη με μικρή διαφορά της τάξης του 1 m³/s, ενώ η χρονική στιγμή που επιτεύχθηκε η μέγιστη παροχή εμφανίζει διαφορά μίας ώρας. Για μία προσομοίωση τέτοιας προσέγγισης δε θεωρείται μεγάλη διαφορά η μία ώρα. Επιπλέον μπορεί κανείς να δει



Σχήμα 6.7: Αποτελέσματα , 31 Δεκεμβρίου 2019 έως 6 Ιανουαρίου 2020

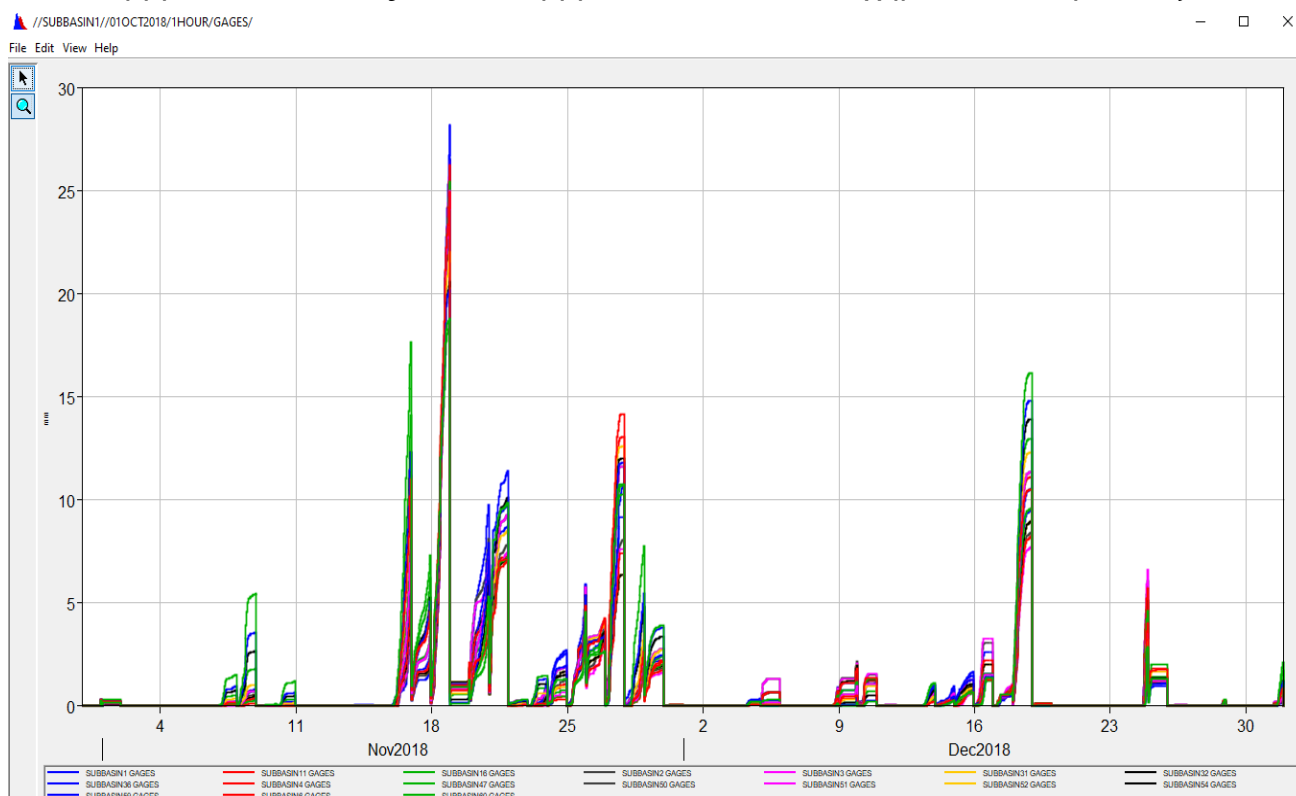
το συντελεστή percent bias, ο οποίος αντιπροσωπεύει τη μέση τάση που έχουν οι υπολογίσιμες τιμές να είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από τις παρατηρούμενες. Εδώ το ποσοστό είναι -12.35% το οποίο σημαίνει ότι οι υπολογίσιμες τιμές είναι μικρότερες κατά κύριο λόγο από τις μετρήσεις στο Νησέλι. Παρόλα αυτά όπως διαπιστώθηκε και από το Σχήμα 6.6 στα αποτελέσματα η διαφορά αυτή οφείλεται σε υποτίμηση του συντελεστή fraction, όμως παραμένει μία διαφορά ανεκτή για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, στον πίνακα του Σχήματος 6.7 εμφανίζεται και ο συντελεστής RMSE (root-mean-square error), ο οποίος δεν είναι άλλος από το συντελεστή μέσου τετραγωνικού σφάλματος, με χρήση όμοια με εκείνη του percent bias.

Αξιολόγηση Μοντέλου

Το μοντέλο γενικά φαίνεται να λειτουργήσει σωστά στην πρώτη αυτή προσομοίωση – σενάριο. Στο κομμάτι της απορροής ακολούθησε ακριβώς τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί και έδωσε ως αποτέλεσμα το αναμενόμενο. Στο κομμάτι των παροχών της Αγίας Βαρβάρας διαπιστώθηκε περιοδικότητα στην περίπτωση μη ύπαρξης βροχόπτωσης γεγονός που είναι αρκετά ενθαρρυντικό για περιπτώσεις πρόβλεψης αποτελεσμάτων. Στο συνολικό διάγραμμα παρουσιάστηκε μία διαφοροποίηση, ωστόσο ήταν σε λογικά πλαίσια και αιτιολογείται από τις παραμέτρους baseflow. Αυτό διαπιστώθηκε άλλωστε και από τον πίνακα σύνοψης αποτελεσμάτων, όπου οι συντελεστές σύγκρισης εξαγόμενων και παρατηρούμενων μετρήσεων ήταν στα όρια του αποδεκτού. Να σημειωθεί ότι οι παράμετροι baseflow, είναι αυτοί που τροποποιούνται σε όλα τα σενάρια και μόνο προκειμένου να επιτευχθεί το αποτέλεσμα με σκοπό να χρειάζεται αλλαγή μόνο η παράμετρος των αρχικών συνθηκών παροχής για την προσομοίωση τελικά οποιουδήποτε σεναρίου.

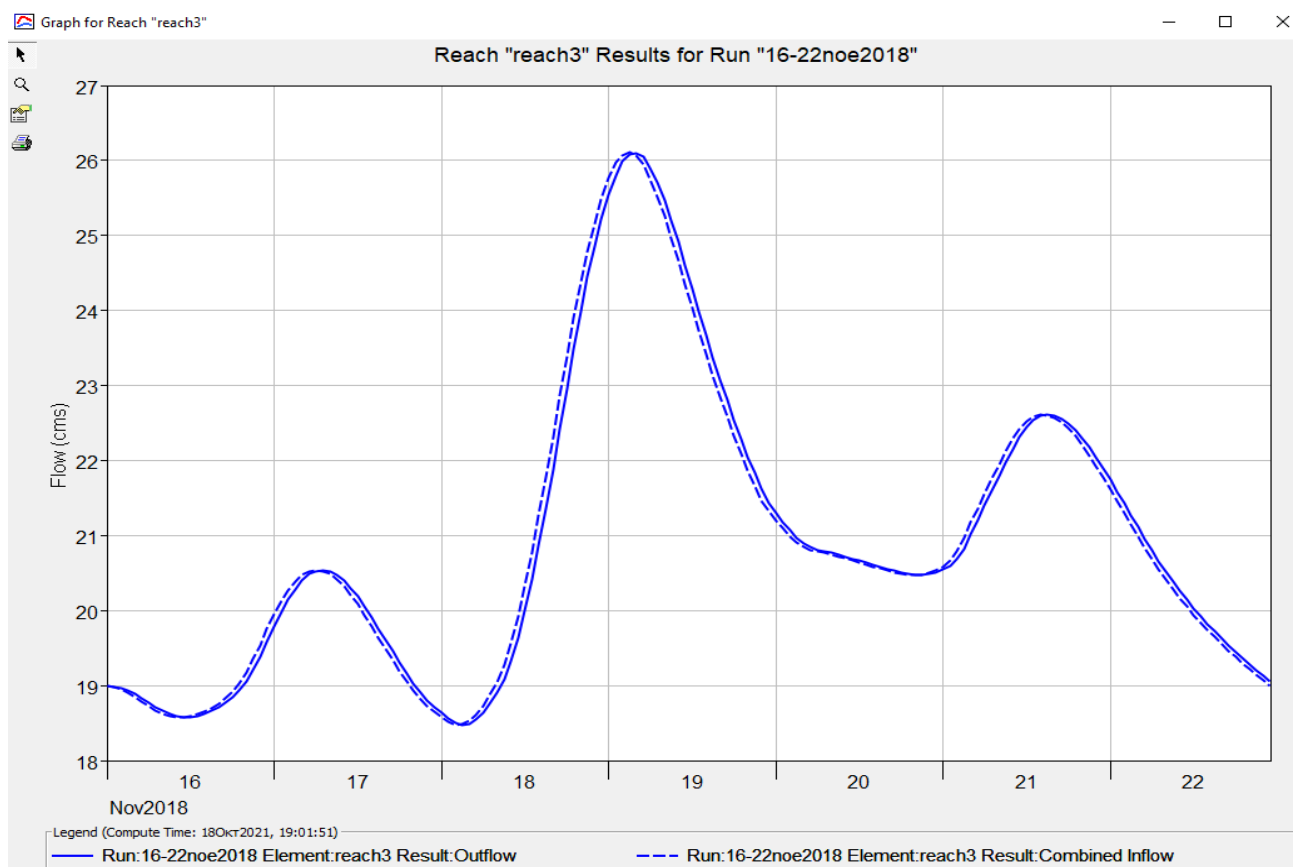
6.2 2^ο Σενάριο προσομοίωσης

Το δεύτερο σενάριο προσομοίωσης όπως ήδη έχει αναφερθεί αφορούσε την περίοδο 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018. Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζονται οι



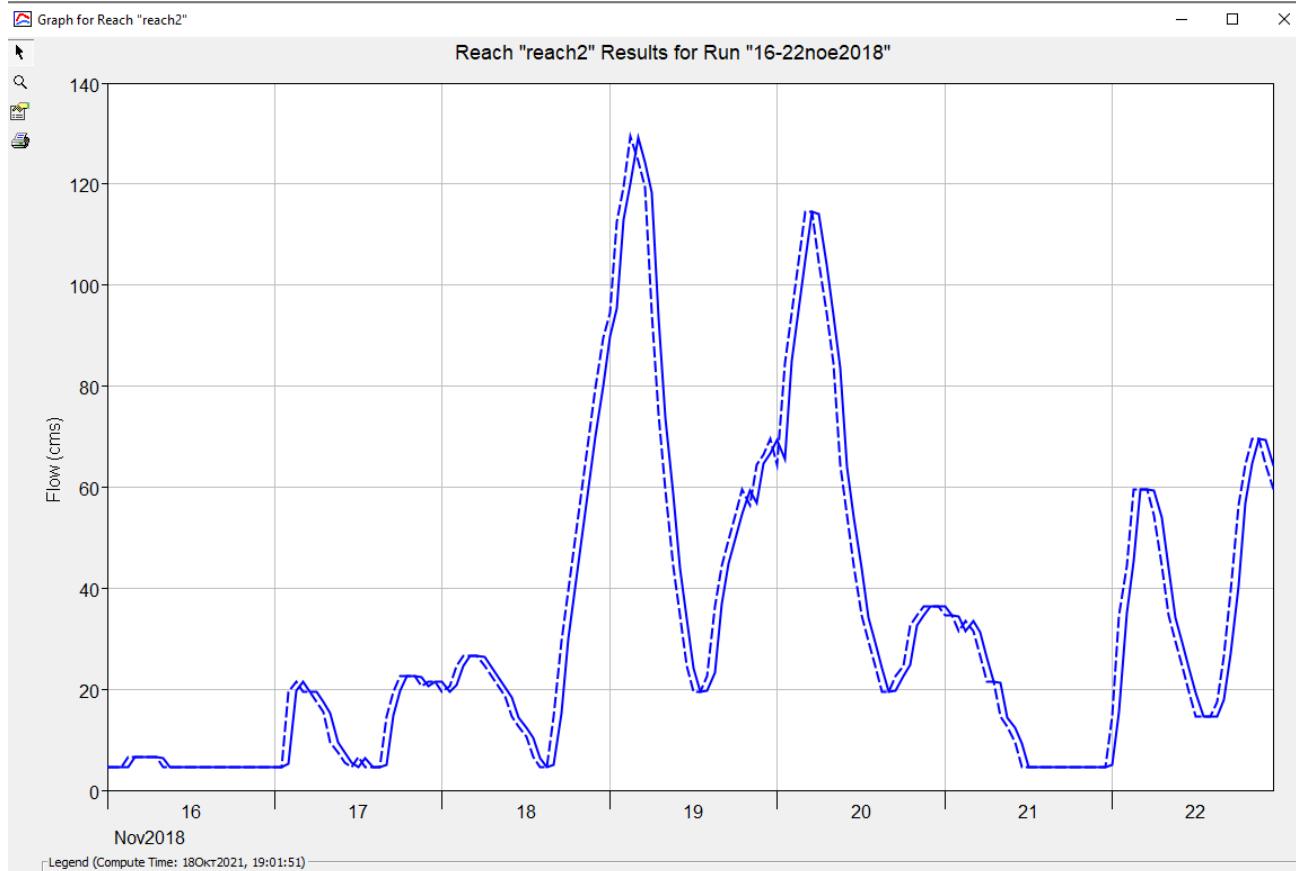
Σχήμα 6.8: Κατακρημνίσεις 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

κατακρημνίσεις από το πρόγραμμα HEC – DSSVue για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και συγκεκριμένα οι μετρήσεις ολόκληρου του Νοεμβρίου. Ωστόσο αυτό που ενδιαφέρει στην παρούσα προσομοίωση είναι το διάστημα 16 έως 22. Το συγκεκριμένο διάστημα υπήρξαν μέτριες και ισχυρές βροχοπτώσεις εφόσον το συνολικό ύψος βροχής έφτασε τα 30 mm περίπου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις τα 18 mm και 10 mm αντίστοιχα. Επομένως, σαν περιστατικό βροχής υπήρξε ένα έντονο περιστατικό βροχής. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.8 οι κατακρημνίσεις είναι αθροιστικές, επομένως τα αποτελέσματα αναφέρονται στο συνολικό ύψος βροχής κάθε υπολεκάνης στο τέλος της ημέρας. Το συγκεκριμένο περιστατικό χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη προσομοίωση για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου και σε καταστάσεις βροχόπτωσης και να μπορέσει να τροποποιηθεί έτσι ώστε να δίνει αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Συνειδητά επιλέχθηκε ένα έντονο περιστατικό σε μικρό χρονικό διάστημα ώστε να επικεντρωθεί το μοντέλο σε αυτό και να διορθωθούν οι παράμετροι για κατάσταση βροχόπτωσης, καθώς εάν κατευθείαν εισάγονταν πολλά περιστατικά δεν θα ήταν εύκολος ο προσδιορισμός τυχόν σφάλματος. Με αυτά τα δεδομένα, δηλαδή ενός περιστατικού έντονης βροχόπτωσης διάρκειας περίπου τεσσάρων ημερών παρατίθενται τα αντίστοιχα σχήματα απορροής Μογλενίτσα και παροχής Αγίας Βαρβάρας όπως αυτά προέκυψαν παρακάτω.



Σχήμα 6.9: Απορροή Μογλενίτσα 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

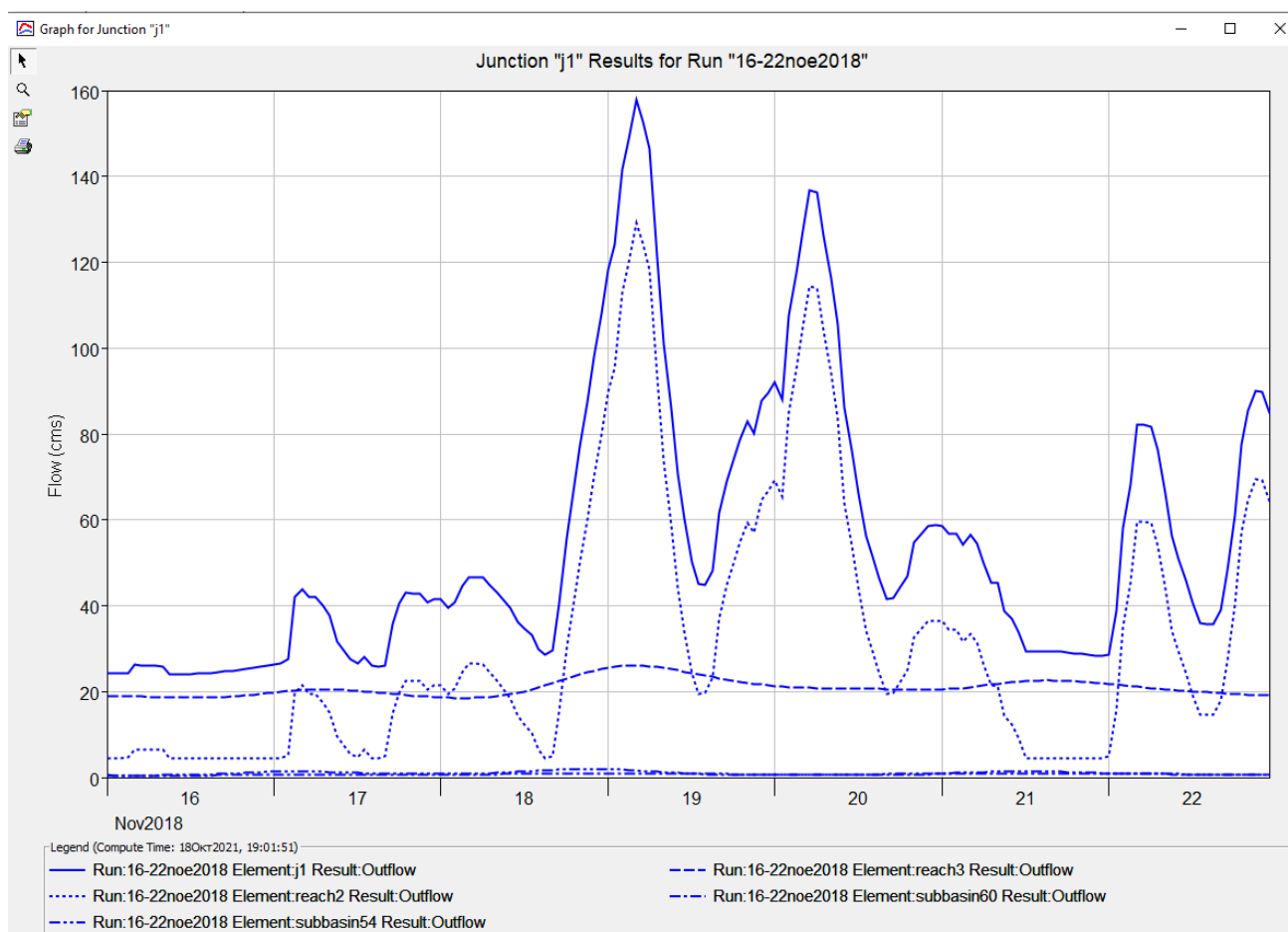
Στο Σχήμα 6.9 παρουσιάζεται η παροχή η οποία προέρχεται από το ποταμό Μογλενίτσα για το μελετώμενο διάστημα. Το διάγραμμα ξεκινάει με τα $19 \text{ m}^3/\text{s}$, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς η παροχή αυτή αποτελεί τις αρχικές συνθήκες στις πηγές όπως ορίστηκαν από το χρήστη για τη μέθοδο baseflow. Συνολικά είχαν τοποθετηθεί $20 \text{ m}^3/\text{s}$, ωστόσο το $1 \text{ m}^3/\text{s}$ είχε τοποθετηθεί στις υπολεκάνες 59 και 60 και γι' αυτό το λόγο δεν εμφανίζεται εδώ, καθώς ο Μογλενίτσας δεν επηρεάζεται από αυτές τις υπολεκάνες. Ξεκινώντας λοιπόν, στο διάγραμμα εμφανίζονται οι αρχικές συνθήκες, στη συνέχεια 17 Νοεμβρίου υπάρχει μία μικρή αύξηση στην παροχή του ποταμού και αυτό ήταν αναμενόμενο εάν συγκρίνει κανείς ταυτόχρονα τις κατακρημνίσεις του Σχήματος 6.8 με τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.9. Εκείνη τη μέρα υπήρξε βροχόπτωση συνολικής κατακρήμνισης περίπου 18 mm , γεγονός που αιτιολογεί τη μορφή της καμπύλης στο Σχήμα 6.9. Έπειτα 18 και 19 Νοεμβρίου ξεκίνησε πιο έντονη βροχόπτωση με τις κατακρημνίσεις να πλησιάζουν το συνολικό ύψος των 30 mm . Αυτό αποτυπώνεται και στο διάγραμμα 6.9 όπου εκείνες τις μέρες η συνολική παροχή του ποταμού φτάνει τα $26 \text{ m}^3/\text{s}$. Τέλος, ακολουθεί μία ημέρα με ασθενής βροχόπτωση έως τις 21 του Νοεμβρίου όπου και πάλι υπάρχει κατακρήμνιση με συνολικό ύψος περίπου 10 mm , γι' αυτό εμφανίζεται και αυτή η τελευταία αυξητική τάση εκείνη την ημέρα. Συγκρίνοντας τα δεδομένα που εισήχθησαν από το διάγραμμα 6.8 με τα



Σχήμα 6.10: Παροχή Αγίας Βαρβάρας 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

αποτελέσματα που εξήχθησαν στο διάγραμμα 6.9 θα μπορούσε να πει κανείς ότι το μοντέλο αντιλαμβάνεται ακριβώς τότε εμφανίζονται οι κατακρημνίσεις και τις αποδίδει σε παροχή στον ποταμό Μογλενίσα.

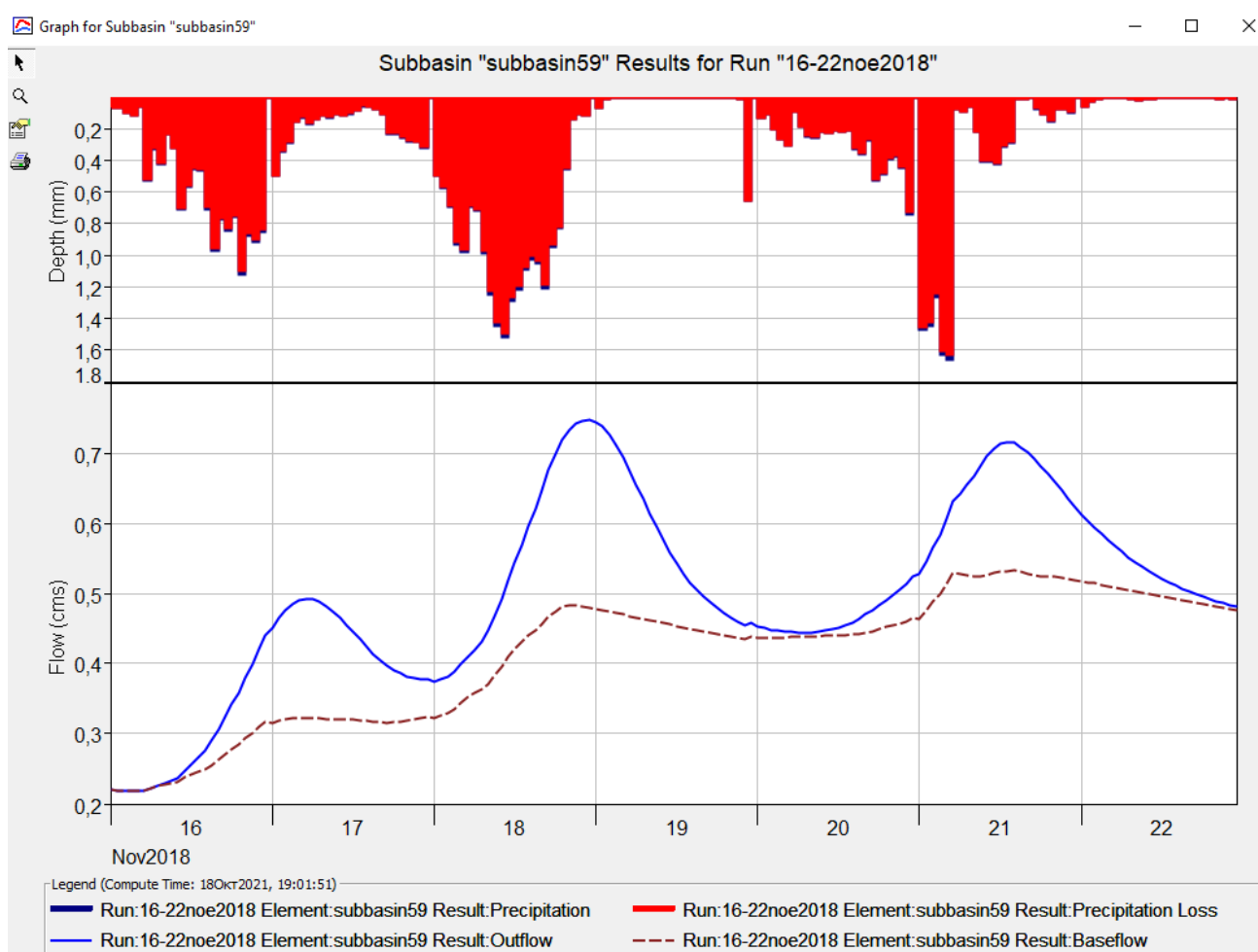
Το Σχήμα 6.10 αντιπροσωπεύει την παροχή η οποία εκρέει από το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας κάθε ημέρα. Σε αυτό το σχήμα γίνεται περισσότερο κατανοητή και η λειτουργία του φράγματος. Τις ημέρες με περισσότερες βροχοπτώσεις όπου συγκεντρωνόταν και περισσότερος όγκος νερού στο φράγμα, το τελευταίο προκειμένου να μην υπερχειλίσει άφηνε να εκρεύσει μεγάλος όγκος νερού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται και μεγαλύτερες παροχές στον Αλιάκμονα. Επομένως 17-18 Νοεμβρίου με την πιο ήπια βροχόπτωση το φράγμα εξέρρευσε περίπου 25 m³/s, ενώ 18-19 με το έντονο περιστατικό βροχής εξέρρευσε περίπου 130 m³/s, ποσότητα σχεδόν πενταπλάσια από την προηγούμενη. Όμοια 20 Νοέμβρη όπου η βροχόπτωση συνεχίστηκε επέτρεψε σε έναν όγκο νερού περίπου 110 m³/s να διαφύγει από το φράγμα. Τις υπόλοιπες ημέρες όπως παρατηρείται και από το Σχήμα 6.10 οι παροχές ήταν χαμηλότερες αλλά και πάλι αισθητές. Σε κάθε περίπτωση, φαίνεται να ακολουθείται μία αναλογική αύξηση βροχής – παροχής. Πάλι και σε αυτό το σενάριο φαίνεται ότι το φράγμα λειτουργεί «προνοητικά» και όχι μετέπειτα, δηλαδή γνωρίζοντας ότι θα πληρωθεί μεγάλος



Σχήμα 6.11: Αποτελέσματα στον κόμβο j1, 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

όγκος νερού, «αδειάζει» ώστε να είναι ικανό να δεχθεί τόσο την παροχή του φράγματος των Ασωμάτων που προηγείται όσο και το νερό που θα προστεθεί λόγω των κατακρημνίσεων.

