

HYDRO



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΝΑΞΟΥ**

Σταύρος-Μάριος Καπίρης

Επιβλέπων: Ε. Μπαλάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην προσπάθεια διεκπεραίωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν και αντιμετωπίστηκαν μία σειρά προβλημάτων-ζητημάτων τα οποία όμως στο τέλος αποδείχτηκε ότι ήταν και τα σημεία που κάνουν την εργασία να ξεχωρίζει. Τα εμπόδια αυτά δεν θα μπορούσαν να ξεπεραστούν χωρίς τη βοήθεια που λήφθηκε από τον επιβλέπων καθηγητή Κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. Έτσι στο σημείο αυτό νιώθω την ανάγκη να τον ευχαριστήσω προσωπικά για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής, την κατανόηση, την υπομονή του και την καθοδήγησή του στα καίρια σημεία της εργασίας.

Μέσα από την καρδιά μου, θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την οικογένειά μου, η οποία υπήρξε υποστηρικτική καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, με όποιον τρόπο μπορούσε, έχοντας ως απώτερο σκοπό να με εφοδιάσει με εμπειρίες, αξίες και σοβαρότητα, ώστε να κάνω ένα πετυχημένο ξεκίνημα στην εργασιακή μου ζωή.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. που με φιλοξένησε όλα αυτά τα χρόνια, τόσο τη διοίκηση όσο και τους επιμέρους καθηγητές. Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη Επίκουρο Καθηγητή και τον κ. Αναστάσιο Στάμου Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος ένα θερμό ευχαριστώ οφείλω στην κ. Αιμιλία-Παναγιώτα Θεοχάρη Υποψήφια Διδάκτορα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τη συνεχή υποστήριξή της, το χρόνο που διέθεσε και συνολικά τη συμβολή της τόσο στα πρακτικά θέματα της εργασίας όσο και στην ψυχολογική ενθάρρυνση. Ήταν αναμφισβήτητα καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ii
EXTENDED ABSTRACT	v
Introduction.....	v
Thesis Outline	v
Methods	vi
Study area.....	vi
Hydrological Analysis	vii
Hydraulic Simulation.....	viii
Results and discussion.....	ix
Hydrological Analysis.....	ix
Hydraulic Simulation.....	xi
Natural Based Solutions	xxi
Conclusions.....	xxx
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	0
1.1 Γενικά	0
1.1.1 Οι πλημμύρες	0
1.1.2 Νομικό πλαίσιο - Η Οδηγία 2007/60.....	2
1.2 Σκοπός εργασίας	3
1.3 Διάρθρωση Εργασίας.....	3
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία	5
2.2 Ανθρωπογενή χαρακτηριστικά και χρήσεις γης	8
2.3 Κλίμα	9
2.4 Υδρολογία και Ιστορικό Πλημμυρών	11
2.5 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά.....	14
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ.....	16
3.1 Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν	16
3.1.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS.).....	16
3.1.2 HEC-GeoHMS	16
3.1.3 HEC-HMS.....	17

3.1.4 HEC-RAS	19
3.2 Υδρολογική Ανάλυση	20
3.2.1 Γεωμορφολογικά και υδρολογικά στοιχεία υπολεκανών μελέτης	21
3.2.2 Βροχή από εναλλασσόμενα μπλοκ	25
3.2.4 Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω ισόχρονων καμπυλών	33
3.2.5 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS.....	36
3.2.6 Υπολογισμός πλημμυρογραφήματος σε περιβάλλον HEC-HMS	37
3.3 Υδραυλική Προσομοίωση	40
3.3.1 Εισαγωγή δεδομένων	40
3.3.2 Υδραυλική προσομοίωση σε θέσεις ενδιαφέροντος.....	42
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	46
4.1 Υδρολογική Ανάλυση	46
4.2 Υδραυλική Προσομοίωση	56
5 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ.....	67
5.1 Γενικά	67
5.2 Αλλαγή χρήσης γης	68
5.2.1 Εισαγωγή	68
5.2.2 Μεθοδολογία Προσέγγισης	69
5.3 Λιμνες Συγκράτησης	82
5.3.1 Εισαγωγή	82
5.3.2 Μεθοδολογία Προσέγγισης	82
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	87
6.1 Σύνοψη	87
6.2 Γενικά Συμπεράσματα.....	87
6.3 Ειδικά Συμπεράσματα.....	88
6.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	90
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Floods are the event in which direct runoff is so important that the total supply exceeds the channeling capacity of the water stream by flooding the surrounding areas. Flood are the second most frequent natural disaster nowadays according to the General Secretariat of Civil Protection, while fires take the first place. The obvious and main cause of flooding is heavy rainfall and storms, as well as frequent flooding due to rising river levels, failure of dams or melting snow.

There are two types of consequences of floods, primary and secondary. The primary consequences include damage or destruction of bridges, vehicles, buildings, houses, communication systems, road networks and in general various infrastructures. At the same time, they also include the loss of both people and animals, as well as rarely causing epidemics or diseases. On the other hand, the secondary consequences include not equally important disasters but notable ones. In particular, the secondary consequences consist of a lack of drinking water, its contamination, it's more difficult supply, the spread of diseases due to the new living conditions and easy transmission through water. In addition, there is a reduction in tourism, destruction of crops, a rise in the cost of food and goods in general, and therefore economic instability.

The aim of this thesis is the study of the flood supply and consequently the assessment of the flood risk in the island of Naxos. Always in the Greek area and beyond, the combination of the intense and inhomogeneous relief with the geographical variability of the climate profile plays an important role in the risk of flood disasters. Coastal areas with an increased urban fabric such as Naxos and the Greek islands in general are undoubtedly areas with an increased flood risk.

In summary, the subject of this thesis is the description of the hydrological analysis of three sub-catchment basins on the island of Naxos, the subsequent hydraulic simulation of the free surface of the water in a part of a natural water stream downstream of the outlet of the specific subbasins in order to extract floodplain maps and finally the proposal and implementation of natural solutions within the study subbasins to deal with flooding phenomena.

Thesis Outline

The thesis is structured in 6 chapters with the following content:

Chapter 1: Introduction

Chapter 2: Study area

Chapter 3: Methodology

Chapter 4: Results

Chapter 5: Natural Based Solutions

Chapter 6: Conclusions

Methods

Study area

The study area was limited to three subbasins shown in Figure 1 below. This choice was made as, beside the fact that they are the three largest subbasins of the island, they are located upstream of residential areas and arable land and therefore there is a risk of disasters in the event of a flood. In addition, the first watershed is compared to the corresponding map presented in the Flood Management Plan by the Ministry of Interior, where it was identified to be the most dangerous and at the same time important watershed due to urban use of the island.

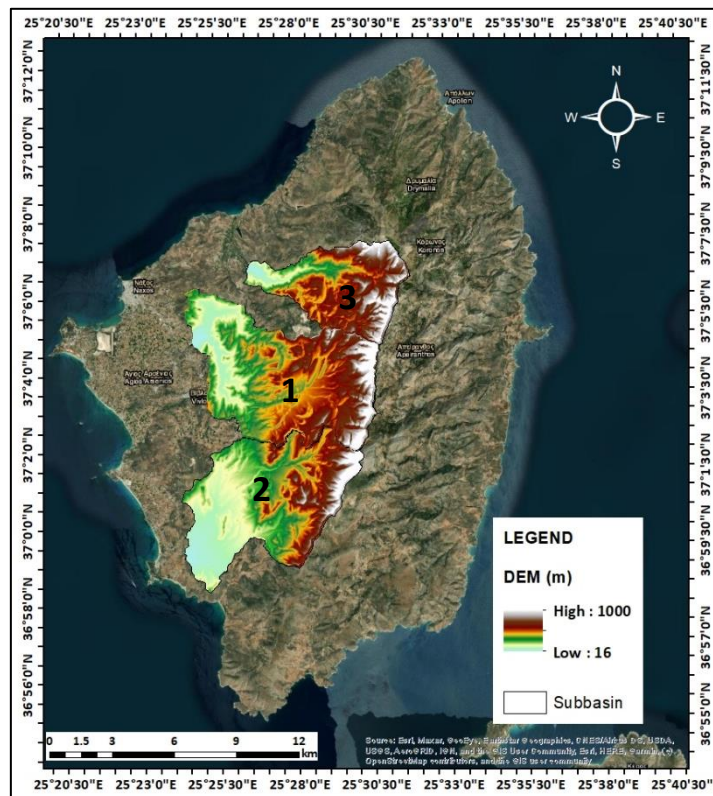


Figure 1: Study area of three subbasins in Naxos Island

Tourism is the main activity of the tertiary sector on the island and shows a high percentage of concentration in Naxos Town as well as in the wider coastal zone. In the rest of the island, it is quite limited and therefore there is a tendency for the population to move to the lowland area around Naxos Town and the nearby villages. According to the Ministry of Environment and Energy, for the description of the land uses of the wider area of the potentially high flood risk zone, the entire island of Naxos

is taken into account. Within the, grain crops prevail (65.90%), followed by dense crops (11.98%), urban areas with dense construction (6.31%), wide linear crops (5.83%) and areas with bare soil (4.47%).

Hydrological Analysis

There is a plethora of hydrological models that can be applied to estimate the flood chart of a rain event. In the present study, the model of the unit hydrograph (UH) is applied. In order to provide the unit hydrograph, the time-area diagram method (Isochronous Curves) is applied. Moreover, for multiple reasons the synthetic unit hydrograph from Snyder and the one according to SCS are also applied in this thesis. The flood chart, which is the main reason the hydrological analysis is applied, is the graph of the water supply as a function of time at the exit of the watershed. The area enclosed by this graph is the floodplain volume of water.

The Isochronous Curves method (Time Area) is based on the relationship between the runoff time and the surface of the basin, which contributes to the runoff by a certain interval (McCuen, 1998). Therefore, the subbasin is divided into individual parts with curves which are called isochronous (Christofides, 2008). The term isochronous curves describes that geometric locus of the points from which the runoff is equal in time to the exit of the basin (Kavvadas, 2012).

The most widely used method using synthetic unit hydrograph is Snyder. The method was obtained through analyses of a large number of rainfalls in the region of Appalachia, North America (Mimikou and Baltas, 2018). The method determines the lag time t_p , the Q_p peak, the base time T , as well as the amplitudes of the unit hydrograph W_{50} and W_{75} for a time corresponding to 50% and 75% of the peak respectively (McCuen, 1998). This method is mainly applicable to large basins as it presents more correct results.

The dimensionless synthetic unit hydrograph according to SCS (which now bears the name Natural Resources Conservation Service) has emerged from a large number of unit hydrographs. The unit hydrograph on the axis of the ordinates expresses the ratio of the flow to the peak flow, since on the abscissa axis the ratio of time to the time of ascent of the unit hydrograph is expressed. Given the peak flow rate and the time deceleration for a specific duration of active rainfall, the unit hydrograph can be estimated from the synthetic dimensionless hydrograph for a given basin, according to the equations below (Tsakiris, 2013):

$$Q_p = 2.08 \cdot A / t_p$$

$$t_p = \frac{t_o}{2} + tL$$

Q_p : the peak flow rate (m^3 / s) of the unit hydrograph.

A: the surface of the watershed (km^2)

T_p : The time the maximum flow rate is observed – peak time (hr)

T_0 : The duration of active rainfall (hr)

t_L : pelvis lag time (hr), i.e. the time between the centre of mass of the hyeogram and the flood peak

To calculate the total amount of rain as well as its duration, the method of alternating blocks was used. Necessary data was the rainfall curve equation for each subbasin, the variables of which came from the nearest rainfall station of Naxos. The return period was chosen at 100 years for all three watersheds. The gathering time of a watershed expresses the time delay with which the peak of the runoff flow occurs compared to the time when the rain began in the subbasin. Since no appropriate measurements were used, the Giandotti method was used to calculate this time, according to the following equations.

$$T_c = \frac{4*\sqrt{A}+1.5L}{0.8*\sqrt{H_{mn}-H_{min}}}$$

Where:

A: surface in km²

L: maximum hydraulic road (km)

H_{mn} : average altitude of the watershed (m)

H_{min} : minimum watershed altitude (m)

T_c : Gathering time (hr)

As for the duration of the rain, this given the calculated gathering time, it was chosen 6 hr (d) for all three subbasins.

Hydraulic Simulation

For the hydraulic simulation of natural watercourses and consequent flooding phenomena, a variety of software has been developed, research (LISFLOOD) and non-LISFLOOD (HEC-RAS), depending on the detail required by each research-study. For the simulation of a flood event at the river basin level in this diploma thesis, the free software River Analysis System (HEC-RAS) again of USACE was selected. HEC-RAS was designed to perform one-dimensional (1D), two-dimensional (2D) or even combined one-dimensional and two-dimensional (1D/2D) hydraulic analysis of rivers. In this paper, a two-dimensional hydraulic simulation was performed. The solution of the two-dimensional flow is based on the equations of continuity and amount of motion, which are a mathematical expression of the principle of mass conservation and the principle of conservation of momentum, respectively.

Hydraulic simulation is conducted in three parts of land within the initial study area, each one belonging to one of the three subbasins and placed below them. The area upstream of the simulation point is the object of the hydrological analysis. Below this area for each and every simulation point (downstream) is where unsteady hydraulic analysis is conducted through HEC-RAS.

The user imports the terrain, the land use and the stream network. The terrain is defined by the Digital Elevation Model of 5x5 m pixel size resolution, and the land use layer is based on the Corine Land Cover (2012) shapefile, in order to integrate Manning's roughness coefficient.

The upstream border condition for all three subbasins is defined as the corresponding inlet flood survey, as it resulted from the process of hydrological analysis in an HEC-HMS environment and specifically with that flood graph that resulted from the input of the unit hydrograph which was produced by the method of isochronous curves. The downstream boundary condition is defined as the Normal Depth which is calculated based on the rate of losses due to friction, which for all watercourses of all three subbasins was chosen 0.01. According to this boundary condition a level value is set for each flow rate per cross section, which is calculated by the program by solving the Manning equation. The above is repeated for the three simulated subbasins and for the three methods used separately in the unsteady flow data editor environment.

Results and discussion

Hydrological Analysis

The hydrological analysis of the subbasins has as its starting point the analysis of the geomorphological and hydrological characteristics of the study area which is carried out through the HEC-GeoHMS extension of ArcMap. The project uses as inputs the Digital Terrain Model (DEM), digital maps with land types as well as those with land use. The further processing of these spatial data with a series of commands consists in the creation and mapping of the subbasins, the hydrographic network as well as the other geomorphological characteristics that constitute input data to the HEC-HMS program. The other input data required for the operation of HEC-HMS are meteorological data, generated hydrographs, as well as some parameters for the application of HEC-HMS mathematical standards. Final destination of hydrological analysis are the following flood hydrographs.

For subbasin 1 there is a peak flow rate of 57 m³/s at 13 hours with the SCS method, 76 m³/s at 9 hours with the Snyder method and finally 90 m³/s at 10 hours with the isochronous curve method. For subbasin 2 there is a peak flow rate of 55 m³/s at 12.5 hours with the SCS method, 76 m³/s at 9 hours with the Snyder method and finally 97 m³/s again at 9 hours with the isochronous curves method. Finally, for basin 3 peak flow rate occurs in 12 hours with a value of 33 m³/s with the SCS method and in 8

hours for the Snyder method and for that of isochronous curves with values of 53 m³/s and 76 m³/s respectively.

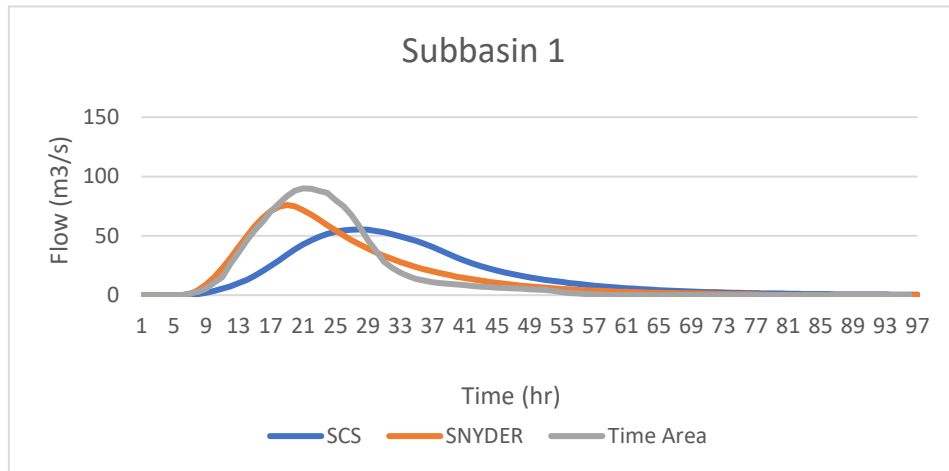


Figure 2: Hydrographs at simulation point of Subbasin 1 for all three methods (SCS, Snyder and Time Area)

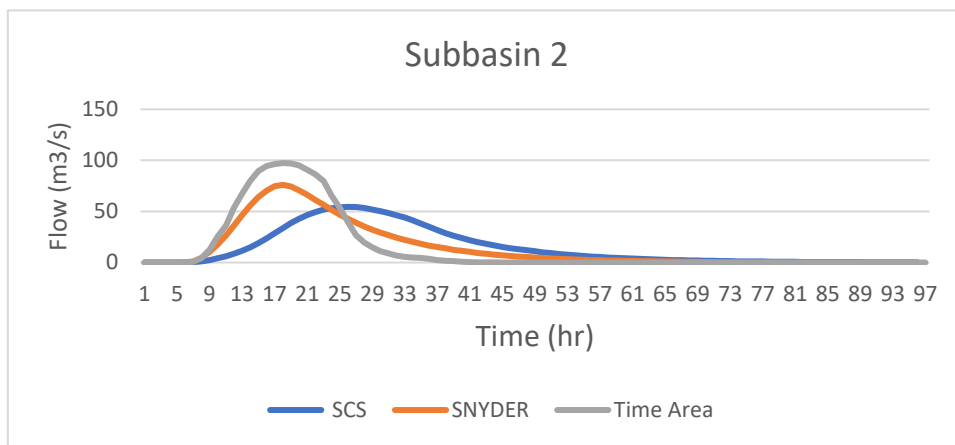


Figure 3 Hydrographs at simulation point of Subbasin 2 for all three methods (SCS, Snyder and Time Area)

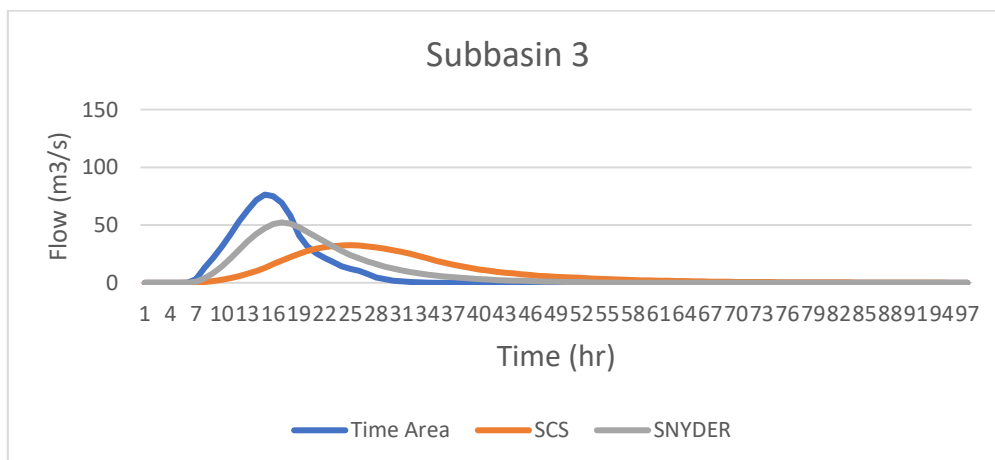


Figure 4 Hydrographs at simulation point of Subbasin 3 for all three methods (SCS, Snyder and Time Area)

Hydraulic Simulation

Starting the hydraulic simulation requires some input data. Specifically, in HEC-RAS, the boundaries of each subbasin, its hydrographic network and the watershed are entered in vector files. A field is also added to Corine land uses in the ArcGIS attribute table.

Finally, a necessary element of the hydraulic simulation is the flood graph calculated with the help of the HEC-HMS software for each of the three methods (Snyder, SCS, isochronous curves) and for each of the three subbasins.

The floodplain of each stream is simulated through a 2D hydrodynamic unsteady analysis. The above flood hydrographs are used for hydraulic simulation by being imported into HEC-RAS as an upper boundary condition. Maximum depth and velocity of the floodplains are depicted in Figures 5 to 22.

From the results it is observed that the flow depths are higher mainly within the watercourse bed in all subbasins however in general they are small in all three subbasins studied (of the order 0-5m). The flow rates respectively in all the sections examined are relatively low with the exception, as predicted, of the area of the main watercourses. In general, speeds range from 1 m/s to 7 m/s.

