



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Εφαρμογή NBS (φυσικών λύσεων) για μείωση
του πλημμυρικού κινδύνου στο νησί της
Λευκάδας



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΠΑΛΤΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|--|--------------|
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ | I |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | IV |
| EXTENDED ABSTRACT | V |
| Thesis Structure | vi |
| Introduction | vi |
| Study Area | vii |
| Hydrological Analysis | ix |
| Climate Change | xi |
| Natural Based Solutions | xii |
| Precipitation Scenarios - Results | xv |
| Conclusions | xxxii |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 0 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 Αντικείμενο της εργασίας | 1 |
| 1.2 Ορισμός εννοιών | 2 |
| 1.2.1 Γενικές πληροφορίες | 2 |
| 1.2.2 Υδρολογικός κύκλος | 2 |
| 1.2.3 Υδρολογικό ισοζύγιο | 3 |
| 1.3 Πλημμύρες | 4 |
| 1.3.1 Γενικά | 4 |
| 1.3.2 Αιτίες πλημμύρων | 5 |
| 1.3.3 Αντιμετώπιση πλημμύρων | 7 |
| 1.4 Θεσμικό πλαίσιο υδάτων | 8 |
| 1.4.1 Οδηγία 2000/60/ΕΚ | 9 |
| 1.4.2 Οδηγία 2007/60/ΕΚ | 9 |
| 1.4.3 Οδηγία για τη κλιματική αλλαγή και τις Natural Based Solutions | 10 |
| 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ | 12 |
| 2.1 Γεωγραφική θέση | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2 Χρήσεις γης | 13 |
| 2.3 Γεωμορφολογία εδάφους | 15 |
| 2.4 Υδρολογία | 17 |
| 2.4.1 Πλημμυρική επικινδυνότητα της νήσου | 20 |
| 2.5 Κλιματικά και βιοκλιματικά χαρακτηριστικά | 21 |
| 3 . ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ | 25 |
| 3.1 Οπτικοποίηση συσσώρευσης υδάτινων μαζών με τη χρήση του ΕΟ Browser. | 25 |
| 3.1.1 Εξαγωγή αποτελεσμάτων | 40 |
| 3.2 Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (ArcGIS) | 42 |
| 3.2.1 Εισαγωγή δεδομένων | 43 |
| 3.2.2 Επεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους | 45 |
| 3.2.3 Επεξήγηση διαδικασίας | 47 |
| 3.2.4 Ορισμός τοπογραφικών χαρακτηριστικών των υπολεκανών-δεδομένα Hec-HMS | 54 |
| 4 . ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ | 60 |
| 4.1 Το λογισμικό HEC-HMS | 60 |
| 4.2 Διάγραμμα ροής ανάλυσης δεδομένων | 60 |
| 4.3 Δημιουργία μοντέλου λεκάνης απορροής (Basin Model) | 61 |
| 4.4 Υπολογισμός Απωλειών | 63 |
| 4.4.1 Εκτίμηση του υδρολογικού περισεύματος βροχής με τη μέθοδο SCS | 64 |
| 4.4.2 Εισαγωγή απωλειών στο HMS | 71 |
| 4.5 Υπολογισμός Άμεσης απορροής | 71 |
| 4.5.1 Μοναδιαίο Υδρογράφημα | 71 |
| 4.5.2 Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder | 73 |
| 4.5.3 Εισαγωγή μεταβλητών κατά Snyder στο HEC-HMS | 75 |
| 4.6 Υπολογισμός έντασης βροχόπτωσης λεκάνης απορροής | 75 |
| 4.6.1 Όμβριες καμπύλες | 75 |
| 4.6.2 Χρόνος συρροής κατά Giandotti- Υπολογισμός διάρκειας βροχής | 76 |
| 4.6.3 Υπολογισμός των συντελεστών της όμβριας καμπύλης: Γενική Ακραίων Τιμών 5 παραμέτρων | 77 |
| 4.6.4 Επιλογή περιόδου επαναφοράς T | 79 |
| 4.7 Χρονική κατανομή βροχόπτωσης | 80 |
| 4.7.1 Μέθοδος εναλλασσόμενων υψών βροχόπτωσης | 80 |
| 4.7.2 Δημιουργία υετογραφημάτων σχεδιασμού βροχόπτωσης υπολεκανών | 81 |
| 4.7.3 Επιρροή κλιματικής αλλαγής – Δημιουργία καταιγίδων σχεδιασμού | 85 |

| | |
|--|------------|
| 4.8 Διαδικασία περάτωσης προσομοιώσεων σε περιβάλλον HEC - HMS | 88 |
| 5. ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ HEC-HMS | 93 |
| 5.1 Σύγκριση σεναρίου βάσης- 2 ^ο σενάριο | 95 |
| 5.2 Σύγκριση 3 ^{ου} σεναρίου - 4 ^ο σενάριο (Climate change scenario 1) | 98 |
| 5.3 Σύγκριση 3 ^{ου} σεναρίου- 5 ^ο σενάριο (Climate change scenario 2) | 101 |
| 6. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΒΑΣΕΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ | 105 |
| 6.1 Γενικά | 105 |
| 6.2 Αλλαγή χρήσεων γης | 105 |
| 6.2.1 Διαδικασία προσέγγισης | 105 |
| 6.2.2 Δημιουργία και σύγκριση σεναρίων | 108 |
| 6.3 Σύγκριση Σεναρίου βάσης (d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II)- 6 ^ο σενάριο (Nature Based Solution 1) | 108 |
| 6.4 Σύγκριση 3 ^{ου} σεναρίου (d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, CN II)- 7 ^ο σενάριο (d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, τροποποιημένος CN II) | 111 |
| 6.3 Λίμνες συγκράτησης υδάτινων όγκων (retention ponds) | 114 |
| 6.3.1 Διαδικασία προσέγγισης | 115 |
| 6.3.2 Δημιουργία και σύγκριση σεναρίων | 120 |
| 6.4 Αποτελεσματικότερη φυσική λύση | 124 |
| 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 129 |
| 7.1 Σύνοψη | 129 |
| 7.2 Γενικά συμπεράσματα | 129 |
| 7.3 Ειδικά συμπεράσματα | 130 |
| 7.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα | 131 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 132 |
| Ελληνική | 132 |
| Διεθνής | 133 |
| Διαδικτυακές παραπομπές | 133 |

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της λήψης Προπτυχιακού Διπλώματος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Κατά την πορεία της εκπόνησης της μελέτης, προέκυψαν δυσκολίες και προβλήματα τα οποία αντιμετωπίστηκαν με τη διαρκή επίβλεψη και τη συνεχή καθοδήγηση του επιβλέποντα καθηγητή κου Μπαλτά Ευάγγελου, καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. Ειδικότερα, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω αρχικά για τις γνώσεις που μου προσέφερε με τις διαλέξεις του στα προπτυχιακά μαθήματα προηγούμενων εξαμήνων, εφοδιάζοντάς με ώστε να φέρω σε πέρας τη διπλωματική εργασία, και έπειτα για την αποδοχή μου προκειμένου να εκπονήσω ένα θέμα ανατεθειμένο από εκείνον. Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή κ. Ευστρατιάδη Ανδρέα και τον καθηγητή κ.Τσιχριντζή Βασίλειο, οι οποίοι αποτέλεσαν την επιτροπή εξέτασης της υφιστάμενης διπλωματικής.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω το θερμό ευχαριστώ μου στην υποψήφια διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π κα Αιμιλία-Παναγιώτα Θεοχάρη, η οποία αφιέρωσε άπλετο χρόνο και υποστήριξη σε πρακτικά θέματα της μελέτης. Αμφότεροι συνέβαλλαν τα μέγιστα για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Εκ βάθης καρδίας, θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη διαρκή ενθάρρυνση και συμπαράσταση όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών, ώστε να γίνω ένας τεχνολογικά άρτιος, εγγράματος πολίτης και πετυχημένος μηχανικός.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους συμφοιτητές μου για την κοινή πορεία και ανταλλαγή ιδεών, γνώσεων και απόψεων καθ'όλη την προπτυχιακή διάρκεια σπουδών καθώς επίσης συνολικά στο τμήμα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών.

EXTENDED ABSTRACT

It's a fact that the exposure to floods due to climate change, human activity and interventions in the natural environment, occurs with greater frequency and brings about more unfavorable consequences. The immediate implementation of flood risk management is therefore deemed necessary, and includes strategies related to prevention, interception of a flood during it and restoration after the end of the flood event.

As part of the work, an attempt was made to reduce the risk of flooding on the island of Lefkada by implementing solutions harmonized with nature, also known as Nature Based Solutions. Regarding the natural solutions, possible changes in land use or the creation of lake systems (retention ponds) were explored. Given the rich hydrographic network of the island, which delimits a large number of basins, the study concerns three of them: the Vasiliki subbasin, the border of Kalligoni with the City of Lefkada and the Nidri subbasin. The subbasins were selected, based on the frequency of accumulation of water masses as it emerged from the visualization in an EO Browser environment (Earth Observation Browser) about these settlements, because of the rich hydrographic network that ended up in them, then after testimonies of permanent residents about the occurrence of floods especially in the area of Vasiliki and finally in terms of the influx of people both in winter months as well as summers.

The hydrological response of the subbasins was performed using the HEC-HMS software. Lacking of data requested by the Technical Service of Lefkada, a synthesis of daily rainfall episodes was created using the Snyder Composite Unit Hydrograph and the active rainfall method of Alternating Rain Heights. Curve Numbers were also calculated as a function of land uses and geological formations of the study area. For the purpose of this study, the digital terrain model was used, which was processed through ArcGIS 10.5.1 in order to delineate the subbasins and extract the necessary geomorphological features for the simulations.

Given the above data, a hydrological simulation of 8 scenarios with design storms was carried out for each subbasin, scenarios that were obtained by changing parameters and considering the influence of climate change. Finally, the hydrographs of the total outflow of the subbasins were formed and compared.

Thesis Structure

The thesis is divided around the following 7 chapters:

Chapter 1: Introduction

Chapter 2: Study area

Chapter 3: Hydrological analysis

Chapter 4: Climate Change

Chapter 5: Natural Based Solutions

Chapter 6: Precipitation scenarios - Results

Chapter 7: Conclusions

Introduction

A flood is defined as a natural cause due to which areas that are normally dry, are getting covered by amounts of water for a certain period of time. They are divided into two types of categories:

- Flash floods. They are usually caused due to very heavy local rainfall and occur in small catchment areas where the runoff time is very short.
- Slow response floods. This type occurs in large drainage basins where the time that water needs to reach the outlet of the basin, can even be several days (Baltas, 2021).

The occurrence of floods is and will be an inevitable phenomenon with possible consequences for the safety of people, the destruction of infrastructure and crops and the disruption of the biodiversity of an ecosystem. Of course, the human factor with its interventions is the one that exacerbates the magnitude of the effects of a flood event.

As the issue of floods is of great importance, the European Commission and the European Council decided to create Water Framework Directives. The institutional framework that has been created involves Directive 2000/60/EC regarding the protection of surface, underground, transitional and coastal waters and Directive 2007/60/EC which provides for the flood risk assessment for each river basin, the determination of potentially high flood risk zones, and flood risk maps. Moreover, in recent years the European scientific community has turned its interest to Natural Based Solutions. In particular, the European Commission has already created an action program for the environment (Environment Action Program to 2030) since 2004, setting goals for the immediate and distant future regarding flood risk management harmonized with nature.

Study Area

The study area includes three subbasins, of which Vasiliki is located in the southern part, Nydri in the central part and that of the Kalligoni border with the city of Lefkada further north. In terms of land uses, most of the island is covered by heterogeneous agricultural lands and crop complexes with the crops mainly focusing on the production of olives, grapes and citrus fruits with a percentage that reaches 42%. Moreover, several areas of pastures can be distinguished, as after all, sheep and goat breeding contributes significantly to the island's economy, making up 32% of the land cover. Additionally, the island is also noted for its green coverage, with forests making up 25% of the land. Urban constructions are scattered with only 1% of the area. The development of the urban fabric is of course rapid since the island is a tourist attraction. A consequence of this is the increasing reconstruction of hotels, restaurants and other tourist infrastructure along the island's coastline. Finally, the presence of the industrial zone is minimal.

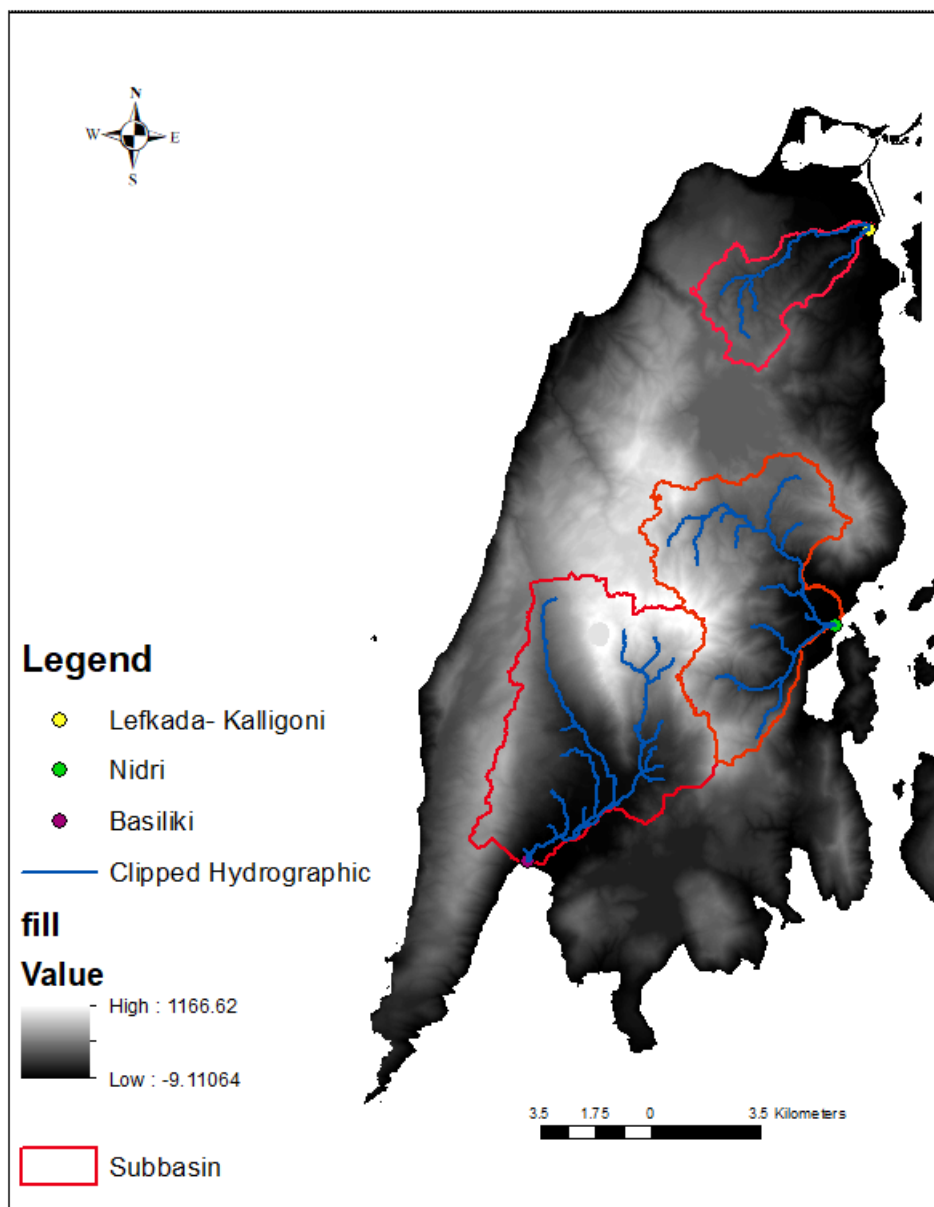


Figure 1. Study area of three subbasins in Lefkada island

Related to the basin of the island, a pilot approach is made to the areas that collect water masses after a rainfall episode using the EO Broser (Earth Observation Broser) educational version (Educational) tool which is available at no cost. This tool has been created by ESA (European Space Agency), which has developed a group of satellites called Sentinels for the European Copernicus program, enabling the common public to become an observer of the Earth.

In order to monitor the flood and drought in the study area, years 2021 and 2022 are selected. For each month of the year, satellite data are visualized considering less than 50% cloud cover. This percentage is deliberately chosen as an upper limit, because in events with greater cloud cover the reading of water masses is indistinguishable.

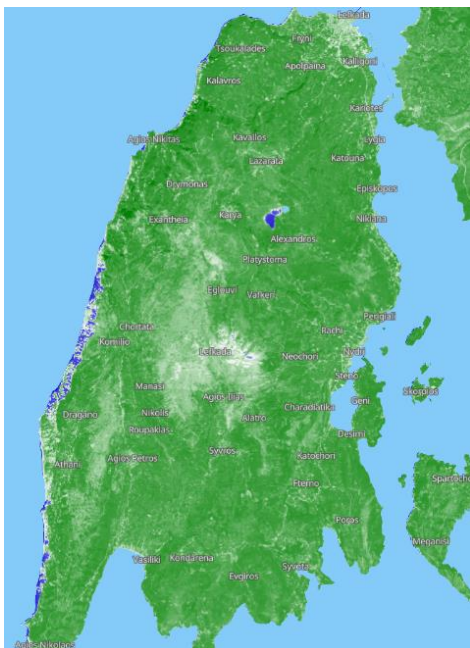


Figure 2. : Screenshot of the water visualization with 0.9% cloud cover (source: EO Browser)

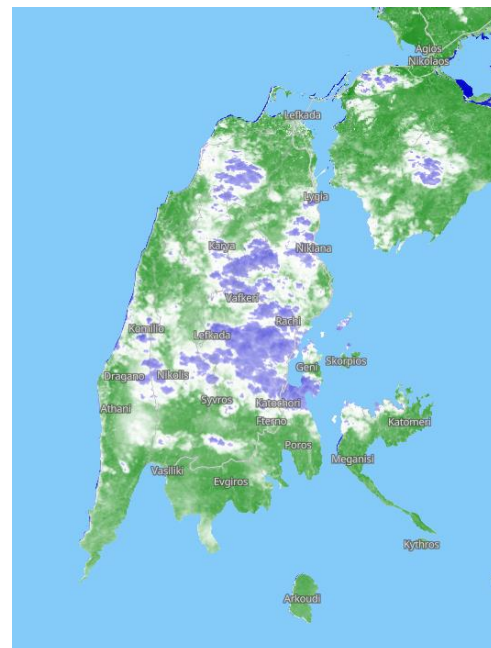


Figure 3. : Screenshot of the water visualization with 48.5% cloud cover (source: EO Browser)

As a result, areas which gather most of the time water masses according to the data observed through the Earth Observation Browser are presented to the table below. The record refers to the duration of 2 years (2021-2022).

Table 1: Settlements most frequently affected by floods, on the left in 2021, on the right in 2022 (Source: EO Broswer)

| Year 2021 | | Year 2022 | |
|-----------|----------------|-----------|-----------------|
| 1) | Alexandros | 1) | Alexandros |
| 2) | Exanthia | 2) | Vasiliki |
| 3) | Platistoma | 3) | City of Lefkada |
| 4) | Karia's plain | 4) | Karia's plain |
| 5) | Alatro | 5) | Poros |
| 6) | Porow | 6) | Platistoma |
| 7) | Vasiliki | 7) | Karia |
| 8) | Ammokabos | 8) | Agios Ilias |
| 9) | Nidri | 9) | Western coasts |
| 10) | Komilio | 10) | Katoxori |
| 11) | Nikiana | 11) | Dragano |
| 12) | Drimonas | 12) | Alatro |
| 13) | Mikros Gialos | 13) | Kodarena |
| 14) | Egkouvi | 14) | Eglouvi |
| 15) | Agios Ilias | | |
| 16) | Katoxori | | |
| 17) | Perigiali | | |
| 18) | Fterno | | |
| 19) | Tsoukalades | | |
| 20) | Mardoxori | | |
| 21) | Western coasts | | |

Hydrological Analysis

The first step to perform the simulation is based on the geomorphological features resulting from the processing of the digital terrain model (DEM) of Lefkada in GIS environment. On this file, a series of preprocessing commands are first applied, then following a number of spatial tools and finally commands related to characteristics of the subbasins. In this way, geomorphological data such as area, elevations and main watercourse length of each subbasin are extracted and presented at the table below.

Table 2: Subbasins' Characteristics

| Subbasin characteristics | Vasiliki Subbasin | Kalligoni-Lefkada Subbasin | Nidri Subbasin | Units |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|----------------|-----------------|
| Area(A): | 46.250 | 12.326 | 37.660 | km ² |
| Hmin: | 2.097 | 2.516 | 1.884 | m |
| Hmax: | 1166.623 | 542.889 | 1119.504 | m |
| Hmean: | 448.587 | 257.312 | 472.339 | m |

| | | | | |
|------------------------------|--------|--------|--------|----|
| Longest flow path(L): | 15.499 | 11.822 | 10.221 | km |
|------------------------------|--------|--------|--------|----|

The study of the subbasins is carried out with purpose of flood planning, so a period of 100 years was chosen. Another important element for the simulations, is the duration of the rainfall. For this reason, the Giandotti confluence time is calculated. The time is defined as the confluence time (t_c) and was about 3 hours for each subbasin, so a rain duration equal to 3 hours was considered. However, beyond the 3 hours, the rain duration is increased on a daily basis, so a second duration equal to 12 hours (half a day) occurs.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{mean} - H_{min}}}$$

Where,

t_c : Gathering time (hr)

A: surface in km^2

L: Longest flow path (km)

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

H_{min} : minimum watershed altitude (m)

For the assessment of the subbasins' flood graphs, the unit hydrograph is chosen among a multitude of methods. Flood charts depict runoff at the outlet of subbasins taking into account losses due to evaporation, seepage, and other processes. In order to estimate the time base of the hydrographs, a widely used model, the Snyder Synthetic Unit Hydrograph, is used, which was derived from analyzes of a large number of rainfall events in the Appalachian Mountains in the USA.

The method satisfactorily approximates the base time (T), the time delay (t_p), the peak power (Q_p) as well as the amplitudes W50 and W75 at time corresponding to 50% and 75% of the peak (Baltas, 2021). The above mentioned, can be calculated according to the equations below:

$$t_p = 0.75 C_t (LCA * L)^{0.3}$$

$$Q_p = C_p \frac{2.75A}{t_p}$$

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

To calculate the losses, the SCS method is applied. Its basic tool is called Curve Number (CN). It is a runoff coefficient used to estimate soil retention and takes values from 0-100. The values of for the three subbasins are shown in the table below:

Table 3: Curve Numbers of the three subbasins

| CN | Subbasins | | |
|-------|-----------|-------|------------------------|
| | Vasiliki | Nidri | Lefkada Town-Kalligoni |
| CN II | 78 | 76 | 75 |

Furthermore, in order to estimate a total amount of rain and divide it over time, it is deemed necessary to calculate the intensity of rain measured in mm/h. For this reason the rainfall curves from the station closest to the sub-basins in the Greek area of Palairos are used. The final equality used, is called 5-parameter General Extreme Values (Koutsogiannis, 1988):

$$i(d, T) = \frac{\lambda(T^\kappa - \psi)}{(1 + d/\theta)^\eta}$$

Where,

d: Rain duration (hr),

$\lambda, \kappa, \psi, \theta, \eta$: the 5 parameters

T: the recovery period (years).

The intensity of any precipitation is a dynamic phenomenon that changes over time. Therefore the estimation of flood graphs with the assumption that the intensity of the rain remains constant during a few hours is wrong. Various empirical methods are available for calculating the shape of the rain graph given the amount of rain and its duration. One such method which is also used in this work is the method of Alternating Rain Heights or Alternating Blocks. Regarding the course of the process, in the first phase the total rain height is calculated from the rain intensity through the rain curve, multiplied by the duration of the rain episode, via the equation below:

$$H_{total} (mm) = i * d$$

An important point is the definition of time step. About design storms with a duration of 12 hours, a time step equal to half an hour - 30 minutes is taken, while for a duration of rain equal to the confluence time of the subbasins, a time step equal to 1/10 of an hour - 6 minutes is chosen. This choice is made because with a small rain time duration and long time step the episode, study would not be representative.

Climate Change

Climate change is increasingly exacerbated mainly due to uncontrolled human activity. In fact, according to the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), it is estimated that by the end of the 21st century the Mediterranean countries will face an increase in minimum, maximum and average temperatures, especially in the summer months. The probability of precipitation is greatly reduced but at the same time the probability of occurrence of extreme intensity and duration of precipitation is increasing.

In this context, two design storms are created through the Alternating Rain Height method which are identical for all 3 subbasins. The central axis is the increase in the total amount of precipitation due to the occurrence of extreme rain. In the 1st scenario a 5% increase in the total amount of rain is considered, while in the 2nd scenario a 10% increase is applied. Rain duration is defined as the confluence time of the basins equal to 3 hours, while the return period corresponds to $T=100$ years for a flood.

Natural Based Solutions

For the prevention, mitigation and treatment of flood events, conventional "grey" solutions (dams, dikes and concrete flood walls) or "green" solutions (river diversions) are applied, the existence of which has a negative impact on the economic and environmental sectors. It is considered necessary to search for more natural treatment methods. This is where nature-based solutions, also known as NBS (Nature Based Solutions), appear with a multitude of advantages. According to UNEA (United Nations Environment Assembly), NBS are defined as actions aimed at the protection, management and restoration of aquatic ecosystems and maintaining biodiversity and ecosystem resilience.

Changing the land cover within the sub-basins is chosen as the first natural solution. The polygons of land uses that are not exploited by humans in all 3 sub-basins were identified in the GIS Corine file. More specifically, in areas that are characterized by sclerophyllous vegetation, sparsely vegetation, mixed forest, transitional woodland-shrub, land use is replaced with broad leaved forests. The new CN values are lower than the original, 70 versus 78 for the Vasiliki subbasin, 65 versus 75 for the Lefkada-Kalligoni subbasin and 69 versus 76 for Nydri.

As a second natural solution, the construction of retention ponds is proposed. These lakes can hold water for a long time providing other functions beyond simple water storage. The design of the retention ponds is such that they store the water that flows for 14 to 21 days, until it is drained naturally through the soil materials. Regarding the dimensioning of retention ponds, the central idea is that a system of ponds is constructed along the main flowpath on either side of it, on unexploited areas of land. The dimensioning of the retention ponds in the sub-basins is decided to be done for the worst scenarios of a return period of $T=100$ years, which leads to the largest flood peak. It is considered that this particular physical solution will bring about a 5% reduction in the total flood volume of the main watercourse of each sub-basin. A working depth of 2m is assumed for the structures, in order not to require excessive earthworks which are costly both at the ecosystem level and financially. This is how it is decided to build elliptical shaped lakes with a surface area of 3000 m².

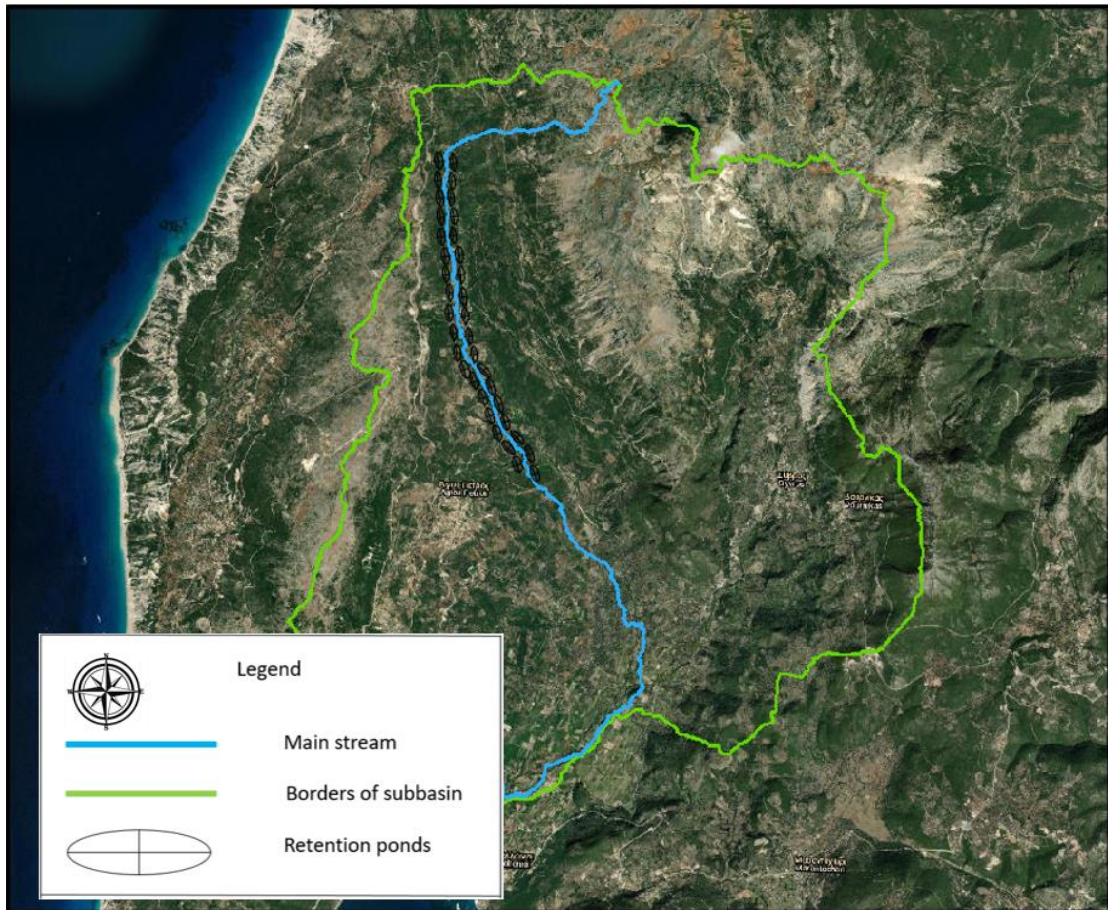
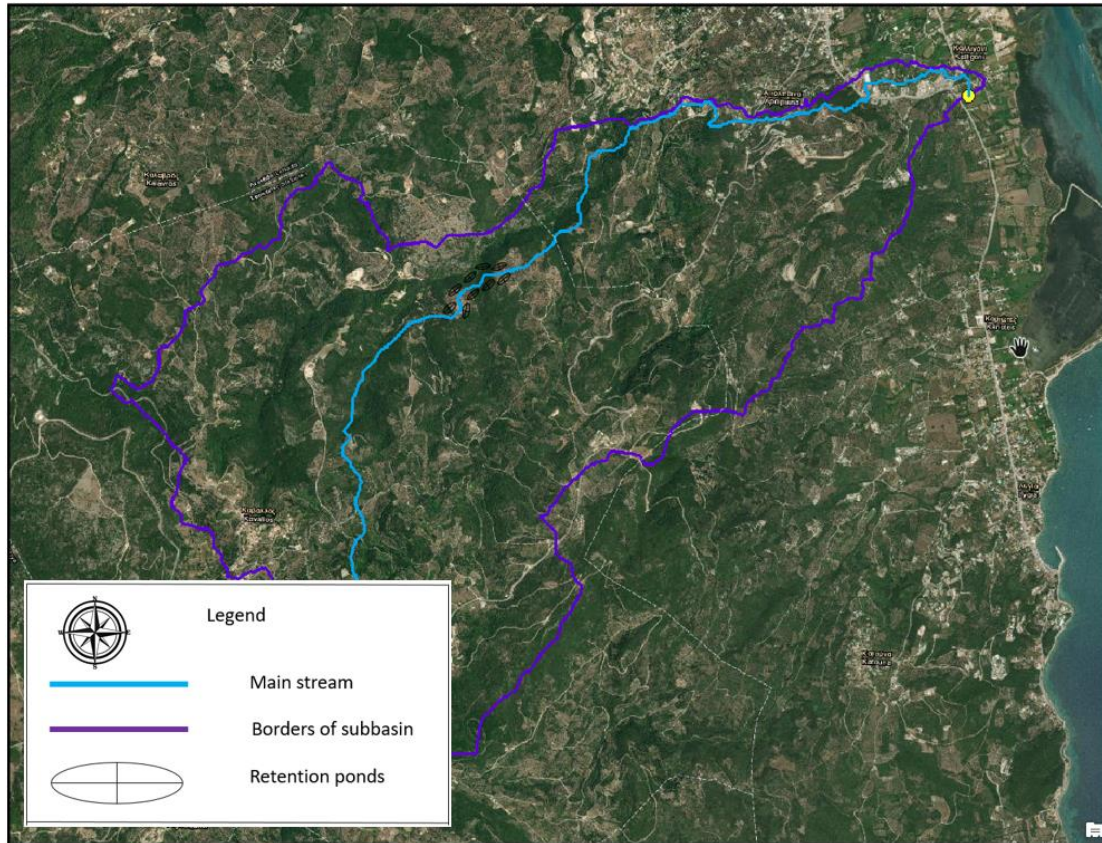


Figure 4. : System of retention ponds of Vasiliki subbasin (Source: Autocad, GIS)



Figure 5. : System of retention ponds of Nidri subbasin (Source: Autocad, GIS)



**Figure 6. : System of retention ponds of Kalligoni-Polis Lefkada subbasin
(Source: Autocad, GIS)**

Precipitation Scenarios - Results

Before running the simulations in the HMS software, 8 design storms are defined for each sub-basin:

- 1st scenario $d=12$ hours, $T=100$ years, CN II. This scenario is defined as a base script,
- 2nd scenario $d=12$ hours, $T=200$ years, CN II
- 3rd scenario $d=tc=3$ hours, $T=100$ years, CN II
- 4th scenario - Climate Change 1: $d=3$ hours, $T=100$ years, CN II, 5% upward change in the total amount of rain,
- 5th scenario - Climate Change 2: $d=3$ hours, $T=100$ years, CN II, 10% increase in total precipitation.
- 6th scenario NBS1 (Changed land uses): $d=12$ hours, $T=100$ years, reduced CN II
- 7th scenario: $d=3$ hours, $T=100$ years, reduced CN II
- 8th scenario NBS2 (Retention ponds): $d=12$ hours, $T=100$ years, CN II, reduced flood volume.

The following comparisons are made between design storms and they are presented with their results in each occasion:

- **Base scenario - 2nd scenario**

The output flood graphs of the sub-basins are listed below. Each diagram has 2 curves which correspond to the 2 scenarios that are compared each time.

The flood peak of the orange curve is lower with value of $103.8 \text{ m}^3/\text{s}$, while the blue has value $124.8 \text{ m}^3/\text{s}$. This also leads to a smaller flood volume for the orange curve, compared to the blue one.

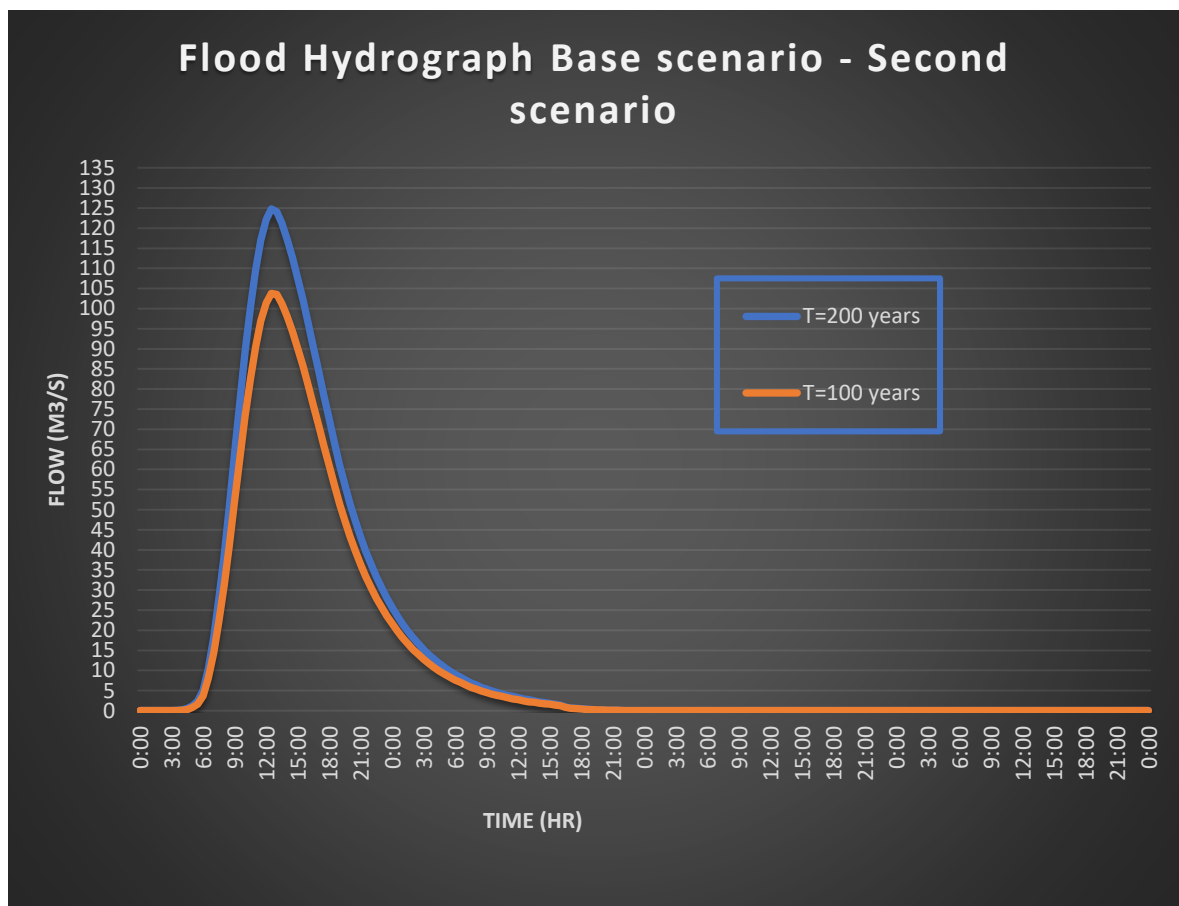


Figure 7. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for T=100 years and T=200 years, $t_c=12$ hours, CN

On the Nidri subbasin, the flood peak of the blue curve is higher with value of 120.3 m^3/s , while the orange has value 99.4 m^3/s . This also leads to a larger flood volume for the blue curve, compared to the orange one.

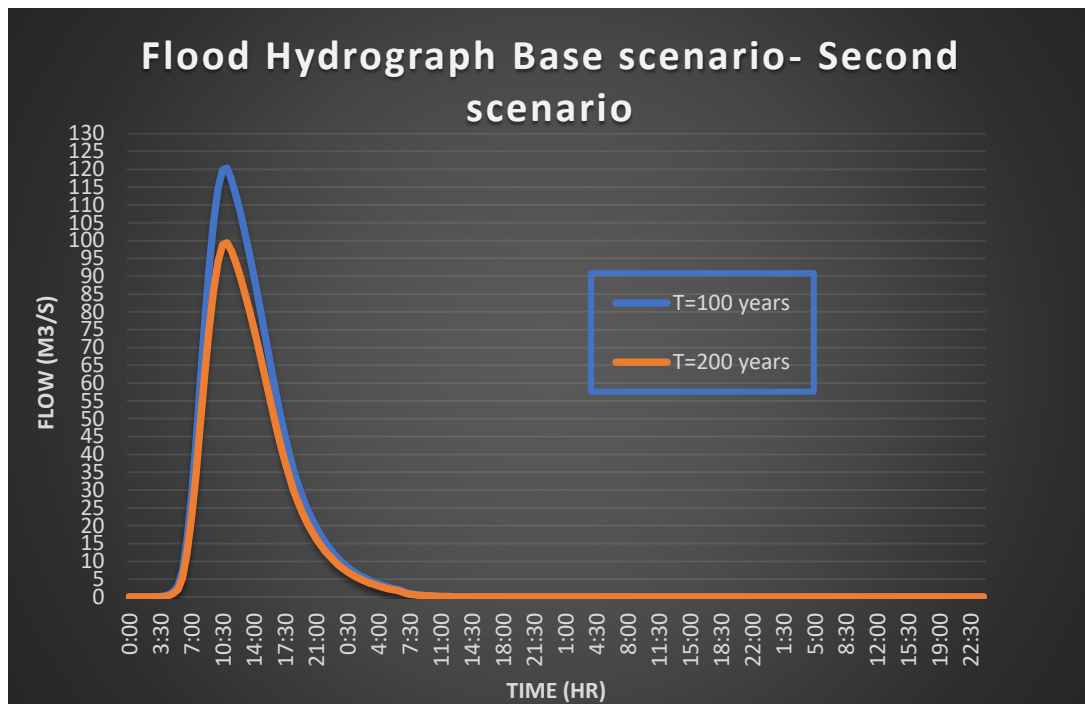


Figure 8. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for T=100 years and T=200 years, $t_c=12$ hours, CN

It's a fact that on flood hydrograph below, the flood peak of the orange curve is lower with value of 29.0 m^3/s , while the blue has value 35.2 m^3/s . The flood volume for the orange curve is smaller too, compared to the blue one.

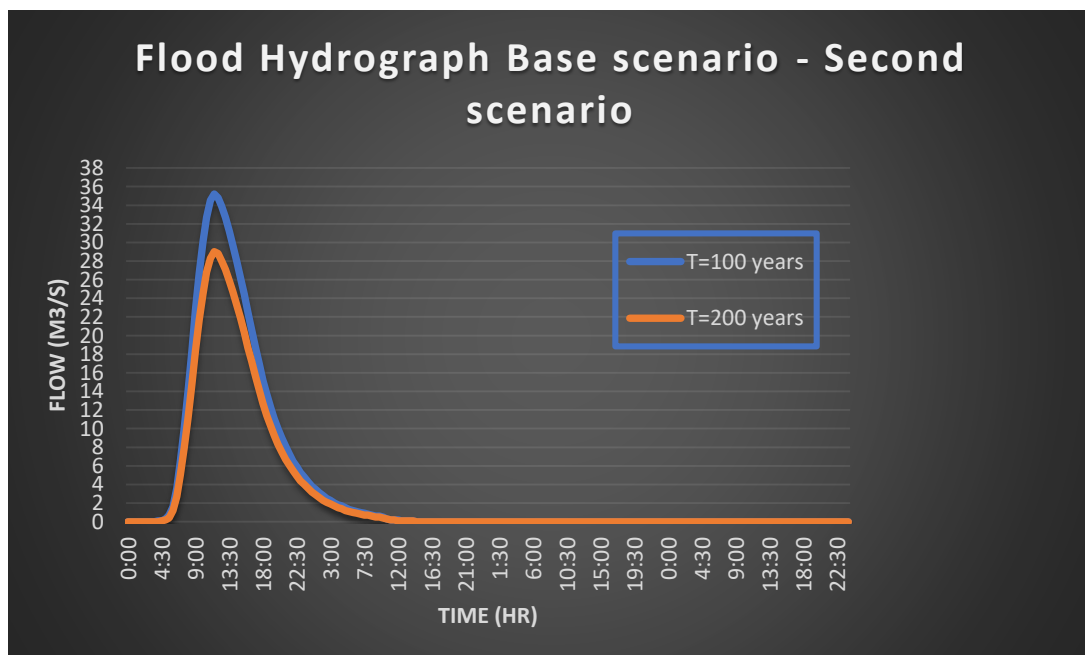


Figure 9. : Flood Hydrographs of Kalligoni-Lefkada City subbasin for T=100 years and T=200 years, $t_c=12$ hours, CN

• 3rd scenario - 4th scenario (Climate change scenario 1)

This group of scenarios is simulated considering duration equal to t_c . As it is observed on the flood hydrograph of the Vasiliki subbasin below, the scenario related to the increase about 5% of the rain heights due to climate change (blue curve), presents higher peak about $54.0 \text{ m}^3/\text{s}$ while scenario with normal rain heights has a lower peak about $49.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

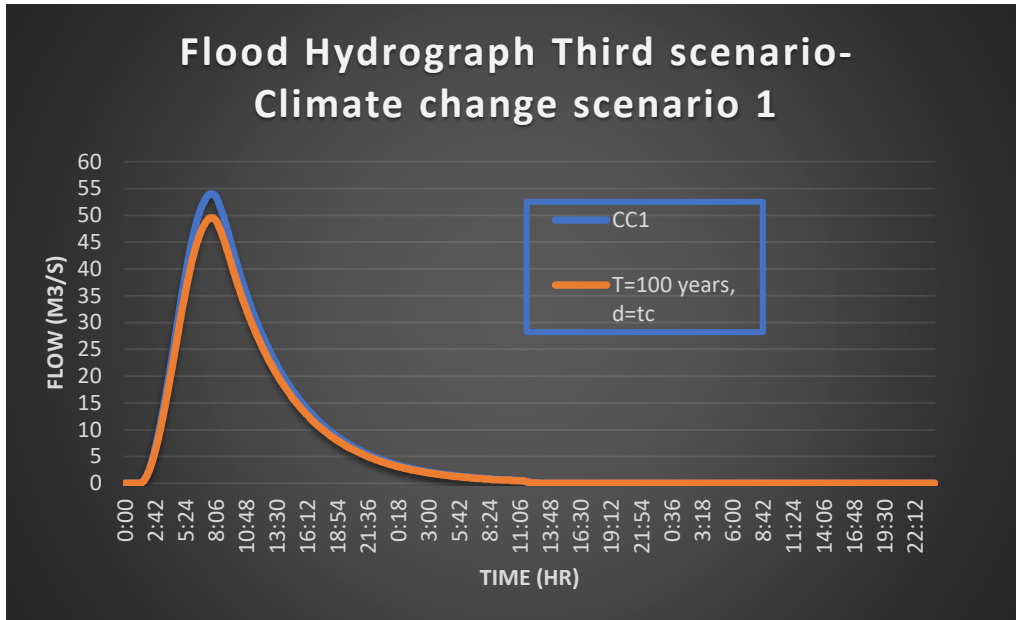


Figure 10. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for $T=100$ years, $t_c=3$ hours, CN

On the Nidri subbasin, the flood peak of the blue curve is higher with value of $54.8 \text{ m}^3/\text{s}$, while the orange has value $50.0 \text{ m}^3/\text{s}$. This also leads to a larger flood volume for the blue curve, compared to the orange one.

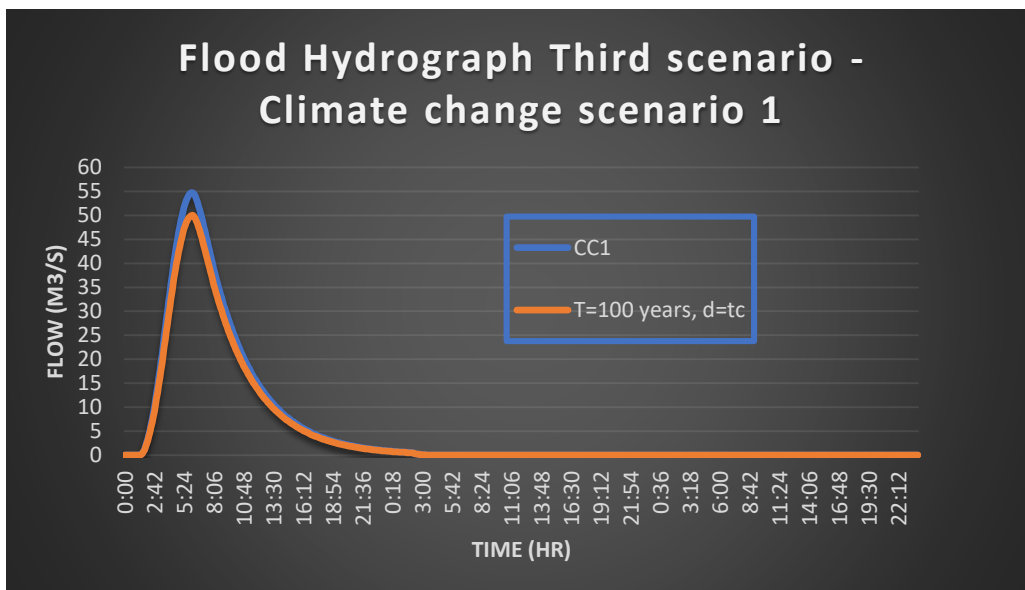


Figure 11. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for $T=100$ years, $t_c=3$ hours, CN

On the norther subbasin of Kalligoni-Lefkada City, the flood peak of the orange curve is lower with value of $13.8 \text{ m}^3/\text{s}$, while the blue one has a value of $15.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

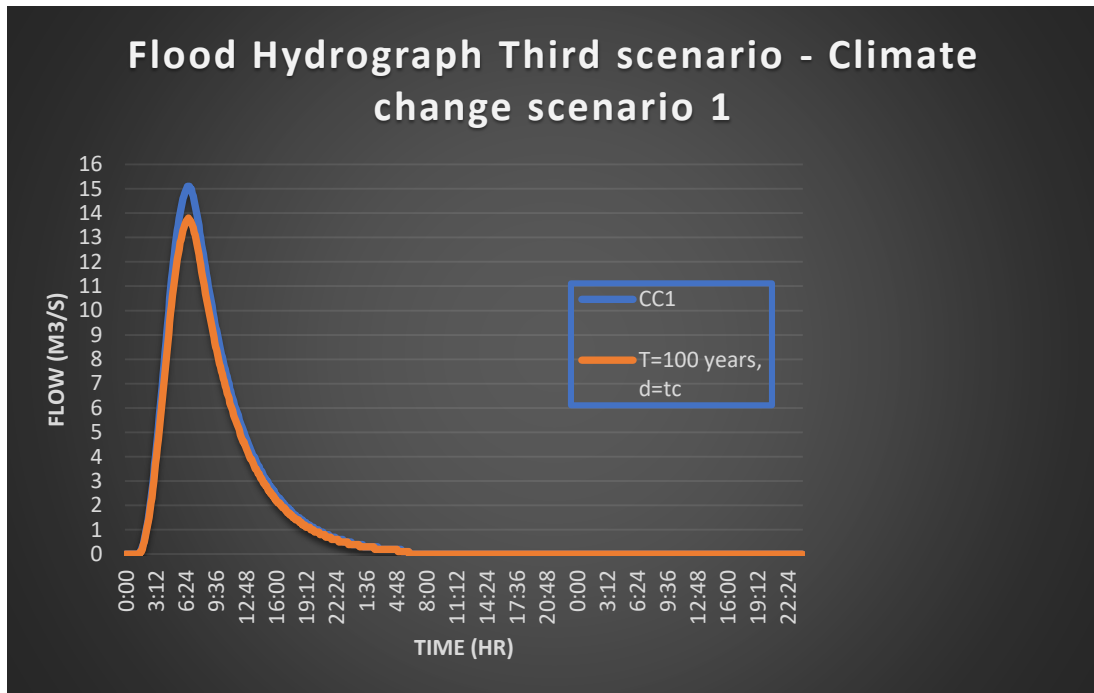


Figure 12. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for T=100 years, tc=3 hours, CN

• 3rd scenario - 5th scenario (Climate change scenario 2)

As it is presented on the flood hydrograph of the Vasiliki subbasin below, the scenario related to the increase about 10% of the rain heights due to climate change, presents higher peak about 58.5 m³/s while scenario with normal rain heights has a lower peak about 49.5 m³/s.

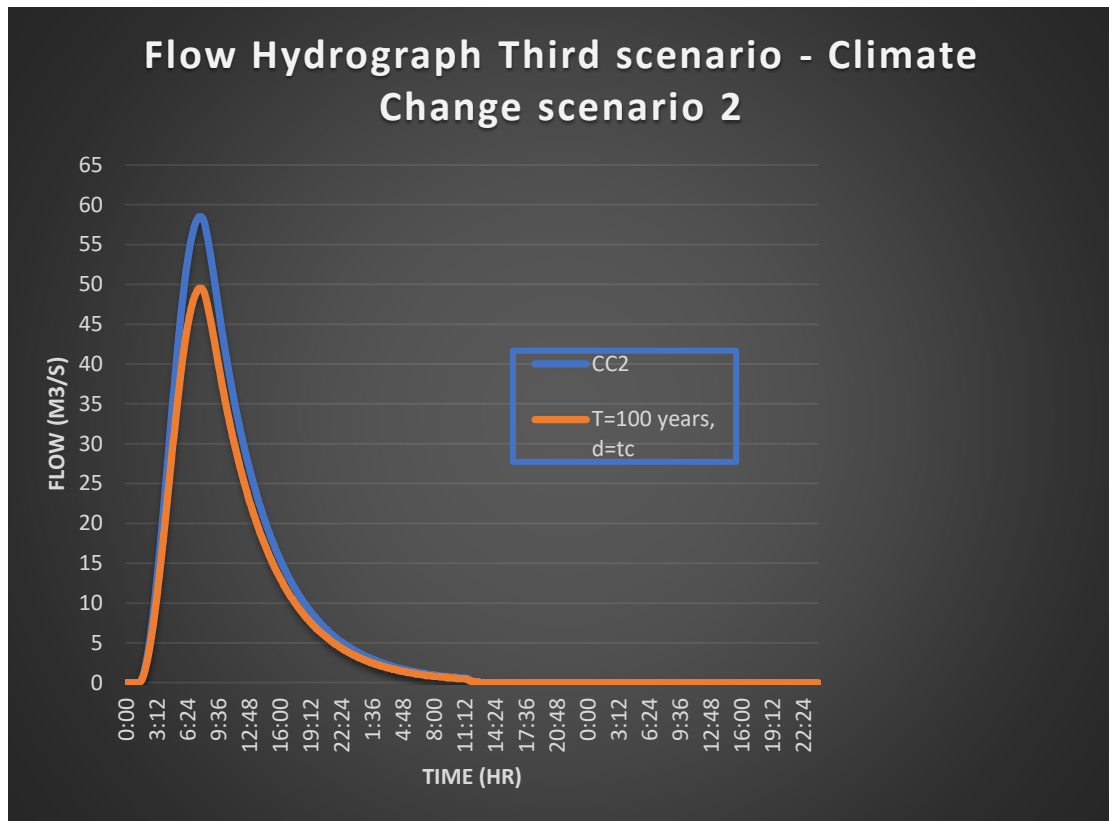


Figure 13. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for T=100 years, tc=3 hours, CN

On the eastern subbasin of Nidri, the flood peak of the orange curve is lower with value of 50.0 m³/s , while the blue one presenting increased rain heights has a value of 59.6 m³/s.