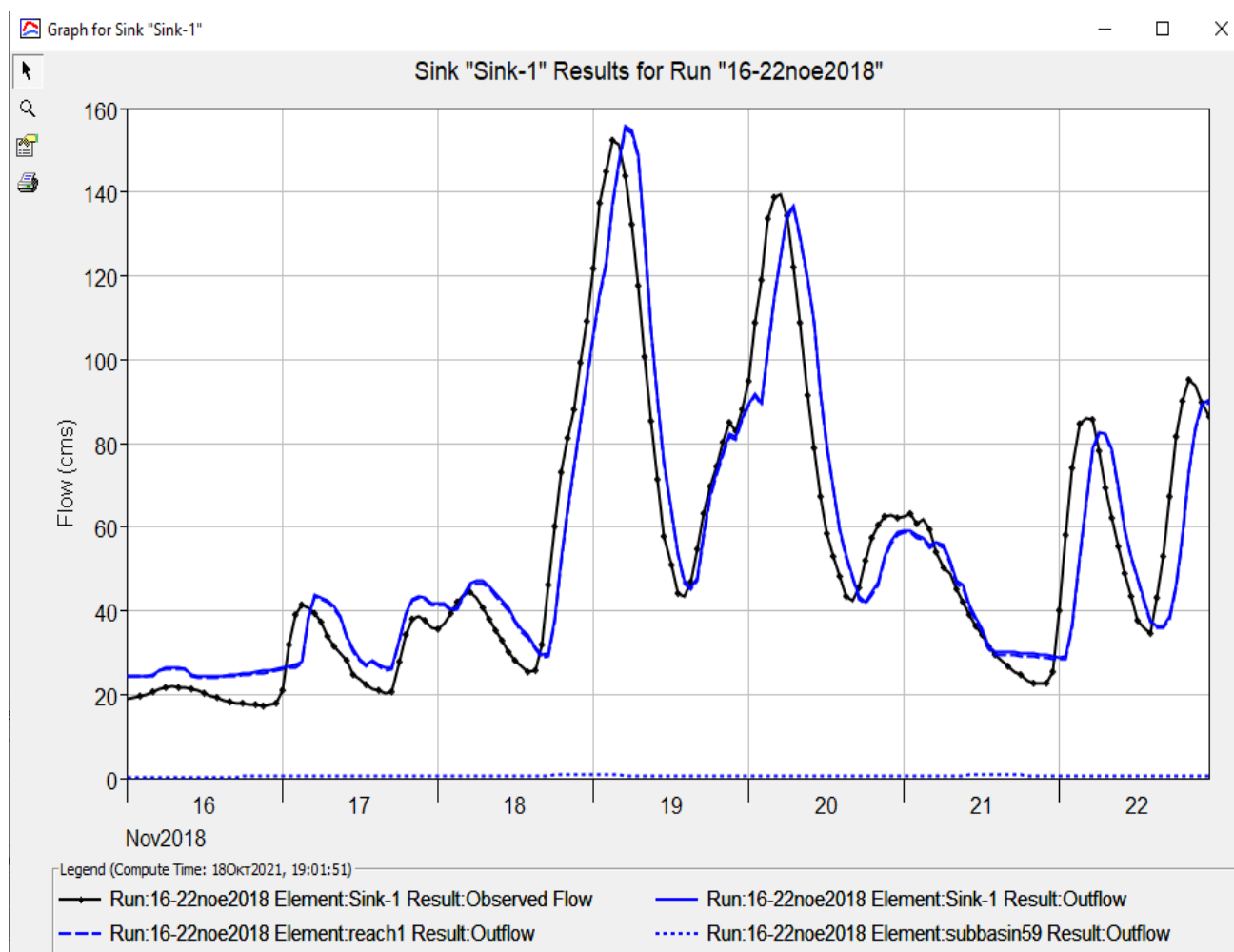
Ακολούθως στο Σχήμα 6.11 φαίνεται η συμβολή των προηγούμενων διαγραμμάτων και η άθροιση τους σε ένα. Η διακεκομμένη γραμμή με τις έντονες αλλαγές κλίσης αντιπροσωπεύει την παροχή από την Αγία Βαρβάρα, ενώ η πιο ήπια διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει την απορροή από τον ποταμό Μογλενίτσα με βάση τις αρχικές συνθήκες baseflow. Η συνεχόμενη μπλε γραμμή αποτελεί το άθροισμα των δύο άλλων και είναι εκείνη η οποία πρόκειται να συγκριθεί με τις παρατηρούμενες μετρήσεις από το σταθμό του Νησελίου.



Σχήμα 6.12: Αποτελέσματα υπολεκάνης 59, 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

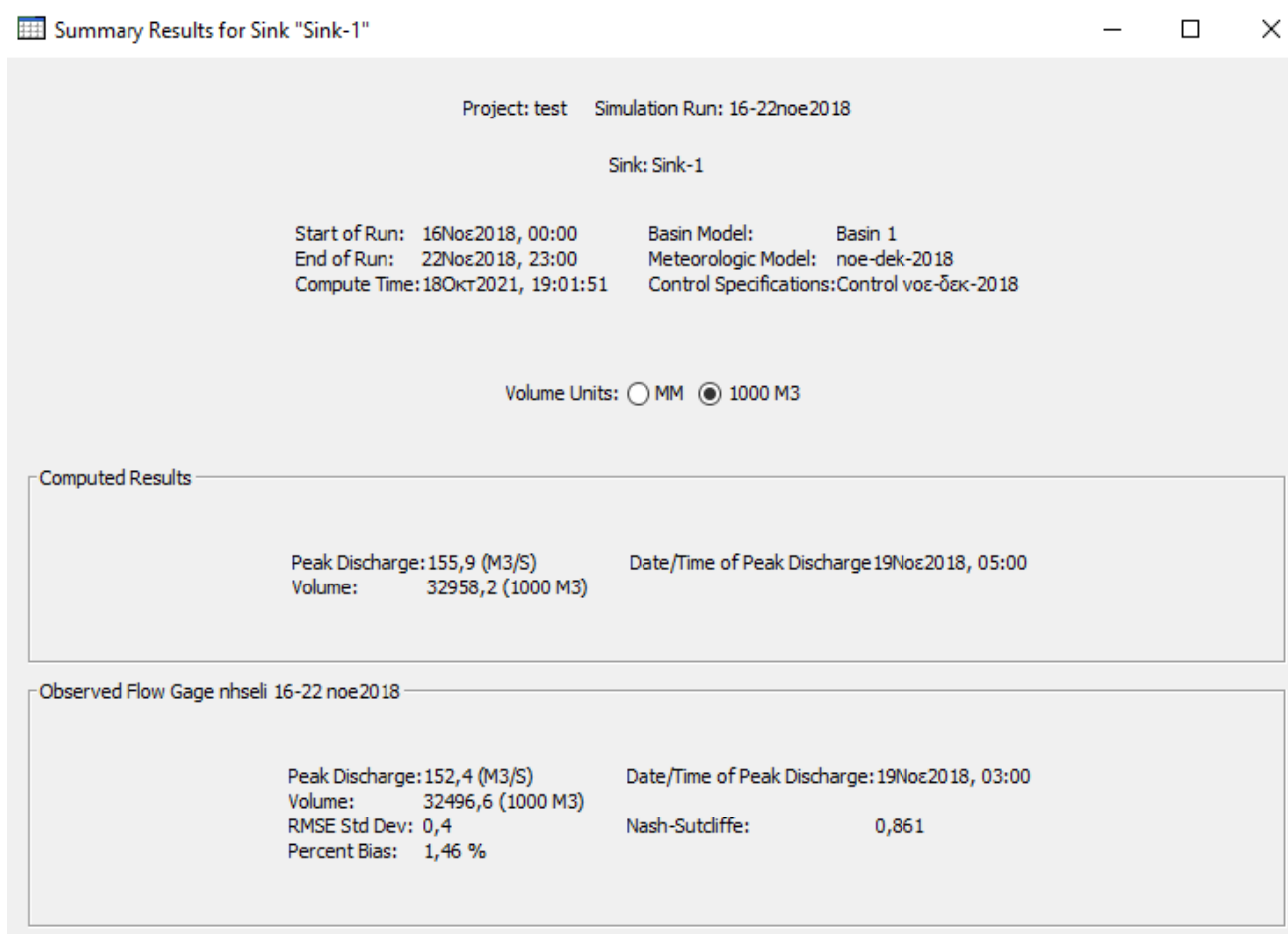
Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα για την υπολεκάνη 59. Η συγκεκριμένη υπολεκάνη επιλέχθηκε αυθαίρετα, θα μπορούσε να επιλεγεί οποιαδήποτε υπολεκάνη, ωστόσο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη επειδή είναι η τελευταία υπολεκάνη πριν το σημείο εξόδου. Στο διάγραμμα με κόκκινο είναι το νερό το οποίο κατεισδύει, ενώ με μπλε

είναι η ποσότητα νερού για την οποία γίνεται απευθείας απορροή. Η καφέ γραμμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού, η οποία πρώτα κατείσδυσε στο έδαφος και μετά ξαναβγήκε στην επιφάνεια όπως είχε αναφερθεί η διαδικασία στη μεθοδολογία του baseflow. Η καφέ γραμμή είναι αυτή η οποία τροφοδοτεί τη ροή όταν δεν υπάρχει βροχή. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι το περισσότερο νερό κατείσδυει και σε αυτήν την περίπτωση, ενώ ελάχιστη ποσότητα γίνεται απευθείας απορροή (σχεδόν δε μπορεί να γίνει αντιληπτή αυτή η ποσότητα). Συγκεκριμένα η κατείσδυση αγγίζει μέχρι και τα 1,7 mm σε κάποια περίπτωση. Η συνεχόμενη μπλε γραμμή είναι η παροχή που διέρχεται από τη συγκεκριμένη υπολεκάνη και όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι υψηλότερα από την καφέ γραμμή που αντιπροσωπεύει τις αρχικές συνθήκες, το οποίο είναι λογικό καθώς στην μελετώμενη περίοδο υπήρχαν βροχοπτώσεις που δημιουργούσαν αυτήν την αύξηση.



Σχήμα 6.13: Αποτελέσματα στο σημείο εξόδου, 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

Στο Σχήμα 6.13 εμφανίζονται οι υπολογισμένες τιμές από το μοντέλο όπως προέκυψαν από το HMS και οι παρατηρούμενες από το σταθμό στο Νησέλι. Η γενικότερη πρώτη εντύπωση που δίνεται από το διάγραμμα είναι ότι το μοντέλο λειτούργησε σωστά δημιουργώντας ένα αποτέλεσμα πολύ αντιπροσωπευτικό για τη μελετώμενη περίοδο. Σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξε μικρή υποτίμηση και σε άλλες μικρή υπερεκτίμηση των αποτελεσμάτων, ωστόσο ήταν σε πολύ μικρό βαθμό, χωρίς να δημιουργούν κάποιο πρόβλημα στη συνολική προσομοίωση. Στην αρχή, 16 Νοεμβρίου όπου δεν υπήρχε κάποιο έντονο περιστατικό βροχής φαίνεται ότι η καμπύλη σχεδόν εξ ολοκλήρου οφείλεται στο baseflow που πιθανόν στη συγκεκριμένη περίπτωση να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ίσως να χρειαζόταν μικρότερες αρχικές συνθήκες, ωστόσο επιλέχθηκε το 20 m³/s, καθώς η επιλογή βασίζεται σε ολόκληρη την προσομοίωση και όχι αποσπασματικά στην πρώτη ημέρα. Στη συνέχεια 17 και 18 Νοεμβρίου όπου όπως έχει ήδη αναφερθεί υπήρξε κατακρήμνιση περίπου 18 mm το μοντέλο φαίνεται να δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η μικρή μετατόπιση πιθανόν να ευθύνεται στην επιλογή του χρόνου υστέρησης lag time όπου είχε επιλεγθεί τα 3 m/s. Το γεγονός ότι η μπλε γραμμή, δηλαδή το υπολογισμένο διάγραμμα προηγείται χρονικά της μαύρης γραμμής, δηλαδή των παρατηρήσεων, δίνει το συμπέρασμα ότι ίσως στη



Σχήμα 6.14: Αποτελέσματα, 16 Νοεμβρίου 2018 έως 22 Νοεμβρίου 2018

συγκεκριμένη περίπτωση να χρειαζόταν μία μικρότερη ταχύτητα για να ταυτιστούν οι δύο καμπύλες, ωστόσο σημειώνεται εδώ ότι η ταχύτητα επιλέχθηκε τέτοια ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες οποιασδήποτε χρονικής περιόδου και σεναρίου με ανεκτό σφάλμα. Αυτή η μετατόπιση γίνεται εμφανής σε όλο το διάγραμμα. Ωστόσο, αυτό που γίνεται αντιληπτό και έχει επιτευχθεί είναι ότι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές σχεδόν ταυτίζονται με τη μικρή αυτή χρονική διαφοροποίηση.

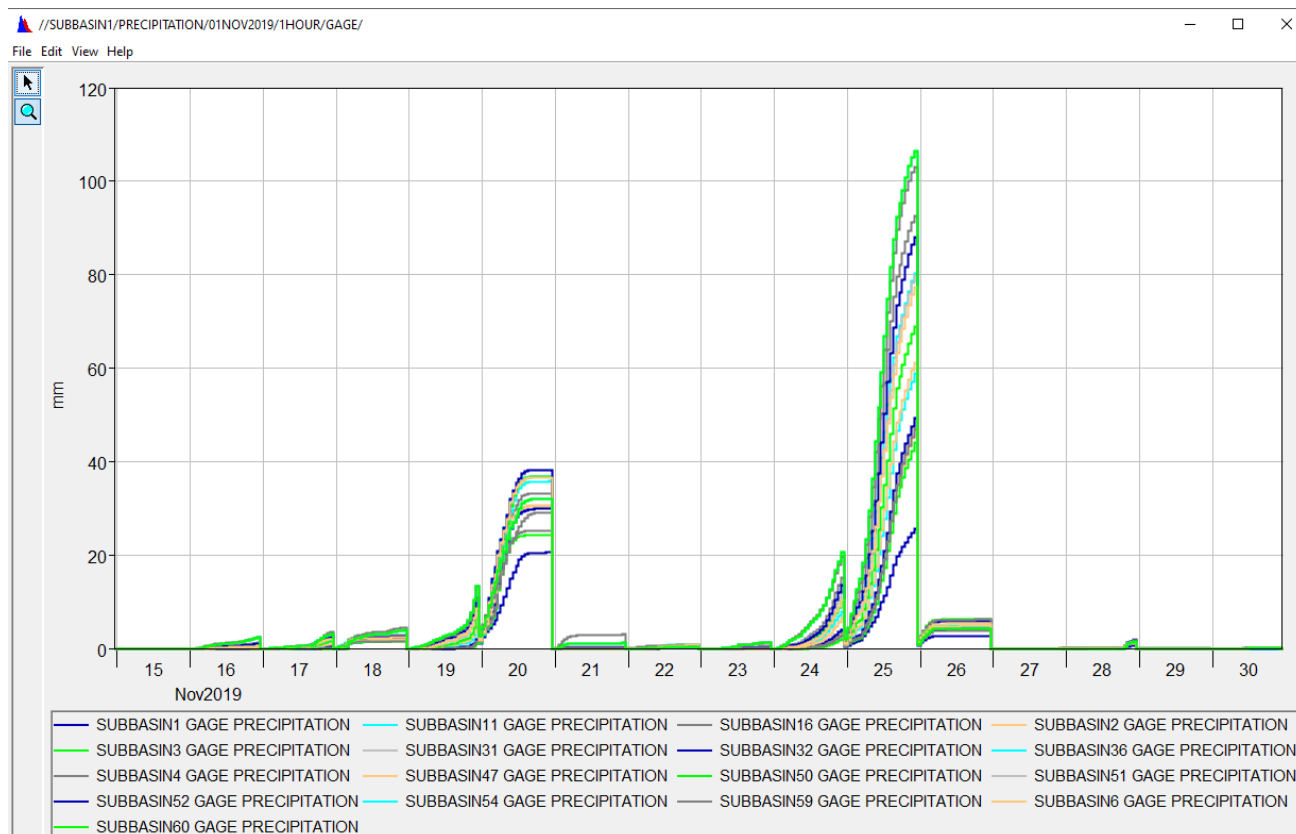
Ακολούθως, στο Σχήμα 6.14 φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στον πίνακα αυτό μπορεί κανείς αρχικά να διαπιστώσει εάν στις παρατηρήσεις και στα εξαγόμενα αποτελέσματα υπάρχει η ίδια μέγιστη τιμή αλλά και σε ποια χρονική στιγμή υπήρξε αυτή η μέγιστη τιμή. Όπως παρατηρεί κανείς η μέγιστη τιμή είναι σχεδόν ταυτόσημη με μικρή διαφορά της τάξης του 3 m³/s, ενώ η χρονική στιγμή που επιτεύχθηκε η μέγιστη παροχή εμφανίζει διαφορά δύο ωρών. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι το percent bias, το οποίο αντιπροσωπεύει το σφάλμα είναι πολύ μικρό ποσοστό, 1,46%, γεγονός που δείχνει μία πολύ πετυχημένη προσομοίωση, καθώς ποσοστά μικρότερα του 10% δείχνουν πολύ ικανοποιητική προσέγγιση. Τέλος, και ο συντελεστής μέσου τετραγωνικού σφάλματος συμφωνεί με τον προηγούμενο συντελεστή στη σύγκλιση των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας την τιμή μόλις του 0,4.

Αξιολόγηση Μοντέλου

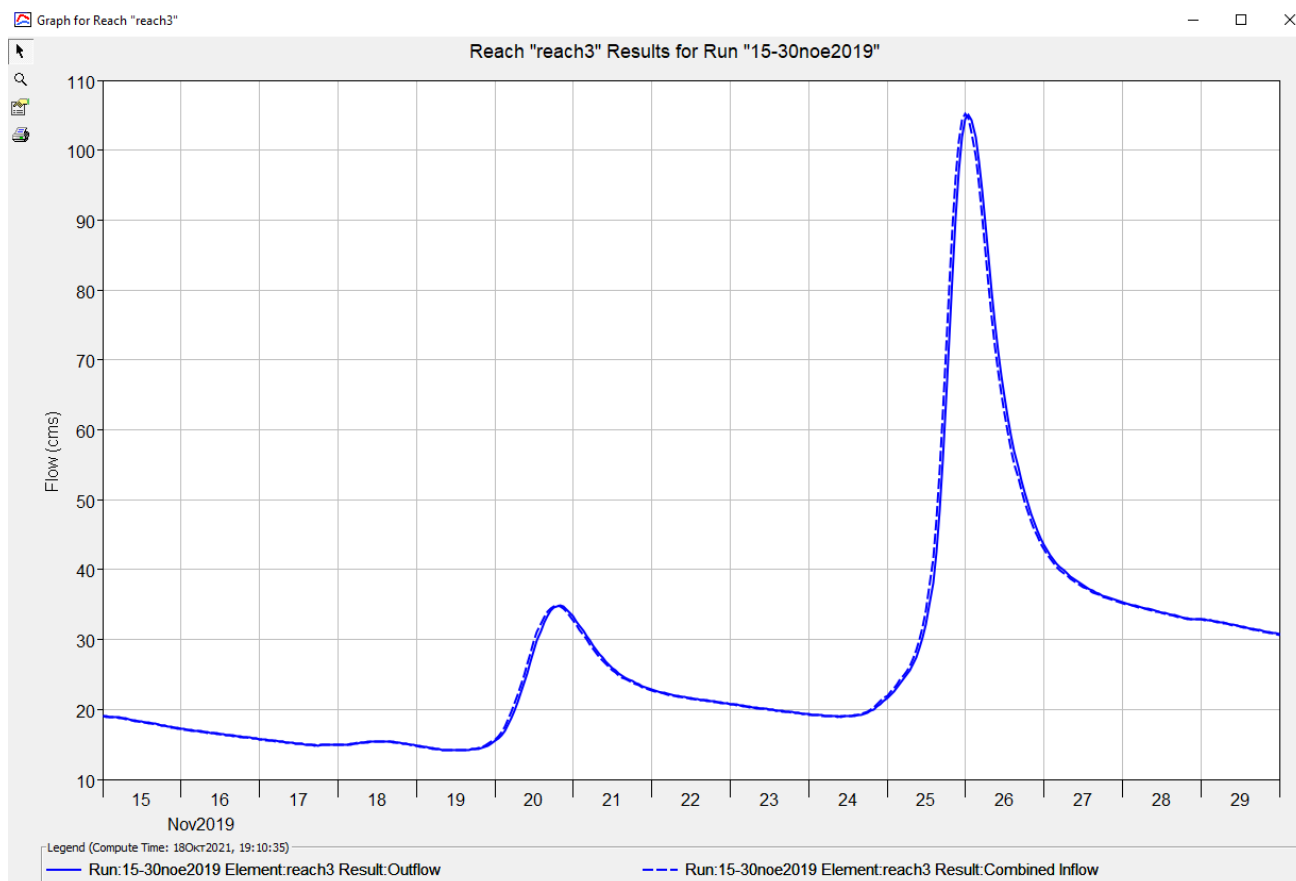
Το μοντέλο γενικά φαίνεται να λειτουργήσει πολύ ικανοποιητικά στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Στο κομμάτι της απορροής ακολούθησε ακριβώς τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί σε συνδυασμό με την απορροή από βροχόπτωση που προέκυψε. Στο κομμάτι των παροχών της Αγίας Βαρβάρας διαπιστώθηκε μία ακολουθία του φαινομένου των κατακρημνίσεων, δηλαδή τις ημέρες όπου υπήρχαν οι βροχοπτώσεις εμφανιζόταν αυξητική τάση και στην καμπύλη παροχής.. Στο συνολικό διάγραμμα παρουσιάστηκε μία διαφοροποίηση, ωστόσο ήταν σε λογικά πλαίσια και αιτιολογείται κυρίως εξαιτίας του χρόνου υστέρησης, εμφανίζοντας μία τάση να προηγούνται τα εξαγόμενα αποτελέσματα σε σχέση με τις παρατηρούμενες μετρήσεις. Αυτό διαπιστώθηκε άλλωστε και από τον πίνακα σύνοψης αποτελεσμάτων, όπου οι συντελεστές σύγκρισης εξαγόμενων και παρατηρούμενων μετρήσεων ήταν πολύ μικροί.

