



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ
ΕΥΒΟΙΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Παπαβασιλείου Π. Χρίστος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Μπαλτάς Ευάγγελος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω κατ' αρχάς τον κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας, την καθοδήγησή του και τις επισημάνσεις σε καίρια σημεία της εργασίας.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Μαμάση καθηγητή και τον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη επίκουρο καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αιμιλία Θεοχάρη, Υποψήφια Διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για το χρόνο που διέθεσε, για τη συνεχή υποστήριξη, καθώς και για τις γενικότερες επισημάνσεις και γνώσεις που μου προσέφερε, σε καίρια ζητήματα που προέκυψαν, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, τις μεγαλύτερες ευχαριστίες τις οφείλω στην οικογένειά μου και τους φίλους που με στηρίξανε όλα αυτά τα χρονιά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ii
EXTENDED ABSTRACT	vi
Introduction	vi
Materials and Methods.....	vi
Study Area.....	vi
Data Used.....	vii
Results.....	viii
Hydrological Analysis	viii
Hydraulic Analysis	xi
Sensitivity Analysis.....	xviii
Conclusions	xix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Νομικό πλαίσιο-Οδηγία 2007/60	1
1.2 Συμβολή της πυρκαγιάς στην πλημμύρα	3
1.3 Αντικείμενο εργασίας	5
1.4 Διάρθρωση εργασίας.....	5
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8
2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά.....	8
2.2 Ανθρωπογενή χαρακτηριστικά και χρήσεις γης.....	12
2.3 Κλίμα	17
2.4 Υδρολογία και ιστορικό πλημμυρών	19
2.5 Γεωλογικά χαρακτηριστικά.....	21
2.6 Πυρκαγιά στη Βόρεια Εύβοια.....	24
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	27
3.1 Περιβάλλον Εργασίας.....	27
3.1.1 Συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ)– λογισμικό ArcMap	27
3.1.2 Λογισμικό HEC-HMS	29
3.1.3 Λογισμικό HEC-RAS.....	31
3.2 Υδρολογική ανάλυση	33

3.2.1 Γεωμορφολογική ανάλυση	33
3.2.2 Εναλασσόμενα μπλοκ	36
3.2.3 Συνθετικό μοναδιαίουδρογράφημα κατά Snyder	40
3.2.4 Διάστατο μοναδιαίουδρογράφημα κατά SCS	43
3.2.5 Μοναδιαίουδρογραφήμα με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών	44
3.2.6 Εκτίμηση υδρολογικών απωλειών με τη μέθοδο SCS CN	52
3.2.7 Υπολογισμός πλημμυρογραφήματος σε περιβάλλον HEC-HMS	56
3.3 Υδραυλική προσομοίωση σε περιβάλλον HEC-RAS	60
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	66
4.1 Υδρολογική ανάλυση	66
4.2 Υδραυλική προσομοίωση	76
4.3 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου CN	89
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
5.1 Σύνοψη	92
5.2 Γενικά συμπεράσματα	92
5.3 Ειδικά συμπεράσματα	93
5.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πλημμυρικά φαινόμενα συμβαίνουν λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Είναι λοιπόν επιτακτική ανάγκη η κατάστροψη σχεδίων και η πρόληψη με στόχο την προστασία από πλημμύρες. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου σε τρεις λεκάνες απορροής που ανήκουν στη Βόρεια Εύβοια υπολογίζοντας τα πλημμυρογραφήματά τους κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες, εν προκειμένω ύστερα από την πυρκαγιά που έλαβε χώρα τον Αύγουστο του 2021. Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η επεξεργασία δεδομένων μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems GIS) για την εξαγωγή των γεωμορφολογικών και γεωχωρικών δεδομένων της υπό εξέταση περιοχής. Στη συνέχεια, εκπονείται η υδρολογική ανάλυση για πριν και μετά τις μεταβαλλόμενες συνθήκες ώστε να υπολογιστούν τα αντίστοιχα πλημυρογραφήματα. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται τρεις διαφορετικές μέθοδοι μετατροπής της βροχής σε απορροή βασισμένες στο Μοναδιαίο Υδρογραφήμα (ΜΥΓ). Επιλέγονται οι μέθοδοι του συνθετικού ΜΥΓ κατά Snyder, του αδιάστατου ΜΥΓ κατά SCS, και η μέθοδος United Specified Hydrograph (USH) κατά την οποία εισάγεται ΜΥΓ, το οποίο υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών σε περιβάλλον GIS. Ακόμη, γίνεται χρήση του συντελεστή απώλειας βροχής Curve Number (CN) για διάφορες υγρασιακές καταστάσεις. Από τον συνδυασμό όλων των παραπάνω διερευνώνται 36 συνολικά σενάρια για τις τρεις λεκάνες με σκοπό τη δημιουργία των αντίστοιχων πλημμυρογραφημάτων μέσω του μοντέλου HEC-HMS. Έπειτα, διεξάγεται η υδραυλική προσομοίωση με χρήση του μοντέλου HEC-RAS, κατάντη της εξόδου των λεκανών μελέτης προκειμένου να χαραχθούν οι χάρτες μεγίστων βαθών και ταχυτήτων ροής του πλημμυρικού πεδίου για να αξιολογηθεί η πλημμυρική επικινδυνότητα των κατάντη οικισμών ύστερα από μεταβολή των συνθηκών όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση της πυρκαγιάς. Αναλυτικότερα, οι υπό εξέταση περιοχές είναι η Ιστιαία, οι Κεχριές, η Φαράκλα, η Ζωοδόχος πηγή και η Κήρινθος. Τέλος, λαμβάνει χώρα η ανάλυση ευαισθησίας για το συντελεστή CN ο οποίος από την παρούσα μελέτη διαπιστώνεται ότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Floods are one of the most common natural disasters, mostly happen due to severe rainfall and have negative consequences in the natural and artificial environment. Therefore, it is of an immediate action the design of management plans and the prevention for protection from floods.

This research study aims to analyse the flood risk in three subbasins flows that belong in the North of Evoia, through the computation of their flood hydrographs under dynamic conditions such as the fire that took place in August 2021. In the first stage the data are being processed through the Geographical Information Systems software for the extraction of the geomorphological and geospatial data of the study area. Afterwards, this study continues with the hydrological analysis for before and after the dynamic conditions in order to calculate the flood hydrographs. More specifically, 3 different methods that convert rainfall to runoff are being utilised based on the unit hydrograph. The methods selected are of the synthetic unit hydrograph by Snyder, the non-dimension unit hydrograph by SCS and the Unit Specified Hydrograph (USH), which is calculated based on the isochrone curve method within the GIS environment. Moreover, the Curve Number parameter is being utilised, which describes the rainfall losses, for multiple humidity conditions. Though the combination of the aforementioned, 36 scenarios are being researched for the 3 subbasins in order to create their relative flood hydrographs through the HEC-HMS model.

Finally, the hydraulic simulation takes place through the utilisation of the HEC-RAS model, under the emit portal of the studied subbasins, in order to generate the maps of the flow depth and the maximum velocity of the flood field and to evaluate the flood risk of the nearby settlements after the condition change that can happen due to conditions such as fire. More specifically, the areas examined are the following: Zoodohos Pigi, Kehries, Istiaia, gFarakla and Kirinthos.

Finally, a sensitivity analysis takes place for the CN parameter, which under the current study is being showcased that has a very high influence on the results.

Materials and Methods

Study Area

The study area is formed of three subbasins, which are located in the north section of Evoia and more specifically between the longitude $23^{\circ} 6' 00''\text{E}$ - $23^{\circ}26' 0''\text{E}$ and the latitude $38^{\circ}46' 0''\text{N}$ - $38^{\circ}58' 0''\text{N}$. The study area covers an area of about 262 km^2 . The

elevation of the subbasins ranges from 40.1 m to 969.5 m. Based on the land cover types it becomes evident that 50% of the total area is covered by forests and 35% by crops.

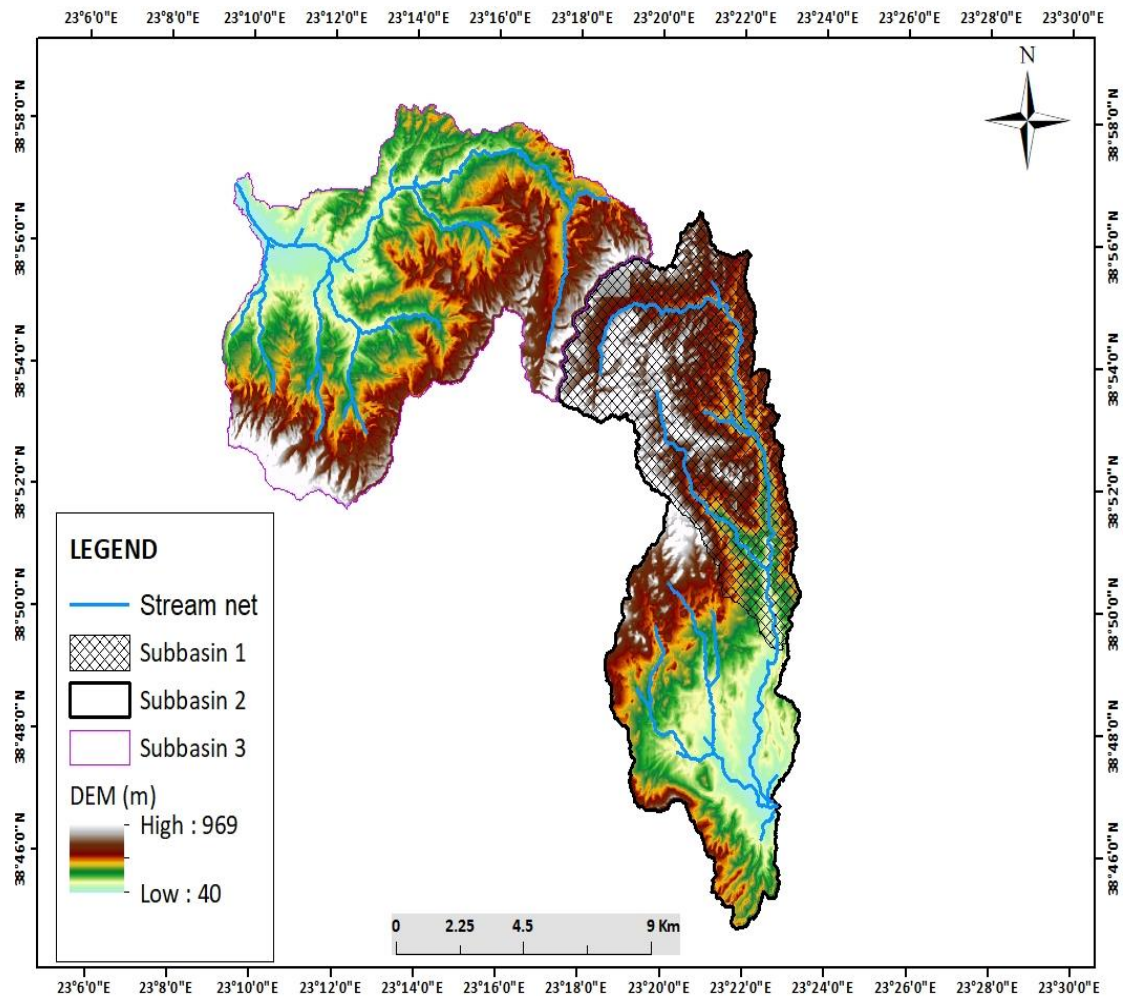


Figure 1: The study area

Data Used

The dataset that has been utilised for the research was based in the Digital Elevation Model and its Corine Land Cover, which both are necessary for the geomorphological and the hydrological analysis. The Digital Elevation Model has been granted from the National Cadaster and Mapping Agency as a raster file with a pixel size of 5m x 5m.

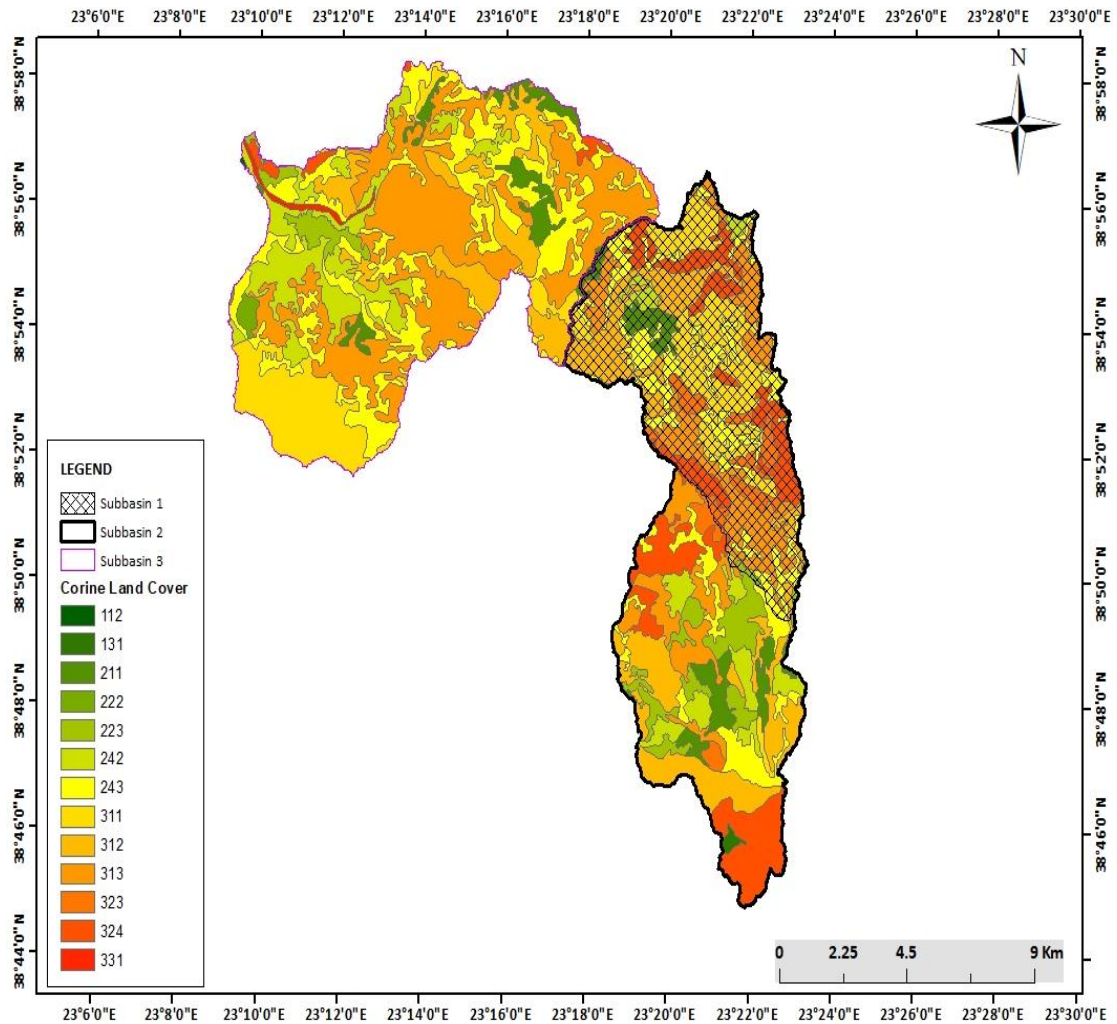


Figure 2: Corine Land Cover of the study area

A necessary step, is the calculation of the rainfall data in the study area, which has been computed through the alternate block method (Choe et al. 1998) and the duration of precipitation was about 12 hours and a return period of 100 years.

Results

Hydrological Analysis

The hydrological analysis uses in total 3 methods for the conversion of rainfall to flow: 1) The Snyder method, 2) the SCS method and 3) the Unit specifies Hydrograph method for every subbasin before and after the fire. For the final method the data needed to be processed first in the ArcMap software in order to calculate the isochrone curves. Additionally, the isochrone curves cannot cross one another since every isochrone curve is unique with specific time of travel (Singh, 1992).

The rainfall losses can be identified through the Curve Number (CN), that has been developed by the USDA Natural Resources Conservation service. The CN parameter is a function of the soil type, land usage and soil permeability.

The data from the aforementioned methods have been used as an input in the HEC-HMS to calculate the flood hydrographs, which they are then used as an input to the HEC-RAS in order to implement the hydraulic simulation.

More specifically the subbasin flowemit in the following areas: Zoodohospigi, Kehries, Istiaia, Farakla and Kirinthos and the aim is the analysis of their flood risk. The analysis has been computed based on both the flow's depth and velocity. Finally, the sensitivity analysis takes place through the method "Once at a time" for the CN parameter.

To conduct the hydrological analysis, it is necessary first to calculate basic data such as the Hyetograph which is based on alternative block method, the number of CN and the unit hydrograph for each subbasin. More specifically, the following flood hydrographs have been computed from three different methods for the conversion of rainfall to flow (Snyder, SCS, Unit Specified Hydrograph) for the different humidity conditions (wet, normal, dry) for before and after the fire.

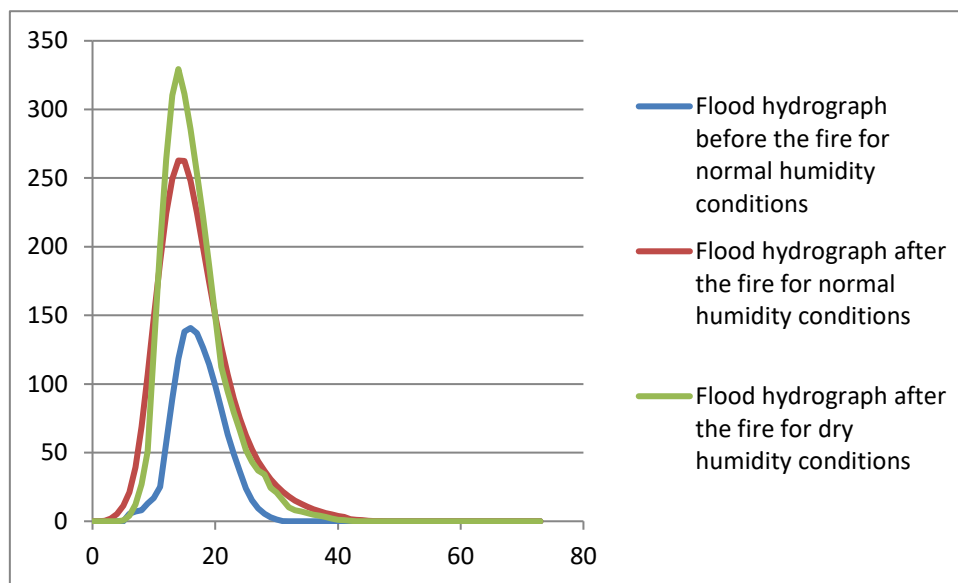


Figure 3: Flood hydrographs by the USH method

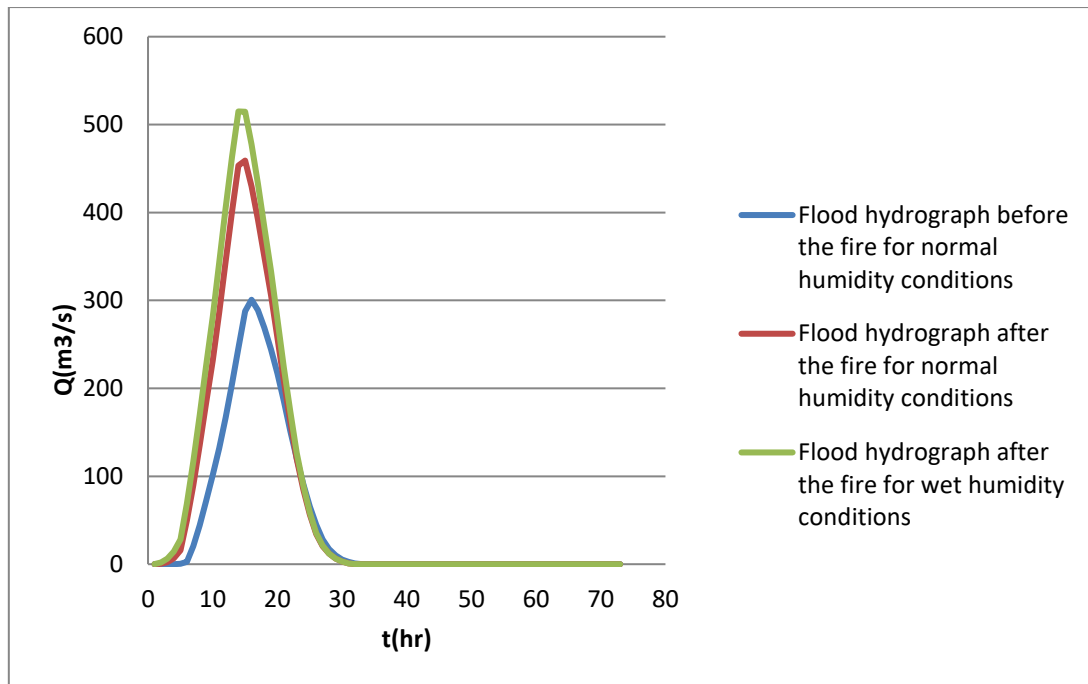


Figure 4: Flood hydrographs by the USH method

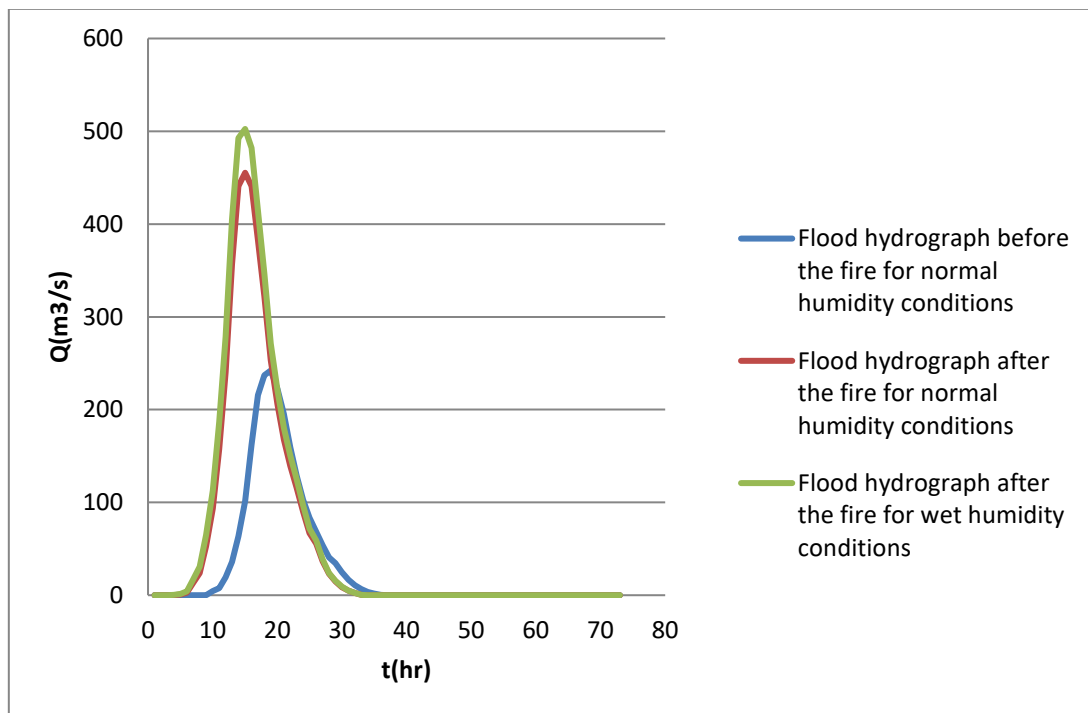


Figure 5: Flood hydrographs by the USH method

Table 1: Hydrological characteristics of each subbasin

		Subbasin 1	Subbasin 2	Subbasin 3
Before the fire for normal humidity conditionsII	Peak discharge(m^3/s)	140.8	300.8	242.2
	Time to peak(hr)	15	15	18
After the fire for normal humidity conditions	Peak discharge(m^3/s)	262.8	459.1	455.3
	Time to peak(hr)	14	14	14
After the fire for wet humidity conditions	Peak discharge(m^3/s)	329.4	515	502.5
	Time to peak(hr)	14	14	14

Hydraulic Analysis

The three subbasins that have been studied emit in the following areas: Zoodohospigi, Kehries, Istiaia, Farakla and Kirinthos. The aim of the simulation is the analysis of the flood consequences in these areas at a flow depth level and at a flow velocity level. The flood is examined for scenarios before and after the fire but also for the different conditions of humidity.



Figure 6: Maximum depth before the fire for normal humidity conditions of subbasin 1

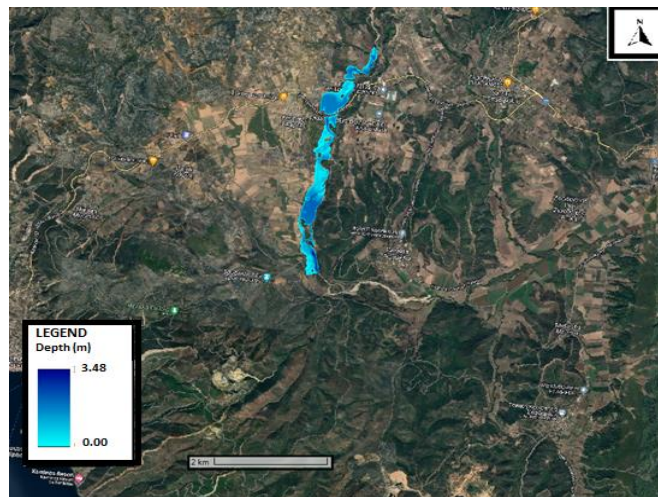


Figure 7: Maximum depth after the fire for normal humidity conditions of subbasin 1

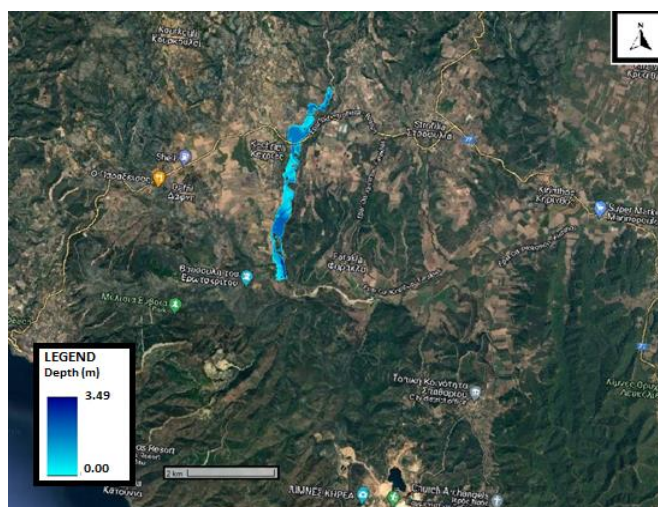


Figure 8: Maximum depth after the fire for wet humidity conditions of subbasin 1

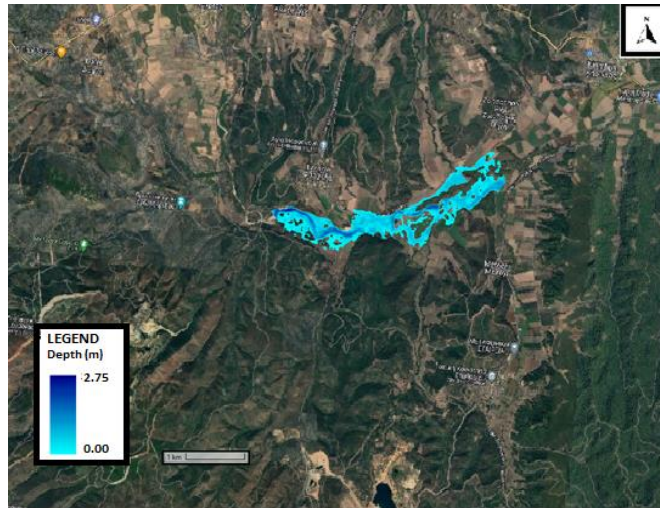


Figure 9: Maximum depth before the fire for normal humidity conditions of subbasin 2

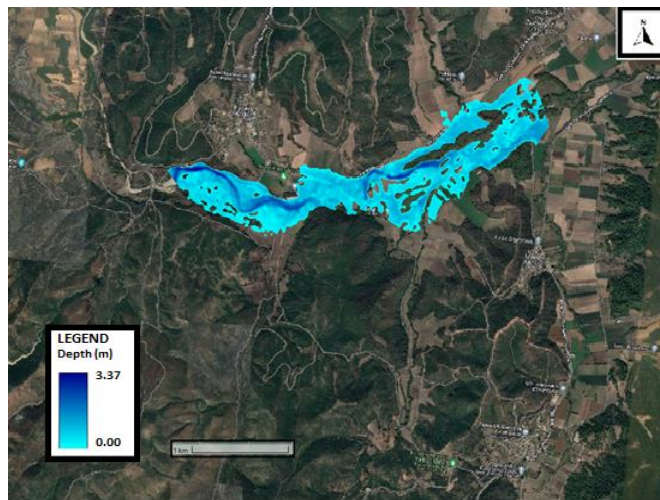


Figure 10: Maximum depth after the fire for normal humidity conditions of subbasin 2

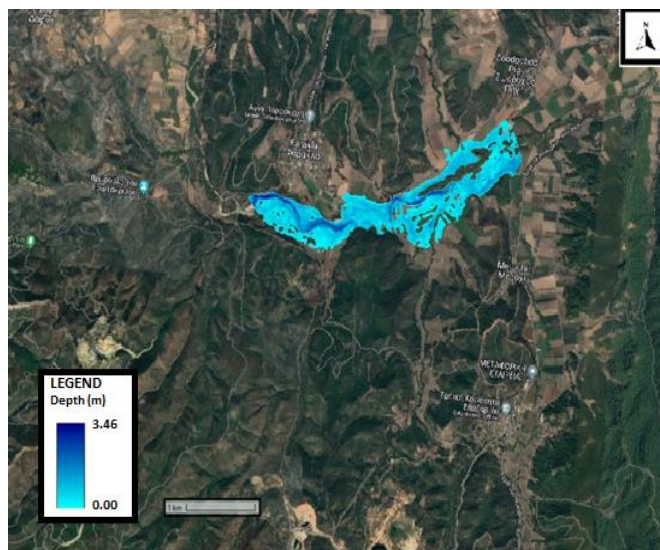


Figure 11: Maximum depth after the fire for wet humidity conditions of subbasin 2



Figure 12: Maximum depth before the fire for normal humidity conditions of subbasin 3

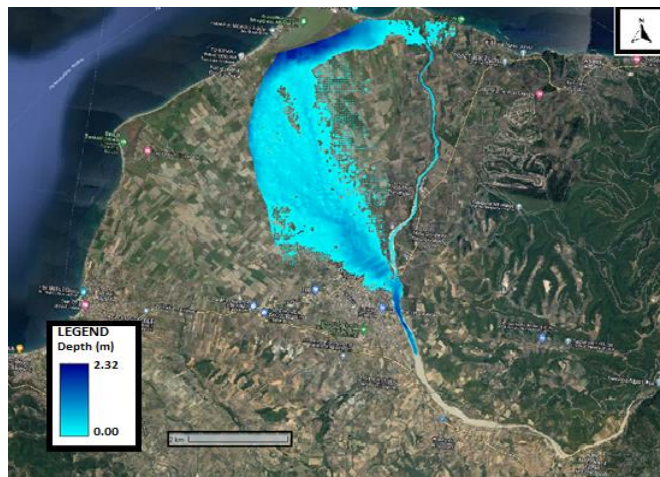


Figure 13: Maximum depth after the fire for normal humidity conditions of subbasin 3

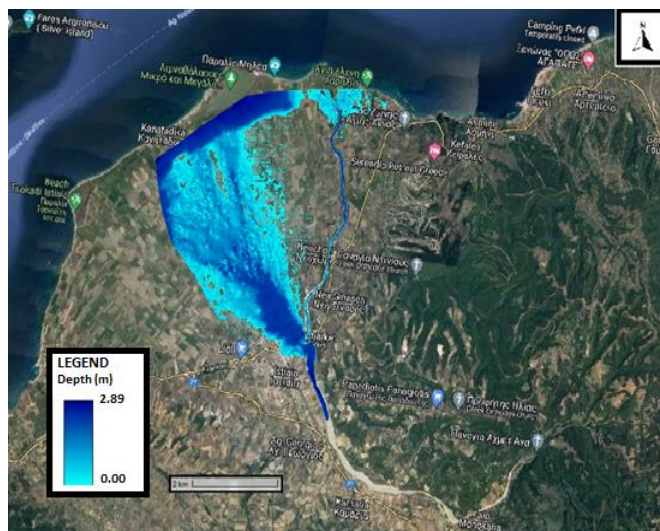


Figure 14: Maximum depth after the fire for wet humidity conditions of subbasin 3

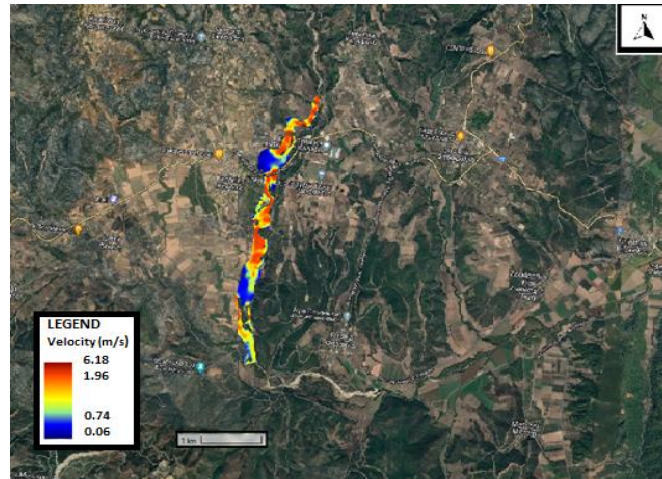


Figure 15: Maximum velocity before the fire for normal humidity conditions of subbasin 1

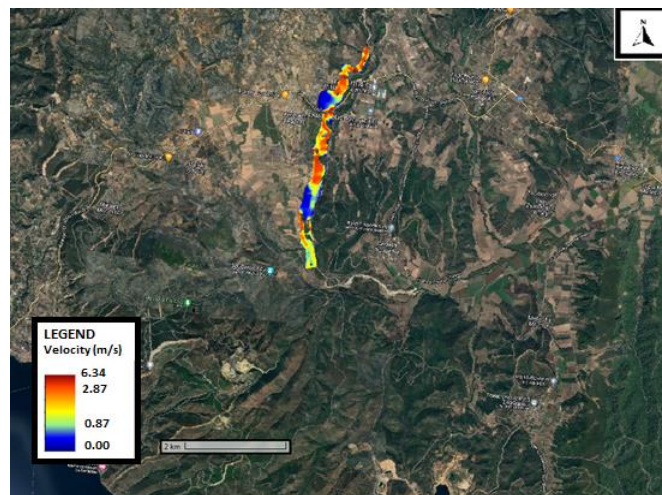


Figure 16: Maximum velocity after the fire for normal humidity conditions of subbasin 1

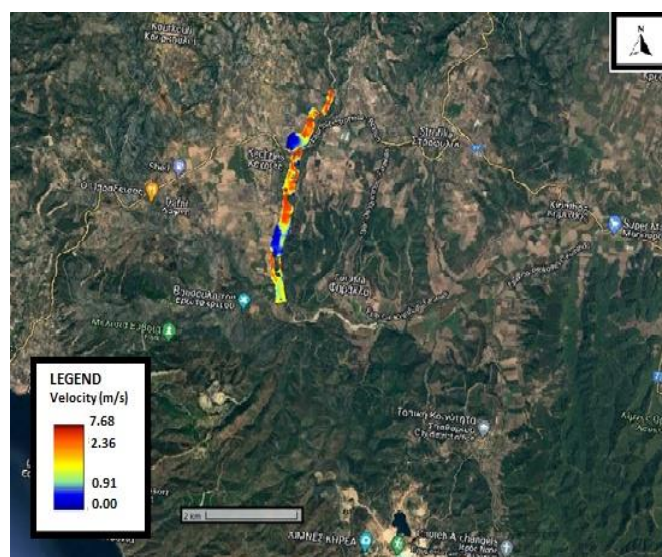


Figure 17: Maximum velocity after the fire for wet humidity conditions of subbasin 1

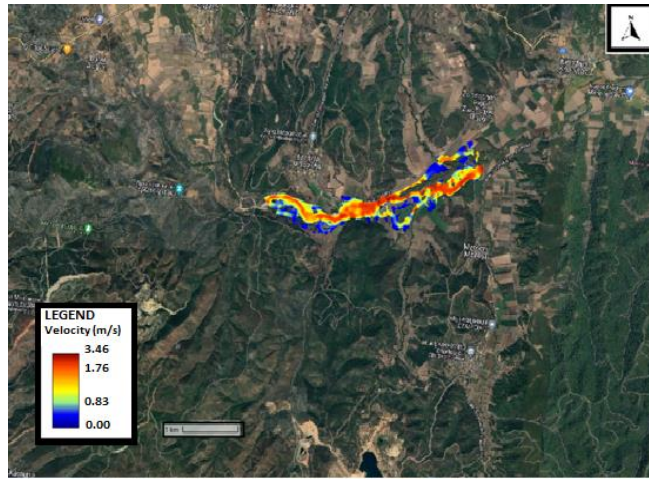


Figure 18: Maximum velocity before the fire for normal humidity conditions of subbasin 2

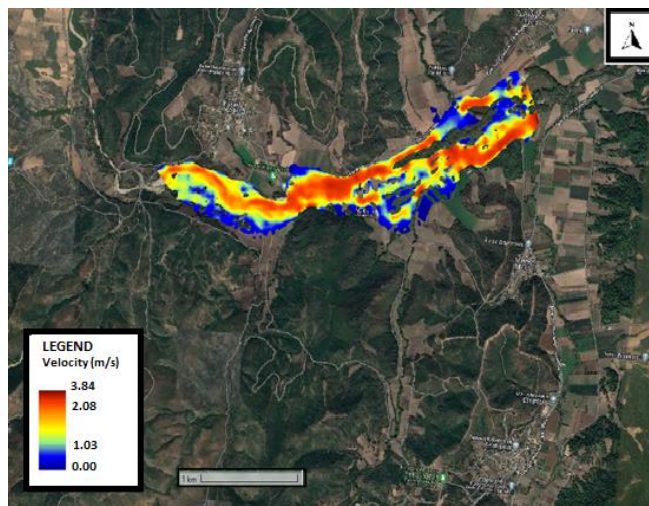


Figure 19: Maximum velocity after the fire for normal humidity conditions of subbasin 2

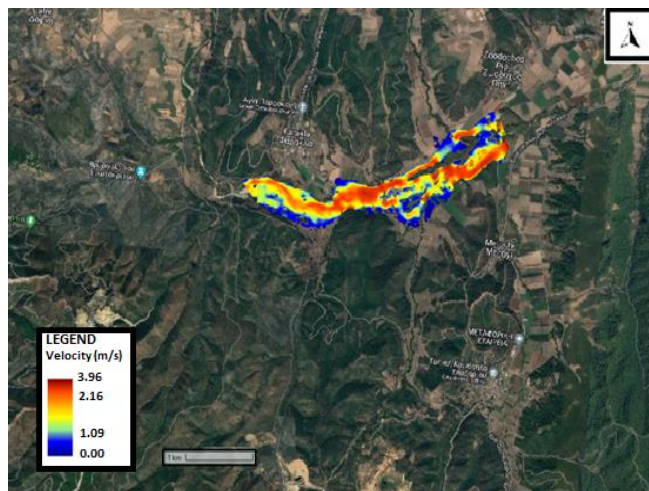


Figure 20: Maximum velocity after the fire for wet humidity conditions of subbasin 2

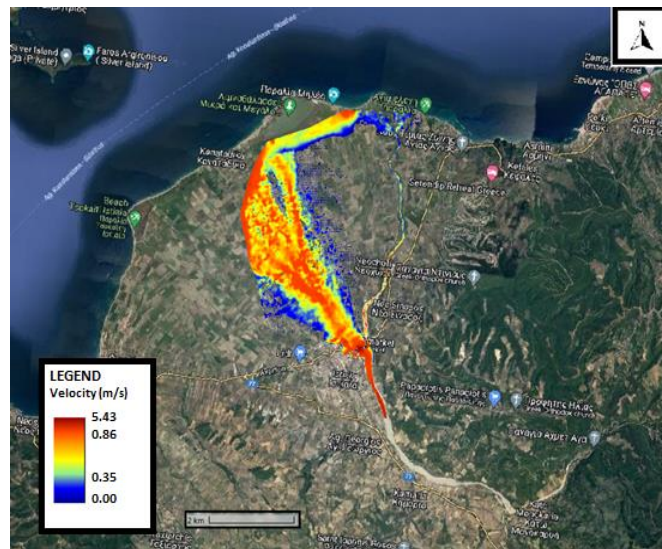


Figure 21: Maximum velocity before the fire for normal humidity conditions of subbasin 3

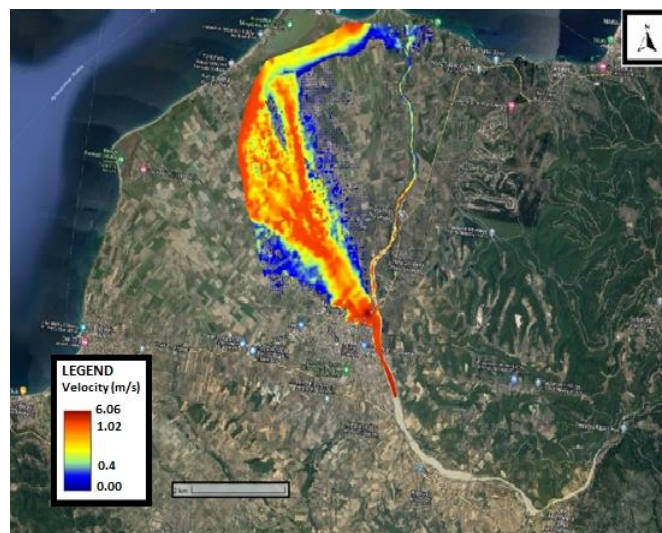


Figure 22: Maximum velocity after the fire for normal humidity conditions of subbasin 3

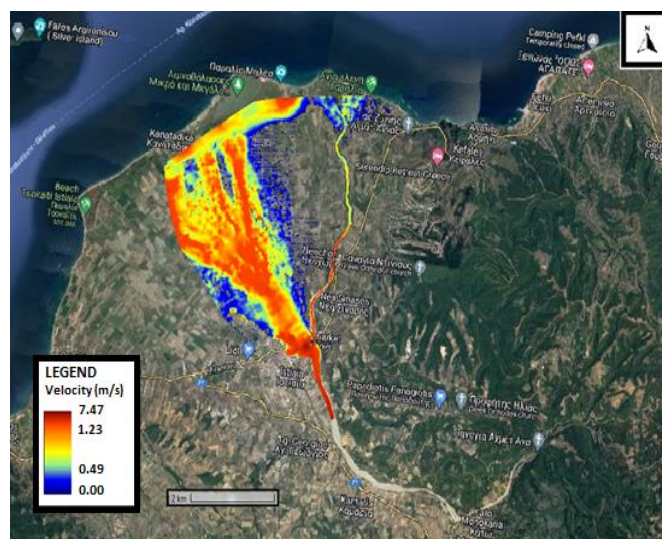


Figure 23: Maximum velocity after the fire for wet humidity conditions of subbasin 3

Sensitivity Analysis

The sensitivity analysis was applied on the CN using the one at a time method (OAT), specifically, one variable is changed and the others are keeping constant. The sensitivity analysis was performed on the CN for the following changes in parameter by: 2%, 4% and 6%.

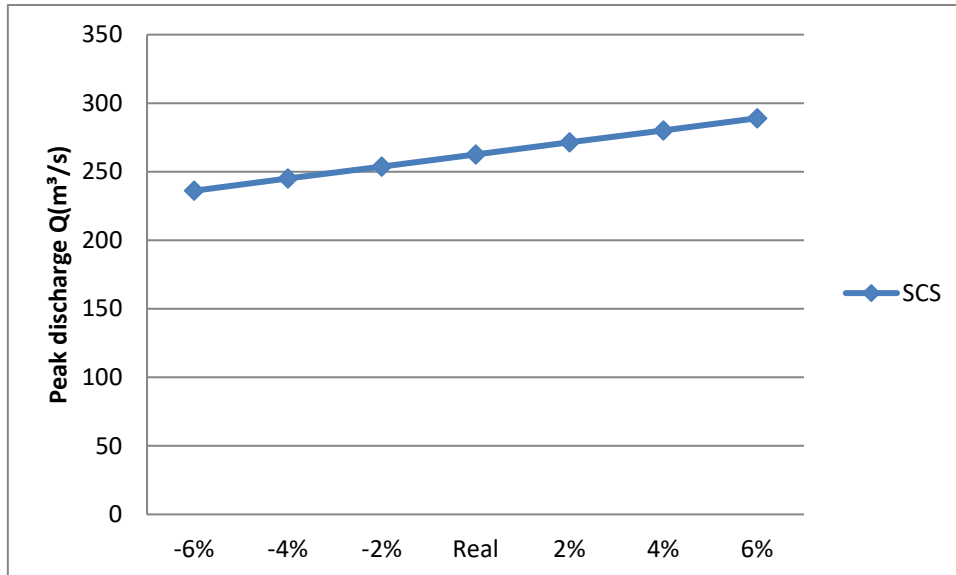


Figure 24: Peak discharge before the fire for normal humidity for sensitivity analysis CN for the subbasin 2

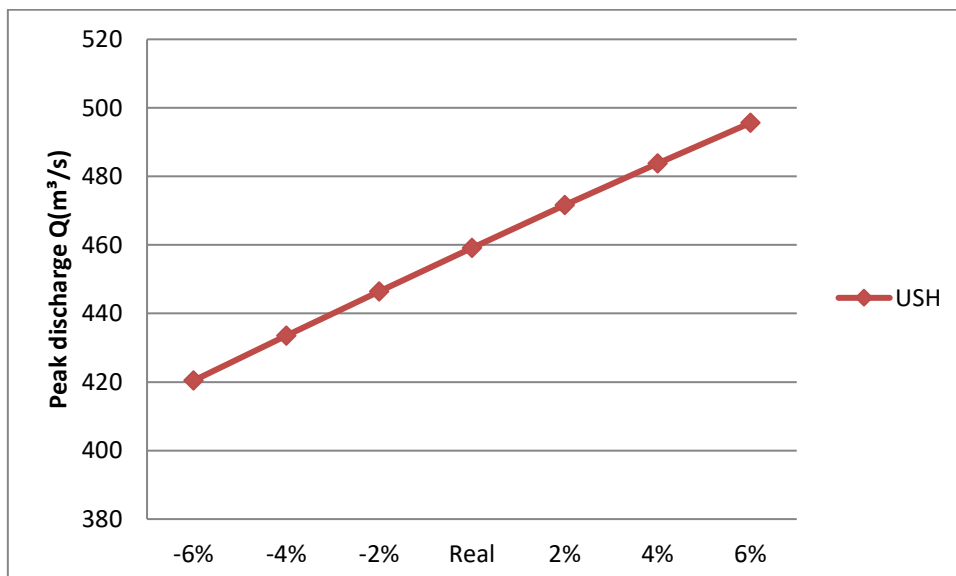


Figure 25: Peak discharge after the fire for normal humidity for sensitivity analysis CN for the subbasin 2

Table 2: Basic characteristics for CN sensitivity analysis according to SCS hydrograph through time area method for the subbasin 2 before the fire for normal humidity

	Qmax (m ³ /s)	t _{peak}	ΔQ (%)
-6%	236.1	16	-10.09
-4%	245	16	-6.70
-2%	253.8	16	-3.35
Real	262.6	16	0.00
2%	271.4	16	3.35
4%	280.2	16	6.70
6%	289	16	10.05

Table 3: Basic characteristics for CN sensitivity analysis according to User Specified Unit hydrograph through time area method for the subbasin 2 after the fire for normal humidity

	Qmax (m ³ /s)	t _{peak}	ΔQ (%)
-6%	420.4	14	-8.43
-4%	433.5	14	-5.58
-2%	446.4	14	-2.77
Real	459.1	14	0.00
2%	471.6	14	2.72
4%	483.8	14	5.38
6%	495.6	14	7.95

Conclusions

By applying the above methodology in the study area, the following conclusions are exported:

- The flood hydrographs resulting from the SCS and Snyder methods for the conversion of rainfall to runoff, show similar characteristics for all the scenarios examined.
- The Corine Land Cover data are very important during the flood risk assessment process as they affect the final results at all stages of the study.
- In the first phase they were needed for the calculation of the calculation of the isochrones curves through the coefficient k100. After combining them with the geological characteristics of the subbasins, the CN was obtained. Finally, from

the layers of Corine Land Cover, the Manning coefficient is obtained which is necessary during the hydraulic simulation of the areas that will be affected by the flood.

