



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΚΑΙ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΟΧΘΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ ΜΠΟΥΡΜΠΟΥΛΗΘΡΑ, ΔΗΜΟΣ
ΑΓΙΑΣ, ΝΟΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΣ, ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια: Μητσιάνη Αναστασία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Φαρσιρώτου Ευαγγελία, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγήτρια Π.Θ.

Λάρισα, Σεπτέμβριος 2024



UNIVERSITY OF THESSALY

INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM

“Advanced Technologies for Environmental Risk Management”

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

INVESTIGATION OF LAND USE AND CROPPING CHANGES IN FLOOD RIVER ZONES AND THEIR IMPACT ON FLOOD RUNOFF

**CASE STUDY: BOURBOULITHRA RIVER, MUNICIPALITY OF AGIA,
LARISSA, THESSALY WATER DISTRICT**

Graduate Student: Mitsiani Anastasia

Supervisor:

Farsirotou Evaggelia, Dr. Civil Engineer, Professor U.TH.

Larissa, September 2024

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
ΣΤΙΣ ΠΑΡΟΧΘΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ
ΣΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ» (GR)**

**“INVESTIGATION OF LAND USE AND CROPPING CHANGES IN FLOOD
RIVER ZONES AND THEIR IMPACT ON FLOOD RUNOFF” (EN)**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Σεπτέμβριο του 2024

Επιβλέπουσα: Φαρσιρώτου Ευαγγελία

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Αλαμανής Νικόλαος
Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας,

Μέλος

Κωτσόπουλος Σπυρίδων
Καθηγητής Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Μέλος

Λάρισα, Σεπτέμβριος 2024

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα: Μητσιάνη Αναστασία

Πτυχιούχος Πολιτικός Μηχανικός ΤΕ

Copyright © Μητσιάνη Αναστασία, (2024)

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στο συγγραφέα.

Το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας εκφράζει τις απόψεις του/της συγγραφέα και ουδεμία ευθύνη για το περιεχόμενο φέρουν η επιβλέπουσα, και η εξεταστική επιτροπή για αυτό.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή.

Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Μεταπτυχιακού Τίτλου των Μεταπτυχιακών Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων.

Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Μ.Δ.Ε. προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα : Μητσιάνη Αναστασία

Υπογραφή :

Ημερομηνία : 23/9/2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν με κάθε τρόπο, στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών και στο να φέρω εις πέρας την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα. Φαρσιρώτου Ευαγγελία, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, διευθύντρια του μεταπτυχιακού προγράμματος με τίτλο «Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων» και καθηγήτρια στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, τόσο για την αποδοχή και την ανάληψη του θέματος, όσο και για τη συνεχή στήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της διατριβής αυτής.

Ακόμη, ευχαριστώ θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα και καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, κ. Ξαφούλη Νικόλαο, για την αμέριστη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξη κατά τα ακαδημαϊκά εξάμηνα, αλλά και για όλες τις πολύτιμες συμβουλές σε όλα τα στάδια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, που συνέβαλαν στη συγγραφή και παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας.

Είμαι ευγνώμων για τους συναδέλφους αυτούς, που ήταν παρόντες καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών, για την ανταλλαγή απόψεων και την αλληλεγγύη μεταξύ μας. Επίσης, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού αυτού προγράμματος, που ανταποκρίθηκαν άμεσα στις απορίες και τις ανάγκες που προέκυπταν στη διάρκεια της φοίτησής μου.

Τέλος, έχω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αδιαίρετη συμπαράσταση, την κατανόηση και για την πολύτιμη συνδρομή τους, που μου έδωσαν τη δυνατότητα να εκπονήσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές και την παρούσα διπλωματική εργασία.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Τα κύρια μεγέθη μιας πλημμύρας	5
Εικόνα 2 : Χάρτης με την Περιοχή Μελέτης της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρέυματος	40
Εικόνα 3 : Το σημείο εκβολής του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα, στην παράκτια περιοχή του Αγιόκαμπου	41
Εικόνα 4 : Χάρτης με τη χάραξη της Λεκάνης Απορροής και το κύριο Υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα	41
Εικόνα 5 : Χάρτης με τις Δημοτικές Ενότητες του Δήμου Αγιάς	43
Εικόνα 6 : Χάρτης εδαφικών κλίσεων στη Λεκάνη Απορροής του Υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	45
Εικόνα 7 : Χάρτης υψομετρικών επιπέδων της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	47
Εικόνα 8 : Χάρτης με τα κυριότερα υδατορεύματα της παρόχθιας περιοχής του Δήμου Αγιάς.....	49
Εικόνα 9 : Χάρτης υπολεκανών των υδατορευμάτων της περιοχής μελέτης	50
Εικόνα 10 : Χάρτης υπολεκανών της περιοχής μελέτης του Υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	51
Εικόνα 11 : Χάρτης υψομέτρων των υπολεκανών του Υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	51
Εικόνα 12 : Χάρτης τάξεων ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου Μπουρμπουλήθρας	53
Εικόνα 13 : Χάρτης με το μέσο κίνδυνο εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς στη περιοχή της λεκάνης απορροής του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα, με υπόβαθρο χάρτη από το ΥΠΕΝ	56
Εικόνα 14 : Το Φράγμα Γυρτώνης, με τα θυροφράγματα και τη σκάλα διέλευσης των ιχθύων	60
Εικόνα 15 : Η διαδρομή διέλευσης των νεκρών ψαριών από το θυρόφραγμα του Φράγματος Γυρτώνης, στη λίμνη Κάρλα, που οδηγήθηκαν μέσω του ρέματος Ξηριάς στον Παγασητικό κόλπο, στο λιμάνι του Βόλου.....	60
Εικόνα 16 : Χάρτης με τις προστατευόμενες περιοχές NATURA 2000 και τα καταφύγια άγριας ζωής που βρίσκονται εντός των υπολεκανών του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα.....	62
Εικόνα 17 : Χάρτης των δασικών εκτάσεων που βρίσκονται εντός των υπολεκανών του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα, σύμφωνα με το υπόβαθρο χάρτη από το ΥΠΕΝ	63
Εικόνα 18 : Χάρτης χρήσεων γης από το CORINE Land Cover 2018 του Copernicus, εντός της Λεκάνης Απορροής και το κύριο Υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα	68
Εικόνα 19 : Χάρτης χρήσεων γης 2012 μέσω ψηφιοποίησης από το Ελληνικό Κτηματολόγιο εντός των υπολεκανών	69
Εικόνα 20 : Χάρτης χρήσεων γης 2018 μέσω ψηφιοποίησης από το Ελληνικό Κτηματολόγιο εντός των υπολεκανών	71

Εικόνα 21 : Χάρτης χρήσεων γης 2020 μέσω ψηφιοποίησης εντός των υπολεκανών	73
Εικόνα 22 : Εικόνα του μοντέλου της υδρολογικής λεκάνης και των κύριων υδατορρευμάτων, με το μοντέλο εδάφους της περιοχής στο λογισμικό HEC-HMS	77
Εικόνα 23 : Εικόνα του μοντέλου σύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα στο λογισμικό HEC-HMS	79
Εικόνα 24 : Εικόνα του μοντέλου εδάφους της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	99
Εικόνα 25 : Εικόνα της σύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης στο λογισμικό HEC-HMS	100
Εικόνα 26 : Εμβαδά των υπολεκανών (km ²) στο HEC-HMS.....	101
Εικόνα 27 : Εισαγωγή των αριθμών καμπύλης CN σε κάθε υπολεκάνη, από τη μέθοδο απώλειας της S.C.S. - Curve Number για το έτος 2012.	103
Εικόνα 28 : Εισαγωγή των αριθμών καμπύλης CN σε κάθε υπολεκάνη, από τη μέθοδο απώλειας της S.C.S. - Curve Number Loss για το έτος 2018.	103
Εικόνα 29 : Εισαγωγή των αριθμών καμπύλης CN σε κάθε υπολεκάνη, από τη μέθοδο απώλειας της S.C.S. - Curve Number Loss για το έτος 2020.	103
Εικόνα 30 : Εισαγωγή του χρόνου υστέρησης lag time (min) κάθε υπολεκάνης, από τη μέθοδο μετασχηματισμού του υδρογράφου μονάδας της S.C.S. - Unit Hydrograph	104
Εικόνα 31 : Εισαγωγή των συντελεστών K και X η μεθόδου διόδευσης ρεμάτων Reach Routing Method - Muskingum.....	106
Εικόνα 32 : Το γράφημα του υετογράφου στο λογισμικό HEC-HMS.....	108
Εικόνα 33 : Ορισμός των προδιαγραφών ελέγχου για την προσομοίωση ..	109
Εικόνα 34 : Τυπική μορφή πίνακα χρονοσειρών - Time Series Table, που δείχνει την απορροή σε κάθε κόμβο και στο σημείο εκβολής.....	111
Εικόνα 35 : Τυπική μορφή συνοπτικού πίνακα - Summary Table, που δείχνει την μέγιστη απορροή σε κάθε κόμβο και στο σημείο εκβολής	112
Εικόνα 36 : Τυπική μορφή γραφήματος αποτελεσμάτων - Graph, που δείχνει την απορροή σε χρονικό βήμα.....	112

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 : Λογικό διάγραμμα ροής των βημάτων που ακολουθήθηκαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας.	24
Σχήμα 2 : Μορφή υδρογραφήματος της μεθόδου απορροϊκού συντελεστή CN της S.C.S.	37
Σχήμα 3 : Διάγραμμα έντασης βροχόπτωσης i (mm/h) για χρονικές στιγμές t (h) εντός 24 h, με την εξίσωση της γραμμής τάσης της μορφής $y=ax^b$	38
Σχήμα 4 : Διάγραμμα υετογραφήματος που δείχνει τη διαφορά βροχόπτωσης σε χρονικό βήμα εντός 24 h – DP Hyetograph.....	39
Σχήμα 5 : Διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης i_{50} (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα 24h, για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη.....	92
Σχήμα 6 : Διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης i_{100} (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα 24h, για περίοδο επαναφοράς T 100 έτη.....	93
Σχήμα 7 : Διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης $i_{1,000}$ (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα 24h, για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη.....	94
Σχήμα 8: Διάγραμμα υετογραφήματος της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24h, για περίοδο επαναφοράς T 100 έτη.....	97
Σχήμα 9 : Διάγραμμα υετογραφήματος της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24h, για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη.....	97
Σχήμα 10 : Διάγραμμα υετογραφήματος της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24h, για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη.....	98
Σχήμα 11 : Διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς του έτους 2012.....	116
Σχήμα 12 : Διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς του έτους 2018.....	119
Σχήμα 13 : Διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς του έτους 2020.....	122

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Δεδομένα Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	42
Πίνακας 2 : Πίνακας με την κατανομή των κλίσεων και την επιφάνεια που καλύπτουν εντός της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	45
Πίνακας 3 : Πίνακας με την κατανομή των υψομέτρων και την επιφάνεια που καλύπτουν εντός της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	47
Πίνακας 4 : Κύρια ρέματα του Δήμου Αγιάς	48
Πίνακας 5 : Έκταση λεκανών και μήκος των υδατορευμάτων τους	49
Πίνακας 6 : Υπολεκάνες περιοχής, οι επιφάνειες κάλυψης και τα μήκη των ρεμάτων	50
Πίνακας 7 : Πίνακας υψομέτρων των υπολεκανών (μέγιστο, μέσο και ελάχιστο υψόμετρο)	52
Πίνακας 8 : Κατάταξη του υδρογραφικού δικτύου του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	52
Πίνακας 9 : Κυριότερες κατηγορίες δασικών εκτάσεων της περιοχή του Δήμου Αγιάς με την επιστημονική ονομασία τους	55
Πίνακας 10 : Κατάταξη των επιπέδων εμφάνισης πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	56
Πίνακας 11 : Κυριότερα είδη του ζωικού βασιλείου της πανίδας της περιοχή του Δήμου Αγιάς με την επιστημονική τους ονομασία	58
Πίνακας 12 : Πίνακας δασικών εκτάσεων και καλλιεργειών που υπάρχουν σε κάθε υψομετρικό επίπεδο	63
Πίνακας 13 : Κωδικοί και κατηγορίες χρήσεων γης εντός των υπολεκανών, γης από το CORINE Land Cover του Copernicus	68
Πίνακας 14 : Κατηγορίες χρήσεων γης 2012 των υπολεκανών, η έκτασή τους και τα ποσοστά της επιφάνειάς τους	70
Πίνακας 15 : Κατηγορίες χρήσεων γης 2018 των υπολεκανών, η έκτασή τους και τα ποσοστά της επιφάνειάς τους	71
Πίνακας 16 : Κατηγορίες χρήσεων γης 2018 των υπολεκανών, η έκτασή τους και τα ποσοστά της επιφάνειάς τους	73
Πίνακας 17 : Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός των υπολεκανών για το έτος 2012	85
Πίνακας 18 : Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός των υπολεκανών για το έτος 2018	86
Πίνακας 19 : Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός των υπολεκανών για το έτος 2020	86
Πίνακας 20 : Τιμές της σταθμισμένης τιμής του απορροϊκού συντελεστή SCN ανάλογα με το σχετικό εμβαδό των χρήσεων γης των υπολεκανών, για το έτος 2012	87
Πίνακας 21 : Τιμές της σταθμισμένης τιμής του απορροϊκού συντελεστή SCN ανάλογα με το σχετικό εμβαδό των χρήσεων γης των υπολεκανών, για το έτος 2018	88

Πίνακας 22 : Τιμές της σταθμισμένης τιμής του απορροϊκού συντελεστή ΣCN ανάλογα με το σχετικό εμβαδό των χρήσεων γης των υπολεκανών, για το έτος 2020	88
Πίνακας 23 : Υπολογισμός το χρόνου συρροής t_c από την εξίσωση του Giandotti στις υπολεκάνες της περιοχής	89
Πίνακας 24 : Παράμετροι όμβριων καμπυλών και η ένταση βροχόπτωσης i , σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη	90
Πίνακας 25 : Ένταση βροχόπτωσης i , σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης για περίοδο επαναφοράς T 100 έτη	91
Πίνακας 26 : Ένταση βροχόπτωσης i , σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη	91
Πίνακας 27 : Πίνακας με τις μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη, i_{50} (mm/h).....	92
Πίνακας 28 : Πίνακας με τις μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς T 100 έτη, i_{100} (mm/h).....	93
Πίνακας 29 : Πίνακας με τις μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη, $i_{1.000}$ (mm/h).....	93
Πίνακας 30 : Πίνακας τυπικής διαδικασίας εύρεσης και ταξινόμησης των διαφορών βροχόπτωσης, ώστε να προκύψει το υετογράφημα σχεδιασμού DP Hyetograph	95
Πίνακας 31 : Πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών του 2012, για κάθε κόμβο και το σημείο εξόδου της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50, 100 και 1.000 έτη	114
Πίνακας 32 : Πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών του 2018, για κάθε κόμβο και το σημείο εξόδου της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50, 100 και 1.000 έτη	117
Πίνακας 33 : Πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών του 2020, για κάθε κόμβο και το σημείο εξόδου της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50, 100 και 1.000 έτη	120
Πίνακας 34 : Τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50 έτη, για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης.....	124
Πίνακας 35 : Τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 100 έτη, για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης.....	125
Πίνακας 36 : Τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50 έτη, για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης.....	126
Πίνακας 37 : Σύγκριση μέγιστων παροχών ανάμεσα στα έτη 2012-2018, για κάθε περίοδο επαναφοράς	127
Πίνακας 38 : Σύγκριση μέγιστων παροχών ανάμεσα στα έτη 2018-2020, για κάθε περίοδο επαναφοράς	129
Πίνακας 39 : Σύγκριση μέγιστων παροχών ανάμεσα στα έτη 2020-2012, για κάθε περίοδο επαναφοράς	130

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΓΣΠ: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

ΛΑΠ: Λεκάνη Απορροής

ΥΠ: Υπολεκάνη

ΥΔ: Υδρογραφικό Δίκτυο

ΥΔΑ: Υδατόρρευμα

ΠΜ: Περιοχή Μελέτης

ΧΓ: Χρήσεις Γης

ΠΣΜ: Προσομοίωση

ΠΕ: Περίοδος Επαναφοράς

ΥΜΟ: Υδρολογικό Μοντέλο

ΜΔ: Μετεωρολογικά Δεδομένα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων», του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η εργασία με τίτλο «Διερεύνηση αλλαγών των χρήσεων γης και των καλλιεργειών στις παρόχθιες πλημμυρικές περιοχές και η επίδρασή τους στην πλημμυρική απορροή», έγινε στην περίπτωση μελέτης της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, που βρίσκεται στο Δήμο Αγιάς, του νομού Λάρισας, στην Περιφέρεια Θεσσαλίας.

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η εύρεση των αλλαγών που παρουσιάζουν οι χρήσεις γης και οι καλύψεις των καλλιεργειών στη συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη, με την πάροδο των χρόνων. Ακόμα, στόχος της εργασίας είναι να γίνει εκτίμηση της επίδρασης που παρουσιάζουν οι αλλαγές αυτές στην τελική πλημμυρική παροχή του υδατορρεύματος. Η διατριβή ολοκληρώθηκε υπό την επίβλεψη της κα. Φαρσιρώτου Ευαγγελία, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός και καθηγήτρια στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, αλλά και από την καθοδήγηση του κ. Ξαφούλη Νικόλαου.

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίησή της, συγκεκριμένα το ArcGIS-Pro της ESRI και το HEC-HMS της Αμερικανικής Υπηρεσίας Στρατού, US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center. Με την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου από το HEC-HMS, γίνεται εκτίμηση της υδρολογικής απορροής της λεκάνης που μελετάται και η προσομοίωση του υδρολογικού δικτύου της, για τις εναλλαγές των χρήσεων γης με την πάροδο των ετών. Ακόμη, από το ArcGIS-Pro, γίνεται η μελέτη των χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, ενώ εφαρμόζονται μέθοδοι υπολογισμών βροχόπτωσης και απορροής, μέσω προσομοίωσης υδρογραφημάτων και υετογραφημάτων της Soil Conservation Service – S.C.S.

Η περιοχή μελέτης αποτελεί την υδρολογική λεκάνη του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, η οποία χωρίζεται σε 6 υπολεκάνες. Ο προσδιορισμός των

γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής, αποτέλεσε βάση για τους απαραίτητους υπολογισμούς των εδαφικών κλίσεων, των υψομέτρων, τα μήκη των ρεμάτων και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) της περιοχής, όπου μέσω κατάλληλης επεξεργασίας στο ArcGIS-Pro αντλήθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για την προσομοίωση.

Κύριο κεφάλαιο της εργασίας, αποτελούν οι χρήσεις γης που εντοπίζονται στην λεκάνη απορροής, όπου παρουσιάζονται οι διάφορες καλύψεις της γης που επικρατούν στην περιοχή. Ακόμη, εξετάστηκαν οι παράμετροι που επηρεάζουν τις τιμές των απορροϊκών συντελεστών φυτοκάλυψης CN της S.C.S., που είναι αναγκαίες για το υδρολογικό μοντέλο. Επιπλέον, έγινε αναλυτική περιγραφή των εξισώσεων και των συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία εύρεσης της πλημμυρικής απορροής.

Με βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα, έγινε τελικά η υδρολογική προσομοίωση για τις υπολεκάνες απορροής, για κάθε έτος της μελέτης. Στο λογισμικό HEC-HMS, έγινε εισαγωγή των δεδομένων βροχόπτωσης από τα κατάλληλα γραφήματα και με τη βοήθεια του υετογραφήματος σχεδιασμού, που σχεδιάστηκε βάσει των όμβριων καμπυλών IDF για συγκεκριμένες περιόδους επαναφοράς. Πιο αναλυτικά, κατασκευάστηκαν 18 υετογραφήματα σχεδιασμού, για περιόδους επαναφοράς 50, 100 και 1.000 ετών για διάρκεια βροχόπτωσης 24 ωρών.

Τέλος, έπειτα από όλους τους υπολογισμούς, προέκυψαν τα επιθυμητά αποτελέσματα εύρεσης της πλημμυρικής παροχής που προκύπτει από το υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα, για τα έτη 2012, 2018 και 2020. Στη συνέχεια, ακολούθησε η σύγκριση των τιμών των παροχών, για την καλύτερη ανάλυση και κατανόηση της επίδρασης που έχουν οι αλλαγές των χρήσεων γης στην πλημμυρική απορροή.

Λέξεις κλειδιά: Χρήσεις γης, λεκάνη απορροής, υδατόρρευμα, υδρολογικό μοντέλο, προσομοίωση, παροχή.

ABSTRACT

The current postgraduate master's thesis was prepared within the framework of the Interdepartmental Postgraduate Studies Program "Advanced Technologies for Environmental Risk Management", of the University of Thessaly. The work entitled "Investigation of changes of land cover and crops near the sea flood areas and their impact on flood runoff", was done in the case of the study of the watershed of the Bourboulithra watercourse, located in the Municipality of Agia, Prefecture of Larissa, in the Region of Thessaly, in Greece.

The object of this thesis is to find the changes in land uses and crop coverage in the specific hydrological basin over the years. However, the aim of the study is to estimate the effect of changes in the final flood runoff of the river. The thesis was completed under the supervision of Mrs. Farsirotou Evangelia, Dr. Civil Engineer and professor at the University of Thessaly, but also from the guidance of Mr. Xafoulis Nikolaos.

In this paper, the software programs used for its implementation are presented, more specifically ESRI's ArcGIS-Pro and the US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center's, HEC-HMS. With the application of the hydrological model from HEC-HMS, the hydrological runoff of the studied basin and the simulation of its hydrological network, for the changes of uses over the years, are estimated. However, from ArcGIS-Pro, the characteristics of the hydrological basin of the Bourboulithra river are studied, while precipitation and runoff calculation methods are applied, through the simulation of hydrographs and hyetographs of the Soil Conservation Service - S.C.S.

The study area is the hydrological basin of the Bourboulithra watercourse, which is divided into 6 sub-basins. The determination of the geomorphological and hydrological characteristics of the area formed the basis for the necessary calculations of the land slopes, altitudes, the lengths of the streams and the hydrographic network of the area. The digital elevation model (DEM) of the area was used in the application, where through appropriate processing in ArcGIS-Pro the necessary data for the simulation were extracted.

A main chapter of the study is the land uses located in the catchment area, where the various land covers that prevail in the area are presented. Also, the parameters that influence the values of the S.C.S. land cover CN curve number, which are necessary for the hydrological model, were examined. In addition, a detailed description of the equations and coefficients used in the process of finding the flood runoff was made.

Based on all the above data, the hydrological simulation was finally done for the sub-basins, for each year of the study. In the HEC-HMS software, the rainfall data were imported by the appropriate graphs and with the help of the hydrographic design, based on the IDF rainfall curves for specific return periods. In more detail, 18 hyetographs were constructed, for return periods of 50, 100 and 1,000 years for a 24-hour rainfall duration.

Finally, after all the calculations, the desired results of finding the flood supply resulting from the Bourboulithra river, for the years 2012, 2018 and 2020, were obtained. Then, the comparison of the runoff prices followed, for a better analysis and understanding of the effects of land use changes on flood runoff.

Keywords: Land cover, watershed, watercourse, hydrological model, simulation, runoff.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2.1. Αντικείμενο της εργασίας	1
2.2. Σκοπός της εργασίας	2
2.3. Περί πλημμυρών	3
2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τα πλημμυρικά φαινόμενα	6
2.5. Επιπτώσεις των πλημμυρών	7
2.5.1. Επιπτώσεις πλημμυρών στον ανθρώπινο παράγοντα	8
2.5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις πλημμυρών	9
2.5.3. Οικονομικές επιπτώσεις πλημμυρών	10
2.5.4. Επιπτώσεις στον κρατικό προϋπολογισμό	11
2.6. Ιστορικά παραδείγματα πλημμυρών στην Ελλάδα	12
2.7. Πρόληψη και αντιμετώπιση των πλημμυρών	13
2.8. Δεδομένα βροχόπτωσης στην αντιμετώπιση πλημμυρών	15
2.9. Η έννοια των χρήσεων γης	17
3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ	19
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	23
4.1. Θεωρητική περιγραφή του μοντέλου	25
4.2. Απορροϊκός Συντελεστής CN (Curve Number) της Soil Conservation Service S.C.S.	27
4.3. Ένταση Βροχόπτωσης i (mm/h)	28
4.3.1. Χρήση των όμβριων καμπυλών στον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης	29
4.3.2. Αναγωγή της σημειακής έντασης βροχόπτωσης στη λεκάνη σε επιφανειακή	30
4.4. Χρόνος συρροής ή χρόνος συγκέντρωσης t_c (h)	31
4.5. Χρόνος υστέρησης t_{lag} (h)	33
4.6. Σχέσεις ύψους – διάρκειας της έντασης βροχόπτωσης	33
4.7. Μέθοδος υδρογραφήματος Soil Conservation Service S.C.S.	35

4.8. Υετογράφημα Σχεδιασμού – DP Hyetograph	37
5. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	40
5.1. Δημοτικές Ενότητες και πληθυσμός περιοχής	42
5.2. Γεωμορφολογία περιοχής	44
5.2.1. Εδαφικές κλίσεις λεκάνης απορροής	44
5.2.2. Υψομετρική διαβάθμιση λεκάνης απορροής	46
5.3. Υδρολογικά χαρακτηριστικά περιοχής	48
5.3.1. Υπολεκάνες της περιοχής μελέτης	50
5.3.2. Υδρογραφικό Δίκτυο Ρέματος Μπουρμπουλήθρας	52
5.4. Χλωρίδα και Πανίδα περιοχής Δήμου Αγιάς	53
5.4.1. Χλωρίδα - Βλάστηση - Δασικές εκτάσεις περιοχής	53
5.4.2. Πανίδα - Ζωικό Βασίλειο περιοχής	57
5.5. Περιοχές NATURA του Δήμου Αγιάς	60
5.6. Βλάστηση – Καλλιέργειες της περιοχής μελέτης	62
6. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	65
Κάλυψη του εδάφους	65
Πρόγραμμα Copernicus - CORINE Land Cover (CLC)	66
6.1. Χρήσεις Γης στην λεκάνη απορροής του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	67
6.1.1. Χρήσεις Γης υδρολογικής λεκάνης 2012	69
6.1.2. Χρήσεις Γης υδρολογικής λεκάνης 2018	71
6.1.3. Χρήσεις Γης υδρολογικής λεκάνης 2020	72
7. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HEC-HMS.....	75
7.1. Υδρολογική μοντελοποίηση στο λογισμικό HEC-HMS	75
7.2. Περιγραφή της Λεκάνης Απορροής	76
7.3. Μεθοδολογία της υδρολογικής μοντελοποίησης	77
7.4. Μοντελοποίηση των υδρολογικών δεδομένων	78
7.5. Μετεωρολογικό μοντέλο	79
7.6. Υπολογισμός απωλειών με τη μέθοδο CN (Curve Number) της Soil Conservation Service S.C.S.	80
7.7. Υδρολογική Προσομοίωση	82

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	83
8.1. Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	85
8.2. Σταθμισμένη τιμή του Απορροϊκού Συντελεστή SCN εντός της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα	87
8.3. Χρόνος συρροής ή χρόνος συγκέντρωσης t_c (h)	89
8.4. Ένταση Βροχόπτωσης i (mm/h)	90
8.4.1. Διάγραμμα έντασης βροχόπτωσης i (mm/h)	92
8.5. Υετογράφημα Σχεδιασμού – DP Hyetograph	95
8.6. Διαδικασία Υδρολογικής Μοντελοποίησης στο HEC-HMS	99
8.6.1. Μέθοδος Απώλειας – Loss Method	102
8.6.2. Μέθοδος μετασχηματισμού - Transform Method	104
8.6.3. Μέθοδος Διόδευσης Ρεμάτων - Reach Routing Method	105
8.6.4. Εισαγωγή Μετεωρολογικών Δεδομένων - Meteorologic Model	106
8.6.5. Εισαγωγή Δεδομένων Χρονοσειρών - Time-Series Data	107
8.6.6. Προδιαγραφές Ελέγχου - Control Specifications	109
8.6.7. Υδρολογική Προσομοίωση - Hydrologic Simulation	110
Εκτέλεση Προσομοίωσης - Simulation Run	110
8.7. Αποτελέσματα Υδρολογικής Προσομοίωσης	113
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	123
Σύγκριση παροχών των ετών μελέτης 2012-2018-2020	126
Συζήτηση - Ανάλυση συμπερασμάτων	131
Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	133
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134
Ελληνική Βιβλιογραφία	134
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	135
Ηλεκτρονικές Πηγές	140

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ύδατα αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους, που επηρεάζουν την οικονομία, το περιβάλλον και την κοινωνία γενικότερα. Οι υδατικοί πόροι περιλαμβάνουν τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, όπως ποτάμια, λίμνες, αλλά και τους υδροφόρους ορίζοντες στους εδαφικούς σχηματισμούς. Η διαχείριση των υδατικών πόρων, αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα για την επιβίωση και την αειφορία των κοινοτήτων, που απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και εφαρμογή πολυδιάστατων προσεγγίσεων (Φαρσιρώτου Ε., 2023).

Οι πλημμύρες αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς τύπους φυσικών κινδύνων, όσον αφορά τις οικονομικές επιπτώσεις, αλλά και τις ανθρώπινες ζωές. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η διαχείριση των πλημμυρών, που αποτελεί ένα σύνθετο και πολυπαραγοντικό αντικείμενο, που αυξάνει ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον των επιστημόνων. Οι δράσεις που γίνονται στη διαχείριση, περιλαμβάνουν την ανάπτυξη υδρολογικών μοντέλων για πρόβλεψη πλημμύρας, έτσι ώστε να αποφευχθούν αρνητικές συνέπειες, όπως η υποβάθμιση του περιβάλλοντος, υλικές ζημιές, μέχρι και απώλειες ζωών (Παπανικολάου Δ., 2007).

2.1. Αντικείμενο της εργασίας

Κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι ο προσδιορισμός των ακραίων τιμών των υδρολογικών φαινομένων μιας λεκάνης απορροής και συγκεκριμένα του πλημμυρικού όγκου.

Η παρούσα εργασία ακόμη, έχει ως αντικείμενο την προσομοίωση ενός υδρολογικού μοντέλου στη λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα. Η υδρολογική αυτή λεκάνη, έχει συνολικό εμβαδό ίσο με 28,16 km², ενώ παράλληλα, με βάση τα υδατορεύματα που βρίσκονται εντός αυτής, χωρίζεται σε έξι υπολεκάνες.

Το κύριο υδατόρρευμα που τη διαπερνά, ονομάζεται Μπουρμπουλήθρα, που το μήκος του ανέρχεται στα 24,37 km και το σημείο εξόδου του εκβάλλει στα παράλια του Αγιόκαμπου.

Ακόμη, αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η εύρεση των χρήσεων γης που βρίσκονται εντός της συγκεκριμένης λεκάνης. Η περιοχή αυτή, αποτελείται κυρίως από δασικές εκτάσεις πλατύφυλλων, κωνοφόρων και αειθαλών δέντρων, όμως προς τα πεδινά τμήματα υπάρχουν και καλλιεργήσιμα εδάφη με πολλά γεωργικά είδη, αλλά και κατοικήσιμες εκτάσεις και αμμώδεις παραλίες.

Οι χρήσεις γης, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην πλημμυρική παροχή που θα προκύψει από το υδατόρρευμα, κατά την πάροδο των ετών. Έτσι, με την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων αλλά και με τους κατάλληλους υπολογισμούς της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης, θα εξαχθούν τελικά τα απαραίτητα αποτελέσματα πλημμυρικής απορροής, από την υδρολογική προσομοίωση, με τη βοήθεια των λογισμικών προγραμμάτων ArcGIS-Pro και HEC-HMS.

2.2. Σκοπός της εργασίας

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας αυτής, είναι να γίνει κατανοητή η σπουδαιότητα που διαδραματίζει το πρόβλημα των πλημμυρών, όπου ειδικότερα στις μέρες μας, παρατηρείται ότι το θέμα αυτό αφορά τόσο τον κίνδυνο των ζώων, όσο και τον οικονομικό παράγοντα, τη γεωργία και πολλούς ακόμη τομείς.

Ακόμη, κύριο μέρος της παρούσας εργασίας αποτελεί η υδρολογική μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής για τρία έτη βροχόπτωσης που μελετώνται, συγκεκριμένα για τα 2012, 2018 και 2020, ώστε να προκύψει η πλημμυρική παροχή. Για τον υπολογισμό της απορροής, έγινε εφαρμογή των μεθόδων υδρογραφημάτων και υετογραφημάτων, που βασίστηκαν στα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και στο συντελεστή φυτοκάλυψης CN, που δείχνει τους τύπους των χρήσεων γης.

Επιπλέον, ως σκοπός θα χαρακτηριζόταν η εκτέλεση της προσομοίωσης του υδρολογικού μοντέλου, που επιτυγχάνεται με τη σύνδεση των απαραίτητων παραμέτρων του μοντέλου της λεκάνης που προσδιορίζουν τη φυσική ροή του υδατορρεύματος, με τις κατάλληλες προδιαγραφές ελέγχου, τα μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα χρονοσειρών.

Στόχος λοιπόν της εργασίας, είναι να γίνει ο υπολογισμός και η αξιολόγηση των πλημμυρικών παροχών, που θα προκύψουν από την υδρολογική λεκάνη, σύμφωνα με συγκεκριμένες μεθόδους. Επίσης, ως στόχος θα χαρακτηριζόταν η συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων με βάση την πάροδο των ετών και τις εναλλαγές των χρήσεων γης.

2.3. Περί πλημμυρών

Με τον όρο πλημμύρα, νοείται η προσωρινή κάλυψη της επιφάνειας της γης ή μίας υδρολογικής λεκάνης από νερό το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δε θα υπήρχε. Πρόκειται δηλαδή, για την υπερχείλιση ενός υδάτινου σώματος, όπως ενός ποταμού, με αποτέλεσμα το νερό να καλύψει μεγάλες εκτάσεις εδάφους (Φαρσιώτου Ε., 2023).

Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μέρος της φυσικής υδρολογικής διεργασίας. Συμβαίνουν όταν μέρος του υδρογραφικού δικτύου δεν δύναται να αποστραγγίσει τον όγκο των υδάτων που απορρέουν, με αποτέλεσμα αυτό να υπερχειλίζει. Οι πλημμύρες συνήθως αποτελούν φυσικό φαινόμενο, καθώς εξαρτώνται κυρίως από γεωπεριβαλλοντικές μεταβολές. Συχνά όμως, φαινόμενα όπως η κλιματική αλλαγή συσχετίζονται με το ζήτημα των πλημμυρών, καθώς μπορούν να προκληθούν και από την επίδραση ανθρώπινων παρεμβάσεων (Διακάκης Μ., 2012).

Αξίζει να σημειωθεί, πως μια πλημμύρα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξαφνική ή στιγμιαία (Flash Flood), όταν προκληθεί από την ταχεία ανύψωση της στάθμης του νερού, την υπερχείλιση ενός ποταμού ή ορεινών ρεμάτων.

Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της συσσώρευσης έντονων βροχοπτώσεων σε ξηρά ή πολύ κορεσμένα εδάφη, με χαμηλή συνήθως κλίση, σε μικρό χρονικό διάστημα (*Wang and Pagano, 2011*).

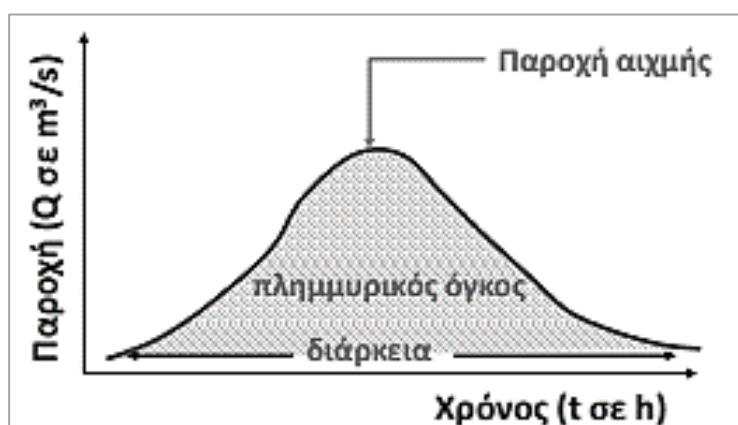
Τα τελευταία χρόνια, οι πλημμύρες αποτελούν ένα από τα πιο καταστροφικά φυσικά φαινόμενα και είναι ένας από τους πιο σοβαρούς κινδύνους που έρχεται αντιμέτωπη η χώρα μας. Οι επιπτώσεις τους στην οικονομία, την κοινωνική ευημερία και το περιβάλλον είναι ήδη τεράστιες. Σε συνδυασμό με την επίδραση που ασκούν και παράλληλα δέχονται από την κλιματική αλλαγή, προκαλείται όξυνση των ζητημάτων που προκύπτουν, καθώς δημιουργούν υψηλό κίνδυνο.

«Όταν η παροχή του νερού σε ένα υδατόρευμα, αυξηθεί σε τέτοια επίπεδα ώστε να ξεπερνά τα φυσικά ή τεχνητά πρηνή, η στάθμη του νερού ανυψώνεται, με αποτέλεσμα τον κατακλυσμό με νερό των γειτονικών περιοχών», αναφέρει η οδηγία 2007/60/EK, ενώ ακόμα αναγράφεται πως η πλημμύρα αναφέρεται στο φυσικό φαινόμενο, που συμβαίνει όταν το έδαφος δεν μπορεί να συγκρατήσει την υπερβολική ή άνευ ελέγχου παρουσία νερού και προκαλείται συνήθως λόγω έντονων βροχοπτώσεων (*Οδηγία 2007/60/EK*).

Ακόμη, σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο, «η Ελλάδα, χαρακτηρίζεται από τραχύ ανάγλυφο, με έντονη εναλλαγή του ορεινού με το πεδινό και το παράκτιο τοπίο, σε πολύ μικρές αποστάσεις και παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα των κατακρημνισμάτων στις περιοχές αυτές, οδεύοντας το νερό από τα ορεινά προς τα πεδινά τμήματα». Αυτό καθιστά τον κίνδυνο επερχόμενης πλημμύρας ακόμη πιο μεγάλο, διότι το νερό μεταφέρεται με μεγαλύτερη ταχύτητα και κατακλύζει περιοχές (*2023*).

Όσον αφορά τον κίνδυνο που μπορεί να προκαλέσει ένα πλημμυρικό φαινόμενο, ορίζεται ως η πιθανότητα να λάβει χώρα μια πλημμύρα, σε συνδυασμό με τις δυνητικά αρνητικές συνέπειες που θα φέρει, που αφορούν την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και τις οικονομικές δραστηριότητες (*Ψιλοβίκος, 2020*).

Σημαντικό σημείο των φαινομένων αυτών, αποτελεί το μέγεθος μιας πλημμύρας, που εκτιμάται συνήθως από τρία βασικά μεγέθη που την χαρακτηρίζουν. Αυτά είναι η παροχή αιχμής ή μέγιστη παροχή Q (m^3/s), ο πλημμυρικός όγκος V (m^3) και η χρονική διάρκεια που συμβαίνει το πλημμυρικό φαινόμενο t (hr) (Φαρσιρώτου Ε., 2023).



Εικόνα 1 : Τα κύρια μεγέθη μιας πλημμύρας
(Λουκάς Α., 2012)

Όπως αναφέρει ο Μαμάσης (2012), «εξίσου σημαντικό ρόλο, για την ποσοτική εκτίμηση μιας πλημμύρας σε μια λεκάνη απορροής παίζουν η στάθμη που θα έχει φτάσει το νερό εντός του υδατορεύματος και το εμβαδόν των εκτάσεων που θα έχουν κατακλυστεί από αυτή. Τα μεγέθη των πλημμυρών που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος λεκάνης απορροής είναι:

- Η βροχόπτωση (συνολικό ύψος, ένταση, διάρκεια)
- Η μορφολογία της λεκάνης απορροής και τα υδρολογικά μεγέθη που πηγάζουν από αυτήν (έκταση, συντελεστής απορροής, χρόνος συρροής)
- Τα υδατορεύματα (διατομή, κλίση, τραχύτητα, κατάντη στάθμες)»

2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τα πλημμυρικά φαινόμενα

Τα αίτια εμφάνισης των πλημμυρών, αφορούν τόσο στην κλιματική αλλαγή όσο και σε φυσικά αίτια, αλλά και σε ανθρώπινες επεμβάσεις. Τα πλημμυρικά φαινόμενα, που αυξάνονται ολοένα και περισσότερο, είναι υπεύθυνα για μεγάλες καταστροφές, απώλειες ζωών, επιδρώντας παράλληλα στην οικονομία, τη γεωργία και τις καλλιέργειες, επομένως και στις επιχειρήσεις (*Bukovskiy M. E. and Semenova A. V., 2019*).

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Τα τελευταία χρόνια, τα πλημμυρικά φαινόμενα έχουν αυξηθεί και αυτό οφείλεται στις έντονες και ραγδαίες βροχοπτώσεις, ειδικότερα όταν εξελίσσονται σε σύντομο χρόνο και έχουν μεγάλη ένταση, οι οποίες έχουν παρουσιαστεί εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής (*Zbigniew W., 2008*).

Πέραν από την κλιματική αλλαγή, πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη τέτοιων γεγονότων, όπως μια πυρκαγιά που έχει προηγηθεί και έχει καταστρέψει τη βλάστηση που υπήρχε, οδηγεί στη μη δυνατότητα συγκράτησης νερού και σε διάβρωση.

Ακόμη, ο ανθρώπινος παράγοντας είναι εξίσου σημαντικός στην συχνότητα αυτών των φαινομένων. Η ανεπάρκεια τεχνικών αντιπλημμυρικών έργων και η λανθασμένη διαχείριση των κοιτών των ποταμών, τα απαραίτητα μέτρα αποκατάστασης που δε γίνονται έγκυρα και οι ευθύνες των κατάλληλων φορέων που δε λαμβάνονται, αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων (*Ψιλοβίκος, 2020*).

Αξίζει να σημειωθεί, πως στα κύρια αίτια εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων επάγονται η αυξημένη παροχή των ποταμών και η μεγάλη επιφανειακή απορροή, λόγω της μεγάλης έντασης και διάρκειας βροχοπτώσεων. Έτσι, μπορεί να αυξηθεί ο συντελεστής απορροής και παράλληλα να μειωθεί ο χρόνος συγκέντρωσης, που έχουν ως αποτέλεσμα την όξυνση του κινδύνου για εμφάνιση πλημμύρας σε μια περιοχή (*Μαμάσης, 2012*).

Επιπλέον, στη δημιουργία μιας πλημμύρας συμβάλουν διάφορες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη διήθηση του εδάφους που συγκρατείται το νερό, του υπόγειους υδροφορείς που απορρέουν το νερό πίσω στο υδατόρρευμα, αλλά και την κατακράτηση νερού από το έδαφος λόγω των ριζών της φυτοκάλυψης (Κωτσόπουλος, 2006).

2.5. Επιπτώσεις των πλημμυρών

Τα ρέματα τροφοδοτούνται από την απορροή της βροχόπτωσης και το λιώσιμο του χιονιού, που κινούνται ως χερσαία ή υπόγεια ροή. Οι πλημμύρες συμβαίνουν όταν μεγάλοι όγκοι απορροής, ρέουν γρήγορα σε ρέματα και ποτάμια.

Η αιχμή της παροχής μιας πλημμύρας, επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η ένταση και η διάρκεια των καταιγίδων και της τήξης του χιονιού, η τοπογραφία και η γεωλογία των λεκανών ρεμάτων, η βλάστηση και οι υδρολογικές συνθήκες που προηγούνται των καταιγίδων και των γεγονότων τήξης χιονιού (Konrad C. P., 2016).

Οι πλημμύρες μπορούν να έχουν σοβαρές και πολυδιάστατες επιπτώσεις, που επηρεάζουν τόσο την ανθρώπινη δραστηριότητα, όσο και το φυσικό και οικονομικό περιβάλλον της περιοχής την οποία πλήττουν, καθιστώντας την αποτελεσματική διαχείρισή τους εξαιρετικά σημαντική.