6.3 3° Σενάριο προσομοίωσης

Το τρίτο σενάριο προσομοίωσης όπως ήδη έχει αναφερθεί αφορούσε την περίοδο 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019. Στο Σχήμα 6.15 παρουσιάζονται οι κατακρημνίσεις από το πρόγραμμα HEC – DSSVue για την εξεταζόμενη περίοδο. Το συγκεκριμένο διάστημα υπήρξαν μέτριες βροχοπτώσεις εφόσον το συνολικό ύψος βροχής έφτασε τα 100 mm περίπου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις τα 40 mm. Επομένως, σαν περιστατικό βροχής υπήρξε ένα έντονο περιστατικό βροχής και ένα πιο ήπιο. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.15 οι κατακρημνίσεις είναι αθροιστικές, επομένως τα αποτελέσματα αναφέρονται στο συνολικό ύψος βροχής κάθε υπολεκάνης στο τέλος της ημέρας. Το συγκεκριμένο περιστατικό χρησιμοποιήθηκε στην τρίτη προσομοίωση για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου όπου δεν θα εμφανιζόταν μόνο ένα περιστατικό βροχής αλλά παραπάνω. Συνειδητά επιλέχθηκε ένα πιο έντονο περιστατικό σε μικρό χρονικό διάστημα και ένα πιο ήπιο ώστε να διορθωθούν οι παράμετροι για κατάσταση βροχόπτωσης, για να γίνει διακριτή η πηγή τυχόν σφάλματος. Με αυτά τα δεδομένα, δηλαδή ενός περιστατικού έντονης βροχόπτωσης διάρκειας περίπου τεσσάρων ημερών παρατίθενται τα αντίστοιχα σχήματα απορροής Μογλενίτσα και παροχής Αγίας Βαρβάρας.



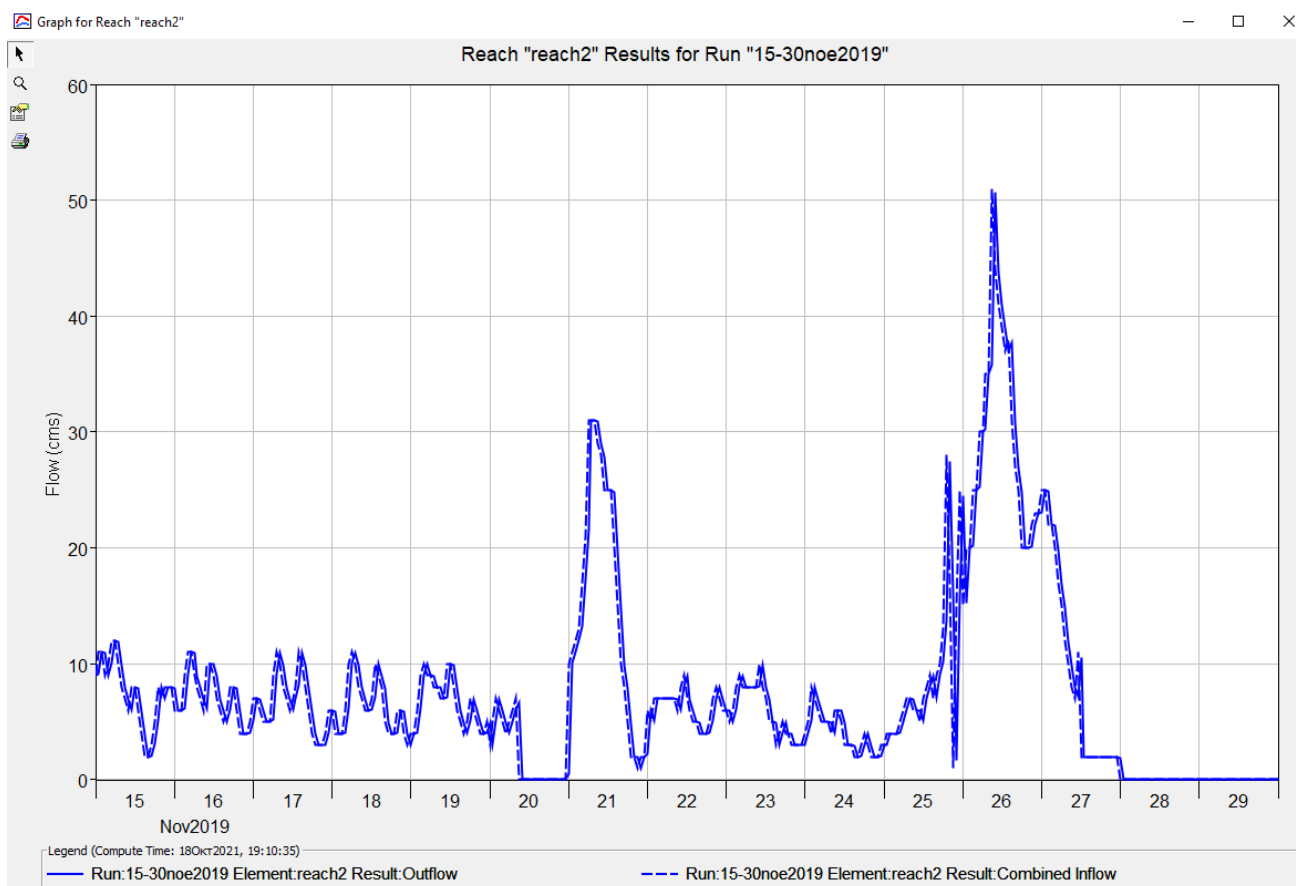
Σχήμα 6.15: Κατακρημνίσεις 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019



Σχήμα 6.16: Απορροή Μογλενίτσα 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019

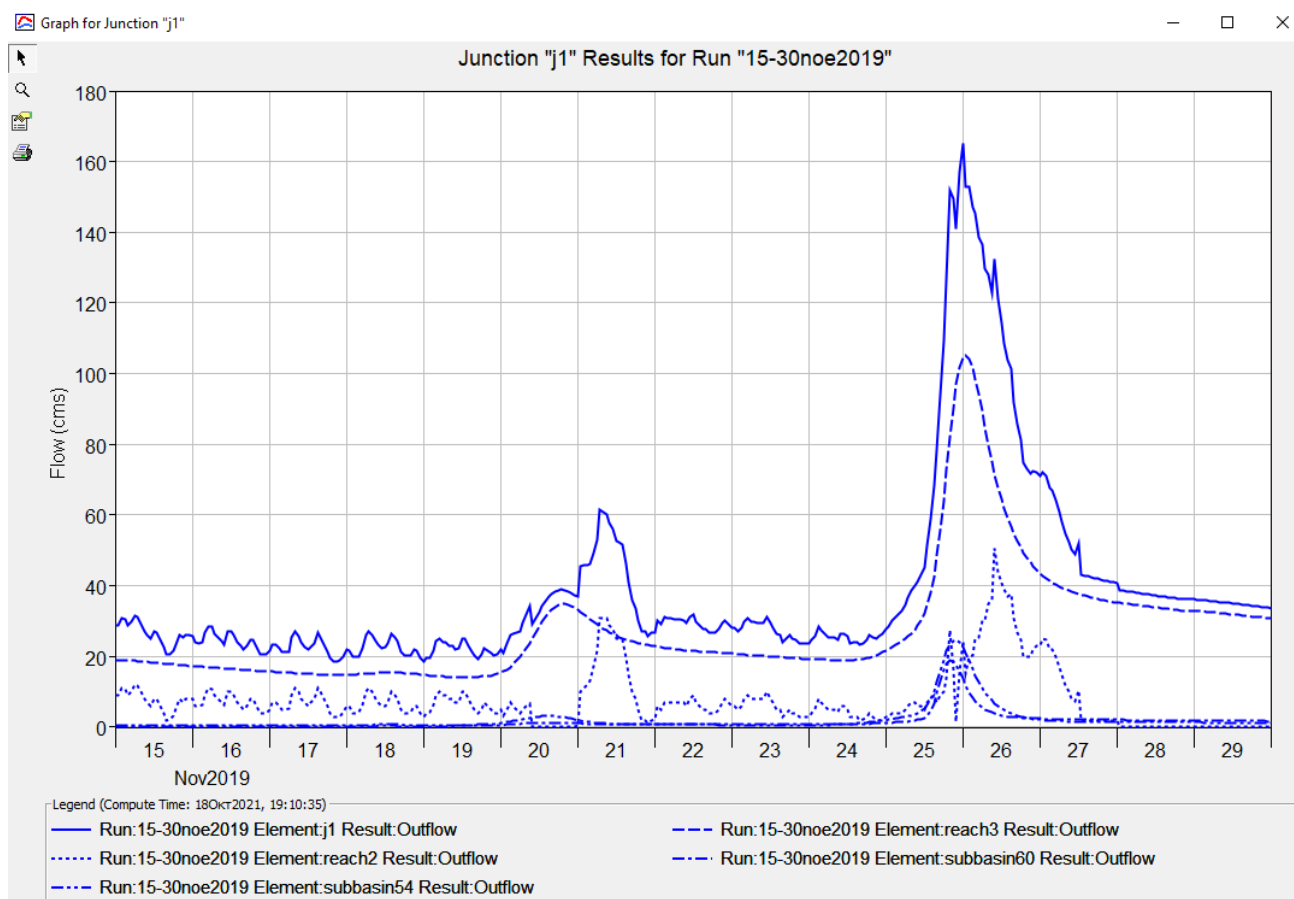
Στο Σχήμα 6.16 παρουσιάζεται η παροχή η οποία προέρχεται από το ποταμό Μογλενίτσα για το μελετώμενο διάστημα. Το διάγραμμα ξεκινάει με τα $19 \text{ m}^3/\text{s}$, λόγω των αρχικών συνθηκών. Συνολικά είχαν τοποθετηθεί $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ως αρχική συνθήκη, ωστόσο το $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ είχε τοποθετηθεί στις υπολεκάνες 59 και 60. Ξεκινώντας λοιπόν, στο διάγραμμα εμφανίζονται οι αρχικές συνθήκες, στη συνέχεια 20 Νοεμβρίου υπάρχει μία μικρή αύξηση στην παροχή του ποταμού και αυτό ήταν αναμενόμενο εάν συγκρίνει κανείς ταυτόχρονα τις κατακρημνίσεις του Σχήματος 6.15 με τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.16. Εκείνη τη μέρα υπήρξε βροχόπτωση συνολικής κατακρήμνισης περίπου 40 mm , γεγονός που αιτιολογεί τη μορφή της καμπύλης στο Σχήμα 6.16. Έπειτα 25 Νοεμβρίου ξεκίνησε πιο έντονη βροχόπτωση με τις κατακρημνίσεις να πλησιάζουν το συνολικό ύψος των 110 mm . Αυτό αποτυπώνεται και στο διάγραμμα 6.16 όπου εκείνες τις μέρες η συνολική παροχή του ποταμού φτάνει τα $110 \text{ m}^3/\text{s}$. Τέλος, ακολουθεί διάστημα ασθενούς βροχόπτωσης όπου το διάγραμμα φαίνεται να έχει πολύ ήπιες κλίσεις. Συγκρίνοντας τα δεδομένα που εισήχθησαν από το διάγραμμα 6.15 με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν στο διάγραμμα 6.16 θα

μπορούσε να πει κανείς ότι το μοντέλο αντιλαμβάνεται ακριβώς πότε εμφανίζονται οι κατακρημνίσεις και τις αποδίδει σε παροχή στον ποταμό Μογλενίσα.



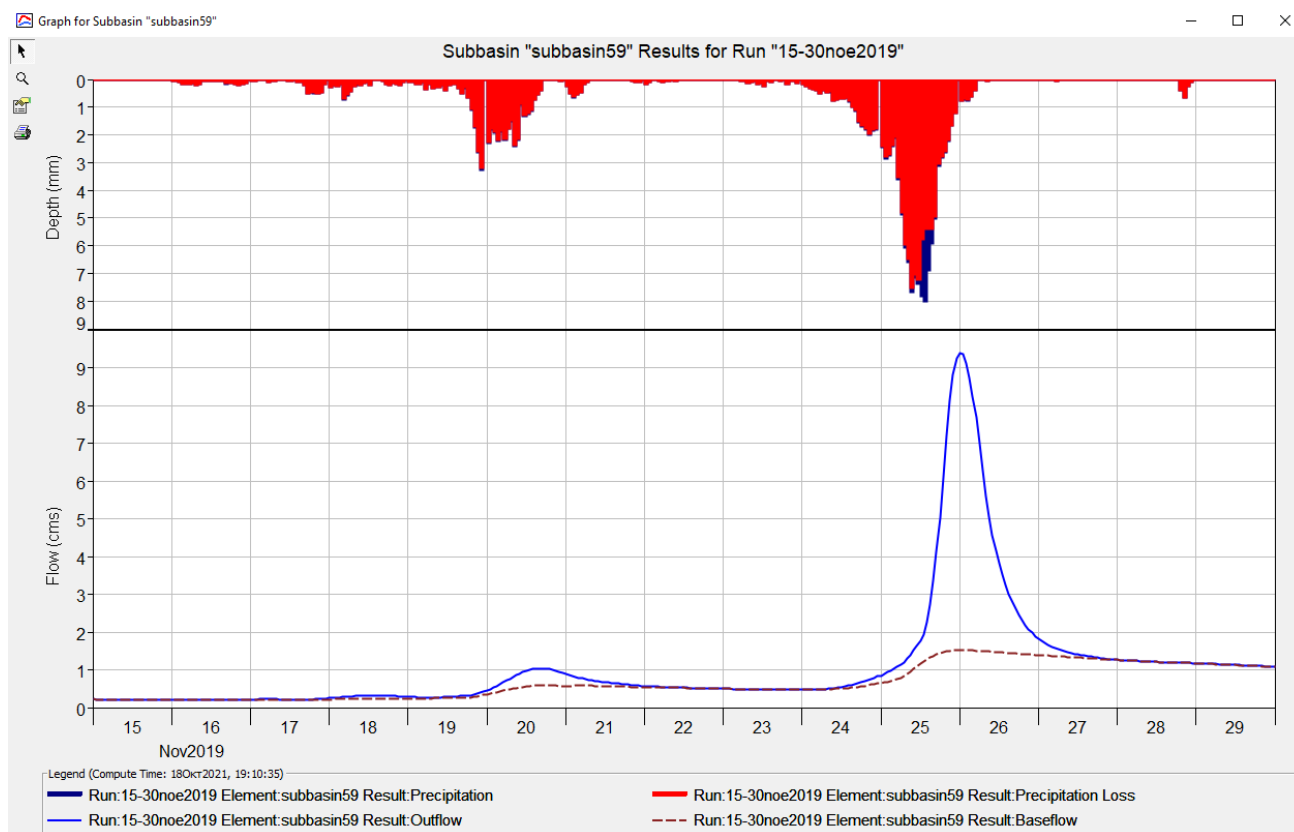
Σχήμα 6.17: Παροχή Αγίας Βαρβάρας 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019

Στο Σχήμα 6.17 γίνεται αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του φράγματος συνδυαστικά από τα προηγούμενα δύο σενάρια. Αρχικά, παρατηρεί κανείς ότι τις ημέρες όπου δεν υφίσταται βροχόπτωση ή υφίσταται μόνο ασθενής βροχόπτωση το φράγμα εμφανίζει την περιοδικότητα για την οποία έγινε λόγος στο 1^ο σενάριο. Αντίθετα τις ημέρες με περισσότερο έντονη ή και ακραία βροχόπτωση το φράγμα λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερχειλίσει. Στο πρώτο περιστατικό όπου υπήρχαν μόνο τα 40 mm βροχής το φράγμα της Αγίας Βαρβάρας φαίνεται να επέτρεψε σε μία ποσότητα περίπου 30 m³/s να εκρεύσει, ενώ στο δεύτερο περιστατικό με τα 100 mm, άφησε περίπου 50 m³/s να διαφύγουν στον Αλιάκμονα. Οι δύο τελευταίες ημέρες που δεν έχουν παροχές είναι διότι δεν υπήρχε ανάγκη εκροής, καθώς δεν υπήρχαν βροχοπτώσεις.



Σχήμα 6.18: Αποτελέσματα στον κόμβο j1, 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019

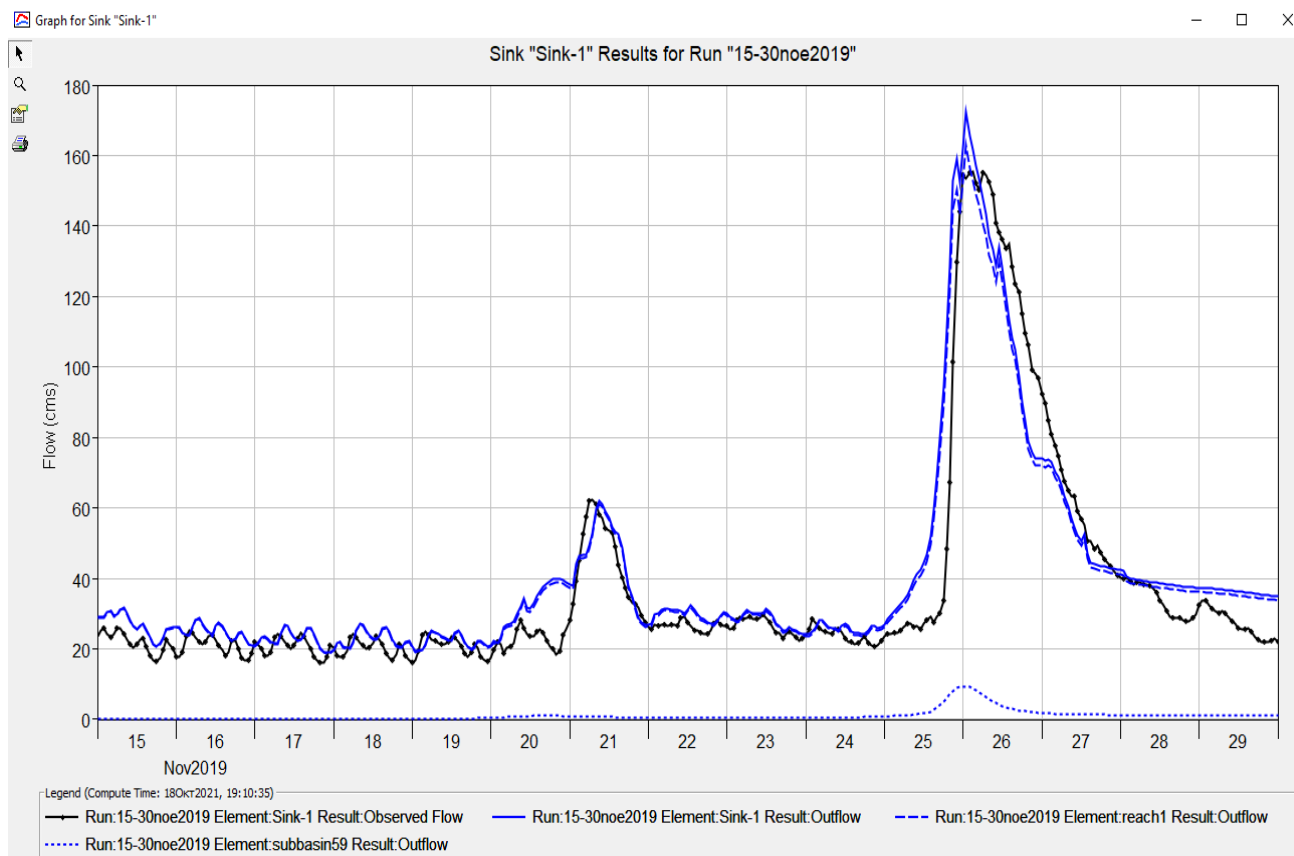
Στο Σχήμα 6.18 φαίνονται η καμπύλη απορροής από το Μογλενίτσα, η καμπύλη παροχής από την Αγία Βαρβάρα και το συνολικό άθροισμα των δύο αυτών καμπυλών. Στο κάτω τμήμα του διαγράμματος φαίνεται ακόμα δύο καμπύλες χωρίς ουσιαστική σημασία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για επιλογή απεικόνιση του προγράμματος HMS για απεικόνιση αποτελεσμάτων κάποιων υπολεκανών αυθαίρετα. Το συνολικό αυτό αποτέλεσμα είναι αυτό που πρόκειται να συγκριθεί μετέπειτα με τις παρατηρήσεις του Νησελίου.



Σχήμα 6.19: Αποτελέσματα υπολεκάνης 59, 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019

Στο Σχήμα 6.19 παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα για την υπολεκάνη 59. Η συγκεκριμένη υπολεκάνη επιλέχθηκε αυθαίρετα, θα μπορούσε να επιλεγεί οποιαδήποτε υπολεκάνη, ωστόσο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη επειδή είναι η τελευταία υπολεκάνη πριν το σημείο εξόδου. Στο διάγραμμα με κόκκινο είναι το νερό το οποίο κατεισδύει, ενώ με μπλε είναι η ποσότητα νερού για την οποία γίνεται απευθείας απορροή. Η καφέ γραμμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού, η οποία πρώτα κατείσδυσε στο έδαφος και μετά ξαναβγήκε στην επιφάνεια όπως είχε αναφερθεί η διαδικασία στη μεθοδολογία του baseflow. Η καφέ γραμμή είναι αυτή η οποία τροφοδοτεί τη ροή όταν δεν υπάρχει βροχή. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι το περισσότερο νερό κατεισδύει και σε αυτήν την περίπτωση, ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται να υπάρχει και απευθείας απορροή. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι πρόκειται για ένα περιστατικό βροχής με μεγαλύτερο ύψος βροχής, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται πλήρωση της ικανότητας του εδάφους να απορροφά νερό, επομένως μία ποσότητα αναγκαστικά απορρέει επιφανειακά. Η συνεχόμενη μπλε γραμμή είναι η παροχή που διέρχεται από τη συγκεκριμένη υπολεκάνη και όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι υψηλότερα από την καφέ γραμμή που αντιπροσωπεύει τις αρχικές συνθήκες, το οποίο είναι λογικό καθώς στην μελετώμενη περίοδο υπήρχαν

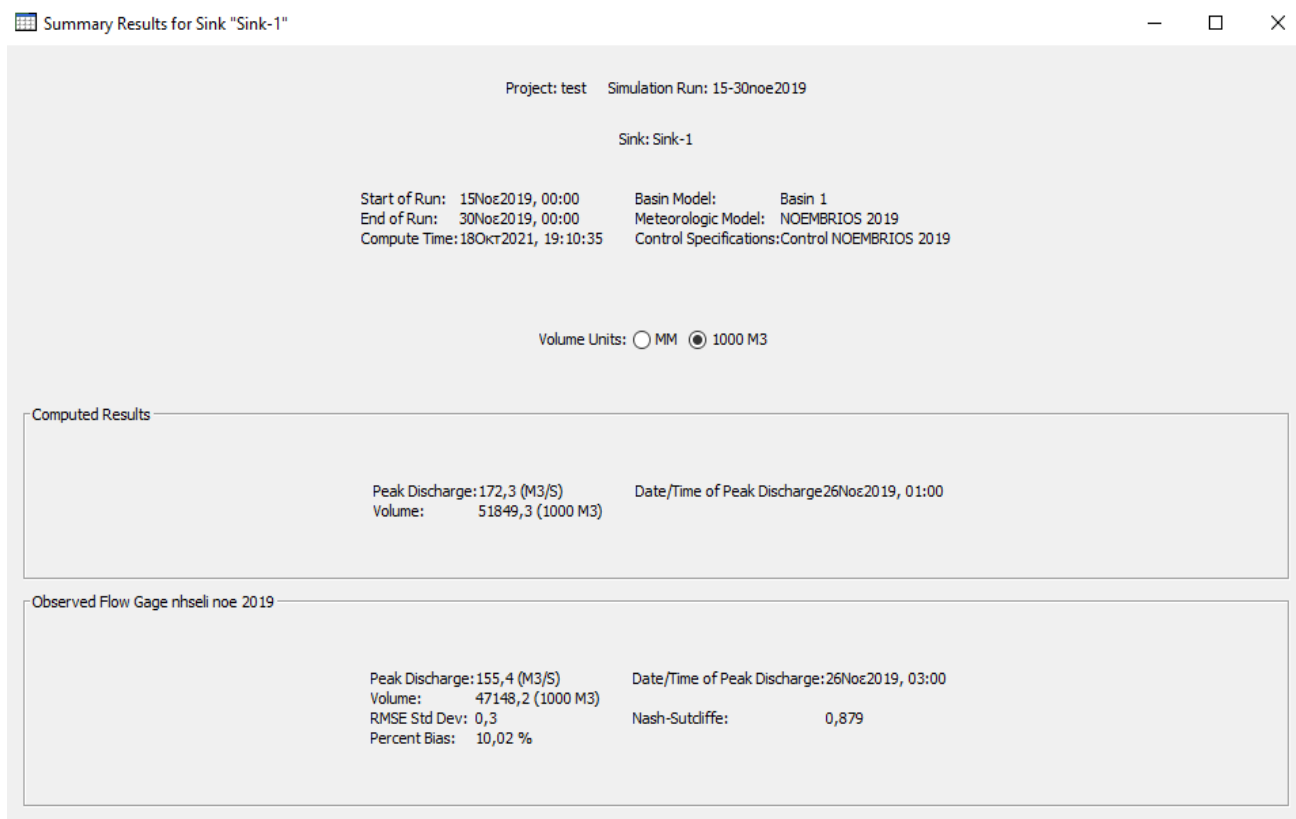
βροχοπτώσεις που δημιουργούσαν αυτήν την αύξηση. Ειδικά τις ημέρες 25 και 26 γίνεται ορατή η έντονη βροχόπτωση από τη μεγάλη διαφορά που εμφανίζεται στις δύο αυτές καμπύλες.



