

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

«ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

**Διερεύνηση πλημμυρικών παροχών ρέματος Πουρί στην περιοχή Αγιάς
το Φεβρουάριο 2018**

**Μπόλης Ιωάννης
Γεωπόνος Α.Π.Θ.**

Λάρισα, 2019

**UNIVERSITY OF THESSALY
GENERAL DEPARTMENT OF LARISSA**

**POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM
“ADVANCED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
TECHNOLOGIES IN ENGINEERING WORKS”**

«POSTGRADUATE MASTER’S THESIS»

**Investigation of Pouri river flood water discharge in the region of Agia
at February 2018**

**Bolis Ioannis
Agriculturist AUTH**

Larissa, 2019

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) Κωτσόπουλος Σπυρίδων**, Καθηγητής, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**
- 2) Φαρσιώτου Ευαγγελία**, Καθηγήτρια, Υδροδυναμικά και Αντιπλημμυρικά Έργα, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**
- 3) Αλαμανής Νικόλαος**, Επίκουρος Καθηγητής, Περιβαλλοντική Γεωτεχνική, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στην οικογένεια μου, ευχαριστώντας τους για την απaráμιλλη και συνεχή στήριξή τους σε όλους τους τομείς της ζωής μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Σύγχρονες Τεχνολογίες Έργων Διαχείρισης Περιβάλλοντος», που ανήκει στο Γενικό Τμήμα Λάρισας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Για την επίτευξη της συγκεκριμένης διατριβής συνέβαλλαν αρκετοί άνθρωποι τους οποίους οφείλω να ευχαριστήσω.

Κυριότερα τον κ. Σπυρίδωνα Κωτσόπουλο, Καθηγητή του Γενικού Τμήματος Λάρισας του Π.Θ. τον ευχαριστώ θερμά για την επιλογή του θέματος και για την συνεχή καθοδήγηση, υπομονή και επιμονή που είχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Την κ. Ευαγγελία Φαρσιρώτου, Διευθύντρια του συγκεκριμένου Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, Καθηγήτρια του Γενικού Τμήματος Λάρισας του Π.Θ. για τις εποικοδομητικές συμβουλές και την διδασκαλία του κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Τον κ. Νικόλαο Άλαμανη, Επίκουρο Καθηγητή του Γενικού Τμήματος Λάρισας του Π.Θ. για τις εποικοδομητικές συμβουλές και την διδασκαλία του κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Τον κ. Νικόλαο Ξαφούλη Ακαδημαϊκό Υπότροφο του Γενικού Τμήματος Λάρισας του Π.Θ., για τη συνεχή υποστήριξή του στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) και του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης HEC-HMS.

Το σύνολο των καθηγητών του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών για την μετάδοση των γνώσεών τους καθώς και των εμπειριών τους στο γνωστικό αντικείμενο του τομέα από την αρχή μέχρι το πέρας των σπουδών μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την απaráμιλλη και συνεχή στήριξή τους σε όλους τους τομείς για την επιτυχή εκπλήρωση των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια διερεύνησης των πλημμυρικών παροχών του ρέματος Πουρί στην περιοχή της Αγίας Λάρισας για συγκεκριμένες ημερομηνίες πλημμυρικών συμβάντων κατά τον μήνα Φεβρουάριο του 2018. Επίσης, πραγματοποιήθηκε γενικός έλεγχος της επάρκειας του έργου της γέφυρας Αγιοκάμπου Λάρισας.

Για την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων από την διερεύνηση αυτή, αρχικά εντοπίστηκε κατά μήκος του κυρίως υδατορρεύματος η θέση εκβολής. Στη συνέχεια έγινε χάραξη του υδροκρίτη της κύριας υδρολογικής λεκάνης, του ρέματος Πουρί, μέχρι την θέση εκβολής. Με τη χρήση κατάλληλου χαρτογραφικού υποβάθρου και τη χρήση του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών Arc GIS, έγινε υπολογισμός των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης και του υδρογραφικού δικτύου. Ακολούθως συλλέχθηκαν και έγινε επεξεργασία των διαθέσιμων μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής. Υπολογίστηκε ο χρόνος συρροής της υδρολογικής λεκάνης με την μέθοδο Giandotti. Εντοπίστηκαν οι χρήσεις γης εντός της υδρολογικής λεκάνης με τη χρήση του χαρτογραφικού υποβάθρου χρήσεων γης του Corine Land Covers για το έτος 2012 και 2018. Εν συνεχεία, υπολογίστηκε ο σταθμισμένος συντελεστής απορροής της Soil Conservation Service αξιοποιώντας τα στοιχεία των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης. Τελικώς, εκτελέστηκε υδραυλική προσομοίωση των πλημμυρογραφημάτων για τις παραπάνω ημερομηνίες με τη χρήση του μοντέλου υδραυλικής προσομοίωσης HEC-HMS και έγινε έλεγχος επάρκειας του έργου της γέφυρας Αγιοκάμπου, από την οποία διέρχεται το ρέμα Πουρί πλησίον της θέσης εκβολής.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση, καθώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου επάρκειας της γέφυρας Αγιοκάμπου, βοήθησαν σε σημαντικό βαθμό για την εξαγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται με την συμπεριφορά του ρέματος Πουρί, καθώς και με την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής.

Λέξεις-κλειδιά: Υδρολογική λεκάνη, Ρέμα Πουρί Αγίας, πλημμυρική παροχή, υδραυλική προσομοίωση, HEC - HMS

ABSTRACT

To the current master's degree thesis has been ventured an attempt to conduct a research upon the flood flows of Puri river based in the region of Agia Larissa. The research refers to specific dates of renowned floods during February of 2018. Nevertheless, a general inspection has been carried out on the bridge work placed in Agiokampos, Larissa.

Extracting the indented results derived from that research, has been spotted the place of following the length of the river on a primary level. The engraving of the main hydrologic basins of Puri river to the place of estuary has been taken place on a second level. Using the proper cartographical background along with the use of a geographic system named Arc GIS the geomorphological traits of the hydrologic basin have been calculated. The collection and processing of meteorological data of the region delineate the next step of the research. The time of concentration of the hydrologic basin has been measured using the method of Giandotti. The use of the soil inside the hydrologic basin has been spotted using the cartographical background of Corine Land Cover regarding the year of 2012 and 2018. What follows next is the calculation of the weighted average of quotient of the run off of soil conservation service making use of the data of soils use of the hydrologic basin. On final level a hydraulic simulation on the previously mentioned years if flood using the hydraulic simulation model HEC-HMS and a general audit of Agiokampos bridge-work go beside the estuary position.

The results derived from the hydraulic simulation along with the results of Agiokampos bridgework sufficiency contributed to a significant level to the export of results regarding the behavioral effect of Puri river along with the protection against floods of that specific region.

Key words: Hydrologic basin, Puri river, flood flows, hydraulic simulation, HEC-HMS

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1.	Γενικά	1
1.2.	Σκοπός της διατριβής.....	2
1.3.	Δομή της διατριβής.....	3
2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	5
2.1.	Γεωγραφική θέση της περιοχής έρευνας	5
2.2.	Υδρολογικές λεκάνες ευρύτερης περιοχής.....	5
2.3.	Υδρολογική λεκάνη ρέματος Πουρί.....	10
2.4.	Χάραξη υδροκρίτη και υδρογραφικού δικτύου	11
2.5.	Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά υδρολογικής λεκάνης	13
2.6.	Γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής έρευνας.....	16
2.7.	Χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής έρευνας.....	17
2.8.	Χρήσεις γης υδρολογικής λεκάνης.....	18
3.	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	21
3.1.	Μετεωρολογικός σταθμός Αγιάς.....	21
3.2.	Χρόνος συρροής	23
3.3.	Συντελεστής απορροής Curve Number (CN).....	24
4.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ HEC-HMS	29
4.1.	Γενικά	29
4.2.	Περιγραφή του προγράμματος HEC-HMS.....	30
5.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	32
5.1.	Χρόνος καθυστέρησης t_L της μεθόδου S.C.S.	32
5.2.	Χρόνος καθυστέρησης t_L της μεθόδου Snyder.....	32
5.3.	Έλεγχος επάρκειας έργου	33
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
6.1.	Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης για το διάστημα 10-11/02/2018 (S.C.S.).....	34
6.2.	Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης για το διάστημα 10-11/02/2018 (Snyder)	36

6.3.	Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης της 26/02/2018 (S.C.S.).....	37
6.4.	Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης της 26/02/2018 (Snyder).....	39
6.5.	Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων υδραυλικών προσομοιώσεων S.C.S. - Snyder	41
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	44
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Ο ολοένα αυξανόμενος ρυθμός αύξησης του πληθυσμού της γης, και συνεπώς της ζήτησης για ποιοτικό υδρευτικό νερό, για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών του ανθρώπου, και για αρδευτικό νερό, για την παραγωγή τροφής, καθιστούν το σύνολο των υδατικών πόρων σημαντικό πυλώνα ανάπτυξης μια χώρας. Για αυτούς τους λόγους κάθε χώρα οφείλει από μόνη της ή σε συνεργασία με άλλες χώρες και κοινότητες να αναπτύξει το κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ποσότητας και ποιότητας νερού. Επίσης, οφείλει να θεσπίσει κανόνες και οδηγίες για την διασφάλιση της οικολογικής ισορροπίας και την εξασφάλιση της αειφορίας των υδάτινων πόρων και της ποιότητας του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με την παραπάνω λογική, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα θέσπισε οδηγίες και κανόνες που αίρουν τις εν λόγω ανησυχίες.

Με την Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ που τέθηκε σε ισχύ τον Δεκέμβριο του 2000 και εναρμονίστηκε στην εθνική νομοθεσία με τον Νόμο 3199/2003 και το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έβαλε τις βάσεις στην προσπάθεια ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Δηλαδή καθόρισε τις αρχές και την πολιτική διαχείρισης των υδάτων των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επακόλουθο της ανωτέρω νομοθεσίας αποτέλεσε η κατάρτιση «Σχεδίων Διαχείρισης Υδάτων» για κάθε υδατικό διαμέρισμα της χώρας που αποπερατώθηκε το 2014. Τους υδατικούς πόρους, που γίνεται προσπάθεια να προστατευθούν με την εφαρμογή της συγκεκριμένης οδηγίας, αποτελούν οι επιφανειακοί, μεταβατικοί, παράκτιοι καθώς και οι υπόγειοι.

Με την παραπάνω οδηγία επιδιώκεται και η εξασφάλιση της αειφορίας και διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος συνολικά. Για αυτούς τους λόγους στην οδηγία εντάσσεται ένα πλαίσιο, σκοπός του οποίου είναι:

1) να αποτρέπει την περαιτέρω υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων, να τα προστατεύει και να τα βελτιώνει, και αντίστοιχα και τα χερσαία οικοσυστήματα και τους υγροτόπους που εξαρτώνται, από αυτούς, όσον αφορά τις υδατικές ανάγκες

2) να προωθεί την βιώσιμη χρήση του νερού, εξαιτίας της μακροπρόθεσμης διατήρησης των υδατικών πόρων

3) να ενισχύει την προστασία και να βελτιώνει το υδατικό περιβάλλον, με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων που στόχο έχουν τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου μέσω της μείωσης των απορρίψεων, ρυπαντικών ουσιών και εκπομπών με προτεραιότητα ως προς την ρυπαντική ουσία

4) να αποβλέπει με βαθμιαία αύξηση στην μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και να αποτρέπει την περαιτέρω ρύπανσή τους

5) να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο από πλημμύρες και ξηρασίες και να μειώνει τα δυσμενή αποτελέσματα όταν αυτές συμβαίνουν

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού στην οδηγία συμπεριλαμβάνονται ρυθμίσεις και ενέργειες, με αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα που κάθε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας οφείλει να εφαρμόσει και να τηρήσει.

1.2. Σκοπός της διατριβής

Σκοπός της διατριβής αποτελεί η διερεύνηση πλημμυρικών παροχών του ρέματος Πουρί στην περιοχή της Αγιάς του μήνα Φεβρουαρίου 2018, με τη χρήση του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης HEC-HMS 4.3. Για την επιτυχή εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης θα ακολουθηθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία. Τα σημαντικότερα βήματα αυτής είναι:

1) Να εντοπιστούν οι κυριότερες υδρολογικές λεκάνες.

- 2) Να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά των παραπάνω λεκανών (έκταση, κλίση, υψόμετρο, υδρογραφικό δίκτυο κ.λπ.), με την χρήση G.I.S..
- 3) Να συλλεχθούν και να επεξεργαστούν τα μετεωρολογικά στοιχεία των σταθμών που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.
- 4) Να επιλεγεί το κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού της απορροής σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα.
- 5) Να υπολογιστεί ο χρόνος συρροής της υδρολογικής λεκάνης με τη μέθοδο Giandotti.
- 6) Να εντοπιστούν οι χρήσεις γης εντός της υδρολογικής λεκάνης.
- 7) Να εκτελεστεί υδραυλική προσομοίωση με τη χρήση του HEC-HMS για συγκεκριμένες ημερομηνίες του Φεβρουαρίου 2018.
- 8) Να ελέγξει η επάρκεια των τεχνικών έργων στη θέση εκβολής.
- 9) Να συγκεντρωθούν, συγκριθούν και να συζητηθούν τα αποτελέσματα της μελέτης, να εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα και να προταθούν τα ανάλογα έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων.

1.3. Δομή της διατριβής

Η μεταπτυχιακή διατριβή αποτελείται από επτά (7) κεφάλαια και ένα παράρτημα. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τους υδατικούς πόρους και τον τρόπο αξιοποίησης τους. Επίσης αναφέρεται ο σκοπός για τον οποίο γίνεται η παρούσα διατριβή, αλλά και ποια είναι η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή έρευνας. Στην αρχή, διευκρινίζεται η γεωγραφική της θέση στον Ελλαδικό χώρο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι υδρολογικές λεκάνες της ευρύτερης περιοχής μελέτης και τα χαρακτηριστικά τους,

καθώς και η υδρολογική λεκάνη έρευνας, του ρέματος Πουρί. Επίσης, δίνονται στοιχεία για τις χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής μελέτης και αναφέρονται βασικές πληροφορίες για τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας.

Στο τρίτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη έρευνα. Για το μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής έρευνας, δίνονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων (βροχόπτωσης) με τη μορφή διαγραμμάτων. Επίσης υπολογίζεται ο χρόνος συρροής της υδρολογικής λεκάνης έρευνας, καθώς και ο συντελεστής απορροής CN, που βασίζεται στις χρήσεις γης εντός της υδρολογικής λεκάνης. Τελικώς, παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία που αφορούν το κλίμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Το τέταρτο Κεφάλαιο δίνονται γενικά στοιχεία του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο γίνεται γίνονται οι απαραίτητοι υπολειπόμενοι υπολογισμοί μεταβλητών που είναι απαραίτητοι για την επιτυχή εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης, καθώς και παρουσιάζεται η μεθοδολογία για τον έλεγχο επάρκειας του έργου πλησίον της εκβολής του κυρίως ρέματος.