Όταν πλημμυρικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα, καταστρέφουν σε πολλές περιπτώσεις ανθρώπινες περιουσίες, υποδομές και πολλές φορές προκαλούν και την απώλεια ζωών. Επίσης, το φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής καταστρέφεται εξαιτίας μιας πλημμύρας, καθώς ξεριζώνονται δέντρα και προκαλούνται κατολισθήσεις (Hilsenhoff, W. L., 1996).

Βέβαια, οι επιπτώσεις των πλημμυρών μπορεί να είναι άμεσες αλλά και έμμεσες, δεν είναι απαραίτητο να εμφανιστεί μόνο μια βραχυπρόθεσμη καταστροφή, αλλά μπορεί να εμφανιστούν και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα ζημιών με την πάροδο του χρόνου. Παρακάτω, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των επιπτώσεων των πλημμυρών σε διάφορους τομείς.

2.5.1. Επιπτώσεις πλημμυρών στον ανθρώπινο παράγοντα

Πολλές φορές, όταν συμβαίνουν πλημμύρες σε αστικές περιοχές, μπορούν να προκαλέσουν απώλειες ανθρώπινων ζωών και σοβαρούς τραυματισμούς, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ξαφνικών πλημμυρών. Επίσης, δυσάρεστα γεγονότα όπως θάνατοι ή πνιγμοί, προκαλούνται εξαιτίας των πλημμυρών, με την κατάρρευση κτηρίων αλλά και την ορμητική ταχύτητα του νερού.

Οι συνθήκες κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας πέρα από τα σοβαρά ατυχήματα, μπορούν να διακινδυνεύσουν τη δημόσια υγεία των ανθρώπων. Οι πλημμύρες συνήθως οδηγούν σε μόλυνση των υδάτων που προκαλεί εξάπλωση ασθενειών, αλλά υπάρχει και αυξημένος κίνδυνος εμφάνισης διαφόρων άλλων προβλημάτων υγείας (*Weiwei D. et al., 2012*).

Σημαντικό ζήτημα αποτελεί η πρόσβαση σε καθαρό νερό, καθώς η μόλυνση των υδάτινων πόρων, μπορεί να την περιορίσει. Επιπλέον, τα πλημμυρικά φαινόμενα οδηγούν σε υλικές ζημιές, όπως την καταστροφή πολλών κατοικιών και υποδομών, παραδείγματος χάρη δρόμους, γέφυρες, δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης και άλλες κρίσιμες υποδομές.

Πέραν αυτών, υπάρχει και απώλεια περιουσιών και καταστροφή κτηρίων και έτσι πολλά νοικοκυριά μπορούν να υποστούν σοβαρές ζημιές, οδηγώντας σε σημαντικές οικονομικές απώλειες, ενώ παράλληλα, σοβαρές ζημιές μπορούν να υποστούν και οχήματα που παρασύρονται από τα νερά (*Krzysztof W., 2018*).

Σκόπιμο είναι να αναφερθούν και οι κοινωνικές επιπτώσεις των πλημμυρών που αφορούν των άνθρωπο. Οι πλημμύρες μπορεί να αναγκάσουν τους ανθρώπους να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους και να αναζητήσουν καταφύγιο αλλού. Πιο αναλυτικά, οι κάτοικοι που έμεναν στην πληγείσα περιοχή, μπορεί να οδηγηθούν σε αναγκαστική μετεγκατάσταση, δημιουργώντας προσφυγικές κρίσεις και κοινωνικές εντάσεις, ενώ παράλληλα μπορεί να υπάρξει διαταραχή της κοινωνικής συνοχής.

Ακόμη, οι πλημμύρες μπορεί να διακόψουν τη λειτουργία σχολείων, νοσοκομείων και άλλων κρίσιμων υπηρεσιών, επηρεάζοντας την καθημερινή ζωή των πολιτών. Ορισμένες φορές στη διάρκεια τέτοιων κρίσιμων φαινομένων, παρατηρούνται ψυχολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Οι πληγέντες μπορούν να εμφανίσουν σοβαρά προβλήματα όπως άγχος, κατάθλιψη και μετατραυματικό στρες, από την ταραχή που δημιουργεί ένα πλημμυρικό φαινόμενο (Yu Q., 2022).

2.5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις πλημμυρών

Έπειτα από μια πλημμύρα, επιπτώσεις θα υπάρξουν και στο περιβαλλοντικό τοπίο της περιοχής που επλήγη. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να προκληθούν διάβρωση των εδαφών, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλή κάλυψη βλάστησης, ενώ παράλληλα μπορεί να υποβαθμιστεί η γονιμότητα των γεωργικών εκτάσεων (Montgomery M. et al., 2015).

Τα πλημμυρικά φαινόμενα, μολύνουν τα ύδατα προκαλώντας ρύπανση και μεταφέρουν ρύπους, απόβλητα και τοξικές ουσίες σε ποτάμια, λίμνες και άλλους υδάτινους πόρους. επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα και την ποιότητα του πόσιμου νερού. Ως συνέπεια αυτών, τα υδατορέματα, τα δάση και άλλα φυσικά οικοσυστήματα μπορούν να υποστούν σοβαρές ζημιές (Mohammad A. F., Beytullah E., 2021).

Επιπροσθέτως, μια πλημμύρα μπορεί να διαταράξει και να καταστρέψει τα φυσικά οικοσυστήματα, απειλώντας τη χλωρίδα και την πανίδα. Οι ζωντανοί οργανισμοί που ζούσαν στους υδροβιότοπους της περιοχής, βρίσκονται σε κίνδυνο λόγω των μολυσμένων υδάτων αλλά και από την καταστροφή των φωλιών τους, λόγω του όγκου του νερού. Έτσι αναγκάζονται να μετακινηθούν ή ακόμη σε ακραίες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξει και εξαφάνιση ειδών.

2.5.3. Οικονομικές επιπτώσεις πλημμυρών

Οι πλημμύρες, έχουν αρνητική και σημαντική επίδραση στην οικονομία μιας περιοχής. Αρχικά το κόστος αποκατάστασης των ζημιών που προκαλούνται είναι τεράστιο και απαιτεί σημαντικά, είτε πρόκειται για δημόσιες είτε για ιδιωτικές υποδομές. Με την καταστροφή των υποδομών όπως το οδικό δίκτυο, γέφυρες κ.ά., αλλά και των κατοικιών και άλλων κτηρίων, η μετακίνηση των ανθρώπων από μια περιοχή σε μια άλλη καθίσταται δύσκολη (*Dobrovičová S. et al., 2015*).

Σε περιοχές στις οποίες η κύρια ενασχόληση των κατοίκων είναι ο πρωτογενής τομέας και συγκεκριμένα η γεωργία, η καταστροφή των καλλιεργειών είναι ένα από τα προβλήματα τα οποία δημιουργούνται κατά την διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων. Έτσι, ζημιές προκαλούνται και στη γεωργία και την κτηνοτροφία, αφού οι πλημμύρες μπορούν να καταστρέψουν καλλιέργειες και να πνίξουν ζώα, προκαλώντας σοβαρές απώλειες εισοδήματος για τους αγρότες.

Εκτός από αυτό, το σημαντικότερο πρόβλημα που προκύπτει από τέτοιου είδους φαινόμενα, είναι η καταστροφή του εδάφους. Ένα έδαφος, το οποίο έχει υποστεί ζημιές εξαιτίας πλημμυρικών φαινομένων, χρειάζεται αρκετά χρόνια έτσι ώστε να επανέλθει σε κατάσταση τέτοια ώστε να είναι και πάλι καλλιεργήσιμο (*Chavez C., et al.2019*).

Πέραν από την γεωργία, η αλιεία είναι ακόμη ένας τομέας τον οποίο πλήττουν οι πλημμύρες. Οι νεκροί οργανισμοί, τα απορρίμματα και τα φερτά υλικά, τα οποία μεταφέρονται με τους μεγάλους όγκους νερού σε θάλασσες και λίμνες, προκαλούν ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος. Η κτηνοτροφία επίσης είναι άλλος ένας τομέας ο οποίος επηρεάζεται από πλημμυρικά φαινόμενα, καθώς σε πολλές περιπτώσεις καταστρέφονται κτηνοτροφικές μονάδες, παρασύρονται και πνίγονται ζώα και χάνονται μεγάλες ποσότητες αγαθών τα οποία παράγονται (*Maura A., 2018*).

Οι επιπτώσεις των πλημμυρών στον τουρισμό της χώρας, ο οποίος είναι αρκετά κερδοφόρος για χώρες όπως η Ελλάδα, είναι εξίσου σημαντικές και προκαλούν σοβαρές οικονομικές συνέπειες.

Ακόμη, το κόστος αποκατάστασης των ζημιών επιβαρύνει οικονομικά τις τοπικές κοινότητες, καθώς έχουν απώλεια εσόδων. Οι επιχειρήσεις που βρίσκονται στις πληγείσες περιοχές μπορεί να χάσουν έσοδα λόγω διακοπής της λειτουργίας τους.

Οι πλημμύρες μπορούν να πλήξουν σοβαρά την οικονομία μιας περιοχής, επηρεάζοντας το εμπόριο και τις επενδύσεις. Η καταστροφή των επιχειρήσεων, των τοπικών καταστημάτων εστίασης και διαμονής, αλλά και του φυσικού περιβάλλοντος (ρύπανση των υδάτων, κατεστραμμένα δάση) αποτελούν παράγοντες που απομακρύνουν τους τουρίστες και έτσι πλήττεται η οικονομία του κράτους (*Adeel Z. et al., 2020*).

2.5.4. Επιπτώσεις στον κρατικό προϋπολογισμό

Η πρόληψη πλημμυρικών φαινομένων είναι μια διαδικασία η οποία απαιτεί χρόνο, τεχνογνωσία και μεγάλα χρηματικά ποσά. Για να γίνουν σωστά αντιπλημμυρικά έργα, θα πρέπει να διατεθούν χρήματα τόσο σε εξιδικευμένους επιστήμονες, οι οποίοι θα πραγματοποιήσουν τις τεχνικές μελέτες, όσο και σε εταιρίες οι οποίες θα αναλάβουν την κατασκευή των έργων αυτών.

Το κράτος, εκτός από την οικονομική στήριξη που πρέπει να παρέχει στις πληγείσες περιοχές, έχει την ευθύνη της πρόληψης τέτοιων φαινομένων. Εκτός όμως, από την κατασκευή των αντιπλημμυρικών έργων, θα πρέπει κάθε χρόνο να διατίθενται χρήματα έτσι ώστε να συντηρούνται τα έργα αυτά και να γίνονται οι κατάλληλες επεμβάσεις στις κοίτες των ποταμών, όπως η απομάκρυνση δέντρων και φερτών υλικών (*Sarmiento C., 2006*).

Ένα κράτος πλήττεται οικονομικά, όσον αφορά την καταστροφή των υποδομών και των επικοινωνιών. Οι δρόμοι, οι γέφυρες και οι σιδηροδρομικές γραμμές μπορεί να καταστούν αδιάβατες, διακόπτοντας τις συγκοινωνίες και τις επικοινωνίες, αλλά και τις μεταφορές προϊόντων από μια περιοχή σε μια άλλη. Ακόμη, μπορεί να προκληθεί διακοπή της ηλεκτροδότησης, επηρεάζοντας νοικοκυριά και επιχειρήσεις (*Rudzewicz Z. et al., 2016*).

2.6. Ιστορικά παραδείγματα πλημμυρών στην Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, έχουν παρατηρηθεί συχνά, έντονα πλημμυρικά φαινόμενα με καταστρεπτικές συνέπειες για τις τοπικές κοινωνίες, οι οποίες επλήγησαν από αυτά. Παρακάτω ακολουθεί μια αναφορά στα μεγαλύτερα πλημμυρικά φαινόμενα που συνέβησαν στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια.

- Τον Νοέμβριο του 2017, μετά από έντονη βροχόπτωση, η περιοχή της Μάνδρας Αττικής, ήρθε αντιμέτωπη με σοβαρά πλημμυρικά φαινόμενα, που προκάλεσαν εκτεταμένες ζημιές. Από τον μεγάλο όγκο νερού, μεταφέρθηκαν σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών, καταστράφηκαν υποδομές, οικίες και επιχειρήσεις οι οποίες υπήρχαν στην συγκεκριμένη περιοχή, ενώ κόστισαν και την ζωή σε 24 συνανθρώπους μας (Μαλακοδήμος, 2020).
- Τον Σεπτέμβριο του 2020, η κακοκαιρία «Ιανός», η οποία έπληξε την Μεσόγειο και κυρίως την Ελλάδα, προκάλεσε έντονες πλημμύρες στην περιοχή της Καρδίτσας στη Θεσσαλία. Τα φαινόμενα αυτά, είχαν ως αποτέλεσμα την απώλεια τεσσάρων ανθρώπινων ζωών, την καταστροφή υποδομών (γέφυρες, οδικό δίκτυο), καλλιεργείων και άλλων κτηρίων (Μπέλλος, 2021).
- Μόλις 3 χρόνια αργότερα, τον Σεπτέμβριο του 2023, η περιοχή της Θεσσαλίας, ήρθε αντιμέτωπη και πάλι με έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία προκλήθηκαν από την επέλαση των κακοκαιριών «Daniel» και «Elias». Η περιοχή της Καρδίτσας, της Μαγνησίας, των Τρικάλων αλλά και της Λάρισας, ήταν οι περιοχές οι οποίες επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό. Τα αποτελέσματα των πλημμυρών ήταν η καταστροφή υποδομών, η απώλεια περιουσιών και υπήρξε μεγάλο πλήγμα για την οικονομία της περιοχής, καθώς επίσης, από την σφοδρότητα των φαινομένων η λίμνη Κάρλα, στην οποία υπήρχε έντονη αγροτική δραστηριότητα, έχει καλυφθεί από νερό (Μπαλιακούτα, 2023).

Τα παραπάνω περιστατικά, αποτυπώνουν σε μεγάλο βαθμό την επιρροή των πλημμυρικών φαινομένων, καθώς η καταστροφή των οδικών δικτύων και των υποδομών, των καλλιεργειών, των επιχειρήσεων και των οικιών, έχουν άμεσο αντίκτυπο στην οικονομία των περιοχών.

2.7. Πρόληψη και αντιμετώπιση των πλημμυρών

Όταν προκύπτουν φαινόμενα πλημμυρών σε μια περιοχή, πρέπει να γίνονται προσπάθειες αντιμετώπισης των καταστροφικών συνεπειών τις οποίες θα επιφέρουν. Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίνεται όχι μόνο στην πληγείσα περιοχή, αλλά και στα τμήματα του ποταμού που πλημμύρησε. Για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, απαιτείται μια ολοκληρωμένη στρατηγική, η οποία περιλαμβάνει προληπτικά και κατασταλτικά μέτρα.

Αρχικά, η διαχείριση μια πλημμύρας πρέπει να ξεκινάει από την αντιμετώπιση του προβλήματος που εντοπίζεται στις λεκάνες απορροής των υδατορευμάτων, μέσω μιας ολοκληρωμένης μελέτης και δράσης των αρμόδιων φορέων, για να επέλθουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Πρέπει να γίνεται προστασία των φυσικών περιοχών για την ομαλή διατήρηση των δασών, των υγροτόπων και άλλων φυσικών περιοχών που απορροφούν ποσότητες νερού. Έτσι, μπορεί να γίνει ευκολότερη η διευθέτηση των υδάτων, ενώ παράλληλα προστατεύεται και το φυσικό περιβάλλον (*Liu C. et al., 2018*).

Εξίσου σημαντικό είναι να γίνεται κατάλληλος καθαρισμός των υδάτινων δικτύων, όπως ποταμών, ρεμάτων, καναλιών κ.ά., από διάφορα εμπόδια, όπως κορμούς δέντρων και φερτά υλικά, που θα μπορούσαν να δυσκολέψουν την ομαλή ροή και κίνηση του νερού. Ακόμη, η δεντροφύτευση παίζει μείζον ρόλο στη συγκράτηση του νερού και βοηθά στην πρόληψη για επερχόμενη πλημμύρα. Με την κατάλληλη φυτοκομή κοντά στις κοίτες των ποταμών αλλά και στις κατοικήσιμες περιοχές, ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες υπερχείλισης του νερού, καθώς τα φυτά βοηθούν στη διατήρηση της ισορροπίας του νερού εντός των λεκανών απορροής και καθυστερούν τη ροή των ποταμών, λόγω απορρόφησης νερού (*Colombo A. G., 2002*).

Η έγκαιρη ενημέρωση αποτελεί επίσης έναν τρόπο πρόληψης για μελλοντική αποφυγή τέτοιων φαινομένων. Μερικοί τρόποι επίτευξης σωστής πρόληψης, αποτελούν τα εκπαιδευτικά και ενημερωτικά μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται. Μερικά από τα μέτρα αυτά είναι, η εκπαίδευση των κατοίκων για τις δράσεις που πρέπει να διαβούν σε περίπτωση πλημμύρας, αλλά και η δημιουργία σχεδίων εκκένωσης, για την ασφαλή απομάκρυνση των κατοίκων από τις πληγείσες περιοχές.

Επιπροσθέτως, χρήσιμο θα ήταν να γίνει εγκατάσταση συστημάτων προειδοποίησης, που να έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης των καιρικών συνθηκών και πρόγνωσης του ύψους βροχόπτωσης και έτσι, θα μπορούν να παρέχουν έγκαιρη ενημέρωση του πληθυσμού (*Wise C., 2003*). Πέραν από τα προληπτικά μέτρα, πρέπει να λαμβάνονται και κατασταλτικά μέτρα, που αναφέρονται παρακάτω.

Η διευθέτηση των υδάτων σε περίπτωση επερχόμενης πλημμύρας, αφορά τη σωστή συντήρηση αλλά και τον έλεγχο πολλών παραμέτρων και υποδομών που φέρουν ευθύνη σε τέτοια ζητήματα. Βέβαια, πρέπει να υπάρχει κατάλληλος σχεδιασμός στα συστήματα αποχέτευσης και όμβριων υδάτων. Αρχικά, με την κατάλληλη συντήρηση του υδρολογικού δικτύου μιας περιοχής, μπορούν να διαχειριστούν μεγάλες ποσότητες νερού, ενώ παράλληλα προλαμβάνεται και μειώνεται ο κίνδυνος πλημμυρών.

Έτσι, επιτυγχάνεται η κατάλληλη αποστράγγιση και διασφαλίζεται η αστική περιοχή αλλά και οι υποδομές που είναι επιρρεπείς στον κίνδυνο (*Φαρσιρώτου Ε., 2023*). Βέβαια, το πιο σημαντικό βήμα που αφορά στην πρόληψη τέτοιων φαινομένων είναι τα αντιπλημμυρικά έργα. Τέτοια έργα έχουν σκοπό την διευθέτηση των πλημμυρικών παροχών και την αποθήκευση νερού για την ασφαλή μεταφορά όπου χρειάζεται (*Μαμάσης, 2012*).

Μερικά από τα αντιπλημμυρικά έργα που πρέπει να γίνονται περιλαμβάνουν την κατασκευή :

- Αναχωμάτων, για την προστασία των παράκτιων περιοχών
- Ταμιευτήρων, για τη δημιουργία φραγμάτων για την αποθήκευση υπερβολικής ποσότητας νερού

- Προστατευτικών τοίχων ανάντη της λεκάνης, για την προστασία των κατάντη περιοχών
- Αντλιοστάσια, σε περιοχές υψηλού κινδύνου για άμεση απομάκρυνση του νερού
- Λεκάνες κατάκλισης δίπλα στο υδατόρευμα, για την εκτροπή του νερού
- Δίκτυα όμβριων υδάτων, για την σωστή αποστράγγιση του ευρύτερου δικτύου

Κρίνεται σημαντικό να τονισθεί, πως έπειτα από της ζημιές που θα προκληθούν, πρέπει να γίνει η αποκατάσταση των υποδομών και των κτηρίων, καθώς επίσης και να δοθούν αποζημιώσεων στους πληγέντες και οικονομική βοήθεια για την ανασυγκρότηση της περιοχής. Η συνδυαστική εφαρμογή των παραπάνω μέτρων, μπορεί να βοηθήσει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των πλημμυρών και στη μείωση των καταστροφών που προκαλούν (Mary W., 2001).

2.8. Δεδομένα βροχόπτωσης στην αντιμετώπιση πλημμυρών

Για την εμφάνιση μιας πλημμύρας, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ποσότητα νερού βροχής που ρέει επιφανειακά (Mosley M. P and McKerchar A. I., 1993). Το ποσό αυτό της βροχόπτωσης ονομάζεται επιφανειακή απορροή και περιγράφει τη ροή του νερού, υπό την επίδραση της βαρύτητας, κατά μήκος των φυσικών υδατορευμάτων (Ward R.C. and Robinson M., 1989).

Ότι απομένει από τη βροχόπτωση αν αφαιρεθούν οι απώλειες αποτελεί το περίσσειμα βροχής ή απορροϊκή βροχή. (Τσακίρης, 1995) Συχνά, ο όρος επιφανειακή απορροή, χρησιμοποιείται ως ισοδύναμος του όρου απορροή. (Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, 2016)

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής (ή απορροϊκής βροχής), χρησιμοποιούνταν αρχικά διάφορα μοντέλα στοχαστικής βροχόπτωσης, βασισμένα σε σημειακές διεργασίες, που εισήχθησαν τη δεκαετία του 1980, ήταν πολύ διαδεδομένα και χρήσιμα εργαλεία στην ανάλυση και τη μοντελοποίηση της βροχόπτωσης.

Όμως, είναι γνωστό ότι ορισμένα από τα μοντέλα σημειακής διαδικασίας παρουσιάζουν αδυναμία στο να περιγράψουν τη δομή της βροχόπτωσης (Foufoula E.-Georgiou, 1986).

Αυτά τα προβλήματα μπορεί να προκύψουν από το γεγονός ότι οι παράμετροι του μοντέλου δεν αντιπροσωπεύουν απαραίτητα πραγματικές φυσικές ποσότητες, καθώς εξαρτώνται από τη χρονική κλίμακα που επιλέχθηκε για την προσαρμογή τους (Koutsoyiannis D. et al., 2001).

Ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο, που ονομάζεται μοντέλο υετογράφου (hyetograph), που αποτελεί ένα απλό στοχαστικό μοντέλο κλιμάκωσης των στιγμιαίων εντάσεων βροχοπτώσεων σε κάποια χρονική διάρκεια. Έτσι, από το υετογράφημα αυτό, μπορεί να αναλυθεί η διαφορά της βροχόπτωσης, με ορισμένο χρονικό βήμα και να προκύψει το αντίστοιχο υετογράφημα σχεδιασμού - DP hyetograph, που αναπαριστά τη διαφορά αυτή (Koutsoyiannis D. et al., 2001).

Το συγκεκριμένο μοντέλο του υετογράφου, χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία για την εύρεση της διαφοράς βροχόπτωσης. Στη συνέχεια δημιουργείται το υετογράφημα σχεδιασμού - DP hyetograph και εισάγεται στο κατάλληλο λογισμικό πρόγραμμα, για την υδρολογική προσομοίωση και τον υπολογισμό του πλημμυρικού όγκου.

2.9. Η έννοια των χρήσεων γης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι χρήσεις γης διαδραματίζουν σημαντικό κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Οι χρήσεις γης, αναφέρονται στην κατηγοριοποίηση και διαχείριση της γης, ανάλογα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε αυτή. Συνήθως ο όρος «χρήση γης», συνδέεται με την κάλυψη της γης. Όμως αξίζει να γίνει αναφορά, στο ότι αυτές οι δύο έννοιες δεν ταυτίζονται (*Lillesand and Kiefer, 1994*).

Η κάλυψη της γης, αναφέρεται στο φυσικό υλικό ή στρώμα που καλύπτει την επιφάνεια της γης, συμπεριλαμβανομένων τόσο των φυσικών όσο και των ανθρωπογενών χαρακτηριστικών που εμφανίζονται στην επιφάνεια του εδάφους. Είναι δηλαδή είναι η φυσική περιγραφή της επιφάνειας, των υλικών που υπάρχουν στο έδαφος, όπως δέντρα-βλάστηση, χώμα, νερό κ.ά.

Από την άλλη, η χρήση γης, σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τη γη, περιγράφει δηλαδή την δραστηριότητα των ανθρώπων που συμβαίνει σε μια συγκεκριμένη έκταση εδάφους, όπως η γεωργία, η αστική ανάπτυξη, η βιομηχανία, οι καλλιέργειες (*Sabins, 1997*).

Οι χρήσεις γης, μπορούν να ταξινομηθούν σε πολλές και διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα τις ανάγκες της περιοχής, την τοπογραφία και τη γεωμορφολογία, ενώ οι κύριες από αυτές κατατάσσονται ως εξής :

- Εμπορική χρήση
- Βιομηχανική χρήση
- Γεωργική χρήση – Καλλιέργειες
- Κτηνοτροφική χρήση
- Δασική χρήση
- Μεταφορική χρήση (*Copernicus, CORINE Land Cover*).

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί, πως οι χρήσεις γης δεν παραμένουν αναλλοίωτες στο χρόνο. Με την πάροδο των ετών, συμβαίνουν πολλές αλλαγές στις χρήσεις γης μιας περιοχής και ως αποτέλεσμα και στο φυσικό περιβάλλον της. Οι αλλαγές αυτές, οφείλονται σε δύο κύριες αιτίες, είτε στις φυσικές καταστροφές, είτε στις ανθρώπινες παρεμβάσεις (*Michael A. Wulder et al., 2018*).

Έτσι, η παρούσα εργασία σκοπεύει στη διερεύνηση των αλλαγών των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης και ως απόρροια, στις συνέπειες που θα προκύψουν στην πλημμυρική παροχή του υδατορρεύματος που εξετάζεται.

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ

Υπάρχουν πολλές μελέτες και έρευνες, επιστημονικά τεκμηριωμένες, που έχουν ασχοληθεί με το παρόν θέμα, όπως αυτές των Διακάκη Μ. (2012), Ψιλοβίκου Α. (2020,2023), Λουκά Α. (2012) και του που αναφέρουν πως οι πλημμύρες πρόκειται για την υπερχειλίση ενός υδάτινου σώματος, που γίνεται λόγω φυσικών διεργασιών όμως, φαινόμενα όπως η κλιματική αλλαγή και η επίδραση ανθρώπινων παρεμβάσεων δημιουργούν υψηλό κίνδυνο και φέρουν δυνητικά αρνητικές συνέπειες. Ακόμη, οι Φαρσιρώτου Ε. (2023) και Μαμάσης (2012), υπογραμμίζουν πως το μέγεθος μιας πλημμύρας, εκτιμάται συνήθως από τρία βασικά μεγέθη που έχουν σημαντικό ρόλο, για την ποσοτική εκτίμησή της.

Συμπληρωματικά με τις παραπάνω μελέτες, ο Παπανικολάου Δ. (2007), έρχεται να προσθέσει πως οι δράσεις που γίνονται στη διαχείριση μιας πλημμύρας έχουν ιδιαίτερη σημασία και οι Wang and Pagano (2011) αναφέρονται στην ξαφνική ή στιγμιαία πλημμύρα (Flash Flood). Δεν είναι λίγες οι έρευνες που αναφέρονται στους παράγοντες που επηρεάζουν τα πλημμυρικά φαινόμενα, όπως αυτές των Bukovskiy M. E. and Semenova A. V. (2019), Zbigniew W. (2008), Ψιλοβίκος Α. (2020), Κωτσόπουλος Σ. (2006).

Οι Konrad C. P. (2016) και Hilsenhoff W. L. (1996), είναι οι κύριοι συγγραφείς που επικεντρώνονται στις επιπτώσεις των πλημμυρών και πιο αναλυτικά οι Weiwei D. et al. (2012), Krzysztof W. (2018) και Yu Q. (2022), αναφέρονται στις επιπτώσεις στον ανθρώπινο παράγοντα. Παράλληλα, οι Montgomery M. et al. (2015) και Mohammad A. F. & Beytullah E. (2021), αναλύουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ πολλοί ακόμη συγγραφείς επεξηγούν τις συνέπειες των πλημμυρών στον οικονομικό και κρατικό τομέα.

Ακόμη, οι Μαλακοδήμος (2020), Μπέλλος (2021) και Μπαλιακούτα (2023), ενημερώνουν για τα πιο πρόσφατα Ιστορικά παραδείγματα πλημμυρών στην Ελλάδα, καθώς επίσης οι Liu C. et al. (2018), Colombo A. G. (2002), Mary W. (2001), δίνουν μεγαλύτερη αναφορά για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των πλημμυρών.

Είναι απαραίτητο να τονισθεί πως για την εμφάνιση μιας πλημμύρας, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ποσότητα νερού βροχής που ρέει επιφανειακά. Σύμφωνα με τους Mosley M. P and McKerchar A. I. (1993) και Ward R.C. and Robinson M. (1989), η βροχόπτωση αποτελεί κύριο δεδομένο για την εύρεση της πλημμυρικής παροχής, ενώ οι Τσακίρης (1995) και Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ. (2016), αναφέρουν πως υπολογίζονται και οι απώλειες.

Παράλληλα η Foufoula E.-Georgiou (1986) κάνει αναφορά στα μοντέλα στοχαστικής βροχόπτωσης, όμως παρουσιάζουν αδυναμία και έτσι δημιουργήθηκε ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο, το μοντέλο υετογράφου (hyetograph) που μπορεί να αναλύει τη διαφορά βροχόπτωσης (Koutsoyiannis D. et al., 2001).

Εισαγωγή στο κεφάλαιο των χρήσεων γης κάνουν οι Lillesand and Kiefer (1994) και Sabins (1997), που αναφέρουν τη διαφορά ανάμεσα στις χρήσεις και στις καλύψεις της γης, ενώ οι Michael A. Wulder et al. (2018), τονίζουν πως οι χρήσεις γης δεν παραμένουν αναλλοίωτες και οφείλονται είτε σε φυσικές καταστροφές, είτε στις ανθρώπινες παρεμβάσεις.

Στη συνέχεια, στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε οι Κωτσόπουλος Σ. (2006), Richard H. (2009), Allen T. (1991) και Chow, V. T. et al. (1998), δίνουν πληροφορίες για τον υπολογισμό του Απορροϊκού Συντελεστή CN. Παράλληλα οι Τσακίρης (2009), Alavinia M. et al. (2019), Σακκάς (2007), αναφέρονται στην Ένταση Βροχόπτωσης i (mm/h) και οι Babajimopoulos C. et al. (1997) εξηγούν τον τρόπο αναγωγής της σημειακής έντασης βροχόπτωσης σε επιφανειακή, σύμφωνα με εξισώσεις από το ΥΠΕΝ.

Σημαντικό βήμα για την εύρεση της βροχόπτωσης αποτελεί ο υπολογισμός του χρόνου συρροής *tc*, όπου οι Τσακίρης (1995), Κωτσόπουλος (2023) και Chow V. T. (1964) αναλύουν τον τρόπο σύμφωνα με την εξίσωση του Giandotti. Βέβαια, κρίνεται απαραίτητο να τονισθεί πως ο Παπαμιχαήλ (2001) επισημαίνει πως, ο χρόνος υστέρησης *tlag*, είναι σημαντικό βήμα της μεθοδολογίας και είναι ανάλογος το χρόνο συγκέντρωσης. Τελικά, η διαφορά βροχόπτωσης, βρίσκεται με τη μέθοδο υδρογραφήματος της Soil Conservation Service S.C.S. και δημιουργείται το Υετογράφημα Σχεδιασμού – DP Hyetograph (Κωτσόπουλος, 2006).

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης, βιβλιογραφικές πηγές αποτέλεσαν ο Δήμος Αγιάς, το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Αγιάς 2012-2014 και Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού – ΓΥΣ, από όπου πάρθηκαν πληροφορίες για τις δημοτικές ενότητες και τον πληθυσμό, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά αλλά και για τη χλωρίδα και πανίδα της περιοχής. Όλα τα δεδομένα και χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα (όπως η γεωμορφολογία, η υψομετρική διαβάθμιση, οι υπολεκάνες, το υδρογραφικό δίκτυο, βλάστηση), σχεδιάστηκαν έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία στο λογισμικό ArcGIS-Pro.

Κύρια ενότητα της παρούσας εργασίας αποτελούν οι χρήσεις γης, όπου οι Reenberg A. et al. (2007), υπογραμμίζουν ότι οι χρήσεις γης είναι σημαντικές για τον χαρακτηρισμό τόσο της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, όσο και αυτής των ζωντανών οργανισμών, ενώ ο Tracewski L. (2017) αναφέρει πως χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες.

Ακόμη, η διαχείρισή τους είναι κρίσιμη ώστε να γίνεται σωστή ενημέρωση και προληπτικός έλεγχος για θέματα πλημμυρών (Townshend J. R. et al., 2012). Η παρακολούθηση και η ανάλυση τους, παίζει ισχυρό ρόλο στην κατανόηση των περιβαλλοντικών αλλαγών, αναφέρουν οι Michael A. Wulder et al. (2018). Κύρια πηγή λήψης πληροφοριών για τις χρήσεις γης, αποτελεί το πρόγραμμα Copernicus, το οποίο παρέχει δεδομένα για τον έλεγχο και την αξιολόγηση τους, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την ανάλυση των αλλαγών των χρήσεων γης με την πάροδο των ετών (Grekousis, G. et al., 2015).

Οι χρήσεις γης που υπάρχουν σε κάθε υπολεκάνη της παρούσας μελέτης, ψηφιοποιήθηκαν στο λογισμικό ArcGIS-Pro και στη συνέχεια ακολούθησε η υδρολογική μοντελοποίηση για την εύρεση της παροχής, στο μοντέλο του HEC-HMS. τα υδρολογικά μοντέλα, δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού των χαρακτηριστικών της λεκάνης και προσομοιώνουν τις πλήρεις υδρολογικές διεργασίες των συστημάτων της (*US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center και Μαμάσης, 2012*).

Τέλος, η Φαρσιρώτου Ε. (2024), σημειώνει τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζονται για την διαδικασία της υδρολογικής μοντελοποίησης της λεκάνης απορροής και έπειτα γίνεται η μεθοδολογία της εκτέλεσης της προσομοίωσης, ώστε να προκύψει ο επιθυμητός πλημμυρικός όγκος. Εν κατακλείδι, είναι πολλές ακόμη οι έρευνες, μελέτες, συγγραφές και άρθρα, ασχολούνται με το ζήτημα των πλημμυρικών παροχών και το πως αυτές επηρεάζονται από τις εναλλαγές των χρήσεων γης.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

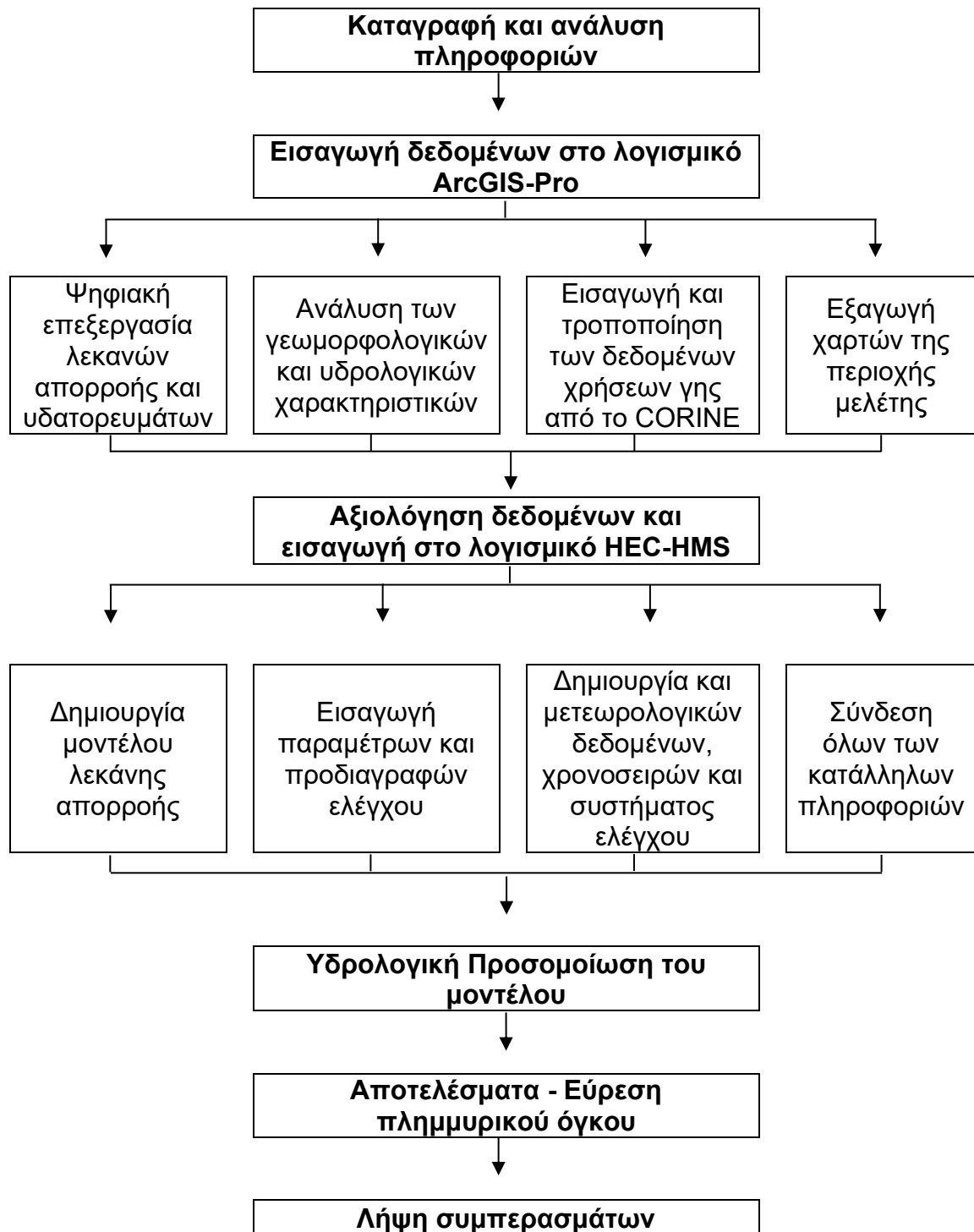
Η παρούσα εργασία εκπονείται στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων». Για τη συγγραφή, γίνεται ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφική έρευνα, που αφορά στην εναλλαγή των χρήσεων γης, καθώς επίσης και στο πως αυτές επηρεάζουν την πλημμυρική παροχή.

Ειδικότερα, εξετάζονται οι χρήσεις γης που υπάρχουν στη λεκάνη απορροής της συγκεκριμένης μελέτης, ενώ παράλληλα διερευνάται και το πως αυτές μεταβάλλονται με την πάροδο των ετών. Στη συνέχεια, γίνεται καταγραφή πληροφοριών από τις βιβλιογραφικές πηγές και αξιολόγηση των δεδομένων που συγκεντρώνονται, που αφορούν στην εύρεση του πλημμυρικού όγκου.

Πιο αναλυτικά, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία, αφορά τη διερεύνηση των αλλαγών που παρουσιάζονται στις χρήσεις γης αλλά και στις καλλιέργειες, σε παρόχθιες πλημμυρικές περιοχές, συγκεκριμένα στη λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα του Δήμου Αγιάς στο Νομό Λάρισας.

Ακόμη, στη μεθοδολογία περιλαμβάνεται η εύρεση της επίδρασης που έχουν οι αλλαγές αυτές, στην πλημμυρική απορροή του ποταμού. Η έρευνα εκπονήθηκε για τα έτη 2012, 2018 και 2020, για τα οποία υπάρχουν δεδομένα για τις χρήσεις γης, μέσω του Copernicus, του Ελληνικού Κτηματολογίου και από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Τέλος, με βάση τις επιστημονικές αναφορές και τα άρθρα που χρησιμοποιούνται, γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που ακολουθούνται από παράταξη των αντίστοιχων εικόνων και πινάκων, ενώ παρουσιάζονται και τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Παρακάτω παριστάνεται ένα λογικό διάγραμμα που ακολουθήθηκε για τη συγγραφή της εργασίας.



Σχήμα 1 : Λογικό διάγραμμα ροής των βημάτων που ακολουθήθηκαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας.

4.1. Θεωρητική περιγραφή του μοντέλου

Για τη μελέτη αυτή και την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διατριβής, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ArcGIS-Pro και το λογισμικό πρόγραμμα HEC-HMS. Με τη βοήθειά τους, έγινε η εκτίμηση των όλων των απαραίτητων παραμέτρων, καθώς και η μοντελοποίηση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, ώστε να προκύψουν οι αναμενόμενες παροχές.

Αναλυτικότερα, μέσω του ArcGIS-Pro, δίνεται η δυνατότητα να προετοιμαστούν τα απαραίτητα δεδομένα, που είναι χρήσιμα για τη διαδικασία της υδρολογικής προσομοίωσης της παρούσας υδρολογικής λεκάνης, που στη συνέχεια θα εισαχθούν στο μοντέλο HEC-HMS.

Αρχικά, στο λογισμικό του ArcGIS-Pro, χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) με υψηλή ανάλυση 5m από το Ελληνικό Κτηματολόγιο. Από το μοντέλο αυτό και με τη βοήθεια των ισοϋψών καμπυλών με ισοδιάσταση 10 m, έγινε η χάραξη της λεκάνης απορροής. Επιπλέον, έγινε διαχωρισμός σε έξι υπολεκάνες και η ψηφιοποίηση του κύριου υδατορρεύματος – Μπουρμπουλήθρα, αλλά και των δευτερευόντων ρεμάτων εντός του υδροκρίτη.

Στη συνέχεια, από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), ανακτήθηκαν τα δεδομένα των λεκανών και των ρεμάτων, όπως η έκτασή τους – εμβαδά (km^2), τα υψόμετρα (m) καθώς και τα μήκη των ποταμών (km) της κάθε υπολεκάνης. Αφού υπολογίστηκαν οι τιμές αυτές, προστέθηκαν τα αρχεία των χρήσεων γης από το CORINE Land Cover 2018 και 2012, αλλά και από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, για την καλύτερη εξακρίβωση και σύγκριση των πληροφοριών.

Πέρα από αυτά τα αρχεία, έγινε ψηφιοποίηση των χρήσεων γης εντός των λεκανών απορροής, με υπόβαθρο το χάρτη Imagery Hybrid που περιλαμβάνει το ArcGIS-Pro και με βάση την εικόνα της περιοχής από το Google Earth.

Για τον χαρακτηρισμό των χρήσεων γης και την εύρεση του απορροϊκού συντελεστή CN, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος εδάφους C, που η επιλογή αυτή στηρίχθηκε σε βιβλιογραφικά δεδομένα.

Έτσι, προέκυψαν ο χαρακτηρισμός των χρήσεων κατά CORINE, το ποσοστό κάλυψης, η έκταση και οι τιμές του απορροϊκού συντελεστή CN για κάθε υπό λεκάνη. Μετά από την αποτύπωση των χρήσεων γης και την ανάκτηση των παραπάνω δεδομένων, έγινε η προετοιμασία για την υδρολογική μοντελοποίηση στο λογισμικό πρόγραμμα HEC-HMS.

Πρώτα, έγινε η εκτίμηση της έντασης βροχόπτωσης i (mm/h) για τις περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1.00 έτη, με βάση τις παραμέτρους που πάρθηκαν από τις όμβριες καμπύλες και το συντελεστή επιφανειακής απορροής ϕ . Έπειτα, έγινε μετατροπή της έντασης βροχόπτωσης σε ύψος βροχής P (mm) και διαφορά ύψους βροχής DP (mm) σε χρονικό βήμα μιας ημέρας, ώστε να προκύψει το υετογράφημα σχεδιασμού DP Hyetograph (mm),

Ακολούθησε η υδρολογική μοντελοποίηση στο λογισμικό HEC-HMS. Πιο συγκεκριμένα, έγινε εξαγωγή τριών αρχείων εισόδου για το HEC-HMS, το αρχείο του μοντέλου της λεκάνης (Basin Model), το αρχείο στο οποίο οπτικοποιούνται οι υπολεκάνες απορροής και το αρχείο με τα υδατορεύματα της κάθε υπό μελέτη λεκάνης, αλλά και το κύριο υδατόρρευμα.