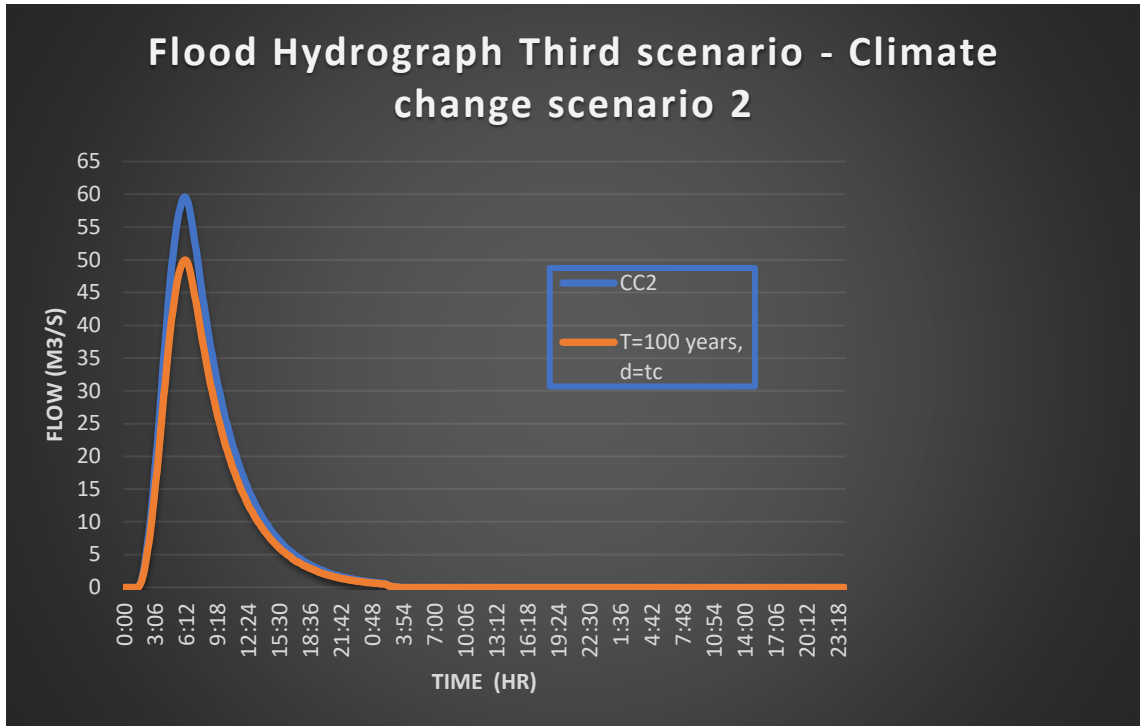


Figure 14. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for T=100 years, tc=3 hours, CN

On the Kalligoni-Lefkada City subbasin, the flood peak of the blue curve is higher with value of 16.4 m³/s , while the red has value 13.8 m³/s. This also leads to a larger flood volume for the blue curve, compared to the orange one.

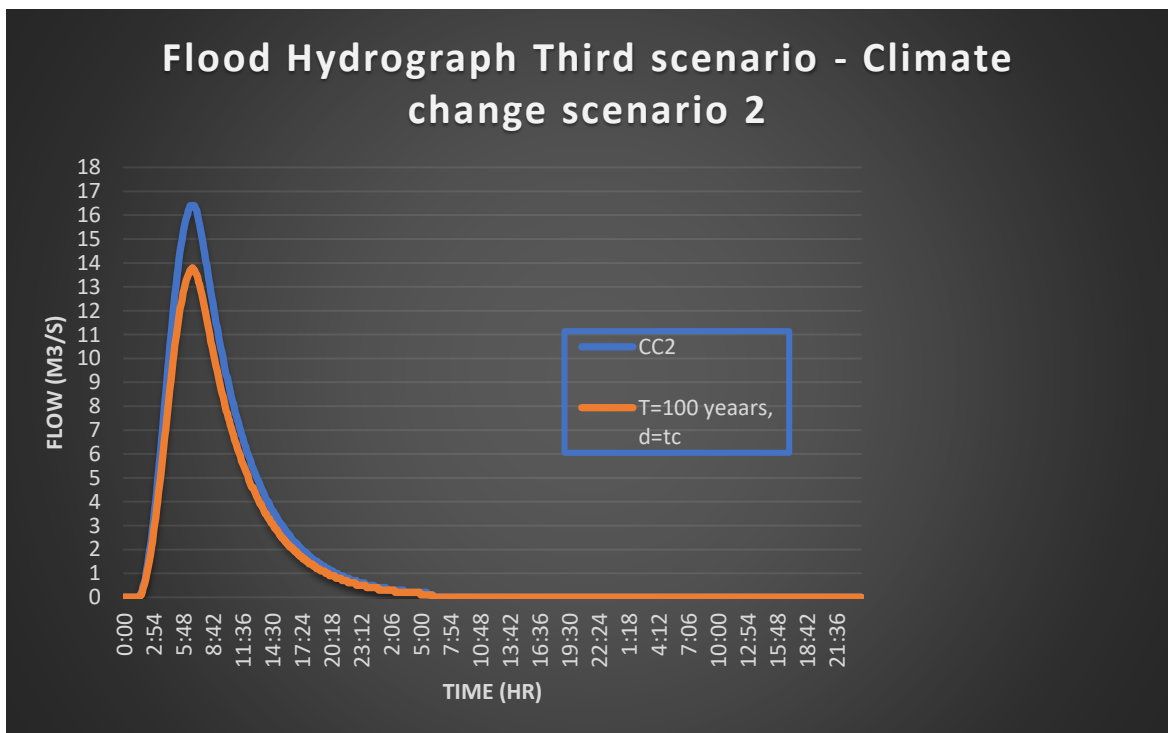


Figure 15. : Flood Hydrographs of Kalligoni-Lefkada City subbasin for T=100 years, tc=3 hours, CN

• **Base scenario - 6th scenario NBS1**

At this point, a comparison is taking place between the base scenario and the scenario related to the land use change resulting to reduced Curve Numbers, named as NBS1. For the Vasiliki subbasin, the CN reduced from 78 to 70. As somebody could notice on the flood hydrograph below, the Natural Based Solution presents a much lower flood peak with a value of 81.3 m³/s while base scenario got a peak of 103.8 m³/s.

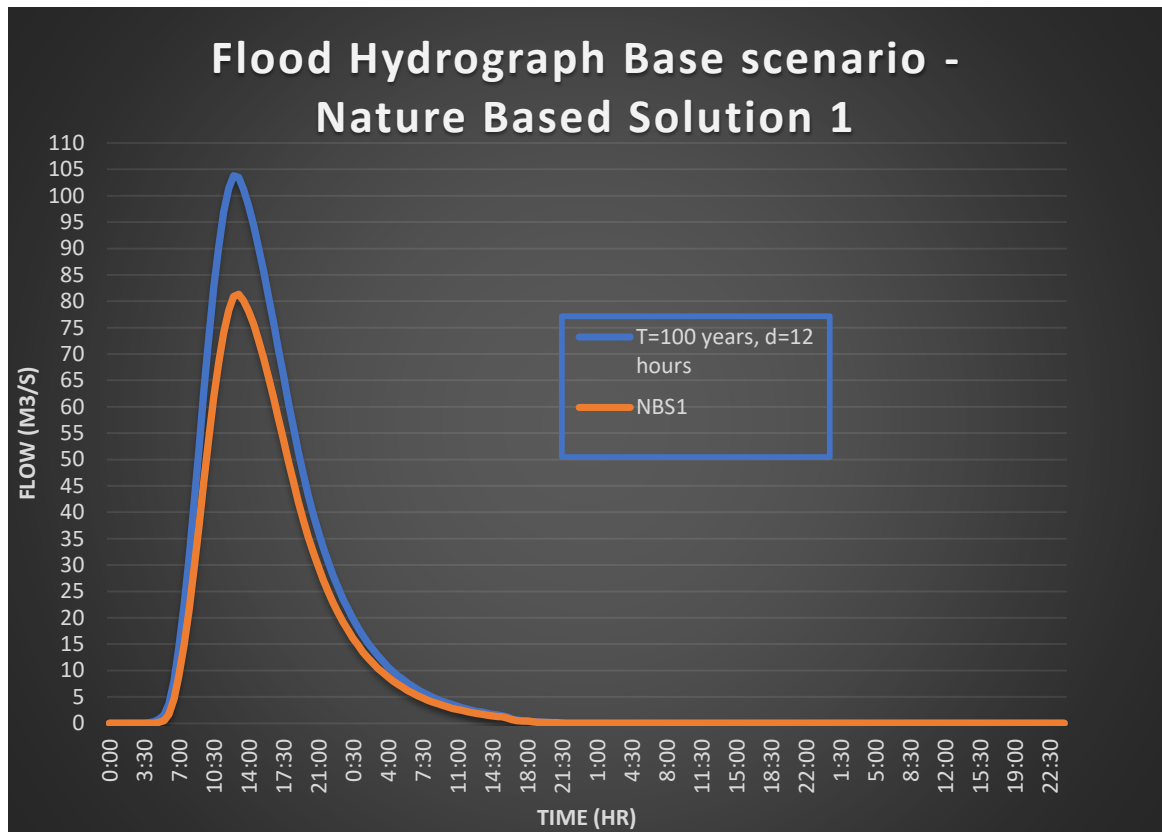


Figure 16. : Flood Hydrographs of Vasiliki City subbasin for T=100 years, tc=12 hours, CN and reduced CN

About the Nidri subbasin, CN reduced to 69 from 76. The flood peak of the blue curve is higher with value of 99.4 m³/s , while the land use change drives to a flood peak of 79.2 m³/s.

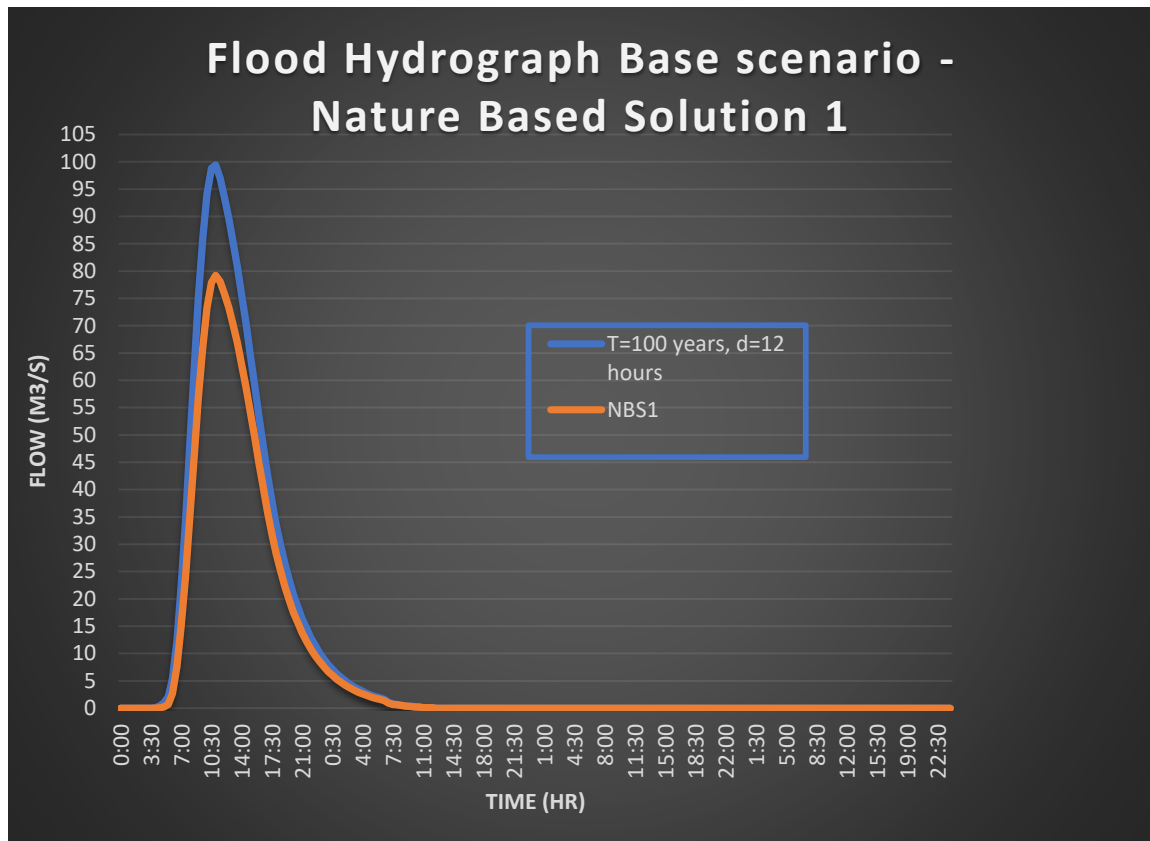


Figure 17. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for T=100 years, tc=12 hours, CN and reduced CN

On the northern subbasin of Kalligoni-Lefkada, CN changed from 75 to 65. The flood peak of NBS1 is lower with value of 20.6 m³/s , while the blue one presenting base scenario has a value of 29.0 m³/s.

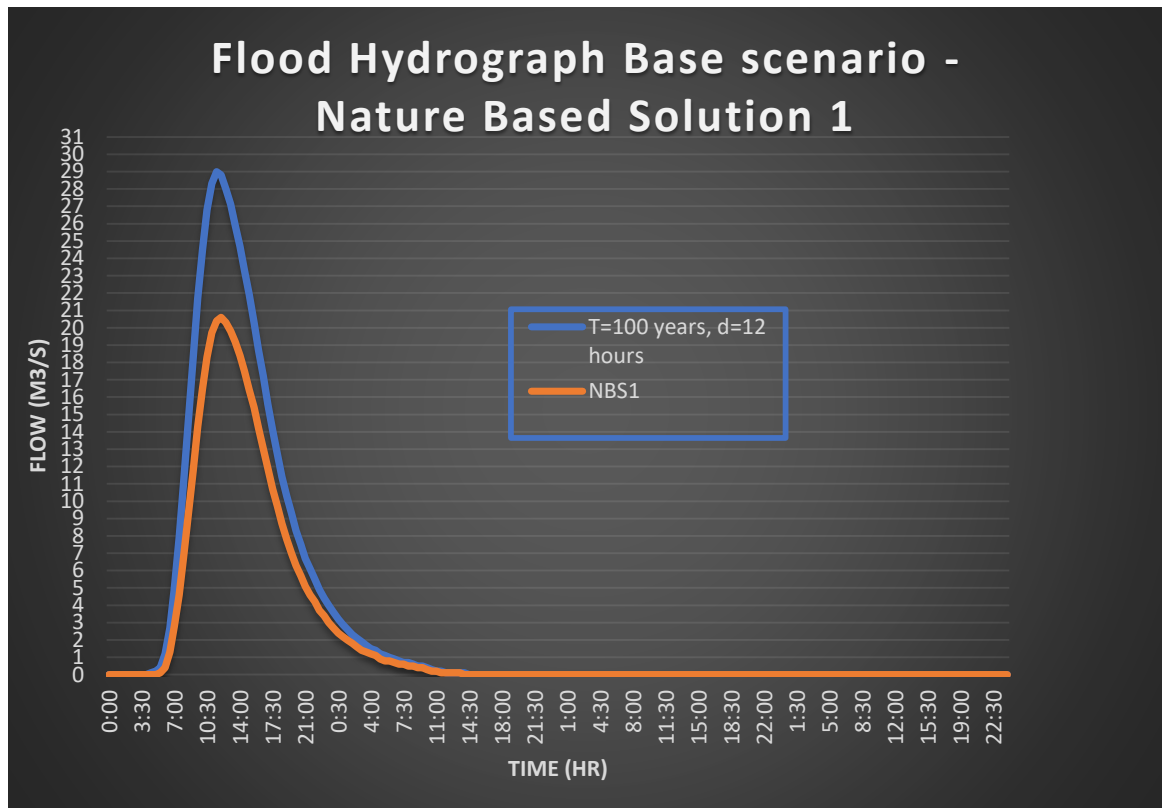


Figure 18. : Flood Hydrographs of Kalligoni-Lefkada City subbasin for T=100 years, tc=12 hours, CN and reduced CN

• **3rd scenario - 7th scenario**

A similar comparison is taking place between the scenario referring to T=100 years, d=3 hours, initial CN and the scenario related to the land use change resulting to reduced Curve Numbers. For the Vasiliki subbasin, the CN reduced from 78 to 70. As somebody could notice on the flood hydrograph below, the Natural Based Solution presents a much lower flood peak with a value of 33.2 m³/s while initial scenario got a peak of 49.5 m³/s.

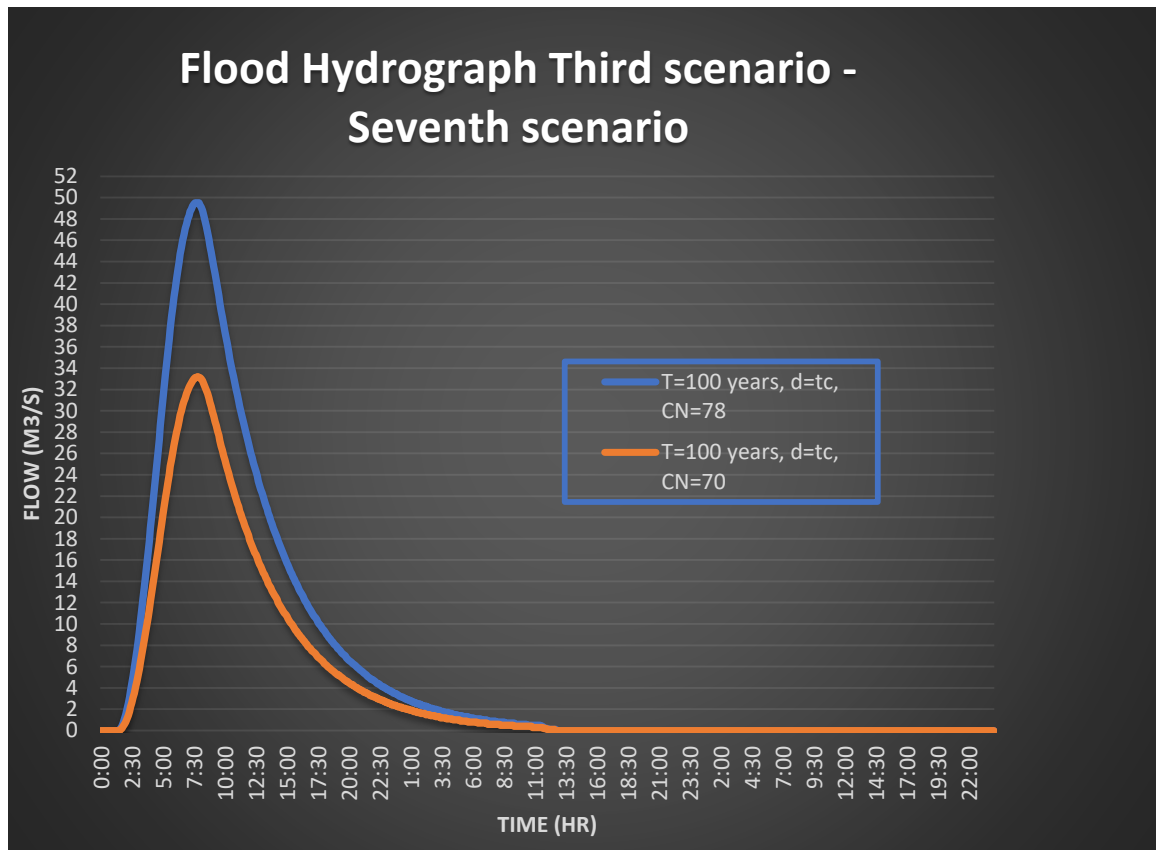


Figure 19. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for T=100 years, $t_c=3$ hours, CN and reduced CN

On the eastern subbasin of Nidri, CN changed from 76 to 69. The flood peak of orange curve is lower with value of $34.7 \text{ m}^3/\text{s}$, while the blue one presenting the scenario with initial CN got a value of $50.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

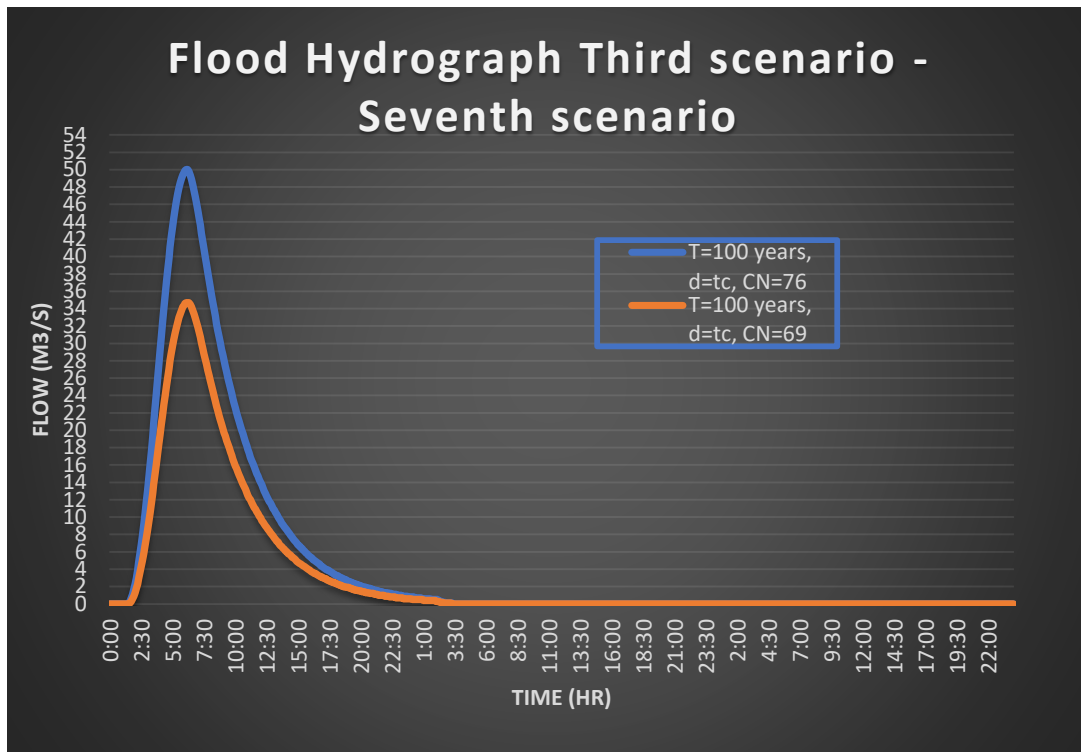


Figure 20. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for T=100 years, $t_c=3$ hours, CN and reduced CN

About the last subbasin of Kalligoni-Lefkada, CN reduced to 75 from 65. The flood peak of the blue curve is higher with value of $13.8 \text{ m}^3/\text{s}$, while the land use change drives to a flood peak of $7.9 \text{ m}^3/\text{s}$.

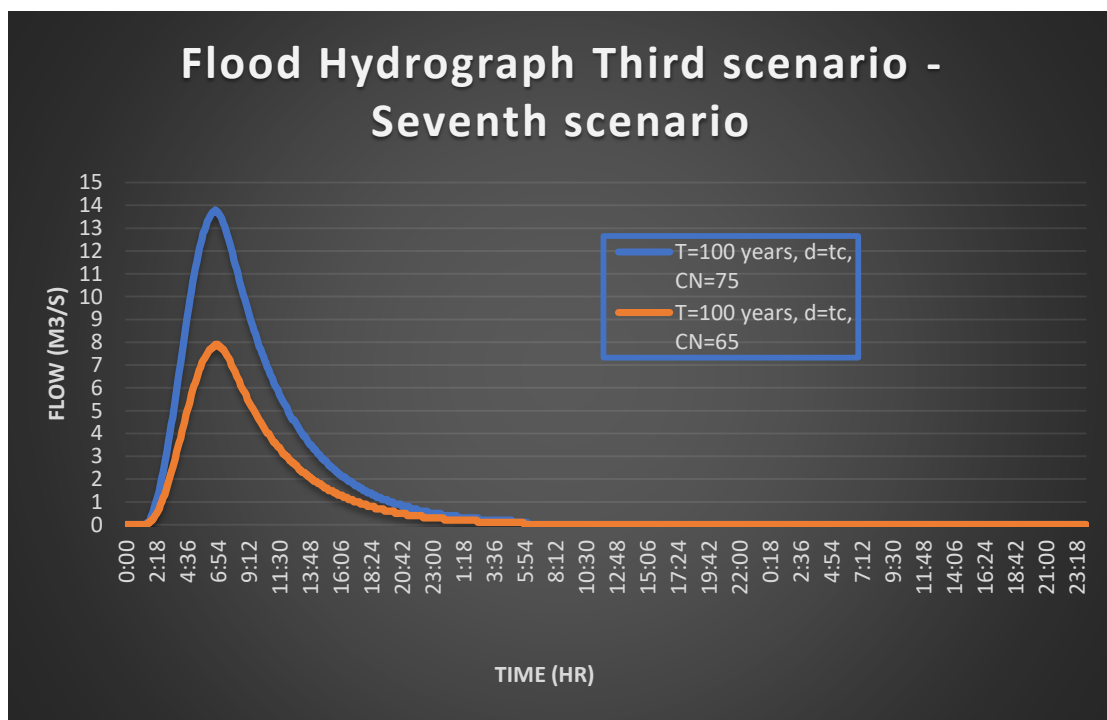


Figure 21. : Flood Hydrographs of Kalligoni-Lefkada subbasin for T=100 years, $t_c=3$ hours, CN and reduced CN

- **Base scenario - 8th scenario NBS2**

At this bullet, a comparison between the scenario referring to base scenario and the scenario related to the infrastructure of retention ponds named as NBS2 is taking place. As it is already mentioned, the natural solution has led to a reduce of total flood volume about 5% while Cn remained immutable. In the generated flood graph, a horizontal line parallel to the abscissa axis is formed which passes through a point corresponding to 75% of the maximum peak flow. The area enclosed above the fixed line and the flood graph curve represents the volume stored by the retention ponds. Of course, tests are carried out on the values of the straight line, increasing and decreasing it parallel to the horizontal axis of abscissas until a satisfactory approximation of the order of 5% reduction of the initial flood volume is reached.

For the Vasiliki sub-basin, the horizontal straight line equation equals 82.90 % of the base case peak flow. A new flood peak of 86.05 m³/s and a flood volume of 4.09 hm³ represented by the orange curve results, against initial values of 103.80 m³/s and 4.28 hm³ (Figure 20). A peak supply reduction of 17.10 % has been achieved.

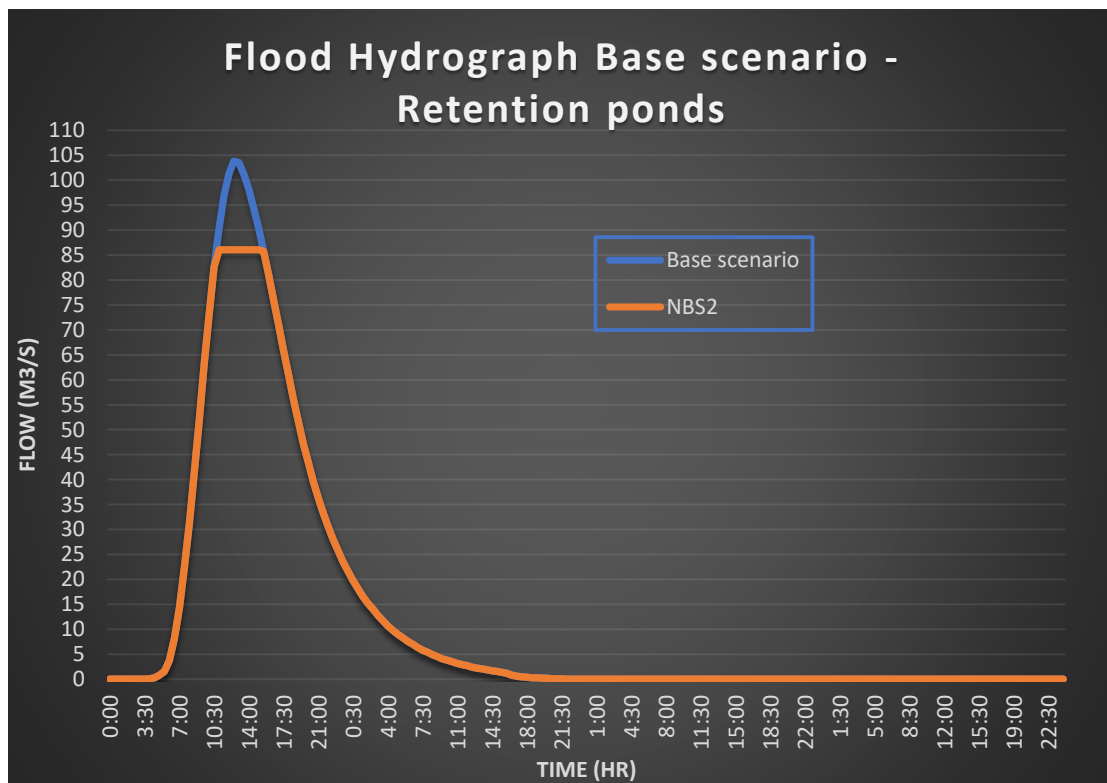


Figure 22. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for T=100 years, tc=12 hours, CN

About the subbasin of Nidri, the straight line consists of fixed points with values equal to 83.1 % of the flood peak of the base scenario. The new flood peak of the orange curve is equal to 82.60 m³/s, the reduced flood volume is equal to 3.14 hm³ against 99.4 m³/s and 3.29 hm³ of the blue one (Figure 21). Then a 16.90% benefit reduction rate is realized.

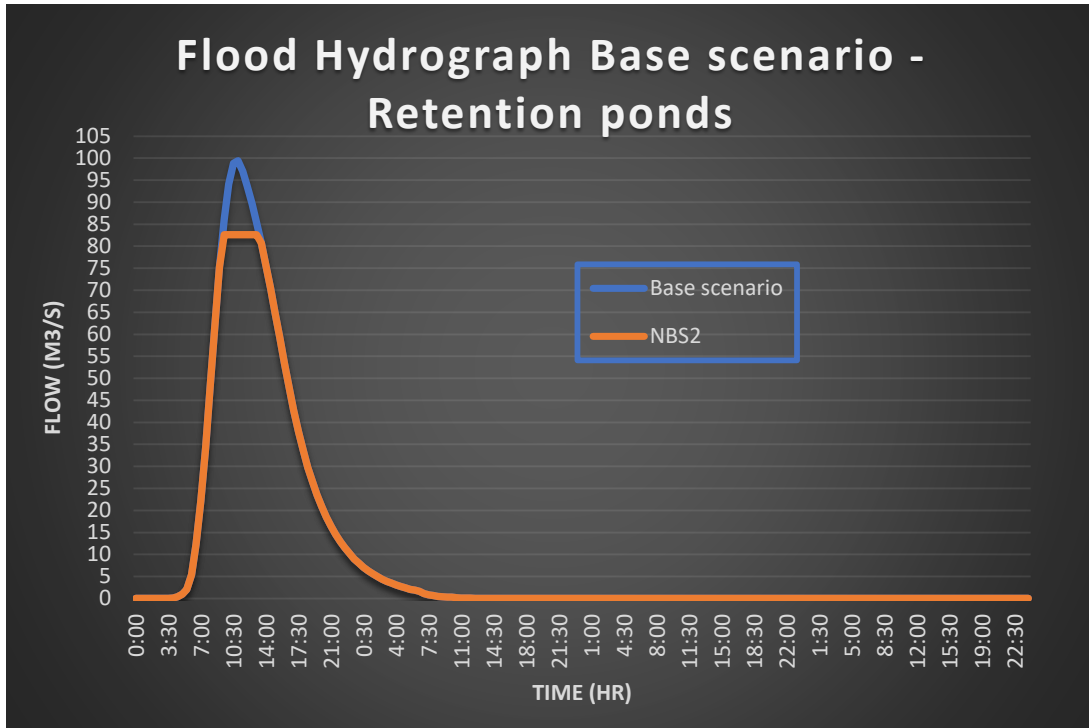


Figure 23. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for T=100 years, tc=12 hours, CN

Finally, for the Kalligoni-Lefkada sub-basin, the constant line parallel to the axis of the abscissas equals 82% of the maximum flow of the flood graph. The orange curve represents reduced flood peak which is equal to 23.78 m³/s, flood volume equal to 0.998 hm³, against 29 m³/s and 1.05 hm³ (Figure 6.14). The peak has decreased by 18.00 %.

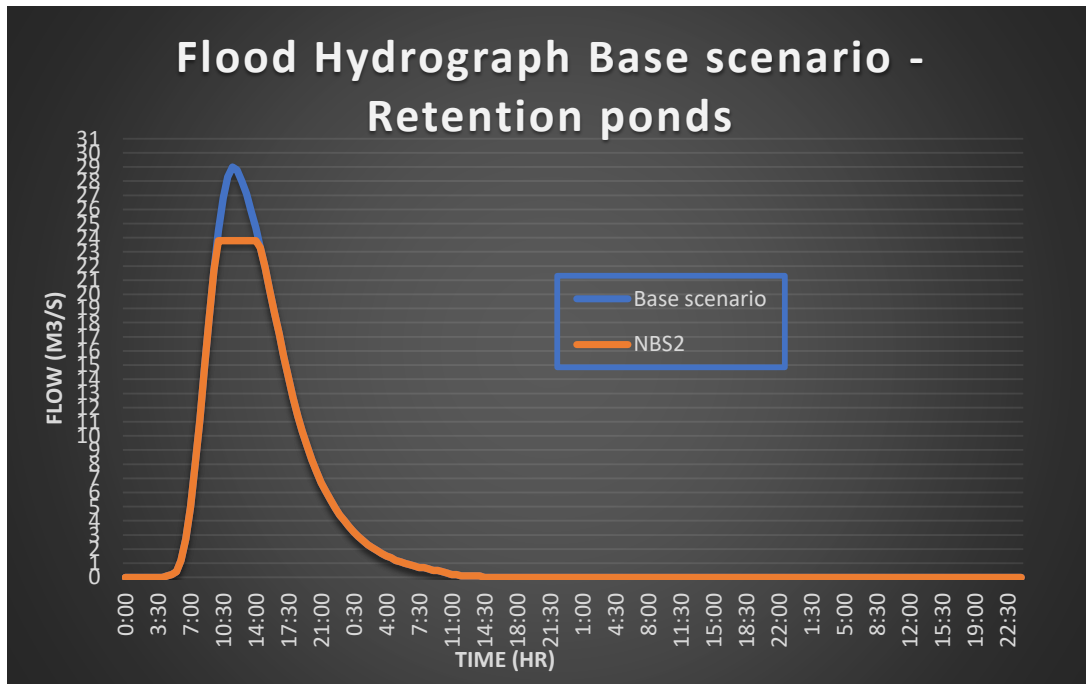


Figure 24. : Flood Hydrographs of Kalligoni- Lefkada City subbasin for T=100 years, tc=12 hours, CN

- **6th scenario NBS1 - 8th scenario NBS2**

As a last simulation, a final valuation between the effectiveness of Natural Based Solutions was applied. The solution related to change of land use is presented with blue color, while the system of retention ponds with the orange one. Observing the table below, someone could notice that the land use change led to noticeable reduction of the initial flood peak and volume for all three subbasins, As a result solution related to land use change is more efficient.

| Nature Based Solutions | Flood Data | Vasiliki | Nidri | Kalligoni-Lefkada City |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|
| NBS1 | Flood peak (m3/s) | 81.3 | 79.2 | 20.6 |
| | Flood volume (m3) | 3.36 | 2.65 | 0.75 |
| NBS2 | Flood peak (m3/s) | 86.05 | 82.6 | 23.78 |
| | Flood volume (m3) | 4.09 | 3.14 | 0.998 |
| Base Scenario | Flood peak (m3/s) | 103.8 | 99.4 | 29 |
| | Flood volume (m3) | 4.28 | 3.29 | 1.05 |
| Change due to NBS1 | ΔQ | -21.68% | -20.32% | -28.97% |
| | ΔV | -21.50% | -19.45% | -28.57% |
| Change due to NBS2 | ΔQ | -17.10% | -16.90% | -18.00% |
| | ΔV | -4.44% | -4.56% | -4.95% |

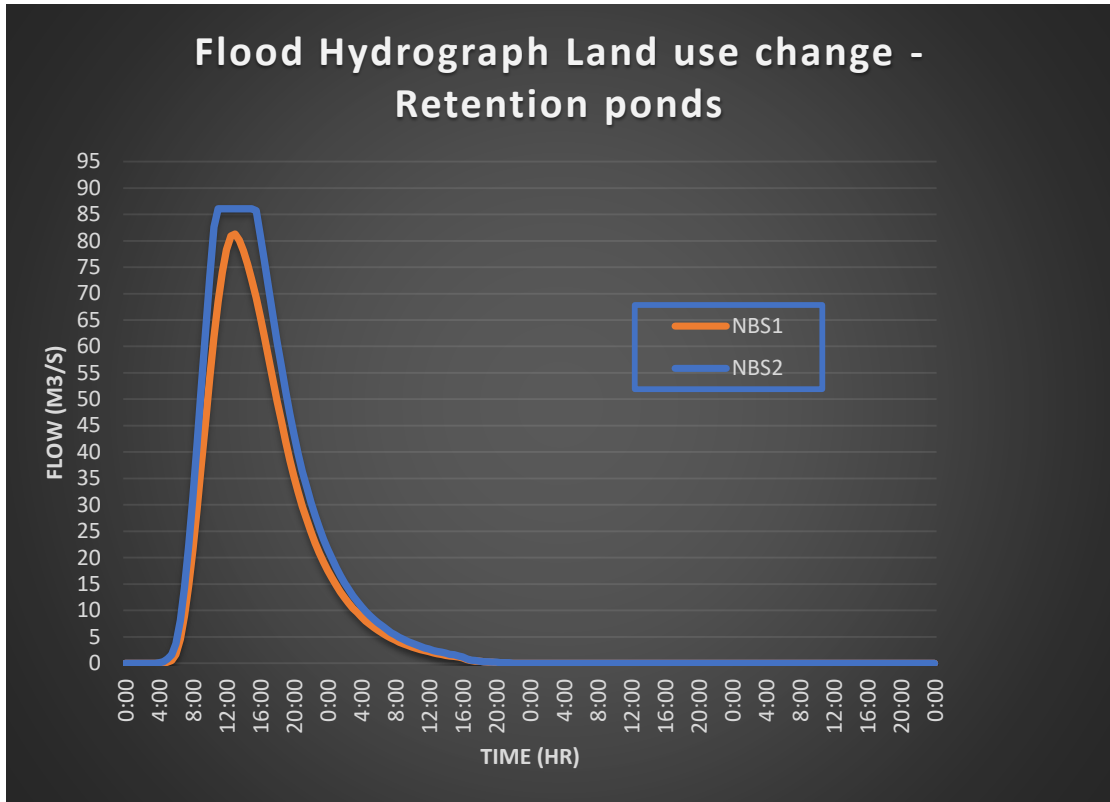


Figure 25. : Flood Hydrographs of Vasiliki subbasin for NBS1 and NBS2

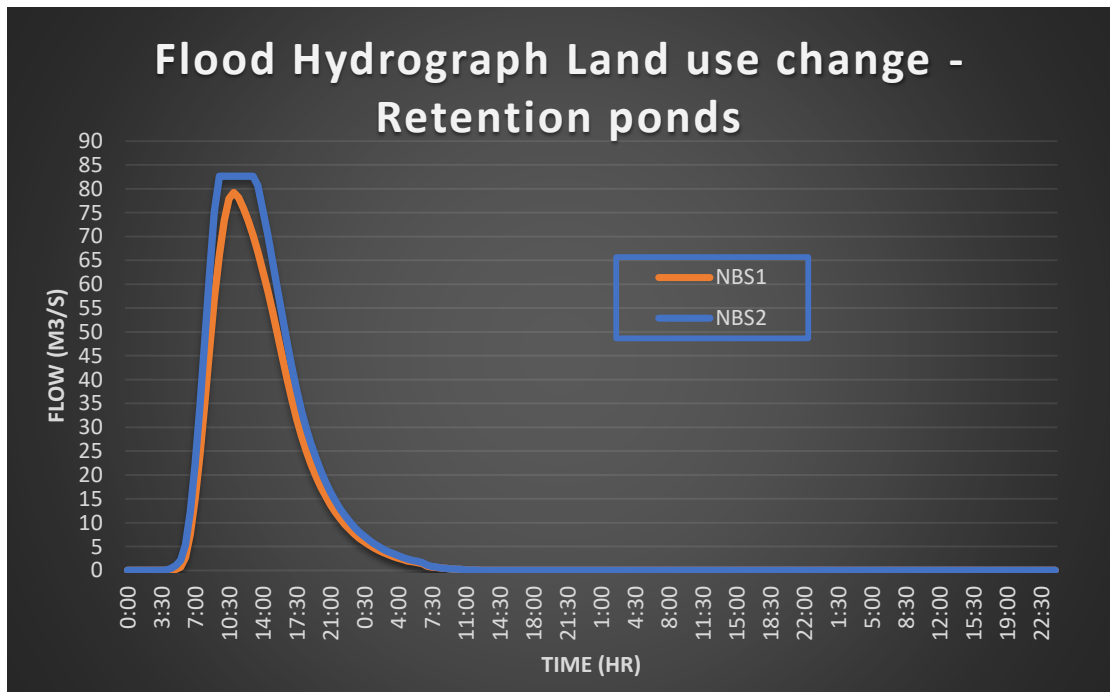


Figure 26. : Flood Hydrographs of Nidri subbasin for NBS1 and NBS2

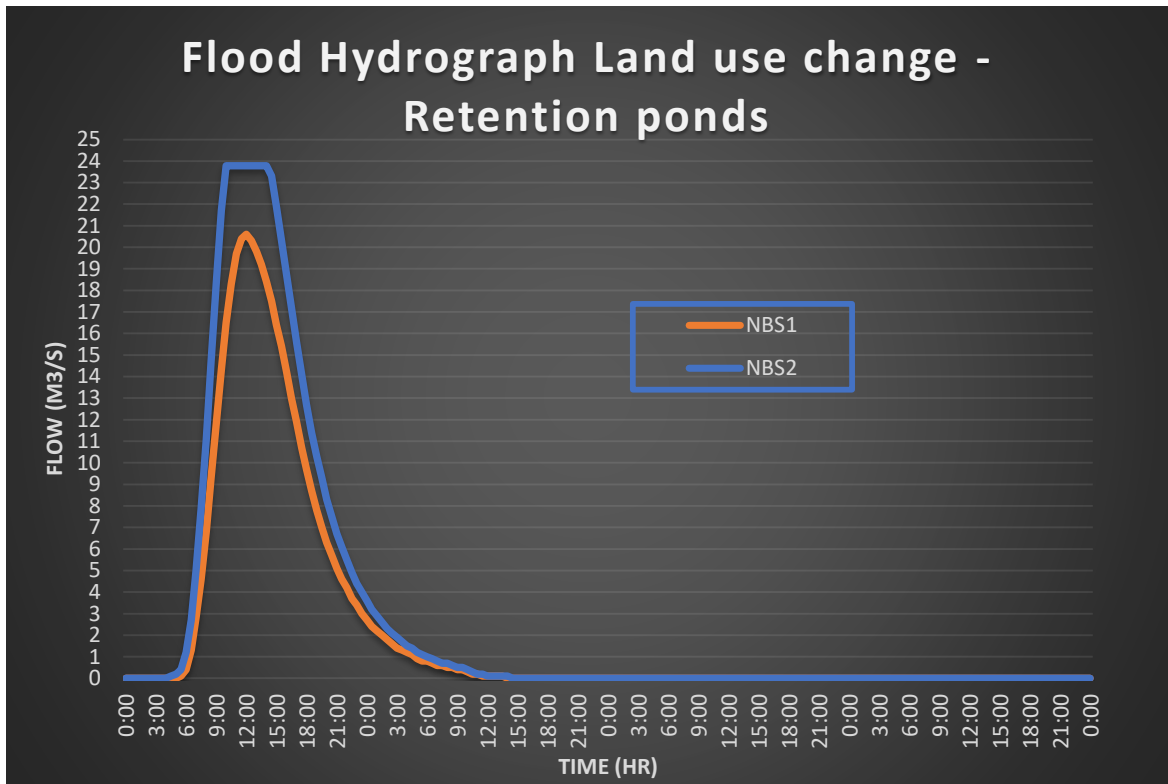


Figure 27. : Flood Hydrographs of Kalligoni – Lefkada City subbasin for NBS1 and NBS2

Conclusions

The present study for the island of Lefkada led to the following conclusions:

- The analysis in a GIS environment shows the presence of a rich hydrographic network on the island of Lefkada
- Land uses, captured by the GIS Corine, play an important role in the flood peak and flood volume of design storms as they affect soil permeability and thus surface runoff.
- Out of the 3 sub-basins, that of Vasiliki presents in all scenarios the highest flood peak and flood volume values. This happens due to the large surface area it covers in combination with the longer time delay, more particularly 6.27 hours compared to 5.19 and 4.55 hours. Specifically for the base scenario, in Vasiliki a peak and volume equal to 103.8 m³/s and 4.28 hm³ were recorded, in Nydri a maximum flow and volume equal to 99.4 m³/s and 3.29 hm³ were recorded, while in Kalligoni-Lefkada there were a peak and volume equal to 29 m³/s and 1.05 hm³ respectively.
- The land use change solution is more efficient compared to the retention pond solution. The natural solution based on the change of land uses resulted in the reduction of the peak compared to the base scenario by 21.68%, 20.32% and 28.97% for the Vasiliki, Nidri and Kalligoni-Lefkada subbasins respectively. On the opposite, the contribution of retention basins led to a decrease of 4.43%, 4.63%, 4.83% for the three subbasins.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γεγονός αποτελεί πως η εκδήλωση πλημμυρών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, της ανθρώπινης δραστηριότητας και παρεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον, εμφανίζεται με μεγαλύτερη συχνότητα και επιφέρει δυσμενέστερες επιπτώσεις. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η άμεση εφαρμογή της διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, η οποία περιλαμβάνει στρατηγικές σχετικές με την πρόληψη, την αναχαίτιση πλημμύρας κατά τη διάρκειά της και την αποκατάσταση μετά το πέρας του πλημμυρικού συμβάντος.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται προσπάθεια μείωσης του κινδύνου των πλημμυρών στο νησί της Λευκάδας με την εφαρμογή λύσεων εναρμονισμένων με τη φύση, γνωστές και ως Nature Based Solutions. Αναφορικά με τις φυσικές λύσεις, διερευνούνται πιθανές αλλαγές στις χρήσεις γης και δημιουργία λιμναιών συστημάτων (retention ponds). Δεδομένου του πλούσιου υδρογραφικού δικτύου του νησιού, που οριοθετεί μεγάλο αριθμό λεκανών, η μελέτη αφορά σε αριθμό τρεις από αυτές: την υπολεκάνη της Βασιλικής, των συνόρων του Καλλιγονίου με τη Πόλη της Λευκάδας και την υπολεκάνη του Νυδρίου. Οι υπολεκάνες επιλέγονται με βάση τη συχνότητα συγκέντρωσης υδάτινων μαζών όπως προκύπτει από την οπτικοποίηση σε περιβάλλον ΕΟ Browser (Earth Observation Browser) στους οικισμούς αυτών, έπειτα εξαιτίας του πλούσιου υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει σε αυτές, από μαρτυρίες μόνιμων κατοίκων για εμφάνιση πλημμυρών ιδίως στην περιοχή της Βασιλικής και τέλος από άποψη συρροής ανθρώπων τόσο τους χειμερινούς μήνες όσο και τους θερινούς.

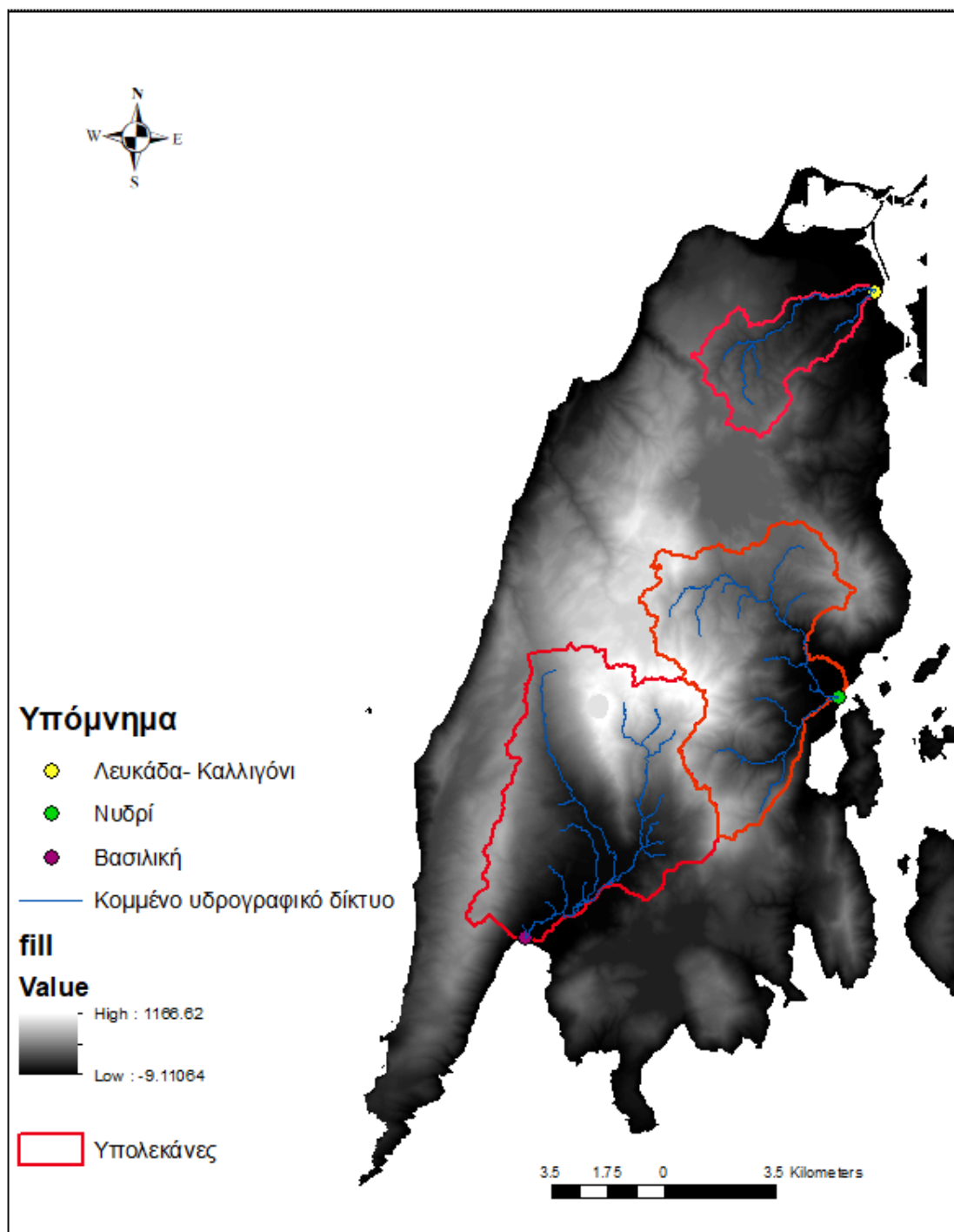
Η υδρολογική απόκριση των υπολεκανών πραγματοποιείται με το λογισμικό HEC-HMS. Ως μέθοδος βροχής απορροής επιλέγεται το μοναδιαίο υδρογράφημα και πιο συγκεκριμένα το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Εκτιμώντας τον χρόνο συρροής κατά Giandotti και μέσω της μεθόδου ενεργού βροχόπτωσης Εναλλασσόμενων Ψών βροχής, δημιουργούνται καταιγίδες σχεδιασμού. Υπολογίζονται ακόμα οι αριθμοί καμπύλης Curve Numbers συναρτήσει των χρήσεων γης και των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης. Στην εργασία χρησιμοποιείται και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο εισάγεται στο ArcGIS 10.5.1 προκειμένου να οριοθετηθούν οι υπολεκάνες και να εξαχθούν τα απαραίτητα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά για τις προσομοιώσεις.