Σχήμα 6.20: Αποτελέσματα στο σημείο εξόδου, 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019

Στο Σχήμα 6.20 εμφανίζονται οι υπολογισμένες τιμές από το μοντέλο όπως προέκυψαν από το HMS και οι παρατηρούμενες από το σταθμό στο Νησέλι. Η γενικότερη πρώτη εντύπωση που δίνεται από το διάγραμμα είναι ότι το μοντέλο λειτούργησε σωστά δημιουργώντας ένα αποτέλεσμα πολύ αντιπροσωπευτικό για τη μελετώμενη περίοδο. Σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξε μικρή υπερεκτίμηση των αποτελεσμάτων, ωστόσο ήταν σε πολύ μικρό βαθμό, χωρίς να δημιουργούν κάποιο πρόβλημα στη συνολική προσομοίωση. Τις πρώτες ημέρες όπου δεν υπήρξε κάποιο περιστατικό βροχής παρουσιάζεται και εδώ μία περιοδικότητα η οποία οφείλεται στο άθροισμα των παροχών του Μογλενίτσα οφειλόμενο μόνο στις αρχικές συνθήκες baseflow και στις περιοδικές παροχές οι οποίες εξέρρεαν από την Αγία Βαρβάρα. Φαίνεται ότι η εξαγόμενη καμπύλη βρίσκεται πάνω από τις πραγματικές μετρήσεις και αυτό οφείλεται στο συντελεστή fraction του baseflow. Ωστόσο, δεν έγινε

προσαρμογή γιατί στόχος ήταν η δημιουργία μοντέλου λειτουργικού σε κάθε περίπτωση και όχι ιδανικού σε μόνο ένα σενάριο.



Σχήμα 6.21: Αποτελέσματα , 15 Νοεμβρίου 2019 έως 30 Νοεμβρίου 2019

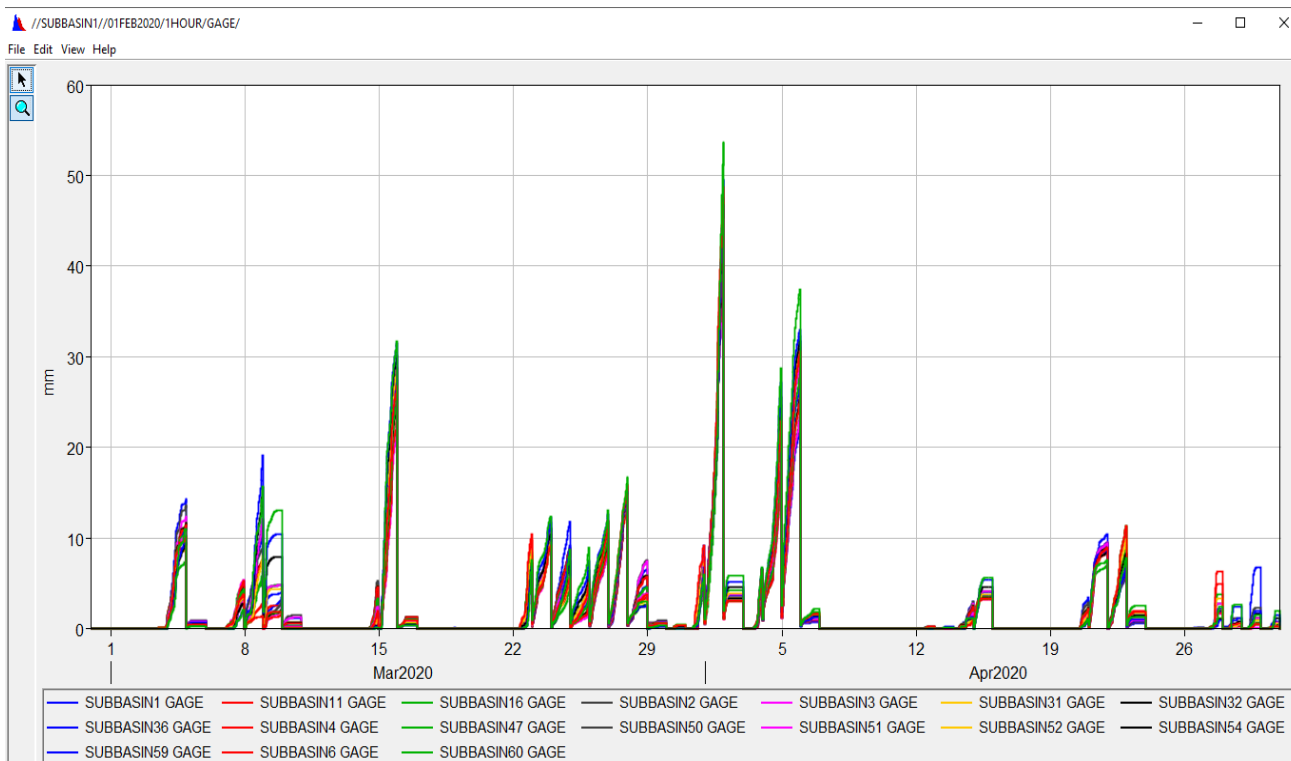
Ακολούθως, στο Σχήμα 6.21 φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στον πίνακα αυτό μπορεί κανείς αρχικά να διαπιστώσει εάν στις παρατηρήσεις και στα εξαγόμενα αποτελέσματα υπάρχει η ίδια μέγιστη τιμή αλλά και σε ποια χρονική στιγμή υπήρξε αυτή η μέγιστη τιμή. Όπως παρατηρεί κανείς η μέγιστη τιμή έχει μία μικρή διαφορά της τάξης του 7 m³/s, ενώ η χρονική στιγμή που επιτεύχθηκε η μέγιστη παροχή εμφανίζει διαφορά δύο ωρών. Το percent bias, το οποίο αντιπροσωπεύει το σφάλμα είναι σε ποσοστό περίπου 10% γεγονός που δείχνει μία σχετικά πετυχημένη προσομοίωση. Τέλος, και ο συντελεστής μέσου τετραγωνικού σφάλματος είναι πολύ ικανοποιητικός, καθώς λαμβάνει την τιμή μόλις του 0,3.

Αξιολόγηση Μοντέλου

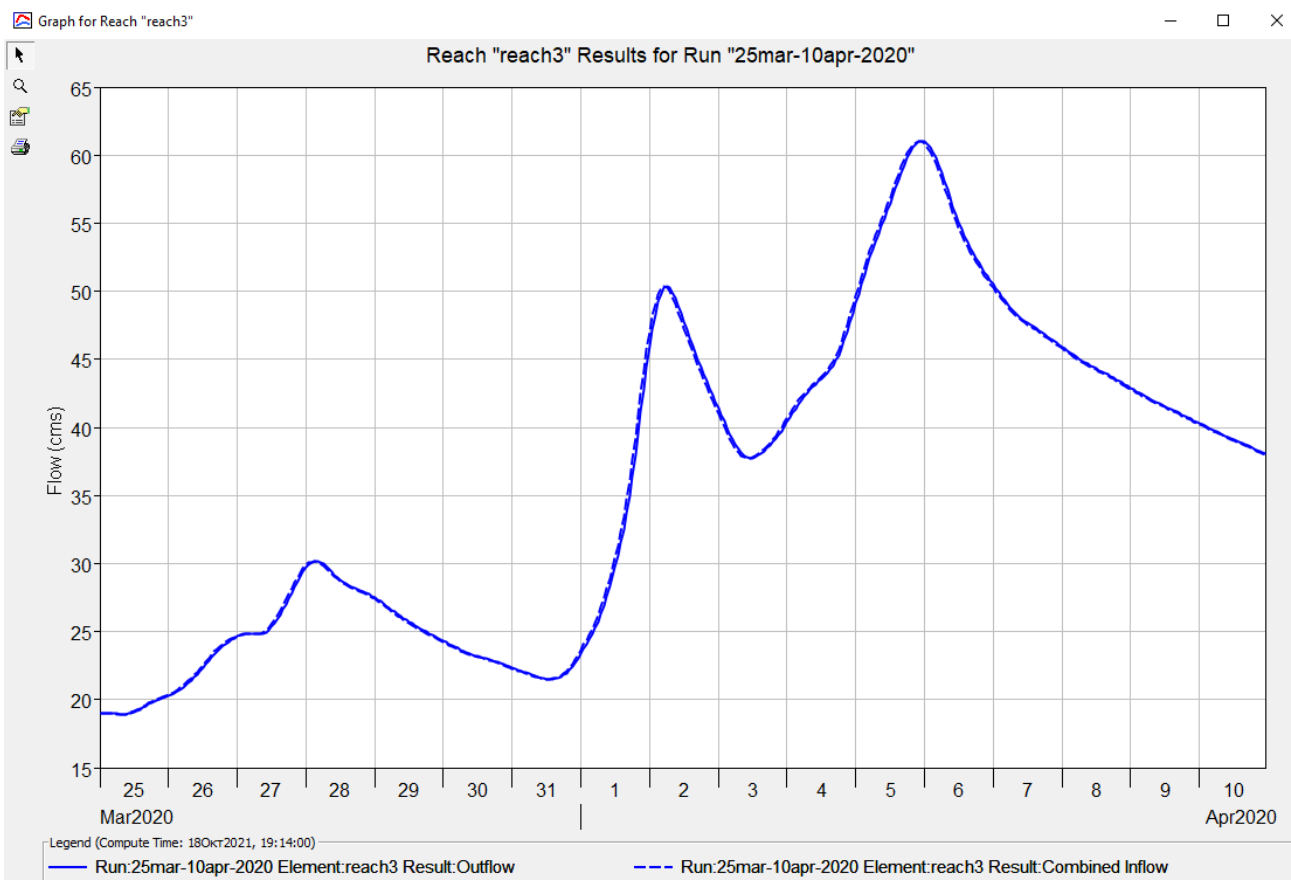
Το μοντέλο γενικά φαίνεται να λειτουργήσει πολύ ικανοποιητικά στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Στο κομμάτι της απορροής ακολούθησε ακριβώς τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί σε συνδυασμό με την απορροή από βροχόπτωση που προέκυψε. Στο κομμάτι των παροχών της Αγίας Βαρβάρας διαπιστώθηκε μία ακολουθία του φαινομένου των κατακρημνίσεων, δηλαδή τις ημέρες όπου υπήρχαν οι βροχοπτώσεις εμφανιζόταν αυξητική τάση και στην καμπύλη παροχής, ενώ τις ημέρες με μηδενική βροχόπτωση απλή περιοδικότητα μιας ελάχιστης παροχής. Στο συνολικό διάγραμμα παρουσιάστηκε μία διαφοροποίηση, ωστόσο ήταν σε λογικά πλαίσια και αιτιολογείται κυρίως εξαιτίας του συντελεστή fraction, εμφανίζοντας μία τάση να βρίσκονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα υψηλότερα σε σχέση με τις παρατηρούμενες μετρήσεις. Αυτό διαπιστώθηκε άλλωστε και από τον πίνακα σύνοψης αποτελεσμάτων, όπου οι συντελεστές σύγκρισης εξαγόμενων και παρατηρούμενων μετρήσεων έδιναν ένα ποσοστό διαφοροποίησης περίπου 10%.

6.4 4° Σενάριο προσομοίωσης

Το τέταρτο σενάριο προσομοίωσης όπως ήδη έχει αναφερθεί αφορούσε την περίοδο 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020. Στο Σχήμα 6.22 παρουσιάζονται οι κατακρημνίσεις από το πρόγραμμα HEC – DSSVue για ολόκληρο το μήνα Μάρτιο και Απρίλιο. Ωστόσο, πρόκειται να εξεταστεί μόνο το διάστημα 25 με 10. Το συγκεκριμένο διάστημα υπήρξαν ασθενείς βροχοπτώσεις εφόσον το συνολικό ύψος βροχής έφτασε τα 15 mm περίπου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις τα 55 και 35 mm. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.22 οι κατακρημνίσεις είναι αθροιστικές, επομένως τα αποτελέσματα αναφέρονται στο συνολικό ύψος βροχής κάθε υπολεκάνης στο τέλος της ημέρας. Το συγκεκριμένο περιστατικό χρησιμοποιήθηκε στην τέταρτη προσομοίωση για να υπάρξει διαφοροποίηση στην επιλογή εποχής, καθώς όλα τα σενάρια αναφέρονταν έως τώρα σε χειμερινούς μήνες. Με αυτά τα δεδομένα, παρατίθενται τα αντίστοιχα σχήματα απορροής Μογλενίτσα και παροχής Αγίας Βαρβάρας.

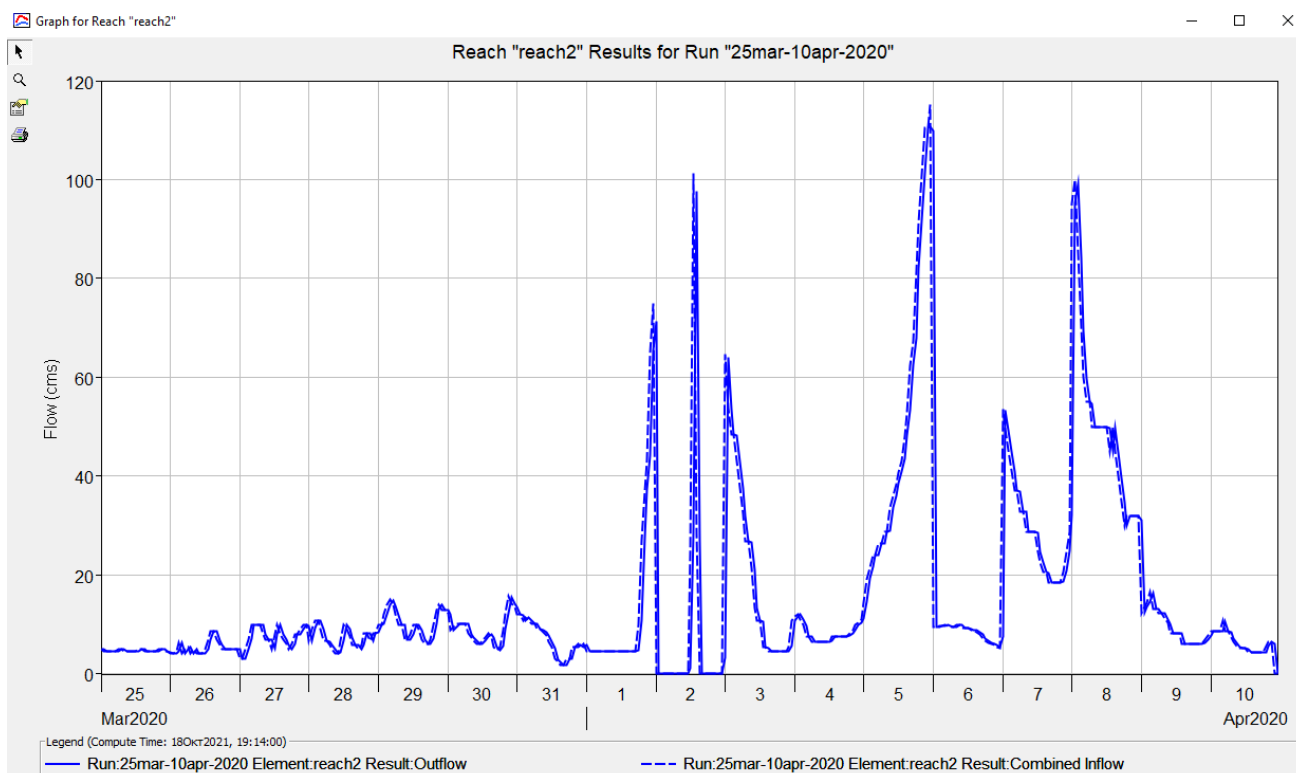


Σχήμα 6.22: Κατακρημνίσεις 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020



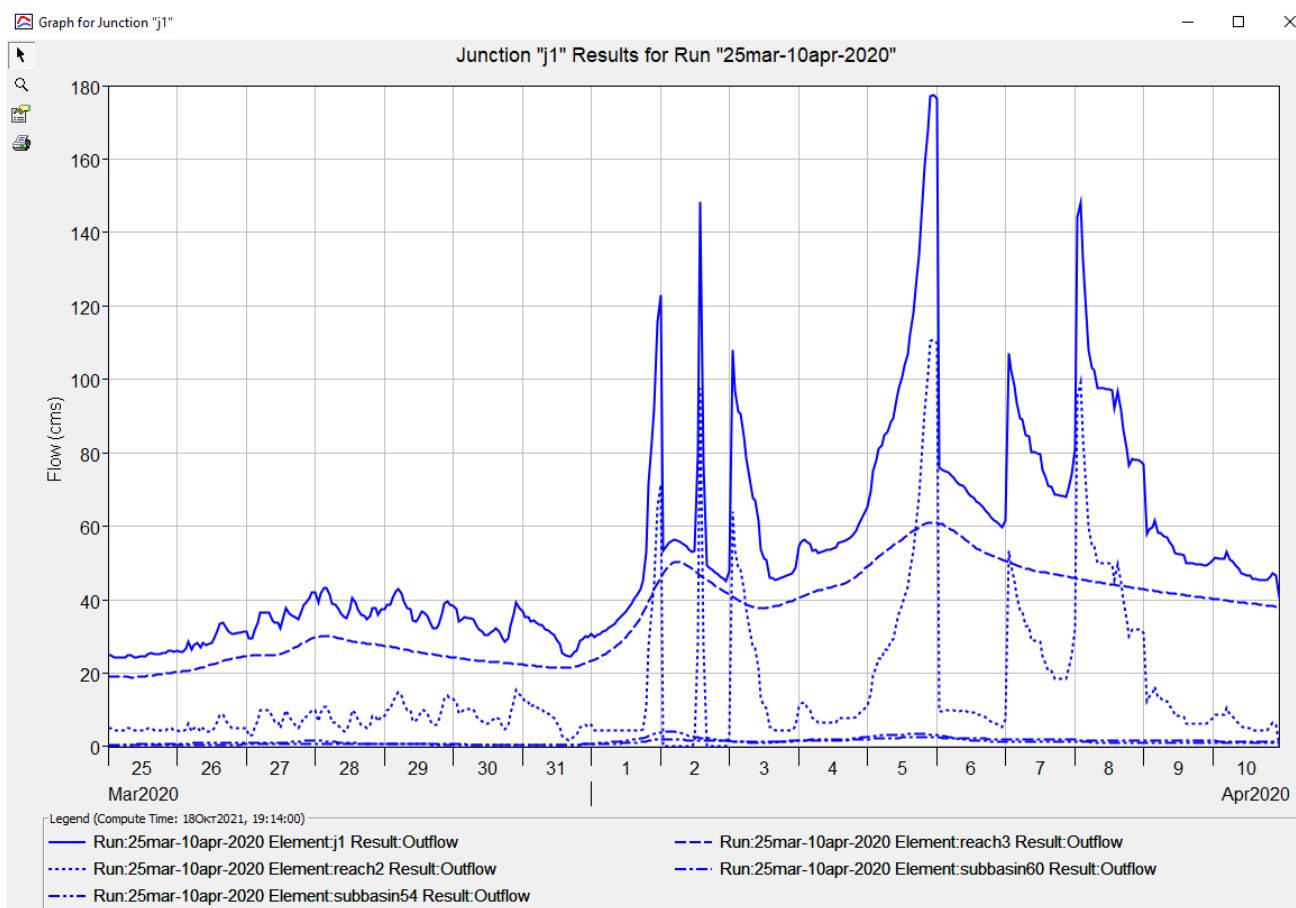
Σχήμα 6.23: Απορροή Μογλενίτσα 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020

Στο Σχήμα 6.23 παρουσιάζεται η παροχή η οποία προέρχεται από το ποταμό Μογλενίτσα για το μελετώμενο διάστημα. Το διάγραμμα ξεκινάει με τα $19 \text{ m}^3/\text{s}$, λόγω των αρχικών συνθηκών. Συνολικά είχαν τοποθετηθεί $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ως αρχική συνθήκη, ωστόσο το $1 \text{ m}^3/\text{s}$ είχε τοποθετηθεί στις υπολεκάνες 59 και 60. Ξεκινώντας λοιπόν, στο διάγραμμα εμφανίζονται οι αρχικές συνθήκες, στη συνέχεια τις πρώτες ημέρες υπάρχει μία μικρή αύξηση στην παροχή του ποταμού και αυτό ήταν αναμενόμενο εάν συγκρίνει κανείς ταυτόχρονα τις κατακρημνίσεις του Σχήματος 6.22 με τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.23. Έπειτα 1 με 2 Απριλίου ξεκίνησε πιο έντονη βροχόπτωση με τις κατακρημνίσεις να πλησιάζουν το συνολικό ύψος των 55 mm . Αυτό αποτυπώνεται και στο διάγραμμα 6.23 όπου εκείνες τις μέρες η συνολική παροχή του ποταμού φτάνει τα $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Τέλος, ακολουθεί το περιστατικό βροχόπτωσης 5 με 6 Απριλίου όπου το διάγραμμα φαίνεται να έχει πιο ήπιες κλίσεις, καθώς όπως φαίνεται πρόκειται για περιστατικό με μεγαλύτερη διάρκεια. Συγκρίνοντας τα δεδομένα που εισήχθησαν από το διάγραμμα 6.22 με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν στο διάγραμμα 6.23 θα μπορούσε να πει κανείς ότι το μοντέλο αντιλαμβάνεται τα περιστατικά βροχής και τα αποτυπώνει. Στο σημείο αυτό δημιουργείται ένας μικρός προβληματισμός για το διάγραμμα 6.23, καθώς θεωρητικά κι με βάση τα προηγούμενα σενάρια εφόσον 5 με 6 Απριλίου το ύψος βροχής είναι μικρότερο από το αντίστοιχο 1 Απριλίου, θα περίμενε κανείς και η παροχή στο διάγραμμα να είναι μικρότερη. Εδώ από όσο φαίνεται πιθανόν έχει εξαχθεί κάποιο αθροιστικό αποτέλεσμα των τελευταίων ημερών δημιουργώντας αυτήν την εικόνα.



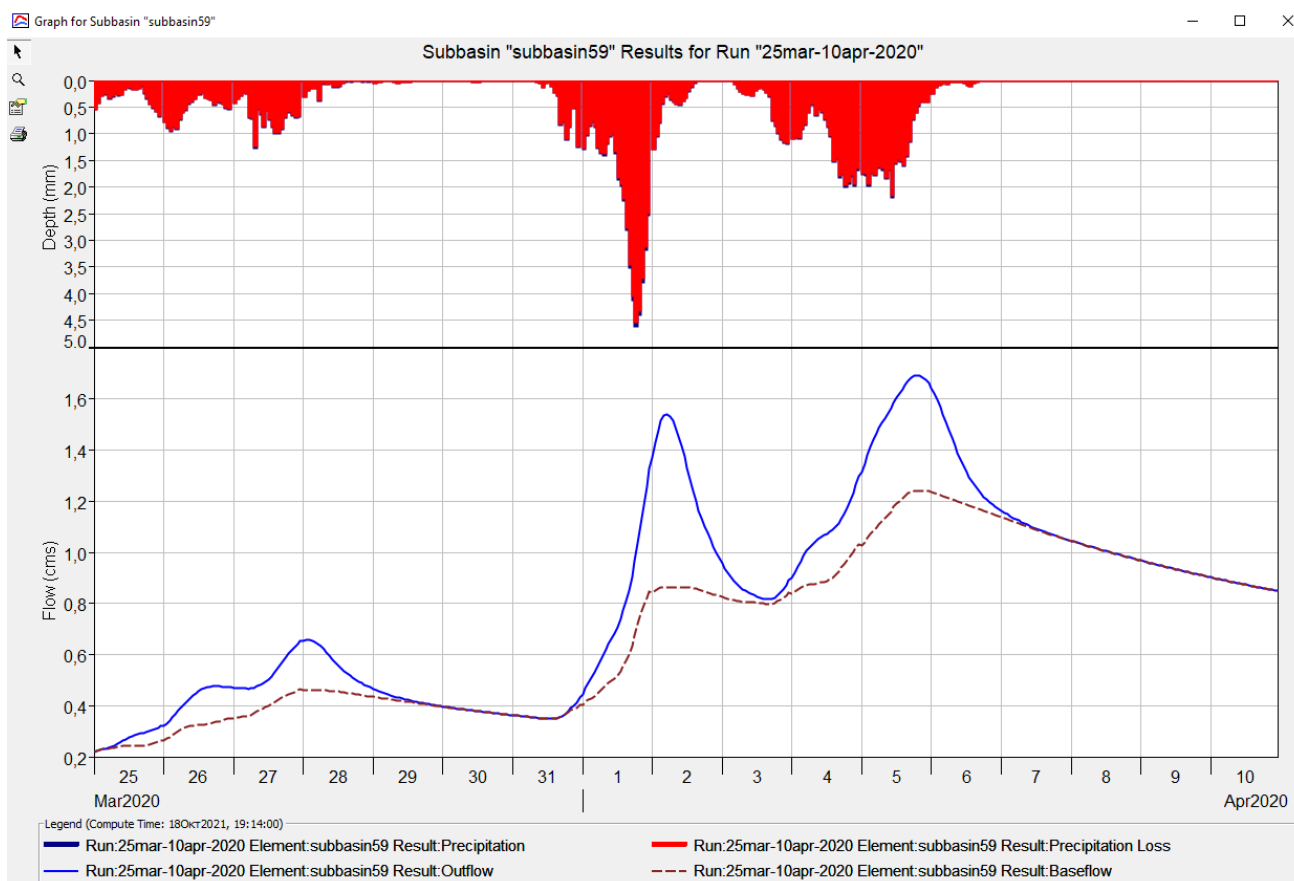
Σχήμα 6.24: Παροχή Αγίας Βαρβάρας 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020

Το διάγραμμα του Σχήματος 6.24 είναι περισσότερο περίπλοκο από όσα έχουν παρουσιαστεί έως τώρα στην παρούσα εργασία. Φαίνεται και από το διάγραμμα ότι το φράγμα δε λειτουργεί με κάποιο κατανοητό μοτίβο. Τις πρώτες ημέρες τείνει να παρουσιάσει μία περιοδικότητα, τις ημέρες δηλαδή χωρίς βροχοπτώσεις, ωστόσο εκείνες κατά τις οποίες υπάρχουν βροχοπτώσεις παρουσιάζει μη προβλεπόμενες παροχές. Πρόκειται γενικά για μία δυσλειτουργική περίοδο μελέτης, με τα περισσότερα προβλήματα να αποδίδονται στην εποχή που μελετάται. Δεν πρόκειται για χειμερινούς μήνες, με αποτέλεσμα στη συγκεκριμένη περίπτωση να εντάσσονται πολλές νέες παράμετροι που παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Ωστόσο, οι αιτίες αυτές θα αναφερθούν παρακάτω στο διάγραμμα σύγκρισης με τις πραγματικές μετρήσεις.