Στο έκτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, γίνονται συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων και δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διατριβή.

Στη συνέχεια, στο έβδομο κεφάλαιο δίνονται οι τίτλοι της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Στο Παράρτημα παραθέτεται φωτογραφικό υλικό από συγκεκριμένες θέσεις της περιοχής έρευνας.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Γεωγραφική θέση της περιοχής έρευνας

Η περιοχή έρευνας ανήκει διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας, της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Το σύνολο, σχεδόν, της έκτασης της περιοχής μελέτης, ανήκει στο Δήμο Αγιάς. Η συνολική έκταση του Δήμου είναι 668,26 km² και στην οποία περιλαμβάνονται οι υδρολογικές λεκάνες των κυριότερων ρεμάτων της περιοχής. Βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Π.Ε. Λάρισας και περιλαμβάνει τους πρώην καποδιστριακούς δήμους Αγιάς, Μελιβοίας, Ευρυμενών και Λακέρειας. Ο Δήμος Αγιάς είναι ο παραλιακός δήμος της Π.Ε. Λάρισας με ακτογραμμή 36 χλμ. Συνορεύει βορειοδυτικά με το Δήμο Τεμπών, και νοτιοδυτικά με το Δήμο Κιλελέρ και νοτιοανατολικά με το Δήμο Ρήγα Φεραίου (Σχήμα 2.1). Ο συνολικός πληθυσμός του Δήμου Αγιάς σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είναι 11.470 κάτοικοι (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2011). Ο Δήμος χωρίζεται σε τέσσερις δημοτικές ενότητες, της Αγιάς, της Λακέρειας, των Ευρυμενών και της Μελιβοίας.



Σχήμα 2.1. Χωροθέτηση του Δήμου Αγιάς στην Περιφέρεια Θεσσαλίας (Πηγή: [Wikipedia](#))

2.2. Υδρολογικές λεκάνες ευρύτερης περιοχής

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με την ευρεία αυτή υδρολογική λεκάνη.

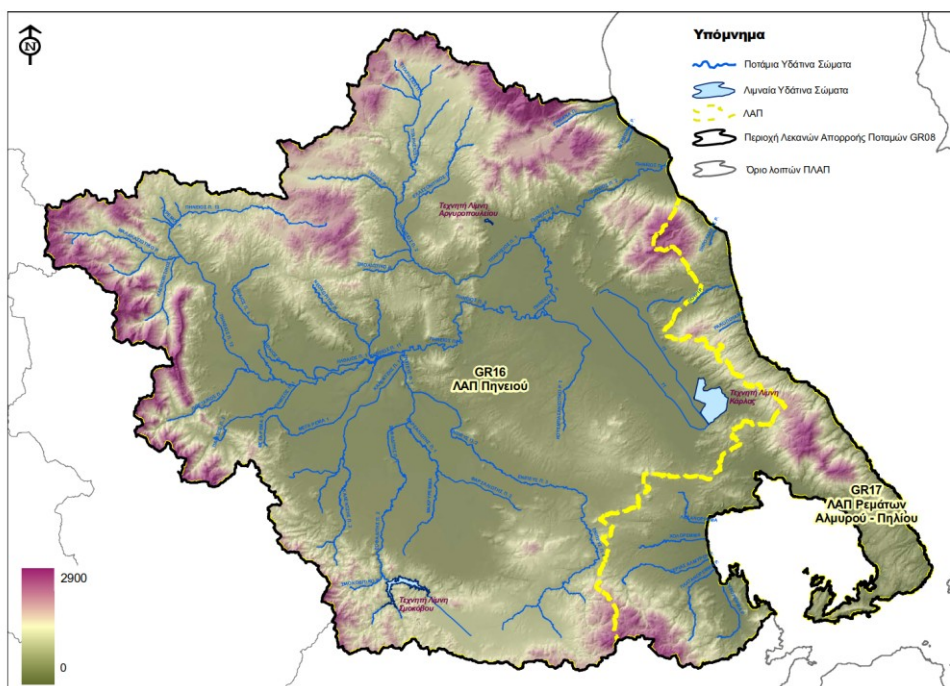
Το μεγαλύτερο μέρος του υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας ανήκει στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, ενώ περιλαμβάνει ένα μικρό μέρος της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας και της Περιφέρειας Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας. Η συνολική του έκταση είναι περίπου 13.140 km². Τα όρια του διαμερίσματος φαίνονται στο Σχήμα 2.2. Ο πληθυσμός ανέρχεται περίπου 750.455 (ΕΣΥΕ, 2001).

Το διαμέρισμα παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα, με τα ορεινά τμήματά του περιμετρικά και τα πεδινά στις κεντρικές περιοχές. Το Θεσσαλικό Πεδίο που αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος, είναι τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου-Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου-Όσσας στα ανατολικά. Το κλίμα χαρακτηρίζεται μεσογειακό για την ανατολική παράκτια και ορεινή περιοχή, την κεντρική πεδινή με ηπειρωτικό και τη Δυτική ορεινή με ορεινό κλίμα (ΥΠΕΚΑ, 2014).

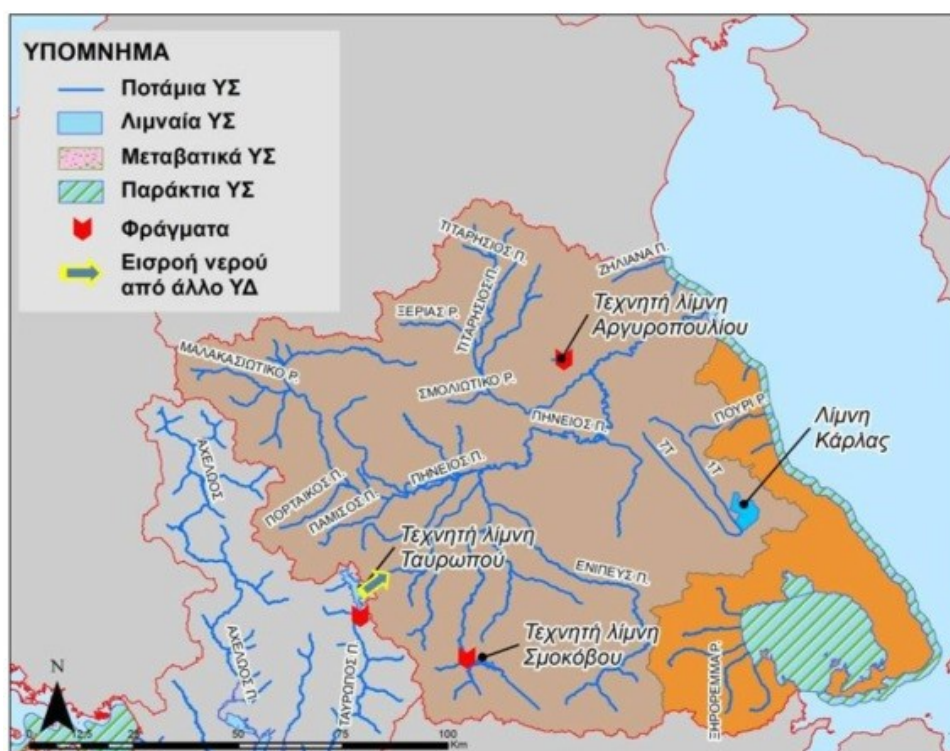
Οι σημαντικότερες υδρολογικές λεκάνες είναι του ποταμού Πηνειού και των ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου. Οι εκτάσεις ανέρχονται σε 11.062 km² και 2.079 km² αντίστοιχα. Η κυριότερη λεκάνη απορροής είναι του Πηνειού (Σχήμα 2.3). Οι κυριότεροι ποταμοί της λεκάνη απορροής του Πηνειού καθώς και οι κυριότερες λίμνες δίνονται στους Πίνακες 2.1 και 2.2, αντίστοιχα. Τα νερά του Πηνειού που αποτελεί το μεγαλύτερης ροής ποτάμι της λεκάνης μαζί με τους παραποτάμους (Πίνακας 2.1) χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για άρδευση. Χαρακτηριστικά έργα που έχουν κατασκευαστεί για την αξιοποίηση του είναι οι ταμιευτήρες Κάρλας, Σμοκόβου και Πλαστήρα (Σχήμα 2.4). Επίσης η λεκάνη απορροής διαθέτει οργανωμένα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα με συνολική επιφάνεια 707.000 στρέμματα (ΥΠΕΚΑ, 2014). Φορέας διαχείρισης των οποίων αποτελούν οι Τοπικοί Οργανισμοί Εργείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ).



Σχήμα 2.2. Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Πηγή: Π.Δ. 706/2-9-2010)



Σχήμα 2.3. Λεκάνη απορροή Πηγείου και Αλμυρού – Πηλίου (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014)



Σχήμα 2.4 Κύρια έργα εκτροπής νερών, υδατικά έργα ταμίευσης, και παραγωγής ενέργειας στο Υ.Δ. Θεσσαλίας (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014)

Πίνακας 2.1. Κύριοι ποταμοί της Λεκάνης Απορροής Πηνειού (ΥΠΕΚΑ, 2014)

Όνομασία ποταμού	Μήκος (km)
Πηνειός	262
Ενιπέας	132
Φαρσαλιώτης	38
Σοφαδίτης	56
Καλέντζης	58
Πάμισος	25
Πορταϊκός	24
Ληθαίος	63
Νεοχωρίτης	27
Τιταρήσιος	96

Πίνακας 2.2. Κύριες Λίμνες της Λεκάνης Απορροής Πηνειού (ΥΠΕΚΑ, 2014)

Όνομασία λίμνης	Έκταση (km²)
Τεχνητή Λίμνη Σμοκόβου	9,9
Τεχνητή Λίμνη Αργυροπουλίου	0,5
Τεχνητή Λίμνη Κάρλας	34,9

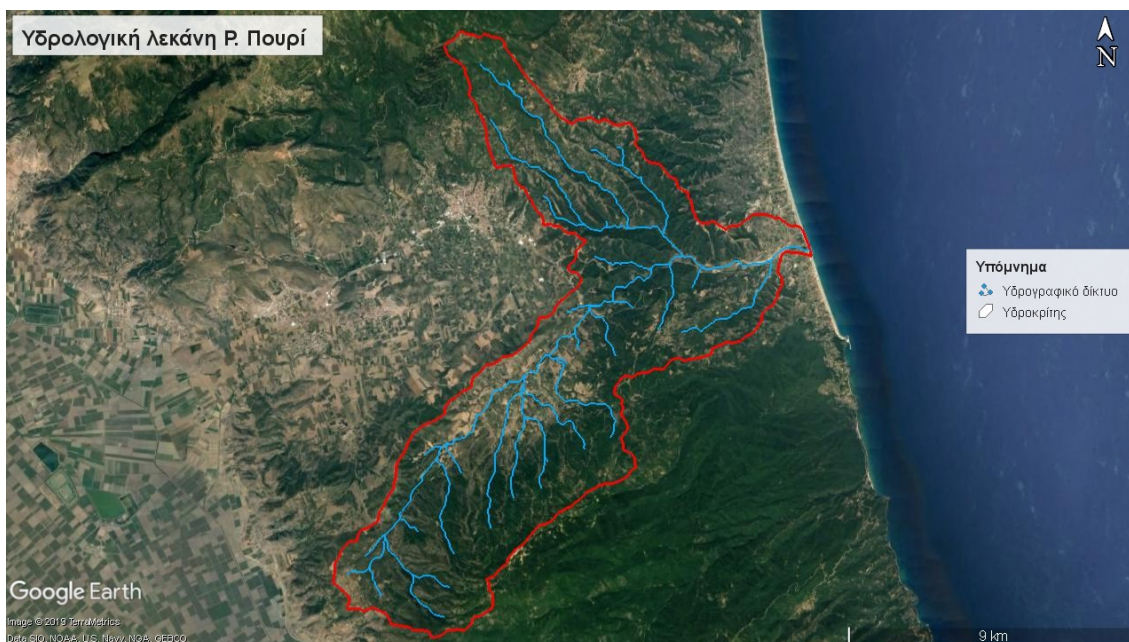
Στη λεκάνη απορροής Αλμυρού-Πηλίου δεν υπάρχουν μεγάλοι ποταμοί αλλά ένα σύνολο ρεμάτων που καταλήγουν επί το πλείστον στο Παγασητικό κόλπο. Στη λεκάνη απορροής των ρεμάτων Αλμυρού συναντώνται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ζώνης της Πίνδου η οποία αναπτύσσεται σε μικρή έκταση στα ανατολικά της λεκάνης απορροής. Επίσης, εμφανίζονται η Μαλιακή ζώνη, το Ηωελληνικό τεκτονικό Κάλλυμα, η Πελαγονική ζώνη και η Ενότητα Αμπελακίων. Ασύμφωνα πάνω στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών νεογενείς σχηματισμοί (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άργιλοι, μάργες κ.α.) και τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων κώνοι κορημάτων – πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί). Οι αποθέσεις αυτές συναντώνται στην πεδινή περιοχή του Βόλου και του Αλμυρού (ΥΠΕΚΑ, 2014).

Όσον αφορά τις υδρογεωλογικές συνθήκες, οι υπόγειες υδροφορίες της λεκάνης απορροής Αλμυρού - Πηλίου αναπτύσσονται τόσο τους ανθρακικούς σχηματισμούς και είναι επηρεασμένες από τη διείσδυση της θάλασσας, όπως επίσης στους κοκκώδεις

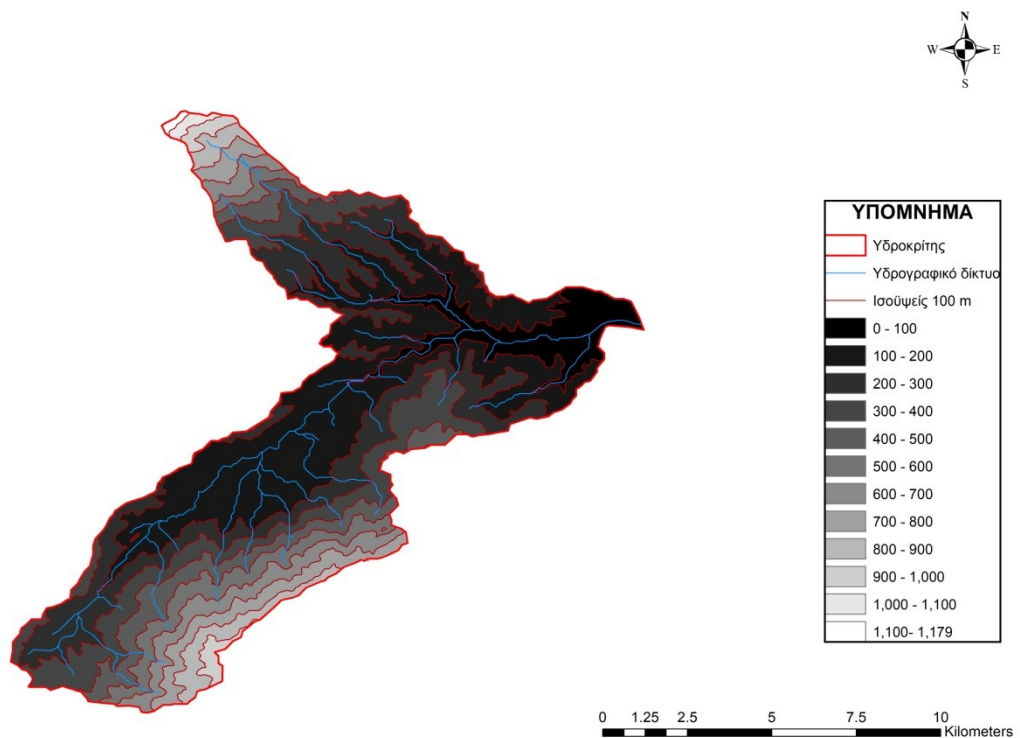
σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων (πεδιάδα Αλμυρού και πεδινή περιοχή Βόλου), το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας. Τοπικής σημασίας υδροφορίες αναπτύσσονται στα οφιολιθικά και μεταμορφωμένα πετρώματων γνευσιοσχιστόλιθων που εκφορτίζονται μέσω πηγών (ΥΠΕΚΑ, 2014).