Με δεδομένα τα ανωτέρω στοιχεία, πραγματοποιείται υδρολογική προσομοίωση 8 σεναρίων με καταιγίδες σχεδιασμού για έκαστη υπολεκάνη, σεναρία που προκύπτουν μεταβάλλοντας παραμέτρους και λαμβάνοντας υπόψιν την επιρροή της κλιματικής αλλαγής. Τέλος μορφώνονται και συγκρίνονται τα πλημμυρογραφήματα εξόδου των υπολεκανών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου στο νησί της Λευκάδος (Σχήμα 1.1). Για την υλοποίησή της χρησιμοποιούνται τα προγράμματα ΕΟ Browser, AutoCad, ArcGIS, Hec-HMS.



Σχήμα 1.1 : Περιοχή μελέτης 3 υπολεκάνων Λευκάδας (πηγή: Arc-GIS)

Βασικός στόχος της εργασίας αποτελεί η υδρολογική μελέτη 3 υπολεκανών της νήσου Λευκάδος και η πρόταση φυσικών λύσεων για επιτυχή αντιμετώπιση πλημμυρικών γεγονότων σε αυτές. Με επεξεργασία σε περιβάλλον ArcGIS οριοθετείται η έξοδος των υπολεκανών από σημεία ανάντη των οικισμών:

1. Βασιλικής, που εντοπίζεται στο νότιο τμήμα του νησιού
2. Νυδριού, ανατολικά της νήσου
3. Συνόρων Καλλιγονίου με πόλη Λευκάδος, στο βορειότερο τμήμα.

Οι υπολεκάνες αυτές επιλέγονται αρχικά με βάση τη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών όγκων όπως προκύπτει από την πιλοτική μελέτη που λαμβάνει χώρα μέσω του εργαλείου EO Browser, το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με πολλές διακλαδώσεις όπως παρατηρείται από την ανάλυση σε περιβάλλον GIS, και έπειτα βάσει της σημαντικότητας των περιοχών από άποψη κατοικησιμότητας. Από τις διεργασίες που πραγματοποιούνται σε επίπεδο GIS, παράγονται γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των υπολεκανών όπως το εμβαδό τους, στοιχεία για υψόμετρα και μήκη υδατορευμάτων.

Ακολουθεί επεξεργασία βασισμένη στο Μοναδιαίο Υδρογράφημα Snyder, σε μέθοδο εκτίμησης απωλειών απορροής, σε όμβριες καμπύλες και κατανομή βροχόπτωσης στον χρόνο. Επιπροσθέτως, προσομοιώνονται στο λογισμικό HEC-HMS αρκετά σενάρια αλλάζοντας μεταβλητές, με τελικό αποτέλεσμα τον υπολογισμό των πλημμυρογραφημάτων στις εξόδους των υπολεκανών. Γίνονται επίσης συγκρίσεις ανάμεσα στα διάφορα σενάρια.

Τέλος προτείνονται λύσεις βασισμένες στη φύση γνωστές ως NBS και γίνεται εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων και μελλοντικών προτάσεων προς διερεύνηση.

1.2 Ορισμός εννοιών

1.2.1 Γενικές πληροφορίες

Ως Υδρολογία ορίζεται η επιστήμη η οποία περιγράφει την εμφάνιση, την κυκλοφορία και τη διανομή του νερού της γης, καθώς και την αλληλεπίδραση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων με το περιβάλλον (Μιμίκου και Μπαλτάς, 5^η έκδοση 2012).

Αντικείμενο της Υδρολογίας αποτελεί η από επιστημονικής άποψης εξέταση των διαφόρων φάσεων του νερού, ιδιαίτερος δε η χωρική και χρονική μεταβολή της έντασης που λαμβάνουν χώρα σε αυτές (Μιμίκου και Μπαλτάς, 5^η έκδοση 2012).

1.2.2 Υδρολογικός κύκλος

Ο Υδρολογικός κύκλος περιγράφει τη διαρκή κίνηση του νερού μεταξύ των ωκεανών, του εδάφους και της ατμόσφαιρας. Ουσιαστικά δεν μπορεί να ορισθεί η αρχή και το τέλος αυτού του κύκλου, αλλά σαν παραδοχή η αφετηρία του βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, εκεί όπου το νερό υπάρχει σε αέρια μορφή, αυτή των υδρατμών. Οι υδρατμοί αφού συμπυκνωθούν σε νέφη, φθάνουν υπό τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι) στην επιφάνεια του εδάφους. Από αυτό το νερό, ένα ποσοστό εξατμίζεται κατά την πτώση, ένα άλλο διηθείται εντός του εδάφους και ρέει υπόγεια, ενώ ένα τελευταίο ποσοστό καταλήγει μέσω επιφανειακής απορροής στους υδάτινους αποδέκτες δηλαδή λίμνες και θάλασσες.

Οι βασικές υδρολογικές διεργασίες που συντελούνται για την πλήρωση του υδρολογικού κύκλου παρουσιάζονται παρακάτω (Μπαλτάς και Μιμίκου, 2012):

- Κατακρημνίσματα (Precipitation). Οποιασδήποτε μορφή υγρασίας που καταλήγει από την ατμόσφαιρα στο έδαφος. Συναντώνται σε τρεις μορφές, αυτές της βροχής, του χιονιού και του χαλαζιού.
- Διήθηση (Infiltration). Η διαδικασία με την οποία το νερό απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους εντός αυτού.
- Κατακράτηση (Depression). Το φαινόμενο συγκράτησης του νερού στις εδαφικές κοιλότητες.
- Παρεμπόδιση (Interception). Μέρος των κατακρημνησμάτων, που παραμένει δεσμευμένο στις δασικές εκτάσεις και σε διαφόρων ειδών βλάστηση μέχρι να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα.
- Επιφανειακή απορροή υδάτων (Surface runoff). Αποτελεί τη ροή νερού εντός ρεμάτων και ποταμών προς τους υδάτινους αποδέκτες. Το σύνολο των επιφανειακών υδατορευμάτων που συνδέονται μεταξύ τους συνθέτουν το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Ένα υδρογραφικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από:
 - Τους Υδροκρίτες, που ορίζεται ως νοητή γραμμή σύνδεσης των υψηλότερων κορυφών της περιοχής η οποία καθορίζει τη ροή των υδάτων.
 - Τις Λεκάνες απορροής, δηλαδή την περιοχή που περικλύεται από τον υδροκρίτη (Μαμάσης, 2012).
- Υπόγεια απορροή υδάτων (Groundwater runoff). Ποσοστό του νερού των κατακρημνίσεων αφότου φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους, διηθείται και ρεεί κάτω από την επιφάνεια του εδάφους αναλόγως της δομής των γεωλογικών σχηματισμών που συναντάει.
- Εξάτμιση (Evaporation). Η διαδικασία μεταφοράς νερού από τους υδάτινους αποδέκτες (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια), με τη μορφή υδρατμών προς την ατμόσφαιρα.
- Εξατμισοδιαπνοή. Περιλαμβάνει την εξάτμιση όπως ορίστηκε προηγουμένως, και αναφέρεται και στο νερό που απελευθερώνεται σαν προϊόν της διαπνοής των φυτών προς την ατμόσφαιρα.

1.2.3 Υδρολογικό ισοζύγιο

Το υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής αποτελεί τη μαθηματική διατύπωση του υδρολογικού της κύκλου. Η γενική της μορφή εξισώνει στο ένα μέλος τη μεταβολή του αποθέματος νερού ΔS που εγκλωβίζεται εντός λεκάνης σε κάθε χρονική στιγμή Δt , με δεύτερο μέλος τη διαφορά εισροών και εκροών εντός αυτής (Εξίσωση 1.1):

$$\frac{dS(t)}{dt} = I(t) - O(t) \quad (1.1)$$

Με την παραδοχή ότι ο ρυθμός μεταβολής του όγκου νερού της λεκάνης ισούται με τις απώλειες εξαιτίας των διαφόρων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα εντός αυτής η

παραπάνω σχέση εκφυλίζεται. Πιο συγκεκριμένα, μιλώντας για εισροές εντός λεκάνης γίνεται λόγος για τις διάφορες μορφές κατακρήμνισης δηλαδή βροχόπτωση, χιονόπτωση και χαλάζι και αντιπροσωπεύονται από τον συμβολισμό P. Από την άλλη, ως συνηθέστερες πηγές εκροών αναφέρονται η επιφανειακή απορροή που συμβολίζεται με R, η υπόγεια απορροή με G, η εξάτμιση προς την ατμόσφαιρα από υδάτινους συλλέκτες και το έδαφος προς την ατμόσφαιρα με E και τέλος η ποσότητα νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής με T. Τελικά, η εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου μπορεί να γραφεί ως (Εξίσωση 1.2):

$$\Delta S = P - R - G - E - T \quad (1.2)$$

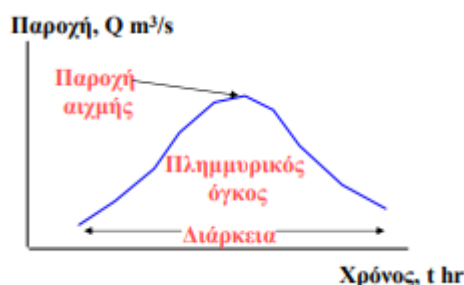
1.3 Πλημμύρες

1.3.1 Γενικά

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία, περιοχές που συνήθως είναι ξηρές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Διακρίνονται σε δύο ειδών κατηγορίες:

- Πλημμύρες ταχείας απόκρισης (flash flood). Οφείλονται συνήθως σε πολύ έντονη τοπική βροχόπτωση και παρουσιάζονται σε λεκάνες απορροής μικρού μεγέθους, όπου ο χρόνος συρροής είναι πολύ μικρός. Ως χρόνος συρροής ορίζεται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται μία σταγόνα ύδατος για να διανύσει τη λεκάνη απορροής, από την είσοδό της μέχρι και την έξοδό της σε αυτήν.
- Πλημμύρες βραδείας απόκρισης (flood forecasting). Ο τύπος αυτός παρουσιάζεται σε μεγάλες λεκάνες απορροής όπου ο χρόνος για να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης το νερό, μπορεί ακόμα και να είναι αρκετές μέρες (Μπαλτάς, 2020).

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η πλημμύρα σαν έννοια, έχουν κατασκευαστεί διαγράμματα που ονομάζονται πλημμυρογράφηματα (Σχήμα 1.2). Στον άξονα τετημένων έχουν τη χρονική διάρκεια t (sec), στον άξονα τεταγμένων την παροχή Q (m³/sec), ενώ το εμβαδό που περικλείεται εντός καμπύλης ισούται με τον όγκο πλημμύρας V (m³). Η μέγιστη τιμή του διαγράμματος αντιστοιχεί στην πλημμύρα αιχμής.



Σχήμα 1.2 : Πλημμυρογράφημα (πηγή: Μαμάσης, 2016)

Κάθε πλημμυρογράφημα χαρακτηρίζεται από μοναδικότητα διότι η κλίμακα μεγέθους μιας πλημμύρας συνδέεται με τα αστάθμητα χαρακτηριστικά:

- της βροχόπτωσης,

- της λεκάνης απορροής,
- των υδατορευμάτων (Μαμάσης, 2016).

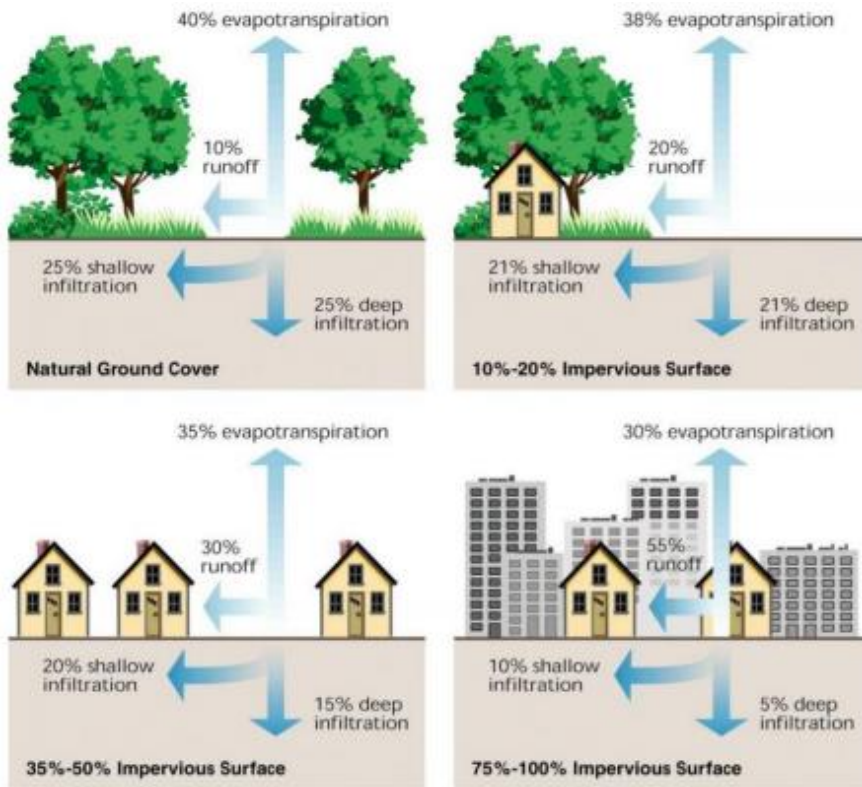
Πιο συγκεκριμένα, η πλημμύρα εξαρτάται από τις συνιστώσες του συνολικού ύψους, της έντασης και της διάρκειας της βροχόπτωσης, της έκτασης, του χρόνου συρροής και του συντελεστή απορροής της λεκάνης απορροής, καθώς και της διατομής, της κλίσης, της τραχύτητας και των κατάντη στάθμων των υδατορευμάτων.

1.3.2 Αιτίες πλημμυρών

Η εμφάνιση πλημμυρών αποτελεί και θα αποτελεί αναπόφευκτο σενάριο όσο και αν παρέρχονται τα χρόνια. Μια πλημμύρα μπορεί να εκδηλωθεί φυσικά εξαιτίας κάποιου έντονου επεισοδίου βροχής, δυστυχώς όμως ο άνθρωπος παράγοντας με τις παρεμβάσεις του είναι εκείνος που οξύνει άρδην την πρόκληση δυσμενέστερων συνεπειών έπειτα από πλημμυρικά φαινόμενα.

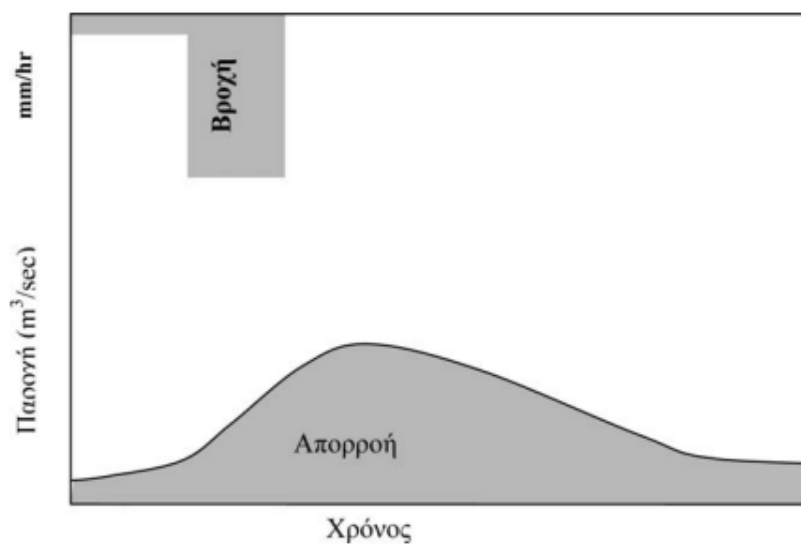
Γεγονός είναι η ολοένα και αυξανόμενη τάση των πληθυσμών για συρροή στα αστικά κέντρα και δημιουργία νέων αυτών. Έτσι το φυσικό έδαφος αλλάζει χρήση γης και οι διαπερατές ιδιότητές του που συμβάλλουν στην απορρόφηση σημαντικών όγκων υδάτων, αντικαθίστανται από αδιαπέρατες επιφάνειες δηλαδή κατασκευή κτιρίων και δρόμων, με απόρροια ανεξέλεγκτη επιφανειακή απορροή και πλημμύρα.

Παράλληλα από τη μανία του ανθρώπου για αστικοποίηση, προκύπτει η αποψίλωση δασικών εκτάσεων, στον βωμό της αναζήτησης νέων χώρων για κατασκευές. Οι ρίζες των δέντρων σε συγκερασμό με το έδαφος που συγκρατούν, δημιουργούν μία συμπαγή δομή που παίζει καθοριστικό ρόλο στην απομείωση των όγκων πλημμύρας. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς, πως η κοπή δασικών εκτάσεων και βλάστησης, δυσχεραίνει τις επιπτώσεις ενός πλημμυρικού επεισοδίου. Στην κατάσταση αυτή συμβάλλει και η εκδήλωση πυρκαγιών σε δασικές εκτάσεις. Αρκεί το παρακάτω γράφημα (Σχήμα 1.3) για να αντιληφθεί κανείς τον τρόπο με τον οποίο καταναίμεται το νερό σε φυσικό έδαφος και σε αστικοποιημένο. Με την ύπαρξη φυσικού εδάφους, διηθείται το 50% και απορρέει επιφανειακά μόλις το 10%, ενώ σε αστικοποιημένο έδαφος μόλις το 15% διηθείται, ενώ ένα 55% (σχεδόν πέντε φορές μεγαλύτερο ποσοστό) διαφεύγει ως επιφανειακή απορροή.

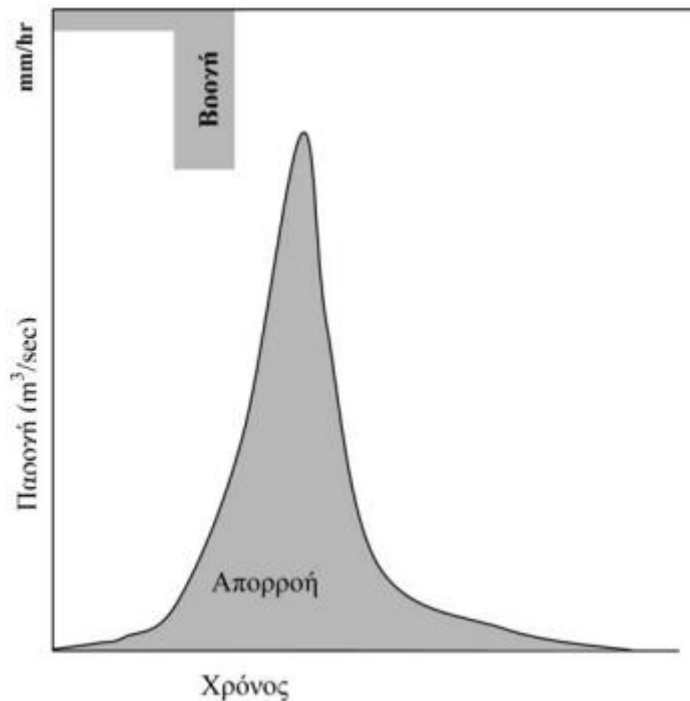


Σχήμα 1.3 : Η επίδραση της αστικοποίησης (πηγή: Urban Flood Risk Management, 2008)

Αντίστοιχα παρουσιάζονται δύο πλημμυρογραφήματα ίδιας λεκάνης που ερμηνεύουν τη συμβολή των δασών στον περιορισμό του πλημμυρικού όγκου και τη μείωση της πλημμυρικής αιχμής. Στο Σχήμα 1.4 παρατηρείται η πλημμύρα «απλωμένη» στον χρόνο, με φυσιολογική αιχμή, ενώ στο Σχήμα 1.5 φαίνεται η πλημμύρα να έχει σύντομη χρονική απόκριση με μεγάλη πλημμυρική αιχμή.



Σχήμα 2.4: Υδρολογική συμπεριφορά λεκάνης πριν από πορκαγιά (πηγή: Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων)



Σχήμα 1.5 : Υδρολογική συμπεριφορά λεκάνης μετά από πυρκαγιά
(πηγή: Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων)

Η επιρροή της ανθρώπινης δραστηριότητας όμως συνεχίζεται με την καλπάζουσα βιομηχανική ανάπτυξη χωρίς καμία μέριμνα για το περιβάλλον. Οι βιομηχανικές μονάδες και τα οχήματα με τους ρύπους που απελευθερώνουν, κλιμακώνουν ατμοσφαιρικά φαινόμενα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η δημιουργία στρωμάτων ρύπων στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, που ανακλούν μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από τη θεμιτή πίσω στον φλοιό της Γης, οδηγεί στο λιώσιμο των πάγων στο χερσαίο περιβάλλον προκαλώντας συχνότερες πλημμύρες.

Εν κατακλείδι, όλα τα προηγούμενα συντελούν στην κλιματική αλλαγή, που χαρακτηρίζεται από ψυχρότερους χειμώνες με ακραία επεισόδια βροχών και καλοκαίρια με αυξημένες θερμοκρασίες, οδηγώντας σε μεγαλύτερη περίπτωση εκδήλωσης μη αναμενόμενων πλημμυρών κυρίως από άποψη έντασης, αιχμής και όγκου.

1.3.3 Αντιμετώπιση πλημμυρών

Η διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου χαρακτηρίζεται από μακροχρόνια και σύνθετη ιστορική σταδιοδρομία. Τα πρώτα δείγματα φαίνεται ήδη να εμφανίζονται από τους αρχαίους πολιτισμούς προ Χριστού όπως Αιγύπτιοι, Έλληνες, με την κατασκευή καναλιών και φραγμάτων προκειμένου να διαχειρίζονται τις πλημμύρες και να αρδεύουν τις καλλιέργειές τους. Βέβαια με την πάροδο των χρόνων, οι πρακτικές διαχείρισης πλημμυρών εξελίχθηκαν, έχοντας σημαντικό αντίκτυπο στις οικονομικές, κοινωνικές και τεχνολογικές συνθήκες του σύγχρονου κόσμου. Προκειμένου η διαχείριση μιας πλημμύρας να γίνει ορθά και έγκαιρα, να μετριάσουν οι επιπτώσεις

της καθώς και η πιθανότητα επανεμφάνισής της, εφαρμόζονται είτε χρειάζεται να εφαρμοστούν μελλοντικά οι ακόλουθες τακτικές:

- Κατασκευαστικά έργα.
- Μη κατασκευαστικά έργα.
- Συστήματα προειδοποίησης πλημμύρας και έκτακτης ανάγκης.

Στα κατασκευαστικά έργα, περιλαμβάνονται υδραυλικές κατασκευές ασφαλείας που εντοπίζονται στο ρου του ποταμού ή ρευμάτων, πλησίον θαλάσσης είτε σε αστικό και μη αστικό περιβάλλον. Παραδείγματα τέτοιων έργων αποτελούν τα φράγματα, εκτροπές, αναχώματα, ταμιευτήρες αποθήκευσης νερού και αντιπλημμυρικά τοιχία. Στο κατασκευαστικό κομμάτι επίσης, εντάσσεται και η βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας των συστημάτων αγωγών ομβρίων της εκάστοτε περιοχής.

Όσον αφορά τα μη κατασκευαστικά έργα, οι δράσεις μπορούν να διακλαδιστούν σε δύο επίπεδα, σε αυτό των κοινωνικών φορέων και στο ατομικό επίπεδο. Η πληροφόρηση του κοινού για τον πλημμυρικό κίνδυνο και την αποτροπή του είναι αρκετά ελλιπής. Οι φορείς σε πρώτη φάση, αντλώντας δεδομένα από τους χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας, οφείλουν να ζωνοποιούν εκτάσεις που είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά επεισόδια απαγορεύοντας τη δόμηση εντός αυτών. Σε επόμενο στάδιο, αφενός χρειάζεται να εστιάσουν στη διαφήμιση μέτρων αντιμετώπισης πλημμύρας στα μέσα μαζικής ενημέρωσης, αφετέρου είναι δόκιμο να προωθούνται εκστρατείες εκπαίδευσης και οργάνωση σεμιναρίων. Ο σκοπός των σεμιναρίων αυτών αφορά την επιμόρφωση των πολιτών σχετικά με ενέργειες αποτροπής, αντιμετώπισης πλημμυρών καθώς και σενάρια έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης. Με τη σειρά του ο πολίτης, έχοντας λάβει την απαραίτητη καθοδήγηση μέσω των προγραμμάτων, μπορεί να δομεί τη μελλοντική του κατοικία σε κάποια ανύψωση για την αποφυγή πλημμύρας είτε να ενισχύσει την υφιστάμενη με περιμετρικά τοιχία αντιπλημμυρικής προστασίας. Το σχέδιο αυτό, εξ ορισμού φαίνεται κάπως μεγαλόπνοο αλλά όχι ουτοπικό.

Τέλος, ήδη έχουν εφαρμοστεί σε πειραματικό επίπεδο διατάξεις ελέγχου της απορροής ποταμών. Γίνεται λόγος για συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης που περιλαμβάνουν την τοποθέτηση αισθητήρων, παροχομέτρων στον ρου των ποταμών και ρευμάτων, αρκετά ανάντη της δυνητικά πλημμυρικά πληττόμενης λεκάνης απορροής, που στέλνουν μετρήσεις δεδομένων σε ζωντανό χρόνο και αντίστοιχα σήματα προειδοποίησης σε περίπτωση υπέρβασης των επιθυμητών τιμών. Ακόμα, διατίθενται συστήματα παρατήρησης από δορυφόρους σε ζωντανό χρόνο, λόγω χάρη Copernicus, χρήσιμα για εποπτεία των λεκανών απορροής, ενώ πολύ αξιόλογη έρευνα για πρόληψη πλημμυρικού κινδύνου προσφέρει και η αξιοποίηση συστημάτων γεωγραφικών συντεταγμένων σε συγκερασμό με μοντέλα υδρολογικής και υδραυλικής προσομοίωσης.

1.4 Θεσμικό πλαίσιο υδάτων

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, αναλογιζόμενη τη σπουδαιότητα των υδάτων, οδηγήθηκε στη δημιουργία ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου για αυτόν τον τομέα. Έτσι, έπειτα από προσπάθειες, διαμόρφωσε την Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ για την προστασία και

βελτίωση ποιότητας των υδάτων και την Οδηγία-Πλαίσιο 2007/60/ΕΚ για τη διαχείριση και την αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου.

1.4.1 Οδηγία 2000/60/ΕΚ

Στις 22 Δεκεμβρίου 2000 θεσπίστηκε για πρώτη φορά από την Ευρωπαϊκή Ένωση, πλαίσιο που αφορά την προστασία των υδάτων.

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ, γνωστή ως Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) εισάγει ως καινοτόμο ιδέα τη διαχείριση των νερών σε κλίμακα Λεκανών Απορροής Ποταμών. Πιο συγκεκριμένα διαμορφώνει κανονιστικό πλαίσιο για τα επιφανειακά, υπόγεια, μεταβατικά και παράκτια ύδατα το οποίο:

1. Προστατεύει και βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων.
2. Συμβάλλει στην αντιμετώπιση συνολικά όλων των χρήσεων και υπηρεσιών ύδατος, συνυπολογίζοντας την αξία του ύδατος για το περιβάλλον, την υγεία, την ανθρώπινη κατανάλωση και την κατανάλωση σε παραγωγικούς τομείς.
3. Ενισχύει και διασφαλίζει τη συμμετοχή του κοινού με τη δημιουργία συστηματικών και ουσιαστικών διαδικασιών διαβούλευσης, ενώ παράλληλα, προωθεί την αειφόρο και ολοκληρωμένη διαχείριση των διασυνοριακών λεκανών απορροής ποταμών.

Το θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας έχει εναρμονισθεί με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ. Από την εφαρμογή των απαιτήσεων της 2000/60/ΕΚ έχουν καταρτιθεί, εγκριθεί και υποβληθεί στην ΕΕ τα πρώτα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών όλων (και των 14) των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας για την περίοδο (2009-2015). Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, τα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών αναθεωρούνται και ενημερώνονται ανά εξαετία.

1.4.2 Οδηγία 2007/60/ΕΚ

Προκειμένου το πλαίσιο της διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμών να γίνει πιο ολοκληρωμένο, δημιουργήθηκε η Οδηγία 2007/60/ΕΚ. Η Οδηγία αυτή τέθηκε σε ισχύ στις 23 Οκτωβρίου 2007 και μέσω αυτής θεσπίζεται πλαίσιο για την αξιολόγηση, τη χαρτογράφηση και τον σχεδιασμό με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων πλημμύρας σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η παρούσα Οδηγία συμπληρώνει την Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ για την ολοκληρωμένη προστασία και την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων και τα μέτρα που θα λαμβάνονται από τα κράτη μέλη για την αντιμετώπιση των πλημμυρών οφείλουν να εναρμονίζονται με αυτή. Οι απαιτήσεις της αφορούν σε οποιοδήποτε τύπο πλημμύρας ανεξάρτητα από την προέλευσή της, την περιοχή όπου εκδηλώνεται και την αιτία που την προκάλεσε. Σύμφωνα με την Οδηγία, διαμορφώνεται πλαίσιο το οποίο:

1. Υποχρεώνει τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αξιολογούν τις περιοχές και τις λεκάνες απορροής βασιζόμενες σε ιστορικά γεγονότα πλημμύρων, σε χάρτες αναφορικούς με χρήσεις γης καθώς να προσδιορίζουν τη πιθανότητα μελλοντικών πλημμυρών και των συνεπειών τους.
2. Αναγκάζει τις Ευρωπαϊκές χώρες να καταρτίζουν χάρτες που αφενός παρουσιάζουν ιστορικά πλημμυρικά φαινόμενα τα οποία έχουν εκδηλωθεί σε πληττόμενες

πλημμυρικά περιοχές και αφετέρου αναφέρουν μελλοντικά σενάρια επανεμφάνισης πλημμυρών σε αυτές.

3. Ωθεί τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να καταρτίσουν σχέδια διαχείρισης των κινδυνών πλημμύρας σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμών. Ο κεντρικός άξονας των σχεδίων αυτών, εστιάζει στις παρκάτω ενέργειες (Μπαλτάς, 2021):

- Πρόληψη. Αφορά την παρέμβαση στα ανάντη της λεκάνης απορροής. Στόχος του βήματος αυτού είναι η μείωση της παροχής αιχμής του πλημμυρογραφήματος της λεκάνης, «απλώνοντας» τον χρόνο συρροής. Η αύξηση του χρόνου συρροής, μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή κάποιου έργου στα ανάντη το οποίο να καθυστερεί τη διέλευση του νερού μέσα από τη λεκάνη.
- Προστασία. Η πολιτεία οφείλει να μεριμνήσει για την κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων που να αποτρέπουν είτε να απομειώνουν τις πλημμύρες, λόγω χάρη κάποιος αντιπλημμυρικός ταμιευτήρας.
- Ετοιμότητα. Κάθε αρμόδιος φορέας πρέπει να έχει νοθετηθεί για τον ρόλο του και τις ενέργειες στις οποίες πρέπει να προβεί σε περίπτωση πλημμυρικού συμβάντος.
- Μετρίαση. Γίνεται λόγος για την πλήρη και ορθή λειτουργία όλων των υδραυλικών κατασκευών που εντοπίζονται στα ανάντη της λεκάνης, λόγω χάρη εκτροπές, θραύση πλημμύρας. Οι καταστροφές που δύναται να προκαλέσει μία πλημμύρα αποτελούν λογαριθμική συνάρτηση του μεγέθους της, δηλαδή όσο πιο ανάντη αντιμετωπιστεί η πλημμύρα, τόσο λιγότερες θα είναι οι επιπτώσεις στα κατάντη της λεκάνης.
- Αντιμετώπιση και αποκατάσταση. Μετά το πέρας της πλημμύρας, οι κοινωνικοί φορείς ενεργοποιούνται για να εφαρμόσουν μέτρα περίθαλψης, αναδάσωσης και ανασυγκρότησης υποδομών.

1.4.3 Οδηγία για τη κλιματική αλλαγή και τις Natural Based Solutions

Τον Απρίλιο του 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε τη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Η στρατηγική της Ε.Ε. έχει ως στόχους:

- Την ενθάρρυνση των κρατών μελών να προχωρήσουν στη θέσπιση εθνικών στρατηγικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή,
- την χρηματοδότηση μέσω του προγράμματος LIFE για την ανάπτυξη ικανοτήτων και την επιτάχυνση της δράσης για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή,
- την συμπλήρωση των κενών γνώσης για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή,
- την περαιτέρω ανάπτυξη της διαδικτυακής πλατφόρμας Climate-ADAPT με στόχο να αποτελέσει κεντρικό σημείο πληροφόρησης για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή,
- και τέλος τη θωράκιση των υποδομών έναντι της κλιματικής αλλαγής.

Σε ελλαδικό επίπεδο, τον Δεκέμβριο του 2014, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) συνέταξε ένα σχέδιο εθνικής στρατηγικής για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (ΕΣΠΚΑ) ακολουθώντας τις νόρμες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το 2016 επήλθε, η αξιολόγηση της στρατηγικής σχετικά με την κλιματική αλλαγή η οποία ολοκληρώθηκε το 2018. Σύμφωνα με την ειδική Έκθεση - Οδηγία για πλημμύρες (25/2018) του Ευρωπαϊκού Ελεγκτικού Συνεδρίου, η συχνότητα των πλημμυρικών γεγονότων στην Ευρώπη έχει ενταθεί από το 1985 και έπειτα. Τα τελευταία χρόνια έχουν καταγραφεί υπερδιπλάσιες αστραπιαίες πλημμύρες μεσαίας έως μεγάλης έντασης σε σχέση με τα τέλη της δεκαετίας του 1980.

Όπως επίσης προέκυψε από την Οδηγία, αρκετά κράτη μέλη αδυνατούν να συνυπολογίσουν τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στο μέγεθος, τη συχνότητα και την τοποθεσία εκδήλωσης των πλημμυρών. Αναγνωρίζονται ορισμένες τάσεις, όπως περισσότερες αστραπιαίες πλημμύρες, δεν λαμβάνονται όμως ακόμη υπόψη στα μοντέλα πλημμυρών.

Επιπρόσθετα, πολλά κράτη μέλη βασίζονται μόνο σε ιστορικές στατιστικές σειρές λαμβάνοντας υπόψη μόνο ιστορικά υδρολογικά και μετεωρολογικά πρότυπα χωρίς να αντικατοπτρίζουν τις μελλοντικές καιρικές συνθήκες ή τις πιθανές αλλαγές στη συχνότητα και τη σοβαρότητα των πλημμυρών λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Αναφορικά με την εφαρμογή λύσεων εναρμονισμένων με τη φύση για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου, τα τελευταία χρόνια η ευρωπαϊκή επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της στις Natural Based Solutions. Ειδικότερα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δημιουργήσει ήδη από το 2004 ένα πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον (Environment Action Programme to 2030) θέτοντας στόχους που αφορούν το άμεσο αλλά και το μακρινό μέλλον σχετικά με τη διαχείριση κινδύνου πλημμυρών. Το πλαίσιο των δράσεων αφορά τη προώθηση και υποστήριξη βιώσιμων μέτρων που συμβαδίζουν με τη φύση προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα πλημμυρικά γεγονότα.

Μία ακόμη προσπάθεια σχετικά με τις φυσικές λύσεις αντιμετώπισης πλημμυρών, έχει πραγματοποιηθεί σε επίπεδο Ηνωμένων Εθνών με τη συνάθροιση και συζήτηση κρατών τον Νοέμβριο του 2017, γνωστή ως COP23 (23rd Conference of the Parties). Ενδεδειχότερα, έπειτα από συζητήσεις φορέων παγκόσμιου βεληνεκούς, οι συμμετέχοντες συμφώνησαν πως κρίνεται επιτακτική ανάγκη να έρθουν σε επαφή δημόσιοι και ιδιωτικοί εταίροι για την προώθηση της σημασίας του νερού αναλογιζόμενοι και την κλιματική αλλαγή. Οι κύριοι άξονες των συζητήσεων αφορούσαν την προετοιμασία για την λειψυδρία, την οικονομικά βέλτιστη και αποδοτικότερη διαχείριση και προστασία των υδάτινων πόρων και την ανάπτυξη προσεγγίσεων για την αντιμετώπιση του ελλείμματος νερού.

Παρ' όλα αυτά, προς το παρόν σε πολλά κράτη μέλη ακόμα και η εφαρμογή «πράσινων» λύσεων για τον πλημμυρικό κίνδυνο βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο, ενώ κάποια λίγα κράτη μέλη χρησιμοποιώντας το Corine Land Cover, εξετάζουν τις χρήσεις εδάφους που πρόκειται να προβούν σε μετατροπή κάλυψης γης.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφική θέση

Η νήσος Λευκάδα, γνωστή και ως Λευκάς, ανήκει στο Ιόνιο Πέλαγος και είναι το τέταρτο σε μέγεθος νησί του συμπλέγματος των Ιονίων Νήσων (Σχήμα 2.1). Βρίσκεται νότια της Κέρκυρας, βόρεια της Κεφαλονιάς και της Ιθάκης και δυτικά της Ακαρνανίας. Απέχει μόλις 78 μέτρα από τη Στερεά Ελλάδα, από την οποία τη χωρίζει ο διάυλος της Λευκάδας πλάτους 25 μέτρων. Σήμερα, υπάρχει κινητή γέφυρα και η πρόσβαση γίνεται οδικώς από την ηπειρωτική χώρα. Η Λευκάδα χαρακτηρίζεται από πλούσια ιστορία, η οποία εικάζεται πως ξεκινάει ήδη από τη Νεολιθική εποχή με βάση τις ενδείξεις ανθρώπινης δραστηριότητας και καταλυμάτων που έχουν βρεθεί. Με τη πάροδο των χρόνων, το νησί καταλήφθηκε από διάφορους πολιτισμούς όπως οι Ρωμαίοι, οι Ενετοί, οι Βυζαντινοί και οι Οθωμανοί.



Σχήμα 2.1. : Περιοχή μελέτης (πηγή: GIS)

2.2 Χρήσεις γης

Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού καλύπτεται από ετερογενείς αγροτικές εκτάσεις και συμπλέγματα καλλιεργειών με τις καλλιέργειες να εστιάζουν κυρίως στην παραγωγή ελιών, σταφυλιού και εσπεριδοειδών με ποσοστό που φτάνει το 42%. Επίσης, με βάση τον παρακάτω χάρτη, μπορεί κανείς να διακρίνει αρκετές εκτάσεις βοσκοτόπων, καθώς άλλωστε η κτηνοτροφία προβάτων και γιδιών συμβάλλει σημαντικά στην οικονομία του νησιού αποτελώντας το 32% της κάλυψης γης. Επιπροσθέτως, το νησί χαρακτηρίζεται για την πράσινη κάλυψή του, με τα δάση να αποτελούν το 25% της καλυπτόμενης γης.

Διάσπαρτα εντοπίζονται αστικές κατασκευές με μόλις 1% της έκτασης. Η ανάπτυξη του αστικού ιστού βέβαια είναι ραγδαία δεδομένου ότι το νησί αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης. Απόρροια αυτού, είναι η ολοένα και αυξανόμενη ανοικοδόμηση ξενοδοχείων, εστιατορίων και άλλων τουριστικών υποδομών κατά μήκος της ακτογραμμής της νήσου. Τέλος, ελάχιστη είναι η παρουσία βιομηχανικής ζώνης με ποσοστό λιγότερο του 1% (Σχήμα 2.2).



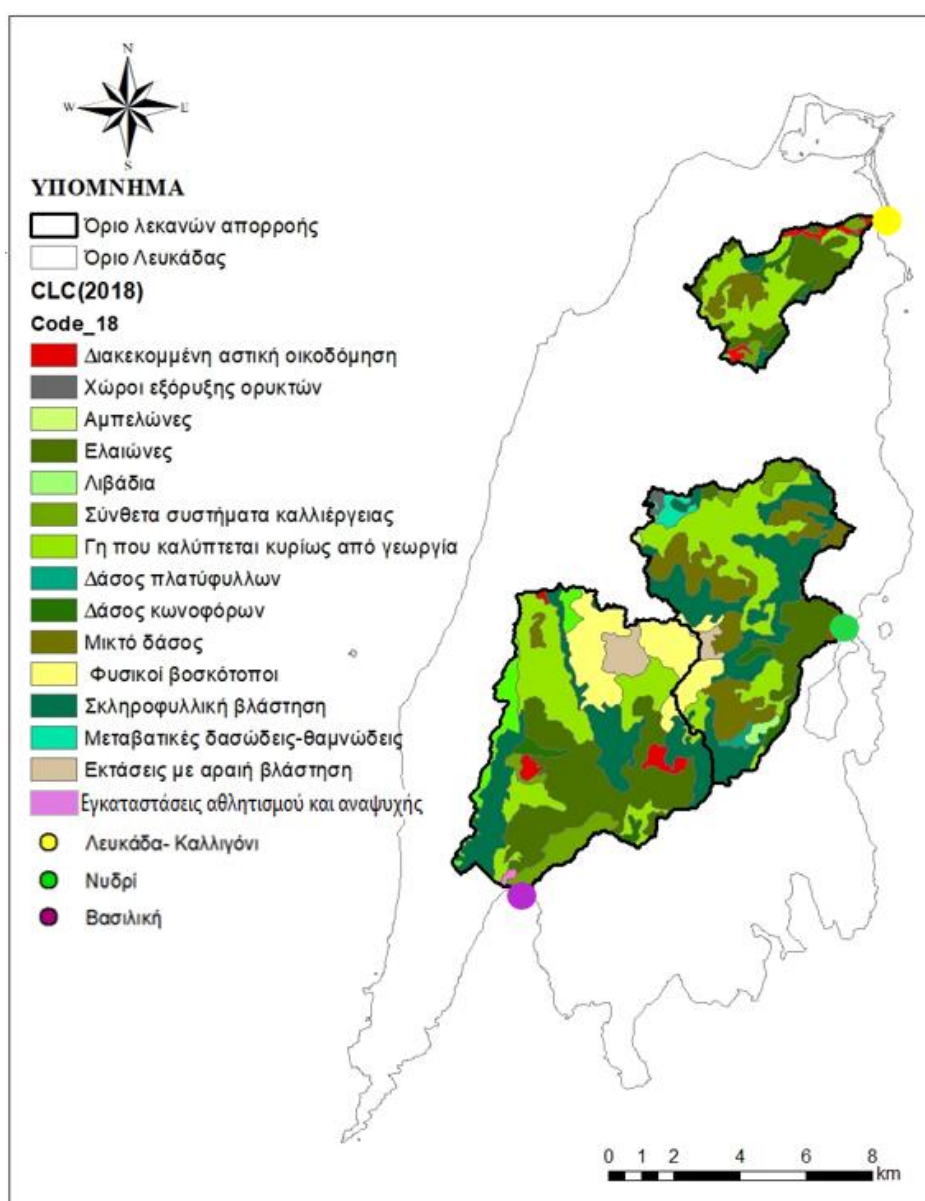
Σχήμα 2.2. : Χρήσεις γης νήσου (πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων)

Πιο συγκεκριμένα, η υπολεκάνη της Βασιλικής χαρακτηρίζεται σε μικρή έκταση από ασυνεχή αστικό ιστό σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις για παροχή ψυχαγωγίας και αθλητισμού. Σημαντικό ποσοστό της γης χρησιμοποιείται για γεωργία με παρουσία καλλιεργημένων εκτάσεων γενικής φύσης αλλά και ελιών, ενώ υπάρχει και αρκετή

φυσική βλάστηση. Επίσης εντοπίζονται σε μικρό ποσοστό κωνοφόρα δάση, περιοχές με αραιή και σκληροφυλλική βλάστηση και βοσκότοποι.

Προχωρώντας στην υπολεκάνη του Νυδριού, το μεγαλύτερο ποσοστό γης καλύπτεται από δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων δέντρων καθώς και αραιή βλάστηση. Η ύπαρξη συμπλεγμάτων καλλιεργειών με αμπελώνες και ελιές καταλαμβάνει σημαντικό τμήμα της περιοχής, ενώ σε μικρότερο ποσοστό εντοπίζονται αραιός αστικός ιστός, τοποθεσίες εξόρυξης πετρωμάτων και βοσκότοποι.

Η βορειότερη υπολεκάνη του νησιού, στην πλειονότητά της καλύπτεται από καλλιέργειες γενικής φύσης και ελιών, ενώ σε πολλά τμήματά της εντοπίζεται φυσική βλάστηση. Αξιοσημείωτο είναι και το ποσοστό κάλυψης γης με κωνοφόρα δάση. Τέλος χαρακτηρίζεται από ασυνεχή αστικό ιστό που βέβαια εξαπλώνεται σε μεγαλύτερη έκταση συγκριτικά με των υπολεκανών της Βασιλικής και του Νυδριού (Σχήμα 2.3).

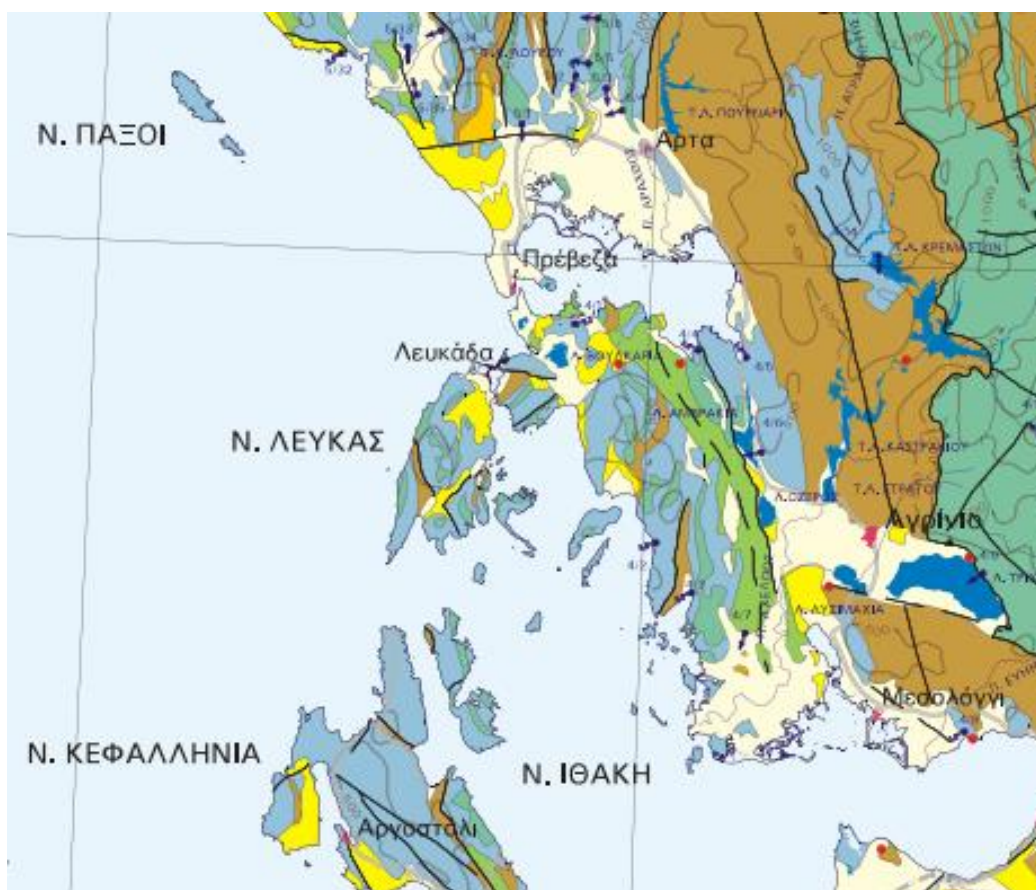


Σχήμα 2.3. : Χρήσεις γης υπολεκανών μελέτης (πηγή: GIS)

2.3 Γεωμορφολογία εδάφους

Ως κυρίαρχο πέτρωμα του νησιού αναγνωρίζεται ο ασβεστόλιθος, οι μορφές του οποίου καλύπτουν κατ' αποκλειστικότητα τους ορεινούς όγκους του νησιού (Σταυρωτάς, Μέγα Όρος, Σκάρος), καθώς και το μεγαλύτερο τμήμα των δυτικών ακτών και νότιων περιοχών. Οι παραπάνω ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν μέτρια έως έντονη καρστικοποίηση εξαιτίας της χημικής διάβρωσής τους που οφείλεται στις εναλλαγές με ημιπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς. Οι δομές αυτές προκαλούν διαφοροποιήσεις στην κίνηση του υπόγειου νερού.

Μικρότερη είναι η εμφάνιση του φλύσχη που σε γενική βάση θεωρείται αδιαπέρατος σχηματισμός, ενώ στην υπόλοιπη νήσο παρουσιάζονται τριτογενείς γεωλογικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από εναλλαγές άμμων, μαργών αργίλων και κροκαλοπαγών (Σχήμα 2.4 και 2.5).



Σχήμα 2.4. : Λιθολογικός χάρτης Ελλάδος (πηγή: www.orykta.gr/hartes-elladas)

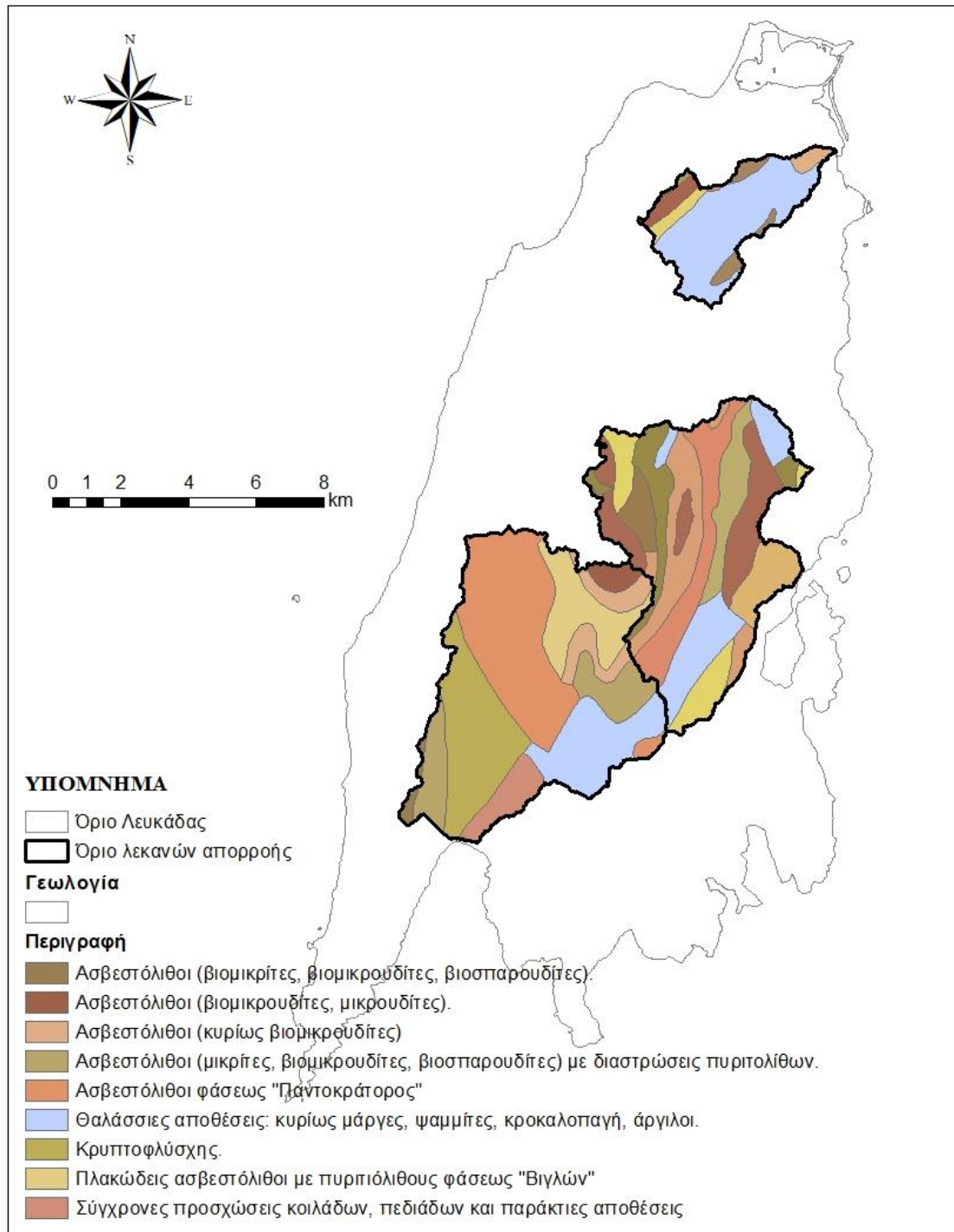
- Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας.
- Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης κυμαινόμενης υδροπερατότητας
- Φλύσχη
- Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας

**Σχήμα 2.5. : Υπόμνημα Λιθολογικού χάρτη Ελλάδος (πηγή:
www.orykta.gr/hartes-elladas)**

Σε επίπεδο των τριών υπολεκάνων μελέτης, όσον αφορά τη Βασιλική ένα μεγάλο τμήμα στα δυτικά αποτελείται από φλύσχη, στο νότιο τμήμα στην εκβολή του υδατορεύματος συναντώνται προσχώσεις κοιλάδων και παράκτιες αποθέσεις υψηλής διηθητικής ικανότητας. Σε σημαντικό τμήμα εντοπίζονται θαλάσσιες αποθέσεις κυρίως μάργων, ψαμμίτων, κροκαλοπαγών και αργίλων, ενώ κατά κύριο λόγο εμφανίζονται ασβεστολιθικοί σχηματισμοί.