Σχήμα 6.25: Αποτελέσματα στον κόμβο j1, 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020

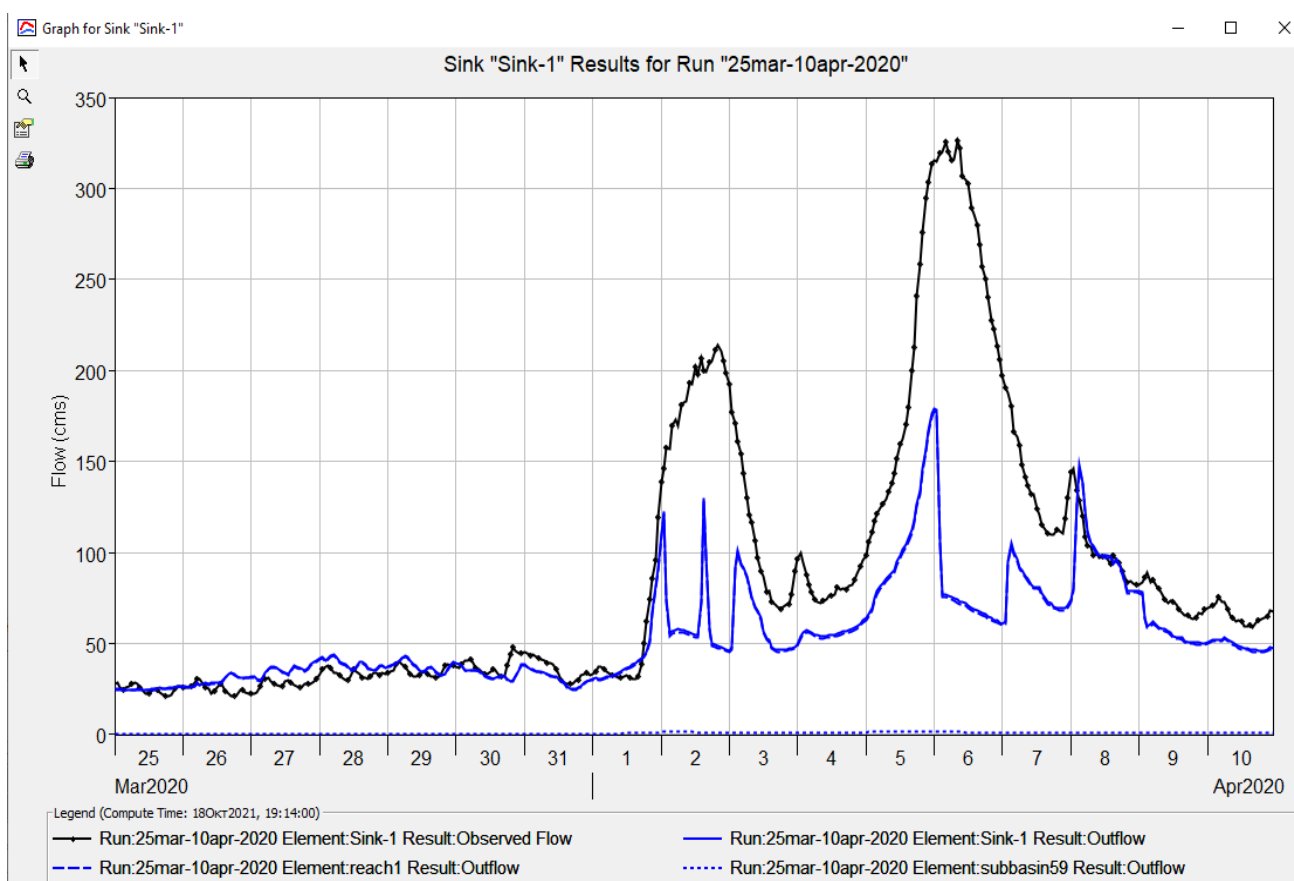
Στο Σχήμα 6.25 φαίνονται η καμπύλη απορροής από το Μογλενίτσα, η καμπύλη παροχής από την Αγία Βαρβάρα και το συνολικό άθροισμα των δύο αυτών καμπυλών. Στο κάτω τμήμα του διαγράμματος φαίνεται ακόμα δύο καμπύλες χωρίς ουσιαστική σημασία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για επιλογή απεικόνιση του προγράμματος HMS για απεικόνιση αποτελεσμάτων κάποιων υπολεκανών αυθαίρετα. Το συνολικό αυτό αποτέλεσμα είναι αυτό που πρόκειται να συγκριθεί μετέπειτα με τις παρατηρήσεις του Νησελίου.



Σχήμα 6.26: Αποτελέσματα υπολεκάνης 59, 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020

Στο Σχήμα 6.26 παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα για την υπολεκάνη 59. Η συγκεκριμένη υπολεκάνη επιλέχθηκε αυθαίρετα, θα μπορούσε να επιλεγθεί οποιαδήποτε υπολεκάνη, ωστόσο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη επειδή είναι η τελευταία υπολεκάνη πριν το σημείο εξόδου. Στο διάγραμμα με κόκκινο είναι το νερό το οποίο κατεισδύει, ενώ με μπλε είναι η ποσότητα νερού για την οποία γίνεται απευθείας απορροή. Η καφέ γραμμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού, η οποία πρώτα κατείσδυσε στο έδαφος και μετά ξαναβγήκε στην επιφάνεια όπως είχε αναφερθεί η διαδικασία στη μεθοδολογία του baseflow. Η καφέ γραμμή είναι αυτή η οποία τροφοδοτεί τη ροή όταν δεν υπάρχει βροχή. Επομένως,

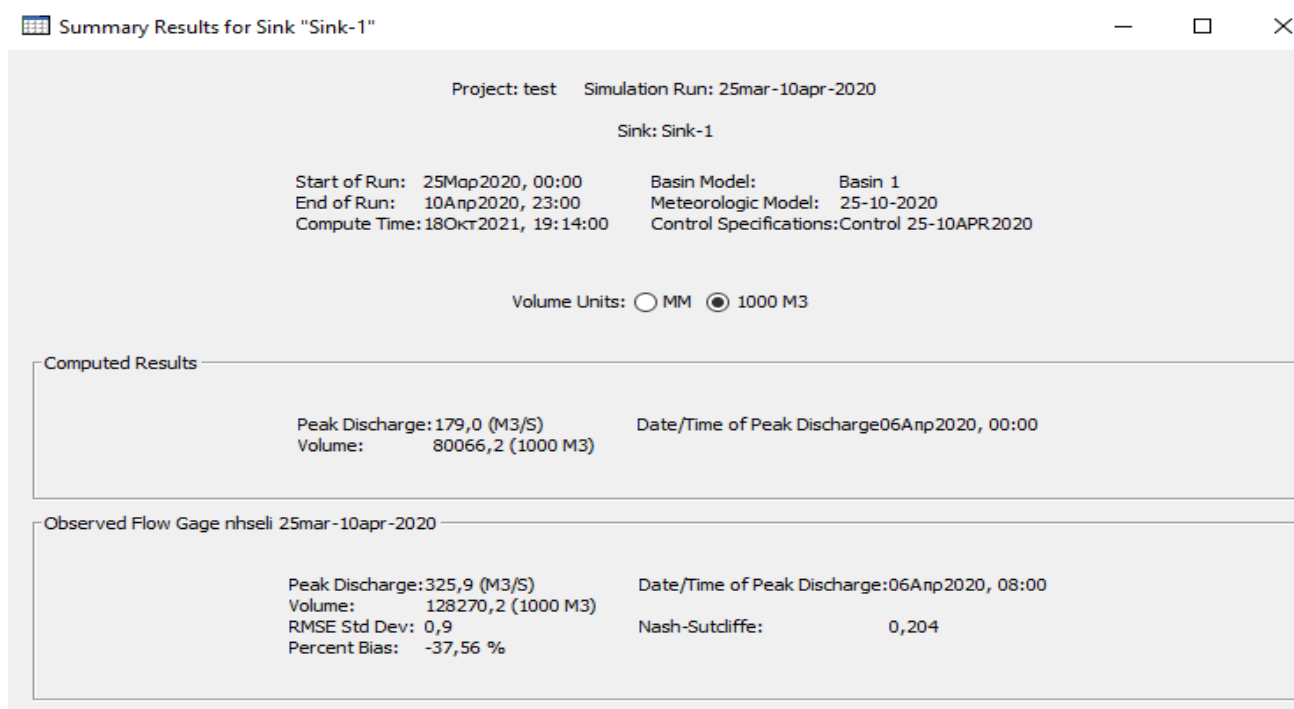
γίνεται αντιληπτό ότι το περισσότερο νερό κατείσδυει και σε αυτήν την περίπτωση, ενώ ελάχιστη ποσότητα γίνεται απευθείας απορροή (σχεδόν δε μπορεί να γίνει αντιληπτή αυτή η ποσότητα). Συγκεκριμένα η κατείσδυση αγγίζει μέχρι και τα 4,5 mm σε κάποια περίπτωση. Η συνεχόμενη μπλε γραμμή είναι η παροχή που διέρχεται από τη συγκεκριμένη υπολεκάνη και όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι υψηλότερα από την καφέ γραμμή που αντιπροσωπεύει τις αρχικές συνθήκες, το οποίο είναι λογικό καθώς στην μελετώμενη περίοδο υπήρχαν βροχοπτώσεις που δημιουργούσαν αυτήν την αύξηση.



Σχήμα 6.27: Αποτελέσματα στο σημείο εξόδου, 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020

Εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι η συγκεκριμένη περίοδος δεν προσομοιώνεται σωστά τις ημέρες με βροχοπτώσεις. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι τις ημέρες όπου δεν υπήρχαν κατακρημνίσεις το μοντέλο μπορεί να ακολουθήσει την πραγματική εικόνα των μετρήσεων, ωστόσο τις ημέρες με βροχοπτώσεις υπήρξε μία σημαντική απώλεια όγκου νερού. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι οι οποίοι μπορεί να ευθύνονται για το συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Αρχικά, τη συγκεκριμένη περίοδο είθισται να γίνεται το λιώσιμο του χιονιού με την αύξηση της θερμοκρασίας, επομένως υπάρχει μία πρόσθετη παροχή που πρέπει να ληφθεί υπόψιν.

Επιπλέον, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας το φαινόμενο της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής έχουν πολύ μεγαλύτερη σημασία συγκριτικά με τις άλλες περιόδους. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι παροχές του φράγματος της Αγίας Βαρβάρας αξιοποιούνται και για την ικανοποίηση των αναγκών της άρδευσης. Η άρδευση τους χειμερινούς μήνες δεν καταλαμβάνει μεγάλο ποσοστό της παροχής, καθώς οι περισσότερες ανάγκες καλύπτονται από τις βροχοπτώσεις. Ωστόσο, την άνοιξη και ειδικά το καλοκαίρι οι ανάγκες αυτές εκτοξεύονται με αποτέλεσμα ένα πολύ μεγαλύτερο ποσοστό να αντιστοιχεί σε αυτήν τη χρήση. Παρόλα αυτά μη γνωρίζοντας τις παροχές του φράγματος και προσπαθώντας να επιτευχθεί μία προσέγγιση αυτών, το αποτέλεσμα δεν μπορούσε να πλησιάσει περισσότερο στην πραγματικότητα. Προκειμένου να διορθωθεί το αποτέλεσμα αυτό δοκιμάστηκαν διάφορες παραδοχές σενάρια για επίλυση. Καθώς φαίνεται μία μεγάλη υποεκτίμηση του όγκου νερού, πρώτη σκέψη υπήρξε ότι συνέβη κάποια υποεκτίμηση του όγκου που εισρέει στην Αγία Βαρβάρα από το φράγμα των Ασωμάτων. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί εάν ο συντελεστής απόδοσης ο οποίος ελήφθη υπόψιν στο στάδιο υπολογισμού των παροχών ήταν μεγαλύτερος από αυτόν που έπρεπε. Μία άλλη πιθανή αιτία θα μπορούσε να ήταν κάποια υποεκτίμηση του συντελεστή fraction στο baseflow ή υπερεκτίμηση των συντελεστών loss. Επιπλέον θα μπορούσε να αποτελεί αιτία και ένας συνδυασμός από τους παραπάνω παράγοντες. Σίγουρα ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι για τη συγκεκριμένη περίοδο μελέτης το μοντέλο δεν ήταν αντιπροσωπευτικό.



Σχήμα 6.28: Αποτελέσματα , 25 Μαρτίου 2020 έως 10 Απριλίου 2020

Ακολούθως, στο Σχήμα 6.28 φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στον πίνακα αυτό μπορεί κανείς αρχικά να διαπιστώσει εάν στις παρατηρήσεις και στα εξαγόμενα αποτελέσματα υπάρχει η ίδια μέγιστη τιμή αλλά και σε ποια χρονική στιγμή υπήρξε αυτή η μέγιστη τιμή. Όπως παρατηρεί κανείς στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέγιστη τιμή εμφανίζει μεγάλη διαφορά μεταξύ παρατηρούμενων και εξαγόμενων παρατηρήσεων. Επίσης διαφέρει αρκετά και η χρονική στιγμή εμφάνισης της μέγιστης τιμής. Το percent bias, το οποίο αντιπροσωπεύει το σφάλμα είναι σε ποσοστό περίπου -38% γεγονός που επαληθεύει ότι η συγκεκριμένη προσομοίωση δεν αντιπροσωπεύει σωστά την πραγματική κατάσταση.

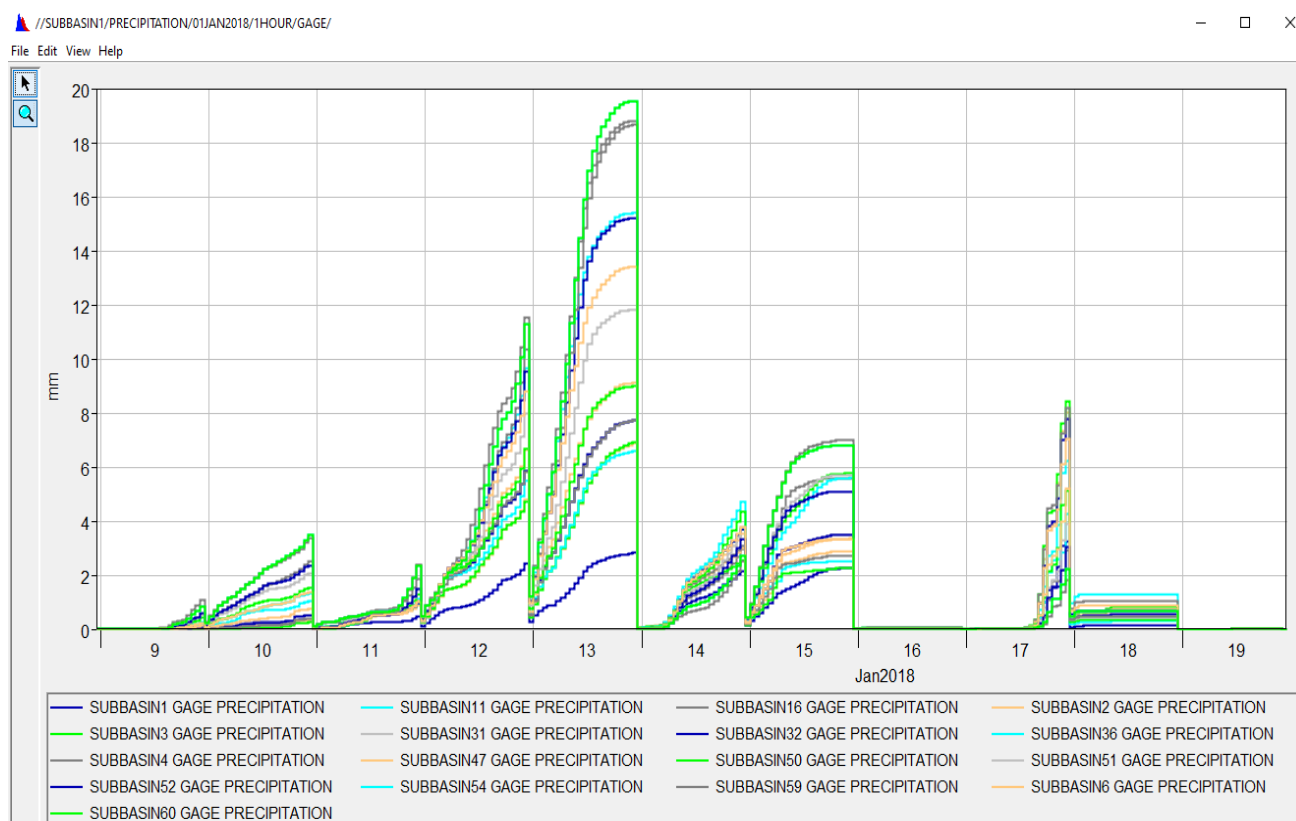
Αξιολόγηση Μοντέλου

Το μοντέλο γενικά φαίνεται να μη λειτουργήσει όπως προσδοκούσαν στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Στο κομμάτι της απορροής ακολούθησε αρκετά ικανοποιητικά τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί σε συνδυασμό με την απορροή από βροχόπτωση που προέκυψε. Στο κομμάτι των παροχών της Αγίας Βαρβάρας διαπιστώθηκε μία απροσδιόριστη κατανομή παροχών χωρίς κάποιο μοτίβο. Στο συνολικό διάγραμμα παρουσιάστηκαν αρκετές διαφοροποιήσεις, οι οποίες αιτιολογήθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Αυτό διαπιστώθηκε άλλωστε και από τον πίνακα σύνοψης αποτελεσμάτων, όπου οι συντελεστές σύγκρισης εξαγόμενων και παρατηρούμενων μετρήσεων έδιναν ένα ποσοστό διαφοροποίησης περίπου -38%.

6.5 Σενάριο επαλήθευσης λειτουργικότητας μοντέλου

Το σενάριο αυτής της προσομοίωσης όπως ήδη έχει αναφερθεί αφορούσε την περίοδο 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018. Το σενάριο αυτό επιλέχθηκε συνειδητά να αναφέρεται σε χειμερινούς μήνες έπειτα από το αποτέλεσμα που εξήχθη στο τελευταίο σενάριο προσομοίωσης. Στόχος στη δεδομένη περίπτωση υπήρξε η εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων, έτσι ώστε το αποτέλεσμα που θα εξαγόταν να είχε τη μορφή που όφειλε ώστε να ακολουθεί τις παρατηρήσεις του Νησελίου, χωρίς να χρειαστεί να γίνει αλλαγή σε κάποια παράμετρο. Να επαληθευτεί δηλαδή ότι το μοντέλο είναι πλέον ικανό να προσομοιώσει οποιαδήποτε συνθήκη. Η μοναδική παράμετρος η οποία θα μπορούσε να μεταβληθεί ήταν εκείνη της αρχικής συνθήκης παροχής στο baseflow, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί πρόκειται για δεδομένο μεταβλητό ανά χρονική περίοδο μελέτης. Στο Σχήμα 6.29

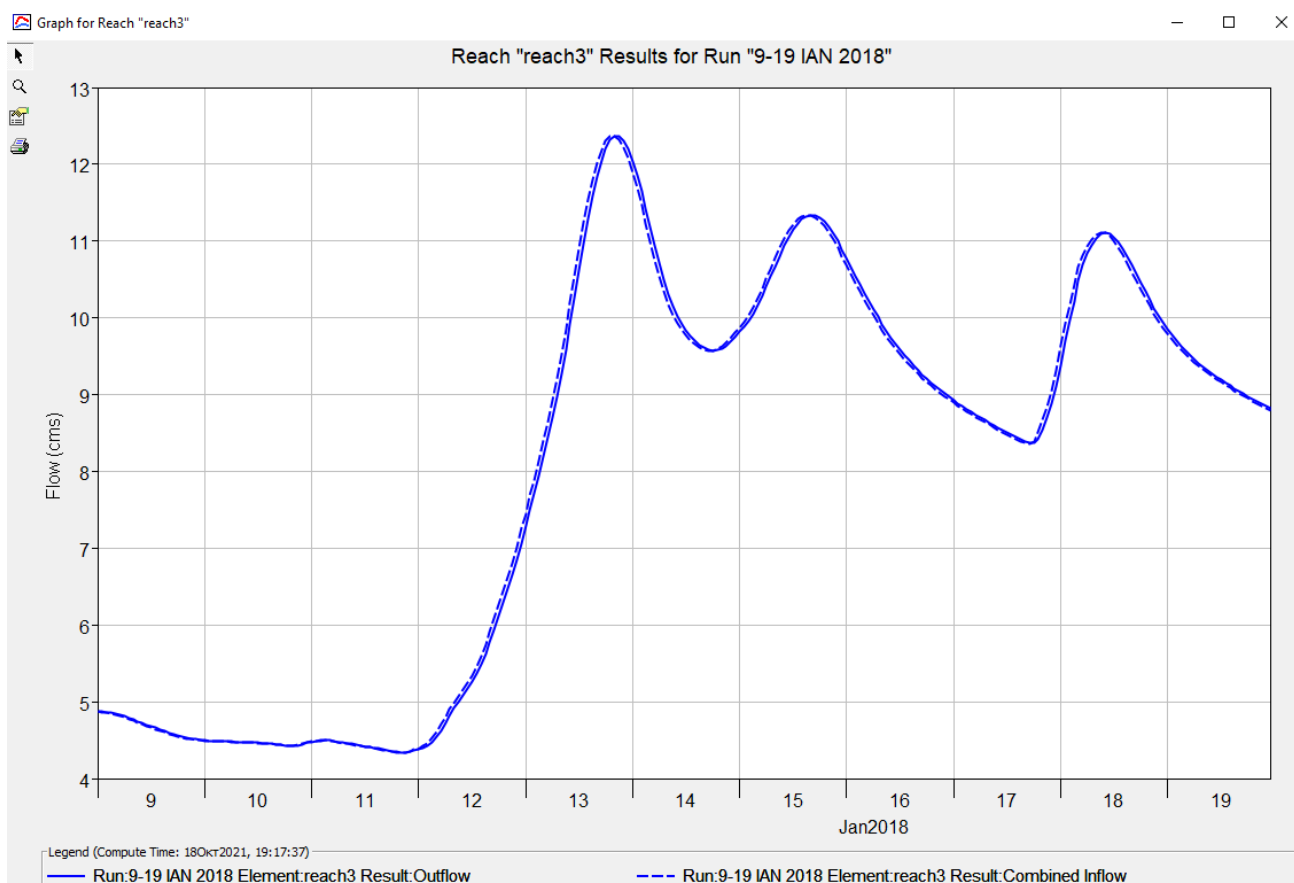
παρουσιάζονται οι κατακρημνίσεις από το πρόγραμμα HEC – DSSVue για το χρονικό διάστημα μελέτης. Το συγκεκριμένο διάστημα υπήρξαν ασθενείς βροχοπτώσεις εφόσον το συνολικό ύψος βροχής έφτασε το μέγιστο τα 20 mm περίπου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις τα 12 και 8 mm. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.29 οι κατακρημνίσεις είναι αθροιστικές, επομένως τα αποτελέσματα αναφέρονται στο συνολικό ύψος βροχής κάθε υπολεκάνης στο τέλος της ημέρας.