- From the sensitivity analysis, it can be seen that as the CN number increases, so does the peak discharge.
- For the most accurate calculation of the CN number, the humidity conditions of the study area must be known. As soil humidity conditions, so does the CN number.
- After the fire, the composition of the soil changes, it becomes more impermeable, this change is expressed by the CN parameter. In particular, after the fire the CN number increases, so does the peak discharge.
- The effects of the floods are mainly of economic nature, since areas of non-irrigated land, complex cultivation patterns and irrigated arable land will mainly be affected.
- The area, which presents the highest flood risk, is the part in the area, where the river flows.

Even though the results presented in this thesis are considered to be satisfactory, this approach has much potential for further improvement and research:

- The importance of the Manning coefficient is very big during the hydraulic analysis, so it is considered important to investigate it by performing a sensitivity analysis.
- Run hydraulic analysis for specific historical rain events, such as the rain that occurred in 2009, so that the results are even more realistic.
- Land uses affect the study in all its stages from the creation of the isochrones curves to the hydraulic analysis. It is therefore proposed the change land uses in various locations of the study area to investigate the flood behavior. In this way it also becomes possible to build residential areas that will not be at risk of flooding.

Selected References

Theochari, A. P., Develekou, M., & Baltas, E., 2021, GIS-Based Multi-criteria Approach Towards Sustainability of Flood-Susceptible Areas in Giofiros River Basin, Greece. *Circular Economy and Sustainability*, 1-12.

U.S. Army Corps of Engineers (2016) River Analysis System HEC-RAS. User's Manual, Version 5.0., U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, USA.

Chow V.T., Maidment D., Mays L. W. (1988) *Applied Hydrology*, McGrawHill.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Νομικό πλαίσιο-Οδηγία 2007/60

Για την ορθή και αποτελεσματική αξιολόγηση αλλά και διαχείριση της διακινδύνευσης πλημμύρας συντάχτηκε η Οδηγία 2007/60 και έπειτα τον Οκτώβριο του 2007 εκδόθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο η Οδηγία 2007/60/EK.

Οι πλημμύρες μπορεί να προκαλέσουν θανάτους, μετακινήσεις πληθυσμών, καταστροφές στο περιβάλλον και να πλήξουν τις οικονομικές δραστηριότητες της Κοινότητας. Οι πλημμύρες ως φυσικά φαινόμενα, δεν καθίσταται δυνατό να προληφθούν. Επί προσθέτως η πιθανότητα επέλευσης φαινομένων πλημμύρας αυξάνεται από την αλλαγή του κλίματος και ορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες με αποτέλεσμα να προκαλείται η αύξηση των αρνητικών τους συνεπειών. Επιθυμητή λοιπόν είναι η μείωση των επιπτώσεων της που συνδέονται με ασφάλεια και υγεία των πολιτών, τις κοινωνικοοικονομικές υποδομές και το φυσικό περιβάλλον. Οπότε καθίσταται επιτακτική ανάγκη τα μέτρα απέναντι στην πλημμυρική διακινδύνευση να οριστούν σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού ώστε να έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι βασικές απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2007/60/EK αναλύονται στα παρακάτω στάδια:

- Προκαταρκτική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στις λεκάνες απορροής των ποταμών και τις αντίστοιχες παράκτιες ζώνες, και προσδιορισμός των περιοχών όπου υπάρχουν δυνητικά σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα (Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας), σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 5 της Οδηγίας.
- Κατάρτιση Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας και Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας για τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας, σύμφωνα με το άρθρο 6 της Οδηγίας.
- Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, σύμφωνα με το άρθρο 7 της Οδηγίας. Τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας καλύπτουν όλες τις πτυχές της διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας εστιαζόμενα στην πρόληψη, την προστασία και την ετοιμότητα συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων πλημμυρών και συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης λεκάνης ή υπολεκάνης απορροής του ποταμού.

Κατά την παράγραφο 3 της οδηγίας αυτής οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας καλύπτουν τις γεωγραφικές περιοχές που θα μπορούσαν να πλημμυρίσουν όσον αφορά στα ακόλουθα σενάρια:

- πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων

- πλημμύρες μέσης πιθανότητας
- πλημμύρες υψηλής πιθανότητας, δηλαδή φαινόμενα που επαναλαμβάνονται συχνά

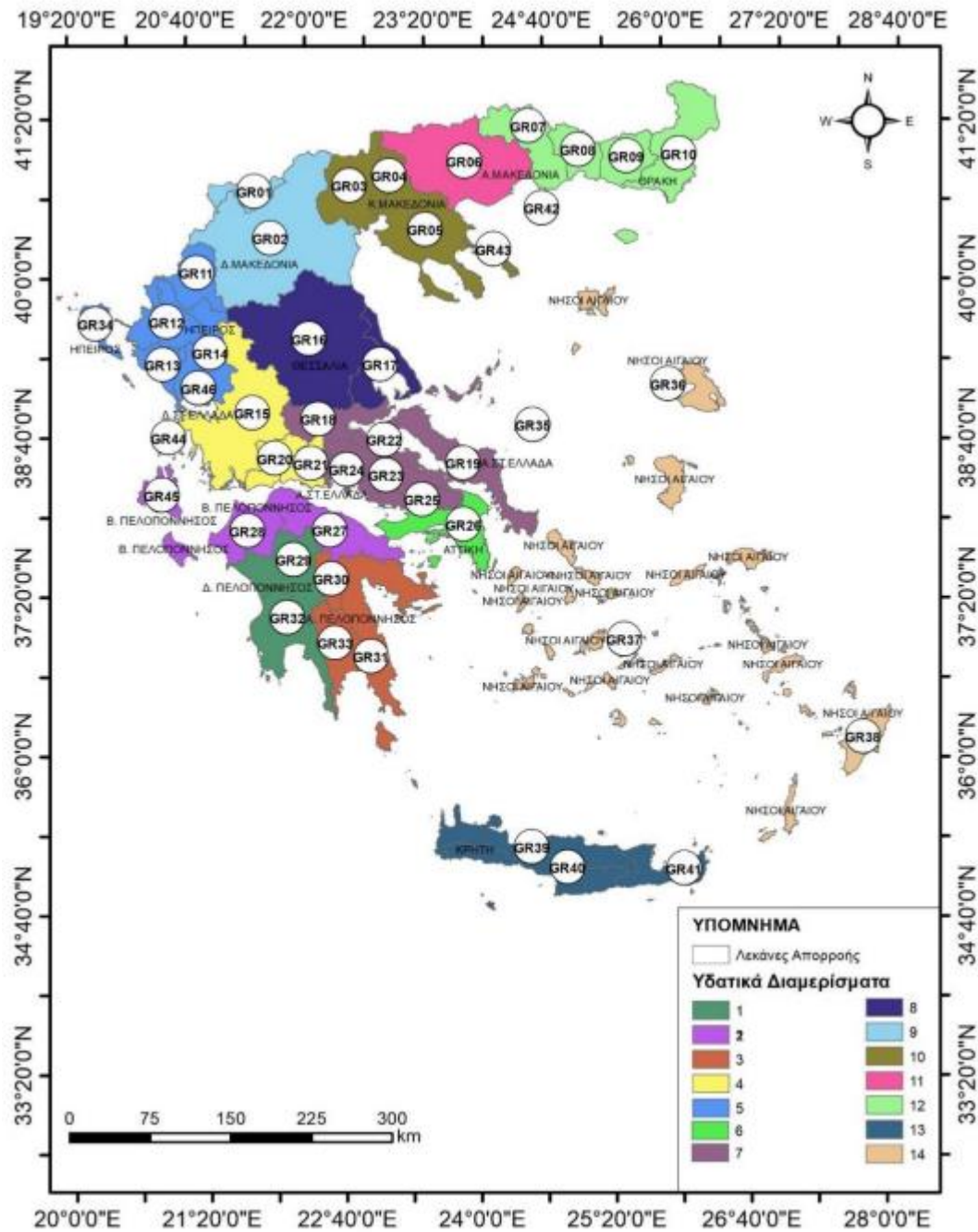
Για κάθε σενάριο που εκτίθεται στην παράγραφο 3, παρατίθενται τα ακόλουθα στοιχεία:

- η έκταση της πλημμύρας
- το βάθος νερού ή η στάθμη νερού
- η ταχύτητα ροής ή η σχετική ροή των υδάτων.

Οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τις πλημμύρες υπό τις συνθήκες των σεναρίων της παραγράφου 3 και εκφράζονται ως εξής:

- ενδεικτικός αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν
- τύπος οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή που ενδέχεται να πληγεί
- εγκαταστάσεις κατά τα αναφερόμενα στο παράρτημα Ι της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου, της 24ης Σεπτεμβρίου 1996, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν τυχαία ρύπανση σε περίπτωση πλημμύρας, και προστατευόμενες περιοχές, οι οποίες ορίζονται στο παράρτημα ΙV, σημείο 1, σημεία i), iii) και ν) της οδηγίας 2000/60/ΕΚ και ενδέχεται να πληγούν
- άλλες πληροφορίες τις οποίες το κράτος μέλος θεωρεί χρήσιμες, όπως η επισήμανση των περιοχών όπου υπάρχει το ενδεχόμενο πλημμυρών με αυξημένο ποσοστό μεταφερόμενων ιζημάτων και πλημμυρών που παρασύρουν υπολείμματα και πληροφορίες για πιθανές άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης.

Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010, η γεωγραφική μονάδα εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ είναι Περιοχές Λεκάνης Απορροής, που αντιστοιχούν στα Υδατικά Διαμερίσματα, του άρθρου 3 του Π.Δ. 51/2007, η ίδια γεωγραφική μονάδα εφαρμογής και της Οδηγίας 200/60/ΕΚ για τα Ύδατα. Με την υπ. Αριθμ. 607/16.07.2010 (ΦΕΚ 1383 Β'/02.09.2012) απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, όπως διορθώθηκε και ισχύει, έχουν καθοριστεί σε επίπεδο χώρας 46 Λεκάνες Απορροής Ποταμών, οι οποίες υπάγονται σε 14 Περιοχές Λεκανών Απορροής Ποταμών (Υδατικά Διαμερίσματα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.



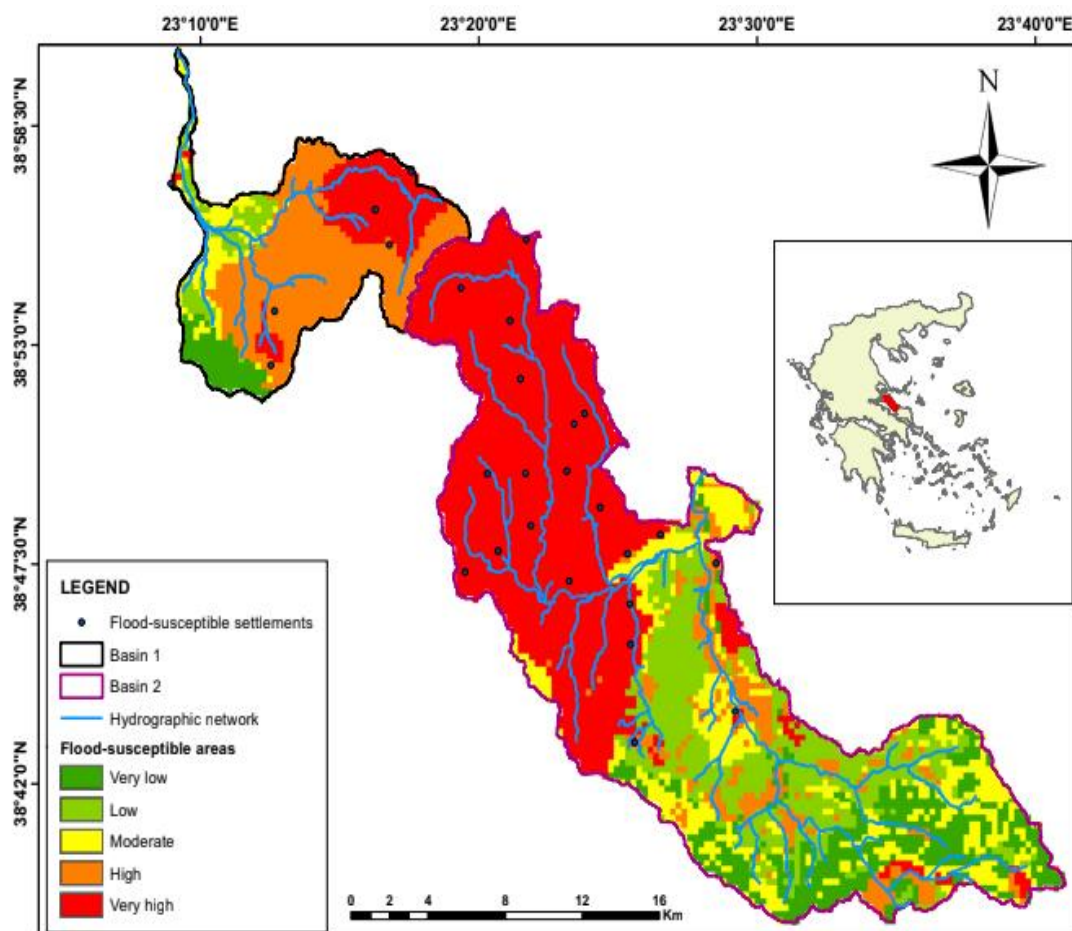
Σχήμα 1.1: Λεκάνες Απορροής και Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας (Πηγή: Ανδρικοπούλου, 2019)

1.2 Συμβολή της πυρκαγιάς στην πλημμύρα

Οι πυρκαγιές καταστρέφουν τη βλάστηση και επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του εδάφους, το οποίο με τη σειρά του γίνεται σκληρό και έπειτα δεν έχει τη δυνατότητα να συγκρατήσει και στην συνέχεια να απορροφήσει τα νερά της βροχής. Οι περιοχές που υπέστησαν τις καταστροφικές συνέπειες των πυρκαγιών γίνονται έπειτα ευπαθείς σε άλλα φαινόμενα και συγκεκριμένα στις πλημμύρες. Ο λόγος είναι ο σχηματισμός ενός αδιαπέρατου στρώματος στην επιφάνεια του εδάφους το οποίο

δεν επιτρέπει στο νερό να διηθηθεί στα κατώτερα στρώματά του με αποτέλεσμα όλος ο πλημμυρικός όγκος να μετετραπεί σε επιφανειακή απορροή. Συνεπώς, καθίσταται δυνατό να προκληθούν πλημμυρικά φαινόμενα ακόμα και από μικρά ή μεσσαία επεισόδια βροχής που κάτω από άλλες συνθήκες δεν θα δημιουργούσαν πρόβλημα αφού μεγάλες ποσότητες νερού θα συγκρατούνταν από τη δασική βλάστηση ή θα διηθούνταν.

Η φωτιά που εκδηλώθηκε στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας τον Αύγουστο του 2021, με τη σειρά της είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των υδρολογικών χαρακτηριστικών δύο λεκανών. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Theochari and Baltas 2022, προβλέπεται οι παροχές αιχμής των πλημμυρογραφημάτων να αυξηθούν δραστικά (2 με 3 φορές) και ο χρόνος συγκέντρωσης να μειωθεί ακόμα και σε ποσοστό της τάξης του 30% σε ορισμένες υπολεκάνες της περιοχής μελέτης. Είναι λοιπόν αντιληπτό πως η τρωτότητα, απέναντι στις πλημμύρες, των περιοχών αυτών μετά την φωτιά να αυξηθεί αισθητά όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Πλημμυρικά εύαλωτες περιοχές στη βόρεια Εύβοια μετά από την πυρκαγιά Αυγούστου 2021. (Theochari and Baltas 2022)

Ακόμη κάποια από τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την τρωτότητα μιας περιοχής στην πλημμύρα είναι η αδιαπερατότητα (Imperviousness), το

αποστραγγιστικό σύστημα (drainage network), η βροχόπτωση και η κλίση του εδάφους. Συγκεκριμένα μετά το πέρας της πυρκαγιάς το έδαφος αλλοιώνεται και αφήνεται εκτεθειμένο σε πλημμυρικά γεγονότα. Ως προς την κλίση του εδάφους γίνεται αντιληπτό πως όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο και πιο δυσμενής θα είναι η επίδραση της πλημμύρας. (Theochari and Baltas 2022)

1.3 Αντικείμενο εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου σε τρεις λεκάνες απορροής που ανήκουν στη βόρεια Εύβοια, υπολογίζοντας τα πλημμυρογραφήματά τους κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες, εν προκειμένω ύστερα από την πυρκαγιά που έλαβε χώρα τον Αύγουστο του 2021. Αρχικά γίνεται επεξεργασία των δεδομένων μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems, GIS) ώστε να πραγματοποιηθεί γεωμορφολογική ανάλυση από την οποία ορίζονται οι λεκάνες απορροής και στη συνέχεια εκπονείται η υδρολογική ανάλυση για τις μεταβαλλόμενες συνθήκες προκειμένου να υπολογιστούν τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα και να γίνει η σύγκρισή τους. Στα πλαίσια της υδρολογικής ανάλυσης γίνεται χρήση του συντελεστή απώλειας βροχής Curve Number (CN) για διάφορες υγρασιακές καταστάσεις και εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές μέθοδοι μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή. Έπειτα, πραγματοποιείται ο συνδυασμός όλων των παραπάνω μεταβαλλόμενων συνθηκών για την κάθε λεκάνη με σκοπό τη δημιουργία των αντίστοιχων πλημμυρογραφημάτων μέσω του μοντέλου HEC-HMS. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται και ανάλυση ευαισθησίας για τον συντελεστή CN, ο οποίος από την παρούσα μελέτη διαπιστώνεται ότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Τέλος, διεξάγεται υδραυλική προσομοίωση με χρήση του λογισμικού HEC-RAS, κατάντη της εξόδου των λεκανών μελέτης, προκειμένου να παραχθούν οι χάρτες των μέγιστων βαθών και ταχυτήτων ροής του πλημμυρικού πεδίου για να αξιολογηθεί η πλημμυρική επικινδυνότητα των κατάντη οικισμών ύστερα από μεταβολή των συνθηκών, όπως εδώ εξαιτίας της πυρκαγιάς.

1.4 Διάρθρωση εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεσμικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί στο αντικείμενο του πλημμυρικού κινδύνου και ακολουθεί ο σκοπός και η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης, η οποία εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας και αφορά τρεις λεκάνες απορροής. Πιο συγκεκριμένα, ερευνώνται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της όπως το εμβαδόν, το μέγιστο και το ελάχιστο τοπογραφικό υψόμετρο, οι κλίσεις κ.α. Έπειτα μελετώνται τα ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της περιφέρειας της Εύβοιας, δηλαδή ο πληθυσμός και οι

κατοικήσιμες περιοχές, καθώς και οι χρήσεις γης. Ερευνάται επίσης η υδρολογία και το ιστορικό των πλημμυρών καθώς και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά δηλαδή τα πετρώματα και οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης. Άξιο αναφοράς είναι ότι δίνεται ορισμός της πυρκαγιάς και ειδικότερα περιγράφεται το καταστροφικό γεγονός που διαδραματίστηκε τον Αύγουστο του 2021 στη βόρεια Εύβοια.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν για την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Καταρχάς αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο των λογισμικών GIS, HEC-HMS, HEC-RAS. Έπειτα παρουσιάζεται η γεωμορφολογική ανάλυση σε περιβάλλον GIS με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Παρουσιάζεται η μέθοδος των ισόχρονων καμπυλών αλλά και η γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης, οι χρήσεις γης και άλλες παράμετροι. Έπειτα πραγματοποιείται, ο υπολογισμός της καταιγίδας σχεδιασμού σύμφωνα με τη μέθοδο των εναλλασόμενων μπλοκ για περίοδο επαναφοράς (T) 100 έτη αξιοποιώντας ως δεδομένο τις όμβριες καμπύλες που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι μετατροπής της βροχής σε απορροή (συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder, αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS, μοναδιαίο υδρογράφημα μέσω ισόχρονων καμπυλών) και υπολογίζονται οι αντίστοιχες παράμετροί τους, οι οποίες μαζί με την καταιγίδα σχεδιασμού εντάσσονται στο μοντέλο HEC-HMS προκειμένου να υπολογιστούν τα πλημμυρογραφήματα. Επιπλέον, , παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία υπολογισμού του μοναδιαίου υδρογραφήματος με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών σε περιβάλλον GIS, με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τις χρήσεις γης και άλλες παραμέτρους. Εν κατακλείδι, παρουσιάζεται η διαδικασία εκπόνησης της δυσδιάστατης υδραυλικής προσομοίωσης στο λογισμικό HEC-RAS.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων της υδρολογικής ανάλυσης, της υδραυλικής προσομοίωσης και έπειτα της ανάλυσης ευαισθησίας της παραμέτρου CN. Στο πρόγραμμα HEC-HMS πραγματοποιούνται ποικίλα σενάρια για την εκτίμηση των πλημμυρογραφήματων. Όσον αφορά στην υδρολογική ανάλυση αναφέρονται διεξοδικά δύο είδη διαγραμμάτων. Ειδικότερα παρουσιάζονται πλημμυρογραφήματα σε κοινό διάγραμμα με στόχο να είναι ορατές οι διαφορές των τριών μεθόδων μετατροπής της βροχής σε απορροή στα πλημμυρογραφήματα τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά. Σχετικά με το δεύτερο είδος διαγραμμάτων, παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα, με την μεγαλύτερη παροχή αιχμής ανεξαρτήτως μεθόδου μετατροπής της βροχής σε απορροή, πριν και μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση 2 αλλά και το δυσμενέστερο ενδεχόμενο (για τη μεγαλύτερη παροχή αιχμής) στην υγρασιακή κατάσταση 3. Έπειτα λαμβάνει χώρα η υδραυλική προσομοίωση της περιοχής μελέτης, παραθέτοντας τους υπολογισμένους χάρτες των πλημμυρικών πεδίων για τα μέγιστα βάθη ροής και τις μέγιστες ταχύτητες ροής. Η παραπάνω προσομοίωση επετεύχθη απ' την εισαγωγή

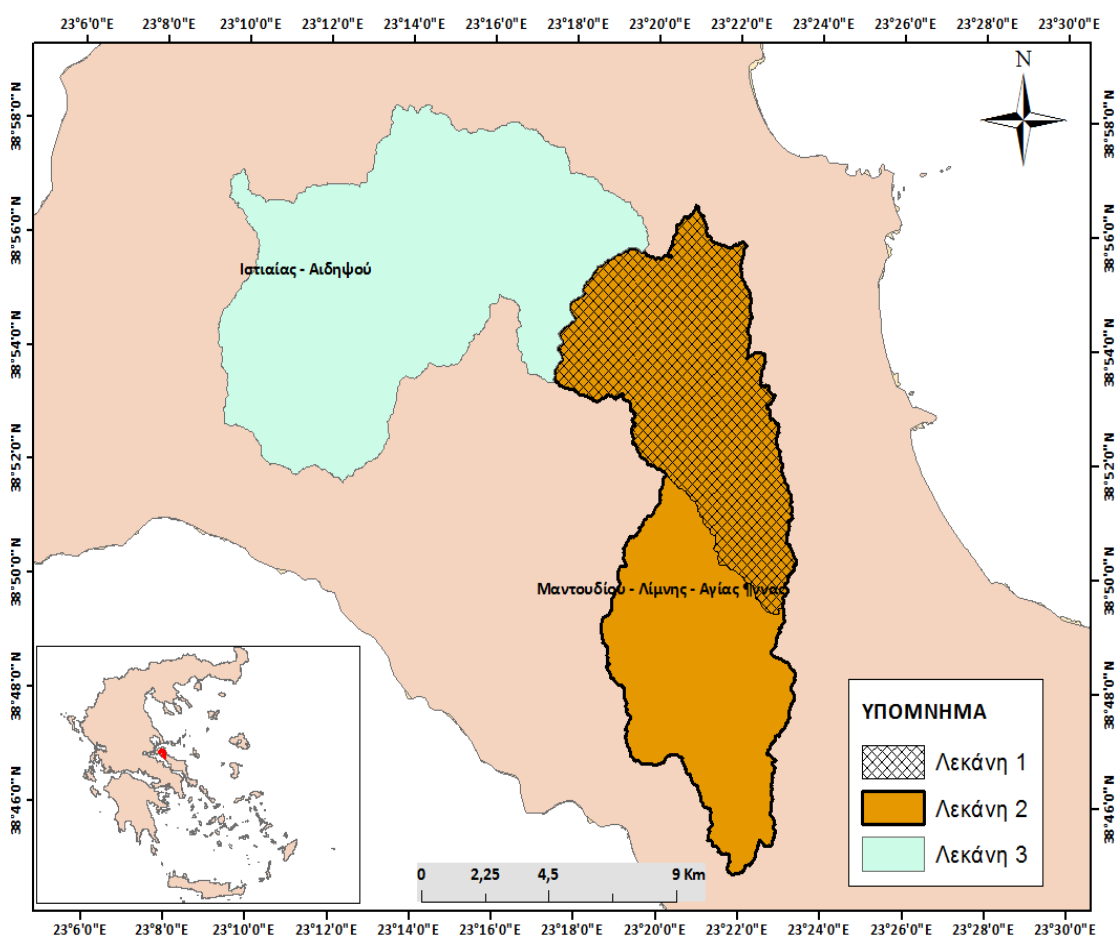
των πλημμυρογραφημάτων του δεύτερου είδους διαγραμμάτων στο HEC-RAS. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας της παραμέτρου CN σύμφωνα με την μέθοδο once at a time.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύνοψη της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία και έπειτα παρουσιάζονται τα γενικά και ειδικά συμπεράσματα της μελέτης, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά

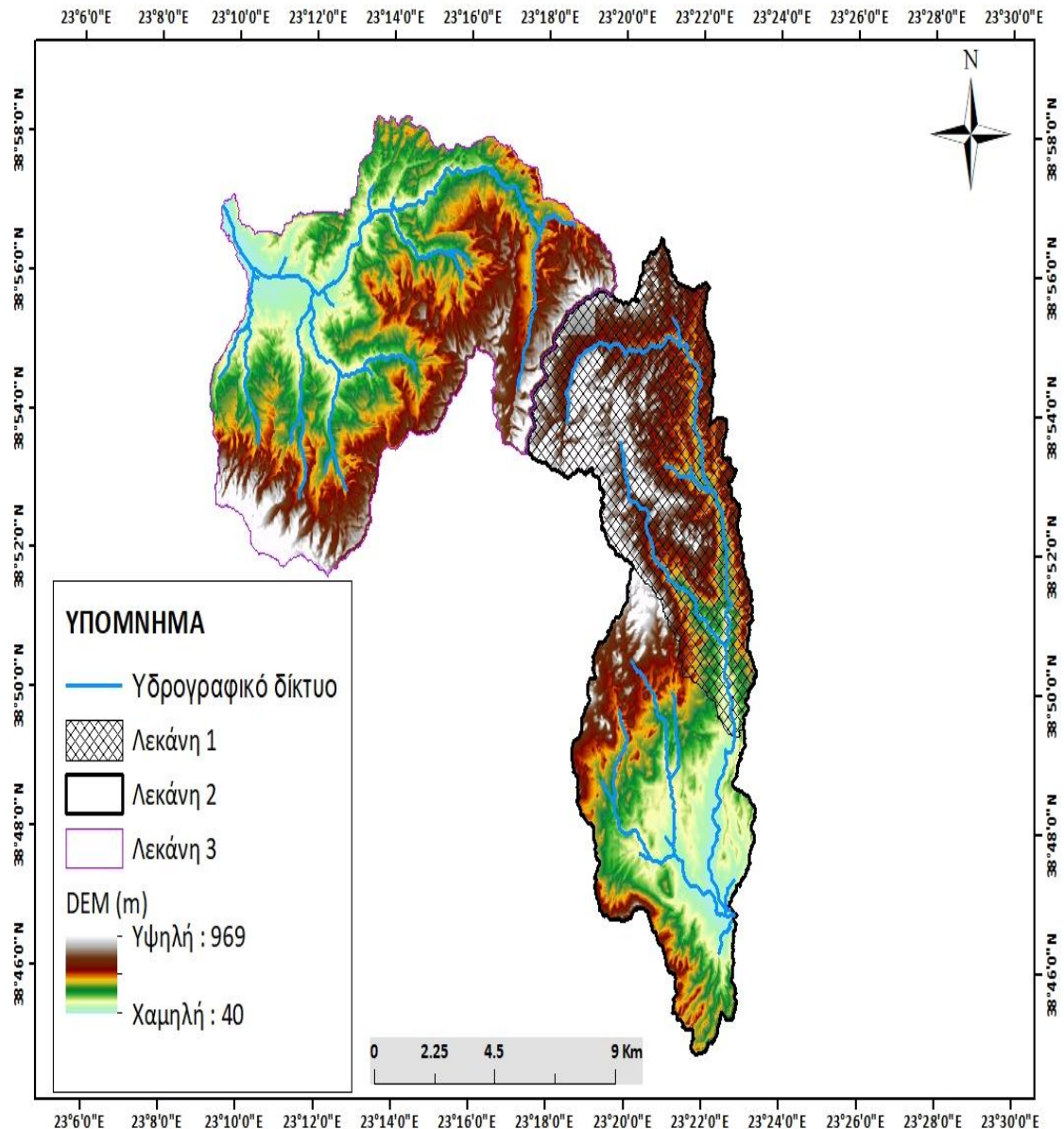
Η ονομασία Εύβοια, χρησιμοποιείται πρώτη φορά από τον Όμηρο και φανερώνει το γόνιμο καλλιεργήσιμο έδαφος και την ανεπτυγμένη βοοτροφία. Είναι το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας μετά την Κρήτη και το έκτο μεγαλύτερο της Μεσογείου τόσο ως προς την έκταση 3654 km² όσο και ως προς τον πληθυσμό. Έχει συνολικό μήκος 180km και πλάτος που κυμένεται από 8 εως 50 km. Παράλληλα, μαζί με τη Λευκάδα αποτελούν τα μοναδικά νησιά που η πρόσβαση γίνεται και οδικώς, αφού συνδέεται με την ηπειρωτική χώρα με δύο γέφυρες στο δήμο της Χαλκίδας, με την πιο πρόσφατη να κατασκευάζεται το 2011. Η Χαλκίδα βρίσκεται στο κοντινότερο σημείο με την Στερεά Ελλάδα και είναι ένας απο τους συνολικά οκτώ δήμους στους οποίους έχει χωριστεί η Εύβοια. Διοικητικά η περιφερειακή ενότητα Εύβοιας υπάγεται μαζί με την Σκύρο στην περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τρεις λεκάνες απορροής στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας σύμφωνα με το Σχήμα 2.1. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 2.1.



Σχήμα 2.1: Περιοχή μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 2.1: Τοπογραφικά στοιχεία των λεκανών απορροής

	Λεκάνη 1	Λεκάνη 2	Λεκάνη 3
Εμβαδόν (km ²)	54.82	103.9	102.9
Μέγιστο τοπογραφικό υψόμετρο (m)	856.7	856.7	969.5
Μέσο τοπογραφικό υψόμετρο (m)	449.1	364.4	344.4
Ελάχιστο τοπογραφικό υψόμετρο (m)	110.4	53.7	40.1



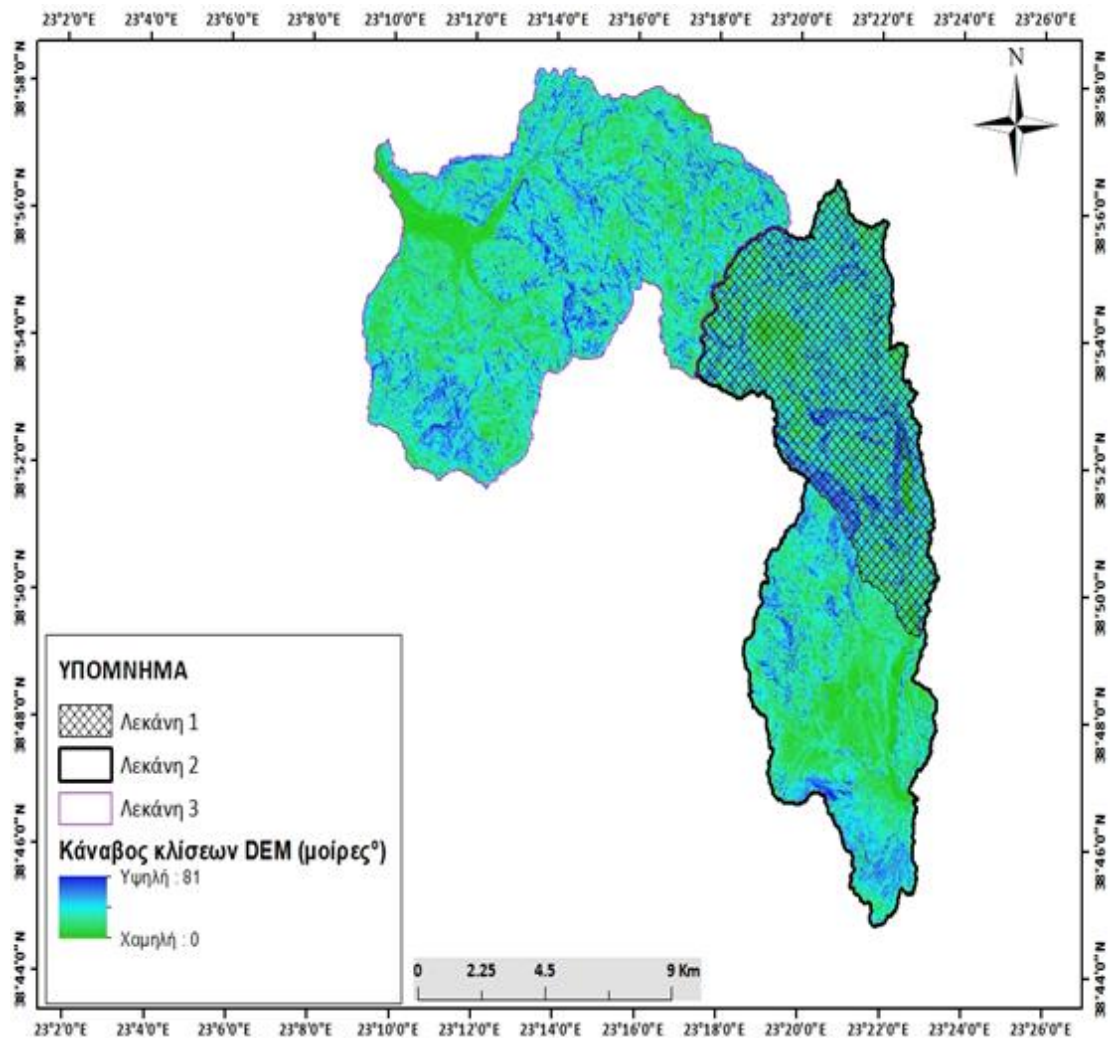
Σχήμα 2.2: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) και Υδρογραφικό Δίκτυο των λεκανών απορροής (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας όπου και υπήρξαν μεγάλες καμένες εκτάσεις λόγω της πυρκαγιάς του Αυγούστου 2021. Οι λεκάνες εκτείνονται εντός τωνδήμων: Κάτω Μονοκαρυά, Μηλιές, Κερασιά, Δάφνη, Αγία Άννα και έχουν έντονο ανάγλυφο. Αναφορικά με το υδρογραφικό δίκτυο προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Στοιχεία υδρογραφικού δικτύου των λεκανών απορροής

	Λεκάνη 1	Λεκάνη 2	Λεκάνη 3
Συνολικό μήκος υδρογραφικού δικτύου (km)	30.12	59.06	57.61
Μέση πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου	0.6	0.57	0.56

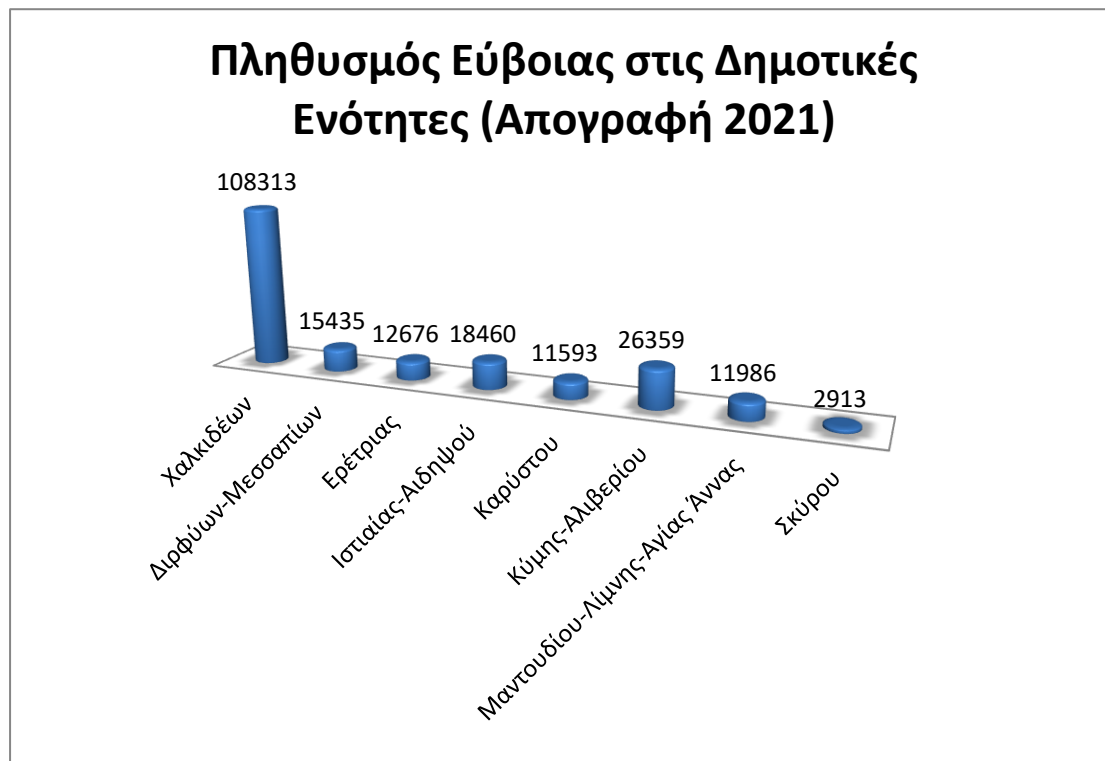
Όπου μέση πυκνότητά του υδρογραφικού δικτύου είναι ο λόγος του αθροίσματος όλων των κλαδών του προς το εμβαδόν της λεκάνης που περικλείει το δίκτυο. Από το Σχήμα 2.3 παρατηρείται ότι υπάρχουν υψηλές κλίσεις κεντρικά και βόρεια των λεκανών, ενώ προς τα νότια οι κλίσεις είναι χαμηλότερες.



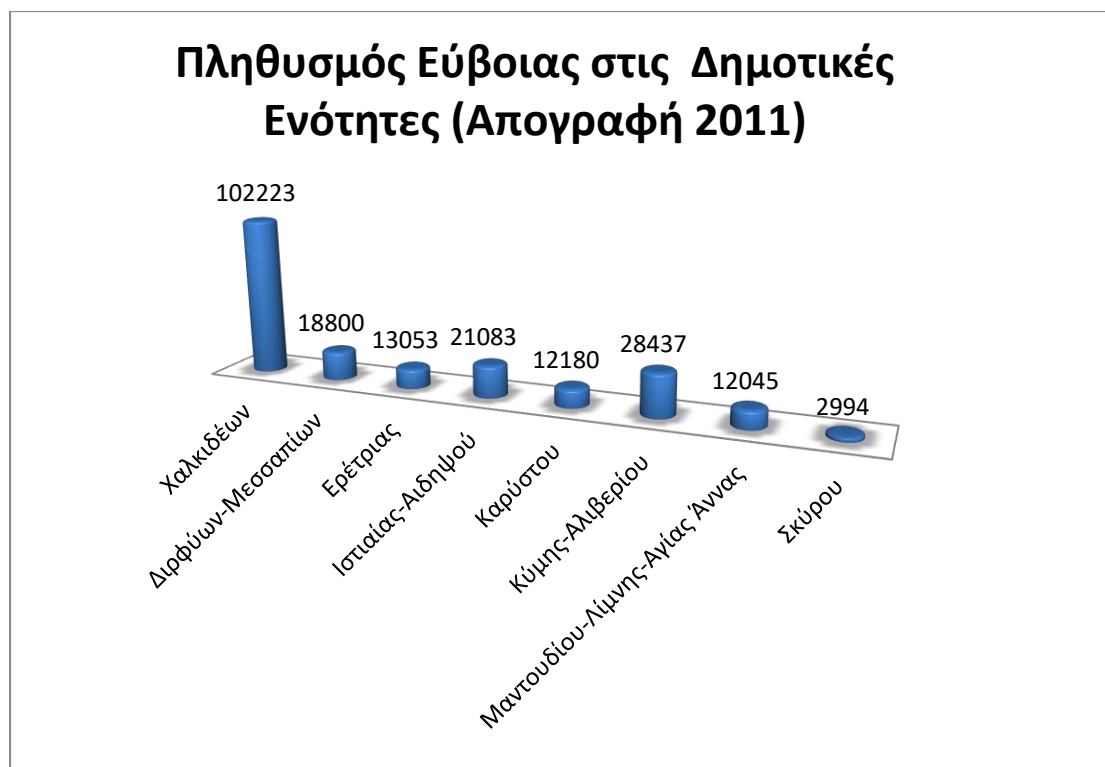
Σχήμα 2.3: Χάρτης Κλίσεων γης των λεκανών απορροής (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

2.2 Ανθρωπογενή χαρακτηριστικά και χρήσεις γης

Ο μόνιμος πληθυσμός της Ελλάδας ανέρχεται στους 10432481 ανθρώπους εκ των οποίων το 48.6% είναι άντρες και το 51.4% είναι γυναίκες ποσοστό μειωμένο κατά 3.5% συγκριτικά με τον πληθυσμό το 2011 σύμφωνα με τα απογραφικά στοιχεία της ΕΣΥΕ. Το 2% του συνολικού πληθυσμού αγγίζουν οι κάτοικοι της Εύβοιας. Στο Σχήμα 2.4 που ακολουθεί φαίνεται η κατανομή του πληθυσμού στους δήμους από τους οποίους αποτελείται η Εύβοια το 2021, ενώ παρακάτω παρατίθεται το αντίστοιχο Σχήμα 2.5 από το 2011.