Προχωρώντας ανατολικότερα στην υπολεκάνη του Νυδρίου, σημαντικό τμήμα της έκτασης καλύπτεται από φλύσχη, ενώ στην εκβολή του υδατορεύματος εμφανίζονται προσχώσεις κοιλάδων και παράκτιες αποθέσεις υψηλών διηθητικών ρυθμών. Στο βόρειο και νότιο τμήνα της υπολεκάνης συναντώνται θαλάσσιες αποθέσεις κυρίως μάργων, ψαμμίτων, κροκαλοπαγών και αργίλων, ενώ φυσικά το σημαντικότερο ποσοστό των σχηματισμών αποτελείται από ασβεστόλιθους.

Τέλος, αναφορικά με την υπολεκάνη Καλλιγονίου-Πόλης Λευκάδας, υπάρχει απουσία φλύσχη και σχεδόν όλη η έκταση της υπολεκάνης αποτελείται από θαλάσσιες αποθέσεις κυρίως μάργων, ψαμμίτων, κροκαλοπαγών και αργίλων. Στην εκβολή του υδατορεύματος εμφανίζονται προσχώσεις κοιλάδων και παράκτιες αποθέσεις υψηλών διηθητικών ρυθμών, ενώ διάσπαρτα στην υπολεκάνη σε μικρά τμήματα συναντώνται ασβεστολιθικοί σχηματισμοί (Σχήμα 2.6).

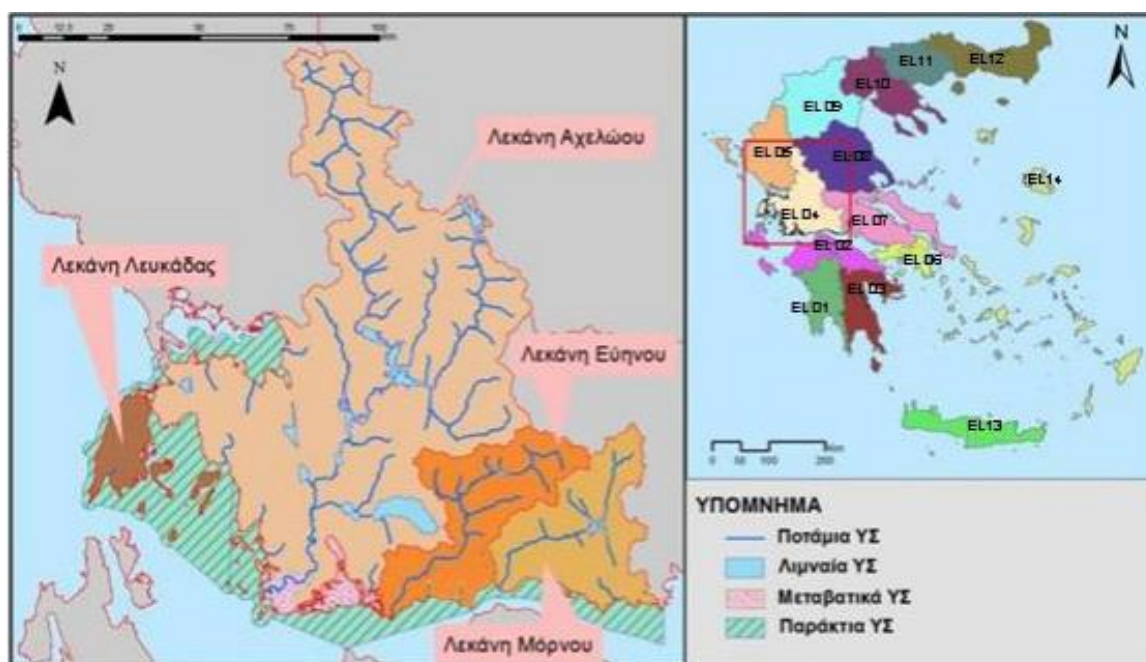


Σχήμα 2.6. : Υπεδάφιοι σχηματισμοί υπολεκάνων μελέτης (πηγή: GIS)

2.4 Υδρολογία

Το νησί της Λευκάδος υπάγεται στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Αποτελεί το τέταρτο από το 14 υδατικά διαμερίσματα της χώρας μας με κωδική ονομασία EL04 (Σχήμα 2.7). Γνωρίσματα αυτού αποτελούν σημαντικές γεωγραφικές

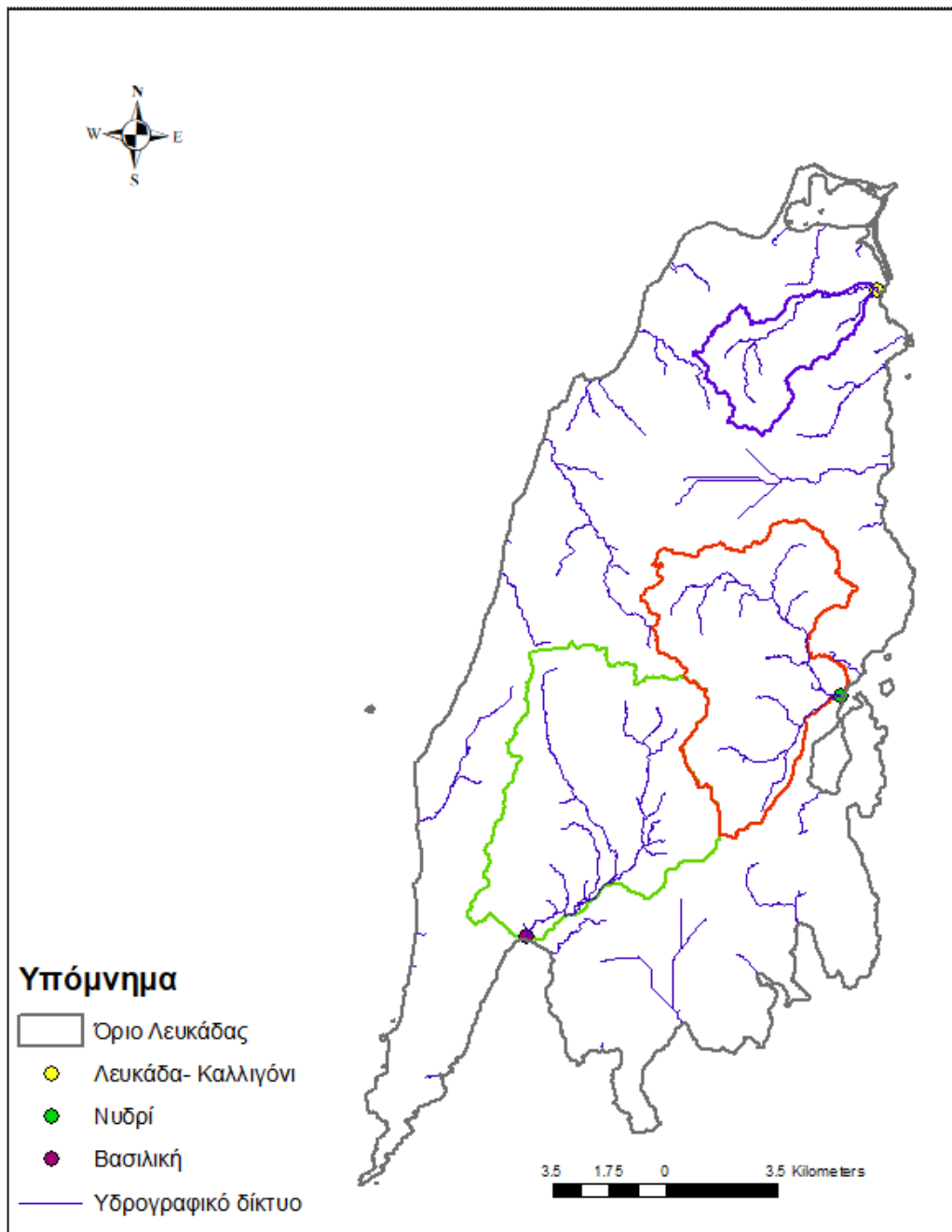
ιδιαιτερότητες, φυσικοί πόροι (μεγάλα ποτάμια, λίμνες, λιμνοθάλασσες), σημαντικά ιστορικά κέντρα (Ναύπακτος, Μεσολόγγι) καθώς και αξιόλογα ορεινά τοπία.



Σχήμα 2.7. : Θέση, όρια και κύριες λεκάνες του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτ. Στ. Ελλάδας (EL04) (πηγή:Ειδική Γραμματεία Υδάτων ΥΠΕΝ)

Πιο συγκεκριμένα, η λεκάνη απορροής της Λευκάδας καταλαμβάνει επιφάνεια 303 km². Χαρακτηρίζεται από πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 2.8) μέσα στο οποίο δεσπόζει ένας κύριος ποταμός, η πορεία του οποίου διασχίζει και καταρράκτες, μία φυσική λίμνη (μικρές λίμνες σχηματίζονται στην περιοχή των καταρρακτών) και μικρά υδατορεύματα.

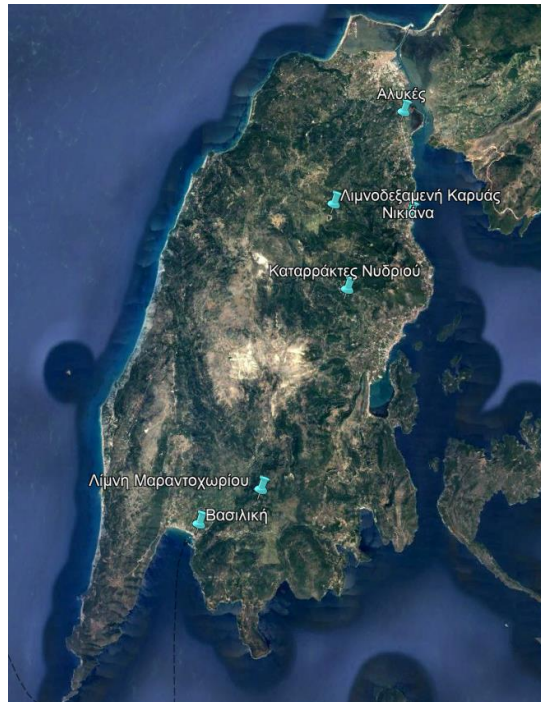
Το ορεινό υπόβαθρο του νησιού φτάνει μέγιστο ύψος +1166.62 m από την στάθμη της θάλασσας, ενώ πολύ σημαντική είναι η ροή υπόγειων υδάτων στο νησί εξαιτίας των γεωλογικών σχηματισμών. Στο νησί, υπάρχει και μία λιμνοδεξαμενή η χρήση της οποίας αφορά κυρίως τις αρδευτικές ανάγκες του δήμου Καρυάς.



Σχήμα 2.8. : Υδρογραφικό δίκτυο υπολεκάνων μελέτης (πηγή: Gis)

Έπειτα από αναζήτηση και επικοινωνία με μόνιμους κατοίκους της νήσου, προέκυψε η καταγραφή των υδάτων όγκων που προαναφέρθηκαν (Σχήμα 2.9):

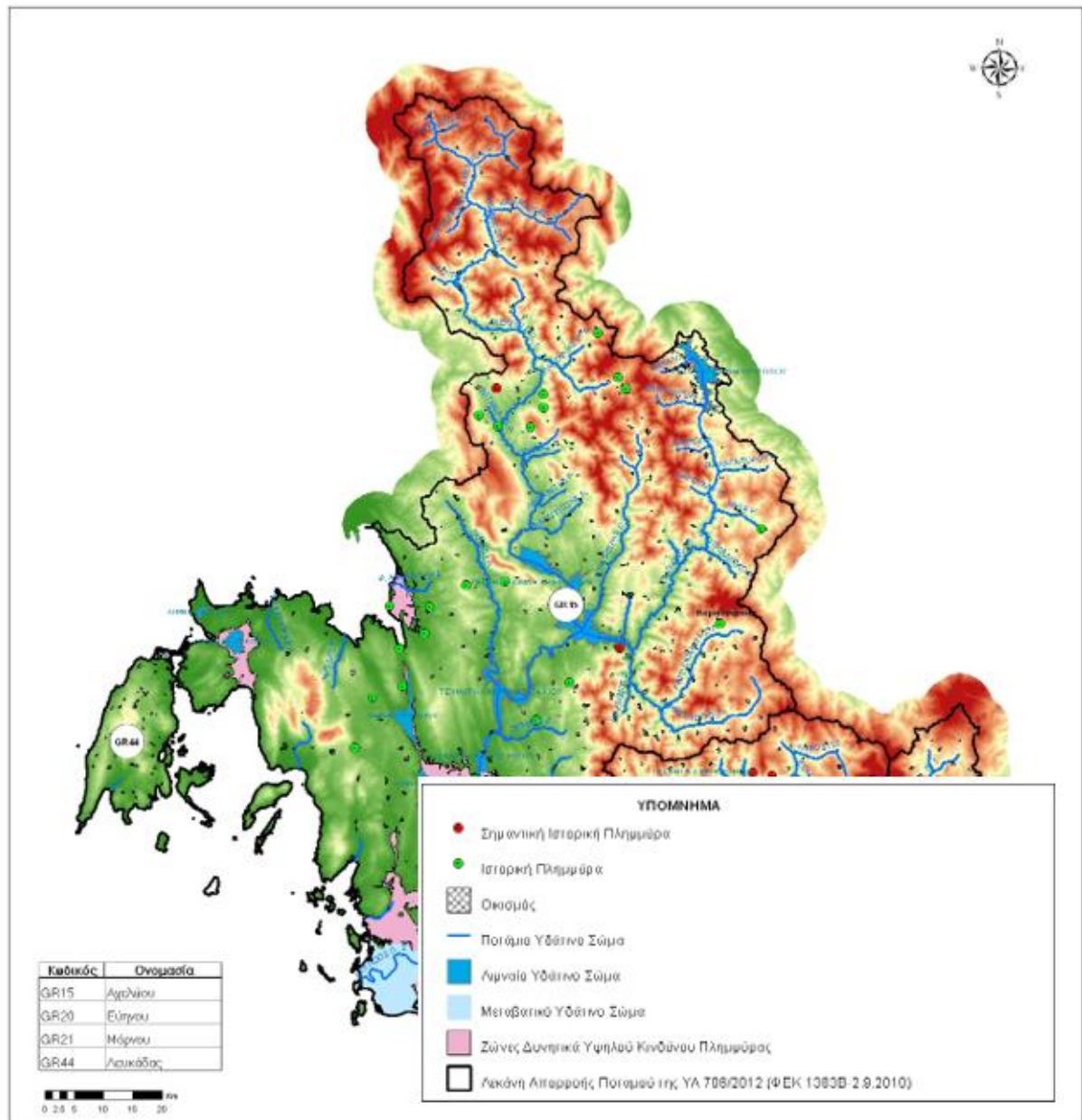
1. Ποταμός Δημοσάρης με Καταρράκτες Νυδρίου
2. Λίμνη του Μαραντοχωρίου
3. Υδατόρευμα της Βασιλικής- Υδατόρευμα Μελισσάς
4. Υδατόρευμα του Βάρδα
5. Δύο υδατορεύματα της Νικιάνας
6. Λιμνοδεξαμενή της Καρυάς



Σχήμα 2.9.. : Εποπτική απεικόνιση των υδάτινων όγκων του νησιού (πηγή: Google maps)

2.4.1 Πλημμυρική επικινδυνότητα της νήσου

Ένα από τα πολλά αποτελέσματα εφαρμογής της Κοινοτικής Οδηγίας 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την «Αξιολόγηση και Διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», αποτελεί η ολοκλήρωση και ανάρτηση στο ΥΠΕΝ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας) χαρτών που αφορούν τις ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας (flood risk maps). Μελετώντας τον σχετικό χάρτη (Σχήμα 2.10), γίνεται αντιληπτό πως στην περιοχή μελέτης δεν προκύπτει δυνητικά υψηλός κίνδυνος πλημμύρας. Παρόλα αυτά, η μαρτυρία κατοίκων της Λευκάδος, έδειξε πως τα τελευταία χρόνια η περιοχή της Βασιλικής πλήττεται επανειλημμένα από πλημμύρες.



Σχήμα 2.10. : Ζώνες δυννητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας (πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων ΥΠΕΝ)

2.5 Κλιματικά και βιοκλιματικά χαρακτηριστικά

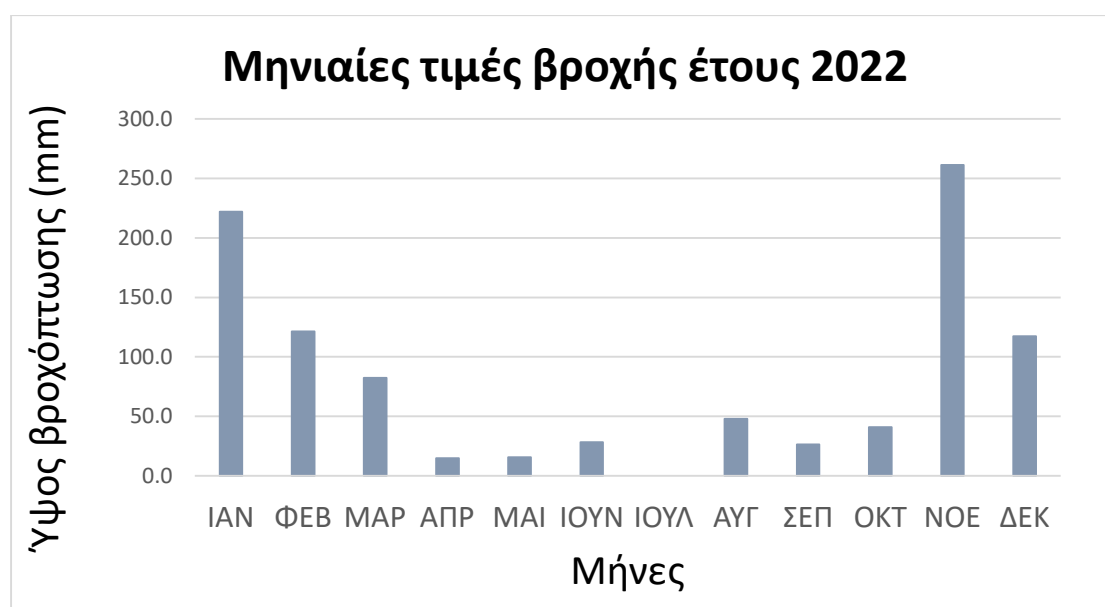
Το κλίμα της Λευκάδας είναι μεσογειακό. Έχει μεγάλη ηλιοφάνεια και χαρακτηρίζεται από ήπιο χειμώνα με αυξημένες βροχοπτώσεις και ζεστό καλοκαίρι με δροσερούς ανέμους. Το νησί είναι κατά το 70% ορεινό. Ο αέρας είναι συνήθως ζεστός κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζονται κύματα καύσωνα, αλλά λόγω της παράκτιας τοποθεσίας, οι θερμοκρασίες συγκρατούνται από τη σχετικά πιο δροσερή θάλασσα και την αύρα της. Οι χειμώνες είναι υγροί και το ελάχιστο χιόνι που πέφτει σπάνια, δεν διαρκεί πολύ.

Στη διαμόρφωση του κλίματος του νησιού μεγάλη συμβολή κατέχει η οροσειρά της Πίνδου. Οι υγροί άνεμοι που έρχονται από το Ιόνιο Πέλαγος με μεγάλες ποσότητες

υδρατμών προσκρούουν στην Πίνδο και ανεβαίνουν ψηλά, με αποτέλεσμα οι υδρατμοί να ψύχονται και να μετατρέπονται σε σταγόνες βροχής.

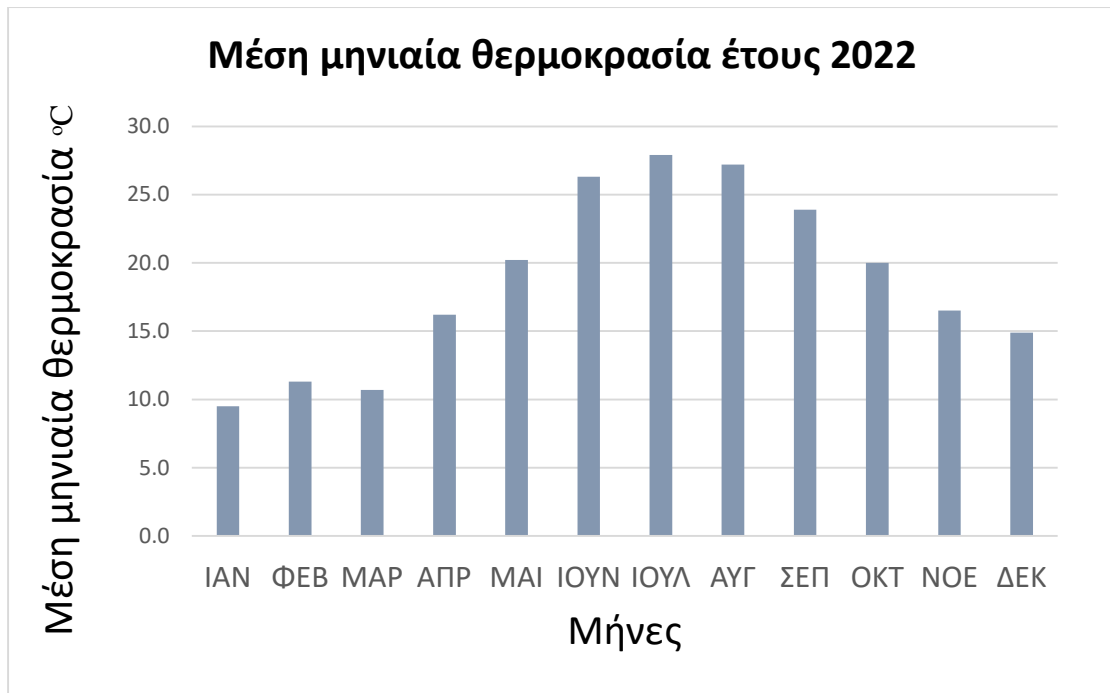
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στοιχεία που έχουν ληφθεί από το μετεωρολογικό σταθμό στη νήσο της Λευκάδος, του οποίου η υψομετρική θέση είναι +12.00m και είναι επί της περιοχής. Με βάση τα διαθέσιμα κλιματολογικά δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, ο μέσος ετήσιος υετός ανέρχεται στα 81.50 mm έχοντας τις μεγαλύτερες τιμές του τον χειμώνα και τους τελευταίους μήνες του φθινοπώρου. Υγρότερος μήνας εμφανίζεται ο Νοέμβριος, με μέσο μηνιαίο ύψος βροχής στα 261.40 mm, ενώ ο μήνας με τη μικρότερη βροχόπτωση είναι ο Ιούλιος με μέσο μηνιαίο ύψος βροχής 00.00 mm.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.11) παρουσιάζονται ενδεικτικά σε ραβδόγραμμα τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής του μετεωρολογικού σταθμού στη Λευκάδα για το χρονικό διάστημα ενός έτους, αυτού του 2022 .



Σχήμα 2.11. : Μέσα μηνιαία ύψη βροχής (πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

Οι θερμοκρασίες που συναντώνται στην περιοχή κυμαίνονται από 6.1 °C έως και 32.4 °C. Το κάτω όριο των τιμών εμφανίζεται τους χειμερινούς μήνες μεταξύ Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου. Εμφάνιση επίσης χαμηλών θερμοκρασιών παρατηρούνται και τον μήνα Μάρτιο, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες κάνουν έκβαση τους θερινούς μήνες μεταξύ Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου αντίστοιχα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι της τάξης των 18-19 °C (Σχήμα 2.12).



Σχήμα 2.12. : Μέση μηνιαία θερμοκρασία (πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

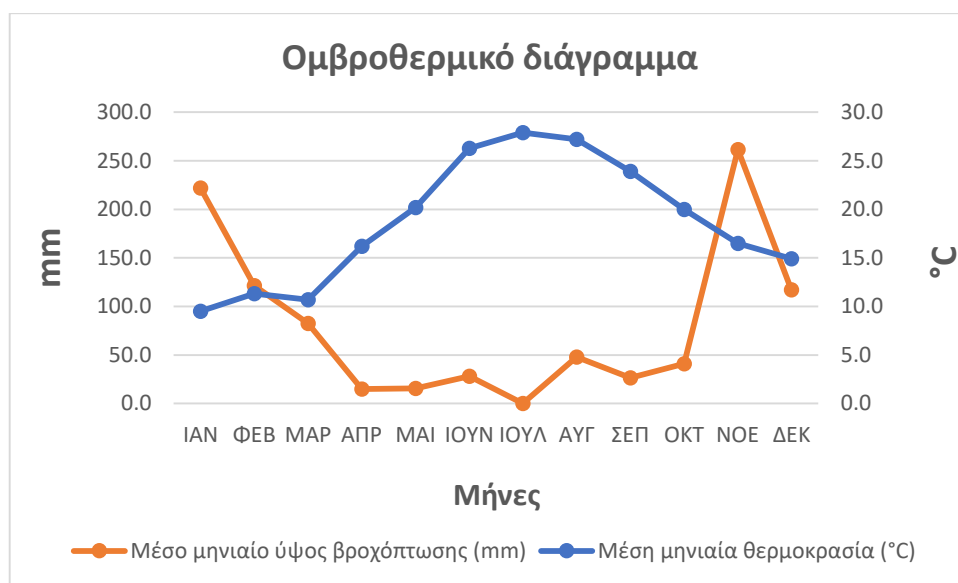
Πίνακας 2.1: Συνοπτική απεικόνιση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μέσου ύψους βροχής 2022 (πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

| Μήνας | Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) | Μέσο μηνιαία ύψος βροχής (mm) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| ΙΑΝ | 9.5 | 222 |
| ΦΕΒ | 11.3 | 121.3 |
| ΜΑΡ | 10.7 | 82.4 |
| ΑΠΡ | 16.2 | 14.8 |
| ΜΑΙ | 20.2 | 15.6 |
| ΙΟΥΝ | 26.3 | 28.2 |
| ΙΟΥΛ | 27.9 | 0 |
| ΑΥΓ | 27.2 | 48 |
| ΣΕΠ | 23.9 | 26.4 |
| ΟΚΤ | 20 | 41 |
| ΝΟΕ | 16.5 | 261.4 |
| ΔΕΚ | 14.9 | 117.2 |

Οι Gaussen και Bagnouls δημιούργησαν ένα διάγραμμα, που καλείται "Ομβροθερμικό Διάγραμμα", στο οποίο απεικονίζεται, μήνα προς μήνα, η πορεία της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σε °C και του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής σε mm. Το διάγραμμα αυτό έχει στην τετμημένη του μήνες του έτους και στις τεταγμένες (δύο), στη μία τις μηνιαίες βροχοπτώσεις P σε mm και στην άλλη τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες T σε °C σε κλίμακα μίας τάξης μεγέθους κατώτερη από αυτή των βροχοπτώσεων. Με την ένωση

των σημείων των μηνιαίων βροχοπτώσεων προκύπτει η καμπύλη βροχόπτωσης, ενώ με την ένωση των σημείων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών προκύπτει η καμπύλη των θερμοκρασιών.

Το διάγραμμα αυτό (Σχήμα 2.13) αποτελεί σπουδαίο εργαλείο και αποτελεί κριτήριο για τον χαρακτηρισμό του κλίματος στο πέρασ του χρόνου. Επίσης είναι ενδεικτικό του κλίματος κάθε περιοχής, δηλαδή μπορεί να χαρακτηρίσει ένα οικοσύστημα ως εύκρατο, τροπικό κτλ. Για παράδειγμα το ομβροθερμικό διάγραμμα ενός εύκρατου οικοσυστήματος, θα πρέπει τους θερινούς μήνες να χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή βροχόπτωση, ενώ τους χειμερινούς το αντίθετο. Αξιοσημείωτο είναι ότι το εμβαδό που περικλείεται ανάμεσα στις καμπύλες βροχόπτωσης και θερμοκρασίας αντιστοιχεί στους ξηρούς μήνες. Στα σημεία στα οποία τέμνονται οι δυο καμπύλες η ποσότητα του νερού που χάνεται είναι περίπου ίση με την ποσότητα του νερού που κερδίζεται μέσω της βροχόπτωσης. Αυτό δικαιολογείται, γιατί αν θεωρηθούν οι βροχοπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο ως κέρδος, τότε οι θερμοκρασίες εμμέσως εκφράζουν τις απώλειες από την εξάτμιση και τη διαπνοή. Όσο υψηλότερες είναι οι θερμοκρασίες, τόσο υψηλότερες είναι οι υδατικές απώλειες από την εξάτμιση και τη διαπνοή. Στο σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα που δημιουργήθηκε από την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων του έτους 2022 του σταθμού Λευκάδος, ο οποίος όπως έχει αναφερθεί βρίσκεται σε υψόμετρο +12.00 m από την στάθμη θάλασσας.



Σχήμα 2.13. : Ομβροθερμικό διάγραμμα μετεωρολογικού σταθμού Λευκάδος (πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

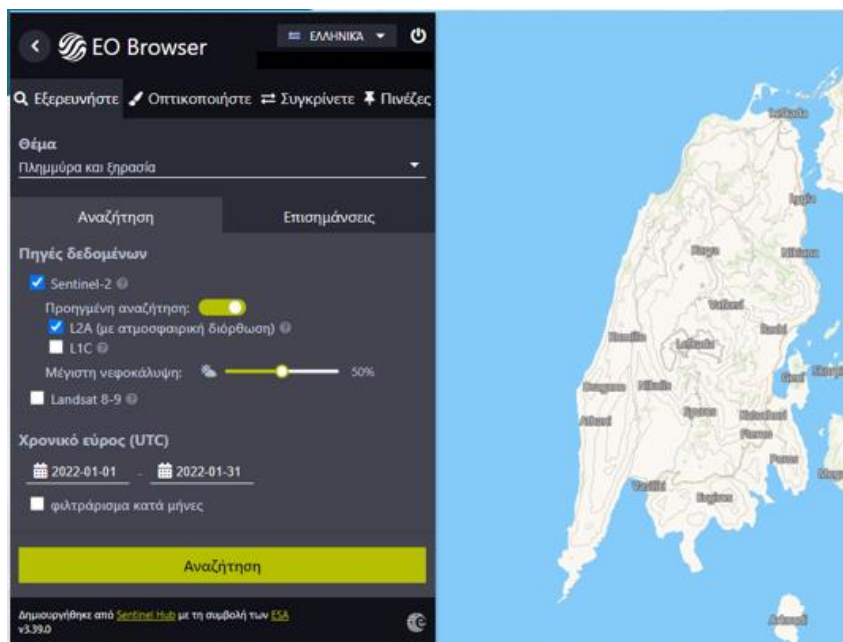
3 . ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

3.1 Οπτικοποίηση συσσώρευσης υδάτινων μαζών με τη χρήση του ΕΟ Browser.

Σε πρώτο επίπεδο της μελέτης, γίνεται μία πιλοτική προσέγγιση των περιοχών οι οποίες συλλέγουν υδάτινες μάζες έπειτα από επεισόδιο βροχοπτώσης. Για τον λόγο αυτόν, χρησιμοποιείται το εργαλείο ΕΟ Browser (Earth Observation Browser) εκπαιδευτικής έκδοσης (Educational) το οποίο διατίθεται χωρίς κόστος. Το εργαλείο αυτό, έχει δημιουργηθεί από την ESA (European Space Agency), η οποία έχει αναπτύξει μία οικογένεια δορυφόρων που ονομάζονται Sentinels για το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus, δίνοντας τη δυνατότητα στο απλό κοινό να γίνει παρατηρητής της Γης. Με τον όρο παρατήρηση της Γης (Earth observation =ΕΟ) ορίζεται η συλλογή, ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων για την καλύτερη κατανόηση της Γης. Τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν σε τοπικό επίπεδο εδάφους (local ground level) ή από πλατφόρμες τηλεσκοπήσης όπως οι δορυφόροι (remote sensing platforms such as satellites). Μπορούν να περιλαμβάνουν:

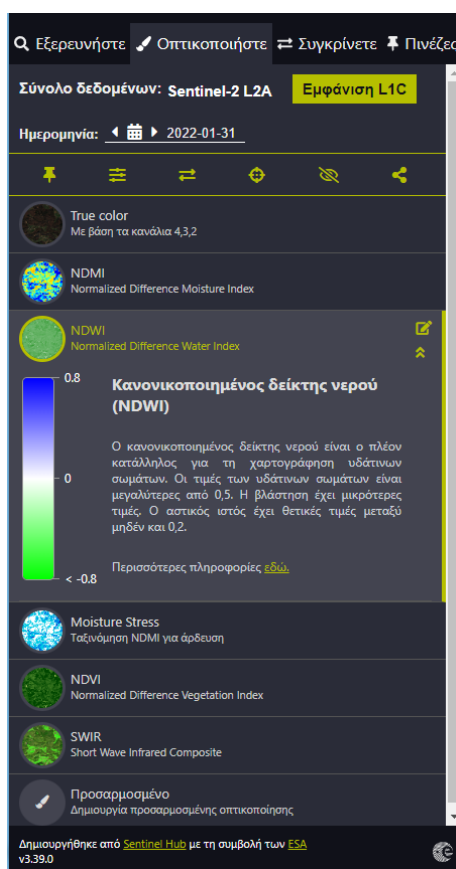
- Μετρήσεις (λόγου χάρη θερμόμετρο, ανεμόμετρο, υψόμετρο)
- Φωτογραφίες (από το έδαφος ή από αεροπλάνο)
- Εικόνες ραντάρ ή σόναρ από όργανα εδάφους ή ωκεανούς
- Εικόνες από δορυφόρους
- Μετρήσεις αλλαγής χρήσης γης
- Επεξεργασμένες πληροφορίες λόγου χάρη χάρτες ή μετεωρολογικές προβλέψεις
- Παρακολούθηση και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών λόγου χάρη πυρκαγιές και πλημμύρες.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω. Για παρακολούθηση πλημμυρών και ξηρασίας στη περιοχή μελέτης, επιλέγεται η διετία 2021, 2022. Για κάθε μήνα του έτους, οπτικοποιούνται δεδομένα των δορυφόρων τα οποία διατίθενται με ποσοστό νεφοκάλυψης μικρότερο του 50%. Το ποσοστό αυτό επιλέγεται σκοπίμως σαν άνω όριο, διότι σε γεγονότα με μεγαλύτερη νεφοκάλυψη η ανάγνωση των υδάτινων μαζών είναι δυσδιάκριτη. Η οπτικοποίηση γεγονότων πραγματοποιείται για τις μέρες έκαστου μήνα, στις οποίες έχει προηγηθεί κάποιο επεισόδιο βροχής, χιονόπτωσης, χαλαζόπτωσης. Το ΕΟ Browser για έναν βροχερό μήνα (βλέπε Σεπτέμβριο 2021) μπορεί να δώσει δεδομένα για κάθε μία μέρα του μήνα ακόμα και τις 30 εάν φυσικά πληρείται και το ποσοστό νεφοκαλυψης που έχει απαιτηθεί. Από την άλλη, έναν ξηρό μήνα (βλέπε Απρίλιο 2022), το εργαλείο υπάρχει περίπτωση να παρέχει αποτελέσματα για 10 μόνο μέρες από τις 30 του μήνα και επιπλέον από την οπτικοποίηση ακόμα και αυτών των λίγων ημερών, το νησί εύλογα να παρουσιάζεται σε ξηρασία. Ο δορυφόρος από τον οποίο κάθε φορά αντλούνται τα δεδομένα, είναι ο ιδανικότερος και πιο αξιόπιστος σύμφωνα με το ΕΟ Browser αναφορικά με τη νήσο της Λευκάδος (Σχήμα 3.1). Επιλέγεται το ζεύγος δορυφόρων Sentinel-2. Βέβαια δίνεται και η δυνατότητα χειροκίνητης επιλογής δορυφόρων, αλλά εναπόκειται στον ανθρώπινο παράγοντα.



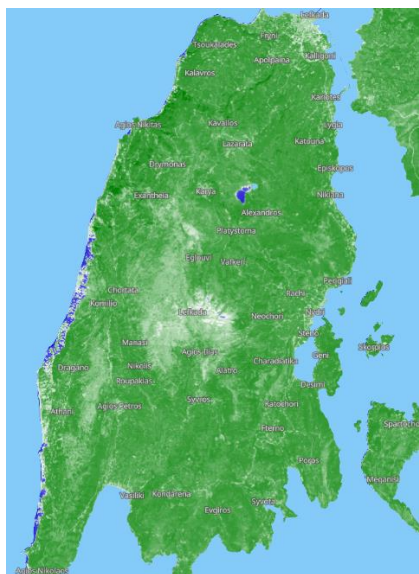
Σχήμα 3.1. : Επιλογή δορυφόρου (πηγή: EO Browser)

Σε κάθε ημερήσια οπτικοποίηση δεδομένων, επιλέγεται το υπόβαθρο NWDI (Normalized Difference Water Index), προκειμένου να γίνουν εμφανείς οι συγκεντρωμένοι υδάτινοι όγκοι (Σχήμα 3.2).

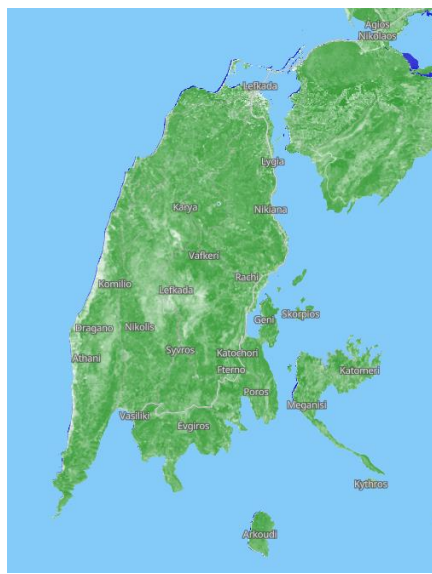


Σχήμα 3.2 : Επιλογή δεδομένων οπτικοποίησης (πηγή: EO Browser)

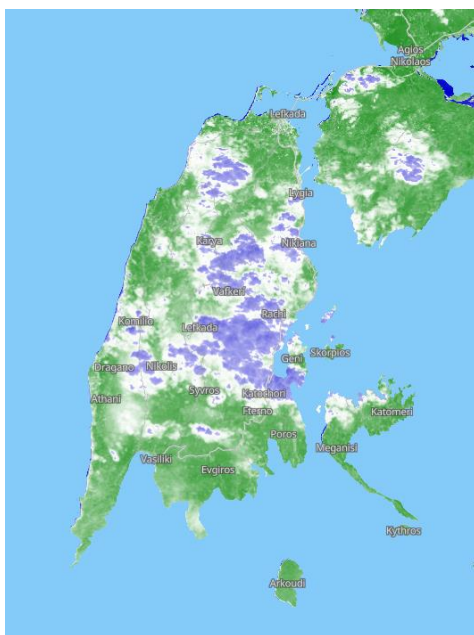
Σε τελικό στάδιο, προκύπτει η νήσος της Λευκάδος χωρισμένη σε δύο χρωματικές συνθέσεις. Με μπλε απεικονίζονται οι μάζες νερού, με λευκό ο αστικός ιστός, ενώ με πράσινο η βλάστηση και κατ'έκταση οι περιοχές στις οποίες δεν έχει παρατηρηθεί συγκέντρωση υδάτων στη συγκεκριμένη οπτικοποιημένη ημέρα. Με γαλάζιο φαίνονται τα υδάτινα σώματα (θάλασσα, λίμνες). Οι χρωματικές απεικονίσεις παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.3-3.5.



Σχήμα 3.3. : Στιγμιότυπο από την οπτικοποίηση των υδάτων με ποσοστό νεφοκάλυψης 0.9% (πηγή: EO Browser)



Σχήμα 3.4. : Στιγμιότυπο από την οπτικοποίηση της νήσου σε πλήρη ανομβρία με ποσοστό νεφοκάλυψης 0% (πηγή: EO Browser)



Σχήμα 3.5. : Στιγμιότυπο από την οπτικοποίηση των υδάτων με ποσοστό νεφοκάλυψης 48.5% (πηγή: EO Browser)

Στη συνέχεια καταγράφονται οι μέρες και οι περιοχές στις οποίες παρατηρούνται συγκεντρώσεις υδάτινων όγκων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες Excel. Με βάση τα δεδομένα που οπτικοποιούνται για νεφοκάλυψη κάτω του 50% για το έτος 2021 ο μήνας με τις περισσότερες κατακρημνίσεις φαίνεται πως είναι ο Μάρτιος (Πίνακας 3.1) με 9 καταγεγραμμένες οπτικοποιήσεις συκέντρωσης νερού, ενώ οι λιγότερες πραγματοποιούνται για τον μήνα Ιούνιο (Πίνακας 3.3). Αντίστοιχα για το έτος 2022, η συχνότερη κατακρήμνιση καταγράφεται τον μήνα Αύγουστο (Πίνακας 3.9) με 8 αποτελέσματα, ενώ οι μήνες Απρίλιος και Μάιος έχουν τη λιγότερη με 2 οπτικοποιήσεις έκαστος. Οι καταγραφές παρουσιάζονται στους Πίνακας 3.1-3.11. Επαναλαμβάνεται πως η οπτικοποίηση δεν έχει καμία σχέση με το ολικό ύψος βροχόπτωσης. Εφόσον η οπτικοποίηση γίνεται για ένα ποσοστό δεδομένων, πολύ πιθανό να μην δίνει με βεβαιότητα τον πιο βροχερό και ξηρότερο μήνα, απλώς χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η κατανομή των υδάτων στο τοπογραφικό ανάγλυφο της Λευκάδας.

Πίνακας 3.1 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: EO Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|--|
| 2021 | ΙΑΝ | 1 | 14.40 | Πόρος, Σύβοτα, Εύγηρος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Αλάτρο, Αμμόκαμπος |
| 2021 | | 3 | 14.40 | Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Σύβρος, Δράγανο, Κομήλιο, Χορτάτα, Εξάνθεια, Δρυμώνας, Άγιος Νικήτας, Καλαβρός, Τσουκαλάδες, Λαζαράτα, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Βαυκερή, Νυδρί, Περιγυάλι, Κατωχώρι, Εύγηρος, Σύβοτα, Πόρος, Αθάνι |
| 2021 | | 18 | 0.90 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια, Βασιλική |
| 2021 | | 28 | 2.80 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια, Εξάνθεια, Αλέξανδρος, Βασιλική |
| 2021 | ΦΕΒ | 5 | 36.30 | Κάμπος Καρυάς, Νεοχώρι, Άγιος Χριστόφορος, Λευκάδα Πόλη |
| 2021 | | 12 | 1.40 | Μικρός Γυαλός, Πόρος, Φτέρνο, Βασιλική, Λευκάδα Πόλη |
| 2021 | | 15 | 9.40 | Αλέξανδρος, Καρυά, Κάμπος Καρυάς, Λαζαράτα, Πλατύστομα |
| 2021 | | 17 | 0.20 | Κάμπος Καρυάς |
| 2021 | | 20 | 31.00 | Λυγία, Κατούνα, Επίσκοπος, Νικιάνα, Βαυκερή, Πλατύστομα, Νεοχώρι, Μανάση, Άγιος Ηλίας, Σύβρος, Χαραδιάτικα, Φτέρνο, Πόρος, Μικρός Γυαλός, Σύβοτα |

| | | | | |
|------|------------|----|-------|--|
| 2021 | | 22 | 0.20 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 25 | 8.00 | Κάμπος Καρυάς |
| 2021 | | 27 | 0.10 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια, Βασιλική |
| 2021 | ΜΑΡ | 2 | 1.50 | Κάμπος Καρυάς, Καλαμίτσι, Γέφι |
| 2021 | | 4 | 0.00 | Κάμπος Καρυάς |
| 2021 | | 7 | 0.10 | Κάμπος Καρυάς, Δρυμώνας |
| 2021 | | 9 | 0.00 | Κάμπος Κρυάς |
| 2021 | | 14 | 20.60 | Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Σύβρος, Δράγανο, Κομήλιο, Απόπλαινα, Χορτάτα, Εξάνθεια, Δρυμώνας, Άγιος Νικήτας, Καλαβρός, Καβάλλος, Τσουκαλάδες, Λαζαράτα, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Βαυκερή, Νυδρί, Περιγυάλι, Κατωχώρι, Εύγηρος, Σύβοτα, Πόρος, Αθάνι, Βασιλική, Κοντάρενα |
| 2021 | | 19 | 19.50 | Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Σύβρος, Δράγανο, Κομήλιο, Χορτάτα, Εξάνθεια, Χαραδιάτικα, Λαζαράτα, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Βαυκερή, Νυδρί, Περιγυάλι, Νικιάνα, Επίσκοπος, Κατωχώρι, Εύγηρος, Σύβοτα, Πόρος, Δεσίμι, Βλυχό, Καρυά, Ράχη |
| 2021 | | 24 | 0.20 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 27 | 0.90 | Άγιος Ηλίας, Φτέρνο, Άγιος Χριστόφορος, Νεοχώρι, Μικρός Γυαλός |
| 2021 | | 29 | 0.30 | Κάμπος Καρυάς, Γύρα Λευκάδας |

**Πίνακα 3.2 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη
(πηγή: EO Browser)**

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων | |
|------|-------|-------|----------------|---|--|
| 2021 | ΑΠΡ | 1 | 0.00 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια | |
| 2021 | | 3 | 2.20 | Λευκάδα Πόλη, Τσουκαλάδες, Φρύνη, Απόπλαινα, Καβάλος, Καρυά, Κάμπος Καρυάς, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Βαυκερή, Ράχη, Περθυγάλη, Κομήλιο, Μανάση, Άγιος Ηλίας, Άγιος Πέτρος, Βασιλική, Κοντάρενα, Μαραντοχώρι, Πόρος, Σύβοτα, Φτέρνο, Κατωχώρι, Βλυχό, Εύγηρος, Δυτικά Παράλια | |
| 2021 | | 6 | 18.70 | Λευκάδα Πόλη, Τσουκαλάδες, Φρύνη, Απόπλαινα, Καλαβρός, Καλιγόνη, Καρυώτες, Κτούνα, Επίσκοπος, Νικιάνα, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Βαυκερή, Ράχη, Περιγυγάλη, Νυδρί, Νεοχώρι, Στενό, Γένη, Χαραδιάτικα, Δεσίμι, Αλάτρο, Πόρος, Σύβοτα, Εύγηρος, Βασιλική, Άγιος Νικόλαος | |
| 2021 | | 8 | 13.70 | Δράγανο, Καρυά, Κάμπος Καρυάς, Επίσκοπος, Λευκάδα Πόλη, Νυδρί, Βασιλική | |
| 2021 | | 11 | 0.00 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια | |
| 2021 | | 18 | 21.00 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια, Βασιλική | |
| 2021 | | 21 | 12.30 | Λευκάδα Πόλη, Φρύνη, Καλιγόνη, Απόπλαινα, Λυγιά, Κατούνα, Επίσκοπος, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Κάμπος Καρυάς, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Νεοχώρι, Ράχη, Νυδρί, Στενό, Κατωχώρι, Άλατρο, Πόρος, Φτέρνο, Άγιος Πέτρος, Βασιλική | |
| 2021 | | 26 | 0.90 | Βασιλική, Κάμπος Καρυάς, Αμμόκαμπος, Αλέξανδρος, Εξάνθεια, Εγκλουβή, Καρυά | |
| 2021 | | ΜΑΙ | 3 | 36.00 | Πλατύστομα, Βαυκερή, Γένη, Δεσίμι, Πόρος, Μικρός Γυαλός, Κοντάρενα, Βασιλική |
| 2021 | | | 8 | 6.20 | Δυτικά Παράλια |
| 2021 | 11 | | 0.10 | Καμία | |

| | | | | |
|------|--|----|-------|--|
| 2021 | | 13 | 2.30 | Νικιάνα, Αλέξανδρος, Βαυκερή, Ράχη, Νυδρί, Βασιλική |
| 2021 | | 16 | 29.50 | Καβάλος, Δρυμώνας, Εξάνθεια, Μανάση, Κομήλιο, Πόρος, Πηγαδησάνοι, Κοντάρενα |
| 2021 | | 18 | 0.20 | Καμία |
| 2021 | | 21 | 4.40 | Καμία |
| 2021 | | 23 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 28 | 6.40 | Καμία |
| 2021 | | 31 | 30.90 | Άγιος Νικήτας, Καλαμίτσι, Δρυμώνας, Εξάνθεια, Πλατύστομα, Κομήλιο, Δράγανο, Αθάνι, Άγιος Νικόλαος, Χορτάτα |

Πίνακας 3.3 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: ΕΟ Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|---|
| 2021 | ΙΟΥΝ | 10 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 12 | 3.40 | Ρουπάκιας, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Σύβρος, Φτέρνο, Μικρός Γυαλός, Νεοχώρι, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή |
| 2021 | | 15 | 6.70 | Δρυμώνας, Εξάνθεια, Μανάση, Άγιος Πέτρος, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Σύβρος |
| 2021 | | 17 | 0.20 | Καμία |
| 2021 | | 20 | 1.30 | Καμία |
| 2021 | | 25 | 0.20 | Καμία |
| 2021 | | 27 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 30 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | ΙΟΥΛ | 2 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 5 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 7 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 10 | 0.30 | Δράγανο, Αθάνι, Βασιλική, Κοντάρενα, Μαραντοχώρι, Εύγηρος, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 12 | 1.60 | Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Μανάση, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο |
| 2021 | | 15 | 0.00 | Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 17 | 0.90 | Δυτικά Παράλια, Αλάτρο |
| 2021 | | 20 | 3.40 | Λαζαράτα, Πηγαδησάνοι, Αμμόκαμπος, Αλέξανδρος, Εγκλουβή, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Κοντάρενα, Φτέρνο, Κατωχώρι, Πόρος |
| 2021 | | 22 | 1.70 | Δρυμώνας, Πηγαδησάνοι |
| 2021 | | 25 | 0.00 | Καμία |

| | | | | |
|------|--|----|------|-------|
| 2021 | | 27 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 30 | 0.00 | Καμία |

Πίνακας 3.4 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: EO Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|---|
| 2021 | ΑΥΓ | 1 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 4 | 3.90 | Καμία |
| 2021 | | 6 | 2.50 | Καλαβρός, Κάβαλος, Λαζαράτα, Σπανοχώρι, Πινακοχώρι, Δρυμώνας, Καλαμίτσι, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Εξάνθεια, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Χορτάτα, Κομήλιο, Μανάση, Δράγανο, Άγιος Νικόλας, Αθάνι, Ρουπακιάς, Βασιλική, Κοντάρενα, Μαραντοχώρι, Λαζαράτα |
| 2021 | | 9 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 11 | 12.00 | Καμία |
| 2021 | | 14 | 0.60 | Καμία |
| 2021 | | 16 | 0.20 | Καμία |
| 2021 | | 19 | 0.70 | Αμμόκαμπος, Μανάση, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 21 | 4.50 | Τσουκαλάδες, Πόλη Λευκάδας, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Δεσίσι, Άγιος Πέτρος, Εύγηρος, Σύβοτα |
| 2021 | | 24 | 0.00 | Αμμόκαμπος, Άγιος Ηλίας, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 26 | 4.30 | Κοντάρενα, Μαραντοχώρι, Φτέρνο, Μανάση, Βαυκερή, Πλατύστομα, Αλέξανδρος, Κολλυβάτα, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Καλλιγόνι, Πόλη Λευκάδας, Γύρα Λευκάδας, Σπανοχώρι, Κάβαλος |
| 2021 | | 29 | 3.40 | Πόλη Λευκάδας, Περιγυάλι, Ράχη, Νυδρί, Νεοχώρι, Χαραδιάτικα, Βλυχό, Κατωχώρι, Πόρος, Μικρός Γυαλός |
| 2021 | | 31 | 0.00 | Καμία |