2.3. Υδρολογική λεκάνη ρέματος Πουρί

Η παρούσα έρευνα βασίζεται στην κύρια λεκάνη απορροής του ρέματος Πουρί με το χαμηλότερο σημείο κοντά στην όχθη της παραλίας του Αγιοκάμπου. Ο ποταμός Πουρί αποτελεί αυτόνομο ρέμα, ο οποίος τελικώς εκβάλλει στη θάλασσα. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται η κυριότερη υδρολογική λεκάνη με τον υδροκρίτη της και το υδρογραφικό δίκτυο, ενώ στο Σχήμα 2.6 φαίνεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, με το υδρογραφικό δίκτυο της κύριας υδρολογικής λεκάνης.



Σχήμα 2.5 Υδροκρίτης και υδρογραφικό δίκτυο Ρ. Πουρί



Σχήμα 2.6 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης Ρ. Πουρί

2.4. Χάραξη υδροκρίτη και υδρογραφικού δικτύου

Για την πραγματοποίηση οποιασδήποτε υδρολογικής μελέτης, είναι απαραίτητο ένα υπόβαθρο κατάλληλης κλίμακας και διακριτικής λεπτομέρειας, το οποίο να απεικονίζει την περιοχή μελέτης. Τα κύρια στοιχεία που πρέπει να απεικονίζονται με σαφήνεια, είναι οι ισοϋψείς καμπύλες, το υδρογραφικό δίκτυο καθώς επίσης και σημεία σταθερά, με γνωστές συντεταγμένες.

Για τις ανάγκες της μελέτης αυτής, χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρα, χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού), έγχρωμοι, οι οποίοι στην κλίμακα που είναι σχεδιασμένοι, αποδίδουν με ικανοποιητική λεπτομέρεια την περιοχή μελέτης. Οι ισοϋψείς καμπύλες πρέπει να απεικονίζονται με σαφήνεια, έτσι ώστε με την ψηφιοποίησή τους να προκύψει ένα ακριβές και ρεαλιστικό τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Το υδρογραφικό δίκτυο, πρέπει επίσης να απεικονίζεται με σαφήνεια έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκρισή του με το υδρογραφικό δίκτυο το οποίο χαράσσεται από το λογισμικό που επεξεργάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Τέλος τα σταθερά σημεία ελέγχου (control points) με τις απόλυτα γνωστές

συντεταγμένες, χρειάζονται για την γεωαναφορά του υποβάθρου δηλαδή τον υπολογισμό της θέσης, της στροφής και της κλίμακας των φωτογραφιών από το ανεξάρτητο σύστημα της ψηφιοποίησης, στο εξαρτημένο σύστημα της προβολικής απεικόνισης.

Το προβολικό σύστημα το οποίο επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη είναι το Ε.Γ.Σ.Α '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του έτους 1987) με ελλειψοειδές εκ περιστροφής το GRS 80. Το εν λόγω προβολικό σύστημα χρησιμοποιείται, διότι είναι το επίσημο σύστημα της Ελλάδος με το οποίο πλέον, βάσει σχετικής νομοθεσίας, συντάσσονται όλες οι μελέτες.

Μετά την αναγωγή των φωτογραφιών κατά θέση, στρόφη και κλίμακα στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα εξαρτημένο, συνεχές μωσαϊκό φωτογραφιών σε πραγματικές συντεταγμένες, ακολούθησε η ψηφιοποίηση των ισοϋψών. Οι ισοϋψείς καμπύλες στους εν λόγω χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έχουν ισοδιάσταση 20μ. Σκοπός της ψηφιοποίησης είναι η μετατροπή των ισοϋψών καμπύλων, από ψηφιδωτή μορφή (raster) όπως απεικονίζονται στις σαρωμένες φωτογραφίες, η οποία είναι μία μορφή μη επεξεργάσιμη, σε διανυσματική μορφή (vector) η οποία είναι μία μορφή πλήρως επεξεργάσιμη. Μετά την ψηφιοποίηση των ισοϋψών σε διανυσματική μορφή, είναι δυνατή η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Για να καλυφθεί ολόκληρη η έκταση της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί, χρησιμοποιήθηκαν 4 φύλλα χάρτη της ΓΥΣ και συγκεκριμένα τα φύλλα «Αγιά», «Καρίτσα», «Ραψάνη» και «Πλατύκαμπος». Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και από το οποίο με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS 10.0 και την υπορουτίνα ArcHydro Tools 10, προσδιορίστηκε ο υδροκρίτης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί (Σχήμα 2.5). Η έκταση της λεκάνης, όπως προέκυψε από τον καθορισμό του υδροκρίτη είναι 90,75 km². Με τη βοήθεια του ίδιου λογισμικού έγινε η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου και στη συνέχεια έγινε η αξιολόγησή του. Η αξιολόγησή του συνίσταται στον έλεγχο της οριζοντιογραφικής θέσης των υδατορευμάτων, όπως αυτά εξήχθησαν με τη χρήση του λογισμικού και της πραγματικής τους θέσης, όπως απεικονίζονται στο χάρτη κλίμακας 1:50000 της ΓΥΣ. Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν αρκετά μικρό με αποτέλεσμα το προκύπτον υδρογραφικό δίκτυο να γίνει αποδεκτό. Όμως μετά από την

εισαγωγή άλλων χαρτογραφικών υποβάθρων στο παραπάνω λογισμικό διαπιστώθηκε σημαντικό σφάλμα τόσο στα όρια της λεκάνης, όσο και στις ισοϋψείς των 100μ. και το υδρογραφικό δίκτυο. Θεωρήθηκε ότι σφάλμα εντοπίζεται στην εσφαλμένη γεωαναφορά των χαρτών ΓΥΣ, η οποία δεν μπορεί να διορθωθεί με παραπάνω λεπτομέρεια καθώς η ανάλυση των διαθέσιμων εικόνων δεν επέτρεπε την καλύτερη επιλογή σημείων με γνωστές συντεταγμένες. Επιπλέον για την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων στην παρούσα εργασία διαπιστώθηκε ότι χρειάζεται χαρτογραφικό υπόβαθρο με περισσότερη λεπτομέρεια. Για αυτό τον λόγο επιλέγηκε κομμάτι χάρτη ψηφιακού μοντέλου εδάφους με ανάλυση 30μ. που προέκυψε από δεδομένα του Radar του δορυφόρου Endeavour που ξεκίνησε τις αποστολές του το 1994. Το συγκεκριμένο κομμάτι χάρτη λήφθηκε από την United States Geology Survey (U.S.G.S.) που διαθέτει εκτός των άλλων και στοιχεία του προαναφερθέντος δορυφόρου. Συνεπώς, αξιοποιώντας τα στοιχεία που παρέχει το κομμάτι χάρτη ψηφιακού μοντέλου εδάφους καθώς και χρησιμοποιώντας τα ίδια εργαλεία του ArcGIS που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίστηκαν όλα τα στοιχεία που χρειάζονται για την ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας. Η έκταση της λεκάνης όπως προέκυψε από το νέο υδροκρίτη βρέθηκε ίση με 87,08 km². Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί.

2.5. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά υδρολογικής λεκάνης

Η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Πουρί μέχρι το σημείο όπου ο υδροκρίτης τέμνει τον ποταμό στο υψόμετρο των 0 m, πλησίον του οικισμού του Αγιοκάμπου, έχει έκταση 87,08 km², περίμετρο 62.5 km, μέση κλίση 25,1 % (Σχήμα 2.9), ενώ το μέσο υψόμετρό της είναι 319 m, το μέγιστο υψόμετρο 1179 m, το ελάχιστο υψόμετρο 0 m, το μέγιστο μήκος διαδρομής μέχρι το χαμηλότερο σημείο της λεκάνης είναι 24,6 km (Σχήμα 2.7), το μήκος του μεγάλου άξονα της λεκάνης είναι 7,6 km και τέλος το μήκος του μικρού άξονα είναι 3,6 km. Η κλίση της μέγιστης διαδρομής του υδατορρέυματος είναι 1,2 % και το μήκος του κυρίως ρέματος από την έξοδο με της λεκάνης μέχρι το κέντρο βάρους της είναι 10,4 km (Σχήμα 2.8).

Η λεκάνη αυτή καλύπτεται από δενδρώδη-δασώδη βλάστηση και από θαμνώδη βλάστηση. Τα χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί μέχρι το

κατώτερο σημείο ,πλησίον του οικισμού, δίνονται στον Πίνακα 2.3, ενώ το υδρογραφικό δίκτυο όσο και ο υδροκρίτης της φαίνονται στο Σχήμα 2.6.

Πίνακας 2.3. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ρέματος Πουρί στην περιοχή του Αγιοκάμπου

Εμβαδόν λεκάνης	87,08	km ²
Περίμετρος λεκάνης	62,5	km
Μέσο Υψόμετρο λεκάνης	319,0	m
Μέγιστο Υψόμετρο λεκάνης	1179,0	m
Ελάχιστο Υψόμετρο λεκάνης	0,0	m
Μέση κλίση λεκάνης	25,1	%
Μέγιστο Μήκος Διαδρομής	24,6	km
Μήκος του κυρίου ρέματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι το κέντρο βάρους της λεκάνης	10,4	km
Μήκος μεγάλου άξονα της λεκάνης	7,6	km
Μήκος μικρού άξονα της λεκάνης	3,6	km
Κλίση της μέγιστης διαδρομής	1,2	%

Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται η μέση κλίση που υπολογίστηκε με την χρήση των εργαλείων του Arc GIS, αλλά γίνεται υπολογισμός της μέσης κλίσης της υδρολογικής λεκάνης και με την εφαρμογή της εξίσωση των Gregory και Walling, η οποία υπολογίστηκε ίση με 25,9 % (Κωτσόπουλος, 2006). Η εξίσωση αυτή είναι:

$$S = 100 \frac{\sum L \cdot h}{E} \quad (2.1)$$

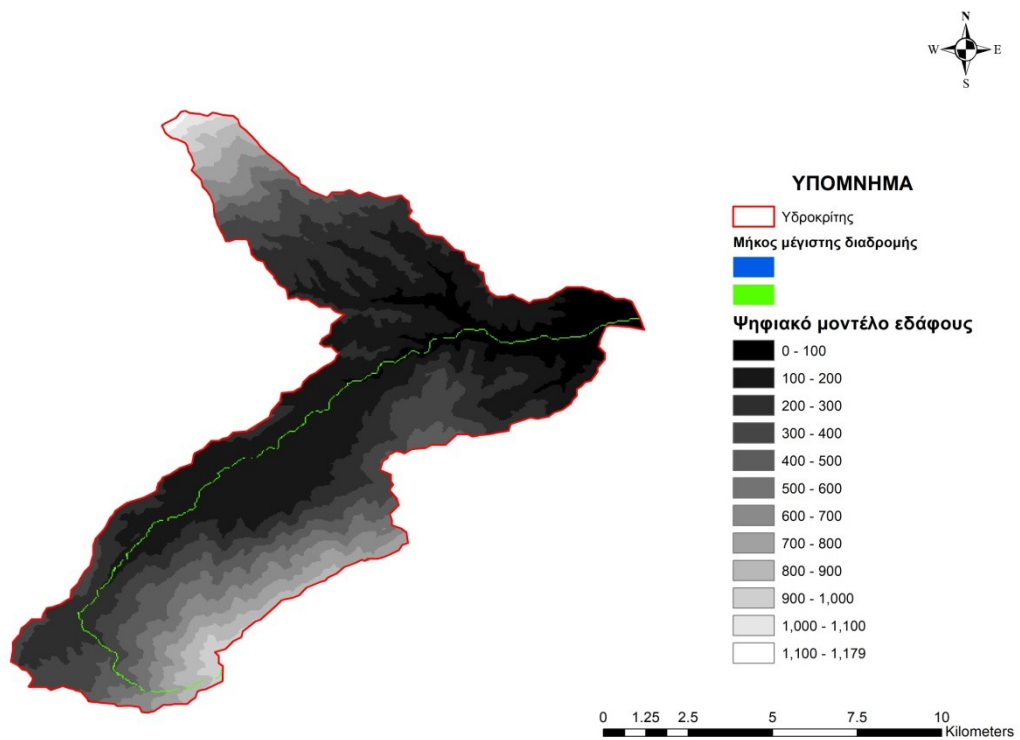
όπου,

S = η μέση κλίση της λεκάνης (%),

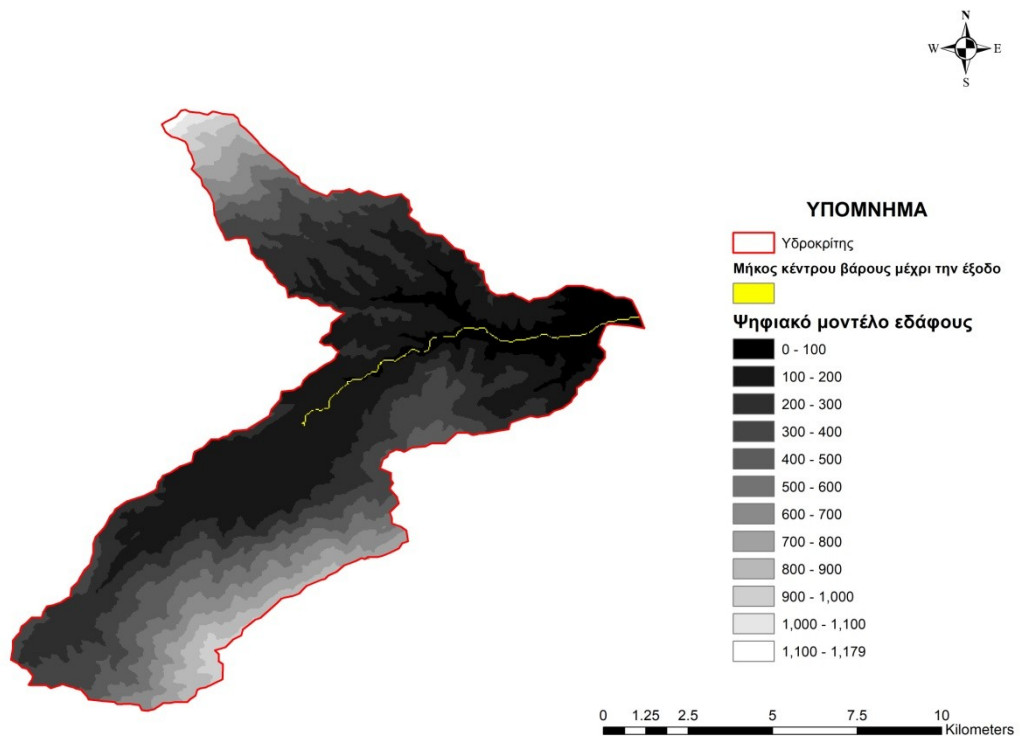
ΣL = το συνολικό μήκος των χωροσταθμικών καμπυλών σε km