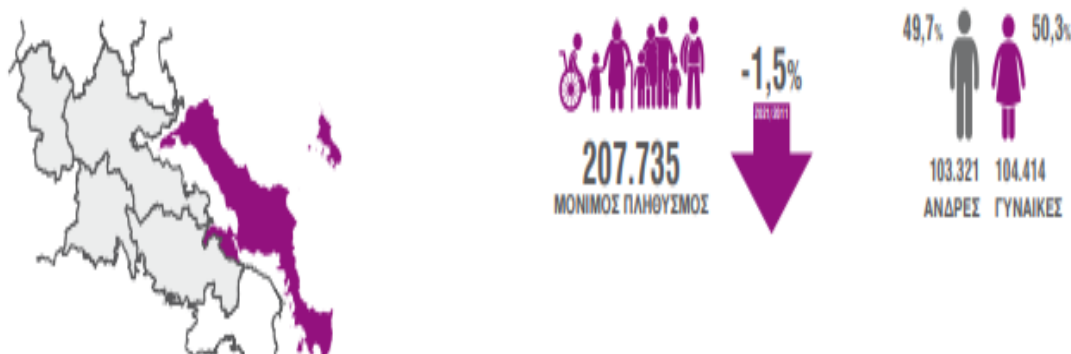


Σχήμα 2.4: Πληθυσμός της Εύβοιας ανά Δημοτική Ενότητα (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2021, ίδια επεξεργασία)



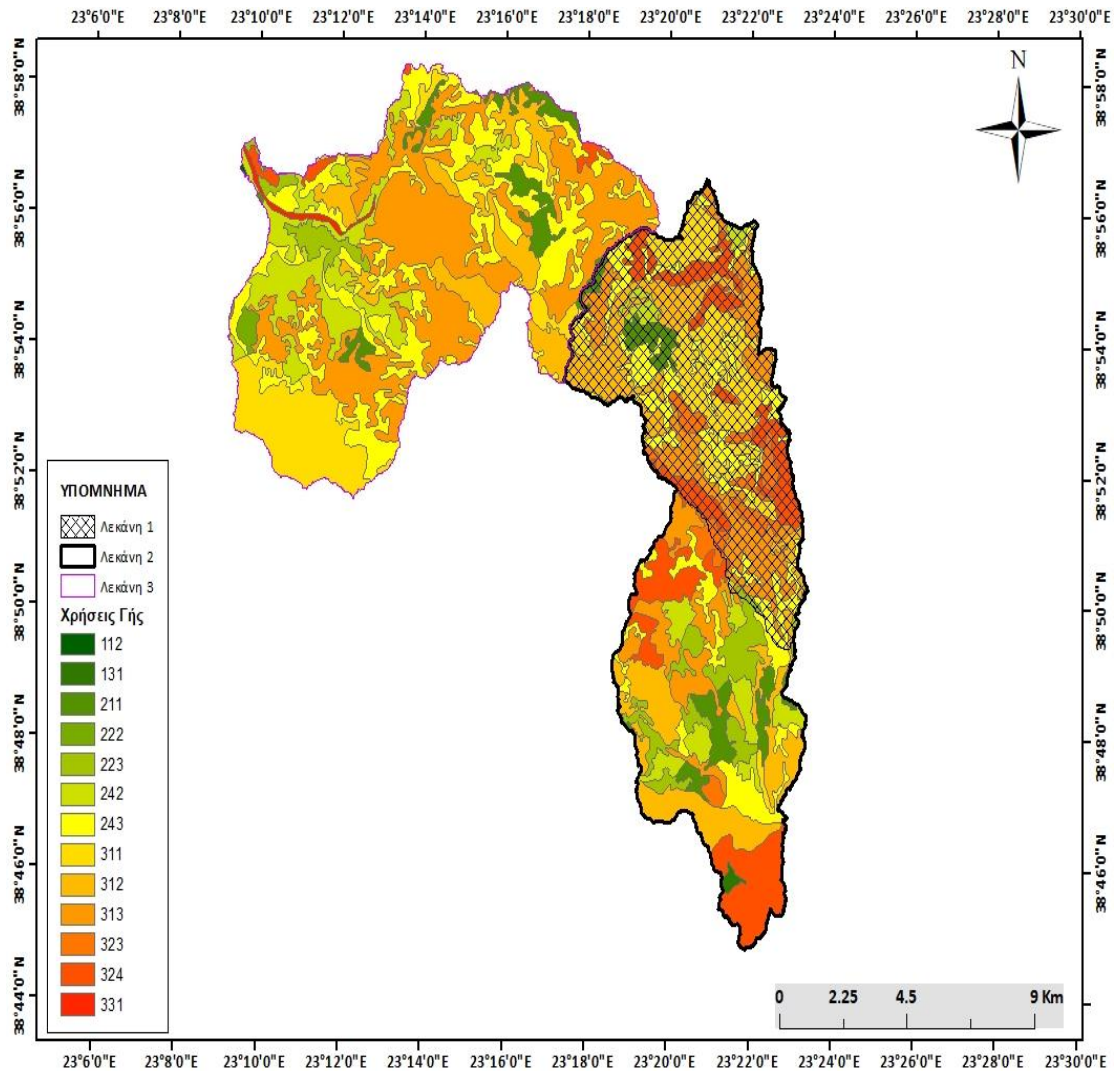
Σχήμα 2.5: Πληθυσμός της Εύβοιας ανά Δημοτική Ενότητα (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011, ίδια επεξεργασία)

Παρατηρώντας τα παραπάνω γίνεται αντιληπτή μια μείωση του πληθυσμού μέσα στην τελευταία δεκαετία της τάξης του 1.5% (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Πληθυσμός της Εύβοιας (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2021)

Το Copernicus αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό πρόγραμμα παρακολούθησης της Γης και συλλέγονται σε αυτο δεδομένα τόσο απο τους δορυφόρους όσο και από δίκτυα αισθητήρων πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η υπηρεσία Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) που αποτελεί κομμάτι του Copernicus παρέχει γεωγραφικές πληροφορίες σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών στον τομέα των περιβαλλοντολογικών εφαρμογών. Στην παρούσα εργασία η απόκτηση δεδομένων σχετικά με τις χρήσεις γης (CLC, 2018) για τιςυπολεκάνεσμελέτης έγινε μέσω του CLMS το οποίομπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα. Παρακάτω, στο Σχήμα 2.7 παρατίθεται ο χάρτης των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης και ο Πίνακας 2.3.



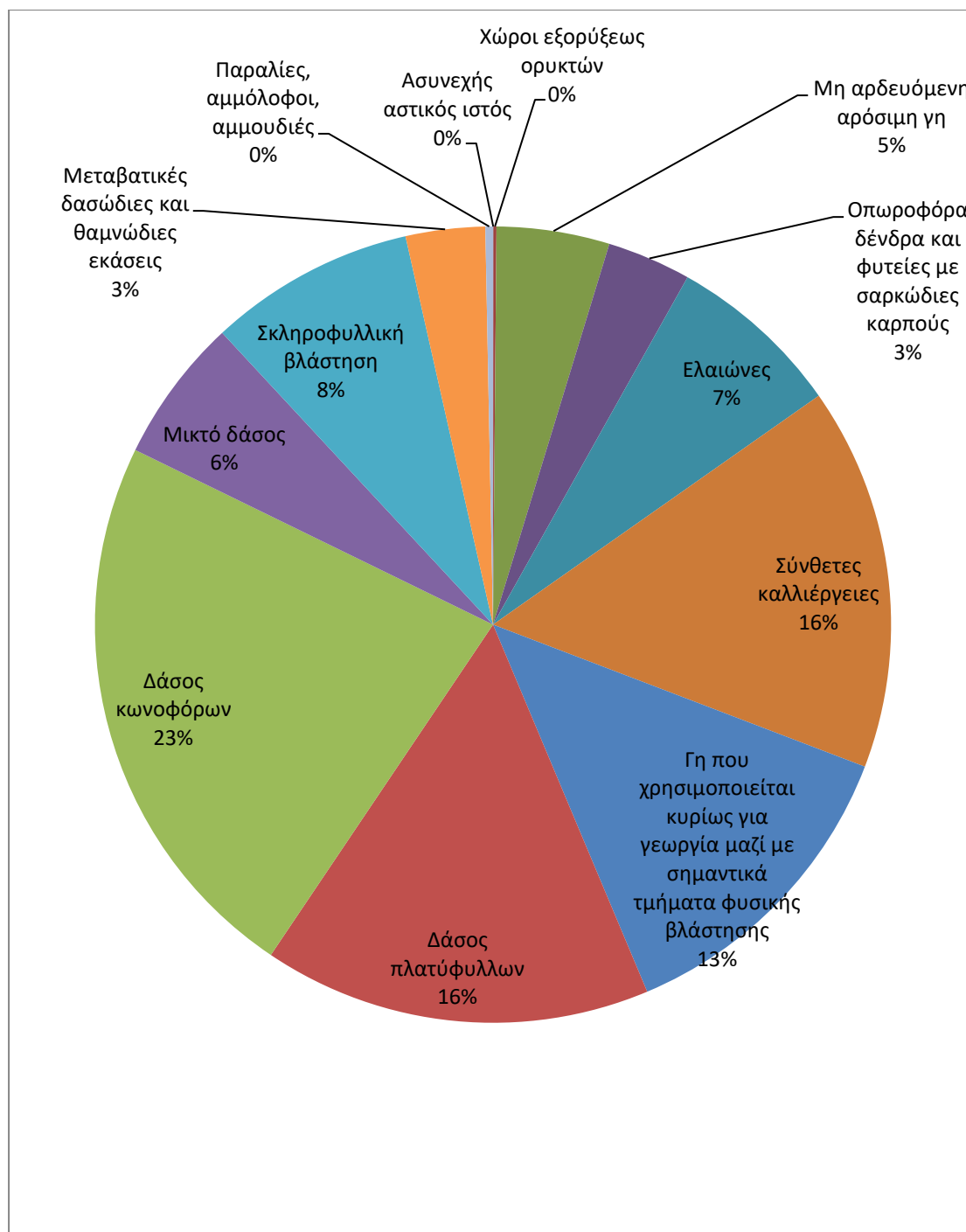
Σχήμα 2.7: Χάρτης των Χρήσεων Γης των λεκανών απορροής (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 2.3: Κατηγορίες χρήσεων Γης για τις λεκάνες μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

1.1.2	Ασυνεχής αστικός ιστός
1.3.1	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
2.1.1	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
2.2.2	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
2.2.3	Ελαιώνες
2.4.2	Σύνθετες καλλιέργειες
2.4.3	Γη που ρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
3.1.1	Δάσος πλατύφυλλων

3.1.2	Δάσος κωνοφόρων
3.1.3	Μικτό δάσος
3.2.3	Σκληροφυλλική βλάστηση
3.2.4	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκάσεις
3.3.1	Παραλίες, αμμόλογοι, αμμουδιές

Αρχικά, η περιοχή ενδιαφέροντος στην Εύβοια, σύμφωνα με το Σχήμα 2.8 θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αγροτική από την στιγμή που το μεγαλύτερο μέρος της εκμεταλλεύεται από αγρότες. Μάλιστα από το διάγραμμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι σχεδόν το 50% της συνολικής έκτασης καλύπτεται από δαση κωνοφόρων και πλατύφυλλων δέντρων. Ακόμη, το παραπάνω δεδομένο σε συνδυασμό με το γεγονός πως το 35% αποτελείται από καλλιέργειες αντιλαμβάνεται κανείς πως η ανθρώπινη επέμβαση στην περιοχή μελέτης είναι πάρα πολύ μικρή. Επιπροσθέτως, κομμάτια μη αρδευόμενης αρόσιμη γη εμφανίζονται κατά 5%, ενώ σε πολύ μικρά ποσοστά εμφανίζεται η αστική χρήση η οποία αγγίζει το 0.02%, οι παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές με 0.4% και τέλος οι χώροι εξορύξεως ορυκτών με 0.15%. Αναλυτικότερα, παρατίθεται ο Πίνακας 2.4 για τις διάφορες χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 2.8: Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων στις λεκάνες απορροής (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 2.4: Ποσοστό έκτασης χρήσεων γης στις υπολεκάνες μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
1	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0.037063
2	131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0.324759
3	211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	11.99189

4	222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	8.910011
5	223	Ελαιώνες	18.64875
6	242	Σύνθετες καλλιέργειες	40.68966
7	243	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	33.65807
8	311	Δάσος πλατύφυλλων	41.22526
9	312	Δάσος κωνοφόρων	59.65808
10	313	Μικτό δάσος	15.34221
11	323	Σκληροφυλλική βλάστηση	21.92451
12	324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	8.429084
13	331	Παραλίες, αμμόλογοι, αμμουδιές	0.810234

2.3 Κλίμα

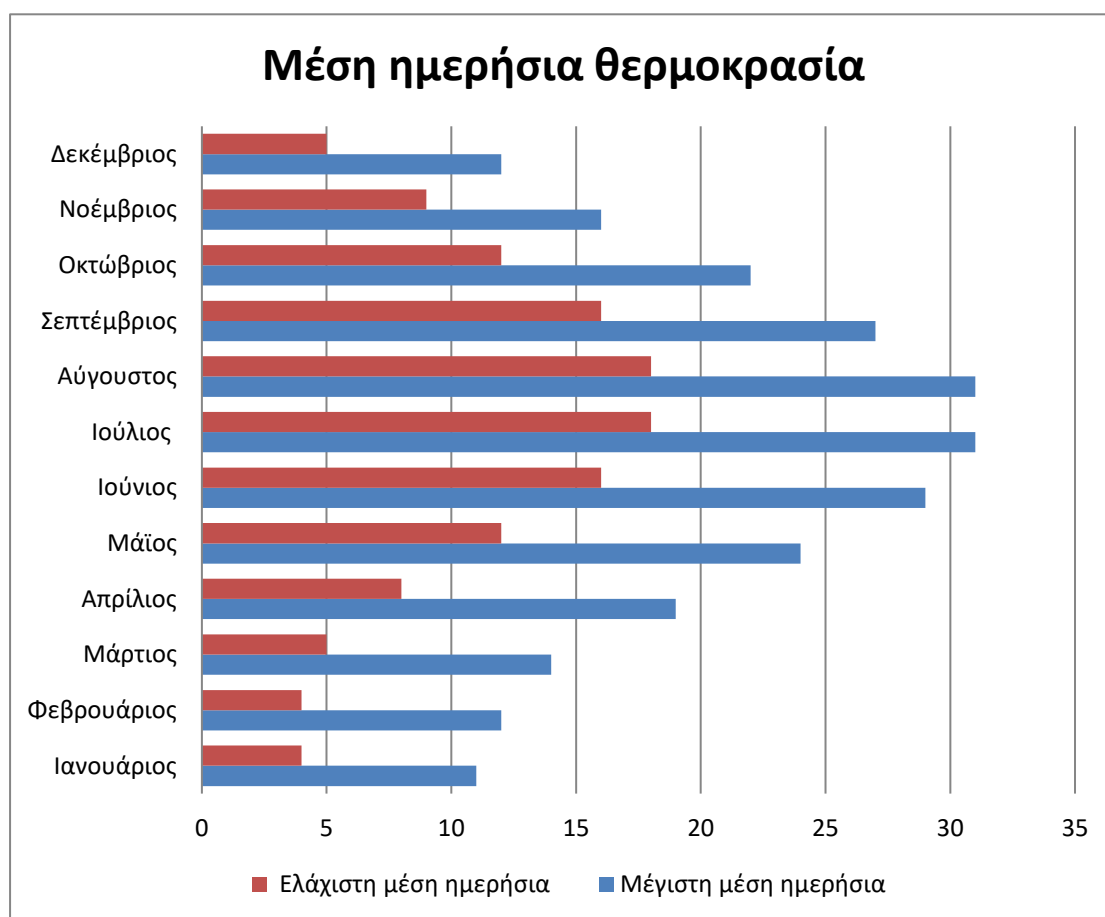
Η Εύβοια βρίσκεται σε προνομιακή γεωγραφική θέση, καθώς είναι δυνατή η πρόσβαση από πολλά σημεία της χώρας μας. Το νησί αυτό αποτελείται από βουνά, ποτάμια, ρεματιές, αμμουδιές που πολλές απ' αυτές βλέπουν στο Αιγαίο πέλαγος. Το κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας είναι το εύκρατο μεσογειακό, το οποίο χαρακτηρίζεται από ήπιους υγρούς χειμώνες και μεγάλα θερμά ξηρά καλοκαίρια. Καταρχάς με τη λέξη κλίμα ορίζεται η μέση καιρική κατάσταση μιας περιοχής η οποία προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων. Καθώς όλη η Ελλάδα βρέχεται από τη μεσόγειο το κλίμα γενικότερα είναι παντού παρόμοιο με κάποιες βέβαια διαφοροποιήσεις ανάλογα με την απόσταση από τη θάλασσα, το υψόμετρο, τις ειδικές τοπικές συνθήκες. Επίσης, το μεσογειακό κλίμα εντοπίζεται και σε άλλες περιοχές του πλανήτη όπως την Καλιφόρνια (Η.Π.Α.), την κεντρική Χιλή, και μέρη στην δυτική και νοτιοδυτική Αυστραλία (Βαρδινογιάννη, 2018).

Άξιο αναφοράς είναι ο καιρός που γίνεται ψυχρός όταν φυσούν βόριοι άνεμοι που μεταφέρουν αέριες μάζες από τις πολικές περιοχές, ενώ αντίθετα ο καιρός γίνεται

ηπιότερος σχεδόν θερμός στην περίπτωση που επικρατούν νοτιάδες, αφού μεταφέρονται αέριες μάζες από την Σαχάρα (Η Μεσόγειος μας, 2013).

Τους θερινούς μήνες υπάρχει αρκετή ζέση και το κλίμα είναι θερμό με αποτέλεσμα οι συνθήκες διαβίωσης και ανάπτυξης τόσο για τα ζώα όσο και για τα φυτά να είναι δυσμενείς. Θετική όμως είναι η επίδραση τόσο της θάλασσας όσο και των βόρειων ανέμων που επικρατούν τα καλοκαίρια με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η ατμόσφαιρα να μην είναι αποπνικτική. Επίσης, λόγω της παρατεταμένης καλοκαιρινής ξηρασίας και των ανέμων, είναι συχνό φαινόμενο οι πυρκαγιές στην Ευβοια την καλοκαιρινή περίοδο.

Στο παρακάτω Σχήμα 2.9 παρουσιάζονται διαγραμματικά οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες που λαμβάνουν χώρα στο νησί της Εύβοιας κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού χρόνου.

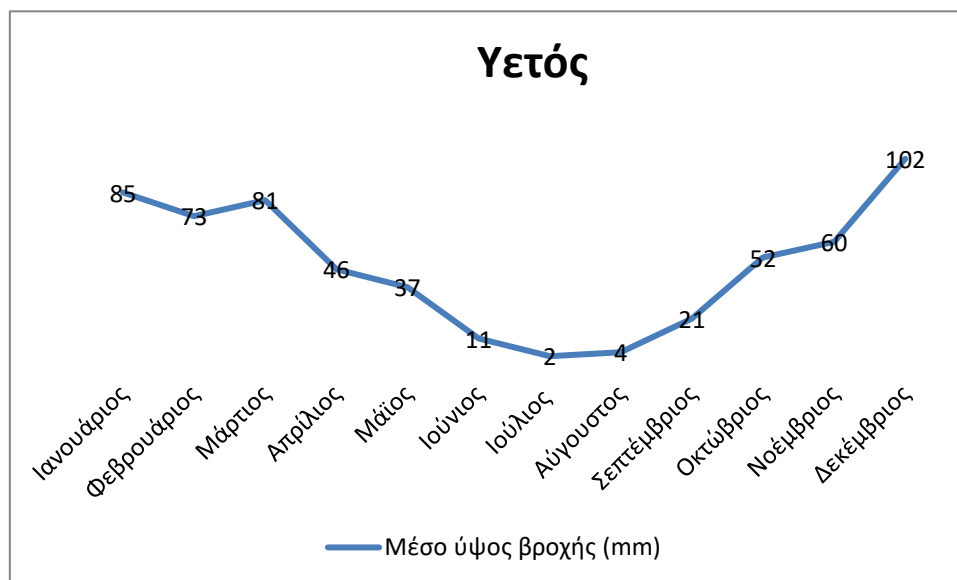


Σχήμα 2.9: Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) Εύβοιας (Πηγή: δεδομένα από meteoblue.com, ίδια επεξεργασία)

Έπειτα αναλύεται η κατανομή του μέσου όρου ύψους βροχής για όλους τους μήνες του έτους. Είναι προφανές πως τους θερινούς μήνες το ύψος βροχής είναι ελάχιστο ενώ εκατέρωθεν τόσο το φθινόπωρο όσο και την άνοιξη σταδιακά αυξάνεται. Το

μέγιστο ύψος της βροχόπτωσης σημειώνεται στο διάστημα Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου όπως φαίνεται γραφικά.

Αναγκαία καθίσταται και η αναπαράσταση της κατανομής του υετού στη νήσο Εύβοια, κατά τη διάρκεια κάθε μήνα του έτους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10. Παρατηρείται πως τους καλοκαίρινους μήνες μειώνονται οι βροχοπτώσεις, ενώ κατά τους χειμερινούς αυτές αυξάνονται.

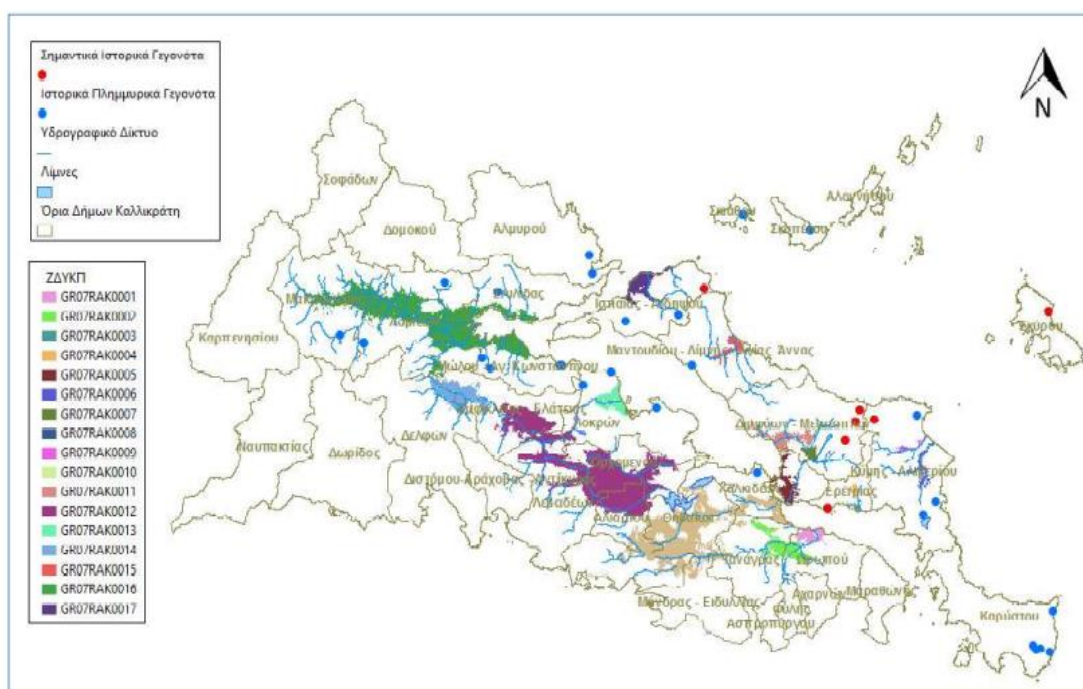


Σχήμα 2.10: Μηνιαίο υετογράφημα της Εύβοιας (Πηγή: δεδομένα από meteoblue.com, ίδια επεξεργασία)

2.4 Υδρολογία και ιστορικό πλημμυρών

Η προσωρινή κάλυψη εδάφους από νερό που κάτω από φυσιολογικές συνθήκες δεν θα καλυπτόταν ορίζεται ως πλημμύρα. Οι κλιματολογικές μεταβολές, η αλλαγή των χρήσεων γης και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις αποτελούν τα βασικά τους αίτια δημιουργίας. Προφανώς η πλημμύρα είναι ένα φυσικό φαινόμενο καθώς εκδηλώνεται κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το πέρας έντονης βροχόπτωσης μόνο όταν το ανθρωπογενές ή φυσικό σύστημα αποστράγγισης αδυνατεί να διοχετεύσει το νερό. Η τοπογραφία του εδάφους, η ένταση και η διάρκεια της βροχής, η αστικοποίηση, η φυτοκάλυψη και η καταστροφή των δασών είναι μερικοί από τους βασικούς συντελεστές που επηρεάζουν τα πλημμυρικά φαινόμενα. Κατά τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, οι πλημμύρες και οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν τις πιο συχνές φυσικές καταστροφές με δυσμενείς συνέπειες σε πολλούς τομείς όπως το κοινωνικοοικονομικό σύστημα, το περιβάλλον. Δεν είναι λίγες μάλιστα οι φορές που στη χώρα μας το καταστροφικό αυτό φαινόμενο της πλημμύρας οδήγησε και σε θανάτους, τραυματισμούς και απώλειες ζώων, οπότε καθίσταται επιτακτική ανάγκη η αντιμετώπισή του. Κάποια από τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν είναι η αποτελεσματική οργάνωση των αρμόδιων φορέων, η προστασία των δασών ή και η κατασκευή αναχωμάτων και εκτροπών ποταμών.

Ακόμη, από το Σχήμα 2.11 φαίνεται πως η κατανομή των πλημμυρών κατά μήκος του νησιού δεν είναι ομοιόμορφη, τα σημαντικότερα γεγονότα συνέβησαν στο κεντρικό κομμάτι της Έβοιας, ενώ στο βόρειο παρά το γεγονός ότι υπήρξαν πολλές πλημμύρες μόνο μία χαρακτηρίστηκε ως υψηλής σημαντικότητας καθώς το μεγαλύτερό του ποσοστό αποτελείται από δασικές εκτάσεις. Παρατηρώντας τον Πίνακα 2.5 γίνεται αντιληπτό πως πολλά από τα σημαντικότερα πλημμυρικά γεγονότα έλαβαν χώρα το 2009 και αυτό λόγω της καταρακτώδους βροχής, η οποία επικράτησε από τις 22:00 την Παρασκευή 11 Σεπτεμβρίου, μέχρι και το Σάββατο 12 Σεπτεμβρίου στις 09:00 (ενία 365, 2017).



Σχήμα 2.11: Θέσεις ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων (υψηλής, μεσαίας και χαμηλής σημαντικότητας)(Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2019)

Πίνακας 2.5: Ιστορικά γεγονότα πλημμύρας στην Εύβοια (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2019, ίδια επεξεργασία).

Τοποθεσία Πλημμύρας	Ονομασία Πλημμύρας	Ημερομηνία Πλημμυρικού γεγονότος
ΒΑΣΙΛΙΚΑ	ΒΑΣΙΛΙΚΑ 24.8.1990	24/08/1990
ΣΤΡΟΠΩΝΩΝ	ΣΤΡΟΠΩΝΩΝ 01.09.2002	01/09/2002
ΣΤΡΟΠΩΝΩΝ	ΣΤΡΟΠΩΝΩΝ 30.10.06	30/10/2006
ΣΤΡΟΠΩΝΩΝ	ΣΤΡΟΠΩΝΩΝ 12.09.09	12/09/2009
ΔΙΡΦΥΩΝ	ΔΙΡΦΥΩΝ 12.09.09	12/09/2009
ΚΑΜΠΙΩΝ	ΚΑΜΠΙΩΝ 12.09.09	12/09/2009
ΕΡΕΤΡΙΑΣ	ΕΡΕΤΡΙΑΣ 12.09.09	12/09/2009

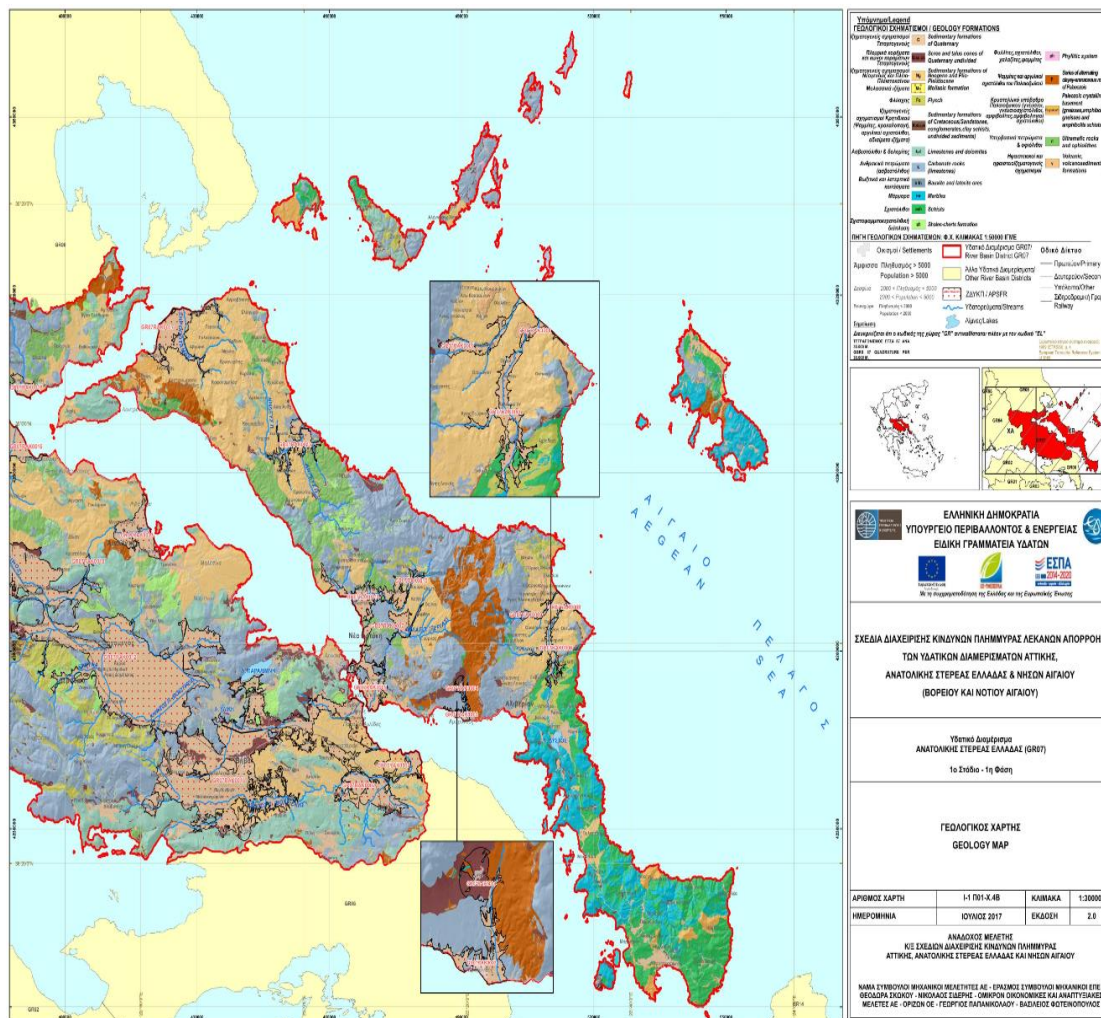
ΜΕΤΟΧΙΟΥ	ΜΕΤΟΧΙΟΥ 12.09.09	12/09/2009
----------	-------------------	------------

Τα αίτιά τους σχετίζονται με αιφνίδιες τοπικές καταιγίδες και υπερχειλίση χειμάρρων. Συγκεκριμένα, οι πλημμύρες στις περιοχές αυτές οφείλονται σε:

- Νερά τα οποία προέρχονται από μέρος ενός φυσικού συστήματος αποστράγγισης, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών ή μη καναλιών αποστράγγισης.
- Ύδατα από αστικές χιονοθύελλες.
- Επιφανειακή απορροή στις αγροτικές περιοχές.
- Βροχόπτωση, η οποία είτε έπεσε απευθείας στην περιοχή είτε απέρρευσε σε αυτή (ΥΠΕΚΑ, 2019).

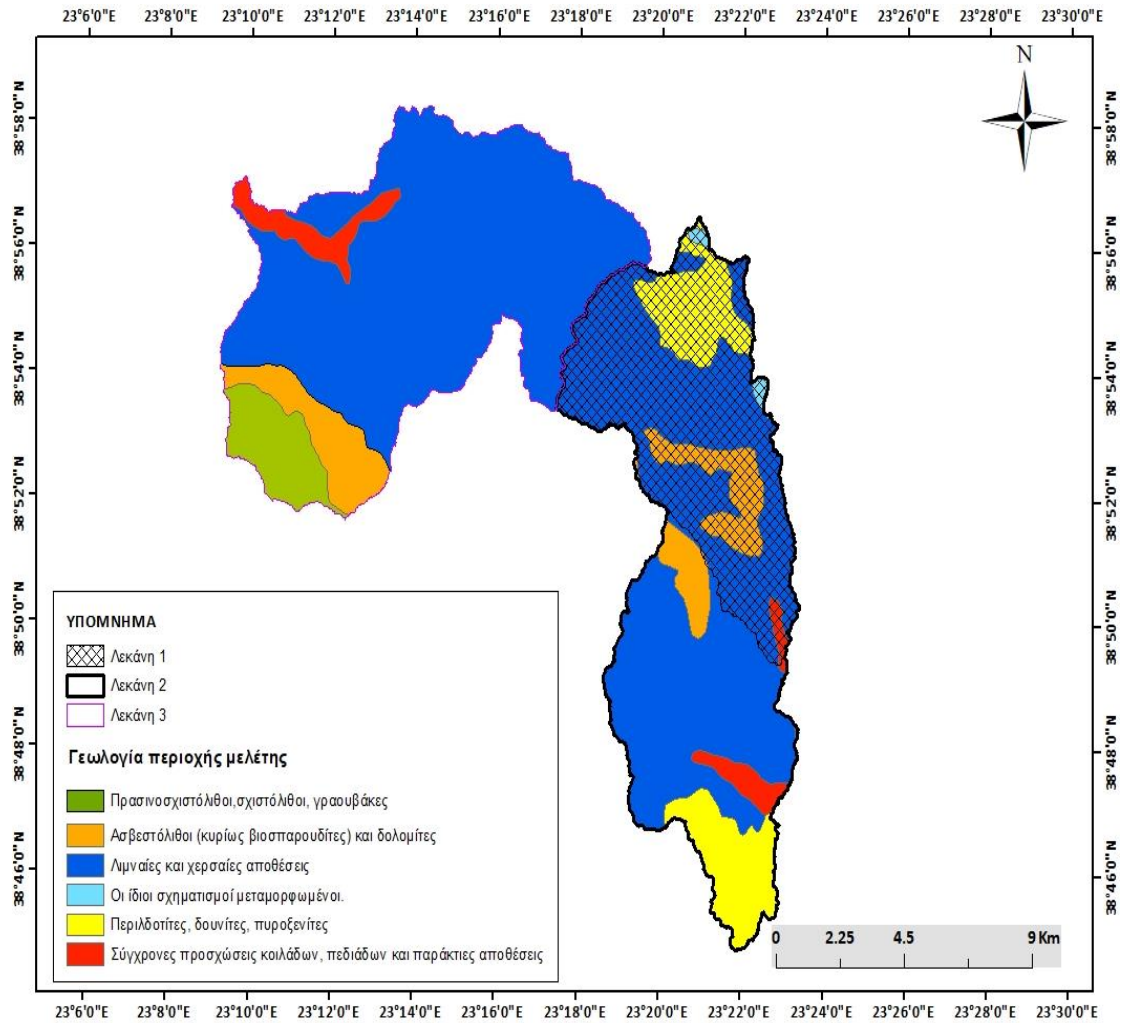
2.5 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Γενικότερα το έδαφος της Ευβοίας αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους, ενώ παρουσιάζει πολλές γεωλογικές διαπλάσεις. Ακόμη υπάρχουν παλαιότερα ιζήματα του Μεσοζωικού αιώνα και πετρώματα της πελαγονίας ζώνης που καλύπτουν μεγάλα τμήματα του νησιού, τα οποία με την σειρά τους καλύπτονται από ιζήματα του Νεογενούς. Τα νεογενή ιζήματα αποτελούνται από λάσπη και γύψο, εναποθέσεις λιγνίτη και ποτάμιες αποθέσεις. Η γεωμορφολογία του νησιού έχει μεγάλη ποικιλία όπως φαίνεται στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 2.12).



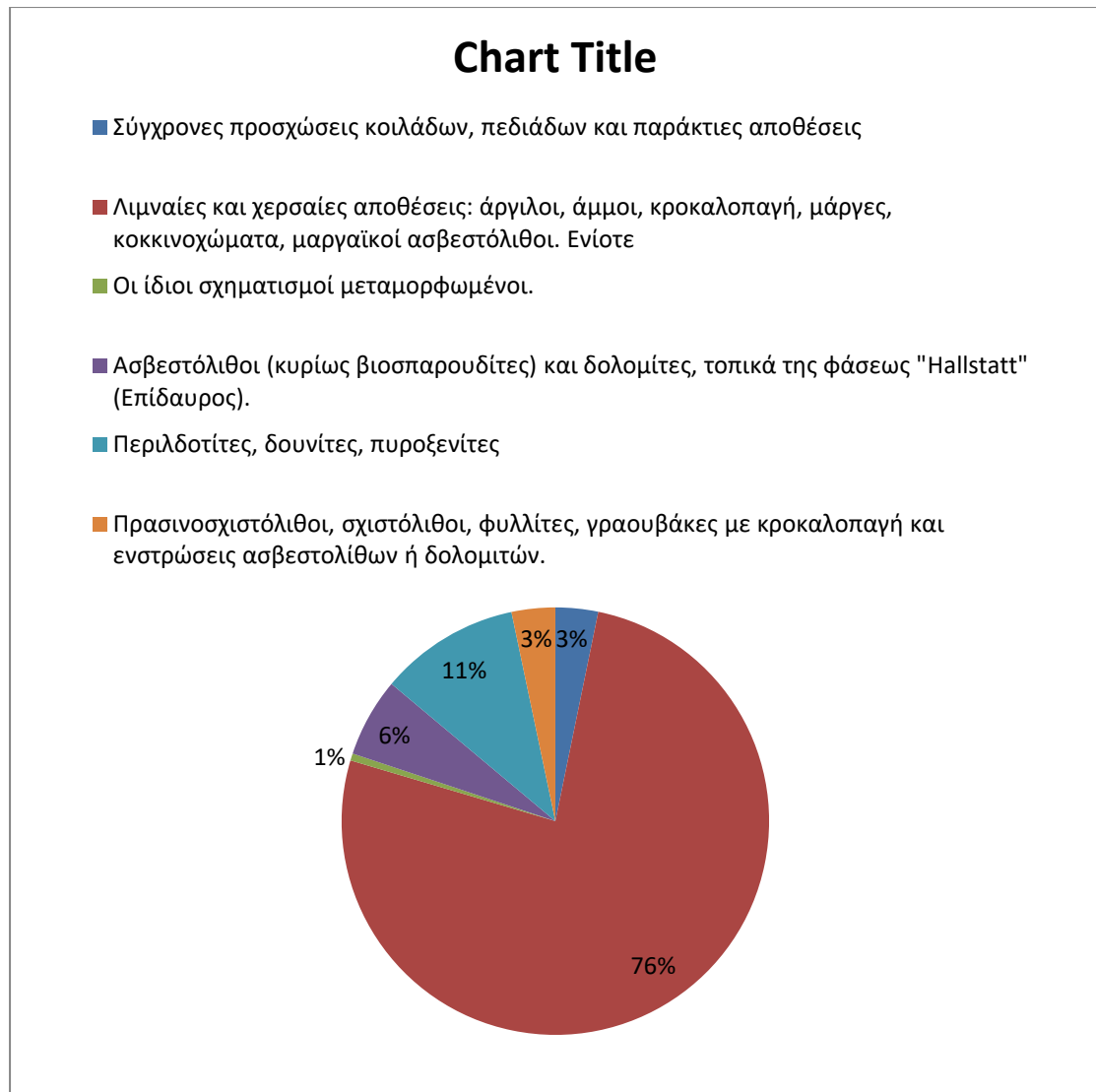
Σχήμα 2.12: Γεωλογικός χάρτης υδατικού διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2017)

Στην παρούσα εργασία οι τρεις λεκάνες που μελετώνται αποτελούνται κυρίως από ιζηματογενή πετρώματα. Οι φυσικές διεργασίες που έχουν μεσολαβήσει για τη δημιουργία αυτών των πετρωμάτων ξεκινούν με την αποσάθρωση, δηλαδή μια διαδικασία κατά την οποία παράγεται το υλικό που θα αποτελέσει το σώμα του πετρώματος μέσα από τη διάβρωση του αποσαθρωμένου τμήματος άλλων πετρωμάτων. Ακολουθεί η μεταφορά του υλικού αυτού από το νερό τον αέρα ή λόγω της βαρύτητας σε άλλες θέσεις όπου και αποτίθενται εκεί σε κάποια απόσταση ανάλογα και με τη μεταφορική ικανότητα του νερού. Με το πέρας του χρόνου πραγματοποιείται η συσσώρευση των υλικών σε επάλληλες στρώσεις μέχρι τελικά να συμπυκνωθούν στα κατώτερα στρώματα και να επέλθει η διαγένεση. Ακολουθεί ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης στη Σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13: Χάρτης γεωλογίας της περιοχής μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Από το Σχήμα 2.14 φαίνεται πως η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από λιμνιές και χερσαίες αποθέσεις, σε ποσοστό της τάξης 76%.



Σχήμα 2.14: Ποσοστιαία κατανομή γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

2.6 Πυρκαγιά στη Βόρεια Εύβοια

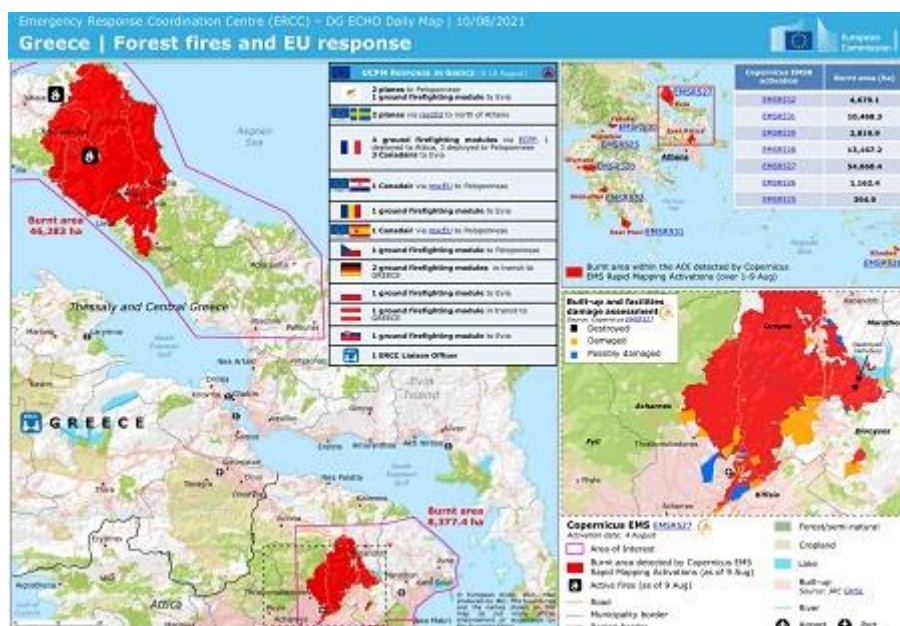
Με τη λέξη πυρκαγιά ορίζεται η ανεξέλεγκτη φωτιά που προκαλείται από μη ελεγχόμενη καύση μεταξύ ενός καυσίμου και ενός οξειδωτικού μέσου, συνήθως οξυγόνο και συνοδεύεται από πρόκληση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας και φωτός, γεγονός που έχει ως συνέπεια την καταστροφή του καιγόμενου υλικού και τη μετατροπή του σε αέριο (ΜΕ.Κ.Δ.Ε Ε.Μ.Π.). Όταν αυτό λαμβάνει χώρα σε δασικές εκτάσεις, αυτή χαρακτηρίζεται ως δασική πυρκαγιά και οι διαστάσεις που θα λάβει εξαρτώνται από τρεις παράγοντες: την καύσιμη ύλη, την τοπογραφία του εδάφους και τις μετεωρολογικές συνθήκες (καιρός). (Μαστρογιάννη, 2019)

- Καύσιμη ύλη: το οργανικό βλασικό υλικό που βρίσκεται πάνω στα δέντρα και στο έδαφος.
- Μετεωρολογικές συνθήκες: άνεμος, υγρασία, βροχώπτηση, θερμοκρασία.

- Τοπογραφία: κλίση εδάφους, μορφολογία περιοχής, θέση πυρκαγιάς. (Μαστρογιάννη, 2019).

Οι πυρκαγιές στις δασικές εκτάσεις είναι από τα πιο απειλητικά φυσικά φαινόμενα με αξιοσημείωτες καταστροφικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, τις ιδιοκτησίες, το φυσικό περιβάλλον αλλά και την οικονομία. Η πυρκαγιά έχει ως δυσμενές επακόλουθο την απώλεια της φυτικής κάλυψης αλλά και τη μεταβολή των συνθηκών του εδάφους μειώνοντας την διήθηση του νερού (Ναλμπάντης και Λυμπερόπουλος, 2012). Κατά συνέπεια η υδρολογική απόκριση μια καμένης λεκάνης αλλοιώνεται καθώς τόσο η παροχή αιχμής αυξάνεται όσο και ο χρόνος συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης μειώνεται (Διακάκης κ.α., 2017). Στη περίπτωση που πραγματοποιηθεί το παραπάνω σενάριο θα προκληθούν εκτεταμένες ανθρώπινες, περιβαλλοντικές, υλικές και οικονομικές απώλειες στις κατάντη περιοχές που θα πληγούν αποπλημμυρικά επεισόδια.

Οι δασικές φωτιές εμφανίζονται συχνά στη Μεσόγειο κυρίως στην περίοδο του καλοκαιριού, αφού δημιουργούνται και αναπτύσσονται κάτω από ευνοϊκές για αυτές συνθήκες όπως τις υψηλές θερμοκρασίες, το κλίμα, τις ελάχιστες βροχές. Συγκεκριμένα στις 3 Αυγούστου 2021 έλαβε χώρα μια καταστροφική πυρκαγιά, πρωτόγνωρη για τα ελληνικά δεδομένα η οποία έγινε στο βόρειο τμήμα του νομού Εύβοιας, όπως φαίνεται στο Σχήματα 2.15 και 2.16. Η φωτιά επεκτάθηκε γρήγορα χάρη στις ακραίες καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο όπως την υπερβολική ζέση για μεγάλο χρονικό διάστημα, τους ισχυρούς ανέμους, τη χαμηλή υγρασία με αποτέλεσμα για τις επόμενες 8 μέρες να τεθεί εκτός ελέγχου. Η καμμένη περιοχή ανήλθε στα 507950 στρέματα σύμφωνα με τον δορυφόρο EFFIS (Copernicus, 2021).



Σχήμα 2.15: Μεγάλες πυρκαγιές που σημειώθηκαν στη Βόρεια Εύβοια και στην Αττική τον Αύγουστο του 2021 (Πηγή: Κέντρο Συντονισμού Αντιμετώπισης Έκτακτης Ανάγκης της Ευρωπαϊκής Ένωσης)



Σχήμα 2.16: Πυρκαγιά Αυγούστου 2021 στις Ροβιές Εύβοιας (Πηγή: Καθημερινή)

Αναφορικά με τις εκτάσεις που κάηκαν, στην περιοχή μελέτης, αντλούνται από το αρχείο των χρήσεων Γης τα δεδομένα του Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Καμένες εκτάσεις στην περιοχή μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

	Έκταση λεκάνης (km ²)	Έκταση καμένης λεκάνης (km ²)
Λεκάνη 1	54.82	54.82
Λεκάνη 2	103.9	103.9
Λεκάνη 3	102.9	77.92

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιβάλλον Εργασίας

3.1.1 Συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ)- λογισμικό ArcMap

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών σε συνδυασμό με την ανάγκη δημιουργίας μια πληροφοριακής βάσης, στην οποία θα συμπεριλαμβάνονται τόσο το είδος (θεματική-περιγραφική πληροφορία), όσο και η γεωγραφική θέση της πληροφορίας (χωρική πληροφορία), αποτέλεσαν το έναυσμα για την ανάπτυξη νέων συστημάτων που διαχειρίζονται, αναλύουν και παρουσιάζουν αυτήν, τη γεωγραφική φύσεως, πληροφορία. Σύμφωνα με τον Goodchild (1985), τα συστήματα αυτά, ονομάζονται Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ή ΣΓΠ (GIS-Geographical Information Systems) και παρέχουν τη δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, επεξεργασίας, ανάλυσης, οπτικοποίησης και αποθήκευσης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με το χώρο. Τα GIS είναι το βασικό εργαλείο για την αντίληψη της σχέσης ανάμεσα στο χωρικό σχεδιασμό και τα συστήματα πληροφοριών.