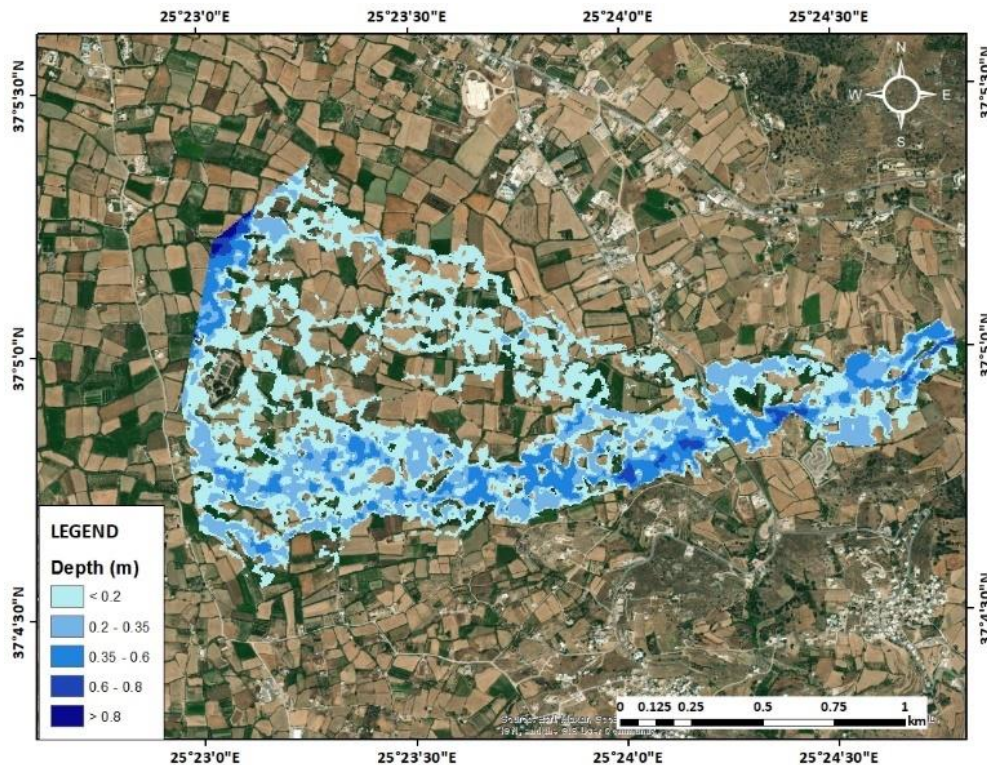


Figure 5: Maximum depth floodplain of 1st subbasin with Snyder method

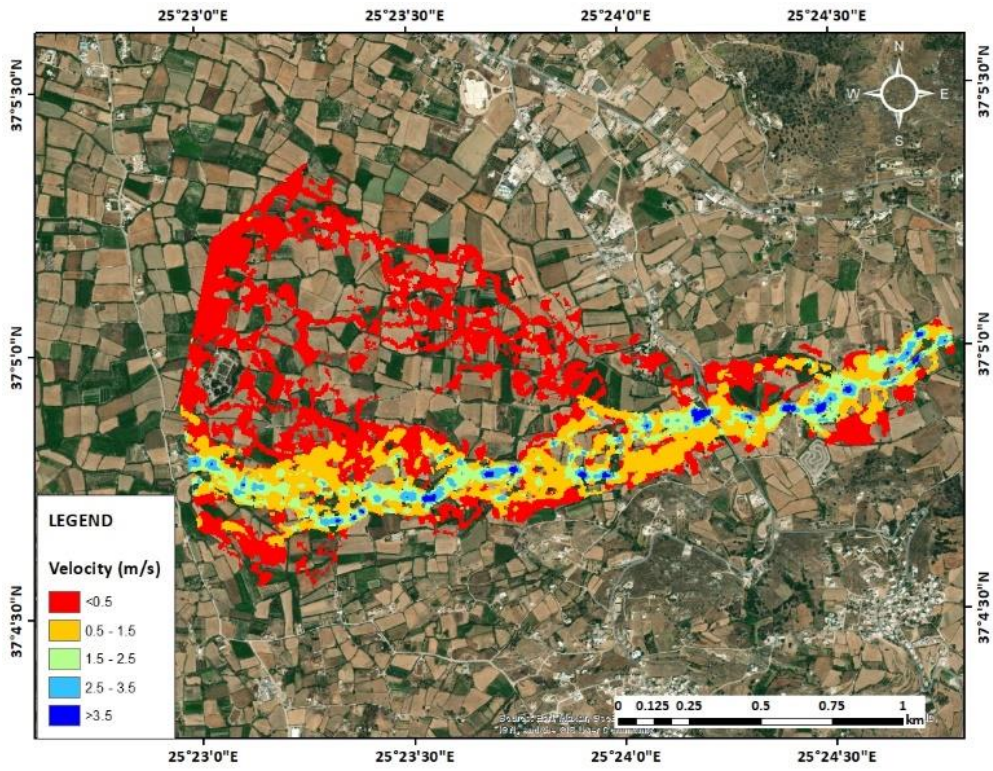


Figure 6: Maximum velocity floodplain of 1st subbasin with Snyder method

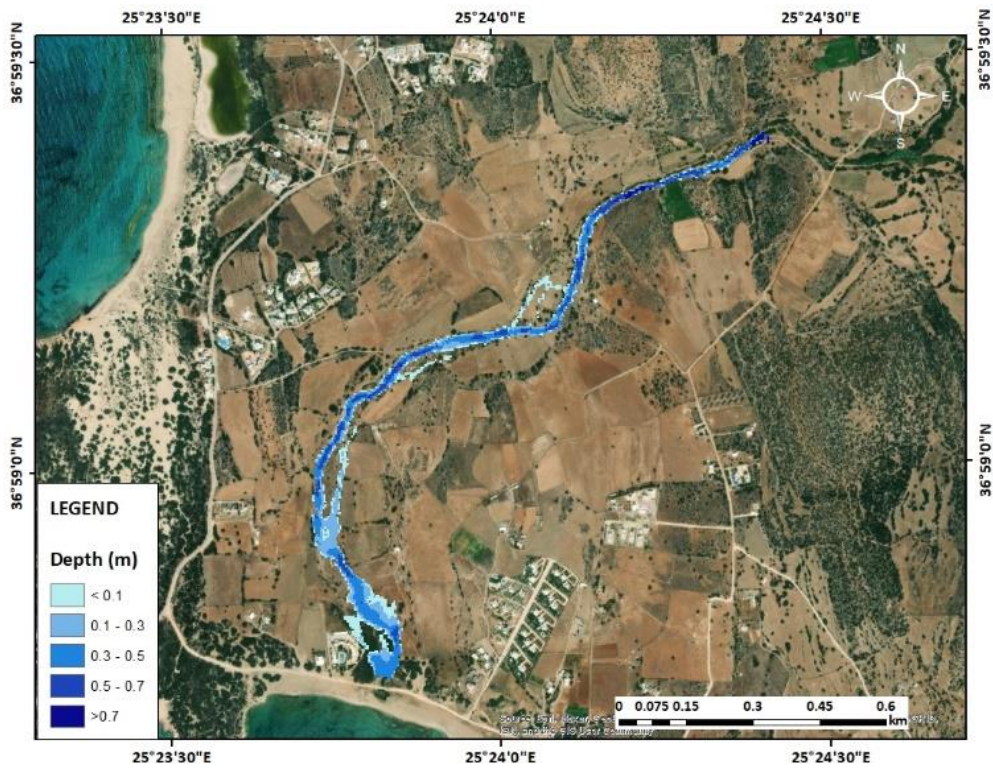


Figure 7: Maximum depth floodplain of 2nd subbasin with Snyder method

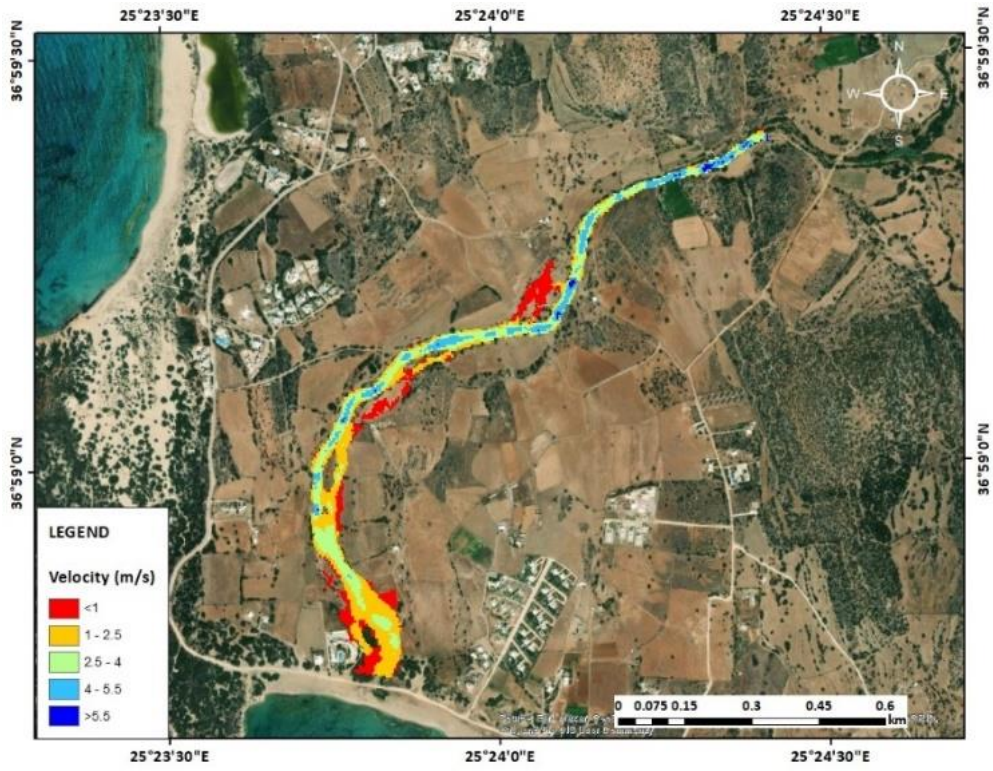


Figure 8: Maximum velocity floodplain of 2nd subbasin with Snyder method

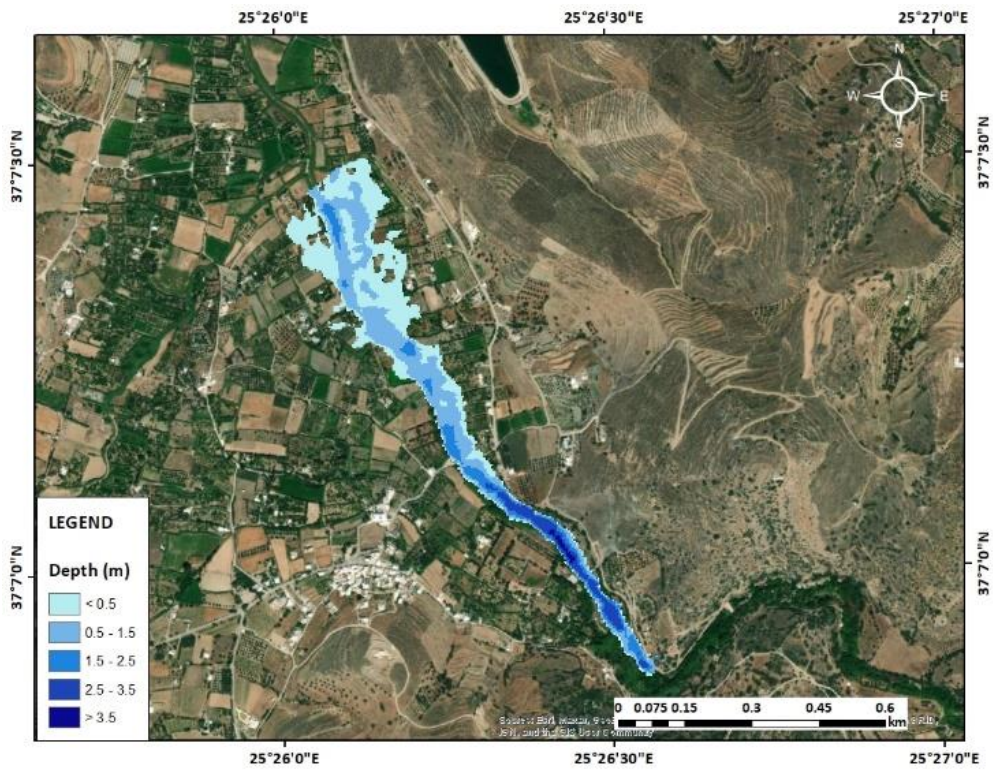


Figure 9: Maximum depth floodplain of 3rd subbasin with Snyder method

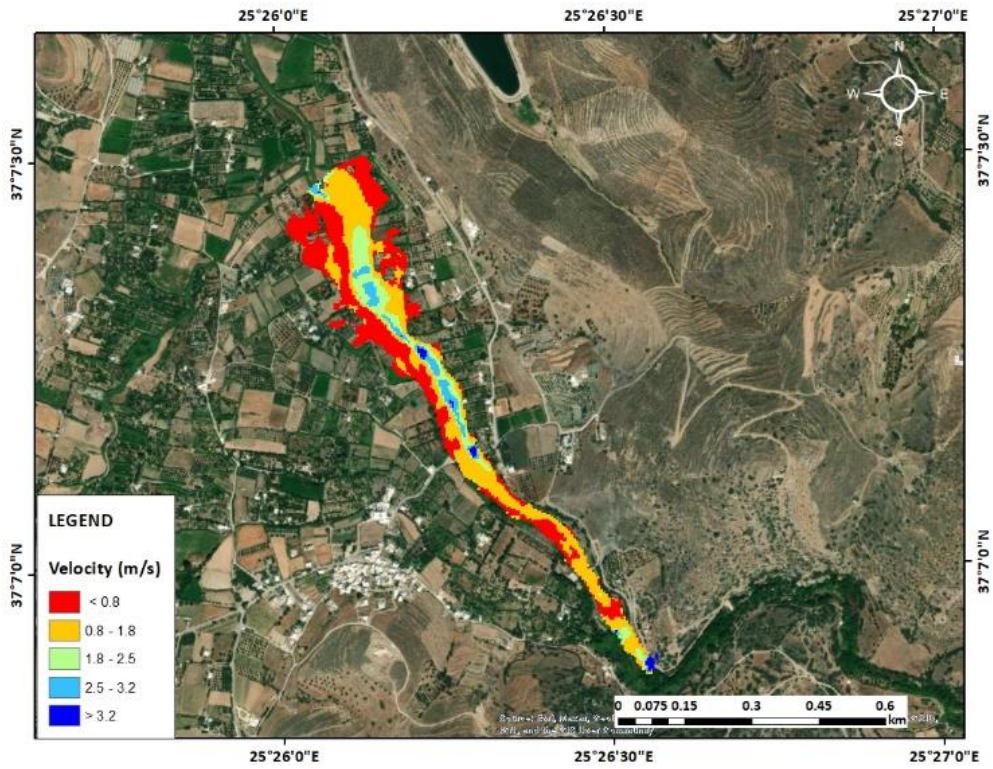


Figure 10: Maximum velocity floodplain of 3rd subbasin with Snyder method

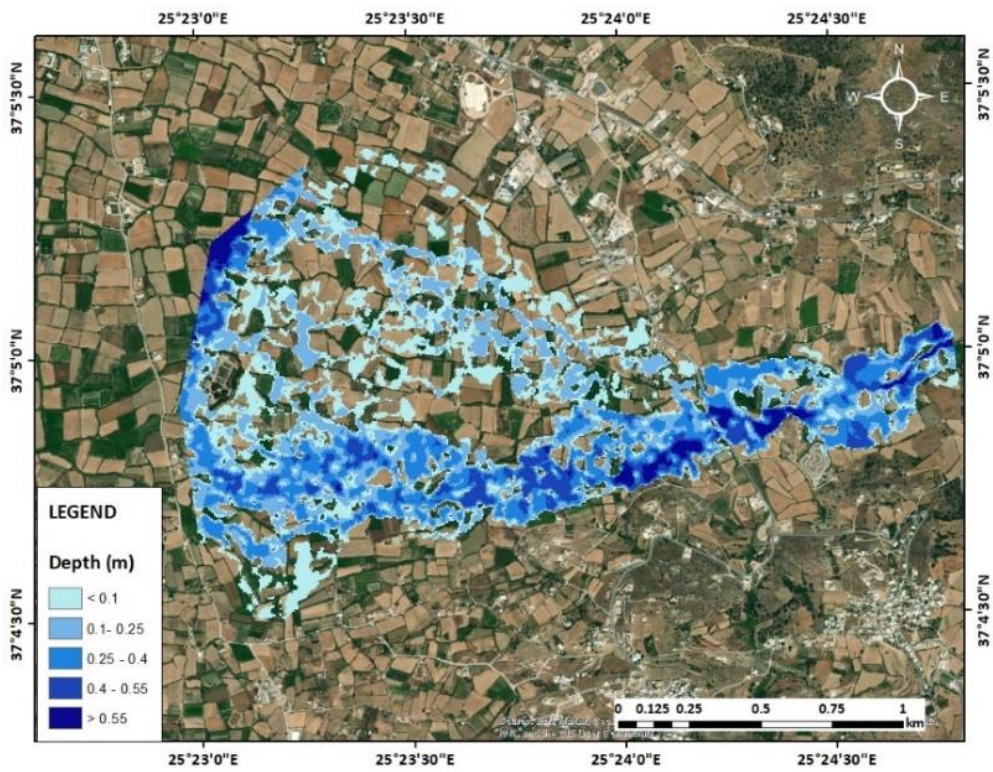


Figure 11: Maximum depth floodplain of 1st subbasin with Time-Area method

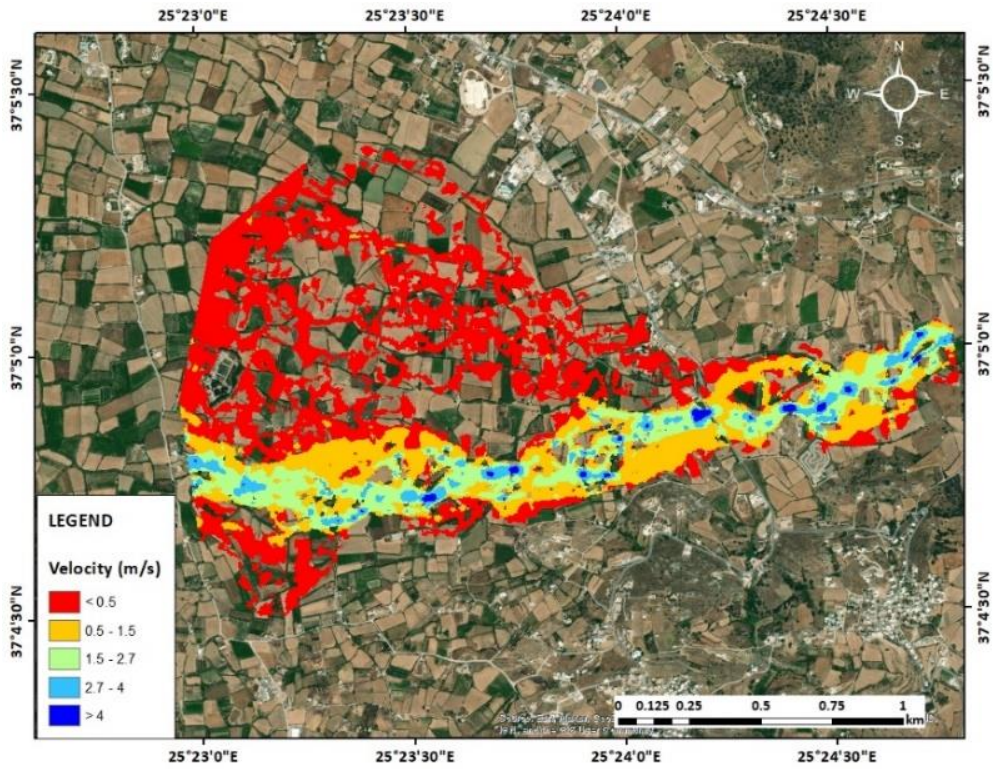


Figure 12: Maximum velocity floodplain of 1st subbasin with Time-Area method



Figure 13: Maximum depth floodplain of 2nd subbasin with Time-Area method

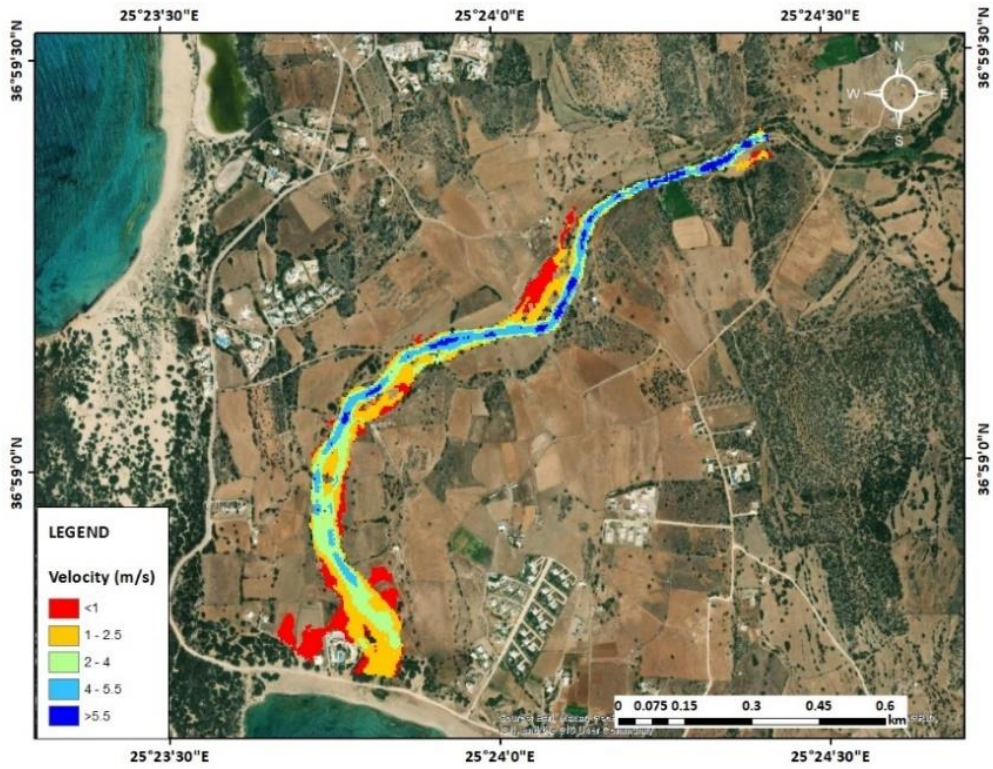


Figure 14: Maximum velocity floodplain of 2nd subbasin with Time-Area method

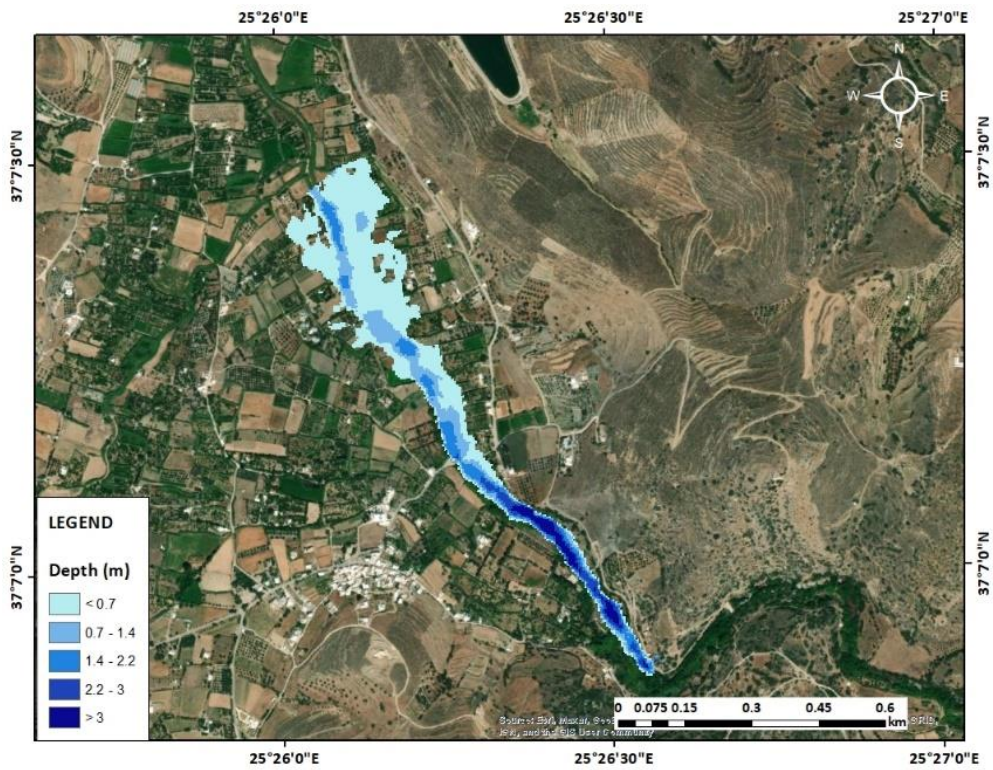


Figure 15: Maximum depth floodplain of 3rd subbasin with Time-Area method

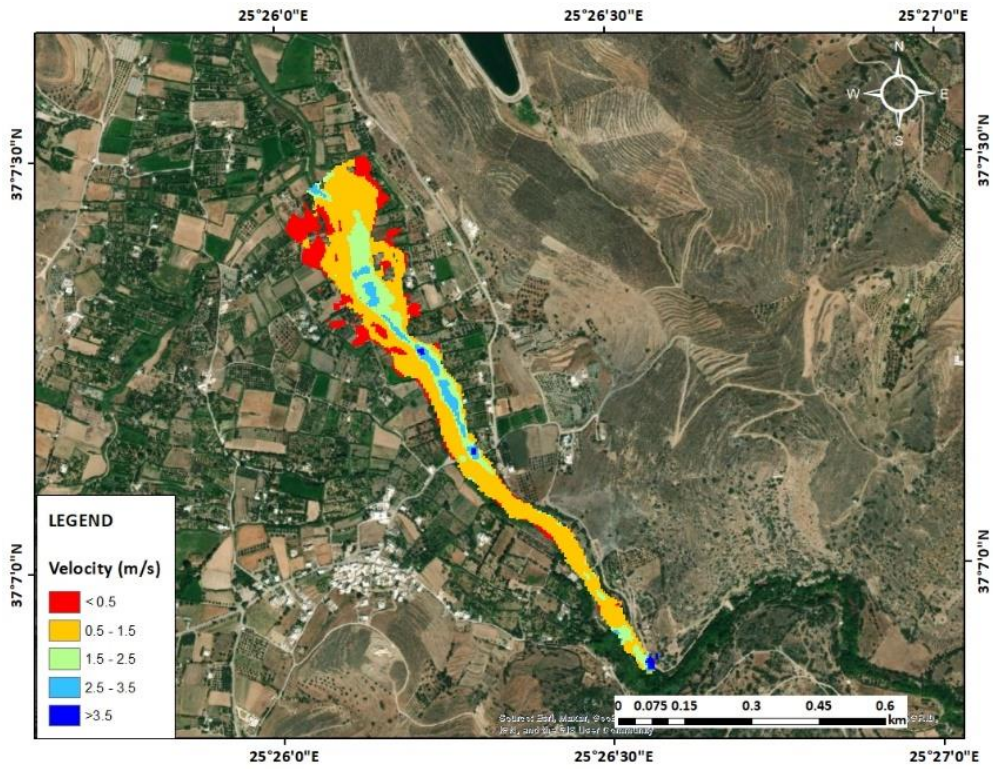


Figure 16: Maximum velocity floodplain of 3rd subbasin with Time-Area method

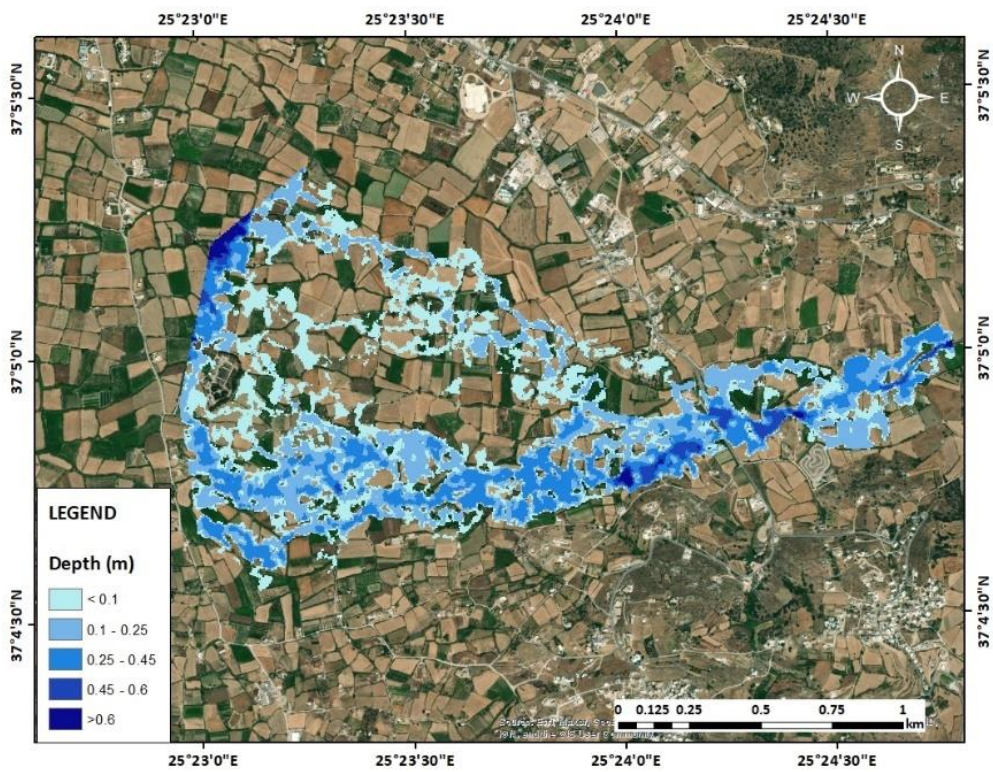


Figure 17: Maximum depth floodplain of 1st subbasin with SCS method

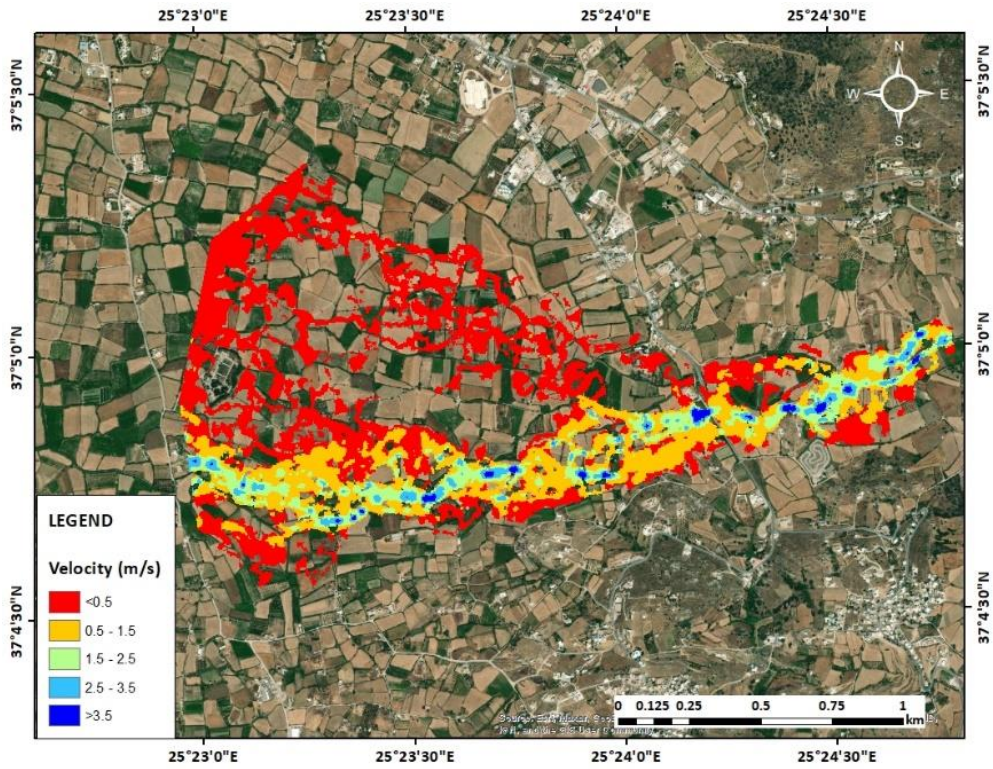


Figure 18: Maximum velocity floodplain of 1st subbasin with SCS method

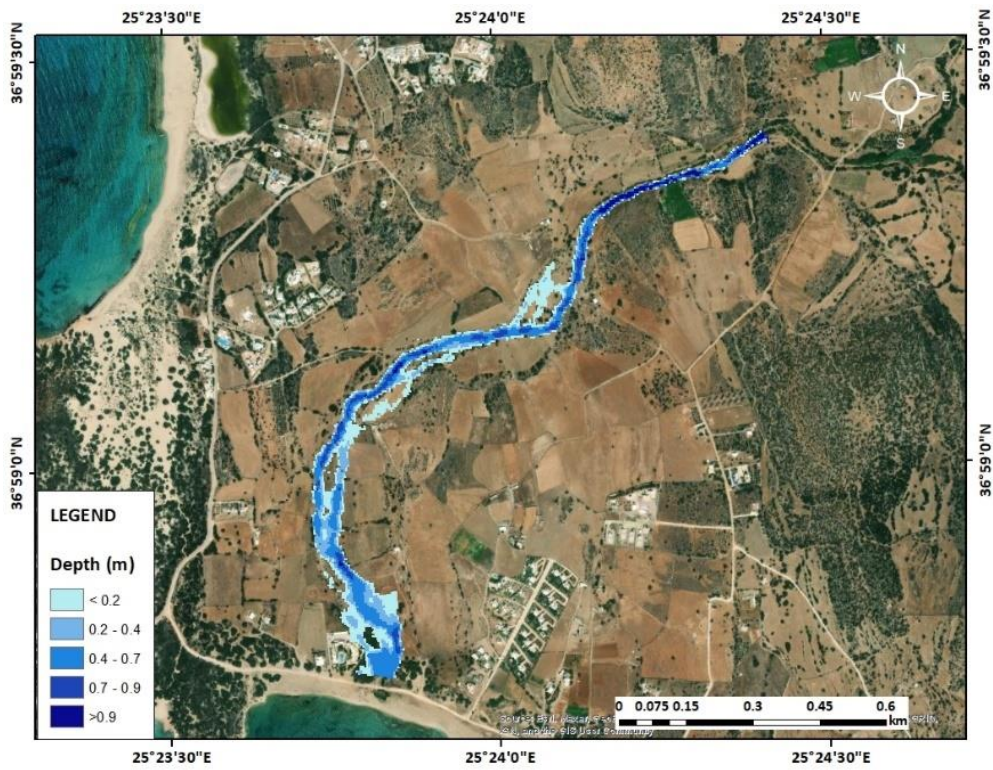


Figure 19: Maximum depth floodplain of 2nd subbasin with SCS method

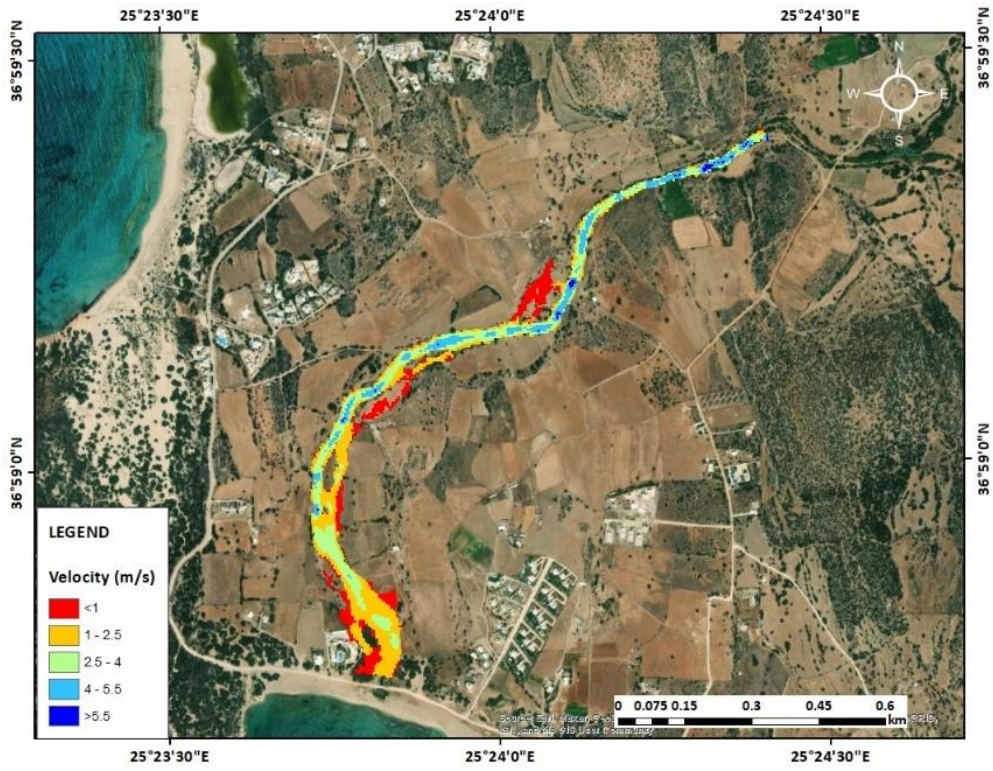


Figure 20: Maximum velocity floodplain of 2nd subbasin with SCS method

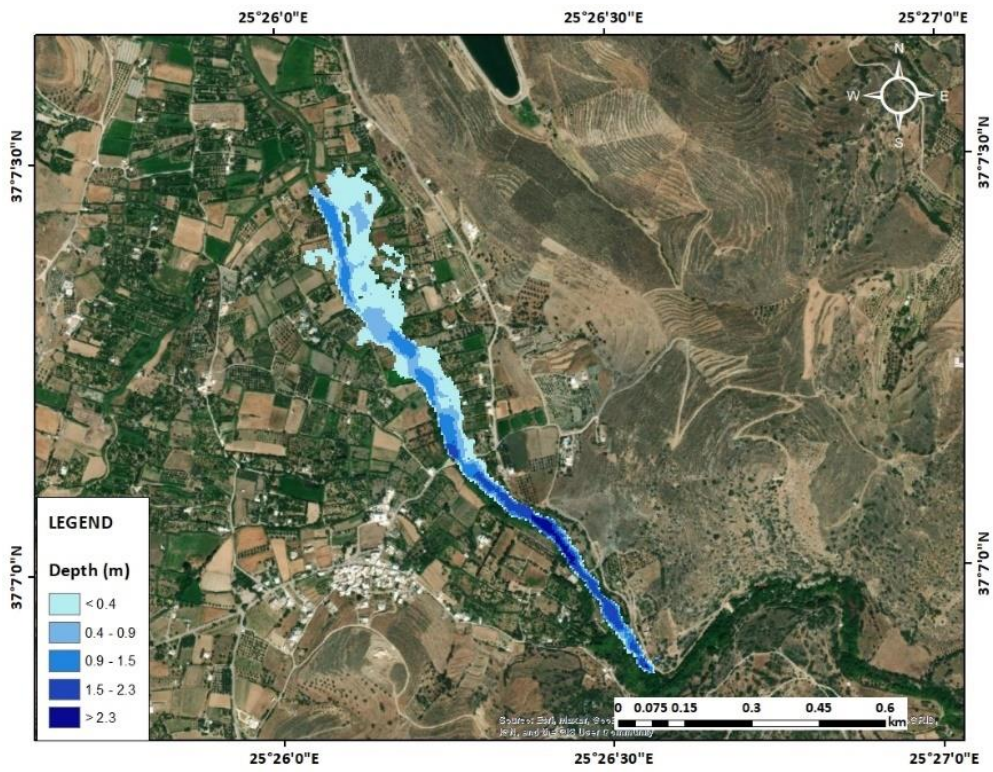


Figure 21: Maximum depth floodplain of 3rd subbasin with SCS method

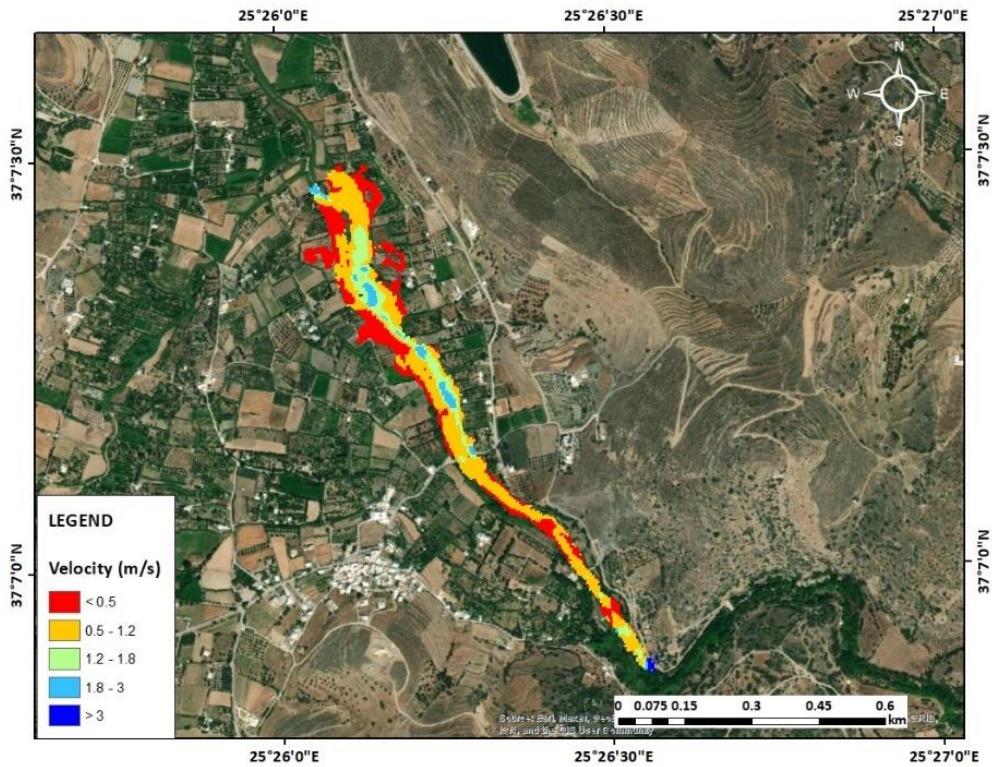


Figure 22: Maximum velocity floodplain of 3rd subbasin with SCS method

The following conclusions can be drawn from the above results. Initially, in all subbasins, the Time Area method shows more unfavorable results with greater flow depths and velocities compared to the other two methods, a fact which verifies the results of the hydrological analysis as well as in the latter, higher peak flows were calculated. Then, as far as the risk is concerned, downstream of all three subbasins the river seems to be noticeably approaching villages and agricultural areas. Downstream of the 1st subbasin the river that forms in places seems to encroach on urban fabric. This is verified by the maps of the HYPEKA and justifies the fact that according to them this part of Naxos is the most critical in terms of the possibility of flood events. The second study area downstream of the 2nd subbasin shows high velocities in proportion to the size of the subbasin and this is due to the large gradients encountered by the terrain along it. In the downstream area, some hotel units seem to be at risk as there are generally not many residences. Finally, downstream of the 3rd subbasin, the river seems to approach important urban areas without, however, clearly encroaching on important parts of them. This fact cannot be ignored nor be a reassuring factor as apart from the fact that the results often have small deviations from reality, it is not possible to predict the exact rain event and therefore the magnitude of future floods. However, according to the results, agricultural areas are encroached upon by the forming river, creating the possibility of disasters. Therefore, actions should be taken for every possible rain scenario.

Natural Based Solutions

Natural Based Solutions (NBS) are solutions inspired and supported by nature. These are solutions that provide environmental, social and impressive economic benefits which are hopefully being adopted more and more often. NBS (restoration of wetlands, rivers, watersheds, reforestation, land use change, etc.) have proven potential to reduce vulnerability to a variety of disasters, including floods. At the same time, however, as it is evident that they contribute positively to the preservation of the environment, to the management and utilization of water and other resources, as well as to the adaptation to the disturbances created by extreme climates and urbanization. (Barcelo, 2019).

In the present study, the pieces of land in each basin where they are not exploited by humans were identified and a denser forest surface than the existing one was placed. Distinguishing the type of cover (shrubs, crops, pastures, etc.) again with the help of GIS the land uses were defined. The result of these two divisions in geology and land uses was the determination of the Curve Number (CN) parameter. Placing a denser vegetation in the parts of the subbasins which are not used by humans changed the CN parameter as shown in the images below. The new mean CN of each subbasin was entered into HEC-HMS which accepts a single CN value of 70 for all 3 subbasins.

In these sections, in addition to the CN parameter, the k100 parameter (the coefficient k multiplied by 100) was also changed. The coefficient k is related to the roughness coefficient and in general is the speed of movement of water on the ground depending on the land use.

Subsequently, with the method of isochronous curves which has already been analyzed, new Unit Hydrographs (UH) were produced that appear in figures 23 to 25 which, together with the new values of CN, were entered into HEC-HMS in order to produce new flood graphs. This particular method was chosen, instead of those of SCS and Snyder, as the results obtained from both the hydrographs (peak flows) and the hydraulic analysis through HEC-RAS simulation were the most unfavorable.

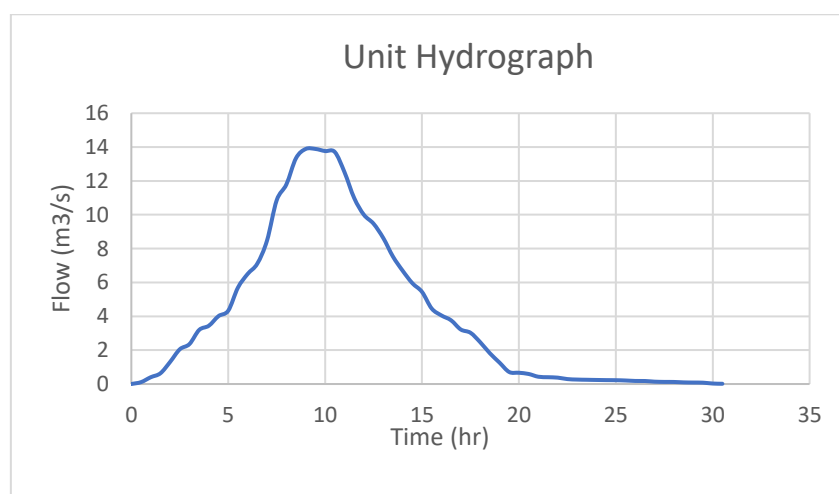


Figure 23: 1st subbasin UH produced after land use change

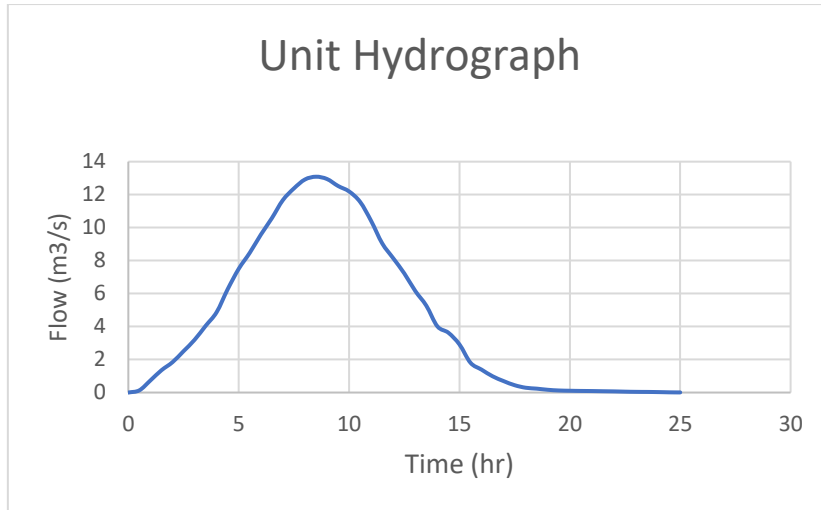


Figure 24: 2nd subbasin UH produced after land use change

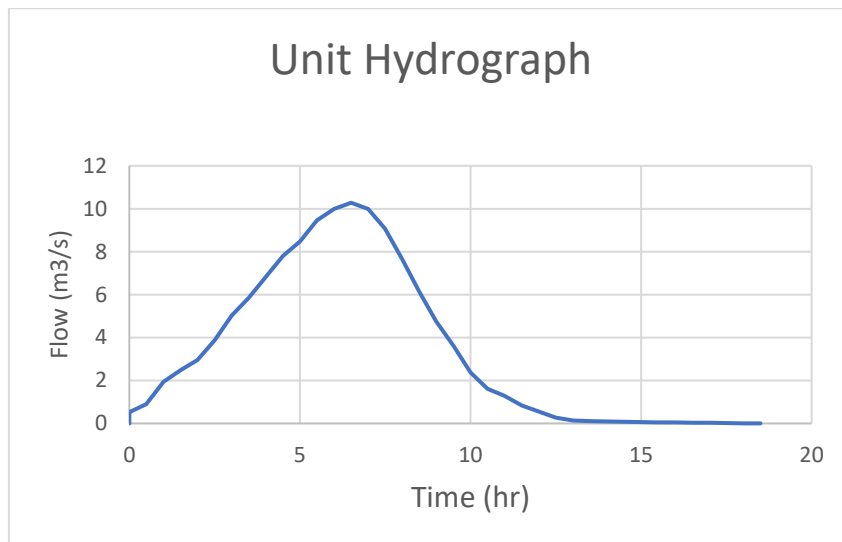


Figure 25: 3d subbasin UH produced after land use change

In the following flood graphs, for the purpose of comparing the benefits and hours and evaluating the effectiveness of the natural solution, the curve is shown in the same graph both before (Total Flow) and after the change of land uses (New Total Flow).

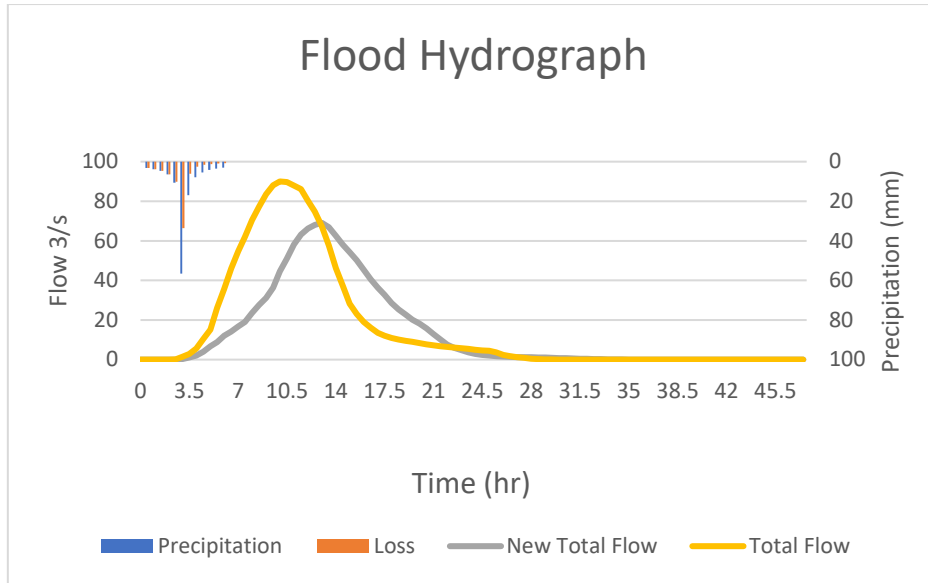


Figure 26: Flood hydrographs of the 1st subbasin before (Total Flow) and after (New Total Flow) land use change

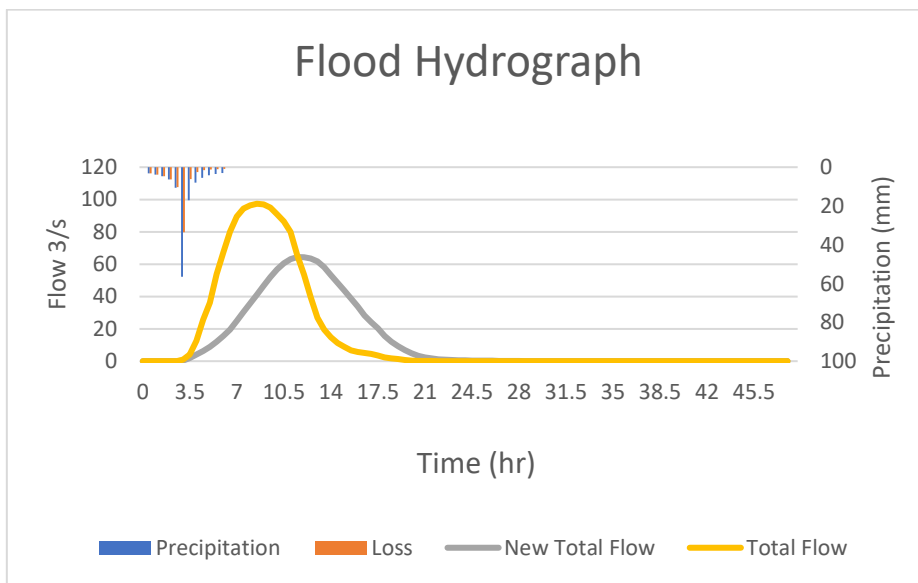


Figure 27: Flood hydrographs of the 2nd subbasin before (Total Flow) and after (New Total Flow) land use change

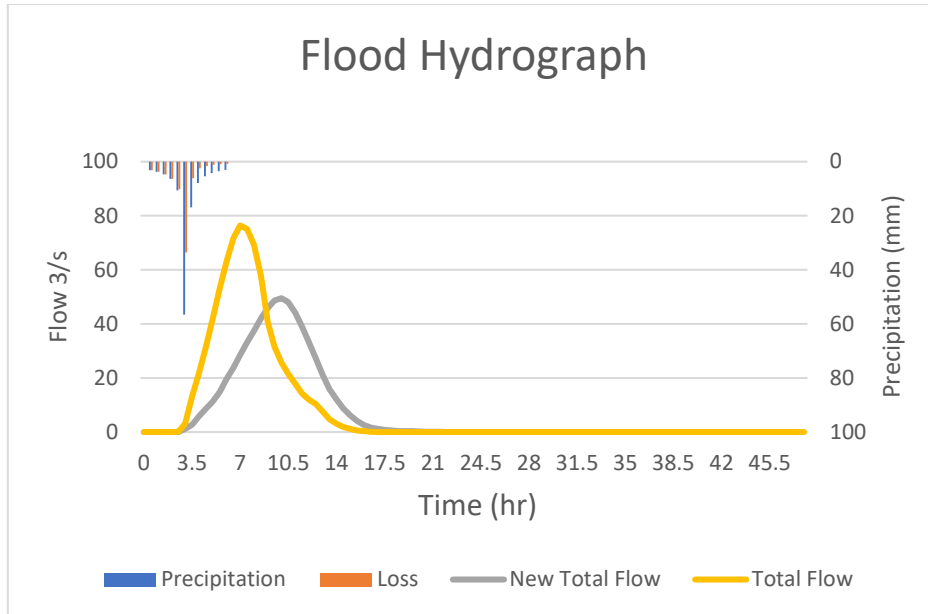


Figure 28: Flood hydrographs of the 3d subbasin before (Total Flow) and after (New Total Flow) land use change

From the above flood graphs, the following results emerged for each basin:

For basin 1 the peak flow from 90 m³/s decreased to 69 m³/s, for basin 2 from 97 m³/s it decreased to 64 m³/s and finally for basin 3 from 76 m³/s the value dropped at 49 m³/s. A more detailed presentation of the results is presented in the table below.

Table 1: Peak discharge, peak presentation time and flood volume values for the three study basins and for the three methods used after land-use change

SUBBASIN 1	Flow (m ³ /s)	Time (hr)	Volume (hm ³)
UH with Time Area Method	69.1	13	2.28
SUBBASIN 2			
UH with Time Area Method	64	11.5	2
SUBBASIN 3			
UH with Time Area Method	49.5	10	1.1

The hydraulic simulation had the below results. The calculated hydrographs contribute to the completion of the hydraulic simulation through the HEC-RAS software. The results are shown in Figures 29-34. As expected with the above

hydrograph values, there was a reduction in both flow depth and velocity. For comparison purposes, the same scales as before the land use change were placed on the new maps. The reduction in flow depths was below 10 cm and the reduction of the velocity was under 1m/s.

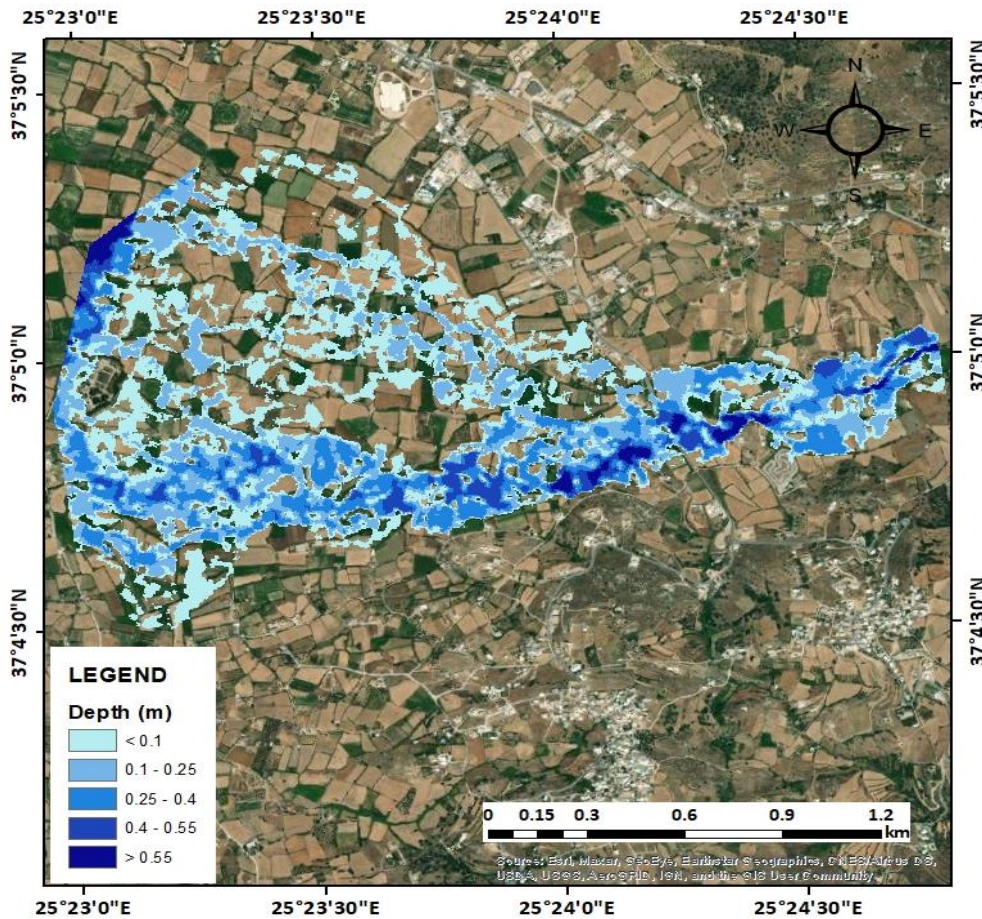


Figure 29: Maximum depth floodplain of 1st subbasin with Time-Area method after land use change

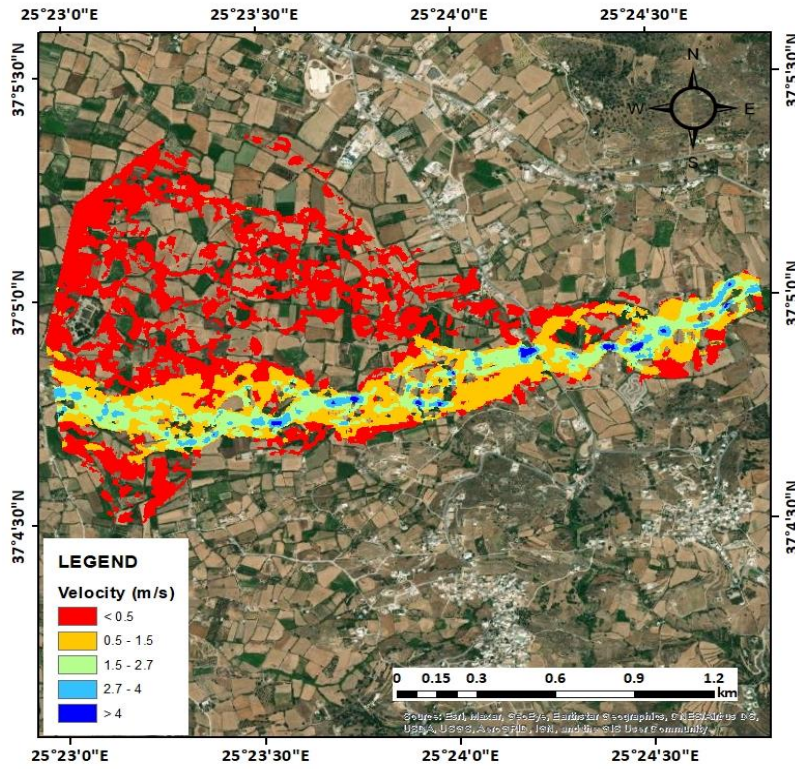


Figure 30: Maximum velocity floodplain of 1st subbasin with Time-Area method after land use change

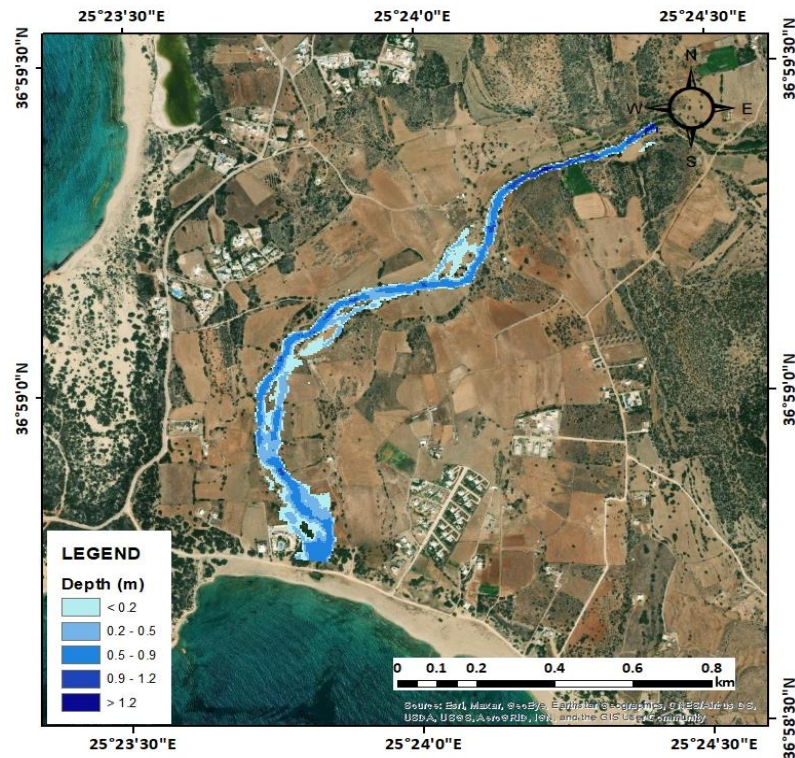


Figure 31: Maximum depth floodplain of 2nd subbasin with Time-Area method after land use change

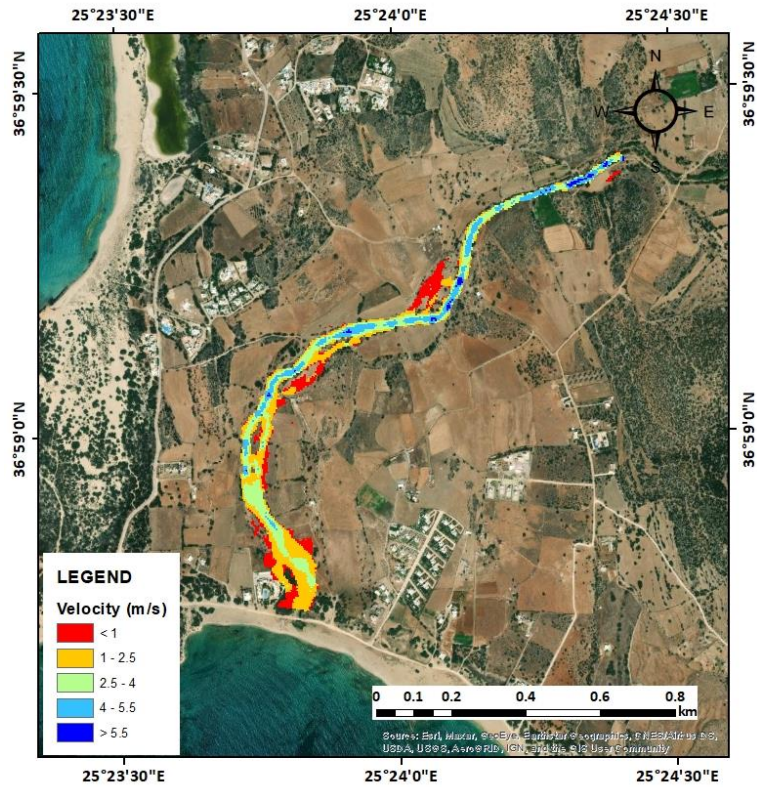


Figure 32: Maximum velocity floodplain of 2nd subbasin with Time-Area method after land use change

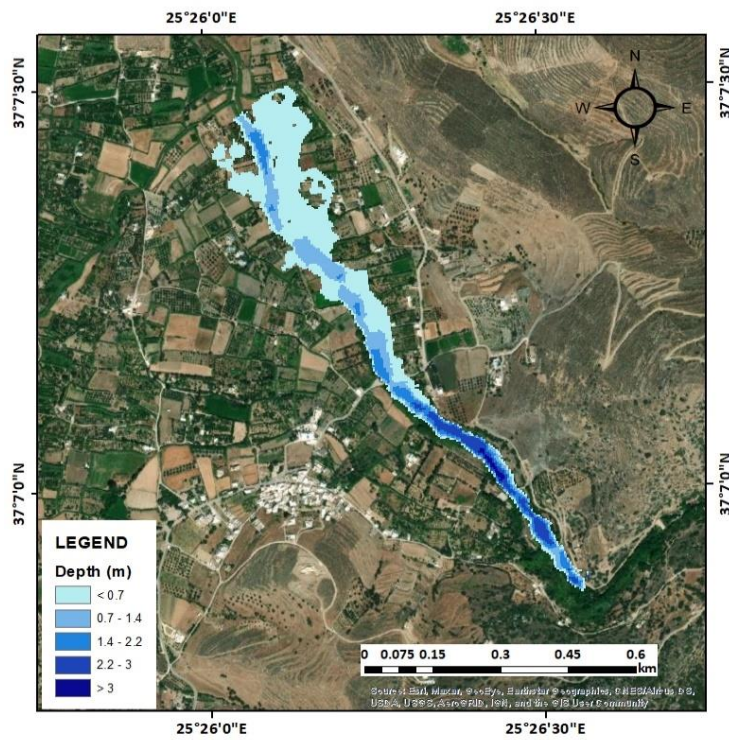


Figure 33: Maximum depth floodplain of 3rd subbasin with Time-Area method after land use change

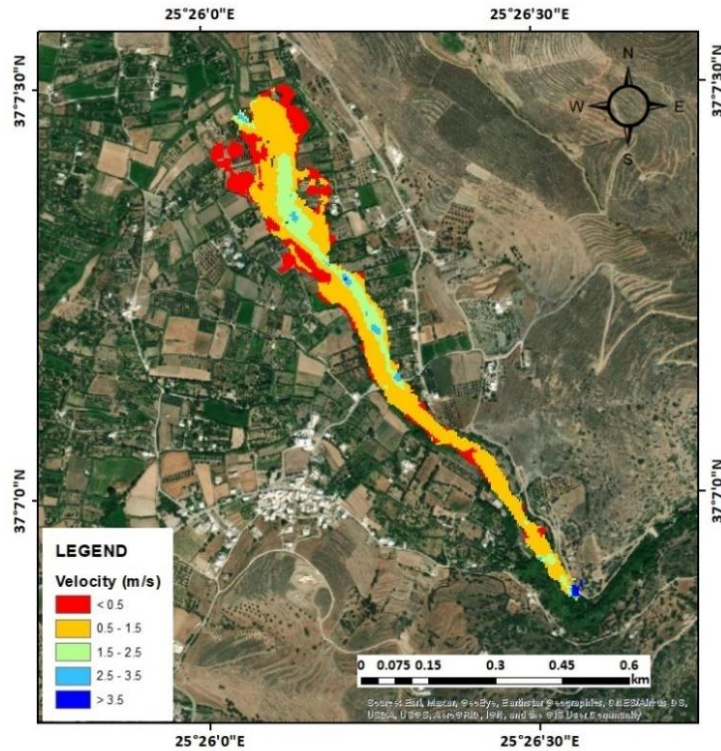


Figure 34: Maximum velocity floodplain of 3rd subbasin with Time-Area method after land use change

Another possible scenario for dealing with possible future flood disasters is that of retention ponds. The logic behind this particular NBS is as follows. A series of small ponds and depressions are constructed along the main watercourse within the catchment where water is stored during storms. In this way, the flow speed is reduced, the time during which the peak supply will occur at the outlet of the basin increases, and most importantly, the flood volume that occurs at this point of outlet of the basin is significantly reduced. In this thesis, in an ArcGIS environment, small sections of land were designed where it is possible to create retention ponds. Specifically, they were located within subbasin 1, and in particular along the watercourse, which are land that is not used by humans and can be processed accordingly to create these artificial lakes. The specific basin was chosen for study as it has the largest flood volume and the land section downstream is considered more dangerous according to a multi-criteria analysis by ypeka.

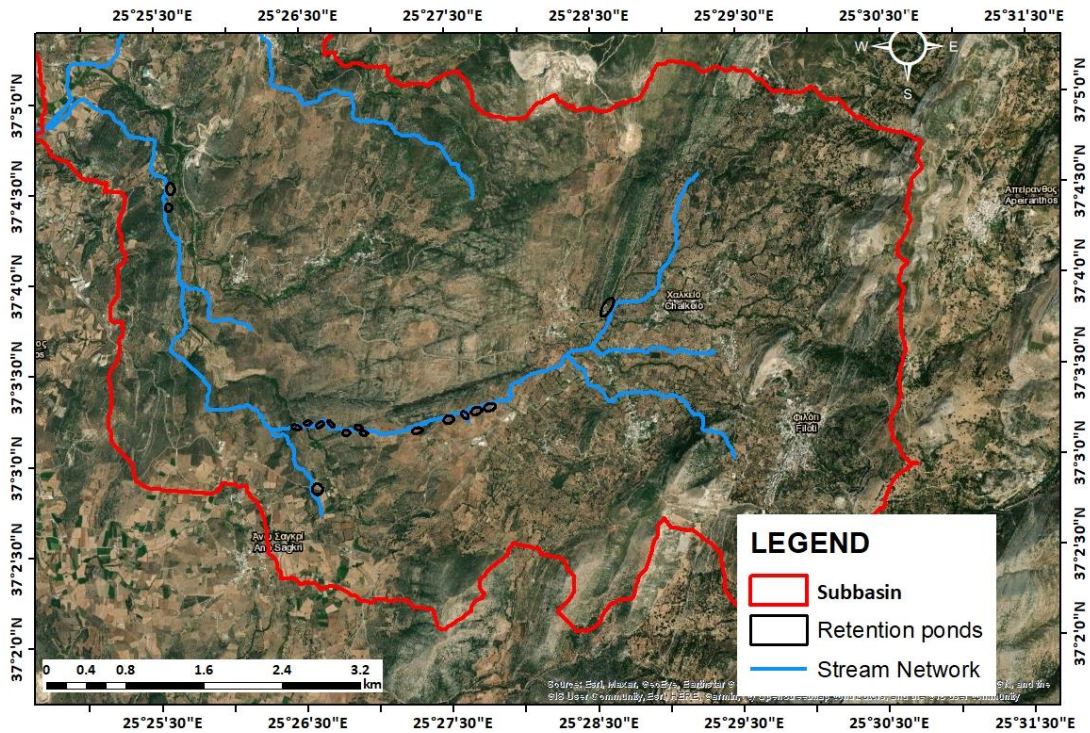


Figure 35: Retention Ponds placed in the 1st subbasin on either side of the main stream network

The table below shows the approximate new flood chart. The area enclosed under the total runoff (Total Flow) is equal to the total flood volume. Changing the individual discharges to target the new volume previously calculated forms the new subbasin runoff. The peak flow of the new flood graph is calculated at 81 m³/s. For comparison purposes, the following figure shows the flood graph that resulted from the hydrological analysis using the Time Area method where the peak flow was 90 m³/s.

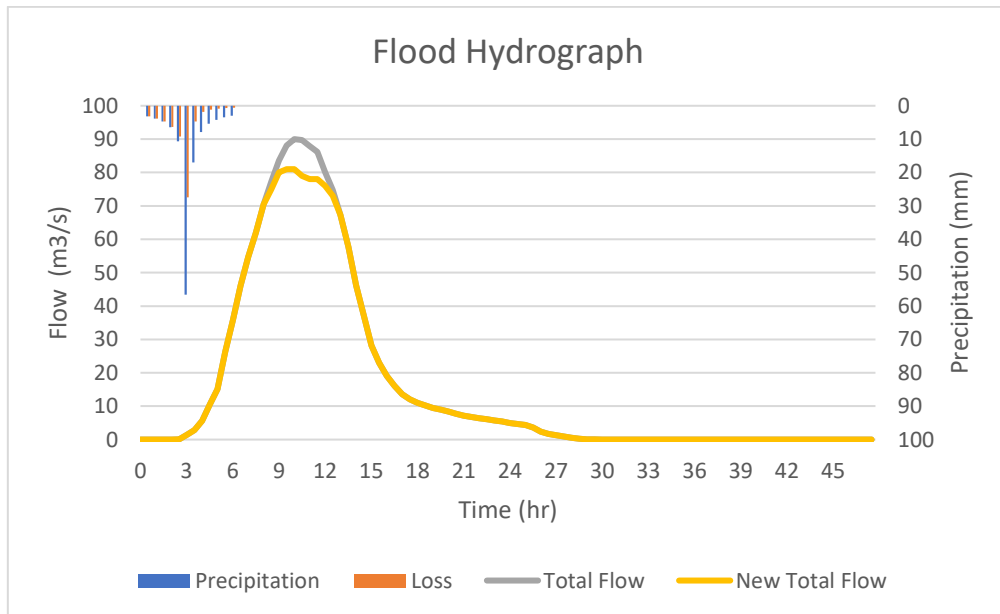


Figure 36: Flood hydrographs of the 1st subbasin before (Total Flow) and after (New Total Flow) land use change

Conclusions

The study carried out in the present work in Naxos leads to the following conclusions:

Land uses play a catalytic role in the final cartographic result because they are linked in multiple ways to the flood risk, also affecting the impermeability criterion. In addition, information is extracted from Corine's land use map, which is also applied to the stage of hydraulic analysis, by assigning the different categories to different values of the Manning factor. The above means on the one hand that a possible change in land uses (e.g. further expansion of the urban fabric) significantly affects the variation of risk in the study area, on the other hand that the quality, accuracy and correctness of the Corine data is particularly important for the reliability of the products of the process and indeed in its different stages

The largest flood peak of the three considered subbasins is located in the 2nd subbasin in the southern part of the island and specifically from the flood graph of the Time-Area a peak flow of $96 \text{ m}^3/\text{s}$ is calculated. Its flood volume was calculated to be 2.5 hm^3 . This is due both to land uses and to the fact that to the east of this subbasin is the highest part of the island, thus creating larger land calls. The largest flood volume, however, according to the flood chart is equal to 2.7 hm^3 and is located in the 1st subbasin in the central part of the island, as this was also the largest subbasin in area.

The change of land uses as a natural solution seems to greatly influence the results of the hydrological analysis, something that is very positive in the scientific field and rightfully claims further study. Specifically, in the 1st subbasin the peak flow decreased to $69.1 \text{ m}^3/\text{s}$ and the flood volume 2.28 hm^3 against the initial values of $90 \text{ m}^3/\text{s}$ (30% reduction) and 2.7 hm^3 (16% reduction) respectively. In basin 2 peak flow decreased to $64 \text{ m}^3/\text{s}$ and flood volume 2 hm^3 against the initial values of $97 \text{ m}^3/\text{s}$ (34% reduction) and 2.5 hm^3 (20% reduction) respectively. Finally, for subbasin 3 the new flood volume and peak flow values of the flood graph, after local land use changes, were calculated to be $49.5 \text{ m}^3/\text{s}$ and 1.1 hm^3 against $76 \text{ m}^3/\text{s}$ (34% reduction) and 1.4 hm^3 (21% reduction).

The creation of retention ponds through earthworks also had a positive effect on reducing flood volume and peak discharge. More specifically, the twenty lakes created with an average area of 5000 m^2 reduced the peak flow to $81 \text{ m}^3/\text{s}$ when its initial value was $90 \text{ m}^3/\text{s}$ and the flood volume to 2.6 hm^3 when its initially calculated value was 2.7 hm^3

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

1.1.1 Οι πλημμύρες

«Πλημμύρα» ονομάζεται η προσωρινή κάλυψη εδάφους από νερό που υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν θα καλυπτόταν. Στον παραπάνω ορισμό περιλαμβάνονται οι πλημμύρες που προκαλούνται από ορεινούς χειμάρρους, εφήμερα υδατορεύματα της Μεσογείου, ποτάμια, εντατική τήξη πάγων, καθώς και από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές. Το φαινόμενο της πλημμύρας οφείλεται κυρίως σε ισχυρές και παρατεταμένες βροχοπτώσεις και μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο υδάτινο φορτίο των υδατορευμάτων, των ποταμών και των καναλιών. Γενικότερα, τα φυσικά φαινόμενα όπως είναι γνωστό δεν μπορούν να ελεγχθούν, ωστόσο η τροποποίηση με ανθρώπινη επέμβαση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών και εδαφολογικών συνθηκών της εκάστοτε λεκάνης απορροής είναι κάτι εφικτό.

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή πλέον στις μέρες μας σύμφωνα με τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, με τις πυρκαγιές να κατέχουν την πρώτη θέση. Προφανές και κύριο αίτιο των πλημμυρών αποτελούν οι ισχυρές βροχοπτώσεις και καταιγίδες καθώς επίσης συχνά εμφανίζεται πλημμύρα λόγω αύξησης στάθμης ποταμών, αστοχία φραγμάτων ή τήξης χιονιού.

Ένα υδατόρευμα κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης μπορεί να φουσκώσει και να υπερχειλίσει, υπερβαίνοντας τις όχθες, και πλημμυρίζοντας έτσι τις γύρω περιοχές. Ωστόσο, η μορφή και η συμπεριφορά των υδατορευμάτων ποικίλει. Για παράδειγμα, οι χειμάρροι μετατρέπονται σε ποτάμια μονάχα σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης. Με τη μείωση της βροχόπτωσης, συχνά μειώνεται η στάθμη των υδάτων και η κοίτη μπορεί να μείνει χωρίς νερό.