h = η ισοδιάσταση των χωροσταθμικών καμπυλών σε km

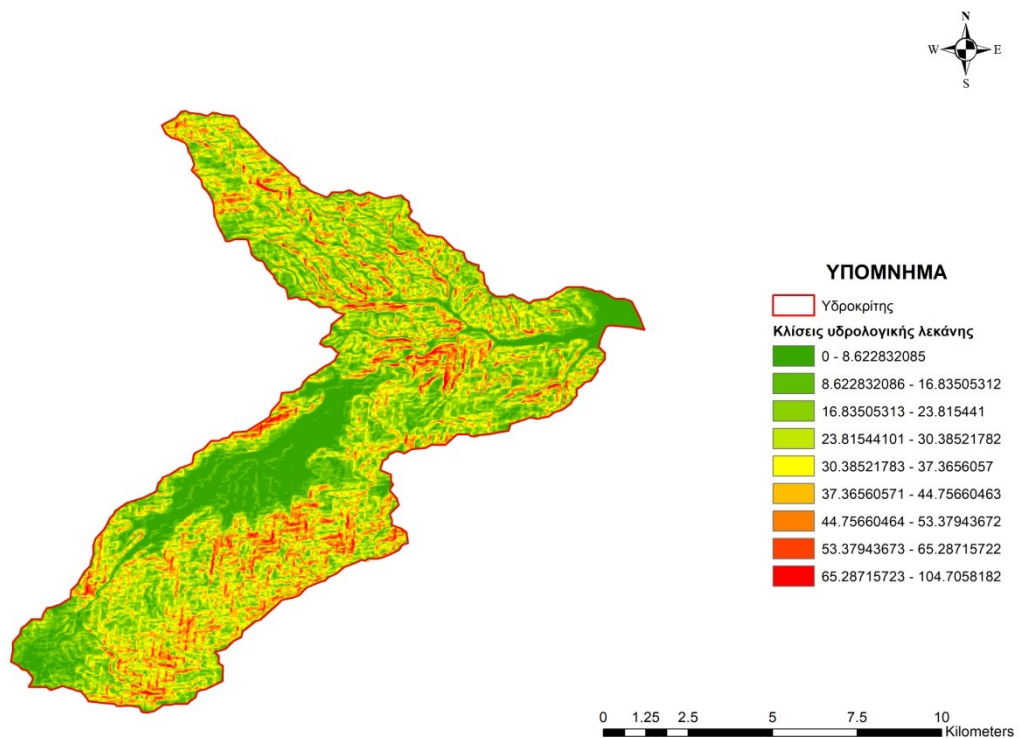
E = έκταση της λεκάνης σε km²



Σχήμα 2.7 Μέγιστο μήκος διαδρομής μέχρι την έξοδο της λεκάνης



Σχήμα 2.8 Μήκος διαδρομής από το κέντρο βάρους μέχρι την έξοδο της λεκάνης



Σχήμα 2.9 Υδροκρίτης και κλίσεις υδρολογικής λεκάνης

2.6. Γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Γεωγραφικά και γεωτεκτονικά η λεκάνη απορροής του ρέματος Πουρί ανήκει στην Πελαγονική Ζώνη. Η Πελαγονική αποτελείται από Παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου, μέσα στα οποία διείσδυσαν γρανιτικά σώματα του Άνω Λιθανθρακοφόρου, Περμοτριάδικα μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού-Ιουρασικού αποτέθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια τα ζώνης και πάνω σε αυτά επωθήθηκαν οι οφιολιθικές μάζες προερχόμενες από τις εκατέρωθεν ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος. Οι ενότητες από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα εμφανίζονται να επωθούνται ή να επιπλεύουν τη σειρά των ανθρακικών πετρωμάτων του κορυφών του Ολύμπου. Η σειρά αυτή, με βάση τα lithological και τεκτονικά χαρακτηριστικά, δείχνει ότι ανήκει στις εξωτερικές Ελληνίδες και συγκεκριμένα στη ζώνη Γαβρόβου - Τριπόλεως. Έτσι τελικά, διαπιστώνεται ότι ολόκληρη η Πελαγονική ζώνη έχει επωθηθεί πάνω στις εξωτερικές ελληνίδες (Μουζάς, 2019).

Δύο φάσεις μεταμόρφωσης έχουν επηρεάσει τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης: Η ερκύνια αμφοβολιτική φάση στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο και η πρασινοσχιστολιθική φάση Ιουρασικού - Κρητιδικού στα πετρώματα Άνω Παλαιοζωικού-Ιουρασικού. Στο Ανώτερο Κρητιδικό-Ηώκαινο πραγματοποιείται η οριστική ανάδυση της Ζώνης (Μούζας, 2019).

2.7. Χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Νομό Λάρισας της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Σύμφωνα με την απογραφή της ΕΛΣΤΑΤ το 2000, το σύνολο των εκτάσεων του νομού ήταν περίπου 5.385.500 στρέμματα. Η αρόσιμη γη καταλαμβάνει μεγάλο ποσοστό επί του συνόλου, περίπου 41,5%. Οι βοσκότοποι με ποσοστό περίπου 12,9% και τα δάση 9,1% επί του συνόλου των εκτάσεων (ΕΛΣΤΑΤ, 2000). Η κατανομή του νομού Λάρισας κατά βασικές κατηγορίες χρήσης γης δίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4. Κατανομή του νομού Λάρισας κατά βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης (ΕΛΣΤΑΤ, 2000)

Νομός Λάρισας		Χιλιάδες στρέμματα
Αριθμός δήμων / κοινοτήτων		31,0
Σύνολο εκτάσεων		5385,5
ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	Αρόσιμη γη	2234,7
	Μόνιμες καλλιέργειες	33,9
	Βοσκότοποι - Μεταβατικές δασώδεις/ θαμνώδεις εκτάσεις	5,3
	Βοσκότοποι - Συνδυασμοί θαμνώδους και / ή ποώδους βλάστησης	609,1
	Βοσκότοποι - Εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση	78,5
	Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	510,3
	Δάση	490,9
	Μεταβατικές δασώδεις- θαμνώδεις εκτάσεις	408,8
	Συνδυασμοί θαμνώδους και / ή ποώδους βλάστησης	866,6
	Εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση	34,0
ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΝΕΡΑ	Χερσαία ύδατα	20,0

(συνέχεια Πίνακα 2.4)

ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	Εσωτερικές υγρές ζώνες	0,0
	Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	1,0
	Αστική οικοδόμηση	71,5
	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	5,6
	Δίκτυα συγκοινωνιών	14,0
	Ορυχεία, χώροι απόρριψης απορριμμάτων και εργοτάξια	0,7
	Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου, χώροι αθλητικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων	0,6

2.8. Χρήσεις γης υδρολογικής λεκάνης

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας ήταν αναγκαίο να εκτιμηθούν οι χρήσεις γης και οι μορφές κάλυψης εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης. Για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες αυτές χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του Corine Land Cover του «GMS / Copernicus Initial Operations (GIO) Land Monitoring 2011-2013» ή GIO LAND για το έτος 2012 καθώς και για το έτος 2018. Για να γίνει επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία του Arc GIS. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας εκφρασμένα σε χρήσεις και μορφές κάλυψης γης δίνονται στον Πίνακα 2.5 του έτους 2012 και στον Πίνακα 2.6 του έτους 2018.

Πίνακας 2.5 Χρήσεις γης υδρολογικής λεκάνης έτους 2012

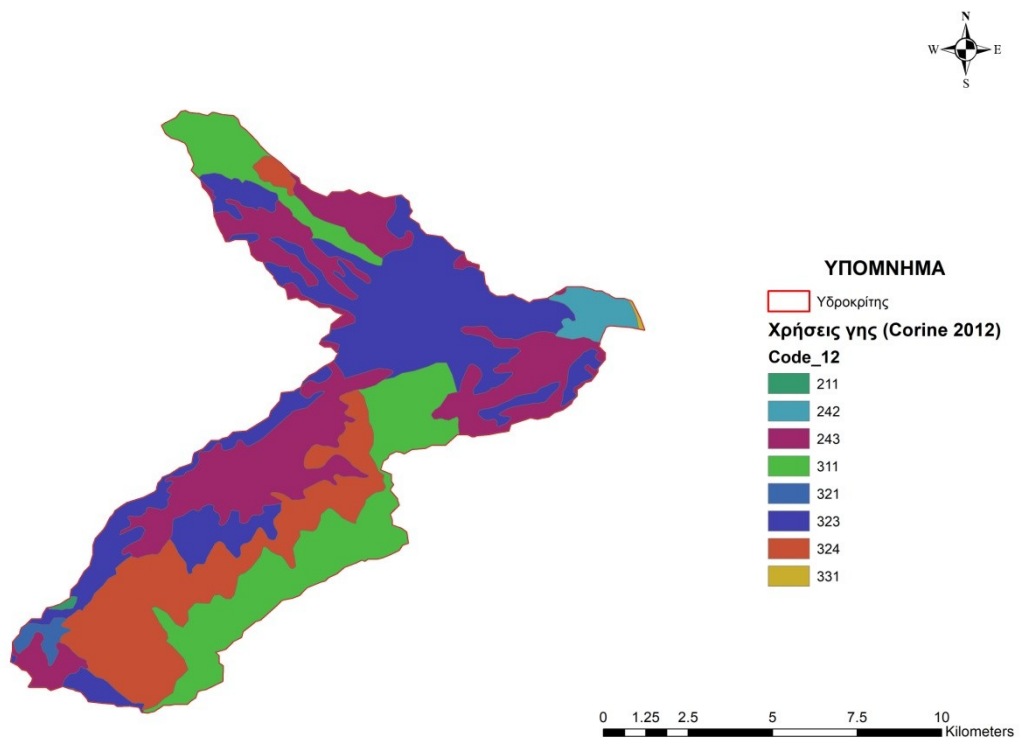
Code_12	Χρήση γης	Επιφάνεια (km ²)
211	Αρόσιμη γη (μη αρδευόμενη)	0,12
242	Σύνθετα μοτίβα καλλιέργειας	1,97
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	23,69
311	Δάσος πλατύφυλλων	18,35
324	Μεταβατικός δασώδης θάμνος	15,98
321	Φυσικά λιβάδια	0,78
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	26,12
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμοι	0,07
	Σύνολο	87,08

Πίνακας 2.6 Χρήσεις γης υδρολογικής λεκάνης έτους 2018

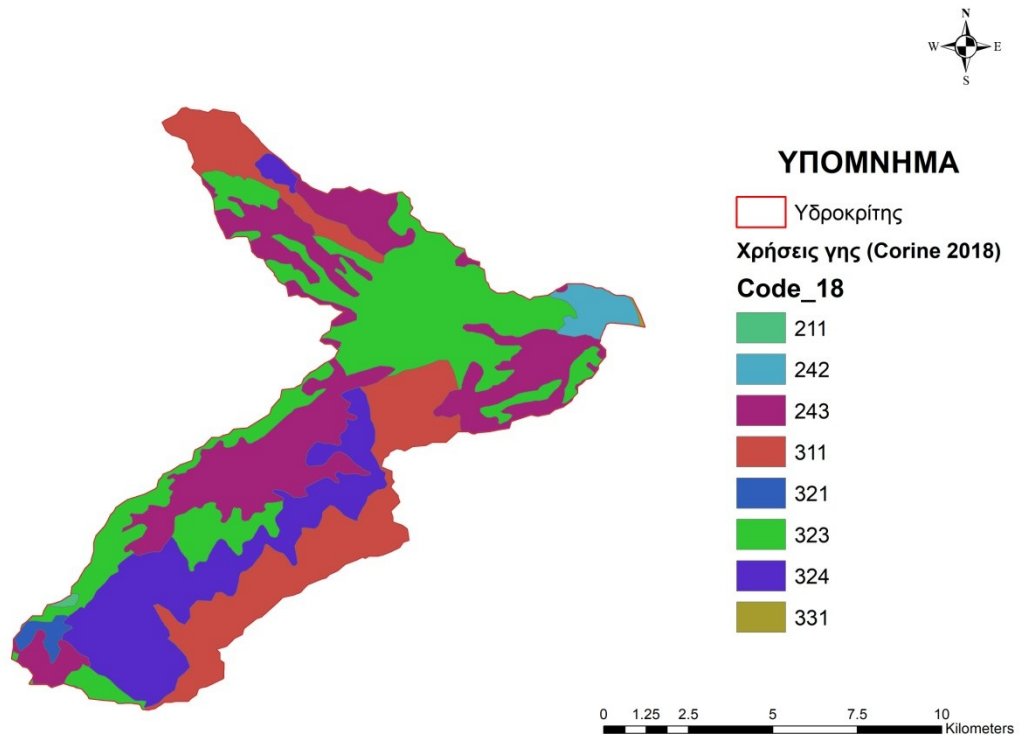
Code_18	Χρήση γης	Επιφάνεια (km ²)
211	Αρόσιμη γη (μη αρδευόμενη)	0,14
242	Σύνθετα μοτίβα καλλιέργειας	1,96
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	23,68
311	Δάσος πλατύφυλλων	18,08
324	Μεταβατικός δασώδης θάμνος	15,98
321	Φυσικά λιβάδια	0,80
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	26,41
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμοι	0,05
	Σύνολο	87,08

Στο Σχήμα 2.10 φαίνονται οι χρήσεις γης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί του έτους 2012, όπου αναγνώριση τους γίνεται με του κωδικούς του υπομνήματος, η επεξήγηση των οποίων δίνεται στον Πίνακα 2.5. Στο Σχήμα 2.11 φαίνονται οι χρήσεις γης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί του έτους 2018, η επεξήγηση των οποίων, κατά αντίστοιχο δίνεται στον Πίνακα 2.6.