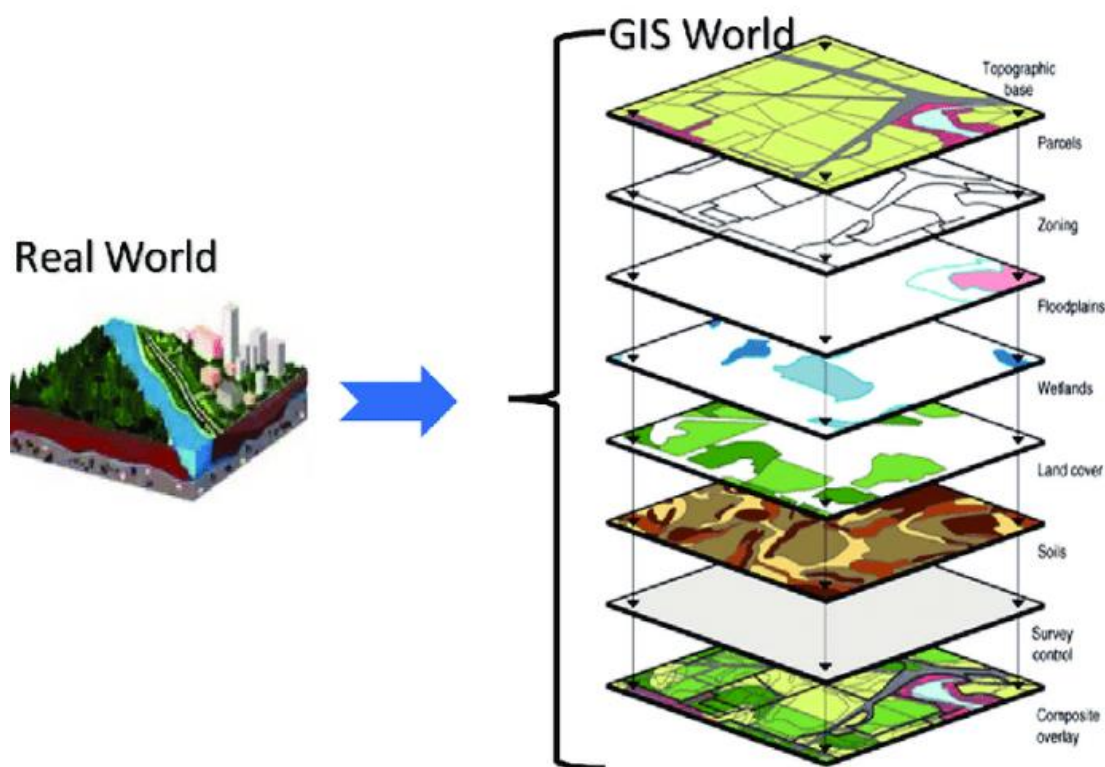
Σύμφωνα με τους Κάβουρα κ.α. (2016), ένα σύστημα GIS δεν είναι απλώς ένα πακέτο λογισμικού, αλλά ένα σύνθετο σύστημα που αποτελείται από επιμέρους συστατικά στοιχεία (Σχήμα 3.1):

- το σύστημα του υπολογιστή, δηλαδή το υλικό (hardware) και το λειτουργικό σύστημα (operatin gsystem),
- το λογισμικό (software),
- τα χωρικά δεδομένα,
- τις διαδικασίες διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων και
- τους χρήστες.



Σχήμα 3.1 : Συστατικά στοιχεία ενός ΣΓΠ(Πηγή: Κάβουρα κ.α. ίδια επεξεργασία)

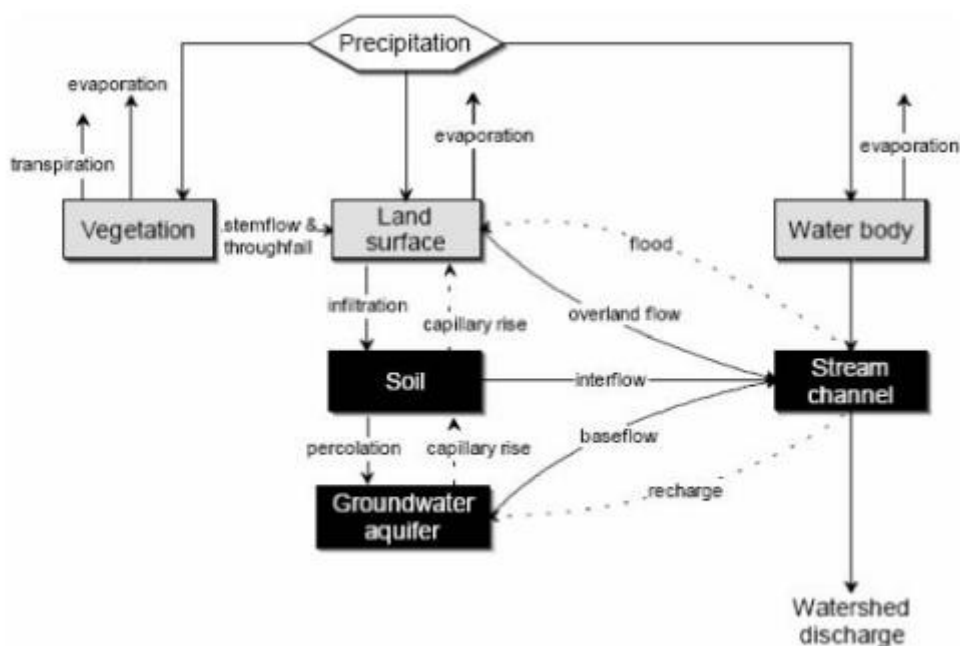
Το επιστημονικό πεδίο που εφαρμόζονται τα ΣΓΠ είναι πάρα πολύ μεγάλο καθώς γίνεται χρήση του στις περιπτώσεις όπου εμπειρεύεται ως παράμετρος η γεωγραφική πληροφορία. Πάρα πολλά είναι τα είδη πληροφοριών που μπορούν να εισαχθούν σε αυτό, ενδεικτικά κάποια από αυτά είναι οι δρόμοι,εμπορικά κέντρα, χρήσεις γης, πολεοδομικά σχέδια, δημογραφικά στοιχεία κ.α. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα πληροφοριακά επίπεδα του ΣΓΠ.



Σχήμα 3.2 : Πληροφοριακά επίπεδα του ΣΓΠ (Πηγή: ethiopia-gis.nrel.colostate.edu/gis.php)

3.1.2 Λογισμικό HEC-HMS

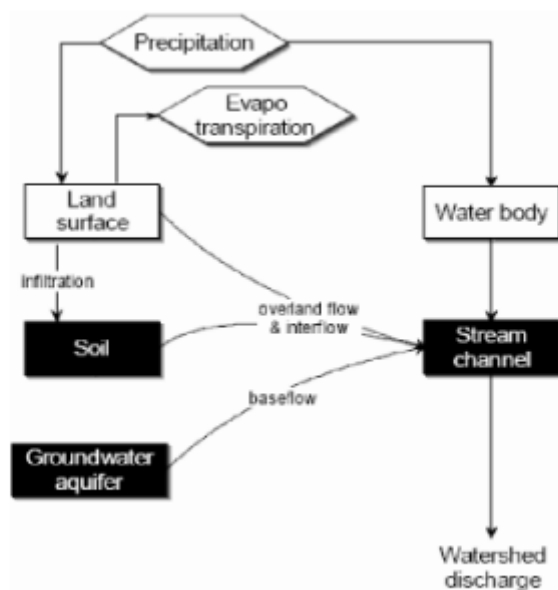
Το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS σχεδιάστηκε από το σώμα μηχανικών του Αμερικανικού στρατού για την προσομοίωση των διαδικασιών βροχής-απορροής τόσο σε μικρές αστικές λεκάνες όσο σε μεγάλες λεκάνες απορροής της υπαίθρου. Στο συγκεκριμένο τμήμα της εργασίας λαμβάνει χώρα η ανάλυση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης μελέτης για μια καταιγίδα σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 100 ετών με σκοπό να παραχθούν υδρογραφήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων. Γενικότερα είναι χρήσιμα και σε μελέτες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, αποστραγγιστικά έργα, μελέτες πρόγνωσης πλημμυρών, σχεδιασμό υπερχειλιστών φραγμάτων κ.α. (Feldman 2000). Η μοντελοποίηση των διαδικασιών βροχής απορροής στο περιβάλλον HEC-HMS ως παρατίθεται στα ακόλουθα Σχήματα 3.3 και 3.4:



Σχήμα 3.3: Απεικόνιση διεργασιών βροχής- απορροής (Πηγή: Feldman 2000)

Ανάλογα με τα στοιχεία που έχει στη διάθεσή του ο μελετητής μπορεί να επιλέξει και το κατάλληλο μαθηματικό πρότυπο για την διεκπερέωση της εργασίας του. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά κάποιες απο τις ποικίλες επιλογές αναφορικά με τα πρότυπα:

- i. Υπολογισμός Επιφανειακής Απορροής (ΜοναδιαίοΥδρογράφημα):
 - Snyder
 - SCS
 - Clark Instantaneous Unit Hydrograph
 - Ορισμένοαπότονχρήστη
- ii. Εκτίμηση απωλειών :
 - Initial constant (δείκτηςφ)
 - SCS Curve Number
 - Gridded SCS Curve Number
 - Exponential (εκθετική συνάρτηση του χρόνου)
 - Green-Ampt
- iii. ΒασικήΡοή:
 - Recessionmethod(εκθετικά μειούμενη)
 - Σταθερή ροή
 - Linearreservoirmethod (εκφόρτιση διηθούμενου νερού στο υδατόρρευμα με διατήρηση μάζας)
 - None (μηδενική)



Σχήμα 3.4 : Μοντελοποίηση απορροής από το HEC-HMS (Πηγή: Feldman 2000)

3.1.3 Λογισμικό HEC-RAS

Το πρόγραμμα υδραυλικών υπολογισμών HEC-RAS, έχει συνταχθεί από το Σώμα Μηχανικού του Αμερικανικού Στρατού (U.S. Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center) και το 1995 ήταν που κυκλοφόρησε η πρώτη έκδοσή του (version 1.0) με βασικούς δημιουργούς τους Mr. Mark και R. Jensen. Γενικότερα το HEC-RAS πραγματοποιεί:

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

Είναι ένα λογισμικό ελεύθερης πρόσβασης σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο που καθίσταται εφικτή η υδραυλική ανάλυση ποταμών σε μόνιμες και μη συνθήκες και μπορεί να εκτελεί μονοδιάστατη (1D), διδιάστατη (2D) ή συνδυασμένη μονοδιάστατη και διδιάστατη (1D/2D) υδραυλική ανάλυση ποταμών. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται υδραυλική προσομοίωση σε δυο διαστάσεις.

Το 2D μοντέλο χρησιμοποιείται όταν σαν υπόβαθρο υπάρχει αρχείο ΨΜΕ καλής ποιότητας και επικρατούν σχετικά ήπιες κλίσεις. Είναι απαραίτητο σε προβλήματα που η ροή του νερού αναλύεται σε δύο κατευθύνσεις. Το πρόγραμμα βασίζεται στις εξισώσεις Navier-Stokes αφού πρώτα έχουν εφαρμοστεί κάποιες απλοποιήσεις η μορφή των οποίων εκφράζεται πλήρως από τις εξισώσεις Saint-Venant που ανήκουν στην κατηγορία των εξισώσεων ρηχών υδάτων (Shallow water equations) (USACE 2016).

Σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, η διαφορική μορφή της εξίσωσης ρηχών υδάτων διατήρησης μάζας (συνέχειας) είναι η εξής (U.S. Army Corps of Engineers, 2016):

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (3.1)$$

Όπου:

- t : ο χρόνος
- $H(x, y, t)$ (m): το υψόμετρο της στάθμης του ύδατος
- $h(x, y, t)$ (m): το βάθος του ύδατος
- u, v (m/s): οι συνιστώσες ταχύτητας στην x και y διεύθυνση αντίστοιχα
- q (m^3/s): η εισερχόμενη ροή

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \quad (3.3)$$

Όπου:

u, v (m/s): οι συνιστώσες της ταχύτητας στην x και y διεύθυνση αντίστοιχα

g (m/s^2): η επιτάχυνση της βαρύτητας

v_t (m^2/s): ο συντελεστής οριζόντιου κινηματικού ιξώδους

c_f (s^{-1}): ο συντελεστής τριβής στον πυθμένα

f (s^{-1}): η παράμετρος Coriolis (U.S. Army Corps of Engineers, 2016)

Ορισμένες φορές, όταν η ροή ανήκει στην κατηγορία των ρηχών υδάτων, τότε παράμετροι όπως η μεταγωγική αλλά και η τοπική επιτάχυνση, το ιξώδες, και η παράμετρος Coriolis μπορούν να μη ληφθούν υπόψιν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ροή διέπουν ο συντελεστής τριβής και η επιτάχυνση της βαρύτητας. Τότε η εξίσωση κίνησης ανάγεται στη δισδιάστατη μορφή των εξισώσεων ορμής Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave Approximation). Ο συνδυασμός της παραπάνω εξίσωσης με την αρχή διατήρησης της μάζας οδηγεί στη δημιουργία ενός μοντέλου εξισώσεων γνωστό ως Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water (DSW) equations, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες Εξισώσεις 3.4 και 3.5 (USACE, 2016, Σαρχάνη, 2018):

$$-g \frac{\partial H}{\partial x} = c_f u \quad (3.4)$$

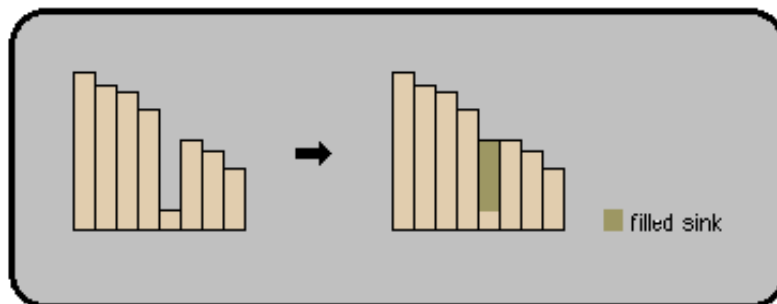
$$-g \frac{\partial H}{\partial y} = c_f v \quad (3.5)$$

3.2 Υδρολογική ανάλυση

3.2.1 Γεωμορφολογική ανάλυση

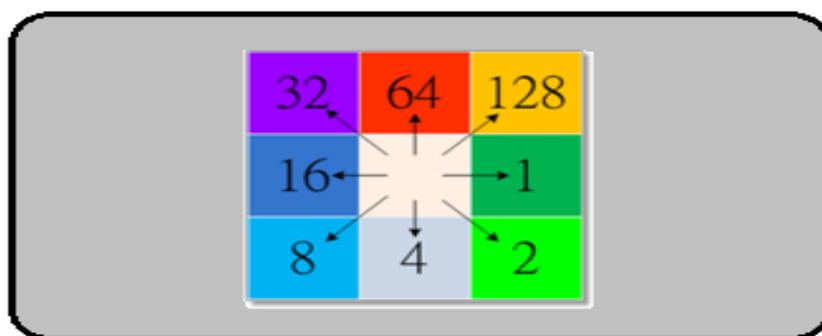
Η γεωμορφολογική ανάλυση αποτελεί μια από τις βασικές προσεγγίσεις για την αναγνώριση, αποτύπωση, ανάλυση, συσχέτιση και σύνθεση των φυσικών διεργασιών στη διαμόρφωση του ανάγλυφου της εκάστοτε περιοχής μελέτης (Παυλόπουλος Κ. κ.α., 2010). Συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται το DEM της Εύβοιας, προκειμένου να οριστούν οι τρεις λεκάνες μελέτης, για τις οποίες διεξάγεται επιπλέον γεωμορφολογική ανάλυση, ώστε να προσδιοριστούν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους, όπως οι κλίσεις και το υδρογραφικό δίκτυο. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Εύβοιας που παραχωρήθηκε από την υπηρεσία του Κτηματολόγιο Α.Ε., είναι raster αρχείο, και αποτελεί σημαντικό τύπο δεδομένων αφού μετά από κατάλληλη επεξεργασία στο ΓΣΠ μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα δεδομένα που αφορούν τα υδροδυναμικά μοντέλα. Στο συγκεκριμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, κάθε τετραγωνικό εικονοστοιχείο έχει διαστάσεις 5 m x 5 m και με τη βοήθεια τόσο του λογισμικού (ArcGIS 10.5.1) της εταιρίας ESRI όσο και μιας πρόσθετης εργαλειοθήκης (HECGeoHMS) ολοκληρώνεται η γεωμορφολογική ανάλυση. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται σε επίπεδο γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών του μοντέλου εδάφους παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

- **Fill Sinks:** Διορθώνει τα βυθίσματα αυξάνοντας τοπικά το υψόμετρο των φατνίων στο επίπεδο της περιβάλλουσας περιοχής. Κατά τη δημιουργία του DEM προκύπτουν ψευδή βυθίσματα στο ανάγλυφο, οφείλονται συνήθως σε σφάλματα και αστοχίες, τα οποία πολύ πιθανώς να προκαλέσουν αλλοιώσεις κατά την επεξεργασία δεδομένων στα επόμενα βήματα εξαιτίας του εγκλωβισμού ή της παρεμπόδισης της επιφανειακής απορροής. Έτσι μέσω αυτής της εντολής δημιουργείται ένα νέο grid στο οποίο οι χαμηλότερες τιμές υψομέτρου αντικαθίστανται από υψηλότερες, βάσει των τιμών των γειτονικών κελιών, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Πλήρωση βυθισμάτων κανάβου (Πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2021, ίδια επεξεργασία)

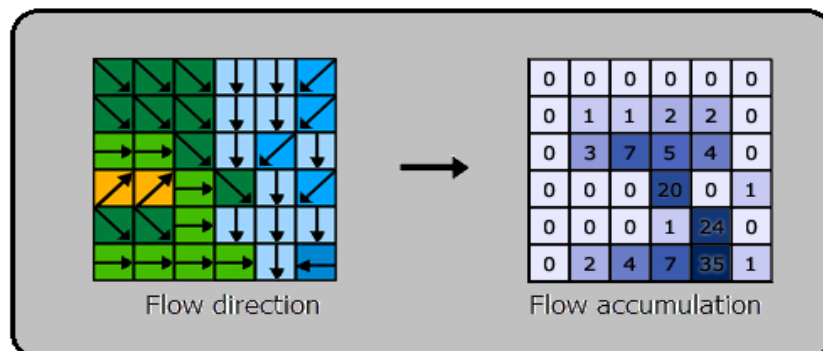
• Flow Direction: Απαραίτητο για να προκύψουν τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας επιφάνειας είναι η εύρεση της διαδρομής που κάνει το νερό της βροχής από κελί σε κελί μέχρι αυτό να καταλήξει στην έξοδο της λεκάνης, δηλαδή να καθοριστεί η κατεύθυνση ροής από κάθε φατνίο της εικόνας raster. Για την παραγωγή του κανάβου κατευθύνσεων απορροής, χρησιμοποιείται το Μοντέλο Απορροής Διευθύνσεων (Jensen&Domingue, 1988). Συγκεκριμένα, απορροή υπάρχει από κάθε εικονοστοιχείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προς ένα μόνο από τα 8 γειτονικά εικονοστοιχεία (με βάση τη μεγαλύτερη κλίση) και ανάλογα με τη διεύθυνση της απορροής αυτής, το εικονοστοιχείο παίρνει μια συγκεκριμένη τιμή. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι ένα μωσαϊκό διευθύνσεων ροής όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6: Επεξεργασία κανάβου διεύθυνσης ροής (Πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2021, ίδια επεξεργασία)

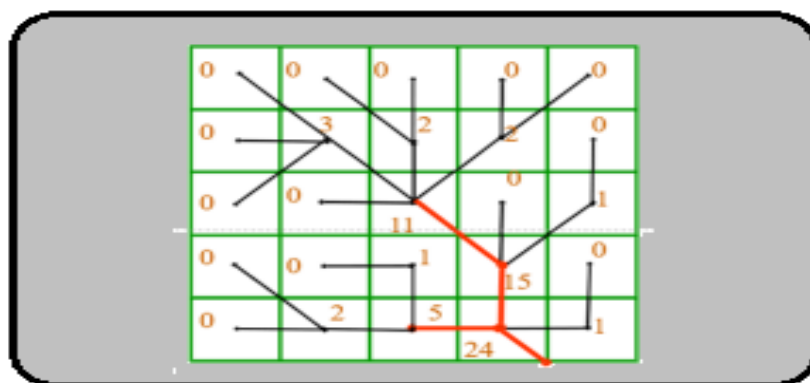
• Flow Accumulation: Ο Προσδιορισμός του καννάβου συγκέντρωσης ροής γίνεται μέσω της εντολής αυτής η οποία δέχεται ως δεδομένο το αρχείο που έχει προκύψει από τις κατευθύνσεις ροής (flow direction) και υπολογίζει τον αριθμό των φατνίων που απορρέουν δια μέσου του συγκεκριμένου φατνίου. Η συγκεντρωτική ροή για κάθε φατνίο του καννάβου ισούται με το άθροισμα των γειτονικών φατνίων που απορρέουν σε αυτό και ο υπολογισμός του εμβαδού της περιοχής που απορρέει στο συγκεκριμένο φατνίο υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την υπολογισμένη τιμή της συγκέντρωσης ροής με το εμβαδόν του. Περιοχές κοντά σε κορυφογραμμές αναμένεται να έχουν μηδενικές τιμές σε αντίθεση με αυτές που είναι κοντά σε

μισγάγγειες ή κοίτες ποταμού και αναμένεται να παρουσιάσουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Στο Σχήμα 3.7, απεικονίζεται η μετατροπή της διεύθυνσης ροής σε συγκέντρωση ροής (Esri, ArcGIS Help).



Σχήμα 3.7: Επεξεργασία κανάβου συγκεντρωτικής ροής (Πηγή: pro.arcgis.com, ίδια επεξεργασία)

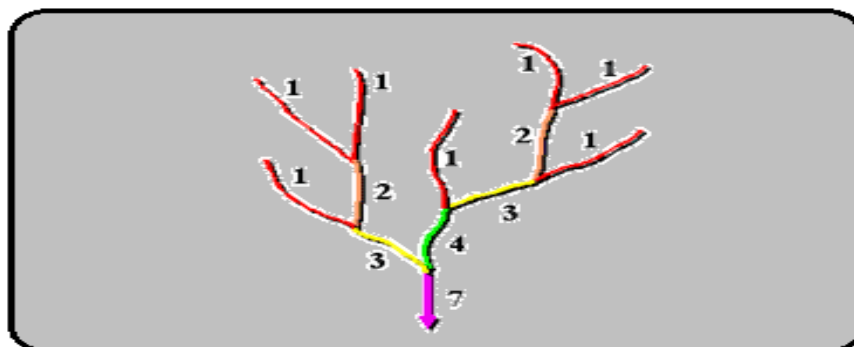
- **Stream Definition:** Σε αυτό το βήμα, ο χρήστης του λογισμικού βάσει του προηγούμενου κανάβου που έχει υπολογιστεί θέτει ένα όριο (κατώφλι) φατνίων, στο Flow Accumulation, πάνω από το οποίο όλα τα φατνία που έχουν τιμές μεγαλύτερες από το κατώφλι αποτελούν τμήμα του υδρογραφικού δικτύου. Το όριο αυτό εξαρτάται από δύο παράγοντες, την έκταση της λεκάνης και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Στην παρούσα διπλωματική δεν επιλέχθηκε ως όριο αριθμός φατνίων, αλλά η έκταση των ανάντη λεκανών απορροής που εκβάλλει σε κάθε φατνίο και συγκεκριμένα το όριο που επιλέχθηκε είναι 2km^2 . Παρακάτω, στο Σχήμα 3.8 φαίνεται η διαδικασία που ακολουθείται για τον σχεδιασμό του υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 3.8: Σχεδιασμός υδρογραφικού δικτύου (Πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2021, ίδια επεξεργασία)

Stream order: Η εντολή αυτή είναι μια μέθοδος ιεράρχησης των κλάδων που διαμορφώνουν ένα υδρογραφικό δίκτυο. Η συγκεκριμένη εντολή εκτελέστηκε με βάση την μέθοδο του Strahler (1957) κατά την οποία κάθε κλάδος ενός υδρογραφικού δικτύου που δε δέχεται νερά άλλων μικρότερων υδατορευμάτων

ονομάζεται κλάδος 1ης τάξης. Εν συνεχεία απο την συμβολή δύο κλάδων 1ης τάξης ονομάζεται κλάδος 2ης τάξης, ο κλάδος που προκύπτει από την ένωση δύο κλάδων 2ης τάξης ονομάζεται 3ης τάξης κοκ. Έχοντας ολοκληρωθεί πλέον η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου μια τιμή που αντιπροσωπεύει την ταχύτητα ροής αντιστοιχίζεται σε κάθε κλάδο ανάλογα με την τάξη στην οποία ανήκει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9: Ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου (Πηγή: pro.arcgis.com, ίδια επεξεργασία)

Stream to Feature: Μέσω της εντολής αυτής το υδρογραφικό δίκτυο ή και γενικότερα οποιοδήποτε άλλο ψηφιδωτό γραμμικό στοιχείο μετατρέπεται σε διανυσματικό μέγεθος (vectorization).

3.2.2 Εναλασσόμενα μπλοκ

Ο υπολογισμός του υετογραφήματος σχεδιασμού έγινε με βάση τη μέθοδο των εναλασσόμενων μπλοκ (Chowet.al., 1998) μέσω της οποίας δημιουργούνται συνθετικά μοτίβα καταιγίδας. Για τον υπολογισμό του είναι αναγκαία η γνώση τοπογραφικών δεδομένων της λεκάνης που υπολογίζονται μέσω ΣΓΠ αλλά και μια όμβρια καμπύλη ανάλογα με την τοποθεσία της περιοχής μελέτης. Η εύρεση των σταθερών από τις οποίες αποτελείται η όμβρια καμπύλη πραγματοποιείται μέσω του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας και την Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από τον σταθμό στις Μηλιές και επιλέχθηκε χρόνος επαναφοράς 100 χρόνια. Εδώ είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ο χρόνος επαναφοράς δεν είναι παντού σταθερός καθώς οι τιμές του μεταβάλλονται ανάλογα με το έργο, παραδειγματώςχαρη οι υπερχειλιστές των φραγμάτων σχεδιάζονται με περίοδο επαναφοράς 10000 χρόνια. Στο υετογράφημα γίνεται η θεώρηση πως η βροχή διαρκεί δύο με τρεις φορές μεγαλύτερη του χρόνου συγκέντρωσης ο οποίος υπολογίζεται από τον τύπο του Giandotti σύμφωνα με την Εξίσωση 3.6:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{\Delta z}} \quad (3.6)$$

Όπου:

- t_c : ο χρόνος συγκέντρωσης (h)
- A : η έκταση της λεκάνης (km^2)
- L : το μήκος της κύριας μισγάγκειας (km)
- Δz : η διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου (m).

Ανάλογα με το μέγεθος της λεκάνης ορίζεται και το χρονικό βήμα της βροχής. Η λεκάνη 1 λόγω της μικρής της έκτασης έχει βήμα μισής ώρας, σε αντίθεση με τις λεκάνες 2 και 3 που έχουν εμβαδόν μεγαλύτερο των $100 km^2$ οι οποίες με τη σειρά τους θα έχουν χρονικό βήμα μίας ώρας. Η ένταση της βροχόπτωσης προέκυψε από την ΓΑΤ (5 παραμέτρων) και προσδιορίστηκε σύμφωνα με την Εξίσωση 3.7:

$$i = \frac{\lambda * (T^k - \psi)}{\left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^n} \quad (3.7)$$

Όπου:

- i : η ένταση βροχής (mm/h)
- T : περίοδος επαναφοράς (y)
- D : η διάρκεια βροχής (h)
- $\kappa, \lambda, \psi, \theta, \eta$: οι σταθερές της όμβριας καμπύλης

Τα ύψη της βροχής με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ υπολογίζονται με βάση την Εξίσωση 3.8:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{t_1^{(1-n)}}{t_2^{(1-n)}} \quad (3.8)$$

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της Μεθόδου των Εναλλασσόμενων Μπλοκ για τις λεκάνες 1, 2 και 3 παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.3, 3.5, 3.7 και στα Σχήματα 3.10-3.12. Ακόμη, στους Πίνακες 3.1, 3.2, 3.4, 3.6 παρουσιάζονται τα δεδομένα που αντλήθηκαν για την εφαρμογή των Εναλλασσόμενων Μπλοκ.

Πίνακας 3.1: Βασικές παράμετροι της μεθόδου εναλλασσόμενων μπλοκ (Πηγή: floods.ypeka.gr).

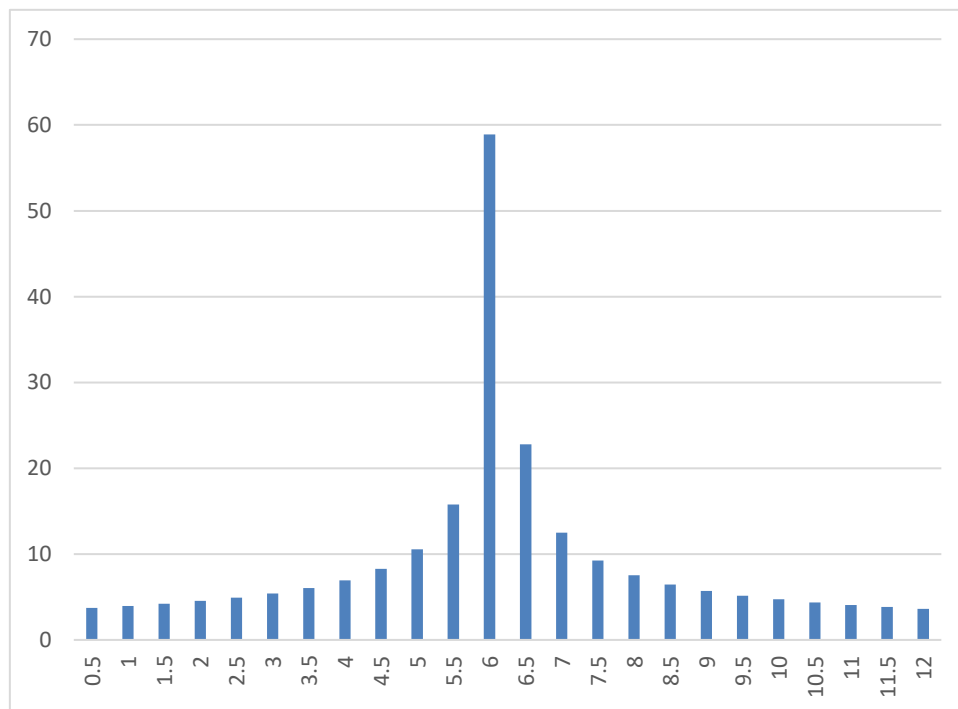
Παράμετροι	
η	0.622
λ	352.8
θ	0.124
κ	0.097
ψ	0.651

Πίνακας 3.2: Στοιχεία Λεκάνης 1 (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

Στοιχεία Λεκάνης 1	
A(km)	54.8
L(km)	22.7
Hm(m)	449.1
Hmin(m)	110.4

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα μεθόδου εναλλασόμενων μπλοκ στην λεκάνη 1 (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

Αποτελέσματα	
t_c (h)	4.3
d(h)	12
T(y)	100
i(mm/h)	18.6
H_{event} (mm)	223.28

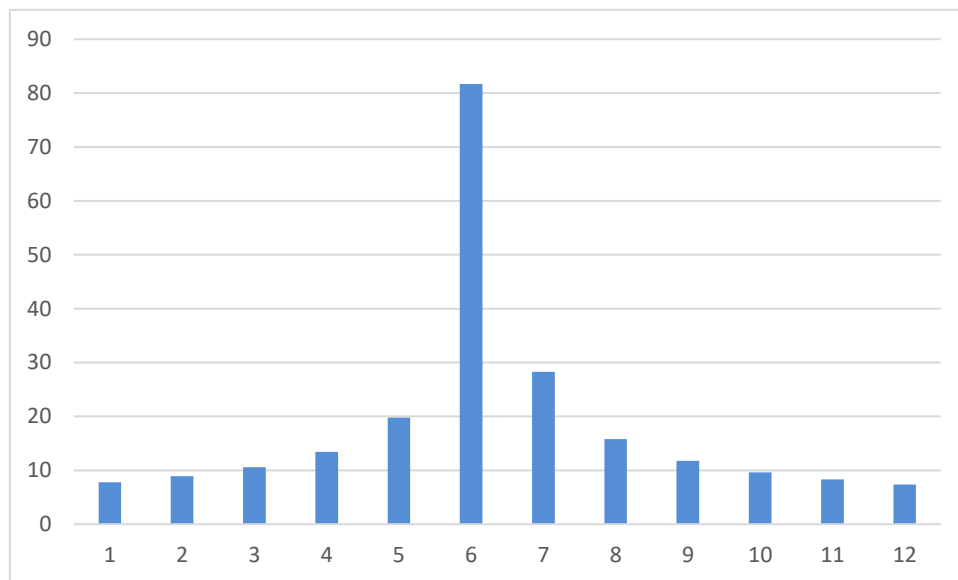
**Σχήμα 3.10: Υετογράφημα σχεδιασμού λεκάνης 1 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)****Πίνακας 3.4: Στοιχεία Λεκάνης 2 (Πηγή: ίδια επεξεργασία).**

Στοιχεία Λεκάνης 2	
A(km)	103.9

L(km)	29.7
Hm(m)	364.4
Hmin(m)	53.7

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα μέθοδου εναλλασόμενων μπλοκ στην λεκάνη 2 (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

Αποτελέσματα	
t_c (h)	6.1
d(h)	12
T(y)	100
i(mm/h)	18.6
H_{event} (mm)	223.28



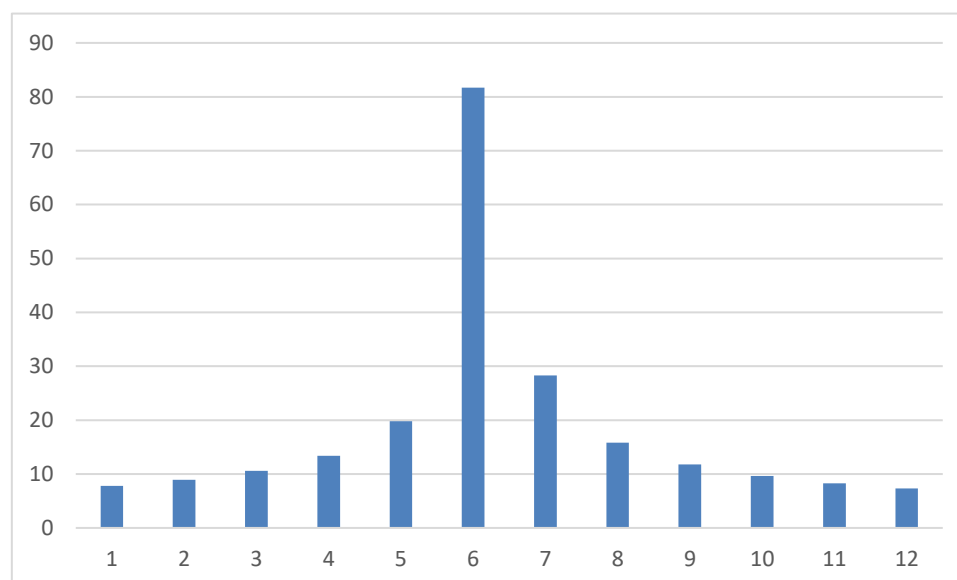
Σχήμα 3.11: Υετογράφημα σχεδιασμού λεκάνης 2 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 3.6: Στοιχεία Λεκάνης 3 (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

Στοιχεία Λεκάνης 3	
A(km)	102.9
L(km)	26.4
Hm(m)	344.4
Hmin(m)	40.1

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα μέθοδου εναλλασόμενων μπλοκ στην λεκάνη 3 (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

Αποτελέσματα	
$t_c(h)$	5.7
$d(h)$	12
$T(y)$	100
$i(mm/h)$	18.6
$H_{event}(mm)$	223.3



Σχήμα 3.12: Υετογράφημα σχεδιασμού λεκάνης 3 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

3.2.3 Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder (1938) έχει αναπτυχθεί ύστερα από αναλύσεις μεγάλου αριθμού βροχοπτώσεων στην περιοχή των Απαλαχίων στην Βόρεια Αμερική και η χρήση του είναι πολύ διαδεδομένη στην Ελλάδα (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Με τη μέθοδο αυτή καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός του χρόνου υστέρησης t_p , της αιχμής Q_p , του χρόνου βάσης T , καθώς και του πλάτους του ΜΥΓ W_{50} και W_{75} για χρόνο που αντιστοιχεί στο 50% και 75% της αιχμής, αντίστοιχα (McCuen, 1998). Οι Εξισώσεις που διέπουν το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder είναι:

$$t_p = 0,75C_t(L_{ca}L)^{0,3} \quad (3.9)$$

$$Q_p = C_p \frac{2,75A}{t_p} \quad (3.10)$$

$$T = 3 + 3 \left(\frac{t_p}{24} \right) \quad (3.11)$$

$$W_{50} = 2,14 \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,08} \quad (3.12)$$

$$W_{75} = 1,22 \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,08} \quad (3.13)$$

t_p : ο χρόνος υστέρησης (hr)

Q_p : παροχή αιχμής ΜΥΓ (m³/s)

L(km): η απόσταση του σταθμού μέτρησης παροχής ως τον υδροκρίτη, κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος (Longestflowpath)

L_{ca} (km) : Η απόσταση από την έξοδο της περιοχής μελέτης ως το πλησιέστερο σημείο κατά μήκος του υδατορεύματος στο κέντρο βάρους της λεκάνης (Centroidal Longest Flow Path)

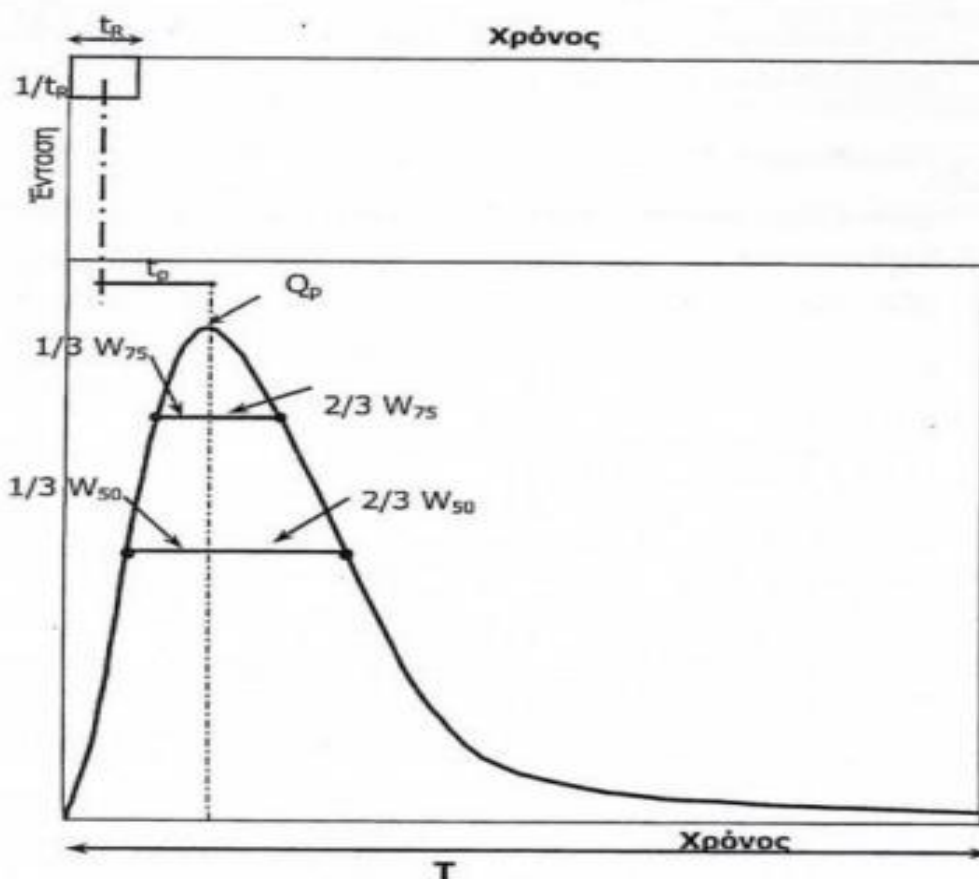
Ct:αδιάστατος συντελεστής που αντιπροσωπεύει τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Τυπικές τιμές: (1.80-2.20)

C_p :αδιάστατος συντελεστής που εξαρτάται από τις μονάδες και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης (0.56-0.69)

A: η έκταση της λεκάνης (km²)

T: η χρονική βάση του υδρογραφήματος (days).

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder παρατίθεται στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Συνθετικό μοναδιαίουδρογράφημα κατά Snyder (Πηγή: Μιμίκου και Μπαλάς, 2018)

Σε περιβάλλον HEC-HMS, ο χρήστης καλείται να δώσει τιμές δύο παραμέτρων, οι οποίες είναι ο χρόνος υστέρησης t_p και ο συντελεστής C_p . Παρακάτω, στον Πίνακα 3.8 φαίνονται τα στοιχεία και των τριών λεκανών σύμφωνα με τη μέθοδο ΜΥΓ κατά Snyder.

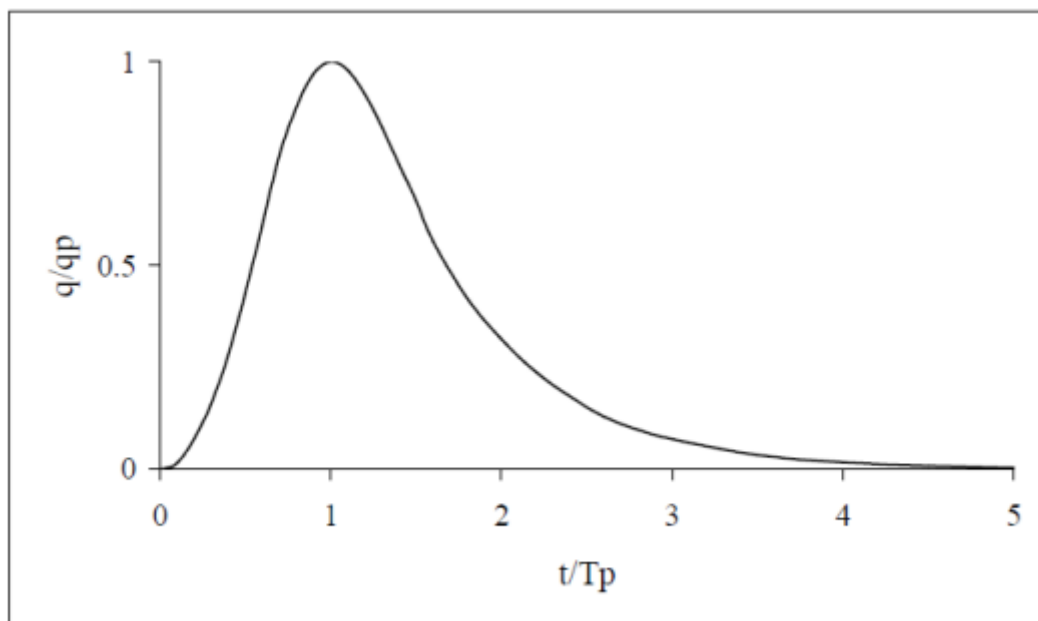
Πίνακας 3.8: Παράμετροι του ΜοναδιαίουΥδρογραφήματος κατά Snyder (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Λεκάνες	1	2	3
L(km)	22.68	29.69	26.42
Lca(km)	10	10.72	19.92
Ct	2	2	2
tp(hr)	7.6	8.45	9.83
Cp	0.6	0.6	0.6

3.2.4 Αδιάστατο μοναδιαίου υδρογράφημα κατά SCS

Μεγάλο πλήθος μοναδιαίων υδρογραφημάτων επεξεργάστηκαν από το Soil Conservation Service (το οποίο πλέον φέρει την ονομασία Natural Resources Conservation Service) ώστε να προκύψει αυτή η μέθοδος. Το αδιάστατο υδρογράφημα της S.C.S. είναι ένα συνθετικό ΜΥΓ, όπου στην τεταγμένη εκφράζεται ο λόγος της παροχής προς την παροχή αιχμής (Q_p), ενώ στην τετμημένη ο λόγος του χρόνου προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος (t_p) (Τσακίρης, 2013). Ο όγκος απορροής στον ανοδικό κλάδο αντιστοιχεί στο 37.5% του συνολικού όγκου (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018).

Το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS ανήκει στην κατηγορία των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων στο οποίο ο οριζόντιος άξονας εκφράζεται από το λόγο της παροχής προς την παροχή αιχμής (Q_p), ενώ ο κάθετος άξονας από το λόγο του χρόνου προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος (t_p) (Τσακίρης, 2013). Ο όγκος απορροής στον ανοδικό κλάδο αντιστοιχεί στο 37.5% του συνολικού όγκου (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS παρατίθεται στο Σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.14: Αδιάστατο Υδρογράφημα κατά SCS (Πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2021, ίδια επεξεργασία)

$$t_p = \frac{t_R}{2} + t_L \quad (3.14)$$

$$Q_p = 2,08 \frac{A}{t_p} \quad (3.15)$$

Όπου:

t_p :ο χρόνος αιχμής (hr)

Q_p : παροχή αιχμής (m³ /s) του μοναδιαίου υδρογραφήματος

t_R : η διάρκεια της ενεργός βροχόπτωσης (hr)

t_L : ο χρόνος υστέρησης (hr)

A: η έκταση της λεκάνης απορροής (km²)

Απαραίτητος είναι ο χρόνος υστέρησης από το ΜΥΓ κατά SCS ο οποίος μετρείται από το κέντρο βάρους της ενεργού βροχόπτωσης μέχρι την αιχμή του πλημμυρογραφήματος, ο οποίος φαίνεται και για τις τρεις λεκάνες στον Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Στοιχεία ΜΥΓ κατά SCS (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

Λεκάνες	1	2	3
Χρόνος αιχμής (min)	488	537	619

3.2.5 Μοναδιαίου υδρογραφήμα με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών

Κάναβος χερσαίας ροής

Η χερσαία ταχύτητα ροής (overland flow) είναι συνάρτηση της κλίσης του εδάφους και της χρήσης γης (Corine) συγκεκριμένα του συντελεστή τραχύτητας k οι τιμές του οποίου βρίσκονται στον Πίνακα 3.10. Αρχικά είναι απαραίτητη η κατασκευή του κανάβου κλίσεων (%), μέσω της εντολής slope.

Slope: Πραγματοποιεί τον υπολογισμό των κλίσεων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, τα εδάφη με ομαλό ανάγλυφο αναμένεται να έχουν μικρές τιμές κλίσεων ενώ αυτά με έντονο μεγάλες τιμές. Συγκεκριμένα, για κάθε κελί γίνεται ο υπολογισμός του μέγιστου ρυθμού μεταβολής του κελιού στα γειτονικά του, δηλαδή η μέγιστη μεταβολή του λογου του υψομέτρου προς την απόσταση μεταξύ του κελιού και των οχτώ γειτονικών του προσδιορίζοντας έτσι την πιο απότομη, την πιο κατηφορική διαδρομή.

Έπειτα, χρησιμοποιώντας το Raster Calculator, το οποίο επιτρέπει τις αριθμητικές πράξεις μεταξύ ψηφιδωτών αρχείων και αριθμών, γίνεται ο προσδιορισμός των ταχυτήτων χερσαίας ροής από την Εξίσωση 3.16:

$$V = k * \sqrt{S} \quad (3.16)$$

(Μαμάσης, 2007)

Όπου k είναι ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους και S η κλίση του εδάφους εκφρασμένη σε m/m .