Το μοντέλο της λεκάνης απορροής, δημιουργήθηκε εισάγοντας τα αρχεία των υπολεκανών και των υδατορευμάτων και στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν οι κλάδοι (reaches), οι συμβολές (junctions) και οι εκβολές (sink-outlet). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το σκαρίφημα της φυσικής ροής, που πηγάζει από τα ανάντη προς τα κατόντη μέσω του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών, που μεταφέρεται τελικά στην έξοδο της λεκάνης.

Τέλος, επιλέγοντας τις κατάλληλες μεθόδους, εισάγοντας τα χαρακτηριστικά των λεκανών και τις απαραίτητες παραμέτρους από τα δεδομένα των χρήσεων γης και των υετογραφημάτων στο HEC-HMS, μπορεί να γίνει η προσομοίωση της ροής.

Παράλληλα, δημιουργήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα, χρονοσειρές και ένα σύστημα ελέγχου, όπου συνδέοντας όλα αυτά μεταξύ τους, προκύπτει η πλημμυρική απορροή – μέγιστη παροχή σε κάθε τμήμα.

Η ίδια διαδικασία εύρεσης του πλημμυρικού όγκου, ακολουθείται για τα έτη 2012, 2018 και 2020, όπου υπάρχει μεταβολή στις χρήσεις γης και ακόμη εκτελείται για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς ($T = 50, 100$ και 1.00 έτη). Εν κατακλείδι, από την ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων, λαμβάνονται σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν την επίδραση των αλλαγών των χρήσεων γης στην πλημμυρική παροχή.

4.2. Απορροϊκός Συντελεστής CN (Curve Number) της Soil Conservation Service S.C.S.

Σε μια λεκάνη απορροής, μπορούν να εντοπιστούν διάφορες χρήσεις γης. Οι χρήσεις αυτές, δείχνουν την φυτοκάλυψη που υπάρχει σε μια περιοχή και πως αυτές χρησιμοποιούνται. Καλύπτουν μια ευρεία ποικιλία κάλυψης της γης που περιλαμβάνουν πολλές κατηγορίες δασών, καλλιεργειών, ανθρωπογενών ενεργειών κ.ά.

Ακόμα, κάθε μια από αυτές, χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό CN. Ο απορροϊκός συντελεστής CN φανερώνει τον τύπο εδάφους, ανάλογα με την υγρασιακή κατάσταση που επικρατεί σε μια περιοχή που καλύπτεται από συγκεκριμένες χρήσεις γης (*Κωτσόπουλος, 2006*).

Η σύλληψη των τιμών CN μιας υδρολογικής λεκάνης γίνεται με βάση το έδαφος, την κάλυψη και τη χρήση γης. Ανάλογα λοιπόν με τις χρήσεις γης, υπολογίζονται οι αριθμοί των καμπυλών, οι τιμές του απορροϊκού συντελεστή CN της S.C.S., που σχετίζονται με την προηγούμενη συνθήκη υγρασίας τύπου II (AMC-II), δηλαδή με τον τύπο εδάφους (*Richard H., 2009*).

Η διαδικασία αριθμού καμπύλης (CN - Curve Number) της S.C.S. περιλαμβάνει υπολογισμούς της συνθήκης AMC-II, δηλαδή τη φυσική σημασία της μέγιστης δυνητικής κατάστασης των χρήσεων γης. Ακόμη, μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές των συντελεστών για τύπο εδάφους III (AMC-III), που αντιπροσωπεύουν τις ακραίες συνθήκες των χρήσεων γης (*Allen T., 1991*).

Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες από μια χρήση γης ή τύποι εδάφους στην υδρολογική λεκάνη, τότε θα πρέπει και για τον CN να λαμβάνεται υπόψη η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή CNc ή ΣCN, που δίνεται από τον παρακάτω τύπο: (Κωτσόπουλος, 2006)

$$CNc = \frac{\sum CNi * Ei}{\sum Ei} = \sum_{i=1}^n CNi * ei$$

Εξίσωση 1 : Εξίσωση για τη σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή CNc-ΣCN

Ο απορροϊκός συντελεστής CN αλλάζει, όταν αλλάζει και η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους. Έτσι, χρησιμοποιούνται εξισώσεις μετατροπής του απορροϊκού συντελεστή CN(II) της SCS σε CN(III) (Chow, V. T. et al., 1998).

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)}$$

Εξίσωση 2 : Εξίσωση μετατροπής του απορροϊκού συντελεστή (II) της SCS σε (III)

4.3. Ένταση Βροχόπτωσης i (mm/h)

Ως ένταση βροχόπτωσης i (mm/h), ορίζεται ο λόγος της προσπίπτουσας βροχής, (ύψος βροχής), προς ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Δηλαδή, πόση βροχή έπεσε σε μια υδρολογική λεκάνη σε συγκεκριμένο χρόνο και αναφέρεται σε ορισμένη περίοδο επαναφοράς T (Κωτσόπουλος, 2006).

Είναι τεκμηριωμένο, ότι η ένταση με την οποία πέφτει μια ποσότητα βροχής στο έδαφος, σχετίζεται με το βροχομετρικό ύψος και με το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η προσπίπτουσα βροχή με μεταφερθεί στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης (Τσακίρης, 2009).

Επιπλέον, η βροχόπτωση αντιπροσωπεύει την κατανομή σταγόνων διαφορετικού μεγέθους, που επιτυγχάνουν με διαφορετικές τερματικές ταχύτητες, που πέφτουν σε μια συγκεκριμένη έκταση εδάφους. Ακόμη, η ένταση βροχόπτωσης εκφράζεται με δείκτες χρονικής περιόδου, που αναφέρονται στην περίοδο επαναφοράς T (Alavinia M. et al., 2019).

Η περίοδος επαναφοράς T , εκφράζεται σε έτη και ορίζεται ως το μέσο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών εμφανίσεων του ίδιου υδρολογικού μεγέθους. Ακόμη, αναφέρεται κυρίως σε τιμές μεγίστου, δηλαδή το ίδιο φαινόμενο μπορεί να συμβεί και σε μεγαλύτερο μέγεθος από την προηγούμενη εμφάνισή του (Σακκάς, 2007).

4.3.1. Χρήση των όμβριων καμπυλών στον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης

Στην υδρολογία, η ένταση της βροχόπτωσης i σχετίζεται με την διάρκεια βροχής και την περίοδο επαναφοράς T . +Στη συγκεκριμένη διατριβή, η ένταση βροχόπτωσης, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο, που δίνεται από τις όμβριες καμπύλες που ορίζει το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

$$i = \lambda * \frac{(T/\beta)^{\xi} - 1}{(1 + k/\alpha)^{\eta}}$$

Εξίσωση 3 : Εξίσωση έντασης βροχόπτωσης i (mm/h)

Όπου:

- i , η ένταση βροχόπτωσης i (mm/h)
- λ , η παράμετρος κλίμακας
- T , η περίοδος επαναφοράς σε έτη
- β , η παράμετρος θέσης
- ξ , παράμετρος σχήματος

- k , ο χρόνος συρροής t_c σε ώρες (h)
- α και η , οι παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας

Αρχικά, γίνεται επιλογή του βροχομετρικού σταθμού που βρίσκεται κοντά στη λεκάνη ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα, αντλήθηκαν δεδομένα από το βροχομετρικό σταθμό που βρίσκεται στην περιοχή Σωτήριο, που ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (GR08), από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ, 2007/60/ΕΚ).

Ακόμη, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro, δημιουργήθηκε κατάλληλο αρχείο (shapefile), από το οποίο υπολογίστηκαν οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών και έτσι, προέκυψε η ένταση βροχόπτωσης (mm/h) για την επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς (T) σε έτη και την επιλεγμένη διάρκεια (χρόνος συρροής t_c) σε h.

4.3.2. Αναγωγή της σημειακής έντασης βροχόπτωσης στη λεκάνη σε επιφανειακή

Παραπάνω, έγινε ανάλυση του υπολογισμού της σημειακής έντασης βροχόπτωσης σε κάθε υπολεκάνη. Όμως, είναι απαραίτητο η ένταση της βροχής να μετατραπεί σε επιφανειακή i' (mm/h), ώστε να προκύψει η τελική επιφανειακή απορροή– απορροϊκή παροχή της λεκάνης (Babajimopoulos, C. *et al.*, 1997).

Για το λόγω αυτό, το σημειακό ύψος βροχής, ανάγεται σε επιφανειακό, μέσω της παρακάτω σχέσης, με την χρήση του συντελεστή επιφανειακής απομείωσης (συντελεστής επιφανειακής απορροής) φ , που εξαρτάται από το εμβαδό μιας λεκάνης απορροής και το χρόνο συρροής t_c (ΥΠΕΝ, 2007/60/ΕΚ).

$$\varphi = \max \left\{ 1 - \frac{0.048A^{0.36-0.01\ln A}}{k^{0.35}}, 0.25 \right\}$$

Εξίσωση 4 : Εξίσωση του συντελεστή επιφανειακής απομείωσης φ
(συντελεστής επιφανειακής απορροής)

Όπου :

- A, το εμβαδό της λεκάνης σε km²
- k, ο χρόνος συρροής tc σε ώρες (h)

Τελικά, η επιφανειακή ένταση της βροχόπτωσης, αποτελεί γινόμενο της σημειακής έντασης επί το συντελεστή φ, δηλαδή ισχύει ότι:

$$i' = i * \varphi \text{ (mm/h)}$$

Εξίσωση 5 : Εξίσωση επιφανειακής έντασης βροχόπτωσης
i' (mm/h)

4.4. Χρόνος συρροής ή χρόνος συγκέντρωσης tc (h)

Για την εύρεση της έντασης βροχόπτωσης i (mm/h) και στην συνέχεια για τον υπολογισμό της πλημμυρικής παροχής Q (m³/s) μιας υδρολογικής λεκάνης, πρέπει αρχικά να υπολογιστεί ο χρόνος συρροής tc (h).

Ο χρόνος συρροής tc (h) (ή χρόνος συγκέντρωσης), μιας λεκάνης απορροής, ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το νερό να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης έως το σημείο εξόδου του κυρίου υδατορρεύματος (απορροή), από τη στιγμή που άρχισε η βροχόπτωση στην λεκάνη (Τσακίρης, 1995).

Σύμφωνα με τον Κωτσόπουλο (2023), «το νερό κατά την κίνησή του μπορεί να ρέει: στην επιφάνεια του εδάφους, σε φυσική κοίτη υδατορρεύματος ή και σε διαμορφωμένη κοίτη. Όταν η διαδρομή του νερού αναφέρεται σε τμήματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. κάλυψη, κλίση εδάφους), τότε ο χρόνος συρροής υπολογίζεται τμηματικά και ο χρόνος ολικής συρροής αποτελείται από το άθροισμα των επιμέρους χρόνων».

Για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης t_c (h), στη περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα βροχής-απορροής, χρησιμοποιούνται διάφορες εμπειρικές σχέσεις (Chow V. T., 1964). Στη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιείται η μέθοδος Giandotti, που ο χρόνος συρροής t_c (h), μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{E} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H - H_0}}$$

Εξίσωση 6 : Εύρεση του χρόνου συρροής t_c (h)
από την εξίσωση του Giandotti

Όπου:

- t_c , ο χρόνος συγκέντρωσης (h)
- E , το εμβαδό της λεκάνης απορροής (km²)
- L , το μήκος της κύριας μισγάγγειας σε (km)
- H , το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m)
- H_0 , το ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (το υψόμετρο εκβολής) (m)

4.5. Χρόνος υστέρησης t_{lag} (h)

Ο χρόνος υστέρησης, ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της βροχόπτωσης και της απορροής. Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι υπολογισμού του τρόπου υστέρησης μιας λεκάνης απορροής, όπως οι εξισώσεις των Chow, Snyder, Watt & Chow, Aron et al., που σχετίζονται με το μήκος του υδατορρεύματος, την κλίση της λεκάνης απορροής, το συντελεστή φυτοκάλυψης CN και άλλες παραμέτρους (Παπαμιχαήλ, 2001).

Στην παρούσα εργασία, ο υπολογισμός του χρόνου υστέρησης, γίνεται με βάση το χρόνο συρροής t_c , σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$t_{lag} = 0.6 * t_c (h)$$

Εξίσωση 7 : Σχέση του χρόνου υστέρησης t_{lag} (h)

4.6. Σχέσεις ύψους – διάρκειας της έντασης βροχόπτωσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ένταση της βροχόπτωσης εκφράζει την ποσότητα της βροχόπτωσης που πέφτει σε μια υδρολογική λεκάνη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι, ισχύει η σχέση:

$$i = P/t (mm/h)$$

Εξίσωση 8 : Σχέση έντασης βροχόπτωσης
 i (mm/h)

Όπου:

- i , η ένταση βροχόπτωσης (mm/h)
- P , το ύψος βροχής (mm)
- t , το χρονικό διάστημα (h)

Έτσι, αν η παραπάνω σχέση επιλυθεί ως προς το ύψος βροχής P , βρίσκεται το ύψος της βροχόπτωσης για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα t .

$$P = i * t \text{ (mm)}$$

Εξίσωση 9 : Σχέση ύψους βροχόπτωσης
 P (mm)

Το P αναφέρεται στο συνολικό ύψος βροχής κατά τη διάρκεια, t , της βροχόπτωσης. Όμως, η ένταση της βροχής, δεν είναι πάντα σημειακή. Όταν η βροχή πέφτει σε μεγάλη επιφάνεια, η ένταση δείχνει τη μεταβολή του βροχομετρικού ύψους σε καθορισμένο χρονικό διάστημα, δηλαδή τη σχέση ύψους - διάρκειας βροχόπτωσης και μπορεί να σχηματιστεί στην παρακάτω εξίσωση:

$$i = DP/Dt \text{ (mm/h)}$$

Εξίσωση 10 : Σχέση ύψους - διάρκειας έντασης βροχόπτωσης
 i (mm/h)

Όπου:

- DP , η διαφορά βροχόπτωσης (mm)
- Dt , το χρονικό διάστημα (h)

Από τις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει ότι η διαφορά της βροχόπτωσης, θα είναι ίση με το γινόμενο της έντασης βροχόπτωσης επί τη χρονική διάρκεια της βροχής.

$$DP = i * Dt \text{ (mm)}$$

Εξίσωση 11 : Σχέση διαφοράς ύψους βροχόπτωσης
 DP (mm)

4.7. Μέθοδος υδρογραφήματος Soil Conservation Service S.C.S.

Ο υπολογισμός της παροχής γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο του υδρογραφήματος της Soil Conservation Service S.C.S., όπου με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου η βροχόπτωση μετασχηματίζεται σε απορροή.

Σύμφωνα με τον Κωτσόπουλο, «η εφαρμογή της μεθόδου συνήθως απαιτεί τη χρήση μιας μόνο παραμέτρου, του αδιάστατου απορροϊκού συντελεστή CN» (2006). Για το σχεδιασμό του υδρογραφήματος και την εύρεση της πλημμυρικής παροχής, είναι απαραίτητο να οριστούν τα παρακάτω δεδομένα:

- Η έκταση της λεκάνης απορροής (km²)
- Ο αριθμός καμπύλης CN
- Οι αρχικές απώλειες (mm)
- Ο χρόνος υστέρησης, lag time (min)

Στη συνέχεια, με βάση τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή μπορεί να υπολογιστεί η απορροϊκή παροχή Q που δίνεται από τον τύπο:

$$Q = \frac{(R - Ia)^2}{R - Ia + S}$$

Εξίσωση 12 : Εξίσωση απορροϊκής παροχής Q (mm)

Όπου :

- Q : η απορροϊκή βροχή (mm)
- R : το ύψος της βροχόπτωσης (mm)
- S : η αποθηκευτικότητα του εδάφους (mm)
- Ia : η αρχική συγκράτηση υγρασίας στο έδαφος - απώλειες (mm)

Η αποθηκευτικότητα του εδάφους S δίνεται από τον τύπο:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Η αρχική συγκράτηση υγρασίας στο έδαφος Ia δίνεται από τον τύπο:

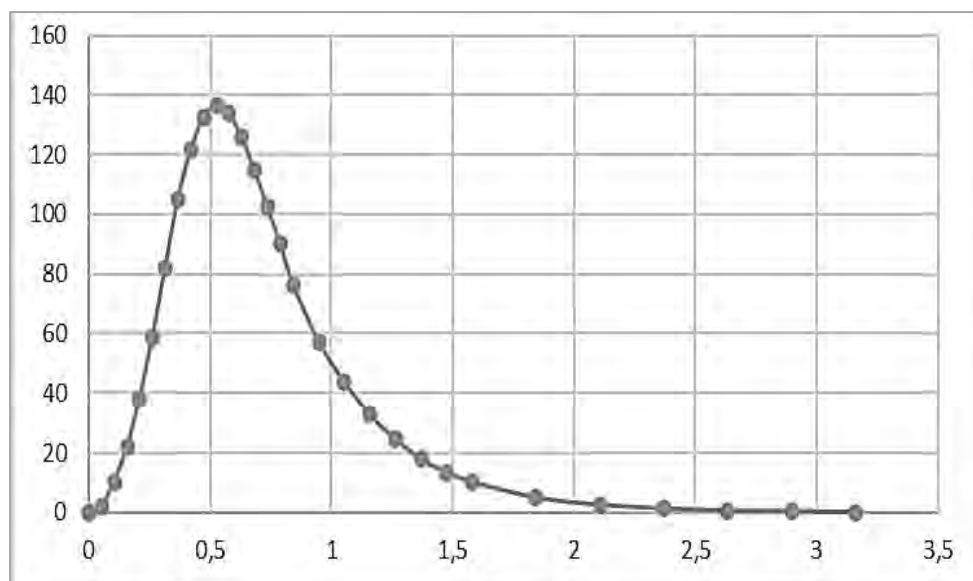
$$Ia = 0.2 \cdot S$$

Το ύψος της βροχόπτωσης R ισούται με την ένταση της βροχόπτωσης i προς το χρόνο της βροχόπτωσης, δηλαδή το χρόνο συγκέντρωσης και ισχύει:

$$R = i \cdot tc$$

Έτσι, με βάση τα παραπάνω, επιλύεται τελικά η εξίσωση της απορροϊκής βροχής, που αποτελεί δηλαδή το ύψος βροχόπτωσης από τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή CN της $S.C.S.$. Αξίζει να σημειωθεί πως για κάθε διαφορετική περίοδο επαναφοράς T , προκύπτει και διαφορετική τιμή απορροϊκής βροχής Q (Κωτσόπουλος, 2006).

Στη συνέχεια σχεδιάζεται το υδρογράφημα μιας λεκάνης, που είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στοιχείο και επιτρέπει τον άμεσο προσδιορισμό της απορροής για οποιαδήποτε βροχόπτωση.



Σχήμα 2 : Μορφή υδρογραφήματος της μεθόδου απορροϊκού συντελεστή CN της S.C.S.

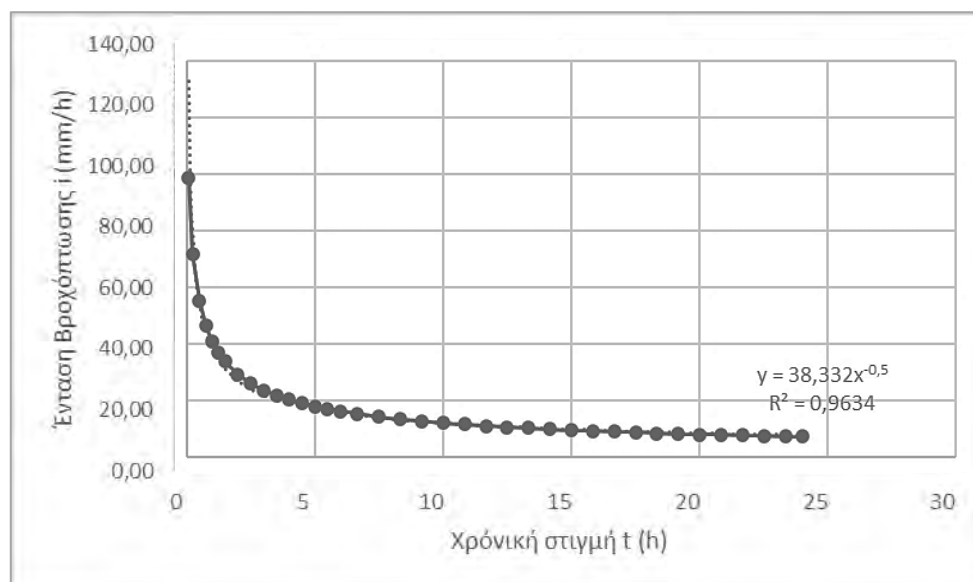
4.8. Υετογράφημα Σχεδιασμού – DP Hyetograph

Στη συγκεκριμένη μελέτη, γίνεται έρευνα για τον πλημμυρικό όγκο της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα. Για την εύρεση της πλημμυρικής απορροής, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί το υετογράφημα σχεδιασμού, όπου δείχνει τη διαφορά της βροχόπτωσης σε χρονικό βήμα εντός ενός εικοσιτετράωρου (24 h).

Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της διαφοράς του ύψους βροχής DP, που πέφτει στην υδρολογική λεκάνη για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια μιας ημέρας.

Για τον υπολογισμό της διαφοράς του υψομετρικού ύψους DP, πρέπει αρχικά να βρεθεί η ένταση που έχει η βροχή σε χρονικό διάστημα 24 ωρών. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης της γραμμής τάσης από το διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί, πως η γραμμή τάσης είναι διαφορετική για κάθε υπολεκάνη και για κάθε περίοδο επαναφοράς. Η εξίσωση αυτή, έχει τη μορφή εκθετικής συνάρτησης: $y = a * x^b$, όπου y η ένταση βροχόπτωσης i (mm/h) και x το χρονικό διάστημα t (h).

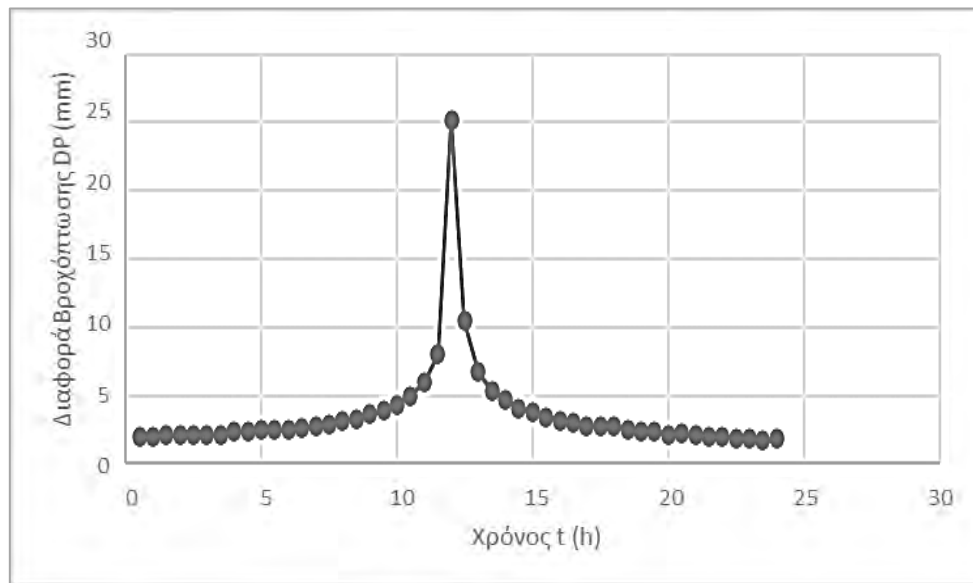


Σχήμα 3 : Διάγραμμα έντασης βροχόπτωσης i (mm/h) για χρονικές στιγμές t (h) εντός 24 h, με την εξίσωση της γραμμής τάσης της μορφής $y=ax^b$

Έτσι, επιλύοντας την εξίσωση της γραμμής τάσης, βρίσκεται η ένταση της βροχόπτωσης για κάθε συγκεκριμένο χρόνο t . Ακόμη, είναι αναγκαίο να υπολογιστεί η επιφανειακή ένταση της βροχής, με βάση το συντελεστή επιφανειακής απορροής ϕ , από την εξίσωση της επιφανειακής έντασης $i' = i * \phi$ (mm/h), όπου αυτή η ένταση θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση του ύψους βροχής P (mm).

Το ύψος της βροχόπτωσης P (mm) λοιπόν, ισούται με το γινόμενο της επιφανειακής έντασης βροχής i' (mm/h), επί συγκεκριμένο χρόνο t που μετατρέπεται σε λεπτά (min). Επομένως, θα προκύψουν διαφορετικά ύψη βροχής P για κάθε διαφορετικό χρόνο σε διάρκεια μιας ημέρας.

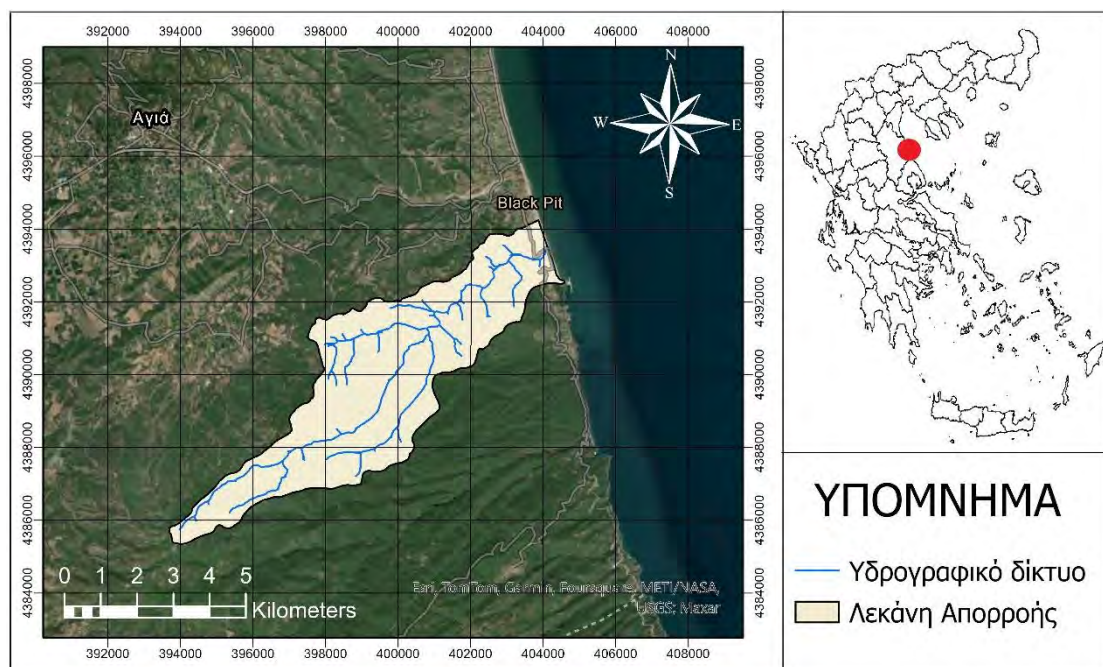
Τελικά, γίνεται ο υπολογισμός της διαφοράς βροχόπτωσης DP (mm), σε χρονικό βήμα 30 λεπτών, εντός ενός 24ωρου και τελικά γίνεται η κατάλληλη ταξινόμηση ώστε να προκύψει το υετογράφημα σχεδιασμού-DP Hyetograph, που παριστάνεται γραφικά με την παρακάτω μορφή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα.



Σχήμα 4 : Διάγραμμα υετογραφήματος που δείχνει τη διαφορά βροχόπτωσης σε χρονικό βήμα εντός 24 h – DP Hyetograph

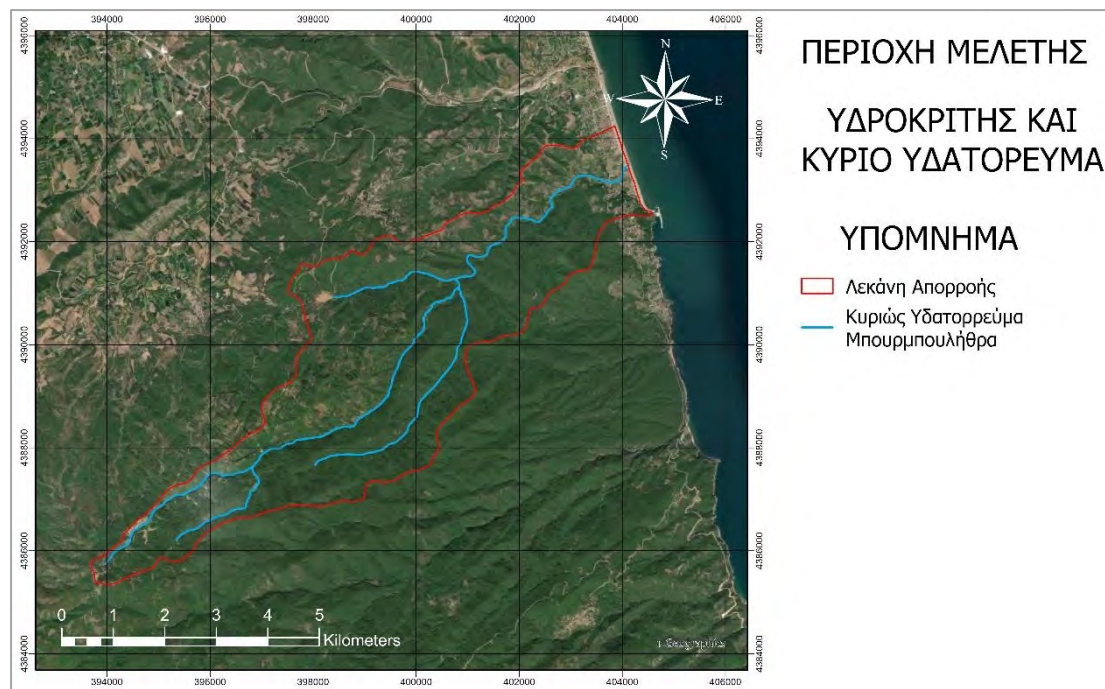
5. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης της παρούσας έρευνας, αφορά τη λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα. Το ρέμα Μπουρμπουλήθρα, ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (GR08), στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, στο παρόχθιο ανατολικό τμήμα του Νομού Λάρισας. Πιο συγκεκριμένα, η υδρολογική λεκάνη του ρέματος αυτού, βρίσκεται στο Δήμο Αγιάς, στη Δημοτική Ενότητα Μελιβοίας.



Εικόνα 2 : Χάρτης με την Περιοχή Μελέτης της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Η λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, χαράχτηκε σύμφωνα με τις ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 10 m. Περικλείεται από τον υδροκρίτη της, τα φυσικά όρια που ξεκινούν από τις κορυφές του όρους Μαυροβούνιο, και φτάνουν ως τις εκβολές του ποταμού, στην παρόχθια περιοχή του χωριού Αγιόκαμπος.



Εικόνα 3 : Χάρτης με τη χάραξη της Λεκάνης Απορροής και το κύριο Υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από ArcGIS-Pro)



Εικόνα 4 : Το σημείο εκβολής του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα, στην παράκτια περιοχή του Αγίουκαμπου

Η λεκάνη απορροής περιβάλλεται από τις κοινότητες της Σκήτης, της Ποταμιάς και από το χωριό Πολυδένδρι. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες που περικλείουν την περιοχή, είναι μεταξύ του μεταξύ του γεωγραφικού πλάτους – παραλλήλων $39^{\circ} 38' 40'' - 39^{\circ} 42' 00''$ (x) και του γεωγραφικού μήκους – μεσημβρινών (y) $22^{\circ} 47' 19'' - 22^{\circ} 52' 32''$.

Ακόμα, η συνολική έκταση της υδρολογικής λεκάνης καλύπτει $28,16 \text{ km}^2$, ενώ το κύριο υδατόρρευμα, η Μπουρμπουλήθρα, έχει συνολικό μήκος που ανέρχεται στα $24,37 \text{ km}$.

Πίνακας 1 : Δεδομένα Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

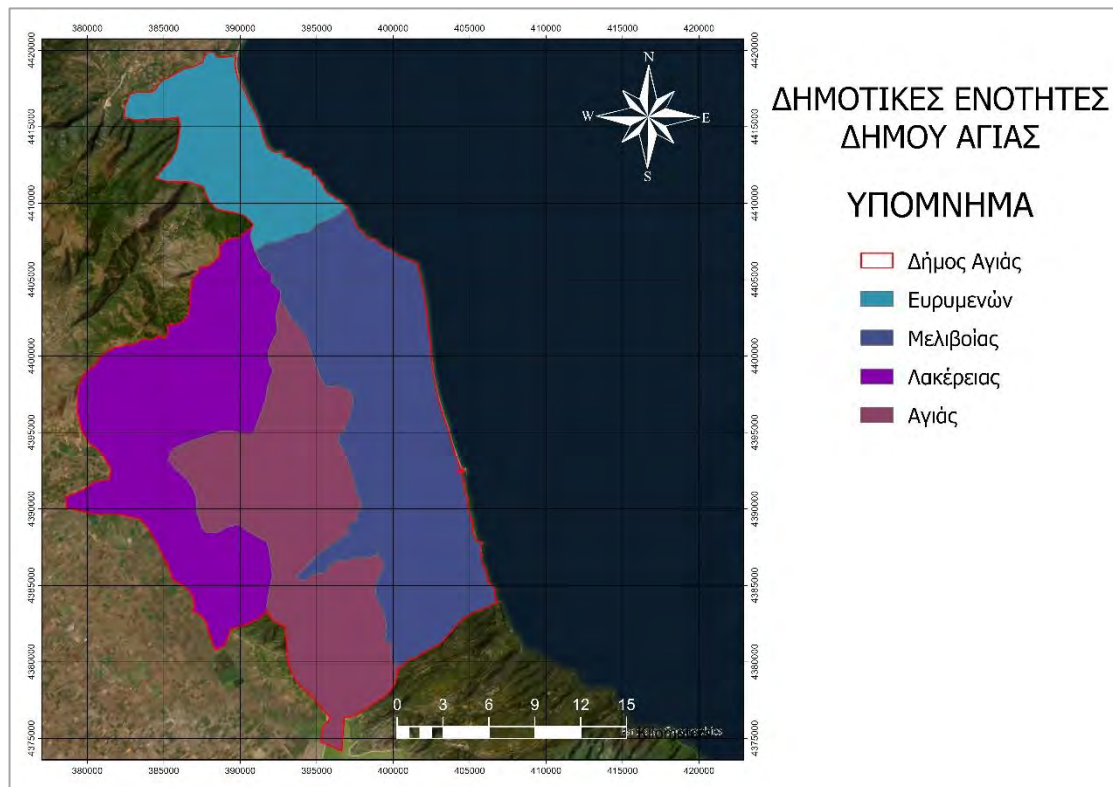
Ονομασία	Έκταση (km^2)	Μήκος υδατορρεύματος (km)
Λεκάνη Απορροής Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα	28,16	24,37

5.1. Δημοτικές Ενότητες και πληθυσμός περιοχής

Ο Δήμος Αγιάς, εντοπίζεται ανατολικά της περιφερειακής ενότητας Λάρισας και έχει μεγάλη εναλλαγή από παραλίες που ξεκινούν από το Στόμιο και φτάνουν έως τον Ρακοπόταμο. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η μεγάλη ακτογραμμή με αμμώδεις παρόχθιες έκτασης 36 km , όπου συγκεκριμένα από τη Βελίκα μέχρι τον Αγιόκαμπο παρατηρούνται συνεχείς εκτάσεις με παραλίες 13 km .

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη απογραφή του 2021, ο συνολικός πληθυσμός του Δήμου Αγιάς ανέρχεται στους 14.121 κατοίκους και έχει έκταση $668,26 \text{ km}^2$. Ακόμη, χωρίζεται σε τέσσερις δημοτικές ενότητες, συγκεκριμένα στις:

- Δημοτική ενότητα Αγιάς, με πληθυσμό 6.458 κατοίκους,
- Δημοτική ενότητα Λακέρειας, με πληθυσμό 1.763 κατοίκους,
- Δημοτική ενότητα Ευρυμενών, με πληθυσμό 2.428 κατοίκους,
- Δημοτική ενότητα Μελιβοίας, με πληθυσμό 3.472 κατοίκους
(Δήμος Αγιάς).



Εικόνα 5 : Χάρτης με τις Δημοτικές Ενότητες του Δήμου Αγιάς (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Στη δημοτική ενότητα Μελιβοίας του Δήμου Αγιάς, ανήκει και ο Αγιόκαμπος, όπου εκεί εκβάλλει το υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα. Ο μόνιμος πληθυσμός του Αγιόκαμπου, σύμφωνα με την απογραφή του 2021, ανέρχεται στους 371 μόνιμους κατοίκους. Όμως, παρατηρείται ότι ο αριθμός των ατόμων που διαμένουν στην περιοχή αυτή πληθαίνει κατά τους θερινούς μήνες, λόγω της αύξησης του τουρισμού και των δραστηριοτήτων αναψυχής.

Ακόμη, στο δημοτική ενότητα Μελιβοίας του Δήμου Αγιάς, ανήκουν τα χωριά Σκήτη, από όπου ξεκινάει η λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, με πληθυσμό 155 κατοίκους και το χωριό Πολυδένδρι ή κάτω Πολυδένδρι, με πληθυσμό μόλις 36 κατοίκους, με βάση την απογραφή του 2021 (Δήμος Αγιάς).

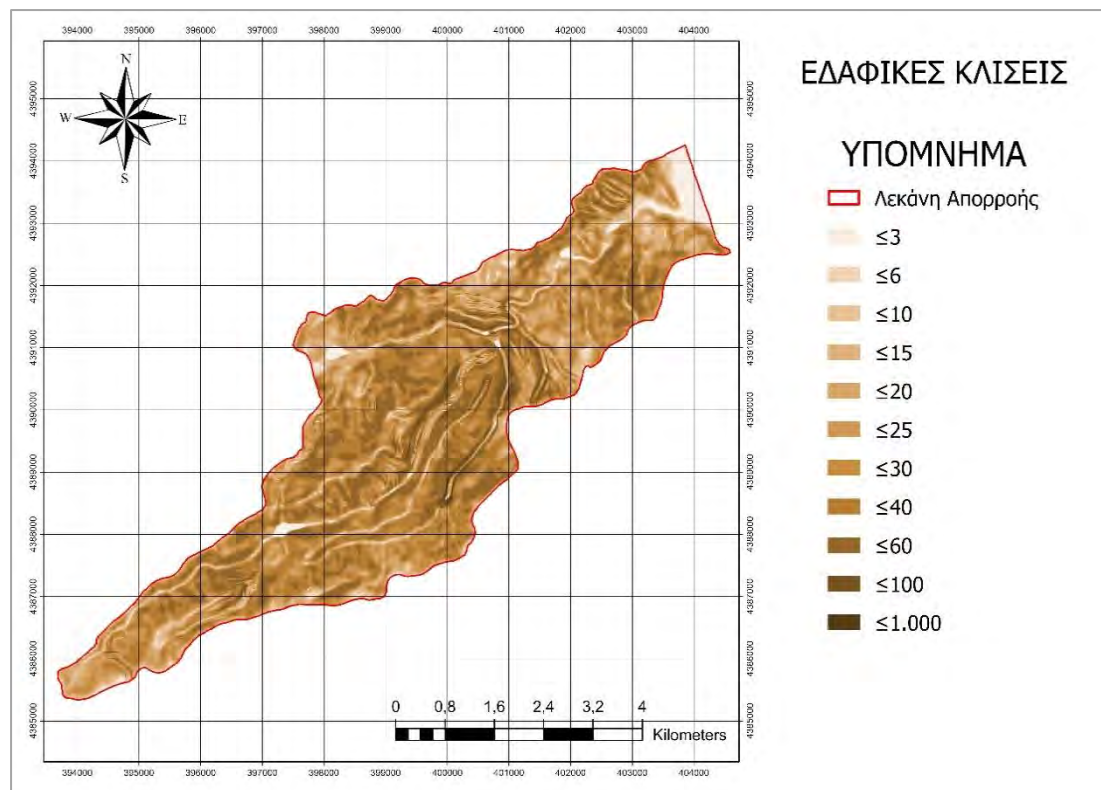
Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, πως οι παράκτιες περιοχές της Μελιβοίας, συγκεκριμένα οι παραλίες του Στομίου, Παλιουριάς, Βελίκας και Αγιοκάμπου, είναι βραβευμένες από το Πρόγραμμα Γαλάζιες Σημαίες (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Αγιάς 2012-2014).

5.2. Γεωμορφολογία περιοχής

Για την εύρεση του ανάγλυφου της λεκάνης απορροής, δημιουργήθηκε ένα αρχείο ταξινόμησης, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro, του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) από το Ελληνικό Κτηματολόγιο. Ειδικότερα, έγινε ανάλυση των κλίσεων του εδάφους και των υψομέτρων της περιοχής.

5.2.1. Εδαφικές κλίσεις λεκάνης απορροής

Έπειτα από τη μοντελοποίηση, η περιοχή της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, διακρίνεται από τις μορφολογικές κλίσεις που περιγράφονται στον παρακάτω χάρτη και στον πίνακα 2, όπου φαίνονται ο χαρακτηρισμός των κλίσεων καθώς και οι επιφάνειες που καταλαμβάνουν.



Εικόνα 6 : Χάρτης εδαφικών κλίσεων στη Λεκάνη Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Πίνακας 2 : Πίνακας με την κατανομή των κλίσεων και την επιφάνεια που καλύπτουν εντός της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

Επίπεδα Κλίσεων	Χαρακτηρισμός Κλίσεων	Επιφάνεια (km ²)
0-6	Χαμηλή κλίση - Επίπεδο έδαφος	3,34
6-20	Ήπια κλίση	11,42
20-40	Μεσαία κλίση	13,25
>40	Υψηλή κλίση	0,15

Ανάλογα με το επίπεδο των κλίσεων (σε μοίρες) που διακρίνονται στην υδρολογική λεκάνη, έγινε η κατανομή και διαχωρισμός σε τέσσερα επίπεδα. Έτσι, όπως φαίνεται και παραπάνω, το μεγαλύτερο ποσοστό των κλίσεων ανήκει στις μεσαίες κλίσεις με έκταση 13,25 km², καθώς και στις ήπιες κλίσεις με έκταση 11,42 km².

Ακόμη, σε σύγκριση με το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής που ανέρχεται στα 28,16 km², οι εδαφικές κλίσεις καταλαμβάνουν τα παρακάτω ποσοστά κάλυψης εντός της λεκάνης :

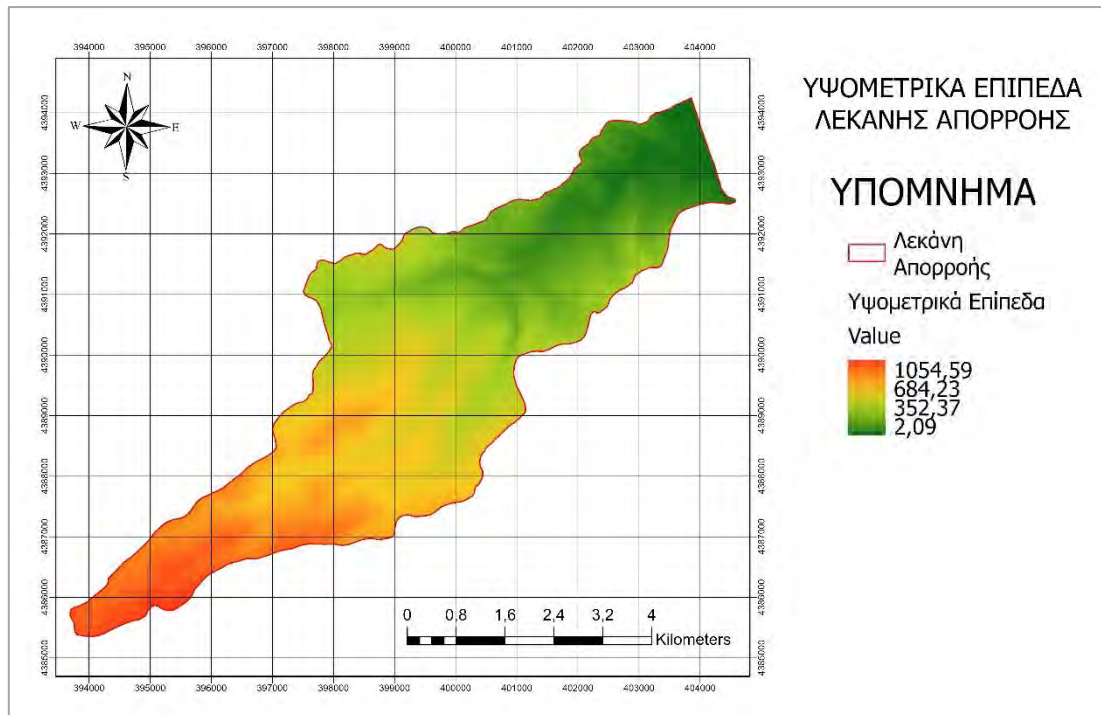
- Οι χαμηλές κλίσεις - επίπεδο έδαφος καταλαμβάνουν το 11,90 %
- Οι ήπιες κλίσεις καταλαμβάνουν το 40,55 %
- Οι μεσαίες κλίσεις καταλαμβάνουν το 47,05 %
- Οι υψηλές κλίσεις καταλαμβάνουν μόλις το 0,5 %

5.2.2. Υψομετρική διαβάθμιση λεκάνης απορροής

Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, διαμορφώνεται το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Με αυτόν τον τρόπο, διακρίνονται και χωρίζονται τα επίπεδα των υψομέτρων που υπάρχουν στην λεκάνη απορροής.