Ανάλογα με τα αίτια που τις προκαλούν, οι πλημμύρες μπορούν γενικά να χωριστούν σε τρεις ομάδες:

Πρώτη ομάδα: εδώ ανήκουν πλημμύρες οι οποίες προκαλούνται κυρίως από παρατεταμένες και ισχυρές βροχοπτώσεις ή από εντατική τήξη χιονιού ή πάγων/παγετώνων.

Δεύτερη ομάδα: αφορά πλημμύρες οι οποίες προκαλούνται από ισχυρούς ανέμους. Οι πλημμύρες αυτές συνήθως παρατηρούνται σε παράκτιες περιοχές και στα τμήματα των ποταμών που εκβάλλουν στη θάλασσα

Τρίτη ομάδα: εδώ συμπεριλαμβάνονται οι πλημμύρες οι οποίες προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς, καθώς επίσης και από την έκρηξη υποθαλάσσιου ή νησιωτικού ηφαιστείου. Πρόκειται για φαινόμενα πιο σπάνια. Οι υποθαλάσσιοι

σεισμοί και οι υποθαλάσσιες εκρήξεις μπορεί να προκαλέσουν μεγάλα κύματα που ονομάζονται τσουνάμι και συχνά οδηγούν σε παράκτια πλημμύρα.

Ανεξαρτήτως από τις παραπάνω ομάδες, μια κατηγορία πλημμυρών που εμφανίζονται πολύ συχνά στην Ελλάδα είναι οι στιγμιαίες πλημμύρες. Πρόκειται για πλημμύρες που προκαλούνται από ισχυρές βροχοπτώσεις σύντομου χρονικού διαστήματος. Σημαντικό ρόλο στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης των συγκεκριμένων πλημμυρών έχει η κλιματική αλλαγή την τελευταία δεκαετία. Όπως είναι εμφανές η πρόβλεψη τέτοιου είδους πλημμυρών είναι δύσκολη καθώς συχνά συμβαίνουν και σε ξηρά μέρη χωρίς μόνιμα τρεχούμενο ποταμό. Όπως φαίνεται και από την ονομασία τους, αρχίζουν ξαφνικά και αναπτύσσονται σε σύντομο χρονικό διάστημα γεγονός που τις καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνες. Από τη στιγμή που αρχίζει η ισχυρή βροχόπτωση έως και την κορύφωση της στάθμης των υδάτων μεσολαβεί ένα μικρό χρονικό διάστημα, γεγονός που υποδηλώνει ταχεία άνοδο στάθμης των υδάτων, μεγάλη ταχύτητα, μεγάλη ποσότητα φερτών υλικών και επομένως υψηλή επικινδυνότητα της πλημμύρας. Οι βασικοί παράγοντες που προκαλούν στιγμιαία πλημμύρα είναι η έντονη και συνεχιζόμενη βροχόπτωση καθώς και η μεγάλη κλίση μερικών λεκανών απορροής

Η προειδοποίηση του πληθυσμού κρίνεται δύσκολο έργο, ειδικά σε περιοχές όπου εμφανίζονται στιγμιαίες πλημμύρες που οφείλονται σε μεμονωμένες ραγδαίες τοπικές βροχοπτώσεις οι οποίες δεν είναι συχνό φαινόμενο. Αντίθετα, περιοχές όπου οι πλημμύρες προκαλούνται με κάποια συχνότητα κάθε χρόνο σε έναν ποταμό η προειδοποίηση του πληθυσμού πρέπει να θεωρείται δεδομένη και επομένως η εκ των προτέρων λήψη μέτρων προστασίας. Άλλωστε πρόκειται για μια φυσική καταστροφή που μπορεί να ξεριζώσει δέντρα, να υποσκάψει κτίρια γέφυρες κ.ο.κ. δημιουργώντας νέα κανάλια εντός αστικής περιοχής.

Οι πλημμύρες μπορούν να διαχωριστούν επίσης σε εκείνες με δύο ειδών συνέπειες, πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς συνέπειες περιλαμβάνουν βλάβες ή καταστροφή γεφυρών, οχημάτων, κτιρίων, κατοικιών, επικοινωνιακών συστημάτων, οδικών δικτύων και γενικότερα ποικίλων υποδομών. Ταυτόχρονα περιλαμβάνουν και απώλειες τόσο ανθρώπων όσο και ζώων, καθώς και σπανιότερα πρόκληση επιδημιών ή ασθενειών. Από την άλλη μεριά οι δευτερογενείς συνέπειες περιλαμβάνουν όχι εξίσου σημαντικές καταστροφές αλλά αξιοσημείωτες. Συγκεκριμένα, οι δευτερογενείς συνέπειες αποτελούνται από έλλειψη πόσιμου νερού, μόλυνσή του, δυσκολότερη παροχή του, διάδοση ασθενειών λόγω των νέων συνθηκών διαβίωσης και της εύκολης μετάδοσης μέσω του νερού. Επιπρόσθετα περιλαμβάνονται μείωση του τουρισμού, καταστροφή καλλιεργειών, άνοδος των κοστών τροφίμων και γενικότερα αγαθών και επομένως οικονομική αστάθεια.

1.1.2 Νομικό πλαίσιο - Η Οδηγία 2007/60

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εξέδωσε στις 23 Οκτωβρίου του 2007 την Οδηγία 2007/60/ΕΚ σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση διακινδύνευσης πλημμύρας. Η συγκεκριμένη Οδηγία στηρίζεται στις παρακάτω θεωρήσεις:

- Οι πλημμύρες ενδέχεται να προκαλέσουν θανάτους, ζημιές στο περιβάλλον καθώς και μετακινήσεις ολόκληρων πληθυσμών.
- Συχνά, ανθρώπινες δραστηριότητες σε συνδυασμό με τη κλιματική αλλαγή μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση της πιθανότητας επέλευσης πλημμυρικών φαινομένων.
- Η προσπάθεια μείωσης της διακινδύνευσης των συνεπειών των πλημμυρών είναι σκόπιμη.
- Τα μέτρα πρόληψης πλημμυρικών καταστροφών θα πρέπει να οριστούν σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού.
- Η βελτίωση του επιπέδου προστασίας κατά των πλημμυρών μπορεί να επιτευχθεί με ανάλογο συντονισμό μεταξύ κρατών μελών και κατάλληλη συνεργασία με τρίτες χώρες.
- Οι εκάστοτε τοπικές συνθήκες κάθε κράτους μέλους της κοινότητας οδηγούν σε διαφορετικούς τύπους πλημμυρών και ως εκ τούτου κάθε ένα κράτος οφείλει να ορίσει συγκεκριμένους εξειδικευμένους στόχους διαχείρισης διακινδύνευσης πλημμυρών.
- Οι κίνδυνοι πλημμύρας σε ορισμένες περιοχές εντός της κοινότητας ενδέχεται να θεωρηθούν μικρότερης σημασίας (π.χ. σε περιοχές οι οποίες δεν κατοικούνται και διαθέτουν περιορισμένους οικονομικούς πόρους).
- Η κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πλημμύρας με συμπερίληψη των δυνητικών αρνητικών συνεπειών, οι οποίες συνδέονται με διαφορετικά σενάρια πλημμύρας καθώς και με ενδεχόμενες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης ως συνέπεια πλημμύρας, κρίνεται απαραίτητη.
- Συμπληρωματικά της εκτίμησης της επικινδυνότητας πλημμύρας προτείνεται η δημιουργία σχεδίων διαχείρισης της πλημμυρικής διακινδύνευσης, έτσι ώστε να παρέχονται ενδεδειγμένες λύσεις ανάλογα με τις ανάγκες και τις προτεραιότητες της εκάστοτε περιοχής.
- Τα άνω σχέδια διαχείρισης πρέπει να εστιάζουν αρχικά στην πρόληψη καταστροφών, έπειτα στην προστασία των πολιτών καθώς και στην ετοιμότητα αυτών.

1.2 Σκοπός εργασίας

Συνοπτικά το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από τρία μέρη. Αυτά είναι η περιγραφή της υδρολογικής ανάλυσης τριών υπολεκανών απορροής στο νησί της Νάξου, της μετέπειτα υδραυλικής προσομοίωσης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού σε τμήμα φυσικού υδατορεύματος κατάντη της εξόδου των συγκεκριμένων λεκανών με σκοπό την εξαγωγή χαρτών πλημμυρικής κατάκλισης και τέλος η πρόταση και εφαρμογή φυσικών λύσεων εντός των λεκανών μελέτης για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων.

Πιο συγκεκριμένα, στόχος της εργασίας είναι η μελέτη της πλημμυρικής παροχής και συνεπακόλουθα η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην νήσο Νάξο. Ανέκαθεν στον ελλαδικό χώρο και όχι μόνο, ο συνδυασμός του έντονου και ανομοιογενούς ανάγλυφου με τη γεωγραφική μεταβλητότητα του κλιματικού προφίλ παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικινδυνότητα εμφάνισης πλημμυρικών καταστροφών. Παράκτιες περιοχές με αυξημένο αστικό ιστό όπως η Νάξος και γενικότερα τα νησιά της Ελλάδος αποτελούν αναμφίβολα περιοχές με αυξημένο πλημμυρικό κίνδυνο. Εντοπίζοντας τις τρεις μεγαλύτερες λεκάνες στην νήσο επιλέγεται από μία υπολεκάνη εντός αυτών, κατάντη των οποίων υπάρχει αστικός ιστός ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις ώστε να διεξαχθεί υδρολογική ανάλυση με τρεις διαφορετικές μεθόδους για το μετασχηματισμό της βροχής σε απορροή (Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS, Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder, Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω ισόχρονων καμπυλών). Αποτέλεσμα της υδρολογικής ανάλυσης των τριών υπολεκανών και με τις τρεις μεθόδους είναι ο υπολογισμός συνολικά τριών πλημμυρογραφημάτων για κάθε υπολεκάνη χρησιμοποιώντας το μοντέλο HEC-HMS. Ακολουθεί η υδραυλική προσομοίωση σε περιβάλλον HEC-RAS 2D, μέσω της οποίας εκτιμώνται τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής ολόκληρου του πλημμυρικού πεδίου που δημιουργείται κατάντη της εξόδου των υπολεκανών μελέτης. Εν κατακλείδι, αφού συγκεντρώνονται όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για την εκτίμηση της έντασης του φαινομένου πλημμύρας και δημιουργούνται οι αντίστοιχοι πλημμυρικοί χάρτες, προτείνονται δύο πιθανά σενάρια φυσικών λύσεων για την αποφυγή καταστροφών τόσο σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις όσο και σε ανθρώπινες κατοικίες.

1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στην έννοια της πλημμύρας, τα χαρακτηριστικά της, τους διαχωρισμούς της και τη σημαντικότητα του καταστροφικού αυτού φαινομένου στον άνθρωπο γενικότερα. Γίνεται διαχωρισμός της πλημμύρας σε ομάδες ανάλογα με τα αίτια που την προκαλούν καθώς και με τις

συνέπειες που μπορεί να προκληθούν. Τέλος αφού γίνει μια σύντομη αναφορά στο θεσμικό πλαίσιο των πλημμυρικών φαινομένων, προσδιορίζεται το αντικείμενο και ο στόχος την παρούσας εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει σημαντικές πληροφορίες για τη δεδομένη περιοχή μελέτης. Αρχικά αναγράφονται τα γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της νήσου. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στις χρήσεις γης καθώς και το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή. Τέλος παρουσιάζονται το ιστορικό πλημμυρών του τόπου καθώς και μερικά γεωλογικά του χαρακτηριστικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμοσμένη μεθοδολογία της παρούσας εργασίας. Ξεκινώντας αναλύεται το περιβάλλον όπου πραγματοποιήθηκε κάθε στάδιο της μελέτης, τα οποία είναι με σειρά που χρησιμοποιήθηκαν ArcGIS, HEC-HMS και HEC-RAS. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η γεωμορφολογική ανάλυση η οποία πραγματοποιείται σε περιβάλλον GIS για την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου και άλλων σχετικών παραγώγων τα οποία απαιτούνται για την υλοποίηση της μεθοδολογίας.

Το στάδιο που ακολουθεί είναι αυτό της υδρολογικής ανάλυσης, η οποία διεξάγεται στο HEC-HMS εφαρμόζοντας τρεις μεθόδους μετασχηματισμού βροχής – απορροής (ΜΥΓ με τη μέθοδο των Ισόχρονων Καμπυλών σε περιβάλλον GIS, Συνθετικό ΜΥΓ κατά Snyder και Αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS) προκειμένου να παραχθούν τα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο των υπολεκανών που εξετάζονται. Η καταίγίδα σχεδιασμού, που χρησιμοποιείται ως δεδομένο εισόδου στο λογισμικό HEC-HMS, υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ με χρήση των όμβριων καμπυλών στην περιοχή της Νάξου. Τελευταίο στάδιο του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η υλοποίηση της υδραυλικής προσομοίωσης με τη βοήθεια του μοντέλου HEC-RAS για την διδιάστατη ανάλυση του πλημμυρικού πεδίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται με τη σειρά τα αποτελέσματα των ανωτέρω σταδίων της εργασίας. Ξεκινώντας με την υδρολογική ανάλυση, παρουσιάζονται τα μοναδιαία υδρογραφήματα που προέκυψαν για τις υπολεκάνες που μελετήθηκαν και έπειτα τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο αυτών. Τελικό τμήμα του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης. Συγκεκριμένα προβάλλονται οι χάρτες των πλημμυρικών πεδίων κατάντη των υπολεκανών, οι οποίοι αποδίδουν χωρικές πληροφορίες, σχετικές με τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής στα προσομοιωμένα τμήματα γης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο σε πρώτο στάδιο γίνεται μια εισαγωγή στις φυσικές, συμβατικές αντιπλημμυρικές λύσεις που επιλέγονται συχνά στις μέρες μας και τελικά προτείνονται δυο πιθανά σενάρια για τη μείωση της επικινδυνότητας. Αμφότερα είναι φυσικά έργα τα οποία είναι ικανά να ελέγξουν και να μειώσουν την έκταση των πλημμυρών.

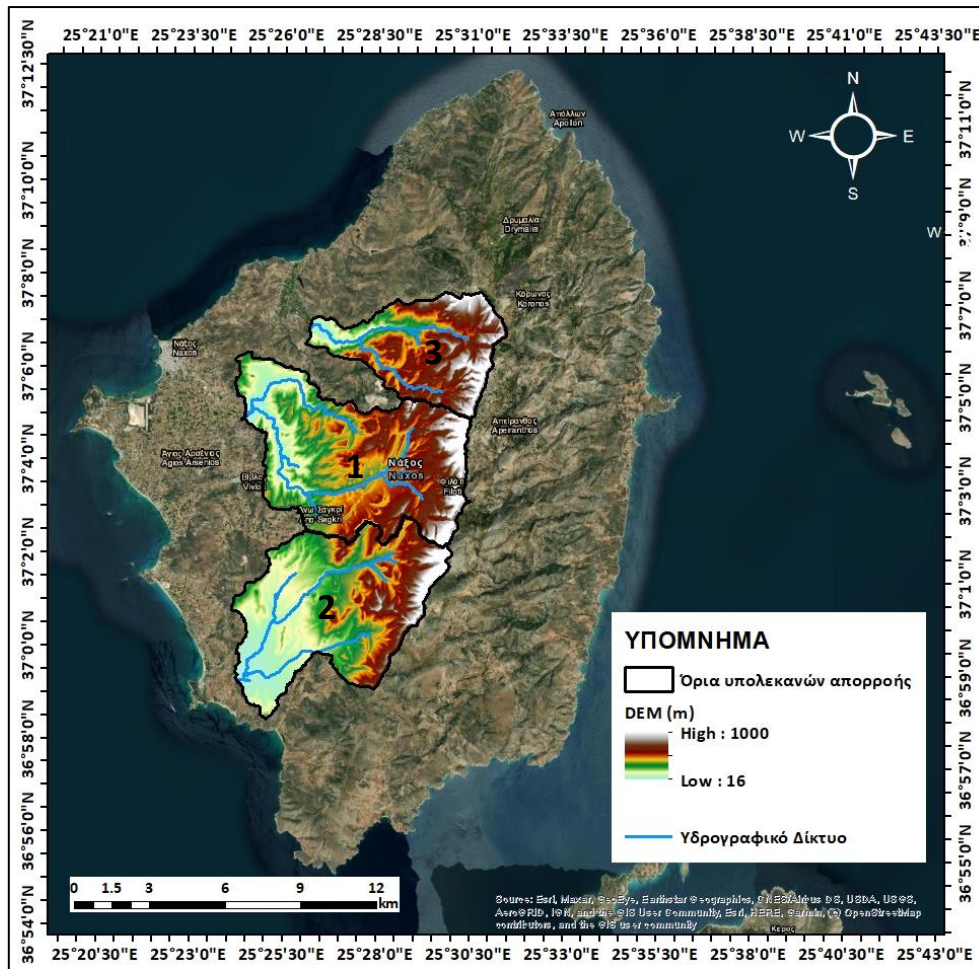
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η Νάξος πρόκειται για ένα νησί του Αιγαίου Πελάγους και συγκεκριμένα βρίσκεται στο νότιο μέρος του συμπλέγματος των Κυκλάδων, των οποίων αποτελεί το μεγαλύτερο νησί. Χωροθετείται στο κέντρο του Αιγαίου με έκταση 429.79 km², σε απόσταση 103 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά και έχει σχήμα επίμηκες ωοειδές και διεύθυνση Β – Ν. Η νήσος έχει μέγιστο άξονα μήκους 32.77 km και μέγιστο άξονα πλάτους 23.86 km. Η συνολική ακτογραμμή της είναι 148 km. Πρωτεύουσα της Νάξου είναι η Χώρα με 7070 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ενώ ολόκληρη η Δημοτική Ενότητα Νάξου μετράει 14858 μόνιμους κατοίκους σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ).

Το ορεινό ανάγλυφο του νησιού αποτελείται από μια κεντρική οροσειρά που το διασχίζει από το βόρειο έως το νότιο τμήμα του. Η κύρια οροσειρά που χωρίζει το νησί στο ανατολικό και δυτικό τμήμα αποτελεί και τον υδροκρίτη του νησιού. Μέγιστο υψόμετρο είναι τα 1001 m και βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της οροσειράς στην κορυφή Ζευσ. Στην συγκεκριμένη οροσειρά, κινούμενοι από τον βορρά προς τον νότο, συναντώνται οι κορυφές Κατσόπρινο (ύψος 422 m), Αναθεματίστρια (778 m), Κόρωνο (997 m), Μαυροβούνι (869 m), Ζα (1002 m), Καβαλλάρη (521 m), και τέλος Βιγλατούρι (418 m). Στο ανατολικό τμήμα της οροσειράς υπάρχουν απότομες πλαγιές, ενώ στο δυτικό τμήμα υπάρχει σχετικά πιο ομαλή μετάβαση προς τις κατοικημένες περιοχές και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις του νησιού. Τέλος, στο νησί υπάρχουν πολλές πηγές και ρέματα, γεγονός που εξηγεί τη πλούσια βλάστησή του (η πλουσιότερη στις Κυκλάδες).

Η περιοχή μελέτης αφορά τρεις υπολεκάνες που φαίνονται στο Σχήμα 2.1. Η επιλογή αυτή έγινε καθώς πέρα από το γεγονός ότι αποτελούν τις τρεις μεγαλύτερες υπολεκάνες της νήσου, βρίσκονται ανάντη κατοικήσιμων περιοχών και καλλιεργήσιμων εκτάσεων και επομένως υπάρχει κίνδυνος καταστροφών σε περίπτωση πλημμύρας. Επιπλέον η πρώτη λεκάνη απορροής συγκρίνεται με τον αντίστοιχο χάρτη που παρουσιάζεται στο Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμυρών από το ΥΠΕΚΑ όπου εντοπίστηκε να είναι η πιο επικίνδυνη και ταυτόχρονα σημαντική λεκάνη λόγω αστικής χρήσης του νησιού

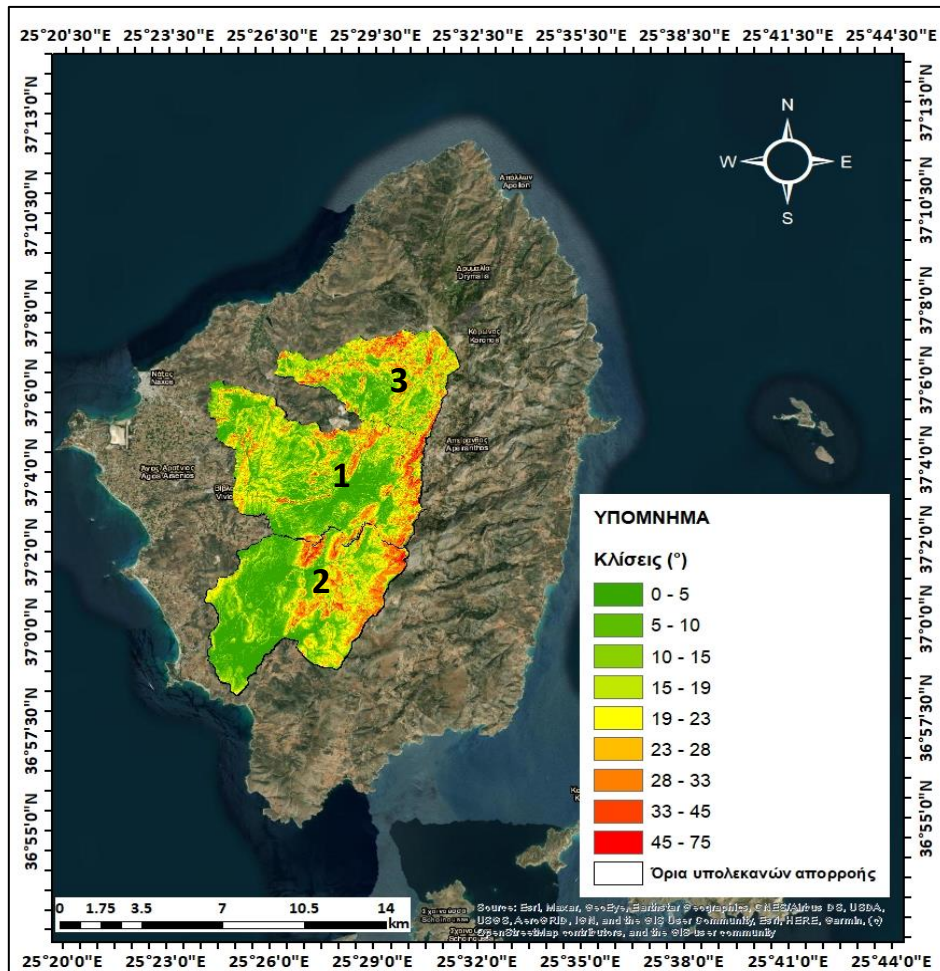


Σχήμα 2.1: Υπολεκάνες απορροής μελέτης στη νήσο Νάξο.

Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) τμήμα του οποίου φαίνεται στο παραπάνω σχήμα χορηγήθηκε από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (Ο.Κ.Χ.Ε.) σε αρχείο raster με μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 5 m. Κάθε πινακίδα DEM έχει διαστάσεις στο έδαφος 4600 m × 3600 m, με περιμετρική επικάλυψη 300 m, και ακολουθούν τη διανομή ΕΓΣΑ87 κλίμακας 1:5000. Η γεωμετρική ακρίβεια του προϊόντος είναι $RMSE_z \leq 2.00$ m και η απόλυτη ακρίβεια ≤ 3.92 m για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %. Μετά την εισαγωγή του DEM στο πρόγραμμα ArcGIS, γίνεται προσαρμογή του στα όρια της περιοχής μελέτης και κατάλληλη διόρθωση, οπότε προκύπτει ο χάρτης υψομέτρων.

Η πρώτη υπολεκάνη έχει έκταση 44 km², μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο 881 m και 16 m αντίστοιχα. Ανήκει στη μεγαλύτερη λεκάνη του νησιού και περιλαμβάνει το κεντρικό τμήμα του νησιού με περιοχές μεταξύ Άνω Ποταμιά, Χαλκείο, Φλότι μέχρι και τη Μονή. Η δεύτερη υπολεκάνη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη καθώς έχει 40 km² έκταση, 1000 m και 16 m μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο αντίστοιχα. Βρίσκεται δυτικά της υψηλότερης κορυφής της νήσου τον Ζα, και τελειώνει ένα χιλιόμετρο από το παραλιακό τμήμα του νησιού που ονομάζεται Πυργάκι. Τέλος, η τρίτη υπολεκάνη έχει 22 km² έκταση. Χωροθετείται στα χωριά Κινίδαρος, Κεραμωτή και Σίφωνες. Τα

μέγιστα υψόμετρα της συγκεκριμένης υδρολογικής λεκάνης είναι 997m και 24m. Στο παρακάτω Σχήμα 2.2 εμφανίζονται οι κλίσεις σε μοίρες των τριών εξεταζόμενων υπολεκανών.



Σχήμα 2.2: Κλίσεις υπολεκανών μελέτης (πηγή: ίδια επεξεργασία)

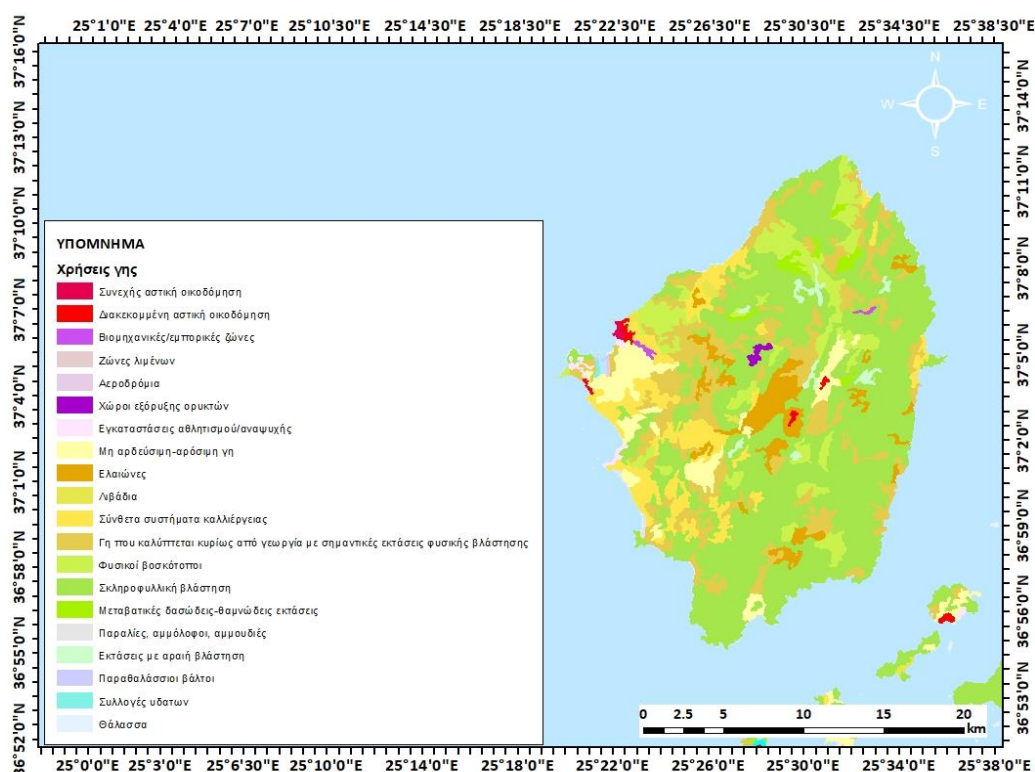
Στον πίνακα 2.1 φαίνονται οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες κλίσεις κάθε υπολεκάνης

Πίνακας 1.1: Κλίσεις υπολεκανών μελέτης (πηγή: ίδια επεξεργασία)

Κλίσεις	Υπολεκάνη 1	Υπολεκάνη 2	Υπολεκάνη 3
Min (°)	0	0	0
Max (°)	65	75	72
Mean (°)	15	15	21

2.2 Ανθρωπογενή χαρακτηριστικά και χρήσεις γης

Ο τουρισμός αποτελεί κύρια δραστηριότητα του τριτογενή τομέα στο νησί και παρουσιάζει υψηλό ποσοστό συγκέντρωσης στη Χώρα της Νάξου καθώς και στην ευρύτερη παραλιακή ζώνη. Στα υπόλοιπα μέρη του νησιού είναι αρκετά περιορισμένη και επομένως υπάρχει μια τάση μετακίνησης του πληθυσμού στην πεδινή ζώνη γύρω από τη Χώρα της Νάξου και στα κοντινά χωριά. Η κτηνοτροφία μικρών ζώων, η αμπελοκαλλιέργεια και η ελαιοκομία αποτελούν την κύρια απασχόληση στην ορεινή περιοχή της Νάξου, ενώ στην πεδινή περιοχή η γεωργία. Με την ραγδαία αύξηση του τουρισμού ωστόσο υπάρχει επέκταση των τουριστικών εγκαταστάσεων εις βάρος της καλλιεργήσιμης γης. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης ανά τμήμα της Νάξου.



Σχήμα 2.3: Χρήσεις γης Νάξου (πηγή: ίδια επεξεργασία)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα εντός των υπολεκανών μελέτης η γη χρησιμοποιείται ως:

- α) Ελαιώνες
- β) Λιβάδια
- γ) Σύνθετα συστήματα
- δ) Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
- ε) Φυσικοί βοσκότοποι

- στ) Σκληροφυλλική βλάστηση
- ζ) Δασώδης-θαμνώδης περιοχές
- η) Χώροι εξόρυξης ορυκτών (υπολεκάνη 1 και 2)
- θ) Διακεκομμένη αστική δόμηση (υπολεκάνη 1)

Καθώς κατάντη των υπολεκανών υπάρχουν κυρίως μη αρδευόμενη – αρόσιμη γη και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, σχετικά με την περιγραφή των χρήσεων γης της ευρύτερης περιοχής της ζώνης δυνητικά υψηλής επικινδυνότητας πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ), λαμβάνεται υπόψη το σύνολο της Νήσου Νάξου. Εντός της ΖΔΥΚΠ συναντώνται κυρίως καλλιέργειες σιτηρών (65.90%) και ακολουθούν με τη σειρά οι πυκνές καλλιέργειες (11.98%), οι αστικές περιοχές με πυκνή δόμηση (6.31%), οι ευρείες γραμμικές καλλιέργειες (5.83%) και εκτάσεις με γυμνό έδαφος (4.47%).

Η κατανομή της συνολικής έκτασης του νησιού της Νάξου στις βασικές κατηγορίες χρήσης γης, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.2: Χρήσεις γης Νάξου (πηγή: διπλωματική εργασία Λιοφάγου 2005)

Χρήσεις Γης	Ποσοστό %
Βοσκότοποι	64%
Γεωργικές καλλιέργειες	22.60%
Δάση	2.23%
Επιφανειακά νερά	1.58%
Δομημένο περιβάλλον	3.69%
Λοιπές εκτάσεις	6.30%

Για το νησί της Νάξου οι αροτριάιες καλλιέργειες καταλαμβάνουν εκτάσεις 67647 στρεμμάτων, η κηπευτική γη 3652 στρέμματα, οι δενδρώδεις καλλιέργειες 11334 στρεμμάτων και οι άμπελοι 5620 στρέμματα. Τέλος, η καλλιέργεια πατάτας καταλαμβάνει εκτάσεις περίπου 4000 στρεμμάτων.

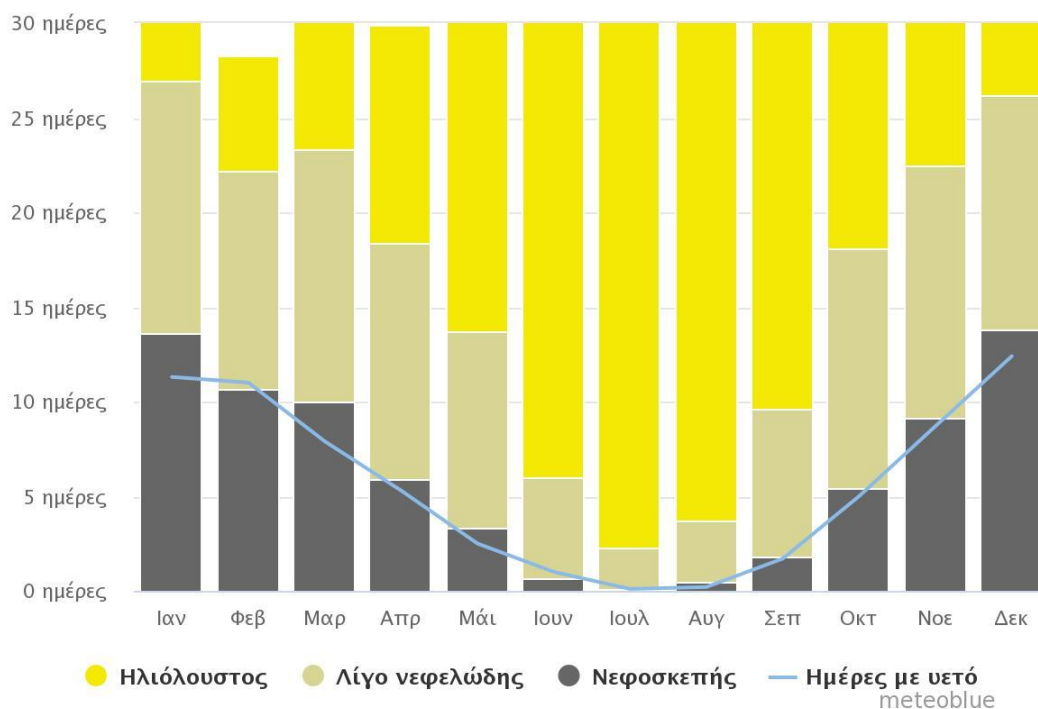
2.3 Κλίμα

Η επίγνωση των μετεωρολογικών συνθηκών ενός τόπου είναι απαραίτητη για την ολοκληρωμένη εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου. Η Νάξος όπως και οι υπόλοιπες Κυκλάδες έχει σχετικά ξηρό κλίμα. Οι βροχοπτώσεις στις Κυκλάδες είναι από τις πιο

χαμηλές της Ελλάδας, με τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο να παρουσιάζονται τα υψηλότερα ύψη βροχής.

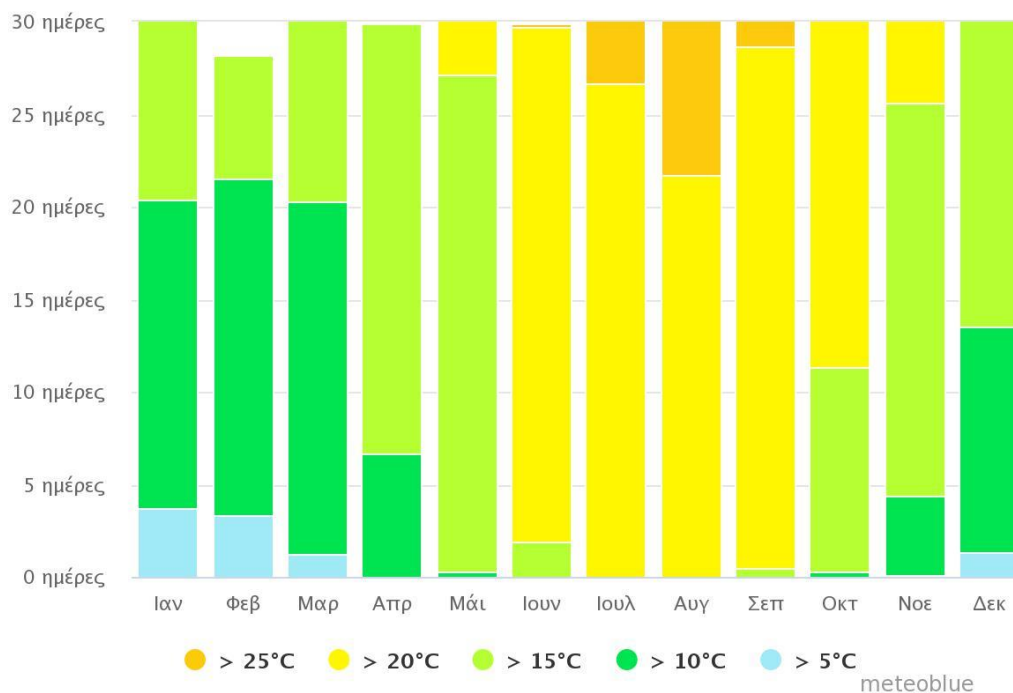
Σχετικά με το κλίμα της, η Νάξος κατατάσσεται στον εύκρατο Μεσογειακό τύπο. Επικρατούν ηλιοφάνεια, άνεμοι, συνεφιά και σε μικρότερο βαθμό βροχές. Ακόμα, σπανιότερα εμφανίζονται χιόνια, χαλάζι και ομίχλη κυρίως στα ορεινά τμήματα του νησιού. Πιο συγκεκριμένα, τους μήνες από τον Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, που αποτελούν τη θερμή περίοδο, κυριαρχούν ζεστά και ξηρά καλοκαίρια με θερμοκρασίες που σπανίως είναι μικρότερες από 20 °C. Η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί είναι 40°C (καλοκαίρι 2007). Ο ουρανός είναι αίθριος ως επί των πλείστων και επομένως οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες έως και μηδενικές. Την ψυχρή περίοδο αποτελούν οι μήνες από τον Νοέμβριο έως και τον Μάρτιο. Ο χειμώνας στην Νάξο είναι γενικά ήπιος με αρκετές βροχοπτώσεις. Μέσο ύψος βροχόπτωσης είναι τα 350-400 mm και συγκεκριμένα τους μήνες Νοέμβριο μέχρι Φεβρουάριο εμφανίζεται το 70 % των συνολικών βροχοπτώσεων (Γκουτζαμάνης). Ωστόσο το νησί συχνά επηρεάζεται από πέρασμα μικρών υφέσεων και μετώπων της Μεσογείου με κατεύθυνση προς τα ανατολικά.

Τα παρακάτω δεδομένα προέρχονται από μια τριανταετή σειρά με ωριαία δεδομένα καιρού από το meteoblue εκ των οποίων οι μέσοι όροι παρατίθενται στα Σχήματα 2.4 και 2.5.



Σχήμα 2.4: Μέσος ημερήσιος καιρός Νάξου για τα τελευταία 30 χρόνια (πηγή meteoblue.com)

Το γράφημα παραπάνω δείχνει τον αριθμό ημερών εντός κάθε μήνα του έτους κάνοντας τη διάκριση σε αίθριο, νεφελώδη και νεφοσκεπή.



Σχήμα 2.5: Μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας Νάξου για τα τελευταία 30 χρόνια (πηγή meteoblue.com)

Στο παραπάνω διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας εμφανίζεται πόσες μέρες ανά μήνα επιτυγχάνονται οι συγκεκριμένες θερμοκρασίες και επαληθεύει τα όσα αναφέρθηκαν για την θερινή και τη χειμερινή περίοδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι βροχοπτώσεις όντας λίγες αλλά καταρακτώδεις τείνουν να έχουν ακραία συμπεριφορά.

2.4 Υδρολογία και Ιστορικό Πλημμυρών

Η Νάξος διακρίνεται από ένα σχετικά πυκνό υδρογραφικό δίκτυο όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Όπως είναι αναμενόμενο το κεντρικό ορεινό τμήμα του νησιού δημιουργεί σχετικώς μεγάλες κλίσεις προς τη δύση όπου συναντάται και το μεγαλύτερο τμήμα του αστικού ιστού. Η μεγαλύτερη λεκάνη απορροής του νησιού, η οποία βρίσκεται στο δυτικό και κεντρικό τμήμα του και καταλαμβάνει έκταση 64.1 km² και τμήμα αυτής αποτελεί μια εκ των τριών υπολεκάνων που μελετήθηκαν (1^η υπολεκάνη). Το νησί δεν διαθέτει υδρογραφικό δίκτυο μόνιμης ροής παρά μόνο χειμαρρικές απορροές οι οποίες παρατηρούνται κυρίως κατά τις υγρές περιόδους του έτους. Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ η ζώνη δυνητικής υψηλής επικινδυνότητας πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) είναι το δυτικότερο τμήμα της 1^{ης} υπολεκάνης η οποία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού και επεκτείνεται δυτικά από το ορεινό πεδίο.



Σχήμα 2.6: Υδρογραφικό Δίκτυο Νάξου (πηγή: ίδια επεξεργασία)

Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελείται από μερικούς χειμάρρους, οι οποίοι συγκεντρώνουν την απορροή τους εντός της μεγάλης εκτάσεως υδρολογικής λεκάνης η οποία εκτείνεται ανατολικά της ζώνης. Στη περιοχή αυτή, απαντάται το υδατόρευμα Παρατρέχος, το οποίο είναι και το μεγαλύτερο του νησιού. Στα ανάντη του παρουσιάζει γενικά χαρακτηριστικά όπως αυτά που παρατηρούνται σε όλα τα ρέματα του νησιού τα οποία έχουν μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, σχετικά μεγάλα βάθη και μικρά πλάτη (floods.yreka.gr). Έχουν εποχιακή ροή η οποία εντοπίζεται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα τους χειμερινούς μήνες. Οι ταχύτητες ροής που συναντώνται είναι μεγάλες και οι χρόνοι παραμονής του νερού στο ίδιο σημείο πολύ μικροί, εμπλουτίζοντας ανάλογα τους υπόγειους υδροφορείς (floods.yreka.gr). Οι κύριοι παραχείμαρροι του Παρατρέχου συμπεριλαμβάνονται στη 1^η υπολεκάνη που μελετήθηκε. Το ρέμα Καβαλαριάς τροφοδοτείται από την πηγή Δούκα στα ανατολικά του λόφου Κορακιά. Ένας ακόμα παραχείμαρρος συγκεντρώνει τα ύδατα του από την εκτεταμένη περιοχή στην Τραγαία. Ένα άλλο ρέμα διασχίζει τους οικισμούς Κάτω, Μέση και Άνω Ποταμιά στο Γυράδο (floods.yreka.gr). Από το όρος Ζας πηγάζει άλλος παραχείμαρρος ο Πλατύς ή Περίτσης ο οποίος συμβάλλει στην κύρια κούνη του

Παρατρέχου. Το ρέμα Παρατρέχος εκβάλλει νότια της χώρας της Νάξου στην Αλυκή. (Πολυκρέτη, 2011)

Το αρδευτικό νερό προέρχεται κατά 99% από υπόγεια νερά με άντληση και κατά 1% από μικρές πηγές (Πολυκρέτη, 2011). Στην περιοχή Γαλήνη έχει κατασκευαστεί μια λιμνοδεξαμενή χωρητικότητας 600000 m³ για την κάλυψη των αναγκών σε νερά ύδρευσης. Η έκταση που αρδεύεται είναι 2000 στρέμματα. Μια ακόμη λιμνοδεξαμενή βρίσκεται στην περιοχή Φανερωμένη με χωρητικότητα 1450000 m³ και η έκταση που αρδεύεται είναι 2000 στρέμματα καθώς επίσης χρησιμοποιείται και για πόσιμο νερό.

Η σημαντικότερη πλημμύρα έχει καταγραφεί τον Φεβρουάριο του 2003 πλήττοντας τη χώρα της Νάξου και γενικότερα των Κυκλάδων. Συγκεκριμένα, από τις πρώτες βραδινές ώρες της 18ης Φεβρουαρίου 2003 και κατά τη διάρκεια όλης της νύχτας έως και τις πρωινές ώρες, πραγματοποιήθηκαν σημαντικές βροχοπτώσεις σε όλη τη λεκάνη απορροής της κεντρικής Νάξου. Η απορροή που ακολούθησε είχε σαν αποτέλεσμα την υπερχειλίση των ρευμάτων στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, σημαντικές κατολισθήσεις πρανών στο ορεινό, και υπερχειλίσεις αναχωμάτων σε αρκετά σημεία. Οι έντονες βροχοπτώσεις είχαν ως αποτέλεσμα 24 νησιά των Κυκλάδων να κηρυχτούν σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης. Η Νάξος, η Τήνος, η Πάρος, η Σέριφος, η Σύρος και η Μύκονος ήταν κάποια από τα νησιά με τις σημαντικότερες καταστροφές. Στη Νάξο συγκεκριμένα το ύψος βροχής έφτασε στα 35 mm (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2011).

Οι ζημιές που προκλήθηκαν ήταν αξιοσημείωτες και αφορούσαν εξίσου πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή τομέα. Καταστροφές σημειώθηκαν και σε κατοικίες. Πολλά τμήματα του οδικού δικτύου καταστράφηκαν από τις κατολισθήσεις και τις καθιζήσεις, αγροτικοί δρόμοι γέμισαν φερτά, αρκετά ρέματα ξεχείλισαν, καταστράφηκαν καλλιέργειες και κτηνοτροφικές μονάδες. Στις πεδινές κυρίως εκτάσεις (περιοχή Λειβάδια) πνίγηκαν ζώα όπου και εκτρέφονταν, πλημμύρησαν μαγαζιά και εμπορικές αποθήκες με αποτέλεσμα να καταστραφούν εξοπλισμοί και εμπορεύματα. Πολλά χωριά αποκλείστηκαν λόγω κατολισθήσεων. Η εκτίμηση από τις επιτροπές της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης των Κυκλάδων για τη βροχόπτωση από 17/02/2003 έως και 19/02/2003 περιλαμβάνουν:

1. Οδικό δίκτυο: 11738811 ευρώ
2. Ύδρευση: 2934702 ευρώ
3. Αποχέτευση: 4402054 ευρώ
4. Αγροτική οδοποιία: 4402054 ευρώ
5. Δημόσια οδοποιία: 4402054 ευρώ
6. Αντιπλημμυρικά: 4402054 ευρώ
7. Αρδευτικά: 1467351 ευρώ

8. Αγροτικά μονοπάτια: 1467351 ευρώ

9. Αρχαιολογικά μνημεία: 14673500 ευρώ

Η αποτίμηση του κόστους των καταστροφών σε ντόπιες επιχειρήσεις από το πλημμυρικό αυτό γεγονός στη Νάξο ανέρχεται στο ποσό των 497200.15 ευρώ, κυρίως σε μηχανολογικούς εξοπλισμούς, εμπορεύματα και επαγγελματικά οχήματα (Δήμος Νάξου, 2003).

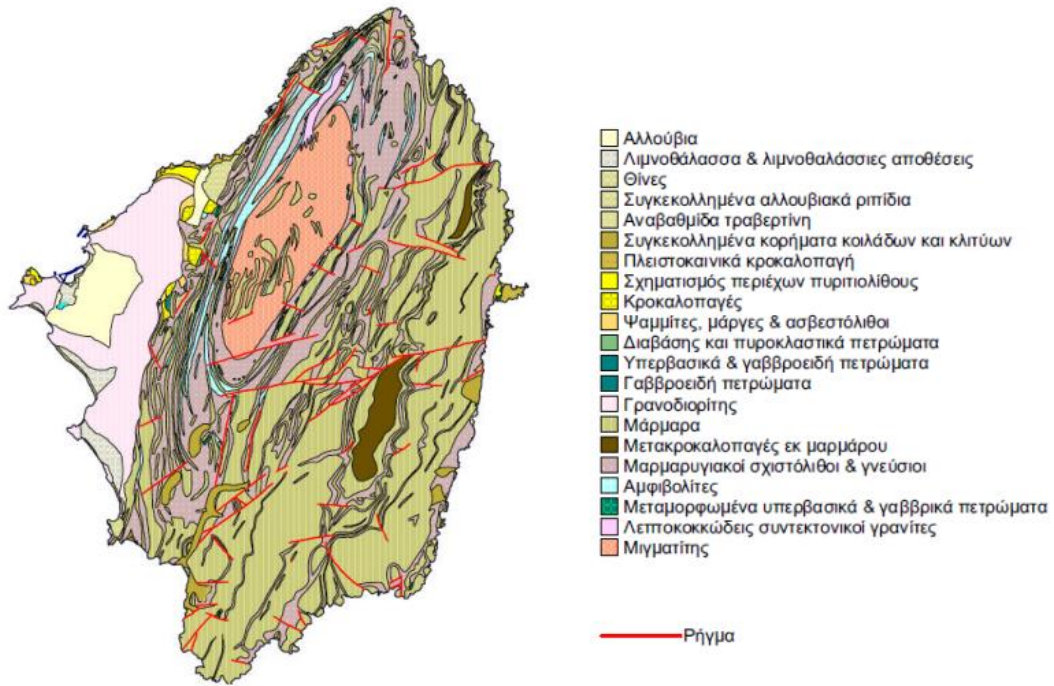
2.5 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

Γεωλογικά η νήσος Νάξος αποτελεί τμήμα της Αττικοκυκλαδικής ενότητας και σε γενικές γραμμές μπορεί να περιγραφεί ως ένας ελλειπτικός δόμος, κύριας διεύθυνσης $B15^{\circ}A$ ο οποίος αποτελείται κατά κύριο λόγο από σχιστόλιθους, γνεύσιους και μάρμαρα (ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, 2003)

Το μεγαλύτερο τμήμα της Νάξου και κυρίως το ανατολικό και νότιο καταλαμβάνεται από μια σειρά μεταμορφωμένων ιζημάτων Μεσοζωικής τα οποία συμμετείχαν στην αλπική ορογένεση σε περιοχή σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών. Τα μεταϊζημάτα αυτά συνίστανται κυρίως από μάρμαρα εναλλασσόμενα με σχιστόλιθους και δολομίτες (Γαλανού, 1999). Στο δυτικό τμήμα της νήσου Νάξου επικρατούν οι γρανοδιορίτες και τα ιζηματογενή (ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, 2003). Η επαφή του γρανοδιορίτη του Ανώτερου Τριτογενούς με το μεταμορφωμένο σύμπλεγμα έχει διεύθυνση B-N. Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του είναι χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, κερροσίλβη και βιοτίτης. Η αλλόχθονη σειρά συνίσταται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες, διαβάσεις και υπερβασικά πετρώματα (Γαλανού, 1999).