Σχήμα 6.29: Κατακρημνίσεις 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

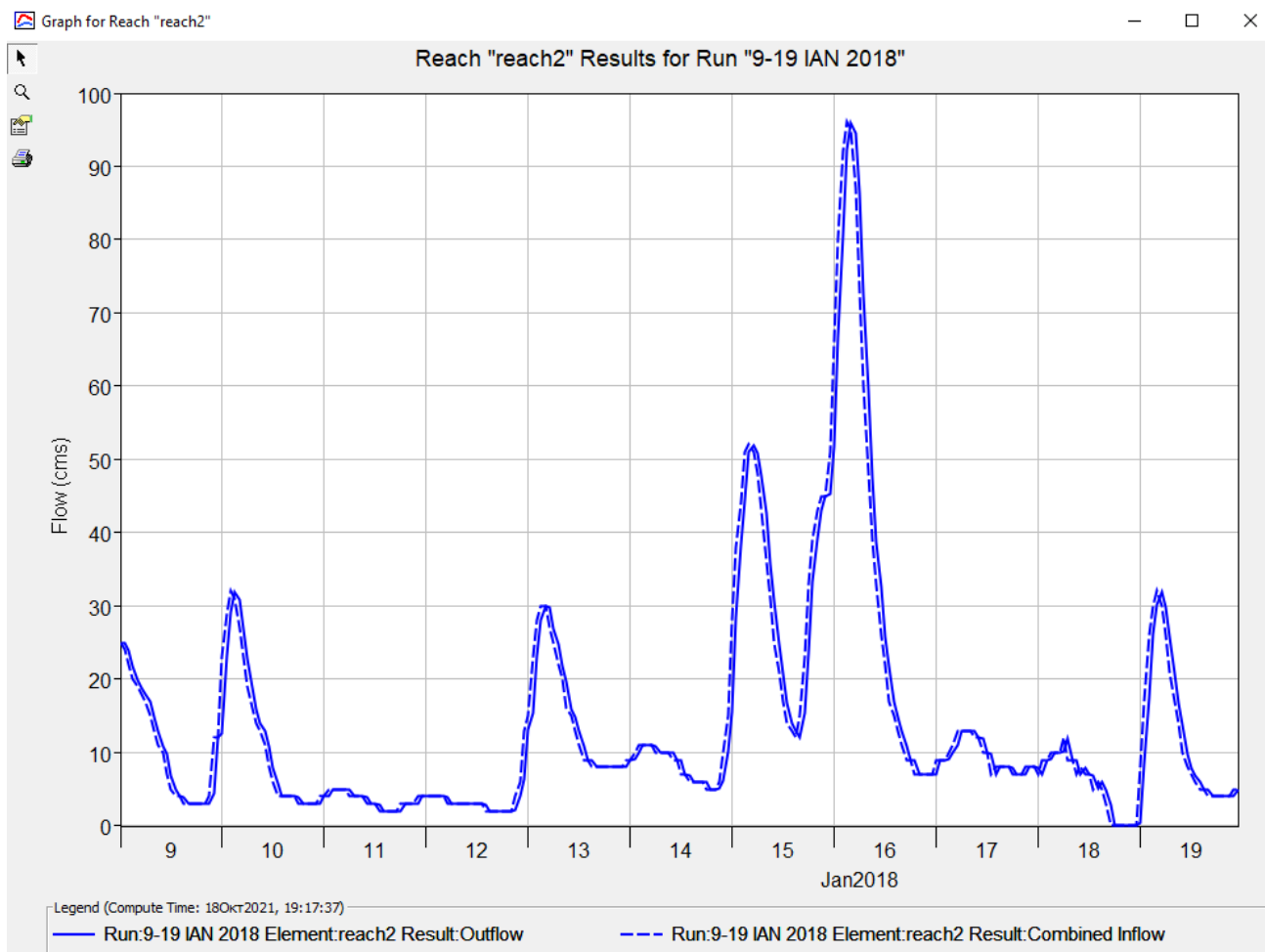
Στο Σχήμα 6.30 παρουσιάζεται η παροχή η οποία προέρχεται από το ποταμό Μογλενίτσα για το μελετώμενο διάστημα. Το διάγραμμα ξεκινάει με τα 5 m³/s, λόγω των αρχικών συνθηκών. Συνολικά είχαν τοποθετηθεί 5,5 m³/s ως αρχική συνθήκη, ωστόσο το 0,5 m³/s είχε τοποθετηθεί στις υπολεκάνες 59 και 60. Ξεκινώντας λοιπόν, στο διάγραμμα εμφανίζονται οι αρχικές συνθήκες, στη συνέχεια 12 και 13 Ιανουαρίου υπάρχει μία μικρή αύξηση στην παροχή του ποταμού και αυτό ήταν αναμενόμενο εάν συγκρίνει κανείς ταυτόχρονα τις κατακρημνίσεις του Σχήματος 6.29 με τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.30. Εκείνη τη μέρα υπήρξε βροχόπτωση συνολικής κατακρήμνισης περίπου 12 mm και 20 mm αντίστοιχα, γεγονός που αιτιολογεί τη μορφή της καμπύλης στο Σχήμα 6.30. Έπειτα 14,

15 και 18 Ιανουαρίου υπήρξαν ήπιες βροχοπτώσεις έως 8 mm βροχής. Αυτό αποτυπώνεται και στο διάγραμμα 6.30 όπου εκείνες τις μέρες η συνολική παροχή του ποταμού φτάνει τα 11 m³/s περίπου. Συγκρίνοντας τα δεδομένα που εισήχθησαν από το διάγραμμα 6.29 με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν στο διάγραμμα 6.30 θα μπορούσε να πει κανείς ότι το μοντέλο αντιλαμβάνεται ακριβώς πότε εμφανίζονται οι κατακρημνίσεις και τις αποδίδει σε παροχή στον ποταμό Μογλενίτσα.



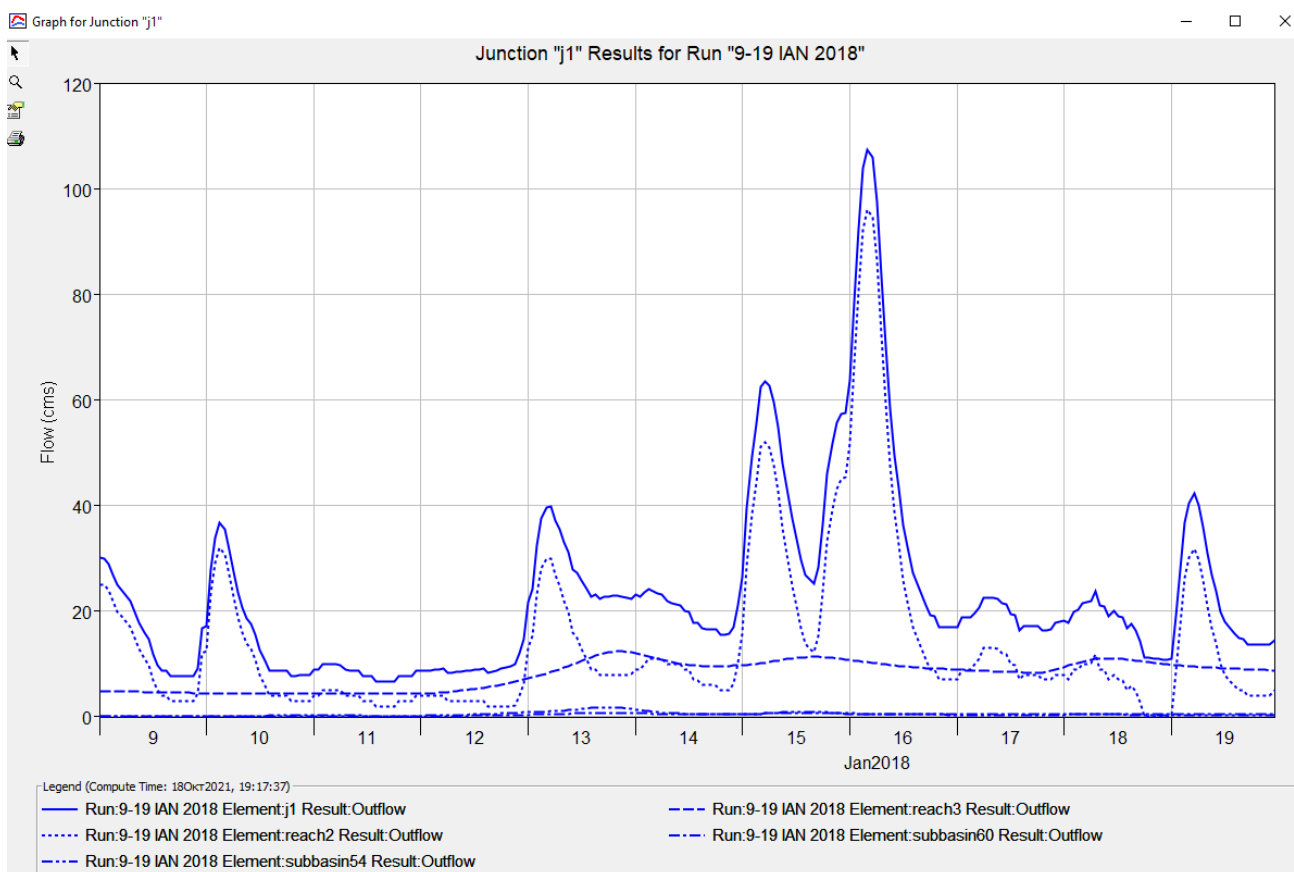
Σχήμα 6.30: Απορροή Μογλενίτσα 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

Στο Σχήμα 6.31 γίνεται αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του φράγματος συνδυαστικά από τα προηγούμενα δύο σενάρια. Αρχικά, παρατηρεί κανείς ότι τις ημέρες όπου δεν υφίσταται βροχόπτωση ή υφίσταται μόνο ασθενής βροχόπτωση το φράγμα εμφανίζει την περιοδικότητα για την οποία έγινε λόγος στο 1^ο σενάριο. Αντίθετα τις ημέρες με ήπια και πιο έντονη βροχόπτωση το φράγμα λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερχειλίσει. Υπό φυσιολογικές συνθήκες για πολύ ασθενή βροχή το φράγμα επιτρέπει να εξαχθεί μία ποσότητα της τάξης των 30 m³/s, ενώ σε περιπτώσεις αυξημένης βροχόπτωσης έφτασε μέχρι τα 95 m³/s περίπου.



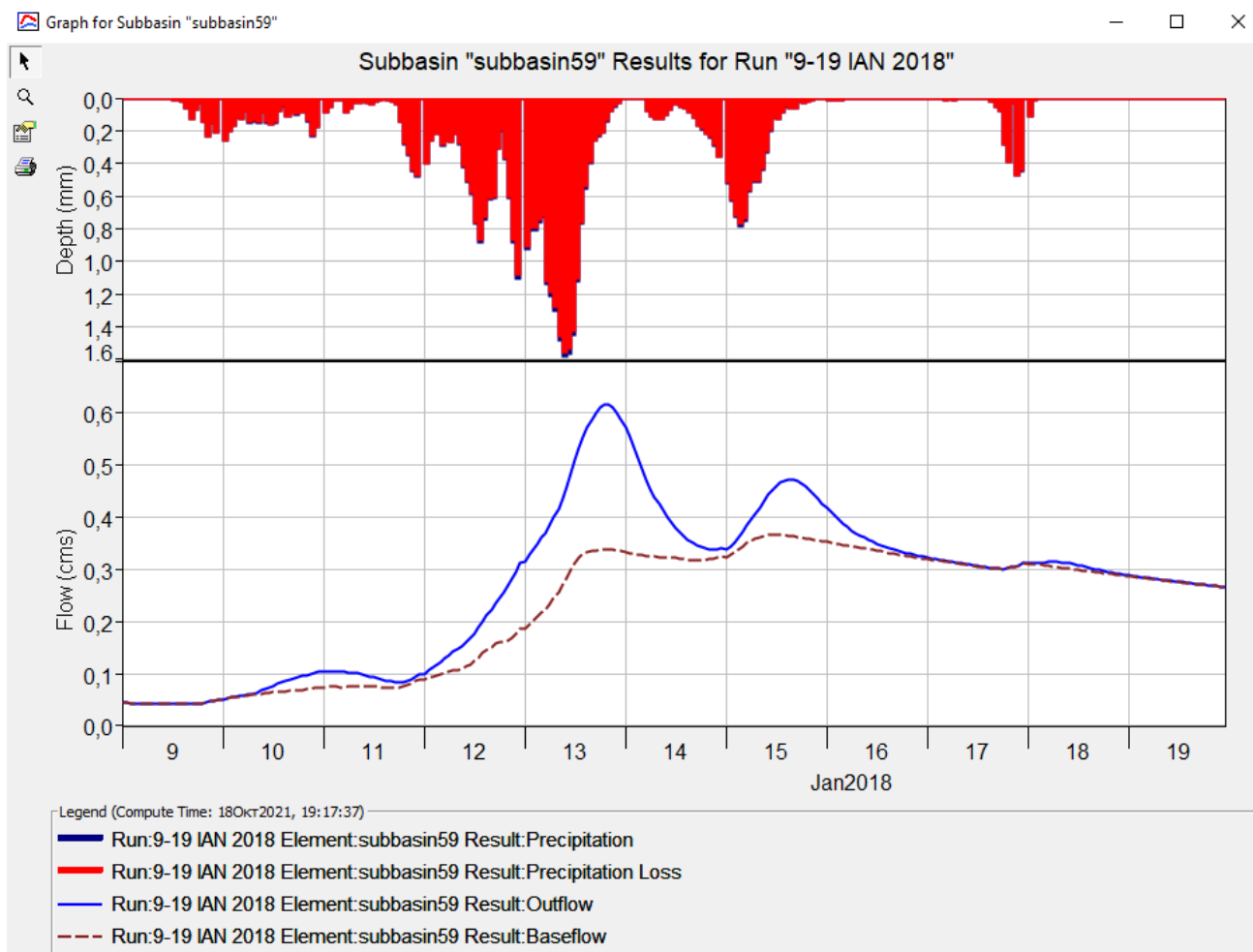
Σχήμα 6.31: Παροχή Αγίας Βαρβάρας 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

Στο Σχήμα 6.32 φαίνονται η καμπύλη απορροής από το Μογλενίτσα, η καμπύλη παροχής από την Αγία Βαρβάρα και το συνολικό άθροισμα των δύο αυτών καμπυλών. Στο κάτω τμήμα του διαγράμματος φαίνεται ακόμα δύο καμπύλες χωρίς ουσιαστική σημασία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για επιλογή απεικόνιση του προγράμματος HMS για απεικόνιση αποτελεσμάτων κάποιων υπολεκανών αυθαίρετα. Το συνολικό αυτό αποτέλεσμα είναι αυτό που πρόκειται να συγκριθεί μετέπειτα με τις παρατηρήσεις του Νησελίου.



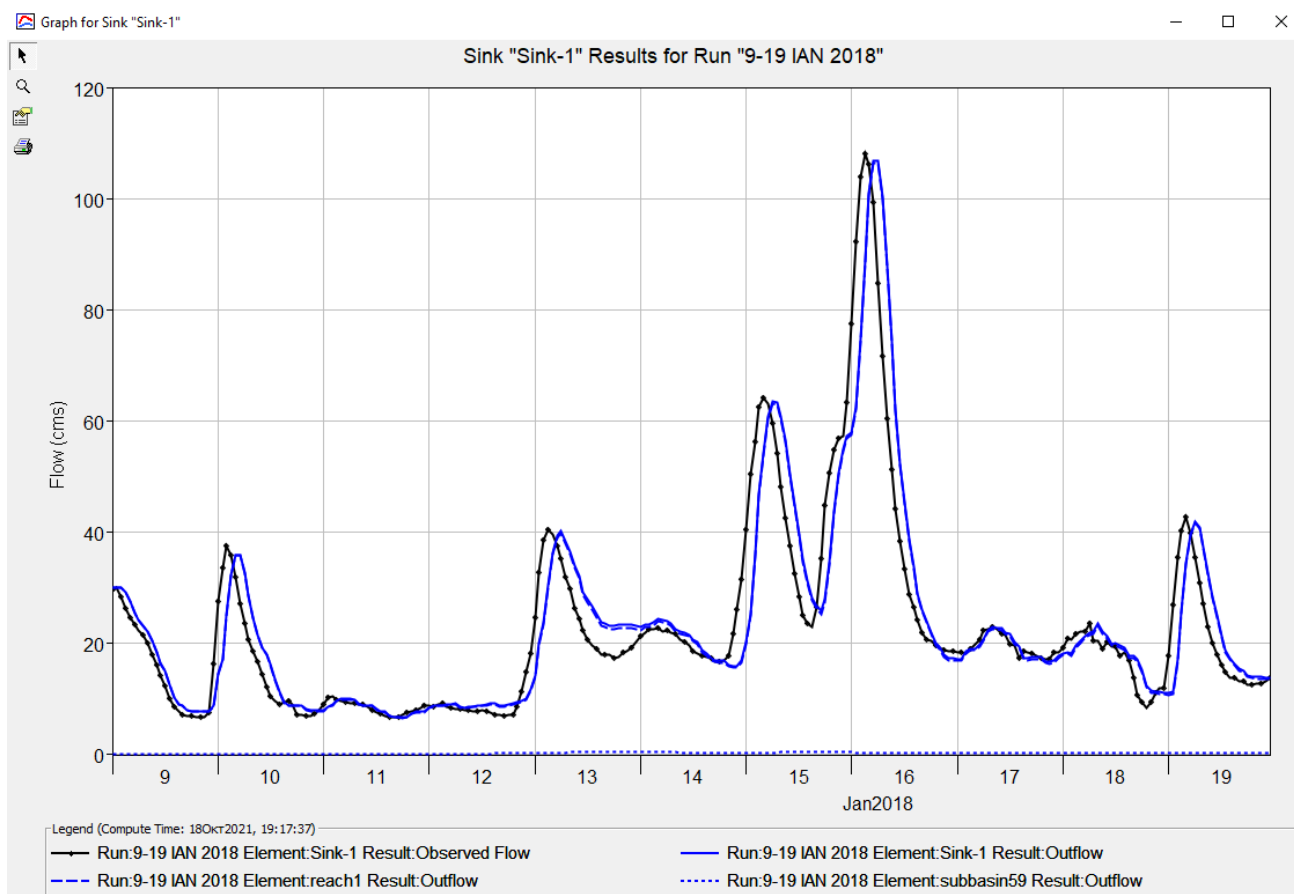
Σχήμα 6.32: Αποτελέσματα στον κόμβο j1, 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

Στο Σχήμα 6.33 παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα για την υπολεκάνη 59. Η συγκεκριμένη υπολεκάνη επιλέχθηκε αυθαίρετα, θα μπορούσε να επιλεγεί οποιαδήποτε υπολεκάνη, ωστόσο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη επειδή είναι η τελευταία υπολεκάνη πριν το σημείο εξόδου. Στο διάγραμμα με κόκκινο είναι το νερό το οποίο κατεισδύει, ενώ με μπλε είναι η ποσότητα νερού για την οποία γίνεται απευθείας απορροή. Η καφέ γραμμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού, η οποία πρώτα κατείσδυσε στο έδαφος και μετά ξαναβγήκε στην επιφάνεια όπως είχε αναφερθεί η διαδικασία στη μεθοδολογία του baseflow. Η καφέ γραμμή είναι αυτή η οποία τροφοδοτεί τη ροή όταν δεν υπάρχει βροχή. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι το περισσότερο νερό κατεισδύει και σε αυτήν την περίπτωση, ενώ ελάχιστη ποσότητα γίνεται απευθείας απορροή (σχεδόν δε μπορεί να γίνει αντιληπτή αυτή η ποσότητα). Συγκεκριμένα η κατείσδυση αγγίζει μέχρι και τα 1,6 mm σε κάποια περίπτωση. Η συνεχόμενη μπλε γραμμή είναι η παροχή που διέρχεται από τη συγκεκριμένη υπολεκάνη και όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι υψηλότερα από την καφέ γραμμή που αντιπροσωπεύει τις αρχικές συνθήκες, το οποίο είναι λογικό καθώς στην μελετώμενη περίοδο υπήρχαν βροχοπτώσεις που δημιουργούσαν αυτήν την αύξηση.



Σχήμα 6.33: Αποτελέσματα υπολεκάνης 59, 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

Στο Σχήμα 6.34 εμφανίζονται οι υπολογισμένες τιμές από το μοντέλο όπως προέκυψαν από το HMS και οι παρατηρούμενες από το σταθμό στο Νησέλι. Η γενικότερη πρώτη εντύπωση που δίνεται από το διάγραμμα είναι ότι το μοντέλο λειτούργησε σωστά δημιουργώντας ένα αποτέλεσμα πολύ αντιπροσωπευτικό για τη μελετώμενη περίοδο. Σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξε μικρή χρονική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων, ωστόσο ήταν σε πολύ μικρό βαθμό, χωρίς να δημιουργούν κάποιο πρόβλημα στη συνολική προσομοίωση. Ο λόγος πιθανόν να είναι στον χρόνο υστέρησης, καθώς αυτός υπολογίστηκε με μία μέση ταχύτητα 3m/s και πιθανόν να χρειαζόταν λιγότερο. Ωστόσο, δεν έγινε προσαρμογή γιατί στόχος ήταν η δημιουργία μοντέλου λειτουργικού σε κάθε περίπτωση και όχι ιδανικού σε μόνο ένα σενάριο.



Σχήμα 6.34: Αποτελέσματα στο σημείο εξόδου, 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

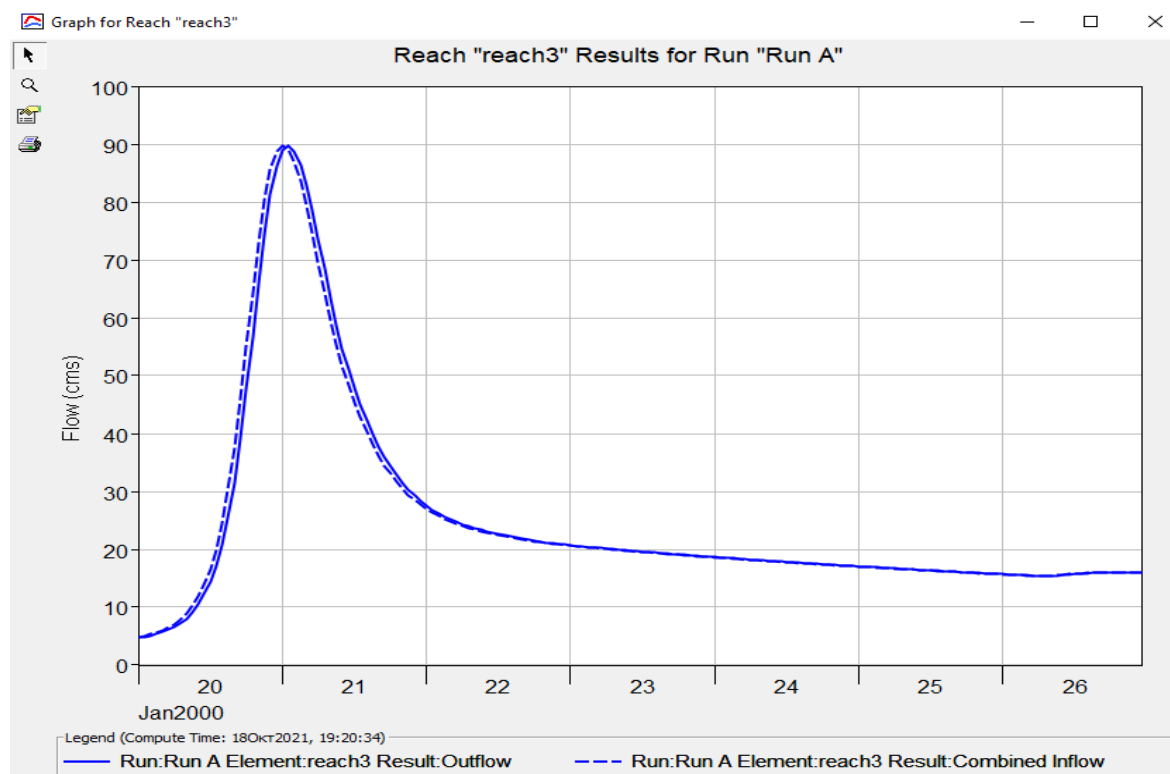
Ακολουθως, στο Σχήμα 6.35 φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στον πίνακα αυτό μπορεί κανείς αρχικά να διαπιστώσει εάν στις παρατηρήσεις και στα εξαγόμενα αποτελέσματα υπάρχει η ίδια μέγιστη τιμή αλλά και σε ποια χρονική στιγμή υπήρξε αυτή η μέγιστη τιμή. Όπως παρατηρεί κανείς η μέγιστη τιμή είναι σχεδόν ταυτόσημη με μικρή διαφορά της τάξης του 2 m³/s, ενώ η χρονική στιγμή που επιτεύχθηκε η μέγιστη παροχή εμφανίζει διαφορά δύο ωρών. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι το percent bias, το οποίο αντιπροσωπεύει το σφάλμα είναι πολύ μικρό ποσοστό, 2,55%, γεγονός που δείχνει μία πολύ πετυχημένη προσομοίωση, καθώς ποσοστά μικρότερα του 10% δείχνουν πολύ ικανοποιητική προσέγγιση. Τέλος, και ο συντελεστής μέσου τετραγωνικού σφάλματος συμφωνεί με τον προηγούμενο συντελεστή στη σύγκλιση των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας την τιμή μόλις του 0,4.