- Το μέγιστο υψόμετρο ανέρχεται στα 1.054,59 m και βρίσκεται κοντά στις κορυφές του όρους Μαυροβούνιο.
- Το ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής ισούται με 2,09 m, είναι κοντά στο ίδιο επίπεδο με τη στάθμη της θάλασσας στην παράκτια περιοχή του Αγίουκαμπου.
- Το μέσο υψόμετρο είναι 473,51 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Παρακάτω φαίνεται ο χάρτης που δημιουργήθηκε μέσω του ArcGIS-Pro, που δείχνει την υψομετρική διαβάθμιση στη λεκάνη απορροής.



Εικόνα 7 : Χάρτης υψομετρικών επιπέδων της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Σύμφωνα με τον χάρτη της εικόνας 5 γίνεται αντιληπτό ότι η περιοχή της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, χαρακτηρίζεται κυρίως ως λοφώδης και ημιορεινή. Πιο συγκεκριμένα, έπειτα από κατάταξη των περιοχών με βάση τα υψόμετρα, δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας, όπου φαίνεται και η επιφάνεια που καταλαμβάνει κάθε τύπος ανάγλυφου.

Πίνακας 3 : Πίνακας με την κατανομή των υψομέτρων και την επιφάνεια που καλύπτουν εντός της Λεκάνης Απορροής του Υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

Υψομετρικά Επίπεδα	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Επιφάνεια (km ²)
0-300	Πεδινή Περιοχή	5,54
300-600	Λοφώδης Περιοχή	12,36
600-900	Ημιορεινή Περιοχή	8,14
>900	Ορεινή Περιοχή	2,12

Ακόμη, σε σύγκριση με το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής που ανέρχεται στα 28,16 km², οι εδαφικές κλίσεις καταλαμβάνουν τα παρακάτω ποσοστά κάλυψης εντός της λεκάνης :

- Η πεδινή περιοχή καταλαμβάνει το 19,60 %
- Η λοφώδης περιοχή καταλαμβάνει το 44,05 %
- Η ημιορεινή περιοχή καταλαμβάνει το 28,91%
- Η ορεινή περιοχή καταλαμβάνει μόλις το 7,44 %

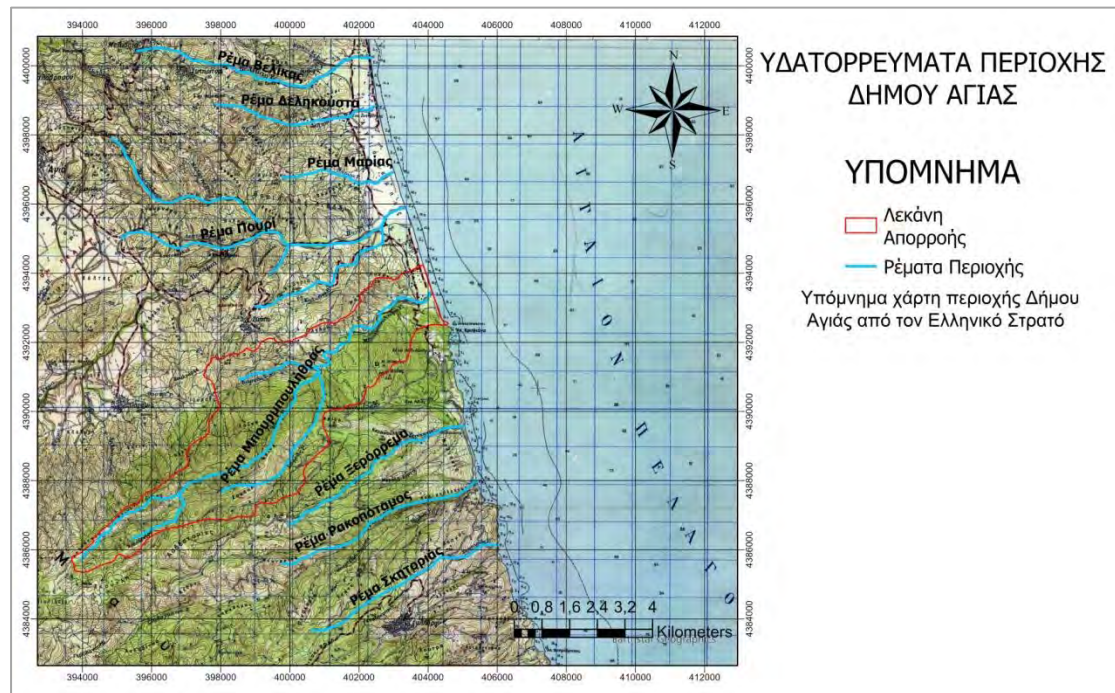
5.3. Υδρολογικά χαρακτηριστικά περιοχής

Στην ευρύτερη περιοχή του νομού Αγιάς, πέρα από το υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα, υπάρχει ένα πλήθος ρεμάτων μεταξύ των τοπικών κοινοτήτων Βελίκας έως το Σκλήθρο. Σύμφωνα με χάρτη από τον Ελληνικό Στρατό (*Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού - ΓΥΣ*), έγινε η κατάλληλη επεξεργασία ψηφιοποίησης των ρεμάτων της περιοχής και χάραξης των λεκανών απορροής που δημιουργούν από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro. Έτσι στον πίνακα 4 φαίνονται τα μήκη τους, η έκταση των λεκανών και η περιοχή στην οποία ανήκουν.

Πίνακας 4 : Κύρια ρέματα του Δήμου Αγιάς

Ονομασία Ρέματος	Μήκος Ρέματος (km)	Επιφάνεια Λεκάνης (km ²)	Περιοχή
Ρέμα Βελίκας	7,32	12,85	Βελίκα
Ρέμα Δεληκούστα	4,86	4,55	Κάτω Σωτηρίτσα
Ρέμα Μαρίας	3,45	3,18	Κάτω Σωτηρίτσα
Ρέμα Πουρί	21,53	122	Αγιόκαμπος
Ρέμα Μπουρμπουλήθρα	24,37	28,16	Αγιόκαμπος
Ρέμα Ξερόρρεμα	6,15	5,95	Πολυδένδρι
Ρέμα Ρακοπόταμος	6,31	35,14	Ρακοπόταμος
Ρέμα Σκητοριάς	6,05	32,64	Σκλήθρο

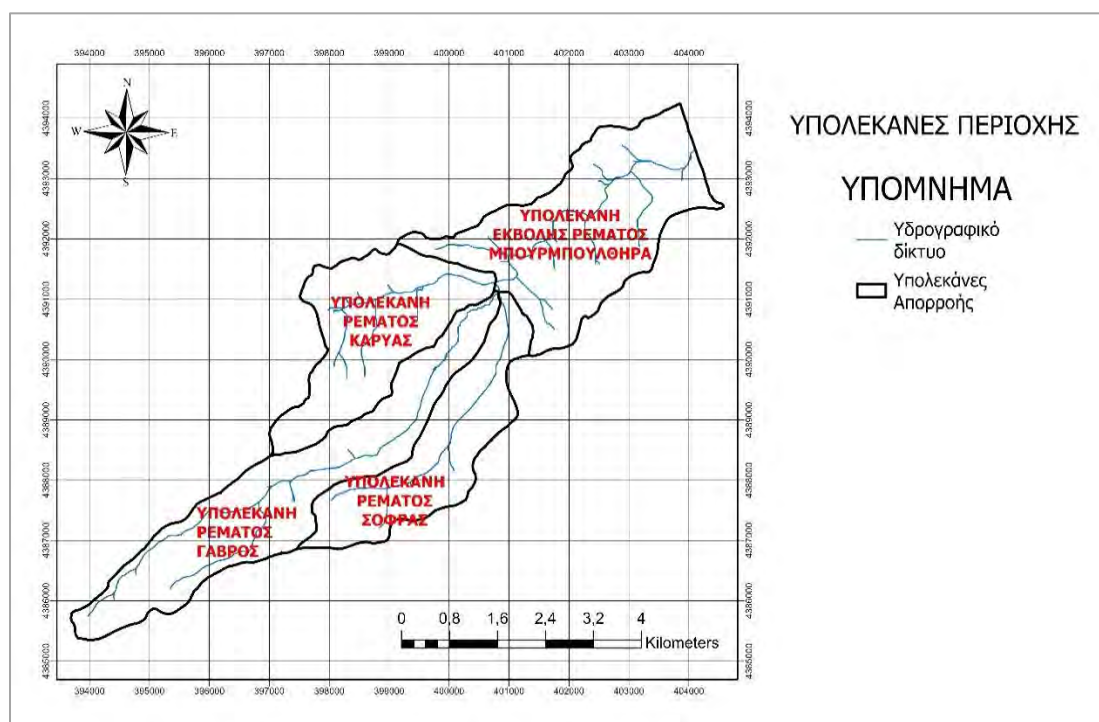
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η λεκάνη απορροής έχει εμβαδό ίσο με 28,16 km² και το μήκος του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα ανέρχεται στα 24,37 km. Στην κύρια μισγάγγεια καταλήγουν τρία μικρότερα σε μήκος ποτάμια, συγκεκριμένα τα ρέματα Γάβρος, Καρυάς και Σόφρας, που το καθένα δημιουργεί μια υπολεκάνη (Δήμος Αγιάς & Google Earth).



Εικόνα 8 : Χάρτης με τα κυριότερα υδατορεύματα της παρόχθιας περιοχής του Δήμου Αγιάς

Πίνακας 5 : Έκταση λεκανών και μήκος των υδατορευμάτων τους

Ονομασία Λεκάνης Απορροής	Έκταση (km ²)	Μήκος υδατορρέυματος (km)
Υπολεκάνη Γάβρος	8,35	9,74
Υπολεκάνη Καρυάς	5,99	2,60
Υπολεκάνη Σόφρας	5,13	4,27



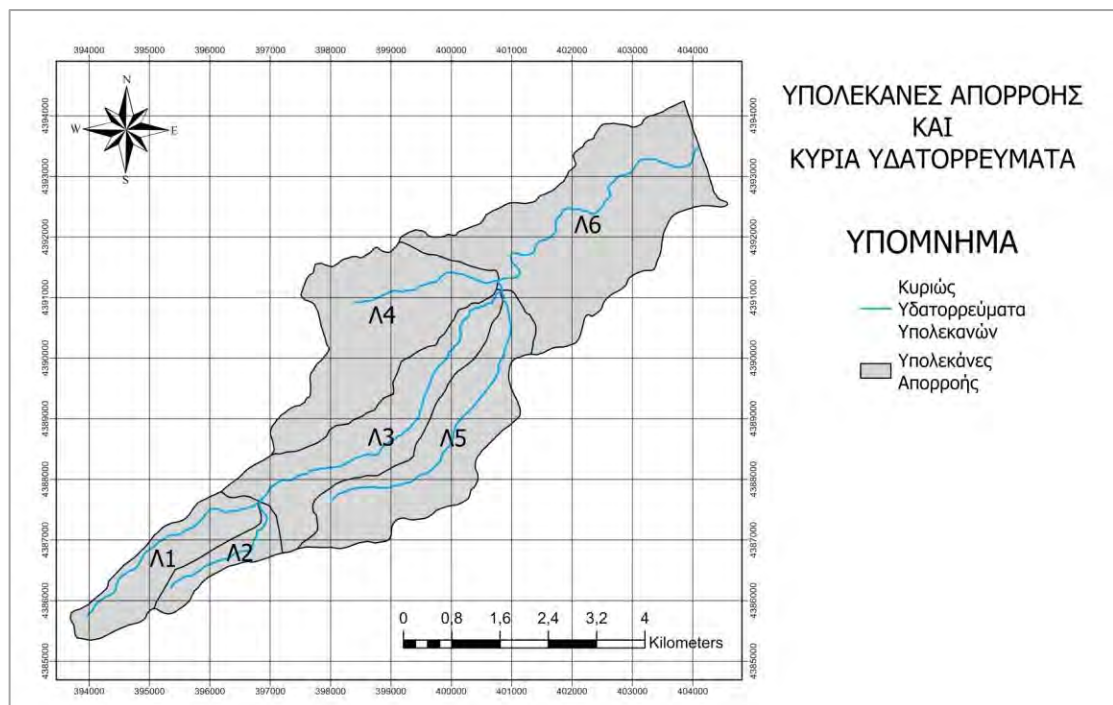
Εικόνα 9 : Χάρτης υπολεκανών των υδατορευμάτων της περιοχής μελέτης (εικόνα από ArcGIS-Pro)

5.3.1. Υπολεκάνες της περιοχής μελέτης

Επιπλέον, η υπολεκάνη του ρέματος Γάβρος, χωρίζεται σε τρία τμήματα. Έτσι τελικά, διαμορφώνονται έξι υπολεκάνες, όπου στον παρακάτω χάρτη και πίνακα φαίνονται η επιφάνειές τους και τα μήκη των υδατορευμάτων που τις διαπερνούν.

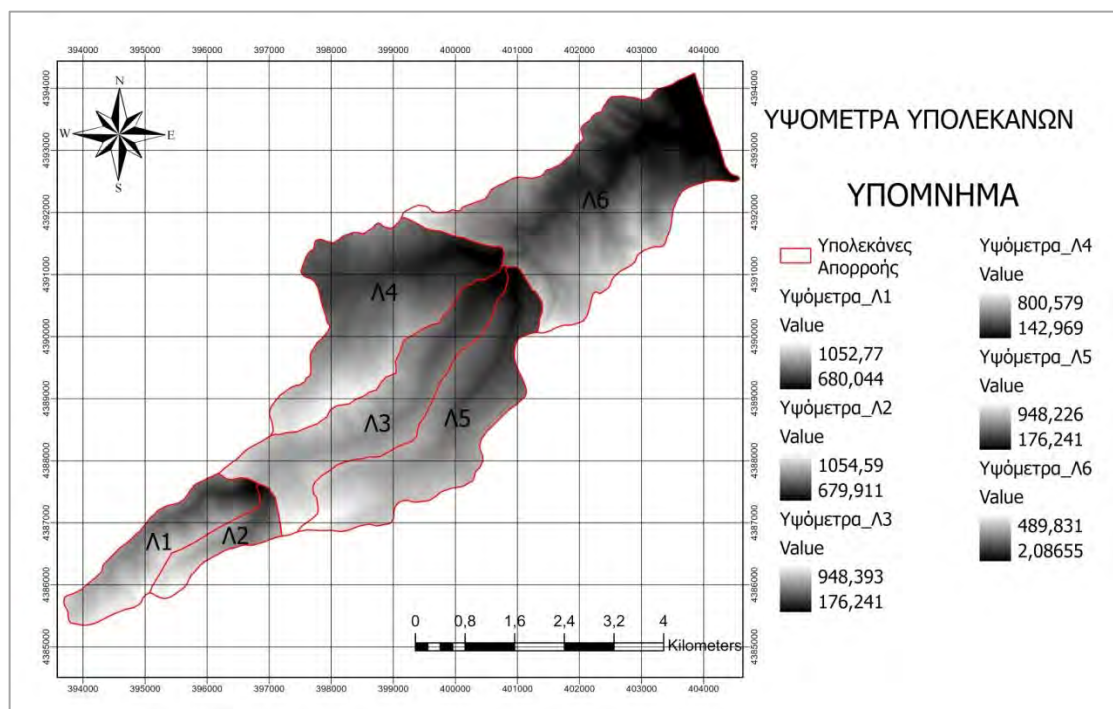
Πίνακας 6 : Υπολεκάνες περιοχής, οι επιφάνειες κάλυψης και τα μήκη των ρεμάτων

Ονομασία Λεκάνης Απορροής	Επιφάνεια-Εμβαδό (km ²)	Μήκος υδατορρεύματος (km)
Λ1	2,56	3,71
Λ2	1,10	2,49
Λ3	4,68	6,03
Λ4	5,99	2,60
Λ5	5,13	4,27
Λ6	8,70	5,27



Εικόνα 10 : Χάρτης υπολεκανών της περιοχής μελέτης του Υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro, του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, προέκυψαν τα παρακάτω δεδομένα υψομέτρων των υπολεκανών.



Εικόνα 11 : Χάρτης υψομέτρων των υπολεκανών του Υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Πίνακας 7 : Πίνακας υψομέτρων των υπολεκανών (μέγιστο, μέσο και ελάχιστο υψόμετρο)

Ονομασία Λεκάνης Απορροής	Μέγιστο Υψόμετρο - Hmax (m)	Μέσο Υψόμετρο - Hmean (m)	Ελάχιστο Υψόμετρο -Hmin (m)
Λ1	1.052,77	902,78	680,04
Λ2	1.054,59	918,11	679,91
Λ3	948,39	632,34	176,24
Λ4	800,58	448,07	142,97
Λ5	948,23	581,22	176,24
Λ6	489,83	159,11	2,09

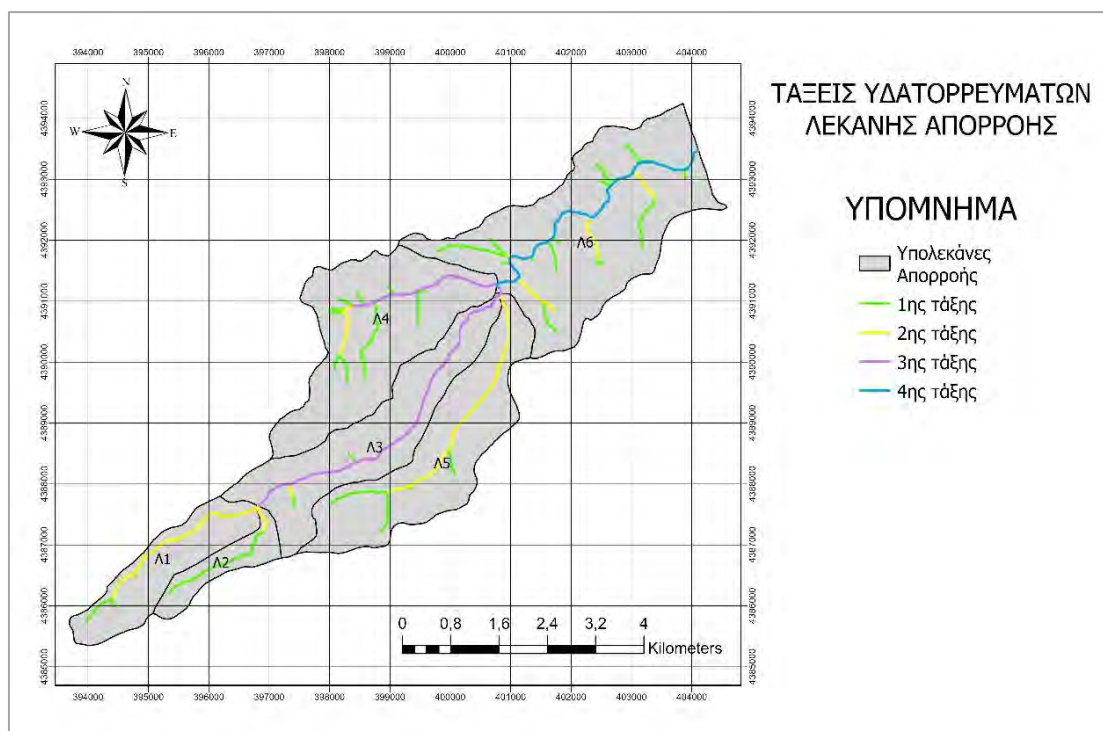
5.3.2. Υδρογραφικό Δίκτυο Ρέματος Μπουρμπουλήθρας

Το υδρογραφικό δίκτυο του ρέματος Μπουρμπουλήθρα διακρίνεται από πολλούς κλάδους που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική απορροή του υδατορρεύματος. Τα ανάντη τμήματά του ξεκινούν να απορρέουν από τις κορυφές του Μαυροβουνίου και ακολουθούν το γεωγραφικό ανάγλυφο, μέχρι τα κατόντη τμήματα που καταλήγουν στη θάλασσα του Αγίουκαμπου.

Ακόμη, όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο, αποτελείται από ένα πλήθος ρεμάτων, λόγω των διακλαδώσεων που παρατηρούνται. Έτσι, μέσω κατάλληλης ψηφιοποίησης από το λογισμικό ArcGIS-Pro, ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται τα μέρη των ρεμάτων, γίνεται διαχωρισμός σε τάξεις, που φαίνονται στον παρακάτω χάρτη και πίνακα.

Πίνακας 8 : Κατάταξη του υδρογραφικού δικτύου του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

Τάξεις Υδρογραφικού Δικτύου	Μήκος κλάδων (km)
1 ^{ης} τάξης	4,61
2 ^{ης} τάξης	5,74
3 ^{ης} τάξης	8,79
4 ^{ης} τάξης	5,23



Εικόνα 12 : Χάρτης τάξεων ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου Μπουργμπουλήθρας(εικόνα από ArcGIS-Pro)

5.4. Χλωρίδα και Πανίδα περιοχής Δήμου Αγιάς

5.4.1. Χλωρίδα - Βλάστηση - Δασικές εκτάσεις περιοχής

Γενικότερα, το φυσικό τοπίο της περιοχής του Δήμου Αγιάς είναι ποικιλόμορφο και πλούσιο. Η φυσική βλάστηση που εντοπίζεται στο δήμο είναι εντυπωσιακή και χαρακτηρίζεται κυρίως από πυκνά δάση που ξεκινούν από το δάσος του Κισσάβου, (όρος Όσσα) με το δάσος του Πολυδενρίου να είναι ιδιαίτερης σημασίας. Προς τα χαμηλότερα υψόμετρα βέβαια, εντοπίζεται και χαμηλή βλάστηση με θάμνους.

Παράλληλα, ένα πλήθος από πηγές, ποταμούς, λίμνες, δεσπόζουν στο τμήμα του δήμου. Ακόμη, ο υδρότοπος στο Δέλτα του Πηνειού ποταμού που σχηματίζεται στις εκβολές του, αποτελεί μέρος της κοιλάδας των Τεμπών και φιλοξενεί μια πληθώρα από σπάνια είδη φυτών αλλά και ζωντανών οργανισμών.

Η περιοχή του Δήμου Αγιάς έχει μεγάλη ποικιλομορφία από δενδρώδεις εκτάσεις. Οι κυριότερες κατηγορίες δασών αναλύονται παρακάτω :

- Κωνοφόρα δάση : Η ορεινή περιοχή του όρους Όσσα, χαρακτηρίζεται από πυκνά μεικτά δάση με δρύες, έλατα και οξιές, που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την παραγωγή ξυλείας.
- Όσο το ανάγλυφο χαμηλώνει υψομετρικά και η βλάστηση κατεβαίνει στον Κίσσαβο, εντοπίζονται φυλλοβόλα πλατύφυλλα δένδρα, όπως δάση με βελανιδιές, καστανιές, πεύκα, πλατάνια, φλαμουριές κ.ά. Συγκεκριμένα τα δάση πλατάνων, κατατάσσονται στα ξυλώδη θερμόβια φυτά, έτσι είναι αρκετά εύφλεκτα και επιρρεπή στην εμφάνιση πυρκαγιών.
- Στις λοφώδεις και ημιορεινές περιοχές, παρατηρείται αείφυλλη-πλατύφυλλη βλάστηση, όπως αριές, κουμαριές, κουτσουπιές, πουρνάρια και ρείκια. Ακόμα, στα χαμηλά υψόμετρα εντοπίζονται θαμνώδη και ποώδη φυτά, όπως θυμάρι και ρίγανη.

(Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Αγιάς 2012-2014 & Δήμος Αγιάς)

Στον πίνακα που ακολουθεί, αναφέρονται οι κατηγορίες δασικών εκτάσεων που επικρατούν στο Δήμο Αγιάς, γίνεται ταξινόμηση της βλάστησης και των καλλιεργειών στην κατηγορία που ανήκουν, καθώς και περιγράφονται με την επιστημονική τους ονομασία.

Πίνακας 9 : Κυριότερες κατηγορίες δασικών εκτάσεων της περιοχής του Δήμου Αγιάς με την επιστημονική ονομασία τους (ονοματολογία σύμφωνα με USGS)

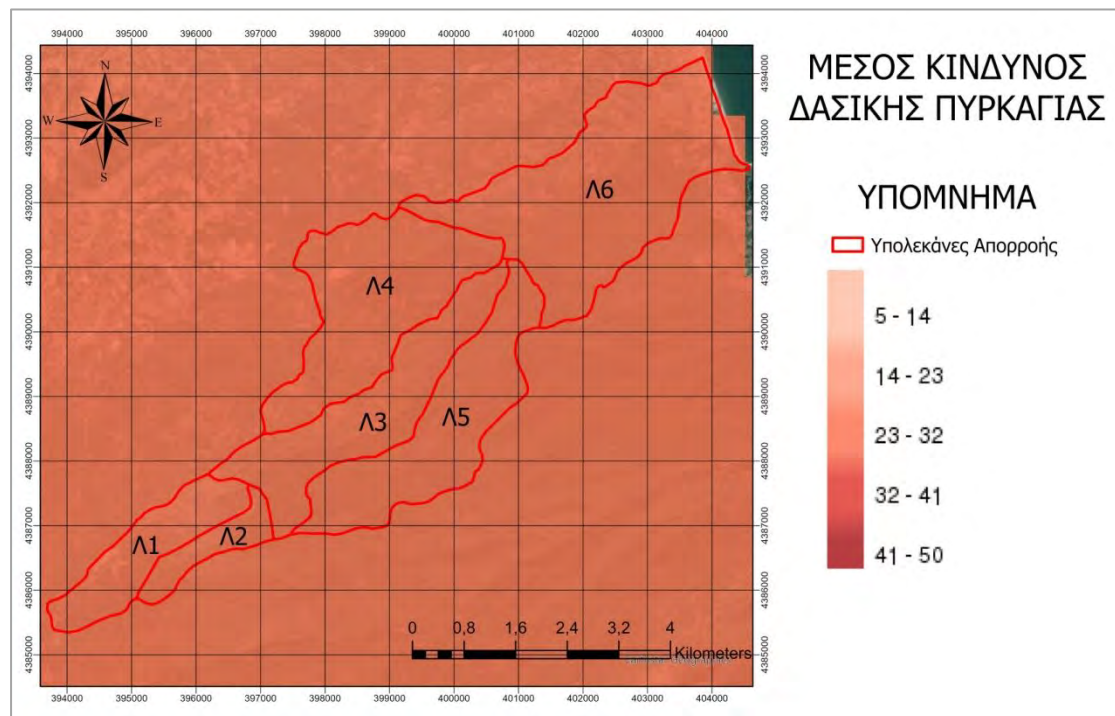
Κατηγορία δάσους	Ονομασία	Επιστημονική-λατινική ονομασία
Φυλλοβόλα Πλατύφυλλα Δάση	Βελανιδιά	Quercus rubra
	Καστανιά	Castanea sativa
	Πεύκο	Pinus
	Φλαμουριά	Tilia platyphyllos
	Πλάτανος	Platanus orientalis
Κωνοφόρα Δάση	Πλατύφυλλη Δρυς	Quercus conferta
	Έλατο	Abies
	Οξιά	Fagus
Αείφυλλα Δάση	Άρια	Quercus ilex
	Κουμαριά	Arbutus unedo
	Κουτσουπιά	Cercis siliquastrum
	Πουρνάρι	Quercus coccifera
	Ρείκι	Erica arborea
Θαμνώδη Φυτά	Θυμάρι	Thymus vulgaris
	Ρίγανη	Origanum vulgare

Επιπρόσθετα, στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να γίνει αναφορά στον κίνδυνο που υπάρχει να προκύψει μια πιθανή πυρκαγιά στη λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στα πυκνά δάση που υπάρχουν, εντοπίζονται και δάση από πεύκα, τα οποία είναι ευάλωτα στην εξάπλωση πιθανής πυρκαγιάς.

Για την εύρεση του κινδύνου αυτού, χρησιμοποιήθηκε ένα υπόβαθρο χάρτη που δείχνει το μέσο κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς, που αντλήθηκε από τη Διαδικτυακή Πύλη Γεωγραφικών Πληροφοριών του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

Έτσι, μέσω κατάλληλης τροποποίησης από το λογισμικό ArcGIS-Pro, προέκυψε ο παρακάτω χάρτης που δείχνει τα επίπεδα πιθανότητας πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης των υπολεκανών. Ακόμη, με βάση τον παρακάτω χάρτη, έγινε ταξινόμηση των περιοχών ανάλογα με τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς, σε κλίμακα από το 5 έως το 50, στις παρακάτω κατηγορίες του πίνακα 10.

Όπως φαίνεται λοιπόν, στην λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, η πιθανότητα εξέλιξης μιας δασικής πυρκαγιάς χαρακτηρίζεται ως μέτρια.



Εικόνα 13 : Χάρτης με το μέσο κίνδυνο εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς στη περιοχή της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, με υπόβαθρο χάρτη από το ΥΠΕΝ (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Πίνακας 10 : Κατάταξη των επιπέδων εμφάνισης πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

Επίπεδο Επικινδυνότητας	Πιθανότητα Εμφάνισης Πυρκαγιάς
5-14	Πολύ χαμηλή πιθανότητα
14-23	Χαμηλή πιθανότητα
23-32	Μέτρια πιθανότητα
32-41	Υψηλή πιθανότητα
41-50	Πολύ υψηλή πιθανότητα

5.4.2. Πανίδα - Ζωικό Βασίλειο περιοχής

Η πανίδα της περιοχής του Δήμου Αγιάς χαρακτηρίζεται επίσης από ιδιαίτερη βιοποικιλότητα θηλαστικών, πτηνών, ιχθύων αλλά και αμφίβιων και ερπετών, με τα περισσότερα είδη ζωντανών οργανισμών να περιλαμβάνουν θηλαστικά και πτηνά. Μερικά από τα αμφίβια και ερπετά που διαβούν στην γύρω περιοχή, περιλαμβάνουν διάφορα είδη βάτραχων, σαλαμάνδρες, σαύρες αλλά και φίδια όπως δεινοφίδια, νερόφιδια, οχιάς κ.ά.

Όσον αφορά τα θηλαστικά, τα είδη που εντοπίζονται κυρίως στα ορεινά πυκνά δάση του όρους Κισσάβου, είναι τα αγριογούρουνα, οι αγριόγατες (λυγξ), ζαρκάδια, λαγοί και λύκοι. Βέβαια στις ορεινές περιοχές, εντοπίζονται και μερικά είδη πτηνών όπως αρκετά γένη αετών όπως ο ασπροπάρης, ο γυπαετός, ο κραυγαετός και ο φιδαιτός, αλλά και οι πέρδικες και οι φασιανοί.

Διάφορα άλλα πτηνά, διαβούν στο όρος Μαυροβούνιο και στο Δέλτα του Πηνειού ποταμού και κοντά στη λίμνη Κάρλα, που αποτελούν καταφύγιο άγριας ζωής. Τα είδη που υπάρχουν εκεί είναι η αετογερακίνα, οι δρυοκολάπτες, το χρυσογέρακο κ.ά. (Οικονόμου, 2005).

Η ιχθυοπανίδα τόσο των θαλασσών όσο και των ποταμών, περιλάμβανε πολλά είδη, που αριθμούνταν στα 160 είδη ψαριών. Όμως από αυτά, πλέον στις μέρες μας, κάνουν την παρουσία τα κοινά γένη ιχθύων, που μόνο τα 10 είδη στα θαλάσσια νερά, ενώ στα γλυκά νερά των ρεμάτων εντοπίζονται 11 είδη (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Αγιάς 2012-2014 & Δήμος Αγιάς).

Πίνακας 11 : Κυριότερα είδη του ζωικού βασιλείου της πανίδας της περιοχής του Δήμου Αγιάς με την επιστημονική τους ονομασία (ονοματολογία σύμφωνα με USGS)

Κατηγορία είδους	Ονομασία	Επιστημονική-λατινική ονομασία
Αμφίβια	Βάτραχος	Anura
	Σαλαμάνδρα	Salamandroidea
Ερπετά	Δεντρογαλιά	Hierophis gemonensis
	Νερόφιδο	Natrix natrix
	Σαύρα	Lacertilia
	Οχιά	Viperidae
Θηλαστικά	Αγριογούρουνο	Sus scrofa
	Αγριόγατα	Felis sylvestris
	Ζαρκάδι	Capreolus capreolus
	Λαγός	Lepus
	Λύκος	Canis lupus
Πτηνά	Ασπροπάρης	Neophron percnopterus
	Γυπαετός	Gypaetus barbatus
	Κραυγαετός	Clanga pomarina
	Φιδαετός	Circus gallicus
	Πέρδικα	Perdix perdix
	Φασιανός	Phasianus colchicus
	Αετογερακίνα	Buteo rufinus
	Δρυοκολάπτης	Dendrocopos
	Χρυσογέρακο	Falco biarmicus
Ιχθύες	Γριβάδι-Κυπρίνος	Cyprinus carpio
	Μπριάνα	Barbus barbus
	Τσιρόνι	Rutilus rutilus
	Κοκκινοφτέρα	Scardinius
	Αλβούρνος-Σίρκο	Alburnus
	Μαυροτσιρώνι	Pachychilon macedonicum

Στο σημείο αυτό, κρίνεται αναγκαίο να γίνει αναφορά στην οικολογική καταστροφή που συνέβη κοντά στην περιοχή μελέτης της παρούσας έρευνας. Ειδικότερα, νότια του Αγιοκάμπου, βρίσκεται η λίμνη Κάρλα, που χαρακτηρίζεται ως ένα ιδιαίτερο οικοσύστημα και αποτελεί βιότοπο πολλών ειδών θηλαστικών, πτηνών αλλά και ψαριών.

Αυτό που συνέβη στον Παγασητικό κόλπο, στην περιοχή του Βόλου στη Θεσσαλία, τον Αύγουστο του 2024, είναι ότι ο χείμαρρος του ρέματος Ξηριάς, γέμισε με τόνους από νεκρά ψάρια, με αποτέλεσμα να καταλήξουν στο λιμάνι του Βόλου. Το γεγονός αυτό, έλαβε χώρα διότι θυρόφραγμα από το Φράγμα Γυρτώνης παρέμεινε ανοιχτό, για να μην υπάρξει φαινόμενο πλημμύρας στις γύρω περιοχές (*εφημερίδα ΤΟ ΒΗΜΑ*).

Στη συνέχεια, τα νεκρά πλέον ψάρια, οδηγούνταν από το θυρόφραγμα στη λίμνη Κάρλα, που οδηγεί μέσω του ρέματος Ξηριάς, στον Παγασητικό κόλπο. Βέβαια, σύμφωνα με αναφορές από σχετικά άρθρα «τα νεκρά ψάρια δεν προήλθαν από την Κάρλα, αλλά από τα αποστραγγιστικά κανάλια, που εδώ και δεκαετίες χρησιμοποιούνται ως ταμιευτήρες για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων. Όταν λόγω άντλησης νερού για άρδευση, το νερό μειώθηκε, τα ψάρια πέθαναν από την έλλειψη οξυγόνου» (*εφημερίδα ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*).

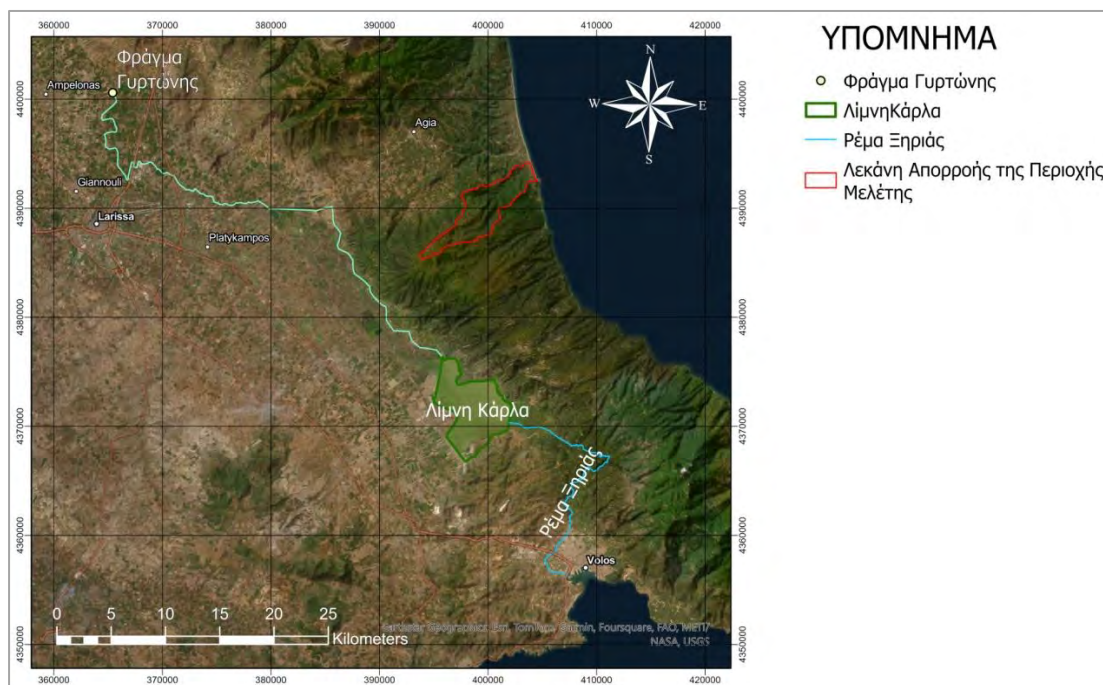
Έτσι, μέσω της διέλευσής τους από το ρέμα Ξηριάς, τα ψάρια μεταφέρθηκαν στο λιμάνι του Βόλου. «Η κακοκαιρία του Daniel, που συνέβη το Σεπτέμβριο του 2023, είχε ως αποτέλεσμα να σπάσουν ταμιευτήρες και έτσι το νερό μαζί με τα ψάρια είχε καταλήξει στις τάφρους αποστράγγισης, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως αρδευτικοί ταμιευτήρες», αναφέρει ο περιφερειάρχης Θεσσαλίας.

Το γεγονός αυτό, φέρει αρνητικές συνέπειες στην τοπική οικονομία και τον τουρισμό, αφού πολλές παραλίες του Βόλου αποκλείστηκαν, ώστε να διατηρηθεί ασφάλεια και να προστατευτεί η υγεία των ατόμων, αλλά αποτελεί και πλήγμα για τους επιχειρηματίες της περιοχής.

Ακόμη, πέρα του ότι σηματοδοτεί την εξαφάνιση διαφόρων ειδών ψαριών που διαβιούσαν στην γύρω περιοχή της λίμνης Κάρλας, έχει επιπτώσεις και στην υγεία των ανθρώπων, καθώς αποτελεί εστία μόλυνσης. Γι' αυτό, θα πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα έγκαιρα, για την διασφάλιση και τη διατήρηση της υδρόβιας ζωής αλλά και τη ομαλότητα ενός υγιούς φυσικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 14 : Το Φράγμα Γυρτώνης, με τα θυροφράγματα και τη σκάλα διέλευσης των ιχθύων



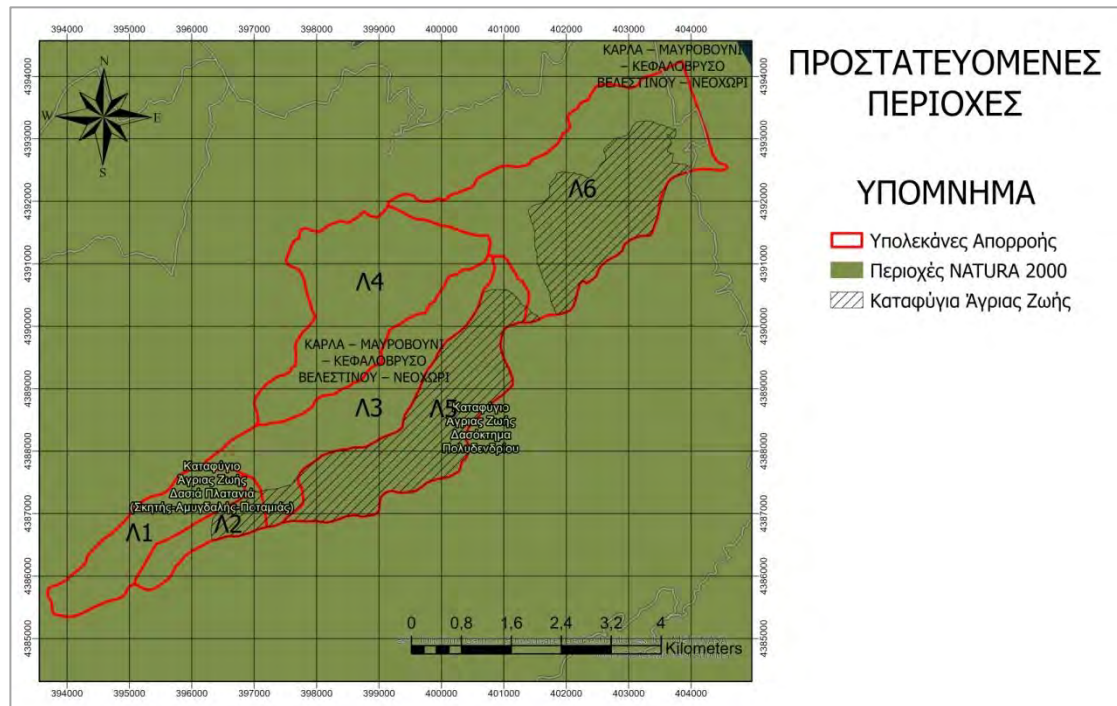
Εικόνα 15 : Η διαδρομή διέλευσης των νεκρών ψαριών από το θυρόφραγμα του Φράγματος Γυρτώνης, στη λίμνη Κάρλα, που οδηγήθηκαν μέσω του ρέματος Ξηριάς στον Παγασητικό κόλπο, στο λιμάνι του Βόλου (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Μερικά τμήματα του Δήμου Αγιάς, αποτελούν προστατευόμενες περιοχές , που ανήκουν στους τόπους κοινοτικής σημασίας (ΤΚΣ) σύμφωνα με το πρόγραμμα NATURA 2000. Μία από αυτές, είναι το αισθητικό δάσος της Όσσας (GR 142003), που βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του όρους.

Το δάσος της Όσσας, χαρακτηρίζεται ως Βοτανικός Κήπος, καθώς πέραν από την φυσική ομορφιά με τα πυκνά δάση, περικλείει πολλά ρέματα, λίμνες και φαράγγια, αλλά ανήκει και στην περιοχή «ειδικής προστασίας» της ορνιθοπανίδας, ” σύμφωνα με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ (Αισθητικό Δάσος – Δασικό Σύμπλεγμα Όσσας – Α3).

Ακόμα, το πρόγραμμα NATURA 2000, προστατεύει τα καταφύγια άγριας ζωής του όρους Μαυροβούνιο (GR 142004), που βρίσκονται στο Σκλήθρο και στο Πολυδένδρι (Καταφύγιο άγριας ζωής – όρος Μαυροβούνι – Κ231). Το όρος Μαυροβούνιο καλύπτεται κυρίως από πυκνή βλάστηση πλατύφυλλων με δρύες, οξιές και καστανιές και φιλοξενεί πολλά είδη ορνιθοπανίδας και πτηνών.