Στο βόρειο τμήμα του νησιού έχουν διεισδύσει γρανίτες. Επίσης παρατηρείται πλήθος πηγματιτικών και απλικών φλεβών λιγότερο παραμορφωμένων από τα περιβάλλοντα πετρώματα οι οποίες ενδεχομένως συνδέονται με γρανιτική μάζα στο μεγαλύτερο βάθος (Γαλανού, 1999).

Το κεντρικό τμήμα της Νάξου καταλαμβάνει ένας επιμήκης, λίαν διαβρωμένος τεκτονικός δόμος, διεύθυνσης περίπου $B15^{\circ}A$, τον πυρήνα του οποίου αποτελούν ορθογνεύσιοι, μιγματίτες και νησίδες χονδροκρυσταλλικών μαρμάρων και μεταπηλιτών (Γαλανός, Ρόκκος, 1999). Παρακάτω (Σχήμα 2.7) παρουσιάζεται ο χάρτης με τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τα κύρια ρήγματα της Νάξου όπως παρουσιάζονται στον γεωλογικό χάρτη του ΕΘ.Ι.Γ.Μ.Ε. (1973) (ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, 2003).



Σχήμα 2.7: Γεωλογικοί σχηματισμοί και κύρια ρήγματα Νάξου (πηγή : ΕΘΙΓΜΕ 1973)

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

3.1 Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

Υπάρχουν τρεις μεθοδολογίες προσέγγισης που πλαισιώνουν το περιβάλλον εργασίας. Με τη σειρά που χρησιμοποιήθηκαν αυτά είναι τα ArcGIS, HEC-HMS και HEC-RAS. Τα δύο πρώτα συντελούν στην υδρολογική ανάλυση, ενώ το τελευταίο είναι εργαλείο για την υδραυλική προσομοίωση.

3.1.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS.)

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π) είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν τη δυνατότητα να συλλέξουμε, να διαχειριστούμε, να αποθηκεύσουμε, να επεξεργαστούμε, να αναλύσουμε και τέλος απεικονίσουμε τα δεδομένα που σχετίζονται με το χώρο σε ψηφιακό περιβάλλον. Τα δεδομένα αυτά κυρίως είναι γεωγραφικά, χαρτογραφικά ή και χωρικά και συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα καθιστούν μοναδικά. Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα γεωγραφικά συστήματα είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία δίνοντας έτσι στον χρήστη την ικανότητα να απεικονίσει χωρικά ποικίλα δεδομένα. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης περιγραφικών δεδομένων σε χωρικά καθιστά τα GIS χρήσιμα σε μεγάλη γκάμα επιστημονικών κλάδων όπως γεωγραφία, σεισμολογία, υδρολογία, γεωλογία ακόμη και εγκληματολογία.

Όσον αφορά τη δομή τους, τα Σ.Γ.Π. μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: τα VECTORGIS και τα RASTERGIS. Μερικά παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας αποτελούν μεταξύ άλλων η απεικόνιση γραμμικών στοιχείων (π.χ. δρόμων), πολυγώνων (π.χ. ιδιοκτησίες), σημείων (π.χ. θέσεις γεωτρήσεων) και διάφορα άλλα, καθώς κάποια παραδείγματα των RASTERGIS αντίστοιχα είναι η απεικόνιση της πληροφορίας υπό μορφή κελιών (cells) (π.χ. υψόμετρο, απόσταση, αριθμό). Ο συνδυασμός αυτών των δύο κατηγοριών των Σ.Γ.Π. αναμφίβολα αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάπτυξη μοντέλων λήψης αποφάσεων.

3.1.2 HEC-GeoHMS

Μια από τις διακλαδώσεις του ArcMap είναι το Geospatial Engineering Center ή διαφορετικά HEC-GeoHMS προϊόν της Αμερικάνικης ομάδας μηχανικών United States Army Corps of Engineers (USACE). Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η συγκεκριμένη επέκταση με σκοπό την ολοκλήρωση της γεωμορφολογικής ανάλυσης της περιοχής μελέτης. Με εκτέλεση των εντολών της εργαλειοθήκης του προγράμματος δημιουργείται σχηματική αναπαράσταση του

υδρολογικού μοντέλου (της λεκάνης απορροής). Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν αναγράφονται επιγραμματικά παρακάτω και αναλύονται περαιτέρω στο κεφάλαιο 4.

DEM Reconditioning: «Κάψιμο» του ποταμού στο DEM σε προκαθορισμένο βάθος, με σταδιακή αλλαγή του υψομέτρου γύρω από αυτόν.

Fill Sinks: Διόρθωση του DEM με πλήρωση των ταπεινώσεων και τοπικών βυθισμάτων που δημιουργούν ασυνέχειες.

Flow Direction: Προσδιορισμός κατεύθυνσης ροής νερού από κάθε κελί

Flow Accumulation: Προσδιορισμός πλήθους ανάντη κελιών που απορρέουν σε κάθε κελί
Stream Definition: Παραγωγή διακλαδώσεων ποταμού σύμφωνα με μια προκαθορισμένη τιμή (threshold)

Stream Segmentation: Τμηματοποίηση του παραπάνω ποταμού σε τμήματα μεταξύ δύο διαδοχικών συμβολών, μεταξύ συμβολής και χωρισμού ροής, ή και συμβολής και σημείου εξόδου της λεκάνης.

Catchment Grid Delineation: Προσδιορισμός της λεκάνης απορροής που αντιστοιχεί σε κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα ποταμού.

Catchment Polygon Processing: Δημιουργία αρχείου .shp με τις παραπάνω λεκάνες απορροής
Drainage Line Processing: Δημιουργία αρχείου .shp με τον ποταμό που ορίστηκε στο βήμα (v).

Adjoint Catchment Processing: Βήμα χρήσιμο για μείωση του υπολογιστικού κόστους, χωρίς κάποια υδρολογική σημασία.

Add Project Points: Ο χρήστης ορίζει το σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής την οποία ουσιαστικά θέλει να μελετήσει.

3.1.3 HEC-HMS

Το υδρολογικό σύστημα μοντελοποίησης HEC-HMS με αναλυτική ονομασία Hydrologic Modeling System, έχει επίσης σχεδιαστεί από το τμήμα υδρολογίας του σώματος μηχανικών του στρατού των Η.Π.Α. (USACE). Αποτελεί μέσο προσομοίωσης υδρολογικών διεργασιών των λεκανών απορροής ποταμών με δενδριτικά συστήματα.

Στο πρόγραμμα διατίθενται διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού των απωλειών βροχής, της άμεσης απορροής, της βασικής και της διόδευσης πλημμύρας. Το μαθηματικό πρότυπο που θα χρησιμοποιηθεί επιλέγεται από τον χρήστη. Ενδεικτικά τα μαθηματικά αυτά πρότυπα είναι τα εξής :

Απώλειες βροχής

Initial constant

SCS Curve Number

Gridded SCS Curve Number

Exponential

Green-Ampt

Υπολογισμός άμεσης απορροής

Snyder

SCS

Clark Instantaneous Unit Hydrograph

Ορισμένο από τον χρήστη

Υπολογισμός βασικής απορροής

Recession method

Σταθερή ροή

Linear reservoir method

Διόδευση

Lag method

Muskingum

Kinematic Wave

Muskingum-Cung

Το πρόγραμμα επομένως επεξεργάζεται κλασικούς υδρολογικούς παράγοντες όπως η διείσδυση και το μοναδιαίο υδρογράφημα όπως φαίνεται παρακάτω στην διαδικασία που ακολουθήθηκε. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης αποθηκεύονται στο HEC-DSS το οποίο είναι ένα σύστημα αποθήκευσης πληροφοριών όπου μπορούν να μεταφερθούν και έπειτα να χρησιμοποιηθούν στο HEC-RAS, όπως γίνεται στην παρούσα μελέτη, αλλά και σε διάφορα άλλα λογισμικά για μελέτες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, πρόβλεψης πλημμυρών, αστικών αποβλήτων, πρόβλεψης ροής, και διάφορων άλλων ειδών.

Το HEC-HMS αποτελεί μια πλατφόρμα διασύνδεσης μοντέλων για τον υπολογισμό των υδρολογικών παραμέτρων και περιλαμβάνει:

- Μοντέλο λεκάνης απορροής
- Μετεωρολογικό μοντέλο
- Μοντέλο υπολογισμού υδρολογικών απωλειών
- Μοντέλο υπολογισμού επιφανειακής απορροής

- Μοντέλο υπολογισμού βασικής απορροής
- Μοντέλο υδρολογικής διόδευσης

3.1.4 HEC-RAS

Για την υδραυλική προσομοίωση φυσικών υδατορευμάτων και συνεπακόλουθα πλημμυρικών φαινομένων έχουν αναπτυχθεί πληθώρα λογισμικών, ερευνητικών (LISFLOOD) και μη (HEC-RAS), ανάλογα με τη λεπτομέρεια που απαιτεί η εκάστοτε έρευνα-μελέτη. Για την προσομοίωση πλημμυρικού επεισοδίου σε επίπεδο λεκάνης απορροής στην προκειμένη διπλωματική εργασία επιλέχθηκε το ελεύθερο λογισμικό River Analysis System (HEC-RAS) και πάλι της USACE. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αποτελεί ένα σύνολο μοντέλων τεσσάρων συνιστωσών.

Μονοδιάστατη προσομοίωση ομοιόμορφης ροής

Μονοδιάστατη και Διδιάστατη προσομοίωση ανομοιόμορφης ροής

Μοντέλα υπολογισμού απόθεσης φερτών υλών

Μοντέλα υπολογισμού θερμοκρασίας και ποιότητας υδάτων

Το HEC-RAS είναι σχεδιασμένο με σκοπό να εκτελεί μονοδιάστατη (1D), δισδιάστατη (2D) ή ακόμη και έναν συνδυασμό της μονοδιάστατης και δισδιάστατης (1D/2D) υδραυλικής ανάλυσης ποταμών. Στην παρούσα εργασία διεξήχθη υδραυλική προσομοίωση δύο διαστάσεων. Η επίλυση της δισδιάστατης ροής βασίζεται στις εξισώσεις ποσότητας και συνέχειας κίνησης, οι οποίες αποτελούν μαθηματική έκφραση της αρχής διατήρησης της ορμής και της αρχής διατήρησης μάζας αντίστοιχα.

Η κίνηση των ρευστών σε τρεις διαστάσεις περιγράφεται από τις εξισώσεις Navier – Stokes. Ωστόσο για τη μοντελοποίηση της πλημμύρας σε δισδιάστατο επίπεδο γίνονται ορισμένες απλοποιήσεις. Μια απλοποιημένη μορφή εκφράζεται μέσω των εξισώσεων Saint – Venant. Οι συγκεκριμένες εξισώσεις στηρίζονται στις παραδοχές ασυμπιεστής ροής, ομοιόμορφης πυκνότητας και υδροστατικής πίεσης του ρευστού. Σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, η διαφορική μορφή της εξίσωσης ρηχών υδάτων διατήρησης μάζας (συνέχειας) περιγράφεται στην Εξίσωση 3.1:

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

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 της ταχύτητας στην x και y διεύθυνση αντίστοιχα και

q (m³/s): η εισερχόμενη ροή (U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

Οι 2D εξισώσεις ποσότητας κίνησης (ορμής) ρηχών υδάτων (Saint Venant) για τη x και την y διεύθυνση αντίστοιχα περιγράφονται στις παρακάτω Εξισώσεις 3.2, 3.3:

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

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

Όπου:

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

g (m/s²): η επιτάχυνση της βαρύτητας,

v_t (m²/s): ο συντελεστής οριζόντιου κινηματικού ιξώδους,

c_f (s⁻¹): ο συντελεστής τριβής στον πυθμένα και

f (s⁻¹): η παράμετρος Coriolis

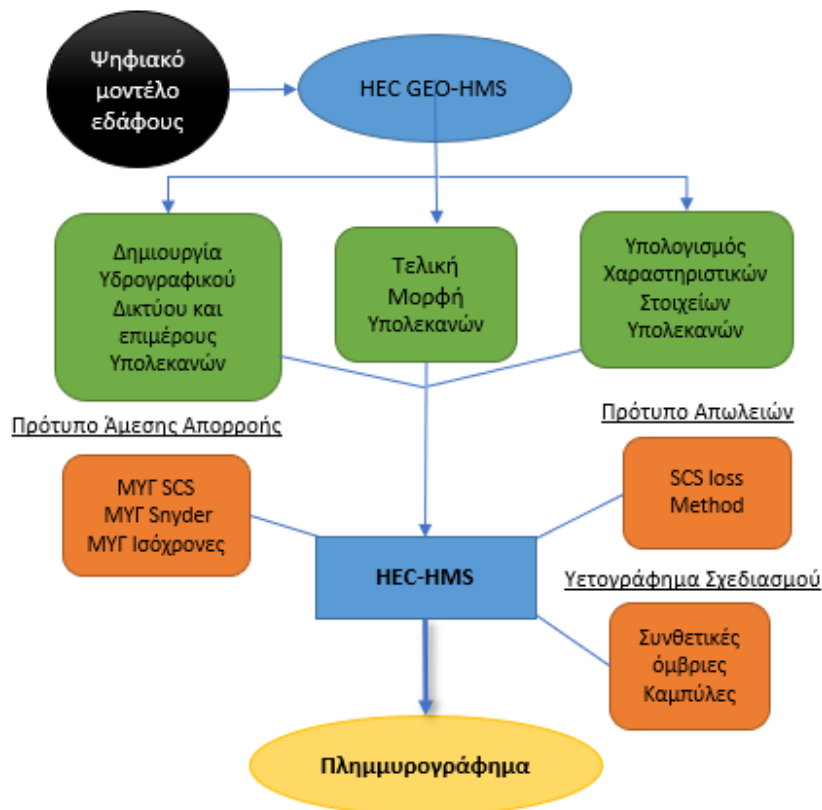
Γενικότερα σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν δεδομένα DEM καθώς και για την προσομοίωση περιοχών με ηπιότερες κλίσεις, που συχνά συνδέονται με εκτεταμένο πλημμυρικό πεδίο ενδείκνυται η δισδιάστατη ανάλυση. Τέτοιου τύπου ανάλυση προτείνεται για περιπτώσεις με έντονη κίνηση της ροής σε δυο διευθύνσεις, όπως και όταν προκύπτει ανάγκη ανάλυσης ταχύτητας ροής πλησίον τεχνικών έργων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η υδραυλική ανάλυση δύο διαστάσεων χρησιμεύει στην ανάλυση θραύσης φράγματος ή και αναχώματος, όπου η ροή αποκτά απότομα διαφορετικές κατευθύνσεις.

Ο συνδυασμός 1D/2D εφαρμόζεται κυρίως για την ανάλυση συστημάτων που περιλαμβάνουν αστικό και μη περιβάλλον. Εκεί αξιοποιείται για την προσομοίωση της ροής εντός τους υδρογραφικού δικτύου η μονοδιάστατη ανάλυση και για την ανάλυση των πεδινών εκτάσεων η δισδιάστατη.

3.2 Υδρολογική Ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό δίδεται βήμα προς βήμα η μεθοδολογία για την εκτίμηση της υδρολογικής απόκρισης των τριών υπολεκανών απορροής. Η ανάλυση γίνεται σε περιβάλλον HEC-GeoHMS σε πρώτη φάση και έπειτα HEC-HMS. Τελικό εξαγόμενο αποτελεί το πλημμυρογράφημα στην έξοδο κάθε υπολεκάνης για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Στο παρακάτω Σχήμα 3.1 φαίνονται με τη σειρά τα βήματα που

απαιτούνται για τον υπολογισμό των τελικών πλημμυρογραφήματων με τη βοήθεια του HEC-HMS.



Σχήμα 3.1: Βήματα υπολογισμού πλημμυρογραφήματος

3.2.1 Γεωμορφολογικά και υδρολογικά στοιχεία υπολεκανών μελέτης

Η υδρολογική ανάλυση των υπολεκανών αφετηρία έχει την ανάλυση των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης η οποία πραγματοποιείται μέσω της επέκτασης HEC-GeoHMS του ArcMap. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ως εισόδους το DEM, τους ψηφιακούς χάρτες με τους τύπους εδαφών καθώς και εκείνους με τις χρήσεις γης. Η περαιτέρω επεξεργασία των χωρικών αυτών δεδομένων με μια σειρά εντολών συνίσταται στη δημιουργία και χάραξη των υπολεκανών απορροής, του υδρογραφικού δικτύου καθώς και των υπόλοιπων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών που αποτελούν δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα HEC-HMS. Τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου, που απαιτούνται για τη λειτουργία του HEC-HMS, είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα, τα παραγόμενα υδρογραφήματα, καθώς επίσης και ορισμένες παράμετροι για την εφαρμογή των μαθηματικών προτύπων του HEC-HMS.

Πρώτο βήμα της υδρολογικής ανάλυσης αποτελεί η προεπεξεργασία του μοντέλου εδάφους μέσω του πακέτου εντολών Terrain Pre-Processing. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των εκτελούμενων εντολών:

Η εντολή «DEM Reconditioning»

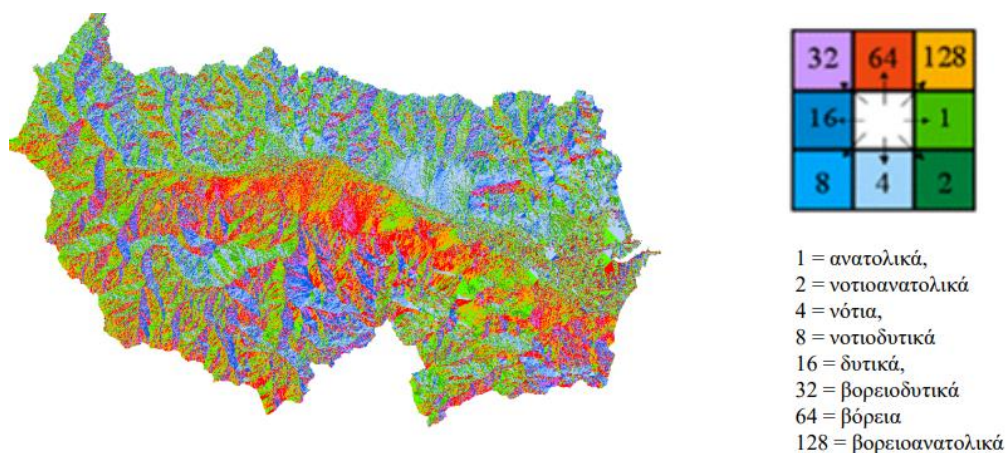
Η εντολή διορθώνει τις ατέλειες του DEM που αφορούν τη σωστή διαδρομή που ακολουθεί η φυσική ροή. Τέτοιες ατέλειες μπορεί να είναι κατασκευαστικά έργα κάθετα στο υδατορεύματα, προβλήματα σε περιοχές μικρών κλίσεων και γενικότερα λανθασμένα ή ελλιπή υψόμετρα. Απαιτείται η γνώση της σωστής θέσης του υδατορεύματος. Παράγεται συνήθως από ψηφιοποίηση είτε δορυφορικών εικόνων είτε χαρτογραφικών υποβάθρων

Η εντολή «Fill Sinks»

Κατά τη δημιουργία του DEM προκύπτουν λανθασμένα βυθίσματα στο ανάγλυφο τα οποία διορθώνονται με την συγκεκριμένη εντολή. Μικρά βυθίσματα εντός της κάθε λεκάνης εγκλωβίζουν νερό και παρεκτρέπουν την υδρολογική ανάλυση

Η εντολή «Flow Direction»

Η εντολή κατασκευάζει ένα νέο αρχείο raster όπου οι τιμές των φατνίων έχουν ένα μοναδικό νούμερο ανάλογα με την διεύθυνση που θα ακολουθήσει μία σταγόνα εφόσον βρεθεί εντός του φατνίου. Το εργαλείο υπολογίζει την κλίση μεταξύ του φατνίου και των 8 γειτονικών φατνίων και επιλέγει αυτό όπου η κλίση είναι μεγαλύτερη. Έτσι η τιμή π.χ. του φατνίου θα είναι 4 εάν το νερό τείνει να κινηθεί νότια όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Κίνηση νερού σύμφωνα με τις κλίσεις του flow direction (πηγή: ίδια επεξεργασία)

i. Η εντολή «Flow Accumulation»

Η εντολή κατασκευάζει ένα νέο αρχείο raster όπου οι τιμές των φατνίων του ορίζουν τον αριθμό των φατνίων που απορρέουν στο συγκεκριμένο φατνίο. Για παράδειγμα, ένα pixel με τιμή 15 υποδηλώνει ότι 15 καταλήγουν στο εν λόγω φατνίο. Η εντολή

είναι χρήσιμη για την παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου, καθώς τα φατνία με τις μεγαλύτερες τιμές τείνουν να είναι κομμάτι του υδρογραφικού δικτύου (όλα τα φατνία σε κάποια φάση θα καταλήξουν σε φατνία που αναπαριστούν το υδρογραφικό δίκτυο). Επομένως τα φατνία συγκεντρωτικής ροής με υψηλές τιμές αντιστοιχούν στις μισογάγγειες, ενώ τα φατνία με μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις κορυφογραμμές.

Η εντολή «Stream Definition»

Με την συγκεκριμένη εντολή επιλέγονται τα κελιά που παρουσιάζουν συσσώρευση ροής μεγαλύτερη από μια ελάχιστη τιμή η οποία έχει προηγουμένως προσδιοριστεί από τον χρήστη. Το σύνολο των κελιών αυτών καταρτίζουν το δίκτυο ροής. Η προκαθορισμένη αυτή ελάχιστη τιμή ισούται με το 1% της μεγαλύτερης περιοχής αποστράγγισης σε ολόκληρη τη υπολεκάνη απορροής.

Η εντολή «Stream Segmentation»

Μέσω αυτής της εντολής διαιρείται το υδατόρευμα σε μικρότερα κομμάτια με γνώμονα την κατηγοριοποίηση του υδρογραφικού δικτύου (πχ με τη μέθοδο Strahler).

Η εντολή «Catchment Grid Delineation»

Με το βήμα αυτό δημιουργείται ένας υδροκρίτης για κάθε τμήμα του υδατορεύματος, σχηματίζοντας επιμέρους υπολεκάνες.

Η εντολή «Catchment Polygon Processing»

Με τη συγκεκριμένη εντολή μετατρέπεται η αναπαράσταση των υπολεκανών από μορφή grid σε διανυσματική μορφή (vector)

Η εντολή «Drainage Line Processing»

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

Η εντολή «Adjoint Catchment Processing»

Με το βήμα αυτό αθροίζονται σε κάθε συμβολή του ποταμού όλες οι ανάντη υπολεκάνες. Αυτό το αναγκαίο βήμα, δεν έχει κάποια υδρολογική σημασία αλλά πραγματοποιείται για να βελτιώσει την υπολογιστική ισχύ του προγράμματος (HEC 2003).

Έπειτα, έχοντας ως έξοδο τα σημεία αυτά, ορίζονται οι ανάντη υπολεκάνες τους για τις οποίες διεξάγεται υδρολογική ανάλυση εφαρμόζοντας για την προσομοίωση του μηχανισμού βροχής απορροής τις μεθόδους του ΜΥΓ με τη μέθοδο των Ισόχρονων Καμπυλών, του Συνθετικού ΜΥΓ κατά Snyder και του Αδιάστατου ΜΥΓ κατά SCS. Η υδρολογική ανάλυση, που ολοκληρώνεται με τη βοήθεια του λογισμικού HEC-HMS, αφορά την ανάντη υπολεκάνη η οποία απορρέει στη θέση προσομοίωσης και έχει ως

αποτέλεσμα το πλημμυρογράφημα το οποίο χρησιμοποιείται ως δεδομένο εισόδου για την υδραυλική προσομοίωση στην περιοχή κατάντη του σημείου προσομοίωσης.

Το πλημμυρογράφημα αποτελεί τη γραφική παράσταση της παροχής του νερού συναρτήσει του χρόνου στην έξοδο της υπολεκάνης απορροής. Ο πλημμυρικός όγκος αποτελεί το εμβαδόν που περικλείεται από το πλημμυρογράφημα. Υπάρχουν ποικίλα υδρολογικά μοντέλα που μπορούν να εφαρμοστούν για την εκτίμηση του πλημμυρογραφήματος ενός επεισοδίου βροχής. Ωστόσο στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζεται αυτό του MYG. Κατά τον Sherman, μοναδιαίο υδρογράφημα καλείται το υδρογράφημα απορροής που προκαλείται από ενεργό βροχόπτωση ομοιόμορφα κατανεμημένη κατά μήκος της έκτασης της υδρολογικής λεκάνης, ομοιόμορφης έντασης, συγκεκριμένης διάρκειας και μοναδιαίου ύψους (10 mm). Οι παραδοχές στις οποίες βασίζεται η θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι οι εξής :

Σε μια συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση ανεξάρτητα από την ένταση της βροχής.

Σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές ή τις επόμενες.

Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει αμετάβλητη σε σχέση με το χρόνο.

Οι παραπάνω προϋποθέσεις ικανοποιούνται μόνο κατά προσέγγιση από τις φυσικές υδρολογικές λεκάνες (Wilson, 1990; Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012).

Όσον αφορά στην πρώτη παραδοχή, αυξάνοντας την στάθμη νερού αυξάνεται και η αποθηκευτική ικανότητα των ρεμάτων. Επομένως, μεγαλύτερη ένταση της βροχής οδηγεί σε περισσότερο αποθηκευμένο νερό. Το αποθηκευμένο νερό απορρέει μετά την παύση της βροχής, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου της άμεσης απορροής. Ως εκ τούτου ανάλογα με την ένταση της βροχής αναμένεται διακύμανση ως προς το χρόνο απορροής.

Σχετικά με τη δεύτερη παραδοχή, αυτή κρίνεται αβάσιμη. Το γεγονός ότι βροχές που έχουν προηγηθεί επηρεάζουν την απορροή του εξεταζόμενου γεγονότος ακόμη και σε περίπτωση που απέχουν αρκετά χρονικά θεωρείται δεδομένο. Για το λόγο αυτό, το MYG μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στην άμεση απορροή, δηλαδή στην απορροή η οποία μένει αφαιρουμένης της βασικής απορροής. Ακόμα κι έτσι, η εφαρμογή του κριτηρίου κρίνεται σχετική μιας και η άμεση απορροή εξαρτάται από το επίπεδο υγρασίας του εδάφους και το ποσοστό πληρώσεως των κοιλοτήτων του εδάφους πριν τη βροχή.

Τέλος, η τρίτη παραδοχή μπορεί πράγματι να θεωρηθεί ότι ισχύει, καθώς δεν αναμένονται ουσιαστικές αλλαγές στην υφιστάμενη κατάσταση μιας υδρολογικής λεκάνης μέσα σε ένα χρονικό διάστημα λογικών πλαισίων, δεδομένου βέβαια ότι δεν

θα υπάρξει παρέμβαση του ανθρώπου (με κατασκευή έργων, αλλαγή χρήσεων γης κ.λ.π.).

Οι θεμελιώδεις αρχές που διέπουν το μοντέλο του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η αρχή της αναλογίας και η αρχή της επαλληλίας.

Σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας, δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση αλλά με τεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων. (Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς)

Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, το συνολικό υδρογράφημα το οποίο προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα που έχει τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων. Η χρονική αρχή των επιμέρους υδρογραφημάτων που αθροίζονται, ταυτίζεται με την αρχή των αντίστοιχων επεισοδίων ενεργού βροχόπτωσης (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012).

3.2.2 Βροχή από εναλλασσόμενα μπλοκ

Για τον υπολογισμό του συνολικού ύψους βροχής καθώς και την διάρκεια αυτής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ. Απαραίτητα δεδομένα ήταν η εξίσωση όμβριας καμπύλης για κάθε υπολεκάνη, οι μεταβλητές της οποίας προήλθαν από τον κοντινότερο βροχομετρικό σταθμό της Νάξου (Σχήμα 3.3). Η περίοδος επαναφοράς επιλέχθηκε στα 100 χρόνια και για τις τρεις λεκάνες απορροής. Ο χρόνος συγκεντρώσεως μιας λεκάνης απορροής εκφράζει την χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της παροχής απορροής σε σχέση με το χρόνο που άρχισε η βροχή στην λεκάνη. Δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες μετρήσεις, για τον υπολογισμό του χρόνου αυτού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Giandotti σύμφωνα με την Εξίσωση 3.4.

$$Tc = \frac{4*\sqrt{A}+1.5L}{0.8*\sqrt{Hmn}-Hmin} \quad (3.4)$$

Όπου:

A: επιφάνεια σε km²

L: μέγιστος υδραυλικός δρόμος (km)

Hmn: μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m)

Hmin: ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m)

Tc: Χρόνος συγκεντρώσεως (hr)

Όσον αφορά τη διάρκεια της βροχής, δεδομένου του υπολογισμένου πλέον χρόνου συγκεντρώσεως, αυτή επιλέχθηκε 6 hr (d) και για τις τρεις υπολεκάνες. Τα στοιχεία εισόδου για τον υπολογισμό του υετογραφήματος για κάθε υπολεκάνη (Σχήματα 3.4

έως 3.6) καθώς και τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3.

Πίνακας 3.1: Στοιχεία εισόδου για τον υπολογισμό του υετογραφήματος και αποτελέσματα 1^{ης} υπολεκάνης

Στοιχεία 1 ^{ης} Υπολεκάνης	
A(km ²)	44
L(km)	15
H _m (m)	285.67
H _{min} (m)	16
H _{max} (m)	881
Αποτελέσματα 1 ^{ης} Υπολεκάνης	
t _c (h)	3.2476175
d(h)	6
T(y)	100
i(mm/h)	27.925943
H _{event} (mm)	126.27

Πίνακας 3.2: Στοιχεία εισόδου για τον υπολογισμό του υετογραφήματος και αποτελέσματα 2^{ης} υπολεκάνης

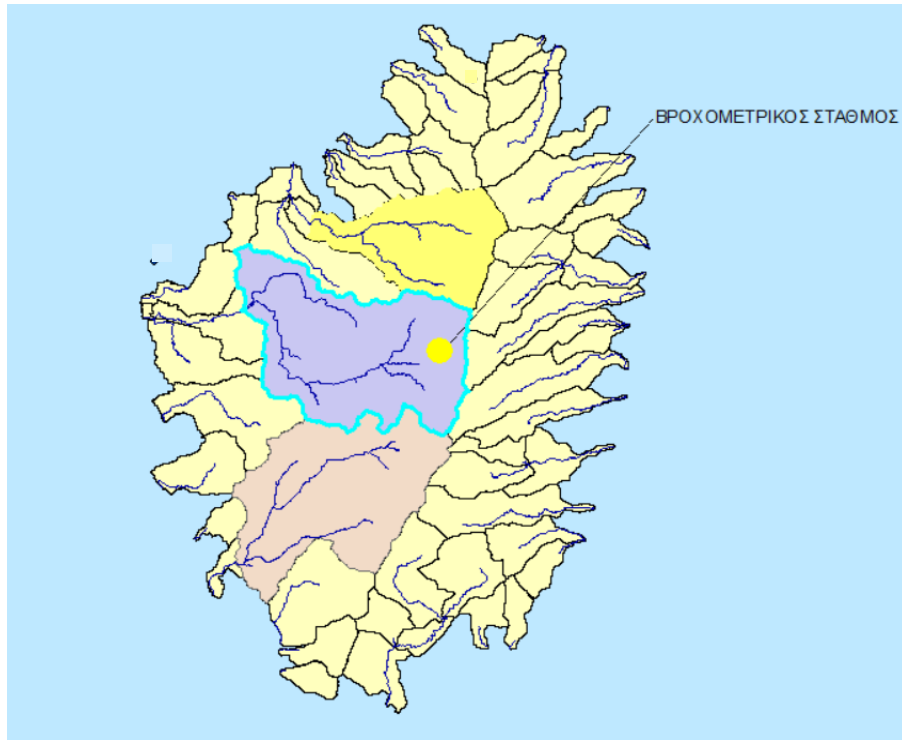
Στοιχεία 2 ^{ης} Υπολεκάνης	
A(km ²)	40
L(km)	13.07
H _m	253.42
H _{min}	16
H _{max}	1000
Αποτελέσματα 2 ^{ης} Υπολεκάνης	
t _c (h)	3.1378536
d(h)	6
T(y)	100
i(mm/h)	27.925943
H _{event} (mm)	126.27

Πίνακας 3.3: Στοιχεία εισόδου για τον υπολογισμό του υετογραφήματος και αποτελέσματα 3^{ης} υπολεκάνης

Στοιχεία 3 ^{ης} Υπολεκάνης	
A(km ²)	22
L(km)	11
Hm	483
Hmin	24
Hmax	997

Αποτελέσματα 3ης Υπολεκάνης	
t _c (h)	1.7585401
d(h)	6
T(y)	100
i(mm/h)	27.925943
H _{event} (mm)	126.27

Όπου H_{event} είναι το άθροισμα των τιμών του κάθε υετογραφήματος που παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.5, 3.6, 3.7. Οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών που χρησιμοποιήθηκαν διεξάχθηκαν από το ΥΠΕΚΑ και εμφανίζονται στον Πίνακα 3.4.



Σχήμα 3.3: Βροχομετρικός σταθμός Νάξου που χρησιμοποιήθηκε (πηγή: ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 3.4: Παράμετροι όμβριων καμπυλών (Πηγή: <https://floods.yreka.gr/>)

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ					
	Name	X	Y	Z	λ	ψ	θ	η	κ
ΧΑΛΚΙ	633202.7	4103032	300	316.1	0.549	0.134	0.741	0.156	

Πίνακας 3.5: Εναλλασσόμενα μπλοκ για τη 1η υπολεκάνη

t_i (hr)	$h_i = t_i * i_t$	$\rho_i = h_i / h_{max}$	Διαφορές	Αναδιάταξη		Τελικό
			ρ_i	θέση	τιμή	Υετογράφημα
			$\rho_i - \rho_{i-1}$			$h_i' = \rho_i' * h_{max}$
0						
0.5	56.56	0.448	0.448	11	0.025	3.22
1	73.52	0.582	0.134	9	0.030	3.80
1.5	84.13	0.666	0.084	7	0.037	4.72
2	92.04	0.729	0.063	5	0.051	6.39
2.5	98.43	0.780	0.051	3	0.084	10.61
3	103.84	0.822	0.043	1	0.448	56.56
3.5	108.57	0.860	0.037	2	0.134	16.96

4	112.77	0.893	0.033	4	0.063	7.91
4.5	116.58	0.923	0.030	6	0.043	5.41
5	120.06	0.951	0.028	8	0.033	4.21
5.5	123.28	0.976	0.025	10	0.028	3.48
6	126.27	1.000	0.024	12	0.024	3.00
					Σύνολο	126.27



Σχήμα 3.4: Υετογράφημα υπολεκάνης 1 για T=100 χρόνια και διάρκεια βροχής 6 ωρών

Πίνακας 3.6: Εναλλασσόμενα μπλοκ για τη υπολεκάνη 2

t_i (hr)	$h_i = t_i * i_t$	$\rho_i = h_i / h_{\max}$	Διαφορές	Αναδιάταξη		Τελικό
			ρ_i	θέση	τιμή	Υετογράφημα
			$\rho_i - \rho_{i-1}$			$h_i' = \rho_i' * h_{\max}$
0						
0.5	56.56	0.448	0.448	11	0.025	3.22
1	73.52	0.582	0.134	9	0.030	3.80
1.5	84.13	0.666	0.084	7	0.037	4.72
2	92.04	0.729	0.063	5	0.051	6.39
2.5	98.43	0.780	0.051	3	0.084	10.61
3	103.84	0.822	0.043	1	0.448	56.56

3.5	108.57	0.860	0.037	2	0.134	16.96
4	112.77	0.893	0.033	4	0.063	7.91
4.5	116.58	0.923	0.030	6	0.043	5.41
5	120.06	0.951	0.028	8	0.033	4.21
5.5	123.28	0.976	0.025	10	0.028	3.48
6	126.27	1.000	0.024	12	0.024	3.00
					Σύνολο	126.27



Σχήμα 3.5: Υετογράφημα υπολεκάνης 2 για T=100 χρόνια και διάρκεια βροχής 6 ωρών

Πίνακας 3.7: Εναλλασσόμενα μπλοκ για τη υπολεκάνη 3

t_i (hr)	$h_i = t_i * i_t$	$\rho_i = h_i / h_{max}$	Διαφορές	Αναδιάταξη		Τελικό
			ρ_i	θέση	τιμή	Υετογράφημα
			$\rho_i - \rho_{i-1}$			$h_i' = \rho_i' * h_{max}$
0						
0.5	56.56	0.448	0.448	11	0.025	3.22
1	73.52	0.582	0.134	9	0.030	3.80
1.5	84.13	0.666	0.084	7	0.037	4.72
2	92.04	0.729	0.063	5	0.051	6.39

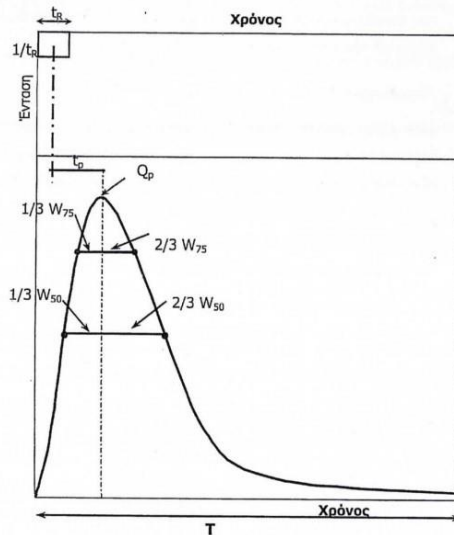
2.5	98.43	0.780	0.051	3	0.084	10.61
3	103.84	0.822	0.043	1	0.448	56.56
3.5	108.57	0.860	0.037	2	0.134	16.96
4	112.77	0.893	0.033	4	0.063	7.91
4.5	116.58	0.923	0.030	6	0.043	5.41
5	120.06	0.951	0.028	8	0.033	4.21
5.5	123.28	0.976	0.025	10	0.028	3.48
6	126.27	1.000	0.024	12	0.024	3.00
Σύνολο						126.27



Σχήμα 3.6: Υετογράφημα υπολεκάνης 3 για T=100 χρόνια και διάρκεια βροχής 6 ωρών

3.2.3 Συνθετικό Μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιεί συνθετικά ΜΥΓ είναι η Snyder. Η μέθοδος προέκυψε μέσα από μεγάλου πλήθους αναλύσεις βροχοπτώσεων στη Βόρεια Αμερική και συγκεκριμένα στην περιοχή των Απαλλαχίων (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Με τη μέθοδο προσδιορίζεται ο χρόνος υστέρησης t_p , η αιχμή Q_p , ο χρόνος βάσης T , καθώς και τα πλάτη του ΜΥΓ W_{50} και W_{75} για χρόνο που αντιστοιχεί στο 50% και 75% της αιχμής αντίστοιχα (Σχήμα 3.6) (McCuen, 1998).



Σχήμα 3.7 : Μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder (Πηγή: Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018)

$$Q_p = C_p 640 \cdot A \cdot t_p \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.4)$$

$$t_p = C_t (LcaL)^{0.3} \quad (\text{hr}) \quad (3.5)$$

$$T = 3 + 3 \cdot (t_p / 24) \quad (\text{days}) \quad (3.6)$$

Όπου:

L: η απόσταση του σταθμού μέτρησης παροχής έως τον υδροκρίτη. Η απόσταση αυτή λαμβάνεται κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος και υπολογίζεται σε περιβάλλον ArcGIS με τη βοήθεια της εντολής "longest flow path" .

Lca: η απόσταση από την έξοδο της λεκάνης (όπου βρίσκεται ο παροχομετρικός σταθμός) έως το κέντρο βάρους της λεκάνης, η οποία επίσης μετριέται κατά μήκος της κοίτης του κύριου υδατορεύματος. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε στο ArcGIS ήταν "Centroidal Longest Path".

Ct: αδιάστατος συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και παίρνει τιμές μεταξύ 1.80 και 2.20. Μικρότερη τιμή του συντελεστή αντιστοιχεί σε λεκάνες με πιο έντονες κλίσεις.

Cp: αδιάστατος συντελεστής του οποίου οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.56 και 0.69 και σχετίζεται με τις μονάδες και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης.

A: η έκταση της λεκάνης (m^2)

T: η χρονική βάση του υδρογραφήματος η οποία με βάση την εξίσωση με την οποία υπολογίζεται παίρνει ελάχιστη τιμή τις τρεις ημέρες.

Υπογραμμίζεται ότι ο χρόνος υστέρησης υπολογίζεται από το κέντρο βάρους της ενεργού βροχόπτωσης μέχρι την αιχμή του πλημμυρογραφήματος. Η διάρκεια της

ενεργού βροχόπτωσης t_R συνδέεται με τη χρονική υστέρηση t_P με βάση την παρακάτω Εξίσωση 3.13:

$$t_R = \frac{t_P}{5.5} \quad (3.7)$$

Αν το ζητούμενο ΜΥΓ έχει διάρκεια t_R' μεγαλύτερη της t_R ο χρόνος υστέρησης διορθώνεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$t_P' = t_P + \frac{(t_R' - t_R)}{4} \quad (3.8)$$

Τα πλάτη του ΜΥΓ στο 50% και το 75% της αιχμής δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$W_{50} = \frac{830}{q_p^{1.1}} \quad (3.9)$$

$$W_{75} = \frac{470}{q_p^{1.1}} \quad (3.10)$$

Όπου:

$$q_p = \frac{Q_p}{A} \quad (3.11)$$

Με τον υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών γίνεται η χάραξη του συνθετικού υδρογραφήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος έχει εφαρμογή κυρίως σε λεκάνες μεγάλου μεγέθους καθώς εκεί παρουσιάζει ορθότερα αποτελέσματα.

3.2.4 Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω ισόχρονων καμπυλών

Η μέθοδος των Ισόχρονων Καμπυλών βασίζεται στη σχέση μεταξύ του χρόνου διαδρομής της απορροής και της επιφάνειας της λεκάνης, η οποία συνεισφέρει στην απορροή κατά ένα συγκεκριμένο διάστημα (McCuen, 1998). Με τον όρο ισόχρονες καμπύλες περιγράφεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων από τα οποία η απορροή ισαπέχει χρονικά μέχρι την έξοδο της λεκάνης (Καββαδά, 2012). Επομένως, η λεκάνη χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα, τις ισόχρονες καμπύλες (Χριστοφίδης, 2008). Οι καμπύλες αυτές προφανώς δεν δύναται να τέμνονται καθώς εκφράζουν διαφορετικές χρονικές αποστάσεις από την έξοδο της λεκάνης και αποτελούν διαφορετικούς γεωμετρικούς τόπους. Στόχος της μεθόδου στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι να μετασχηματιστεί η ενεργός βροχόπτωση σε απορροή λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο που απαιτείται για μια σταγόνα νερού από κάθε σημείο της λεκάνης να καταλήξει στην έξοδο αυτής.

Πρώτο βήμα της παραγωγής του μοναδιαίου υδρογραφήματος μέσω του λογισμικού ArcGIS είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας ροής η οποία διακρίνεται σε χερσαία (overland) και ποτάμια (inchannel). Απαραίτητα δεδομένα εισόδου είναι το DEM για να υπάρχει το υψόμετρο κάθε σημείου της υπολεκάνης, το υδρογραφικό δίκτυο

καθώς και ο χάρτης χρήσεων γης σύμφωνα με το Corine 2000. Επομένως, αρχικά σε κάθε υπολεκάνη ανάλογα με τη χρήση γης αποδίδεται μια τιμή του συντελεστή k σε ξεχωριστό αρχείο raster όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.8. Τα μεγέθη των φατνίων του νέου raster πρέπει να συμπίπτουν με αυτά του DEM επομένως ορίζονται να είναι 5 m x 5 m. Όσον αφορά τον συντελεστή k , πρόκειται για δείκτη τραχύτητας του εδάφους και οι τιμές του πολλαπλασιάζονται με το 100 ούτως ώστε να γίνουν ακέραιοι, να συμφωνούν πλέον με τη δομή του λογισμικού, και να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν σε αρχικό στάδιο των υπολογισμών. Για τον υπολογισμό λοιπόν της κάθε ταχύτητας ακολουθούνται τα εξής βήματα.

Μέσω της εντολής slope παράγεται ο κλίση κλίσεων της περιοχής μελέτης. Από την κλίση αυτή και την τραχύτητα του εδάφους θα εξαρτηθεί η χερσαία ροή. Η ποτάμια ροή προκύπτει ως συνάρτηση της χερσαίας ροής και της ιεράρχησης του υδρογραφικού δικτύου.

Στο περιβάλλον του ArcMap με χρήση του εργαλείου Raster Calculator, το οποίο υλοποιεί μαθηματικές πράξεις μεταξύ επιπέδων χωρικής πληροφορίας δομής raster, αλλά και αριθμών υπολογίζεται η ταχύτητα χερσαίας ροής με βάση την Εξίσωση 3.12 (Μαμάσης, 2007):

$$V(m/s) = k \cdot \sqrt{S(m/m)} \quad (3.12)$$

Όπου k ο συντελεστής τραχύτητα που αναφέρεται παραπάνω και S η κλίση του εδάφους. Ο συντελεστής τραχύτητας εκτελώντας τη συγκεκριμένη πράξη διαιρείται με το 100 καθώς προηγουμένως είχε πολλαπλασιαστεί επί 100 για τη λειτουργία του προγράμματος.

Αφού έχουν εκτελεστεί οι εντολές Flow Direction και Flow Accumulation ώστε να αποδοθεί η κατεύθυνση της ροής κάθε φατνίου προς τα οκτώ γειτονικά του ανάλογα με την κλίση και να σχεδιαστεί ο συγκεντρωτικός κλίμακας ροής, γίνεται ιεράρχηση των κλάδων του δικτύου με την εντολή Stream Order. Με τον όρο ιεράρχηση εννοείται, σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler, ότι ορίζονται ως 1^{ης} τάξης οι κλάδοι οι οποίοι δεν δέχονται απορροή από μικρότερα υδατορεύματα, 2^{ης} τάξης οι κλάδοι που δέχονται απορροή από δύο κλάδους 1^{ης} τάξεως, 3^{ης} τάξεως οι κλάδοι που βρίσκονται στη συμβολή δύο κλάδων 2^{ης} τάξεως κ.ο.κ.

Το υδρογραφικό δίκτυο που προκύπτει, πλέον οργανωμένο σε τάξεις, είναι ένα αρχείο δομής raster, το οποίο με τη σειρά του μετέπειτα με χρήση του εργαλείου Raster Calculator πολλαπλασιάζεται με το αρχείο raster της χερσαίας ροής.

Με σκοπό την απόδοση της διάστασης του χρόνου στην παραπάνω απόσταση εισάγεται μια παράμετρος η οποία υπολογίζεται ως το αντίστροφο της αθροιστικής ταχύτητας ροής. Δημιουργείται λοιπόν ένας κλίμακας βαρών ίσος με το αντίστροφο της ταχύτητας που υπολογίστηκε, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στο επόμενο βήμα (Flow Length), ώστε το αποτέλεσμα, να είναι χρόνος (αντί για μήκος)

Έπειτα με τη χρήση του εργαλείου Flow Length, το οποίο έχει δεδομένο εισόδο την κατεύθυνση ροής (flow direction), υπολογίζεται το μήκος διαδρομής κάθε φατνίου ως την έξοδο της λεκάνης το οποίο με εισαγωγή του κανάβου βαρών δίνει αποτέλεσμα σε μονάδες χρόνου.

Μετατρέποντας το παραπάνω αποτέλεσμα σε ώρες αφού διαιρεθεί με 3600 παράγονται οι ισόχρονες καμπύλες, οι οποίες αποτυπώνουν το γεωμετρικό τόπο των σημείων που απορρέουν ταυτόχρονα στην έξοδο της λεκάνης. Αυτό το επίθεμα ταξινομείται σε κλάσεις (εν προκειμένω, ανά μισή ώρα) και γίνεται εξαγωγή του πίνακα των χαρακτηριστικών.

Για την παραγωγή του ΜΥΓ η βροχόπτωση μοναδιαίου ύψους (10 mm) πολλαπλασιάζεται με τις διαστάσεις του κάθε φατνίου (5 m x 5 m) και στη συνέχεια με το πλήθος των φατνίων που απορρέουν για την κάθε κλάση, δηλαδή για το κάθε χρονικό βήμα.