**Πίνακας 3.5 : Καταγραφή κατακρήμισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη
(πηγή: ΕΟ Browser)**

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|---|
| 2021 | ΣΕΠ | 3 | 0.10 | Καμία |
| 2021 | | 5 | 30.00 | Δρυμώνας, Εξάνθεια, Πλατύστομα, Εγκλουβή, Μανάση, Δράγανο, Κατωχώρι, Νεοχώρι, Αλάτρο, Ράχη, Νυδρί, Στενό, Γένη, Φτέρνο, Βαυκερή |
| 2021 | | 10 | 5.80 | Λαζαράτα, Καρυά, Αλέξανδρος, Βαυκερή, Λαζαράτα, Περιγιάλι, Νεοχώρι, Σύβρος, Αθάνι, Χαραδιάτικα, Στενό, Φτέρνο, Κοντάρενα, Πόρος, Αμμόκαμπος, Αλάτρο, Μανάση, Σύβρος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Εύγηρος, Σύβοτα, Ράχη, Παριγιάλι, Δεσίμι, Γένη, Στενό, Βασιλική, Άγιος Νικόλαος, Άγιος Πέτρος, Ρουπακιάς, Κατωχώρι |
| 2021 | | 13 | 36.90 | Γύρα Λευκάδας, Καλλιγόνι, Πόλη Λευκάδας, Απόπλαινα, Λαζαράτα, Κάβαλος, Κατούνα, Λυγιά, Επίσκοπος, Νικιάνα, Καρυώτες, Σπανοχώρι, Λαζαράτα, Περιγιάλι, Νεοχώρι, Σύβρος, Αθάνι, Χαραδιάτικα, Στενό, Φτέρνο, Κοντάρενα, Πόρος, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Εύγηρος, Σύβοτα, Νυδρί, Ράχη, Δεσίμι, Γένη, Στενό, Βασιλική, Άγιος Νικόλαος, Άγιος Πέτρος, Αθάνι, Δράγανο, Ρουπακιάς |
| 2021 | | 15 | 0.10 | Καμία |
| 2021 | | 18 | 20.80 | Γύρα Λευκάδας, Καλλιγόνι, Πόλη Λευκάδας, Δρυμώνας, Κάβαλος, Καλαβρός, Εξάνθεια, Πλατύστομα, Εγκλουβή, Κομήλιο, Χορτάτα, Δράγανο, Μανάση, Άγιος Νικήτας, Φρόνι, Τσουκαλάδες, Απόπλαινα |

| | | | | |
|------|--|----|-------|---|
| 2021 | | 20 | 6.90 | Γύρα Λευκάδας, Καλλιγόνι, Πόλη Λευκάδας, Κάβαλος, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Σπανοχώρι, Λαζαράτα, Περιγυάλι, Νεοχώρι, Σύβρος, Αθάνι, Χαραδιάτικα, Στενό, Φτέρνο, Κοντάρενα, Πόρος, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Εύγηρος, Σύβοτα |
| 2021 | | 23 | 0.10 | Μανάση, Εύγηρος, Αθάνι, Άγιος Νικόλαος, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 25 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 28 | 26.90 | Κομήλιο, Δράγανο, Χορτάτα, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 30 | 26.90 | Αθάνι, Δράγανο, Δυτικά Παράλια, Κομήλιο, Χορτάτα, Καλαμίτσι, Εξάνθεια, Δρυμώνας, Καλαβρός, Πόρος, Σύβοτα, Μαραντοχώρι, Άγιος Νικόλαος |

Πίνακας 3.6 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: EO Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|--|
| 2021 | ΟΚΤ | 3 | 7.20 | Καμία |
| 2021 | | 5 | 0.00 | Καμία |
| 2021 | | 8 | 27.90 | Γύρα Λευκάδας, Καλλιγόνι, Πόλη Λευκάδας, Κάβαλος, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Σπανοχώρι, Λαζαράτα, Νυδρί, Δράγανο, Άγιος Νικόλαος, Βασιλική, Κοντάρενα, Αλάτρο, Περιγυάλι, Νεοχώρι, Σύβρος, Αθάνι, Χαραδιάτικα, Στενό, Φτέρνο, Κοντάρενα, Πόρος, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Εύγηρος |
| 2021 | | 18 | 16.30 | Ολόκληρη η νήσος |
| 2021 | | 20 | 2.50 | Τσουκαλάδες, Απόπλαινα, Πόλη Λευκάδας, Δρυμώνας, Κάβαλος, Εξάνθεια, Λαζαράτα, Καρυά, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Εγκλουβή, Βαυκερή, Χορτάρα, Κομήλιο, Μανάση, Άγιος Ηλίας, Χαρδιάτικα, Δράγανο |
| 2021 | | 25 | 9.70 | Αθάνι, Άγιος Πέτρος, Βασιλική, Εύγηρος, Κοντάρενα, Σύβοτα |
| 2021 | | 28 | 0.00 | Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 30 | 0.00 | Δυτικά Παράλια |

| | | | | |
|------|-----|----|-------|--|
| 2021 | NOE | 2 | 39.30 | Γύρα Λευκάδας, Καλλιγόνι, Πόλη Λευκάδας, Τσουκαλάδες, Άγιος Νικήτας, Δρυμώνας, Απόπλαινα, Εγκλουβή, Βαυκερή, Κάβαλος, Κατούνα, Λυγιά, Καρυώτες, Σπανοχώρι, Λαζαράτα, Νεοχώρι, Σύβρος, Αθάνι, Χαραδιάτικα, Στενό, Φτέρνο, Βασιλική, Κοντάρενα, Πόρος, Αμμόκαμπος, Εγκλουβή, Πλατύστομα, Άγιος Ηλίας, Εύγηρος, Σύβοτα, Κομήλιο, Ρουπακιάς, Αλάτρο, Δεσίμι, Γένη, Βασιλική, Άγιος Νικόλαος, Άγιος Πέτρος, Αθάνι, Δράγανο, Ρουπακιάς |
| 2021 | | 4 | 0.10 | Καμία |
| 2021 | | 7 | 9.20 | Καμία |
| 2021 | | 12 | 5.30 | Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 19 | 0.70 | Βασιλική, Δυτικά Παράλια, Μανάση, Άγιος Πέτρος |
| 2021 | | 24 | 15.90 | Άγιος Νικήτας, Πόρος, Δεσίμι, Κατωχώρι |

Πίνακας 3.7: Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2021 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: EO Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|---|
| 2021 | ΔΕΚ | 2 | 27.20 | Γύρα Λευκάδας, Τσουκαλάδες, Κάλαβρος, Εξάνθεια, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Εγκλουβή, Βαυκερή, Περιγυάλι, Ράχη, Νυδρί, Νεοχώρι, Στενό, Γένη, Χαραδιάτικα, Χορτάτα, Μανάση, Σύβρος, Ρουπακιάς, Αθάνι, Άγιος Νικόλαος, Αλάτρο, Πόρος |
| 2021 | | 9 | 28.00 | Τσουκαλάδες, Φρύνη, Πόλη Λευκάδας, Απόπλαινα, Καρυώτες, Λυγιά, Επίσκοπος, Νικιάνα, Περιγυάλι, Χορτάτα, Κομήλιο, Μνάση, Νεοχώρι, Άγιος Ηλίας, Άγιος Νικόλαος, Ρουπακιάς, Άγιος Πέτρος, Σύβρος, Αλάτρο, Μαραντοχώρι, Εύγηρος, Σύβοτα, Άγιος Χριστόφορος |
| 2021 | | 12 | 47.50 | Ολόκληρη η νήσος |
| 2021 | | 14 | 0.60 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 17 | 1.50 | Βασιλική, Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2021 | | 19 | 0.60 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |

**Πίνακας 3.8 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2022 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη
(πηγή: ΕΟ Browser)**

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|--|
| 2022 | ΙΑΝ | 1 | 0.00 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2022 | | 3 | 8.30 | Τσουκαλάδες, Καλαβρός, Κάβαλος, Λαζαράτα, Εξάνθεια, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Νεοχώρι, Κατωχώρι, Φτέρνο, Πόρος, Αθάνι, Άγιος Πέτρος, Βασιλική, Εύγηρος |
| 2022 | | 13 | 0.70 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2022 | | 18 | 0.70 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2022 | | 28 | 12.70 | Φτέρνο, Βασιλική, Εύγηρος, Άγιος Γεώργιος, Κολλυβάτα |
| 2022 | | 31 | 0.90 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια |
| 2022 | ΦΕΒ | 5 | | Κεντρικά και Νοτιοανατολικά |
| 2022 | | 10 | 0.00 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια, Βασιλική |
| 2022 | | 15 | 27.20 | Όλη η νήσος πλην βόρειου και κεντρικού τμήματος |
| 2022 | | 17 | 0.20 | Κάμπος Καρυάς, Δυτικά Παράλια, Βασιλική |
| 2022 | | 25 | 9.10 | Αλέξανδρος, Μανάση, Νικολής, Άγιος Πέτρος, Άγιος Ηλίας, Βασιλική, Σύβοτα |
| 2022 | | 27 | 12.50 | Βόρεια και Κεντρικά, Βασιλική |
| 2022 | ΜΑΡ | 7 | 48.50 | Όλη η νήσος πλην νότιου τμήματος |
| 2022 | | 12 | 11.30 | Λαζαράτα, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Εγκλουβή, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Αθάνι, Κολλυβάτα, Δράγανο |
| 2022 | | 14 | 0.30 | Δυτικά |
| 2022 | | 17 | 24.60 | Κάμπος Καρυάς, Άγιος Ηλίας, Βασιλική |
| 2022 | | 24 | 0.00 | Κάμπος Καρυάς |
| 2022 | | 29 | 5.90 | Καρυά, Χορτάτα, Βασιλική |
| 2022 | ΑΠΡ | 6 | 0.10 | Καμία |
| 2022 | | 8 | 0.70 | Πόρος, Μικρός Γυαλός |
| 2022 | | 11 | 0.60 | Καμία |
| 2022 | | 13 | 9.10 | Καμία |
| 2022 | | 23 | 40.90 | Όλη η νήσος πλην δυτικού τμήματος |
| 2022 | | 28 | 9.00 | Καμία |

**Πίνακας 3.9 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2022 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη
(πηγή: ΕΟ Browser)**

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|---|
| 2022 | ΜΑΙ | 3 | 3.10 | Εύγηρος, Σύβοτα, Πόρος, Κατωχώρι, Νυδρί, Ράχη, Περιγυάλι, Νικιάνα, Εγκλουβή, Εξάνθεια, Δρυμώνας |
| 2022 | | 11 | 0.20 | Καμία |
| 2022 | | 15 | 0.50 | Καμία |
| 2022 | | 18 | 0.50 | Αλάτρο, Άγιος Ηλίας |
| 2022 | | 23 | 1.80 | Καμία |
| 2022 | | 26 | 30.30 | Καμία |
| 2022 | ΙΟΥΝ | 2 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 7 | 8.30 | Κάβαλο, Απόπλαινα, Πόλη Λευκάδα |
| 2022 | | 15 | 1.00 | Εξάνθεια, Εγκλουβή, Άγιος Ηλίας, Δράγανο, Αμμόκαμπος |
| 2022 | | 20 | 2.30 | Καμία |
| 2022 | | 25 | 0.10 | Λαζαράτα, Πινακοχώρι |
| 2022 | | 27 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | ΙΟΥΛ | 30 | 0.20 | Καμία |
| 2022 | | 2 | 0.10 | Καμία |
| 2022 | | 7 | 4.20 | Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Εγκλουβή, Βαυκερή, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Κατωχώρι, Φτέρνο, Πόρος |
| 2022 | | 12 | 7.80 | Δρυμώνας, Εγκλουβή, Καρυά, Αλέξανδρος, Δράγανο, Αλάτρο, Ασπρογερακάτα |
| 2022 | | 17 | 0.60 | Καμία |
| 2022 | | 20 | 1.00 | Καμία |
| 2022 | ΑΥΓ | 25 | 0.10 | Καμία |
| 2022 | | 27 | 11.30 | Κάβαλος, Λαζαράτα, Καρυά, Κομήλιο, Μανάση, Βασιλική, Κοντάρενα |
| 2022 | | 30 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 1 | 0.10 | Καμία |
| 2022 | ΑΥΓ | 4 | 0.30 | Άγιος Ηλίας, Αλάτρο |
| 2022 | | 6 | 3.40 | Δρυμώνας, Εξάνθεια, Εγκλουβή, Μανάση, Άγιος Πέτρος, Άγιος Ηλίας, Σύβρος, Ρουπακιάς |
| 2022 | | 9 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 11 | 17.50 | Αθάνι, Βασιλική |

| | | | | |
|------|--|----|-------|---|
| 2022 | | 14 | 1.10 | Ράχη, Βαυκερή, Νεοχώρι, Κατωχώρι, Φτέρνο, Άγιος Ηλίας, Εύγηρος, Πόρος, Μικρός Γυαλός, Βασιλική, Μαραντοχώρι |
| 2022 | | 16 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 21 | 3.50 | Βουρνίκας, Πόρος, Αθάνι, Δράγανο |
| 2022 | | 24 | 14.30 | Λαζαράτα, Εγκλουβή, Δρυμώνας, Εξάνθεια, Καρυά, Δράγανο, Άγιος Ηλίας, Αθάνι, Βασιλική, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Κοντάρενα |
| 2022 | | 26 | 19.20 | Κομήλιο, Μανάση |
| 2022 | | 29 | 0.70 | Εγκλουβή, Πλατύστομα, Βαυκερή |
| 2022 | | 31 | 0.30 | Καμία |

Πίνακας 3.10 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2022 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: ΕΟ Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων | |
|------|-------|-------|----------------|---|-----------------------------------|
| 2022 | ΣΕΠ | 3 | 3.10 | Δραγάνο, Αθάνι, Σύβοτα, Φτέρνο, Πόρος, Δρυμώνας, Εξάνθεια | |
| 2022 | | 5 | 0.60 | Κομήλιο, Δράγανο, Πλατύστομα, Άγιος Ηλίας, Μανάση, Εγκλουβή, Καρυά, Δρυμώνας, Αλέξανδρος, Νικιάνα, Ράχη | |
| 2022 | | 8 | 0.00 | Καμία | |
| 2022 | | 10 | 5.10 | Ολόκληρη η νήσος | |
| 2022 | | 13 | 3.10 | Καβάλος, Λαζαράτα, Δρυμώνας, Καρυά, Αλέξανδρος, Πλατύστομα, Νικιάνα, Εγκλουβή, Χορτάτα, Δράγανο, Κατωχώρι, Αλάτρο | |
| 2022 | | 18 | 0.70 | Καμία | |
| 2022 | | 20 | 0.00 | Κεντρικά, Κοντάρενα | |
| 2022 | | 25 | 0.70 | Καμία | |
| 2022 | | 28 | 4.50 | Ανατολικά, Βορειοανατολικά, Εγκλουβή, Βαυκερή, Μανάση | |
| 2022 | | 30 | 1.40 | Καμία | |
| 2022 | | ΟΚΤ | 3 | 5.30 | Δυτικά, Βορειοδυτικά, Νοτιοδυτικά |
| 2022 | | | 5 | 8.70 | Καμία |
| 2022 | 8 | | 0.00 | Καμία | |

| | | | | |
|------|--|----|-------|---|
| 2022 | | 10 | 2.10 | Καμία |
| 2022 | | 13 | 21.10 | Άγιος Νικήτας, Κάβαλος, Κομήλιο, Δράγανο, Αθάνι, Μανάση, Νικολής, Άγιος Ηλίας, Σύβρος, Αλάτρο, Δρυμώνας, Βαυκερή, Εξάνθεια, Καρυά, Λαζαράτα, Καλαβρός, Τσουκαλάδες, Πόλη Λευκάδας |
| 2022 | | 15 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 18 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 23 | 0.00 | Καμία |
| 2022 | | 25 | 0.50 | Καμία |
| 2022 | | 28 | 0.30 | Μανάση, Νικολής, Πόλη Λευκάδα |
| 2022 | | 30 | 0.00 | Καμία |

Πίνακας 3.11 : Καταγραφή κατακρήμνισης έτους 2022 με λιγότερο από 50% νεφοκάλυψη (πηγή: ΕΟ Browser)

| Έτος | Μήνας | Ημέρα | Νεφοκάλυψη (%) | Περιοχές Συγκέντρωσης Υδάτων |
|------|-------|-------|----------------|--|
| 2022 | ΝΟΕ | 2 | 0.10 | Καμία |
| 2022 | | 4 | 0.30 | Καμία |
| 2022 | | 7 | 0.10 | Μανάση, Αλάτρο |
| 2022 | | 9 | 4.70 | Ολόκληρη η νήσος πλην του Βορειοανατολικού τμήματος |
| 2022 | | 14 | 12.50 | Βασιλική, Αμμόκαμπος |
| 2022 | | 24 | 4.00 | Φτέρνο, Κατωχώρι |
| 2022 | | 29 | 8.80 | Πόλη Λευκάδας, Τσουκαλάδες |
| 2022 | ΔΕΚ | 2 | 11.80 | Αθάνι, Φρύνι, Απόπλαινα, Καλλιγόννη, Πόλη Λευκάδα, Τσουκαλάδες, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Καλαμίτσι, Πλατύστομα, Αμμόκαμπος, Βαυκερή, Εγκλουβή, Δράγανο, Σύβοτα, Πόρος, Βασιλική, Σύβρος, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Κοντάρενα, Άγιος Νικήτας, Περυγιάλι, Νεοχώρι, Εύγηρος |
| 2022 | | 7 | 25.70 | Ολόκληρη η νήσος πλην του νότιου τμήματος |
| 2022 | | 19 | 0.30 | Καμία |
| 2022 | | 24 | 11.50 | Αθάνι, Φρύνι, Απόπλαινα, Πόλη Λευκάδα, Τσουκαλάδες, Καβάλος, Λαζαράτα, Δρυμώνας, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Καλαμίτσι, Εξάνθεια, Πλατύστομα, Αμμόκαμπος, Βαυκερή, Εγκλουβή, Δραγανό, Σύβοτα, Πόρος, Βασιλική, Σύβρος, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο, Κοντάρενα, Άγιος Νικήτας, Νικιάνα, Επίσκοπος |

| | | | |
|------|----|------|---|
| 2022 | 27 | 7.30 | Αθάνι, Καβάλος, Λαζαράτα, Δρυμώνας, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Καλαμίτσι, Εξάνθεια, Πλατύστομα, Αμμόκαμπος, Βαυκερή, Εγκλουβή, Δράγανο, Ράχη, Περιγυάλι, Νεοχώρι, Σύβοτα, Πόρος, Βασιλική, Σύβρος, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο |
| 2022 | 29 | 7.70 | Φρύνι, Απόπλαινα, Πόλη Λευκάδα, Τσουκαλάδες, Καβάλος, Λαζαράτα, Δρυμώνας, Πηγαδησάνοι, Καρυά, Καλαμίτσι, Εξάνθεια, Πλατύστομα, Αμμόκαμπος, Βαυκερή, Εγκλουβή, Δράγανο, Ράχη, Περιγυάλι, Νεοχώρι, Σύβοτα, Πόρος, Βασιλική, Σύβρος, Άγιος Ηλίας, Αλάτρο |

3.1.1 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

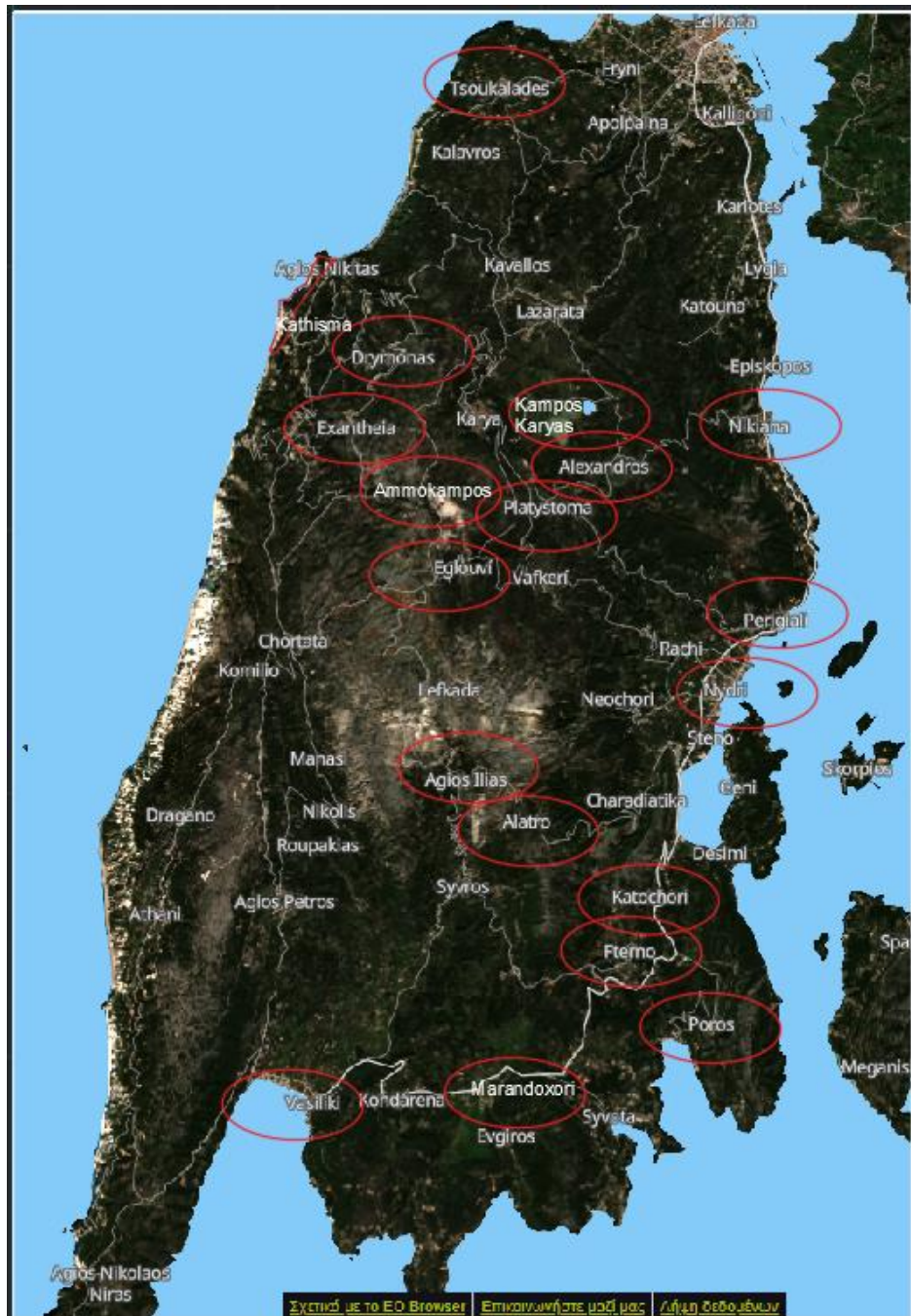
Στη συνέχεια παρουσιάζονται για τη χρονική διάρκεια των 2 ετών (2021-2022), οι περιοχές οι οποίες συγκεντρώνουν τις περισσότερες φορές τον χρόνο υδάντινες μάζες σύμφωνα με τα δεδομένα που παρατηρήθηκαν μέσω του Earth Observation Browser (Πίνακας 3.12). Με την αναφορά των δυτικών παραλίων στους πίνακες, γίνεται λόγος κυρίως για τη παραλία του Αγίου Νικήτα και του Καθίσματος οι οποίες διαθέτουν αρκετά τουριστικά καταλύματα.

Οι πλημμυρικά πληττόμενες περιοχές εμφανίζονται εντός κόκκινης διαγράμμισης και σε φυσικό έγχρωμο υπόβαθρο του EO Browser (Σχήμα 3.6 και Σχήμα 3.7).

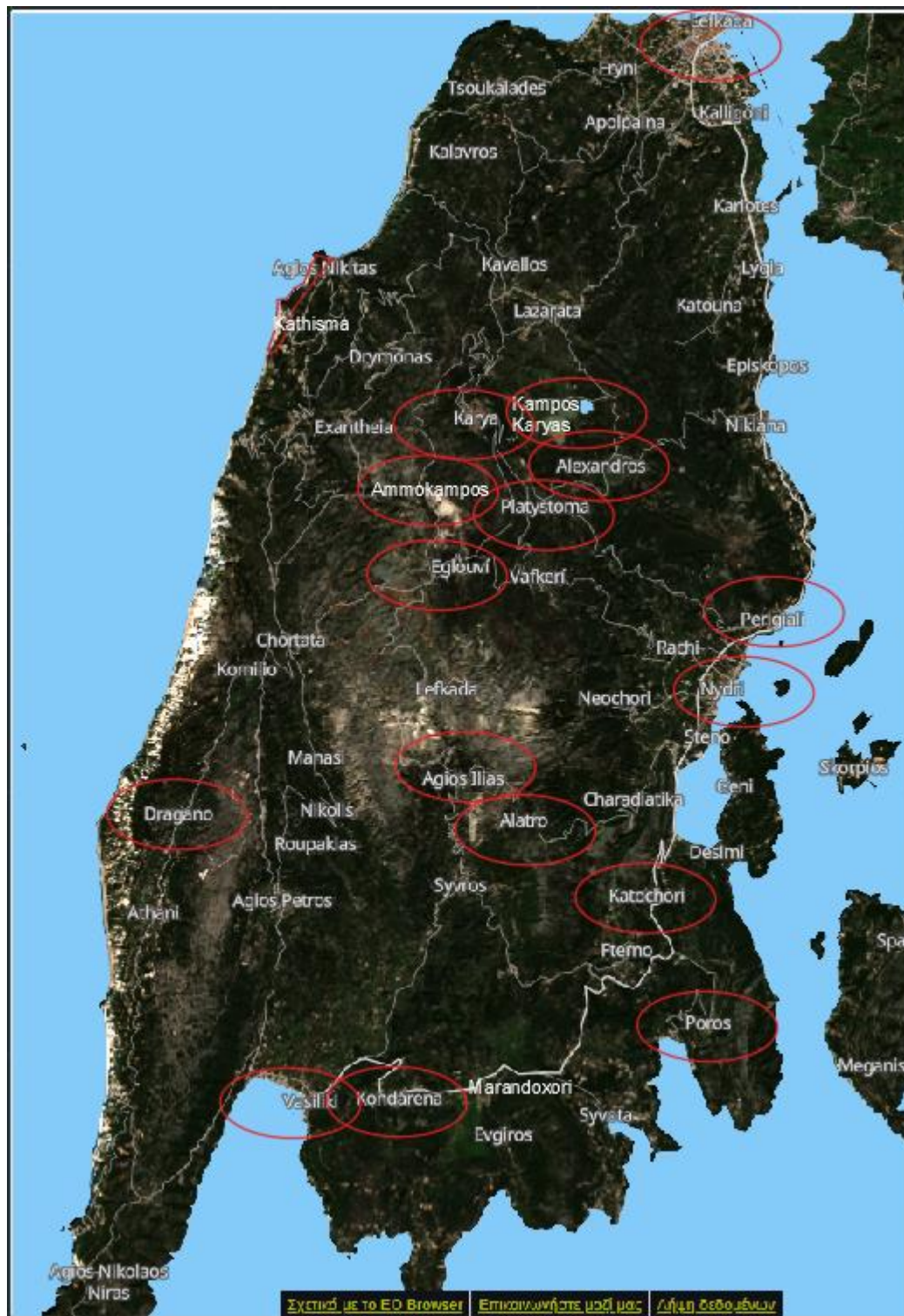
Πίνακας 3.12: Πλημμυρικά συχνότερα πληττόμενοι οικισμοί, στα αριστερά έτους 2021, στα δεξιά έτους 2022 (πηγή: EO Browser)

| Έτος 2021 | | Έτος 2022 | |
|-----------|---------------|-----------|----------------|
| 1) | Αλέξανδρος | 1) | Αλέξανδρος |
| 2) | Εξάνθεια | 2) | Βασιλική |
| 3) | Πλατύστομα | 3) | Εγκλουβή |
| 4) | Κάμπος Καρυάς | 4) | Κάμπος Καρυάς |
| 5) | Αλάτρο | 5) | Πόρος |
| 6) | Πόρος | 6) | Πλατύστομα |
| 7) | Βασιλική | 7) | Καρυά |
| 8) | Αμμόκαμπος | 8) | Άγιος Ηλίας |
| 9) | Νυδρί | 9) | Δυτικά Παράλια |
| 10) | Κομήλιο | 10) | Κατωχώρι |
| 11) | Νικιάνα | 11) | Δράγανο |
| 12) | Δρυμώνας | 12) | Αλάτρο |
| 13) | Μικρός Γυαλός | 13) | Κοντάρενα |
| 14) | Εγκλουβή | 14) | Πόλη Λευκάδας |

| | |
|-----|----------------|
| 15) | Άγιος Ηλίας |
| 16) | Κατωχώρι |
| 17) | Περιγιάλι |
| 18) | Φτέρνο |
| 19) | Τσουκαλάδες |
| 20) | Μαραντοχώρι |
| 21) | Δυτικά Παράλια |



Σχήμα 3.6. : Οικισμοί με συχνότερη συγκέντρωση υδάτινων όγκων το έτος 2021 (πηγή: EO Browser, Autocad)



Σχήμα 3.7. : Οικισμοί με συχνότερη συγκέντρωση υδάτινων όγκων το έτος 2022 (πηγή: EO Browser, Autocad)

3.2 Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (ArcGIS)

Το ArcGIS (Geographic Information System) αποτελεί ένα λογισμικό γεωγραφικών πληροφοριών ανεπτυγμένο από την Esri. Η χρήση του είναι ευρέως διαδεδομένη καθώς παρέχει δυνατότητες δημιουργίας, ανάλυσης, διαχείρισης και οπτικοποίησης γεωγραφικών δεδομένων. Πολλές εταιρείες, κυβερνήσεις, δημόσιοι φορείς, υπηρεσίες

κοινής ωφέλειας, επωφελούνται από το GIS. Τεράστια απήχηση μεταξύ άλλων, έχει και σε ακαδημαϊκό επίπεδο, για σκοπούς διδασχής αλλά και σε ερευνητικά προγράμματα. Κάποια βασικά χαρακτηριστικά του GIS αποτελούν τα ακόλουθα:

1. **Χαρτογράφηση και οπτικοποίηση.** Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν χάρτες, διαγράμματα και γενικά απεικονίσεις που καθιστούν ευκολότερη την κατανόηση χωρικών δεδομένων.
2. **Ποικιλία στη διαχείριση δεδομένων.** Το GIS δύναται να διαχειριστεί διαφόρων τύπων γεωγραφικών δεδομένων όπως χάρτες, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες.
3. **Γεωεπεξεργασία.** Το λογισμικό επιτρέπει στο κοινό να εφαρμόσει πολύπλοκη γεωχωρική ανάλυση, όπως χωρική παρεμβολή, ανάλυση εγγύτητας και προσωρινή αποθήκευση.
4. **Δυνατότητα ομαδικής εργασίας.** Το GIS περιλαμβάνει εργαλεία για κοινοποίηση δεδομένων και χαρτών σε τρίτους, γεγονός που προάγει και επιτρέπει την ομαδική εργασία.
5. **Ενσωμάτωση σε φορητές συσκευές.** Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητές συσκευές, καθιστώντας εύκολη τη συλλογή και ενημέρωση δεδομένων σε μελέτες επί του πεδίου.

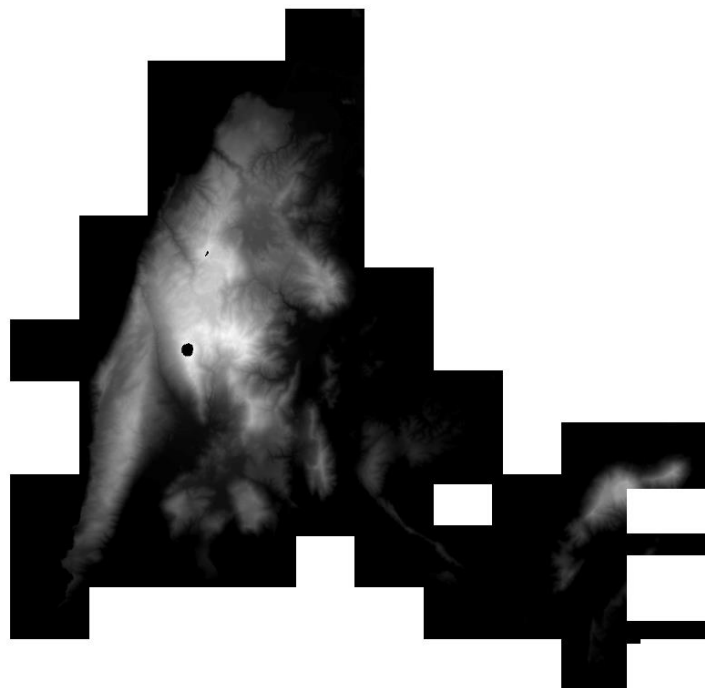
Οι κατηγορίες δεδομένων που συναντώνται στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων είναι:

- Κανονικοποιημένα δεδομένα (raster). Πρόκειται για αρχεία αποτελούμενα από πολλά φατνία (pixels), καθένα από αυτά παριστάνει ένα αντικείμενο με τιμές. Πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα dem files.
- Διανυσματικά δεδομένα (vector). Αποτελούν αρχεία σε μορφή πολυγώνων, οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται με τη μορφή πίνακα (Attribute table).

Κάθε δεδομένο με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων μπορεί να μετατραπεί από vector σε raster και το αντίστροφο.

3.2.1 Εισαγωγή δεδομένων

Το πρωτογενές ψηφιακό μοντέλο εδάφους χορηγήθηκε από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (Ο.Κ.Χ.Ε.) σε αρχείο raster βασισμένο στο ελληνικό σύστημα συντεταγμένων (Greek Grid), με ανάλυση κάναβου 5m x 5m. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα μωσαϊκό το οποίο περιλαμβάνει όλη την περιφερειακή ενότητα Λευκάδος μαζί με τις υπόλοιπες νήσους (Σχήμα 3.8).



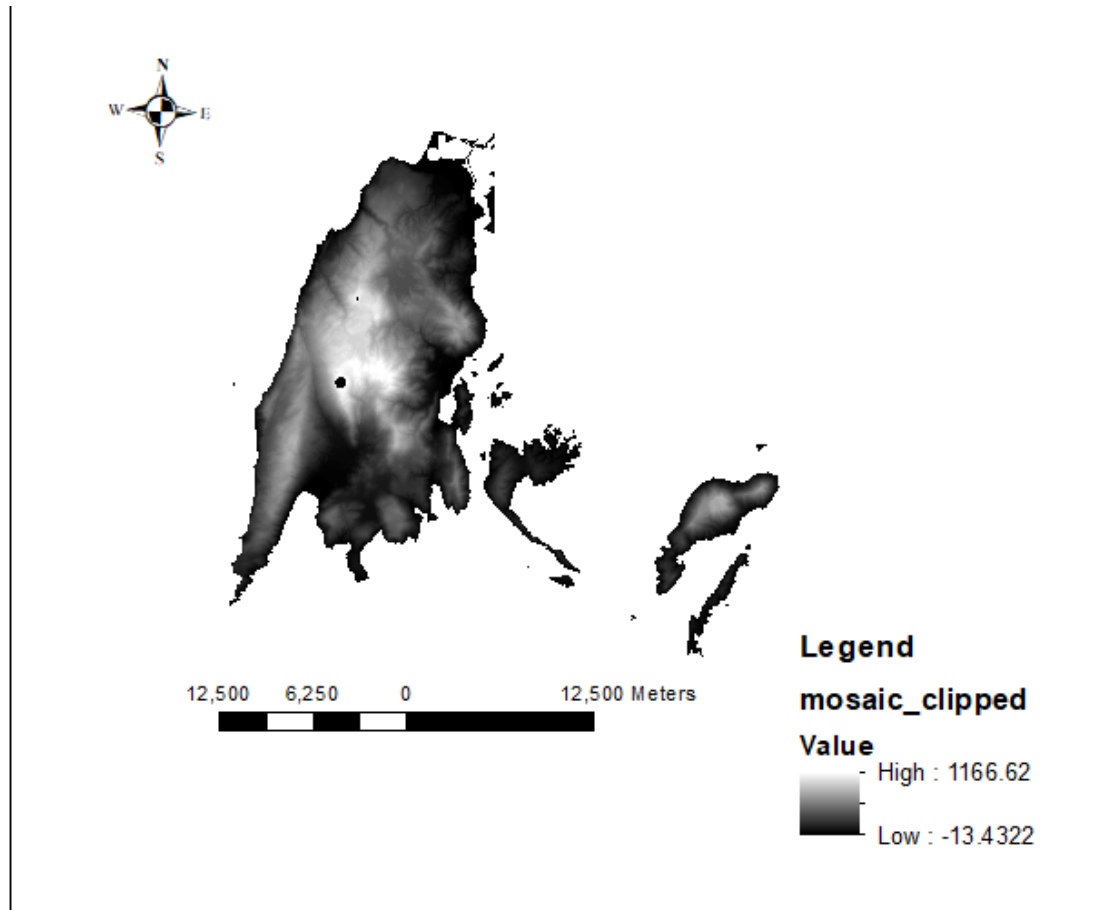
Σχήμα 3.8. : Αρχικό μοντέλο εδάφους με τη μορφή μωσαϊκού (πηγή: GIS)

Στη συνέχεια, προκειμένου να οριοθετηθεί η λεκάνη ενδιαφέροντος, γίνεται εισαγωγή των Καλλικρατικών δήμων Ελλάδος σε μορφή διανυσματικού θεματικού επιπέδου (shapefile) το οποίο ανακτήθηκε από τον ιστότοπο Geodata.gov.gr, όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9. : Καλλικρατικοί δήμοι (πηγή: Geodata.gov.gr)

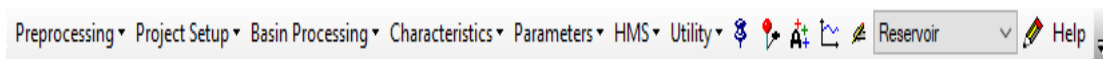
Κάνοντας αναζήτηση και εφαρμόζοντας λοιπόν το χωρικό εργαλείο (spacial analyst tool) «εξαγωγή ως μάσκα» (extract by mask), δημιουργείται ένα νέο ψηφιακό μοντέλο εδάφους όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10 (dem file). Η φιλοσοφία του εργαλείου αυτού είναι ότι δημιουργεί ένα νέο πολύγωνο, από τα κοινά σημεία του θεματικού επιπέδου και του αρχικού μωσαϊκού.



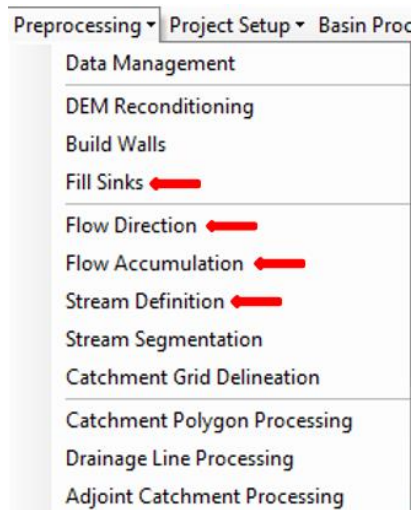
Σχήμα 3.10. : Εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους (πηγή: Geodata.gov.gr)

3.2.2 Επεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Πάνω στο νέο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Σχήμα 3.10), εφαρμόζεται μία σειρά βημάτων προεπεξεργασίας-Preprocessing (Σχήμα 3.12) με τη χρήση της εργαλειοθήκης Hec-GeoHMS (Σχήμα 3.11).

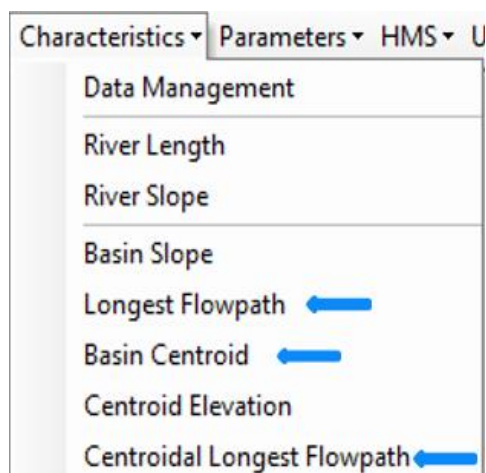


Σχήμα 3.11. : Εργαλειοθήκη Hec-GeoHMS (πηγή: GIS)



Σχήμα 3.12. : Βήματα Προεπεξεργασίας (πηγή: GIS)

Σε δεύτερη φάση, χρησιμοποιούνται ένα πλήθος χωρικών εργαλείων και εργαλείων ανάλυσης του GIS που επεξηγούνται στη συνέχεια. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας εφαρμόζονται εντολές που αφορούν χαρακτηριστικά της λεκάνης (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.13. : Χαρακτηριστικά λεκάνης (πηγή: Gis)

Τα γεωμορφολογικά δεδομένα που προκύπτουν από το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας, αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για το λογισμικό HEC-HMS. Παρακάτω παρατίθεται ένα συνοπτικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας επεξεργασίας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.14. : Διάγραμμα ροής επεξεργασίας GIS

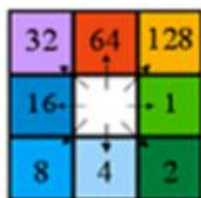
3.2.3 Επεξήγηση διαδικασίας

- *Fill Sinks*: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους διαθέτει ατέλειες στην επιφάνειά του, δηλαδή φατνία (pixels) με αρνητικές τιμές υψομέτρων. Η αιτία που συμβαίνει αυτό συνήθως είναι διότι σε αυτά τα σημεία εντοπίζονται στρατιωτικές εγκαταστάσεις, οπότε για λόγους απορρήτου αλλάζονται οι τιμές τους. Το εργαλείο αυτό λοιπόν, διορθώνει τα προβληματικά σημεία, δίνοντάς τους μία τιμή σύμφωνα με τα υψόμετρα των γειτονικών pixels, προκειμένου η ροή του νερού να μην διακόπτεται εγκλωβιζόμενη στα βυθίσματα αυτά (Σχήμα 3.15).

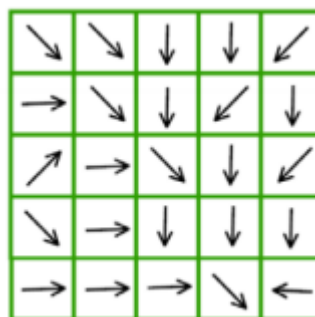


Σχήμα 3.15. : Γέμισμα ελλατοματικών pixels (πηγή: GIS)

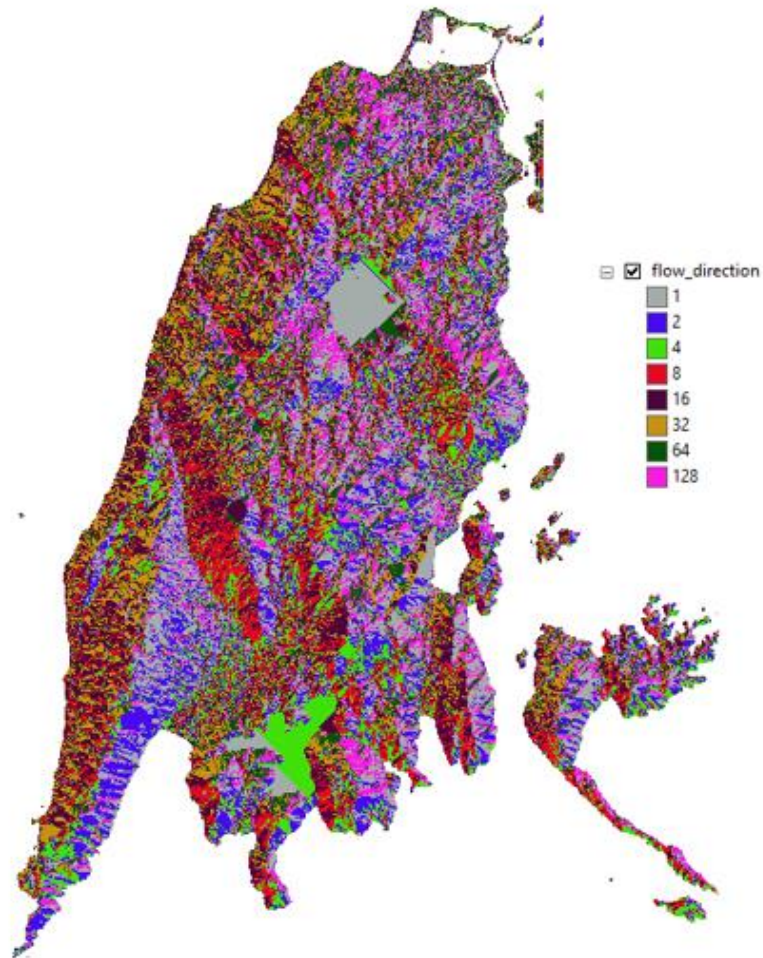
- *Flow Direction*: Το εργαλείο αυτό, βάσει του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, υπολογίζει ένα νέο raster όπου κάθε φάτνιο χαρακτηρίζεται με μία από τις 8 ακόλουθες τιμές (Σχήμα 3.16). Κάθε τιμή αντιστοιχεί σε μία από τις 8 κατευθύνσεις σύμφωνα με την οποία ρέει το νερό από ένα φάτνιο προς τα γειτονικά του (Σχήμα 3.17). Έτσι δημιουργείται ο κánaβος διεύθυνσης ροής.



1 = ανατολικά,
 2 = νοτιοανατολικά
 4 = νότια,
 8 = νοτιοδυτικά
 16 = δυτικά,
 32 = βορειοδυτικά
 64 = βόρεια
 128 = βορειοανατολικά

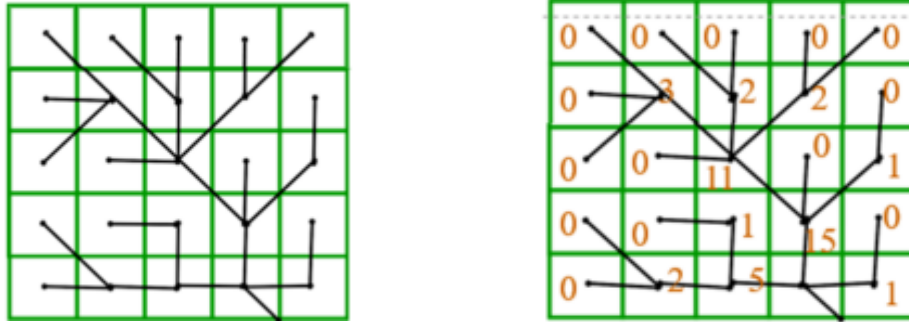


Σχήμα 3.16. : Κánaβος διεύθυνσης ροής (πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς 2019)

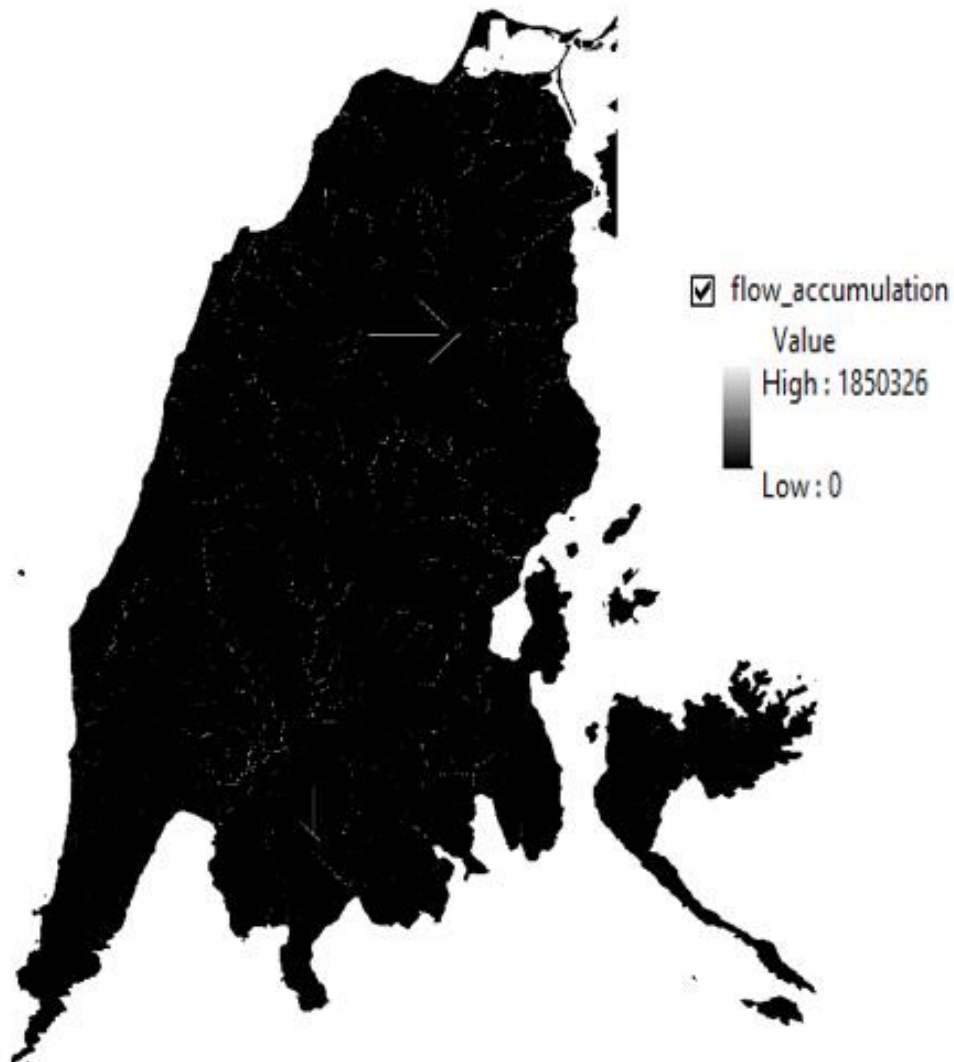


Σχήμα 3.17. : Raster διεύθυνσης ροής της περιοχής μελέτης (πηγή:Gis)

- *Flow Accumulation*: Με την εντολή αυτή, δημιουργείται ένας νέος κάρταβος συγκεντρωτικής ροής με δεδομένο τον κάρταβο διεύθυνσης ροής (Σχήμα 3.18). Τα pixels του καινούριου raster έχουν ως τιμή το πλήθος των γειτονικών φατνιών που απορρέουν σε αυτά (Σχήμα 3.19). Στην περιοχή μελέτης (Σχήμα 12) παρουσιάζονται όλα τα pixels με τιμές από 0, δηλαδή δεν απορρέει κανένα φατνίο σε αυτό, μέχρι και τη μέγιστη τιμή 1850326, δηλαδή το pixel στην έξοδο της λεκάνης στο οποίο καταλήγουν όλα τα υπόλοιπα. Προκύπτει λοιπόν ένα υδρογραφικό δίκτυο το οποίο εκ πρώτης όψεως είναι κάπως δυσδιάκριτο.



Σχήμα 3.18. : Κάναβος συγκεντρωτικής ροής (πηγή: Μπαλάς και Μπουρνάς, 2019)



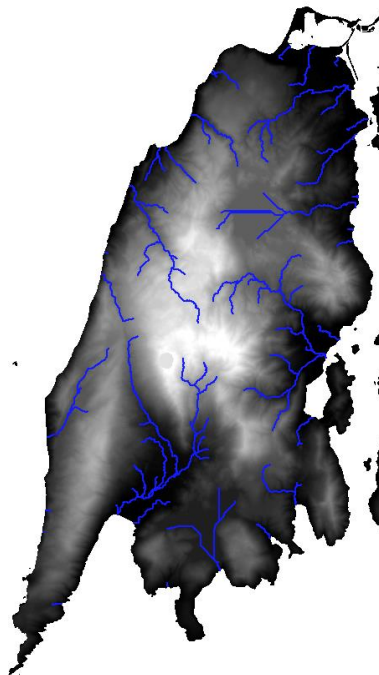
Σχήμα 3.19. : Raster συγκεντρωτικής ροής της περιοχής μελέτης (πηγή: Gis)

- *Stream Definition*: Προκειμένου το υδρογραφικό δίκτυο του Σχήματος 3.19 να εμφανίζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, απαιτείται ο ορισμός του κατώφλιου. Πιο συγκεκριμένα, στο Flow Accumulation raster, ορίζεται ένα όριο pixels πάνω από το οποίο κάθε φατνίο αποτελεί μέρος του υδρογραφικού δικτύου. Όμως, επειδή το να ορισθεί κατώφλι εξαρτάται από την έκταση της λεκάνης και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της, πράγμα που απαιτεί εμπειρία, έγιναν δοκιμές για ανάντη λεκάνες έκτασης από 1 km² έως 5 km². Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν καλύτερα τον ελλαδικό χώρο καθώς δεν εντοπίζονται μεγάλες λεκάνες απορροής εντός αυτού. Γνωρίζοντας τις διαστάσεις έκαστου φατνίου (5 m x 5 m), υλοποιώντας τη διαίρεση ανάμεσα στο εμβαδό της λεκάνης και στο εμβαδό του pixel, προκύπτει ένα πλήθος φατνίων που αποτελεί το κατώφλι. Στην εργασία επιλέγεται λεκάνη 1 km² (Πίνακας 3.13) θεωρώντας ότι αντιπροσωπεύει καλύτερα την απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου.