Προστατευόμενες περιοχές αποτελούν εξίσου και το Καταφύγιο άγριας ζωής – Δασόκτημα Πολυδενδρίου – Κ 226, καθώς επίσης και το Καταφύγιο άγριας ζωής – Δασιά Πλατάνια (Σκήτη - Αμυγδαλή - Ποταμιά) - Κ 230. *(Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Αγιάς 2012-2014 & Δήμος Αγιάς).*

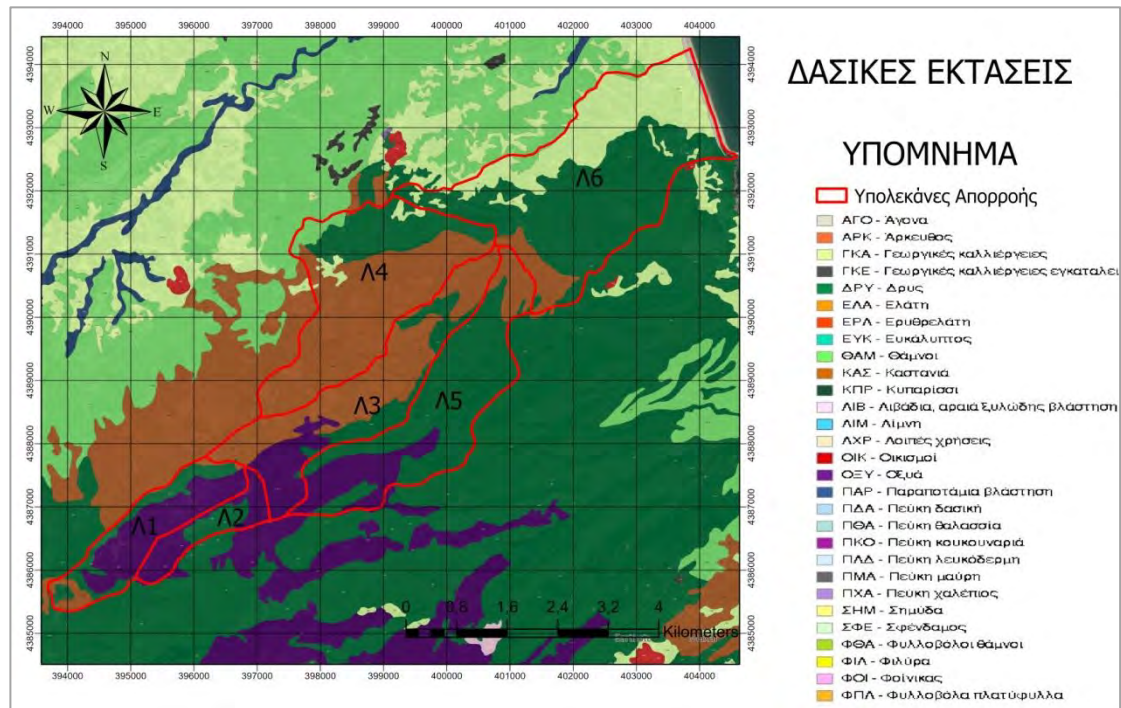


Εικόνα 16 : Χάρτης με τις προστατευόμενες περιοχές NATURA 2000 και τα καταφύγια άγριας ζωής που βρίσκονται εντός των υπολεκανών του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από το ArcGIS-Pro)

5.6. Βλάστηση – Καλλιέργειες της περιοχής μελέτης

Η λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα χαρακτηρίζεται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από ορισμένες υψομετρικές ζώνες. Ανάλογα με το υψόμετρο της περιοχής, παρατηρείται διαφορετική βλάστηση και καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Από τη Διαδικτυακή Πύλη Γεωγραφικών Πληροφοριών του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), που δίνει τη δυνατότητα της πρόσβασης και χρήσης ορισμένων χαρτών, έγινε σύνδεση του χάρτη των δασικών εκτάσεων της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Μέσω επεξεργασίας από το λογισμικό ArcGIS-Pro, αντλήθηκαν τα δεδομένα για τις δασικές κατηγορίες των υπολεκανών, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 17 : Χάρτης των δασικών εκτάσεων που βρίσκονται εντός των υπολεκανών του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, σύμφωνα με το υπόβαθρο χάρτη από το ΥΠΕΝ (εικόνα από το ArcGIS-Pro)

Σύμφωνα με τον παραπάνω χάρτη και με βάση τα υψομετρικά επίπεδα, γίνεται η παρακάτω κατάταξη των δασικών εκτάσεων που βρίσκονται εντός των υπολεκανών, που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12 : Πίνακας δασικών εκτάσεων και καλλιεργειών που υπάρχουν σε κάθε υψομετρικό επίπεδο

Υψομετρικά Επίπεδα	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Δασικές Εκτάσεις
0-300	Πεδινή Περιοχή	Κωνοφόρα Δάση
300-600	Λοφώδης Περιοχή	Κωνοφόρα και Φυλλοβόλα Πλατύφυλλα Δάση
600-900	Ημιορεινή Περιοχή	Φυλλοβόλα Πλατύφυλλα Δάση και Θαμνώδη Φυτά
>900	Ορεινή Περιοχή	Αείφυλλα Δάση και Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις

Αναλυτικότερα :

- Στην ορεινή ζώνη (>900m), δεν υπάρχουν καλλιεργήσιμα εδάφη και γεωργικές εκτάσεις, όμως η βλάστηση αποτελείται κυρίως από κωνοφόρα δάση με οξιές και δρύες.
- Στην ημιορεινή ζώνη (600-900m), υπάρχει η ίδια εικόνα δασώδους περιοχής αλλά γίνεται παρουσία πλατύφυλλου δάσους με καστανιές.
- Στη λοφώδη ζώνη (300-600m), παρατηρούνται επίσης δάση κωνοφόρων, οξιές, δρύες και πλατύφυλλων καστανιών, μερικά τμήματα θάμνων όπως θυμάρι και ρίγανη, καθώς επίσης και καλλιεργήσιμες εκτάσεις που περιλαμβάνουν κυρίως μηλιές και κερασιές.
- Στην πεδινή – παράκτια ζώνη (0-300m), κοντά στις παραλίες του Αγιοκάμπου, η γεωργική δραστηριότητα είναι πιο αυξημένη, λόγω του πληθυσμού. Υπάρχει ένα τμήμα με μεικτό δάσος οξιών αλλά εμφανίζονται γεωργικές καλλιέργειες, που έχουν μικρότερη έκταση και αποτελούνται επίσης από μερικές μηλιές και κερασιές, αλλά και από αμπέλια, ελιές, καρυδιές, καλλιέργειες ροδάκινων κ.ά. και χαμηλή βλάστηση όπως άριες, κουμαριές, πουρνάρια κ.ά..

6. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Η έννοια των χρήσεων γης, αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τη γη ενώ παράλληλα, αντικατοπτρίζουν τη βλάστηση και τις καλλιέργειες που υπάρχουν σε μια επιφάνεια του εδάφους και πώς αυτές αξιοποιούνται.

Ακόμη, οι χρήσεις γης κατηγοριοποιούνται συνήθως σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση ή τον προορισμό της περιοχής, που περιλαμβάνουν δασικές εκτάσεις, γεωργικές καλλιέργειες, αστικά περιβάλλοντα, μεταφορές και υποδομές, υδάτινες χρήσεις κ.ά.

Κάλυψη του εδάφους

Η κάλυψη του εδάφους, αναφέρεται στα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης. Σε αντίθεση με τις χρήσεις γης, που σχετίζονται με το πώς οι άνθρωποι τη χρησιμοποιούν, οι καλύψεις της γης περιγράφουν τη φυσική κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους (*Tracewski, L., 2017*).

Ακόμη, οι καλύψεις της γης, είναι ζωτικής σημασίας για την περιγραφή της και περιγράφονται ως ένα σύνολο τάξεων, που κάθε μια περιέχει τα χαρακτηριστικά που καλύπτουν μια επιφάνεια της γης. Επιπλέον, οι χρήσεις γης είναι σημαντικές για τον χαρακτηρισμό τόσο της ανθρωπογενούς δραστηριότητας που παρατηρείται σε μια περιοχή, που αφορά το βιοτικό επίπεδο, την γεωργική παραγωγή κ.ά., όσο και αυτής των ζωντανών οργανισμών που διαβιούν σε αυτή (*Reenberg, A. et al., 2007*).

Η διαχείριση των χρήσεων γης είναι κρίσιμη για τη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς επηρεάζει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, το περιβάλλον και την οικονομική πρόοδο. Με την γνώση των χρήσεων γης που υπάρχουν σε μια έκταση, γίνεται σωστή ενημέρωση, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις

προληπτικός έλεγχος για θέματα αποφάσεων που αφορούν τις τοπικές κοινότητες (*Townshend, J. R. et al., 2012*).

Η παρακολούθηση και η ανάλυση των καλύψεων της γης, παίζει ισχυρό ρόλο στην κατανόηση των περιβαλλοντικών αλλαγών, της κλιματικής αλλαγής και της ανθρώπινης δραστηριοποίησης. Οι πληροφορίες που αντλούνται από την κάλυψη της γης, έχουν χρήση σε διάφορους τομείς, όπως η περιβαλλοντική διαχείριση, η διατήρηση της βιοποικιλότητας και ο πολεοδομικός σχεδιασμός (*Michael A. Wulder et al., 2018*).

Πρόγραμμα Copernicus - CORINE Land Cover (CLC)

Το πρόγραμμα Copernicus, αποτελεί την πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρακολούθηση της γης, είναι δηλαδή ένα ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων, που δίνει πληροφορίες για τις καλύψεις της γης. Πρόκειται για ένα από τα πιο προηγμένα συστήματα παρατήρησης της γης στον κόσμο και παρέχει συνεχείς και αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τις χρήσεις γης (*Copernicus, CORINE Land Cover*).

Το Copernicus προσφέρει ανοιχτή πρόσβαση σε δεδομένα υψηλής ανάλυσης, καθιστώντας το πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, τη διαχείριση φυσικών καταστροφών που αφορούν πλημμύρες, πυρκαγιές κ.ά. Επιπλέον, δίνει πληροφορίες για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα, των υδάτων και του εδάφους, την αξιολόγηση και πρόβλεψη της κλιματικής αλλαγής και για πολλούς άλλους κλάδους ενδιαφέροντος (*Grekousis, G. et al., 2015*).

Η ανάγκη για την εφαρμογή του προγράμματος αυτού, άρχισε όταν οι πληροφορίες που υπήρχαν από τους χάρτες καλύψεων, ήταν ελλιπείς. Έτσι, το Copernicus, δημιούργησε το CORINE Land Cover (CLC), που επικεντρώνεται στην παροχή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τις χρήσεις γης και τις αλλαγές τους στην Ευρώπη (*Michael A. Wulder et al., 2018*).

Ακόμη, το CORINE Land Cover έχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών παρακολούθησης και σχεδιασμού, που στηρίζουν πολλούς τομείς και

προσφέρει δεδομένα για πολλές χρονικές περιόδους, με τις πρώτες εκδόσεις να ξεκινούν από το 1990, ενώ οι επόμενες καλύπτουν τις περιόδους 2000, 2006, 2012, 2018 και πιο πρόσφατα. Αυτή η χρονική σειρά επιτρέπει την ανάλυση των αλλαγών στις καλύψεις γης και τη χρήση γης με την πάροδο του χρόνου.

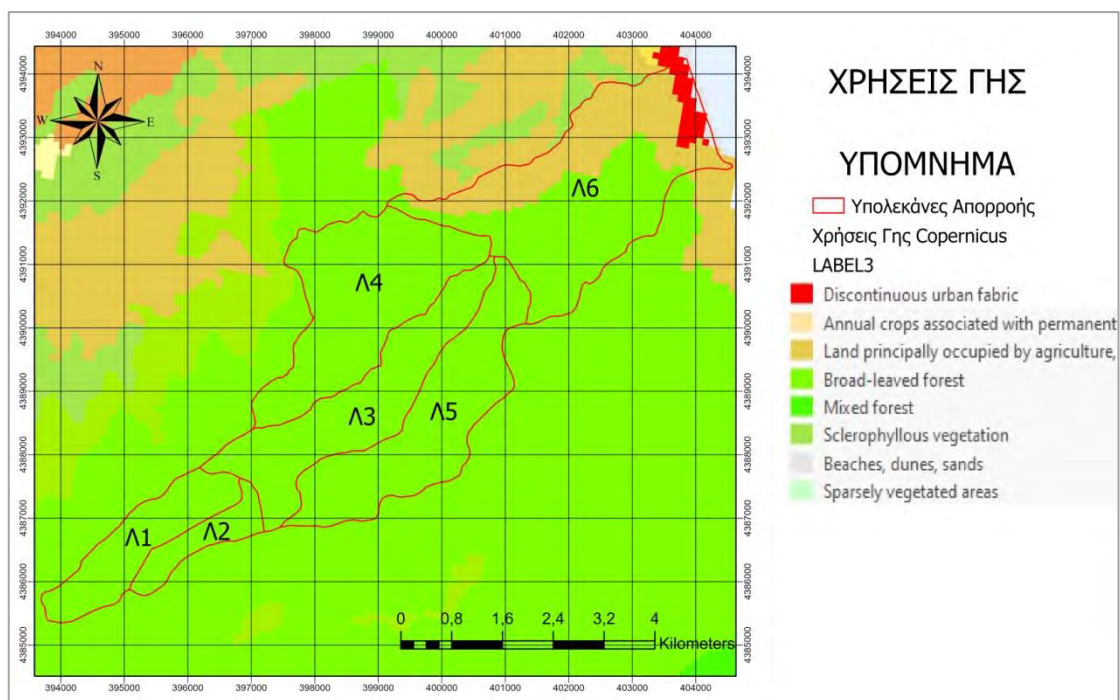
Παράλληλα, ταξινομεί την επιφάνεια της γης σε 44 κλάσεις κάλυψης γης, οι οποίες ανήκουν σε πέντε κύριες κατηγορίες: τεχνητές επιφάνειες, γεωργική γη, δασικές εκτάσεις και ημιφυσικές περιοχές, υδροτόπους και υδάτινες εκτάσεις. Οι κλάσεις αυτές περιλαμβάνουν λεπτομερείς κατηγορίες, όπως κατοικημένες περιοχές, δάση, αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες, υδάτινες εκτάσεις και πολλές άλλες (*Copernicus, CORINE Land Cover*).

6.1. Χρήσεις Γης στην λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

Η εργασία αυτή, έχει ως σκοπό τη διερεύνηση των μεταβολών των χρήσεων γης και των καλλιεργειών με την πάροδο των χρόνων. Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη για τα έτη 2012, 2018 και 2020 όπου υπάρχουν δεδομένα, που αντλήθηκαν από το Ελληνικό Κτηματολόγιο και από το Copernicus - CORINE Land Cover για την καλύτερη αξιολόγηση.

Αρχικά, έγινε εισαγωγή των αρχείων στο πρόγραμμα ArcGIS-Pro και μέσω κατάλληλης ψηφιοποίησης, προέκυψαν οι χρήσεις γης που καλύπτουν την περιοχή της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα. Στον παρακάτω χάρτη, απεικονίζονται οι χρήσεις γης από το CORINE Land Cover 2018 από το πρόγραμμα Copernicus.

Με βάση το CORINE Land Cover του Copernicus, κάθε κατηγορία χρήσης γης, χαρακτηρίζεται από έναν κωδικό CODE, ο οποίος δείχνει την ονοματολογία της χρήσης.



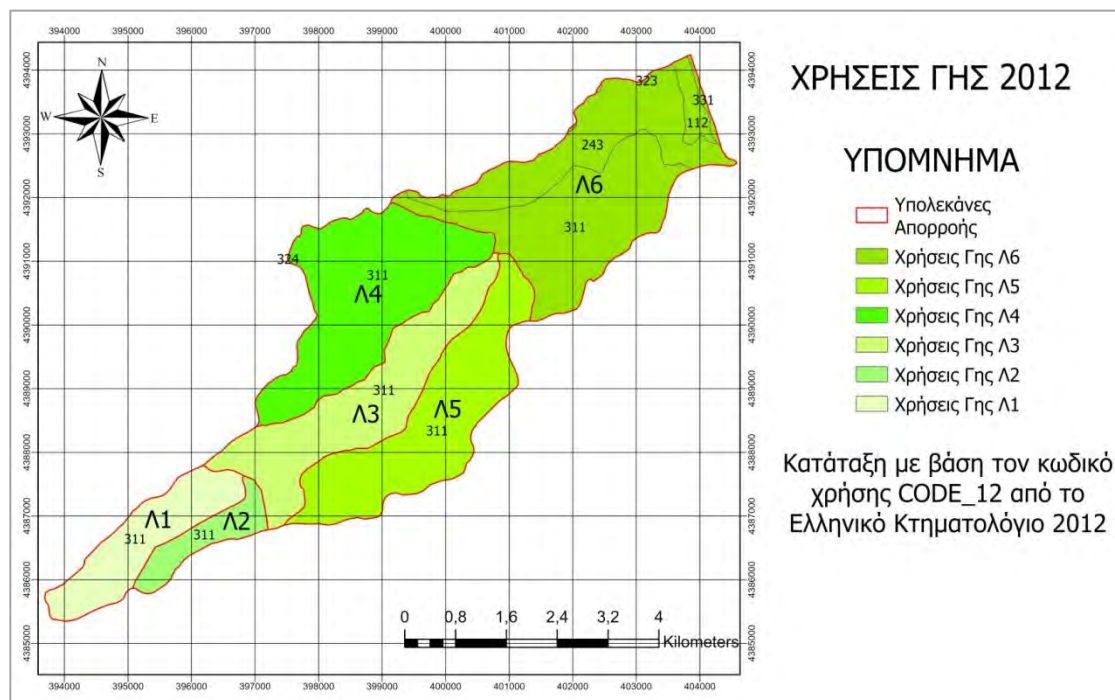
Εικόνα 18 : Χάρτης χρήσεων γης από το CORINE Land Cover 2018 του Copernicus, εντός της Λεκάνης Απορροής και το κύριο Υδατόρρευμα Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Πίνακας 13 : Κωδικοί και κατηγορίες χρήσεων γης εντός των υπολεκανών, γης από το CORINE Land Cover του Copernicus

ΚΩΔΙΚΟΣ ΧΡΗΣΗΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ CORINE
311	Πλατύφυλλο Δάσος	Broad-leaved forest
333	Αραιή Βλάστηση	Sparsely vegetated areas
311	Πλατύφυλλο Δάσος	Broad-leaved forest
313	Μεικτό Δάσος	Mixed forest
243	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation
241	Γραμμικές Καλλιέργειες	Row crops / Annual crops associated with permanent crops
112	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	Discontinuous urban fabric
331	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	Beaches, dunes, sands

Όπως φαίνεται, προέκυψαν 8 κατηγορίες χρήσεων γης που καλύπτουν την υδρολογική λεκάνη. Όμως, όπως αναλύεται παρακάτω, δεν παρατηρούνται όλες οι κατηγορίες για κάθε χρονική περίοδο που εξετάζεται στην έρευνα. Για την καλύτερη εξακρίβωση, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, όπου έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, σχηματίστηκαν τα πολύγωνα με τις χρήσεις γης που υπάρχουν σε κάθε υπολεκάνη, για τα έτη 2012 και 2018.

6.1.1. Χρήσεις Γης υδρολογικής λεκάνης 2012



Εικόνα 19 : Χάρτης χρήσεων γης 2012 μέσω ψηφιοποίησης από το Ελληνικό Κτηματολόγιο εντός των υπολεκανών (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Στον χάρτη της εικόνας 15, απεικονίζονται οι χρήσεις γης του 2012 που βρίσκονται εντός των υπολεκανών. Με βάση το υπόβαθρο από το Ελληνικό Κτηματολόγιο και την κατάλληλη ψηφιοποίηση των πολυγώνων, από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro, έγινε κατάταξη των χρήσεων ανάλογα με τον κωδικό χρήσης CODE_12 (πίνακας 9).

Ο κάθε κωδικός, φανερώνει τον τύπο κάλυψης της γης που υπάρχει σε ορισμένη επιφάνεια εδάφους. Έτσι, με βάση τα δεδομένα που αντλήθηκαν, στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται οι κατηγορίες χρήσεων γης, η επιφάνειά τους και το ποσοστό που καλύπτουν σε κάθε υπολεκάνη, για το έτος 2012.

Πίνακας 14 : Κατηγορίες χρήσεων γης 2012 των υπολεκανών, η έκτασή τους και τα ποσοστά της επιφάνειάς τους

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ (%)
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	2,56	100%
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	1,10	100%
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	4,68	100%
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	5,99	100%
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	5,13	100%
Λ6	Πλατύφυλλο Δάσος	4,36	50%
	Σκληρόφυλλη Βλάστηση	0,17	2%
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	3,06	35%
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	0,31	4%
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	0,80	9%

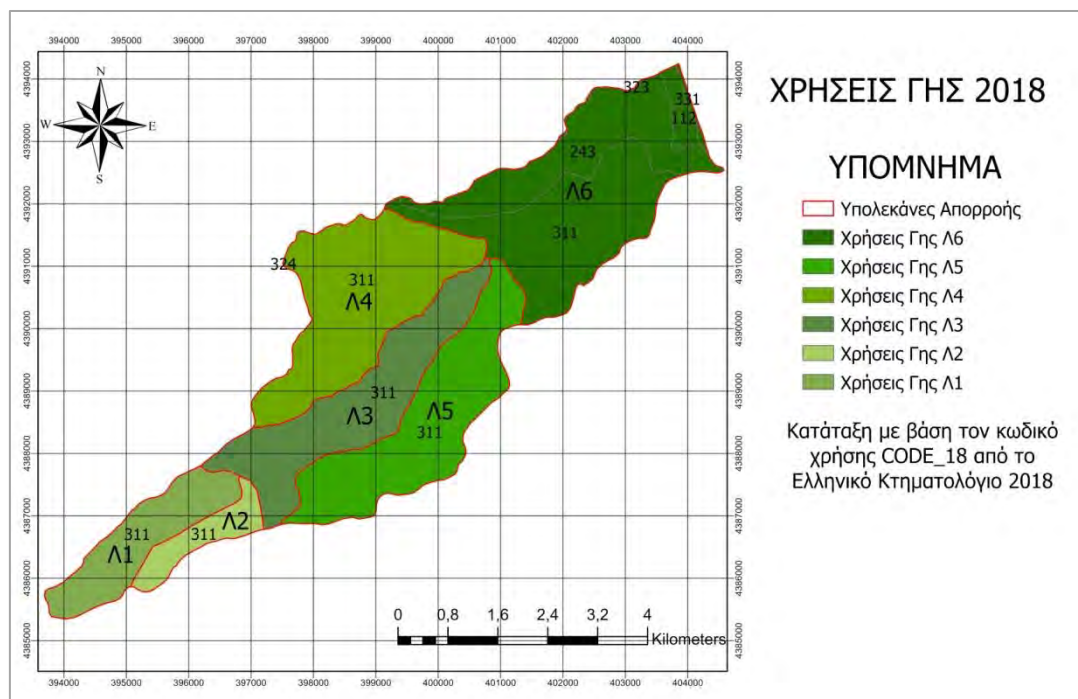
Όπως γίνεται φανερό, για το έτος 2012, προέκυψαν 5 κατηγορίες χρήσεων γης. Συγκεκριμένα, η υδρολογική λεκάνη του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα καλύπτεται κυρίως με πυκνή βλάστηση από πλατύφυλλο δάσος.

Ακόμη, σε σύγκριση με το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα που ανέρχεται στα 28,16 km², οι χρήσεις γης καταλαμβάνουν τα παρακάτω ποσοστά κάλυψης εντός της λεκάνης :

- Το Πλατύφυλλο Δάσος καταλαμβάνει το 84,78%
- Η Σκληρόφυλλη Βλάστηση καταλαμβάνει το 0,60%
- Η Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση καταλαμβάνει το 10,56%
- Ο Ασυνεχής Αστικός Ιστός καταλαμβάνει το 1,22%
- Οι Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές καταλαμβάνουν το 2,84%

6.1.2. Χρήσεις Γης υδρολογικής λεκάνης 2018

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία ψηφιοποίησης των χρήσεων γης μέσω του προγράμματος ArcGIS-Pro, σχηματίστηκαν τα πολύγωνα των χρήσεων γης για το έτος 2018.



Εικόνα 20 : Χάρτης χρήσεων γης 2018 μέσω ψηφιοποίησης από το Ελληνικό Κτηματολόγιο εντός των υπολεκανών (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Πίνακας 15 : Κατηγορίες χρήσεων γης 2018 των υπολεκανών, η έκτασή τους και τα ποσοστά της επιφάνειάς τους

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ (%)
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	2,56	100%
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	1,10	100%
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	4,68	100%
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	5,99	100%
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	5,14	100%
Λ6	Πλατύφυλλο Δάσος	4,76	55%
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	3,40	39%
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	0,42	5%
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	0,10	1%

Όπως γίνεται φανερό, για το έτος 2018, προέκυψαν 4 κατηγορίες χρήσεων γης. Παρατηρείται πως, ομοίως με το 2012, η λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα καλύπτεται κυρίως με πλατύφυλλο δάσος.

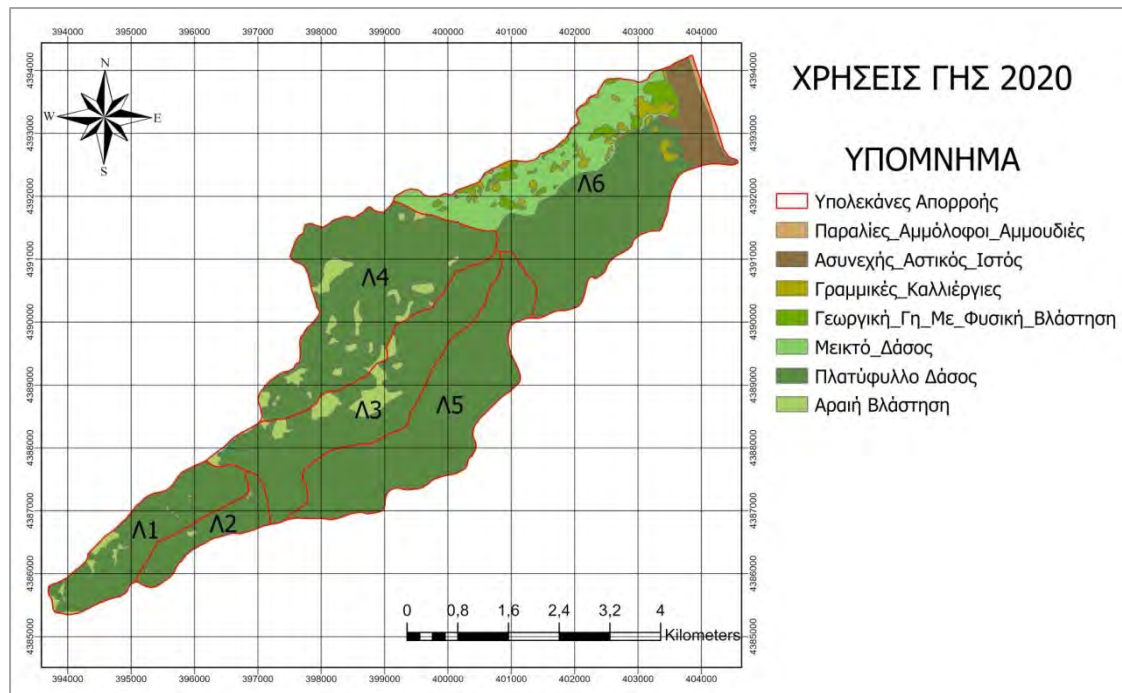
Ακόμη, σε σύγκριση με το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα που ανέρχεται στα 28,16 km², οι χρήσεις γης καταλαμβάνουν τα παρακάτω ποσοστά κάλυψης εντός της λεκάνης :

- Το Πλατύφυλλο Δάσος καταλαμβάνει το 86,00%
- Η Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση καταλαμβάνει το 12,15%
- Ο Ασυνεχής Αστικός Ιστός καταλαμβάνει το 1,5%
- Οι Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές καταλαμβάνουν το 0,35%

6.1.3. Χρήσεις Γης υδρολογικής λεκάνης 2020

Για την εύρεση και την ψηφιοποίηση των χρήσεων γης για το έτος 2020, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα εικόνων από το Google Earth, αλλά και από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro με το υπόβαθρο του χάρτη Imagery Hybrid. Έτσι με την κατάλληλη επεξεργασία, σχηματίστηκαν τα πολύγωνα των χρήσεων γης του 2020 που φαίνονται στο χάρτη της εικόνας 14.

Με βάση το υπόβαθρο των χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για την ψηφιοποίηση, φαίνεται ότι για το έτος 2020 παρατηρούνται ότι υπάρχουν 7 κατηγορίες χρήσεων γης που καλύπτουν την υδρολογική λεκάνη. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι χρήσεις γης που καλύπτουν κάθε υπολεκάνη ή επιφάνειά τους και το ποσοστό που καλύπτουν.



Εικόνα 21 : Χάρτης χρήσεων γης 2020 μέσω ψηφιοποίησης εντός των υπολεκανών (εικόνα από ArcGIS-Pro)

Πίνακας 16 : Κατηγορίες χρήσεων γης 2018 των υπολεκανών, η έκτασή τους και τα ποσοστά της επιφάνειάς τους

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ (%)
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	2,39	93%
	Αραιή Βλάστηση	0,17	7%
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	1,08	98%
	Αραιή Βλάστηση	0,02	2%
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	4,08	87%
	Αραιή Βλάστηση	0,60	12%
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	5,34	89%
	Αραιή Βλάστηση	0,65	11%
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	5,13	100%
Λ6	Πλατύφυλλο Δάσος	4,36	50%
	Μεικτό Δάσος	2,24	26%
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	0,55	6%
	Γραμμικές Καλλιέργειες	0,38	5%
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	0,71	8%
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	0,46	5%

Βέβαια, το μεγαλύτερο τμήμα της, καλύπτεται επίσης με πλατύφυλλο δάσος, όμως παρουσιάζονται και τμήματα αραιής βλάστησης. Ακόμη, κατεβαίνοντας υψομετρικά προς τα κατάντη τμήματα του υδατορρεύματος, παρατηρείται ότι η βλάστηση αλλάζει σε μεικτό δάσος όπου ενδιάμεσά του υπάρχουν διάφορες καλλιέργειες. Η παρόχθια περιοχή της εκβολής του ποταμού, χαρακτηρίζεται από ασυνεχή αστικό ιστό και τελικά καταλήγει σε παραλίες.

Σε σύγκριση με το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα που ανέρχεται στα 28,16 km², οι χρήσεις γης καταλαμβάνουν τα παρακάτω ποσοστά κάλυψης εντός της λεκάνης :

- Το Πλατύφυλλο Δάσος καταλαμβάνει το 79,47%
- Η Αραιή Βλάστηση καταλαμβάνει το 5,11%
- Το Μεικτό Δάσος καταλαμβάνει το 7,95%
- Η Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση καταλαμβάνει το 1,95%
- Οι Γραμμικές Καλλιέργειες καταλαμβάνουν το 1,35%
- Ο Ασυνεχής Αστικός Ιστός καταλαμβάνει το 2,52%
- Οι Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές καταλαμβάνουν το 1,63%

7. TO ΜΟΝΤΕΛΟ HEC-HMS

7.1. Υδρολογική μοντελοποίηση στο λογισμικό HEC-HMS

Η μελέτη και η διαχείριση των υδρολογικών δεδομένων μια λεκάνης απορροής, αποτελεί μια πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία. Τα δεδομένα μιας βροχόπτωσης δεν αρκούν για την προσομοίωση και την εκτίμηση του υδρολογικού κύκλου. Έτσι, η χρήση των κατάλληλων προγραμμάτων έρχεται ως αρωγός στην υδρολογική μοντελοποίηση, αφού δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού των χαρακτηριστικών της λεκάνης με ακρίβεια.

Ένα τέτοιο λογισμικό πρόγραμμα είναι το HEC-HMS, που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία για την εύρεση όλων των απαραίτητων παραμέτρων ώστε να προκύψει η επιθυμητή πλημμυρική παροχή. Μέσω αυτού, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, ενώ παράλληλα γίνεται η εκτίμηση των υδρολογικών μεταβλητών από το ευρύ φάσμα εφαρμογών που παρέχονται.

Ακόμη, σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Στρατού, US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center, «το Σύστημα Υδρολογικής Μοντελοποίησης (HEC-HMS) έχει σχεδιαστεί για να προσομοιώνει τις πλήρεις υδρολογικές διεργασίες των συστημάτων μιας λεκάνης απορροής».

Το πρόγραμμα αυτό, αποτελεί ένα σύστημα μοντελοποίησης, που μπορεί να αναπαραστήσει λεκάνες απορροής και τα χαρακτηριστικά τους, κατασκευάζοντας το μοντέλο της λεκάνης και διαχωρίζοντας τον υδρολογικό κύκλο σε διαχειρίσιμα κομμάτια. Ακόμη, κάθε μέρος της ροής του υδρολογικού κύκλου, αναπαρίσταται με ένα μαθηματικό μοντέλο.

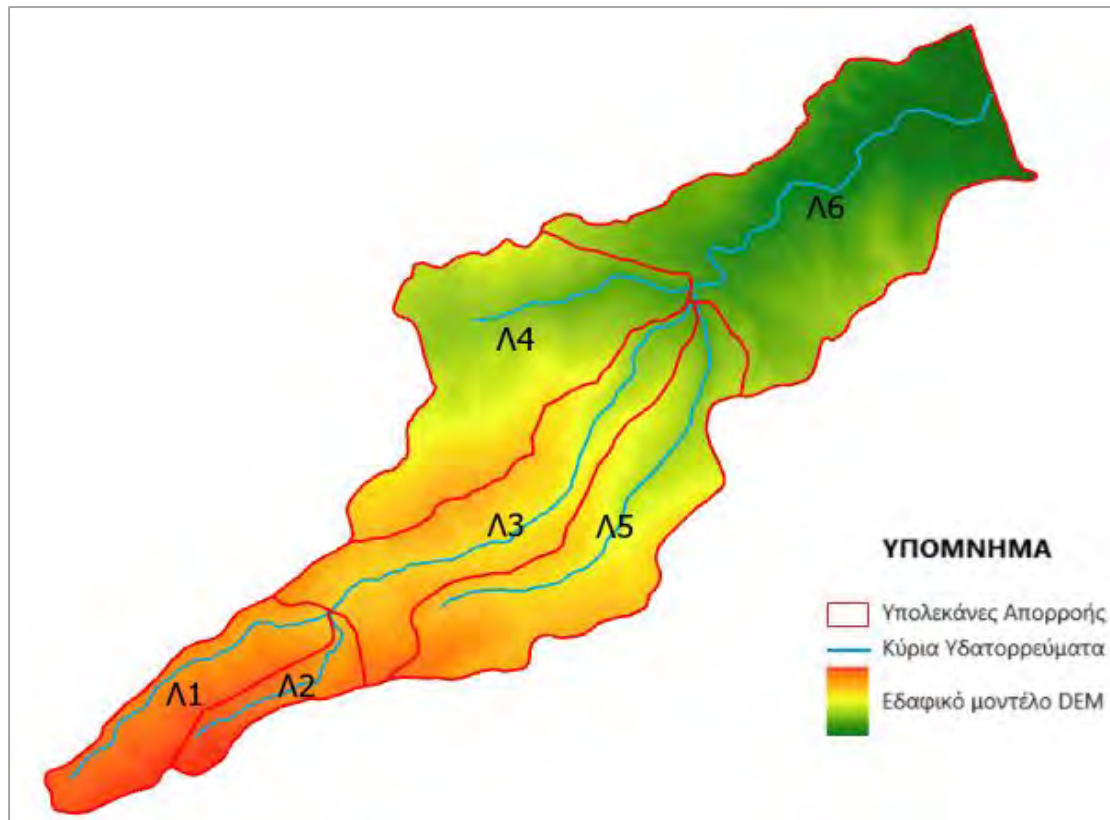
Όπως αναφέρει ο Μαμάσης (2012), «τα υδρολογικά μοντέλα δύναται να περιγράψουν:

- Μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας όπου, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών προσεγγίσεων (π.χ. μοναδιαίο υδρογράφημα ή υετογράφημα), όπου αγνοούνται υδρολογικές συνιστώσες που δεν αφορούν τη μελέτη όπως εξάτμιση και διήθηση.
- Τη διαχρονική εξέλιξη του υδρολογικού ισοζυγίου μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (λεκάνης απορροής), λαμβάνοντας υπόψη τις κύριες διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού στην περιοχή.»

7.2. Περιγραφή της Λεκάνης Απορροής

Η υδρολογική προσομοίωση προκύπτει μέσω κατάλληλης επεξεργασίας και σύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής. Ακόμη, το λογισμικό HEC-HMS, παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων εδάφους.

Έτσι αρχικά, πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή του μοντέλου εδάφους της περιοχής της υδρολογικής λεκάνης (Basin Model) του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, σε μορφή Raster, που προέρχεται έπειτα από εξαγωγή από το ArcGIS-Pro. Μέσω αυτού γίνεται η απεικόνιση των υπολεκανών της περιοχής, καθώς και των ρεμάτων που ανήκουν στην κάθε μια.



Εικόνα 22 : Εικόνα του μοντέλου της υδρολογικής λεκάνης και των κύριων υδατορρευμάτων, με το μοντέλο εδάφους της περιοχής στο λογισμικό HEC-HMS (εικόνα από HEC-HMS)

7.3. Μεθοδολογία της υδρολογικής μοντελοποίησης

Η υδρολογική μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του υδατορρευμάτος Μπουρμπουλήθρα, γίνεται μέσω του λογισμικού HEC-HMS. Είναι απαραίτητο να υπάρχουν τα δεδομένα των υετογραφημάτων για κάθε υπολεκάνη, η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN που δείχνει τον τύπο κάλυψης της γης, ο χρόνος υστέρησης, καθώς και το εμβαδό της κάθε υπολεκάνης (Φαρσιρώτου, 2024).

Ακόμη, στο λογισμικό HEC-HMS, πρέπει να υπάρχουν τα αρχεία της υδρολογικής λεκάνης, των υπολεκανών και των υδατορρευμάτων για την καλύτερη οπτική απεικόνιση της ροής. Έτσι, αφού γίνει εξαγωγή των αρχείων αυτών μέσω του προγράμματος ArcGIS-Pro, εισάγονται στο HEC-HMS και δημιουργείται πλέον το μοντέλο της υδρολογικής λεκάνης (Basin Model).

Στη συνέχεια, για να στηθεί το μοντέλο, πρέπει να μοντελοποιηθούν όλα τα υδρολογικά δεδομένα κάθε υπολεκάνης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των κατάλληλων υδρολογικών μερών-εξαρτημάτων (Components) του μοντέλου, που περιλαμβάνουν τις υπολεκάνες, την έκταση των ρεμάτων, τις συμβολές και το σημείο εξόδου της λεκάνης (Subbasins, Reaches, Junctions, Sink).

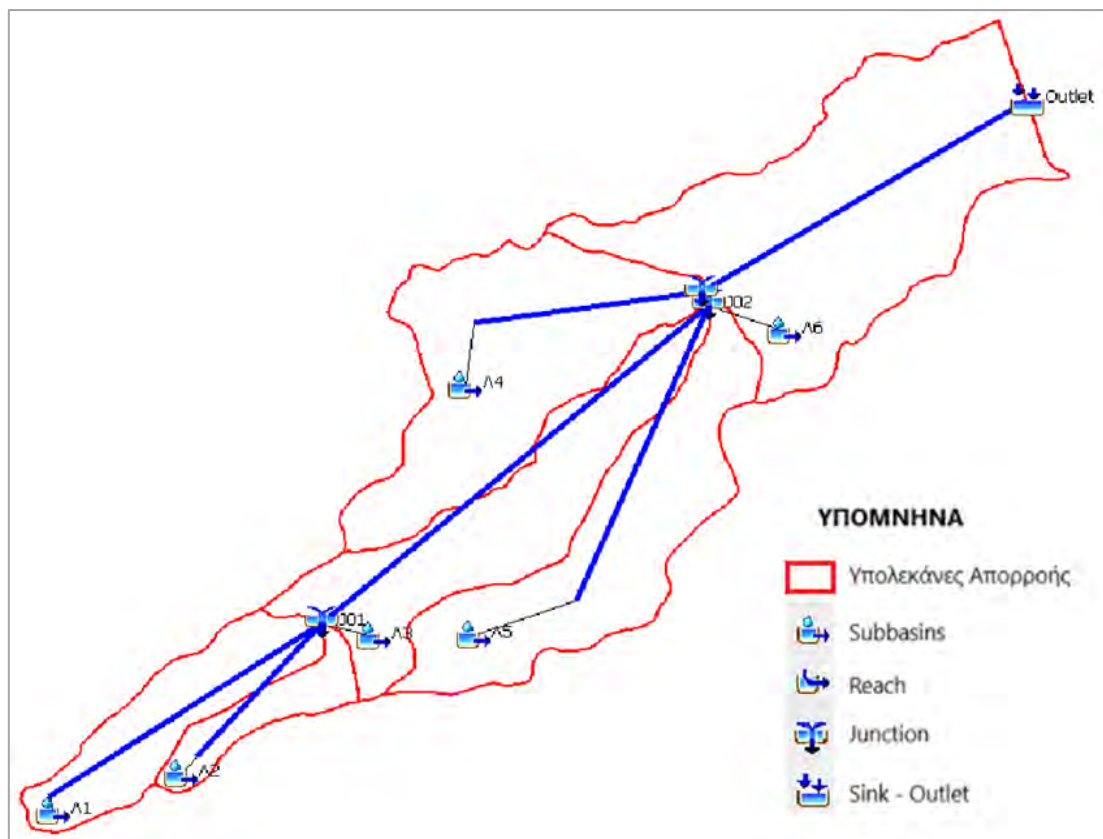
Έπειτα, πρέπει να οριστούν οι τιμές όλων των απαραίτητων χαρακτηριστικών, γι' αυτό στο λογισμικό HEC-HMS εισάγονται οι πληροφορίες των εμβαδών των υπολεκανών, των μηκών των υδατορευμάτων, του χρόνου υστέρησης και του συντελεστή CN, που έχουν ήδη υπολογιστεί.

7.4. Μοντελοποίηση των υδρολογικών δεδομένων

Η αναπαράσταση μιας υδρολογικής λεκάνης απορροής επιτυγχάνεται με ένα μοντέλο λεκάνης. Τα υδρολογικά στοιχεία, συνδέονται σε ένα δίκτυο με δενδρική μορφή, όπου ο υπολογισμός της διεύθυνσης ροής ξεκινά από τα ανάντη στοιχεία και προχωράει προς τα κατόντη.

Έτσι, αφού έχουν εισαχθεί τα αρχεία των υπολεκανών και των υδατορευμάτων, τα υδρολογικά δεδομένα που συνδέονται μεταξύ τους, ώστε να προκύψει η φυσική ροή του υδατορρεύματος είναι:

- Subbasins – οι υπολεκάνες της περιοχής μελέτης
- Reaches – οι απεικονίσεις των ποταμών και ρεμάτων
- Junctions – οι συμβολές (διασταυρώσεις) των ρεμάτων που δημιουργούνται μεταξύ των υπολεκανών
- Sink – το σημείο που προστίθενται οι εισροές του κύριου υδατορρεύματος (το σημείο εξόδου της λεκάνης).



Εικόνα 23 : Εικόνα του μοντέλου σύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης του υδατορεύματος Μπουρμπουλήθρα στο λογισμικό HEC-HMS (εικόνα από HEC-HMS)

7.5. Μετεωρολογικό μοντέλο

Έπειτα από την εισαγωγή των αρχείων των υπολεκανών και των ρεμάτων, αλλά και τη σύνδεση των υδρολογικών στοιχείων, επόμενο βήμα είναι η προσθήκη μετεωρολογικών δεδομένων στο μοντέλο του HEC-HMS.

Η ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων, εκτελείται από το Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorologic Model), όπου περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης. Η δημιουργία μετεωρολογικών μοντέλων στο λογισμικό, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία, αφού έχουν σκοπό την ανάλυση και την προετοιμασία των συνθηκών που επικρατούν στις υπολεκάνες απορροής, για την υδρολογική προσομοίωση.