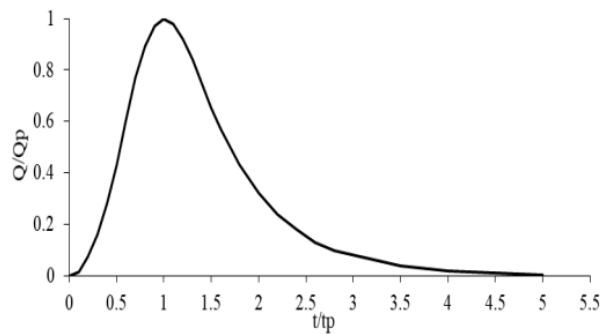
Πίνακας 3.8: Συντελεστής τραχύτητας k100 για τις διαφορετικές χρήσεις γης κατά Corine (Δεδομένα από Καββαδά, 2012, ίδια επεξεργασία)

Κωδικός	Περιγραφή	Τιμή
111	Συνεχής αστική οικοδόμηση	115
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	115
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	115
123	Ζώνες λιμένων	115
124	Αεροδρόμια	115
131	Χώροι εξόρυξης ορυκτών	115
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	60
211	Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη	50
223	Ελαιώνες	19
231	Λιβάδια	43
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	37
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	30
321	Φυσικοί βοσκότοποι	37
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	30
324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	25
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	60
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	55

512	Συλλογές υδάτων	30
523	Θάλασσα	21

3.2.5 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS

Το αδιάστατο συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS (η οποία φέρει πλέον την ονομασία Natural Resources Conservation Service) έχει προκύψει από μεγάλο αριθμό μοναδιαίων υδρογραφημάτων. Το ΜΥΓ στον άξονα των τεταγμένων εκφράζει το λόγο της παροχής προς την παροχή αιχμής $Q_i = \frac{Q_p}{Q_d}$, καθώς στον άξονα των τεταγμένων εκφράζεται ο λόγος του χρόνου προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος $t_i = \frac{t}{t_p}$ (Σχήμα 3.8). Επομένως, οι τιμές του υπολογίζονται ως:



Σχήμα 3.8: Το αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS

Ο όγκος απορροής στον ανοδικό κλάδο αντιστοιχεί στο 37.5% του συνολικού όγκου (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Με δεδομένα την παροχή αιχμής και τη χρονική επιβράδυνση για συγκεκριμένη διάρκεια ενεργού βροχόπτωσης, το ΜΥΓ μπορεί να εκτιμηθεί από το συνθετικό αδιάστατο υδρογράφημα για μια δεδομένη λεκάνη, σύμφωνα με τις εξισώσεις που ακολουθούν (Τσακίρης, 2013):

$$Q_p = 2.08 \cdot \frac{A}{t_p} \quad (3.13)$$

$$t_p = \frac{t_0}{2} + t_L \quad (3.14)$$

Όπου:

Q_p : η παροχή αιχμής (m^3 / s) του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

A : η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (km^2)

t_p : ο χρόνος που παρατηρείται η μέγιστη παροχή – χρόνος αιχμής (hr)

t_0 : η διάρκεια της ενεργού βροχόπτωσης βροχής (hr)

t_L : ο χρόνος υστέρησης της λεκάνης (hr), δηλαδή ο χρόνος μεταξύ του κέντρου μάζας του υετογράμματος και της αιχμής πλημμύρας, που συνήθως υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.15:

$$t_L = 0.6 \cdot t_c \quad (3.15)$$

Όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής (hr).

Ανάμεσα στο χρόνο αιχμής t_P και στο χρόνο υστέρησης t_L , υφίσταται η Εξίσωση 3.16, με την οποία υπολογίζεται ο χρόνος αποχώρησης, t_R :

$$t_R = 1.67 \cdot t_P \quad (3.16)$$

3.2.6 Υπολογισμός πλημμυρογραφήματος σε περιβάλλον HEC-HMS

Το Σύστημα Υδρολογικής Μοντελοποίησης HEC (HEC-HMS) είναι ένα υδρολογικό μοντέλο σχεδιασμένο για να προσομοιώνει τις υδρολογικές διεργασίες των δενδριτικών συστημάτων λεκάνης απορροής. Αυτό το μαθηματικό μοντέλο προσομοιώνει τις διαδικασίες βροχόπτωσης-απορροής σε φυσική ή ελεγχόμενη λεκάνη απορροής. Τα χωρικά δεδομένα (εμβαδόν λεκανών, υδρογραφικό δίκτυο και αποστάσεις εντός αυτού έως την έξοδο της λεκάνης κ.λπ..) από το HEC-GeoHMS εισάγονται στο HEC-HMS και το μοντέλο προβλέπει τη ροή, το στάδιο και το χρονοδιάγραμμα για τη λεκάνη με βάση το εκάστοτε μετεωρολογικό σύνολο δεδομένων που επιλέγεται και των χρήσεων γης. Συγκεκριμένα, αφού συντεθούν η λεκάνη απορροής, οι υπολεκάνες, οι συμβολές, οι αγωγοί, οι πηγές, οι διασταυρώσεις, οι δεξαμενές, οι απώλειες και γενικότερα οτιδήποτε είναι απαραίτητο στην περιγραφή λειτουργίας της λεκάνης απορροής, καθορίζονται από τον χρήστη τα δεδομένα υδρολογικά σενάρια και προκύπτει μέσω του προγράμματος η συμπεριφορά της λεκάνης στο εκάστοτε σενάριο. Η λειτουργία της προσομοίωσης έγκειται στο ότι αφενός απλοποιείται ένα περίπλοκο υδραυλικό σύστημα σε ένα πιο απλό με αγωγούς, δεξαμενές, πηγές, κτλ (δηλαδή κατασκευάζεται μοντέλο και όχι ομοίωμα) αφετέρου επιλέγεται ένα σενάριο που δεν έχει υπάρξει κατ' ανάγκη και υπολογίζεται ή καλύτερα προβλέπεται η συμπεριφορά της λεκάνης (Τσιτρούλης, 2015). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποθηκεύονται στο HEC-DSS (Data Storage System) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλο λογισμικό για μελέτες διαθεσιμότητας νερού, αστικής αποστράγγισης, πρόβλεψη ροής, μελλοντικές επιπτώσεις αστικοποίησης, σχεδιασμός υπερχειλιστή δεξαμενής, μείωση ζημιών από πλημμύρες, ρύθμιση πλημμυρικών πεδιάδων και λειτουργία συστημάτων (Τουτζιάρη, 2012).

Το HEC-HMS χρησιμοποιεί διάφορες διαδικασίες υδρολογικής ανάλυσης για συνεχή ή βάσει συμβάντων ανάλυση. Υπάρχουν τρία κύρια χαρακτηριστικά σε κάθε project του HEC-HMS: μοντέλο λεκάνης (basin model), μετεωρολογικό μοντέλο (meteorological model), και προδιαγραφές ελέγχου (control specification). Το μοντέλο λεκάνης αποτελείται από τα στοιχεία της υπολεκάνης, που αναφέρθηκαν

παραπάνω, τη συνδεσιμότητα και την παράμετρο απορροής. Το μετεωρολογικό μοντέλο περιέχει τις βροχοπτώσεις και δεδομένα εξάτμισης, ενώ οι προδιαγραφές ελέγχου τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης.

Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

Κατασκευάζεται το μοντέλο Basin Model, εισάγονται σε αυτό τα χωρικά επιθέματα (Map Layers) της λεκάνης.

Κατασκευάζεται και ονοματίζεται η υπολεκάνη αλλά και η έξοδος αυτής, που αποτελεί και το σημείο προσομοίωσης, με τη βοήθεια των εργαλείων Subbasin Creation και Tool Sink Creation Tool αντίστοιχα.

Προστίθενται στην υπολεκάνη που δημιουργήθηκε χαρακτηριστικά όπως η έκταση αυτής, η μέθοδος απωλειών, το μοντέλο βροχής-απορροής καθώς και γίνεται η σύνδεσή της με την έξοδο που δημιουργήθηκε προηγουμένως.

Ανάλογα με το μοντέλο βροχής-απορροής το οποίο επιλέγεται από τον χρήστη χρειάζεται να συμπληρωθούν και τα αντίστοιχα πρόσθετα δεδομένα. Συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκαν η μέθοδος του αδιάστατου ΜΥΓ της SCS, η μέθοδος του συνθετικού ΜΥΓ κατά Snyder και τέλος αξιοποιήθηκε το ΜΥΓ που προέκυψε από τις ισόχρονες καμπύλες. Επομένως, για την περίπτωση της SCS προστέθηκαν ο χρόνος υστέρησης σε λεπτά (Lag Time) ο οποίος έχει υπολογισθεί κατά τη δημιουργία του ΜΥΓ όπως αναφέρεται στα προηγούμενα κεφάλαια, ενώ για την περίπτωση της Snyder ο χρόνος υστέρησης σε ώρες ο οποίος επίσης έχει υπολογισθεί προηγουμένως και ο συντελεστής αιχμής C_p (peaking coefficient), ο οποίος όπως προαναφέρθηκε παίρνει τιμές από 0.56 έως 0.69 και στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε 0.6. Τέλος στην περίπτωση της μεθόδου εισαγωγής ΜΥΓ από τον χρήστη, εισήχθη το ΜΥΓ που προέκυψε από τις ισόχρονες καμπύλες.

Όσον αφορά τις απώλειες χρησιμοποιείται η μέθοδος SCS Curve Number (CN). Η παράμετρος CN χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μέγιστης πιθανής κατακράτησης (S) του εδάφους στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Η τιμή του εξαρτάται από παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, η χρήση γης, η φυτοκάλυψη κλπ. Το εύρος των τιμών του συντελεστή είναι μεταξύ 1 και 100 με το 1 να είναι πλήρως διαπερατό έδαφος και το 100 πλήρως αδιαπέρατο. Η τιμή δίνεται σε πίνακες ανάλογα με την χρήση Γης και τον Υδρολογικό τύπο εδάφους. Ο πίνακας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 3.9). Τα στοιχεία εισόδου στο HEC-HMS παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.9.

Πίνακας 3.9 : Τιμές CN ανά περιοχή κάλυψης και κατηγορίας εδάφους (Δεδομένα από Καββαδά, 2012, ίδια επεξεργασία)

Περιγραφή Κάλυψης		Curve Numbers			
Τύπος κάλυψης	Υδρολογική κατάσταση	A	B	C	D
Βοσκότοποι, λιβάδια προορισμένα για βοσκή (Pasture, grassland, or range continuous forage for grazing)	Χαμηλή	68	79	86	89
	Μέτρια	49	69	79	84
	Καλή	39	61	74	80
Λιβάδια μη προορισμένα για βοσκή (Meadow-continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay)		30	58	71	78
Θαμνότοποι (Brush-brush-weed grass mixture with brush the major element)	Χαμηλή	48	67	77	83
	Μέτρια	35	56	70	77
	Καλή	30	48	65	73
Συνδυασμός δασών – λιβαδιών (περιβόλια, καλλιεργούμενα δέντρα) (Woods-grass combination (orchard or tree farm))	Χαμηλή	57	73	82	86
	Μέτρια	43	65	76	82
	Καλή	32	58	72	79
Δάση (Woods)	Χαμηλή	45	66	77	83
	Μέτρια	36	60	73	79
	Καλή	30	55	70	77
Αγροτικά κτίρια, παρόδιοι δρόμοι και χώροι στάθμευσης (Farmsteads-buildings, lanes, driveways, and surrounding lots)		59	74	82	86

Όπου:

Κατηγορία A: Εδάφη με υψηλούς ρυθμούς διήθησης. Συχνά τα εδάφη αυτά περιέχουν πλήρως στραγγιζόμενες άμμους ή χαλίκια.

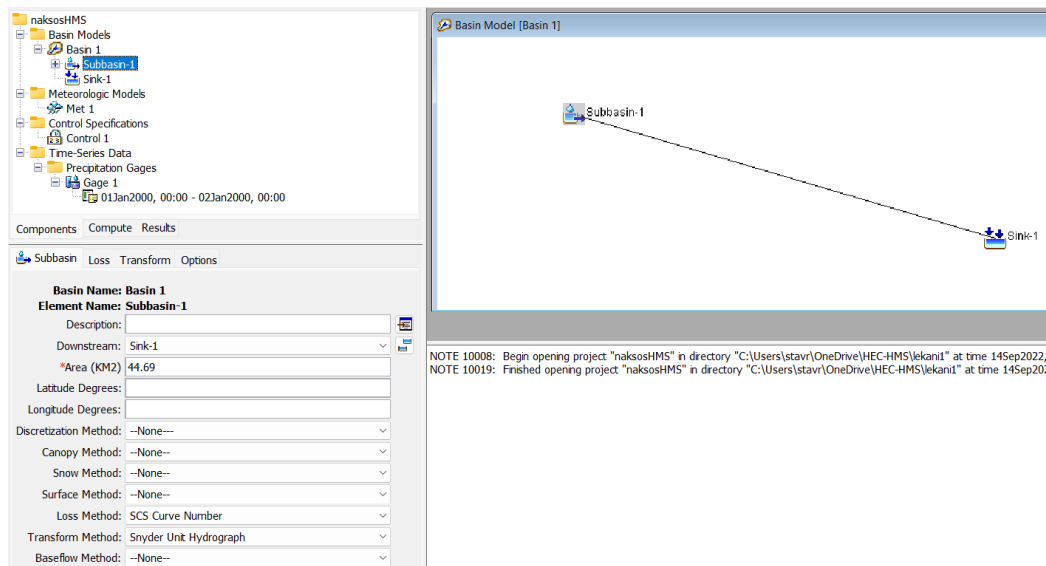
Κατηγορία B: Εδάφη με μέτριους ρυθμούς διήθησης, όπως για παράδειγμα αμμώδης πηλός.

Κατηγορία C: Εδάφη με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης, όπως για παράδειγμα είναι τα εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου (η συχνότερη κατηγορία στην περιοχή μελέτης).

Κατηγορία D: Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης (πολύ υψηλό δυναμικό απορροής). Συνήθως περιλαμβάνουν αργιλώδη εδάφη με υψηλή πιθανότητα διόγκωσης ή ρηγά εδάφη πάνω σε σχεδόν αδιαπέρατο υλικό.

Η υδρολογική κατάσταση σχετίζεται με το αν η βλάστηση είναι πυκνή και σε καλή κατάσταση και αν το έδαφος είναι πλούσιο σε οργανική ουσία και έχει μια καλή δομή προκαλώντας έτσι μεγάλη διήθηση και μικρή απορροή Έτσι προκύπτουν οι κατηγορίες κακές, δυσμενείς, μέτριες και καλές συνθήκες. Στην συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε μέτρια προς χαμηλή υδρολογική κατάσταση καθώς αυτό το σενάριο κρίνεται δυσμενέστερο.

Επομένως για κάθε τμήμα της κάθε υπολεκάνης με διαφορετικό κωδικό Corine (χρήση γης) αποδόθηκε μια τιμή CN, αφού πρώτα κατηγοριοποιήθηκε ανάλογα με τον υδρολογικό του τύπο, και έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών CN κάθε υπολεκάνης. Ο μέσος όρος αυτός υπολογίστηκε 75 και εισάχθηκε στο λογισμικό HEC-HMS.



Σχήμα 3.9: Στοιχεία εισόδου λογισμικού HEC-HMS

Το Component διαχειρίζεται δεδομένα χρονοσειρών (Time series data). Συγκεκριμένα στην κατηγορία Precipitation Gages εισάγονται τα υετογραφήματα σχεδιασμού που παράχθηκαν από τα εναλλασσόμενα μπλοκ και ύστερα γίνεται σύνδεση με το μετεωρολογικό μοντέλο.

Για την προσομοίωση με χρήση του μοντέλου το οποίο προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου Ισόχρονων Καμπυλών, εισάγεται από τον χρήστη το MYG που έχει παραχθεί με τη βοήθεια του ArcGIS, αξιοποιώντας ένα ακόμα Component, το Paired data. Μέσω αυτού πέρα από ένα MYG μπορεί να γίνει εισαγωγή δεδομένων όπως συναρτήσεις στάθμης-απορροής, κατανομής αθροιστικών πιθανοτήτων κ.α.

Τελευταίο βήμα πριν τον υπολογισμό των πλημμυρογραφημάτων αποτελεί ο προσδιορισμός της χρονικής διάρκειας της προσομοίωσης. Αυτό υλοποιείται μέσω του αρχείου προσομοιώσεων (Control specifications).

Η υλοποίηση της προσομοίωσης γίνεται με τη βοήθεια της εντολής Compute. Για κάθε μια από τις τρεις υπολεκάνες υλοποιούνται και τα τρία διαφορετικά σενάρια, ένα ανά μοντέλο μετασχηματισμού βροχής σε απορροή.

3.3 Υδραυλική Προσομοίωση

3.3.1 Εισαγωγή δεδομένων

Ξεκινώντας την υδραυλική προσομοίωση απαιτούνται κάποια δεδομένα εισόδου. Συγκεκριμένα στο HEC-RAS εισάγονται τα όρια της κάθε υπολεκάνης, του υδρογραφικού της δικτύου και της λεκάνης απορροής σε διανυσματική μορφή. Επίσης προστίθεται στις χρήσεις γης Corine ένα πεδίο (field) στον πίνακα χαρακτηριστικών του ArcGIS (attribute table). Το χαρακτηριστικό αυτό δεν είναι άλλο

από τις τιμές του συντελεστή Manning ανά κωδικό χρήσης γης για την απόδοση της τραχύτητας της γης σε κάθε τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι τιμές του συντελεστή Manning παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10. Επιπρόσθετα των διανυσματικών αρχείων, εισάγεται στο λογισμικό το κανονικοποιημένο αρχείο raster του DEM, το οποίο εξάγεται επίσης από το ArcGIS σε μορφή αρχείου tiff. Τέλος, απαραίτητο στοιχείο της υδραυλικής προσομοίωσης είναι το πλημμυρογράφημα που υπολογίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού HEC-HMS για κάθε μια από τις τρεις μεθόδους (Snyder, SCS, ισόχρονες καμπύλες) και για κάθε μια από τις τρεις υπολεκάνες.

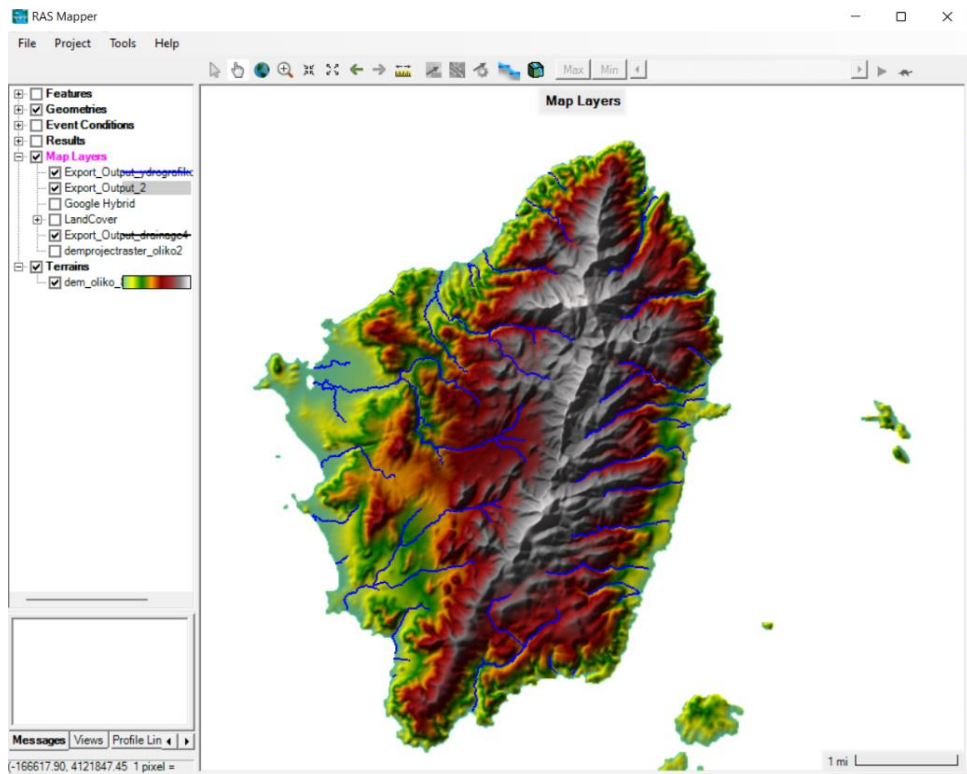
Πίνακας 3.10: Τιμές συντελεστή n Manning για τις διαφορετικές χρήσεις γης κατά Corine (Δεδομένα από Huang, 2005, ίδια επεξεργασία)

Κωδικός	Περιγραφή	Τιμή
111	Συνεχής αστική οικοδόμηση	0.20
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0.015
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.20
122	Οδικά, σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	0.015
123	Ζώνες λιμένων	0.054
124	Αεροδρόμια	0.054
131	Χώροι εξόρυξης ορυκτών	0.12
133	Χώροι οικοδόμησης	0.12
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0.073
211	Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη	0.035
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	0.035
221	Αμπελώνες	0.10
222	Οπωροφόρα δέντρα	0.15
223	Ελαιώνες	0.15
231	Λιβάδια	0.035

242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.05
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.12
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.12
312	Δάσος κωνοφόρων	0.20
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.033
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.085
324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	0.085
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.045
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	0.05
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.045
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις	0.033
512	Συλλογές υδάτων	0.03
523	Θάλασσα	0.03

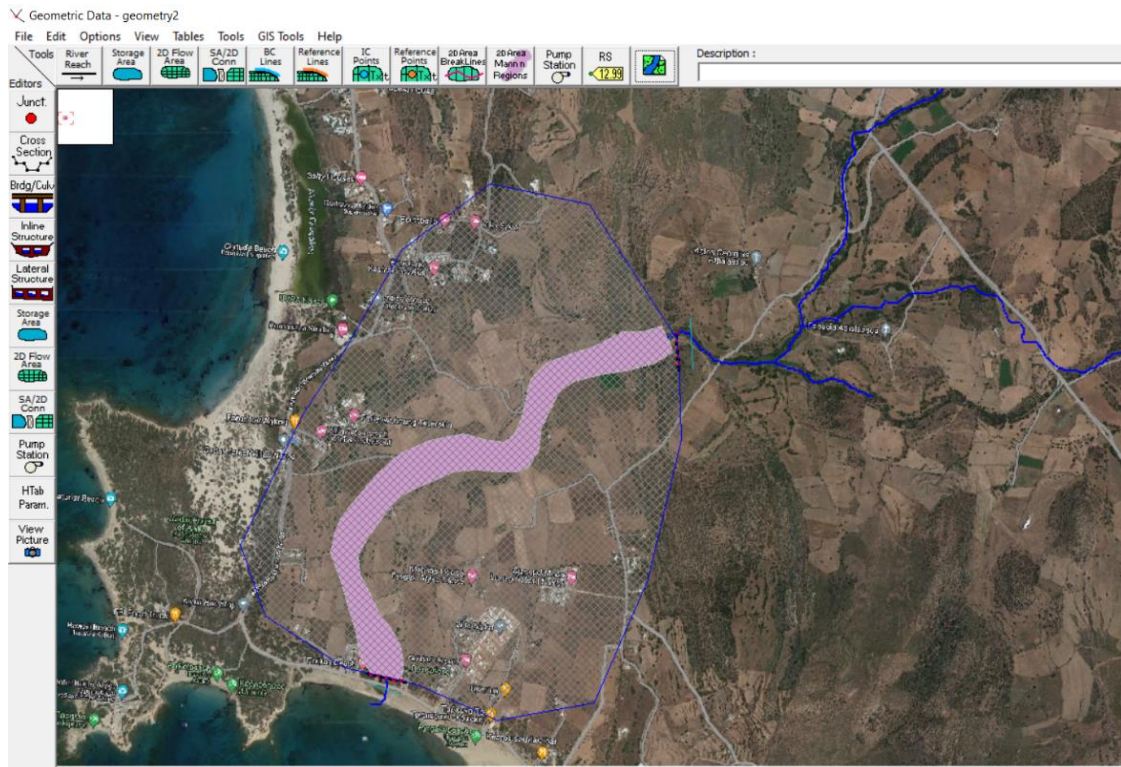
3.3.2 Υδραυλική προσομοίωση σε θέσεις ενδιαφέροντος

Αρχικά για κάθε μια υπολεκάνη και για κάθε μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν δημιουργείται ένα νέο Project. Τα δεδομένα εισόδου εντάσσονται στο RAS Mapper όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: DEM και υδρογραφικό δίκτυο της Νάξου σε περιβάλλον HEC-RAS

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός αρχείου γεωμετρίας για κάθε σημείο προσομοίωσης κατάντη του οποίου θα πραγματοποιηθεί η υδραυλική προσομοίωση. Στον Geometric Data Editor με τη χρήση του εργαλείου 2D Flow Area χαράσσεται η περιοχή μελέτης. Στο τμήμα γης κατάντη της εξόδου της υπολεκάνης όπου έγινε υδρολογική ανάλυση δημιουργείται ένα υπολογιστικό πλέγμα το οποίο θα αποτελέσει και την περιοχή την οποία θα προσομοιωθεί μέσω του εργαλείου Force Mesh Recomputation. Η πύκνωση του πλέγματος είναι στην ευχέρεια του χρήστη. Επίσης, σε περιπτώσεις υφιστάμενου τεχνικού έργου στην περιοχή μελέτης, αυτό εντάσσεται πάλι χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα εργαλεία του Geometric Data Editor. Στη συνέχεια οριοθετείται από τον χρήστη η περιοχή της προσομοίωσης τοποθετώντας τις οριακές συνθήκες ανάντη και κατάντη της περιοχής με τη χρήση του εργαλείου 2D Area Boundary Condition Lines. Στο τελευταίο βήμα εντός του Geometric Data Editor ο χρήστης περιγράφει την περιοχή στην οποία ανήκει το εξεταζόμενο ποτάμι και αποδίδεται μια τιμή του συντελεστή Manning διαφορετική από αυτήν της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Στην προκειμένη περίπτωση αποδίδεται η τιμή 0.025. Στο Σχήμα 3.11 απεικονίζεται το προϊόν της παραπάνω διαδικασίας για τη δεύτερη λεκάνη που μελετήθηκε στο περιβάλλον του Geometric Data Editor.



Σχήμα 3.11: Τμήμα κατάντη της 2^{ης} υπολεκάνης όπου οριοθετείται η περιοχή μελέτης και προσομοίωσης

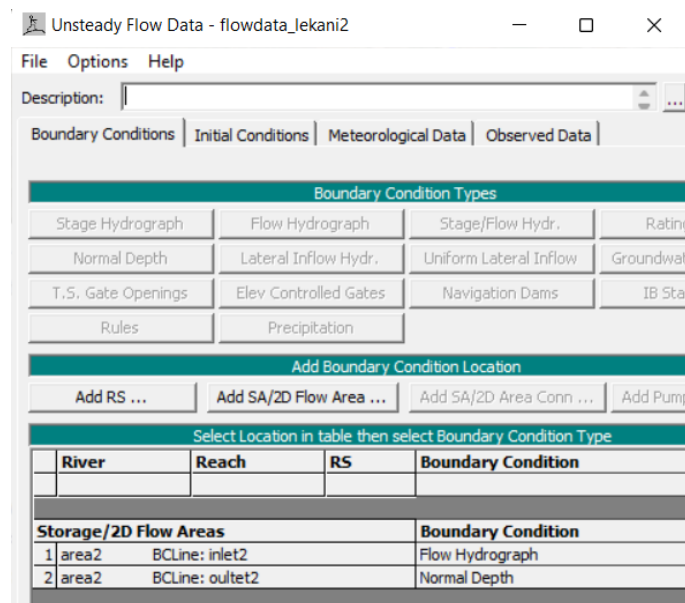
Καθώς πλέον έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή και η επεξεργασία της γεωμετρίας της κάθε περιοχής προσομοίωσης κατάντη των υπολεκανών στο περιβάλλον του Unsteady Flow Data Editor αποδίδονται οι συνοριακές συνθήκες ανάντη και κατάντη κάθε περιοχής στις θέσεις όπου εισβάλλει και εκβάλλει το υδατόρευμα αντίστοιχα.

Στις θέσεις αυτές συνδέονται στη συνέχεια οι συνοριακές συνθήκες, επιλέγοντας από τα παρακάτω:

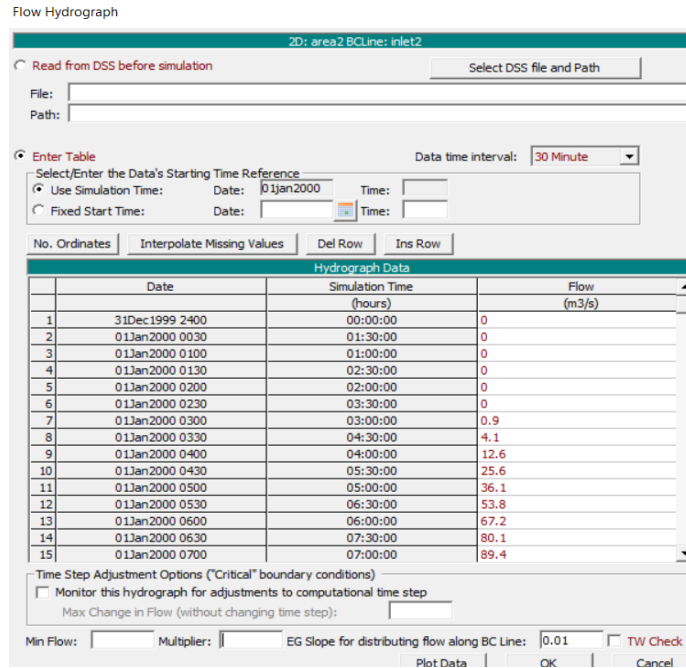
- Υδρογράφημα στάθμης (Stage Hydrograph), το οποίο μπορεί να οριστεί είτε ως ανάντη είτε ως κατάντη συνοριακή συνθήκη.
- Υδρογράφημα παροχής (Flow Hydrograph), το οποίο επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ανάντη και ως κατάντη συνθήκη.
- Υδρογράφημα στάθμης – παροχής (Stage – Flow Hydrograph), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως ανάντη είτε ως κατάντη οριακή συνθήκη και το οποίο χρησιμεύει ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν δεδομένα στάθμης και επιχειρείται η πρόβλεψη πλημμύρας.
- Καμπύλη στάθμης – παροχής (Rating Curve), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα κατάντη.

Τα πλημμυρογραφήματα εισόδου όπως προέκυψαν από τη διαδικασία της υδρολογικής ανάλυσης στο περιβάλλον HEC-HMS και για τις τρεις μεθόδους, εισάγονται ως ανάντη συνοριακή συνθήκη και για τις τρεις υπολεκάνες. Κατάντη

συνοριακή συνθήκη ορίζεται το ομοιόμορφο βάθος (Normal Depth) που υπολογίζεται με δεδομένο εισόδου το ρυθμό απωλειών λόγω τριβής, η οποία επιλέχθηκε 0.01 για όλα τα υδατορεύματα και των τριών υπολεκάνών. Τα παραπάνω επαναλαμβάνονται για τις τρεις προσομοιωμένες υπολεκάνες και για τις τρεις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στο περιβάλλον του Unsteady Flow Data Editor, το οποίο φαίνεται στα Σχήματα 3.12 και 3.13 παρακάτω.



Σχήμα 3.12: Συνοριακές συνθήκες στον Unsteady Flow Data Editor στο λογισμικό HEC-RAS



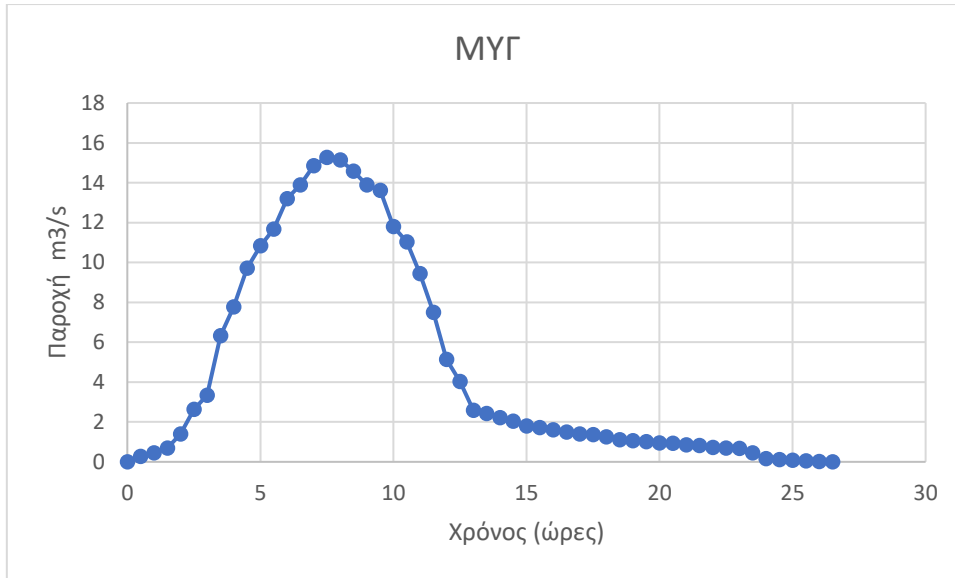
Σχήμα 3.13: Εισαγωγή πλημμυρογραφήματος ως ανάντη συνοριακή συνθήκη στο Unsteady Flow Data Editor του HEC - RAS

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

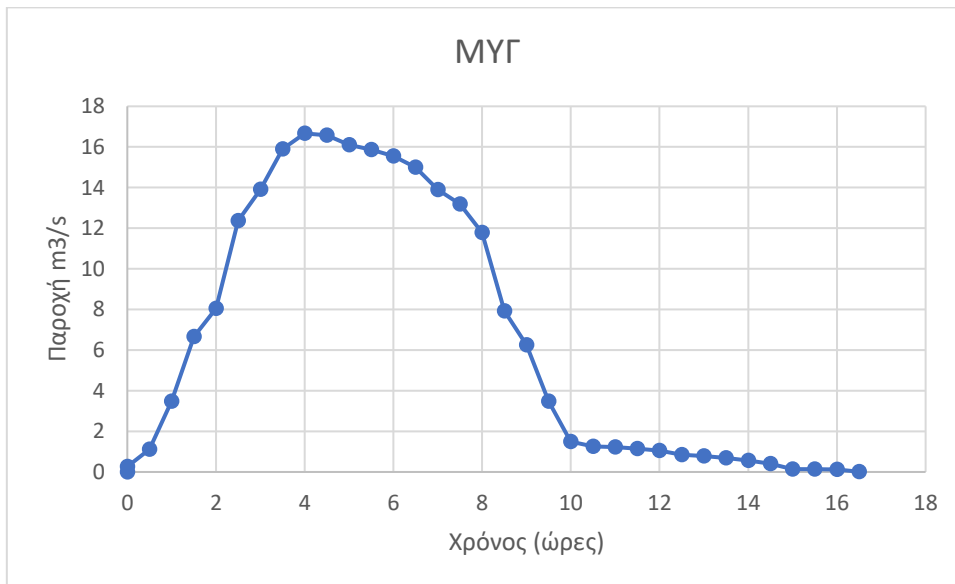
4.1 Υδρολογική Ανάλυση

Αρχικά όσον αφορά τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών, όπως ακριβώς αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, παράγονται και για τις τρεις υπολεκάνες που μελετήθηκαν τα αντίστοιχα ΜΥΓ. Αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.1-4.3. Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη παροχή αιχμής εκ των τριών λεκανών εμφανίζεται στην υπολεκάνη 2 και εκτιμάται στα $15.67 \text{ m}^3/\text{s}$. Ακολουθούν η υπολεκάνη 1 με παροχή αιχμής $15.28 \text{ m}^3/\text{s}$, και τέλος η υπολεκάνη 3 με παροχή $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

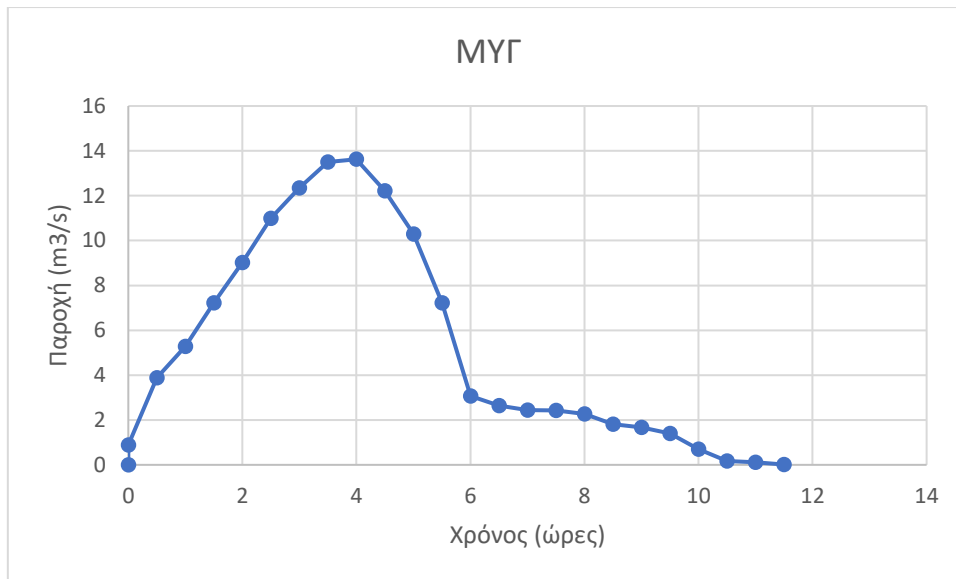
Τα χαρακτηριστικά της κάθε υπολεκάνης και αυτά των βροχοπτώσεων επηρεάζουν το σχήμα κάθε ΜΥΓ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση σε όλες τις υπολεκάνες έχει εφαρμοστεί η ίδια βροχή, αφού κατά τον ορισμό του ΜΥΓ πρόκειται για βροχή διάρκειας 1 ώρας και συνολικού ύψους 10 mm. Επομένως τα διαφορετικά σχήματα σε κάθε υπολεκάνη (και άρα και οι διαφορετικές παροχές αιχμής) συνδέονται αποκλειστικά με τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων υπολεκανών. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η έκταση, το σχήμα και οι κλίσεις της κάθε υπολεκάνης, οι χρήσεις γης που συναντώνται σε αυτή, ο τύπος του εδάφους και η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου (Chow et al, 1988).



Σχήμα 4.1: Παραγόμενο ΜΥΓ με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών για τη 1^η υπολεκάνη



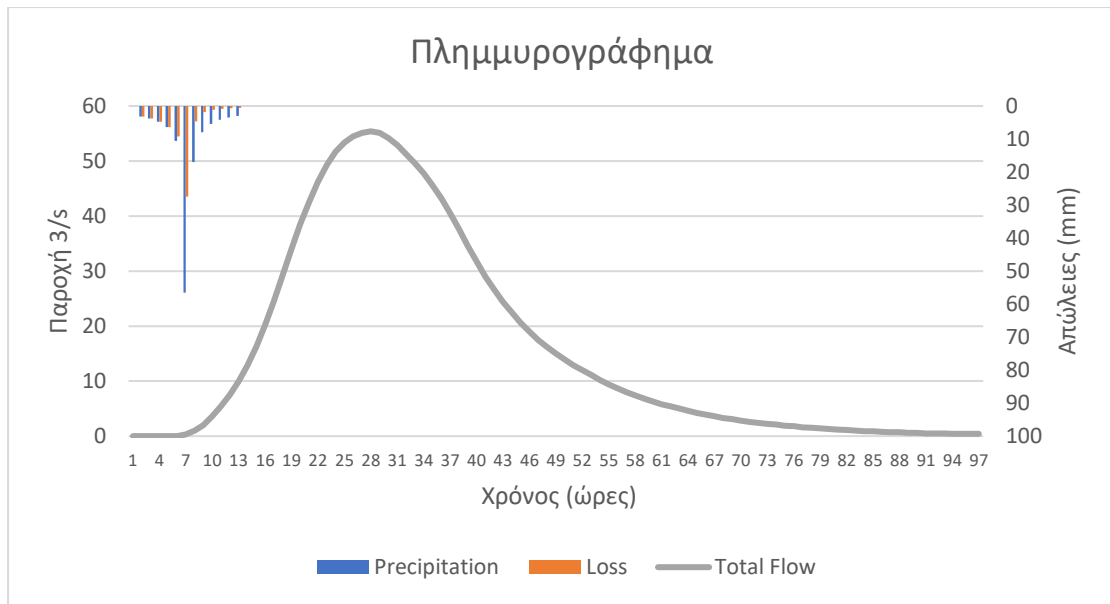
Σχήμα 4.2: Παραγόμενο ΜΥΓ με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών για τη 2^η υπολεκάνη



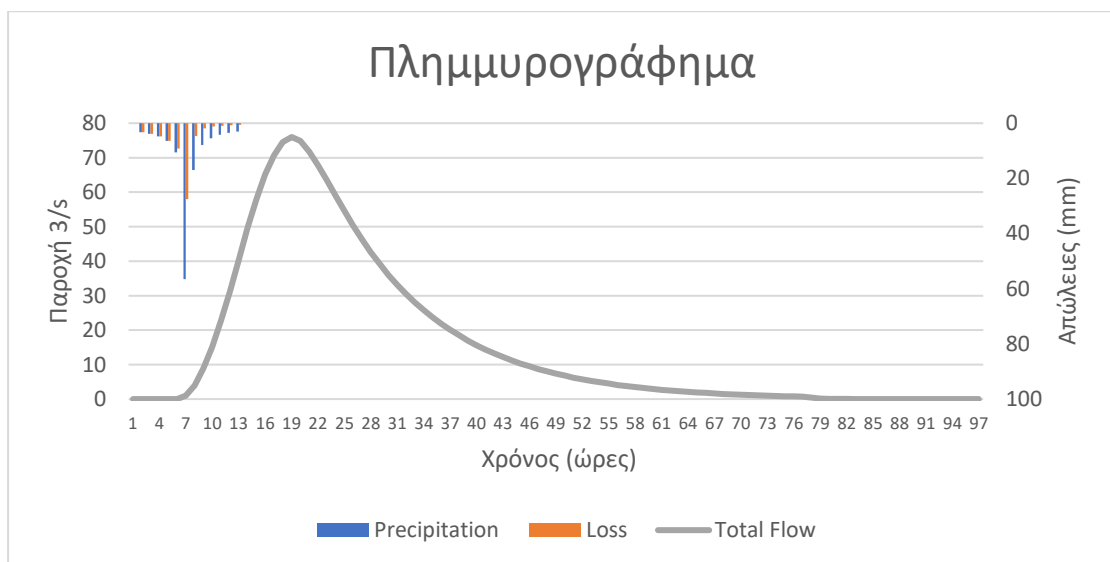
Σχήμα 4.3: Παραγόμενο ΜΥΓ με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών για τη 3^η υπολεκάνη

Τα ΜΥΓ που προέκυψαν έπειτα επεξεργασίας στο GIS, μαζί με τα απαραίτητα στοιχεία για την υδρολογική ανάλυση εισέρχονται στο λογισμικό HEC-HMS. Αντίστοιχα και για τις υπόλοιπες δύο μεθοδολογίες (SCS, Snyder) ακολουθείται η μεθοδολογία στο HEC-HMS και προκύπτουν τα πλημμυρογραφήματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.4 έως 4.15. Στα πλημμυρογραφήματα αυτά παρατηρούνται τα εξής:

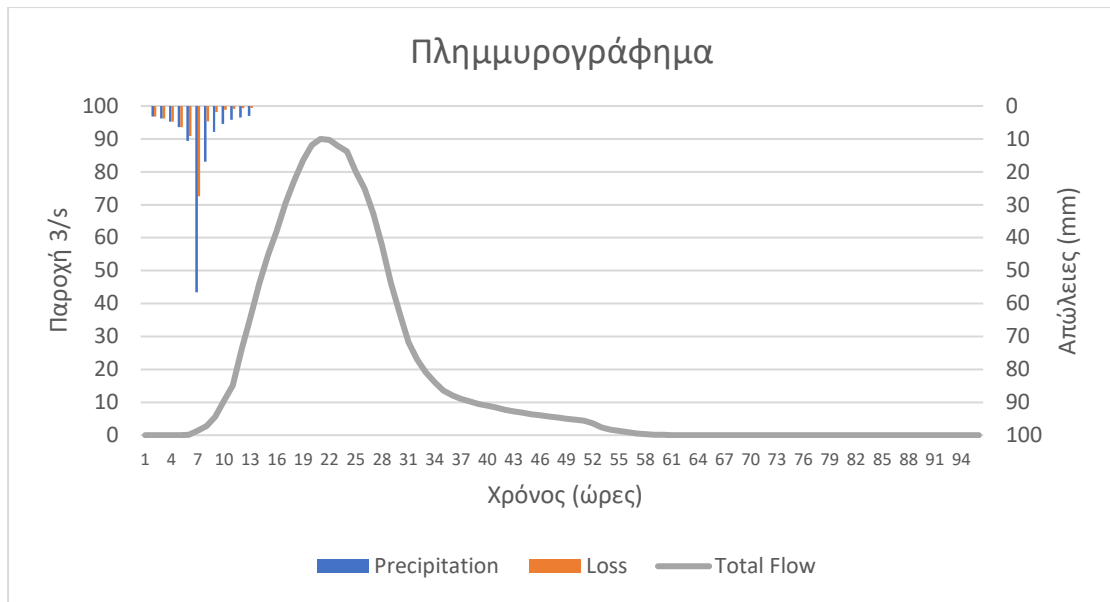
Για την υπολεκάνη 1 παρουσιάζεται παροχή αιχμής 57 m³/s στις 13 ώρες με τη μέθοδο SCS, 76 m³/s στις 9 ώρες με τη μέθοδο Snyder και τέλος 90 m³/s στις 10 ώρες με την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών. Για την υπολεκάνη 2 παρουσιάζεται παροχή αιχμής 55 m³/s στις 12.5 ώρες με τη μέθοδο SCS, 76 m³/s στις 9 ώρες με τη μέθοδο Snyder και τέλος 97 m³/s πάλι στις 9 ώρες με την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών. Τέλος, για τη υπολεκάνη 3 παροχή αιχμής εμφανίζεται σε 12 ώρες με τιμή 33 m³/s με τη μέθοδο SCS και σε 8 ώρες για τη μέθοδο Snyder και για αυτή των ισόχρονων καμπυλών με τιμές 53 m³/s και 76 m³/s αντίστοιχα. Οι τιμές παρουσιάζονται συγκεντρωντικά στον Πίνακα 4.1.