Από την σύγκριση των Πινάκων 2.5, 2.6 και των Σχημάτων 2.10, 2.11 μπορεί εύκολά να βγει ότι συμπέρασμα, ότι οι χρήσεις γης της λεκάνης δεν άλλαξαν σημαντικά και οι διαφορές μεταξύ τους θεωρούνται αμελητέες. Για τον παραπάνω λόγο όλοι οι υπολογισμοί της υδραυλικής προσομοίωσης βασίστηκαν στις χρήσεις γης που δίνονται στον Πίνακα 2.5.



Σχήμα 2.10 Χρήσεις γης υδρολογικής λεκάνης (Corine, 2012)



Σχήμα 2.11 Χρήσεις γης υδρολογικής λεκάνης (Corine, 2018)

3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

3.1. Μετεωρολογικός σταθμός Αγιάς

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας, ένας από τους σταθμούς που βρίσκεται πλησίον της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Πουρί τοποθετείται στο συγκρότημα του βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Αγιάς (Γ.Μ. 22.771011°, Γ.Π. 39.692922°). Τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού συλλέγονται και επεξεργάζονται από το Υδρολογικό Παρατηρητήριο Πηνειού το οποίο ιδρύθηκε από το Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ και το ερευνητικό κέντρο Julich στη Γερμανία. Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται τα όρια της υδρολογικής λεκάνης έρευνας, το υδρογραφικό δίκτυο και η θέση του μετεωρολογικού σταθμού.



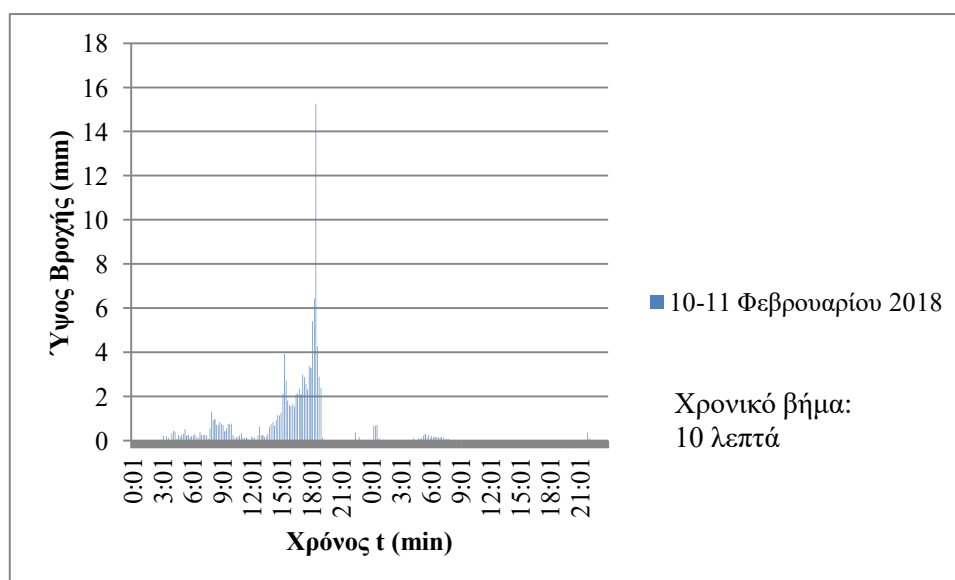
Σχήμα 3.1 Θέση μετεωρολογικού σταθμού έρευνας

Τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα για την παρούσα έρευνα ήταν μόνο βροχομετρικά στοιχεία της χρονικής περιόδου από 07/10/2015 10:21 έως 02/05/2019 15:11. Το χρονικό βήμα των στοιχείων αυτών ήταν 10 λεπτά. Από αυτά τα βροχομετρικά στοιχεία ύστερα από έλεγχο που πραγματοποιήθηκε, επελέγησαν συγκεκριμένες ημερομηνίες στοιχείων με 10 λεπτό χρονικό βήμα για τις οποίες είναι

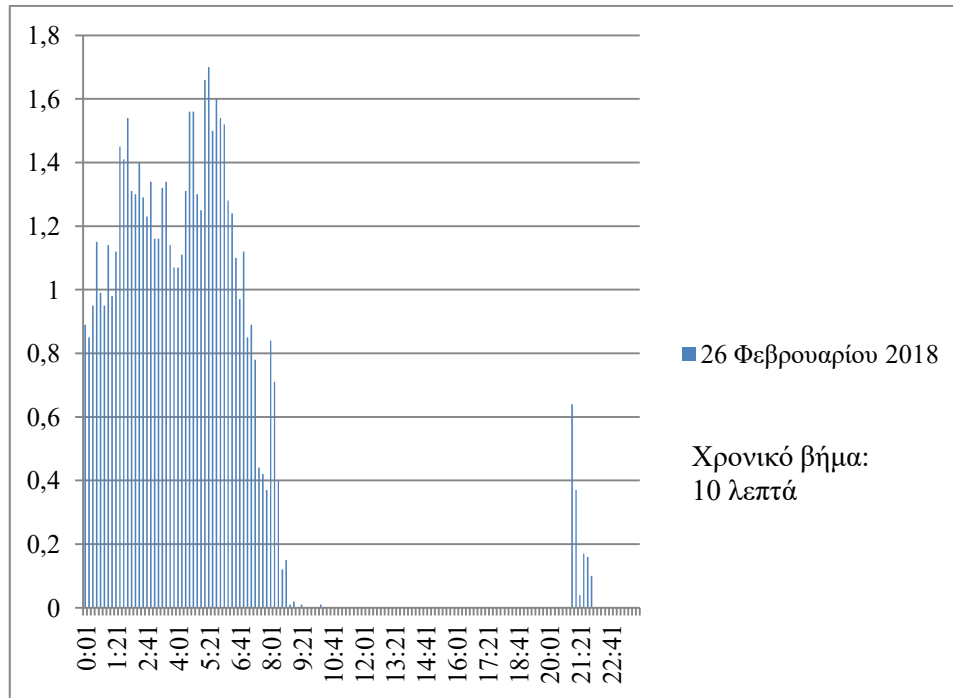
γνωστό ότι πλησίον της εκβολής του ρέματος Πουρί συνέβησαν πλημμύρες, με σημαντικές υλικές ζημιές. Όμως σε αυτό το χρονικό διάστημα υπήρχαν αρκετές ελλείψεις στοιχείων που ενδεχομένως να βοηθούσαν στην καλύτερη παρουσίαση του προβλήματος και την εξαγωγή των αντίστοιχων συμπερασμάτων. Μια τέτοια περίπτωση αποτέλεσε η πλημμύρα που συνέβη πλησίον της εκβολής του ρέματος Πουρί στις 17/11/2017, για την οποία υπάρχει μόνο φωτογραφικό υλικό στο Παράρτημα. Στον Πίνακα 3.1 δίνονται οι ημερομηνίες, και το συνολικό ποσό της βροχής, για τις οποίες είναι γνωστές οι υλικές ζημιές που προκλήθηκαν από πλημμύρα του συγκεκριμένου ρέματος καθώς και για τις οποίες εκτελέστηκε υδραυλική προσομοίωση. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται το ύψος βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα 10-11 Φεβρουαρίου 2018, ενώ στο Σχήμα 3.3 φαίνεται το ύψος βροχόπτωσης της 26 Φεβρουαρίου 2018.

Πίνακας 3.1 Ημερομηνία και ύψος βροχής έρευνας

Ημερομηνία	Βροχόπτωση (mm)
10/02/2018 00:01 – 11/02/2018 23:51	113,6
26/02/2018 00:01 – 26/02/2018 23:51	60,4



Σχήμα 3.2 Ύψος βροχής για το χρονικό διάστημα 10-11 Φεβρουαρίου 2018



Σχήμα 3.3 Ύψος βροχής στις 26 Φεβρουαρίου 2018

3.2. Χρόνος συρροής

Ο χρόνος συρροής ή συγκέντρωσης εκφράζει το χρόνο κατά τον οποίο το νερό της βροχής θα φτάσει από το πιο απομακρυσμένο σημείο της υδρολογικής λεκάνης στο χαμηλότερο σημείο δηλαδή την έξοδο της λεκάνης. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης χρησιμοποιήθηκε η σχέση του Giandotti. Ο τύπος του Giandotti υπολογίζει το χρόνο συρροής της κύριας μισάγγειας (κέντρο βάρους μέχρι την έξοδο της λεκάνης) και υπολογίζεται ως εξής:

$$t_c = \frac{4\sqrt{E} + 1.5L}{0.8\sqrt{H - H_0}} \quad (3.1)$$

όπου,

t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης σε h (ώρες),

E = το εμβαδό της λεκάνης σε km^2 ,

L = το μήκος της κύριας μισάγγειας σε km,

H = το μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε m,

H_0 = το υψόμετρο εκβολής σε m

Με τη χρήση της Εξίσωσης (3.1) και με την αξιοποίηση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης (Πίνακας 2.3) ο χρόνος συγκέντρωσης t_c υπολογίστηκε ίσος με 222,0 min ή 3,7 hr.

3.3. Συντελεστής απορροής Curve Number (CN)

Ο συντελεστής απορροής (Curve Number - CN) είναι μια εμπειρική παράμετρος που χρησιμοποιείται στην υδρολογία για την πρόβλεψη της άμεσης απορροής ή της διήθησης από τις έντονες βροχοπτώσεις. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Διατήρησης Φυσικών Πόρων USDA , η οποία στο παρελθόν ονομαζόταν Υπηρεσία Εξοικονόμησης Εδαφών (Soil Conservation Service - SCS). Ο συντελεστής απορροής αναπτύχθηκε από μια εμπειρική ανάλυση της απορροής από μικρές λεκάνες απορροής και οικόπεδα τα οποία μελετώνται από το USDA. Χρησιμοποιείται ευρέως και είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τον προσδιορισμό της κατά προσέγγιση ποσότητας άμεσης απορροής από ένα συμβάν βροχόπτωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ο συντελεστής απορροής CN βασίζεται κατά κύριο λόγο στην κατηγορία εδαφών, στη υδρολογική κατάσταση του εδάφους και στις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης. Η υπηρεσία USDA-SCS κατατάσσει τα εδάφη στις ακόλουθες τέσσερις (4) κατηγορίες, ανάλογα με την διαπερατότητα και την βασική διηθητικότητα τους (Chow et. al. 1988, Wanielista et. al. 1997):

- Κατηγορία A: Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη.
- Κατηγορία B: Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφριάς σύστασης εδάφη, όπως είναι ο αμμώδης πηλός.

- Κατηγορία C: Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνει εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης, όπως είναι εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου και εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.

- Κατηγορία D: Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπογείου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα, όπως είναι οι πλαστικές άργιλοι.

Σύμφωνα με τις κατηγορίες εδαφών που προαναφέρθηκαν και τις χρήσεις γης, προκύπτουν οι ακόλουθοι πίνακες προσδιορισμού του απορροϊκού συντελεστή CN (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Για την εκτίμηση της απορροϊκής βροχής που υπολογίστηκε με το πρόγραμμα υδραυλικής προσομοίωσης που παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number) της Soil Conservation Service (S.C.S.). Σαν τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN, επειδή υπάρχουν περισσότερες από μια χρήσεις γης εντός της υδρολογικής λεκάνης, λήφθηκε μια σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN_c του οποίου η εξίσωση υπολογισμού είναι (Παπαμιχαήλ, 2004):

$$CN_C = \frac{\sum CN_i E_i}{\sum E_i} = \sum_{i=1}^n CN_i \varepsilon_i, \quad (3.2)$$

όπου,

CN_i = ο απορροϊκός συντελεστής

E_i = η επιφάνεια σε m²

ε_i = η σχετική επιφάνεια (κλάσμα) κάθε περιοχής i

Για την εκτίμηση του απορροϊκού συντελεστή με την μέθοδο της S.C.S. λαμβάνεται υπόψη το είδος της χρήσης γης, η διαχείριση ή πρακτική της χρήσης γης (καλλιέργειες σε ευθείες γραμμές, σε αναβαθμούς κ.λπ.), οι υδρολογικές συνθήκες που εξαρτώνται από την πυκνότητα βλάστησης, ο τύπος του εδάφους και το είδος της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης. Με βάση αυτούς τους παράγοντες επιλέχθηκαν οι τιμές των επιμέρους απορροϊκών συντελεστών από πίνακες που παρέχει η S.C.S. και

υπολογίστηκε ο σταθμισμένος απορροϊκός συντελεστής (Εξίσωση 3.2) για υγρασιακή κατάσταση τύπου II, τύπου III και τύπου I. Η μετατροπή του απορροϊκού συντελεστή από την υγρασιακή κατάσταση II στην III γίνεται με τη βοήθεια της Εξίσωσης (3.3), ενώ η μετατροπή του απορροϊκού συντελεστή από την υγρασιακή κατάσταση II στην I γίνεται με τη βοήθεια της Εξίσωσης (3.4) (Παπαμιχαήλ, 2004)).

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059CN_{II}}, \quad (3.3)$$

όπου,

CN_{III} = ο απορροϊκός συντελεστής για AMC III,

CN_{II} = ο απορροϊκός συντελεστής για AMC II

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334CN_{II}}, \quad (3.4)$$

όπου,

CN_I = ο απορροϊκός συντελεστής για AMC I,

CN_{II} = ο απορροϊκός συντελεστής για AMC II

Για τον υπολογισμό του σταθμισμένου απορροϊκού συντελεστή CN_c και για τις δύο χρονικές περιόδους για τις οποίες εκτελέστηκε η υδραυλική προσομοίωση, που θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο, απαραίτητη ήταν η εκτίμηση της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης (AMC) των προηγούμενων 5 ημερών. Τα όρια αλλαγής της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης δίνονται στον Πίνακα 3.2 και βασίζονται στο αθροιστικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών της χρονικής περιόδου ενδιαφέροντος, καθώς και αν η συγκεκριμένη περίοδος, είναι περίοδος χειμερινή (περίοδος ληθάργου) ή περίοδος βλάστησης.

Πίνακας 3.2 Προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση (AMC) με βάση το συνολικό ύψος βροχής σε mm, των προηγούμενων 5 ημερών

AMC	Χειμερινή περίοδος	Βλαστική περίοδος
I	< 12,5 mm	< 35,0 mm
II	12,5 – 27,5 mm	35,0 – 52,5 mm
III	>27,5 mm	>52,5 mm

Το αθροιστικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών του χρονικού διαστήματος 10-11/02/2018 βρέθηκε ίσο με 1,34 mm. Συνεπώς, με βάση την τιμή αυτή και τη χρήση του Πίνακα 3.2 για την χειμερινή περίοδο, η AMC της χρονικής περιόδου 10-11/02./2018 είναι η I. Το αθροιστικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών της 26/02/2018 βρέθηκε ίσο με 76,42 mm. Συνεπώς, με βάση την τιμή αυτή και τη χρήση του Πίνακα 3.2 για την χειμερινή περίοδο, η AMC της 26/02/2018 είναι η III.