Ένα μετεωρολογικό μοντέλο, στηρίζεται στην εισαγωγή δεδομένων βροχόπτωσης. Το HEC-HMS παρέχει πολλές διαφορετικές μεθόδους εισαγωγής της βροχόπτωσης που πέφτει σε μια στη λεκάνη απορροής, έτσι

ανάλογα με την προέλευση των δεδομένων, επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος. Στην παρούσα εργασία, για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης, χρησιμοποιείται η μέθοδος του Υετογραφήματος (Hyetograph).

Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση της μεθόδου ενός καθορισμένου υετογραφήματος (Specified Hyetograph method), παρέχεται η δυνατότητα ορισμού χρονοσειρών. Τα αποτελέσματα των βροχομετρικών δεδομένων αποτελούν ένα υετογράφημα για κάθε υπολεκάνη. Βέβαια, στη μέθοδο του υετογραφήματος (Hyetograph), τα δεδομένα βροχοπτώσεων αναλύονται και καθορίζονται εκτός του προγράμματος HEC-HMS.

Έτσι, για την εισαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων, προστίθεται ένα συνθετικό υδρογράφημα υετογράφου (DP-Hyetograph) όπου εισάγονται τα δεδομένα που υπολογίστηκαν για την εκτίμηση της διαφοράς βροχόπτωσης, σε χρονικό διάστημα μιας ημέρας (DP-t). Στη συνέχεια, αφού γίνει η εισαγωγή των δεδομένων χρονοσειρών, καθορίζονται και οι παράμετροι που απαιτούνται για την υδρολογική προσομοίωση.

7.6. Υπολογισμός απωλειών με τη μέθοδο CN (Curve Number) της Soil Conservation Service S.C.S.

Το λογισμικό HEC-HMS διαθέτει διάφορες μεθόδους που περιγράφουν την επιφανειακή απορροή, αλλά και τις απώλειες αυτής κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης. Πολλές από τις μεθόδους, μετατρέπουν την προσπίπτουσα βροχή σε απορροή με τις εξισώσεις μετασχηματισμού που περιλαμβάνουν.

Όμως, όταν ένα μέρος βροχής πέφτει σε μία υδρολογική λεκάνη, πριν την τελική απορροή από το υδατόρρευμα, θα υπάρξουν και απώλειες. Σύμφωνα με τον Κωτσόπουλο, «στις απώλειες της επιφανειακής απορροής μιας βροχόπτωσης συμπεριλαμβάνονται η συγκράτηση από τη φυτοκομή, η συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες (ή και η επιφανειακή αποθήκευση), η εξάτμιση, η διαπνοή και η διήθηση» (2006).

Οι απώλειες αποτελούν σημαντικό κομμάτι του υδατικού ισοζυγίου και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός τους ώστε να προκύψει τελικά η πραγματική απορροή. Σύμφωνα με τον Τσακίρη, «ότι απομένει από τη βροχόπτωση, αν αφαιρεθούν οι απώλειες, αποτελεί το περίσσειμα βροχής ή απορροϊκή βροχή που συχνά ονομάζεται και καθαρή βροχή ή ενεργή βροχόπτωση» (1995).

Για τον υπολογισμό των απωλειών της βροχόπτωσης, διατίθεται μια ποικιλία διαφορετικών μεθόδων, όπου στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται η μέθοδος του απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number) της Soil Conservation Service (S.C.S.). Ακόμη, σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητο να υπολογιστεί η απώλεια από τη φυτοκομή, μέσω της κατακράτησης χρησιμοποιώντας στοιχεία Canopy (βλάστησης-φύλλωμα) και Surface (επιφάνειας), για τη σωστή αναπαράσταση των χρήσεων γης και κατ' επέκταση του υδρολογικού δικτύου.

Πιο αναλυτικά, με τη μέθοδο της Soil Conservation Service (S.C.S.), εισάγονται στο λογισμικό HEC-HMS τα δεδομένα της επιφάνειας κάλυψης των χρήσεων γης που επικρατούν σε κάθε υπολεκάνη. Η εισαγωγή των τιμών του απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number), για κάθε χρήση γης, είναι απαραίτητη, διότι τα φυτά συγκρατούν νερό και έτσι υπολογίζονται οι απώλειες που θα αφαιρεθούν από την βροχόπτωση, ώστε να προκύψει τελικά η επιθυμητή απορροή.

7.7. Υδρολογική Προσομοίωση

Για την προσομοίωση της ροής, το λογισμικό HEC-HMS παρέχει μια ποικιλία από μεθόδους υπολογισμού της συγκέντρωσης της ροής. Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιείται η μέθοδος του χρόνου υστέρησης Lag (tlag), όπου γίνεται η μοντελοποίηση χωρίς εξασθένιση της ροής. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι του χρόνου υστέρησης tlag και η μεταβλητή υστέρησης K, που χρησιμοποιούνται για σταθερές ή κυμαινόμενης εξασθένησης συνθήκες ροής.

Ακόμη, γίνεται εφαρμογή της μεθόδου Muskingum, όπου αποτελεί μια κλασική μέθοδο προσέγγισης εξασθένησης της ροής. Αφού υπολογιστούν οι παραπάνω παράμετροι, η υδρολογική προσομοίωση γίνεται για ορισμένο χρονικό διάστημα, όπου πρέπει να οριστούν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τον χρονικό έλεγχο (Control Specifications), που περιλαμβάνουν:

- Starting Date and Time - ημερομηνία και ώρα έναρξης
- Ending Date and Time - ημερομηνία και ώρα λήξης
- Time Interval - χρονικό διάστημα

Όσον αφορά το χρονικό διάστημα (Time Interval), για κάθε προδιαγραφή ελέγχου πρέπει να οριστεί η διάρκεια, που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση υπολογισμών, αλλά και για την προβολή των αποτελεσμάτων των χρονοσειρών. Έτσι λοιπόν, επιλέγεται και εισάγεται η επιθυμητή ώρα εκτέλεσης της προσομοίωσης, ώστε να φανούν αντίστοιχα και τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Αφού οριστούν οι παραπάνω προδιαγραφές ελέγχου (Control Specifications), γίνεται η σύνδεσή τους με το μοντέλο της λεκάνης (Basin Model) και ένα μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic Model), ώστε να γίνει τελικά η εκτέλεση της προσομοίωσης (Simulation Run). Τα αποτελέσματα, απεικονίζονται στον χάρτη της λεκάνης απορροής (Basin Map), σε συνολικούς και συνοπτικούς πίνακες (Summary Tables), ένας πίνακας χρονοσειρών (Time-series Table) και ένα γράφημα (Graph), που δείχνουν τα που προέκυψαν από την προσομοίωση. Στους πίνακες, περιλαμβάνονται πληροφορίες για τη μέγιστη ροή, τον συνολικό πλημμυρικό όγκο και άλλες μεταβλητές.

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των δεδομένων και των πληροφοριών της βιβλιογραφίας, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι χρήσεις γης αποτελούν έναν πολύ βασικό παράγοντα που επηρεάζουν την απορροή μιας υδρολογικής λεκάνης και κατ' επέκταση των υδατορευμάτων. Με την πάροδο των ετών, οι καλύψεις της γης αλλοιώνονται και μετασχηματίζονται εξ' αιτίας των φυσικών φαινομένων αλλά και της ανθρωπογενούς δραστηριότητας.

Ταυτόχρονα, με βάση όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω, οι χρήσεις γης παίζουν τον κύριο ρόλο σε μια υδρολογική προσομοίωση, για την εύρεση της παροχής ενός υδατορρέυματος, οι χρήσεις γης παίζουν τον κύριο ρόλο, καθώς φαίνεται πως η μεταβολή του συντελεστή φυτοκάλυψης, μπορεί να αυξήσει την τιμή του πλημμυρικού όγκου.

Τα δεδομένα αυτά, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη λεκάνη της περιοχής μελέτης καλύπτεται από 8 διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων γης. Όμως, δεν παρατηρούνται όλες οι κατηγορίες για κάθε χρονική περίοδο που εξετάζεται στην έρευνα και έτσι υπάρχουν διαφοροποιήσεις των αποτελεσμάτων για τα έτη 2012, 2018 και 2020.

Επιπροσθέτως, παρατηρείται ότι καθοριστικό ρόλο στην υδρολογική μοντελοποίηση έχει τόσο ο χρόνος συρροής, όσο και τα δεδομένα βροχόπτωσης, όπου από αυτά προκύπτουν τα υδρογραφήματα της έντασης της βροχής και των υετογραφημάτων, που η εισαγωγή τους είναι απαραίτητη στη συνέχεια στο λογισμικό HEC-HMS/

Τα δεδομένα των υπολεκανών της περιοχής μελέτης, όπως το εμβαδό, το μήκος των ρεμάτων, τα υψόμετρα, είναι απαραίτητα για την προσομοίωση. Ακόμα, με την επιλογή των κατάλληλων μεθόδων και τη δημιουργία των σωστών μετεωρολογικών δεδομένων και χρονοσειρών, θα προκύψουν και τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Βέβαια, κρίνεται αναγκαίο να γίνει υπενθύμιση πως, πριν την εισαγωγή των δεδομένων μιας λεκάνης στο πρόγραμμα HEC-HMS, απαιτείται προεργασία και επεξεργασία των μορφολογικών και υδρολογικών δεδομένων της από το λογισμικό ArcGIS-Pro..

Από την ανάλυση των ευρημάτων από τη βιβλιογραφία, προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες κατηγοριοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται παρουσίαση των χρήσεων γης σε κάθε υπολεκάνη για το κάθε έτος μελέτης, των δεδομένων των υπολεκανών για τον υπολογισμό του χρόνου συρροής και των όμβριων παραμέτρων για την ένταση της βροχόπτωσης.

Σημαντικό βήμα ήταν η δημιουργία υετογραφημάτων και όπως γίνεται φανερό, η μέγιστη τιμή της διαφοράς βροχόπτωσης συμβαίνει στη μέση της ημέρας, στις 12 ώρες. Από τη στιγμή που αρχίζει η βροχόπτωση έως τη μέση του 24ωρου, η συνάρτηση έχει εκθετικό χαρακτήρα, δηλαδή οι τιμές των υψομέτρων βροχόπτωσης ανεβαίνουν σε σταθερό βήμα μισής ώρας, ενώ έπειτα από τις 12 ώρες ως το τέλος της ημέρας, οι τιμές αυτές έχουν φθίνουσα πορεία.

Εδώ πρέπει να υπογραμμιστεί, πως σε κάθε υπολεκάνη απορροής θα προκύψουν διαφορετικά ύψη βροχής P , άρα και υψομετρικών διαφορών βροχόπτωσης DP , για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς T (50,100,1.000 έτη), όμως οι τιμές παραμένουν ίδιες για κάθε έτος μελέτης (2012,2018,2020).

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση της διαδικασίας του σχεδιασμού των υετογραφημάτων, όπου εισάχθηκαν στο λογισμικό HEC-HMS, στο οποίο έγινε τελικά η υδρολογική μοντελοποίηση και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πλημμυρικού όγκου σε πίνακες και διαγράμματα.

8.1. Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο απορροϊκός συντελεστής CN, δείχνει την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους που έχει κάθε επιφάνεια κάλυψης με διάφορες χρήσεις γης. Στη λεκάνη απορροής της συγκεκριμένης μελέτης, υπάρχουν μερικές κατηγορίες χρήσεων γης, που ταξινομήθηκαν παραπάνω σε πίνακες για τα έτη 2012, 2018 και 2020.

Για την εύρεση των τιμών CN για κάθε χρήση γης που υπάρχει σε κάθε υπολεκάνη του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, αντλήθηκαν δεδομένα από πίνακες, σύμφωνα με το Κέντρο Υδρολογικής Μηχανικής του Σώματος Μηχανικών Στρατού των ΗΠΑ, από το πρόγραμμα HEC-HMS.

Έτσι, προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες με τις τιμές των CN των χρήσεων γης σε κάθε υπολεκάνη για τα έτη 2012, 2018 και 2020.

Πίνακας 17 : Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός των υπολεκανών για το έτος 2012

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	CN
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ6	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	96
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	86
	Σκληρόφυλλη Βλάστηση	78
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	90
	Πλατύφυλλο Δάσος	77

Πίνακας 18 : Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός των υπολεκανών για το έτος 2018

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	CN
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ6	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	86
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	90
	Πλατύφυλλο Δάσος	77
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	96

Πίνακας 19 : Τιμές των Απορροϊκών Συντελεστών CN εντός των υπολεκανών για το έτος 2020

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	CN
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	77
	Αραιή Βλάστηση	72
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	77
	Αραιή Βλάστηση	72
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	77
	Αραιή Βλάστηση	72
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	77
	Αραιή Βλάστηση	72
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	77
Λ6	Πλατύφυλλο Δάσος	77
	Μεικτό Δάσος	82
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	90
	Γραμμικές Καλλιέργειες	88
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	86
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	96

8.2. Σταθμισμένη τιμή του Απορροϊκού Συντελεστή ΣCN εντός της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρέυματος Μπουρμπουλήθρα

Βέβαια, σε ορισμένες υπολεκάνες εντοπίζονται πάνω από μια χρήσεις γης. Για το λόγο αυτό, υπολογίζεται η τιμή του σταθμισμένου απορροϊκού συντελεστή ΣCN, ανάλογα με την επιφάνεια που καλύπτει κάθε χρήση σε κάθε υπολεκάνη.

Πίνακας 20 : Τιμές της σταθμισμένης τιμής του απορροϊκού συντελεστή ΣCN ανάλογα με το σχετικό εμβαδό των χρήσεων γης των υπολεκανών, για το έτος 2012

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΣΧΕΤΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟ (%)	ΣCN
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ6	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	9%	83,66
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	4%	
	Σκληρόφυλλη Βλάστηση	2%	
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	35%	
	Πλατύφυλλο Δάσος	50%	

Πίνακας 21 : Τιμές της σταθμισμένης τιμής του απορροϊκού συντελεστή ΣCN ανάλογα με το σχετικό εμβαδό των χρήσεων γης των υπολεκανών, για το έτος 2018

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΣΧΕΤΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟ (%)	ΣCN
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ6	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	5%	82,71
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	39%	
	Πλατύφυλλο Δάσος	55%	
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	1%	

Πίνακας 22 : Τιμές της σταθμισμένης τιμής του απορροϊκού συντελεστή ΣCN ανάλογα με το σχετικό εμβαδό των χρήσεων γης των υπολεκανών, για το έτος 2020

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΣΧΕΤΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟ (%)	ΣCN
Λ1	Πλατύφυλλο Δάσος	93%	76,67
	Αραιή Βλάστηση	7%	
Λ2	Πλατύφυλλο Δάσος	98%	76,91
	Αραιή Βλάστηση	2%	
Λ3	Πλατύφυλλο Δάσος	87%	76,36
	Αραιή Βλάστηση	12%	
Λ4	Πλατύφυλλο Δάσος	89%	76,46
	Αραιή Βλάστηση	11%	
Λ5	Πλατύφυλλο Δάσος	100%	77
Λ6	Πλατύφυλλο Δάσος	50%	81,89
	Μεικτό Δάσος	26%	
	Γεωργική Γη με Φυσική Βλάστηση	6%	
	Γραμμικές Καλλιέργειες	5%	
	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	8%	
	Παραλίες, Αμμόλοφοι, Αμμουδιές	5%	

8.3. Χρόνος συρροής ή χρόνος συγκέντρωσης t_c (h)

Από την επίλυση της εξίσωσης Giandotti, που εξαρτάται από το εμβαδό της λεκάνης, το μήκος του κύριου υδατορρεύματος και από το μέσο και το ελάχιστο υψόμετρο, προκύπτει ο χρόνος συρροής σε ώρες, για κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα.

Πίνακας 23 : Υπολογισμός το χρόνου συρροής t_c από την εξίσωση του Giandotti στις υπολεκάνες της περιοχής

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ (km ²)	ΜΗΚΟΣ ΚΥΡΙΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ (km)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΡΡΟΗΣ t_c (h)
Λ1	2,56	3,71	680,04	902,78	1,00
Λ2	1,10	2,49	679,91	918,11	0,64
Λ3	4,68	6,03	176,24	632,34	1,04
Λ4	5,99	2,60	142,97	448,07	0,98
Λ5	5,13	4,27	176,24	581,22	0,96
Λ6	8,70	5,27	2,09	159,11	1,97

Είναι σκόπιμο να σημειωθεί, πως ο χρόνος συρροής t_c , δεν αλλάζει στις υπολεκάνες με την εναλλαγή των ετών ή των χρήσεων γης, καθώς τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών (εμβαδό, μήκος υδατορρεύματος, υψόμετρα) παραμένουν αναλλοίωτα (*Dingman, S. L., 1994*)

Ακόμη, παρατηρείται ότι ο χρόνος συγκέντρωσης t_c , έχει μεγαλύτερη τιμή για την υπολεκάνη Λ6, καθώς εξαρτάται από τα χαρακτηρίστηκα της λεκάνης (εμβαδό, μήκος υδατορρεύματος, υψόμετρα), που έχουν επίσης μεγαλύτερα μεγέθη, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

8.4. Ένταση Βροχόπτωσης i (mm/h)

Σύμφωνα με το χρόνο συρροής t_c και τις παραμέτρους των όμβριων καμπυλών, που αντλήθηκαν από πίνακες του ΥΠΕΝ και από κατάλληλη επεξεργασία μέσω του λογισμικού ArcGIS-Pro, έγινε ο υπολογισμός της έντασης βροχόπτωσης i (mm/h) για το έτος 2012, για τις περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100$ και 1.000 έτη.

Πίνακας 24 : Παράμετροι όμβριων καμπυλών και η ένταση βροχόπτωσης i , σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	λ	T 50 (έτη)	β	ξ	$k = t_c$ (h)	α	η	i_{50} (mm/h)
$\Lambda 1$	57,05	50	0,03	0,18	1,00	0,18	0,62	41,02
$\Lambda 2$	55,03		0,03	0,18	0,64	0,18	0,61	47,24
$\Lambda 3$	54,43		0,03	0,18	1,04	0,18	0,60	38,52
$\Lambda 4$	56,32		0,03	0,18	0,98	0,18	0,60	40,57
$\Lambda 5$	54,22		0,03	0,18	0,96	0,18	0,60	39,70
$\Lambda 6$	118,08		0,03	0,18	1,97	0,18	0,73	48,35

Ομοίως, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τον υπολογισμό της έντασης βροχόπτωσης για τα έτη 2018 και 2020, για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς. Οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών παραμένουν οι ίδιοι για κάθε χρονική περίοδο (2012, 2018, 2020).

Αξίζει να αναφερθεί, πως η ένταση της βροχόπτωσης έχει διαφορετική τιμή για κάθε περίοδο επαναφοράς T (όσο αυξάνονται τα έτη μεγαλώνει και η τιμή της έντασης της βροχής), ενώ με την πάροδο των ετών η ένταση της βροχόπτωσης δεν αλλάζει για την ίδια περίοδο επαναφοράς. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 25 : Ένταση βροχόπτωσης i , σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης για περίοδο επαναφοράς T 100 έτη

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	T 100 (έτη)	i_{100} (mm/h)
Λ1	100	48,42
Λ2		55,82
Λ3		45,51
Λ4		47,94
Λ5		46,91
Λ6		57,13

Πίνακας 26 : Ένταση βροχόπτωσης i , σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη

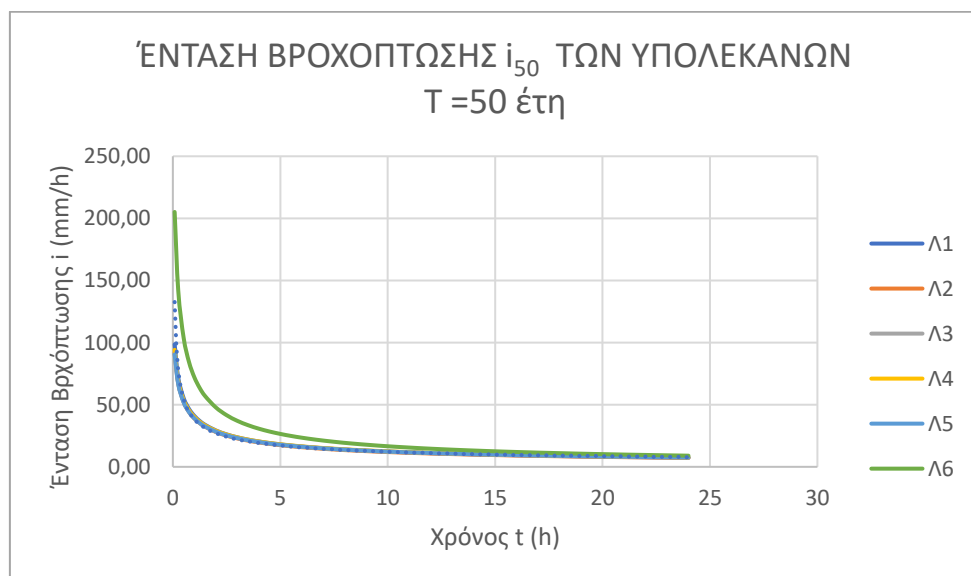
ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	T 100 (έτη)	$i_{1.000}$ (mm/h)
Λ1	1.000	48,42
Λ2		55,82
Λ3		45,51
Λ4		47,94
Λ5		46,91
Λ6		57,13

8.4.1. Διάγραμμα έντασης βροχόπτωσης i (mm/h)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της έντασης βροχόπτωσης σε κάθε υπολεκάνη για κάθε περίοδο επαναφοράς, σε χρονικό διάστημα 24h. Πιο αναλυτικά, ακολουθούν πίνακες με τις μέγιστες τιμές της έντασης της βροχής, για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς, ώστε να προκύψουν τα κατάλληλα δεδομένα σύγκρισης.

Πίνακας 27 : Πίνακας με τις μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη, i_{50} (mm/h)

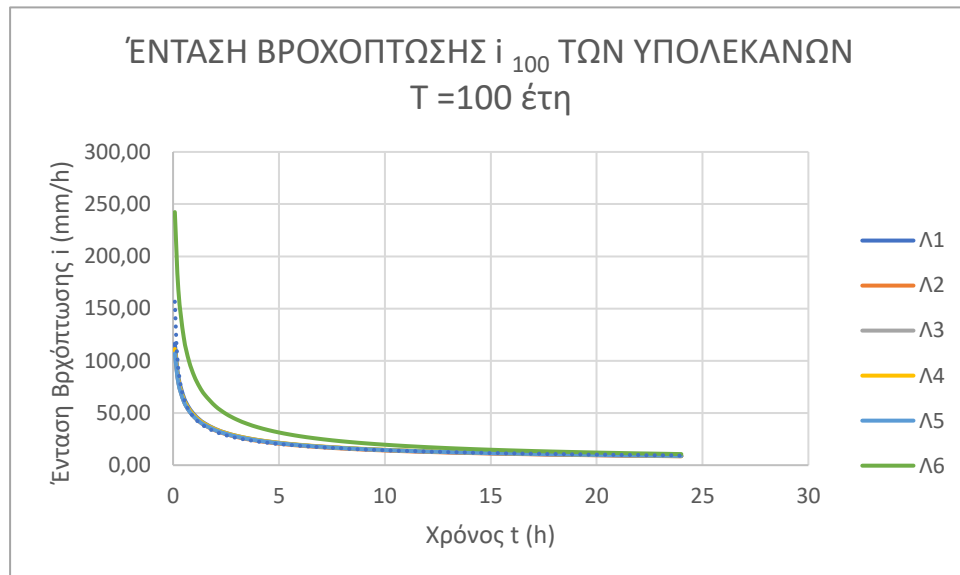
ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	$T = 50$ έτη	i_{50} (mm/h)
Λ1	50	98,63
Λ2		92,15
Λ3		90,93
Λ4		94,2
Λ5		90,56
Λ6		205,17



Σχήμα 5 : Διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης i_{50} (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα 24h, για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη

Πίνακας 28 : Πίνακας με τις μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη, i_{100} (mm/h)

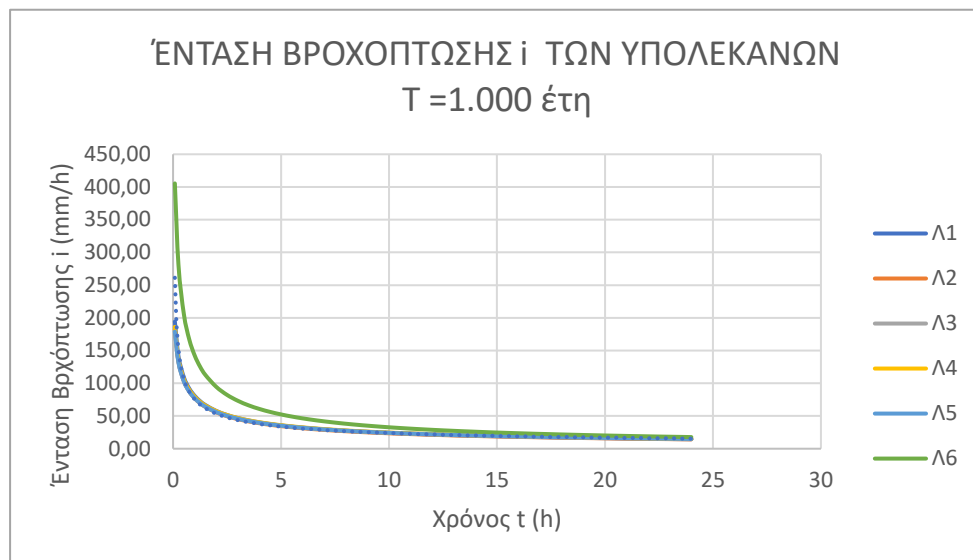
ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	$T = 100$ έτη	i_{100} (mm/h)
Λ1	100	116,41
Λ2		108,9
Λ3		107,45
Λ4		111,31
Λ5		107,01
Λ6		242,41



Σχήμα 6 : Διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης i_{100} (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα 24h, για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη

Πίνακας 29 : Πίνακας με τις μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς $T = 1.000$ έτη, $i_{1.000}$ (mm/h)

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	$T = 1.000$ έτη	$i_{1.000}$ (mm/h)
Λ1	1.000	194,28
Λ2		182,21
Λ3		179,77
Λ4		186,24
Λ5		179,04
Λ6		405,49



Σχήμα 7 : Διάγραμμα της έντασης βροχόπτωσης $i_{1,000}$ (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα 24h, για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά και όπως προκύπτει από τα διαγράμματα, φαίνεται ότι η ένταση της βροχόπτωσης αλλάζει για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνονται τα έτη εμφάνισης του ίδιου γεγονότος, αυξάνεται και η τιμή της έντασης της βροχής. Όμως, παραμένει η ίδια για κάθε έτος που μελετάται, 2012, 2018 και 2020, καθώς τα υδρολογικά χαρακτηριστικά, οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών και ο χρόνος συγκέντρωσης δεν μεταβάλλονται.

Επιπλέον, με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, γίνεται φανερό ότι για τις υπολεκάνες Λ1 έως την Λ5, η έντασης βροχόπτωσης παρουσιάζει πολύ κοντινές τιμές. Όμως, για τη λεκάνη Λ6, όπου εκεί καταλήγει η εκβολή του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, η τιμή της έντασης βροχόπτωσης παρουσιάζει πάνω από τη διπλάσια τιμή, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

Αυτό συμβαίνει διότι, οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών καθώς και ο χρόνος συρροής t_c , έχουν μεγαλύτερα μεγέθη για την υπολεκάνη Λ6. Ο χρόνος συρροής στη συγκεκριμένη λεκάνη είναι μεγαλύτερος, διότι είναι εξαρτάται από το εμβαδό της λεκάνης, το μήκος του υδατορρεύματος και τα υψόμετρα, που καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση και έχουν διαφορετικές τιμές από τις υπόλοιπες λεκάνες,

8.5. Υετογράφημα Σχεδιασμού – DP Hyetograph

Το υετογράφημα σχεδιασμού της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph, προέκυψε έπειτα από κατάλληλη ταξινόμηση των υψών βροχής, με βάση το χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24 ωρών.

Πιο αναλυτικά, παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας τυπικής απεικόνισης της ταξινόμησης των διαφορών βροχόπτωσης, ώστε να προκύψει το υετογράφημα σχεδιασμού. Ακόμη, ακολουθούν τα διαγράμματα των υετογραφημάτων, σε κάθε υπολεκάνη για κάθε περίοδο επαναφοράς.

Αξίζει να γίνει υπενθύμιση, πως η βροχόπτωση εξαρτάται από την ένταση της βροχής i , η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς T , αλλά και από τη χρονική διάρκεια t που μεσολαβεί, δηλαδή ισχύει η σχέση $P = i * t$ (mm). Η διαφορά της βροχόπτωσης, υπολογίστηκε ανά μισή ώρα στη διάρκεια μιας ημέρας και έτσι τελικά έγινε η κατάλληλη ταξινόμηση του υετογραφήματος.

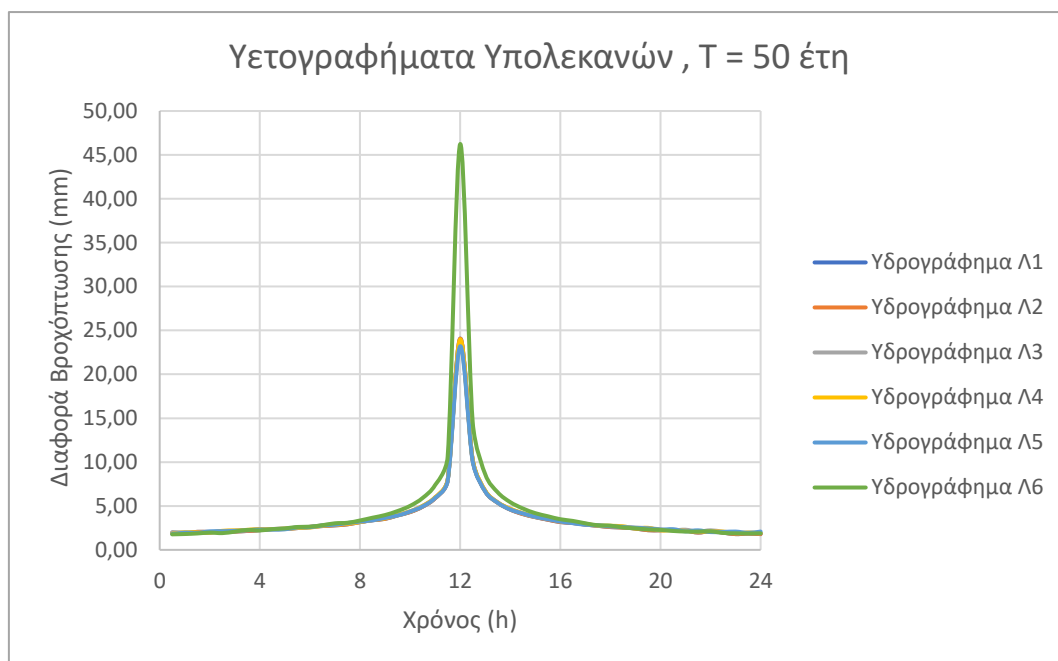
Πίνακας 30 : Πίνακας τυπικής διαδικασίας εύρεσης και ταξινόμησης των διαφορών βροχόπτωσης, ώστε να προκύψει το υετογράφημα σχεδιασμού DP Hyetograph

t (h)	i (mm/h)	P (mm)	DP (mm)	DP Hyetograph
0,5	50,42	25,21	25,21	1,97
1	35,65	35,65	10,44	1,92
1,5	29,11	43,66	8,02	2,09
2	25,20	50,41	6,74	2,08
2,5	22,54	56,36	5,95	2,09
3	20,58	61,74	5,38	2,13
3,5	19,06	66,69	4,95	2,05
4	17,83	71,31	4,62	2,31
4,5	16,81	75,62	4,31	2,30
5	15,94	79,70	4,08	2,47
5,5	15,20	83,58	3,88	2,43
6	14,55	87,33	3,75	2,47
6,5	13,99	90,92	3,59	2,59
7	13,48	94,33	3,41	2,80
7,5	13,02	97,65	3,32	2,94
8	12,60	100,81	3,16	3,14
8,5	12,23	103,95	3,14	3,32
9	11,89	106,97	3,02	3,59

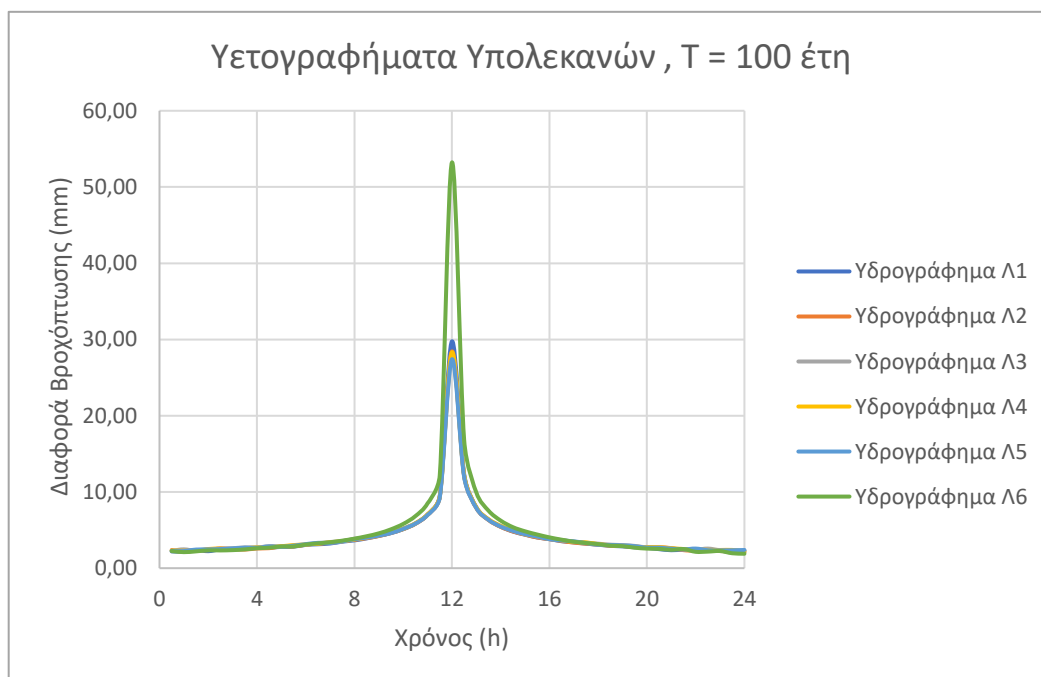
9,5	11,57	109,91	2,94	3,88
10	11,27	112,72	2,81	4,31
10,5	11,00	115,52	2,80	4,95
11	10,75	118,26	2,74	5,95
11,5	10,51	120,85	2,59	8,02
12	10,30	123,54	2,69	25,21
12,5	10,08	126,02	2,47	10,44
13	9,89	128,52	2,50	6,74
13,5	9,70	130,95	2,43	5,38
14	9,52	133,32	2,38	4,62
14,5	9,37	135,79	2,47	4,08
15	9,21	138,11	2,31	3,75
15,5	9,06	140,40	2,30	3,41
16	8,91	142,55	2,15	3,16
16,5	8,78	144,86	2,31	3,02
17	8,65	147,03	2,18	2,81
17,5	8,52	149,08	2,05	2,74
18	8,40	151,16	2,08	2,69
18,5	8,29	153,30	2,13	2,50
19	8,17	155,32	2,02	2,38
19,5	8,07	157,41	2,09	2,31
20	7,97	159,40	1,99	2,15
20,5	7,88	161,48	2,08	2,18
21	7,77	163,27	1,79	2,08
21,5	7,69	165,36	2,09	2,02
22	7,60	167,16	1,80	1,99
22,5	7,51	169,07	1,92	1,80
23	7,43	170,91	1,83	1,83
23,5	7,36	172,87	1,97	1,67
24	7,27	174,54	1,67	1,83

Όπως γίνεται αντιληπτό, η μέγιστη τιμή της διαφοράς βροχόπτωσης συμβαίνει στο χρονικό διάστημα 12 ωρών, δηλαδή στη μέση μιας ημέρας. Επιπλέον, φαίνεται πως από τη στιγμή που αρχίζει η βροχόπτωση έως τη μέση του 24ωρου, οι τιμές των υπομέτρων βροχόπτωσης έχουν εκθετικό χαρακτήρα και ανεβαίνουν σε σταθερό βήμα μισής ώρας, ενώ έπειτα από τις 12 ώρες ως το τέλος της ημέρας, οι τιμές αυτές έχουν φθίνουσα πορεία.

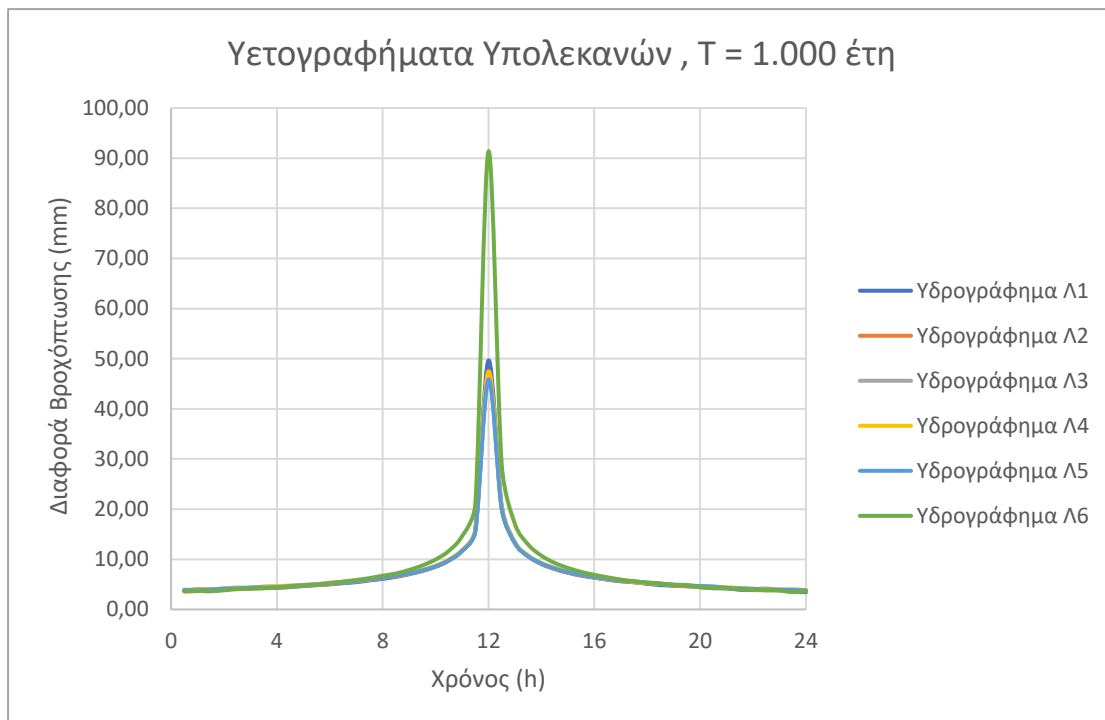
Με τον ίδιο τρόπο, κατασκευάστηκαν 18 υετογραφήματα σχεδιασμού, ένα για κάθε υπολεκάνη απορροής και για περιόδους επαναφοράς 50, 100 και 1.000 ετών, για διάρκεια βροχόπτωσης 24 ωρών. Παρακάτω, φαίνονται τα διαγράμματα των υετογραφημάτων όλων των υπολεκανών για κάθε περίοδο επαναφοράς.



Σχήμα 9 : Διάγραμμα υετογραφήματος της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24h, για περίοδο επαναφοράς T 50 έτη



Σχήμα 8: Διάγραμμα υετογραφήματος της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24h, για περίοδο επαναφοράς T 100 έτη



Σχήμα 10 : Διάγραμμα υετογραφήματος της διαφοράς βροχόπτωσης – DP Hyetograph σε κάθε υπολεκάνη, σε χρονικό βήμα μισής ώρας εντός 24h, για περίοδο επαναφοράς T 1.000 έτη

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά και όπως προκύπτει από τα διαγράμματα, φαίνεται πως σε κάθε υπολεκάνη απορροής θα προκύψουν διαφορετικά ύψη διαφορών βροχόπτωσης DP, για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς T (50,100,1.000 έτη), όμως οι τιμές παραμένουν ίδιες για κάθε έτος μελέτης (2012,2018,2020). Συγκεκριμένα, όσο αυξάνονται τα έτη της περιόδου επαναφοράς T, αυξάνεται και η διαφορά του ύψους της βροχής.

Επιπλέον, με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, γίνεται φανερό ότι για τις υπολεκάνες Λ1 έως την Λ5, η διαφορά βροχόπτωσης παρουσιάζει πολύ κοντινές τιμές, επομένως τα υετογραφήματα είναι κοντά μεταξύ τους. Όμως, για τη λεκάνη Λ6, η μέγιστη τιμή της διαφοράς του ύψους βροχής παρουσιάζει πάνω από τη διπλάσια τιμή, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

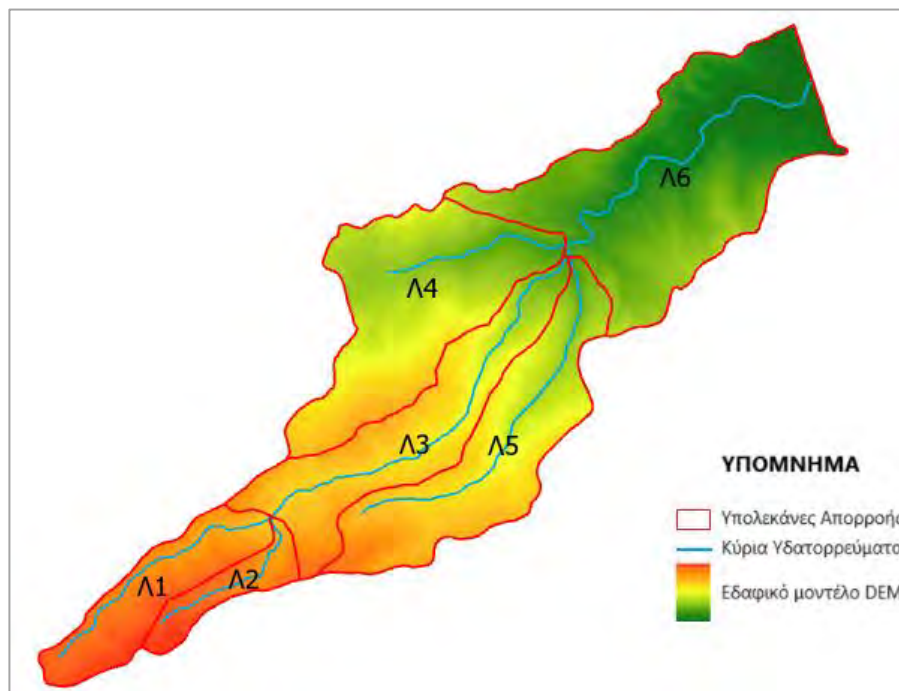
Αυτό συμβαίνει διότι, όπως αναλύθηκε ήδη, η βροχόπτωση εξαρτάται από την έντασή της και το χρόνο συρροής. Έτσι, αφού η ένταση της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη στη λεκάνη Λ6, για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα είναι μεγαλύτερη και η τιμή της διαφοράς ύψους βροχής.