Πίνακας 3.10: Τιμές του συντελεστή τραχύτητας του εδάφους συγκριτικά με την κάλυψη γης (Πηγή: Καββαδά, 2012, ίδια επεξεργασία)

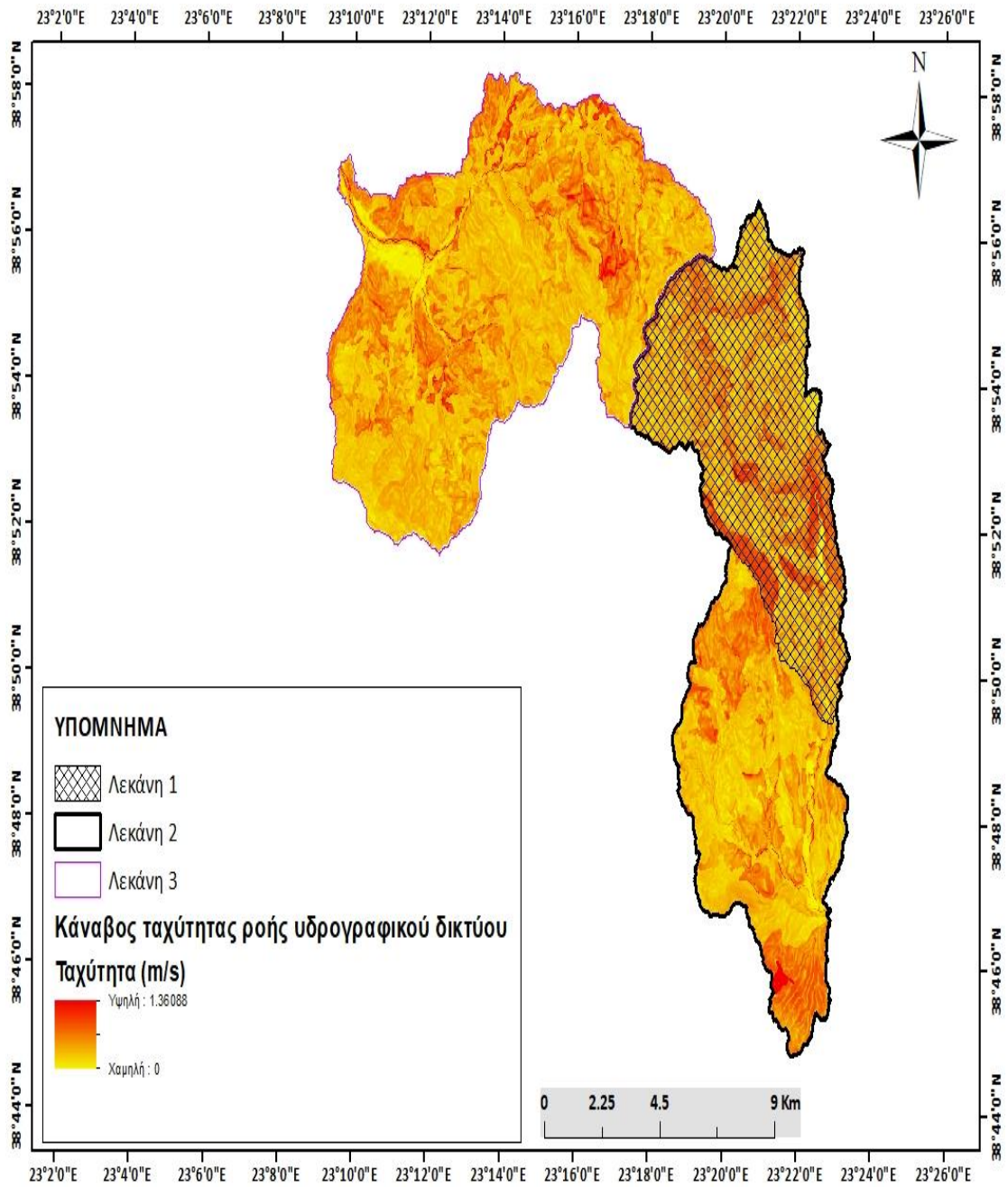
1.1.1	Συνεχής αστικός ιστός	115
1.1.2	Ασυνεχής αστικός ιστός	115
1.2.1	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	115
1.2.2	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	115
1.2.3	Ζώνες λιμένων	115
1.2.4	Αεροδρόμια	115
1.3.1	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	115
1.3.2	Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	115
1.3.3	Χώροι οικοδόμησης	115
1.4.1	Περιοχές αστικού πρασίνου	60
1.4.2	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	60
2.1.1	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	50
2.1.2	Μόνιμα αρδευόμενη γη	50
2.1.3	Ορυζώνες	50
2.2.1	Αμπελώνες	19
2.2.2	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	19
2.2.3	Ελαιώνες	19
2.3.1	Λιβάδια	43
2.4.1	Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	37
2.4.2	Σύνθετες καλλιέργειες	37
2.4.3	Γη που ρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	30
2.4.4	Γεωργο-δασικές περιοχές	25
3.1.1	Δάσος πλατύφυλλων	15
3.1.2	Δάσος κωνοφόρων	15
3.1.3	Μικτό δάσος	15

3.2.1	Φυσικοί Βοσκότοποι	37
3.2.2	Θάμνοι και χερσότοποι	30
3.2.3	Σκληροφυλλική βλάστηση	30
3.2.4	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	25
3.3.1	Παραλίες, αμμόλογοι, αμμουδιές	60
3.3.2	Απογυμνωμένοι βράχοι	43
3.3.3	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	55
3.3.4	Αποτεφρωμένες εκτάσεις	60
3.3.5	Παγετώνες και ανέασο χιόνι	149
4.1.1	Βάλτοι στην ενδοχώρα	37
4.1.2	Τυρφώνες	37
4.2.1	Παραθαλάσσιοι βάλτοι	37
4.2.2	Αλυκές	37
4.2.3	Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα	37
5.1.1	Υδατορεύματα	30
5.1.2	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	30
5.2.1	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	21
5.2.2	Εκβολές ποταμών	21

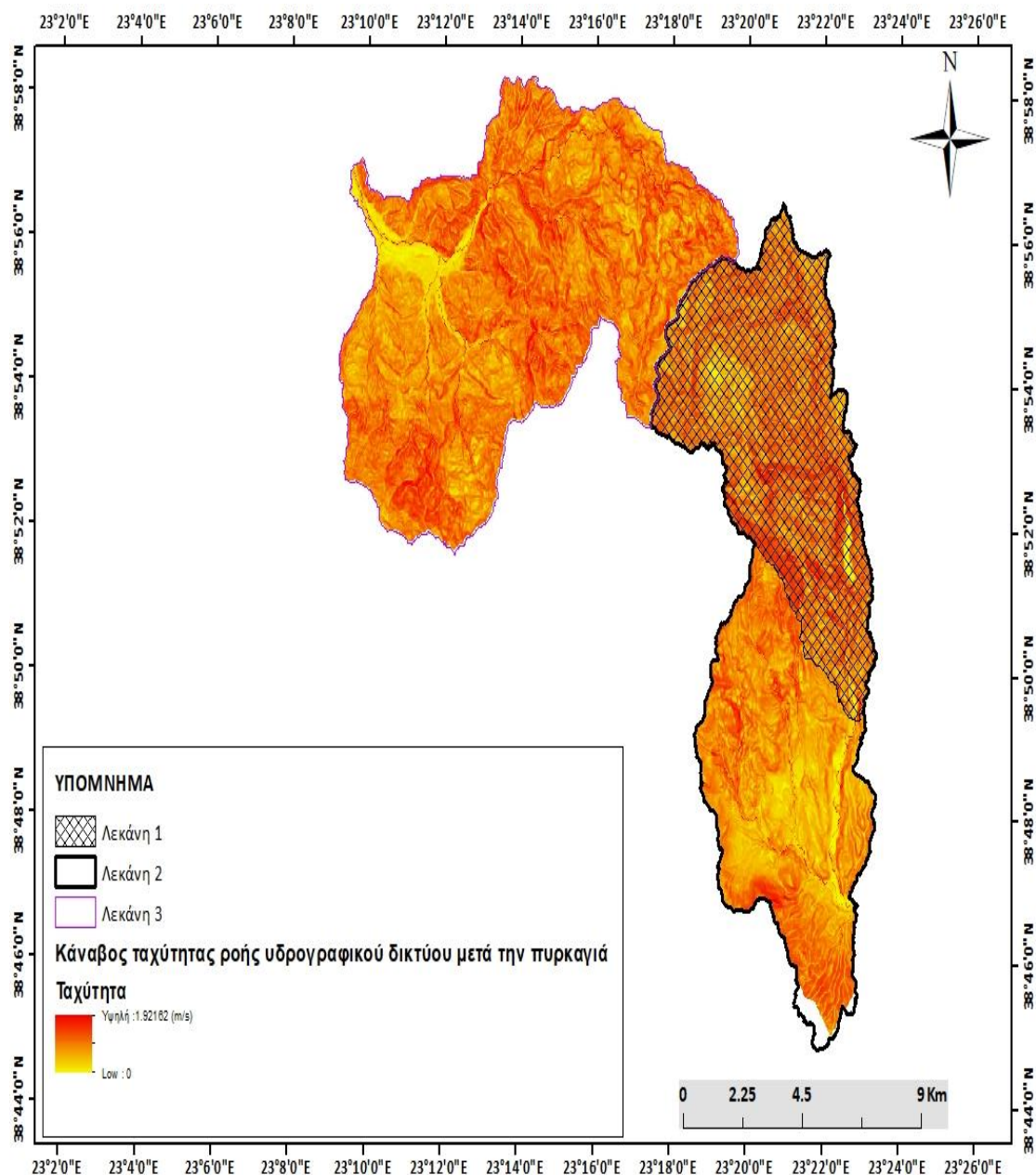
Έτσι προέκυψε ένα νέο ψηφιδωτό (raster) αρχείο στο οποίο κάθε φατνίο περιλαμβάνει την τιμή που προκύπτει από την παραπάνω πράξη των δύο φατνίων που βρίσκονταν στην αντίστοιχη θέση με αυτό, το raster αυτό είναι ο κάρναβος χερσαίας ροής.

Κάρναβος ταχύτητας ροής υδρογραφικού δικτύου

Προκύπτει συναρτήσεως της χερσαίας ταχύτητας ροής λαμβάνοντας υπόψη την ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου (Stream order), αναλυτικότερα πολλαπλασιάζεται η κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου με την αντίστοιχη ταχύτητα ροής. Έγινε χρήση του εργαλείου times στο περιβάλλον του ArcGIS και έτσι προέκυψε ο κάρναβος με τις ταχύτητες ροής του υδρογραφικού δικτύου (channel flow), όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.15 και 3.16:



Σχήμα 3.15: Κάναβος ταχύτητας ροής υδρογραφικού δικτύουπριν την πυρκαγιά(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 3.16: Κάναβος ταχύτητας ροής υδρογραφικού δικτύου μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

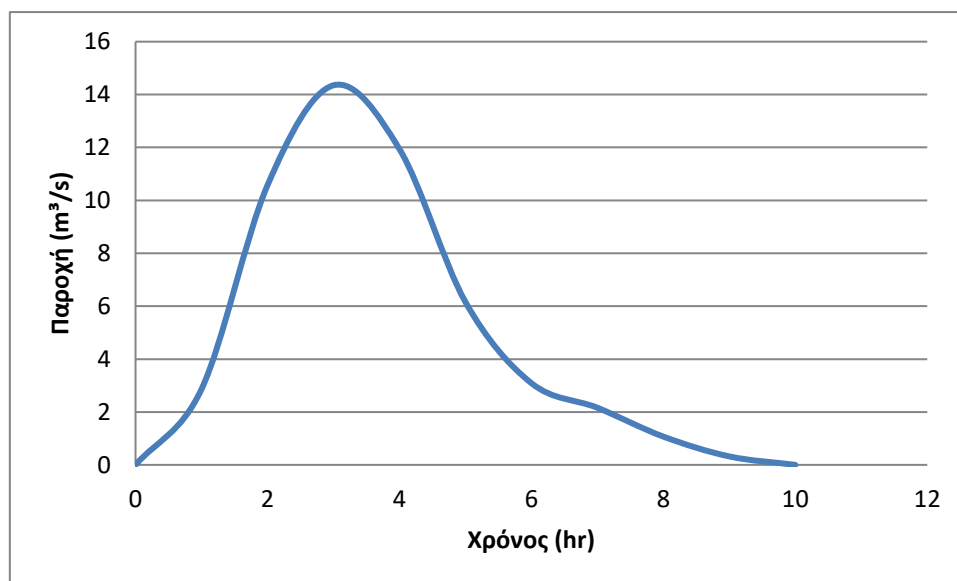
Γίνεται αντιληπτό πως η μέγιστη ταχύτητα του υδρογραφικού δικτύου μετά την πυρκαγιά φτάνει τα 1.92 (m/s) ενώ πριν την πυρκαγιά είναι της τάξης των 1.32 (m/s).

Ισόχρονες καμπύλες

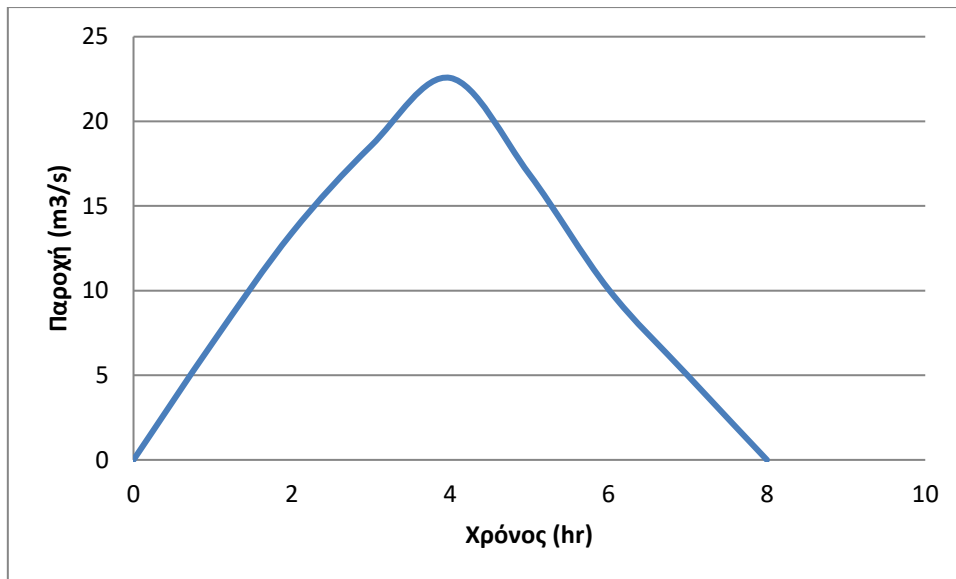
Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι η πρόσθεση των δύο κανάβων της χερσαίας και της υδρογραφικής ροής. Οι δύο αυτοί κανάβοι raster δεν έχουν κοινό τόπο σημείων επομένως η πράξη τους δεν θα γίνει με Raster Calculator αλλά με την εντολή Mosaic to New Raster ώστε να δημιουργηθεί κάναβος των αθροιστικών ταχυτήτων ροής (velocity).

Στη συνέχεια, δημιουργείται ένας κানাβος βαρών που αντιστοιχεί στο αντίστροφο της αθροιστικής ταχύτητας ροής, μέσω του raster calculator, και είναι ένας απο τους δυο παράγοντες διαμόρφωσης των συγκεντρωτικών χρόνων ροής κάθε φατνίου. Συγχρόνως, υπολογίζεται το μήκοςδιαδρομής του κάθε φατνίου μέχρι την έξοδο της λεκάνης λαμβάνοντας υπόψη την κατεύθυνση ροής(flow direction) με χρήση της εντολής flow length, ώστε τελικά να δημιουργηθεί ο κানাβος συγκεντρωτικών χρόνων ροής, δηλαδή του χρόνου που χρειάζεται το κάθε φατνίο μέχρι να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται οι ισόχρονες καμπύλες, οι οποίες αποτυπώνουν το γεωμετρικό τόπο των σημείων που απορρέουν την ίδια χρονική στιγμή από την έξοδο της λεκάνης. Από τον κানাβο που προκύπτει, προσδιορίζεται το ιστόγραμμα χρόνου - επιφάνειας, ανάλογα με το χρονικό βήμα που επιλέγει ο χρήστης, αθροίζοντας τα εμβαδά των επιμέρους τμημάτων μεταξύ των ισόχρονων καμπυλών. Σε περιβάλλον GIS αυτό υλοποιείται μέσω του εργαλείου Reclassify.

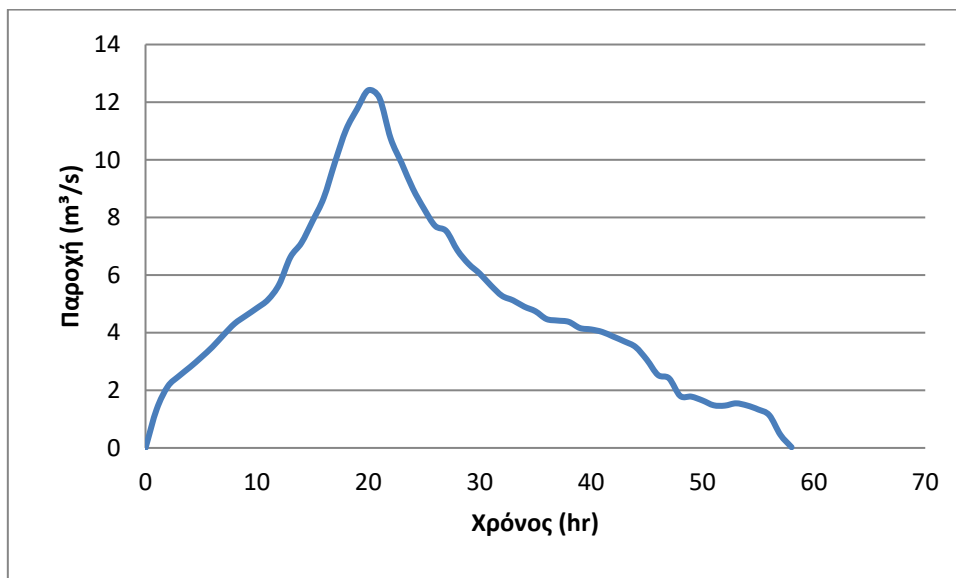
Στη συνέχεια γίνεται εξαγωγή του ιστογράμματος που προκύπτει σε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel. Στα Σχήματα 3.17-3.22 αναπαρίστανται γραφικά οι ισόχρονες καμπύλες των τριων λεκανών τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά.



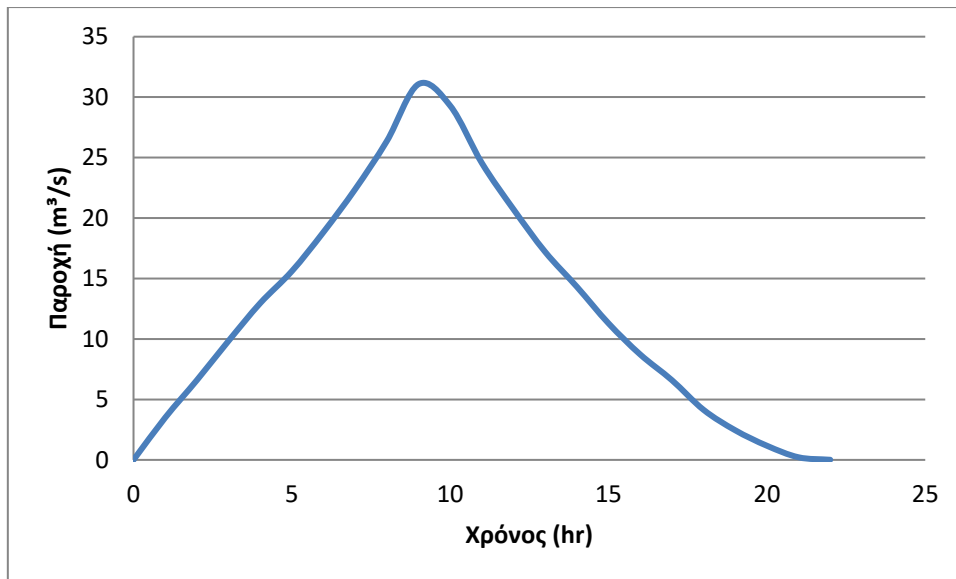
Σχήμα 3.17: Ισόχρονη καμπύλη λεκάνης 1 πριν την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



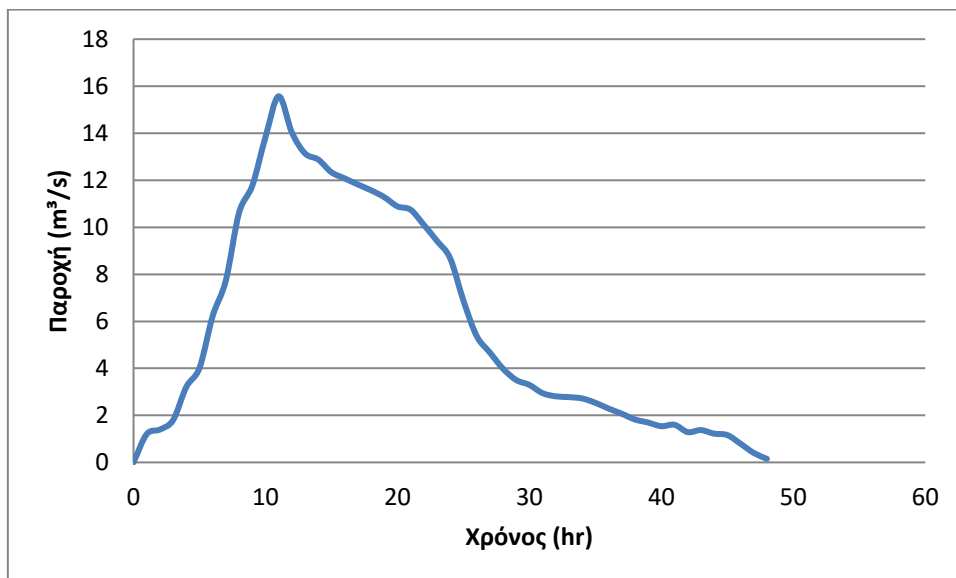
Σχήμα 3.18: Ισόχρονη καμπύλη λεκάνης 1 μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



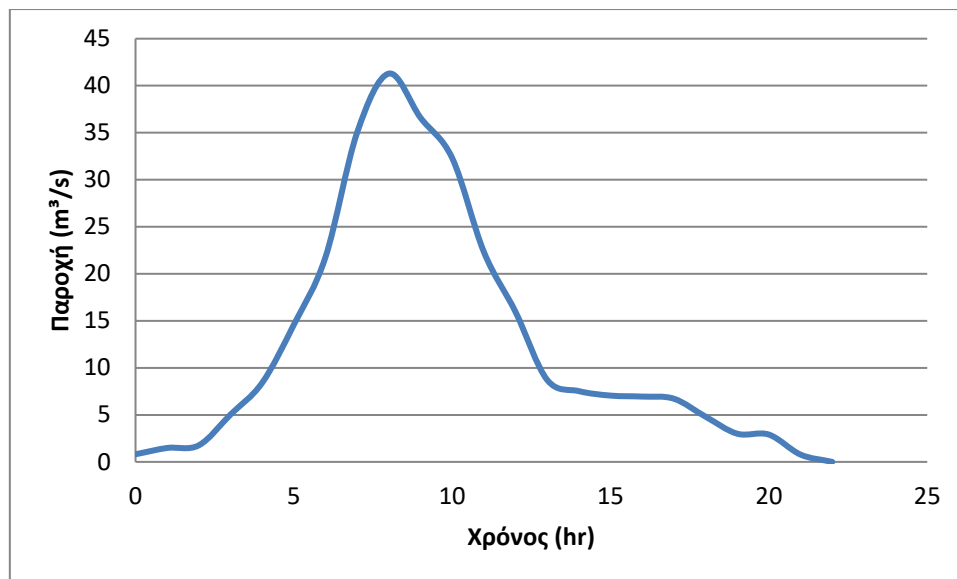
Σχήμα 3.19: Ισόχρονη καμπύλη λεκάνης 2 πριν την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 3.20: Ισόχρονη καμπύλη λεκάνης 2 μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 3.21: Ισόχρονη καμπύλη λεκάνης 3 πριν την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 3.22: Ισόχρονη καμπύλη λεκάνης 3 μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

3.2.6 Εκτίμηση υδρολογικών απωλειών με τη μέθοδο SCS CN

Ανάλογα με τη χρονική κλίμακα εξέτασης ενός γεγονότος εκφράζονται οι απώλειες βροχής στον υδρολογικό κύκλο. Για παράδειγμα, οι απώλειες βροχής (διαφορά όγκου κατακρημνισμάτων και όγκου απορροής) κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους οφείλονται κατά κύριο λόγο στην εξατμισοδιαπνοή των φυτών, σε περίπτωση όμως εξέτασης γεγονότων μικρής χρονικής κλίμακας οι απώλειες αυτές θεωρούνται αμελητέες. Βασικοί λοιπόν παράγοντες σε αυτού του τύπου επεισόδια είναι οι κοιλότητες του εδάφους που κατακρατούν τον όγκο του νερού αλλά και του όγκου που διηθείται.

Η μέθοδος της SCS αποτελεί ένα ρεαλιστικό πρότυπο για τον υπολογισμό των απωλειών της βροχόπτωσης. Η μοναδική παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί είναι ο αριθμός CN ο οποίος είναι συνάρτηση του τύπου εδάφους, των χρήσεων γης και της περατότητας του εδάφους.

Η μέθοδος της Αμερικάνικη υπηρεσία τέως Soil Conservation Service (SCS) και νυν Natural Resources Conservation Service (NRCS) σχετικά με τον υπολογισμό των απωλειών της βροχόπτωσης έχει υιοθετηθεί από το ΥΟΠΕΝ και πρέπει υποχρεωτικά να συμπεριλαμβάνεται στις Προδιαγραφές Μελετών. Κατά τη διαδικασία αυτή τελικά προσδιορίζεται μια παράμετρος, ο αριθμός καμπύλης απορροής CN (curve number). Κατά τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογίζεται το ύψος του περισσεύματος βροχής από τρεις μεταβλητές: το ύψος βροχής, τα αρχικά ελλείμματα και το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους – φυτοκάλυψης που εκφράζεται από τον CN.” (ΥΠΕΝ).

Η μέθοδος που υπολογίζει το ενεργό ύψος βροχής δίνεται από τις Εξισώσεις 3.17 και 3.18 (Μιμίκου και Μπαλτάς 2003):

$$h_e = 0, \quad h \leq h_{a0} \quad (3.17)$$

$$h_e = \frac{(h - 0.2 \cdot S)^2}{h + 0.8 \cdot S}, \quad h > h_{a0} \quad (3.18)$$

Όπου :

- h_e το ενεργό ύψος βροχής (mm)
- h το ολικό ύψος βροχής (mm)
- h_{a0} το ύψος του αρχικού ελλείματος [mm] h_e
- S η μέγιστη δυνητική κατακράτηση του εδάφους (mm)

Η μέγιστη δυνητική κατακράτηση του εδάφους δίνεται από την Εξίσωση 3.19:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (3.19)$$

Ο αριθμός καμπύλης απορροής CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, η φυσική ερμηνεία του οποίου είναι 100 για πλήρη μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή και 0 για την απόλυτη κατακράτησή της. Για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμού του αδιάστατου αυτού αριθμού πρέπει να είναι γνωστή η μέση κατάσταση υγρασίας των υπο μελέτη εδαφών, στον Πίνακα 3.11 αναγράφονται οι διαφορετικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Πίνακας 3.11: Τύποι συνθηκών εδαφικής υγρασίας (Πηγή: Μαμάσης, 2014, ίδια επεξεργασία)

Τύπος I	Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά, αλλά πάνω από το σημείο μαρασμού*). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερη από 13 mm (ή 35 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
Τύπος II	Μέσες συνθήκες. Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεταξύ 13 και 35 mm (ή μεταξύ 35 και 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
Τύπος III	Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεγαλύτερη από 37mm (ή μεγαλύτερη από 53 mm για περιοχή με 81 φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Με σκοπό το μεγαλύτερο εύρος αποτελεσμάτων σε αυτήν τη μελέτη οι υπολογισμοί έγιναν για όλες τις λεκάνες πριν και μετά την πυρκαγιά σε όλες τις υγρασιακές καταστάσεις.

Η μέθοδος πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS όπου και έγινε κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών των λεκανών στις εδαφικές υδρολογικές ομάδες (ABCD). Τα εδάφη αντιστοιχίζονται στις ομάδες ανάλογα με το ρυθμό διήθησης του νερού σε αυτά όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.12.

Πίνακας 3.12: Τύποι εδαφών (Πηγή: μπαλτας αντιπλημμυρικός σχεδιασμός, ίδια επεξεργασία)

Ομάδα Α	Εδάφη με μεγάλη τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Βαθιά αμμώδη, βαθιά πηλώδη , συσσωματούμενα ιλυώδη.
Ομάδα Β	Εδάφη με μέτρια τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Ρηχά πηλώδη, πηλοαμμώδη.
Ομάδα Γ	Εδάφη με μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Αργιλοπηλώδη, ρηχά αμμοπηλώδη , εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, εδάφη πλούσια σε άργιλο
Ομάδα Δ	Εδάφη με πολύ μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα Εδάφη τα οποία διογκώνονται όταν υγραίνονται, έχουν δηλαδή υψηλή περιεκτικότητα σε μοντμοριλονιτική άργιλο και ορισμένα αλατούχα εδάφη.

Σε περιβάλλον GIS ανάλογα με τον συνδυασμό Χρήσης Γης και υδρολογικό τύπο εδάφους προκύπτει ένας χάρτης του CN σύμφωνα βέβαια με τον Πίνακα 3.13.

Πίνακας 3.13: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής , CN , σε σχέση με την κατηγοριοποίηση των εδαφών και την φυτοκάλυψη (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2019)

Κωδικός CORINE	Κωδικός SC	Περιγραφή	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
			A	B	C	D
111	720	Συνεχής αστική οικοδόμηση	69	80	87	90
112	770	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	66	77	83	86
121	100	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	85	90	93	94
122	100	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	87	92	94	95
123	100	Ζώνες λιμένων	85	90	93	94
124	100	Αεροδρόμια	85	90	93	94
131	200	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	69	80	87	90
133	200	Χώροι οικοδόμησης	69	80	87	90
141	630	Περιοχές αστικού πράσινου	44	65	62	82
142	200	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	50	70	80	85
211	320	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	67	76	83	86
212	330	Μόνιμα αρδευόμενη γη	67	76	83	86
213	100	Οριζώνες	59	72	81	85
221	310	Αμπελώνες	63	72	79	82
222	500	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	44	66	77	83
223	500	Ελαιώνες	49	59	72	82
231	400	Λιβάδια	54	70	80	85
241	500	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	67	76	83	86
242	320	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	67	76	83	86
243	320	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	67	76	83	86
311	665	Δάσος πλατυφύλλων	35	61	74	80
312	665	Δάσος κωνοφόρων	35	61	74	80
313	665	Μικτό δάσος	35	61	74	80
321	400	Φυσικοί βοσκότοποι	49	69	79	84
322	400	Θάμνοι και χερσότοποι	42	62	74	80
323	400	Σκληροφυλλική βλάστηση	42	62	74	80
324	630	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	42	62	74	80
331	200	Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές	42	62	74	80
332	200	Απογυμνωμένοι βράχοι	76	86	90	92
333	200	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	42	62	74	80
411	100	Βάλτοι στην ενδοχώρα	95	95	95	95
421	100	Παραθαλάσσιοι βάλτοι	95	95	95	95
422	100	Αλυκές	95	95	95	95
511	100	Ροές υδάτων	100	100	100	100
512	100	Συλλογές υδάτων	100	100	100	100
521	100	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	100	100	100	100
523	100	Θάλασσα και ωκεανός	100	100	100	100

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η Εξίσωση 3.20:

$$CN_{II} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A} \cdot CN_i \right) \quad (3.20)$$

Όπου

- CN_{II} ο αριθμός CN για υγρασία τύπου II
- A_i η έκταση της υποπεριοχής i
- A η έκταση της συνολικής λεκάνης απορροής
- CN_i ο αριθμός καμπύλης απορροής της υποπεριοχής i

Αντίστοιχα ο υπολογισμός του CN για ακόρεστο (ξηρό), τύπου I, ή πλήρως κορεσμένου, τύπου III, εδάφους γίνεται με τις παρακάτω Εξισώσεις 3.21 και 3.22:

$$CN_I = \frac{0.42 \cdot CN_{II}}{1 - 0.0058 \cdot CN_{II}} \quad (3.21)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 \cdot CN_{II}}{1 + 0.013 \cdot CN_{II}} \quad (3.22)$$

Στους Πίνακες 3.14-3.16 βρίσκεται ο αριθμόςκαμπύλης απορροής CN για τις τρεις λεκάνες απορροής τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά για τις διάφορες συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Πίνακας 3.14: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN στη λεκάνη 1 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

ΛΕΚΑΝΗ 1	Πριν την πυρκαγιά	Μετά την πυρκαγιά
Τύπος I	47	70
Τύπος II	68	85
Τύπος III	83	93

Πίνακας 3.15: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN στη λεκάνη 2 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

ΛΕΚΑΝΗ 2	Πριν την πυρκαγιά	Μετά την πυρκαγιά
Τύπος I	47	70
Τύπος II	68	85
Τύπος III	83	93

Πίνακας 3.16: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN στη λεκάνη 3 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

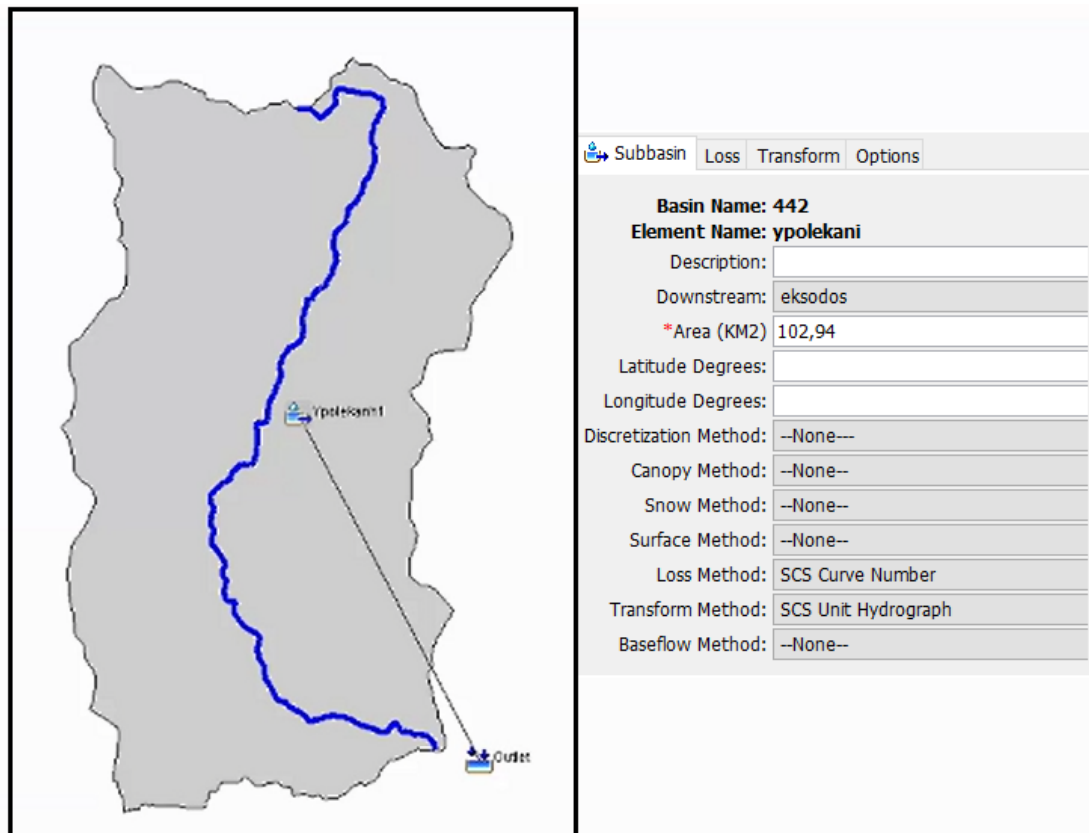
ΛΕΚΑΝΗ 3	Πριν την πυρκαγιά	Μετά την πυρκαγιά
Τύπος I	40	63
Τύπος II	61	80
Τύπος III	78	90

3.2.7 Υπολογισμός πλημμυρογραφήματος σε περιβάλλον HEC-HMS

Μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model)

Καταρχάς το πρώτο βήμα στο HEC-HMS είναι ορισμός της λεκάνης απορροής (Subbasin Creation Tool) και η έξοδος της με την εντολή Sink creation tool. Απαραίτητα για τη συνέχεια είναι ο προσδιορισμός τόσο του μοντέλου απωλειών της βροχής (loss method) όσο και της επιφανειακής απορροής (transform method) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.23. Σαν πρότυπο απωλειών επιλέχτηκε η μέθοδος SCS CN, ενώ για τον υπολογισμό της άμεσης απορροής χρησιμοποιήθηκαν τα ΜΥΓ κατά Snyder, τα

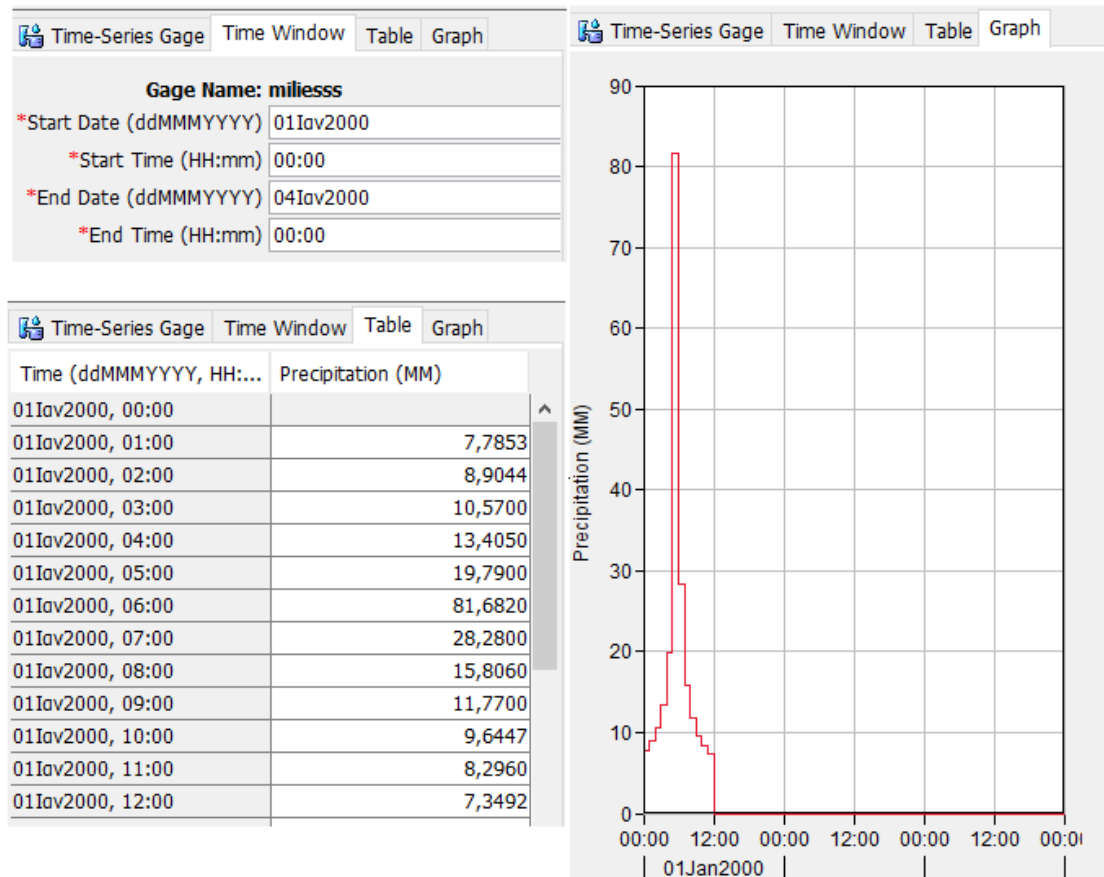
ΜΥΓ κατά SCS, τα ΜΥΓ ορισμένα από τον χρήστη δηλαδή αυτά που προέκυψαν από τις ισόχρονες καμπύλες.



Σχήμα 3.23: Μοντέλο λεκάνης απορροής στο περιβάλλον HEC-HMS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Χρονοσειρά (Timeseriesdata)

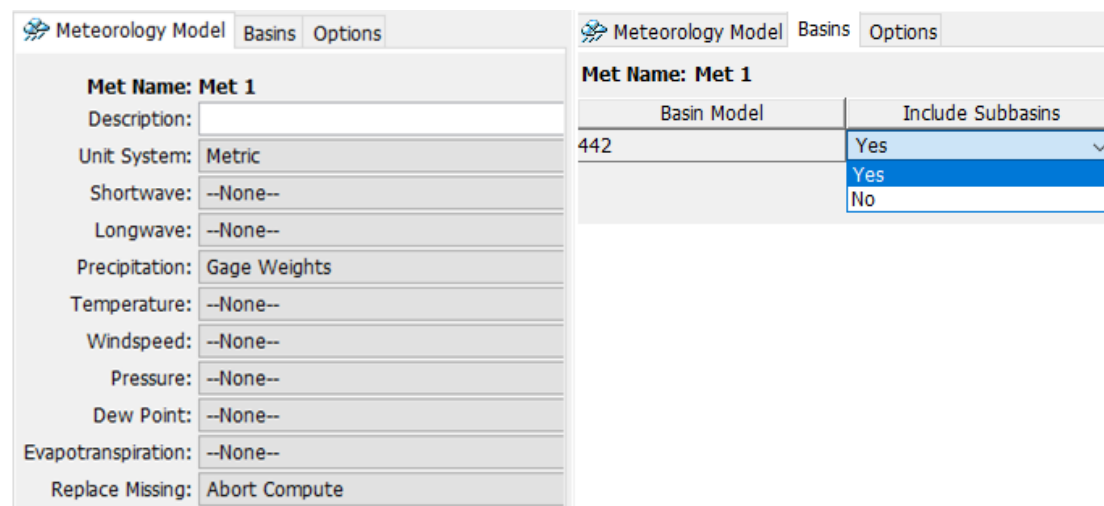
Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των recirculation gages και έπειτα ορίστηκε η χρονική διάρκεια που το μοντέλο θα κάνει τους υπολογισμούς. Για την ολοκληρωμένη εποπτεία του θέματος σαν χρονική διάρκεια ορίστηκε οίτρεις μέρες. Ακόμη τοποθετήθηκε στο πρόγραμμα η κατακρήμνιση, δηλαδή τα υετογραφήματα που υπολογίστηκαν από τη διαδικασία των εναλασσόμενων μπλοκ. Οι παραπάνω διαδικασίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.24.



Σχήμα 3.24: Εισαγωγή δεδομένων σε περιβάλλον HEC-HMS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

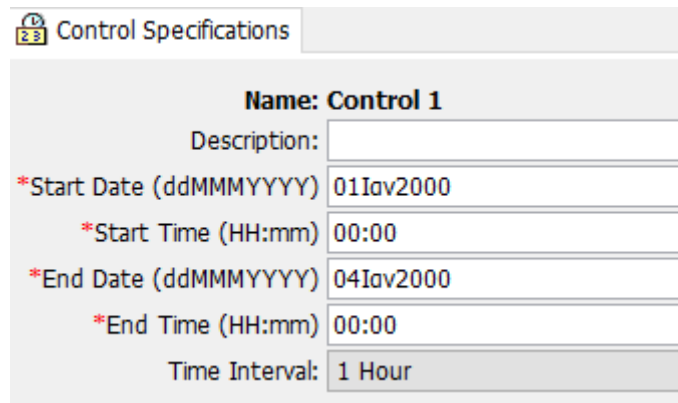
Μετεωρολογικό μοντέλο (meteorologic)

Στο βήμα αυτό πραγματοποιείται η εισαγωγή της μετεωρολογικής πληροφορίας όπου περιλαμβάνεται κυρίως η βροχόπτωση, σε συγκεκριμένες όμως περιπτώσεις ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συμπεριλαμβάνει τα φαινόμενα της εξατμισοδιαπνοής ή και του χιονιού. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.25, το μοντέλο εκτελέστηκε με τη διαδικασία των βροχογράφων με βάρη (gage weight) ώστε να γίνει η σύνδεση με τα δεδομένα από την χρονοσειρά.



Σχήμα 3.25: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου σε περιβάλλον HEC-HMS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)**Υλοποίηση προσομοίωσης (Control specifications manager)**

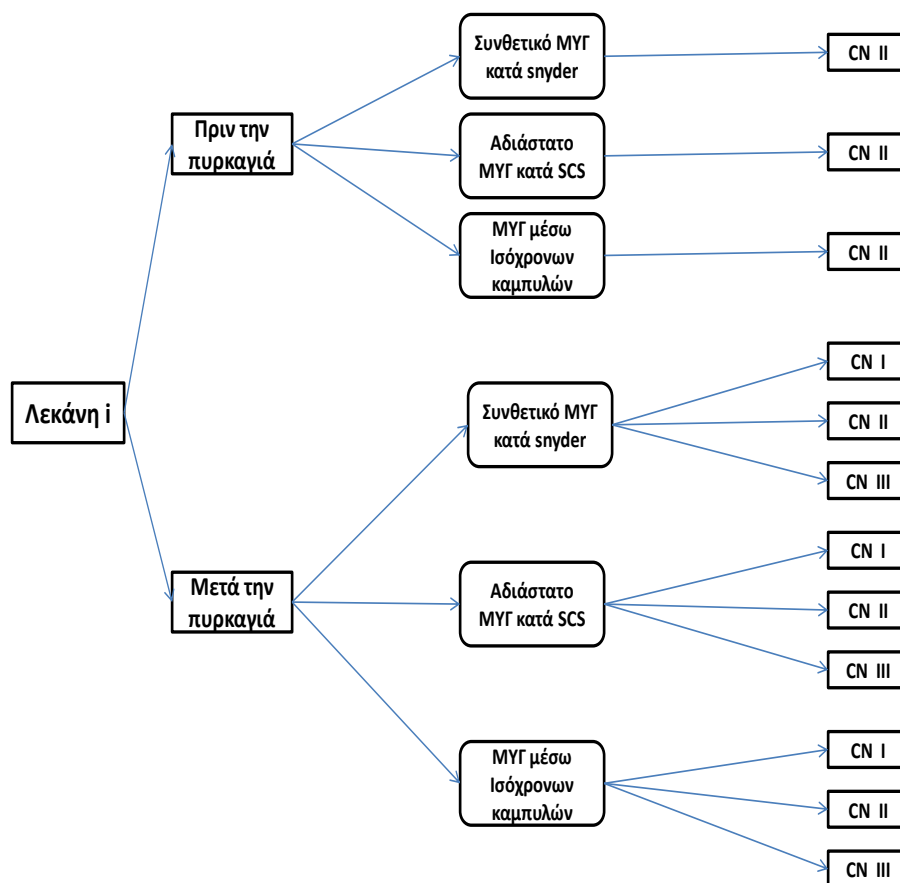
Πραγματοποιείται μέσω της εντολής compute όπου και επιλέγονται οι κατάλληλοι συνδυασμοί δεδομένων από την οποία προκύπτουν τα προς εξέταση αποτελέσματα σύμφωνα με το Σχήμα 3.26. Στο στάδιο αυτό παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα και ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα σημαντικότερα στοιχεία αυτού και της βροχόπτωσης.