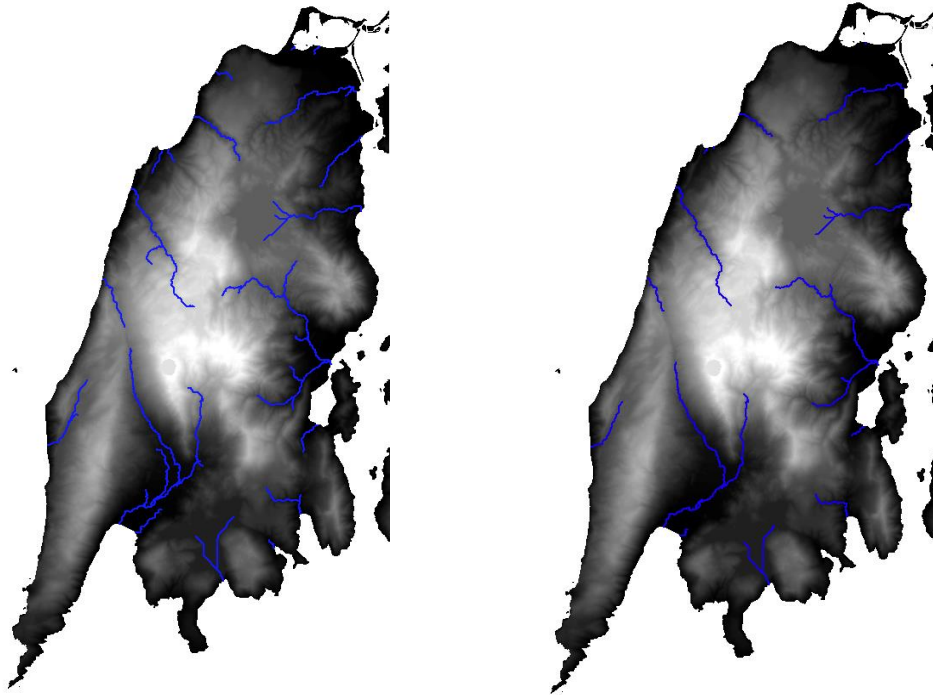
Πίνακας 3.13. : Κατώφλι που επιλέγεται στη περιοχή μελέτης (πηγή: Excel)

| | | |
|----------------------------------|-------|-----------------|
| A1(εμβαδό ανάντη λεκάνης) | 1 | km ² |
| A2(εμβαδό pixel) | 25 | m ² |
| σύνολο Pixels(κατώφλι): | 40000 | |

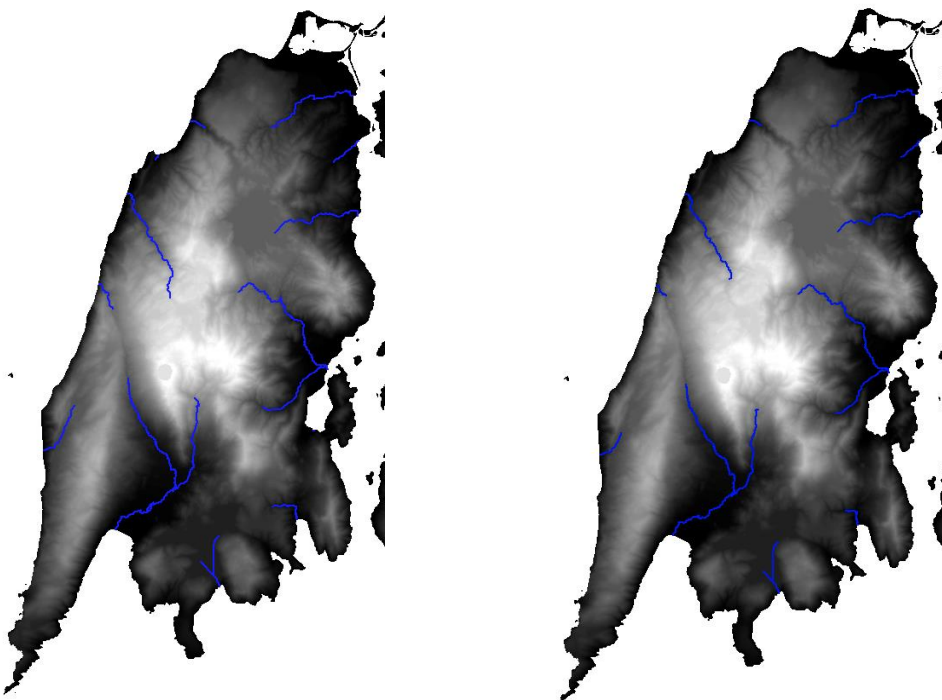
- *Stream to feature (Spatial Analyst Tool)*: Με το εργαλείο αυτό, τα κανονικοποιημένα δεδομένα του Stream Definition μετατρέπονται σε διανυσματικά αρχεία. Με διανυσματική μορφή πλέον καθώς τα καθιστά πιο ευκρινή, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.20 η μορφή του υδρογραφικού δικτύου που επιλέγεται για την εργασία, ενώ στα Σχήματα 3.21, 3.22 τα υδρογραφικά δίκτυα από τις δοκιμές των υπόλοιπων κατωφλιών.



Σχήμα 3.20. : Κατώφλι 40.000 φατνίων (πηγή: Gis)

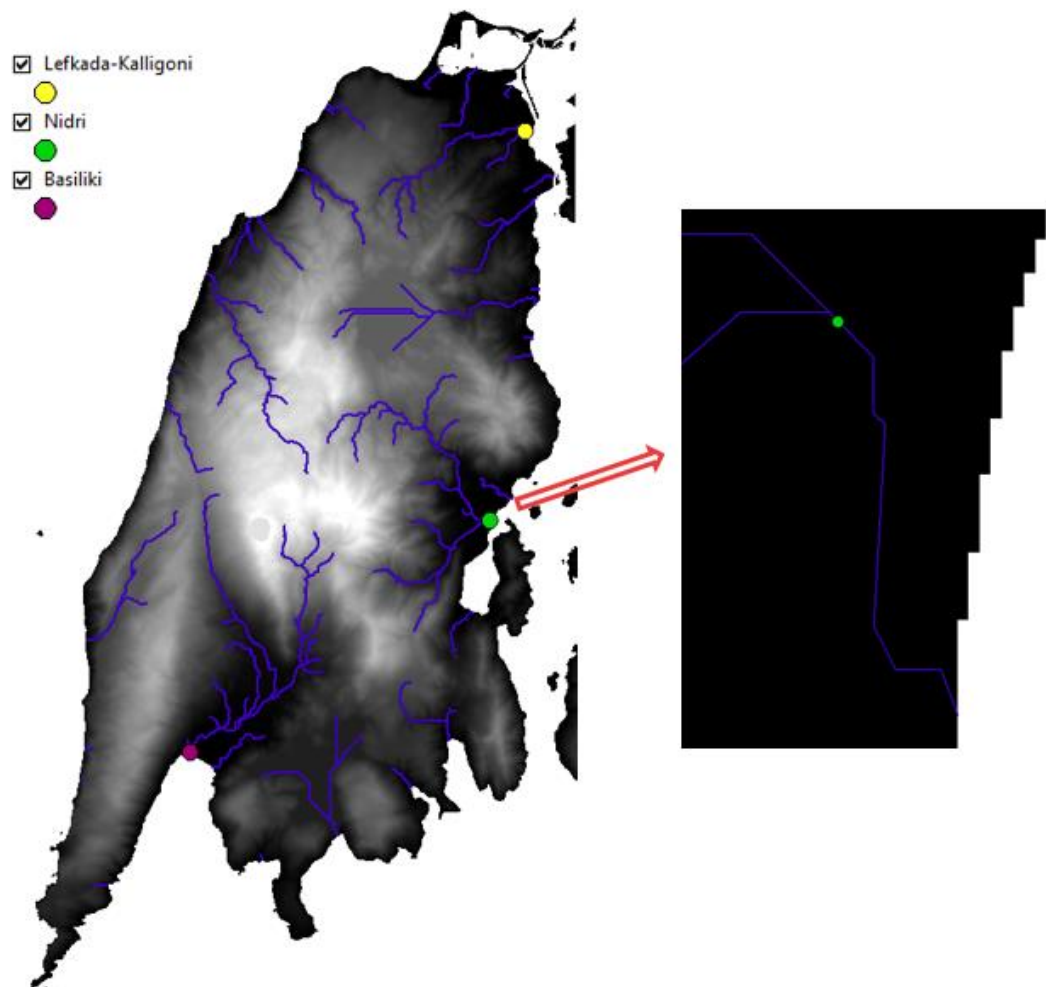


*Σχήμα 3.21. : Κατώφλι 80.000 φατνιών στα αριστερά και 120.000 φατνιών στα δεξιά
(πηγή: Gis)*



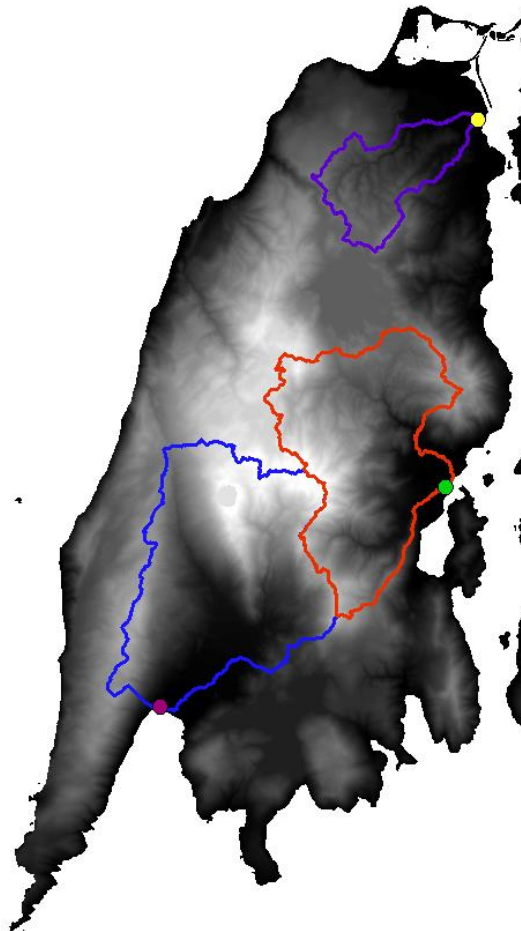
*Σχήμα 3.22. : Κατώφλι 160.000 φατνιών στα αριστερά και 200.000 φατνιών στα δεξιά
(πηγή: Gis)*

- *Shapefile Points*: Σε αυτό το στάδιο της εργασίας, αποφασίζεται να γίνει μελέτη 3 υπολεκάνών της κύριας λεκάνης της Λευκάδος. Η επιλογή γίνεται με κριτήρια την ύπαρξη υδρογραφικού δικτύου με πολλές διακλαδώσεις και τους πίνακες πληττόμενων πλημμυρικά περιοχών όπως προκύπτει από το ΕΟ Browser. Προκειμένου να οριοθετηθούν οι υπολεκάνες, δημιουργούνται 3 σημεία (points) με τη μορφή θεματικών επιπέδων (shapefiles) συνδεδεμένα με τη γεωβάση που βρίσκεται η εργασία. Τα σημεία, με τη βοήθεια του editor και του εργαλείου create features, τοποθετούνται ανάντη των οικισμών: Πόλης της Λευκάδας που συνορεύει με τον οικισμό Καλλιγόνης, του Νυδριού και της Βασιλικής (Σχήμα 3.23), στον ρου υδατορεύματος που δεν εμπλουτίζεται με περαιτέρω ρέματα έως ότου εκβάλλει.



Σχήμα 3.23. : Σημεία ανάντη των οικισμών (πηγή: Gis)

- *Watershed (Spatial Analyst Tool)*: Το εργαλείο αυτό δημιουργεί ένα raster αρχείο με δεδομένα εισόδου τα σημεία που ορίστηκαν σε προηγούμενο βήμα και το raster της διεύθυνσης ροής. Στη συνέχεια, εκτελώντας το εργαλείο *Raster to polygon (Conversion Tool)* μετατρέπεται το raster αρχείο της υπολεκάνης σε διανυσματικό αρχείο. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 3.24.



Σχήμα 3.24. : Οι 3 Υπολεκάνες σε διανυσματική μορφή (πηγή: Gis)

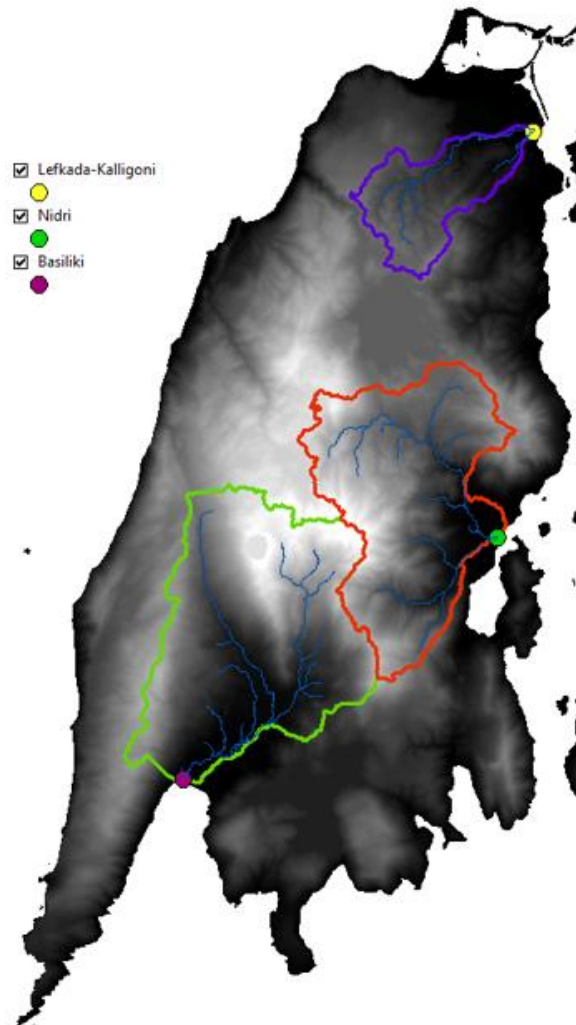
3.2.4 Ορισμός τοπογραφικών χαρακτηριστικών των υπολεκανών-δεδομένα Hec-HMS

Σε συνέχεια της εντολής watershed, κάθε διανυσματικό αρχείο χαρακτηρίζεται από έναν πίνακα που περιλαμβάνει τα δεδομένα του αρχείου ομαδοποιημένα (Attribute table). Και στη περίπτωση των 3 υπολεκανών, διαβάζοντας τα δεδομένα του πίνακα, παρατηρείται πως έχουν δημιουργηθεί 2 υπολεκάνες για έκαστη. Αυτό το γεγονός είναι πολύ σύνηθες και αντιμετωπίζεται συγχωνεύοντας τις 2 υπολεκάνες με την εντολή merge του editor. Ενδεικτικά παρατίθεται στο Σχήμα 3.25 τα δεδομένα του πίνακα της υπολεκάνης της Βασιλικής, το πιο σημαντικό εκ των οποίων αποτελεί το εμβαδό της (Shape Area).

| Table | | | | | | |
|-----------|------------|---------|----|----------|--------------|-----------------|
| subbasin1 | | | | | | |
| | OBJECTID * | Shape * | Id | gridcode | Shape_Length | Shape_Area |
| | 1 | Polygon | 1 | 0 | 35773.929496 | 46249678.153804 |

Σχήμα 3.25. : Attribute table της υπολεκάνης Βασιλικής (πηγή: Gis)

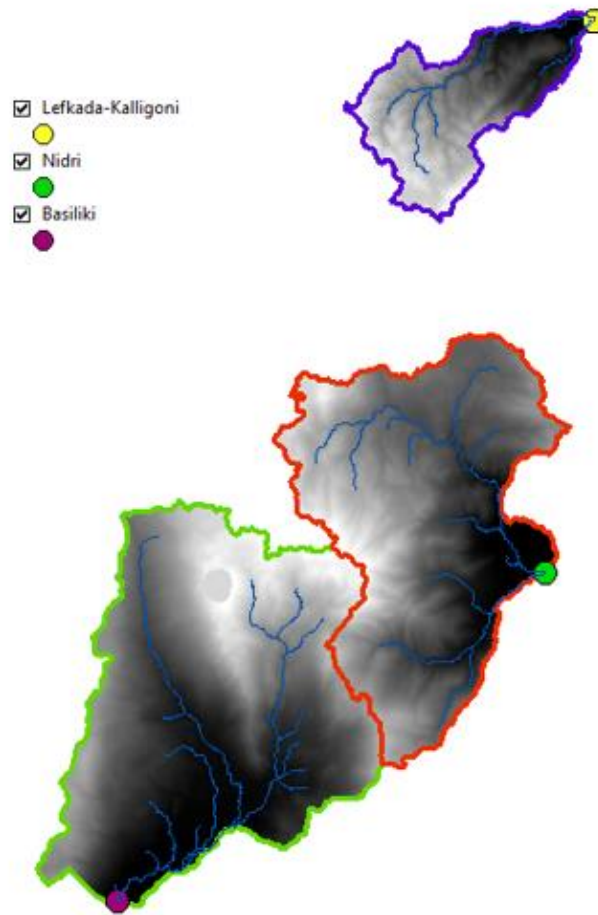
Έπειτα, το συνολικό υδρογραφικό δίκτυο «κόβεται» πάνω στις 3 υπολεκάνες εφαρμόζοντας την εντολή Clip (Analysis Tool) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.26.



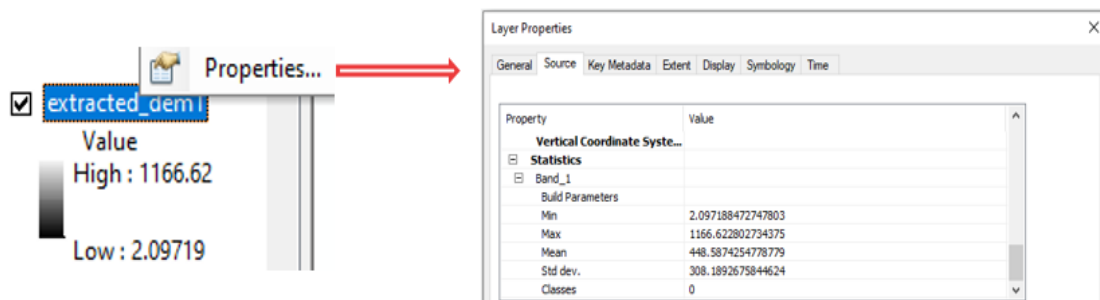
Σχήμα 3.26. : «Κομμένο» υδρογραφικό δίκτυο (πηγή: Gis)

Τελικό βήμα της επεξεργασίας σε επίπεδο υπολεκάνης, αποτελεί η εξαγωγή του filled ψηφιακού μοντέλου εδάφους της νήσου με την εντολή extract by mask (Spatial Analyst Tool), σε 3 επιμέρους raster αρχεία «κομμένα» πάνω στις 3 υπολεκάνες (Σχήμα 3.27). Ανατρέχοντας στις ιδιότητες των raster υπολεκανών αντλούνται χαρακτηριστικά σχετικά με το μέγιστο, ελάχιστο και μέσο τοπογραφικό υψόμετρο. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η διαδικασία για την υπολεκάνη της Βασιλικής (Σχήμα 3.28). Τα

δεδομένα των 3 υπολεκανών καταγράφονται σε αρχείο Excel και εμφανίζονται στον Πίνακα 3.14.



Σχήμα 3.27. : «Κομμένο» το γεμισμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (πηγή: Gis)

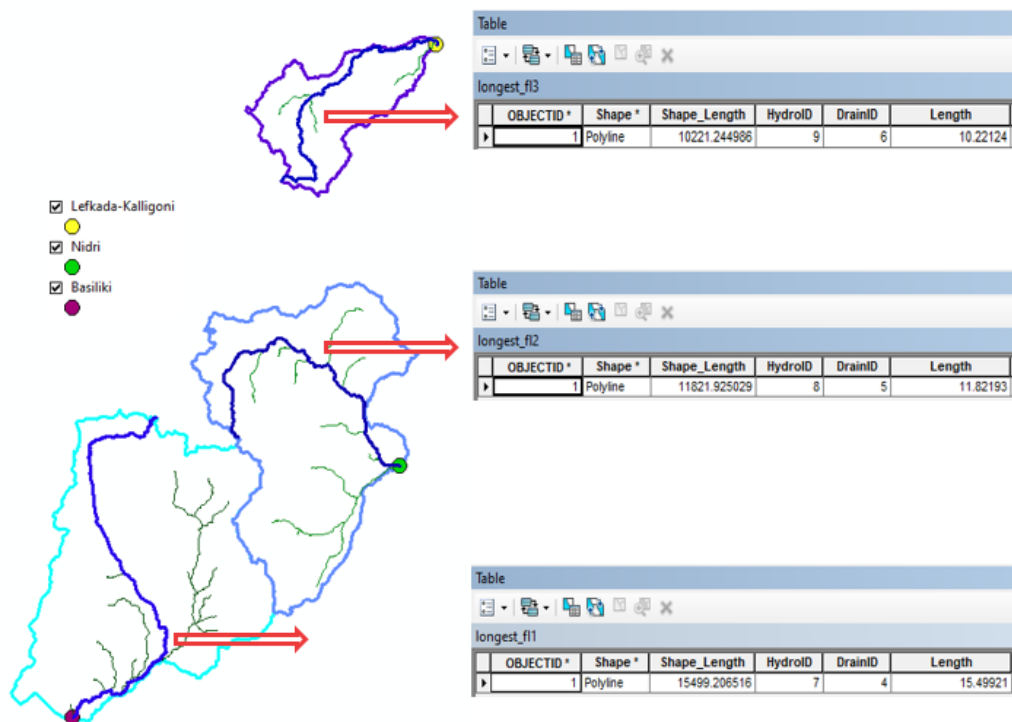


Σχήμα 3.28. : Διαδικασία άντλησης χαρακτηριστικών υπολεκάνης Βασιλικής (πηγή: Gis)

Πίνακας 3.14 : Χαρακτηριστικά των 3 υπολεκάνων (πηγή: GIS)

| Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά Υπολεκάνων | Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη Πόλης Λευκάδος | Υπολεκάνη Νυδριού | Μονάδες μέτρησης |
|--|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| εμβαδό υπολεκάνης(A): | 46.250 | 12.326 | 37.660 | km ² |
| Hmin: | 2.097 | 2.516 | 1.884 | m |
| Hmax: | 1166.623 | 542.889 | 1119.504 | m |
| Hmean: | 448.587 | 257.312 | 472.339 | m |

- Longest Flowpath*: Με την εντολή αυτή, δημιουργείται ένα raster οι τιμές των κελιών του οποίου αντιστοιχούν στο μήκος διαδρομής (m) που διατρέχει ένα φατνίο για να φτάσει στην έξοδο. Η μέγιστη τιμή του raster αποτελεί τη μέγιστη απόσταση που διανύει ένα pixel μέσα στην περιοχή μελέτης από την οποία ξεκινάει το μέγιστο μήκος κύριου υδατορεύματος (Σχήμα 3.29). Το ζητούμενο μήκος συμβολίζεται για τους σκοπούς της εργασίας με L και μετατρέπεται σε Km για διευκόλυνση σε επόμενο στάδιο της μελέτης με Hec-HMS (Πίνακας 3.15).

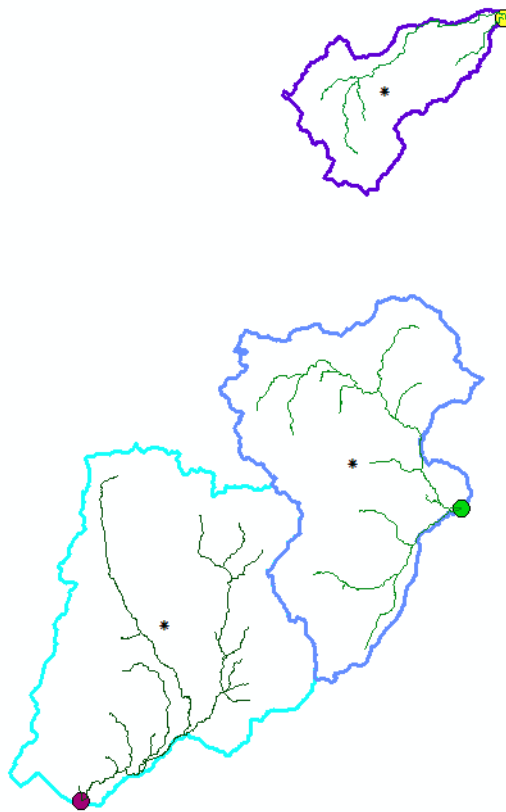


Σχήμα 3.29. : Longest Flowpath των 3 υπολεκάνων (πηγή: Gis)

Πίνακας 3.15 : Μήκη των Longest Flowpath (πηγή: Excel)

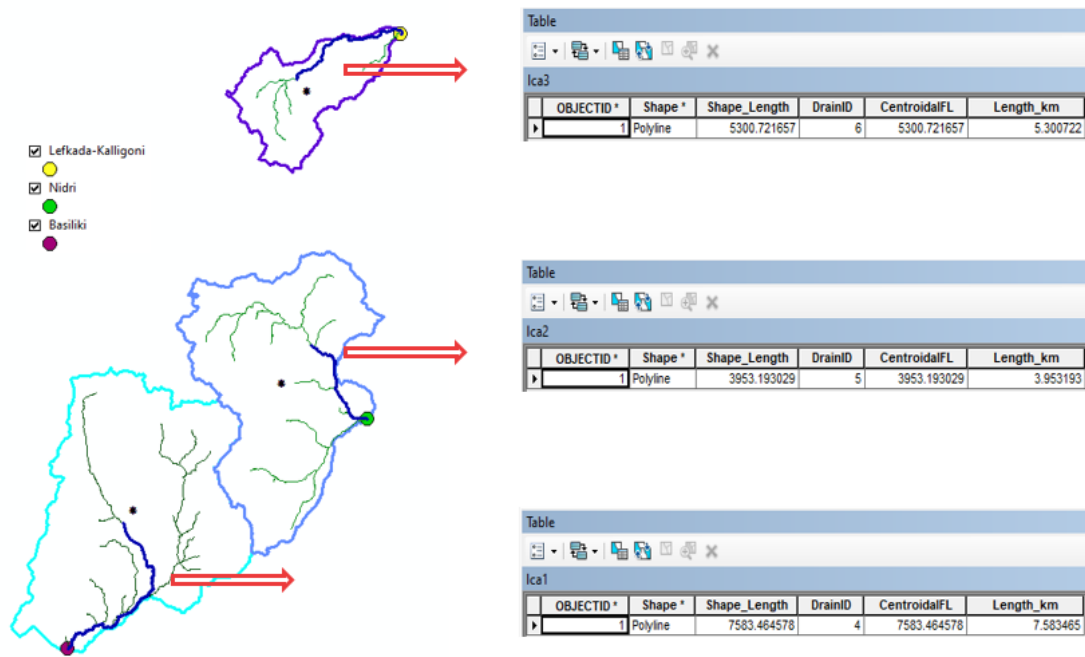
| Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη πόλης Λευκάδος | Υπολεκάνη Νυδριού | Μονάδες μέτρησης |
|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| 15.499 | 10.221 | 11.822 | km |

- *Basin Centroid*: Αφορά τη δημιουργία του κέντρου βάρους κάθε υπολεκάνης με την αναπαράστασή τους ως σημεία (Σχήμα 3.30). Η εκτέλεση του εργαλείου αυτού έχει επικουρικό ρόλο για το επόμενο και τελικό βήμα της επεξεργασίας σε επίπεδο συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών.



Σχήμα 3.30. : Κέντρα βάρους υπολεκάνων (πηγή: Gis)

- *Centroidal Longest Flowpath*: Σαν τελικό βήμα, η εντολή αυτή παράγει ένα υδατόρευμα που αποτελεί τμήμα της μεγαλύτερης διαδρομής υδατορεύματος. Ως αφετηρία έχει την έξοδο της λεκάνης, εκτείνεται ανάντη κατά μήκος του longest flowpath και καταλήγει στο σημείο που βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο βάρους της λεκάνης (Σχήμα 3.31). Και σε αυτή την περίπτωση το μήκος μετατρέπεται σε Km για διευκόλυνση σε επόμενο στάδιο της μελέτης με Hec-HMS ενώ συμβολίζεται με LCA (Πίνακας 3.16).



Σχήμα 3.31. Centroidal Longest Flowpath των 3 υπολεκάνων (πηγή: Gis)

Πίνακας 3.16 : Μήκη των Centroidal Longest Flowpath (πηγή: Excel)

| Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη πόλης Λευκάδος | Υπολεκάνη Νυδριού | Μονάδες μέτρησης |
|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| 7.583 | 5.301 | 3.953 | km |

4 . ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Το λογισμικό HEC-HMS

Το HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) αποτελεί ένα λογισμικό ανεπτυγμένο από το σώμα μηχανικών του στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερική και διατίθεται χωρίς κόστος στο διαδύκτιο. Είναι σχεδιασμένο με τέτοιον τρόπο ώστε να προσομοιάζει και να μοντελοποιεί υδρολογικές διεργασίες στις λεκάνες απορροής και στις κοίτες ποταμών. Το λογισμικό έχει απήχηση σε μηχανικούς, υδρολόγους και χρησιμοποιείται για να εκτελέσει υδρολογικές προσομοιώσεις, να προβλέψει τη ροή του νερού σε ποτάμια οικοσυστήματα, να εκτιμήσει τη διαθεσιμότητα νερού και να διαχειριστεί τον πλημμυρικό κίνδυνο. Με τις δυνατότητες που παρέχει, εμφανίζεται ευρέως σε project διαχείρισης πλημμυρών σε πεδιάδες, προγραμματισμού (planning) υδατικών πόρων και ανάλυση ασφάλειας ζωής φραγμάτων.

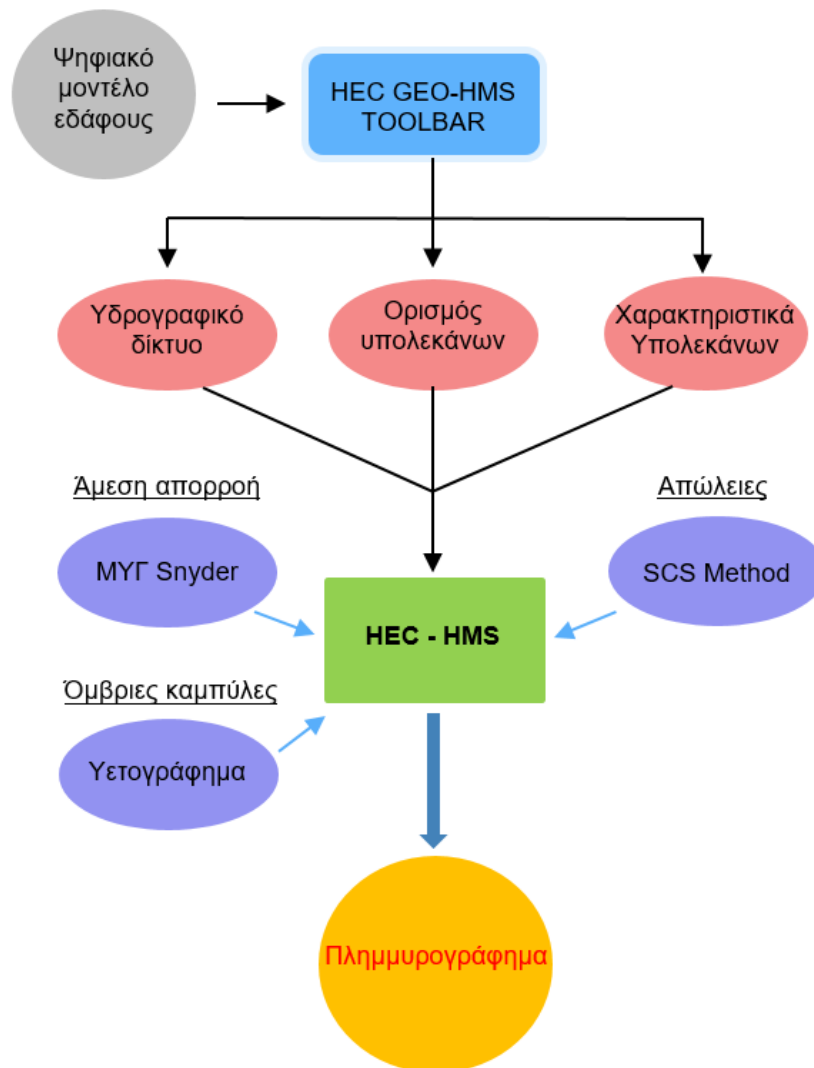
Στα πλεονεκτήματά του καταλογίζονται το γεγονός πως το γραφικό περιβάλλον του επιτρέπει την εύκολη εναλλαγή ανάμεσα σε διάφορα μέρη-εφαρμογές του προγράμματος καθώς επίσης περιέχει διαδικασίες εφαρμογής σεναρίων και συγκριτικής αξιολόγησής τους με αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων (Μπαλτάς, 2021)

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά του HEC-HMS αποτελούν οι:

1. **Μοντελοποίηση λεκάνης απορροής.** Το λογισμικό επιτρέπει στους χρήστες να προσομοιώσουν τις υδρολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις λεκάνες απορροής, όπως ο υετός, εξατμισοδιαπνοή και διήθηση.
2. **Μοντελοποίηση υετού (βροχή, χιόνι, χαλάζι).**
3. **Μοντελοποίηση απορροής και χάραξη ροής υδατορεύματος.** Το HEC-HMS έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει την κίνηση των υδάτινων μαζών που ρέουν στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και μέσα στα ποτάμια και στα ρέματα.
4. **Πρόβλεψη πλημμυρών.** Η υπολογιστική πλατφόρμα συμβάλλει στην πρόληψη και εξομάλυνση των πλημμυρικών γεγονότων.

4.2 Διάγραμμα ροής ανάλυσης δεδομένων

Το ακόλουθο διάγραμμα συνοψίζει τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από την ανάλυση σε περιβάλλον ArcGIS καθώς και στοιχεία που θα προκύψουν στην πορεία της εργασίας έως το πέρας της (Σχήμα 4.1).





Σχήμα 4.1. : Hydrological Analysis flow chart

4.3 Δημιουργία μοντέλου λεκάνης απορροής (Basin Model)

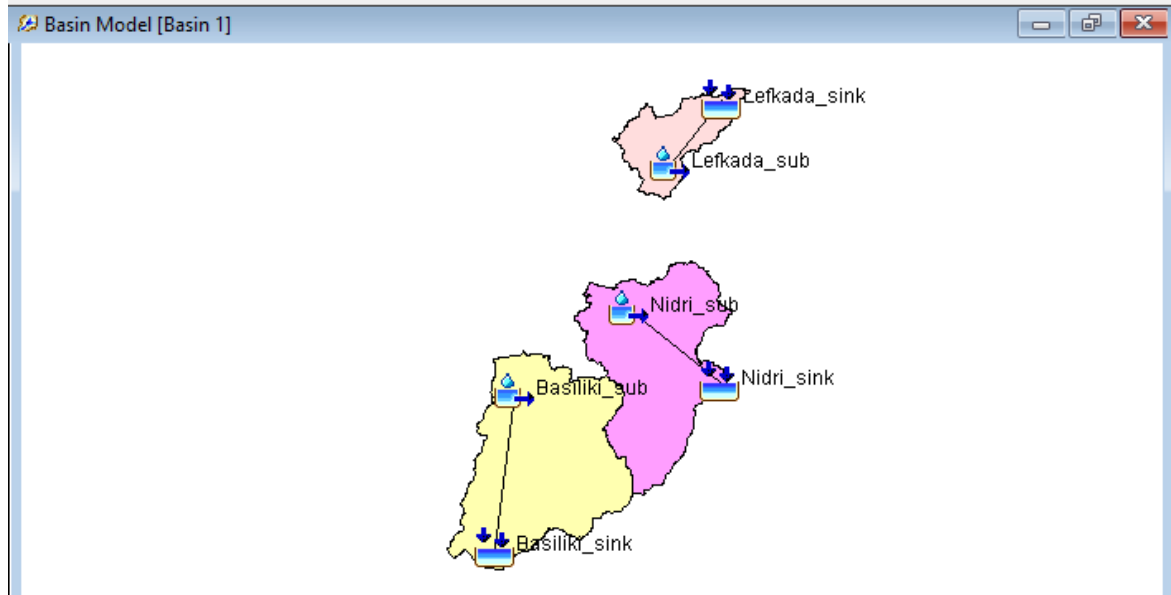
Αρχικό βήμα της επεξεργασίας που λαμβάνει χώρα στο HMS, αποτελεί η δημιουργία του μοντέλου λεκάνης απορροής μέσω των εντολών: Components → Create Component → Basin Model. Αφού δημιουργείται το μοντέλο, γίνεται εισαγωγή των τριών υπολεκανών σε μορφή διανυσματικών θεματικών επιπέδων (shapefiles), όπως αυτές έχουν εξαχθεί από το περιβάλλον GIS. Ο λόγος εισαγωγής τους είναι καθαρά αισθητικός, ώστε να υπάρχει το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης στο περιβάλλον του HMS. Η διαδικασία που εφαρμόζεται είναι: View → Map Layers → Add, όπου και επιλέγονται για προσθήκη οι υπολεκάνες.

Έπειτα, χρειάζεται να ορισθούν μέσω των κατάλληλων εικονιδίων του λογισμικού:

- Η ύπαρξη υπολεκάνης (Subbasin Creation Tool) 

- Και μία έξοδος για κάθε υπολεκάνη (Sink Creation Tool) 

Η τοποθέτηση των εικονιδίων πάνω στις λεκάνες είναι συμβολική, δηλαδή δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική χωρική έναρξη απορροής και έξοδο απορροής. Το προϊόν της διαδικασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2. : Basin Model (πηγή: Hec-HMS)

Σαν επόμενο βήμα, ορίζονται κάποιες τιμές και μέθοδοι χαρακτηριστικές για τον τρόπο λειτουργίας κάθε υπολεκάνης (Σχήμα 4.3). Οι συνιστώσες (Components) που συμπληρώνονται είτε επιλέγονται είναι:

- Στο χωρίο Downstream, κάθε υπολεκάνη συνδέεται με την αντίστοιχη έξοδο της.
- Το εμβαδό κάθε υπολεκάνης σε km², όπως έχουν υπολογιστεί από την επεξεργασία σε περιβάλλον GIS.
- Ως μέθοδος απωλειών (Loss Method), αυτή της Soil Conservation Service (SCS). Αναλύεται ακολούθως στο κεφάλαιο 4.4.
- Για μέθοδο μετατροπής (Transform Method), το Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder, η ανάλυση του οποίου γίνεται στο κεφάλαιο 4.5.

Στα υπόλοιπα πεδία που αφορούν χαρακτηριστικά των υπολεκανών ορίζονται μηδενικές τιμές δηλαδή δεν επιλέγεται κάποια μέθοδος καθώς δεν αποτελούν απαραίτητες συνθήκες για την προσομοίωση. Τα κελιά αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Canopy Method: Αναπαριστά την ύπαρξη βλάστησης (Canopy Method).
- Surface Method: Πρόκειται για μέθοδο αναπαράστασης της επιφάνειας του εδάφους όπου πιθανόν να πραγματοποιείται συσσώρευση υδάτων.
- Discretization Method: Αναφέρεται σε χωρικά διακριτά στοιχεία της λεκάνης.

- Baseflow Method: Αποτελεί μία μέθοδο βασικής ροής που αντιπροσωπεύει τη διήθηση, την επιφανειακή απορροή και τις υποεπιφανειακές διεργασίες που αλληλεπιδρούν μαζί.

The image shows two side-by-side screenshots of the HEC-HMS software interface, specifically the 'Subbasin' configuration window. Each window has tabs for 'Subbasin', 'Loss', 'Transform', and 'Options'. The left window is for 'Basiliki_sink' and the right window is for 'Nidri_sink'. Both windows have the following fields:

| Field | Basiliki_sink | Nidri_sink |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| Description: | | |
| Downstream: | Basiliki_sink | Nidri_sink |
| *Area (KM2) | 46.25 | 37.66 |
| Latitude Degrees: | | |
| Latitude Minutes: | | |
| Latitude Seconds: | | |
| Longitude Degrees: | | |
| Longitude Minutes: | | |
| Longitude Seconds: | | |
| Discretization Method: | --None--- | --None--- |
| Canopy Method: | --None-- | --None-- |
| Surface Method: | --None-- | --None-- |
| Loss Method: | SCS Curve Number | SCS Curve Number |
| Transform Method: | Snyder Unit Hydrograph | Snyder Unit Hydrograph |
| Baseflow Method: | --None-- | --None-- |

The image shows a screenshot of the HEC-HMS software interface, specifically the 'Subbasin' configuration window for 'Lefkada_sink'. The window has tabs for 'Subbasin', 'Loss', 'Transform', and 'Options'. The fields are as follows:

| Field | Lefkada_sink |
|------------------------|------------------------|
| Description: | |
| Downstream: | Lefkada_sink |
| *Area (KM2) | 12.326 |
| Latitude Degrees: | |
| Latitude Minutes: | |
| Latitude Seconds: | |
| Longitude Degrees: | |
| Longitude Minutes: | |
| Longitude Seconds: | |
| Discretization Method: | --None--- |
| Canopy Method: | --None-- |
| Surface Method: | --None-- |
| Loss Method: | SCS Curve Number |
| Transform Method: | Snyder Unit Hydrograph |
| Baseflow Method: | --None-- |

Σχήμα 4.3. : Συνιστώσες σε επίπεδο υπολεκάνων (πηγή: Hec-HMS)

4.4 Υπολογισμός Απωλειών

Το νερό της κατακρήμνισης φτάνοντας στην επιφάνεια του εδάφους, υφίσταται διεργασίες οι οποίες επηρεάζουν την τελική απορροή του. Οι διεργασίες αυτές (Κεφάλαιο 1.2.2) πρωταγωνιστούν στο υδατικό ισοζύγιο και στον υδρολογικό κύκλο

και εφόσον απομειώνουν τον όγκο απορροής ύδατος, εύλογα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως υδρολογικές απώλειες. Καθώς η παρουσία τους επηρεάζει σε τόσο μεγάλο βαθμό τη διαφορά υδατικών όγκων σε επίπεδο ισοζυγίου, κρίνεται απαραίτητος ο προσδιορισμός τους.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εκτίμησης των συνολικών ελλειμάτων βροχόπτωσης μερικές εκ των οποίων είναι: η μέθοδος του δείκτη ϕ , η μέθοδος του συντελεστή απορροής C (Ορθολογική μέθοδος) και η μέθοδος SCS. Η τελευταία χρησιμοποιείται και για την παρούσα διπλωματική εργασία.

4.4.1 Εκτίμηση του υδρολογικού περισσεύματος βροχής με τη μέθοδο SCS

Η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ (Υπηρεσία Προστασίας Εδάφους) έχει αναπτύξει μία εμπειρική διαδικασία υπολογισμού του ενεργού ύψους βροχής από μία δεδομένη βροχόπτωση, συναρτήσει τριών παραμέτρων:

- Του ύψους βροχόπτωσης,
- της αρχικής κατάστασης υγρασίας εδάφους και
- του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους-καλύμματος.

Βασικό εργαλείο της μεθόδου SCS αποτελεί ο αριθμός καμπύλης CN (Curve Number). Πρόκειται για έναν συντελεστή απορροής που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της εδαφικής κατακράτησης και λαμβάνει τιμές από 0-100. Οι τιμές του προκύπτουν από πίνακες που έχουν διαμορφωθεί εξαρτώμενοι από την αρχική εδαφική υγρασία, τις χρήσεις γης, την κάλυψη γης, τη διαπερατότητα των εδαφικών σχηματισμών και τέλος την υδρολογική κατάσταση. Με βάση τη μέθοδο, υπολογίζεται το ενεργό ύψος βροχόπτωσης από την ακόλουθη Εξίσωση 4.1 (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012):

$$he = \frac{(h-0.2S)^2}{h+0.8S} \text{ για } h > 0.2S,$$

$$\text{αλλιώς } he = 0 \text{ για } h \leq 0.2S \text{ (4.1),}$$

όπου he = το ενεργό ύψος βροχόπτωσης, h = το συνολικό ύψος βροχής.

Η μέγιστη δυνατή κατακράτηση S (ολικές απώλειες) συνδέεται με τον αριθμό καμπύλης CN σύμφωνα με την παρακάτω Εξίσωση 4.2 (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012):

$$S(mm) = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \text{ (4.2)}$$

Για τις αρχικές απώλειες I_a , συνήθως γίνεται η παραδοχή ότι ισούται με $0.2S$. Η παραδοχή αυτή συνήθως υπερεκτιμά τις αρχικές απώλειες, αλλά στην παρούσα εργασία για όλες τις προσομοιώσεις δεν ορίζεται κάποια τιμή καθώς δεν αποτελεί αναγκαίο πεδίο των προσομοιώσεων στο λογισμικό HMS.

- **Κατηγοριοποίηση βάσει της εδαφικής υγρασίας**

Για τον υπολογισμό της αρχικής κατάστασης υγρασίας εδάφους, συνηθίζεται να λαμβάνεται υπόψη το συνολικό ύψος βροχής ενός αριθμού προηγούμενων ημερών, που κυμαίνεται από 5 έως 30 ημέρες. Δεύτερη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη είναι το στάδιο ανάπτυξης της βλάστησης, δηλαδή αν βρίσκεται σε ευνοϊκή περίοδο ή μη αντίστοιχα. Έτσι προκύπτει ταξινόμηση της υγρασίας σε τρεις κατηγορίες, την AMC I

που αναφέρεται σε στεγνά εδάφη, την AMC II για μέσες συνθήκες και την AMC III για υγρές συνθήκες και σχεδόν κορεσμένο έδαφος (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Κατηγορίες με βάση την υγρασία εδάφους (πηγή: SCS, 1972)

| Κατηγορία | Ύψος βροχοπτώσεως των 5 προηγούμενων ημερών (mm) | |
|-----------|--|-------------------|
| | Χειμερινή περίοδος | Βλαστική περίοδος |
| I | <13 | <35 |
| II | 13-28 | 35-53 |
| III | >28 | >53 |

- **Υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους- κάλυψης γης**

Ανάλογα με τη διαπερατότητα των εδαφικών σχηματισμών, γίνεται διάκριση σε 4 κατηγορίες (Μιμίκου & Μπαλάς, 2012):

Κατηγορία A: Εδάφη με υψηλή ικανότητα διήθησης ακόμα και αν διαβραχούν διεξοδικά (πολύ χαμηλό δυναμικό απορροής). Συνήθως περιέχουν πλήρως στραγγιζόμενες άμμους ή χαλίκια.

Κατηγορία B: Εδάφη με μέτρια ικανότητα διήθησης, όπως για παράδειγμα αμμώδης πηλός.

Κατηγορία C: Εδάφη με χαμηλή ικανότητα διήθησης, όπως είναι τα εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου.

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

Η SCS με βάση τις χρήσεις γης και τις κατηγορίες υγρασίας εδάφους, δημιούργησε πίνακες για την άμεση εκτίμηση του αριθμού καμπύλης CN. Για τα ελληνικά δεδομένα, για συνθήκες υγρασίας κατηγορίας II προκύπτει ο Πίνακας 4.2.

Πίνακας 4.2: Αριθμός καμπύλης απορροής CN για αρχική κατάσταση υγρασίας II (πηγή: Wanielista, 1978)

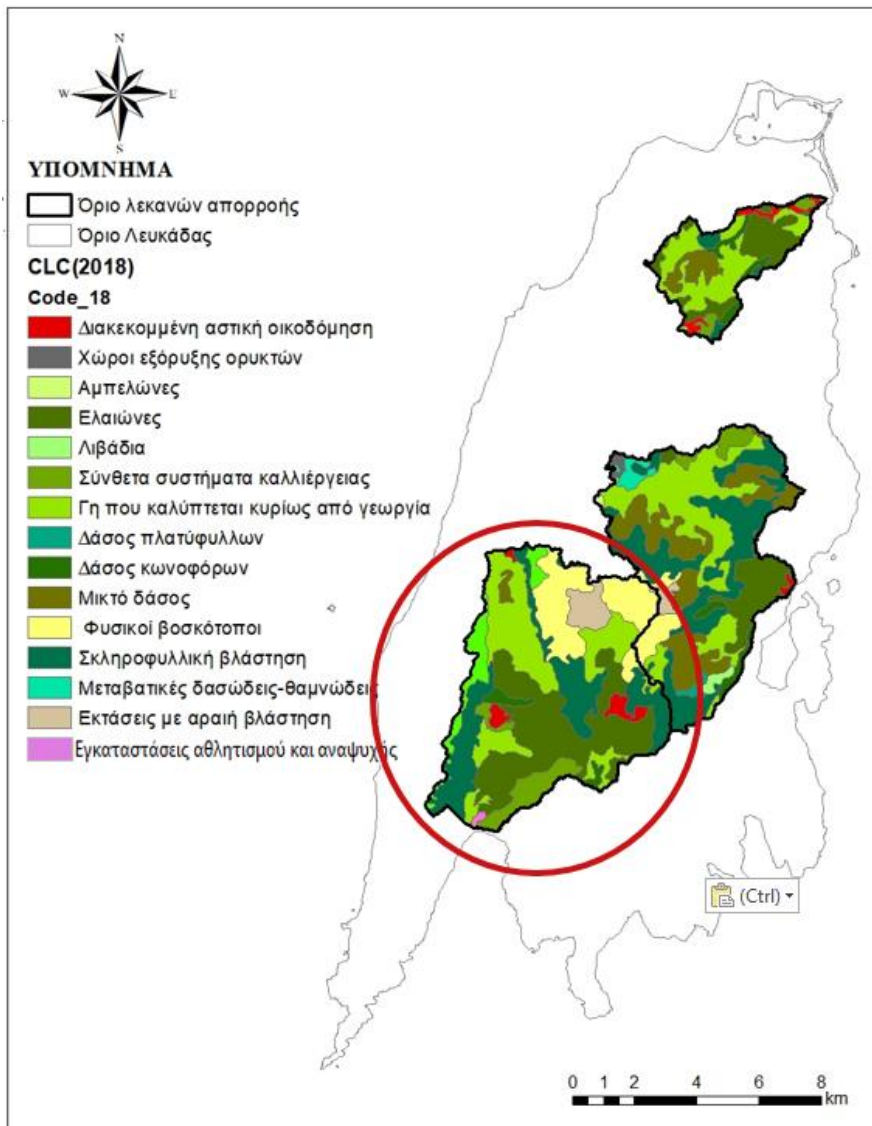
| Χρήση Γης | Υδρολογικός τύπος εδάφους | | | |
|--|---------------------------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Καλλιεργημένες εκτάσεις | | | | |
| • Χωρίς έργα συντήρησης | 72 | 81 | 88 | 91 |
| • Με έργα συντήρησης | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Ορεινοί βοσκότοποι | | | | |
| • Κακή κατάσταση | 68 | 79 | 86 | 89 |
| • Καλή κατάσταση | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Λιβαδικές εκτάσεις | | | | |
| • Καλή κατάσταση | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Δασικές εκτάσεις | | | | |
| • Αραιή συστάδα | 45 | 66 | 77 | 83 |
| • Πυκνή συστάδα | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Ελεύθερες εκτάσεις, γήπεδα γκόλφ, πάρκα | | | | |
| • Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης | 39 | 61 | 74 | 80 |
| • Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της περιοχής | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατες) | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες) | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Οικιστικές περιοχές | | | | |
| Μέσο μέγεθος οικοπέδου | | | | |
| Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας | | | | |
| < 500 | 65 | | | |
| 1000 | 40 | 77 | 85 | 90 |
| 1500 | 30 | 61 | 75 | 83 |
| 2000 | 25 | 57 | 72 | 81 |
| 4000 | 20 | 54 | 70 | 80 |
| | | 51 | 68 | 79 |
| | | | | 84 |
| Χώροι πάρκινγκ, στέγες, κ.λ.π. | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Δρόμοι | | | | |
| • με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων | 98 | 98 | 98 | 98 |
| • καλικοστρωτοι | 76 | 85 | 89 | 91 |
| • χωματόδρομοι | 72 | 82 | 87 | 89 |
| Αστικές συνθήκες | | | | |
| • Γυμνό έδαφος | 77 | 86 | 91 | 94 |
| • Κήποι ή θάμνοι | 72 | 81 | 88 | 91 |
| • Μεγάλη κάλυψη με πράσινο (> 75% της διαπερατής περιοχής) | 39 | 61 | 74 | 80 |
| • Μέτρια κάλυψη πρασίνου (50-75% της διαπερατής περιοχής) | 49 | 69 | 79 | 84 |
| • Μικρή κάλυψη πρασίνου (< 50% της διαπερατής περιοχής) | 68 | 79 | 86 | 89 |
| • Άλσπ | 36 | 60 | 73 | 79 |

Συνεπώς, εάν είναι γνωστή η χρήση γης μίας περιοχής, ο υπεδάφιος γεωλογικός σχηματισμός και με θεώρηση εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί σε κατηγορία II, ανατρέχοντας στον Πίνακα 4.2 υπολογίζεται με αυτόν τον τρόπο ο αριθμός καμπύλης CN. Βέβαια η διαδικασία αυτή, καθίσταται πιο πολύπλοκη σε λεκάνες που περιλαμβάνουν περισσότερες από μία χρήσεις γης ή εδαφικούς σχηματισμούς όπως είναι οι τρεις υπολεκάνες μελέτης της υφιστάμενης εργασίας. Έκαστη υπολεκάνη αποτελείται από πολύγωνα γης. Κάθε πολύγωνο χρήσης γης με τον εδαφικό τύπο που εντοπίζεται στο πολύγωνο αυτό, παράγει έναν κατανεμημένο αριθμό καμπύλης. Συνθέτοντας όλους τους κατανεμημένους αριθμούς καμπυλών, προκύπτει από τον μέσο όρο τους, ένας σταθμισμένος Curve Number (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3 : Μέσοι Curver Number II (πηγή: GIS)

| CN | ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ | | |
|-------|------------|-------|--------------------------|
| | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος- Καλλιγόνι |
| CN II | 78 | 76 | 75 |

Στην παρούσα εργασία, οι ανωτέρω σταθμισμένοι αριθμοί καμπύλης κατηγορίας II υπολογίζονται σε GIS περιβάλλον. Για την απεικόνιση των χρήσεων γης των υπολεκανών χρησιμοποιείται το Corine Land Cover από την πλατφόρμα Copernicus. Ενδεικτικά παρατίθεται στο Σχήμα 4.4 τα πολύγωνα χρήσεων γης της υπολεκάνης Βασιλικής. Οι κατηγορίες για τις χρήσεις γης του Corine ανέρχονται σε 44, δηλαδή είναι πολύ περισσότερες από αυτές που διαθέτει η μέθοδος SCS οπότε γίνεται μία προσαρμογή σε 9 εξ αυτών (Σχημα 4.5).