8.6. Διαδικασία Υδρολογικής Μοντελοποίησης στο HEC-HMS

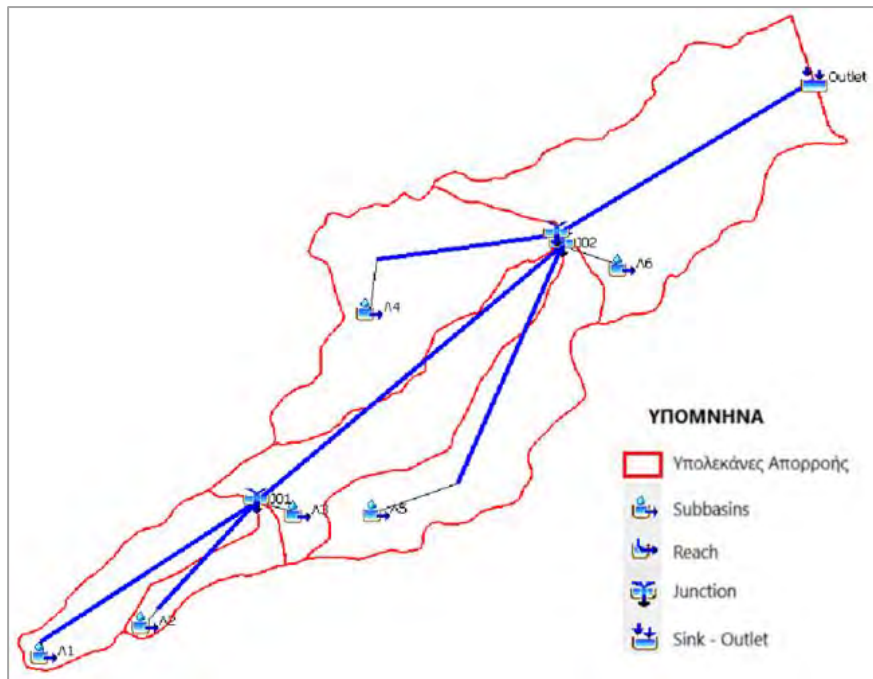
Αφού έγινε εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο λογισμικό HEC-HMS, γίνεται πλέον η διαδικασία της υδρολογικής μοντελοποίησης. Τα δεδομένα της περιοχής της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα που χρειάστηκαν και προστέθηκαν στο HEC-HMS είναι τα ακόλουθα:

- Το μοντέλου εδάφους - DEM
- Η κύρια λεκάνη απορροής – Watershed
- Το ΥΔ της λεκάνης - Rivers
- Οι υπολεκάνες της ΠΜ – Subbasins

Στη συνέχεια για να στηθεί το ΥΜΟ, χρειάστηκε να γίνει μοντελοποίηση της κάθε υπολεκάνης και σύνδεσης όλων των υδρολογικών στοιχείων. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι παράμετροι των υπολεκανών, των ρεμάτων, των συμβολών και το σημείο εξόδου της λεκάνης, όπου πλέον απεικονίζεται η φυσική ροή του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα. Όπως γίνεται αντιληπτό, η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε έξι υπολεκάνες που απεικονίζονται με το αρχικό γράμμα Λ.



Εικόνα 24 : Εικόνα του μοντέλου εδάφους της υδρολογικής λεκάνης του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα (εικόνα από HEC-HMS)



Εικόνα 25 : Εικόνα της σύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης στο λογισμικό HEC-HMS (εικόνα από HEC-HMS)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η λεκάνη απορροής έχει τρεις κόμβους, δηλαδή τρεις ενώσεις όπου το νερό της μιας υπολεκάνης απορρέει στην άλλη, που συμβολίζονται με το γράμμα J και έναν στο σημείο εκβολής του κύριου υδατορρεύματος.

Μια υπολεκάνη, θεωρείται ένα στοιχείο που συνήθως δεν έχει εισροή και μόνο μία εκροή. Δεδομένου αυτού, στο μοντέλο του HEC-HMS γίνει η παραγωγή ροής στο Μοντέλο Λεκάνης (Basin Model). Η εκροή υπολογίζεται από μετεωρολογικά δεδομένα αφαιρώντας τις απώλειες, μετασχηματίζοντας την υπερβολική βροχόπτωση και προσθέτοντας τη βασική ροή.

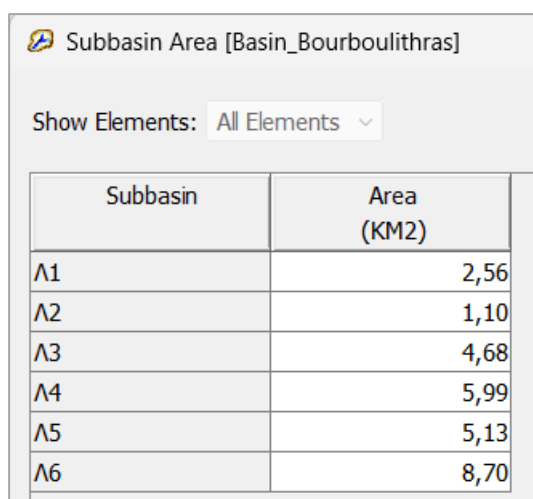
Ακόμη, με τη σύνδεση των παραμέτρων του ΥΔ της λεκάνης, φαίνεται πως λειτουργεί η πορεία της ροής μέσω του συστήματος των υπολεκανών, όπου ξεκινάει από τα ανάντη τμήματα και ρέει προς τα κατόντη καταλήγοντας στην έξοδο, στο σημείο όπου εκβάλλει το ρέμα Μπουρμπουλήθρα.

Αφού εισαχθούν τα αρχεία των υπολεκανών και οριστούν οι παράμετροι που απεικονίζουν την κάθε λεκάνη, δημιουργούνται αρχικά οι συμβολές των ρεμάτων από τη μια λεκάνη στην άλλη. Στη συνέχεια ενώνονται με τα μήκη των ρεμάτων που μεταφέρουν το νερό από τη λεκάνη μέχρι τη συμβολή.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, η συνολική επιφανειακή ροή μεταφέρεται από τη λεκάνη στην έξοδό της. Έπειτα, στο λογισμικό HEC-HMS, προστίθενται οι πληροφορίες των χαρακτηριστικών που έχει κάθε υπολεκάνη, δηλαδή:

- Το εμβαδό της υπολεκάνης (km²)
- Η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN
- Ο χρόνος υστέρησης – lag time (min)

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως, το εμβαδό και ο χρόνος υστέρησης των υπολεκανών δεν αλλάζουν, παραμένουν ίδια για κάθε ΠΕ αλλά και για κάθε έτος μελέτης. Αυτό που αλλάζει, είναι ο αριθμός καμπύλης CN των ΧΓ, όπου σε κάθε υπολεκάνη υπάρχει διαφορετική τιμή για κάθε έτος μελέτης. Οι τιμές των χαρακτηριστικών των υπολεκανών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.



Subbasin	Area (KM2)
Λ1	2,56
Λ2	1,10
Λ3	4,68
Λ4	5,99
Λ5	5,13
Λ6	8,70

Εικόνα 26 : Εμβαδά των υπολεκανών (km²) στο HEC-HMS

Πέραν από την σύνδεση των στοιχείων του ΥΔ, σημαντικό είναι να υπολογιστούν ορισμένοι ακόμα παράμετροι, που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην υδρολογική μοντελοποίηση της ΛΑΠ, με την επιλογή των παρακάτω μεθόδων.

8.6.1. Μέθοδος Απώλειας – Loss Method

Οι πραγματικοί υπολογισμοί διείσδυσης νερού, εκτελούνται με μια μέθοδο απώλειας που περιέχεται στην υπολεκάνη και έτσι καθίσταται φανερή η συνολική διήθηση και η επιφανειακή απορροή της υδρολογικής λεκάνης.

Από το HEC-HMS Παρέχονται συνολικά δώδεκα διαφορετικές μέθοδοι απώλειας, που ορισμένες από αυτές έχουν σχεδιαστεί κυρίως για προσομοίωση γεγονότων, ενώ άλλες προορίζονται για συνεχή προσομοίωση.

Στη συγκεκριμένη ΠΣΜ, επιλέγεται η μέθοδος του απορροϊκού συντελεστή της S.C.S. - Curve Number Loss, με την οποία υπολογίζεται η σταδιακή βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, υπολογίζοντας εκ νέου τον όγκο νερού στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος.

Απαραίτητο στοιχείο στον υπολογισμό των απωλειών αποτελεί η εισαγωγή του αριθμού καμπύλης CN, όπου πρέπει να είναι ένας σύνθετος αριθμός που αντιπροσωπεύει όλους τις διαφορετικές χρήσεις γης στην υπολεκάνη. Ο πίνακας των στοιχείων φαίνεται παρακάτω.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως ο αριθμός καμπύλης CN των ΧΓ είναι διαφορετικός σε κάθε υπολεκάνη, καθώς επίσης έχει διαφορετική τιμή για κάθε έτος μελέτης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές των CN που προέκυψαν για τις χρήσεις γης σε κάθε υπολεκάνη, για κάθε έτος της μελέτης.

Οι τιμή των απορροϊκών συντελεστών που εισάγονται στο πρόγραμμα HEC-HMS για τον υπολογισμό των απωλειών, αποτελούν τη σταθμισμένη τιμή του συντελεστή CN της κάθε υπολεκάνης. Ακολουθούν οι αντίστοιχοι πίνακες.

SCS Curve Number [Basin_Bourboulithras]

Filter: --None--

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number
Λ1		77
Λ2		77
Λ3		77
Λ4		77
Λ5		77
Λ6		83,66

Εικόνα 27 : Εισαγωγή των αριθμών καμπύλης CN σε κάθε υπολεκάνη, από τη μέθοδο απώλειας της S.C.S. - Curve Number για το έτος 2012.

SCS Curve Number [Basin_Bourboulithras]

Filter: --None--

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number
Λ1		77
Λ2		77
Λ3		77
Λ4		77
Λ5		77
Λ6		82,71

Εικόνα 28 : Εισαγωγή των αριθμών καμπύλης CN σε κάθε υπολεκάνη, από τη μέθοδο απώλειας της S.C.S. - Curve Number Loss για το έτος 2018.

SCS Curve Number [Basin_Bourboulithras]

Filter: --None--

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number
Λ1		76,36
Λ2		81,89
Λ3		76,46
Λ4		76,91
Λ5		76,67
Λ6		77

Εικόνα 29 : Εισαγωγή των αριθμών καμπύλης CN σε κάθε υπολεκάνη, από τη μέθοδο απώλειας της S.C.S. - Curve Number Loss για το έτος 2020.

8.6.2. Μέθοδος μετασχηματισμού - Transform Method

Η μέθοδος μετασχηματισμού, είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που μετατρέπει τη βροχόπτωση σε επιφανειακή απορροή. Οι επιλογές που παρέχονται από το HEC-HMS περιλαμβάνουν διάφορες μεθόδους, στη συγκεκριμένη ΠΣΜ, επιλέγεται η μέθοδος του υδρογράφου μονάδας της S.C.S. - Unit Hydrograph.

Η Μέθοδος αυτή, ορίζει μια καμπυλόγραμμη μονάδα υδρογραφίας, υπολογίζοντας πρώτα το ποσοστό της μοναδιαίας απορροής που εμφανίζεται πριν από τη μέγιστη ροή. Απαραίτητο στοιχείο για το μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε απορροή, αποτελεί η εισαγωγή του χρόνου υστέρησης.

Η χρόνος υστέρησης – lag time (min) ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ της βροχόπτωσης και της απορροής, που θα προκύψουν μέσω του υδρογραφήματος. Ο πίνακας των χρόνων υστέρησης για κάθε υπολεκάνη, ώστε να προκύψουν τα υδρογραφήματα απορροής, φαίνεται παρακάτω.

SCS Unit Hydrograph [Basin_Bourboulithras]

Filter: --None--

Subbasin	Graph Type	Lag Time (MIN)
Λ1	Standard (PRF 484)	36,00
Λ2	Standard (PRF 484)	23,40
Λ3	Standard (PRF 484)	37,20
Λ4	Standard (PRF 484)	35,40
Λ5	Standard (PRF 484)	34,80
Λ6	Standard (PRF 484)	70,80

Εικόνα 30 : Εισαγωγή του χρόνου υστέρησης lag time (min) κάθε υπολεκάνης, από τη μέθοδο μετασχηματισμού του υδρογράφου μονάδας της S.C.S. - Unit Hydrograph

8.6.3. Μέθοδος Διόδευσης Ρεμάτων - Reach Routing Method

Αφού έχουν οριστεί τα μήκη των υδατορευμάτων από την παράμετρο Reaches, πρέπει να οριστεί και μια μέθοδος δρομολόγησης αυτών. Η Μέθοδος Διόδευσης παίζει σημαντικό ρόλο στην υδρολογική ΠΣΜ, καθώς ενώνει την πορεία της ροής σε όλο το μήκος του μοντέλου της ΛΑΠ.

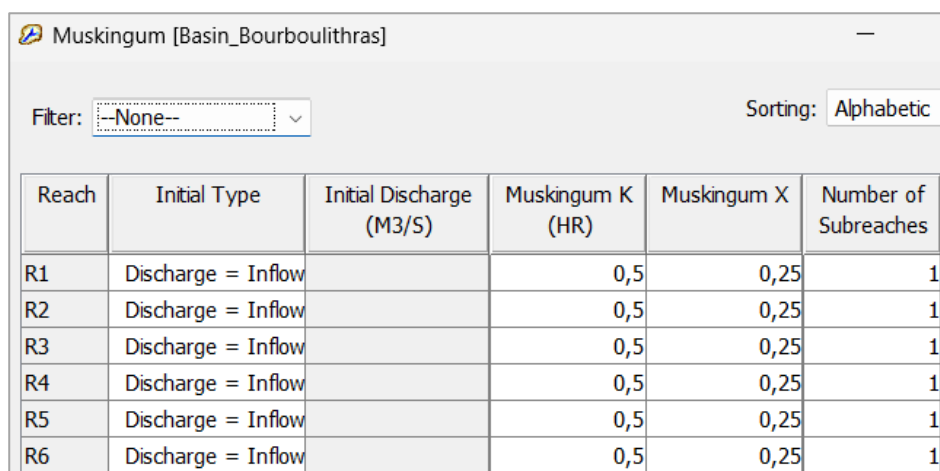
Για τη συγκεκριμένη προσομοίωση, επιλέγεται η μέθοδος Muskingum, όπου χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση διατήρησης μάζας για να δρομολογήσει τη ροή μέσω του ΥΔ. Στη μέθοδο αυτή, απαραίτητα στοιχεία αποτελούν οι συντελεστές K και X .

Ο συντελεστής Muskingum K , ορίζεται ως ο χρόνος ταξιδιού μέσω της απόστασης του υδατορεύματος και μπορεί να εκτιμηθεί από τη γνώση των ιδιοτήτων της διατομής του ποταμού και των ιδιοτήτων της ροής. Στη συγκεκριμένη μελέτη, επιλέγεται ίσος με 0,5 ώρες, για την προσομοίωση της ροής.

Ο συντελεστής Muskingum X , δείχνει την επιρροή που υπάρχει ανάμεσα στην εισροή και την εκροή του ποταμού. Κυμαίνεται από 0,0 έως 0,5, όπου μια τιμή 0,0 οδηγεί σε μέγιστη εξασθένηση ενώ 0,5 οδηγεί σε μη εξασθένηση. Στη συγκεκριμένη μελέτη, επιλέγεται η ενδιάμεση τιμή 0,25, για την καλύτερη προσομοίωση της φυσικής ροής.

Ακόμη, πρέπει να οριστεί ο αριθμός των υπο-ρεμάτων - Number of Subreaches, δηλαδή των κλάδων του ΥΔ που συμβάλουν στη ροή. Ο αριθμός των κλάδων, επηρεάζει την εξασθένηση του κύριου υδατορεύματος και συγκεκριμένα, η αύξηση του αριθμού των δευτερευουσών προσεγγίσεων μειώνει την εξασθένηση.

Στη συγκεκριμένη ΠΣΜ, επιλέγεται ένας κλάδος ρέματος σε κάθε υπολεκάνη, που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει καλύτερα την κίνηση των κυμάτων πλημμύρας μέσω του φυσικού συστήματος.



Muskingum [Basin_Bourboulithras]

Filter: --None-- Sorting: Alphabetic

Reach	Initial Type	Initial Discharge (M3/S)	Muskingum K (HR)	Muskingum X	Number of Subreaches
R1	Discharge = Inflow		0,5	0,25	1
R2	Discharge = Inflow		0,5	0,25	1
R3	Discharge = Inflow		0,5	0,25	1
R4	Discharge = Inflow		0,5	0,25	1
R5	Discharge = Inflow		0,5	0,25	1
R6	Discharge = Inflow		0,5	0,25	1

Εικόνα 31 : Εισαγωγή των συντελεστών K και X η μεθόδου διόδευσης ρεμάτων Reach Routing Method - Muskingum

8.6.4. Εισαγωγή Μετεωρολογικών Δεδομένων - Meteorologic Model

Για να γίνει η προσομοίωση του υδρολογικού μοντέλου και να προκύψει η επιθυμητή παροχή, χρειάζεται να οριστούν τα μετεωρολογικά δεδομένα της ΛΑΠ. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός Μετεωρολογικού Μοντέλου (Meteorologic Model), που αποτελεί κύριο στοιχείο του ΥΜΟ.

Τα μετεωρολογικά μοντέλα, έχουν σκοπό να προετοιμάσουν τις μετεωρολογικές οριακές συνθήκες για τις υπολεκάνες. Κατά συνέπεια, πρέπει να έχει δημιουργηθεί τουλάχιστον ένα Μοντέλο Λεκάνης (Basin Model) πριν το Μετεωρολογικό Μοντέλο.

Στα μοντέλα αυτά, πρέπει να καθοριστεί μια Μέθοδος Κατακρήμνισης - Precipitation Method, που δείχνει την ποσότητα του νερού που πέφτει στην επιφάνεια της γης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στη συγκεκριμένη μελέτη, η μέτρηση της βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή γίνεται με τη μέθοδο μετασχηματισμού του υετογραφήματος - Hyetograph.

Έτσι, στη μέθοδο κατακρήμνισης επιλέγεται το Specified Hyetograph, όπου εκεί επιλέγονται τα υετογραφήματα, ένα για κάθε υπολεκάνη. Τα υετογραφήματα εισάγονται από τα δεδομένα χρονοσειρών, που αναλύονται παρακάτω.

8.6.5. Εισαγωγή Δεδομένων Χρονοσειρών - Time-Series Data

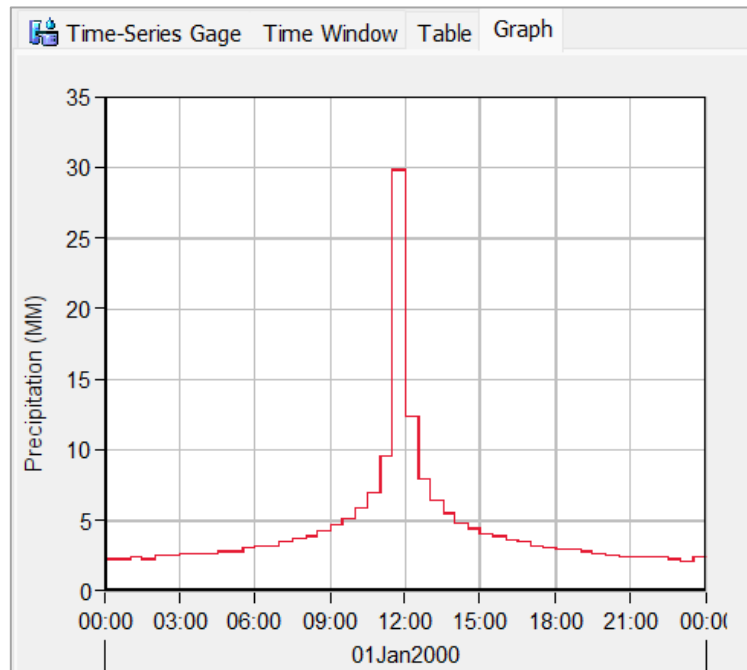
Τα υδρολογικά μοντέλα απαιτούν συχνά χρονοσειρές δεδομένων βροχόπτωσης, για την εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης στη λεκάνη. Μια χρονοσειρά δεδομένων ροής είναι χρήσιμη για τη βαθμονόμηση ενός μοντέλου και τα δεδομένα αποθηκεύονται στο HEC-HMS ως Precipitation Gage.

Εκεί, δημιουργούνται δεδομένα χρονοσειρών για κάθε υπολεκάνη και για κάθε ΠΕ, καθώς ορίζεται και το χρονικό διάστημα - time interval της διάρκειας του φαινομένου βροχής.

Στη συνέχεια, πρέπει να οριστούν τα Time Windows, χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των δεδομένων χρονοσειράς σε διαχειρίσιμες ενότητες. Δηλαδή, ορίζεται η διάρκεια, η ημερομηνία και η ώρα έναρξης και τέλους ενός συμβάντος βροχόπτωσης.

Τα δεδομένα των χρονοσειρών και του χρόνου του συμβάντος, εμφανίζονται σε μορφή πίνακα – Table. Τα δεδομένα στον πίνακα μπορούν να επεξεργάζονται χειροκίνητα, με την εισαγωγή των δεδομένων του υετογραφήματος – Hyetograph που έχει ήδη δημιουργηθεί.

Εν τέλει, τα δεδομένα των μετεωρολογικών δεδομένων και των χρονοσειρών, εμφανίζονται σε μορφή γραφήματος – Graph. Το γράφημα αυτό, έχει τη μορφή του υετογραφήματος – Hyetograph και δείχνει την κατακρήμνιση - Precipitation, την ποσότητα της βροχόπτωσης σε ορισμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 32 : Το γράφημα του υετογράφου στο λογισμικό HEC-HMS

Στο σημείο αυτό, πρέπει να γίνει υπενθύμιση ότι κάθε υπολεκάνη συνδέεται με το αντίστοιχο υετογράφημά της. Αφού συνδεθούν τα μετεωρολογικά δεδομένα με τις χρονοσειρές, δημιουργούνται τα γραφήματα της κατακρήμνισης, σε διάρκεια μιας ημέρας.

Ακόμη, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, δημιουργούνται τρία μετεωρολογικά δεδομένα ένα για κάθε περίοδο επαναφοράς T (50, 100, 1.000 έτη) καθώς και για κάθε περίοδο επαναφοράς, δημιουργούνται από έξι υετογραφήματα, ένα για κάθε υπολεκάνη, επομένως συνολικά 18.

8.6.6. Προδιαγραφές Ελέγχου - Control Specifications

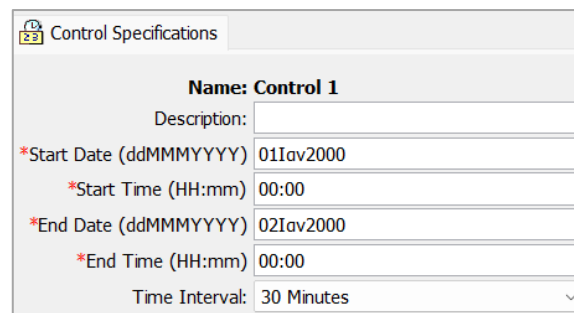
Τελευταίο βήμα πριν την υδρολογική προσομοίωση, αποτελεί η δημιουργία προδιαγραφών ελέγχου - Control Specifications, που σκοπός τους είναι να ελέγχουν πότε ξεκινούν και πότε σταματούν οι προσομοιώσεις και ποιο χρονικό διάστημα χρησιμοποιείται στην προσομοίωση.

Αποτελούν, κύριο στοιχείο της προσομοίωσης, παρόλο που δεν απαιτούν πολλά δεδομένα παραμέτρων. Έτσι, δημιουργούνται τρεις προδιαγραφές ελέγχου, μια για κάθε περίοδο επαναφοράς και ορίζεται το η χρονική διάρκεια που θα εκτελεστεί η κάθε προσομοίωση.

Κάθε σύστημα ελέγχου - Control, καθορίζεται χρησιμοποιώντας ξεχωριστή Ημερομηνία έναρξης (Start Date), Ώρα έναρξης (Start Time), Ημερομηνία λήξης (End Date) και Ώρα λήξης (End Time). Αφού οριστούν οι τιμές αυτές, προσδιορίζεται και το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης.

Όσον αφορά το χρονικό διάστημα (Time Interval), για κάθε προδιαγραφή ελέγχου πρέπει να οριστεί η διάρκεια , που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση υπολογισμών, αλλά και για την προβολή των αποτελεσμάτων των χρονοσειρών, κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης. Έτσι λοιπόν, επιλέγεται και εισάγεται η επιθυμητή ώρα εκτέλεσης της προσομοίωσης, ώστε να φανούν αντίστοιχα και τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Αφού οριστούν οι παραπάνω προδιαγραφές ελέγχου (Control Specifications), γίνεται η σύνδεσή τους με το μοντέλο της λεκάνης (Basin Model) και ένα μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic Model), ώστε να γίνει τελικά η εκτέλεση της προσομοίωσης (Simulation Run).



The screenshot shows a software window titled 'Control Specifications'. Inside, there is a section for 'Control 1'. It includes a 'Description' field, followed by several input fields for scheduling: '*Start Date (ddMMYYYY)' with the value '01Jan2000', '*Start Time (HH:mm)' with '00:00', '*End Date (ddMMYYYY)' with '02Jan2000', and '*End Time (HH:mm)' with '00:00'. At the bottom, there is a 'Time Interval' field set to '30 Minutes' with a dropdown arrow.

Εικόνα 33 : Ορισμός των προδιαγραφών ελέγχου για την προσομοίωση

8.6.7. Υδρολογική Προσομοίωση - Hydrologic Simulation

Η υδρολογική προσομοίωση, είναι το τελικό βήμα για την εύρεση της πλημμυρικής παροχής και συνδυάζει τις πληροφορίες της ΛΑΠ και των ΜΔ, για την μοντελοποίηση της υδρολογικής απόκρισης. Για να τρέξει το ΥΜΟ και να προκύψουν τα αποτελέσματα της απορροής, δημιουργείται μια εκτέλεση προσομοίωσης - Simulation Run.

Εκτέλεση Προσομοίωσης - Simulation Run

Οι εκτελέσεις προσομοίωσης είναι η κύρια μέθοδος υπολογισμού των αποτελεσμάτων. Για να γίνει μια εκτέλεση πρέπει να υπάρχουν:

- Ένα Μοντέλο Λεκάνης - Basin Model
- Ένα Μετεωρολογικό Μοντέλο - Meteorologic Model
- Οι Προδιαγραφές Ελέγχου – Control
- Δεδομένα Χρονοσειρών - Time-Series Data

Αφού συνδεθούν τα παραπάνω, γίνεται η εκτέλεση της προσομοίωσης και τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον υπολογισμό της τελικής πλημμυρικής απορροής, μπορούν να απεικονιστούν ως γραφήματα, συνοπτικοί πίνακες και πίνακες χρονοσειρών.

Για κάθε έτος μελέτης (2012, 2012 και 2020) δημιουργήθηκαν από τρεις εκτελέσεις της υδρολογικής προσομοίωσης - Simulation Run, μία για κάθε περίοδο επαναφοράς T (50, 100 και 1.000 έτη). Επομένως για κάθε εκτέλεση, θα προκύψουν και από τρεις πίνακες και γραφήματα αποτελεσμάτων της παροχής.

- Οι πίνακες χρονοσειρών – Time Series Tables, δείχνουν την τελική απορροή (m^3/s) που απορρέει από το υδατόρευμα της κύριας λεκάνης απορροής και που καταλήγει στο σημείο εξόδου όπου και εκβάλλει, ανά το χρονικό διάστημα που ορίστηκε για την προσομοίωση – Time Interval (min) και έχουν την παρακάτω μορφή.

Time-Series Results for Sink "Outlet"

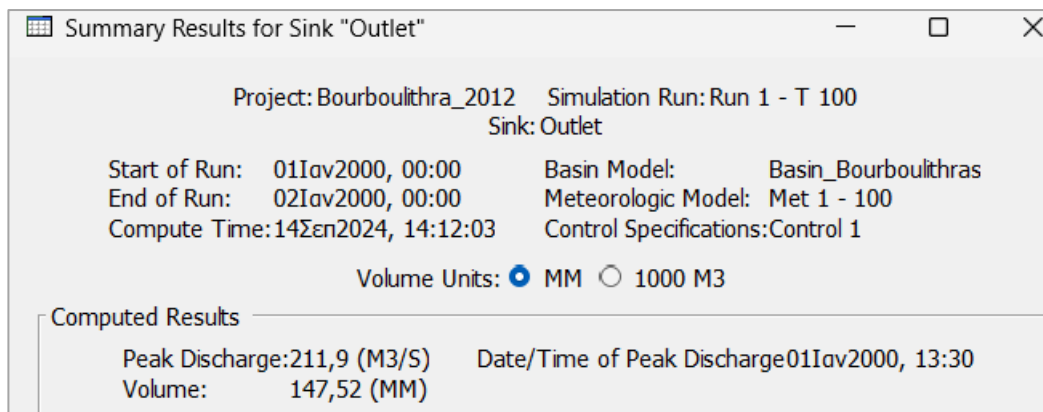
Project: Bourboulithra_2012Simulation Run: Run 1 - T 100Sink: Outlet

Start of Run: 01Iav2000, 00:00Basin Model: Basin_BourboulithrasEnd of Run: 02Iav2000, 00:00Meteorologic Model: Met 1 - 100Compute Time: 14Sep2024, 14:12:03Control Specifications: Control 1

Date	Time	Inflow from R6 (M3/S)	Total Inflow (M3/S)
01Iav2000	09:30	29,7	29,7
01Iav2000	10:00	34,1	34,1
01Iav2000	10:30	39,4	39,4
01Iav2000	11:00	45,9	45,9
01Iav2000	11:30	54,8	54,8
01Iav2000	12:00	71,5	71,5
01Iav2000	12:30	112,8	112,8
01Iav2000	13:00	176,8	176,8
01Iav2000	13:30	211,9	211,9
01Iav2000	14:00	196,7	196,7
01Iav2000	14:30	159,7	159,7
01Iav2000	15:00	126,6	126,6
01Iav2000	15:30	102,4	102,4
01Iav2000	16:00	85,8	85,8

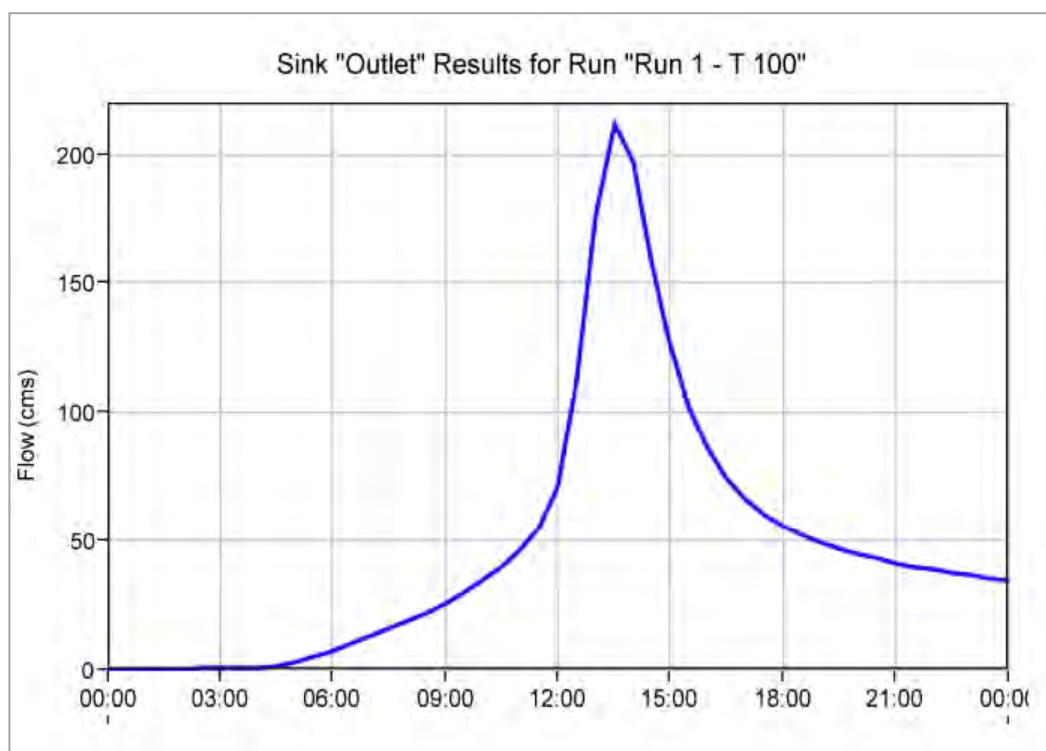
Εικόνα 34 : Τυπική μορφή πίνακα χρονοσειρών - Time Series Table, που δείχνει την απορροή σε κάθε κόμβο και στο σημείο εκβολής

- Οι συνοπτικοί πίνακες - Summary Table των αποτελεσμάτων, δείχνουν τη μέγιστη παροχή - Peak Discharge (m^3/s) που απορρέει από την έξοδο της ΛΑΠ και έχουν την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 35 : Τυπική μορφή συνοπτικού πίνακα - Summary Table, που δείχνει την μέγιστη απορροή σε κάθε κόμβο και στο σημείο εκβολής

- Τα γραφήματα – Graph των αποτελεσμάτων, δείχνουν την παροχή σε κάθε τμήμα, ανά χρονικό βήμα μισής ώρας, όπως ορίστηκε στα δεδομένα χρονοσειρών και έχουν την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 36 : Τυπική μορφή γραφήματος αποτελεσμάτων - Graph, που δείχνει την απορροή σε χρονικό βήμα

8.7. Αποτελέσματα Υδρολογικής Προσομοίωσης

Όπως έχει γίνει αντιληπτό, σκοπός της εργασίας αποτελεί η εύρεση των παροχών που θα προκύψουν από την υδρολογική λεκάνη του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, με τις εναλλαγές των χρήσεων γης, αλλά και για την πάροδο των ετών 2012, 2018 και 2020.

Έτσι, αφού έγινε όλη η διαδικασία της ψηφιοποίησης και εύρεσης, από το πρόγραμμα ArcGIS-Pro των χρήσεων γης που υπάρχουν σε κάθε υπολεκάνη, αντλήθηκαν οι πληροφορίες από τις υπολεκάνες και στη συνέχεια εισάχθηκαν στο λογισμικό HEC-HMS, προέκυψαν τελικά τα αποτελέσματα του πλημμυρικού όγκου.

Τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω σε πίνακες, όπου αναγράφονται οι παροχές σε κάθε κόμβο (Junction) του υδρολογικού δικτύου της λεκάνης, δηλαδή η παροχή που απορρέει από την μια υπολεκάνη στην άλλη, ώστε να καταλήξει τελικά στο σημείο εξόδου της.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το έτος 2012 για κάθε περίοδο επαναφοράς και έπειτα αντίστοιχα για τα έτη 2018 και 2020. Η προσομοίωση έγινε για χρόνο ελέγχου - Control Time 5, 10, 15 και 30 λεπτών, ώστε να γίνει έλεγχος της ευστάθειας της παροχής.

Ακόμη, παρακάτω δίνονται τα γραφήματα της παροχής που προέκυψε για την προσομοίωση, που έγινε για χρονικό διάστημα 24 ωρών και με χρονικό βήμα μισής ώρας. Παρουσιάζονται πρώτα τα διαγράμματα για το έτος 2012, για την παροχή σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς και αντίστοιχα για τα έτη 2018 και 2020.

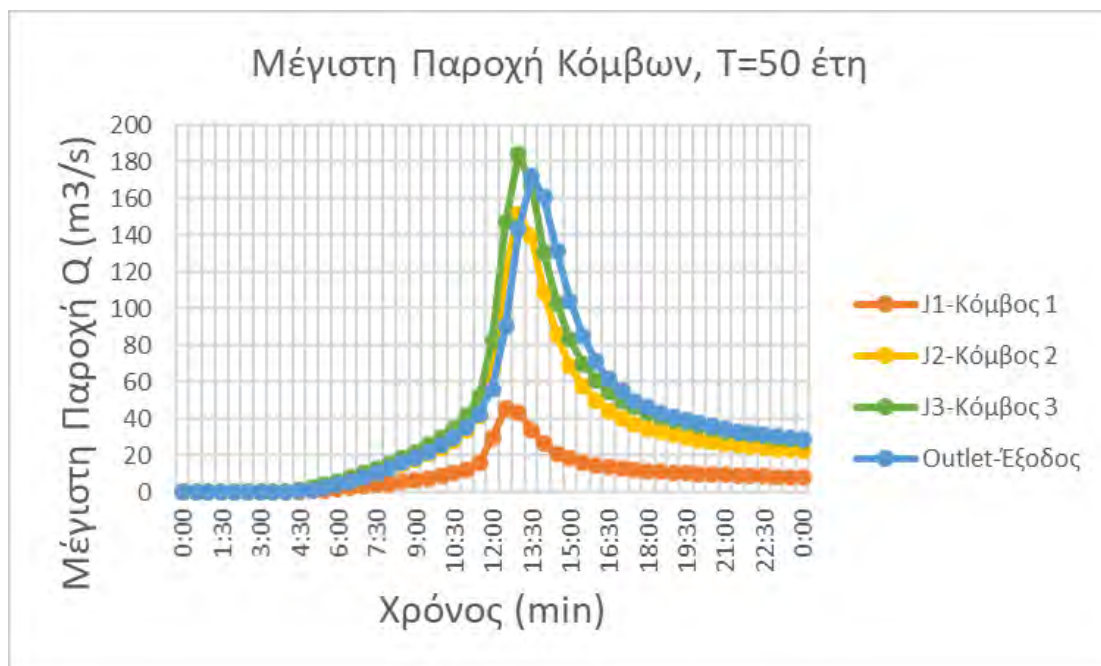
Πίνακας 31 : Πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών του 2012, για κάθε κόμβο και το σημείο εξόδου της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50, 100 και 1.000 έτη

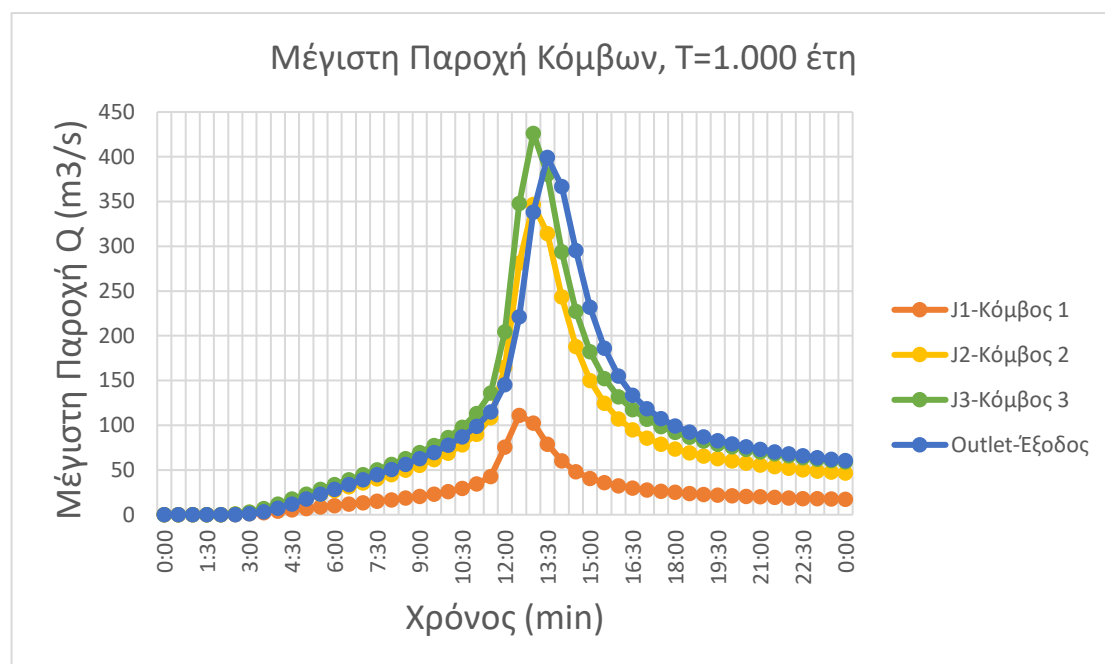
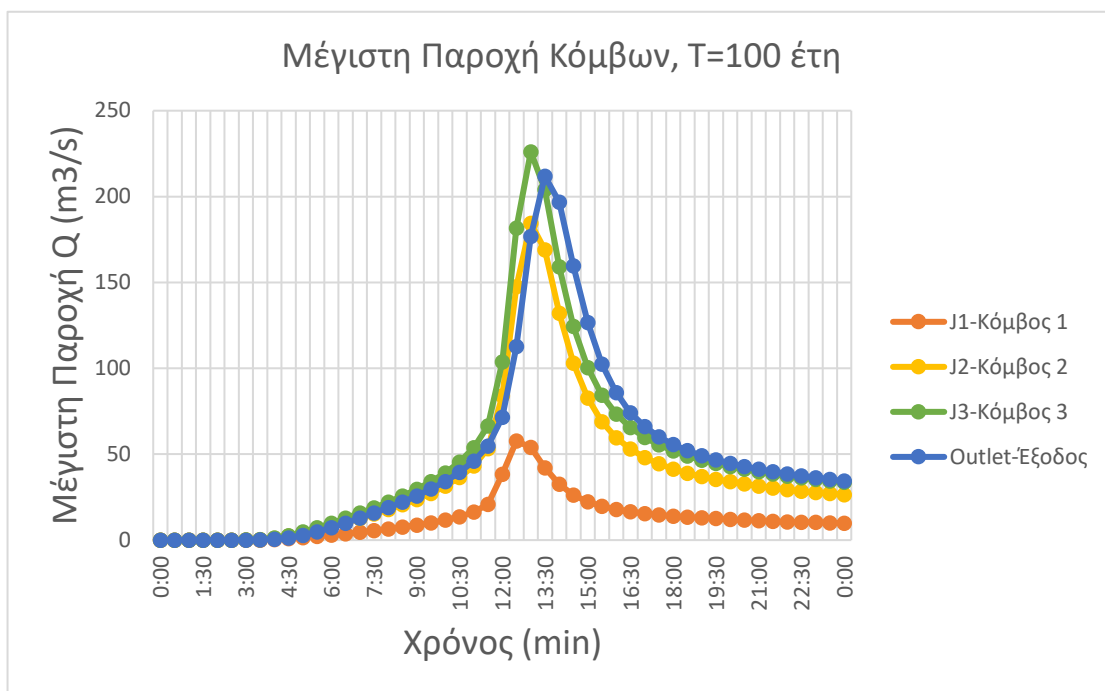
2012

T 50		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	5	50,8
	10	49,7
	15	48,3
	30	45,5
J2	5	162,8
	10	160,2
	15	157,8
	30	151,1
J3	5	197,6
	10	194,6
	15	191,8
	30	184,0
Outlet	5	182,8
	10	180,5
	15	178,4
	30	172,4

T 100		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	5	64,2
	10	62,7
	15	61,0
	30	57,7
J2	5	198,6
	10	195,5
	15	192,6
	30	184,5
J3	5	242,5
	10	238,9
	15	235,6
	30	226,1
Outlet	5	224,3
	10	221,6
	15	219,1
	30	211,9

T 1.000		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m ³ /s)
J1	5	123,2
	10	120,0
	15	117,5
	30	111,2
J2	5	372,3
	10	366,7
	15	361,4
	30	346,6
J3	5	456,2
	10	449,6
	15	443,5
	30	426,3
Outlet	5	422,0
	10	416,9
	15	412,4
	30	399,5





Σχήμα 11 : Διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς του έτους 2012.