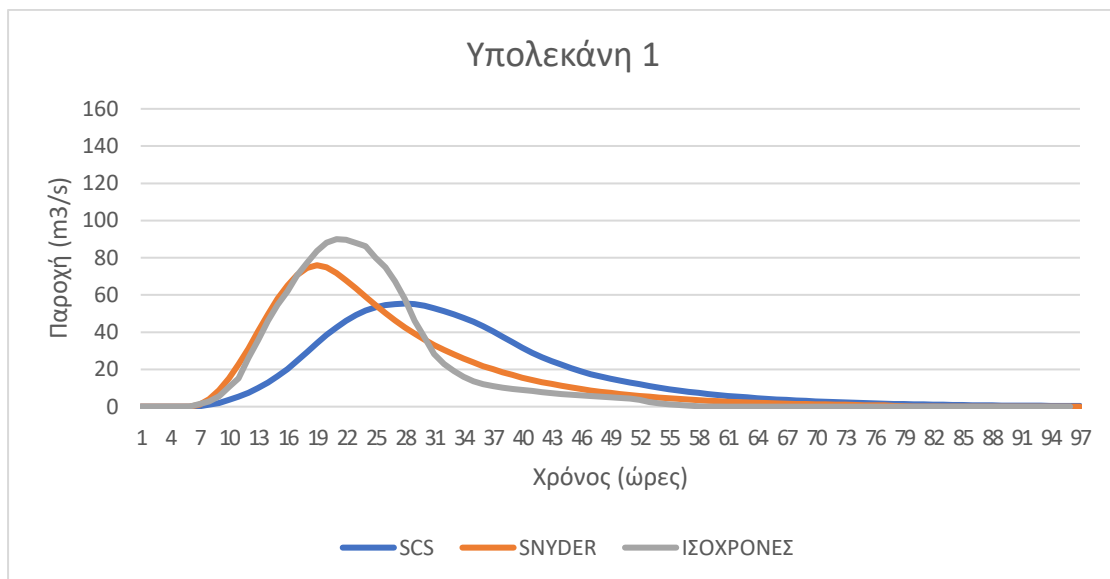
Σχήμα 4.4: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο SCS



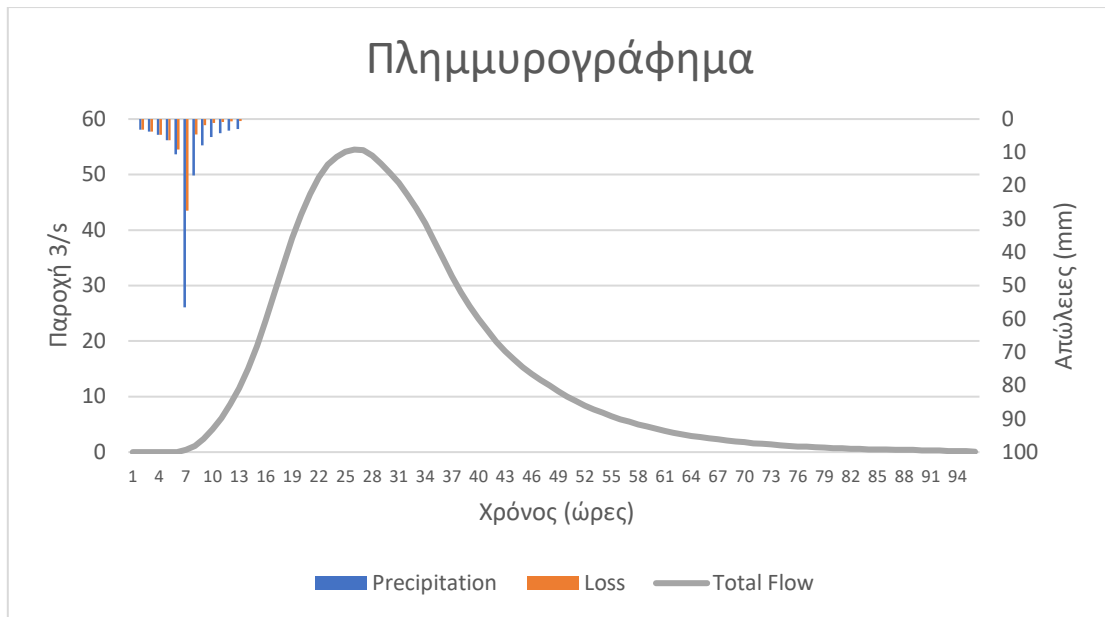
Σχήμα 4.5: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο Snyder



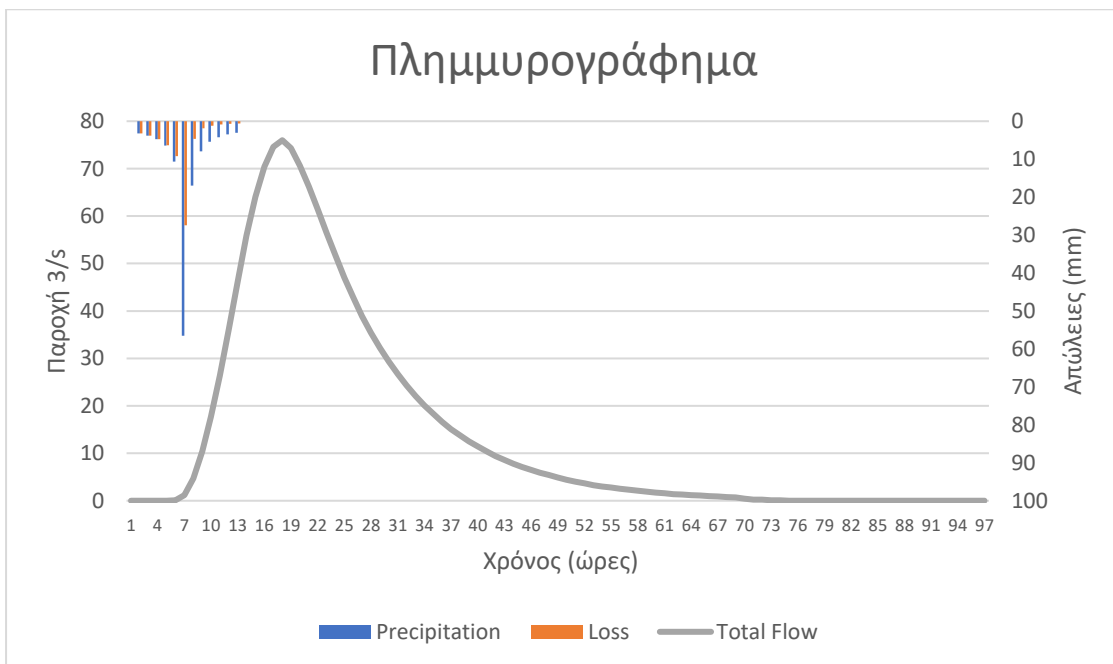
Σχήμα 4.6 : Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



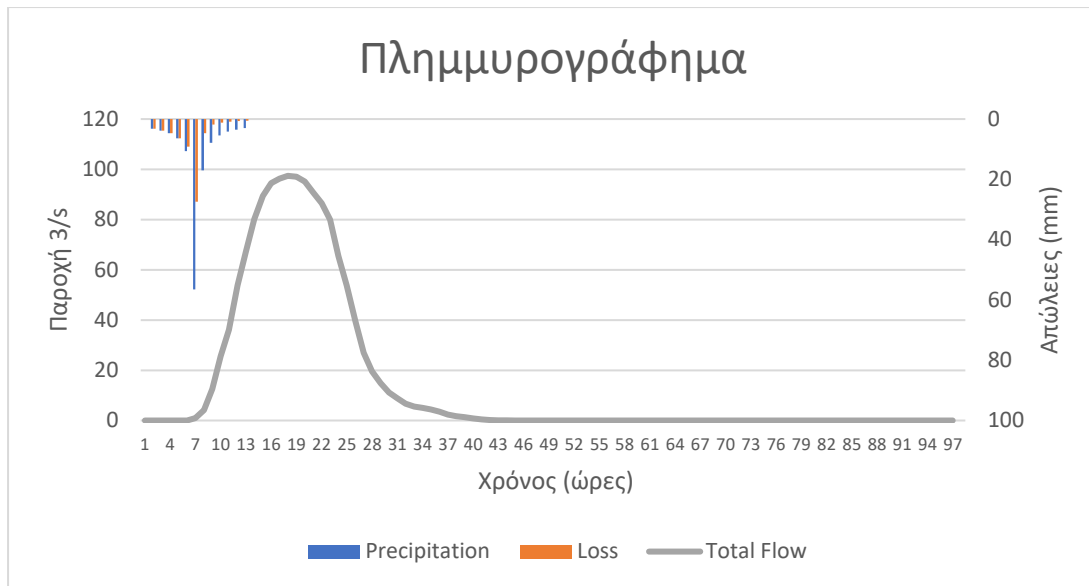
Σχήμα 4.7: Πλημμυρογραφήματα με τρεις μεθόδους (SCS, Snyder και ισόχρονες καμπύλες) στο σημείο εξόδου της υπολεκάνης 1



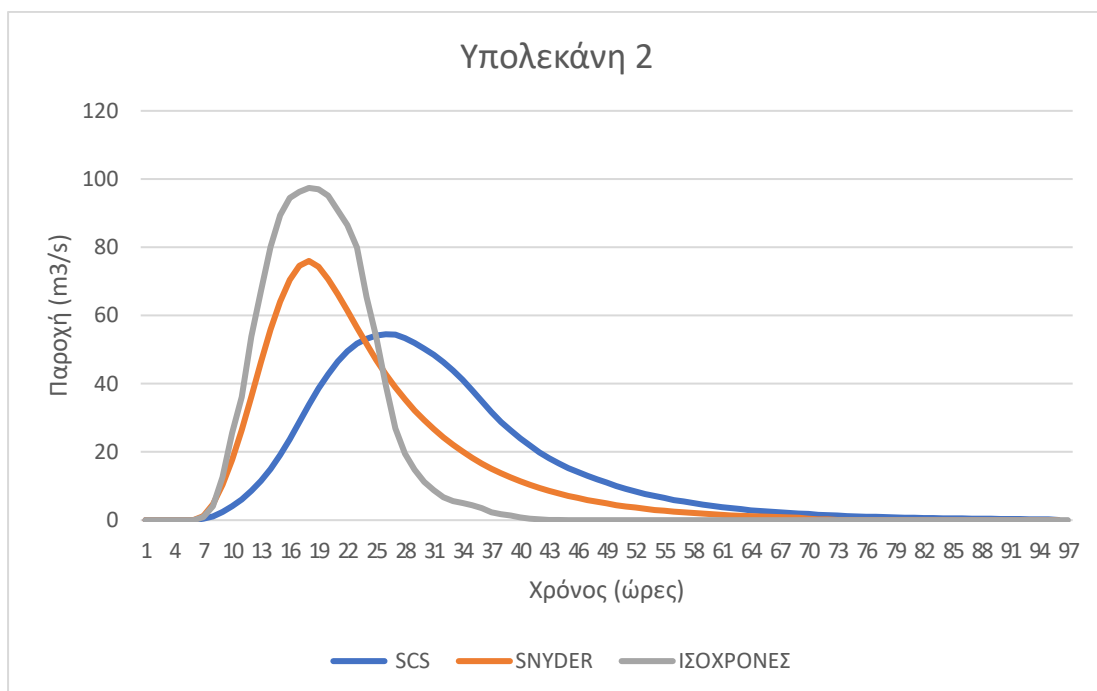
Σχήμα 4.8: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο SCS



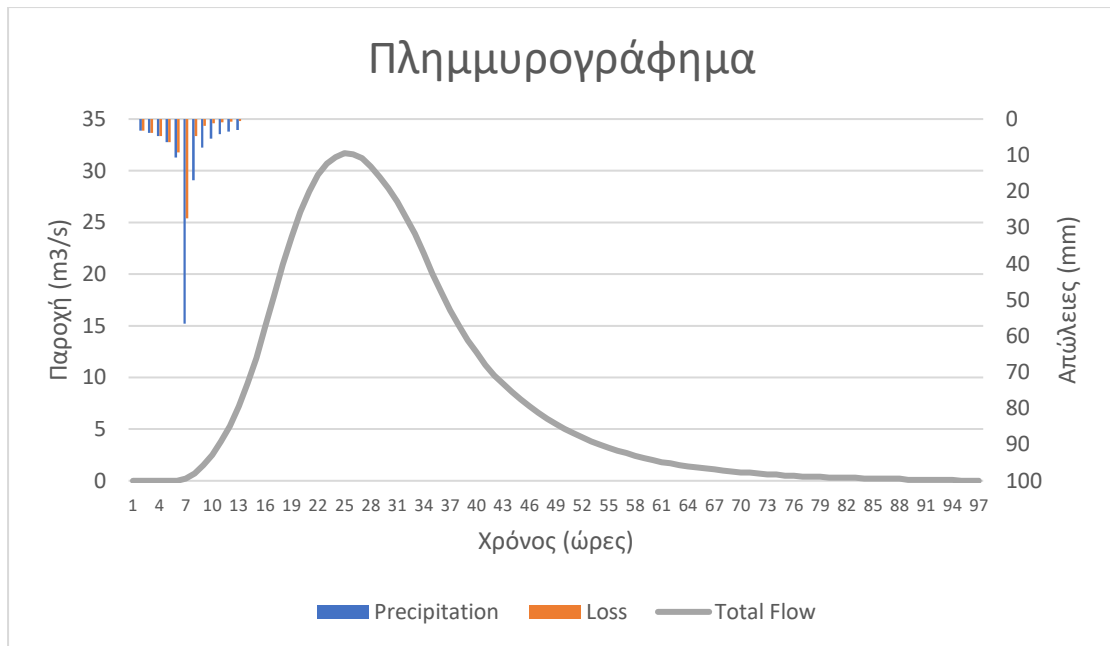
Σχήμα 4.9: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο Snyder



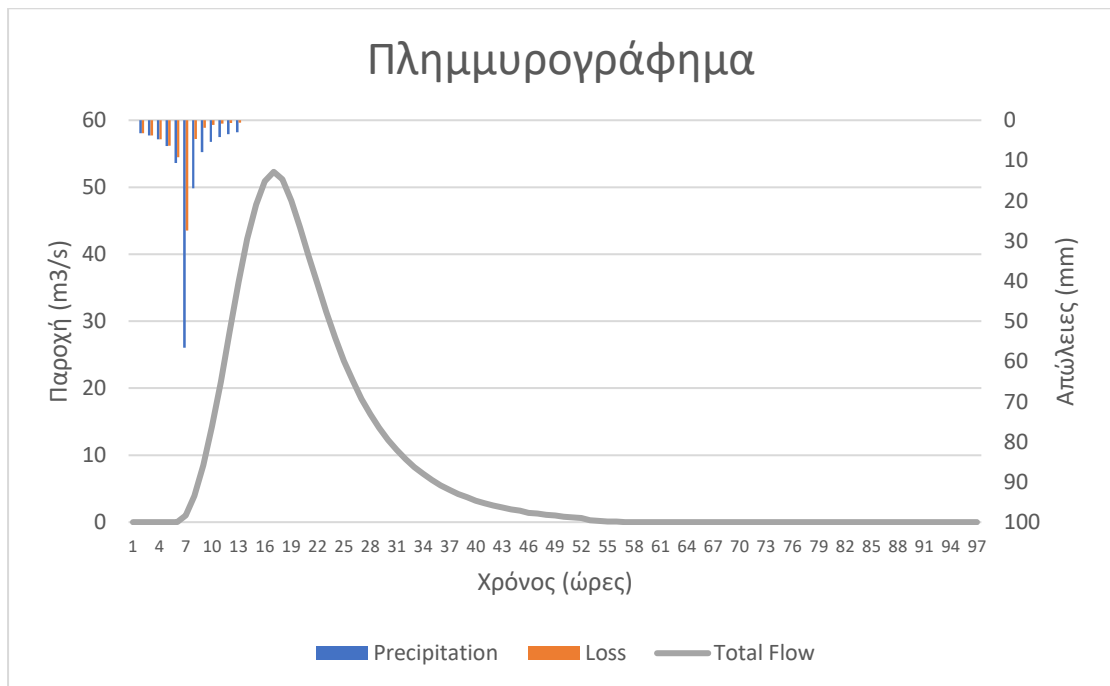
Σχήμα 4.10: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



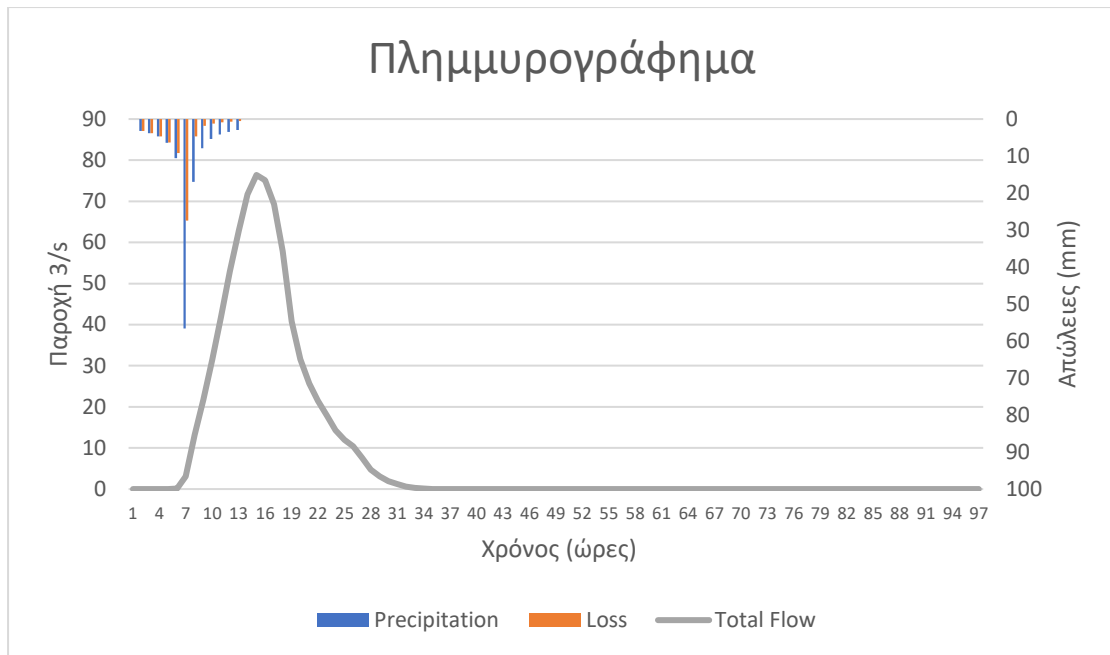
Σχήμα 4.11: Πλημμυρογραφήματα με τρεις μεθόδους (SCS, Snyder και ισόχρονες καμπύλες) στο σημείο εξόδου της υπολεκάνης 2



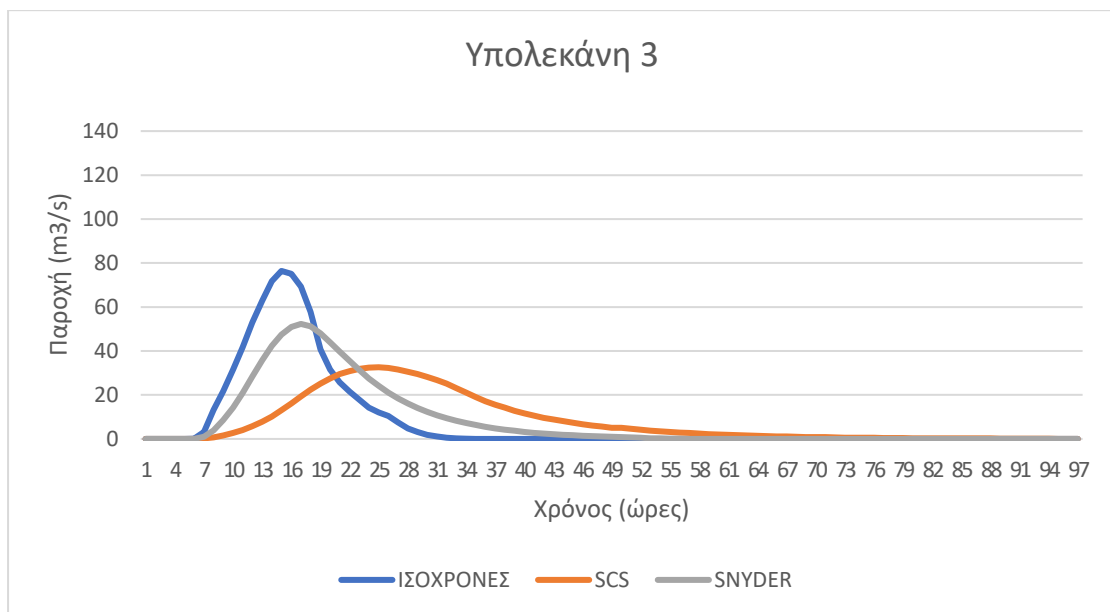
Σχήμα 4.12: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο SCS



Σχήμα 4.13: Πλημμυρογράφημα υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο Snyder



Σχήμα 4.14: Πλημμυρογράφημα Λεκάνης 3 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



Σχήμα 4.15: Πλημμυρογραφήματα με τρεις μεθόδους (SCS, Snyder και ισόχρονες καμπύλες) στο σημείο εξόδου της υπολεκάνης 3

Πίνακας 4.1: Τιμές παροχής αιχμής, χρόνου παρουσίασης αιχμής και πλημμυρικού όγκο για τις τρεις λεκάνες μελέτης και για τις τρεις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν

ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 1	Qαιχμ(m³ /s)	ταιχμ(h)	Νπλημ (hm³)
ΜΥΓ κατά Snyder	57	13	2.7
ΜΥΓ κατά SCS	76	9	2.7
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	90	10	2.7
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 2			
ΜΥΓ κατά Snyder	55	12.5	2.5
ΜΥΓ κατά SCS	76	9	2.5
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	97	9	2.5
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 3			
ΜΥΓ κατά Snyder	33	12	1.4
ΜΥΓ κατά SCS	53	8	1.4
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	76	8	1.4

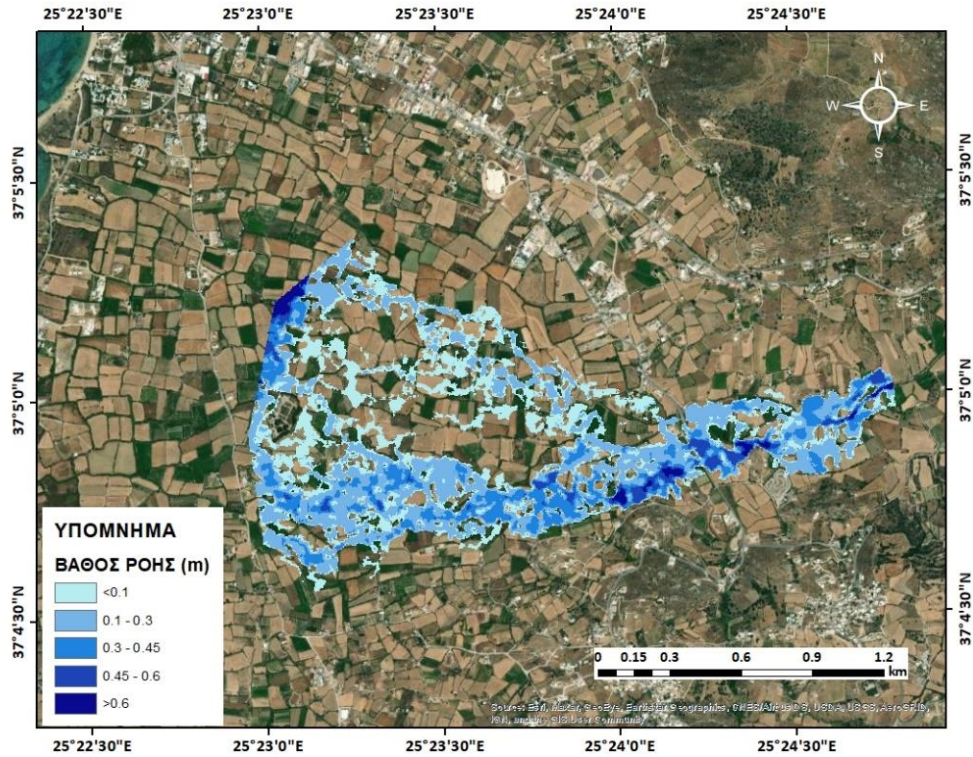
Στα Σχήματα 4.7, 4.11 και 4.15 για λόγους σύγκρισης εμφανίζονται για την κάθε λεκάνη τα πλημμυρογραφήματα και με τις τρεις μεθόδους που ακολουθήθηκαν. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι οι τρεις μέθοδοι παράγουν αποτελέσματα σχετικώς κοντά. Γενικά μεγάλες διαφορές στην παροχή αιχμής φαίνονται μεταξύ της μεθόδου Snyder και των άλλων δύο. Το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μέθοδος παρεκκλίνει ελαφρώς οφείλεται στο ότι η μέθοδος αφορά εκ δημιουργίας τις κυρίως λεκάνες, αρκετά μεγαλύτερες από τις εξεταζόμενες και επομένως τα αποτελέσματα στην προκειμένη περίπτωση δεν είναι αντικειμενικά. Όσον αφορά τις ώρες αιχμής μέγιστη απόκλιση μεταξύ των τριών μεθόδων είναι οι 4 ώρες. Τέλος, ο πλημμυρικός όγκος εμφανίζει κοινή τιμή σε κάθε λεκάνη και με τις τρεις μεθόδους και συγκεκριμένα 2.7 hm³ για την πρώτη λεκάνη, 2.5 hm³ για τη δεύτερη και 1.4 hm³ για την Τρίτη.

4.2 Υδραυλική Προσομοίωση

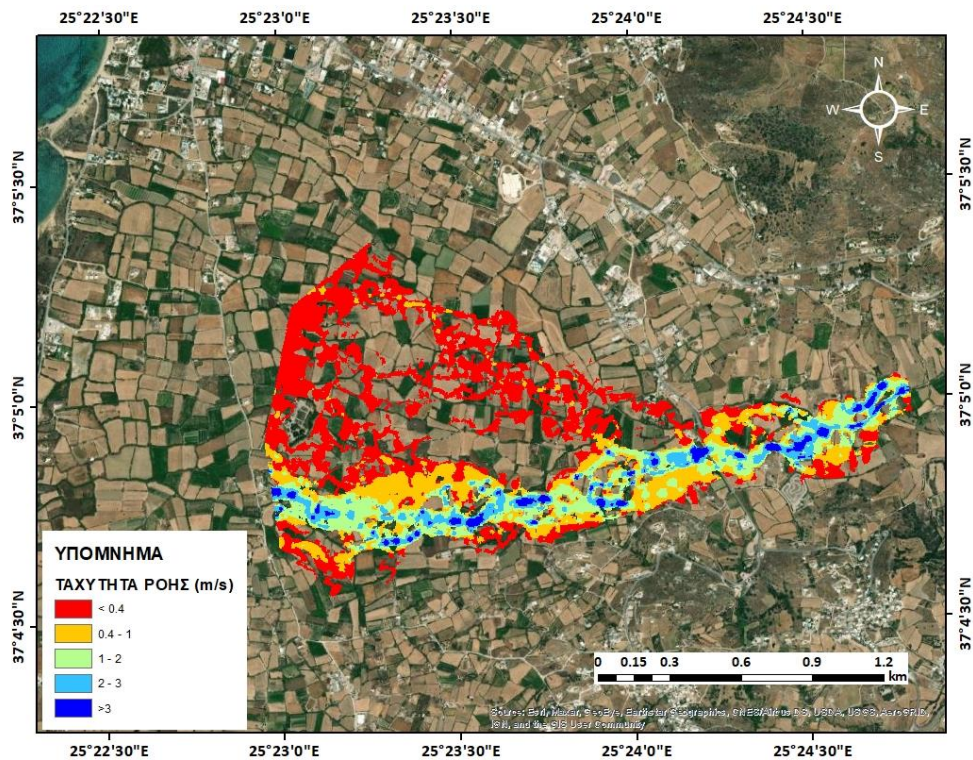
Η υδραυλική προσομοίωση ως αφετηρία έχει τα σημεία εξόδου των υπολεκανών όπου εφαρμόστηκε η υδρολογική ανάλυση και πραγματοποιείται σε δυο διαστάσεις και σε συνθήκες μη μόνιμης ροής. Για τις τρεις υπολεκάνες μέσω της υδραυλικής ανάλυσης, αφού εισαχθούν τα τρία πλημμυρογράφηματα ως ανάντη συννοριακή συνθήκη, προκύπτουν τα μέγιστα βάθη ροής καθώς και οι μέγιστες ταχύτητες κατά μήκος του τμήματος του ποταμού που επιλέχθηκε να μελετηθεί. Η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις τρεις μεθόδους (SCS, Snyder, ισόχρονες καμπύλες) και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στα Σχήματα 4.16 έως 4.33.

Όπως ήταν προβλεπόμενο, παρατηρείται από τα αποτελέσματα ότι τα βάθη ροής είναι υψηλότερα εντός της κοίτης των υδατορευμάτων για όλες τις υπολεκάνες, ωστόσο, γενικότερα είναι σχετικά μέτριου μεγέθους και για τις τρεις περιοχές κατάντη των υπολεκανών που μελετήθηκαν (της τάξης 0-5m). Οι ταχύτητες ροής αντίστοιχα σε όλα τα τμήματα που εξετάστηκαν είναι σχετικά μέτριες με εξαίρεση πάλι την περιοχή των κυρίως υδατορευμάτων όπου αυξάνονται. Γενικότερα οι ταχύτητες κυμαίνονται από 1 m/s έως 7 m/s.

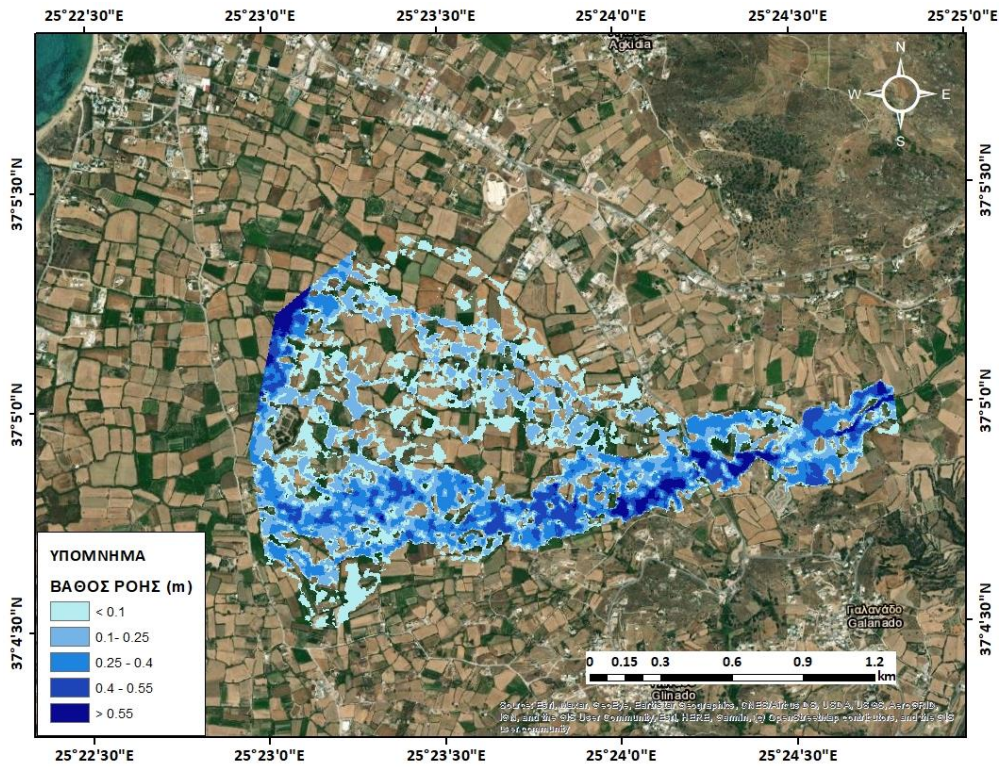
Όσον αφορά την επικινδυνότητα, από την υδραυλική προσομοίωση για τις περιοχές μελέτης προέκυψε υπερχείλιση του ποταμού σε διάφορα τμήματα με αποτέλεσμα την εξάπλωση της ροής στις παρακείμενες αγροτικές εκτάσεις. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το νερό πλησίασε αρκετά τον αστικό ιστό του νησιού κατάντη και των τριών υπολεκανών με το ενδεχόμενο κινδύνου να φαίνεται πιθανό.



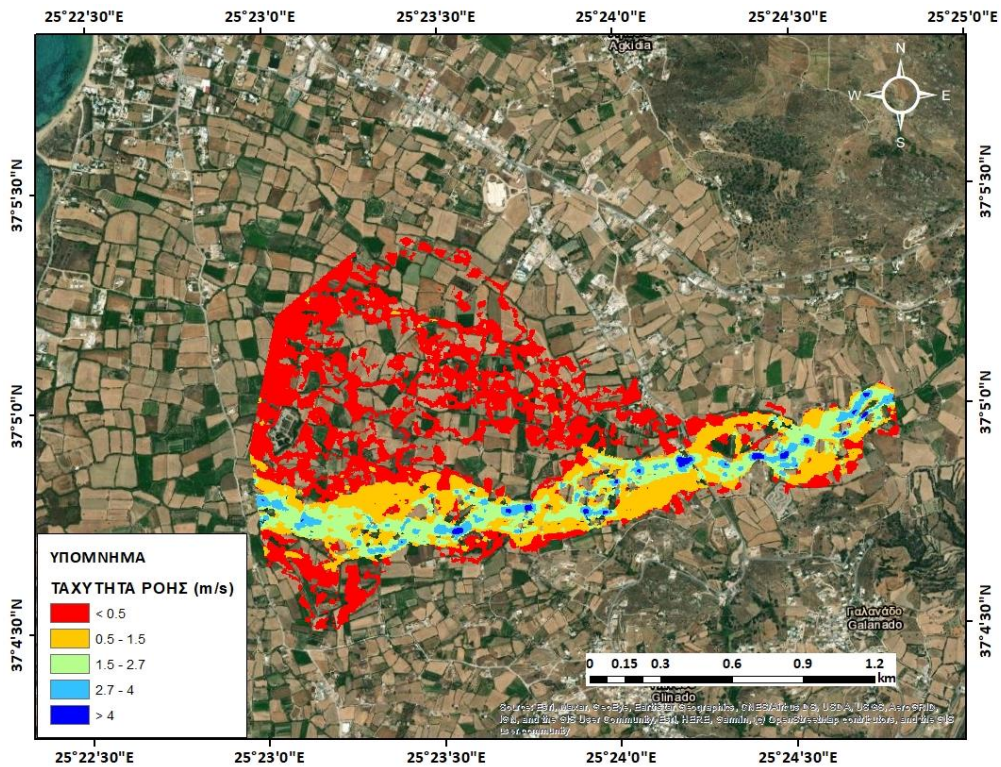
Σχήμα 4.16: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο Snyder



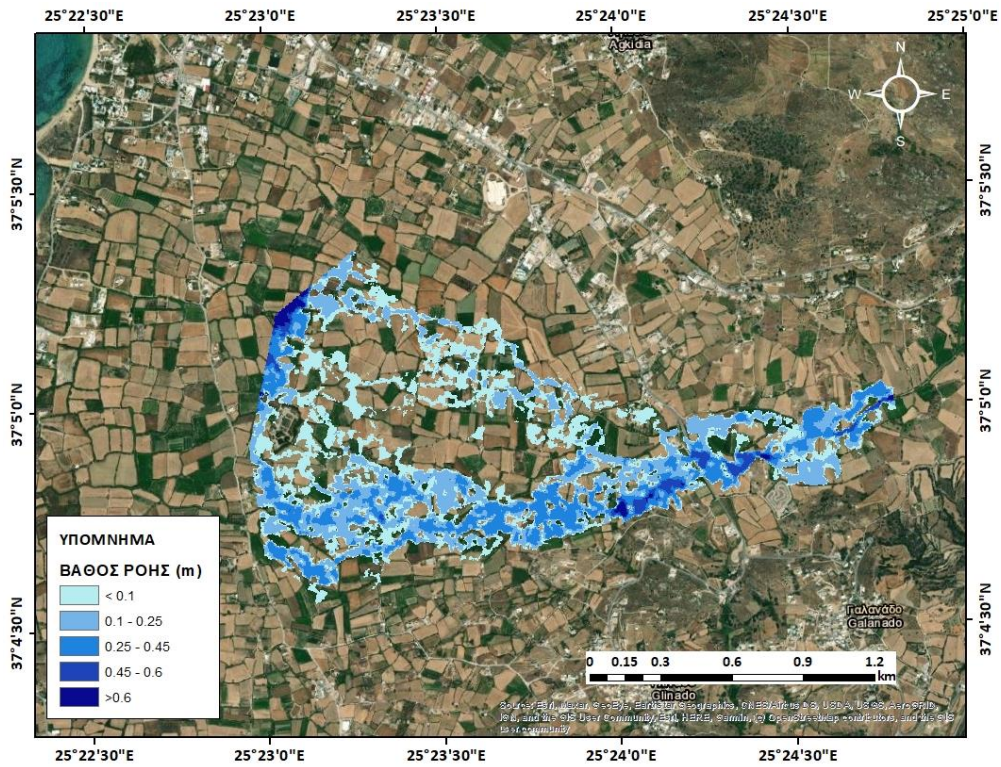
Σχήμα 4.17: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο Snyder



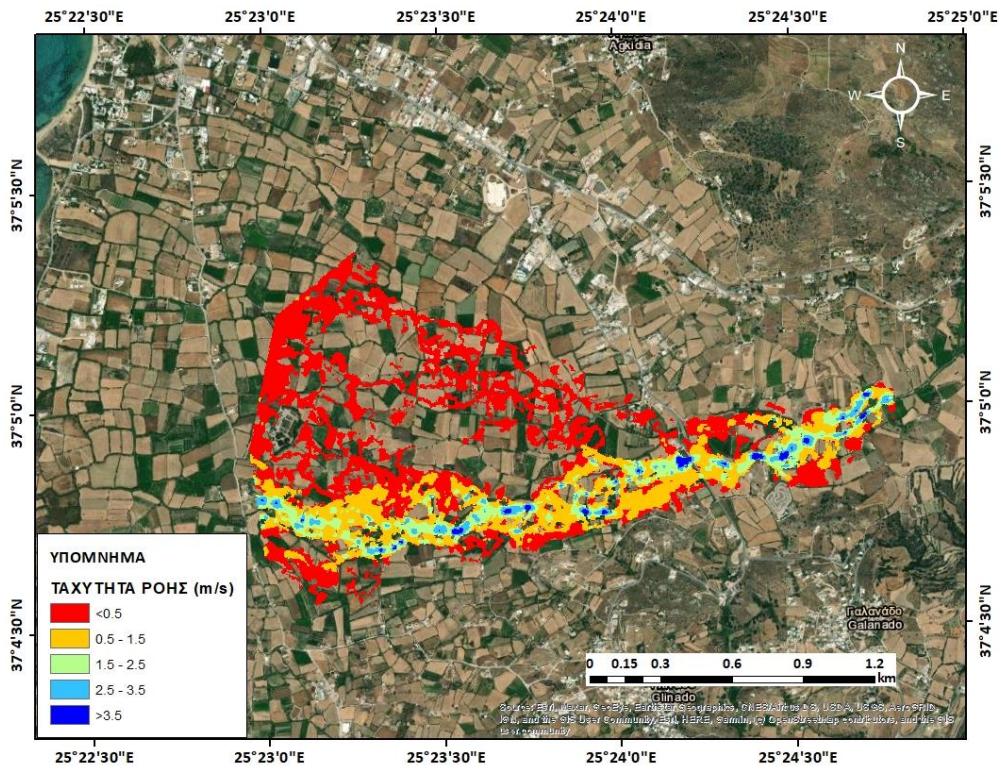
Σχήμα 4.18: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



Σχήμα 4.19: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



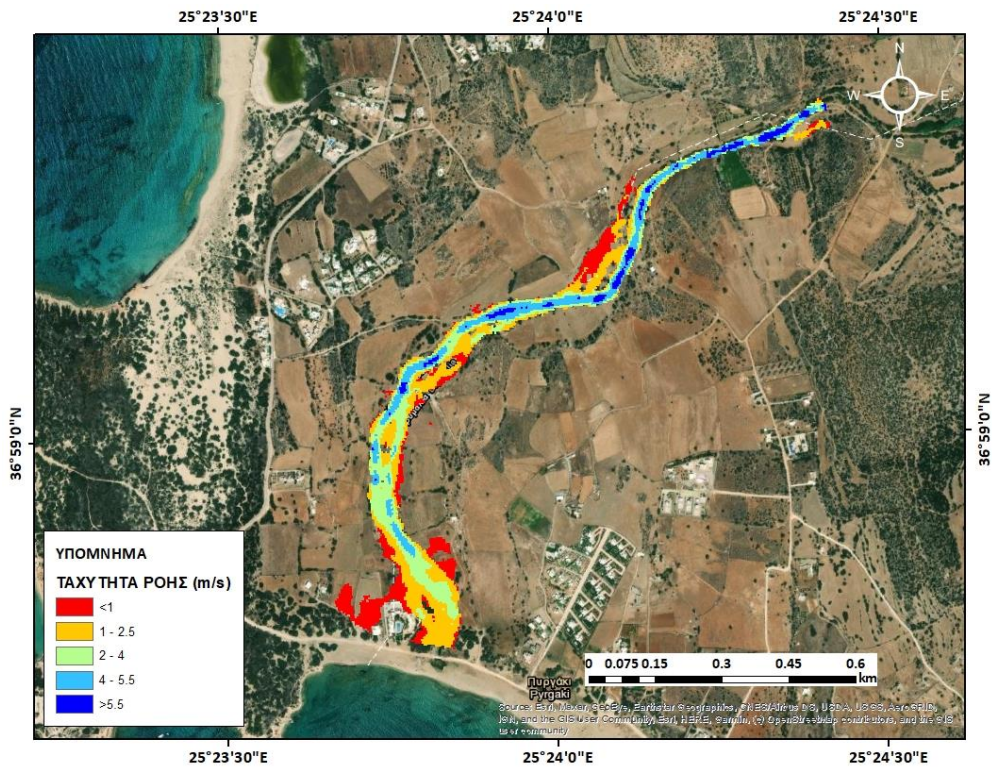
Σχήμα 4.20: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο SCS



Σχήμα 4.21: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο SCS



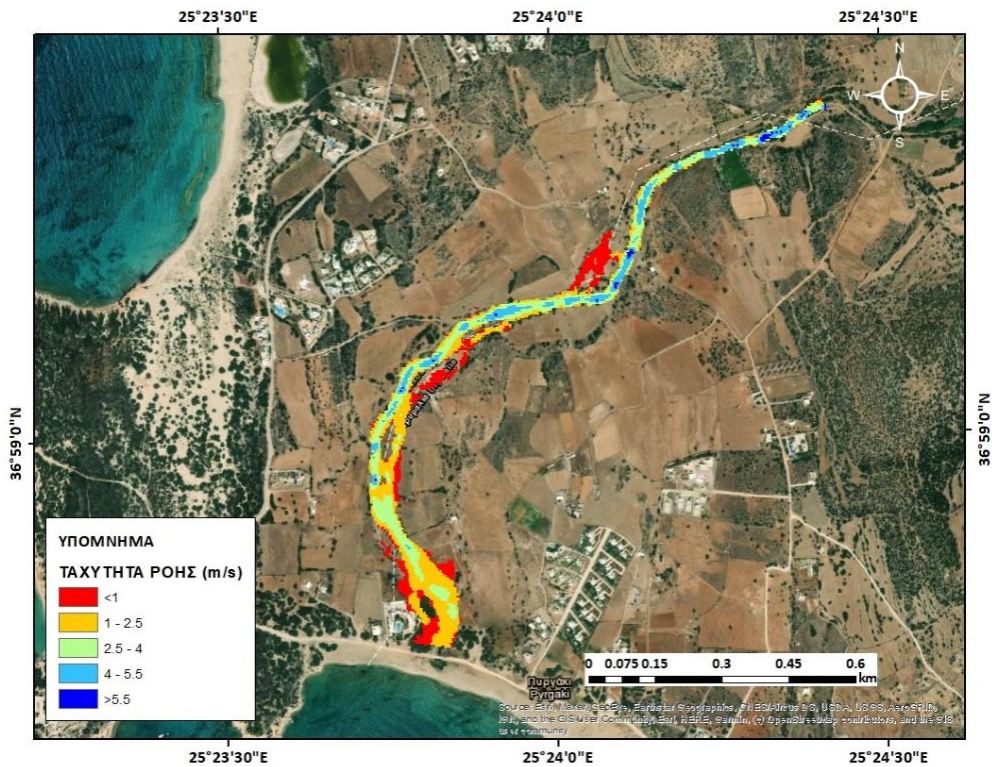
Σχήμα 4.24: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



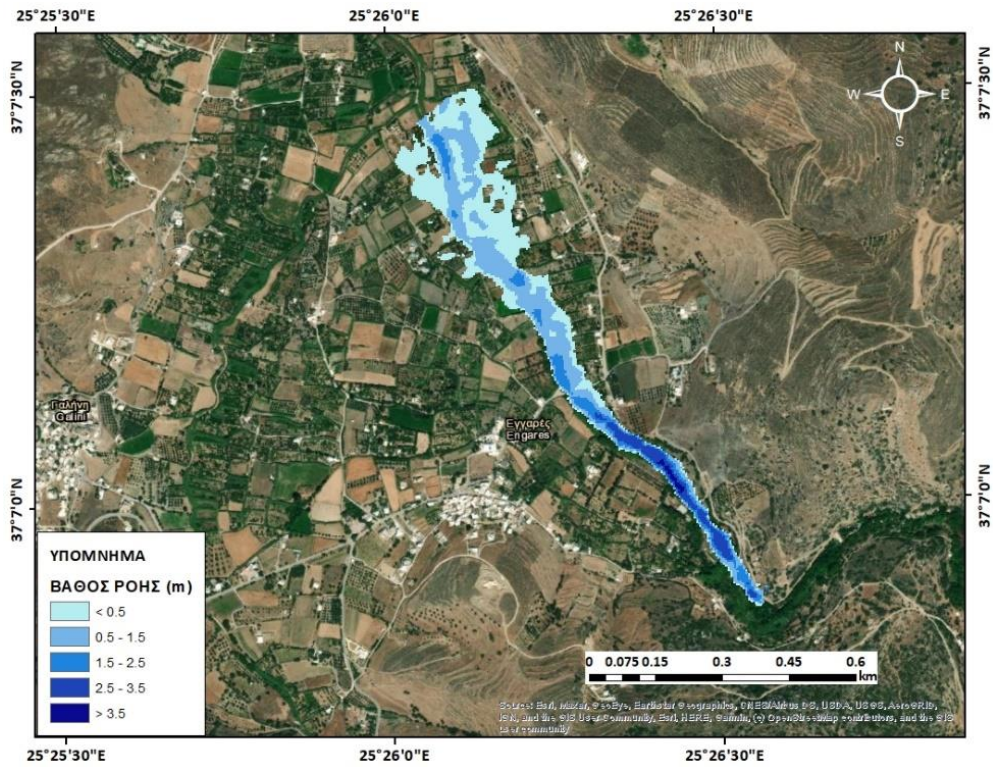
Σχήμα 4.25: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



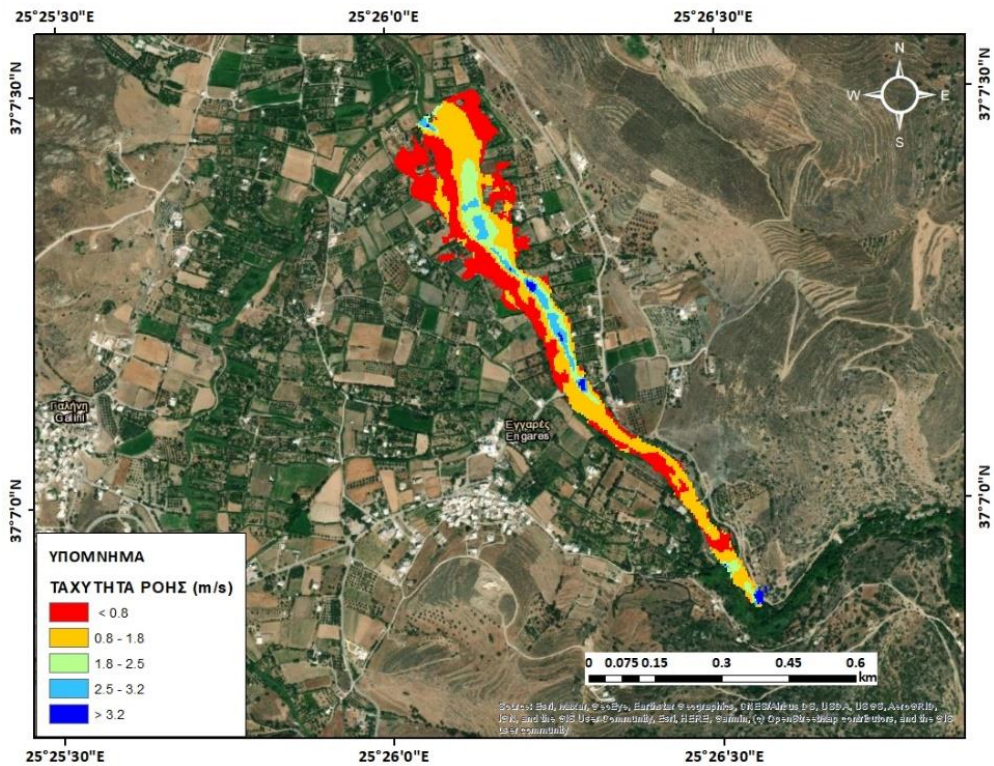
Σχήμα 4.26: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο SCS



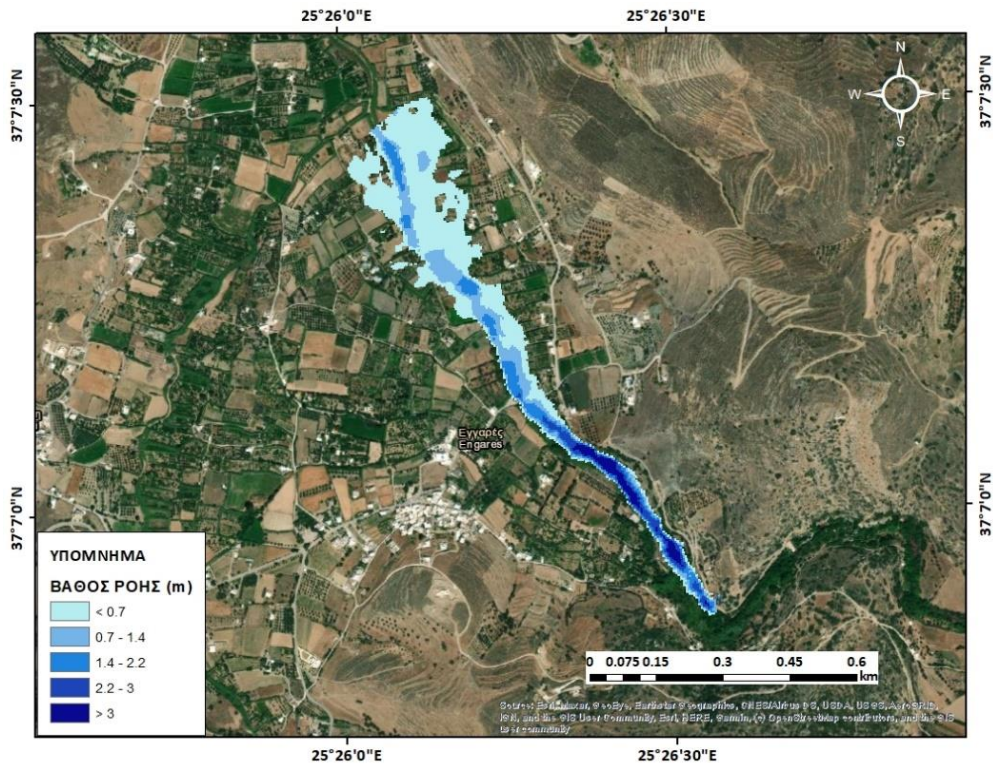
Σχήμα 4.27: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο SCS



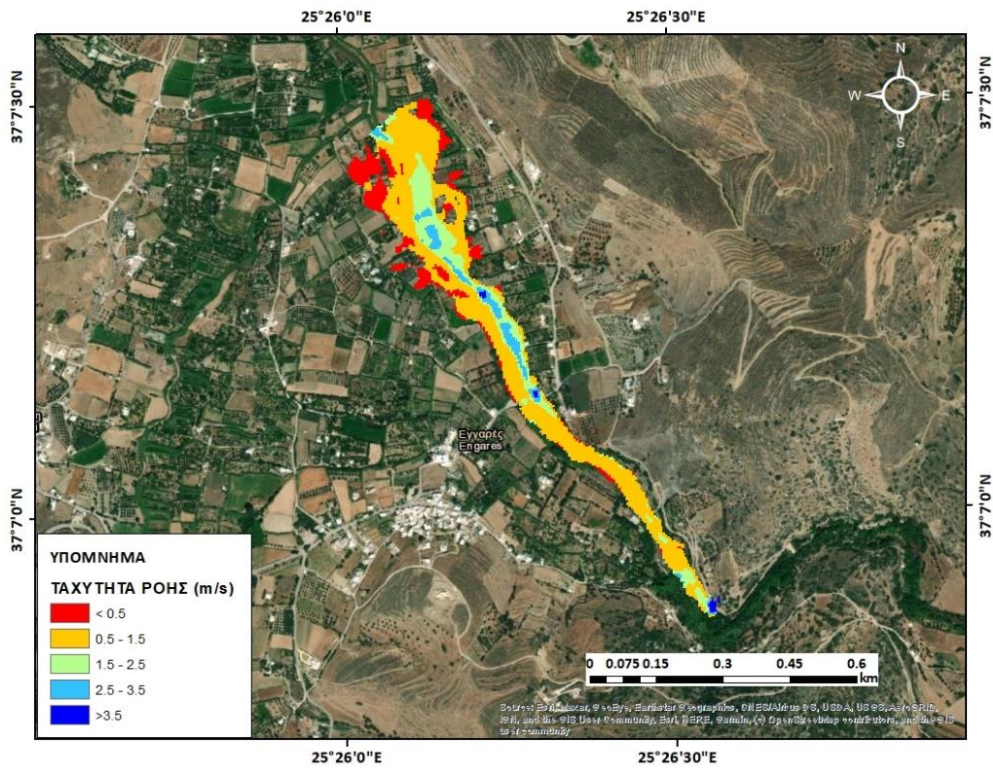
Σχήμα 4.28: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο Snyder