Η τιμή του απορροϊκού συντελεστή για την υγρασιακή κατάσταση II δίνεται στο Πίνακα 3.3, για την υγρασιακή κατάσταση III στο Πίνακα 3.4 και για την υγρασιακή κατάσταση I στο Πίνακα 3.5. Για τον υπολογισμό του απορροϊκού συντελεστή για την υγρασιακή κατάσταση III και I, χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις 3.3 και 3.4, αντίστοιχα.

Πίνακας 3.3 Σταθμισμένος απορροϊκός συντελεστής CNc για υγρασιακή κατάσταση AMC II

Χρήση γης	Τύπος εδάφους	Απορροϊκός συντελεστής CN	Επιφάνεια ϵ_i	CN* ϵ_i
Αρόσιμη γη (μη αρδευόμενη)	B	75	0,00	0,10
Σύνθετα μοτίβα καλλιέργειας	A	59	0,02	1,33
Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	B	69	0,27	18,77
Δάσος πλατύφυλλων	B	55	0,21	11,59
Μεταβατικός δασώδης θάμνος	B	66	0,18	12,12
Φυσικά λιβάδια	B	58	0,01	0,52
Σκληροφυλλική βλάστηση	B	66	0,30	19,80
Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμοι	A	77	0,00	0,06
CNc				64,29

Πίνακας 3.4 Σταθμισμένος απορροϊκός συντελεστής CNc για υγρασιακή κατάσταση AMC III

Χρήση γης	Τύπος εδάφους	Απορροϊκός συντελεστής CN	Επιφάνεια ϵ_i	CN* ϵ_i
Αρόσιμη γη (μη αρδευόμενη)	B	88,64	0,00	0,12
Σύνθετα μοτίβα καλλιέργειας	A	78,49	0,02	1,77

(συνέχεια Πίνακα 3.4)

Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	B	85,11	0,27	23,15
Δάσος πλατύφυλλων	B	75,54	0,21	15,92
Μεταβατικός δασώδης θάμνος	B	83,23	0,18	15,28
Φυσικά λιβάδια	B	77,77	0,01	0,70
Σκληροφυλλική βλάστηση	B	83,23	0,30	24,96
Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμοι	A	89,75	0,00	0,07
CNc				81,98

Πίνακας 3.5 Σταθμισμένος απορροϊκός συντελεστής CNc για υγρασιακή κατάσταση AMC I

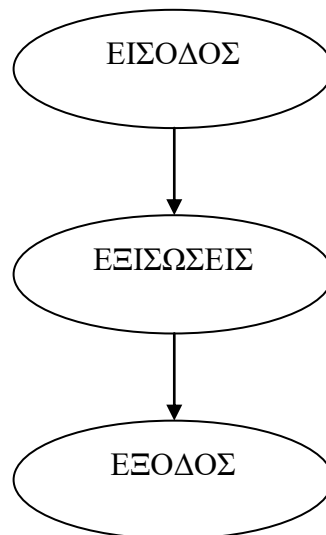
Χρήση γης	Τύπος εδάφους	Απορροϊκός συντελεστής CN	Επιφάνεια ϵ_i	CN* ϵ_i
Αρόσιμη γη (μη αρδευόμενη)	B	56,24	0,00	0,08
Σύνθετα μοτίβα καλλιέργειας	A	38,14	0,02	0,86
Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	B	48,81	0,27	13,28
Δάσος πλατύφυλλων	B	34,37	0,21	7,24
Μεταβατικός δασώδης θάμνος	B	45,41	0,18	8,34
Φυσικά λιβάδια	B	37,17	0,01	0,33
Σκληροφυλλική βλάστηση	B	45,41	0,30	13,62
Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμοι	A	58,92	0,00	0,04
CNc				43,79

Για το χρονικό διάστημα 10-11/02/2018, με βάση το Πίνακα 3.5, ο σταθμισμένος απορροϊκός συντελεστής είναι ίσος με 43,79. Για την 26/02/2018, με βάση το Πίνακα 3.4, ο σταθμισμένος απορροϊκός συντελεστής είναι ίσο με 81,98.

4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ HEC-HMS

4.1. Γενικά

Η σωστή αξιοποίηση και η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων προϋποθέτουν την ποσοτική εκτίμηση των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου που οδηγεί στην αξιόπιστη αναπαράσταση των σχέσεων βροχής απορροής. Η διερεύνηση των σχέσεων βροχής απορροής γίνεται με την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά είναι ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που αναπαριστούν τις διάφορες φάσεις του υδρολογικού κύκλου, σε συνδυασμό με ορισμένες λογικές προτάσεις που εκφράζουν τις σχέσεις μεταξύ των φάσεων. Τα υδρολογικά μοντέλα είναι κυρίως μοντέλα προσομοίωσης και πρόγνωσης υδρολογικών μεταβλητών, που αποτελούν τις εισόδους ή εξόδους υδατικών συστημάτων, αλλά και της συμπεριφοράς των ιδίων των υδατικών συστημάτων, είτε είναι φυσικά (π.χ. υδρολογική λεκάνη) ή τεχνητά (π.χ. φράγμα) (Παπαμιχαήλ, 2004). Η γενική αναπαράσταση ενός υδρολογικού μοντέλου φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Γενική αναπαράσταση υδρολογικού μοντέλου

Είσοδος είναι οι κλιματικές μεταβλητές (βροχόπτωση, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία κ.α.). Εξισώσεις είναι σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που αναπαριστούν φυσικές διαδικασίες μετατροπής της

βροχής σε απορροή (συγκράτηση από τη φυτοκάλυψη, εξατμισοδιαπνοή. Διήθηση, επιφανειακή απορροή, ενδορροή, βασική απορροή κ.α.). Έξοδος αποτελεί η απορροή.

4.2. Περιγραφή του προγράμματος HEC-HMS

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS αναπτύχθηκε αρχικά το 1967 στο Hydrologic Engineering Center (HEC) των US Army Corps of Engineers για ηλεκτρονικούς υπολογιστές main frame. Το βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι προσομοιάζει την επιφανειακή απορροή μιας υδρολογικής λεκάνης αναπαριστώντας την σαν ένα σύστημα αλληλοσυνδεμένων υδρολογικών και υδραυλικών συνιστώσων. Κάθε συνιστώσα αναπαριστά ένα μέρος ή ένα τμήμα της επιφανειακής ροής της μελετούμενης υδρολογικής λεκάνης, όπως η βροχόπτωση, ένα υδατόρρευμα ή ένα ταμειυτήρα. Η αναπαράσταση μιας συνιστώσας απαιτεί τον προσδιορισμό από ένα πλήθος αριθμητικών παραμέτρων που προσδιορίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και μαθηματικών προτύπων που περιγράφουν τις φυσικές διαδικασίες. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι ο υπολογισμός υδρογραφημάτων σε επιλεγμένες θέσεις της μελετούμενης λεκάνης απορροής. Είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να εφαρμόζεται σε μια μεγάλη ποικιλία γεωγραφικών περιοχών, τόσο δηλαδή σε μεγάλες λεκάνες απορροής όσο και σε μικρές αστικές ή φυσικές. Τα υδρογραφήματα που παράγονται από αυτό, χρησιμοποιούνται απευθείας ή σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά για μελέτες που αφορούν τη διαθεσιμότητα του νερού, την αστική αποστράγγιση, την πρόγνωση των πλημμυρών, τυχόν επιπτώσεις μελλοντικής αστικοποίησης, το σχεδιασμό του υπερχειλιστή ενός φράγματος, τη μείωση των καταστροφών από πλημμύρες, τη διευθέτηση περιοχής κατάκλισης πλημμύρας κ.α. Το HEC-HMS είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο που χωρίζει τον υδρολογικό κύκλο σε επιμέρους τμήματα, ώστε ο κάθε χρήστης να έχει την δυνατότητα να επιλέξει για το κάθε τμήμα τον τρόπο προσομοίωσης που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της μελέτης του. Κάθε φορά η επιλογή του χρήστη κρίνεται από την εμπειρία και τις γνώσεις που έχει πάνω στο αντικείμενο, στο φυσικό σύστημα που πρόκειται να μοντελοποιήσει και στα διαθέσιμα δεδομένα για την περιοχή (Μούζας, 2019).. Τα μαθηματικά πρότυπα που διατίθενται στο HEC-HMS κατ' αντιστοιχία με τις διαδικασίες που περιγράφει χωρίζονται σε:

- Πρότυπο υπολογισμού δεξαμενής κατακράτησης
- Πρότυπα εκτίμησης απωλειών βροχής
- Πρότυπα υπολογισμού βασικής απορροής
- Πρότυπα υπολογισμού άμεσης απορροής
- Πρότυπα διάδευσης πλημμυρογραφήματος

Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση HEC-HMS 4.3 για την εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

5.1. Χρόνος καθυστέρησης t_L της μεθόδου S.C.S.

Για τον υπολογισμό του χρόνου καθυστέρησης t_L που είναι απαραίτητο στοιχείο εισόδου για την εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης με την μέθοδο της Soil Conservation Service χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (Κωτσόπουλος, 2006):

$$t_L = t_c \times 0,60 \quad (5.1)$$

όπου,

t_L = χρόνος καθυστέρησης σε min ή hr

t_c = χρόνος συρροής σε min ή hr

Για την συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη ο χρόνος καθυστέρησης t_L που βασίζεται στη μέθοδο της S.C.S. βρέθηκε ίσο με 133,2 min

5.2. Χρόνος καθυστέρησης t_L της μεθόδου Snyder

Για τον υπολογισμό του χρόνου καθυστέρησης t_L που είναι απαραίτητο στοιχείο εισόδου για την εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης με την μέθοδο του Snyder χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (Bedient et al., 2013):

$$t_L = 0,756c_t(L\bar{L})^{0,3} \quad (5.2)$$

όπου,

t_L = χρόνος καθυστέρησης σε hr

c_t = συντελεστής που παίρνει τιμές από 0,8 μέχρι 2,20, ανάλογα με τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης

L = μήκος του κυρίως ρέματος της λεκάνης

\bar{L} = απόσταση από το σημείο εξόδου του ρεύματος μέχρι ένα σημείο πάνω στο κύριο ρέμα που βρίσκεται πλησιέστερα στο γεωμετρικό κέντρο της υδρολογικής λεκάνης.

Για την συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη ο χρόνος καθυστέρησης t_L που βασίζεται στη μέθοδο του Snyder βρέθηκε ίσο με 2,46 hr, για $c_t = 0,8$. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι για την επιτυχή λειτουργία της μεθόδου Snyder στο μοντέλο HEC-HMS απαραίτητος είναι και ο συντελεστής αιχμής του υδρογραφήματος C_p , ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0,4 έως 0,8. Στην παρούσα εργασία έγινε η παραδοχή ότι ο συντελεστής C_p είναι ίσος με 0,8

5.3. Έλεγχος επάρκειας έργου

Για τον έλεγχο επάρκειας του τεχνικού υπολογίστηκε η συνολική παροχή πλήρωσης που μπορεί να διέλθει από το συγκεκριμένο τεχνικό ορθογωνικής διατομής, ώστε να συγκριθεί με την δυσμενέστερη τιμή παροχής που υπολογίστηκε από τις αριθμητικές εξισώσεις και προσομοιώσεις. Η παροχή πλήρωσης του τεχνικού υπολογίστηκε από την εμπειρική εξίσωση του Manning (Κωτσόπουλος, 2006):

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

όπου,

n = ο συντελεστής τραχύτητας του Manning A : το εμβαδόν της διατομής (m^2)

R = η υδραυλική ακτίνα του αγωγού (m)

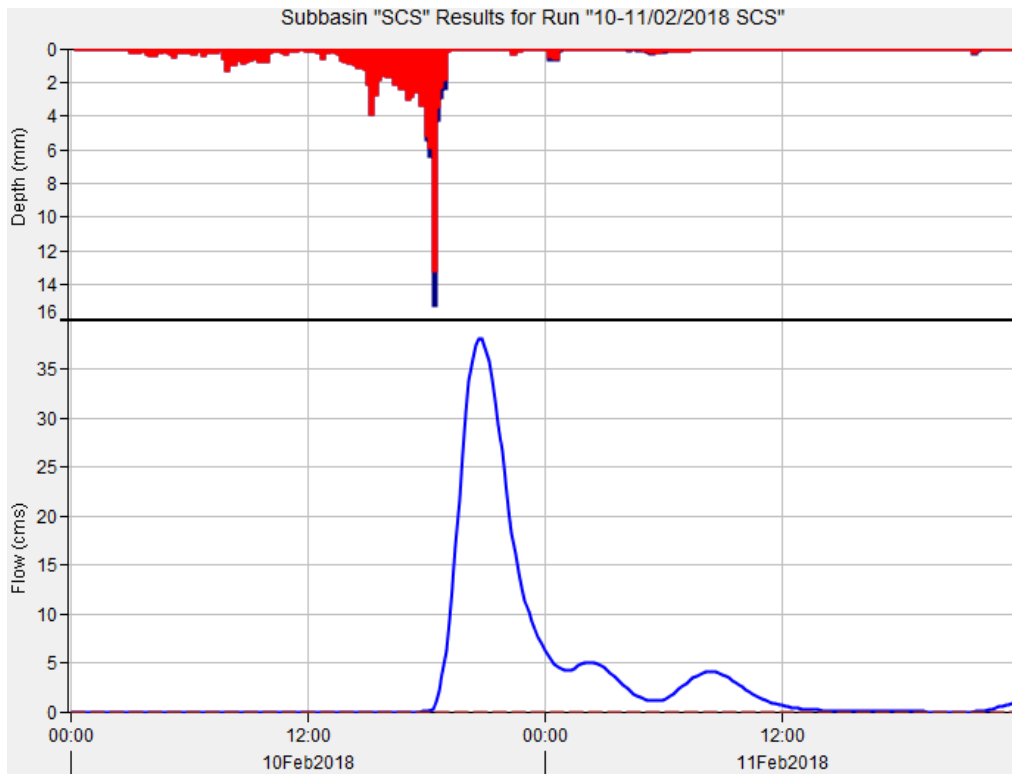
J = η κλίση του πυθμένα του αγωγού

Γνωρίζοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γέφυρας του Αγιοκάμπου ($H= 2,2$ m, $B= 29,6$ m, $J=0,007$) καθώς και το υλικό κατασκευής του τεχνικού [συντελεστής τραχύτητας Manning ($n= 0,013$)], μπορεί να υπολογιστεί το εμβαδόν A , η βρεχόμενη περίμετρος Π και η υδραυλική ακτίνα R . Αντικαθιστώντας τους συντελεστές στην εξίσωση Manning, η παροχή πλήρωσης υπολογίζεται ίση με $646,4$ m^3/s .

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης για το διάστημα 10-11/02/2018 (S.C.S.)