Σχήμα 6.35: Αποτελέσματα , 9 Ιανουαρίου 2018 έως 19 Ιανουαρίου 2018

Αξιολόγηση Μοντέλου

Το μοντέλο γενικά φαίνεται να λειτουργήσει πολύ ικανοποιητικά στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Στο κομμάτι της απορροής ακολούθησε ακριβώς τα δεδομένα που είχαν εισαχθεί σε συνδυασμό με την απορροή από βροχόπτωση που προέκυψε. Στο κομμάτι των παροχών της Αγίας Βαρβάρας διαπιστώθηκε μία ακολουθία του φαινομένου των κατακρημνίσεων, δηλαδή τις ημέρες όπου υπήρχαν οι βροχοπτώσεις εμφανιζόταν αυξητική τάση και στην καμπύλη παροχής, ενώ τις ημέρες με μηδενική βροχόπτωση απλή περιοδικότητα μιας ελάχιστης παροχής. Στο συνολικό διάγραμμα παρουσιάστηκε μία μικρή διαφοροποίηση, ωστόσο ήταν σε λογικά πλαίσια και αιτιολογείται κυρίως εξαιτίας του χρόνου υστέρησης, εμφανίζοντας μία τάση να βρίσκονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα πιο μπροστά χρονικά σε σχέση με τις παρατηρούμενες μετρήσεις. Αυτό διαπιστώθηκε άλλωστε και από τον πίνακα σύνοψης αποτελεσμάτων, όπου οι συντελεστές σύγκρισης εξαγόμενων και παρατηρούμενων μετρήσεων έδιναν ένα ποσοστό διαφοροποίησης περίπου 2,55%.

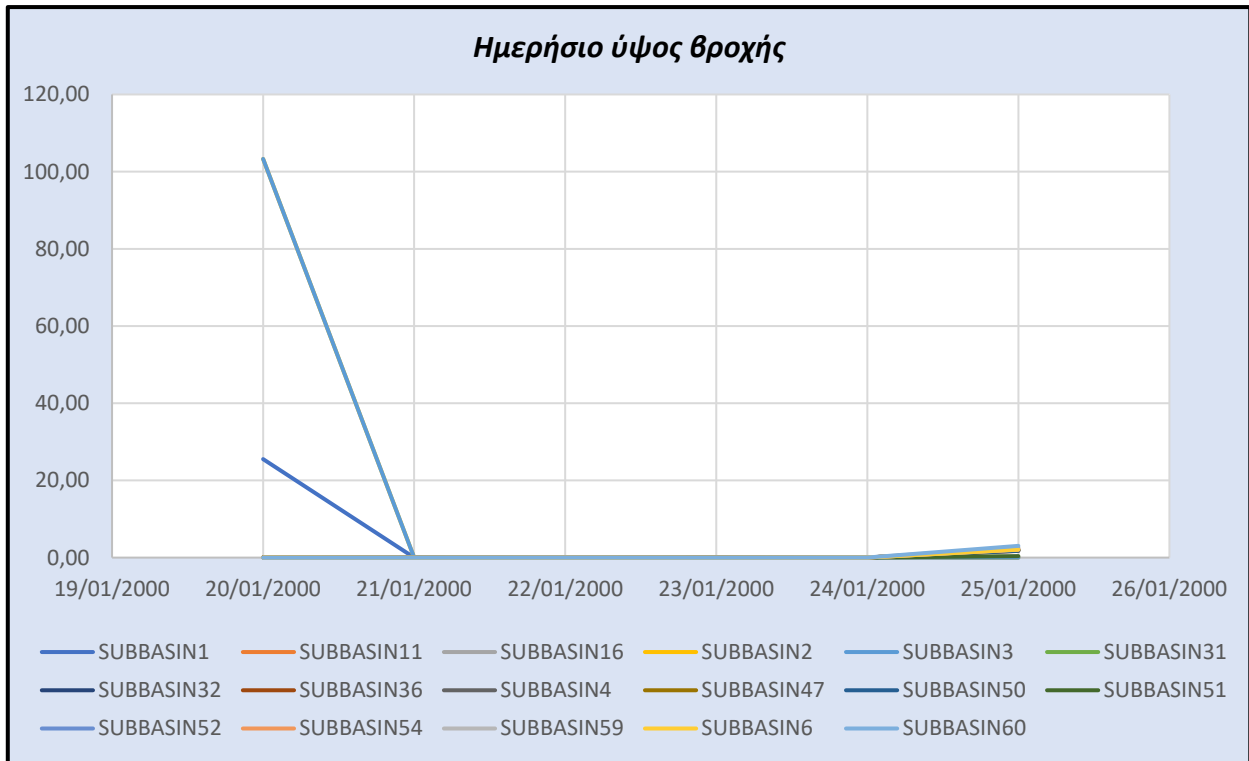


Σχήμα 6.37: Απορροή Μογλενίτσα 20 Ιανουαρίου 2000 έως 26 Ιανουαρίου 2000

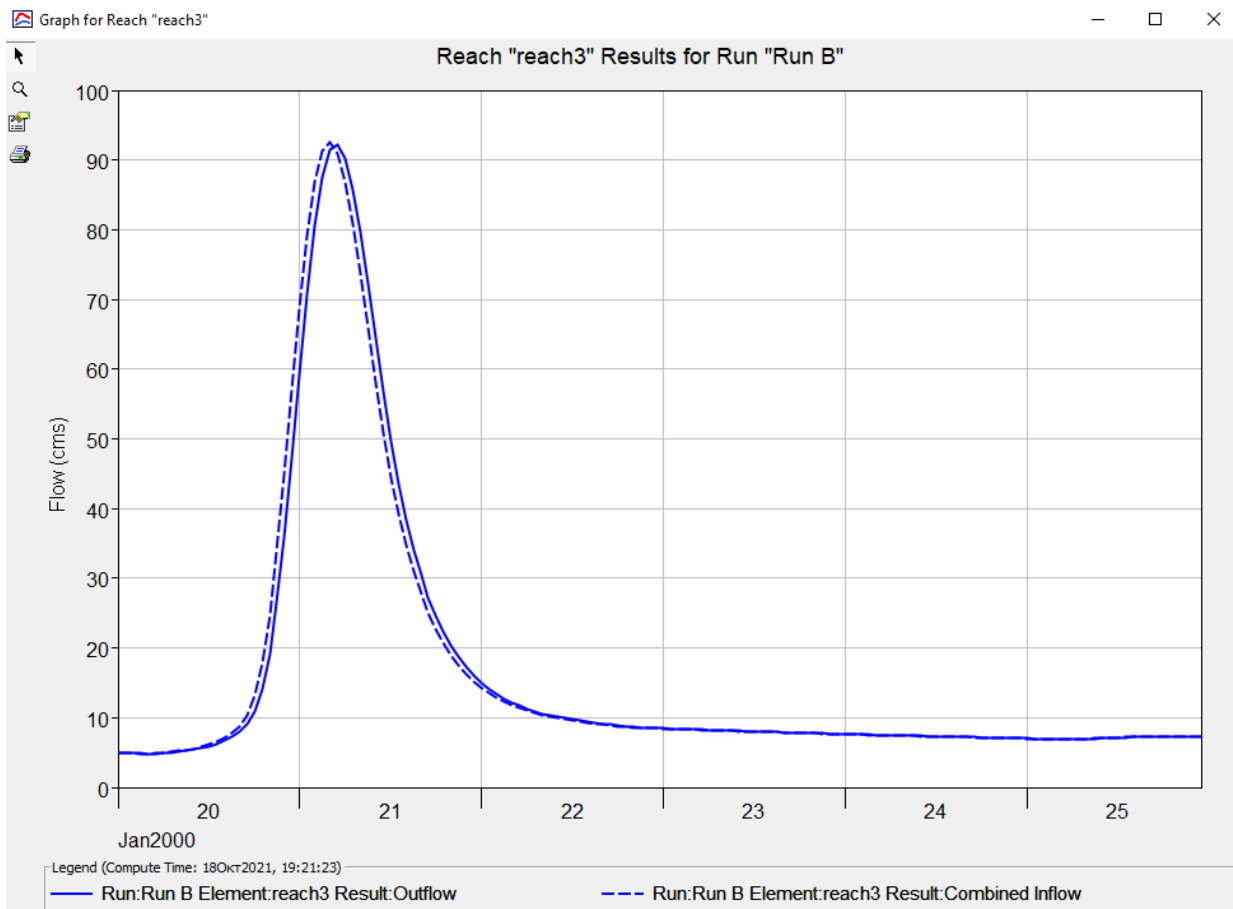
Το μοντέλο φαίνεται με βάση τα διαγράμματα 6.36 και 6.37 να είναι σωστό στην πρόβλεψη του. Η βροχή τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατανεμημένη σε ολόκληρη τη λεκάνη. Όπως φαίνεται για ένα ύψος βροχής περίπου 110 mm δημιουργείται μία απορροή της τάξεως των 90 m³/s, ενώ για το υπόλοιπο διάστημα όπου δεν υπήρχαν αξιόλογες κατακρημνίσεις, η απορροή περιορίστηκε στα 20 m³/s περίπου, το οποίο αντιστοιχεί στις αρχικές συνθήκες baseflow που τοποθετήθηκαν.

2^ο Σενάριο πρόβλεψης

Για το δεύτερο σενάριο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στα control specifications ότι θα μελετηθεί το χρονικό διάστημα 20 Ιανουαρίου 2000 με 25 Ιανουαρίου 2000. Το χρονικό διάστημα ήταν τυχαίο, με αποκλειστικό κριτήριο επιλογής να εντάσσεται το χρονικό διάστημα στους χειμερινούς μήνες. Σε αυτήν την περίπτωση ωστόσο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί βροχή μόνο στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, δηλαδή στις υπολεκάνες που βρίσκονταν στο βόρειο τμήμα και συγκεκριμένα στις 1, 2, 3. Καμία παράμετρος του μοντέλου δε διαφοροποιήθηκε και το αποτέλεσμα προέκυψε όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



Σχήμα 6.38: Κατακρήμνιση , 20 Ιανουαρίου 2000 έως 25 Ιανουαρίου 2000

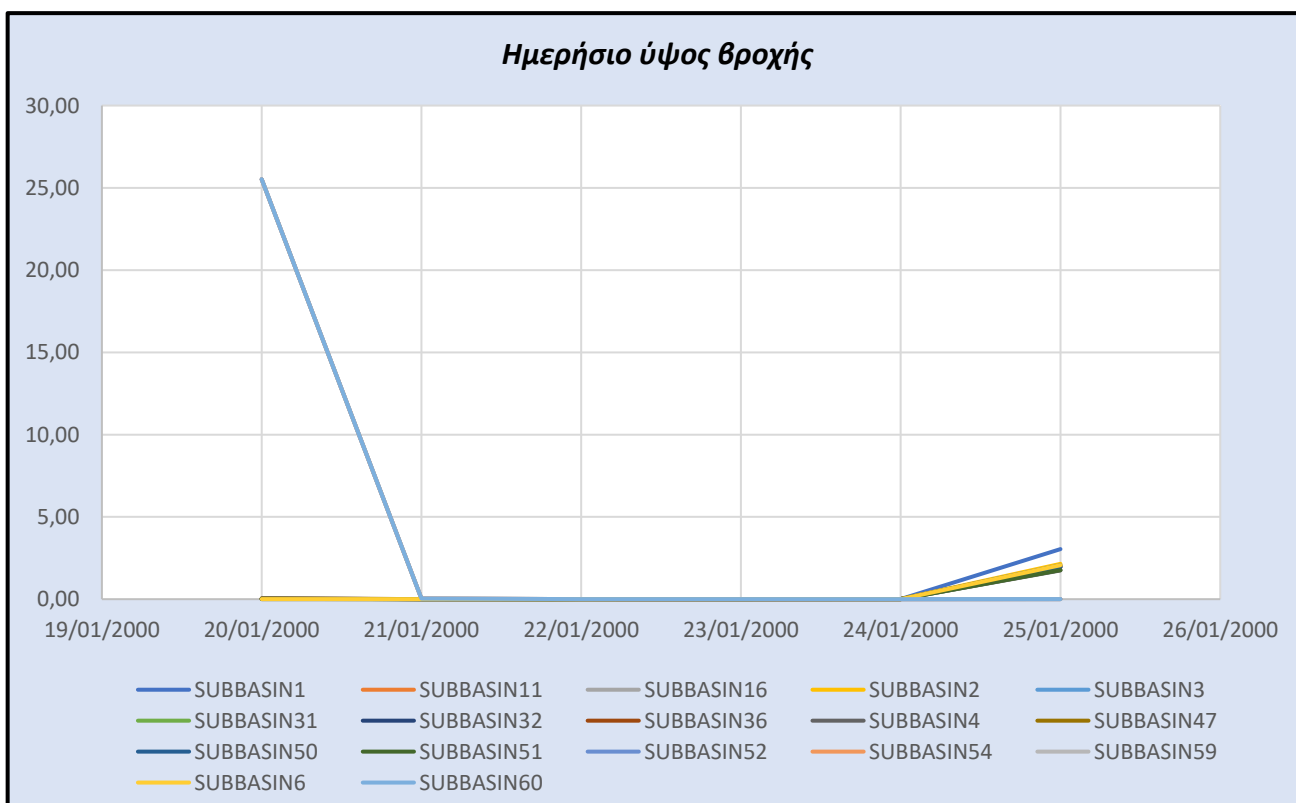


Σχήμα 6.39: Απορροή Μογλενίτσα 20 Ιανουαρίου 2000 έως 25 Ιανουαρίου 2000

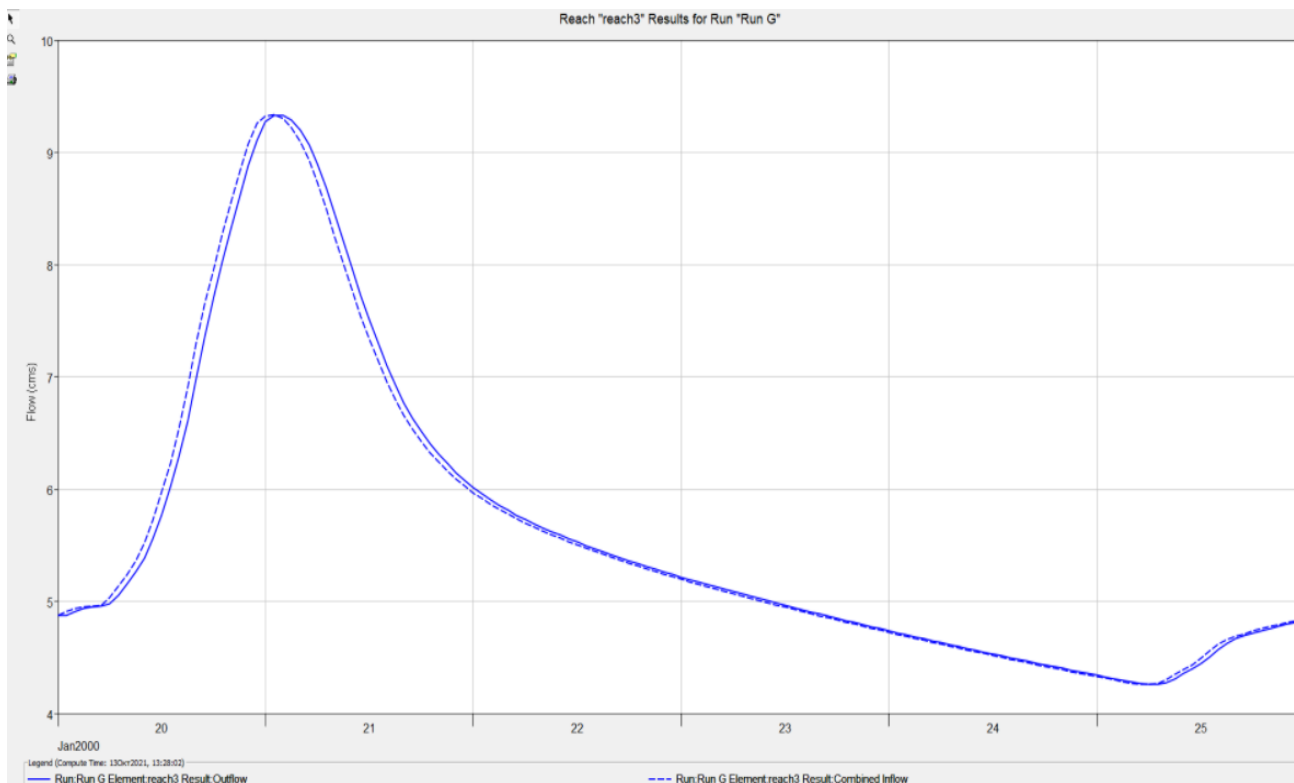
Το μοντέλο φαίνεται με βάση τα διαγράμματα 6.38 και 6.39 να είναι σωστό στην πρόβλεψη του. Η βροχή τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατανεμημένη μόνο στο βόρειο τμήμα της λεκάνης. Όπως φαίνεται για ένα ύψος βροχής περίπου 100 mm δημιουργείται μία απορροή της τάξεως των 90 m³/s, ενώ για το υπόλοιπο διάστημα όπου δεν υπήρχαν αξιόλογες κατακρημνίσεις, η απορροή περιορίστηκε στα 8 m³/s περίπου, το οποίο αντιστοιχεί στις αρχικές συνθήκες baseflow που τοποθετήθηκαν. Γενικά μπορεί να πει κανείς ότι παρότι η βροχόπτωση εφαρμόστηκε μόνο στο βόρειο τμήμα, εμφάνισε επίδραση απορροής αντίστοιχη με το να εφαρμοζόταν σε ολόκληρη τη λεκάνη όπως στο 1° σενάριο.

3° Σενάριο πρόβλεψης

Για το τρίτο σενάριο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στα control specifications ότι θα μελετηθεί το χρονικό διάστημα 20 Ιανουαρίου 2000 με 25 Ιανουαρίου 2000. Το χρονικό διάστημα ήταν τυχαίο, με αποκλειστικό κριτήριο επιλογής να εντάσσεται το χρονικό διάστημα στους χειμερινούς μήνες. Σε αυτήν την περίπτωση ωστόσο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί βροχή μόνο στο νότιο τμήμα της λεκάνης, δηλαδή στις υπολεκάνες που βρίσκονταν στο νότιο τμήμα και συγκεκριμένα στις 59, 52, 60, 16, 54. Καμία παράμετρος του μοντέλου δε διαφοροποιήθηκε και το αποτέλεσμα προέκυψε όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



Σχήμα 6.40: Κατακρήμνιση, 20 Ιανουαρίου 2000 έως 25 Ιανουαρίου 2000



Σχήμα 6.41: Απορροή Μογλενίτσα 20 Ιανουαρίου 2000 έως 25 Ιανουαρίου 2000

Το μοντέλο φαίνεται με βάση τα διαγράμματα 6.40 και 6.41 να είναι σωστό στην πρόβλεψη του. Η βροχή τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατανεμημένη μόνο στο νότιο τμήμα της λεκάνης. Όπως φαίνεται για ένα ύψος βροχής περίπου 25 mm δημιουργείται μία απορροή της τάξεως των 9 m³/s, ενώ για το υπόλοιπο διάστημα όπου δεν υπήρχαν αξιόλογες κατακρημνίσεις, η απορροή περιορίστηκε στα 5 m³/s περίπου, το οποίο αντιστοιχεί στις αρχικές συνθήκες baseflow που τοποθετήθηκαν. Γενικά μπορεί να πει κανείς ότι το να εφαρμοσθεί βροχόπτωση μόνο στο νότιο τμήμα δεν επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα με το βόρειο τμήμα. Γενικά φαίνεται να έχει μικρότερη επιρροή η κατακρήμνιση στις νότιες υπολεκάνες.

Κεφάλαιο 7ο

Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη δημιουργία του συγκεκριμένου υδρολογικού μοντέλου.

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι το μοντέλο είναι αρκετά ευαίσθητο, δηλαδή είχε την ικανότητα να αντιδρά ακόμα και σε μικρές αλλαγές στα δεδομένα. Πολλές φορές έγινε κατανοητό από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις καταγεγραμμένες μετρήσεις ότι εντοπίζονται μικροδιαφορές αλλά και δυσκολία στην προσομοίωση των συνθηκών λόγω έλλειψης δεδομένων. Το κομμάτι της κατανομής των ημερήσιων παροχών της Αγίας Βαρβάρας σε ωριαίες ήταν κάτι το οποίο ήθελε συνεχή προσοχή και διόρθωση, καθώς αποτέλεσε σημαντικό τμήμα της εργασίας, υπήρχε έλλειψη επαρκών δεδομένων και αποτέλεσε μία εύκολη πηγή σφάλματος. Ωστόσο, τέτοια προβλήματα εντοπίστηκαν έγκαιρα, διορθώθηκαν και το μοντέλο προσαρμόστηκε στις πραγματικές συνθήκες.

Στη συνέχεια, η αδυναμία του μοντέλου να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην κατά τους ανοιξιάτικους μήνες οφείλεται στη χρονική περίοδο μελέτης, όπου όπως επισημάνθηκε επιφέρει πολλές αιτίες έλλειψης αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό άλλωστε, όλα τα υπόλοιπα σενάρια περιορίστηκαν στους χειμερινούς μήνες ώστε το μοντέλο να μείνει ανεπηρέαστο από τέτοιους εξωγενείς παράγοντες.

Όσο αφορά τη γενικότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το πρόγραμμα HMS και των πρωτογενών δεδομένων από τη γέφυρα του Νησελίου, το μοντέλο έδειξε μία πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ακολούθησε πιστά την καμπύλη των αποτελεσμάτων. Τόσο οι παροχές από το φράγμα, όσο και η απορροή του Μογλενίτσα κατέδειξαν ότι το μοντέλο υπήρξε ικανό να προσομοιώσει τις πραγματικές συνθήκες. Αυτό άλλωστε έγινε κατανοητό και από το τελευταίο σενάριο επαλήθευσης, όπου χωρίς να προσαρμοστεί καμία παράμετρος πέραν των αρχικών συνθηκών, το μοντέλο απέδωσε.

Επιπλέον, έγινε κατανοητό ότι η διαδικασία αποτίμησης και βαθμονόμησης ενός μοντέλου είναι αρκετά σύνθετη διαδικασία, καθώς πρέπει να προσομοιωθούν όλες οι συνθήκες φυσικού και τεχνητού περιβάλλοντος προκειμένου να αποδοθεί ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα. Μέσα από την παρούσα εργασία έγινε κατανοητό ότι υπάρχει ένας πλήθος δυνατοτήτων και μεθοδολογιών, οι οποίες είναι ελεύθερα προσβάσιμες από το HMS, δίνοντας την δυνατότητα προσομοίωσης οποιασδήποτε

συνθήκης. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν οι καταλληλότερες μέθοδοι προκειμένου το μοντέλο να μπορέσει να λειτουργήσει με αξιοπιστία.

Αρκετές ήταν οι φορές που απαιτήθηκε η χρήση και άλλων προγραμμάτων συνδυαστικά με το HMS για να στηθεί ολοκληρωμένα το υδρολογικό μοντέλο. Το QGIS, Vortex, DSSVue, υπήρξαν κάποια από τα προγράμματα ελεύθερης πρόσβασης που έπαιξαν πρωταγωνιστικό ρόλο στην προσομοίωση, καθώς είτε επεξεργάζονταν δεδομένα, είτε παρήγαγαν δεδομένα τα οποία ήταν απαραίτητα για την αποτίμηση του μοντέλου.

Η γενικότερη εικόνα η οποία δίνεται από το μοντέλο προσομοίωσης το οποίο δημιουργήθηκε είναι ότι πρόκειται για ένα μοντέλο ικανό να προσομοιώσει οποιοσδήποτε συνθήκες και περιστατικά. Αυτό το οποίο παρατηρήθηκε ωστόσο είναι ότι όσο περισσότερο ακραία είναι ένα φαινόμενο, τόσο περισσότερο τείνει το μοντέλο να εμφανίζει σφάλμα, καθώς για ακραία περιστατικά απαιτούνται περισσότερα δεδομένα και πιθανόν κάποιες διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Παρόλα αυτά έδειξε πολύ καλή συμπεριφορά και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε και σε σενάρια πρόβλεψης, όπου το μοντέλο όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα φαίνεται να απέδωσε σωστά τις συνθήκες.