Name: Control 1	
Description:	
*Start Date (ddMMMYYYY)	01Jan2000
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMMYYYY)	04Jan2000
*End Time (HH:mm)	00:00
Time Interval:	1 Hour

Σχήμα 3.26: Ορισμός χρονικού ορίου πλημμυρογραφήματος σε περιβάλλον HEC-HMS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Παρακάτω στο Σχήμα 3.27 φαίνονται τα διαφορετικά σενάρια που εκτελέστηκαν σε καθεμία από τις τρεις λεκάνες ξεχωριστά τόσο πριν όσο και μετά από την πυρκαγιά με σκοπό να προκύψει το πλημμυρογράφημα, ανάλογα πάντα με το είδος του ΜΥΓ που χρησιμοποιήθηκε και τον CN για τους τρεις διαφορετικούς τύπους υγρασίας.

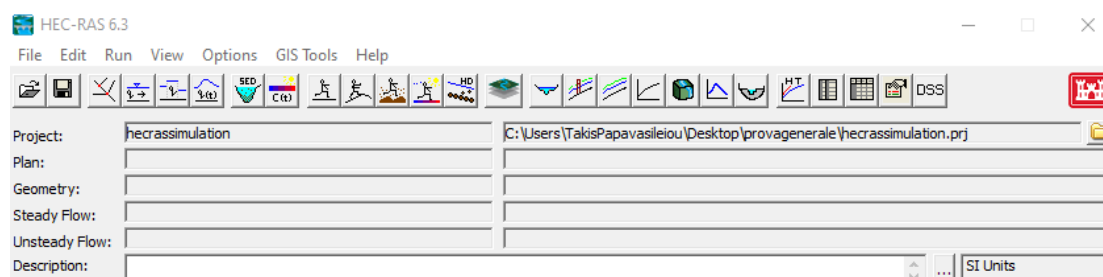


Σχήμα 3.27: Σενάρια υπολογισμού πλημμυρογραφημάτων για την κάθε λεκάνη κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

3.3 Υδραυλική προσομοίωση σε περιβάλλον HEC-RAS

Στο HEC-RAS πραγματοποιείται η δυσδιάστατη υδραυλική προσομοίωση, μια αναπαράσταση της πραγματικότητας, για τις περιοχές που βρίσκονται στις εξόδους των λεκανών οι οποίες θα πληγούν από το πλημμυρικό επεισόδιο. Συγκεκριμένα, γίνεται ο προσδιορισμός της έκτασης της πλημμύρας και ο υπολογισμός των μεγίστων βαθών και μεγίστων ταχυτήτων ροής. Το πρόγραμμα αυτό προέρχεται από το Σώμα Μηχανικών του Αμερικάνικου Στρατού (USACE). Είναι ένα λογισμικό ελεύθερης πρόσβασης σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο που καθίσταται εφικτή η υδραυλική ανάλυση ποταμών σε μόνιμες και μη συνθήκες. Για την εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης αξιοποιούνται τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης για τις υγρές και τις κανονικές συνθήκες υγρασίας. Ακόμη, απαραίτητα είναι τα αρχεία της λεκάνης απορροής αλλά και οι χρήσεις γης από τις οποίες γίνονται γνωστές οι τιμές του συντελεστή Manning.

Αρχικά δημιουργείται μια καινούργια μελέτη (project), και ύστερα γίνεται η εισαγωγή δεδομένων που είναι διαθέσιμα από το ArcGIS σύμφωνα με το Σχήμα 3.28.



Σχήμα 3.28: Δημιουργία project στην επιφάνεια εργασίας του HEC-RAS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

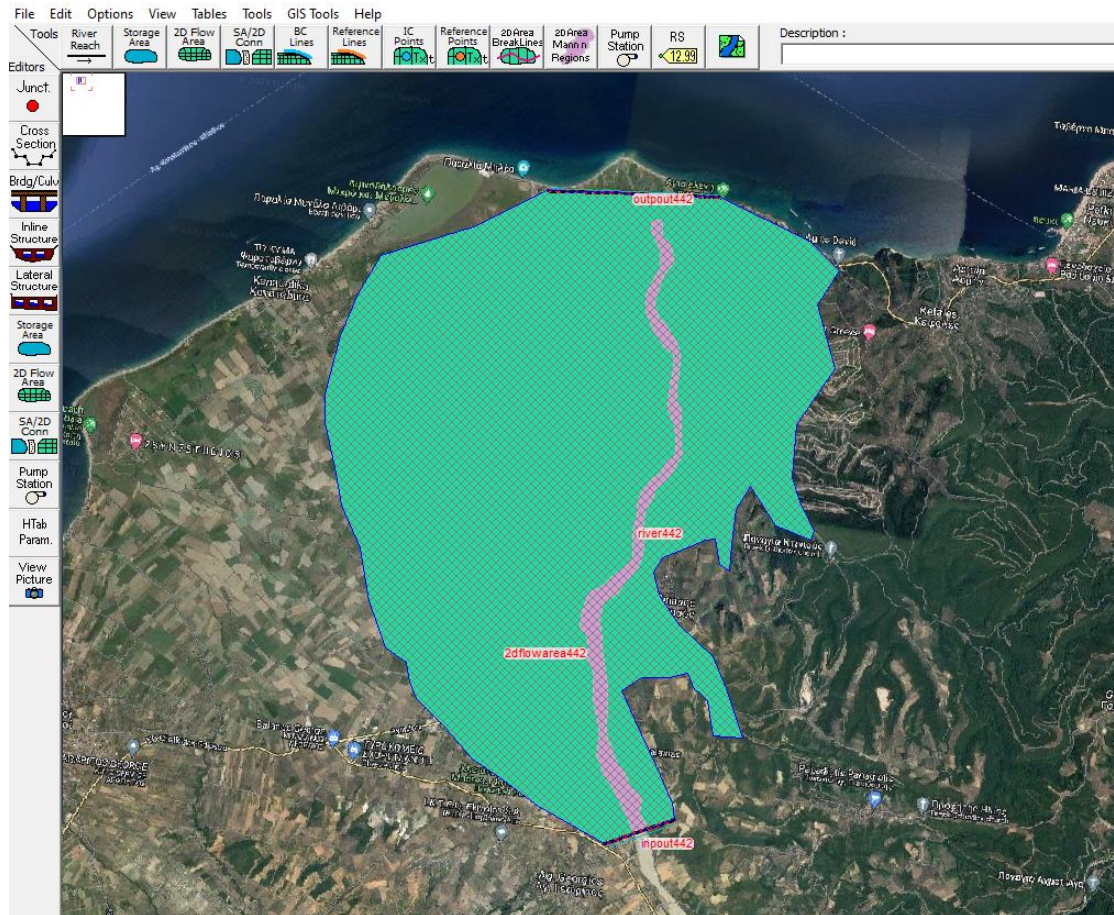
Στο RAS-Mapper φορτώνονται το ΨΜΕ της ευρύτερης περιοχής μελέτης, το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης και οικατηγορίες χρήσεων γης σύμφωνα με το CLC 2018. Το τελευταίο είναι απαραίτητο ώστε να προστεθεί ακόμα ένα πεδίο στο οποίο θα γίνεται η απόδοση των τιμών Manning ανάλογα με τον κωδικό χρήσης γης. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η διαφοροποίηση τμημάτων του εδάφους σύμφωνα με την τραχύτητα. Η αντιστοίχιση μεταξύ τιμών Corine και Manning γίνεται με βάση τον Πίνακα 3.17. Έπειτα, παράγεται ένα αρχείο γεωμετρίας στον Geometric Data Editor για κάθε σημείο προσομοίωσης κατάντη της οποίας πραγματοποιείται η υδραυλική προσομοίωση. Σκοπός εδώ είναι η δημιουργία μια περιοχής (2D Flow Area) από το σημείο προσομοίωσης και κάτω. Κατά τον σχεδιασμό της περιοχής μελέτης δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο να μην συμπεριληφθούν βουνά στο εσωτερικό της και τόσο η αρχή όσο και το τέλος της να τέμνονται κάθετα πάνω στο υδατόρεμα. Ακόμη, με παρόμοιο τρόπο σχεδιάζεται το ποτάμι διαμέσω του οποίου θα διέλθει η πλημμυρα και του δίνεται συγκεκριμένη τιμή Manning ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς. Στην συγκεκριμένη εργασία η τιμή αυτή είναι 0.015. Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση των οριακών συνθηκών (Boundary Condition Location) στην είσοδο (inflow) και έξοδο (outlet) της περιοχής μελέτης, με αυτόν τον τρόπο είναι φανερές οι θέσεις ανάντη και κατάντη της περιοχής στην οποία θα πραγματοποιηθεί η υδραυλική προσομοίωση. Οι γραμμές αυτές (Boundary lines) είναι εφαπτομένες στην αρχή και στο τέλος της περιοχής και για συνθήκες μη μόνιμης ροής χρησιμοποιήθηκε το υδρογράφημα παροχής (Flow Hydrograph) στα ανάντη σε αντίθεση με τα κατάντη που εισήχθη το ομοιόμορφο βάθος. Δηλαδή για την ανάντη οριακή συνθήκη έγινε εισαγωγή του δυσμενέστερου πλημμυρογραφήματος της κάθε λεκάνης που προέκυψε από το λογισμικό HEC-HMS από τις τρεις μεθόδους βροχής απορροής (συνθετικό μοναδιαίουδρογράφημα κατά Snyder, αδιάστατο μοναδιαίουδρογράφημα κατά SCS και μοναδιαίουδρογράφημα μέσω Ισόχρονων Καμπυλών) για τις εξής περιπτώσεις:

- πριν την πυρκαγιά στην υγρασιακή κατάσταση II
- μετά την πυρκαγιά στην υγρασιακή κατάσταση II
- μετά την πυρκαγιά στην υγρασιακή κατάσταση III

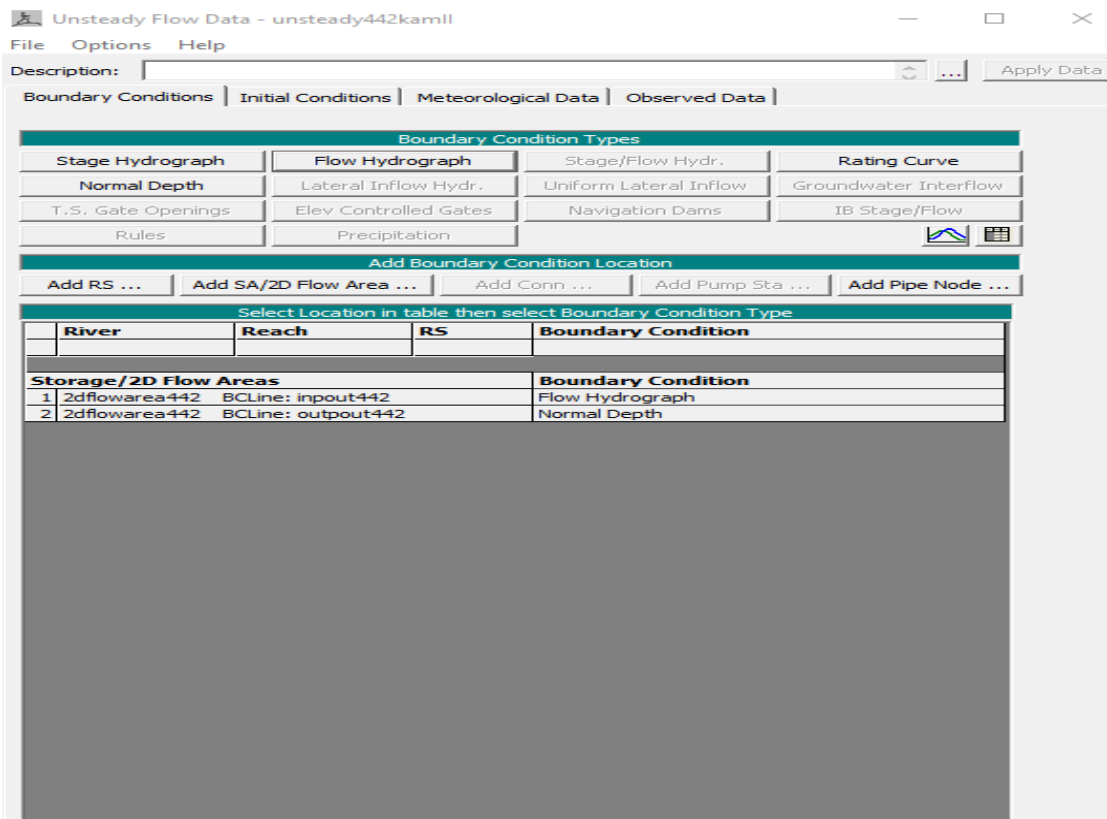
Σε κάθε περίπτωση τα πλημμυρογραφήματα που χρησιμοποιήθηκαν ως ανάντη οριακές συνθήκες στο HEC-RAS προήλθαν από τη μέθοδο των Ισόχρονων καμπυλών καθώς σε αυτή παρατηρούνται οι μεγαλύτερες παροχές αιχμής. Όλη η παραπάνω μεθοδολογία αποτυπώνεται στα Σχήματα 3.29, 3.30 και 3.31

Πίνακας 3.17: Τιμές συντελεστή n Manning για τις διαφορετικές χρήσεις γης κατά Corine (Πηγή: Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου Μπαλτάς Μπουρνάς)

3ο Επίπεδο	Manning n
1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός	0.013
1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός	
1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	0.013
1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	
1.2.3 Ζώνες λιμένων	
1.2.4 Αεροδρόμια	0.013
1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών	
1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	
1.3.3 Χώροι οικοδόμησης	
1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου	0.025
1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	
2.1.1 Μη αρδευόμενη αρδύσιμη γη	0.03
2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη	
2.1.3 Ορυζώνες	
2.2.1 Αμπελώνες	0.08
2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	
2.2.3 Ελαιώνες	
2.3.1 Λιβάδια	
2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	0.04
2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες	0.04
2.4.3 Γη που ρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	0.05
2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές	0.06
3.1.1 Δάσος πλατόφυλλων	0.1
3.1.2 Δάσος κωνοφόρων	
3.1.3 Μικτό δάσος	
3.2.1 Φυσικοί Βοσκότοποι	0.04
3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι	0.05
3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση	0.05
3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0.06
3.3.1 Παραλίες, αμμόλογοι, αμμουδιές	0.025
3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι	0.035
3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.027
3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις	0.025
3.3.5 Παγετώνες και αέριο χιόνι	0.01
4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα	0.04
4.1.2 Τυρφώνες	
4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι	0.04
4.2.2 Αλυκές	
4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα	
5.1.1 Υδατορεύματα	0.05
5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	
5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	0.07
5.2.2 Εκβολές ποταμών	
5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί	



Σχήμα 3.29: Γεωμετρία περιοχής μέσω του GeometryDataEditor σε περιβάλλον HEC-RAS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 3.30: Συνοριακές συνθήκες στο περιβάλλον UnsteadyFlowData του HECRAS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Flow Hydrograph

2D: 2dflowarea442.BCLine: inpout442

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 01JAN2000 Time: 0000

Fixed Start Time: Date: 01JAN2000 Time: 00:00

No. Ordinates

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	31Dec1999 2400	0:00:00	0
2	01Jan2000 0100	1:00:00	0
3	01Jan2000 0200	2:00:00	0.4
4	01Jan2000 0300	3:00:00	1.3
5	01Jan2000 0400	4:00:00	3.8
6	01Jan2000 0500	5:00:00	9.3
7	01Jan2000 0600	6:00:00	27.7
8	01Jan2000 0700	7:00:00	48
9	01Jan2000 0800	8:00:00	94.9
10	01Jan2000 0900	9:00:00	158
11	01Jan2000 1000	10:00:00	247.9
12	01Jan2000 1100	11:00:00	353.7
13	01Jan2000 1200	12:00:00	492.7
14	01Jan2000 1300	13:00:00	581.6
15	01Jan2000 1400	14:00:00	580.7
16	01Jan2000 1500	15:00:00	547.5
17	01Jan2000 1600	16:00:00	464.5

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

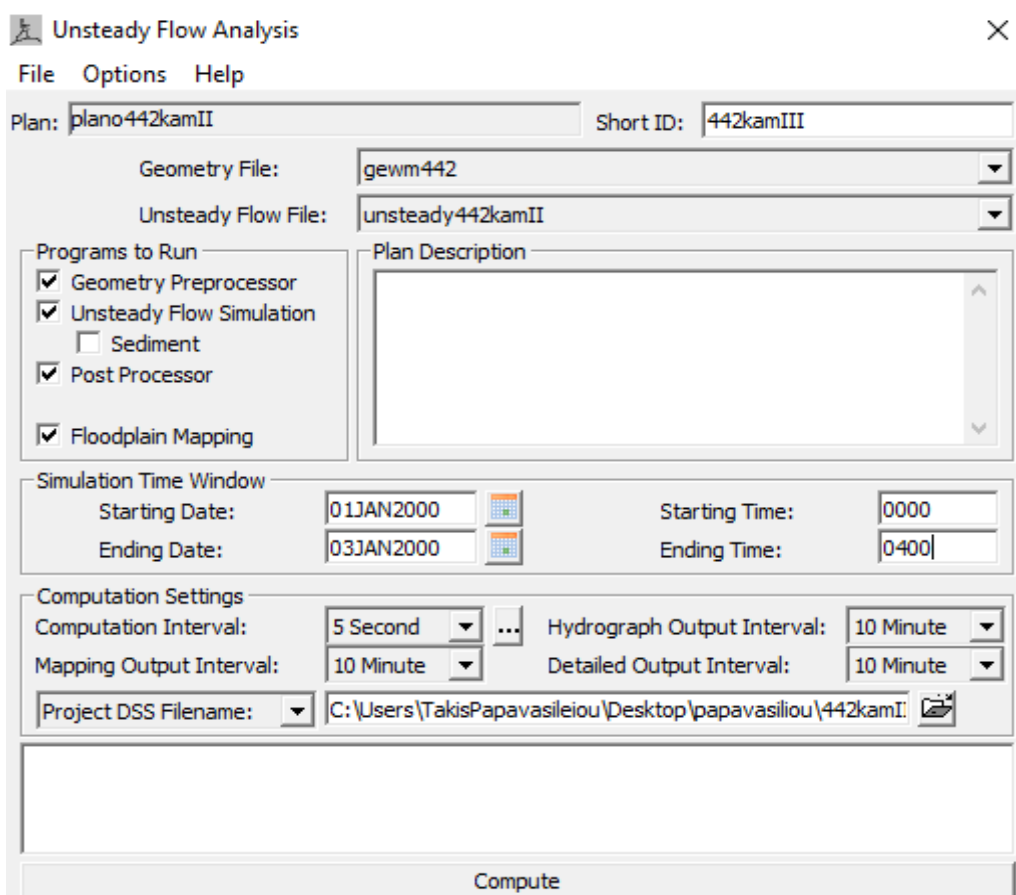
Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.01 TW Check

Σχήμα 3.31: Εισαγωγή πλημμυρογραφήματος ως ανάντη οριακή συνθήκη στο περιβάλλον Unsteady Flow Data Editor του HEC-RAS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Τέλος, σειρά έχει η διεξαγωγή της υδραυλικής προσομοίωσης που γίνεται από την γραμμή εντολών του HEC-RAS και συγκεκριμένα το perform an unsteady simulation. Στο πλάνο (plan) αυτό επιλέγονται το αρχείο γεωμετρίας καθώς και το αρχείο των οριακών συνθηκών μη μόνιμης ροής, σύμφωνα με το Σχήμα 3.32. Επιπλέον, στο βήμα αυτό, γίνεται ο προσδιορισμός της ημερομηνίας και ώρας τόσο της έναρξης όσο και της λήξης της υδραυλικής προσομοίωσης ανάλογα πάντα με αυτές του πλημμυρογραφήματος. Έπειτα ακολουθεί η ο προσδιορισμός της απεικόνισης του πλημμυρικού πεδίου στο χάρτη (Floodplain Mapping) με βάση τα χρονικά βήματα που αποτυπώνονται στον Πίνακα 3.18.

Πίνακας 3.18: Χρονικά βήματα στο HEC-RAS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

χρονικό βήμα υπολογισμών	5 sec
χρονικό βήμα για την εξαγωγή των χαρτογραφημένων αποτελεσμάτων	10 min
χρονικό βήμα εξαγόμενων υδρογραφημάτων	10 min
χρονικό βήμα αποτελεσμάτων	10 min

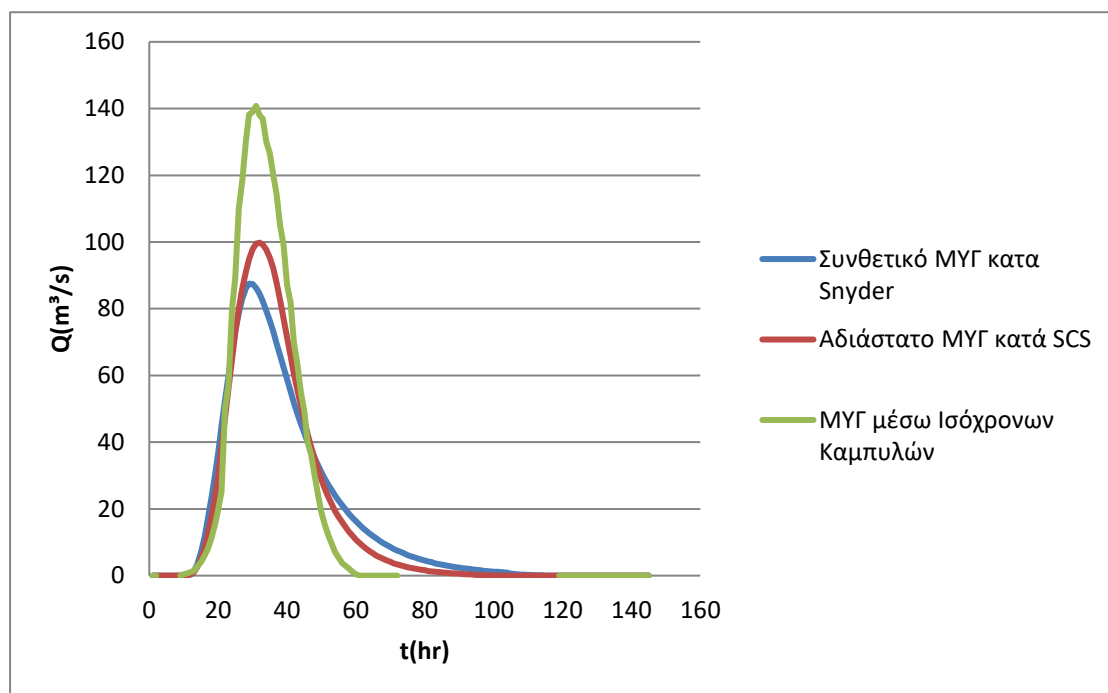
**Σχήμα 3.32: Διεργασίες στο περιβάλλον UnsteadyFlowAnalysisEditor του HEC-RAS (Πηγή: ίδια επεξεργασία)**

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

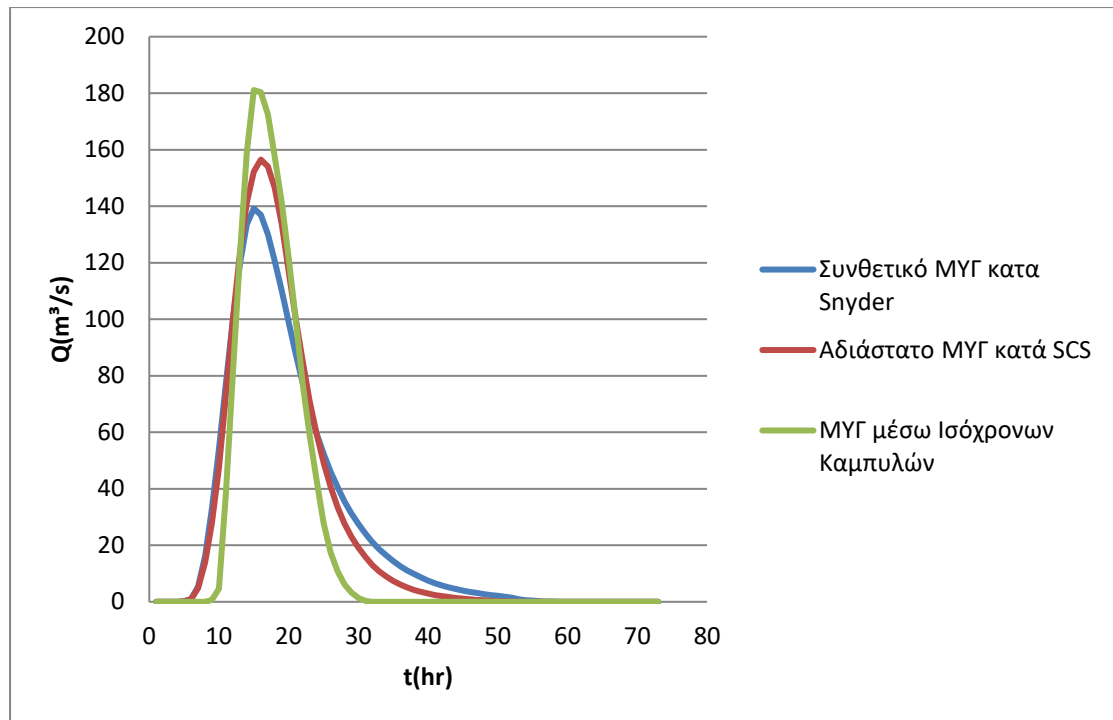
4.1 Υδρολογική ανάλυση

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης που προέκυψαν από το πρόγραμμα HEC-HMS αφού πρώτα έχει προηγηθεί ο προσδιορισμός βασικών δεδομένων όπως τα υετογραφήματα σχεδιασμού, ο αριθμός CN για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας, και τα τρία διαφορετικά ΜΥΓ για κάθε λεκάνη.

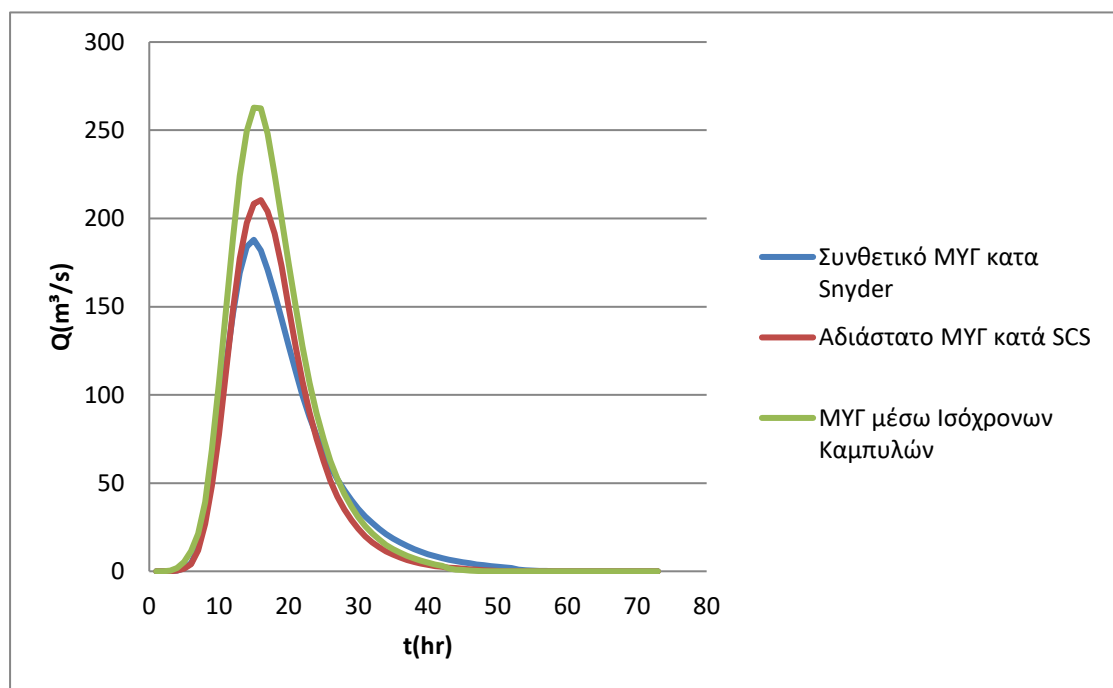
Από τον συνδυασμό διαφορετικών δεδομένων εισαγωγής στο μοντέλο, προέκυψαν 36 διαφορετικά πλημμυρογραφήματα για όλες τις λεκάνες τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται παρακάτω γραφικά στα Σχήματα 4.1-4.14. Αναλυτικότερα, σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται τα πλημμυρογραφήματα για τις τρεις διαφορετικές μεθόδους μοναδιαίων υδρογραφημάτων για τον υπολογισμό της άμεσης απορροής για κάθε λεκάνη, πριν και μετά την φωτιά για διαφορετική συνθήκη υγρασίας εδάφους.



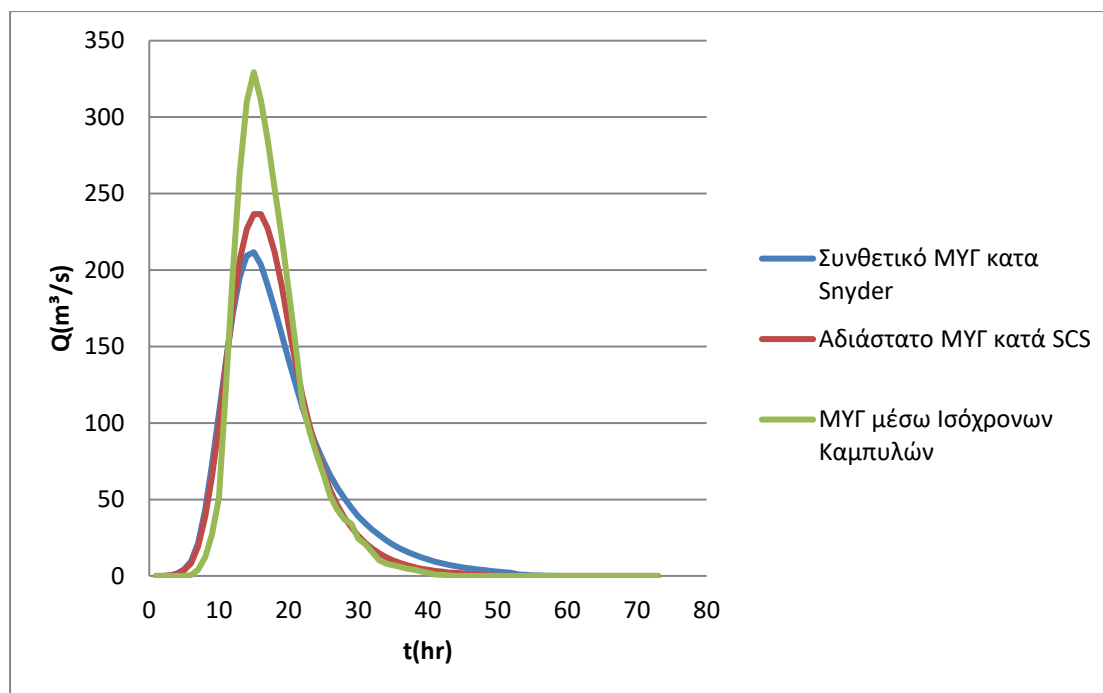
Σχήμα 4.1: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 1 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.2: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 1 μετά την πυρκαγιά για ξηρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

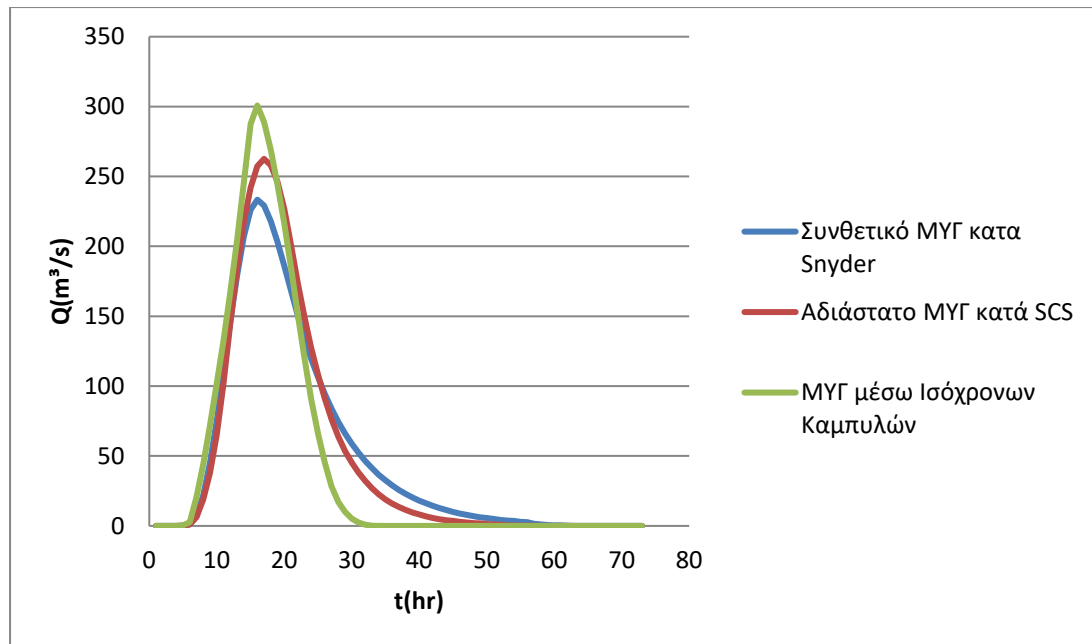


Σχήμα 4.3: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 1 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

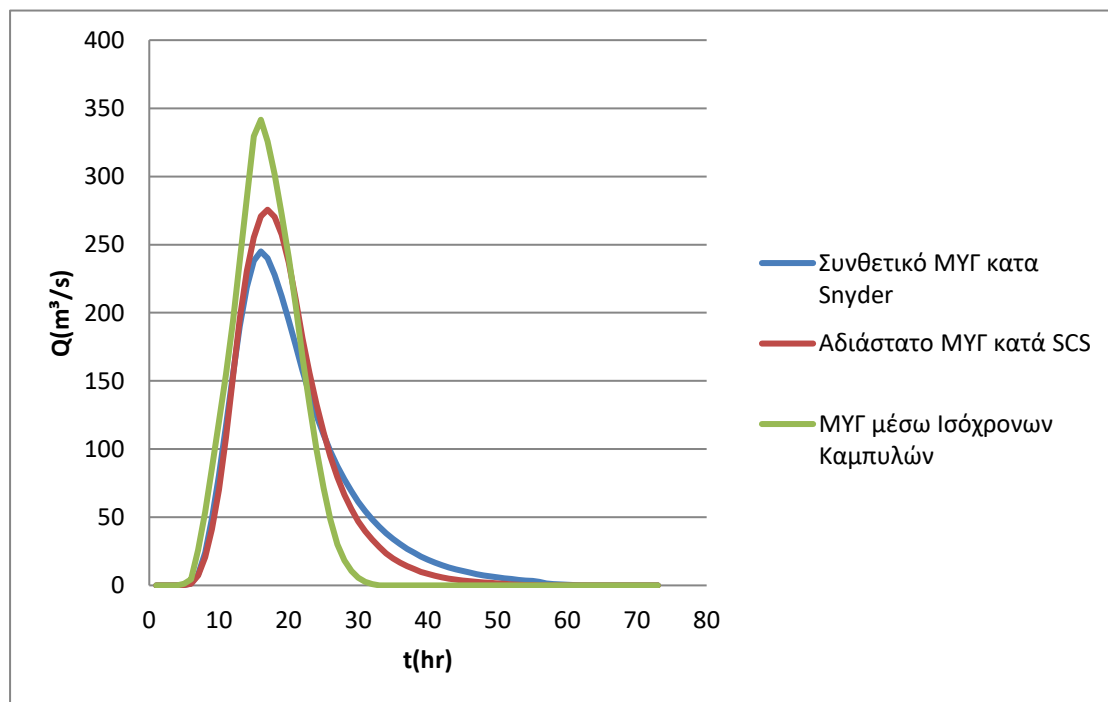


Σχήμα 4.4: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 1 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

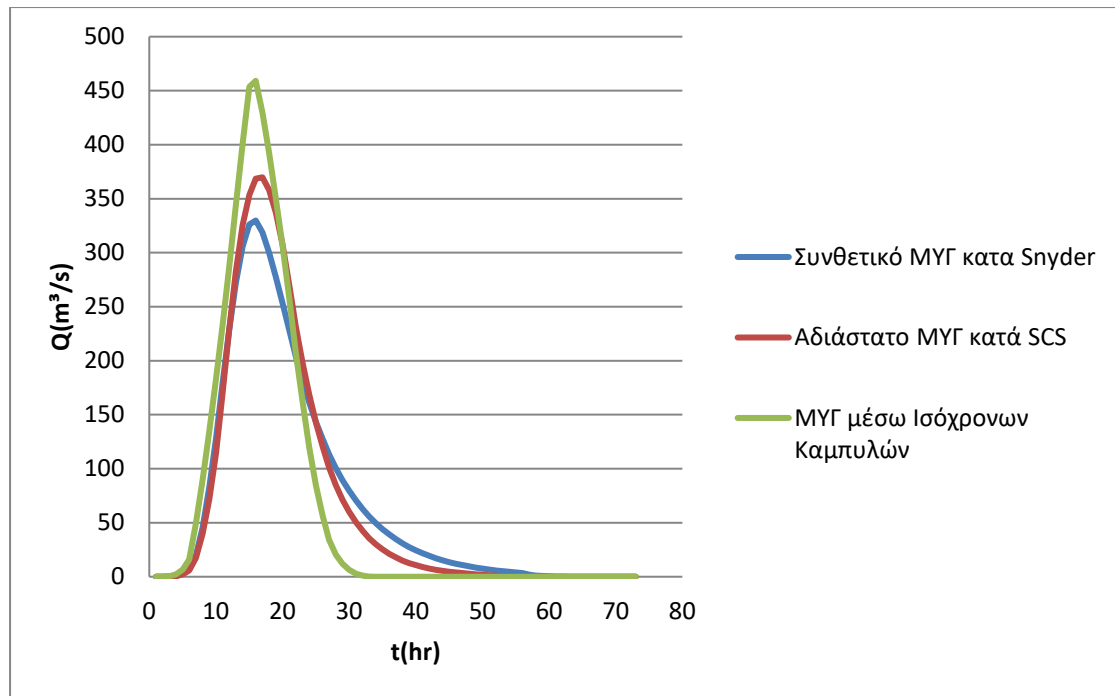
Στην λεκάνη 1 τα πλημμυρογραφήματα που προέκυψαν από τα ΜΥΓ κατά Snyder και κατά SCS παρουσιάζουν ομοιομορφία. Οι παροχές αιχμής από τη μέθοδο SCS είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές της μεθόδου κατά Snyder, από 12% έως 15%, και ο χρόνος που εμφανίζεται η αιχμή είναι παρόμοιος, συγκεκριμένα η παροχή αιχμής εμφανίζεται μια ώρα νωρίτερα στα πλημμυρογραφήματα που προκύπτουν από τη μέθοδο κατά Snyder. Επίσης οι παροχές αιχμής που προκύπτουν από τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών είναι μεγαλύτερες από αυτές της μεθόδου κατά SCS, ειδικότερα μετά την πυρκαγιά για τις μέσες και υγρές συνθήκες υγρασίας είναι μεγαλύτερες κατά 24% και 39% αντίστοιχα συγκριτικά με αυτές της μεθόδου SCS. Επίσης για τα σενάρια που έλαβαν χώρα πριν την πυρκαγιά και μετά την πυρκαγιά για τις ξηρές συνθήκες υγρασίας η παροχή αιχμής είναι μεγαλύτερη κατά $40m^3/s$ και $24.6 m^3/s$ αντίστοιχα από την παροχή αιχμής που προκύπτει από την μέθοδο SCS.



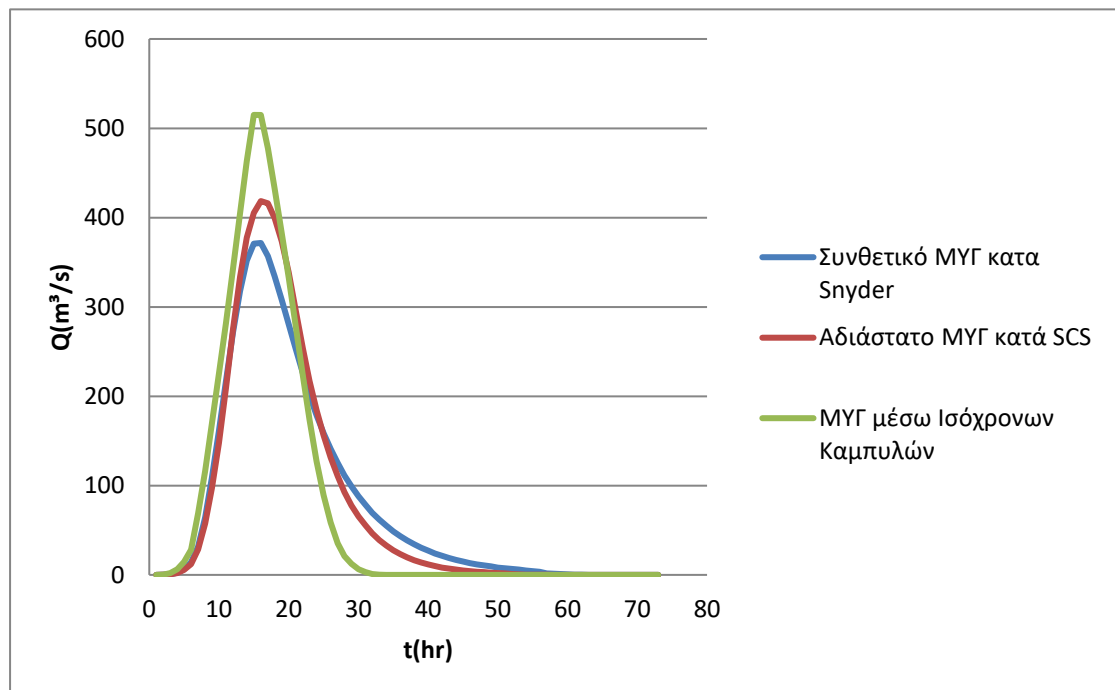
Σχήμα 4.5: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 2 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.6: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 2 μετά την πυρκαγιά για ξηρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



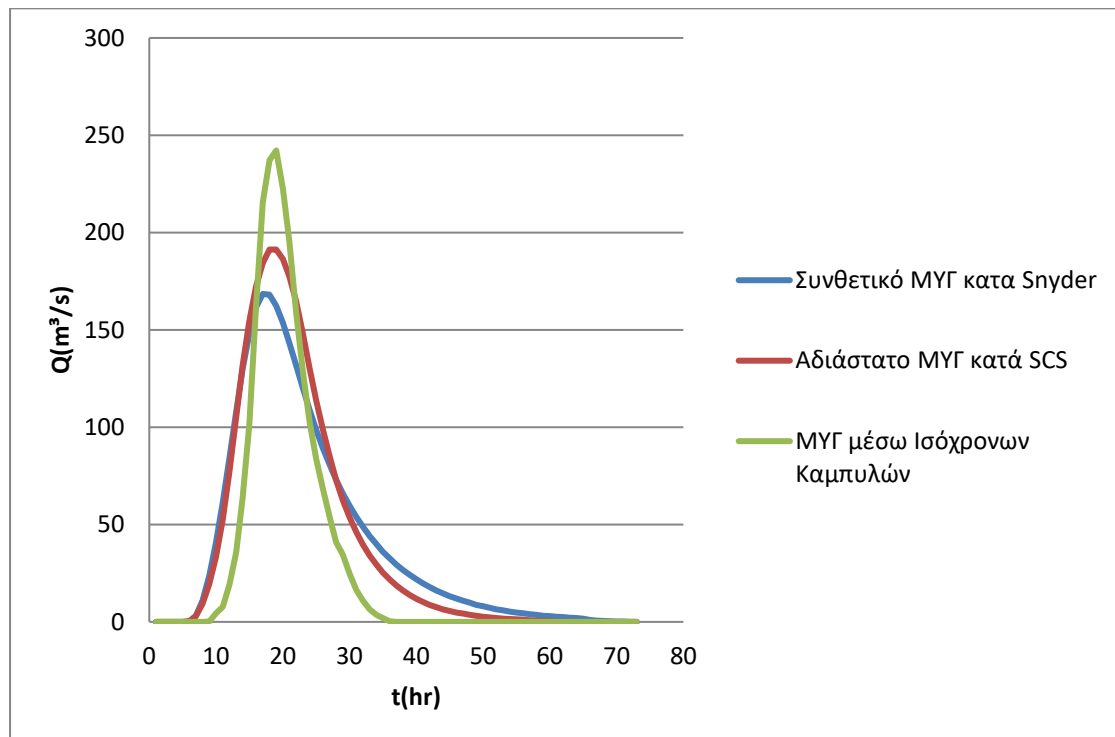
Σχήμα 4.7: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 2 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



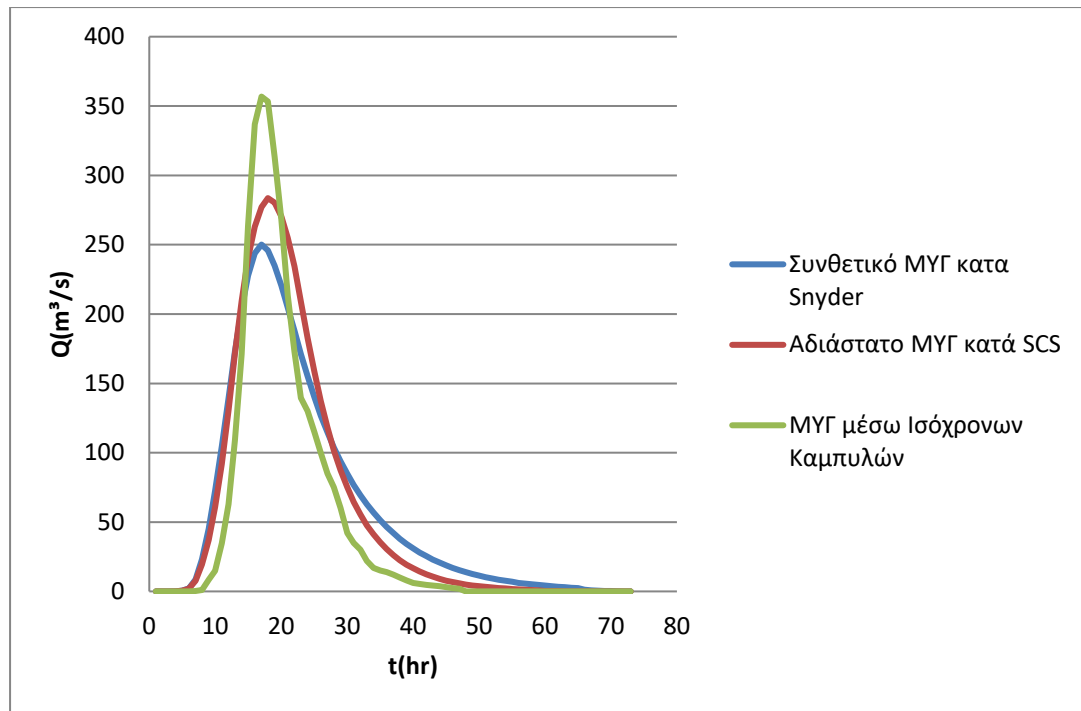
Σχήμα 4.8: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 2 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Στην λεκάνη 2, στα πλημμυρογραφήματα που προέκυψαν σύμφωνα με τα μοντέλα του SCS και του Snyder η παροχή αιχμής εμφανίζεται στις 16 και 15 ώρες αντίστοιχα. Ακόμη, στη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών στην περίπτωση μετά την πυρκαγιά για τις μέσες και τις υγρές καταστάσεις υγρασίας ο χρόνος αιχμής είναι 14 hr. Η παροχή

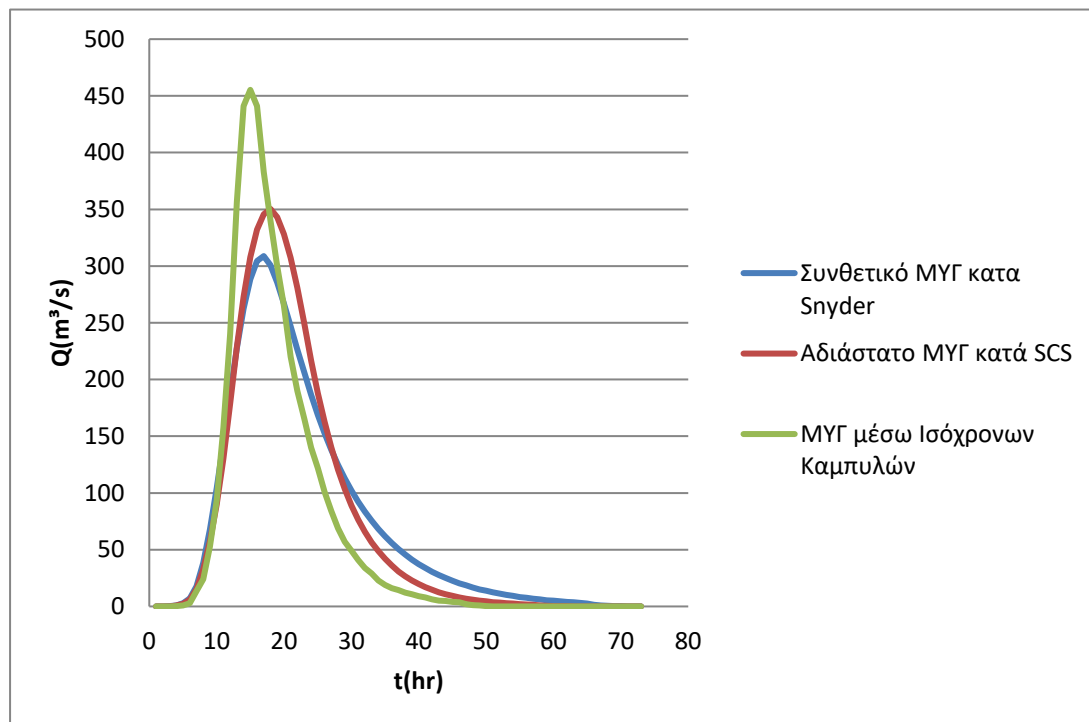
αιχμής υπολογίζεται κατά 12% μεγαλύτερη για όλες τις υγρασιακές καταστάσεις τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά για τη μέθοδο κατά SCS συγκριτικά με αυτή κατά Snyder. Για τα σενάρια μετά την πυρκαγιά η παροχή αιχμής από τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών προκύπτει μεγαλύτερη κατά 24% από αυτή κατά SCS εκτός από την περίπτωση που επικρατούν ξηρές συνθήκες υγρασίας και ο χρόνος αιχμής είναι μικρότερος στις ισόχρονες για μία ώρα. Πριν την πυρκαγιά οι μέθοδοι SCS και Snyder δίνουν παροχή αιχμής $262\text{m}^3/\text{s}$ και $233.4\text{m}^3/\text{s}$ αντίστοιχα, ενώ η παροχή αιχμής από τη μέθοδο ισόχρονων καμπυλών προκύπτει ίση με $308.8\text{m}^3/\text{s}$.