Μετά το πέρας των αριθμητικών προσομοιώσεων με το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους και δεδομένα που αντιστοιχούν για την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης χρήσεων γης, όπως είναι ο συντελεστής απορροής CN ($CN_c = 43,79$) και ο χρόνος καθυστέρησης της S.C.S. ($t_L = 133,2$ min), προέκυψε το γράφημα βροχόπτωσης - απορροής όπως αυτό παρουσιάζεται Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 Γράφημα βροχής απορροής

Η παροχή αιχμής, για το διάστημα 10-11/02/2018, βρέθηκε ίση με $38,1 \text{ m}^3/\text{s}$ με τη μέθοδο της S.C.S.

Στο Σχήμα 6.2 δίνεται ο πίνακας γενικών στοιχείων της υδραυλικής προσομοίωσης, στα οποία περιλαμβάνεται η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής για το συγκεκριμένο

διάστημα, ο οποίος είναι ίσος με 539200 m³. Στο Σχήμα 6.3 δίνεται ο πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης.

Project: diatrivi III Simulation Run: 10-11/02/2018 SCS

Start of Run: 10Φεβ2018, 00:00 Basin Model: Basin 10/02/2018 SCS
 End of Run: 11Φεβ2018, 23:50 Meteorologic Model: 10/02/2018
 Compute Time: 22Νοε2019, 09:31:18 Control Specifications: 10/02/2018

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

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
SCS	87,08	38,1	10Φεβ2018, 20:40	539,2

Σχήμα 6.2 Πίνακας γενικών στοιχείων υδραυλικής προσομοίωσης (10-11/02/2018)

Project: diatrivi III Simulation Run: 10-11/02/2018 SCS
Subbasin: SCS

Start of Run: 10Φεβ2018, 00:00 Basin Model: Basin 10/02/2018 SCS
 End of Run: 11Φεβ2018, 23:50 Meteorologic Model: 10/02/2018
 Compute Time: 22Νοε2019, 09:31:18 Control Specifications: 10/02/2018

Volume Units: MM 1000 M3

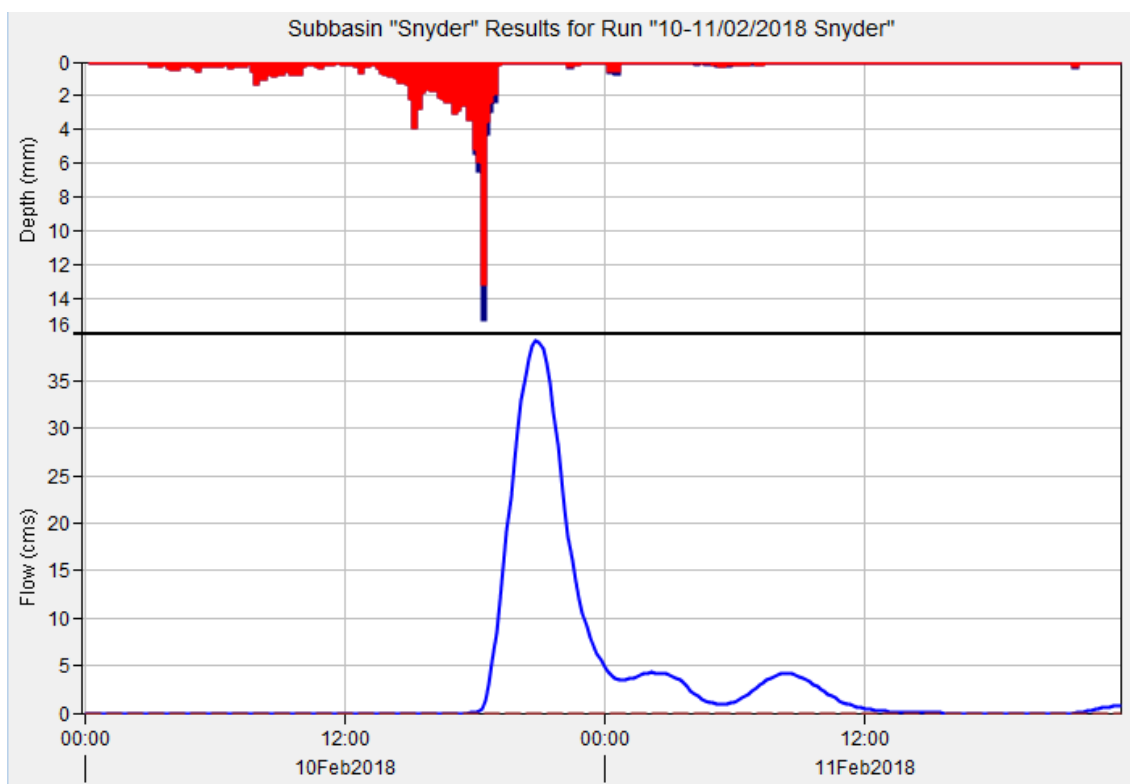
Computed Results

Peak Discharge:	38,1 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	10Φεβ2018, 20:40
Precipitation Volume:	9895,8 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	539,2 (1000 M3)
Loss Volume:	9350,3 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	545,5 (1000 M3)	Discharge Volume:	539,2 (1000 M3)

Σχήμα 6.3 Πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων υδραυλικής προσομοίωσης (10-11/02/2018)

6.2. Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης για το διάστημα 10-11/02/2018 (Snyder)

Με το πέρας των αριθμητικών προσομοιώσεων με το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους και δεδομένα που αντιστοιχούν για την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης χρήσεων γης, όπως είναι ο συντελεστής απορροής CN ($CN_c = 43,79$), ο χρόνος καθυστέρησης της μεθόδου Snyder ($t_L = 2,46$ hr) και ο συντελεστής αιχμής C_p ($C_p = 0,8$), προέκυψε το γράφημα βροχόπτωσης - απορροής όπως αυτό παρουσιάζεται Σχήμα 6.4.



Σχήμα 6.4 Γράφημα βροχής απορροής

Η παροχή αιχμής, για το διάστημα 10-11/02/2018, βρέθηκε ίση με $39,2 \text{ m}^3/\text{s}$ με τη μέθοδο Snyder.

Στο Σχήμα 6.5 δίνεται ο πίνακας γενικών στοιχείων της υδραυλικής προσομοίωσης, στα οποία περιλαμβάνεται η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής για το συγκεκριμένο διάστημα, ο οποίος είναι ίσος με 539300 m^3 . Στο Σχήμα 6.6 δίνεται ο πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Snyder	87,08	39,2	10Φεβ2018, 20:50	539,3

Σχήμα 6.5 Πίνακας γενικών στοιχείων υδραυλικής προσομοίωσης (10-11/02/2018)

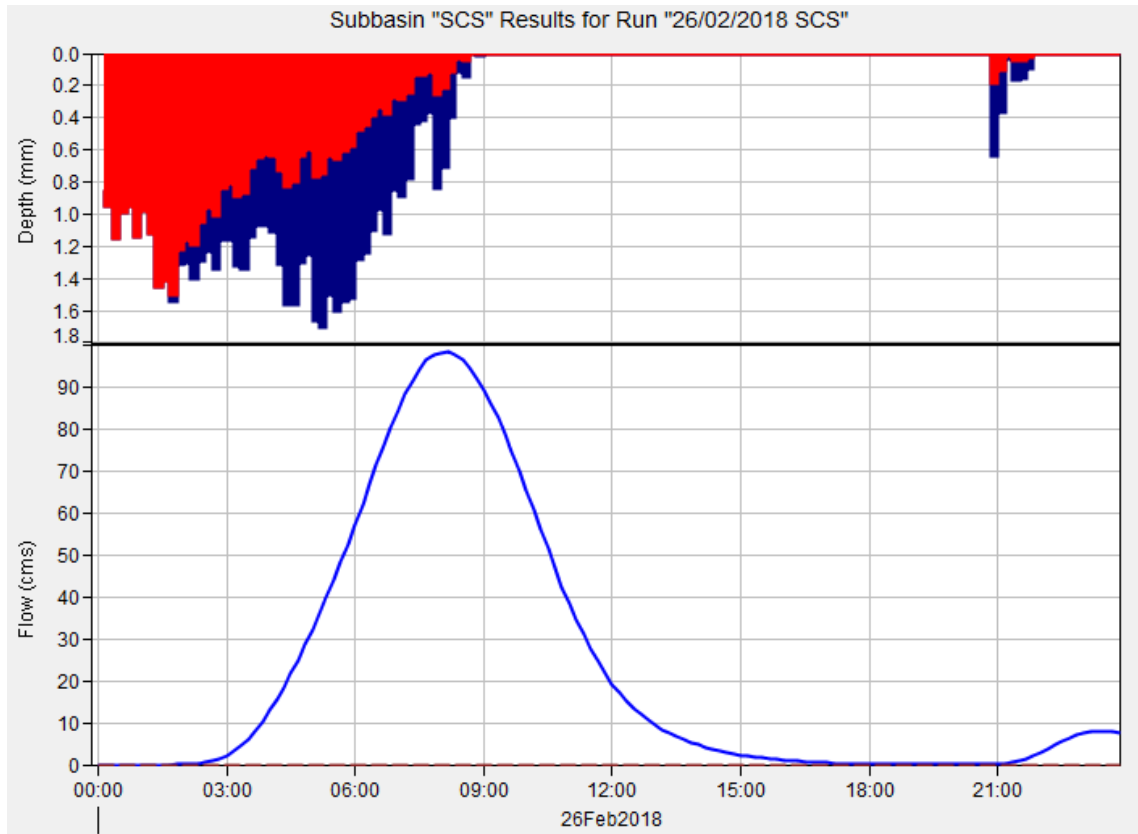
Computed Results	
Peak Discharge:	39,2 (M3/S)
Precipitation Volume:	9895,8 (1000 M3)
Loss Volume:	9350,3 (1000 M3)
Excess Volume:	545,5 (1000 M3)
Date/Time of Peak Discharge:	10Φεβ2018, 20:50
Direct Runoff Volume:	539,3 (1000 M3)
Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Discharge Volume:	539,3 (1000 M3)

Σχήμα 6.6 Πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων υδραυλικής προσομοίωσης (10-11/02/2018)

6.3. Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης της 26/02/2018 (S.C.S.)

Μετά το πέρας των αριθμητικών προσομοιώσεων με το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους και δεδομένα που αντιστοιχούν για

την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης χρήσεων γης, όπως είναι ο συντελεστής απορροής CN (CNc = 81,98) και ο χρόνος καθυστέρησης της S.C.S. ($t_L = 133,2$ min), προέκυψε το γράφημα βροχόπτωσης - απορροής όπως αυτό παρουσιάζεται Σχήμα 6.7.



Σχήμα 6.7 Γράφημα βροχής απορροής

Η παροχή αιχμής, της 26/02/2018, βρέθηκε ίση με $98,1 \text{ m}^3/\text{s}$ με τη μέθοδο της S.C.S.

Στο Σχήμα 6.8 δίνεται ο πίνακας γενικών στοιχείων της υδραυλικής προσομοίωσης, στα οποία περιλαμβάνεται η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής για το συγκεκριμένο διάστημα, ο οποίος είναι ίσος με 1907700 m^3 . Στο Σχήμα 6.9 δίνεται ο πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης.

Global Summary Results for Run "26/02/2018 SCS"

Project: diatrivi I Simulation Run: 26/02/2018 SCS

Start of Run: 26Φεβ2018, 00:00 Basin Model: Basin 26/02/2018 SCS
 End of Run: 26Φεβ2018, 23:50 Meteorologic Model: 26/02/2018
 Compute Time: 22Νοε2019, 09:51:00 Control Specifications: 26/02/2018

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

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
SCS	87,08	98,1	26Φεβ2018, 08:10	1907,7

Σχήμα 6.8 Πίνακας γενικών στοιχείων υδραυλικής προσομοίωσης (26/02/2018)

Project: diatrivi I Simulation Run: 26/02/2018 SCS
 Subbasin: SCS

Start of Run: 26Φεβ2018, 00:00 Basin Model: Basin 26/02/2018 SCS
 End of Run: 26Φεβ2018, 23:50 Meteorologic Model: 26/02/2018
 Compute Time: 22Νοε2019, 09:51:00 Control Specifications: 26/02/2018

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

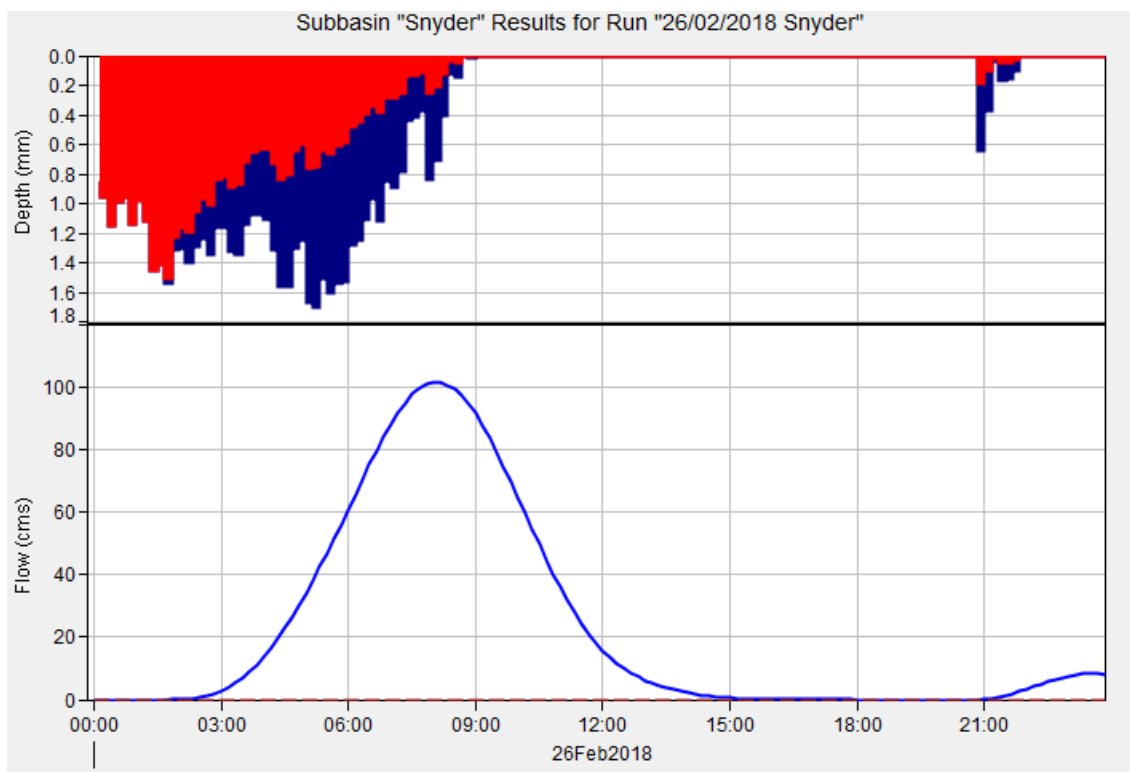
Peak Discharge:	98,1 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	26Φεβ2018, 08:10
Precipitation Volume:	5179,5 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	1907,7 (1000 M3)
Loss Volume:	3227,8 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	1951,7 (1000 M3)	Discharge Volume:	1907,7 (1000 M3)

Σχήμα 6.9 Πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων υδραυλικής προσομοίωσης (26/02/2018)

6.4. Αποτελέσματα υδραυλικής προσομοίωσης της 26/02/2018 (Snyder)

Με το πέρας των αριθμητικών προσομοιώσεων με το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους και δεδομένα που αντιστοιχούν για την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης χρήσεων γης, όπως είναι ο συντελεστής απορροής CN (CNe = 81,98), ο χρόνος καθυστέρησης της μεθόδου Snyder ($t_L = 2,46$

hr) και ο συντελεστής αιχμής C_p ($C_p = 0,8$), προέκυψε το γράφημα βροχόπτωσης - απορροής όπως αυτό παρουσιάζεται Σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.11 Γράφημα βροχής απορροής

Η παροχή αιχμής, της 26/02/2018, βρέθηκε ίση με $101,3 \text{ m}^3/\text{s}$ με τη μέθοδο Snyder.