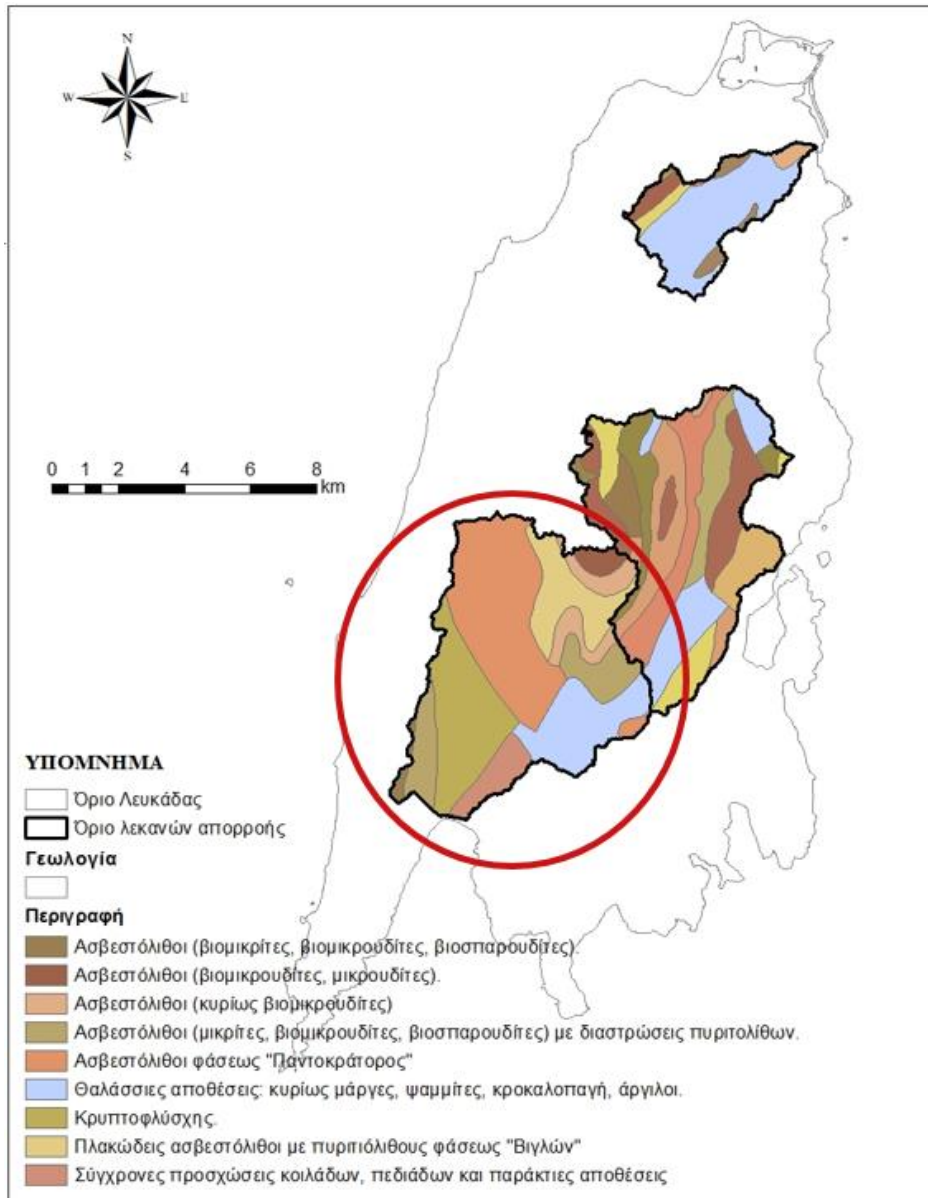


Σχήμα 4.4. : Corine Land Cover υπολεκάνης Βασιλικής (πηγή: Copernicus, Gis)

| Landuse_ |
|---|
| ▶ Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση |
| Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση |
| Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση |
| Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής |
| Ελαιώνες |
| Λιβάδια |
| Λιβάδια |
| Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας |
| Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης |
| Δάσος κωνοφόρων |

Σχήμα 4.5. : Χρήσεις γης κατά SCS (πηγή: GIS)

Για την απεικόνιση των εδαφικών κατηγοριών (A, B, C, D), γίνεται ψηφιοποίηση του υδρολιθικού χάρτη Ελλάδος (Σχήμα 4.6). Ανάλογα δηλαδή με το πέτρωμα, αξιολογείται η διηθητική ικανότητά του και η ένταξή του σε μία εκ των τεσσάρων κατηγοριών (Σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.6. : Γεωλογικοί σχηματισμοί υπολεκάνης Βασιλικής (πηγή: Copernicus, Gis)

| geologia_vasiliki | |
|-------------------|--|
| PERIGRAFH | |
| ▶ | Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις |
| | Θαλάσσιες αποθέσεις: κυρίως μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, άργιλοι. |
| | Κρυπτοφλύσχη. |
| | Ασβεστόλιθοι (μικρίτες, βιομικρουδίτες, βιοσπαρουδίτες) με διαστρώσεις πτυρολιθων. |
| | Ασβεστόλιθοι (μικρίτες, βιομικρουδίτες, βιοσπαρουδίτες) με διαστρώσεις πτυρολιθων. |
| | Ασβεστόλιθοι (βιομικρίτες, βιομικρουδίτες, βιοσπαρουδίτες). |
| | Ασβεστόλιθοι (βιομικρουδίτες, μικρουδίτες). |
| | Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιομικρουδίτες |
| | Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιομικρουδίτες |
| | Πλακώδεις ασβεστόλιθοι με πτυρολιθους φάσεως "Βιγλών". Ενίοτε και πτυρικοί σχιστόλιθοι του Βαθωνίου με "Ποσειδών |
| | Ασβεστόλιθοι φάσεως "Παντοκράτορας". Τοπικά στην κορυφή ασβεστόλιθοι φάσεως "Σινιών". Ασβεστόλιθοι ενότητας "Τρυπαλί |
| | Ασβεστόλιθοι φάσεως "Παντοκράτορας". Τοπικά στην κορυφή ασβεστόλιθοι φάσεως "Σινιών". Ασβεστόλιθοι ενότητας "Τρυπαλί |

| Category |
|----------|
| A |
| C |
| D |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |
| C |

Σχήμα 4.7. : Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων υπολεκάνης Βασιλικής (πηγή: Copernicus,Gis)

Έχοντας εκτιμήσει τους CN II, εύκολα υπολογίζονται οι αριθμοί καμπυλών CN I και CN III με την εφαρμογή απλών τύπων (Εξισώσεις 4.3 και 4.4). Στον Πίνακα 4.4, παρουσιάζονται συνοπτικά οι αριθμοί καμπυλών για κάθε υπολεκάνη.

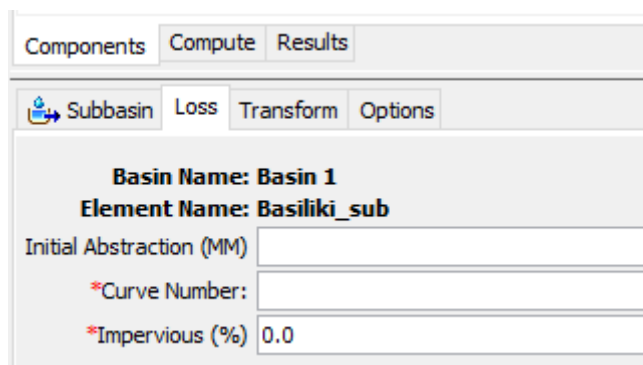
$$CN I = \frac{0.42 CNII}{1-0.0058 CNII} \quad (4.3), \quad CNIII = \frac{2.3 CNII}{1+0.013 CNII} \quad (4.4)$$

Πίνακας 4.4: Curve Numbers I και III (πηγή: Excel)

| CN | ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ | | |
|--------|------------|-------|--------------------------|
| | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος- Καλλιγόνι |
| CN I | 59 | 57 | 55 |
| CN III | 89 | 88 | 87 |

4.4.2 Εισαγωγή απωλειών στο HMS

Στο σημείο αυτό, εισάγονται σαν μία νέα συνιστώσα, οι απώλειες που υπολογίστηκαν. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8 απαιτούνται ο αριθμός καμπύλης CN και το πεδίο Impervious.



| Components | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Compute | Results |
| Subbasin Loss Transform Options | |
| Basin Name: Basin 1 | |
| Element Name: Basiliki_sub | |
| Initial Abstraction (MM) | <input type="text"/> |
| *Curve Number: | <input type="text"/> |
| *Impervious (%) | 0.0 |

Σχήμα 4.8. : Απώλειες υπολεκάνων (πηγή: Hec-HMS)

Ο δείκτης Impervious αντιστοιχεί στο ποσοστό γης που είναι διαπερατό, εξαρτάται δηλαδή από την κάλυψη γης (Μπουρνάς, 2021). Δεν διερευνάται περαιτέρω και λαμβάνει την τιμή που δίνεται αυτόματα από το HMS, που είναι μηδενική.

4.5 Υπολογισμός Άμεσης απορροής

Σε μία λεκάνη η ολική απορροή αποτελείται από δύο συνιστώσες, την άμεση και τη βασική απορροή. Άμεση ονομάζεται η απορροή που εισέρχεται εντός υδατορευμάτων αμέσως μετά τη βροχόπτωση και αποτελείται από την επιφανειακή απορροή, την απευθείας βροχόπτωση επί των υδατορευμάτων και μέρος της υπεδάφιας απορροής (ταχεία υπεδάφια). Από την άλλη, βασική ονομάζεται η απορροή που σχηματίζει τη μόνιμη ροή των ρευμάτων και περιλαμβάνει το υπόλοιπο της υπεδάφιας (βραδεία υπεδάφια) και την υπόγεια απορροή.

Μιλώντας για άμεση απορροή γίνεται αναφορά στην ενεργό βροχόπτωση δηλαδή την ολική βροχόπτωση αφαιρώντας τις απώλειες. Επομένως, εύκολα υπολογίζεται μαθηματικά ο όγκος της ενεργούς βροχής αλλά προκειμένου να γίνει αναπαράσταση της απορροής σε μία διατομή υδατορεύματος συναρτήσει του χρόνου είναι αναγκαία η χρήση των υδρογραφημάτων.

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιείται το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder (Snyder Unit Hydrograph).

4.5.1 Μοναδιαίο Υδρογράφημα

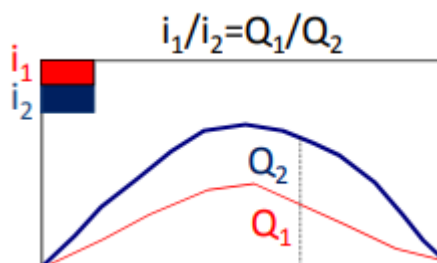
Το μοναδιαίο υδρογράφημα εισήχθη στην υδρολογική ανάλυση για πρώτη φορά από τον Sherman (1932). Αποτελεί το απλούστερο μοντέλο απεικόνισης βροχής-απορροής, δηλαδή πρόκειται για το υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προέρχεται από ενεργό βροχόπτωση συγκεκριμένης διάρκειας και ύψους 10mm, ομοιόμορφα κατανεμημένης σε όλη την έκταση της λεκάνης. Το ΜΥΓ αποτελεί μοναδικό και χαρακτηριστικό γνώρισμα για κάθε λεκάνη απορροής.

Οι παραδοχές που διέπουν τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012):

1. Σε 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.
2. Σε δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές ή τις επόμενες.
3. Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει αμετάβλητη στο χρόνο.

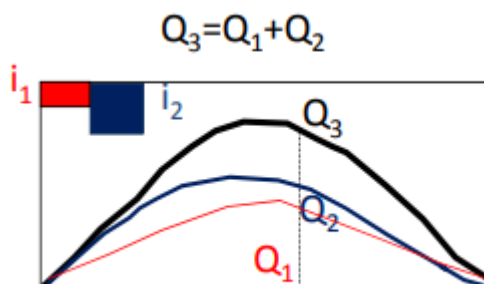
Επίσης υπάρχουν και δύο βασικές αρχές που χαρακτηρίζουν το μοναδιαίο υδρογράφημα:

- **Αρχή της αναλογίας** με βάση την οποία δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση, ενώ ο λόγος των παροχών σε κάθε χρονική στιγμή είναι ίσος με τον λόγο των εντάσεων (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9. : Αρχή της αναλογίας MYG (πηγή: Αθανάσιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας)

- **Αρχή της επαλληλίας** σύμφωνα με την οποία το συνολικό υδρογράφημα άμεσης απορροής που προκύπτει από διαδοχικές βροχοπτώσεις, είναι το υδρογράφημα με παροχές που ισούνται με το άθροισμα των παροχών των επιμέρους υδρογραφημάτων άμεσης απορροής (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10. : Αρχή της επαλληλίας MYG (πηγή: Αθανάσιος Λουκάς, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας)

4.5.2 Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος κατασκευής συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η μέθοδος Snyder (Σχήμα 4.11), που προέκυψε από αναλύσεις μεγάλου αριθμού βροχοπτώσεων στα Απαλάτσια όρη στις ΗΠΑ (Μπαλτάς & Μιμίκου, 2018).

Η μέθοδος προσεγγίζει ικανοποιητικά τον χρόνο βάσης του (T), τη χρονική υστέρηση (tp), την παροχή αιχμής Qp καθώς και τα πλάτη του ΜΥΓ W50 και W75 σε χρόνο που αντιστοιχεί στο 50% και στο 75% της αιχμής.

Οι εξισώσεις για τον υπολογισμό των ανωτέρω μεταβλητών είναι οι ακόλουθες:

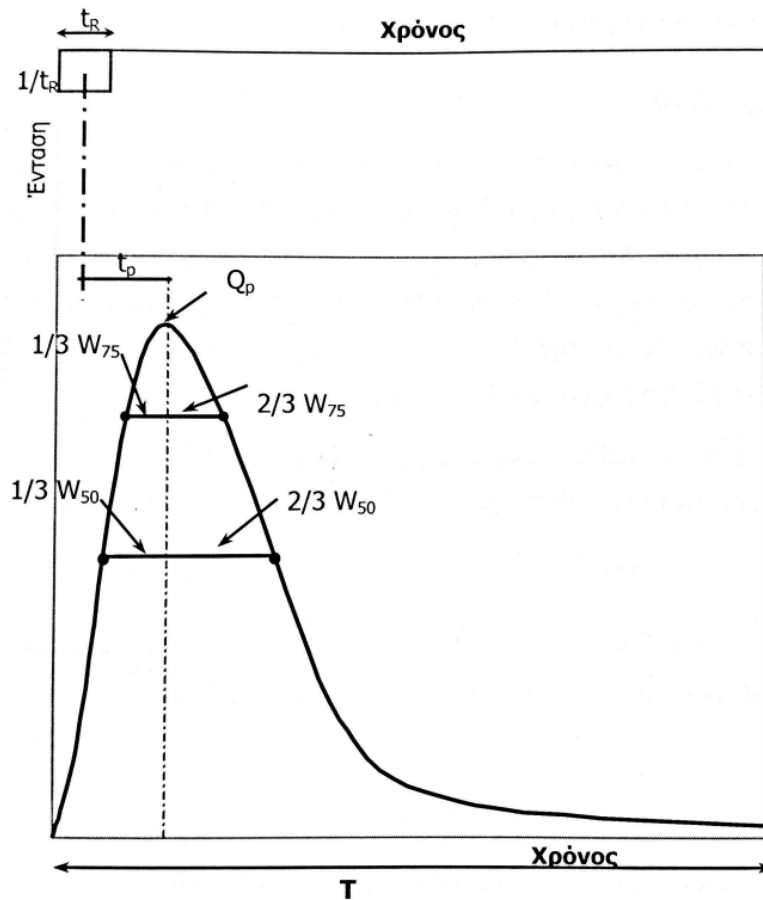
$$tp = 0.75 Ct (LCA * L)^{0.3} \quad (4.5)$$

$$Qp = Cp \frac{2.75A}{tp} \quad (4.6)$$

$$T = 3 + 3\left(\frac{tp}{24}\right) \quad (4.7)$$

Όπου,

- tp: Η χρονική επιβράδυνση ή υστέρηση (hr)
- Lca: Απόσταση του σταθμού μέτρησης της παροχής στην έξοδο της λεκάνης από το κέντρο βάρους της λεκάνης κατά μήκος της κοίτης του κύριου υδατορεύματος έως το πλησιέστερο σημείο του κέντρου βάρους (km)
- L: Απόσταση του σταθμού μέτρησης παροχής ως τον υδροκρίτη, που μετριέται κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος (km)
- Ct: Αδιάστατος συντελεστής που αντιπροσωπεύει τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης με εύρος τιμών από 1,8 έως 2,2. Μεγαλύτερες κλίσεις οδηγούν σε μικρότερες τιμές του δείκτη Cp.
- Cp: Αδιάστατος συντελεστής που εξαρτάται από τις μονάδες και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης με εύρος τιμών από 0,56 έως 0,69.
- A: Η έκταση της λεκάνης (km²)
- T: Η χρονική βάση του υδρογραφήματος. Ως ελάχιστη τιμή από την εξίσωση δίδονται οι 3 ημέρες (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012).



Σχήμα 4.11. : Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά Snyder (Πηγή: Μιμίκου, Μπαλτάς 2012)

Η διάρκεια της ενεργού βροχόπτωσης t_R (hr) συνδέεται με τη χρονική υστέρηση t_p μέσω της σχέσης:

$$t_R = \frac{t_p}{5.5} \quad (4.8)$$

Εάν το ζητούμενο ΜΥΓ έχει διάρκεια βροχόπτωσης t'_R μεγαλύτερη της t_R , ο χρόνος υστέρησης υπολογίζεται από νέα εξίσωση:

$$t'_p = t_p + \frac{(t'_R - t_R)}{4} \quad (4.9)$$

Έπειτα υπολογίζονται οι διορθωμένες τιμές Q'_p και T' χρησιμοποιώντας τις Σχέσεις (8) και (9) με τη μόνη διαφορά πως λαμβάνεται υπόψιν ο t'_p .

Τα πλάτη του ΜΥΓ στο 50% και 75% της παροχής αιχμής υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$W_{50} = \frac{830}{q_p^{1.1}} \quad (4.10)$$

$$W75 = \frac{470}{qp^{1.1}} \quad (4.11)$$

4.5.3 Εισαγωγή μεταβλητών κατά Snyder στο HEC-HMS

Σε συνέχεια της διαδικασίας σε περιβάλλον HEC-HMS, το λογισμικό απαιτεί την εισαγωγή του χρόνου υστέρησης (Standard Lag) και του συντελεστή C_p (Peaking Coefficient) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Η τιμή που δίνεται στον συντελεστή C_p , προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο ακραίων τιμών του (Πίνακας 4.5).

Σχήμα 4.12. : Παράμετροι MYG κατά Snyder (πηγή: Hec-HMS)

Πίνακας 4.5 : Υπολογισμός παραμέτρων MYG κατά Snyder (πηγή: Excel)

| Μεγέθη | Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη Νυδριού | Υπολεκάνη Καλλιγονίου-πόλης Λευκάδος |
|-----------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------------|
| L (km) | 15.499 | 10.221 | 11.822 |
| LCA (km) | 7.583 | 3.953 | 5.301 |
| Ct: Τιμές (1.8-2.2) | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Cp: Τιμές (0.56-0.69) | 0.63 | 0.63 | 0.63 |
| tp(hours) | 6.27 | 4.75 | 4.97 |

4.6 Υπολογισμός έντασης βροχόπτωσης λεκάνης απορροής

Για την εκπόνηση της εργασίας, προκειμένου να εκτιμηθεί ένα ολικό ύψος βροχής και να επιμεριστεί στον χρόνο, κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός της έντασης βροχής μετρημένος σε mm/h, για δεδομένη διάρκεια d, η οποία σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη υδατορεύματος ή αγωγού, και για δεδομένη περίοδο επαναφοράς T, που έχει σχέση με τη σημαντικότητα του έργου που μελετάται.

4.6.1 Όμβριες καμπύλες

Όμβριες καμπύλες ονομάζονται κάποιες τυποποιημένες γραφικές παραστάσεις οι οποίες έχουν προκύψει από την ανάλυση μεγίστων ετήσιων βροχοπτώσεων για 6

συγκεκριμένες διάρκειες βροχής t ($t = 1h, 2h, 6h, 12h, 24h, 48h$) και για 12 περιόδους επαναφοράς T ($T = 2 \text{ years}, 5 \text{ years}, 10 \text{ years}, 20 \text{ years}, 50 \text{ years}, 100 \text{ years}, 200 \text{ years}, 1000 \text{ years}, 2000 \text{ years}, 5000 \text{ years}, 10000 \text{ years}, 15000 \text{ years}$) με αξιοπιστία μετρήσεων χρόνου 10 ετών και άνω.

Στην απλούστερη περίπτωση, για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς T , οι όμβριες καμπύλες εκφράζονται ως υπερβολικές συναρτήσεις της διάρκειας καταιγίδας. Για τον προσδιορισμό των τελικών καμπύλων, αρχικό βήμα αποτελεί η συλλογή δεδομένων βροχής από βροχογράφους και βροχόμετρα εάν και όπου υπάρχουν (Κουτσογιάννης, 1988). Έπειτα γίνεται επιλογή, προσαρμογή και έλεγχος με βάση μεθόδους της στατιστικής, της κατάλληλης συνάρτησης μεγίστων τιμών, λόγω χάρη επιλογή της κατανομής Gumbel. Η κατανομή εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε δεδομένη διάρκεια βροχόπτωσης. Τέλος, με βάση τις Εξισώσεις 4.12 και 4.13, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων, προσδιορίζονται οι παράμετροι a, b για δεδομένη περίοδο επαναφοράς (Θεοχάρης, 2015).

$$i(d) = \frac{a}{b+d} \quad (4.12) \text{ Εξίσωση Talbot}$$

$$i(d) = \frac{a*d}{b} \quad (4.13) \text{ Εξίσωση Montana}$$

όπου,

- i (mm/h): Ένταση βροχόπτωσης
- d (h): Διάρκεια βροχής
- a, b : Παράμετροι

Σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από έλλειψη είτε απουσία δεδομένων από βροχόμετρα ή βροχογράφους, οι σχέσεις εκφυλίζονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι όμβριες καμπύλες που έχουν υπολογιστεί σε επίπεδο ελλαδικού χώρου (Εξίσωση 4.14). Η ισότητα αυτή ονομάζεται Γενική Ακραίων Τιμών 5 παραμέτρων (ΓΑΤ 5 παραμέτρων).

$$i(d, T) = \frac{\lambda(T^{\kappa}-\psi)}{(1+d/\theta)^{\eta}} \quad (4.14)$$

Η ένταση της βροχής δηλαδή αποτελεί συνάρτηση:

- Της διάρκειας βροχής d ,
- των 5 παραμέτρων της ΓΑΤ: $\lambda, \kappa, \psi, \theta, \eta$
- και της περιόδου επαναφοράς T .

4.6.2 Χρόνος συρροής κατά Giandotti- Υπολογισμός διάρκειας βροχής

Ο χρόνος συρροής είτε χρόνος συγκέντρωσης (t_c) μιας λεκάνης απορροής, εκφράζει τη χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της απορροής σε σχέση με τον χρόνο που άρχισε η βροχή εντός λεκάνης.

Στην υφιστάμενη εργασία για τον υπολογισμό του χρόνου συρροής γίνεται χρήση της εμπειρικής σχέσης κατά Giandotti (Εξίσωση 4.15):

$$tc = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{H_{mean}-H_{min}}} \quad (4.15)$$

όπου,

- A : επιφάνεια σε km²
- L : μήκος κύριου υδατορεύματος σε km
- H_{mean} : μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής
- H_{min} : ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (σημείο εξόδου)
- tc : Χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες (Βαφειάδης, 2021).

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον Πίνακα 4.6. Παρατηρείται πως ο χρόνος συρροής είναι περίπου 3 ώρες για κάθε υπολεκάνη οπότε και θεωρείται ίσος με 3 ώρες ώστε να έχει ακέραια τιμή για διευκόλυνση του καταμερισμού χρονικών βημάτων στη συνέχεια της μελέτης.

Πίνακας 4.6: Χρόνος συρροής κατά Giandotti (πηγή: Excel)

| Χρόνος συγκέντρωσης κατά Giandotti(tc): | | |
|---|-------------------|--------------------------------------|
| Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη Νυδριού | Υπολεκάνη Καλλιγονίου-πόλης Λευκάδος |
| 2.985 | 2.437 | 2.300 |

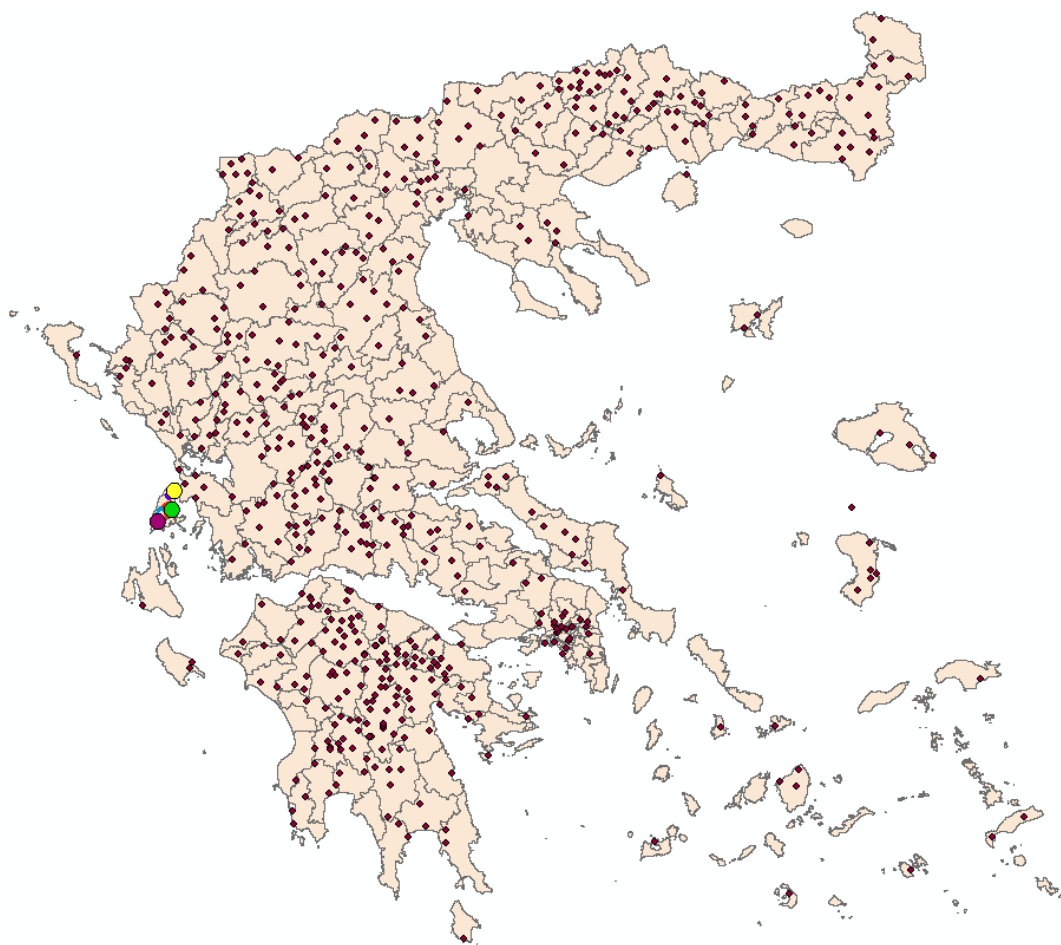
Για την εκτίμηση της διάρκειας βροχόπτωσης, ο χρόνος συγκέντρωσης πολλαπλασιάζεται από 3 έως 4 φορές και εν τέλει στρογγυλοποιείται σε διάρκεια 12 ωρών (μισής ημέρας), ώστε να υπάρχει μία ικανοποιητική διάρκεια επεισοδίων προς μελέτη (Πίνακας 4.7). Η διάρκεια αυτή χρησιμοποιείται και στο σενάριο βάσης.

Πίνακας 4.7: Διάρκεια βροχόπτωσης (πηγή: Excel)

| Διάρκεια βροχής d (hr) | | |
|------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη Νυδριού | Υπολεκάνη Καλλιγονίου-πόλης Λευκάδος |
| 12 | 12 | 12 |

4.6.3 Υπολογισμός των συντελεστών της όμβριας καμπύλης: Γενική Ακραίων Τιμών 5 παραμέτρων

Η ανάλυση για το βήμα αυτό, πραγματοποιείται σε περιβάλλον GIS. Γίνεται εισαγωγή του shapefile Καλλικρατικών δήμων από τον ιστότοπο *Geodata.gov.gr*, το οποίο απεικονίζει όλους τους σταθμούς του ελλαδικού χώρου με τις παραμέτρους των όμβριων καμπυλών τους (Σχήμα 4.13). Παρατηρείται πως κανένας σταθμός δεν εντοπίζεται εντός ορίων της λεκάνης Λευκάδος.



Σχήμα 4.13. : Σταθμοί όμβριων καμπύλων στην Ελλάδα (πηγή: floods.ypeka.gr)

Παρ'όλα αυτά υπάρχουν 2 κοντινοί σταθμοί, στην Πάλαιρο και στον Άγιο Νικόλαο (Σχήμα 4.14). Κριτήριο επιλογής του καταλληλότερου σταθμού είναι το απόλυτο υψόμετρο. Ο μεγαλύτερος υψομετρικά σταθμός δίνει και μεγαλύτερα υψόμετρα βροχής. Και οι δύο σταθμοί όμως εντοπίζονται παραθαλάσσια οπότε επιλέγεται αυτός της Παλαίρου ως ο απέχων τη μικρότερη απόσταση από τις δύο εκ των τριών υπολεκανών. Έτσι αντλούνται οι τιμές των 5 παραμέτρων όμβριας καμπύλης από τον σταθμό της Παλαίρου (Πίνακας 4.8).



Σχήμα 4.14. : Σταθμοί όμβριων καμπύλων κοντά στη Λευκάδα (πηγή: floods.ypeka.gr)

Πίνακας 4.8: Παράμετροι σταθμού Παλαίρου (πηγή: GIS)

| Σταθμός | x | y | z | λ | ψ | θ | η | κ |
|----------|--------|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Πάλαιρος | 229062 | 4296945 | 10 | 130.1 | 0.695 | 0.334 | 0.627 | 0.108 |

4.6.4 Επιλογή περιόδου επαναφοράς T

Ως περίοδος επαναφοράς ορίζεται το μέσο χρονικό διάστημα T σε έτη, μέσα στο οποίο το θεωρούμενο υδρολογικό φαινόμενο θα εμφανισθεί μια μόνο φορά με τιμή ίση ή μεγαλύτερη της δοθείσας.

Η περίοδος επαναφοράς διαφέρει ανάλογα με τη μελέτη έργου και τη σημαντικότητα του. Κάποιες τυπικές τιμές περιόδων επαναφοράς είναι οι ακόλουθες:

- T=50 χρόνια όταν πρόκειται για κατασκευή έργου οδοποιΐας
- T=200 χρόνια για κατασκευή φράγματος

- T=10000 χρόνια για μελέτη κατασκευής υπερχειλιστή φράγματος

Στα πλαίσια της εργασίας, καθώς αντικείμενο αποτελεί ο πλημμυρικός κίνδυνος, επιλέγεται ως βασική περίοδος επαναφοράς T=100 χρόνια.

4.7 Χρονική κατανομή βροχόπτωσης

Η ένταση οποιασδήποτε βροχόπτωσης αποτελεί δυναμικό φαινόμενο δηλαδή μεταβάλλεται στον χρόνο. Επομένως η εκτίμηση πλημμυρογραφήματων με την παραδοχή ότι η ένταση της βροχής παραμένει σταθερή σε διάρκεια μερικών ωρών είναι λανθασμένη. Διατίθενται διάφοροι εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού του σχήματος του βροχογραφήματος έχοντας ως δεδομένα το ύψος βροχής και τη διάρκειά της. Μία τέτοια μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη εργασία είναι η μέθοδος των Εναλλασσόμενων Ύψων βροχής είτε Εναλλασσόμενων Blocks.

4.7.1 Μέθοδος εναλλασσόμενων υψών βροχόπτωσης

Πρόκειται για μέθοδο επιμερισμού του συνολικού ύψους βροχόπτωσης σε χρονικά βήματα, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται σε Υετόγραμμα. Όσον αφορά την πορεία της διαδικασίας, σε πρώτη φάση υπολογίζεται το ολικό ύψος βροχής από την ένταση βροχής μέσω της όμβριας καμπύλης, πολλαπλασιασμένη με τη διάρκεια του επεισοδίου βροχής (Εξίσωση 4.16):

$$H_{ολικό} (mm) = i * d \quad (4.16)$$

Σημαντικό σημείο αποτελεί ο ορισμός χρονικού βήματος. Για καταιγίδες με διάρκεια 12 ωρών λαμβάνεται χρονικό βήμα ίσο με μισή ώρα- 30 λεπτά, ενώ για διάρκεια βροχής ίση με τους χρόνους συρροής των υπολεκανών (Κεφάλαιο 4.6.2) επιλέγεται χρονικό βήμα ίσο με 1/10 της ώρας- 6 λεπτά διότι με μικρή χρονική διάρκεια βροχής και μεγάλο χρονικό βήμα η μελέτη του επεισοδίου δεν θα είναι αντιπροσωπευτική. Η πλημμύρα θα έχει διασχίσει την υπολεκάνη προτού προλάβει να απεικονιστεί στο πλημμυρογράφημα. Τα ύψη βροχής υπολογίζονται μέσω της Εξίσωσης 4.17:

$$h(1, t) = h_2 * \left(\frac{t_i}{t_2}\right)^{(1-\eta)} \quad (4.17)$$

όπου,

- t_i : το χρονικό βήμα σε h,
- t_2 : η διάρκεια βροχής σε h,
- h_2 : είναι το ύψος βροχής ίσο με 1mm
- η : είναι μία εκ των παραμέτρων της ΓΑΤ.

Έπειτα υπολογίζονται οι διαφορές των υψών βροχής χρόνου t και t-1, δηλαδή τα ύψη βροχής κάθε χρονικού βήματος, ενώ τέλος από τα κατανεμημένα ύψη βροχής, το μέγιστο τοποθετείται στο κέντρο του βροχογραφήματος, το αμέσως μικρότερο ύψος στο επόμενο χρονικό διάστημα από δεξιά, το αμέσως μικρότερο στο επόμενο χρονικό διάστημα από αριστερά και η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου κατανεμηθούν όλα τα ύψη βροχής.

4.7.2 Δημιουργία υετογραφημάτων σχεδιασμού βροχόπτωσης υπολεκανών

Με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων blocks, προκύπτουν αρχικά 3 καταιγίδες σχεδιασμού για κάθε υπολεκάνη αλλάζοντας την περίοδο επαναφοράς και τη διάρκεια βροχόπτωσης:

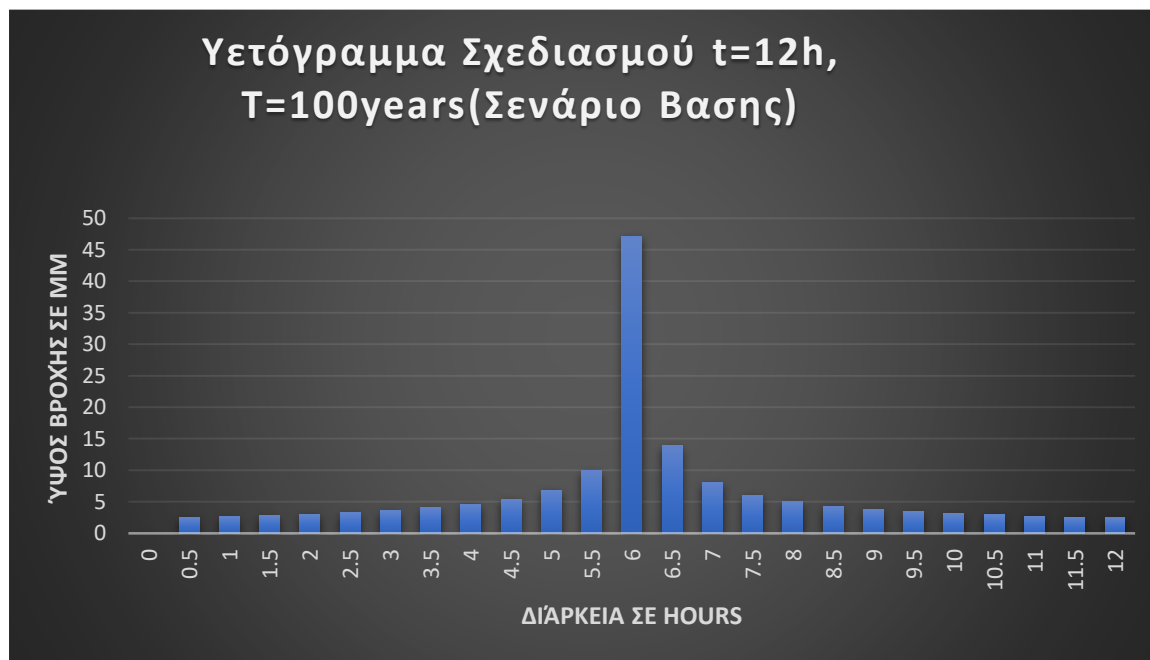
- **1^ο σενάριο** d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II. Το σενάριο ορίζεται ως σενάριο βάσης (Πίνακας 4.9 και Σχήμα 4.15),
- **2^ο σενάριο** d= 12 ώρες, T=200 χρόνια, CN II (Πίνακας 4.10 και Σχήμα 4.16),
- **3^ο σενάριο** d= $t_{\text{συρροής}}=3$ ώρες, T=100 χρόνια, CN II (Πίνακας 4.11 και Σχήμα 4.17).

Εφόσον έχει γίνει χρήση της ίδιας όμβριας καμπύλης, ίδιας διάρκειας βροχής και ίδιων περιόδων επαναφοράς, τα επεισόδια δίνουν ίδια αποτελέσματα και για τις 3 υπολεκάνες όπως ίδια είναι και τα υετογράμματα.

Πίνακας 4.9. : Σενάριο βάσης υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

| ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------------|----------|------------------------------------|-----------------|------------|--------------------------|
| t | $hi=t(i)*i(t_{(i)})$ | $pi=hi/\text{ολοκικο}$ | $h(1,t)$ | Διαφορά $h_{(1,t)}-h_{(1,t-1)}$ | α/α | Αναδιάταξη | Συνολικό Ύψος (mm) |
| 0 | | | 0 | 0 | | | 0 |
| 0.5 | 34.794 | 0.226 | 0.306 | 0.306 | 23 | 0.016 | 2.50 |
| 1 | 51.836 | 0.336 | 0.396 | 0.090 | 21 | 0.017 | 2.65 |
| 1.5 | 63.686 | 0.413 | 0.460 | 0.065 | 19 | 0.018 | 2.82 |
| 2 | 73.002 | 0.473 | 0.513 | 0.052 | 17 | 0.020 | 3.03 |
| 2.5 | 80.796 | 0.524 | 0.557 | 0.044 | 15 | 0.021 | 3.29 |
| 3 | 87.564 | 0.568 | 0.596 | 0.039 | 13 | 0.023 | 3.61 |
| 3.5 | 93.588 | 0.607 | 0.632 | 0.035 | 11 | 0.026 | 4.03 |
| 4 | 99.045 | 0.642 | 0.664 | 0.032 | 9 | 0.030 | 4.60 |
| 4.5 | 104.053 | 0.675 | 0.694 | 0.030 | 7 | 0.035 | 5.44 |
| 5 | 108.695 | 0.705 | 0.721 | 0.028 | 5 | 0.044 | 6.86 |
| 5.5 | 113.033 | 0.733 | 0.748 | 0.026 | 3 | 0.065 | 9.97 |
| 6 | 117.112 | 0.759 | 0.772 | 0.025 | 1 | 0.306 | 47.13 |
| 6.5 | 120.969 | 0.784 | 0.796 | 0.023 | 2 | 0.090 | 13.91 |
| 7 | 124.633 | 0.808 | 0.818 | 0.022 | 4 | 0.052 | 8.04 |
| 7.5 | 128.126 | 0.831 | 0.839 | 0.021 | 6 | 0.039 | 6.05 |
| 8 | 131.467 | 0.852 | 0.860 | 0.020 | 8 | 0.032 | 4.97 |
| 8.5 | 134.673 | 0.873 | 0.879 | 0.020 | 10 | 0.028 | 4.29 |
| 9 | 137.757 | 0.893 | 0.898 | 0.019 | 12 | 0.025 | 3.80 |
| 9.5 | 140.729 | 0.912 | 0.917 | 0.018 | 14 | 0.022 | 3.44 |
| 10 | 143.601 | 0.931 | 0.934 | 0.018 | 16 | 0.020 | 3.15 |
| 10.5 | 146.379 | 0.949 | 0.951 | 0.017 | 18 | 0.019 | 2.92 |
| 11 | 149.072 | 0.967 | 0.968 | 0.017 | 20 | 0.018 | 2.73 |

| | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|----|-------|--------|
| 11.5 | 151.687 | 0.984 | 0.984 | 0.016 | 22 | 0.017 | 2.57 |
| 12 | 154.227 | 1.000 | 1 | 0.016 | 24 | 0.016 | 2.43 |
| ΣΥΝΟΛΟ Ολικό | | | | | | | 154.23 |



Σχήμα 4.15. : Υετόγραμμα σεναρίου βάσης υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

Πίνακας 4.10. : 2^ο επεισόδιο υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

| ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------------|--------|----------------------------------|-----|------------|--------------------------|
| t | hi=t(i)*i(t _i) | pi=hi/ολικο | h(1,t) | Διαφορά h_(1,t)- h_(1,t-1) | α/α | Αναδιάταξη | Συνολικό Υψος (mm) |
| 0 | | | 0.000 | 0.000 | | | 0 |
| 0.5 | 39.478 | 0.226 | 0.306 | 0.306 | 23 | 0.016 | 2.83 |
| 1 | 58.815 | 0.336 | 0.396 | 0.090 | 21 | 0.017 | 3.00 |
| 1.5 | 72.260 | 0.413 | 0.460 | 0.065 | 19 | 0.018 | 3.20 |
| 2 | 82.831 | 0.473 | 0.513 | 0.052 | 17 | 0.020 | 3.44 |
| 2.5 | 91.674 | 0.524 | 0.557 | 0.044 | 15 | 0.021 | 3.73 |
| 3 | 99.353 | 0.568 | 0.596 | 0.039 | 13 | 0.023 | 4.10 |
| 3.5 | 106.189 | 0.607 | 0.632 | 0.035 | 11 | 0.026 | 4.57 |
| 4 | 112.380 | 0.642 | 0.664 | 0.032 | 9 | 0.030 | 5.22 |

| | | | | | | | |
|------------------|---------|-------|-------|-------|----|-------|--------|
| 4.5 | 118.063 | 0.675 | 0.694 | 0.030 | 7 | 0.035 | 6.18 |
| 5 | 123.330 | 0.705 | 0.721 | 0.028 | 5 | 0.044 | 7.79 |
| 5.5 | 128.251 | 0.733 | 0.748 | 0.026 | 3 | 0.065 | 11.31 |
| 6 | 132.880 | 0.759 | 0.772 | 0.025 | 1 | 0.306 | 53.48 |
| 6.5 | 137.256 | 0.784 | 0.796 | 0.023 | 2 | 0.090 | 15.78 |
| 7 | 141.413 | 0.808 | 0.818 | 0.022 | 4 | 0.052 | 9.13 |
| 7.5 | 145.376 | 0.831 | 0.839 | 0.021 | 6 | 0.039 | 6.86 |
| 8 | 149.168 | 0.852 | 0.860 | 0.020 | 8 | 0.032 | 5.64 |
| 8.5 | 152.805 | 0.873 | 0.879 | 0.020 | 10 | 0.028 | 4.86 |
| 9 | 156.304 | 0.893 | 0.898 | 0.019 | 12 | 0.025 | 4.32 |
| 9.5 | 159.677 | 0.912 | 0.917 | 0.018 | 14 | 0.022 | 3.90 |
| 10 | 162.935 | 0.931 | 0.934 | 0.018 | 16 | 0.020 | 3.58 |
| 10.5 | 166.087 | 0.949 | 0.951 | 0.017 | 18 | 0.019 | 3.32 |
| 11 | 169.143 | 0.967 | 0.968 | 0.017 | 20 | 0.018 | 3.10 |
| 11.5 | 172.109 | 0.984 | 0.984 | 0.016 | 22 | 0.017 | 2.91 |
| 12 | 174.992 | 1.000 | 1 | 0.016 | 24 | 0.016 | 2.76 |
| ΣΥΝΟΛΟ Ηολικό | | | | | | | 174.99 |



Σχήμα 4.16. : Υετόγραμμα 2^ο επεισοδίου υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγρονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

Πίνακας 4.11. : 3^ο επεισόδιο υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδρίου
(πηγή: Excel)

| ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------------|--------|------------------------------|-----|------------|--------------------------|
| t | hi=t(i)*i(t _i) | pi=hi/ολικό | h(1,t) | Διαφορά h_(1,t)-h_(1,t-1) | α/α | Αναδιάταξη | Συνολικό Ύψος (mm) |
| 0 | | | 0 | 0 | | | 0 |
| 0.1 | 10.481 | 0.120 | 0.281 | 0.281 | 29 | 0.013 | 1.12 |
| 0.2 | 18.406 | 0.210 | 0.364 | 0.083 | 27 | 0.013 | 1.18 |
| 0.3 | 24.792 | 0.283 | 0.424 | 0.059 | 25 | 0.014 | 1.24 |
| 0.4 | 30.156 | 0.344 | 0.472 | 0.048 | 23 | 0.015 | 1.30 |
| 0.5 | 34.794 | 0.397 | 0.513 | 0.041 | 21 | 0.016 | 1.38 |
| 0.6 | 38.891 | 0.444 | 0.549 | 0.036 | 19 | 0.017 | 1.47 |
| 0.7 | 42.569 | 0.486 | 0.581 | 0.032 | 17 | 0.018 | 1.58 |
| 0.8 | 45.915 | 0.524 | 0.611 | 0.030 | 15 | 0.020 | 1.72 |
| 0.9 | 48.988 | 0.559 | 0.638 | 0.027 | 13 | 0.022 | 1.89 |
| 1 | 51.836 | 0.592 | 0.664 | 0.026 | 11 | 0.024 | 2.10 |
| 1.1 | 54.493 | 0.622 | 0.688 | 0.024 | 9 | 0.027 | 2.40 |
| 1.2 | 56.986 | 0.651 | 0.711 | 0.023 | 7 | 0.032 | 2.84 |
| 1.3 | 59.339 | 0.678 | 0.732 | 0.022 | 5 | 0.041 | 3.58 |
| 1.4 | 61.567 | 0.703 | 0.753 | 0.021 | 3 | 0.059 | 5.21 |
| 1.5 | 63.686 | 0.727 | 0.772 | 0.020 | 1 | 0.281 | 24.62 |
| 1.6 | 65.707 | 0.750 | 0.791 | 0.019 | 2 | 0.083 | 7.27 |
| 1.7 | 67.642 | 0.772 | 0.809 | 0.018 | 4 | 0.048 | 4.20 |
| 1.8 | 69.498 | 0.794 | 0.827 | 0.017 | 6 | 0.036 | 3.16 |
| 1.9 | 71.282 | 0.814 | 0.843 | 0.017 | 8 | 0.030 | 2.60 |
| 2 | 73.002 | 0.834 | 0.860 | 0.016 | 10 | 0.026 | 2.24 |
| 2.1 | 74.662 | 0.853 | 0.875 | 0.016 | 12 | 0.023 | 1.99 |
| 2.2 | 76.267 | 0.871 | 0.891 | 0.015 | 14 | 0.021 | 1.80 |
| 2.3 | 77.822 | 0.889 | 0.906 | 0.015 | 16 | 0.019 | 1.65 |
| 2.4 | 79.331 | 0.906 | 0.920 | 0.014 | 18 | 0.017 | 1.53 |
| 2.5 | 80.796 | 0.923 | 0.934 | 0.014 | 20 | 0.016 | 1.43 |
| 2.6 | 82.220 | 0.939 | 0.948 | 0.014 | 22 | 0.015 | 1.34 |
| 2.7 | 83.607 | 0.955 | 0.961 | 0.013 | 24 | 0.014 | 1.27 |
| 2.8 | 84.958 | 0.970 | 0.975 | 0.013 | 26 | 0.014 | 1.21 |
| 2.9 | 86.277 | 0.985 | 0.987 | 0.013 | 28 | 0.013 | 1.15 |
| 3 | 87.564 | 1.000 | 1 | 0.013 | 30 | 0.013 | 1.10 |
| ΣΥΝΟΛΟ Ολικό | | | | | | | 87.56 |



Σχήμα 4.17. : Υετόγραμμα 3^{ου} επεισοδίου υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

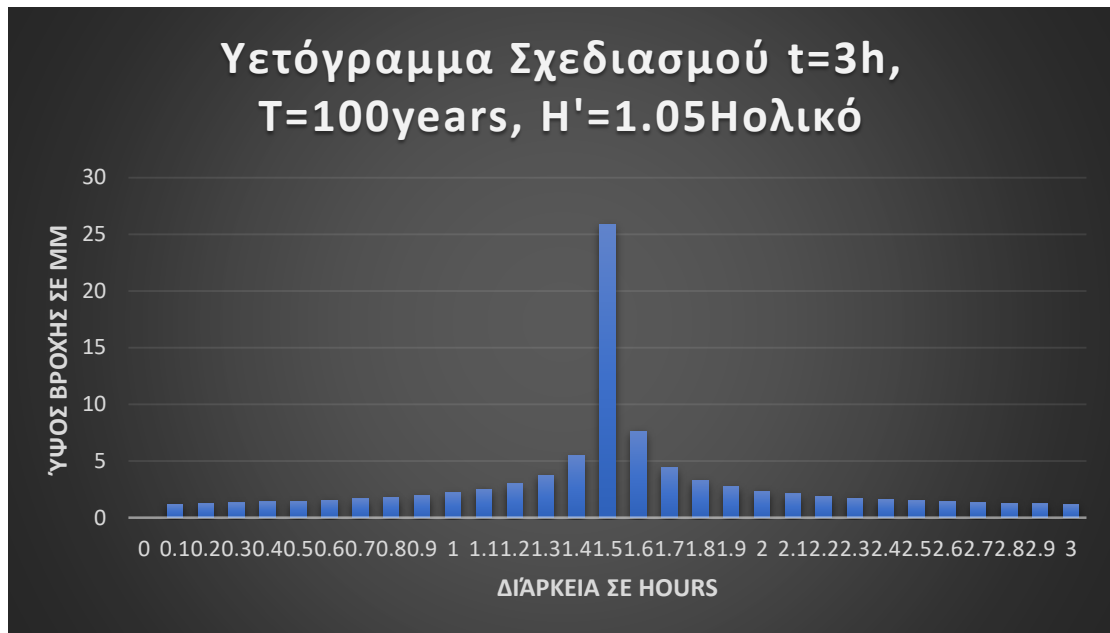
4.7.3 Επιρροή κλιματικής αλλαγής – Δημιουργία καταιγίδων σχεδιασμού

Όπως ήδη έχει γίνει λόγος στο Κεφάλαιο 1.3.2, η κλιματική αλλαγή ολοένα και οξύνεται κυρίως εξαιτίας της ανεξέλεγκτης ανθρώπινης δραστηριότητας. Μάλιστα σύμφωνα με το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) εκτιμάται ότι μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα οι μεσογειακές χώρες θα αντιμετωπίσουν αύξηση στις ελάχιστες, στις μέγιστες και στις μέσες θερμοκρασίες ειδικά τους θερινούς μήνες. Για τους χειμερινούς μήνες προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης των 2.5 έως 3.6 βαθμούς Κελσίου, ενώ όσον αφορά τα επίπεδα βροχόπτωσης αναμένεται μείωση από -27.9% έως -53%. Μειώνεται πολύ η πιθανότητα εμφάνισης βροχοπτώσεων αλλά συγχρόνως αυξάνεται η πιθανότητα εκδήλωσης ακραίας έντασης και διάρκειας βροχόπτωσης.

Στα πλαίσια αυτά, δημιουργούνται άλλες δύο καταιγίδες σχεδιασμού μέσω της μεθόδου εναλλασσόμενων υψών βροχής, οι οποίες προκύπτουν όμοιες και για τις 3 υπολεκανές. Κεντρικός άξονας αποτελεί η αύξηση του συνολικού ύψους βροχόπτωσης εξαιτίας εκδήλωσης ακραίας βροχής. Στο 1ο σενάριο γίνεται θεώρηση αύξησης 5% του ολικού ύψους βροχής (Πίνακας 4.12, Σχήμα 4.18), ενώ στο 2ο σενάριο εφαρμόζεται αύξηση 10% (Πίνακας 4.13, Σχήμα 4.19). Ως διάρκεια βροχής ορίζεται ο χρόνος συρροής των λεκανών δηλαδή οι 3 ώρες, ενώ η περίοδος επαναφοράς αντιστοιχεί σε T=100 χρόνια για πλημμύρα.