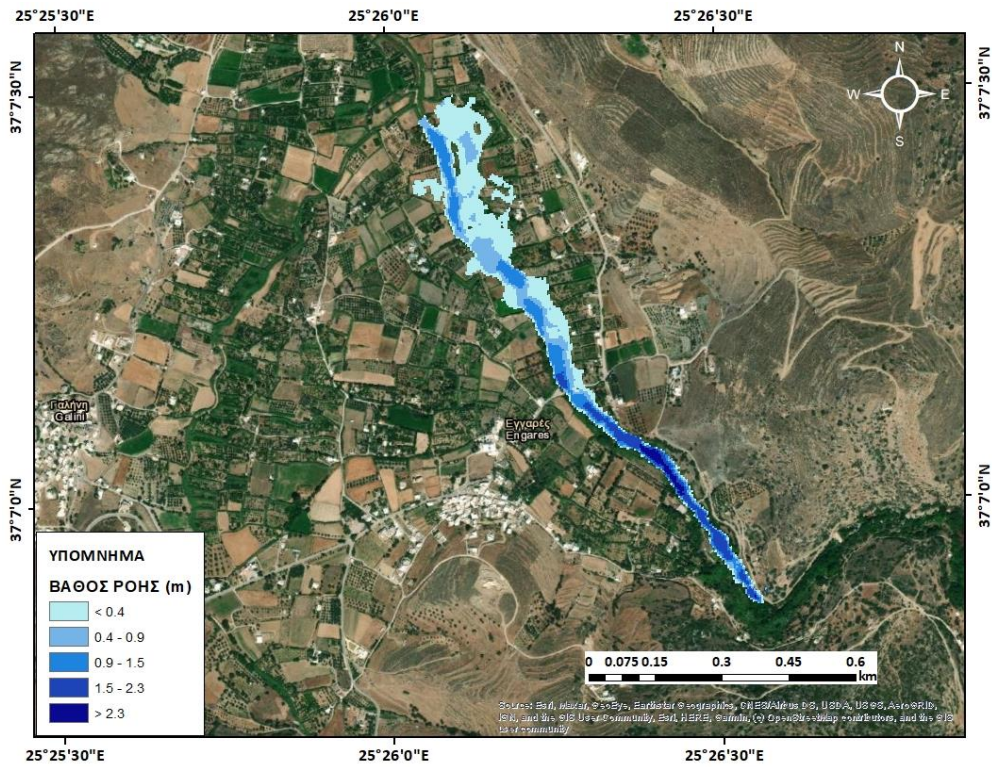
Σχήμα 4.29: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο Snyder



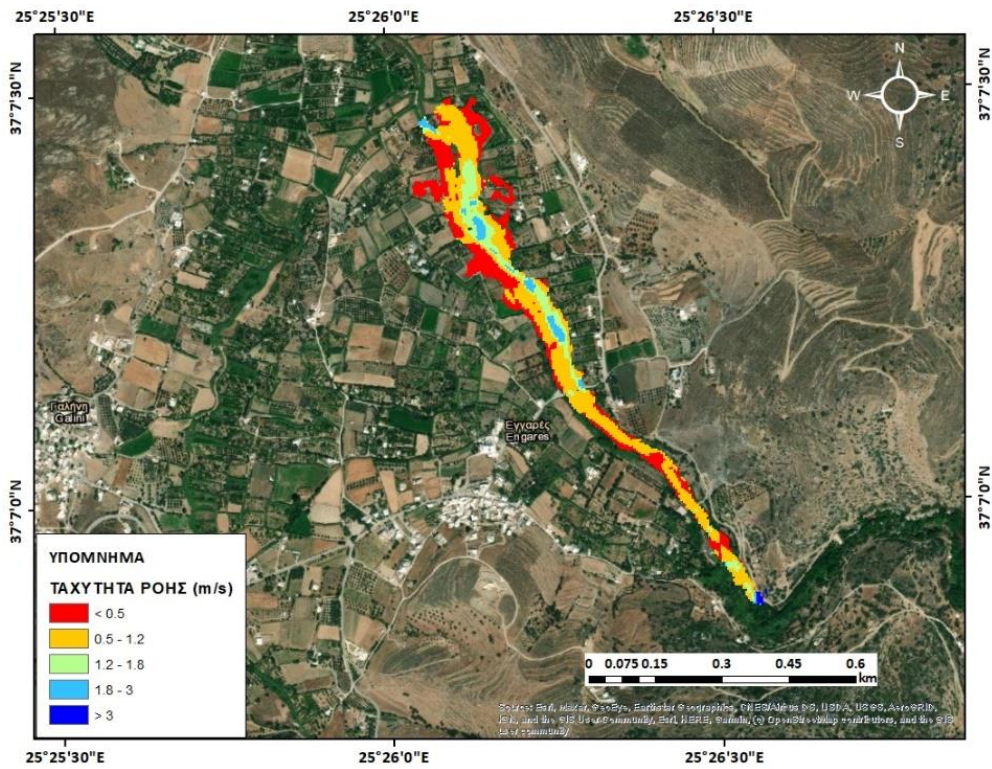
Σχήμα 4.30: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



Σχήμα 4.31: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών



Σχήμα 4.32: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο SCS



Σχήμα 4.33: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο SCS

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα. Αρχικά σε όλες τις υπολεκάνες η μέθοδος των ισόχρονων καμπυλών εμφανίζει πιο δυσμενή αποτελέσματα με μεγαλύτερα βάθη ροής αλλά και ταχύτητες συγκριτικά με τις άλλες δυο μεθόδους γεγονός το οποίο επαληθεύει και τα αποτελέσματα τις υδρολογικής ανάλυσης καθώς και στα τελευταία υπολογίστηκαν μεγαλύτερες παροχές αιχμής με τη μέθοδο των ισόχρονων. Έπειτα όσον αφορά στην επικινδυνότητα, κατάντη και των τριών υπολεκάνων ο ποταμός πλησιάζει αισθητά κατοικείες και γεωργικές περιοχές. Κατάντη της 1^{ης} υπολεκάνης ο ποταμός που σχηματίζεται κατά τόπους φαίνεται να καταπατά αστικό ιστό. Αυτό επαληθεύεται από τους χάρτες του ΥΠΕΚΑ και δικαιολογεί το γεγονός ότι σύμφωνα με αυτούς το συγκεκριμένο τμήμα της Νάξου είναι το πιο κρίσιμο από άποψη πιθανότητας εμφάνισης πλημμυρικών επεισοδίων. Η δεύτερη περιοχή μελέτης κατάντη της 2^{ης} υπολεκάνης εμφανίζει μεγάλες ταχύτητες αναλογικά με το μέγεθος της υπολεκάνης και αυτό οφείλεται στις μεγάλες κλίσεις που συναντά το έδαφος κατά μήκος αυτής. Στη κατάντη περιοχή φαίνονται να κινδυνεύουν μερικές ξενοδοχειακές μονάδες καθώς γενικότερα δεν υπάρχουν πολλές κατοικίες. Κατάντη της 3^{ης} υπολεκάνης, όπου και συναντιούνται τα μεγαλύτερα βάθη από τις τρεις υπολεκάνες, τα ύδατα πλησιάζουν σημαντικά αστικές περιοχές χωρίς όμως να καταπατούν εμφανώς τμήματά τους. Το γεγονός αυτό δεν μπορεί να αγνοηθεί ούτε να αποτελέσει καθησυχαστικό παράγοντα καθώς εκτός του ότι τα αποτελέσματα συχνά έχουν μικρές αποκλίσεις από την πραγματικότητα, δεν είναι εφικτό να προβλεφθεί το ακριβές επεισόδιο βροχής και επομένως το μέγεθος μελλοντικών πλημμυρών. Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, γεωργικές περιοχές καταπατούνται από το πλημμυρικό πεδίο δημιουργώντας ενδεχόμενο καταστροφών. Η πρόληψη και αντιμετώπιση πιθανών πλημμυρικών φαινομένων κρίνεται απαραίτητη.

Σύμφωνα με τα Σχέδιο Διαχείρισης του ΥΠΕΚΑ το μοναδικό τμήμα που εμφανίζει υψηλή επικινδυνότητα βρίσκεται κατάντη της υπολεκάνης 1. Οι χάρτες του ΥΠΕΚΑ που παρουσιάζουν τα βάθη και τις ταχύτητες ροής στο συγκεκριμένο τμήμα της Νάξου εμφανίζουν αναμενόμενη ομοιότητα με τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης της διπλωματικής αυτής εργασίας, η οποία ωστόσο περιορίστηκε σε μικρότερο τμήμα του ποταμού καθώς έπειτα από το τμήμα αυτό συνδέεται και άλλο υδατόρρευμα του υδρογραφικού δικτύου και επίσης στο υπόλοιπο τμήμα δεν υπάρχει κάποιος οικισμός ώστε να κινδυνεύσει. Το γεγονός αυτό είναι μια επιβεβαίωση στην εγγύτητα των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας. Τέλος σχετικά με την υδραυλική προσομοίωση πρέπει να σημειωθούν δύο παράγοντες που έχουν μείζων σημασία στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αρχικά, η ανάλυση του DEM δύναται να επηρεάσει τα αποτελέσματα, καθώς ένα αδρό DEM αδυνατεί να περιγράψει με ακρίβεια τη γεωμετρία του υδατορεύματος και επομένως ενδέχεται να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα (Ανδρικοπούλου, 2019). Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε DEM διαστάσεων 5 m x 5m pixels. Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα άρδην είναι ο συντελεστής τραχύτητας εδαφών (συντελεστής Manning), ο οποίος λαμβάνεται από ένα εύρος προτεινόμενων τιμών μέσω μιας πλούσιας βιβλιογραφίας και εξαρτάται κάθε φορά από τον μελετητή.

5 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

5.1 Γενικά

Οι φυσικές καταστροφές γίνονται ολοένα και πιο επικίνδυνες καθώς με τα χρόνια φαίνεται να αυξάνεται τόσο η συχνότητα όσο και το μέγεθος των καταστροφών, έχοντας έτσι τρομερή επιρροή στις κοινότητες, στην οικονομία αυτών αλλά και το περιβάλλον. Ανάμεσα σε όλες τις φυσικές καταστροφές, οι πλημμύρες αποτελούν κύριο μέλημα της Ευρώπης που χρήζει έκτακτη ανάγκη να διαχειριστεί. Άλλωστε καταστροφές από πλημμύρες προβλέπεται να αυξηθούν δραματικά με τα χρόνια δημιουργώντας επομένως την ανάγκη για καινοτόμες εφαρμογές στην διαχείριση του κινδύνου (Barcelo D. , 2017)

Τις τελευταίες δεκαετίες η πιο συχνή προσέγγιση- αντιμετώπιση πλημμυρών είναι οι “γκρι” λύσεις (π.χ. φράγματα, αναχώματα κλπ) παρόλο που εμφανίζουν αρκετά μειονεκτήματα. Τα εμφανέστερα είναι η τεράστια οικονομική επιβάρυνση, η επίπτωση σε βιοφυσικές διεργασίες οι οποίες είναι απαραίτητες στην διατήρηση ισορροπίας μεταξύ ανθρώπου και οικοσυστήματος και τέλος η παραπλανητική αίσθηση ασφάλειας που δημιουργείται στις κοινότητες (MULLER, 2015).

Οι φυσικές λύσεις (Natural Based Solutions; NBS) είναι λύσεις που εμπνέονται και υποστηρίζονται από τη φύση. Πρόκειται για λύσεις που παρέχουν περιβαλλοντικά, κοινωνικά και εντυπωσιακά οικονομικά οφέλη οι οποίες αισίως υιοθετούνται ολοένα και συχνότερα. Οι NBS (αποκατάσταση υγροτόπων, ποταμών, λεκανών απορροής, αναδάσωση, αλλαγή χρήσης γης κλπ) έχουν αποδεδειγμένα τη δυνατότητα να μειώσουν την ευπάθεια σε ποικίλες καταστροφές μεταξύ των οποίων βρίσκονται και οι πλημμύρες. Παράλληλα, ωστόσο, όπως είναι εμφανές ότι συμβάλλουν θετικά στην διατήρηση του περιβάλλοντος, στη διαχείριση και αξιοποίηση των υδατικών και όχι μόνο πόρων, καθώς και στην προσαρμογή στις διαταραχές που δημιουργούν τα ακραία κλίματα και η αστικοποίηση. (Barcelo D. , 2019). Παρολαυτά είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες για την πλήρως αποτελεσματική εφαρμογή των NBS και επομένως υπάρχει ανάγκη για την εφαρμογή και την ενσωμάτωσή τους καθώς επίσης και για περαιτέρω γνώση και εξερεύνηση των προκλήσεων και ζητημάτων που θα εμφανιστούν στο άμεσο μέλλον. Άλλωστε όπως και σε κάθε καινοτομία η μακροπρόθεσμη συλλογή δεδομένων και παρατήρηση των επιπτώσεων των φυσικών λύσεων καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα συμβάλει στην καλύτερη εφαρμογή των μεθόδων αυτών (Barcelo D. , 2019).

Η κλιματική κρίση είναι τρομερή. Η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται, αυξάνοντας τον κίνδυνο διάβρωσης, πλημμύρας και ακραίων καιρικών φαινομένων σε παράκτιες περιοχές σε όλο τον κόσμο. Τα κύματα καύσωνα εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα, πυροδοτώντας τις φλόγες των δασικών πυρκαγιών, ασκώντας πίεση στους βιότοπους

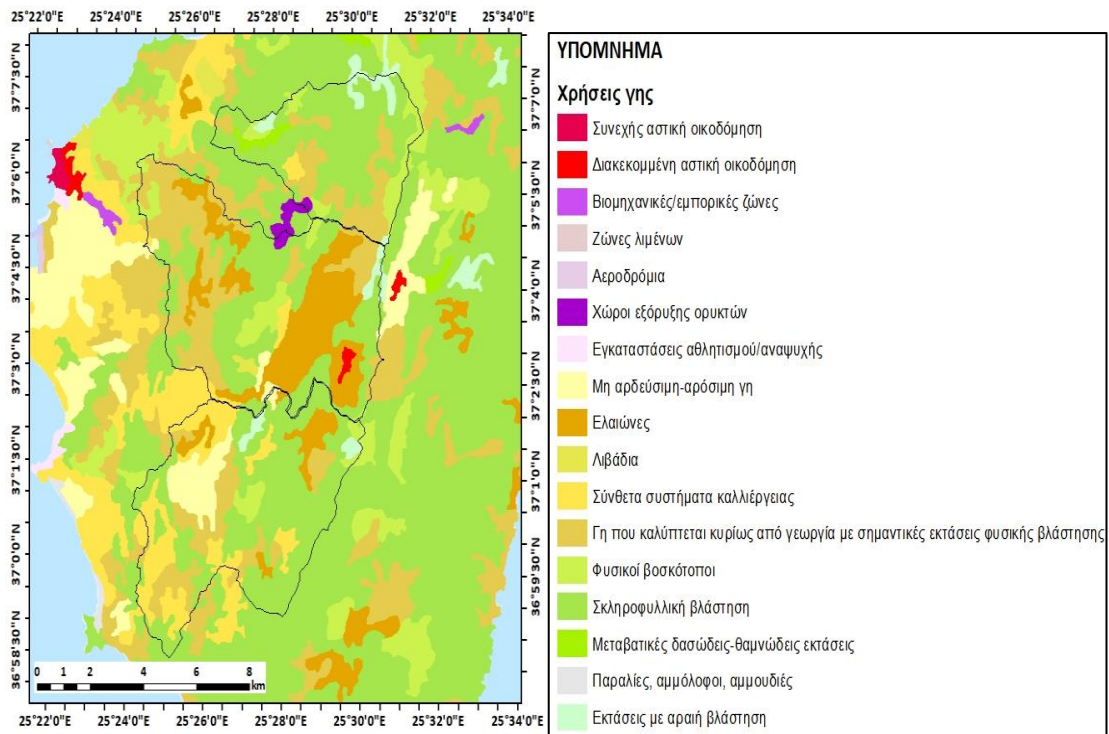
της άγριας ζωής και οδηγώντας σε ξηρασίες που απειλούν τις καλλιέργειες και την ασφάλεια των υδάτων. Τα ποτάμια εμφανίζουν τακτικά πλημμύρες που κάποτε θεωρούνταν πολύ σπάνια γεγονότα. Αυτές οι καταστροφές, μαζί με άλλες κλιματικές απειλές, θα μπορούσαν να εκτοπίσουν περισσότερους από ένα δισεκατομμύριο ανθρώπους μέσα στα επόμενα 30 χρόνια. Η ίδια η φύση εμφανώς παίζει μεγάλο ρόλο. Τα στοιχεία δείχνουν όλο και περισσότερο ότι οι λύσεις που βασίζονται στη φύση (φυσικά συστήματα ή διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην επίτευξη κοινωνικών στόχων) θα μπορούσαν να συμβάλουν σημαντικά στην ελαχιστοποίηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της. Στην πραγματικότητα, η έρευνα δείχνει ότι οι λύσεις που βασίζονται στη φύση και ο ευρύτερος τομέας της γης θα μπορούσαν να συμβάλουν έως και το 30% του μετριασμού του κλίματος που απαιτείται έως το 2050 για την επίτευξη του στόχου της Συμφωνίας του Παρισιού για περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

5.2 Αλλαγή χρήσης γης

5.2.1 Εισαγωγή

Η αλλαγή χρήσης γης έχει δυνητικά ισχυρή επίδραση στις πλημμύρες. Οι άνθρωποι έχουν τροποποιήσει σε μεγάλο βαθμό τα φυσικά τοπία. Μεγάλες εκτάσεις έχουν αποψιλωθεί και αποξηραθεί με αποτέλεσμα να έχει μεταβληθεί η διηθητικότητα του εδάφους. Το αντίκτυπο των αλλαγών χρήσεων γης στην απορροή των καταιγίδων αποτελεί ένα επίκαιρο θέμα στην υδρολογική έρευνα και συχνά αξιολογείται με κάποιο μοντέλο προσομοίωσης βροχής- απορροής (Bultot, 1990). Πειραματικές μελέτες δείχνουν ωστόσο ότι η μετατροπή φυσικών ιδιοτήτων και μεταβλητών σε παραμέτρους του χρησιμοποιούμενου μοντέλου είναι αντικείμενο δύσκολο.

Μελέτες μικρής κλίμακας δείχνουν ότι η δασική κάλυψη μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες και πιο καθυστερημένες χρονικά παροχές αιχμής πλημμύρας σε σύγκριση με καλλιεργήσιμες εκτάσεις και βοσκοτόπια. Αυτές οι επιπτώσεις των δασών τείνουν να περιορίζονται σε μικρές και μέτριες καταιγίδες, ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις, τα δάση μπορεί να μειώσουν τη συχνότητα των πλημμυρών σε όλο το φάσμα των μεγεθών καταιγίδων (Brown, 2004). Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.1) εμφανίζονται οι τρεις υπολεκάνες που μελετήθηκαν και οι χρήσεις γης κατά μήκος αυτών.



Σχήμα 5.1: Χρήσεις γης στις 3 υπολεκάνες μελέτης

5.2.2 Μεθοδολογία Προσέγγισης

Στην παρούσα μελέτη εντοπίστηκαν τα κομμάτια γης της κάθε υπολεκάνης όπου δεν αξιοποιούνται από τον άνθρωπο και τοποθετήθηκε μια πυκνότερη δασική επιφάνεια από την ήδη υπάρχουσα. Συγκεκριμένα φυσικοί βοσκότοποι, θάμνοι και χερσότοποι μετατράπηκαν σε δάση. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

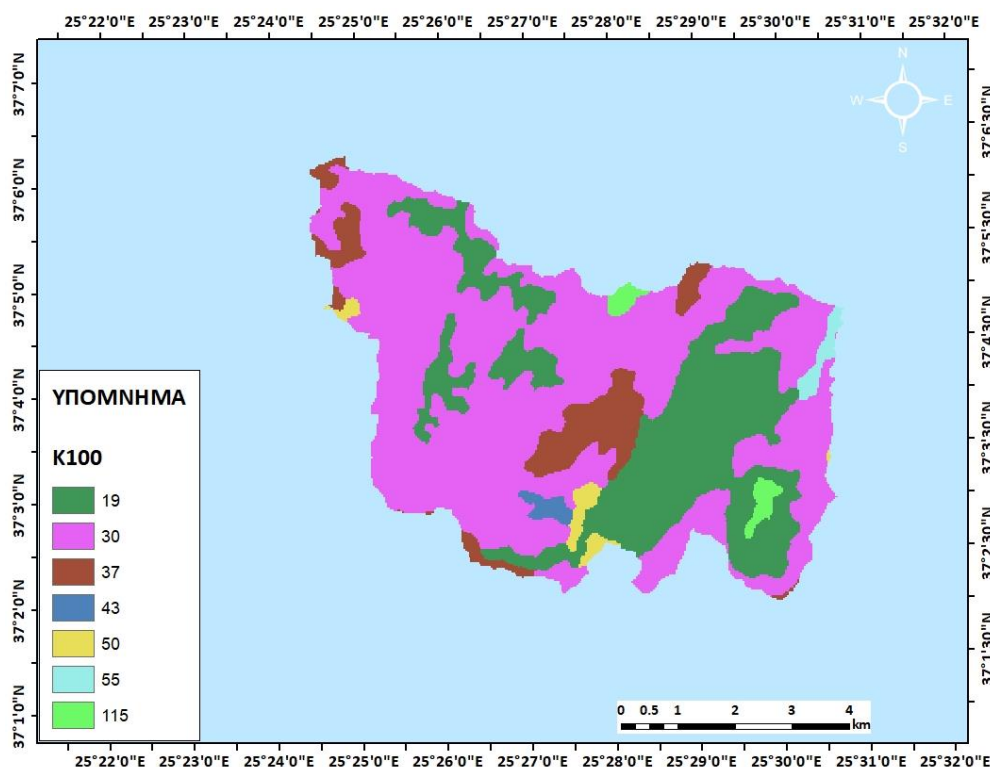
Αρχικά εντοπίστηκαν τα τμήματα αυτά με τη βοήθεια του corine 2018 μέσα από το ArcMap GIS και διαχωρίστηκε η γεωγραφία της περιοχής. Έπειτα έγινε διαχωρισμός των τμημάτων της κάθε υπολεκάνης ανάλογα τόσο με τη γεωλογία τους όσο και με την χρήση γης.

Όσον αφορά στη γεωλογία παρατηρήθηκε ότι στις υπολεκάνες παρουσιάζονται κυρίως μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι καθώς και σχιστόλιθοι. Κάνοντας τον διαχωρισμό σε εδάφη τύπου A, B, C και D ανάλογα με τον ρυθμό διήθησής τους κατηγοριοποιήθηκαν τα επιμέρους τμήματα αυτά με βάση τη γεωλογία τους. Με τον τύπο A να περιλαμβάνει τα εδάφη με υψηλή διηθητικότητα (Βαθιά αμμώδη, βαθιά πηλώδη, συσσωματωμένα ιλυώδη). και D αυτά με τη μικρότερη (Εδάφη τα οποία διογκώνονται όταν υγραίνονται, έχουν δηλαδή υψηλή περιεκτικότητα σε μοντμοριλονιτική άργιλο και ορισμένα αλατούχα εδάφη). Το σύστημα αυτό κατάταξης εδαφών έχει αναπτυχθεί από την SCS.

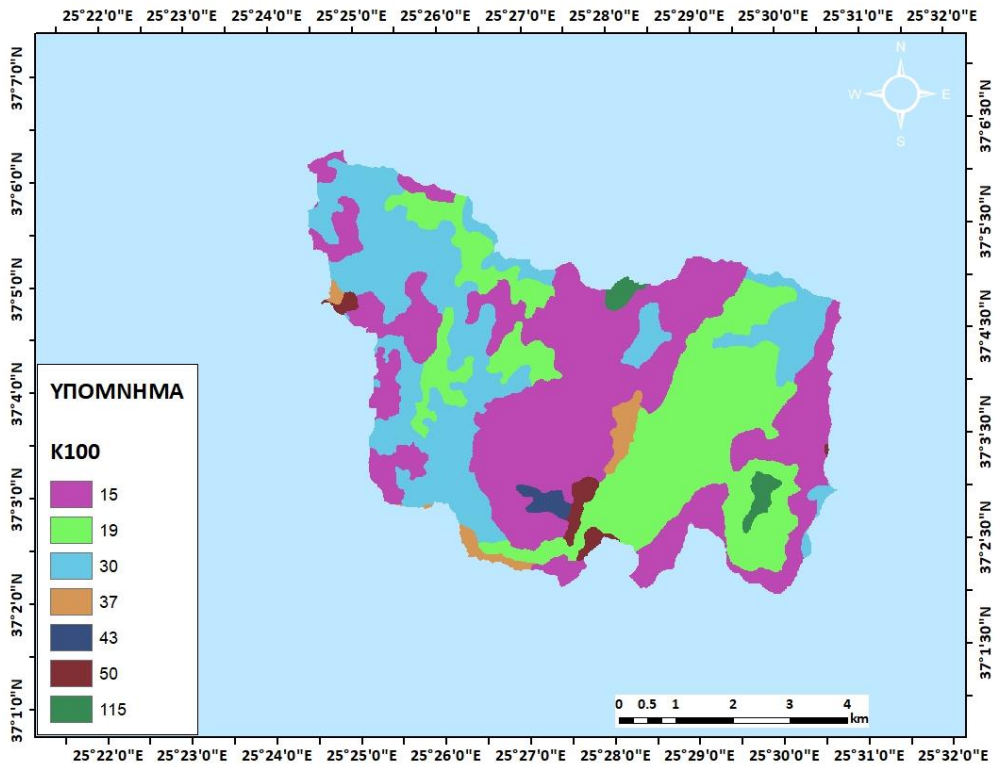
Στη συνέχεια διακρίνοντας τον τύπο κάλυψης (θάμνοι, καλλιέργειες, βοσκότοποι κλπ.) ξανά με τη βοήθεια του GIS ορίστηκαν οι χρήσεις γης. Αποτέλεσμα αυτών των

δύο διαχωρισμών στη γεωλογία αλλά και των χρήσεων γης ήταν ο προσδιορισμός της παραμέτρου Curve Number (CN). Η παράμετρος αυτή όπως έχει προαναφερθεί, είναι ένας απορροϊκός συντελεστής, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μέγιστης πιθανής κατακράτησης τους εδάφους στην ενδιαφερόμενη περιοχή και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τον τύπο του εδάφους, την χρήση γης, το ποσοστό και τύπο φυτοκάλυψης, και την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους. Τοποθετώντας μια πυκνότερη βλάστηση στα τμήματα των υπολεκανών τα οποία δεν αξιοποιούνται από τον άνθρωπο μεταβλήθηκε η παράμετρος CN. Ο νέος μέσος όρος των CN της κάθε υπολεκάνης εισάχθηκε στο HEC-HMS το οποίο δέχεται μια μόνο τιμή του CN και υπολογίστηκε 70 και για τις 3 υπολεκάνες, έναντι του 75 που είχε υπολογισθεί προηγουμένως στην υδρολογική ανάλυση στο κεφάλαιο 4.

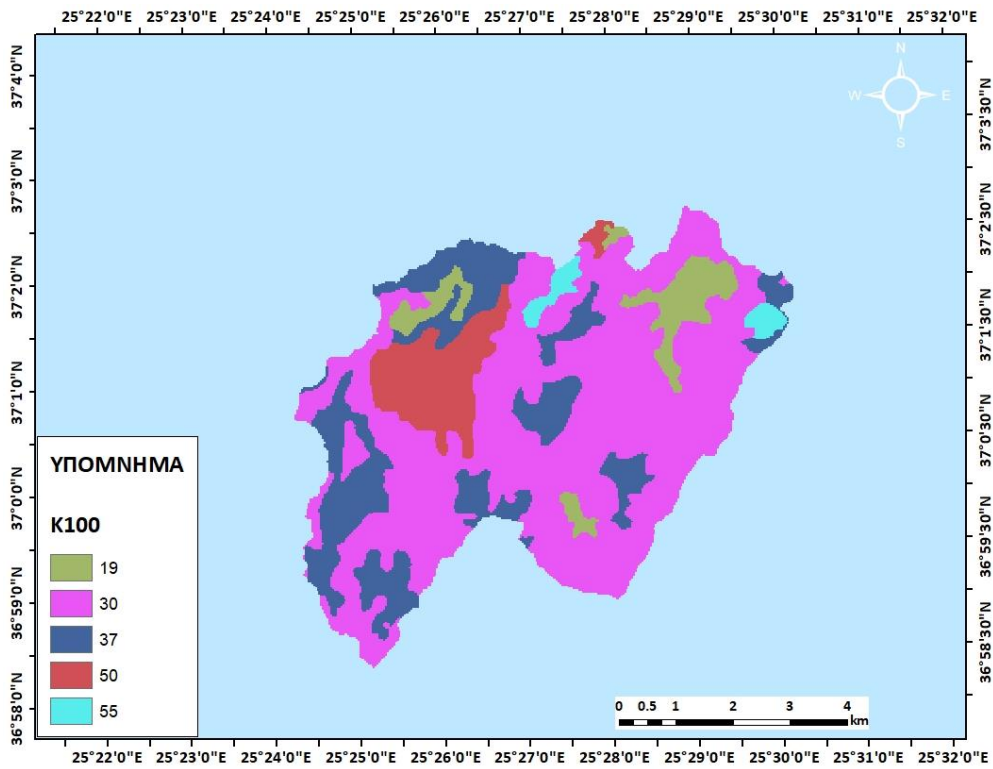
Στα τμήματα αυτά εκτός από την παράμετρο CN άλλαξε και η παράμετρος k100 (ο συντελεστής k πολλαπλασιασμένος επί 100). Ο συντελεστής k, σχετίζεται με τον συντελεστή τραχύτητας και εν γένει αποτελεί την ταχύτητα κίνησης του νερού επί εδάφους ανάλογα με την χρήση γης. Η συνεισφορά του στον υπολογισμό των ισόχρονων καμπυλών φαίνεται στο κεφάλαιο 3.2.5. Συγκεκριμένα, μίκρυνε αισθητά καθώς μετατράπηκε σε εκείνη τη τιμή που αντιστοιχεί σε δασικές εκτάσεις. Τα Σχήματα 5.2 έως και 5.7 απεικονίζουν τις αλλαγές αυτές εντός κάθε υπολεκάνης. Παράλληλα στο Σχήμα 5.8 φαίνονται τα τμήματα γης και των τριών υπολεκανών όπου υλοποιήθηκε αλλαγή στις χρήσεις γης.



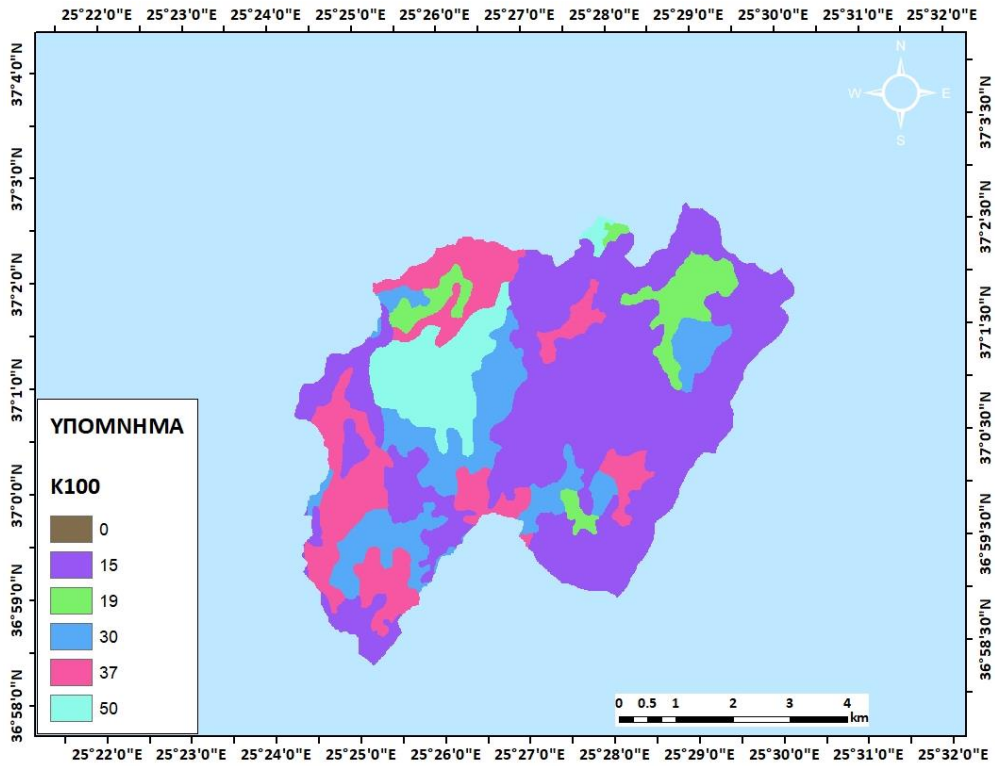
Σχήμα 5.2: Τιμές παραμέτρου k100 εντός της 1^{ης} υπολεκάνης



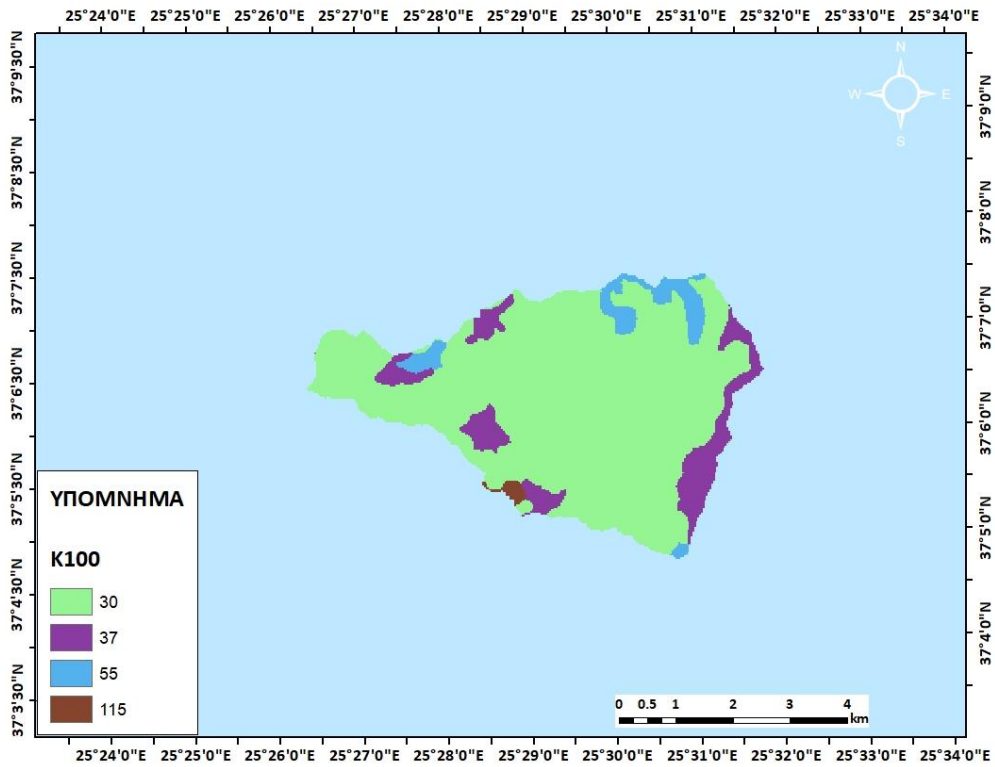
Σχήμα 5.3: Τιμές παραμέτρου k100 εντός της 1^{ης} υπολεκάνης μετά την αλλαγή χρήσης γης



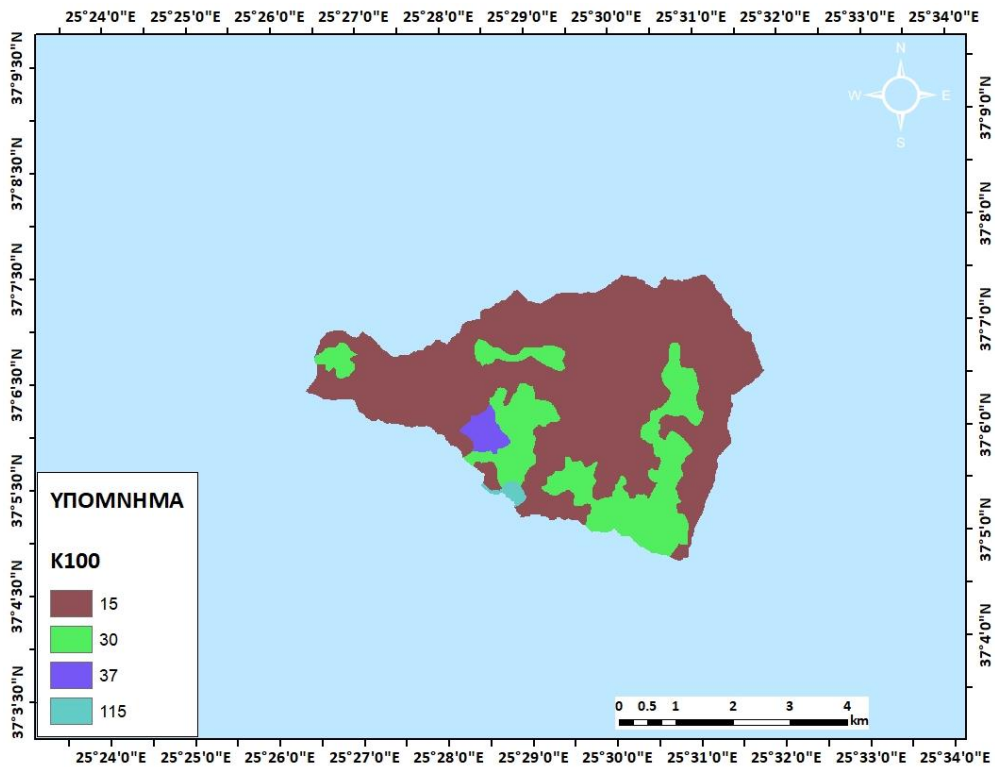
Σχήμα 5.4: Τιμές παραμέτρου k100 εντός της 2^{ης} υπολεκάνης



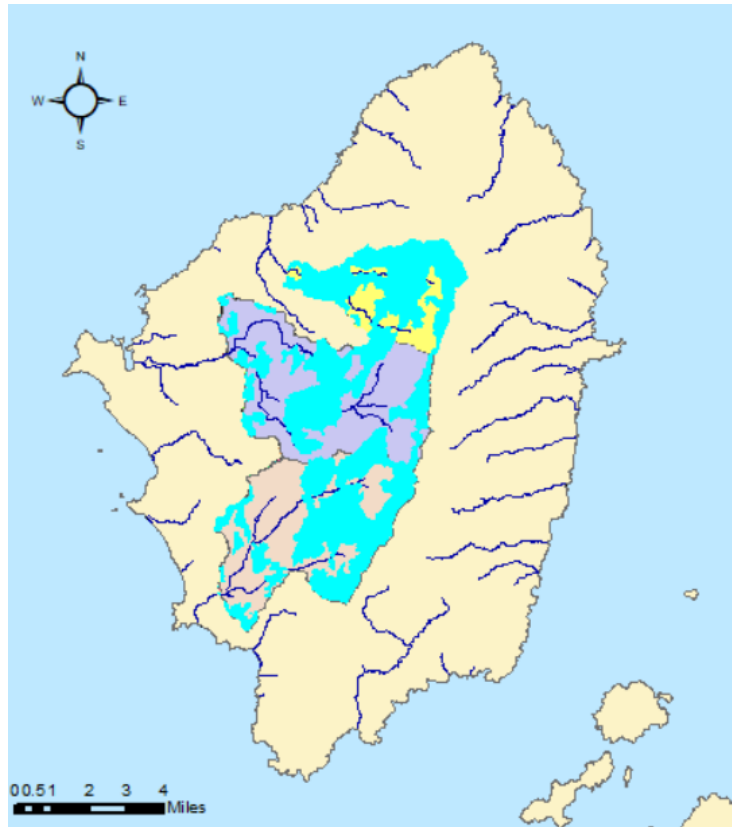
Σχήμα 5.5: Τιμές παραμέτρου k100 εντός της 2^{ης} υπολεκάνης μετά την αλλαγή χρήσης γης



Σχήμα 5.6: Τιμές παραμέτρου k100 εντός της 3^{ης} υπολεκάνης

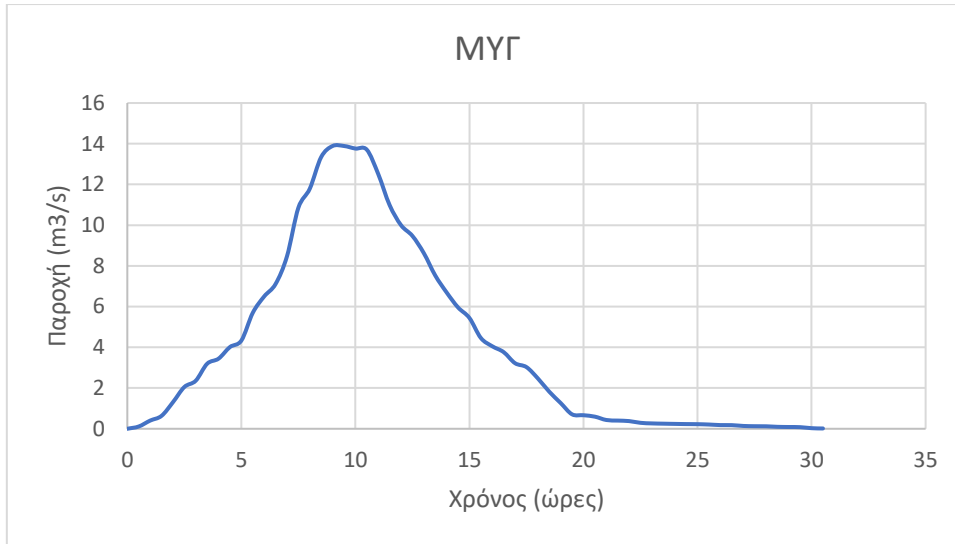


Σχήμα 5.7: Τιμές παραμέτρου k100 εντός της 2^{ης} υπολεκάνης μετά την αλλαγή χρήσης γης

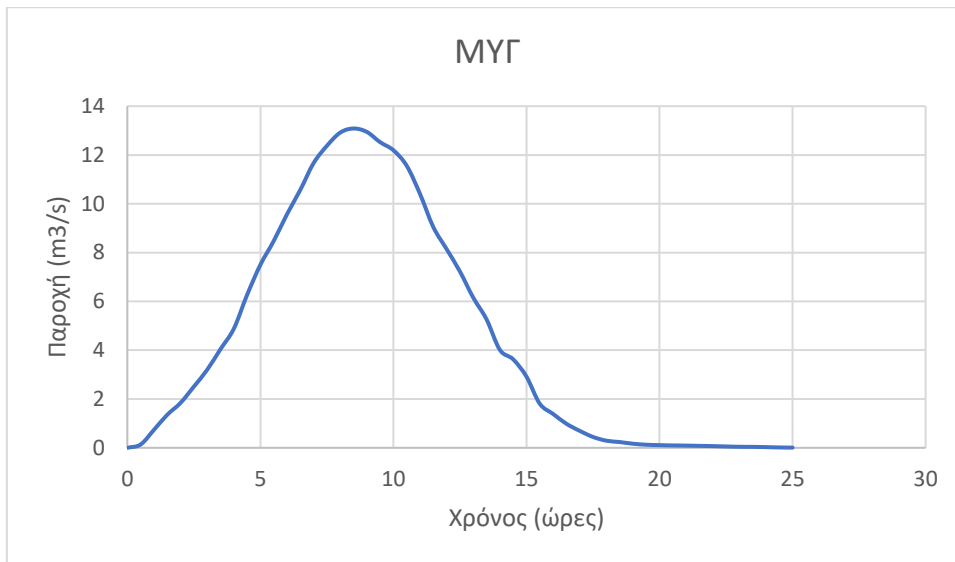


Σχήμα 5.8: Τμήματα γης και για τις τρεις υπολεκάνες όπου έγιναν αλλαγές στις χρήσεις γης

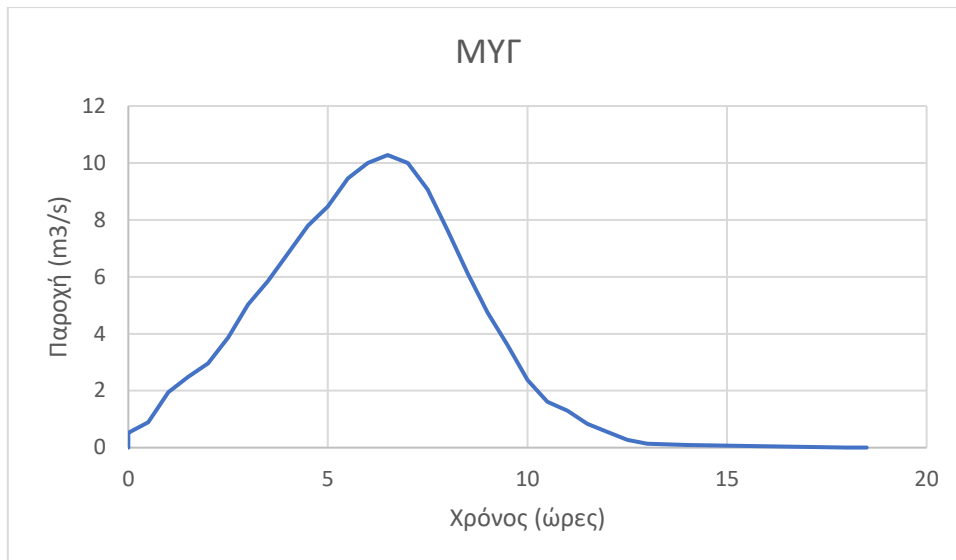
Στην συνέχεια με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών η οποία έχει ήδη αναλυθεί παράχθηκαν νέα ΜΥΓ που εμφανίζονται στα Σχήματα 5.9 έως 5.11 τα οποία μαζί με τις νέες τιμές του CN εισήχθησαν στο HEC-HMS με σκοπό να προκύψουν καινούργια πλημμυρογραφήματα. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος, αντί εκείνων της SCS και Snyder, καθώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο στα πλημμυρογραφήματα (παροχές αιχμής) όσο και της υδραυλικής προσομοίωσης ήταν τα δυσμενέστερα. Τελικός στόχος της διαδικασίας αυτής αποτελεί η αισθητή μείωση της πλημμυρικής παροχής αιχμής στο σημείο εξόδου της εκάστοτε λεκάνης, καθώς επίσης και η χρονική καθυστέρηση εμφάνισής της.



Σχήμα 5.9: Παραγόμενο ΜΥΓ 1^{ης} υπολεκάνης μετά την αλλαγή χρήσης γης

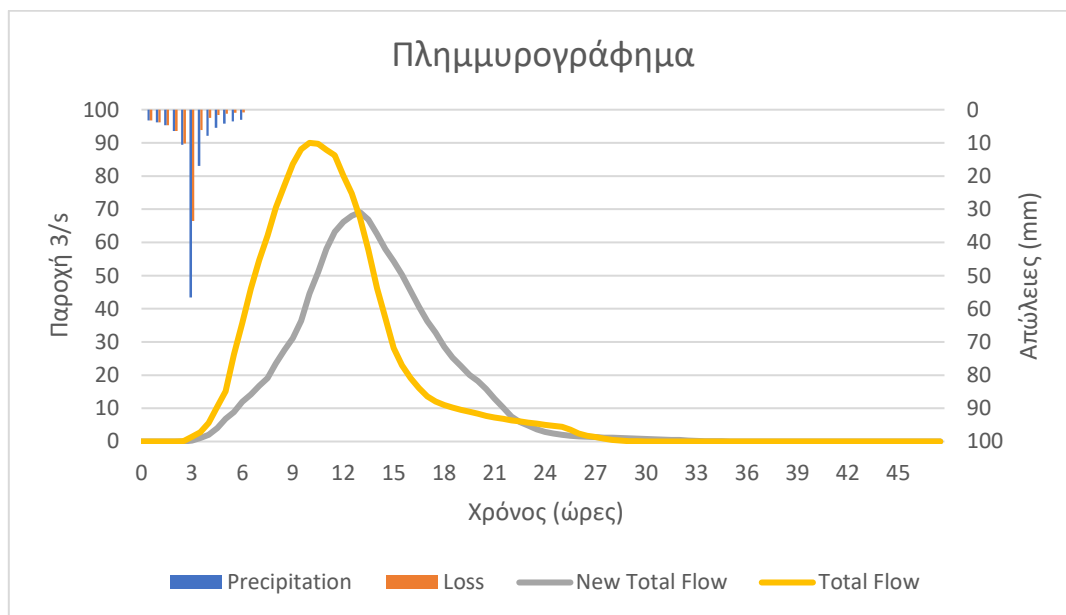


Σχήμα 5.10: Παραγόμενο ΜΥΓ 2^{ης} υπολεκάνης μετά την αλλαγή χρήσης γης

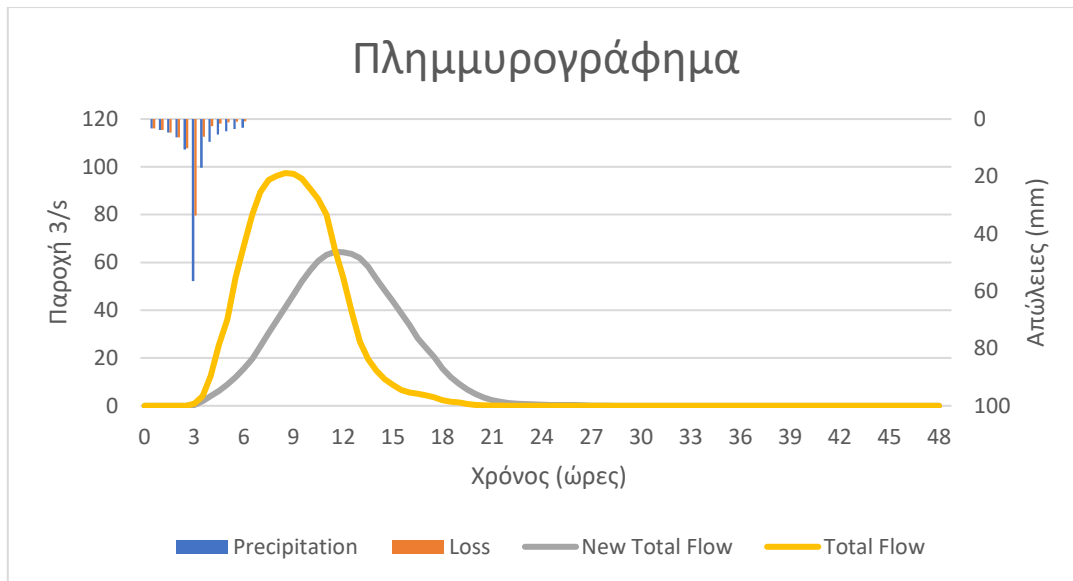


Σχήμα 5.11: Παραγόμενο ΜΥΓ 3^{ης} υπολεκάνης μετά την αλλαγή χρήσης γης

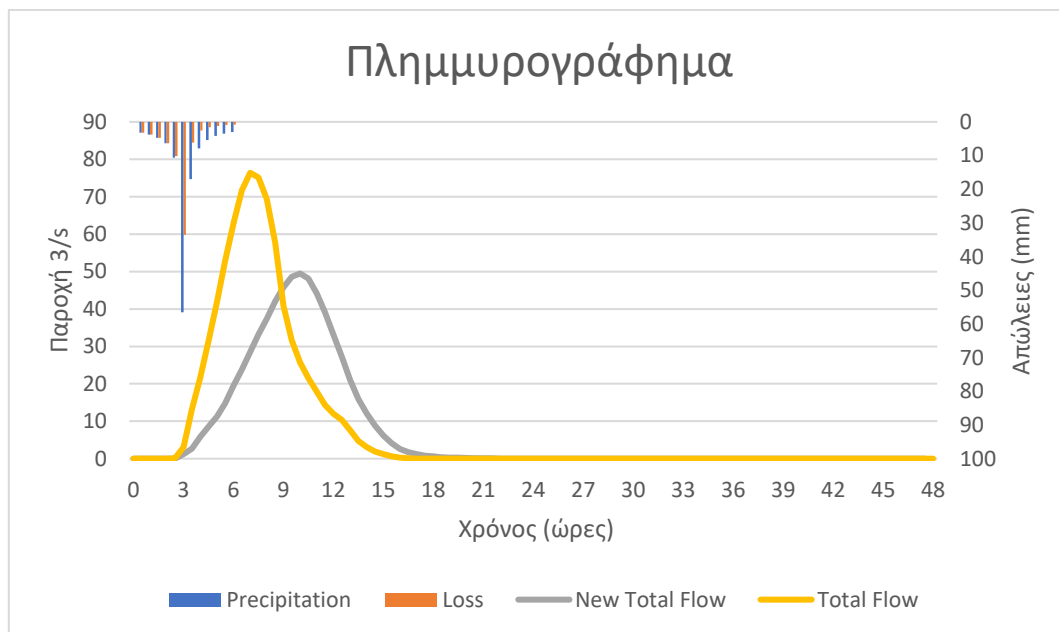
Στα παρακάτω πλημμυρογραφήματα των Σχημάτων 5.12-5.14, για λόγους σύγκρισης των παροχών και των ωρών και αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της φυσικής αυτής λύσης, απεικονίζονται στο ίδιο γράφημα η καμπύλη και πριν (Total Flow) αλλά και μετά την αλλαγή των χρήσεων γης (New Total Flow).