Σε κάθε περίπτωση γίνεται κατανοητό, ότι το μοντέλο είναι σε θέση να δείξει νέες προοπτικές μελέτης των φυσικών φαινομένων και διαδικασιών, ώστε σε πολλές περιπτώσεις να δημιουργούνται μοντέλα πρόβλεψης ικανά να αποτρέψουν κάποια καταστροφή όπως αυτή της πλημμύρας. Αποδείχθηκε, ότι η χρήση ελεύθερου λογισμικού και μόνο, παρέχει αποτελέσματα αξιόπιστα και ικανά να δώσουν πολλές νέες ιδέες και προοπτικές μελέτης. Αυτό το οποίο είναι σημαντικό είναι φυσικά η ανατροφοδότηση του μοντέλου με νέες πληροφορίες και δεδομένα, καθώς όλα όσα εισήχθησαν αναφέρονται σε δεδομένα δεκαετιών και προφανώς δε μπορεί το περιβάλλον πάντοτε να προσομοιώνεται με συνθήκες προ δεκαετίας, χρειάζεται μελέτη, δεδομένα, σωστό χειρισμό και σεβασμό στις φυσικές διεργασίες του περιβάλλοντος. ***Σε όλη τη διάρκεια της Ιστορίας, ο άνθρωπος έπρεπε να παλεύει με τη Φύση για να επιβιώσει. Σ' αυτόν τον αιώνα, έχει αρχίσει να συνειδητοποιεί ότι για να επιβιώσει, πρέπει να την προστατέψει*** (Ζαν-Υβ Κουστώ, 1910-1997, Γάλλος ωκεανογράφος).

- land?tab=overv (accessed Oct. 10, 2021).
- [20] “High Resolution Layers — Copernicus Land Monitoring Service.” <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers> (accessed Oct. 10, 2021).
- [21] “Dept.” <https://iri.swri.gr/index.php/el/#> (accessed Oct. 11, 2021).
- [22] Wikipedia, “QGIS - Wikipedia,” 2020. <https://en.wikipedia.org/wiki/QGIS> (accessed Sep. 10, 2021).
- [23] QGIS project, “QGIS User Guide — QGIS Documentation,” *QGIS project*, 2021. <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html> (accessed Sep. 10, 2021).
- [24] “HEC-HMS.” <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (accessed Sep. 10, 2021).
- [25] “Applying the Terrain Reconditioning Tools.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsguides/gis-tutorials-and-guides/applying-the-terrain-reconditioning-tools> (accessed Oct. 13, 2021).
- [26] “Intro to HEC-HMS GIS workflow.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsguides/gis-tutorials-and-guides/intro-to-hec-hms-gis-workflow> (accessed Oct. 14, 2021).
- [27] “Meteorologic Models.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/meteorology-description/meteorologic-models> (accessed Oct. 14, 2021).
- [28] “Precipitation.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.8/meteorology-description/precipitation> (accessed Oct. 14, 2021).
- [29] C. Method, “Subbasin Elements.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/subbasin-elements> (accessed Oct. 14, 2021).
- [30] “Reach Elements.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/reach-elements> (accessed Oct. 14, 2021).
- [31] “Source.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/source-junction-diversion-and-sink-elements/source> (accessed Oct. 14, 2021).
- [32] “Selecting a Canopy Method.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/subbasin-elements/selecting-a-canopy-method> (accessed Oct. 15, 2021).
- [33] “Selecting a Surface Method.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/subbasin-elements/selecting-a-surface-method> (accessed Oct. 15, 2021).
- [34] “Selecting a Loss Method.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/subbasin-elements/selecting-a-loss-method> (accessed Oct. 15, 2021).
- [35] Μ. Ζήσης, “Παρουσίαση HEC-HMS.”
- [36] Β. Μαργαρίτης, “Χρονos συγκεντρωσεωσ,” 2001.
- [37] Β. Γυμνασιου, Α. Ασλανίδης, Ε. Δ. Εκπαίδευσης, and Δ. Γ. Βλάχος, *ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ*. .
- [38] *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)*. 2013.
- [39] “Evapotranspiration.” <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.5/meteorology-description/evapotranspiration> (accessed Oct. 17, 2021).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- Πίνακας 1: Ποσοστό κάλυψης γης και ικανότητα κατακράτησης
- Πίνακας 2: Υπολογισμός συντελεστή C_i
- Πίνακας 3: Υπολογισμός συντελεστή C_s
- Πίνακας 4: Υπολογισμός συντελεστή C_v
- Πίνακας 5: Υπολογισμός συντελεστή C_r
- Πίνακας 6: Συντελεστής απορροής
- Πίνακας 7: Υδραυλική αγωγιμότητα
- Πίνακας 8: *Max surface storage*
- Πίνακας 9: Χρόνος συγκέντρωσης
- Πίνακας 10: Εμβαδόν υπολεκανών
- Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά υπολεκανών
- Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά υδατορευμάτων
- Πίνακας 13: Χρόνος υστέρησης υδατορευμάτων
- Πίνακας 14: Μετασχηματισμός C_v στο QGIS
- Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση στοιχείων υπολεκανών
- Σχήμα 2: Σχηματική απεικόνιση στοιχείων υδατορευμάτων
- Σχήμα 3: Χάρτης χρήσεων γης

Πίνακας 1: Ποσοστό κάλυψης γης και ικανότητα κατακράτησης

Name	Imperviousness %	Canopy interception (mm)	Imperviousness storage (mm)	Forest type %	Canopy interception (mm)	Forest storage (mm)	Tree cover density %	Tree plantation %	Canopy interception (mm)	Tree plantation storage (mm)	Grassland %	Canopy interception (mm)	Grassland storage (mm)	Water and wetness %	Canopy interception (mm)	CLC %	Canopy interception (mm)	Canopy
subbasin1	0,43	1,27	0,01	27,34	2,54	0,69	33,35	6,01	3,00	0,18	16,80	2,00	0,34	0,28	0,00	0,24	0,24	1,45
subbasin2	0,28	1,27	0,00	38,07	2,54	0,97	54,01	15,94	3,00	0,48	5,88	2,00	0,12	0,05	0,00	0,09	0,09	1,66
subbasin3	0,98	1,27	0,01	31,20	2,54	0,79	47,78	16,58	3,00	0,50	12,62	2,00	0,25	0,11	0,00	0,21	0,21	1,77
subbasin4	0,38	1,27	0,00	28,17	2,54	0,72	43,50	15,34	3,00	0,46	15,68	2,00	0,31	0,05	0,00	0,22	0,22	1,72
subbasin6	0,76	1,27	0,01	28,58	2,54	0,73	47,13	18,55	3,00	0,56	14,50	2,00	0,29	0,20	0,00	0,21	0,21	1,80
subbasin11	0,93	1,27	0,01	28,51	2,54	0,72	47,01	18,50	3,00	0,56	17,26	2,00	0,35	0,01	0,00	0,23	0,23	1,86
subbasin16	1,01	1,27	0,01	32,64	2,54	0,83	43,89	11,24	3,00	0,34	11,72	2,00	0,23	0,00	0,00	0,16	0,16	1,58
subbasin31	8,51	1,27	0,11	1,91	2,54	0,05	4,71	2,80	3,00	0,08	17,80	2,00	0,36	1,45	0,00	0,25	0,25	0,84
subbasin32	0,06	1,27	0,00	4,35	2,54	0,11	7,93	3,59	3,00	0,11	14,60	2,00	0,29	4,33	0,00	0,18	0,18	0,69
subbasin36	0,75	1,27	0,01	21,28	2,54	0,54	27,24	5,95	3,00	0,18	20,05	2,00	0,40	0,19	0,00	0,29	0,29	1,42
subbasin47	0,87	1,27	0,01	26,99	2,54	0,69	38,12	11,13	3,00	0,33	16,05	2,00	0,32	0,68	0,00	0,22	0,22	1,57
subbasin50	5,93	1,27	0,08	2,21	2,54	0,06	29,06	26,85	3,00	0,81	15,82	2,00	0,32	2,96	0,00	0,17	0,17	1,42
subbasin51	3,55	1,27	0,05	1,39	2,54	0,04	23,91	22,52	3,00	0,68	20,69	2,00	0,41	0,63	0,00	0,29	0,29	1,46
subbasin52	2,65	1,27	0,03	19,47	2,54	0,49	35,86	16,39	3,00	0,49	11,73	2,00	0,23	0,14	0,00	0,16	0,16	1,42
subbasin54	7,35	1,27	0,09	3,19	2,54	0,08	29,73	26,54	3,00	0,80	11,34	2,00	0,23	0,12	0,00	0,17	0,17	1,36
subbasin59	1,78	1,27	0,02	8,22	2,54	0,21	24,69	16,47	3,00	0,49	13,41	2,00	0,27	2,02	0,00	0,20	0,20	1,20
subbasin60	0,71	1,27	0,01	29,04	2,54	0,74	49,45	20,41	3,00	0,61	7,20	2,00	0,14	0,40	0,00	0,12	0,12	1,62

Πίνακας 2: Υπολογισμός συντελεστή C_i

name	mean	C_i
subbasin1	20286,04	0,085
subbasin2	20184,22	0,085
subbasin3	17651,49	0,079
subbasin4	16609,74	0,077
subbasin6	16180,33	0,076
subbasin11	18023,85	0,08
subbasin16	19042,66	0,083
subbasin31	21242,17	0,088
subbasin32	19584,5	0,084
subbasin36	22949,31	0,091
subbasin47	22866,83	0,091
subbasin50	21452	0,088
subbasin51	21076,52	0,087
subbasin52	20437,97	0,086
subbasin54	22461,46	0,09
subbasin59	23744,58	0,093
subbasin60	22643,29	0,091

Πίνακας 3: Υπολογισμός συντελεστή C_s

Name	Mean	C_s
subbasin1	798,5874	0,07
subbasin2	903,8887	0,07
subbasin3	841,8923	0,07
subbasin4	1005,1	0,07
subbasin6	656,4948	0,06
subbasin11	1043,18	0,07
subbasin16	927,4962	0,07
subbasin31	113,6894	0,04
subbasin32	108,7662	0,04
subbasin36	271,4975	0,05
subbasin47	537,8804	0,06
subbasin50	26,47251	0,04
subbasin51	47,27168	0,04
subbasin52	343,537	0,05
subbasin54	82,41196	0,04
subbasin59	72,46887	0,04
subbasin60	342,2829	0,05

Πίνακας 4: Υπολογισμός συντελεστή C_v

Name	C_v
subbasin1	0,24
subbasin2	0,09
subbasin3	0,21
subbasin4	0,22
subbasin6	0,21
subbasin11	0,23
subbasin16	0,16
subbasin31	0,25
subbasin32	0,18
subbasin36	0,29
subbasin47	0,22
subbasin50	0,17
subbasin51	0,29
subbasin52	0,16
subbasin54	0,17
subbasin59	0,20
subbasin60	0,12

Πίνακας 5: Υπολογισμός συντελεστή C_r

Name	slope%	C_r
subbasin1	10,56	0,20
subbasin2	9,93	0,20
subbasin3	9,28	0,19
subbasin4	10,36	0,20
subbasin6	10,86	0,20
subbasin11	10,64	0,20
subbasin16	10,66	0,20
subbasin31	11,28	0,21
subbasin32	11,34	0,21
subbasin36	11,13	0,20
subbasin47	10,93	0,20
subbasin50	11,30	0,21
subbasin51	11,27	0,21
subbasin52	32,80	0,28
subbasin54	11,31	0,21
subbasin59	11,54	0,21
subbasin60	11,63	0,21

Πίνακας 6: Συντελεστής απορροής

subbasin	Cr	Cv	Ci	Cs	Ctot
subbasin1	0,20	0,06	0,09	0,07	0,42
subbasin2	0,20	0,05	0,09	0,07	0,40
subbasin3	0,19	0,05	0,08	0,07	0,39
subbasin4	0,20	0,05	0,08	0,07	0,40
subbasin6	0,20	0,06	0,08	0,06	0,40
subbasin11	0,20	0,06	0,08	0,07	0,41
subbasin16	0,20	0,06	0,08	0,07	0,41
subbasin31	0,21	0,09	0,09	0,04	0,42
subbasin32	0,21	0,06	0,08	0,04	0,39
subbasin36	0,20	0,06	0,09	0,05	0,41
subbasin47	0,20	0,06	0,09	0,06	0,41
subbasin50	0,21	0,08	0,09	0,04	0,41
subbasin51	0,21	0,08	0,09	0,04	0,41
subbasin52	0,28	0,07	0,09	0,05	0,48
subbasin54	0,21	0,09	0,09	0,04	0,42
subbasin59	0,21	0,07	0,09	0,04	0,41
subbasin60	0,21	0,06	0,09	0,05	0,40

Πίνακας 7: Υδραυλική αγωγιμότητα

name	Μετατροπή (mm/hr)
subbasin3	5,75
subbasin2	11,63
subbasin4	3,75
subbasin31	0,38
subbasin1	3,13
subbasin32	0,38
subbasin47	2,54
subbasin36	2,29
subbasin6	2,14
subbasin50	0,38
subbasin11	8,78
subbasin51	0,71
subbasin16	6,68
subbasin52	4,28
subbasin60	4,36
subbasin54	2,07
subbasin59	0,78

Πίνακας 8: Max surface storage

Name	Subbasin	Min	Max	Min	Max	Slope%	Max surface storage
subbasin1	0	6	30	6,35	12,7	10,56458	7,558
subbasin2	1	6	30	6,35	12,7	9,92731	7,389
subbasin3	2	6	30	6,35	12,7	9,28391	7,219
subbasin4	3	6	30	6,35	12,7	10,35731	7,503
subbasin6	5	6	30	6,35	12,7	10,86394	7,637
subbasin11	10	6	30	6,35	12,7	10,63537	7,576
subbasin16	15	6	30	6,35	12,7	10,65513	7,582
subbasin31	30	6	30	6,35	12,7	11,2754	7,746
subbasin32	31	6	30	6,35	12,7	11,33518	7,762
subbasin36	35	6	30	6,35	12,7	11,13489	7,709
subbasin47	46	6	30	6,35	12,7	10,93104	7,655
subbasin50	49	6	30	6,35	12,7	11,30168	7,753
subbasin51	50	6	30	6,35	12,7	11,26885	7,744
subbasin52	51	30	>	1,02	1,02	32,80109	1,020
subbasin54	53	6	30	6,35	12,7	11,30977	7,755
subbasin59	58	6	30	6,35	12,7	11,53727	7,815
subbasin60	33	6	30	6,35	12,7	11,62682	7,839

Πίνακας 9: Χρόνος συγκέντρωσης

subbasin	longest flowpath length(km)	area(km2)	_mean	_min	tc(hr)	tc(min)
1	42,19776	419,15	168,3714	1	14,03	841,696
2	31,76928	129,51	158,231	1	9,29	557,303
3	28,97875	147,37	147,946	1	9,49	569,371
4	32,97078	129,58	165,0642	1	9,27	556,198
6	34,97479	135,51	173,1448	8	9,63	577,932
11	41,42558	204,84	169,4918	1	11,50	689,811
16	34,57065	208,94	169,8162	1	10,55	633,085
31	4,51859	4,2875	179,7938	167	5,26	315,789
32	4,5822	1,8131	180,758	174	5,89	353,687
36	51,65312	266,05	177,4714	28	14,59	875,546
47	45,9439	401,1	174,2187	6	14,36	861,759
50	2,84476	1,3819	179,9336	173	4,26	255,471
51	16,45281	35,628	179,6324	154	11,99	719,282
52	33,35601	178,86	177,945	17	10,20	612,049
54	21,22161	60,873	180,2494	99	8,74	524,534
59	27,26113	57,169	183,8655	117	10,87	652,452
60	23,02266	72,712	185,3164	33	6,95	417,139

Πίνακας 10: Εμβαδόν υπολεκανών

Subbasin	Area Km2
subbasin3	147,37
subbasin2	129,51
subbasin4	129,58
subbasin31	4,2875
subbasin1	419,15
subbasin32	1,8131
subbasin47	401,1
subbasin36	266,05
subbasin6	135,51
subbasin50	1,3819
subbasin11	204,84
subbasin51	35,628
subbasin16	208,94
subbasin52	178,86
subbasin60	72,712
subbasin54	60,873
subbasin59	57,169

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά υπολεκανών

Subbasin	Longest Flowpath Length Km	Longest Flowpath Slope	Centroidal Flowpath Length Km	Centroidal Flowpath Slope	10-85 Flowpath Length Km	10-85 Flowpath Slope	Basin slope	Basin Relief	Relief ratio	Elongation Ratio	Drainage density
subbasin3	28,98	0,11	13,97	0,08	21,73	0,09	0,65	3241,04	0,11	0,47	0,01
subbasin2	31,77	0,08	16,20	0,03	23,83	0,08	0,67	2699,43	0,08	0,40	0,00
subbasin4	32,97	0,10	20,62	0,02	24,73	0,11	0,78	3415,51	0,10	0,39	0,06
subbasin31	4,52	0,23	1,95	0,00	3,39	0,30	1,63	1037,69	0,23	0,52	0,68
subbasin1	42,20	0,05	17,04	0,01	31,65	0,06	0,60	3050,67	0,07	0,55	0,05
subbasin32	4,58	0,22	2,15	0,47	3,44	0,30	1,41	1058,64	0,23	0,33	0,63
subbasin47	45,94	0,05	18,91	0,02	34,46	0,04	0,33	2714,23	0,06	0,49	0,10
subbasin36	51,65	0,04	20,09	0,00	38,74	0,04	0,47	2267,04	0,04	0,36	0,11
subbasin6	34,97	0,09	20,88	0,06	26,23	0,09	0,48	3027,22	0,09	0,38	0,04
subbasin50	2,84	0,36	1,82	0,55	2,13	0,48	2,41	1022,83	0,36	0,47	1,13
subbasin11	41,43	0,06	20,38	0,04	31,07	0,08	0,57	3029,03	0,07	0,39	0,08
subbasin51	16,45	0,07	12,04	0,09	12,34	0,09	0,64	1096,09	0,07	0,41	0,28
subbasin16	34,57	0,08	18,88	0,08	25,93	0,08	0,43	2849,05	0,08	0,47	0,08
subbasin52	33,36	0,08	16,70	0,01	25,02	0,09	0,60	2759,72	0,08	0,45	0,08
subbasin60	23,02	0,05	11,27	0,01	17,27	0,05	0,16	1169,68	0,05	0,42	0,14
subbasin54	21,22	0,07	8,20	0,12	15,92	0,09	0,37	1578,04	0,07	0,41	0,15
subbasin59	27,26	0,06	16,94	0,06	20,45	0,06	0,59	1661,01	0,06	0,31	0,24

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά υδατορευμάτων

Reach	Length (M)	Slope	Relief (M)	Sinuosity
reach8	1,16	0,002	2,00	1,09
reach7	28,75	0,003	77,00	1,34
reach9	2,95	0,004	11,00	1,07
reach4	13,64	0,000	3,00	1,10
reach3	8,89	0,001	6,00	1,16
reach6	1,58	0,001	1,00	1,07
reach5	10,05	0,000	2,00	1,13
reach2	10,38	0,098	1019,50	1,30
reach1	13,89	0,000	5,00	1,20

Πίνακας 13: Χρόνος υστέρησης υδατορευμάτων

Reach	Length (Km)	U (m/s)	Time (s)	Time (min)
reach8	1,157	3,000	385,703	6,428
reach7	28,750	3,000	9583,427	159,724
reach9	2,952	3,000	984,130	16,402
reach4	13,637	3,000	4545,583	75,760
reach3	8,888	3,000	2962,540	49,376
reach6	1,580	3,000	526,777	8,780
reach5	10,047	3,000	3348,977	55,816
reach2	10,378	3,000	3459,433	57,657
reach1	13,894	3,000	4631,330	77,189

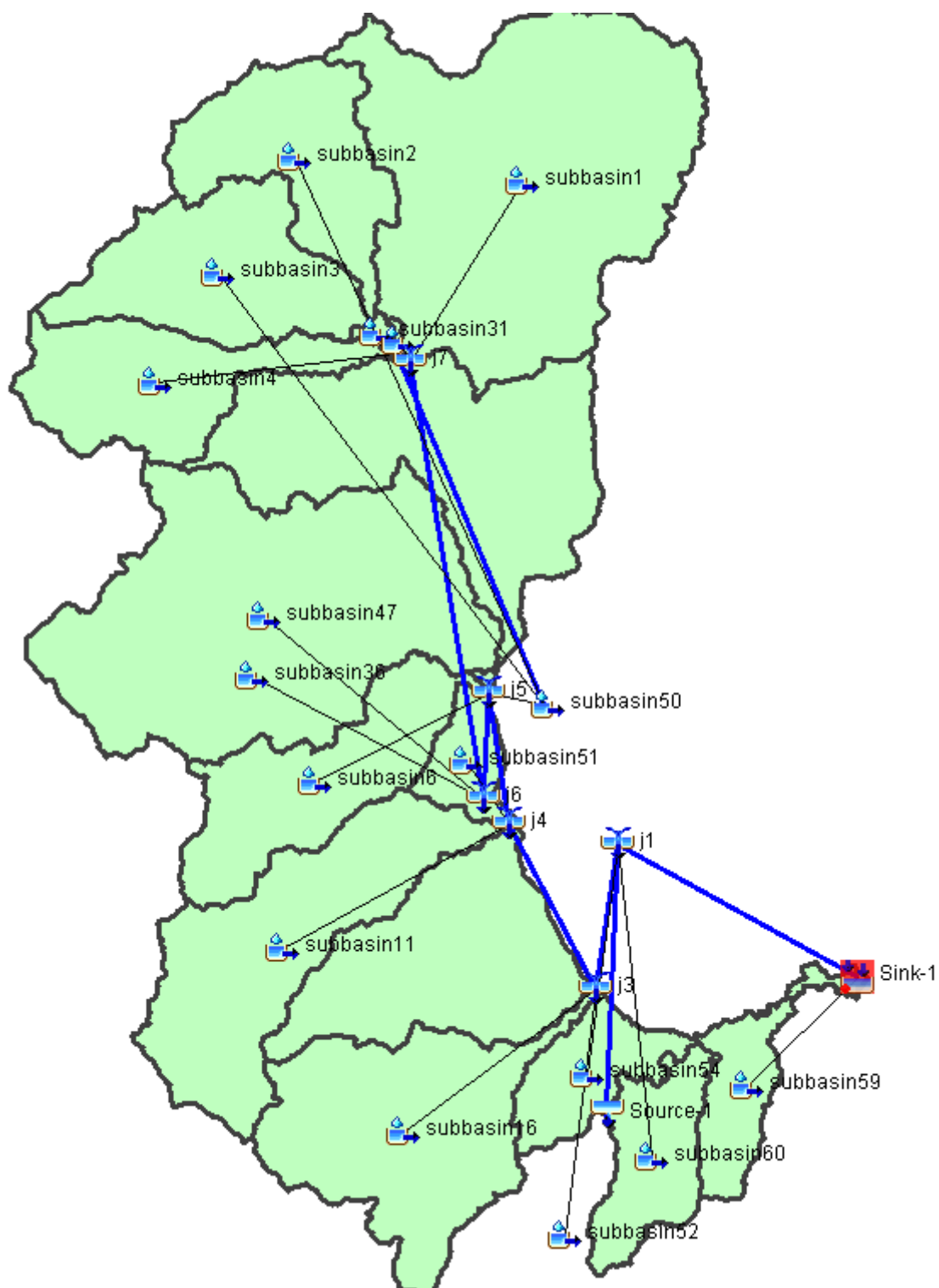
Πίνακας 14: Μετασχηματισμός Cn στο QGIS

<i>Case when =2 then 0.13</i>	
<i>when =3 then 0.13</i>	<i>when =18 then 0.08</i>
<i>when =4 then 0.13</i>	<i>when =19 then 0.07</i>
<i>when =5 then 0.14</i>	<i>when =20 then 0.07</i>
<i>when =6 then 0.14</i>	<i>when =21 then 0.07</i>
<i>when =7 then 0.15</i>	<i>when =22 then 0.07</i>
<i>when =8 then 0.15</i>	<i>when =23 then 0.04</i>
<i>when =9 then 0.14</i>	<i>when =24 then 0.04</i>
<i>when =10 then 0.10</i>	<i>when =25 then 0.04</i>
<i>when =11 then 0.11</i>	<i>when =26 then 0.06</i>
<i>when =12 then 0.10</i>	<i>when =27 then 0.06</i>
<i>when =13 then 0.09</i>	<i>when =28 then 0.05</i>
<i>when =14 then 0.09</i>	<i>when =29 then 0.05</i>
<i>when =15 then 0.08</i>	<i>when =30 then 0.00</i>
<i>when =16 then 0.08</i>	<i>when =31 then 0.16</i>
<i>when =17 then 0.08</i>	<i>when =32 then 0.16</i>

Σχήμα 1 : Σχηματική απεικόνιση στοιχείων υπολεκανών



Σχήμα 2 : Σχηματική απεικόνιση στοιχείων υδατορευμάτων



Σχήμα 3 : Σχηματική απεικόνιση χρήσεων γης