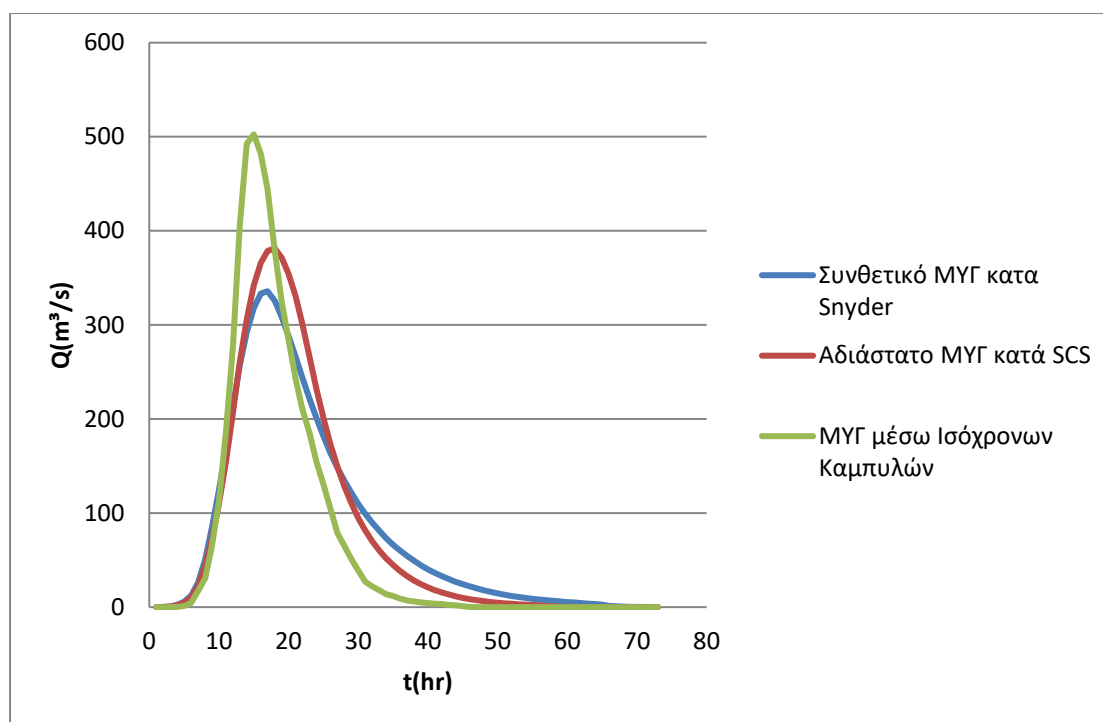
Σχήμα 4.9: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 3 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.10: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 3 μετά την πυρκαγιά για ξηρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

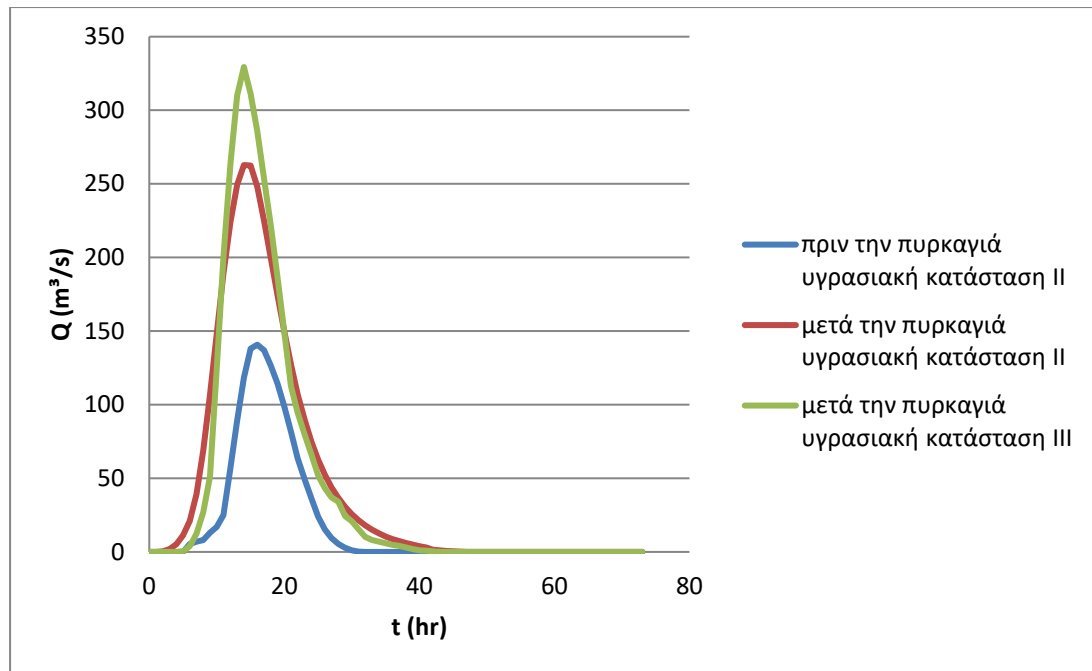


Σχήμα 4.11: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 3 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

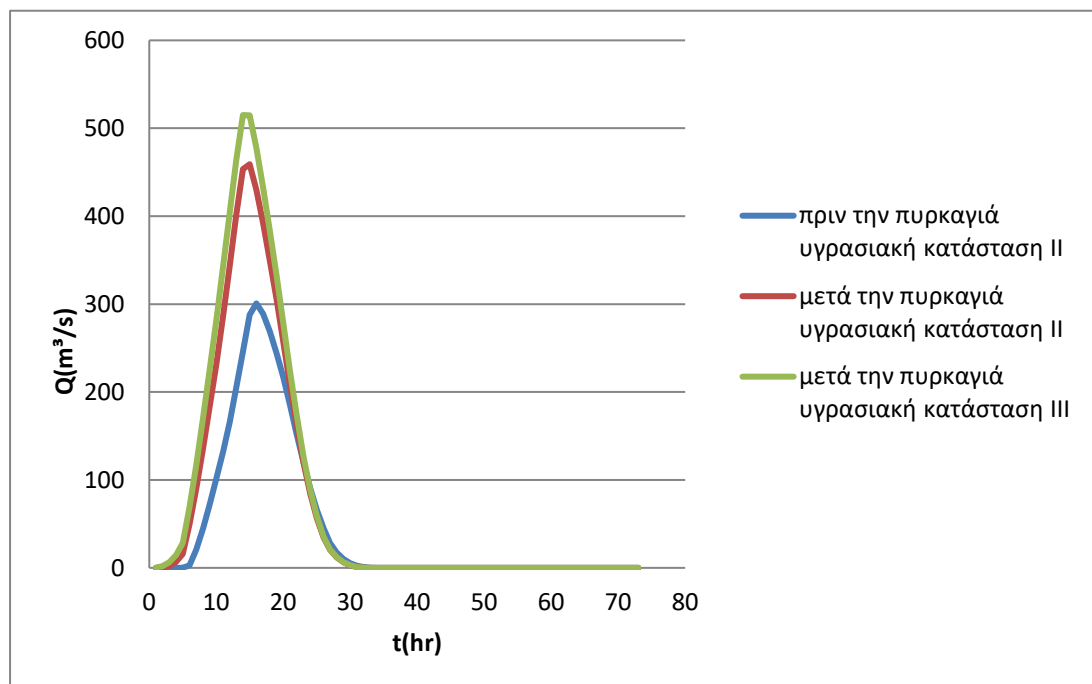


Σχήμα 4.12: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 3 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

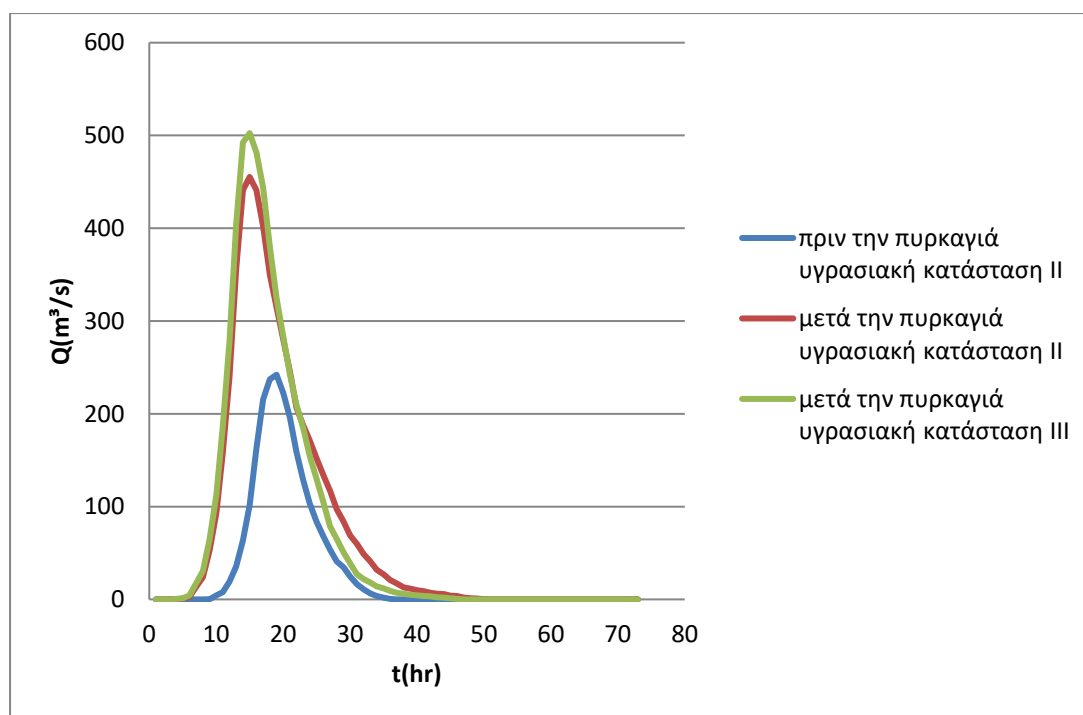
Τα πλημμυρογραφήματα της λεκάνης 3 που προκύπτουν από τις μεθόδους, μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή, SCS και Snyder παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Αρχικά, οι παροχές αιχμής της πρώτης μεθόδου είναι μεγαλύτερες κατά 14% από την άλλη και ο χρόνος που εμφανίζεται η αιχμή είναι κατά μία ώρα μικρότερος σύμφωνα με τη μέθοδο κατά Snyder. Ακόμα, οι παροχές αιχμής από τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις άλλες δύο μεθόδους, συγκεκριμένα μετά την πυρκαγιά για τις μέσες και υγρές συνθήκες υγρασίας είναι μεγαλύτερες κατά 30% συγκριτικά με αυτές της μεθόδου SCS. Επίσης, για τα σενάρια που έλαβαν χώρα πριν την πυρκαγιά και μετά την πυρκαγιά για τις ξηρές συνθήκες υγρασίας η παροχή αιχμής είναι μεγαλύτερη κατά 26% από την παροχή αιχμής που προκύπτει από την μέθοδο SCS. Πριν την πυρκαγιά οι μέθοδοι SCS και Snyder δίνουν παροχή αιχμής $191m^3/s$ και $168.5 m^3/s$ αντίστοιχα, ενώ η παροχή αιχμής από τη μέθοδο ισόχρονων καμπυλών $242.2m^3/s$ και οι χρόνοι στους οποίους εμφανίζεται η αιχμη είναι 17, 16 και 18 ώρες αντίστοιχα για τις τρεις αυτές μεθόδους μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή.



Σχήμα 4.13: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 1 πριν και μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση δύο και για την υγρασιακή κατάσταση τρία μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.14: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 2 πριν και μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση δύο και για την υγρασιακή κατάσταση τρία μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.15: Πλημμυρογραφήματα για την λεκάνη 3 πριν και μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση δύο και για την υγρασιακή κατάσταση τρία μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Συγκρίνοντας τα πλημμυρογραφήματα μετά την πυρκαγιά της μέσης και υγρής κατάστασης υγρασίας γίνεται αντιληπτό ότι ο χρόνος που εμφανίζεται η παροχή αιχμής παραμένει σταθερός και για τις τρεις λεκάνες. Επιπρόσθετα, παρατηρώντας τα πλημμυρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση II, γίνεται αντιληπτό πως η παροχή αιχμής αυξάνεται και ο χρόνος που αυτή εμφανίζεται, μειώνεται. Η παροχή αιχμής στην λεκάνη 1 αυξάνεται κατά 86%, στην 2 κατά 53%, ενώ στην 3 κατά 87%, παράλληλα ο χρόνος μειώθηκε κατά 2 και 1 ώρα αντίστοιχα στις λεκάνες 1 και 2, ενώ μειώθηκε κατά 28% στη 3. Το δυσμενέστερο σενάριο, σχετικά με την πλημμυρική επικυκλικότητα μετά την πυρκαγιά, εκτιμάται ότι πραγματοποιείται κατά την υγρασιακή κατάσταση III, καθώς το έδαφος θα είναι ήδη κορεσμένο με νερό με αποτέλεσμα όλη σχεδόν η βροχή να μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή. Συγκριτικά με την υγρασιακή κατάσταση III οι παροχές αιχμής αυξάνονται κατά 25% στη λεκάνη 1, κατά 12% στη λεκάνη 2 και κατά 10% στην λεκάνη 3.

Πίνακας 4.1 :Υδρολογικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

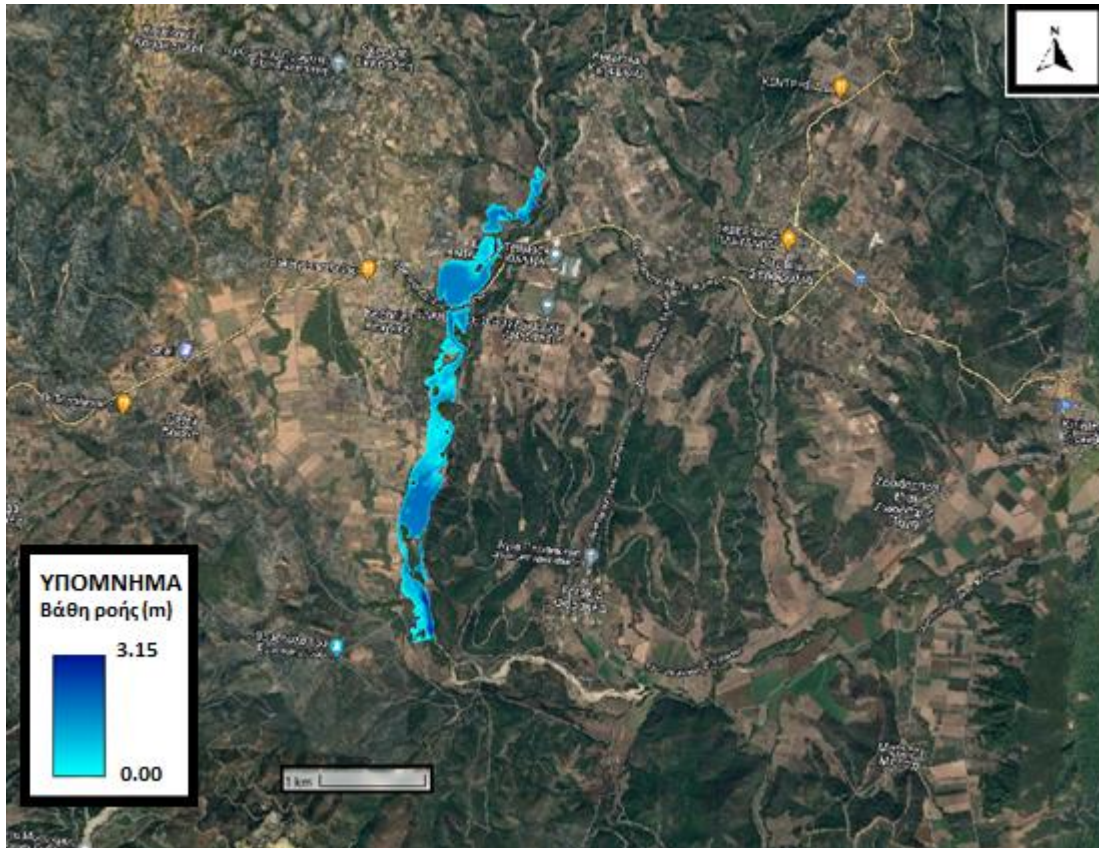
		Λεκάνη 1	Λεκάνη 2	Λεκάνη 3
Πριν την πυρκαγιάγια την υγρασιακή κατάσταση II	Παροχή αιχμής (m^3/s)	140.8	300.8	242.2
	Χρόνος αιχμής (hr)	15	15	18
Μετά την πυρκαγιάγια την υγρασιακή κατάσταση II	Παροχή αιχμής (m^3/s)	262.8	459.1	455.3
	Χρόνος αιχμής (hr)	14	14	14
Μετά την πυρκαγιάγια την υγρασιακή κατάσταση III	Παροχή αιχμής (m^3/s)	329.4	515	502.5
	Χρόνος αιχμής (hr)	14	14	14

4.2 Υδραυλική προσομοίωση

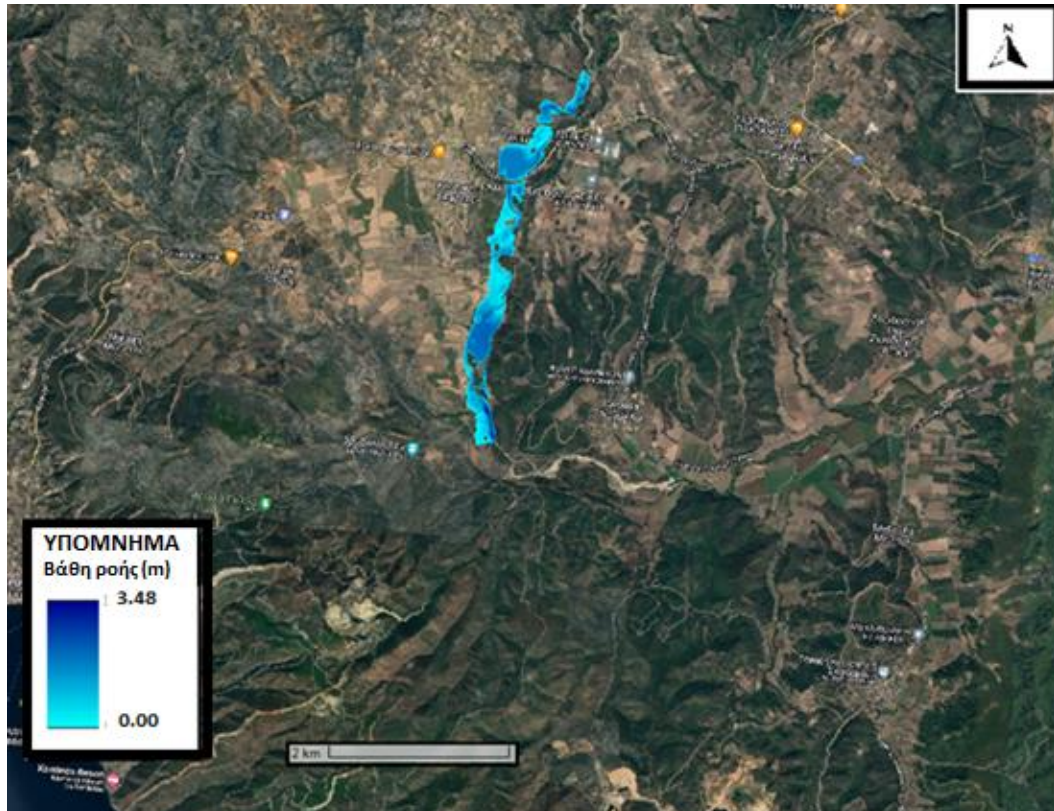
Για την υδραυλική προσομοίωση αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από την υδρολογική προσομοίωση. Ως δεδομένα εισαγωγής επιλέχτηκαν σε κάθε περίπτωση τα πλημμυρογράφηματα με τη μεγαλύτερη παροχή αιχμής ανεξάρτητα της μεθόδου από την οποία προέκυψαν. Συγκεκριμένα, η υδραυλική προσομοίωση έλαβε χώρα κατάντη της εξόδου των υπό μελέτη λεκανών, με σκοπό την ανάλυση των επιπτώσεων της πλημμύρας στις περιοχές τόσο σε επίπεδο βαθών ροής όσο και σε επίπεδο μεγίστων ταχυτήτων. Συγκεκριμένα, κατάντη της λεκάνης 1 βρίσκονται οι Κεχρίες και η Φαράκλα, κατάντη της λεκάνης 2 η Κήρινθος, η Φαράκλα, η Ζωοδόχος πηγή και η Ιστιαία. Η περιοχή μελέτης εξετάζεται για δύο υγρασιακές καταστάσεις πρώτα για κανονικές και έπειτα για υγρές συνθήκες. Αναλυτικότερα, στην πρώτη περίπτωση μελετήθηκαν οι καταστροφικές πυρκαγιές πριν και μετά την πυρκαγιά που διαδραματίστηκε το 2021, ενώ στη δεύτερη παρουσιάζεται το δυσμενέστερο σενάριο

μετά την πυρκαγιά. Τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης φαίνονται στα Σχήματα 4.16-4.33.

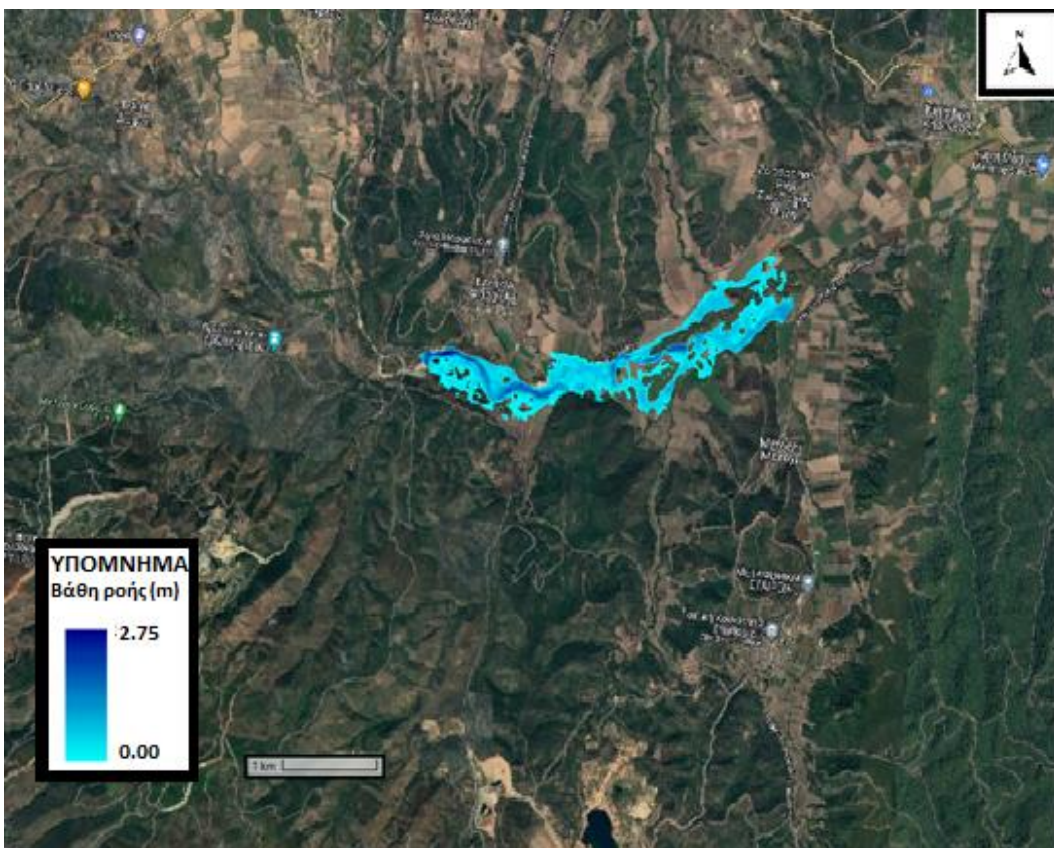
Μέγιστα βάθη ροής πριν και μετά την πυρκαγιά:



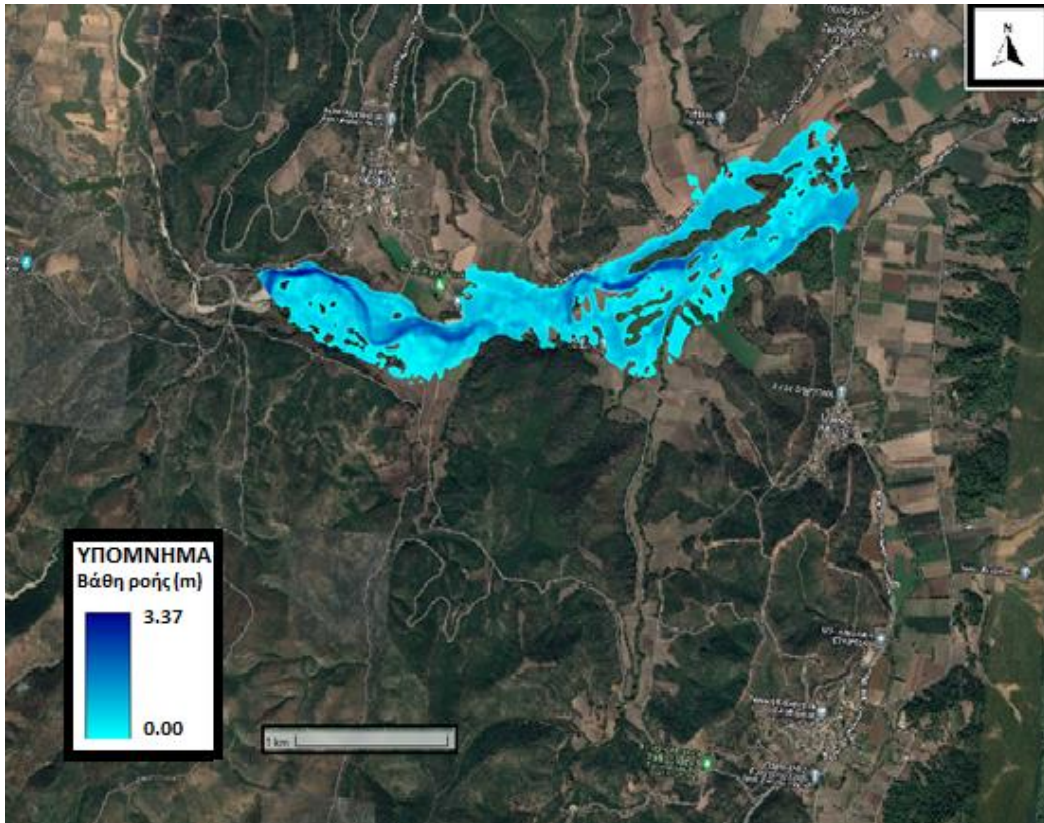
Σχήμα 4.16: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόπτη της λεκάνης 1 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



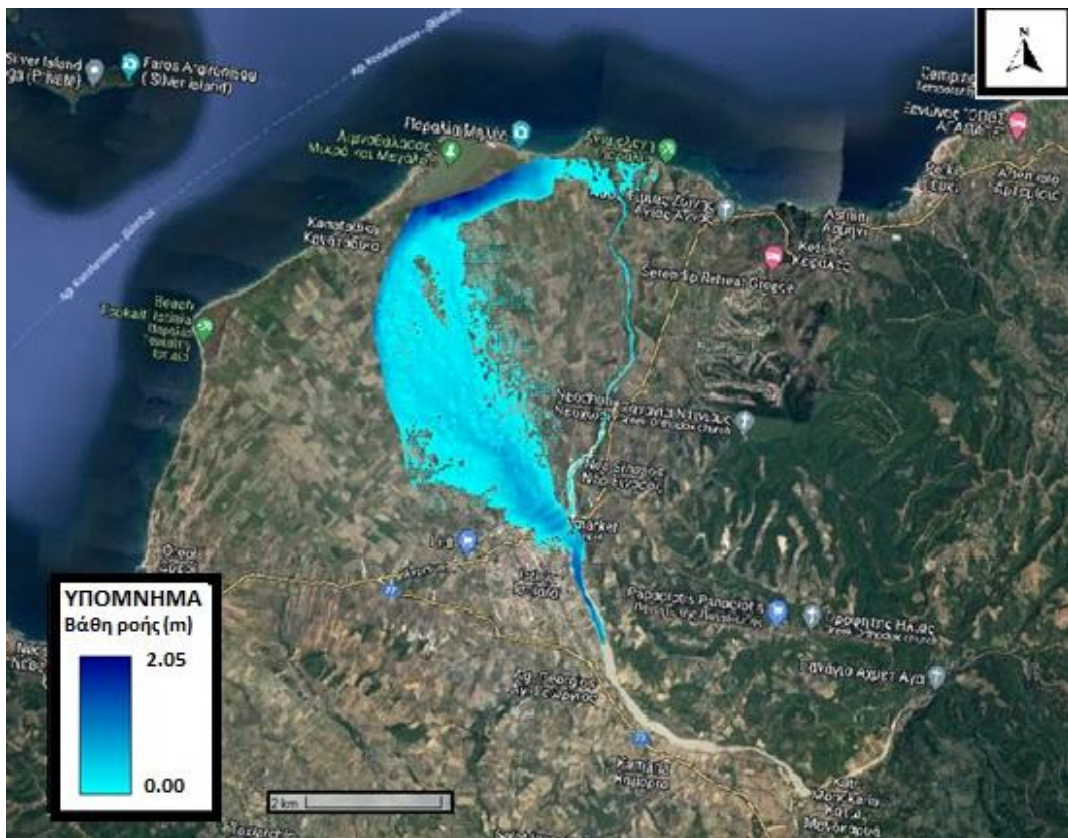
Σχήμα 4.17: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόπιν της λεκάνης 1 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



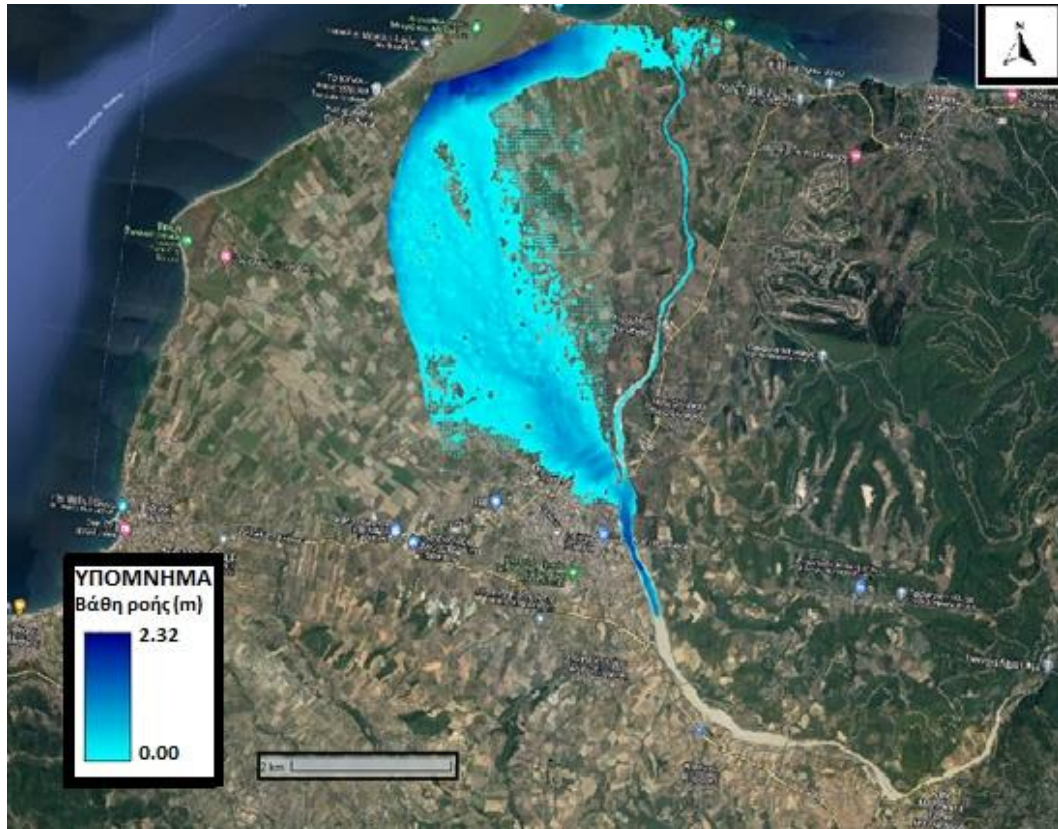
Σχήμα 4.18: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόπιν της λεκάνης 2 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.19: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόπτη της λεκάνης 2 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



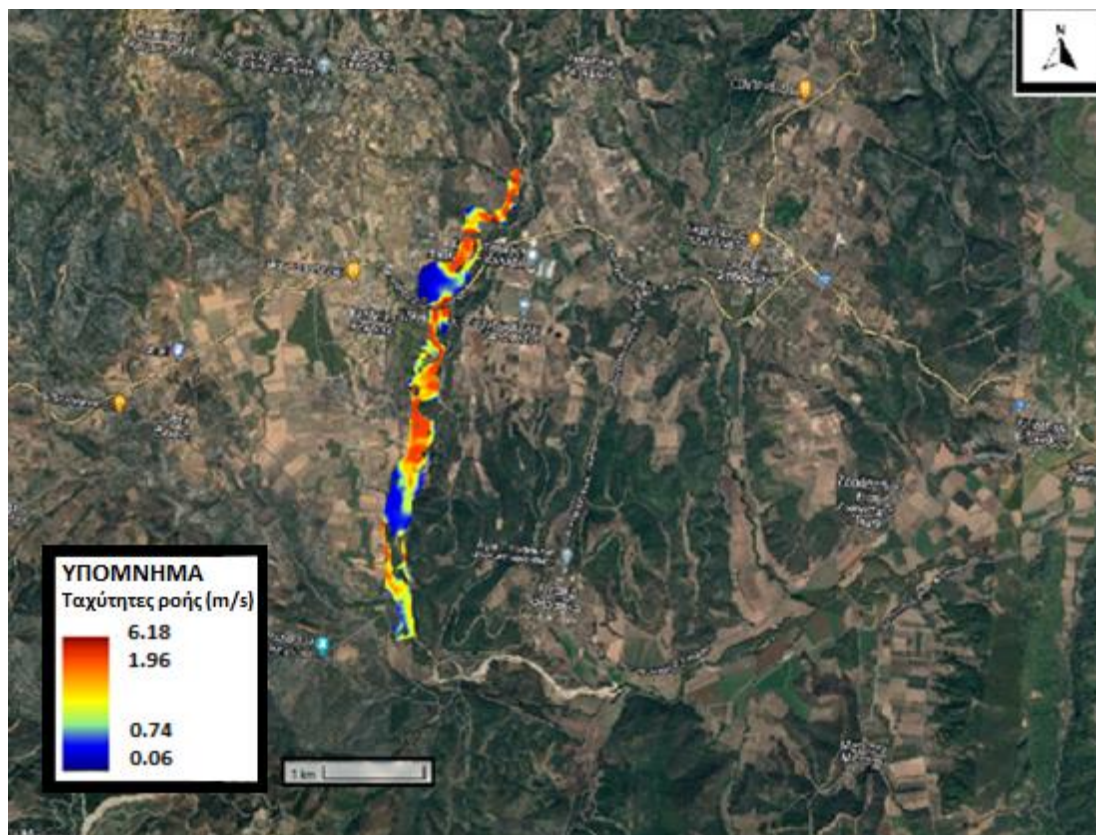
Σχήμα 4.20: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόπτη της λεκάνης 3 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



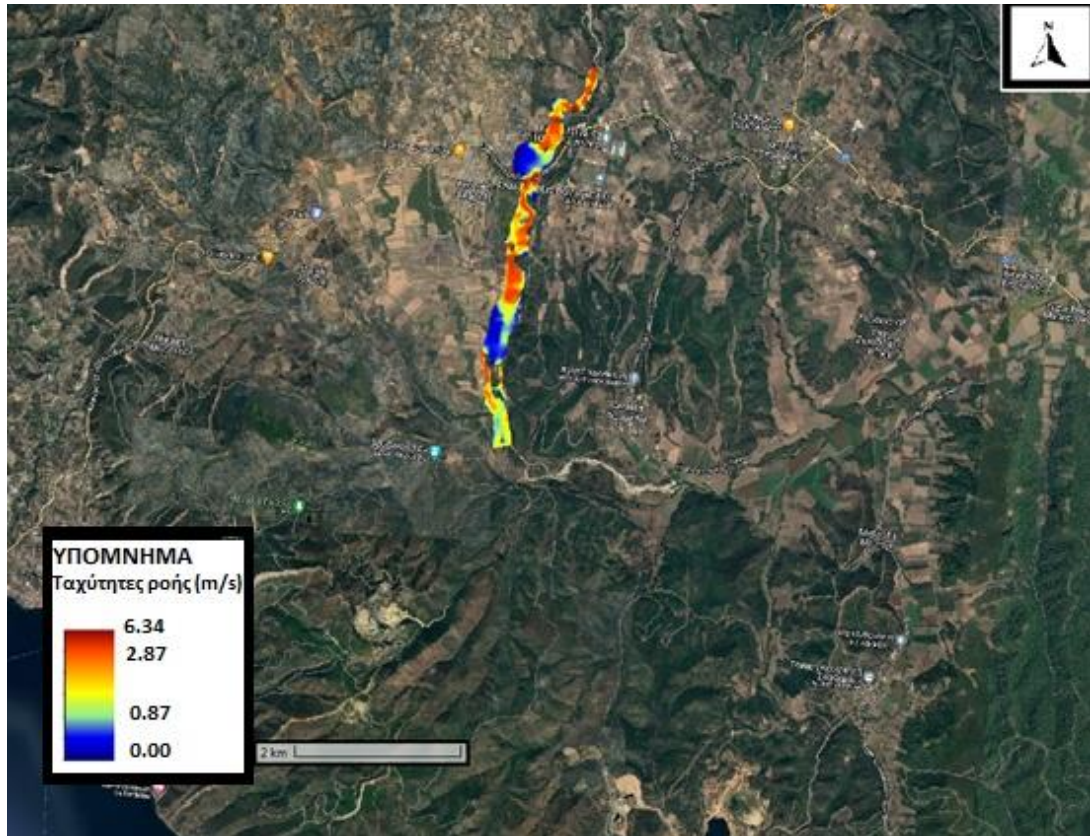
Σχήμα 4.21: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη λεκάνης 3 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Σε καμία από τις περιπτώσεις που εξετάζονται, τα μέγιστα βάθη ροής δεν ξεπερνάνε τα 3.5 m τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά. Αναλυτικότερα μετά την πυρκαγιά τα βάθη αυξάνονται κατά 10%, 20% και 13% στις περιοχές κατόντη των λεκανών 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Γίνεται αντιληπτό πώς κατόντη και των τριών λεκανών τα μέγιστα βάθη ροής παρατηρούνται εντός του κυρίου ρέματος.