Σχήμα 5.12: Πλημμυρογραφήματα της 1^{ης} υπολεκάνης πριν και μετά της αλλαγής χρήσης γης



Σχήμα 5.13: Πλημμυρογραφήματα της 2^{ης} υπολεκάνης πριν και μετά της αλλαγής χρήσης γης



Σχήμα 5.14: Πλημμυρογραφήματα της 3^{ης} υπολεκάνης πριν και μετά της αλλαγής χρήσης γης

Είναι εμφανές ότι η επίδραση της προτεινόμενης λύσης είναι σημαντική καθώς όπως είχε προβλεφθεί η παροχή αιχμής και ο πλημμυρικός όγκος, σε όλες τις υπολεκάνες, μειώθηκε σημαντικά, καθώς επίσης ο χρόνος που παρουσιάζεται αυτή αυξήθηκε. Από τα παραπάνω πλημμυρογραφήματα προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα για κάθε λεκάνη:

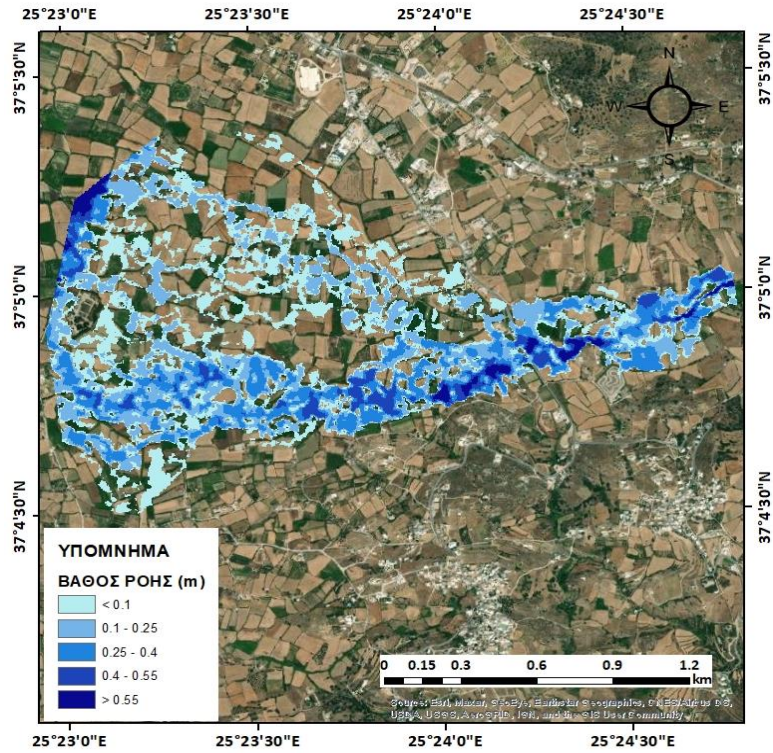
Για την υπολεκάνη 1 η παροχή αιχμής από 90 m³/s μειώθηκε στα 69 m³/s, για την υπολεκάνη 2 από τα 97 m³/s μειώθηκε στα 64 m³/s και τέλος για την υπολεκάνη 3

από τα 76 m³/s η τιμή έπεσε στα 49 m³/s. Αναλυτικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.1.

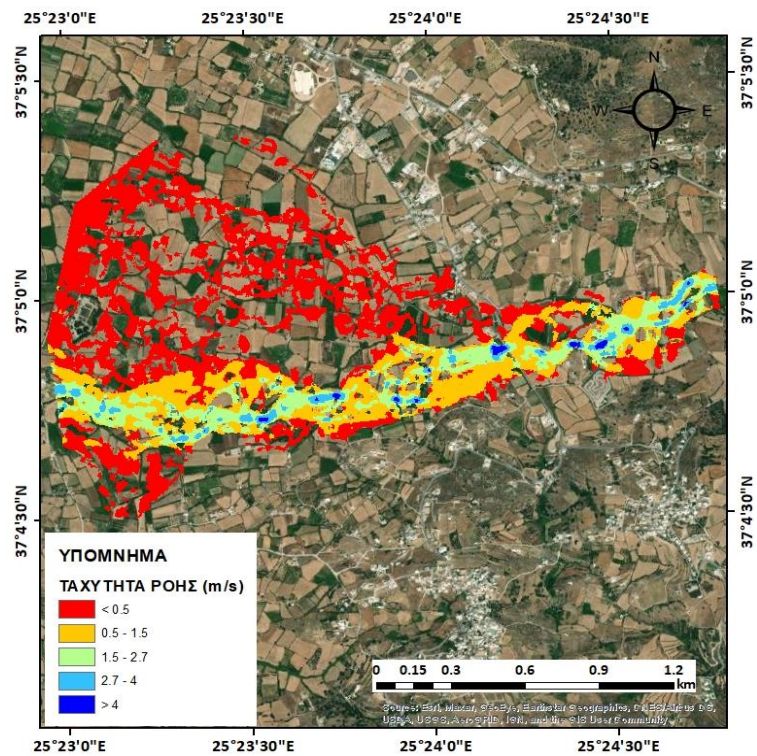
Πίνακας 5.1: Τιμές παροχής αιχμής, χρόνου παρουσίασης αιχμής και πλημμυρικού όγκο για τις τρεις λεκάνες μελέτης και για τις τρεις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν μετά την αλλαγή χρήσης γης

ΛΕΚΑΝΗ 1	Qαιχμ(m ³ /s)	ταιχμ(h)	Νπλημ (hm ³)
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	69.1	13	2.28
ΛΕΚΑΝΗ 2			
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	64	11.5	2
ΛΕΚΑΝΗ 3			
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	49.5	10	1.1

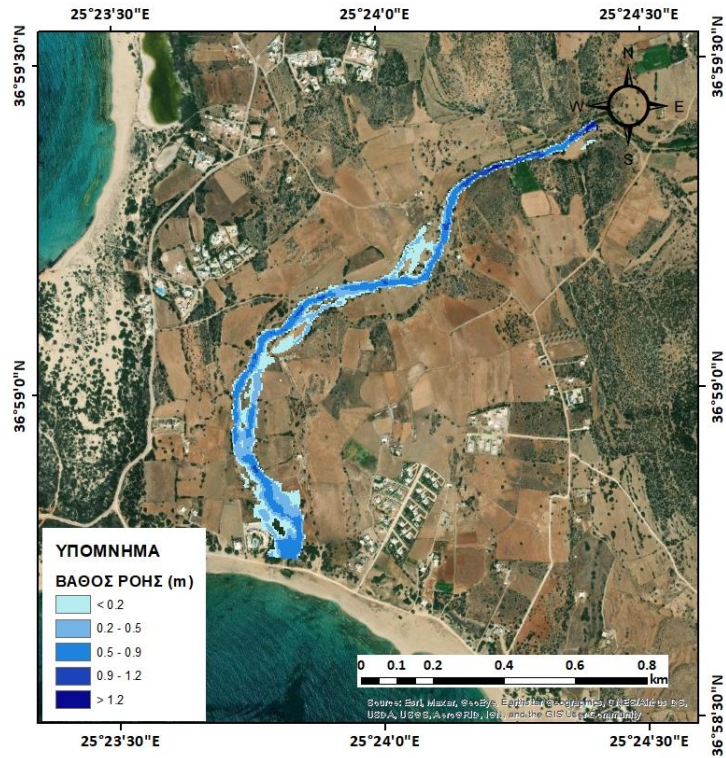
Τα υπολογισμένα πλέον πλημμυρογραφήματα συντελούν στην ολοκλήρωση και της υδραυλικής προσομοίωσης μέσω του λογισμικού HEC-RAS. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.15 έως 5.20. Όπως είναι αναμενόμενο με τις παραπάνω τιμές των πλημμυρογραφήματων, υπήρξε μείωση τόσο του βάθους ροής όσο και της ταχύτητας. Για λόγους σύγκρισης στους νέους χάρτες τοποθετήθηκαν οι ίδιες κλίμακες με αυτές πριν την αλλαγή χρήσης γης. Η μείωση όσο αφορά τα βάθη ροής ήταν της τάξης των μερικών δεκάδων cm. Για παράδειγμα στην υπολεκάνη 1 παρουσιάζεται μέγιστο βάθος 1.2 m ενώ με την αλλαγή στις χρήσεις γης το νέο μέγιστο βάθος είναι στα 1.1 m. Για την υπολεκάνη 2 το αρχικό μέγιστο βάθος ήταν 3.25 m και μειώθηκε στα 3.05 m. Αντίστοιχα για την υπολεκάνη 3 το αρχικό μέγιστο βάθος ροής που συναντάται είναι 3.8 m ενώ μετά της αλλαγή χρήσεων γης μειώνεται στα 3.2 m. Η μεγαλύτερη μείωση που εμφανίζεται στην υπολεκάνη 3 δικαιολογείται από το γεγονός ότι η αλλαγή του συντελεστή k100, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.6 και 5.7, είναι σημαντικότερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες υπολεκάνες. Τέλος οι ταχύτητες σε όλες τις υπολεκάνες κατά τόπους φαίνονται να μειώθηκαν ωστόσο η μέγιστη ταχύτητα στην υπολεκάνη παραμένει σταθερή. Στις υπολεκάνες 2 και 3 η αντίστοιχη μέγιστη ταχύτητα μειώθηκε κατά περίπου 1m/s.



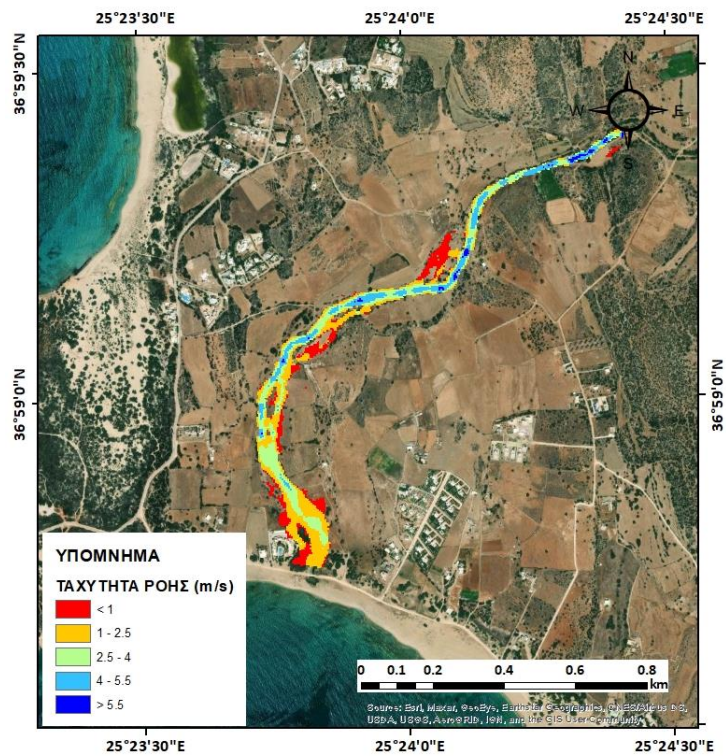
Σχήμα 5.15: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης



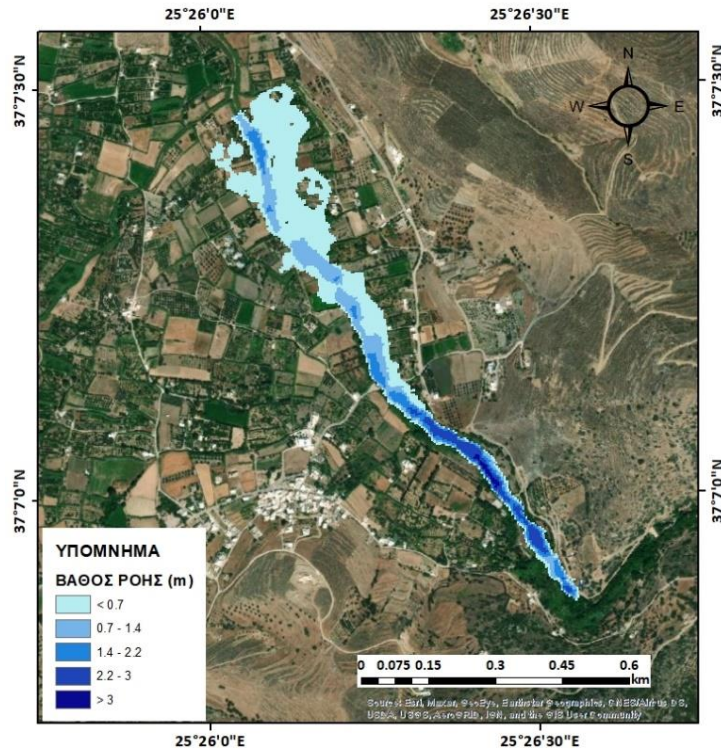
Σχήμα 5.16: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης



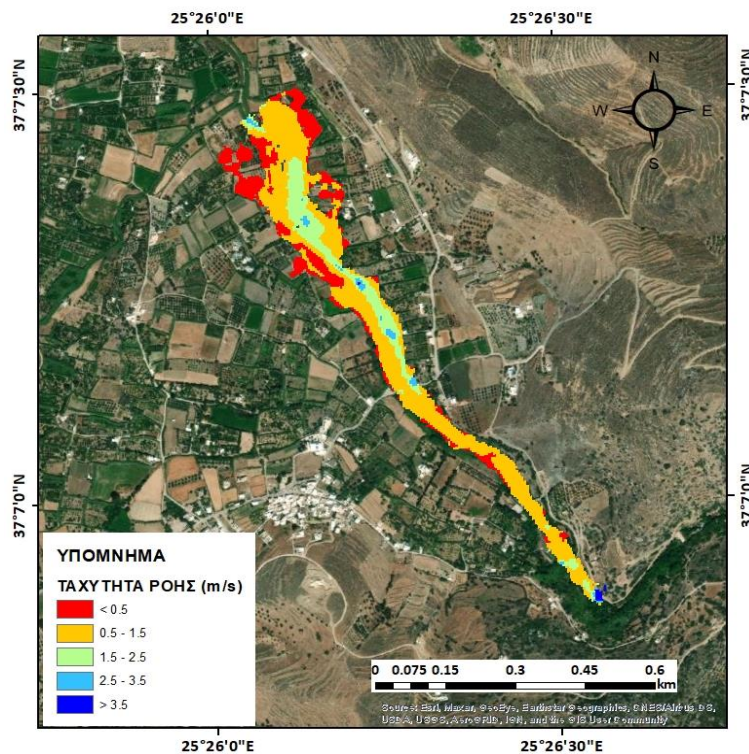
Σχήμα 5.17: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης



Σχήμα 5.18: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 2 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης



Σχήμα 5.19: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης



Σχήμα 5.20: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατάντη της υπολεκάνης 3 με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης

5.3 Λίμνες Συγκράτησης

5.3.1 Εισαγωγή

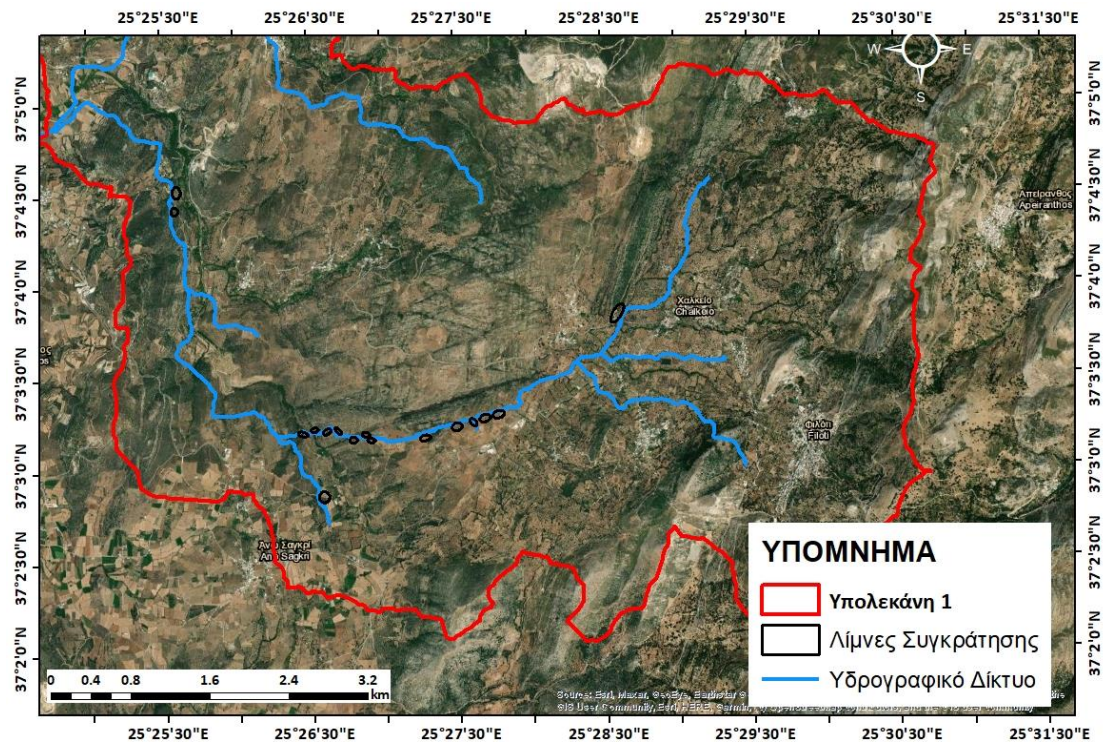
Ένα ακόμα πιθανό σενάριο αντιμετώπισης πιθανών μελλοντικών πλημμυρικών καταστροφών είναι αυτό των λιμνών συγκράτησης (retention ponds). Η λογική πίσω από τη συγκεκριμένη NBS είναι η εξής: κατασκευάζονται κατά μήκος του κυρίου υδατορέματος εντός της υπολεκάνης απορροής μια σειρά μικρών λιμνών όπου και αποθηκεύεται νερό κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η ταχύτητα ροής, αυξάνεται ο χρόνος που θα παρουσιαστεί η παροχή αιχμής στην έξοδο της υπολεκάνης καθώς και κυριότερο μειώνεται σημαντικά και ο πλημμυρικός όγκος που παρουσιάζεται στο σημείο εξόδου της λεκάνης.

Οι λίμνες συγκράτησης μπορούν να χωριστούν ανάλογα με το μέγεθός τους σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά μεγάλες λίμνες συγκράτησης που συνήθως έχουν αντιπλημμυρικά φράγματα ή φράγματα κατακράτησης κλπ και η δεύτερη κατηγορία η οποία βρίσκει εφαρμογή στην παρούσα μελέτη αφορά μικρότερες λίμνες συγκράτησης που συχνά χρησιμοποιούνται ως λίμνες ψαρέματος, ποτίσματος κλπ. Όπως είναι εμφανές η πρώτη κατηγορία αποτελεί μια “γκρι” λύση καθώς η εφαρμογή της απαιτεί συνήθως κατασκευές από σκυρόδεμα. Αντίθετα, οι μικρές λίμνες συγκράτησης περιλαμβάνουν απλούστερες χωματουργικές εργασίες (Ferk, 2020). Σχετικά με τη μέθοδο κατασκευής, οι λίμνες είναι σκαμμένες (βυθισμένες) κατασκευάζονται σε σχετικώς επίπεδες περιοχές με την εκσκαφή του προυπάρχοντος υλικού. Το εξορυγμένο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόσθετη ενίσχυση και ανύψωση της λίμνης περιμετρικά αυτής (Ferk, 2020).

5.3.2 Μεθοδολογία Προσέγγισης

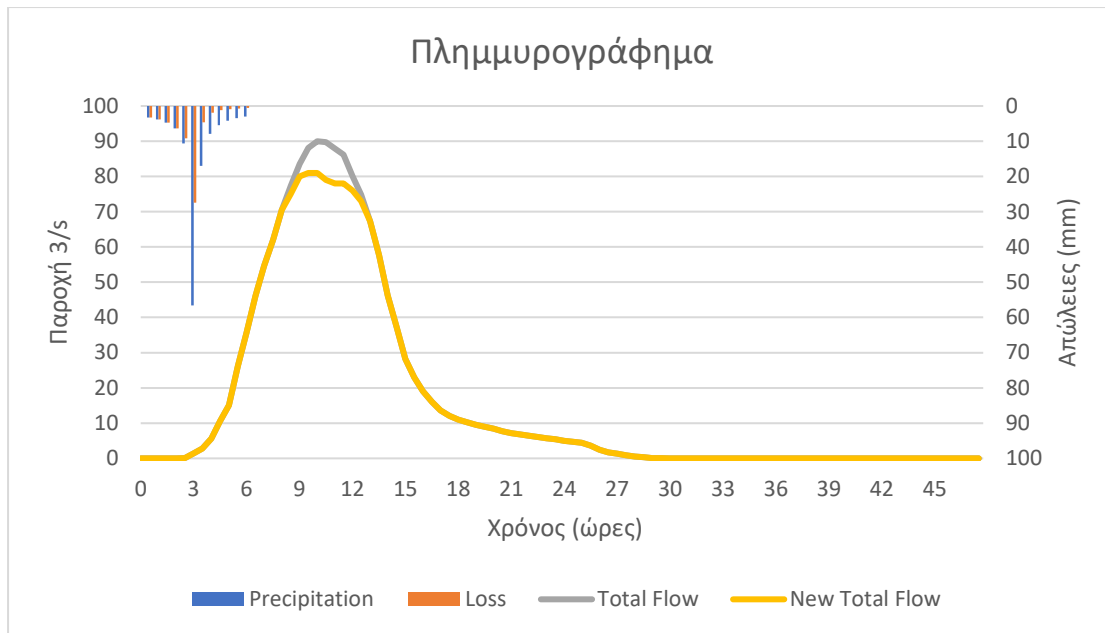
Στην παρούσα διπλωματική εργασία σε περιβάλλον ArcGIS σχεδιάστηκαν μικρά τμήματα γης όπου είναι εφικτή η δημιουργία λιμνών συγκράτησης. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν εντός της υπολεκάνης 1, και ειδικότερα κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, τα οποία αποτελούν γη η οποία δεν αξιοποιείται από τον άνθρωπο και μπορεί να επεξεργαστεί αναλόγως ώστε να δημιουργηθούν οι τεχνητές αυτές λίμνες. Επιλέχθηκε προς μελέτη η συγκεκριμένη λεκάνη καθώς φέρει το μεγαλύτερο πλημμυρικό όγκο και το τμήμα γης κατάντη της κρίνεται πιο επικίνδυνο σύμφωνα με πολυκριτηριακή ανάλυση του ΥΠΕΚΑ. Με τη βοήθεια του editor στο λογισμικό ArcGIS κατασκευάστηκαν εκατέρωθεν του υδρογραφικού δικτύου 20 λίμνες σε σχήματος έλλειψης μέσου όρου εκτάσεως 5000 m². Δεδομένου ότι οι εκσκαφές και οι χωματουργικές εργασίες φέρουν κόστη για την κύρια αρχή του έργου επιλέχθηκε για λόγους οικονομίας βάθος 2 m. Υπολογίζεται επομένως συνολικός όγκος που αποθηκεύεται ίσος με 100000 m³*2m, δηλαδή 200000 m³ ή διαφορετικά 0.2 hm³. Ο όγκος αυτός αφαιρείται από τον πλημμυρικό όγκο της υπολεκάνης 1 που ήταν 2.7

hm³ και τελικά απομένει 2.5 hm³. Τα σημεία τοποθέτησης των retention ponds στην υπολεκάνη 1 φαίνονται στο Σχήμα 5.21.



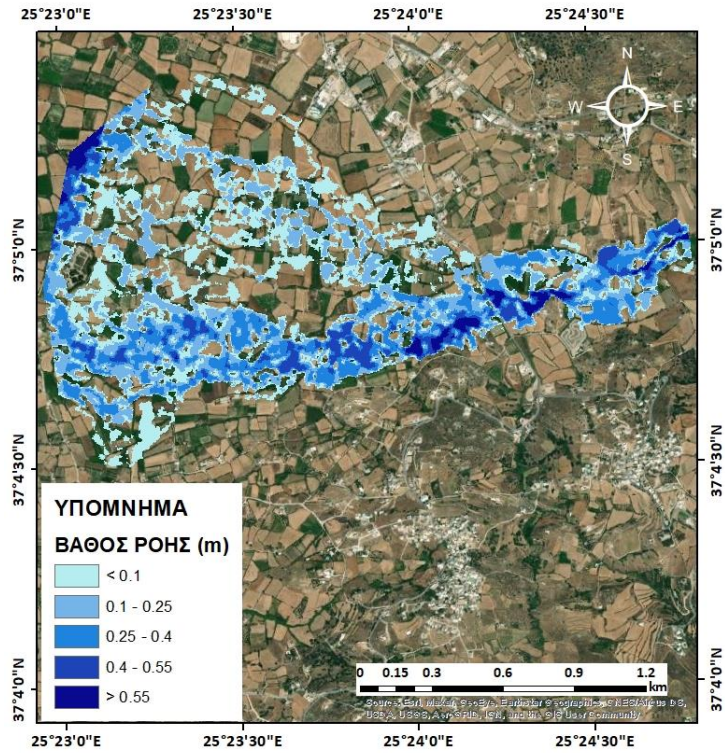
Σχήμα 5.21: Σημεία τοποθέτησης λιμνών συγκράτησης εντός της 1^{ης} υπολεκάνης εκατέρωθεν του κυρίου υδατορέματος

Στο παρακάτω Σχήμα 5.22 φαίνεται το προσεγγιστικό νέο πλημμυρογράφημα. Το εμβαδόν που περικλείεται υπό της συνολικής απορροής (Total Flow) ισοδυναμεί με τον συνολικό πλημμυρικό όγκο. Μεταβάλλοντας τις επιμέρους παροχές με στόχο τον νέο όγκο που υπολογίστηκε προηγουμένως σχηματίζεται η νέα απορροή της υπολεκάνης. Παροχή αιχμής του νέου πλημμυρογραφήματος υπολογίζεται 81 m³/s. Για λόγους σύγκρισης στο Σχήμα 5.22 εμφανίζεται το πλημμυρογράφημα που είχε προκύψει από την υδρολογική ανάλυση με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών (κεφάλαιο 4.1) όπου η παροχή αιχμής είχε προκύψει 90 m³/s.

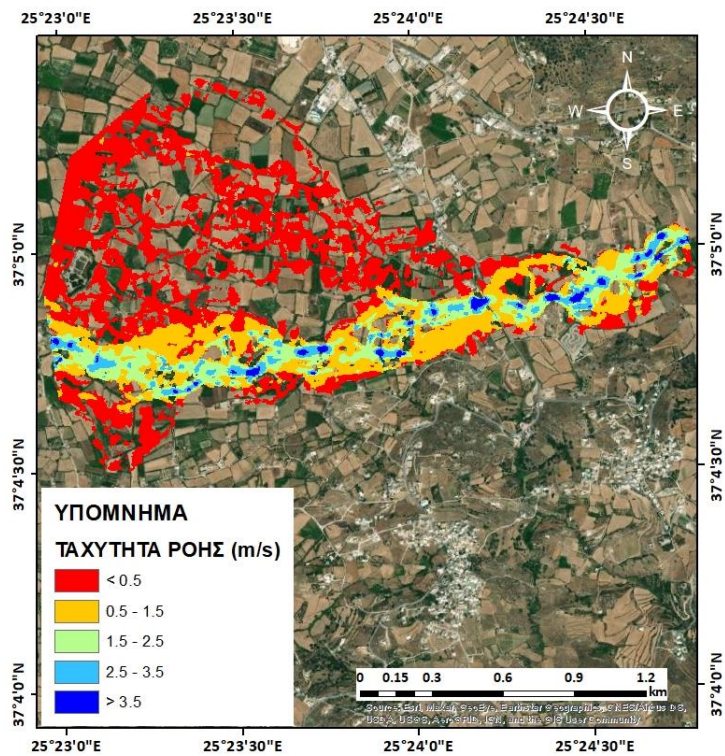


Σχήμα 5.22: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της 1^{ης} υπολεκάνης πριν και μετά της δημιουργία λιμνών συγκράτησης

Τα άνωθεν πλημμυρογράφημα εισάγεται ως δεδομένο εισόδου στο λογισμικό HEC-RAS με σκοπό την ολοκλήρωση της υδραυλικής προσομοίωσης του τμήματος γης κατάντη της υπολεκάνης 1 μετά τη δημιουργία των λιμνών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.23 και 5.24. Τα νέα βάθη ροής που προέκυψαν είναι μερικά εκατοστά μικρότερα από αυτά που είχαν προκύψει πριν τη δημιουργία λιμνών συγκράτησης. Συγκεκριμένα, το μέγιστο βάθος που εμφανίζεται είναι 1.15 m, δηλαδή 5 cm μικρότερο. Το συγκεκριμένο σενάριο όσον αφορά στα βάθη και τις ταχύτητες ροής, σύμφωνα με τα παραπάνω, δείχνει να είναι λιγότερο αποτελεσματικό από το σενάριο της αλλαγής χρήσεων γης. Αντίστοιχα συμβαίνει και με τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης. Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα και των δύο σεναρίων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.2 για λόγους σύγκρισης.



Σχήμα 5.23: Μέγιστα βάθη πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 μετά την αλλαγή χρήσεων γης



Σχήμα 5.24: Μέγιστες ταχύτητες πεδίου πλημμύρας κατόντη της υπολεκάνης 1 μετά την τοποθέτηση λιμνών συγκράτησης

Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα και των δύο σεναρίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα για λόγους σύγκρισης

ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 1	Qαιχμ(m ³ /s)	ταιχμ (hr)	Νπλημ (hm ³)
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών	90	10	2.7
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών μετά την αλλαγή χρήσεων γης	69.1	13	2.28
ΜΥΓ μέσω ισόχρονων καμπυλών μετά την τοποθέτηση retention ponds	81	13	2.5

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη

Στα πλαίσια της παρούσα διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην νήσο Νάξος και κυριότερα στο δυτικό τμήμα της. Η περιοχή που μελετάται αποτελείται από τρεις λεκάνες απορροής οι οποίες είναι και οι μεγαλύτερες που εμφανίζονται στο νησί. Με κριτήριο λοιπόν το μέγεθος των λεκανών του νησιού, την επικινδυνότητα πλημμυρών λόγω ύπαρξης αστικών ιστών, αλλά και ήδη υπάρχουσα μελέτη του γρακα επιλέχθηκαν τα σημεία ενδιαφέροντος κατάντη των οποίων θα εκτιμηθεί ο πλημμυρικός κίνδυνος. Για τις υπολεκάνες που απορρέουν στα σημεία προσομοίωσης υπολογίζεται η καταιγίδα σχεδιασμού με δεδομένα από τις όμβριες καμπύλες του σταθμού της Νάξου όπου ήταν ο κοντινότερος στις υπολεκάνες που μελετήθηκαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Επομένως, υπολογίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού για βροχόπτωση διάρκειας 6 ωρών και περιόδου επαναφοράς $T=100$ ετών και για τρεις υπολεκάνες, το οποίο στη συνέχεια εισάγεται στο HEC-HMS. Στο μοντέλο αυτό εφαρμόζονται τρεις μέθοδοι μετασχηματισμού βροχής σε απορροή σύμφωνα με τη θεωρία του ΜΥΓ (Συνθετικό ΜΥΓ κατά Snyder, Αδιάστατο ΜΥΓ κατά SCS, και ΜΥΓ μέσω Ισόχρονων Καμπυλών). Επακολούθως, υπολογίζεται το πλημμυρογράφημα για κάθε εξεταζόμενη υπολεκάνη και για κάθε μια από τις τρεις μεθόδους το οποίο με τη σειρά του χρησιμοποιείται ως δεδομένο εισόδου στο HEC-RAS, όπου γίνεται υδραυλική προσομοίωση τμήματος ποταμού κατάντη της εκάστοτε λεκάνης και της θέσης όπου υπολογίστηκε το πλημμυρογράφημα μέσω της υδρολογικής ανάλυσης. Εν κατακλείδι, δεδομένου ότι στα αποτελέσματα των υδραυλικών προσομοιώσεων το νερό πλησιάζει αρκετά τόσο τον αστικό ιστό όσο και καλλιέργειες προτείνονται δύο σενάρια φυσικών λύσεων αντιμετώπισης πλημμυρικών γεγονότων.

6.2 Γενικά Συμπεράσματα

Από τη διερεύνηση πλημμυρικής διακινδύνευσης του νησιού εξάγονται τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Η γεωμορφολογική ανάλυση κάνει αντιληπτό ότι η Νάξος αποτελείται από ένα σχετικά πυκνό υδρογραφικό δίκτυο και ειδικά στο κεντρικό δυτικό τμήμα του νησιού όπου εστιάζει η παρούσα μελέτη διακρίνεται από μικρή αποθηκευτικότητα. Ο συνδυασμός των δύο άνω χαρακτηριστικών καθώς και η ύπαρξη οικισμών και καλλιεργειών στις όχθες των ποταμών προκαλούν κατά τόπου ανησυχίες για καταστροφές λόγω πλημμυρικών γεγονότων.
- Τα μοντέλα HEC-HMS και HEC-RAS μέσω της υδρολογικής ανάλυσης και της υδραυλικής προσομοίωσης, έχουν δημιουργήσει πλέον ένα αναβαθμισμένο επίπεδο μελέτης πλημμυρικών γεγονότων. Μέσω αυτών καθίσταται πλέον

εφικτή η εξαγωγή χαρτών επικινδυνότητα πλημμύρας τόσο για προυπάρχουσα γεγονότα βροχοπτώσεων όσο και συνθετικά.

- Οι φυσικές λύσεις αποτελούν ισχυρό τρόπο αντιμετώπισης φαινομένων πλημμύρας και εμφανίζονται ολοένα και συχνότερα στις μέρες μας. Ωστόσο η περεταίρω μελέτη στις NBS κρίνεται απαραίτητη καθώς τα σε βάθος χρόνου αποτελέσματα των λύσεων συχνά εξαρτώνται από τη φύση και θεωρούνται προς το παρόν μη ελέγξιμα και σίγουρα όχι δεδομένα.
- Η εκτεταμένη παρουσία δασών σε μια περιοχή επιδρά θετικά στη μείωση της επιφανειακής απορροής αποθηκεύοντας μεγάλες ποσότητες νερού στον εδαφικό μανδύα.
- Οι χρήσεις γης διαδραματίζουν καταλυτικό ρόλο στον τελικό χαρτογραφικό αποτέλεσμα διότι συνδέονται με πολλαπλούς τρόπους με την πλημμυρική διακινδύνευση, επηρεάζοντας και το κριτήριο της αδιαπερατότητας. Επιπλέον, από το χάρτη χρήσεων γης του Corine εξάγεται πληροφορία η οποία εφαρμόζεται και στο στάδιο της υδραυλικής ανάλυσης, αντιστοιχώντας τις κατηγορίες με τιμές συντελεστή Manning. Προκύπτει ότι κάποια ενδεχόμενη αλλαγή στις χρήσεις γης επηρεάζει σημαντικά την πλημμυρική απορροή και τη διακύμανσή της στην περιοχή μελέτης.
- Η δημιουργία μικρών λιμνών συγκράτησης κατά μήκος του υδατορέματος εντός της λεκάνης απορροής παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της πλημμυρικής παροχής και πλημμυρικού όγκου στην έξοδο της λεκάνης. Συμμετέχουν έτσι στη μείωση πιθανότητας απειλής της κατάντη περιοχής από πλημμύρα έπειτα από ισχυρές βροχοπτώσεις.

6.3 Ειδικά Συμπεράσματα

Η μελέτη που διεξήχθη στην παρούσα εργασία στην Νάξο οδηγεί στα παρακάτω ειδικά συμπεράσματα:

- Η μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή από τις τρεις εξεταζόμενες υπολεκάνες εντοπίζεται στην 2^η υπολεκάνη στο νότιο τμήμα του νησιού και συγκεκριμένα μέσα από το πλημμυρογράφημα των ισόχρονων καμπυλών υπολογίζεται παροχή αιχμής 96 m³/s. Ο πλημμυρικός όγκος της υπολογίστηκε 2.5 hm³. Αυτό οφείλεται τόσο στις χρήσεις γης όσο και στο γεγονός ότι ανατολικά της συγκεκριμένης υπολεκάνης βρίσκεται και το υψηλότερο τμήμα του νησιού δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερες κλίσεις εδάφους. Ο μεγαλύτερος πλημμυρικός όγκος ωστόσο ισούται σύμφωνα με το πλημμυρογράφημα με 2.7 hm³ και εντοπίζεται στη 1^η υπολεκάνη στο κεντρικό τμήμα του νησιού καθώς άλλωστε αυτή ήταν και η μεγαλύτερη σε έκταση υπολεκάνη. Η πλημμυρική αιχμή της 1^{ης} υπολεκάνης ήταν 90 m³/s πάλι με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών. Η 3^η υπολεκάνη παρουσίασε αποτελέσματα μικρότερα και αυτό οφείλεται κυρίως στην μικρότερη έκτασή της. Συγκεκριμένα

προέκυψε από την υδρολογική ανάλυση 1.4 hm^3 πλημμυρικός όγκος και $76 \text{ m}^3/\text{s}$ παροχή αιχμής.

- Η διαφορά της παροχής αιχμής μεταξύ των μεθόδων μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή κρίνεται ελαφρώς μεγάλη και οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η μέθοδος κατά Snyder αφορά κυρίως λεκάνες μεγαλύτερης εκτάσεως και επομένως τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν είναι εντελώς ρεαλιστικά για τη συγκεκριμένη μέθοδο.
- Σε ότι αφορά την υδραυλική προσομοίωση, κατάντη και των τριών υπολεκάνων ο ποταμός πλησιάζει ανησυχητικά κατοικίες καθιστώντας τον κίνδυνο εφικτό. Ωστόσο οι μεγαλύτερες τιμές σε βάθη και ταχύτητες παρουσιάζονται στις υπολεκάνες 1 και 2. Ειδικότερα κατάντη της υπολεκάνης 1 όπου πρόκειται για πυκνοκατοικημένη περιοχή για τα δεδομένα του νησιού εμφανίζονται βάθη ροής ακόμη και άνω του 1 m και ταχύτητες ακόμη και άνω των 3 m/s . Κατάντη της υπολεκάνης 2 παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες (έως 6 m/s) και μέγιστα βάθη έως και 3 m και οφείλονται στις μεγάλες κλίσεις της υπολεκάνης όπως προαναφέρθηκε. Στη περιοχή αυτή δεν υπάρχουν πολλές κατοικίες ωστόσο κάποιες ξενοδοχειακές μονάδες φαίνονται στην υδραυλική προσομοίωση να καλύπτονται από τον ποταμό. Τέλος, κατάντη της υπολεκάνης 3 όντας η λιγότερη ανησυχητική περιοχή, καθώς δεν καταπατάται αστικός ιστός από το πλημμυρικό πεδίο, εμφανίζονται μέγιστα βάθη αρκετά μεγάλα και συγκεκριμένα έως και άνω των 3m και ταχύτητες ροής ακόμη και άνω των 3 m/s
- Η αλλαγή των χρήσεων γης ως φυσική λύση φαίνεται να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης κάτι το οποίο είναι πολύ θετικό στον επιστημονικό τομέα και δικαίως διεκδικεί περαιτέρω μελέτη. Συγκεκριμένα, στη 1^η υπολεκάνη η παροχή αιχμής μειώθηκε στα $69.1 \text{ m}^3/\text{s}$ και ο πλημμυρικός όγκος 2.28 hm^3 έναντι των αρχικών τιμών $90 \text{ m}^3/\text{s}$ (30% μείωση) και 2.7 hm^3 (16% μείωση) αντίστοιχα. Στη υπολεκάνη 2 παροχή αιχμής μειώθηκε στα $64 \text{ m}^3/\text{s}$ και ο πλημμυρικός όγκος 2 hm^3 έναντι των αρχικών τιμών $97 \text{ m}^3/\text{s}$ (34% μείωση) και 2.5 hm^3 (20% μείωση) αντίστοιχα. Τέλος, για την υπολεκάνη 3 οι νέες τιμές πλημμυρικού όγκου και παροχής αιχμής του πλημμυρογράφηματος, μετά τις κατά τόπους αλλαγές χρήσεων γης, υπολογίστηκαν $49.5 \text{ m}^3/\text{s}$ και 1.1 hm^3 έναντι $76 \text{ m}^3/\text{s}$ (34% μείωση) και 1.4 hm^3 (21% μείωση).
- Η δημιουργία λιμνών συγκράτησης μέσω χωματουργικών εργασιών επηρέασε επίσης θετικά στην μείωση του πλημμυρικού όγκου και της παροχής αιχμής. Αναλυτικότερα οι είκοσι λίμνες που δημιουργήθηκαν μέσης εκτάσεως 5000 m^3 μείωσαν τη παροχή αιχμής στα $81 \text{ m}^3/\text{s}$ όταν η αρχική τιμή της ήταν τα $90 \text{ m}^3/\text{s}$ και τον πλημμυρικό όγκο στα 2.5 hm^3 όταν η αρχικά υπολογισμένη τιμή του ήταν τα 2.7 hm^3

6.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας εντοπιστήκαν τα έξης ζητήματα τα οποία είναι άξια περαιτέρω έρευνας και μπορούν να βελτιώσουν έμμεσα την αντιπλημμυρική προστασία του νησιού:

- Μελέτη διάβρωσης και στερεομεταφοράς από τη ροή του νερού κατά μήκος της κοίτης του ποταμού ή σε μια απότομη πλαγιά με τη μορφή κατολισθήσεων. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει και πρόταση τρόπων αντιμετώπισης με τη χρήση σαρζανετίων (συρματοκιβώτια) ή με άλλες μεθόδους αντιμετώπισης διάβρωσης.
- Όσον αφορά τη βροχή σχεδιασμού, στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας προτείνεται η διεξαγωγή υδραυλικών προσομοιώσεων για συγκεκριμένα ιστορικά επεισόδια βροχής, η οποία θα βοηθούσε την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας, ειδικότερα στην περίπτωση όπου υπάρχουν δορυφορικές εικόνες για τη σύγκριση των τελικών χαρτογραφικών προϊόντων.
- Βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα κάθε σεναρίου εφαρμογής φυσικών λύσεων για την αντιμετώπιση πλημμυρών. Συγκεκριμένα, η επιρροή της εδαφικής διάβρωσης στην αποτελεσματικότητα των λιμνών συγκράτησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barcelo, D. (2017). The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of the Total Environmen*.

Barcelo, D. (2019). Engaging stakeholders in the assessment of NBS effectiveness in flood. *Science of the Total Environment*.

Brown, A. E. (2004). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*.

Bultot, F. D. (1990). SIMULATION OF LAND USE CHANGES AND IMPACTS ON THE WARE BALANCE. *journal of hydrology*.

Felix Naef, S. S. (n.d.). *Journal of Hydrology* .

Ferk, M. (2020). Management of small retention ponds and their impact on flood hazard prevention in the Slovenske Gorice Hills.

I.M. Faisal . Non-structural flood mitigation measures for Dhaka City

McCuen R.H. (1998) Hydrologic Analysis and Design, 2nd Edition

MULLER, M. (2015). Built infrastructure is essential.

Rogger, M. (2017). Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research.

SCS, U., 1972. National engineering handbook. Hydrology Section, 4

Sherman L.K. (1932) Streamflow from Rainfall by the Unit-graph Method, Engineering News Record, 108.

VerstraetenJen, G. (χ.χ.). The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium. *GEOMORPHOLOGY*.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρικοπούλου. (2019). *Ολοκληρωμένη προσέγγιση στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου –Η περίπτωση του Πηνειού ποταμού.*

Αναστάσιος Γ. Μούκος – Ιωάννης Γ. Παρασκευάς

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ HEC-HMS, HEC-RAS ΚΑΙ ΓΣΠ

Βασίλειος Γ. Γκουτζαμάνης 2012. Η μεταβολή των κλιματικών δεικτών στη Νάξο και τα Ιωάννινα

Γαλανού, Ρ. (1999). Η ανάλυση των κύριων συνιστωσών στην οριοθέτηση λιθολογικών ενωτήτων και στην αναγνώριση γεωλογικών δομών της νήσου Νάξου με τη χρήση πολυφασματικών TM εικόνων Landsat.

ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, Ν. (2003). ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΝΑΞΟ, ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ GIS.

ΛΙΟΦΑΓΟΥ, Δ. (2005). Η ΠΑΤΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΝΑΞΟ.

Πολυκρέτη, Ν. (2011). *“Μελέτη πλημμυρικού κινδύνου με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Εφαρμογή στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος Παρατρέχος ή Περίτσι, στη Νήσο Νάξο.*

Τσιτρούλης. (2015). *ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ HEC-RAS.*

ΕΥΘΥΜΙΑ Δ. ΣΤΑΘΗ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ ΣΕ ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ Ν. ΑΙΓΑΙΟΥ

Κουτσογιάννης, Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999. Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Λύσεις Βασισμένες στην Φύση Nature-Based Solutions (NBS) ΟΔΗΓΟΣ ΓΙΑ ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ, 2020

Μιμίκου Μ. Α. & Μπαλτάς Ε., 2002. Τεχνική Υδρολογία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, 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.

Μαρίνα Δεβελέκου, Αθήνα Ιούλιος 2020, ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟ .

Μπαλτάς, Ε., και Μαμάσης, Ν., 2009. Υδρογραφήματα – Διόδευση – Στερεοπαροχή, Εκπαιδευτικό Υλικό Μαθήματος Τεχνική Υδρολογία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα

Μπαλτάς Ε., & Μιμίκου Μ. Σύγκριση Μοντέλων Βροχής - Απορροής με Βάση τη Χωρική Κατανομή της Βροχής. Στο Υδροτεχνικά ΕΥΕ, Τόμος 9

Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.
Ενσωμάτωση στο εθνικό δίκαιο σύμφωνα με την τροποποίηση ΚΥΑ 177772/924/2017
(ΦΕΚ 2140 Β'/20)

ΕΘΙΓΜΕ 1973, γεωλογικός χάρτης Νάξου, κλίμακας 1:500000

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

climatechampions.unfccc.int Τελευταία προσπέλαση: 26/10/2022

floods.ypeka.gr, Τελευταία προσπέλαση: 24/10/2022

geodata.gov.gr, Τελευταία προσπέλαση: 24/10/2022

hnms.gr, Τελευταία προσπέλαση: 25/10/2022

land.copernicus.eu/acl_users, Τελευταία προσπέλαση: 20/10/2022

pro.arcgis.com, Τελευταία προσπέλαση: 26/10/2022

statistics.gr, Τελευταία προσπέλαση: 5/10/2022

ΜΕΤΕΟ, ημερομηνία προσπέλασης: 05/10/2022

Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, ημερομηνία προσπέλασης: 06/10/2022