Στο Σχήμα 6.12 δίνεται ο πίνακας γενικών στοιχείων της υδραυλικής προσομοίωσης, στα οποία περιλαμβάνεται η παροχή αιχμής και ο όγκος απορροής για το συγκεκριμένο διάστημα, ο οποίος είναι ίσος με 1909800 m^3 . Στο Σχήμα 6.13 δίνεται ο πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης.

Project: diatrivi I Simulation Run: 26/02/2018 Snyder

Start of Run: 26Φεβ2018, 00:00 Basin Model: Basin 26/02/2018 Snyder
 End of Run: 26Φεβ2018, 23:50 Meteorologic Model: 26/02/2018
 Compute Time: 22Nov2019, 09:51:04 Control Specifications: 26/02/2018

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

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Snyder	87,08	101,3	26Φεβ2018, 08:00	1909,8

Σχήμα 6.12 Πίνακας γενικών στοιχείων υδραυλικής προσομοίωσης (26/02/2018)

Project: diatrivi I Simulation Run: 26/02/2018 Snyder
 Subbasin: Snyder

Start of Run: 26Φεβ2018, 00:00 Basin Model: Basin 26/02/2018 Snyder
 End of Run: 26Φεβ2018, 23:50 Meteorologic Model: 26/02/2018
 Compute Time: 22Nov2019, 09:51:04 Control Specifications: 26/02/2018

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	101,3 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	26Φεβ2018, 08:00
Precipitation Volume:	5179,5 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	1909,8 (1000 M3)
Loss Volume:	3227,8 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	1951,7 (1000 M3)	Discharge Volume:	1909,8 (1000 M3)

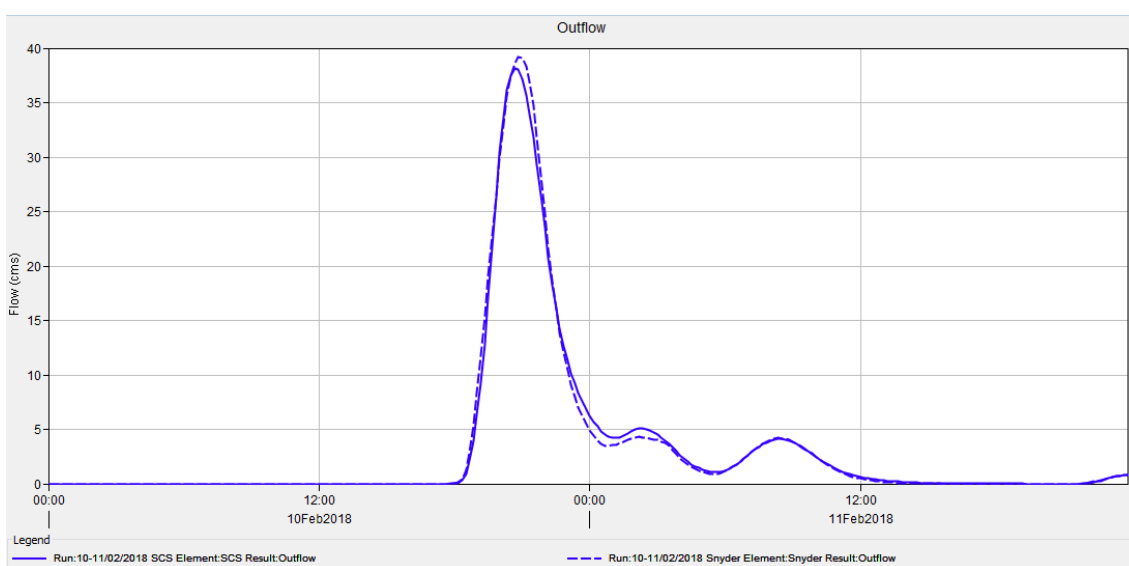
Σχήμα 6.13 Πίνακας συνολικών αποτελεσμάτων υδραυλικής προσομοίωσης (26/02/2018)

6.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων υδραυλικών προσομοιώσεων S.C.S. - Snyder

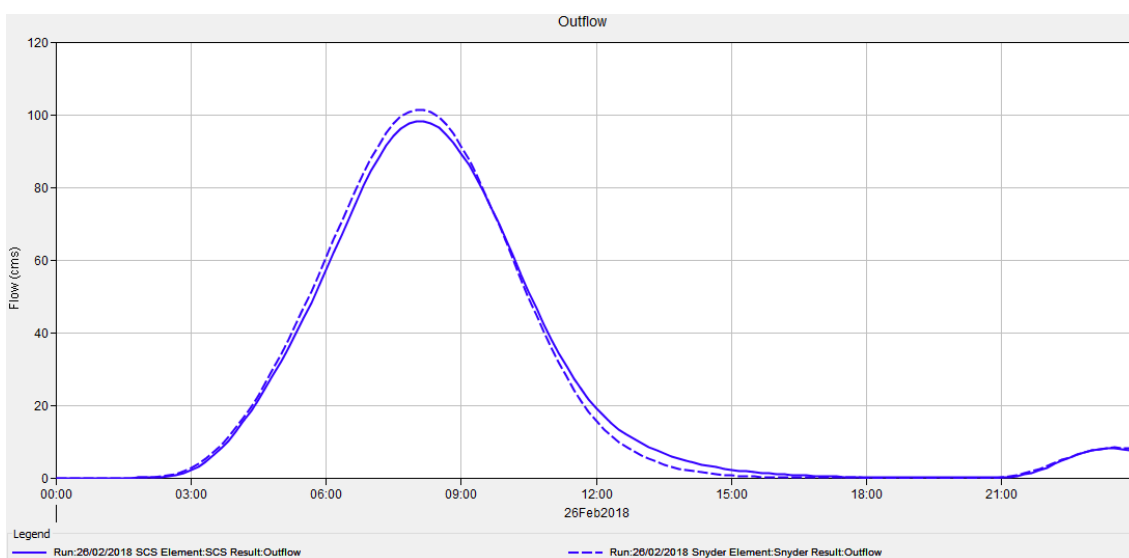
Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας εκτίμησης των πλημμυρικών παροχών του ρέματος Πουρί έγινε προσπάθεια σύγκρισης των δύο μεθόδων υπολογισμού της παροχής αιχμής και εξαγωγής του υδρογραφήματος του χρονικού διαστήματος 10-

11/02/2018 και της 26/02/2018. Το χρονικό διάστημα 10-11/02/2018 η παροχής αιχμής υπολογίστηκε ίση με $38,1 \text{ m}^3/\text{s}$, με τη μέθοδο της S.C.S, ενώ ο όγκος απορροής ίσος 539200 m^3 . Το χρονικό διάστημα 10-11/02/2018 η παροχής αιχμής υπολογίστηκε ίση με $39,2 \text{ m}^3/\text{s}$, με τη μέθοδο της Snyder, ενώ ο όγκος απορροής ίσος με 539300 m^3 .

Στις 26/02/2018 η παροχής αιχμής υπολογίστηκε ίση με $98,1 \text{ m}^3/\text{s}$, με τη μέθοδο της S.C.S, ενώ ο όγκος απορροής ίσος 1907700 m^3 . Στις 26/02/2018 η παροχής αιχμής υπολογίστηκε ίση με $101,3 \text{ m}^3/\text{s}$, με τη μέθοδο του Snyder, ενώ ο όγκος απορροής ίσος με 1909800 m^3 .



Σχήμα 6.14 Σύγκριση υδρογραφημάτων S.C.S. – Snyder τα ου διαστήματος 10-11/02/2018



Σχήμα 6.15 Σύγκριση υδρογραφημάτων S.C.S. – Snyder της 26/02/2018

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την υδραυλική προσομοίωση για το διάστημα 10-11/02/2018 και της 26/02/2018 με την εφαρμογή και των δύο μεθόδων εκτίμησης της παροχής αιχμής (S.C.S και Snyder) εμφάνισαν πολύ μικρές αποκλίσεις. Γεγονός, που εξασφαλίζει την επιτυχή εξαγωγή συμπερασμάτων είτε χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τη μέθοδο της S.C.S είτε τη μέθοδο του Snyder.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη των πλημμυρικών συμβάντων που προέκυψαν από τις βροχοπτώσεις του Φεβρουαρίου 2018 στην περιοχή του ρέματος Πουρί Αγιοκάμπου Αγιάς προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η παροχή αιχμής Q_p για το χρονικό διάστημα 10-11/02/2018 που υπολογίστηκε με βάση τη μεθοδολογία της S.C.S βρέθηκε ίσο με $38,1 \text{ m}^3/\text{s}$ και ο όγκος απορροής $V_r = 539200 \text{ m}^3$.
- Η παροχή αιχμής Q_p για το χρονικό διάστημα 26/02/2018 που υπολογίστηκε με βάση τη μεθοδολογία της S.C.S βρέθηκε ίσο με $98,1 \text{ m}^3/\text{s}$ και ο όγκος απορροής $V_r = 1907700 \text{ m}^3$.
- Οι μέθοδοι υπολογισμού της παροχής αιχμής της S.C.S. και του Snyder έβγαλαν αποτελέσματα με αμελητέες διαφορές.
- Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών όπως το Arc GIS είναι απολύτως αναγκαία εργαλεία στα χέρια ενός ερευνητή για την πιο γρήγορη και ευκολότερη εξαγωγή αποτελεσμάτων γεωγραφικών πληροφοριών για μια περιοχή μελέτης.
- Το πρόγραμμα υδραυλικής προσομοίωσης HEC-HMS είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο για την γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων για μια υδρολογική λεκάνη.
- Τα αποτελέσματα ελέγχου επάρκειας της γέφυρας Αγιοκάμπου δείχνουν πως το έργο φαίνεται να λειτουργεί αρκετά καλά και να καλύπτει τις παροχές αιχμής του ποταμού βασιζόμενοι στις ημερομηνίες για τις οποίες εκτελέστηκε η υδραυλική προσομοίωση.
- Όμως, επειδή για ημερομηνίες που εκτελέστηκε η υδραυλική προσομοίωση ήταν γνωστό ότι υπήρχαν πλημμυρικά φαινόμενα, αλλά και για ημερομηνίες κατά τις

οποίες υπήρχαν πλημμυρικά συμβάντα, αλλά δεν υπήρχαν διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα, πρέπει να πραγματοποιηθεί περαιτέρω μελέτη στο ρέμα Πουρί.

- Να χωριστεί η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Πουρί σε μικρότερες υπολεκάνες και να μελετηθεί κάθε υπολεκάνη ξεχωριστά, έτσι ώστε να εξαχθούν πιο λεπτομερή αποτελέσματα και συμπεράσματα.
- Να χωριστεί το κυρίως ρέμα ανάντη της γέφυρας του Αγιοκάμπου σε τομές οι οποίες θα μελετηθούν η κάθε μια ξεχωριστά αξιοποιώντας και δεδομένα επιτόπιας παρατήρησης και μέτρησης. Χρήσιμο εργαλείο μπορεί να αποτελέσει το μοντέλο HEC-RAS
- Να τοποθετηθούν στην ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης περισσότεροι μετεωρολογικοί σταθμοί, ούτως ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, τα οποία θα αξιοποιηθούν για την περαιτέρω απαραίτητη έρευνα στην περιοχή.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

ΕΛΣΤΑΤ. (2000). *Κατανομή της έκτασης της Ελλάδος κατά βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης, κατά περιφέρεια και νομό, Προαπογραφικά στοιχεία της Απογραφής Γεωργίας – Κτηνοτροφίας*, (www.statistics.gr)

Κουτσογιάννης Δ. (1988). *Υδρολογική διερεύνηση του υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας*, Τεύχος 7, Τελική έκθεση, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα.

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

Κουτσογιάννης Δ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Αθήνα.

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

Κωτσόπουλος Σ. (2006). *Υδρολογία*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Κωτσόπουλος Σ., Αλεξίου Ι., Λόκκας Φ., Γραβάνης Γ., Μπαλτάς Ε., Μαγαλιός Σ. (2012). *Εκτίμηση της πλημμυρικής διακινδύνευσης των υδατορρευμάτων των Β και ΒΑ κλιτύων της Όσσας*. 2ο κοινό Συνέδριο Ε.Υ.Ε. - Ε.Ε.Δ.Υ.Π., 11-13 Οκτωβρίου 2012, Πάτρα, σελ. 36-45.

Μαντούδη, Κ., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης, Δ., 2004. Μοντέλο Ισοζυγίου Υδρολογικής Λεκάνης με Χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 1 σελ. 37-46.

Μούζας Ν. (2019). *Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών υδατορρέυματος την περιοχή Αιγάνης του Ν. Λάρισας με την χρήση του προγράμματος HEC-HMS*, Πτυχιακή Εργασία, Πρόγραμμα Σπουδών Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λάρισα.

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. (2004). *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Τσακίρης, Γ. (1995). *Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ. (2014). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας*, Αθήνα.

Ξενόγλωσση

Chow V. T., Maidment D. R. and Mays L. W., 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Book Company, N.Y., U.S.A.

Bedient P B., Huber W. C. and Vieux B. E., 2013 *Hydrology and Flood Plain Analysis*, Pearson, International Edition

SCS (Soil Conservation Service), 1972. *National Engineering Handbook*, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Wanielista, M., Kerten R. and Eaglin, R. 1997. *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*, J. Wiley & Sons, NY.

Ιστότοποι

https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 1 Θέσεις λήψης εικόνων



Εικόνα 2 Κοίτη ρέματος Πουρί



Εικόνα 3 Κοίτη ρέματος Πουρί



Εικόνα 4 Διευθετημένη κοίτη ρέματος Πουρί



Εικόνα 5 Γέφυρα Αγιοκάμπου



Εικόνα 6 Χρήσεις γης λεκάνης



Εικόνα 7 Γέφυρα Αλαμάνας