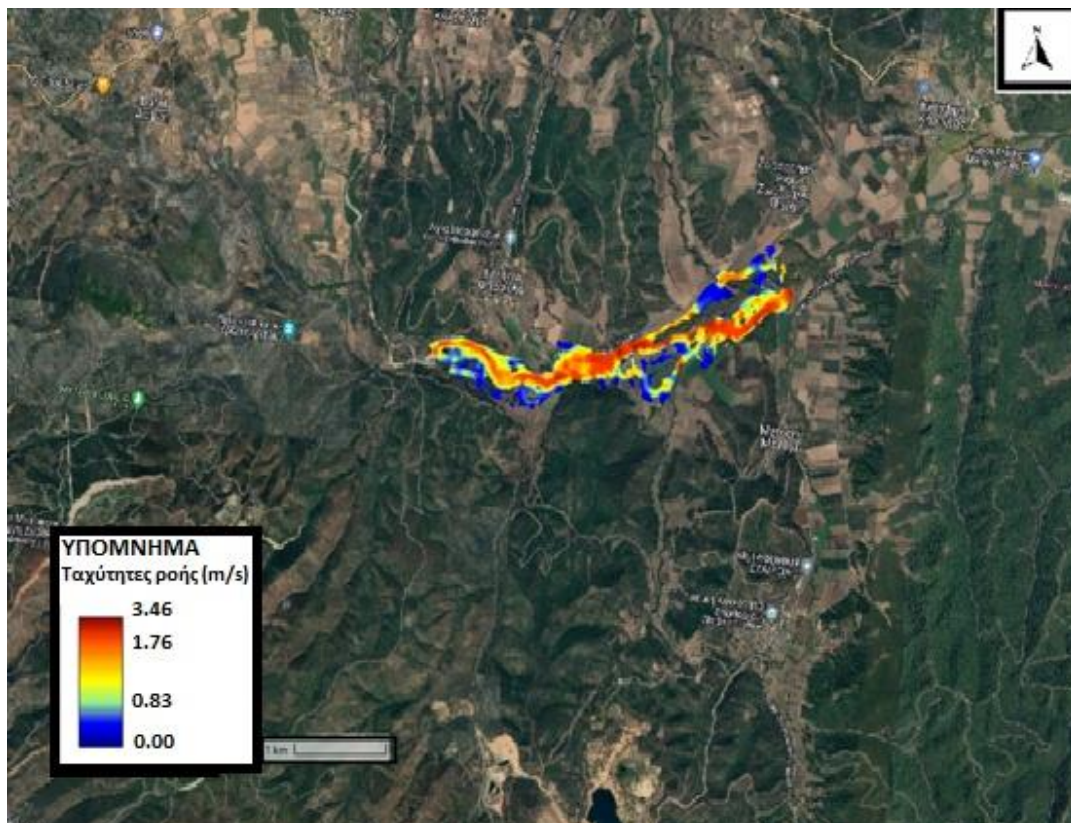
Μέγιστες ταχύτητες ροής πεδίου πλημμύρας πριν και μετά την πυρκαγιά:



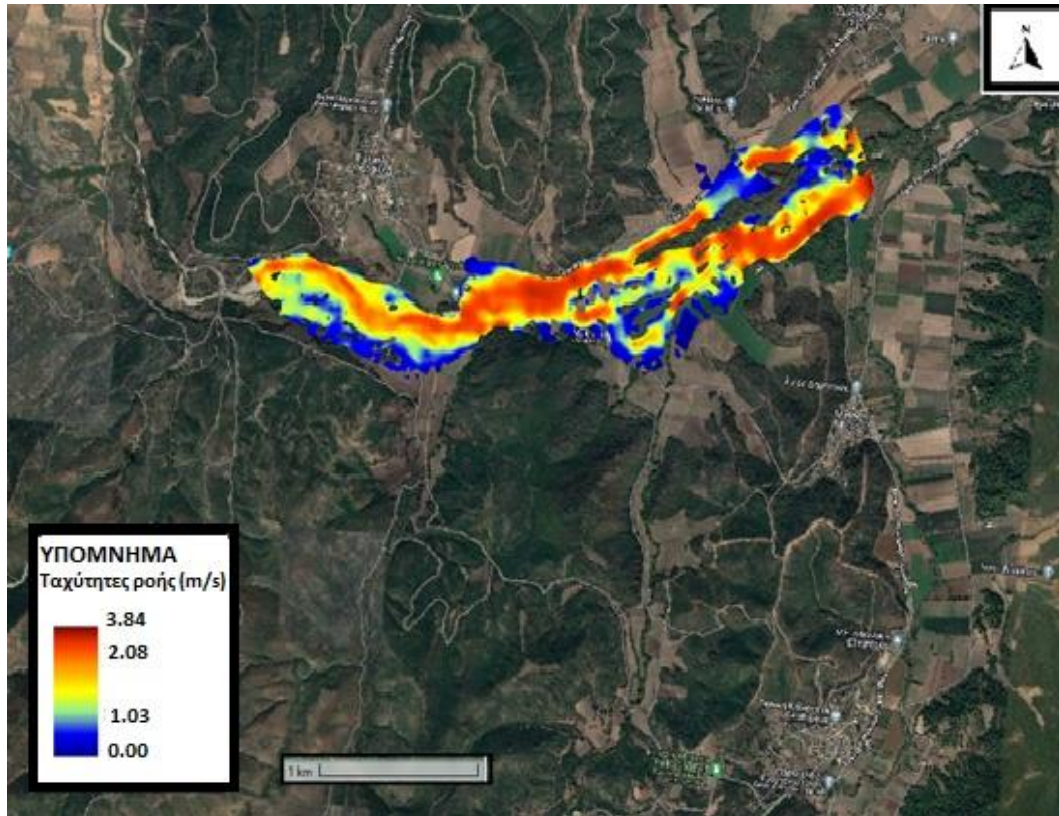
Σχήμα 4.22: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της λεκάνης 1 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



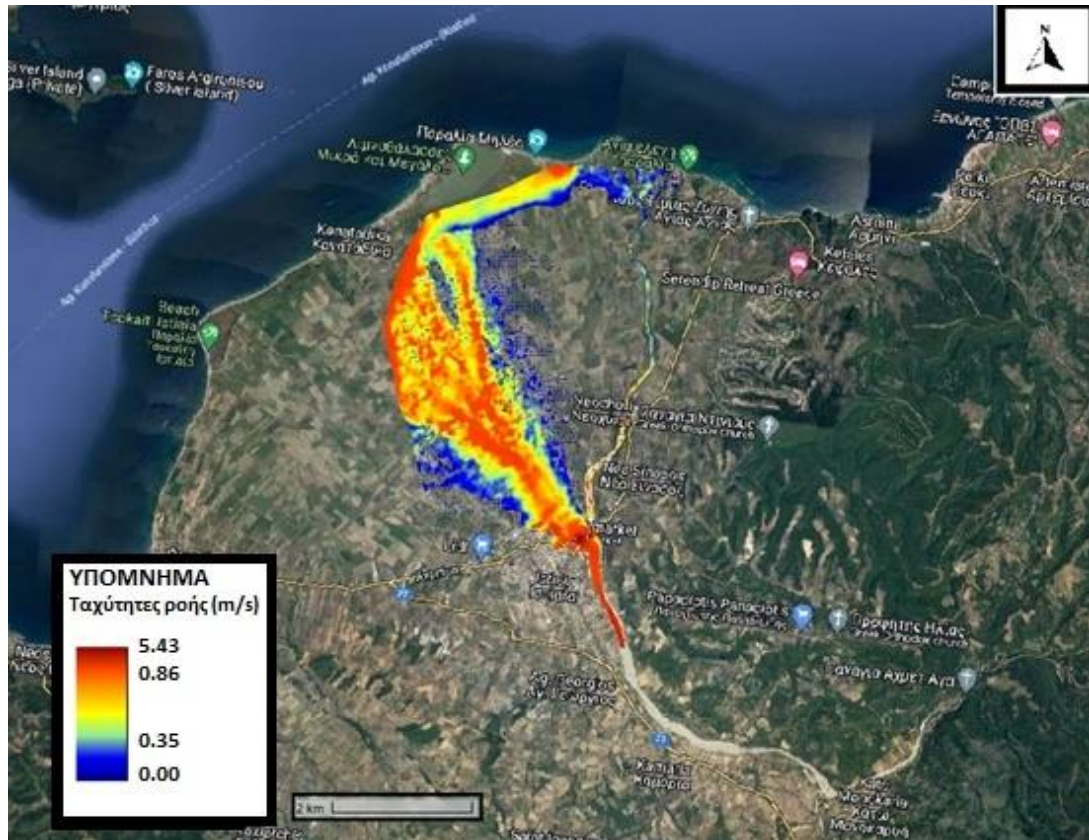
Σχήμα 4.23: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόπτη της λεκάνης 1 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



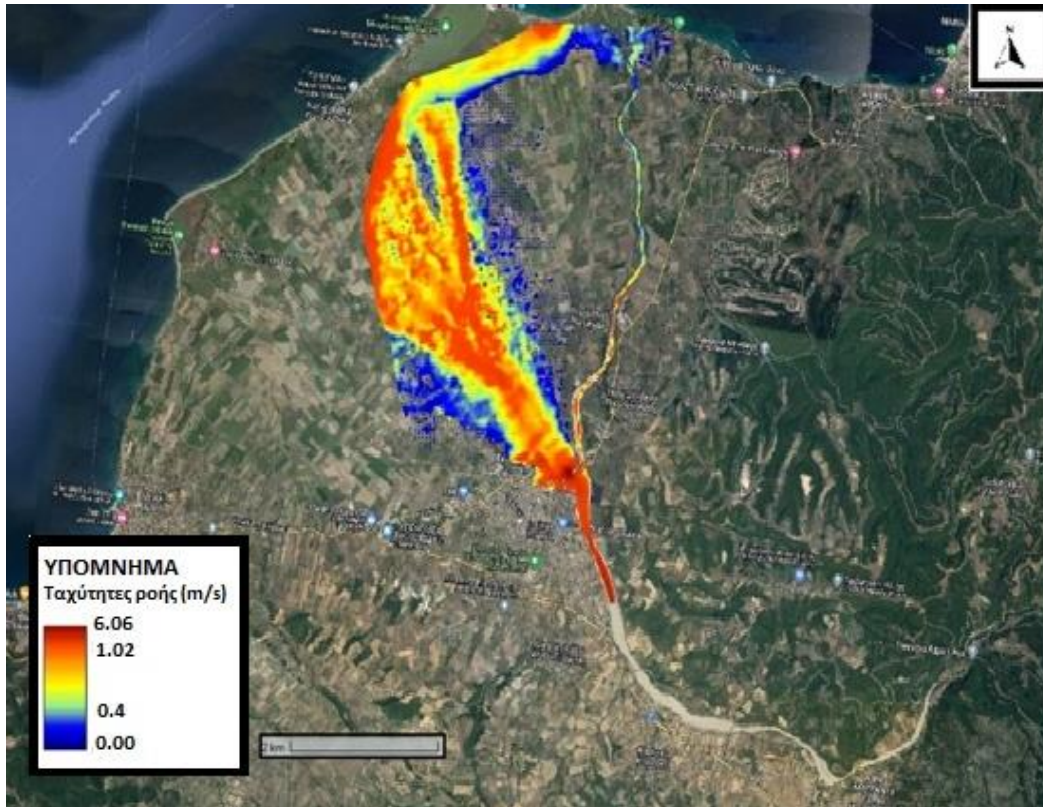
Σχήμα 4.24: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόπτη της λεκάνης 2 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.25: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόπνη της λεκάνης 2 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.26: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόπνη της λεκάνης 3 πριν την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



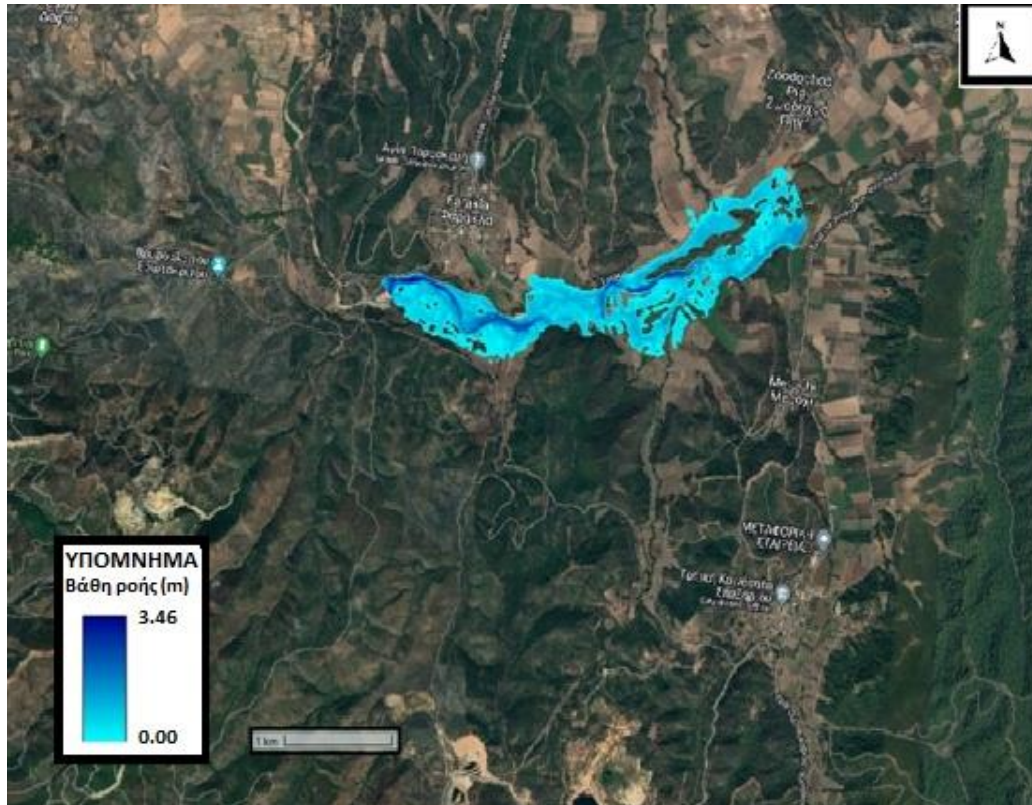
Σχήμα 4.27: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της λεκάνης 3 μετά την πυρκαγιά για μέσες συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Οι ταχύτητες ροής μετά την πυρκαγιά αυξάνονται κατά 11% κατάντη των λεκανών 2 και 3, ενώ κατάντη της λεκάνης 1 οι ταχύτητες αυξάνονται σε όλη την έκτασή της χωρίς όμως η μέγιστη ταχύτητα που παρουσιάζεται να μεταβάλλεται αισθητά. Οι μικρότερες τιμές ταχυτήτων παρουσιάζονται κατάντη της λεκάνης 2, δηλαδή στην Κήρινθο, την Φαράκλα και τη Ζωοδόχο Πηγή.

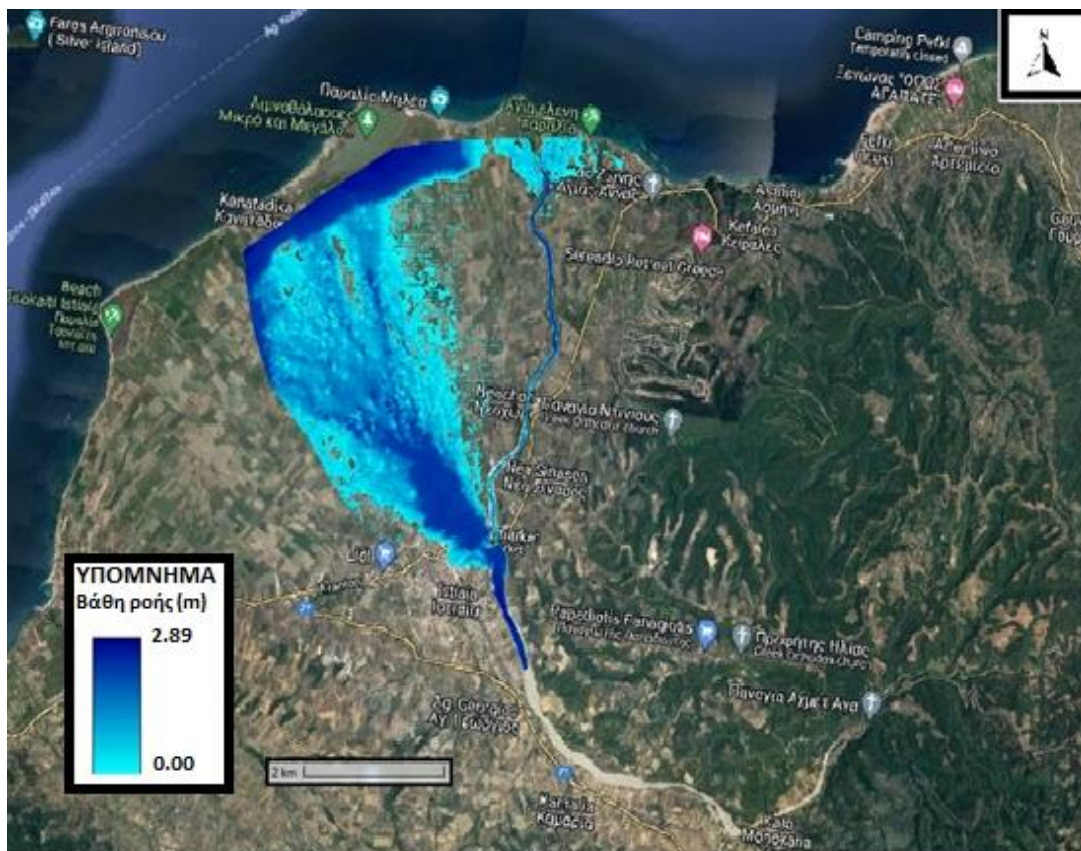
Μέγιστα βάθη ροής μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση III:



Σχήμα 4.28: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόπιν της λεκάνης 1 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



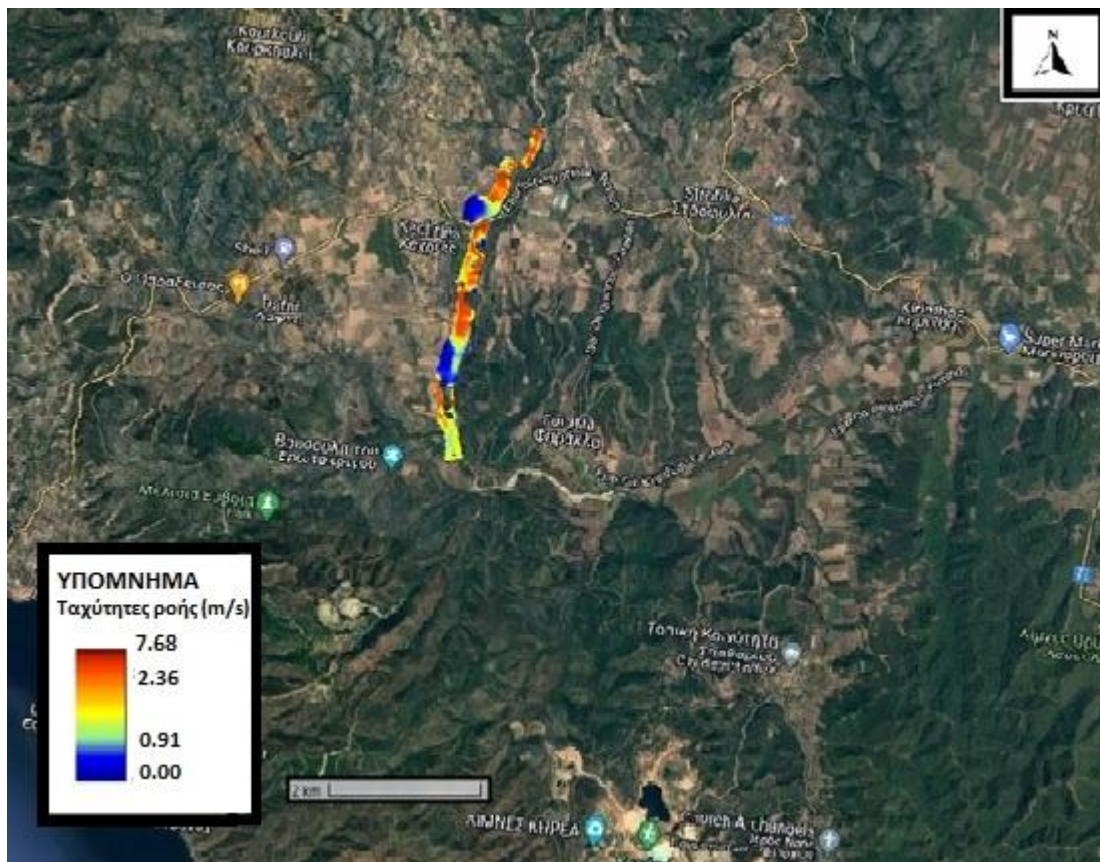
Σχήμα 4.29: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της λεκάνης 2 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



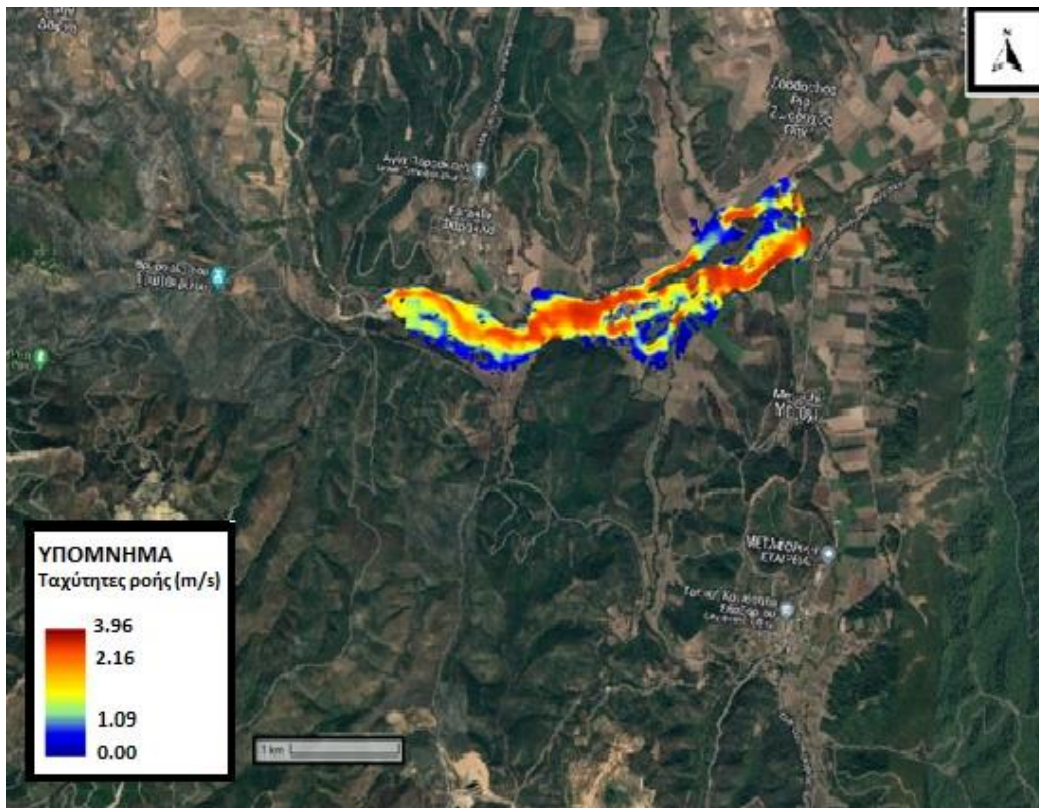
Σχήμα 4.30: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της λεκάνης 3 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Τα μέγιστα βάθη και των τριών λεκανών κυμαίνονται μεταξύ 2.89 m και 3.49 m. Μόνο η Ιστιαία παρουσιάζει σημαντική αύξηση βάθους συγκριτικά με αυτό της μέσης υγρασιακής κατάστασης, συγκεκριμένα το βάθος αυξάνεται κατά 57 cm. Στην περιοχή της Ιστιαίας μόνο ένα μικρό τμήμα του αστικού ιστού αποτελούμενο από 7 κτίρια θα πληγεί από την πλημμύρα στην οποία όμως για τις υγρές συνθήκες υγρασίας το βάθος γίνεται 1.5 m. Ακόμη, για την περιοχή μελέτης σε ότι αφορά τον αστικό ιστό, θα πλημμυρίσει και ένα τμήμα της επαρχιακής οδού Κηρίνθου-Φαράκλας παρουσιάζοντας μέγιστο βάθος 1.16 m.

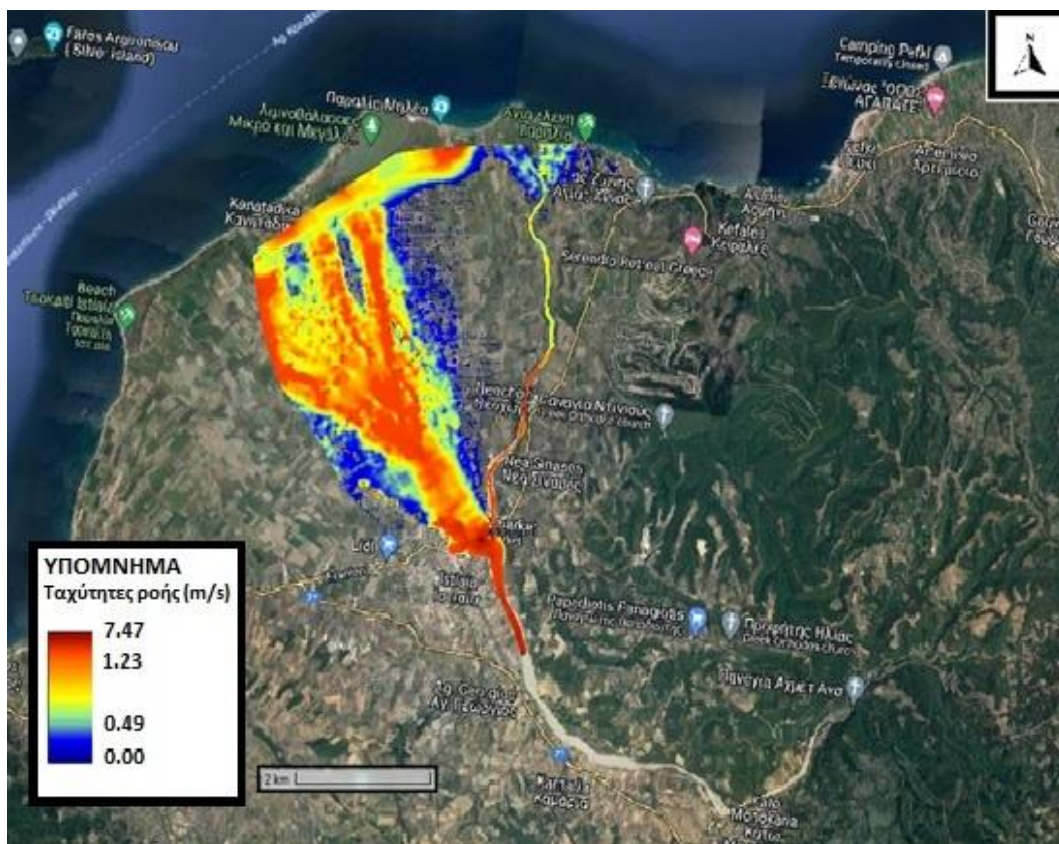
Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση III:



Σχήμα 4.31: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόπιν της Λεκάνης 1 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.32: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της λεκάνης 2 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



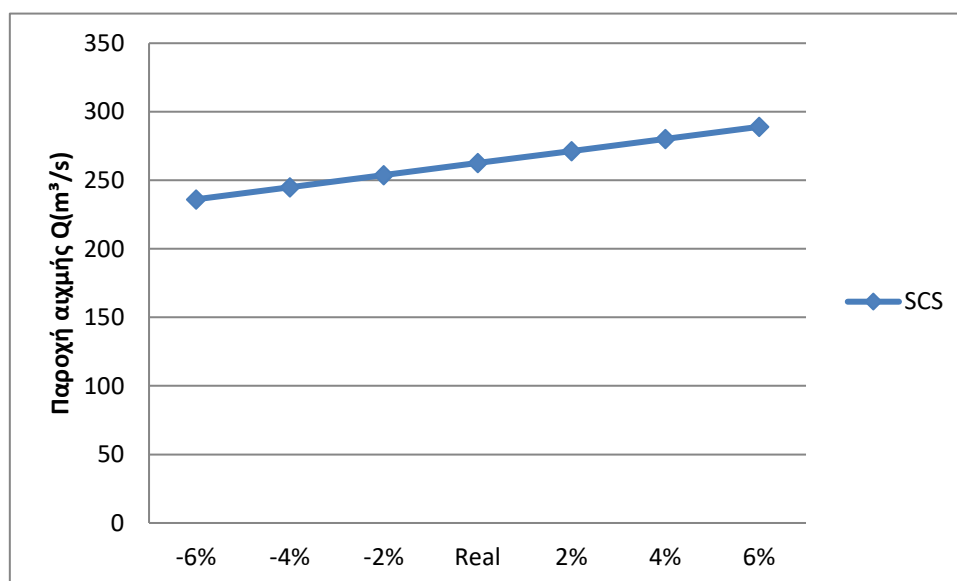
Σχήμα 4.33: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της λεκάνης 3 μετά την πυρκαγιά για υγρές συνθήκες υγρασίας (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Οι μέγιστες ταχύτητες ροής για το δυσμενέστερο σενάριο, μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση III, φτάνουν έως και 7.68 m/s, οι οποίες παρατηρούνται κατάντη της λεκάνης 1. Στην Ιστιαία, κατάντη της λεκάνης 3, σχηματίζεται ένα δέλτα εκβολής του κυρίου ρέματος στη θάλασσα, οι μέγιστες ταχύτητες εκεί δεν ξεπερνούν τα 1.23 m/s.

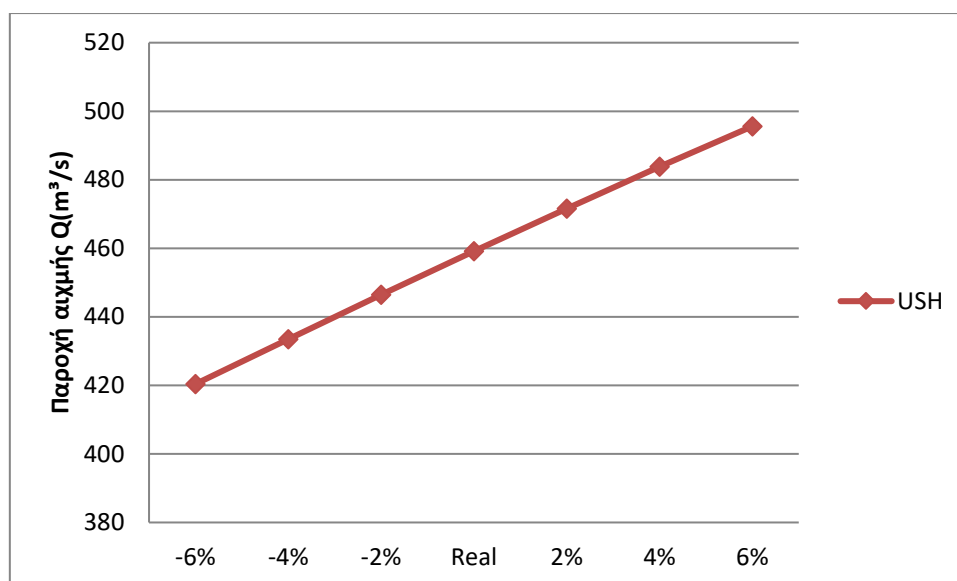
4.3 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου CN

Η ανάλυση ευαισθησίας αποσκοπεί στον εντοπισμό τυχόν αλλαγών των αποτελεσμάτων ενός μαθηματικού μοντέλου ή συστήματος με την προϋπόθεση μεταβολής κάποιας παραμέτρου εισόδου του (Saltelli, Ratto, Andres, Campolongo, Cariboni, Gatelli, Saisana and Tarantola 2008), συγκεκριμένα λαμβάνει χώρα η ανάλυση ευαισθησίας του αριθμού καμπύλης CN. Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε η μέθοδος Oneat a time που αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους ανάλυσης ευαισθησίας στην οποία εξετάζεται η μεταβολή του τελικού αποτελέσματος από την μεταβολή μιας παραμέτρου και διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες σταθερές.

Ο αριθμός καμπύλης CN παίρνει τιμές από 0 έως 100 και εκφράζει τη διαπερατότητα του εδάφους δηλαδή τις απώλειες της βροχής. Επίσης, είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της απορροής, καθώς σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται οι επιδράσεις της χρήσης και εκμετάλλευσης της γης (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Εξετάζεται η μεταβολή της παροχής αιχμής στη λεκάνη 2 για κανονικές συνθήκες υγρασίας πριν και μετά την πυρκαγιά όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.34 και 4.35.



Σχήμα 4.34: Παροχή αιχμής για ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου CN της μεθόδου του Αδιάστατου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος SCS για κανονικές συνθήκες πριν την πυρκαγιά στη λεκάνη 2 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 4.35: Παροχή αιχμής για ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου CN της μεθόδου του Ορισμένου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος από τον Χρήστη μέσω της μεθόδου των ισόχρονων καμπυλών για κανονικές συνθήκες μετά την πυρκαγιά στη λεκάνη 2 (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής και ο αριθμός CN είναι μεγέθη τα οποία παρουσιάζουν πολύ καλή αναλογία. Συγκεκριμένα, η αύξηση του CN έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παροχής αιχμής, αντίστοιχα η μείωση του προκαλεί τη μείωση της παροχής αιχμής. Άξιο αναφοράς είναι πως η μεταβολή της παραμέτρου CN κατά 6% έχει ως αποτέλεσμα η παροχή αιχμής να διαφέρει κατά $37\text{m}^3/\text{s}$ από την αρχική της τιμή για μετά την πυρκαγιά, ενώ πριν την πυρκαγιά η διαφορά αυτή είναι της τάξης των $26\text{m}^3/\text{s}$. Πολύ σημαντικό είναι ο ακριβής αριθμός CN καθώς από την μεταβολή του κατά 4 μονάδες προκύπτουν παροχές αιχμής μεγαλύτερες ή και μικρότερες κατά $8.8\text{m}^3/\text{s}$ $12.5\text{m}^3/\text{s}$ πριν και μετά την πυρκαγιά αντίστοιχα.

Παρακάτω παρατίθενται η ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αιχμής με βάση τις μεταβολές της παραμέτρου που αναφέρθηκαν προηγουμένως για τη μέθοδο του Αδιάστατου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά SCS και του Ορισμένου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος από τον Χρήστη σύμφωνα με τους Πίνακες 5.1 και 5.2.

Πίνακας 5.1: Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη πλημμυρογραφήματων για ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου CN της μεθόδου του

Αδιάστατου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά SCS για κανονικές συνθήκες μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

	Q _{max} (m ³ /s)	t _{peak}	ΔQ (%)
-6%	236.1	16	-10.09
-4%	245	16	-6.70
-2%	253.8	16	-3.35
Real	262.6	16	0.00
2%	271.4	16	3.35
4%	280.2	16	6.70
6%	289	16	10.05

Πίνακας 5.2: Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη πλημμυρογραφημάτων για ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου CN της μεθόδου του Ορισμένου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος από τον Χρήστη μέσω της μεθόδου των ισόχρονων καμπυλών για κανονικές συνθήκες μετά την πυρκαγιά (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

	Q _{max} (m ³ /s)	t _{peak}	ΔQ (%)
-6%	420.4	14	-8.43
-4%	433.5	14	-5.58
-2%	446.4	14	-2.77
Real	459.1	14	0.00
2%	471.6	14	2.72
4%	483.8	14	5.38
6%	495.6	14	7.95

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύνοψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιείται ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες. Οι τρεις λεκάνες που εξετάζονται έχουν καεί σε μεγάλο ποσοστό από την καταστροφική πυρκαγιά του Αυγούστου 2021 και εκβάλλουν στις περιοχές: Ιστιαία, Κεχριές, Φαράκλα, Ζωοδόχο πηγή, Κήρινθο. Συγκεκριμένα, επεξεργάζονται τα γεωμορφολογικά τους χαρακτηριστικά στην επιφάνεια του GIS, και έπειτα ακολουθεί η υδρολογική τους ανάλυση τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά για διάφορες υγρασιακές καταστάσεις και για τρεις μεθόδους μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή. Αναλυτικότερα, κάθε μία λεκάνη μελετάται για την υγρασιακή κατάσταση II πριν την πυρκαγιά και έπειτα και για τις τρεις υγρασιακές καταστάσεις μετά την πυρκαγιά. Για την διεξαγωγή της υδραυλικής προσομοίωσης κατόπιν των λεκανών αξιοποιούνται τα πλημμυρογραφήματα με τις μεγαλύτερες παροχές αιχμής για την υγρασιακή κατάσταση II τόσο πριν όσο και μετά την πυρκαγιά και για την υγρασιακή κατάσταση III για μετά την πυρκαγιά σαν δυσμενέστερο σενάριο πλημμυρικού κινδύνου.

5.2 Γενικά συμπεράσματα

Από τη μελέτη της πλημμυρικής διακινδύνευσης στην παρούσα διπλωματική εργασία προκύπτουν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Η μέθοδος των ισόχρονων καμπυλών θεωρείται η πιο ακριβής ως προς τον υπολογισμό μοναδιαίου υδρογραφήματος καθώς λαμβάνει υπ' όψιν αναλυτικότερα τοπογραφικά δεδομένα.
- Τα πλημμυρογραφήματα που προέκυψαν από τις μεθόδους SCS και Snyder για την μετατροπή της βροχής σε απορροή, παρουσιάζουν παραπλήσια χαρακτηριστικά αντίστοιχα για όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν με μικρή σχετικά απόκλιση.
- Τα δεδομένα χρήσης γης (Corine) είναι υψίστης σημασίας κατά τη διαδικασία εκτίμησης του κινδύνου πλημμύρας καθώς επηρεάζουν όλα τα στάδια της μελέτης. Σε πρώτη φάση χρειάστηκαν για τον υπολογισμό των ισόχρονων καμπυλών μέσω του συντελεστή k100. Έπειτα από τον συνδυασμό τους με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των λεκανών προέκυψε ο συντελεστής απωλειών CN. Τέλος, από τα layers των χρήσεων γης προκύπτει ο συντελεστής mapping που είναι απαραίτητος κατά την υδραυλική προσομοίωση των περιοχών που θα πληγούν από την πλημμυρα. Άρα γίνεται αντιληπτό πως είναι επιθυμητή η ακριβής αποτύπωση των χρήσεων γης τόσο στην περιοχή μελέτης όσο και κατόπιν αυτής καθώς η παραμικρή μετατροπή τους επηρεάζει όλο το εύρος

προσέγγισης από την υδρολογική ανάλυση και το πρόγραμμα GIS έως την υδραυλική προσομοίωση και το μοντέλο HEC-RAS.

- Από την ανάλυση ευαισθησίας παρατηρείται πως όσο αυξάνεται ο αριθμός CN τόσο αυξάνεται και η παροχή αιχμής. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν πολύ καλή αναλογία.
- Λόγω των μεταβαλλόμενων συνθηκών, συγκεκριμένα της πυρκαγιάς, μεταβάλλεται με τη σειρά της η σύσταση του εδάφους, γίνεται πιο αδιαπέρατο, η μεταβολή αυτή εκφράζεται από την παράμετρο CN η οποία προκύπτει συναρτήσει των χρήσεων γης και των γεωλογικών σχηματισμών. Συγκεκριμένα, μετά την πυρκαγιά ο αριθμός CN αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται με τη σειρά της η παροχή αιχμής.
- Για την μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμού του αδιάστατου αριθμού CN πρέπει να είναι γνωστή η μέση κατάσταση υγρασίας των υπο μελέτη εδαφών. Όσο αυξάνεται η υγρασία των εδαφών τόσο αυξάνεται και ο αριθμός CN αφού το έδαφος θα είναι κάθε φορά και πιο κορεσμένο με νερό.

5.3 Ειδικά συμπεράσματα

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας προκύπτουν τα εξής ειδικά συμπεράσματα:

- Οι επιπτώσεις των πλημμυρών είναι κυρίως οικονομικής φύσεως αφού κατά κύριο λόγο θα πληγούν εκτάσεις αρδευόμενης γης, σύνθετων καλλιεργειών και μη αρδευόμενης αρώσιμης γης.
- Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν τόσο τα μέγιστα βάθη όσο και οι μέγιστες ταχύτητες του πεδίου ροής εντοπίζονται εντός του κυρίου ρέματος.
- Παρατηρώντας τα πλημμυρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για την υγρασιακή κατάσταση II, γίνεται αντιληπτό πως η παροχή αιχμής αυξάνεται και ο χρόνος που αυτή εμφανίζεται, μειώνεται. Η παροχή αιχμής στην λεκάνη 1 αυξάνεται κατά 86%, στην 2 κατά 53%, ενώ στην 3 κατά 87%, παράλληλα ο χρόνος μειώθηκε κατά 1 και 2 ώρες αντίστοιχα στις λεκάνες 1 και 2, ενώ μειώθηκε κατά 28% στη 3. Το δυσμενέστερο σενάριο, σχετικά με την πλημμυρική επικινδυνότητα μετά την πυρκαγιά, εκτιμήθηκε ότι πραγματοποιείται κατά την υγρασιακή κατάσταση III, καθώς το έδαφος θα είναι ήδη κορεσμένο με νερό με αποτέλεσμα όλη σχεδόν η βροχή να μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή. Συγκριτικά, με την υγρασιακή κατάσταση II οι παροχές αιχμής αυξάνονται κατά 25% στη λεκάνη 1, κατά 12% στη λεκάνη 2 και κατά 10% στην λεκάνη 3.
- Κατάντη της λεκάνης 1 βρίσκονται οι Κεχριές και η Φαράκλα. Η πλημμύρα δεν επηρεάζει καμία από τις δύο περιοχές άρα δεν εγκυμονείται κανένας κίνδυνος ως προς τις ανθρώπινες ζωές. Σύμφωνα με τις χρήσεις γης το νερό θα καλύψει σύνθετες καλλιέργειες και εκτάσεις μη αρδευόμενης αρώσιμης γης. Μετά την πυρκαγιά κάτω από μέσες συνθήκες υγρασίας το βάθος ροής

θα αυξηθεί κατά 33cm, ενώ για την υγρασιακή κατάσταση III σε όλη την έκταση τα βάθη αυξάνονται χωρίς όμως το μέγιστο βάθος να μεταβληθεί αισθητά.

- Η Κήρινθος, η Φαράκλα και η Ζωοδόχος πηγή είναι οι περιοχές που βρίσκονται κατάντη της λεκάνης 2 και από την μελέτη πρέκυψε πως καμία από αυτές δεν θα πλημμυρίσει. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως μόνο ένα τμήμα της επαρχιακής οδού Κηρίνου Φαράκλας θα πλημμυρίσει, με τις μεγαλύτερες εκτάσεις που θα πληγούν να είναι εκτάσεις μη αρδευόμενης αρόσιμης γης. Πριν την πυρκαγιά το μέγιστο βάθος ροής επί της επαρχιακής οδού υπολογίστηκε στα 0.71m. Για την ίδια υγρασιακή κατάσταση μετά την πυρκαγιά αυξάνεται κατά 50%, ενώ για την υγρή κατάσταση υγρασίας αυξάνεται κατά 63%. Γενικότερα κατάντη της λεκάνης 2 τόσο πριν όσο και μετά την φωτιά τα βάθη ροής κυμαίνονται μεταξύ 2.75 και 3.46m, ενώ οι ταχύτητες από 3.46 έως 3.96 m/s.
- Η πλημμύρα κατάντη της λεκάνης 3 καταλήγει στην περιοχή της Ιστιαίας η οποία δεν διατρέχει ιδιαίτερο κίνδυνο από την στιγμή που μόνο ένα μικρό τμήμα του αστικού ιστού θα πληγεί. Το μέγιστο βάθος εκεί φτάνει τα 0.91m, ενώ η ταχύτητα τα 3 m/s πριν την πυρκαγιά. Συγκεκριμένα, μόνο μια περιοχή, αποτελούμενη από 7 κτίρια, που βρίσκεται δίπλα στο τοπικό γήπεδο βρίσκεται σε κίνδυνο αφού οι ταχύτητες είναι 6.7 m/s και τα βάθη ροής 1.25m μετά την πυρκαγιά. Κατά τη δυσμενέστερη κατάσταση (υγρασιακή κατάσταση III) το βάθος γίνεται 1,5m και η ταχύτητα 7.1m/s.
- Οι μεγαλύτερες τιμές του CN παρατηρούνται στις λεκάνες 1 και 2 που είναι και αναμενόμενο από την στιγμή που κάηκε το 100% της έκτασης τους.

5.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Από την παρούσα διπλωματική εργασία παρατίθενται οι εξής προτάσεις για αντιπλημμυρική προστασία:

- Οι χρήσεις γης επηρεάζουν τη μελέτη σε όλα τα στάδια της από τη δημιουργία των ισόχρονων καμπυλών έως την υδραυλική προσομοίωση. Προτείνεται λοιπόν αλλαγή των χρήσεων γης σε διάφορες τοποθεσίες της περιοχής μελέτης με σκοπό τη διερεύνηση της συμπεριφοράς της πλημμύρας. Με αυτόν τον τρόπο επίσης καθίσταται δυνατή η ανέγερση κατοικημένων περιοχών που δεν θα διατρέχουν κίνδυνο από πλημμύρες.
- Ακόμη κρίνεται σκόπιμη η υδρολογική ανάλυση και η υδραυλική προσομοίωση παλαιότερων ιστορικών πλημμυρών και σύγκριση των αποτελεσμάτων με δορυφορικές εικόνες με σκοπό να αξιολογηθεί η ακρίβεια των μελετών που έχουν συνταχθεί.

- Η σημασία του συντελεστή Manning είναι πολύ μεγάλη κατά την υδραυλική προσομοίωση, οπότε κρίνεται σημαντική η διερεύνηση του από την ανάλυση ευαισθησίας.
- Κρίνεται σκόπιμη η διερεύνηση φυσικών λύσεων κατόπιν των λεκανών, συγκεκριμένα, να εξεταστεί η κατασκευή αναχωμάτων ή και η διαπλάτυνση του ποταμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρικοπούλου Θ. (2019) Ολοκληρωμένη προσέγγιση στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου – Η περίπτωση του Πηνειού ποταμού, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Δεβελέκου Μ. (2020) Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου στο Βορειοδυτικό τμήμα της περιφερειακής ενότητας Ηρακλείου, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, 2016

Καββαδά Ο., 2012, Ανάπτυξη μοντέλου βροχής – απορροής σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Κάβουρας Μ., Κόκλα Μ., 2018, Εισαγωγή στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Διαδικτυακές Σημειώσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Μαμάσης Ν., 2007, Εκπαιδευτικό Υλικό Μαθήματος Πλημμύρες & Αντιπλημμυρικά Έργα, Δ.Π.Μ.Σ. Ε.Τ.Υ.Π., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Μαμάσης, Ν., 2014. Πλημμύρες – Υδρολογικές Εφαρμογές με τη χρήση GIS. Εκπαιδευτικό Υλικό Μαθήματος Πλημμύρες & Αντιπλημμυρικά Έργα, ΔΠΜΣ ΕΤΥΠ, ΕΜΠ, Αθήνα

Μανδραβέλλος Α. Νικόλαος., 2022, Ανάλυση του πλημμυρικού επεισοδίου βροχής-απορροής Αυγούστου 2020 στον ποταμό Ληλάντα Εύβοιας

Μαστρογιάννη Κυριακή., 2019, Άτλας πυρκαγιών εύβοιας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Γεωγραφίας

Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α., (2018) Τεχνική Υδρολογία, 6 η έκδ., Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Μπαλτάς Ε., Μπουρνάς Α., 2021, Εκτίμηση πλημμυρικού πεδίου με υδραυλική προσομοίωση σε περιβάλλον HEC-RAS 2D, Διαδικτυακές Σημειώσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

Μπαλτάς Ε., Μπουρνάς Α., 2021, Υδρολογική και Υδραυλική Προσομοίωση λεκάνης απορροής με τα λογισμικά HEC-HMS και HEC-RAS 2D, Διαδικτυακές Σημειώσεις Ε.Μ.Π.

Μπέλλος Κ. (2006) Στοιχεία Τεχνικής Υδρολογίας, Εκπαιδευτικό υλικό Δ.Π.Θ., Ξάνθη

Μπέλλος Β. (2015) Προσομοίωση πλημμύρας σε φυσικό ανάγλυφο για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Παυλόπουλος Κ., Σκέντος Α., Κοταμπάση Χ., 2010, Γεωμορφολογική χαρτογράφηση και μελέτη της ευρύτερης περιοχής Δισπηλίου-λίμνης Καστοριάς

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chow V.T., Maidment D., Mays L. W. (1988) Applied Hydrology, McGraw Hill.
- Diakakis M, Nikolopoulos EI, Mavroulis S, Vassilakis E, Korakaki E (2017) Observational evidence on the effects of mega-fires on the frequency of hydrogeomorphic hazards. The case of the Peloponnese fires of 2007 in Greece. Sci Total Environ 592:262–276.
- ESRI (2010) Arc GIS Desktop (release 10) [computer software]. Environmental Systems Research Institute, West Redlands
- Feldman, A. (2000). "Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual". US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.
- Nalbantis I, Lympereopoulos S (2012) Assessment of flood frequency after forest fires in small ungauged basins based on uncertain measurements. Hydrol Sci J 57(1):52–72.
- Theochari A.-P., Feloni E., Bournas A., Karpouzou D., Baltas E. (2019) Multi-criteria decision making and GIS techniques in the design of a stream gauging network, World Review of Science, Technology and Sustainable Development, 15(4), pp.358-377.
- Theochari A.-P., Baltas E. (2022) Holistic hydrological approach to the fire event on August 2021 in Evia, Greece
- U.S. Army Corps of Engineers (2016) River Analysis System HEC-RAS. User's Manual, Version 5.0., U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE, 1994, Engineering and Design, Flood - runoff analysis, Engineer Manual
- USACE, HEC-RAS River Analysis System, User's Hydraulic Reference Manual, Version 5.0, 2016
- USACE (2005) User's manual for Hydrologic Engineering Corps Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), version 3.0.0. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <https://besafenet.net/el/hazards/floods/>, Πρόσβαση στις: 22/11/2022
- <https://www.civilprotection.gr/el> , Πρόσβαση στις: 27/12/2022
- <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/>, Πρόσβαση στις: 30/8/2022
- <https://evia365.gr/> , Πρόσβαση στις: 31/1/2023
- <https://www.floods.ypeka.gr> , Πρόσβαση στις: 19/10/2022
- <https://geodata.gov.gr/>, Πρόσβαση στις: 3/9/2022
- <https://www.kathimerini.gr/> , Πρόσβαση στις: 18/1/2023

<https://www.mirc.ntua.gr/> , Πρόσβαση στις: 14/1/2023

<https://www.meteofarm.gr> Πρόσβαση στις: 1/2/2023

<https://www.mycourses.ntua.gr> , Πρόσβαση στις: 21/9/2022

<https://pro.arcgis.com/> , Πρόσβαση στις: 5/10/2022

<https://www.statistics.gr/> , Πρόσβαση στις: 3/2/2023

<https://www.ypen.gov.gr/> , Πρόσβαση στις: 17/10/2022

<https://www.wikipedia.org/> , Πρόσβαση στις: 9/1/2023