Πίνακας 32 : Πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών του 2018, για κάθε κόμβο και το σημείο εξόδου της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50, 100 και 1.000 έτη

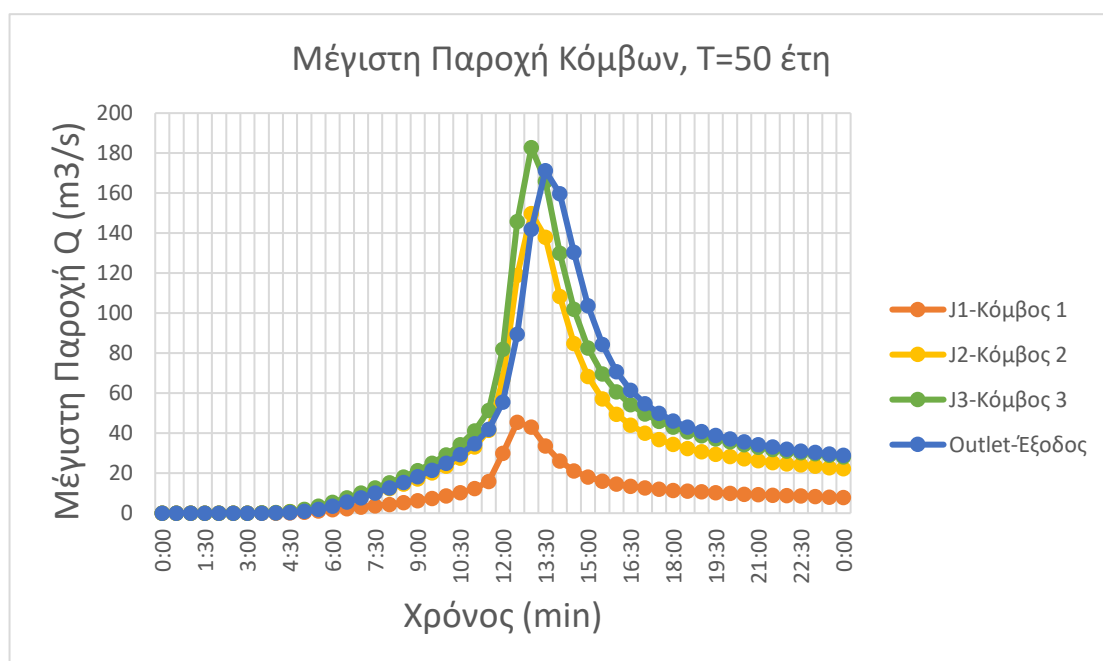
2018

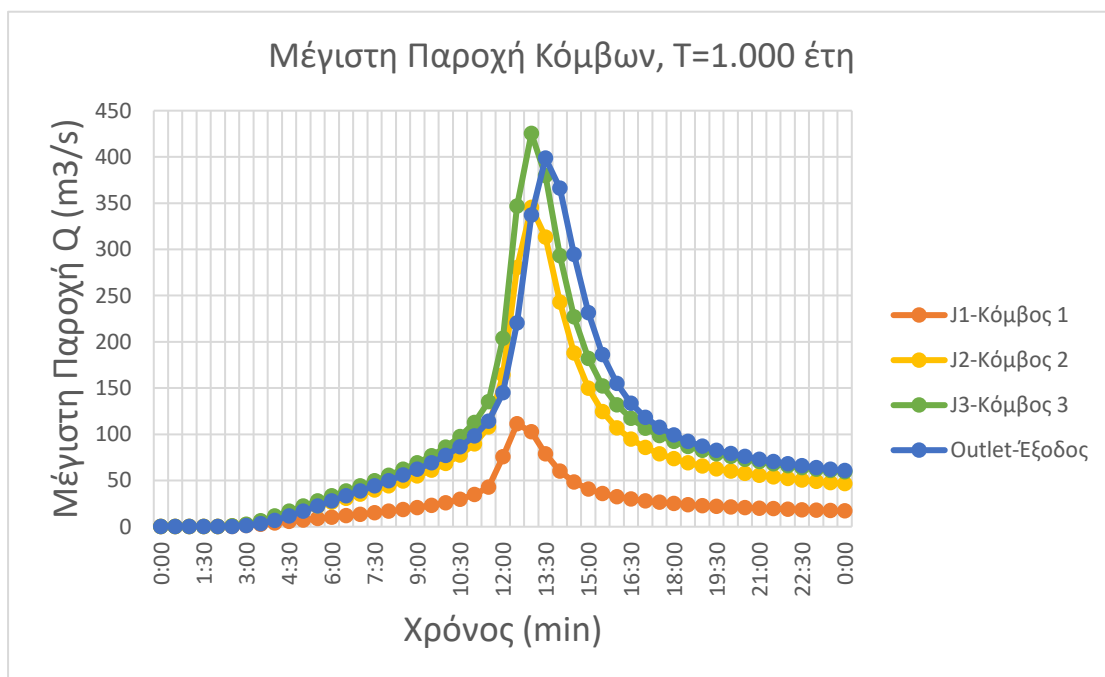
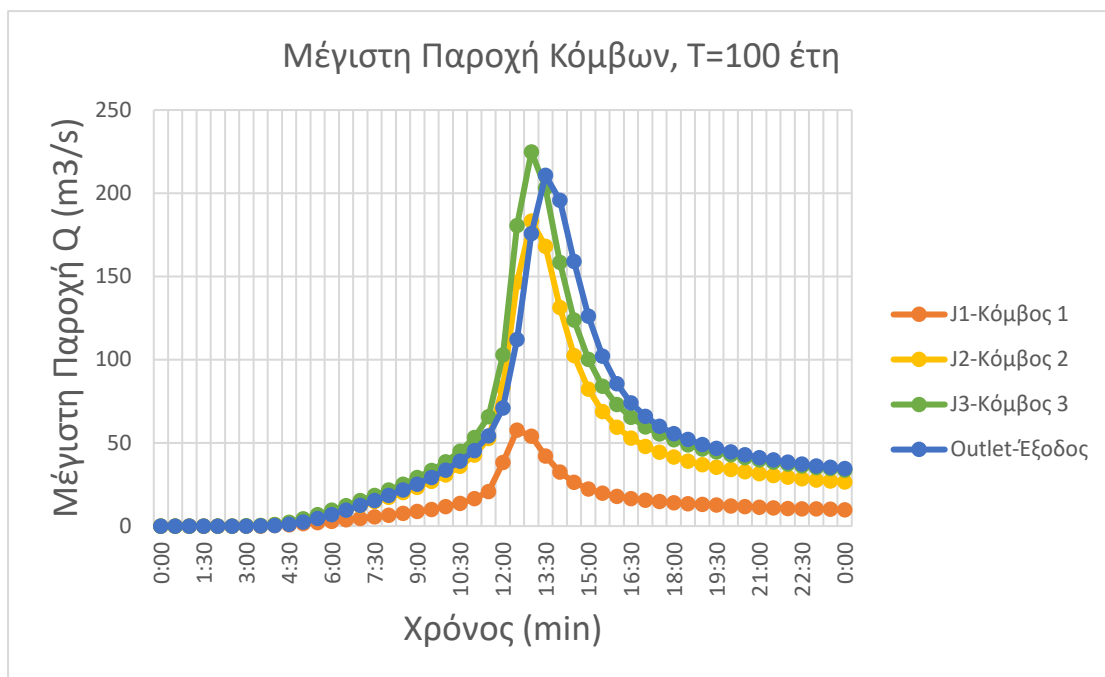
T 50		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	5	50,8
	10	49,7
	15	48,3
	30	45,5
J2	5	161,4
	10	158,9
	15	156,5
	30	149,8
J3	5	196,3
	10	193,3
	15	190,5
	30	182,8
Outlet	5	181,5
	10	179,3
	15	177,2
	30	171,2

T 100		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	5	64,2
	10	62,7
	15	61,0
	30	57,7
J2	5	197,3
	10	194,2
	15	191,4
	30	183,3
J3	5	241,2
	10	237,6
	15	234,3
	30	224,9
Outlet	5	223,1
	10	220,4
	15	217,9
	30	210,7

T 1.000		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m ³ /s)
J1	5	123,2
	10	120,0
	15	117,5
	30	111,2
J2	5	371,2
	10	365,6
	15	360,3
	30	345,5
J3	5	455,1
	10	448,5
	15	442,4
	30	425,3
Outlet	5	421,0
	10	415,9
	15	411,4
	30	398,5

Ακολουθούν τα διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς.





Σχήμα 12 : Διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς του έτους 2018.

Πίνακας 33 : Πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών του 2020, για κάθε κόμβο και το σημείο εξόδου της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50, 100 και 1.000 έτη

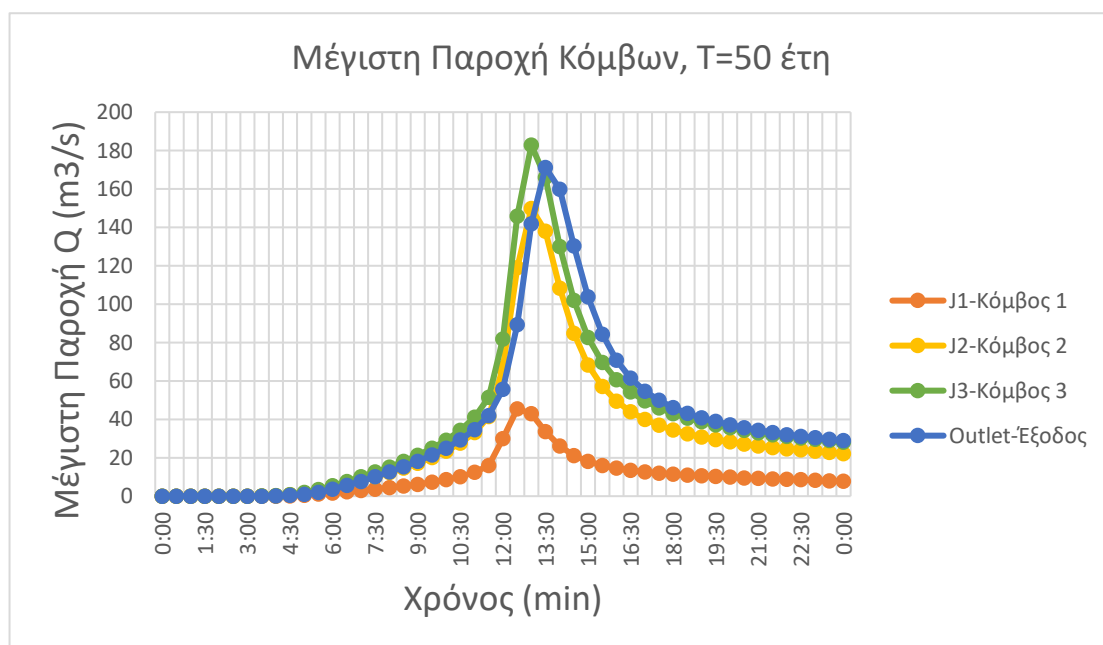
2020

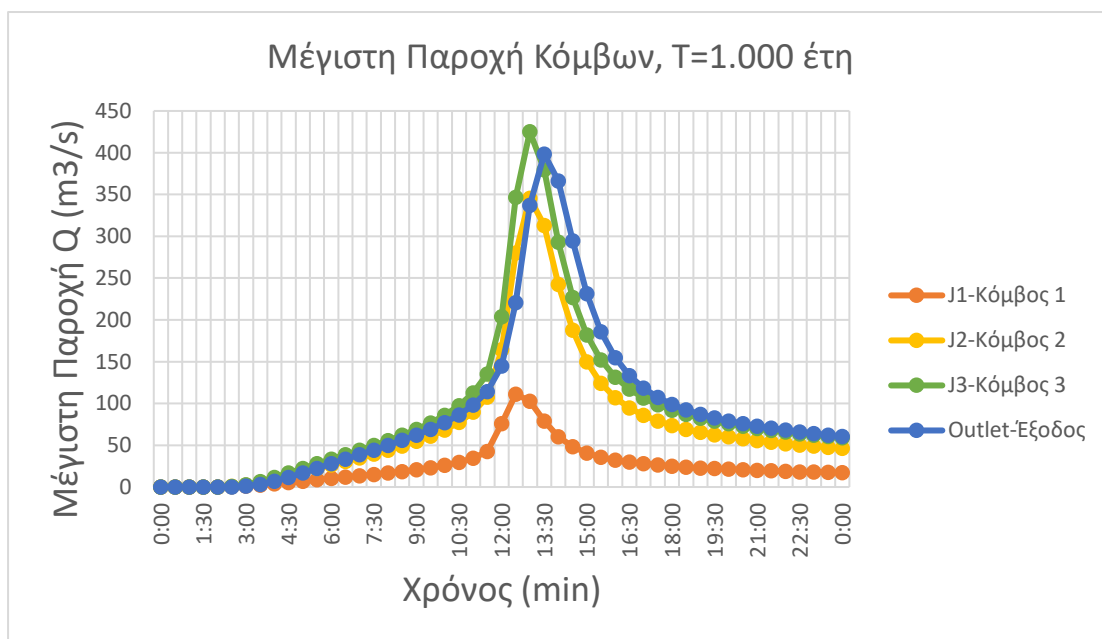
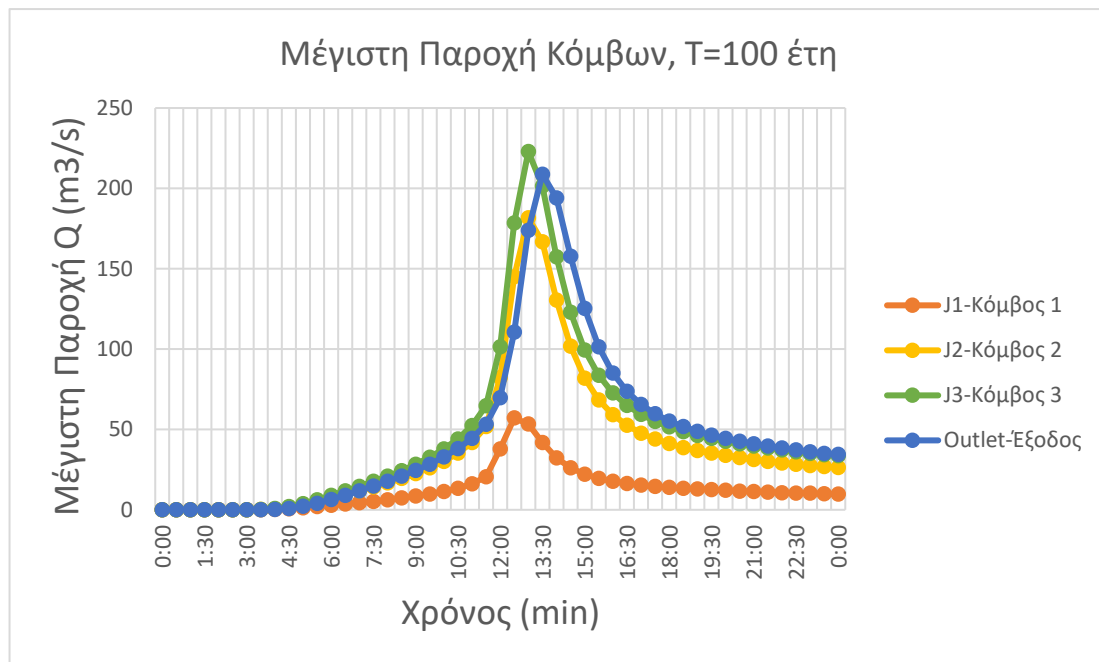
T 50		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	5	50,2
	10	49,1
	15	47,8
	30	45,0
J2	5	159,7
	10	157,2
	15	154,8
	30	148,2
J3	5	194,1
	10	191,1
	15	188,4
	30	180,7
Outlet	5	179,5
	10	177,3
	15	175,2
	30	169,3

T 100		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	5	63,6
	10	62,1
	15	60,4
	30	57,1
J2	5	195,6
	10	192,5
	15	189,7
	30	181,7
J3	5	239,0
	10	235,5
	15	232,2
	30	222,9
Outlet	5	221,1
	10	218,4
	15	215,9
	30	208,8

T 1.000		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m ³ /s)
J1	5	122,6
	10	119,4
	15	116,9
	30	110,6
J2	5	369,7
	10	364,0
	15	358,8
	30	344,0
J3	5	453,1
	10	446,5
	15	440,5
	30	423,4
Outlet	5	419,0
	10	414,1
	15	409,6
	30	396,7

Με τον ίδιο τρόπο σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο, που δείχνουν και τη μέγιστη απορροή που καταλήγει στο σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα.





Σχήμα 13 : Διαγράμματα των μέγιστων παροχών σε κάθε κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς του έτους 2020.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, είχε ως κύριο στόχο την εκτίμηση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, που εκβάλλει στις παράκτιες περιοχές του Αγιόκαμπου. Η υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης, υλοποιήθηκε στο μοντέλο HEC-HMS, όπου τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας ήταν η εξαγωγή των υδρογραφημάτων στην έξοδο της λεκάνης, για την εύρεση της μέγιστης παροχής.

Ακόμη, η έρευνα που έγινε σχετικά με τη διερεύνηση των χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής, έδειξε ότι η εφαρμογή Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - ΓΣΠ, συγκεκριμένα του λογισμικού ArcGIS-Pro, έπαιξε σημαντικό βοηθητικό ρόλο στην εκπόνηση της εργασίας, καθώς μέσω αυτού προέκυψαν όλα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης.

Επιπρόσθετα, στο στάδιο της προ-επεξεργασίας των δεδομένων στο περιβάλλον του ArcGIS-Pro, κρίθηκε απαραίτητος ο διαχωρισμός της λεκάνης σε έξι υπολεκάνες, με βάση τα υδατορεύματα, ώστε να γίνει καλύτερη προσομοίωση και να εξαχθούν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Ακολούθησε η υδρολογική μοντελοποίηση στο λογισμικό HEC-HMS, όπου ορίστηκαν τα δεδομένα για τον υπολογισμό των απωλειών με τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή CN της S.C.S. - Curve Number Loss, καθώς επίσης και με τη μέθοδο μετασχηματισμού της άμεσης απορροής του μοναδιαίου υδρογραφήματος της S.C.S. - Unit Hydrograph.

Επίσης, με την επιλογή της μεθόδου διόδευσης των ρεμάτων Muskingum και μέσω της σύνδεσης των μεθόδων αυτών, φαίνεται ότι ο υπολογισμός του CN, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, σε σύγκριση με τις παρατηρούμενες χρήσεις γης της περιοχής.

Ακολούθησε η καταγραφή και ο υπολογισμός των μετεωρολογικών δεδομένων και χρονοσειρών, όπου αποτέλεσαν μια χρονοβόρα διαδικασία, καθώς κρίθηκε απαραίτητο να δημιουργηθούν συνολικά 9 συστήματα ελέγχου, για τις 9 προσομοιώσεις που απαιτούνταν να εκτελεστούν.

Αυτό έγινε διότι για κάθε έτος της μελέτης των αλλαγών των χρήσεων γης, 2012, 2018 και 2020, έπρεπε να καταγραφούν τα δεδομένα για κάθε περίοδο επαναφοράς ενός πλημμυρικού φαινομένου, για 50, 100 και 1.000 έτη αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η λήψη κατάλληλων αποτελεσμάτων, για την απόκριση της λεκάνης απορροής.

Τελικά, έγινε η βαθμονόμηση της προσομοίωσης, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται ο έλεγχος και η επαλήθευση της ευστάθειας του μοντέλου για διαφορετική χρονική περίοδο, δηλαδή φαίνεται σε πόσο χρονικό διάστημα σταθεροποιείται η παροχή. Έτσι, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν παραπάνω, παρατηρείται ότι η παροχή σταθεροποιείται για χρονικό διάστημα - time interval 30 λεπτών, όπως ορίζεται στις προδιαγραφές ελέγχου της προσομοίωσης.

Αφού εξετάστηκε λοιπόν η μεταβολή των χρήσεων γης για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης και έγιναν οι υδρολογικές μοντελοποιήσεις, παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων, των μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης, ταξινομημένα ανά περίοδο επαναφοράς.

Πίνακας 34 : Τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50 έτη, για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης

T 50		
2012		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m ³ /s)
J1	30	45,5
J2	30	151,1
J3	30	184
Outlet	30	172,4

2018		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	45,5
J2	30	149,8
J3	30	182,8
Outlet	30	171,2

2020		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	45
J2	30	148,2
J3	30	180,7
Outlet	30	169,3

Πίνακας 35 : Τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 100 έτη, για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης

T 100		
2012		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	57,7
J2	30	184,5
J3	30	226,1
Outlet	30	211,9

2018		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	57,7
J2	30	183,3
J3	30	224,9
Outlet	30	210,7

2020		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	57,1
J2	30	181,7
J3	30	222,9
Outlet	30	208,8

Πίνακας 36 : Τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων μέγιστων παροχών σε κάθε τμήμα της λεκάνης για περίοδο επαναφοράς 50 έτη, για τα 3 διαφορετικά έτη προσομοίωσης

T 1.000		
2012		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	111,2
J2	30	346,6
J3	30	426,3
Outlet	30	399,5

2018		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	111,2
J2	30	345,5
J3	30	425,3
Outlet	30	398,5

2020		
Ονομασία Κόμβου	Control Time (min)	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)
J1	30	110,6
J2	30	344
J3	30	423,4
Outlet	30	396,7

Σύγκριση παροχών των ετών μελέτης 2012-2018-2020

Αφού προέκυψαν οι παροχές της λεκάνης απορροής σύμφωνα με εναλλαγές των χρήσεων γης όλων των ετών μελέτης, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω πίνακες, όπου φαίνεται η ποσοστιαία σύγκριση της μεταβολής της παροχής, σε κάθε τμήμα-κόμβο της λεκάνης απορροής, για τα παραπάνω έτη και τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς. Αυτό κρίνεται απαραίτητο, ώστε να επιτευχθεί η σύγκριση του πλημμυρικού όγκου για την εξακρίβωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το υδρολογικό μοντέλο.

Παρουσιάζονται αρχικά οι πίνακες της σύγκρισης της παροχής για τα έτη 2012 και 2018, που ταξινομούνται για κάθε περίοδο επαναφοράς και στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση ανάμεσα στα έτη 2018-2020 και 2020-2012. Αξίζει να αναφερθεί, πως οι τιμές της απορροής είναι αυτές για χρονικό διάστημα - time interval 30 λεπτών, όπου σταθεροποιείται η παροχή και επιτυγχάνεται η ευστάθεια του μοντέλου.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι χρήσεις γης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκτίμηση της απορροής, καθώς είναι υπεύθυνες για τη συγκράτηση και απορρόφηση νερού σε μια επερχόμενη πλημμύρα. Παράλληλα με την εφαρμογή των χρήσεων γης, υπολογίζονται οι απώλειες της βροχόπτωσης, που επηρεάζουν τη συνολική διήθηση και την επιφανειακή απορροή της υδρολογικής λεκάνης.

Για τους λόγους αυτούς, προκύπτουν διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις παροχές που απορρέουν από τη λεκάνη, με την εναλλαγή των ετών και των χρήσεων γης, που παρουσιάζονται και αναλύονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 37 : Σύγκριση μέγιστων παροχών ανάμεσα στα έτη 2012-2018, για κάθε περίοδο επαναφοράς

T 50			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m³/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2012	2018	
J1	45,5	45,5	0%
J2	151,1	149,8	-0,86%
J3	184	182,8	-0,97%
Outlet	172,4	171,2	-0,69%

T 100			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m³/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2012	2018	
J1	57,7	57,7	0%
J2	184,5	183,3	-0,65%
J3	226,1	224,9	-0,53%
Outlet	211,9	210,7	-0,56%

Τ 1.000			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m ³ /s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2012	2018	
J1	111,2	111,2	0%
J2	346,6	345,5	-0,32%
J3	426,3	425,3	-0,23%
Outlet	399,5	398,5	-0,25%

Φαίνεται ότι ανάμεσα στα έτη 2012 και 2018, η μέγιστη πλημμυρική παροχή που προκύπτει από τη λεκάνη απορροής του υδατορρεύματος Μπουρμπουλήθρα, παρουσιάζει ελάχιστη μείωση για το έτος 2018. Δηλαδή, το 2012 οι τιμές της συνολικής απορροής, είναι μεγαλύτερες σε πολύ μικρό ποσοστό. Αυτό συμβαίνει διότι, υπάρχουν διαφορετικές χρήσεις γης για το κάθε έτος, με διαφορετική έκταση και ποσοστά κάλυψης, επηρεάζοντας έτσι την απορροή.

Ακόμη, διαφορές στη μέγιστη απορροή υπάρχουν για κάθε περίοδο επαναφοράς και σε κάθε κόμβο, όμως παρατηρείται ότι στον πρώτο κόμβο (J1), η τιμή της παροχής μένει ίδια, καθώς δεν είναι έντονες οι αλλαγές των χρήσεων γης σε εκείνο το τμήμα της λεκάνης. Πέραν αυτού, φαίνεται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η περίοδος επαναφοράς, τόσο λιγότερη μείωση της παροχής έχει η λεκάνη.

Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι στον τρίτο κόμβο (J3), ο όγκος νερού είναι μεγαλύτερος απ' ότι στο σημείο εκβολής. Αυτό γίνεται καθώς η υπολεκάνη που απορρέει στον συγκεκριμένο κόμβο και το μήκος του υδατορρεύματος που τη διαπερνά, έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και μήκος και επομένως η τιμή της παροχής στο τμήμα αυτό είναι μεγαλύτερη.

Επομένως, η προσομοίωση που έγινε για την εύρεση του πλημμυρικού όγκου, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η παροχές για το έτος 2018 έχουν μικρότερη τιμή, σε σύγκριση με το έτος 2012. Παρακάτω, γίνεται η σύγκριση των μέγιστων παροχών για τα έτη 2018-2020.

Πίνακας 38 : Σύγκριση μέγιστων παροχών ανάμεσα στα έτη 2018-2020, για κάθε περίοδο επαναφοράς

T 50			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2018	2020	
J1	45,5	45	-1,11%
J2	149,8	148,2	-1,07%
J3	182,8	180,7	-1,15%
Outlet	171,2	169,3	-1,11%

T 100			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2018	2020	
J1	57,7	57,1	-1,04%
J2	183,3	181,7	-0,87%
J3	224,9	222,9	-0,89%
Outlet	210,7	208,8	-0,90%

T 1.000			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m3/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2018	2020	
J1	111,2	110,6	-0,54%
J2	345,5	344	-0,43%
J3	425,3	423,4	-0,47%
Outlet	398,5	396,7	-0,45%

Όσον αφορά τη σύγκριση της παροχής που προκύπτει από την υδρολογική λεκάνη ανάμεσα στα έτη 2018 και 2020, φαίνεται ότι υπάρχουν οι ίδιες παρατηρήσεις, που αναλύονται και σχολιάζονται στη συνέχεια. Πιο συγκεκριμένα, για το έτος 2020, η μέγιστη παροχή παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερη τιμή, σε σχέση με το έτος 2018. Αυτό επεξηγεί πως μείωση θα υπάρχει στην παροχή του 2020 σε σύγκριση με το 2012, όπου θα αναλυθεί παρακάτω.

Επομένως, η προσομοίωση που έγινε για την εύρεση του πλημμυρικού όγκου, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η παροχές για το έτος 2018 έχουν μεγαλύτερη τιμή, σε σύγκριση με το έτος 2020. Παρακάτω, γίνεται η σύγκριση των μέγιστων παροχών για τα έτη 2020-2012.

Πίνακας 39 : Σύγκριση μέγιστων παροχών ανάμεσα στα έτη 2020-2012, για κάθε περίοδο επαναφοράς

<u>T 50</u>			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m³/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2020	2012	
J1	45	45,5	1,11%
J2	148,2	151,1	1,96%
J3	180,7	184	1,82%
Outlet	169,3	172,4	1,83%

<u>T 100</u>			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m³/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2020	2012	
J1	57,1	57,7	1,05%
J2	181,7	184,5	1,54%
J3	222,9	226,1	1,43%
Outlet	208,8	211,9	1,48%

<u>T 1.000</u>			
Ονομασία Κόμβου	Μέγιστη Παροχή Q (m³/s)		Ποσοστιαία μεταβολή (%)
	2020	2012	
J1	110,6	111,2	0,54%
J2	344	346,6	0,76%
J3	423,4	426,3	0,68%
Outlet	396,7	399,5	0,71%

Στο σημείο αυτό, γίνεται φανερό πως έγινε η σύγκριση των μέγιστων παροχών που προκύπτουν ανάμεσα στα έτη 2020 και 2012. Οι παραπάνω πίνακες, δείχνουν πως παρατηρείται αύξηση της παροχής για το έτος 2012 σε σχέση με το 2020. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί και αντίστροφα, δηλαδή ότι οι παροχές του 2020 είναι μικρότερες απ' ότι για το 2012.

Ακόμη, στον τρίτο κόμβο (J3) του υδρολογικού δικτύου, η παροχή έχει μεγαλύτερη τιμή απ' ότι στο σημείο εκβολής της λεκάνης, καθώς ισχύουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Βέβαια, εδώ παρατηρείται πως υπάρχει αλλαγή στην παροχή και στον πρώτο κόμβο (J1). Αυτό συμβαίνει διότι, σύμφωνα με τους χάρτες που δημιουργήθηκαν για τις χρήσεις γης, φαίνεται ότι υπάρχουν πολύ διαφορετικές κατηγορίες, επομένως αλλάζει η τιμή του CN, που επηρεάζει την απορροή.

Βέβαια, παρατηρείται ότι όσο η περίοδος επαναφοράς μεγαλώνει, αυτή η αύξηση της παροχής αρχίζει να μειώνεται ποσοστιαία. Αυτό παρατηρήθηκε και στις συγκρίσεις των προηγούμενων ετών όπου, όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος επαναφοράς, τόσο μικραίνει η διαφορά στην παροχή.

Συζήτηση - Ανάλυση συμπερασμάτων

Τα αποτελέσματα της εκτίμησης της μεταβολής της απορροής, παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες για τις περιόδους της μελέτης. Ως συμπέρασμα της εργασίας αυτής, προκύπτει ότι οι χρήσεις γης συμβάλουν σημαντικά στην πλημμυρική παροχή μιας λεκάνης, με την εναλλαγή τους ανά τα έτη. Ακόμη, με βάση τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της παροχής που απορρέει κατά το μήκος της λεκάνης και τελικά φτάνει και συγκεντρώνεται στο σημείο εκβολής, φαίνεται ότι υπάρχουν αλλαγές σε κάθε έτος.

Ειδικότερα, για την περίοδο 2012-2018, σύμφωνα με την υδρολογική προσομοίωση, προβλέπεται πιθανή μείωση της μέγιστης απορροής σε κάθε τμήμα της λεκάνης. Αυτό συμβαίνει για κάθε περίοδο επαναφοράς, όπου όσο αυξάνεται, μειώνεται η διαφορά στην απορροή. Ακόμη, για την περίοδο 2018-2020, προβλέπεται επίσης πιθανή μείωση της μέγιστης απορροής σε κάθε κόμβο αλλά και στο σημείο εξόδου της λεκάνης. Οι διαφορές με την προηγούμενη χρονική περίοδο προσομοίωσης, είναι ελάχιστες, διότι δεν υπάρχουν μεγάλες εναλλαγές στις χρήσεις γης.

Η τελευταία σύγκριση της απορροής, έγινε για την περίοδο 2020-2012, όπου το υδρολογικό μοντέλο πρόβλεψε πιθανή αύξηση της μέγιστης παροχής.

Βέβαια, αυτό ισχύει και αντίστροφα, δηλαδή το 2020 έχει μικρότερες παροχές, σε σχέση με το 2012.

Σκόπιμο είναι να σημειωθεί πως, για το έτος 2012 όλες οι τιμές της απορροής σε κάθε κόμβο και για κάθε περίοδο επαναφοράς, είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με τα υπόλοιπα έτη της προσομοίωσης. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στη μεγαλύτερη τιμή του απορροϊκού συντελεστή ΣCN, όπου το έτος 2012 έχει τη μεγαλύτερη τιμή

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως οι εναλλαγές των χρήσεων γης στην υδρολογική λεκάνη με την πάροδο των ετών, επηρεάζουν την τελική απορροή. Ακόμη, με βάση την εφαρμογή της μεθόδου υπολογισμού των απωλειών που αφορά τις χρήσεις γης, όσο μεγαλύτερο είναι το CN που επικρατεί στη λεκάνη, τόσο μεγαλύτερες τιμές απορροής.

Επομένως, έπειτα από τη σύγκριση όλων των ετών της προσομοίωσης, συμπεραίνεται πως το έτος 2012 συγκεντρώνει το μεγαλύτερο όγκο νερού, όπου προέκυψαν οι μεγαλύτερες τιμές απορροής με βάση τα αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης. Ακολουθούν με τη σειρά το έτος 2018 και στη συνέχεια το 2020.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, μπορεί να διατυπωθεί ότι η απορροή μειώνεται με την πάροδο των ετών, καθώς και η μέγιστη διάρκεια της, για όλες τις περιόδους και για όλα τα υδρολογικά μοντέλα που δημιουργήθηκαν. Ακόμη, μειώνεται η μέγιστη τιμή των επεισοδίων ακραίας απορροής, όπου αυτές οι μεταβολές αποτελούν το ζητούμενο των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η συγκεκριμένη μελέτη βέβαια, δεν φαίνεται να είναι καθολική και να ταιριάζει σε όλα τα υδρολογικά μοντέλα. Οι διάφορες συνθήκες, δημιουργούν πιθανές προκλήσεις για τα συστήματα διαχείρισης των υδάτινων πόρων και την αντιπλημμυρική προστασία. Έτσι κρίνεται αναγκαία η βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας της υδρολογικής προσομοίωσης, για την ορθότερη εκτίμηση των πλημμυρικών φαινομένων. Ακολουθούν μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Με βάση την παρούσα εργασία, για τον υπολογισμό μελλοντικών παροχών και την προσομοίωση υδρολογικών μοντέλων, θα μπορούσε να γίνει περαιτέρω μελέτη στις παραμέτρους που χρειάζεται το μοντέλο του HEC-MS. Ακόμη, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, θα πρέπει να υπάρχει επάρκεια των δεδομένων για τον υπολογισμό των απωλειών με τη μέθοδο Loss της S.C.S.

Ακόμη, θα μπορούσε να γίνει καλύτερη έρευνα και ανάλυση της περιοχής μελέτης, για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών, του εδάφους και του ανάγλυφου της λεκάνης απορροής, μέσω του λογισμικού ArcGIS-Pro. Σημαντικό βήμα επίσης, θα ήταν η ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε άλλες υδρολογικές λεκάνες, για τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων με άλλες χρήσεις γης.

Επιπλέον, ορθό θα ήταν να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες, που αφορούν σε παλαιότερες περίοδοι, ώστε να προκύψουν ικανοποιητικά αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκρισης της παροχής. Η χρήση του λογισμικού HEC-RAS θα ήταν ένα χρήσιμο εργαλείο στον υπολογισμό συγκράτησης νερού λόγω φερτών υλικών, για την εύρεση της απορροής κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων.

Η υλοποίηση των παραπάνω ερευνητικών προτάσεων, μπορεί συμβάλει στη βελτίωση μιας υδρολογικής προσομοίωσης, με σκοπό τη μείωση του πλημμυρικού κινδύνου. Η παρούσα εργασία δύναται να χρησιμοποιηθεί για μελλοντική έρευνα, καθώς αποτελεί ένα εργαλείο που αφορά στην εύρεση της απορροής μια λεκάνης, με βάση της εναλλαγές των χρήσεων γης.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελίδης, Μ., Οικονόμου Α. (2005). *Χρήσεις γης και επιπτώσεις στον παράκτιο χώρο της Ελλάδας*, Αθήνα. HELECO '05, ΤΕΕ.

Διακάκης, Μ. (2012). *Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης, Διδακτορική Διατριβή*, Αθήνα, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Ε.Κ.Π.Α.).

Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος Θ. (2016). *Τεχνική Υδρολογία*, Αθήνα, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Έκδοση 4.

Κουτσογιάννης, Δ. (1997). *Στατιστική Υδρολογία*, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Έκδοση 4.

Κωτσόπουλος, Ι. Σ. (2006). *Υδρολογία*, Αθήνα, Εκδόσεις ΙΩΝ.

Κωτσόπουλος, Ι. Σ. (2023). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων - Εκτίμηση Υδρολογικής Διακινδύνευσης*, Λάρισα, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων», Σημειώσεις από το μάθημα.

Λουκάς, Α. (2012). *Υδρολογία, Βόλος, Σημειώσεις καθηγητή από το Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μαλακοδήμος, Κ. Σ. (2020). *Χαρτογράφηση Ζημιών από Πλημμύρες στη Μάνδρα Αττικής*.

Μιρίκου, Μ. Α. και Μπαλτάς Ε. Α. (2012). *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 5^η Έκδοση.

Μπαλιακούτα, Θ. (2023). *Πλημμυρικά Φαινόμενα στην Ελλάδα*, Λάρισα.

Μπέλλος, Α. (2021). *Κλιματική Αλλαγή και Πλημμυρικά Φαινόμενα*, Βόλος,.

Οικονόμου, Α. (2005). *Η Παράκτια Ζώνη του Δέλτα Πηνειού Ποταμού: Ανάπτυξη και Προστασία Περιβάλλοντος*».

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. (2001). *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη.

Σακκάς, Ι.Γ. (2007). *Τεχνική Υδρολογία*, Τόμος 1, Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Αϊβάζης.

Τσακίρης, Γ. Π. (1995). *Υδατικοί Πόροι Ι*, Αθήνα, Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία.

Τσακίρης, Γ. Π. (2009). *Υδατικοί Πόροι ΙΙ*, Αθήνα, Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Εκδόσεις Συμμετρία.

Ψιλοβίκος, Α. (2020). *Υδατικοί πόροι*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.

Ψιλοβίκος, Α. (2023). *Περιβαλλοντική Παρακολούθηση, Προσομοίωση και Κλιματική Αλλαγή*, Λάρισα, Δ.Π.Μ.Σ Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Φαρσιρώτου, Ε. (2023). *Διαχείριση κινδύνων πλημμυρών και διάβρωσης*, Λάρισα, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Π.Θ.), , Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών – Δ.Π.Μ.Σ. «Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων».

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Adeel, Z., Alarcón, A. M., Bakkensen, L., Franco, E., Garfin, G. M., McPherson, R., Méndez, K., Roudaut, M. B., Saffari, H., Wen, X. (2020). Developing a comprehensive methodology for evaluating economic impacts of floods in Canada, Mexico and the United States, *International Journal of Disaster Risk Reduction*.

Allen, T., Hjelmfelt, Jr. (1991) Investigation of Curve Number Procedure, *Journal of Hydraulic Engineering*.

Alavinia M., Saleh F.N., Asadi H., “Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion”, *International Journal of Sediment Research*, 2019.

Babajimopoulos, C. and Kotsopoulos, S. (1997). Analytical estimation of modified equation parameters, *J. Irrig. and Drain. Engng.*

Bukovski, M. E. and Semenova, A. V. (2019). Analysis of the effects of climatic factors on flood peak formation, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

Chavez, C., Ferreira, S., Somanathan, E. and Jeffrey, R. (2019). Environment and Development Economics, *The Beijer Institute of Ecological Economics*.

Chow, V. T. (1964). Handbook of Applied Hydrology, *McGraw - Hill International Book Company*, N.Y., U.S.A.

Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W. (1998). Applied Hydrology, *McGraw - Hill International Book Company*, N.Y., U.S.A.

Colombo, A. G., Hervás, J. and Vetere, A. L. (2002). Guidelines on Flash Flood Prevention and Mitigation, *Institute for the Protection and Security of the Citizen*.

Dingman, S. L. (1994). Physical Hydrology, *Prentice Hall Inc*, N. Jersey, U.S.A.

Dobrovičová, S., Dobrovič, R., Dobrovič, J. (2015). The Economic Impact of Floods and their Importance in Different Regions of the World with Emphasis on Europe, *Procedia Economics and Finance*.

Foufoula, E. – Georgiou, Guttorp, P. (1986). Compatibility of continuous rainfall occurrence models with discrete rainfall observations, *WATER RESOURCES RESEARCH*.

Foufoula, E. – Georgiou, Krajewski, W. (1995). Recent advances in rainfall modeling, estimation, and forecasting, *Reviews of Geophysics*.

Grekousis, G., G. Mountrakis, and M. Kavouras. (2015). An Overview of Global and Regional Land-Cover Mapping Products, *International Journal of Remote Sensing*.

Hilsenhoff, W. L. (1996). Effects of a catastrophic flood on the insect fauna of Otter Creek, Sauk County, Wisconsin, *Transactions of the Wisconsin Academy of Science*.

Konrad, C. P. (2016). Effects of Urban Development on Floods, *U. S. Geological Survey*.

Koutsoyiannis, D. and Christian, O. (2001). Rainfall disaggregation using adjusting procedures on a Poisson cluster model, *Journal of Hydrology*.

Koutsoyiannis, D. and Mamassis, N. (2001). On the representation of hyetograph characteristics by stochastic rainfall models, *Journal of Hydrology*.

Krzysztof, W. (2018). Hazards for buildings and structures caused by flood conditions, Poland, *Rzeszow University of Technology, Department Geodesy and Geotechnics*, ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów.

Kundzewicz, Z. W., Krysanova, V., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Kanae, S., Hattermann, F. F., Huang, S., Milly, P. C., Stoffel, M., Driessen, P., Matczak, P., Quevauviller, P. and Schellnhuber, H. (2016). Differences in flood hazard projections in Europe – their causes and consequences for decision making, *Hydrological Science Journal*.

Liu, C., Shieh, M., Syun, K. M. and Wang, K. (2018). Flood Prevention and Emergency Response System Powered by Google Earth Engine, *Department of Earth Sciences*.

Maura, A. (2018). Socio-economic impacts of flooding: A review of the empirical literature, *Water Security*.

Mary, W., Downton, M. W. and Pielke, Jr. R. A. (2001). Discretion without Accountability: Politics, Flood Damage, and Climate, *Natural Hazards Review*.

Wulder, A., Coops N., Roy, P., White, J. and Txomin H. (2018). Land cover 2.0, *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*.

Mohammad, A. F. and Beytullah, E. (2021). Floods and Their Impact on the Environment, *Academic Perspective Procedia*.

Montgomery, M. and Chakraborty, J. (2015). Assessing the environmental justice consequences of flood risk, *Environmental Research Letters*.

Mosley, M. P. and McKerchar, A. I. (1993). Streamflow, New York, Ch. 8, *Handbook of Hydrology*, edited by D. R. Maidment, *McGraw-Hill*.

Yu, Q., Wang, Y. and Li, N. (2022). Extreme Flood Disasters: Comprehensive Impact and Assessment, *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*.

Hawkins, R., Ward, T., Woodward, D. and Van Mullem, J. (2009). CURVE NUMBER HYDROLOGY, *American Society of Civil Engineers*.

Reenberg, A., Turner, B. L. and Lambin E. F. (2007). The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability, *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Sarmiento, C. and Miller, T. R. (2006). Costs and Consequences of Flooding and the Impact of the National Flood Insurance Program, *Pacific Institute for Research and Evaluation*.

Townshend, J. R., Masek, J. G., Huang, C., Vermote, E. F., Gao, F., Channan, S., Sexton, J. O., Feng, M., Narasimhan, R., Kim, D. Song, K., Song, D., Song, X.-P., Noojipady, P., Tan, B., Hansen, M. C., Li, M., and Wolfe, R. E. (2012). Global Characterization and Monitoring of Forest Cover Using Landsat Data: Opportunities and Challenges, *International Journal of Digital Earth*.

Tracewski, L., Bastin L., and Fonte, C. C. (2017). Repurposing a Deep Learning Network to Filter and Classify Volunteered Photographs for Land Cover and Land Use Characterization, *Geo-Spatial Information Science*.

Wang, Q. J. and Pagano, T. C. (2011). A review of advances in flash flood forecasting, *Hydrological Processes*, Volume 25, Issue 18, Pages 2771-2784, *American Meteorological Society*.

Ward, R.C. and Robinson, M. (1989). Principles of Hydrology, London, 3rd edition, *McGrawHill*.

Weiwei, D., FitzGerald, G., Clark, M. and Hou X. (2012). Health Impacts of Floods, *Published online by Cambridge University Press*.

Wise, C. (2003). Flood prevention and recovery, *Disaster Management for Libraries and Archives*.

Zbigniew, W. (2008). Flood risk and vulnerability in the changing climate, Germany, *Research Centre for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences*, Poland and Potsdam Institute for Climate Impact Research.

Ηλεκτρονικές Πηγές

Copernicus – Land Monitoring Service - CORINE Land Cover
(<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>)

Google Earth (<https://earth.google.com/web/>)

USGS - Science for a changing world - Integrated Taxonomic Information System (ITIS) (<https://www.usgs.gov/tools/integrated-taxonomic-information-system-itis>)

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού – ΓΥΣ (<https://www.gys.gr/>)

Δήμος Αγιάς (<https://www.dimosagias.gr/>)

Διαδικτυακή Πύλη Γεωγραφικών Πληροφοριών του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) (<http://mapsportal.ypen.gr>)

Ελληνικό Κτηματολόγιο (<https://www.ktimatologio.gr/>)

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Αγιάς 2012-2014
(<https://old.dimosagias.gr/epixeirisiako-2012-2014.html#>)

Ν. 3199/2003 – ΦΕΚ 280/Α΄/09-12-2003, Προστασία και διαχείριση των υδάτων, Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000, 2003.
(<https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/odigia-plaisio-gia-ta-nera/>)

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ, ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΔΗΓΙΑΣ 2007/60/ΕΚ, ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ (<https://floods.ypeka.gr/>)