Πίνακας 4.12. : Σενάριο αύξησης 5% ύψους βροχής υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδρίου (πηγή: Excel)

| ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------|------------------------------------|-----|------------|-------------------|
| t | $h_i=t(i)*i(t_{(i)})$ | $\rho_i=h_i/h_{ολικο}$ | $h(1,t)$ | Διαφορά $h_{(1,t)}-h_{(1,t-1)}$ | α/α | Αναδιάταξη | Συνολικό Ύψος(mm) |
| 0 | | | 0 | 0 | | | 0 |
| 0.1 | 11.005 | 0.120 | 0.281 | 0.281 | 29 | 0.013 | 1.18 |
| 0.2 | 19.327 | 0.210 | 0.364 | 0.083 | 27 | 0.013 | 1.24 |
| 0.3 | 26.032 | 0.283 | 0.424 | 0.059 | 25 | 0.014 | 1.30 |
| 0.4 | 31.664 | 0.344 | 0.472 | 0.048 | 23 | 0.015 | 1.37 |
| 0.5 | 36.533 | 0.397 | 0.513 | 0.041 | 21 | 0.016 | 1.45 |
| 0.6 | 40.835 | 0.444 | 0.549 | 0.036 | 19 | 0.017 | 1.55 |
| 0.7 | 44.698 | 0.486 | 0.581 | 0.032 | 17 | 0.018 | 1.66 |
| 0.8 | 48.210 | 0.524 | 0.611 | 0.030 | 15 | 0.020 | 1.80 |
| 0.9 | 51.437 | 0.559 | 0.638 | 0.027 | 13 | 0.022 | 1.98 |
| 1 | 54.428 | 0.592 | 0.664 | 0.026 | 11 | 0.024 | 2.21 |
| 1.1 | 57.217 | 0.622 | 0.688 | 0.024 | 9 | 0.027 | 2.52 |
| 1.2 | 59.836 | 0.651 | 0.711 | 0.023 | 7 | 0.032 | 2.99 |
| 1.3 | 62.305 | 0.678 | 0.732 | 0.022 | 5 | 0.041 | 3.76 |
| 1.4 | 64.645 | 0.703 | 0.753 | 0.021 | 3 | 0.059 | 5.47 |
| 1.5 | 66.870 | 0.727 | 0.772 | 0.020 | 1 | 0.281 | 25.86 |
| 1.6 | 68.993 | 0.750 | 0.791 | 0.019 | 2 | 0.083 | 7.63 |
| 1.7 | 71.024 | 0.772 | 0.809 | 0.018 | 4 | 0.048 | 4.41 |
| 1.8 | 72.973 | 0.794 | 0.827 | 0.017 | 6 | 0.036 | 3.32 |
| 1.9 | 74.846 | 0.814 | 0.843 | 0.017 | 8 | 0.030 | 2.73 |
| 2 | 76.652 | 0.834 | 0.860 | 0.016 | 10 | 0.026 | 2.35 |
| 2.1 | 78.395 | 0.853 | 0.875 | 0.016 | 12 | 0.023 | 2.09 |
| 2.2 | 80.081 | 0.871 | 0.891 | 0.015 | 14 | 0.021 | 1.89 |
| 2.3 | 81.713 | 0.889 | 0.906 | 0.015 | 16 | 0.019 | 1.73 |
| 2.4 | 83.297 | 0.906 | 0.920 | 0.014 | 18 | 0.017 | 1.60 |
| 2.5 | 84.835 | 0.923 | 0.934 | 0.014 | 20 | 0.016 | 1.50 |
| 2.6 | 86.331 | 0.939 | 0.948 | 0.014 | 22 | 0.015 | 1.41 |
| 2.7 | 87.787 | 0.955 | 0.961 | 0.013 | 24 | 0.014 | 1.33 |
| 2.8 | 89.206 | 0.970 | 0.975 | 0.013 | 26 | 0.014 | 1.27 |
| 2.9 | 90.591 | 0.985 | 0.987 | 0.013 | 28 | 0.013 | 1.21 |
| 3 | 91.942 | 1.000 | 1 | 0.013 | 30 | 0.013 | 1.16 |
| ΣΥΝΟΛΟ Ολικό | | | | | | | 91.94 |

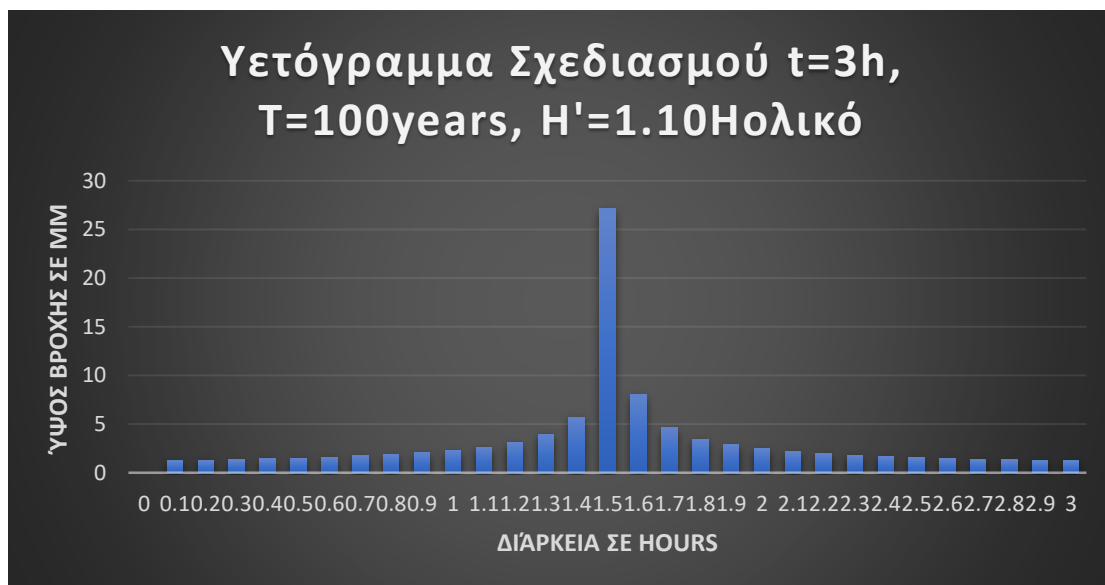


Σχήμα 4.18. : Υετόγραμμα σεναρίου αύξησης 5% ύψους βροχής υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

Πίνακας 4.13. : Σενάριο αύξησης 10% ύψους βροχής υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

| ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------------|--------|----------------------------------|-----|------------|--------------------------|
| t | hi=t(i)*i(t ₀) | pi=hi/hολικο | h(1,t) | Διαφορά h_(1,t)- h_(1,t-1) | α/α | Αναδιάταξη | Συνολικό Υψος (mm) |
| 0 | | | 0 | 0 | | | 0 |
| 0.1 | 11.529 | 0.120 | 0.281 | 0.281 | 29 | 0.013 | 1.24 |
| 0.2 | 20.247 | 0.210 | 0.364 | 0.083 | 27 | 0.013 | 1.29 |
| 0.3 | 27.271 | 0.283 | 0.424 | 0.059 | 25 | 0.014 | 1.36 |
| 0.4 | 33.171 | 0.344 | 0.472 | 0.048 | 23 | 0.015 | 1.43 |
| 0.5 | 38.273 | 0.397 | 0.513 | 0.041 | 21 | 0.016 | 1.52 |
| 0.6 | 42.780 | 0.444 | 0.549 | 0.036 | 19 | 0.017 | 1.62 |
| 0.7 | 46.826 | 0.486 | 0.581 | 0.032 | 17 | 0.018 | 1.74 |
| 0.8 | 50.506 | 0.524 | 0.611 | 0.030 | 15 | 0.020 | 1.89 |
| 0.9 | 53.887 | 0.559 | 0.638 | 0.027 | 13 | 0.022 | 2.07 |
| 1 | 57.019 | 0.592 | 0.664 | 0.026 | 11 | 0.024 | 2.31 |
| 1.1 | 59.942 | 0.622 | 0.688 | 0.024 | 9 | 0.027 | 2.64 |
| 1.2 | 62.685 | 0.651 | 0.711 | 0.023 | 7 | 0.032 | 3.13 |
| 1.3 | 65.272 | 0.678 | 0.732 | 0.022 | 5 | 0.041 | 3.94 |
| 1.4 | 67.724 | 0.703 | 0.753 | 0.021 | 3 | 0.059 | 5.73 |
| 1.5 | 70.054 | 0.727 | 0.772 | 0.020 | 1 | 0.281 | 27.09 |

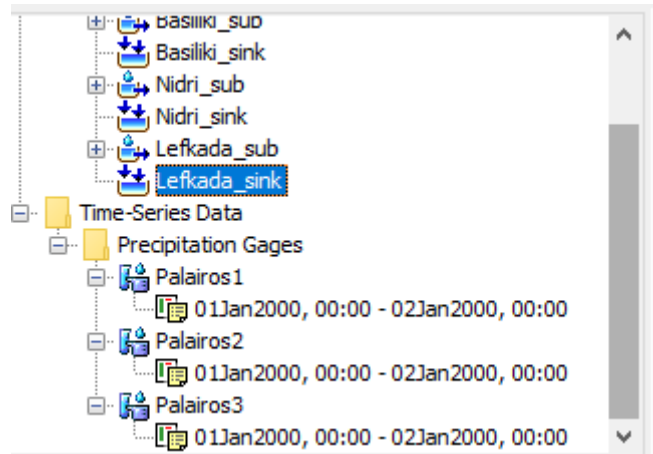
| | | | | | | | |
|------------------|--------|-------|-------|-------|----|-------|-------|
| 1.6 | 72.278 | 0.750 | 0.791 | 0.019 | 2 | 0.083 | 7.99 |
| 1.7 | 74.406 | 0.772 | 0.809 | 0.018 | 4 | 0.048 | 4.62 |
| 1.8 | 76.447 | 0.794 | 0.827 | 0.017 | 6 | 0.036 | 3.47 |
| 1.9 | 78.410 | 0.814 | 0.843 | 0.017 | 8 | 0.030 | 2.86 |
| 2 | 80.302 | 0.834 | 0.860 | 0.016 | 10 | 0.026 | 2.46 |
| 2.1 | 82.128 | 0.853 | 0.875 | 0.016 | 12 | 0.023 | 2.19 |
| 2.2 | 83.894 | 0.871 | 0.891 | 0.015 | 14 | 0.021 | 1.98 |
| 2.3 | 85.605 | 0.889 | 0.906 | 0.015 | 16 | 0.019 | 1.81 |
| 2.4 | 87.264 | 0.906 | 0.920 | 0.014 | 18 | 0.017 | 1.68 |
| 2.5 | 88.875 | 0.923 | 0.934 | 0.014 | 20 | 0.016 | 1.57 |
| 2.6 | 90.442 | 0.939 | 0.948 | 0.014 | 22 | 0.015 | 1.48 |
| 2.7 | 91.968 | 0.955 | 0.961 | 0.013 | 24 | 0.014 | 1.40 |
| 2.8 | 93.454 | 0.970 | 0.975 | 0.013 | 26 | 0.014 | 1.33 |
| 2.9 | 94.904 | 0.985 | 0.987 | 0.013 | 28 | 0.013 | 1.26 |
| 3 | 96.320 | 1.000 | 1 | 0.013 | 30 | 0.013 | 1.21 |
| ΣΥΝΟΛΟ Ηολικό | | | | | | | 96.32 |



Σχήμα 4.19. : Υετόγραμμα σεναρίου αύξησης 10% ύψους βροχής υπολεκανών Βασιλικής, Λευκάδας-Καλλιγονίου, Νυδριού (πηγή: Excel)

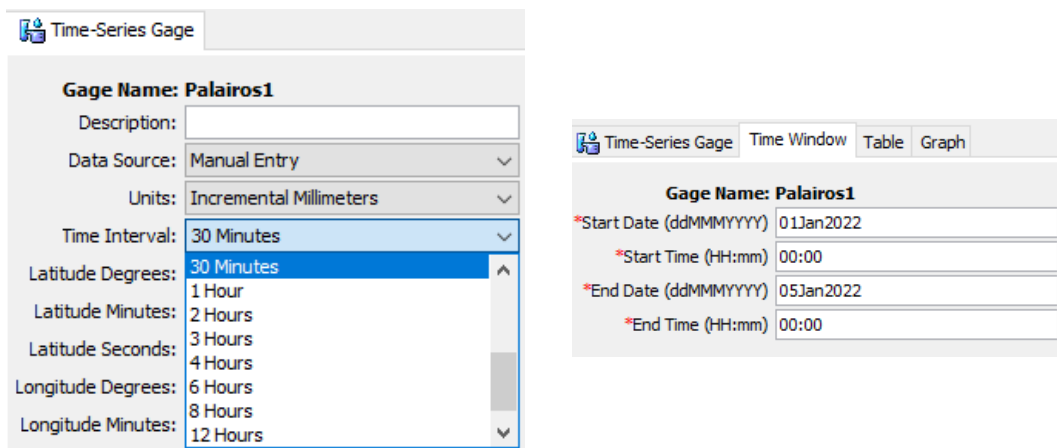
4.8 Διαδικασία περάτωσης προσομοιώσεων σε περιβάλλον HEC - HMS

Επόμενο βήμα στην εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό HEC-HMS, αποτελεί η δημιουργία μετεωρολογικών σταθμών για τις υπολεκάνες. Ακολουθώντας τις εντολές Components -> Time Series Data Manager ->New Precipitation Gage προκύπτουν 3 νέοι σταθμοί στους οποίους θα εισαχθούν τα επεισόδια βροχόπτωσης (Σχήμα 4.20).



Σχήμα 4.20.: Μετεωρολογικοί σταθμοί (πηγή: HMS)

Κάθε σταθμός αρχικά έχει ως απαίτηση να ορισθεί το χρονικό βήμα (Time Interval) με το οποίο υπολογίστηκαν τα ύψη βροχής στη μέθοδο των εναλλασσόμενων blocks, το χρονικό διάστημα του επεισοδίου με πραγματικές ημερομηνίες (Time Window) και έπειτα να εισαχθούν οι χρονοσειρές (Time Table) στα κελιά που φαίνονται στο Σχήμα 4.21. Ημερομηνίες πραγματικών βροχοπτώσεων όπως έχει αναφερθεί δεν υπάρχουν, οπότε επιλέγεται η ημερομηνία 1^{ης} Ιανουαρίου 2020. Η επιλογή του μήνα Ιανουαρίου βέβαια δεν είναι τυχαία διότι σύμφωνα με τα δεδομένα μέσω μηνιαίων υψών βροχόπτωσης του έτους 2022, είναι ο δεύτερος μήνας με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής.



| Time (ddMMYYYY, HH:mm) | Precipitation (MM) |
|------------------------|--------------------|
| 01Jan2022, 00:00 | |
| 01Jan2022, 00:30 | |
| 01Jan2022, 01:00 | |
| 01Jan2022, 01:30 | |
| 01Jan2022, 02:00 | |
| 01Jan2022, 02:30 | |
| 01Jan2022, 03:00 | |
| 01Jan2022, 03:30 | |
| 01Jan2022, 04:00 | |

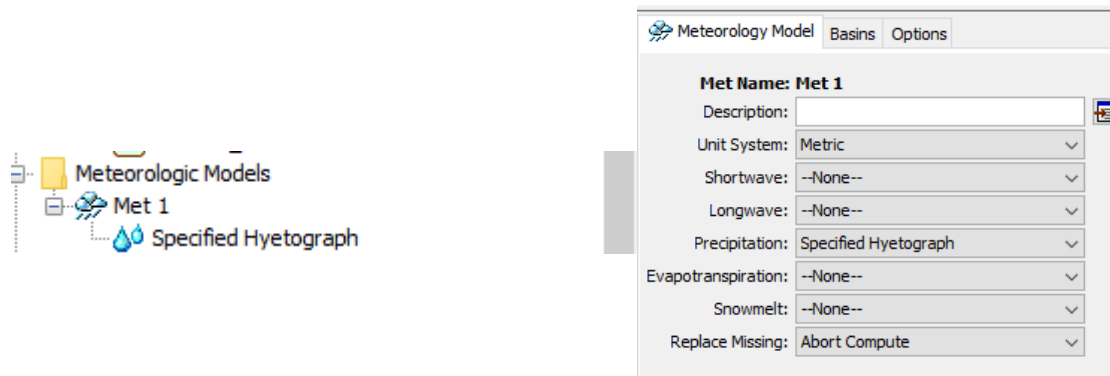
Σχήμα 4.21. : Πάνω αριστερά φαίνεται το Time Interval, Πάνω δεξιά το Time Window, Κάτω ο Time Table (πηγή: HMS)

Αξίζει να παρατηρηθεί πως επειδή σε ένα πλημμυρογράφημα χρήζει ενδιαφέροντος και ο ανοδικός άξονας, δηλαδή πριν την κορύφωση της παροχής, αλλά και ο καθοδικός άξονας μετά την κορύφωση της πλημμύρας, γίνεται χρονική αύξηση των χρονοσειρών με μηδενικές τιμές βροχής κατά την εισαγωγή τους στο HMS. Η αύξηση των χρονοσειρών δεν είναι τυχαία αλλά είναι περίπου ίση με τον χρόνο βάσης κατά MYT Snyder. Για τους σκοπούς της εργασίας επιλέχθηκαν για όλες τις υπολεκάνες T=4 ημέρες για προσομοιώσεις με χρονικό βήμα μισής ώρας, και T=3 ημέρες δηλαδή όσος περίπου ο χρόνος βάσης κατά Snyder για μικρότερα χρονικά βήματα (Πίνακας 4.14).

Πίνακας 4.14 : Χρονική βάση κατά Snyder (πηγή: Excel)

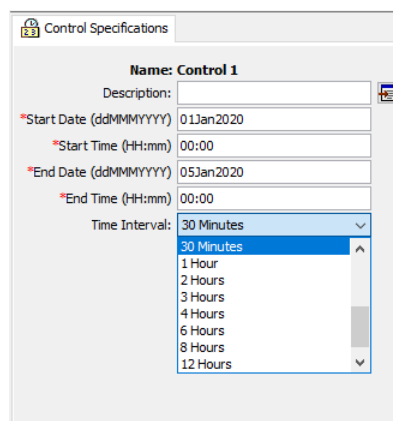
| T(days) | | |
|---------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Υπολεκάνη Βασιλικής | Υπολεκάνη Νυδριού | Υπολεκάνη Καλλιγονίου-πόλης Λευκάδος |
| 3.78 | 3.62 | 3.59 |

Αφού ορίζονται οι σταθμοί και τα δεδομένα χρονοσειρών στο HEC-HMS, έπεται ο προσδιορισμός της διαχείρισης των δεδομένων αυτών. Για τη δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου, εφαρμόζεται η σειρά εντολών Components -> Meteorologic Model Manager -> New. Στη συνέχεια, χρειάζεται να ορισθεί στο κελί Precipitation η μέθοδος εισαγωγής βροχομετρικών δεδομένων, όπου για την παρούσα εργασία επιλέγεται η Specified Hyetograph (Σχήμα 4.22).



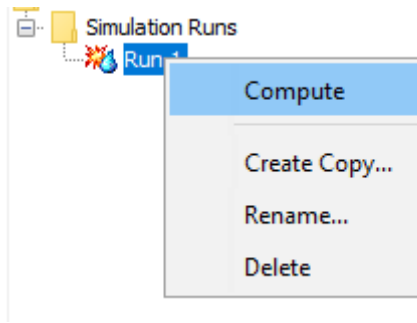
Σχήμα 4.22. : Meteorologic Model (πηγή: HMS)

Έπειτα, δημιουργείται το αρχείο καταιγίδων σχεδιασμού βροχόπτωσης μέσω των εντολών Components -> Control Specification Manager -> New. Στον πίνακα ελέγχου ορίζεται η ακριβής ημερομηνία, χρονικό διάστημα και χρονικό βήμα ενός μόνο επεισοδίου βροχής που χρειάζεται να εκτελεστεί. Στη παρούσα εργασία, δημιουργούνται 3 πίνακες για να καλύψουν καταιγίδες 3 υπολεκανών (Σχήμα 4.23).



Σχήμα 4.23. : Control Specifications (πηγή: HMS)

Σαν τελικό βήμα ολόκληρης της επεξεργασίας στο περιβάλλον HEC-HMS, δημιουργείται ένας διαχειριστής της προσομοίωσης. Οι εντολές όπως ακολουθούνται είναι Compute -> Simulation Run Manager -> New Run (Σχήμα 4.24). Το τελικό προϊόν είναι τα πλημμυρογραφήματα των πιθανών σεναρίων. Με αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνονται οι διεργασίες στο λογισμικό και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 4.24. : Εντολή εκτέλεσης προσμείωσης (πηγή: HMS)

5. ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΗΕC-HMS

Στο υφιστάμενο κεφάλαιο συγκρίνονται οι περιπτώσεις σεναρίων που προσομοιώθηκαν στο λογισμικό μέχρι το υφιστάμενο στάδιο της εργασίας. Έχουν προηγηθεί σενάρια που έχουν ορισθεί στο Κεφάλαιο 4.7.2:

- **1^ο σενάριο:** d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II (σενάριο βάσης),
- **2^ο σενάριο:** d= 12 ώρες, T=200 χρόνια, CN II
- **3^ο σενάριο:** d= $t_{\text{συρροής}} = 3$ ώρες, T=100 χρόνια, CN II

Σε αυτές τις περιπτώσεις έρχονται να προστεθούν σενάρια σχετιζόμενα με την κλιματική αλλαγή (Κεφάλαιο 4.7.4), και ορίζονται ως:

- **4^ο σενάριο - Climate Change 1:** d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, CN II, μεταβολή 5% προς τα πάνω του συνολικού ύψους βροχής,
- **5^ο σενάριο - Climate Change 2:** d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, CN II, αύξηση 10% του ολικού ύψους βροχόπτωσης.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια γνωρίσματα κάθε καταιγίδας σχεδιασμού, ενώ στα παρακάτω κεφάλαια πραγματοποιούνται μεταξύ των πέντε σεναρίων συγκρίσεις πλημμυρογραφημάτων.

Πίνακας 5.1: Σύνοψη των σεναρίων καταιγίδων σχεδιασμού

| Σενάριο | Μεγέθη | Συμβολισμός | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος- Καλλιγόνι |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|----------|--------|--------------------------------|
| Σενάριο | Εμβαδό (km ²) | A | 46.250 | 12.326 | 37.660 |
| | Χρόνος υστέρησης (hr) | tp | 6.27 | 4.75 | 4.97 |
| | Συντελεστής | Cp | 0.63 | 0.63 | 0.63 |
| 1 ^ο Σενάριο- Σενάριο Βάσης | Περίοδος σχεδιασμού (years) | T | 100 | 100 | 100 |
| | Συντελεστής Απωλειών | CN | 78 | 76 | 75 |
| | Διάρκεια καταιγίδας σχεδιασμού (hr) | d | 12 | 12 | 12 |
| | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | Q | 103.8 | 99.4 | 29.0 |
| | Χρόνος για πλημμυρική αιχμή (hr) | t | 12.5 | 11 | 11.5 |
| | Πλημμυρικός όγκος (hm ³) | v | 4.28 | 3.29 | 1.05 |
| | 2 ^ο σενάριο | Περίοδος σχεδιασμού (years) | T | 200 | 200 |

| | | | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| | Συντελεστής Απωλειών | CN | 78 | 76 | 75 |
| | Διάρκεια καταιγίδας σχεδιασμού (hr) | d | 12 | 12 | 12 |
| | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | Q | 124.8 | 120.3 | 35.2 |
| | Χρόνος για πλημμυρική αιχμή (hr) | t | 12.5 | 11 | 11.5 |
| | Πλημμυρικός όγκος (hm ³) | v | 5.14 | 3.98 | 1.27 |
| 3ο σενάριο | Περίοδος σχεδιασμού (years) | T | 100 | 100 | 100 |
| | Συντελεστής Απωλειών | CN | 78 | 76 | 75 |
| | Διάρκεια καταιγίδας σχεδιασμού (hr) | d | 3 | 3 | 3 |
| | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | Q | 49.5 | 50.0 | 13.8 |
| | Χρόνος για πλημμυρική αιχμή (hr) | t | 7.7 | 6.1 | 6.7 |
| | Πλημμυρικός όγκος (hm ³) | v | 1.71 | 1.27 | 0.396 |
| Climate change 1 | Περίοδος σχεδιασμού (years) | T | 100 | 100 | 100 |
| | Συντελεστής Απωλειών | CN | 78 | 76 | 75 |
| | Διάρκεια καταιγίδας σχεδιασμού (hr) | d | 3 | 3 | 3 |
| | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | Q | 54.0 | 54.8 | 15.1 |
| | Χρόνος για πλημμυρική αιχμή (hr) | t | 7.7 | 6.1 | 6.7 |
| | Πλημμυρικός όγκος (hm ³) | v | 1.87 | 1.39 | 0.43 |
| Climate change 2 | Περίοδος σχεδιασμού (years) | T | 100 | 100 | 100 |
| | Συντελεστής Απωλειών | CN | 78 | 76 | 75 |
| | Διάρκεια καταιγίδας σχεδιασμού (hr) | d | 3 | 3 | 3 |
| | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | Q | 58.5 | 59.6 | 16.4 |

| | | | | |
|---|----------|------|------|------|
| Χρόνος για πλημμυρική αιχμή (hr) | t | 7.8 | 6.1 | 6.7 |
| Πλημμυρικός όγκος (hm ³) | v | 2.02 | 1.51 | 0.47 |

5.1 Σύγκριση σεναρίου βάσης- 2^ο σενάριο

Αρχική σύγκριση αποτελεί αυτή ανάμεσα σε καταιγίδα βροχής διάρκειας d=12 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων και CN κατηγορίας II (επεισόδιο βάσης) και σε υετογράφημα βροχής διάρκειας d=12 ωρών, περιόδου επαναφοράς 200 χρόνων και ίδιου CN κατηγορίας II. Αναλυτικότερα, οι τιμές Curve Number είναι 78, 76, 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου - Πόλης Λευκάδας αντίστοιχα δηλαδή περίπου ίδιες τιμές CN μεταξύ των υπολεκανών. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης ανέρχεται σε 30 λεπτά και η διάρκεια για την εκτέλεση της προσομοίωσης είναι 4 μέρες, από 1 Ιανουαρίου 2020 00:00 μέχρι 5 Ιανουαρίου 2020 00:00. Οι ημερομηνίες που επιλέγονται στο HMS αφορούν ενδεικτικά χειμερινό μήνα καθώς εξαιτίας έλλειψης δεδομένων, θεωρείται πως τότε θα έχουμε βροχόπτωση με μεγάλα ύψη βροχής. Άλλωστε από τα δεδομένα του Αστεροσκοπείου για τα μέσα ύψη βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης, προκύπτει ο Ιανουάριος ως ο δεύτερος πιο βροχερός μήνας του έτους.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο HMS για την υπολεκάνη της Βασιλικής (Σχήμα 5.1), παρατηρείται πως η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για το επεισόδιο σεναρίου αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 03:30, ενώ για το δεύτερο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:30 δηλαδή μία ώρα μετά. Από την άλλη, μετά την αιχμή το διάγραμμα μηδενίζει για πρώτη φορά και για τα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 22:00. Όσον αφορά την αιχμή (peak) των καμπυλών, αυτή πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 12:30 και για τα 2 σενάρια. Το μέγιστο της μπλε καμπύλης περιόδου επαναφοράς 200 ετών βρίσκεται αρκετά ψηλότερα με τιμή 124.8 m³/s, έναντι 103.8 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Η διαφορά αυτή ερμηνεύεται εάν επιλυθεί η Εξίσωση 15 που αφορά την ΓΑΤ 5 παραμέτρων, για T=100 και 200 χρόνια. Για σταθερή διάρκεια επεισοδίου 12 ωρών, εφόσον η ένταση της βρόχης μεταβάλλεται αναλογικά με την περίοδο επαναφοράς εύλογο είναι να προκύψουν μεγαλύτερα ύψη βροχής και επομένως μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή. Προκύπτει μία μεταβολή της αιχμής κατά 18%. Επιπλέον, το εμβαδό που περικλείεται εντός των καμπύλων πλημμυρογραφημάτων αποτελεί τον πλημμυρικό όγκο του επεισοδίου ουσιαστικά πολλαπλασιάζοντας την παροχή με τη διάρκεια. Προκύπτει λοιπόν μικρότερος όγκος 4.28 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 5.14 hm³ του σεναρίου 200 ετών περιόδου επαναφοράς.



Σχήμα 5.1. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)

Αντίστοιχα για την υπολεκάνη του Νυδριού (Σχήμα 5.2), το μέγιστο σημείο (peak) των καμπύλων, πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 11:00 και για τα 2 σενάρια. Έπειτα παρατηρείται πως η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για το επεισόδιο σεναρίου βάσης αποκτήθηκε στη 1 Ιανουαρίου ώρα 03:30, ενώ για το δεύτερο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 03:00 δηλαδή μισή ώρα νωρίτερα. Ο καθοδικός κλάδος του πλημμυρογραφήματος λαμβάνει μηδενική τιμή για πρώτη φορά και στα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:30. Το μέγιστο της μπλε καμπύλης περιόδου επαναφοράς 200 ετών βρίσκεται αρκετά ψηλότερα με τιμή 120.3 m³/s, έναντι 99.4 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Η διαφορά αυτή οφείλεται στον ίδιο λόγο, δηλαδή από την επίλυση της όμβριας καμπύλης, για σταθερή διάρκεια επεισοδίου 12 ωρών, εφόσον η ένταση της βροχής μεταβάλλεται αναλογικά με την περίοδο επαναφοράς προκύπτουν μεγαλύτερα ύψη βροχής και επομένως μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή. Σε αυτή τη περίπτωση, η αιχμή σε σχέση με του σεναρίου βάσης αυξάνεται κατά 21%. Έπειτα, από το εμβαδό που περικλείεται εντός των καμπύλων πλημμυρογραφημάτων προκύπτει λοιπόν μικρότερος όγκος 3.29 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 3.98 hm³ του σεναρίου 200 ετών περιόδου επαναφοράς.



Σχήμα 5.2. : Υπολεκάνη Νυδριού (πηγή: HMS)

Τέλος, για την υπολεκάνη του Καλλιγονίου- πόλης Λευκάδας (Σχήμα 5.3), τα μεγέθη του πλημμυρογραφήματος είναι πολύ μικρότερα αριθμητικά συγκριτικά με των δύο προηγούμενων υπολεκανών, ποσοστιαία όμως τα πράγματα δεν είναι έτσι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η συγκεκριμένη υπολεκάνη διαθέτει εμβαδό 3-4 φορές μικρότερο από τις υπόλοιπες υπολεκάνες. Η αιχμή (peak) πλημμύρας των καμπύλων, παρατηρείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 11:30 και για τα 2 σενάρια. Η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για το επεισόδιο βάσης αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:30, ενώ για το δεύτερο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:00 δηλαδή μισή ώρα νωρίτερα. Από την άλλη, το διάγραμμα λαμβάνει μηδενική τιμή για πρώτη φορά και για τα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 14:30. Το σημείο αλλαγής κυρτότητας της μπλε καμπύλης περιόδου επαναφοράς 200 ετών βρίσκεται ψηλότερα με τιμή 35.2 m³/s, έναντι 29.0 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης και αντικατροπίζει ρυθμό μεταβολής της παροχής +21.3%, τον μέγιστο εκ των τριών υπολεκανών. Από το εμβαδό εντός των καμπύλων πλημμυρογραφήματων προκύπτει μικρότερος όγκος της τάξης των 1.05 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 1.27 hm³ του σεναρίου 200 ετών περιόδου επαναφοράς.



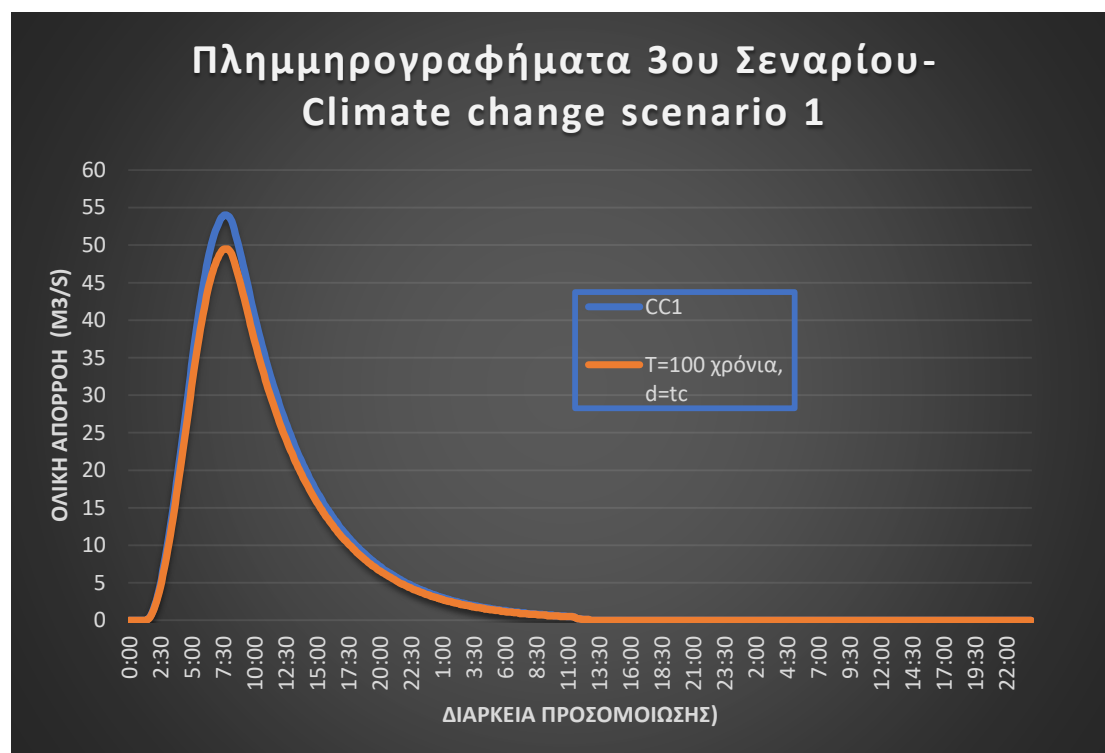
Σχήμα 5.3. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

5.2 Σύγκριση 3^{ου} σεναρίου - 4^ο σενάριο (Climate change scenario 1)

Επόμενη σύγκριση λαμβάνει χώρα ανάμεσα σε καταιγίδα σχεδιασμού βροχής διάρκειας $d=t_{\text{συρροής}}=3$ ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων και CN κατηγορίας II και σε καταιγίδα διάρκειας $d=3$ ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων, ίδου CN κατηγορίας II στο οποίο έχει ληφθεί υπόψιν η επίδραση της κλιματικής αλλαγής με αύξηση του ολικού ύψους βροχής κατά 5%. Αναλυτικότερα, οι τιμές Curve Number είναι 78, 76, 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου- πόλης Λευκάδας. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης μειώνεται από 30 λεπτά σε 6 λεπτά, διότι με χρόνο συρροής τόσο μικρό και μεγάλο χρονικό βήμα, μέχρι να αποτυπωθεί η απορροή της λεκάνης η πλημμύρα θα έχει παρέλθει. Η διάρκεια για την εκτέλεση της προσομοίωσης είναι 3 μέρες αυτή τη φορά, από 1 Ιανουαρίου 2020 00:00 μέχρι 4 Ιανουαρίου 2020 00:00.

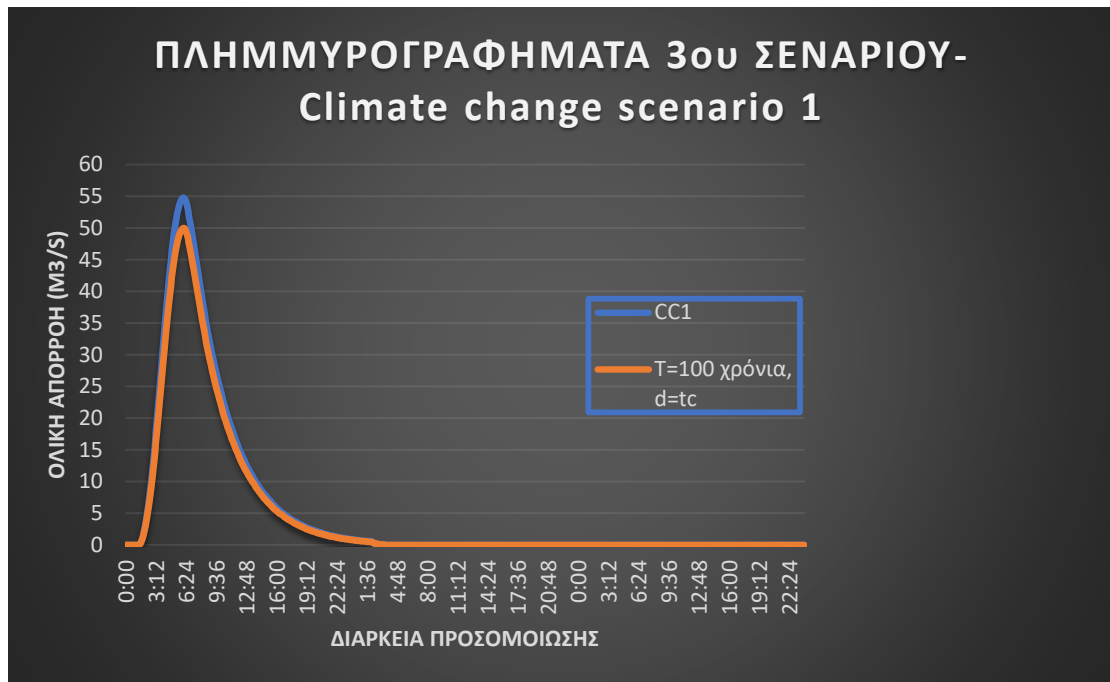
Από την ανάλυση στο HEC-HMS για την υπολεκάνη της Βασιλικής (Σχήμα 5.4), προκύπτει μικρότερος όγκος 1.71 hm^3 για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 1.87 hm^3 του σεναρίου αυξημένου ύψους βροχής κατά 5% στο οποίο έχει ληφθεί υπόψιν η κλιματική αλλαγή. Παρατηρείται πως η πρώτη θετική τιμή του διαγράμματος και για τα δύο σενάρια αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:30. Ο καθοδικός κλάδος του διαγράμματος μηδενίζει για πρώτη φορά και για τα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:48. Για την αχμή των καμπύλων, παρατηρείται εμφάνισή της στη 1 Ιανουαρίου ώρα 07:42 και για τα 2 σενάρια. Το μέγιστο της μπλε καμπύλης αυξημένων υψών βροχής βρίσκεται ψηλότερα με τιμή $54.0 \text{ m}^3/\text{s}$, έναντι $49.5 \text{ m}^3/\text{s}$ της πορτοκαλί καμπύλης. Για

σταθερή διάρκεια επεισοδίου 3 ωρών, $T=100$ ετών, με την αύξηση του ολικού ύψους 5%, εύλογο είναι να προκύψουν μεγαλύτερα ύψη βροχής και επομένως μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή.



Σχήμα 5.4. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)

Προχωρώντας ανατολικότερα στην υπολεκάνη του Νυδρίου (Σχήμα 5.5), διαπιστώνεται πως η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής αμφότερων των σεναρίων σημειώνεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:30. Και τα δύο σενάρια παρουσιάζουν αιχμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:06. Μετά την αιχμή το διάγραμμα μηδενίζεται για πρώτη φορά και για τα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 03:24. Η μπλε καμπύλη αυξημένων υψών βροχής παρουσιάζει ψηλότερη αιχμή με τιμή $54.8 \text{ m}^3/\text{s}$, έναντι $50.0 \text{ m}^3/\text{s}$ της πορτοκαλί καμπύλης. Έχοντας σταθερή διάρκεια επεισοδίου 3 ωρών, $T=100$ ετών η διαφορά στις πλημμυρικές αιχμές ερμηνεύεται από την αύξηση των κατανεμημένων υψών βροχόπτωσης κατά 5%. Σχετικά με τους όγκους των σεναρίων, προκύπτει αντίστοιχα μικρότερος όγκος 1.27 hm^3 για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 1.39 hm^3 του πρώτου σεναρίου κλιματικής αλλαγής.

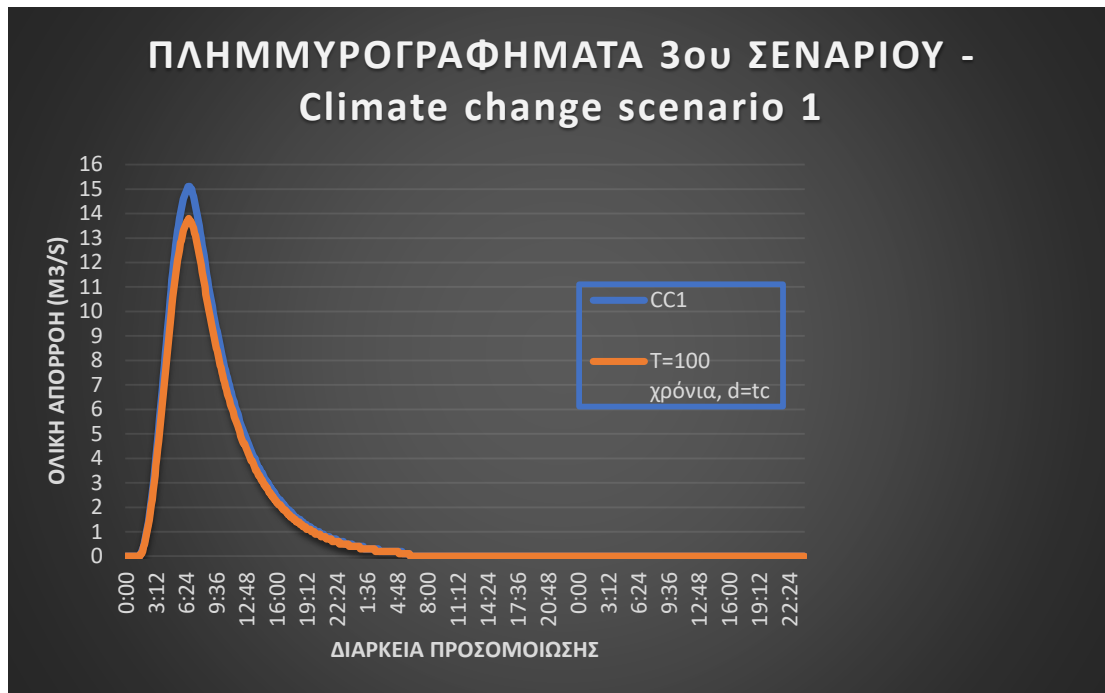


Σχήμα 5.5. : Υπολεκάνη Νυδριού (πηγή: HMS)

Τέλος τα πλημμυρογραφήματα και των δύο καταιγίδων σχεδιασμού της βοριότερης υπολεκάνης μελέτης που προσομοιώθηκαν στο HEC-HMS (Σχήμα 5.6), εμφανίζουν την πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:36. Η πρώτη μηδενική τιμή του καθοδικού άξονα είναι και για τα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 06:12. Η μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί σε πλημμύρα αιχμής των καμπύλων, καταγράφεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:42. Το μέγιστο της μπλε καμπύλης αυξημένων υψών βροχής βρίσκεται ελάχιστα ψηλότερα με τιμή 15.1 m³/s, έναντι 13.8 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Επιπρόσθετα, το εμβαδό των πλημμυρογραφημάτων δίνει μικρότερο όγκο 0.40 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 0.43 hm³ του σεναρίου αυξημένου ύψους βροχής κατά 5% λαμβάνοντας σαν παράμετρο την κλιματική αλλαγή.

Γενικά η επίδραση της μικρής επιφάνειας της υπολεκάνης Καλλιγονίου, ασκεί τεράστια αριθμητική επιρροή στα μεγέθη της αιχμής και του όγκου διότι εμφανίζονται 3 είτε 4 φορές μικρότερα, συγκριτικά με των άλλων δύο υπολεκανών.

Παρόλο αυτά, η ποσοστιαία αύξηση της πλημμυρικής αιχμής εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και στις τρεις υπολεκάνες είναι της κλίμακας του 9%. Φαίνεται πως ο σχεδιασμός για μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς αποτελεί καθοριστικότερη παράμετρο συγκριτικά με την αύξηση ύψους βροχής, διότι στη σύγκριση του Κεφαλαίου 5.1 παρατηρήθηκαν αυξήσεις στην αιχμή κατά 20%.

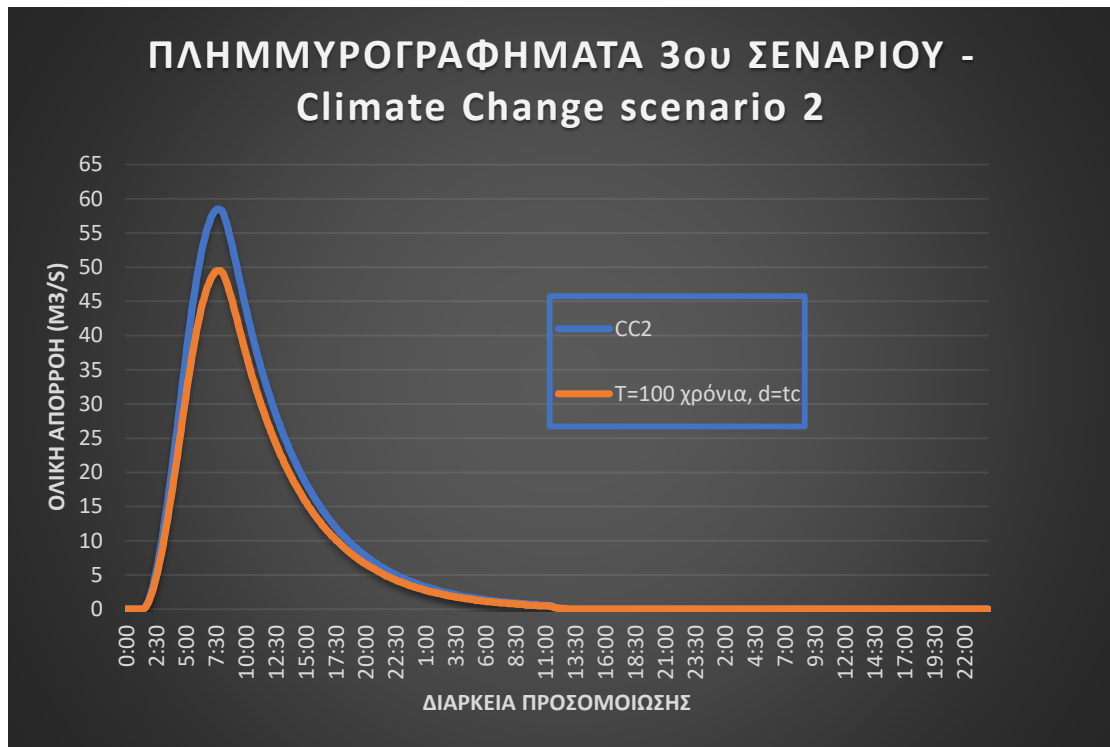


Σχήμα 5.6. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

5.3 Σύγκριση 3^{ου} σεναρίου- 5^{ου} σεναρίου (Climate change scenario 2)

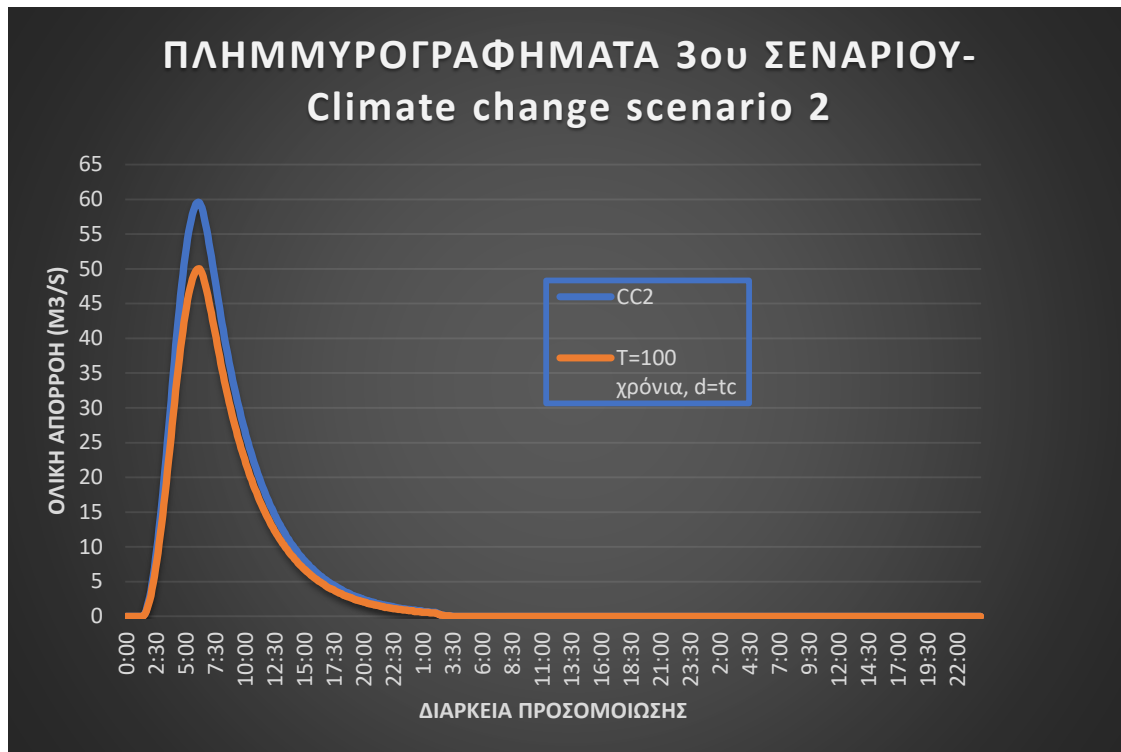
Σε αυτό το στάδιο, γίνεται μια παρόμοια σύγκριση με τη προηγούμενη, σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Η πρώτη καταιγίδα σχεδιασμού βροχής είναι διάρκειας $d=3$ ωρών ίσο με τον χρόνο συρροής, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων και CN κατηγορίας II, ενώ η δεύτερη καταιγίδα αφορά διάρκεια $d=3$ ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων, ίδιου CN κατηγορίας II με τη μοναδική διαφορά, πως αυτή τη φορά το ολικό ύψος βροχόπτωσης είναι αυξημένο κατά 10%. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές Curve Number είναι ξανά αμετάβλητες δηλαδή 78, 76, 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου- Πόλης Λευκάδας αντίστοιχα. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης είναι για ακόμα μία φορά 6 λεπτά και η προσομοίωση εκτελέστηκε σε διάρκεια 3 ημερών, από 1 Ιανουαρίου 2020 00:00 μέχρι 4 Ιανουαρίου 2020 00:00.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο HMS για τη νοτιότερη υπολεκάνη της μελέτης (Σχήμα 5.7), παρατηρείται πως ο ανοδικός κλάδος και των δύο πλημμυρογραφήματων παίρνει την πρώτη θετική τιμή απορροής στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:30. Οι πλημμυρικές αιχμές σημειώνονται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 7:42 για το πρώτο επεισόδιο και για το δεύτερο 6 λεπτά αργότερα της ίδια μέρας. Το διάγραμμα και των δύο σεναρίων μηδένισε στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:48. Το μέγιστο της μπλε καμπύλης αυξημένων υψών βροχόπτωσης συναντάται αρκετά ψηλότερα με τιμή $58.5 \text{ m}^3/\text{s}$, έναντι $49.5 \text{ m}^3/\text{s}$ της πορτοκαλί καμπύλης. Έχοντας σταθερή διάρκεια επεισοδίου 3 ωρών, $T=100$ ετών η διαφορά αυτή σχετίζεται με την αύξηση των κατανεμημένων υψών βροχόπτωσης κατά 10% και επομένως οδηγεί σε μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή. Έπειτα, το εμβαδό που περικλείεται εντός των καμπύλων πλημμυρογραφήματων αντιστοιχεί σε μικρότερο όγκο 1.71 hm^3 για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 2.02 hm^3 του σεναρίου κλιματικής αλλαγής περίπτωσης 2.



Σχήμα 5.7. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)

Η προσομοίωση των υετογραφημάτων σχεδιασμού της υπολεκάνης Νυδρίου (Σχήμα 5.8), έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή δύο πλημμυρογραφημάτων των οποίων η αιχμή εμφανίζεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:06. Η πρώτη θετική τιμή παροχής και για τα δύο σενάρια καταγράφεται τη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:30, ενώ καθοδικός άξονας του διαγράμματος μηδενίζει πρώτη φορά για το σενάριο αριθμού 3, στις 2 Ιανουαρίου ώρα 03:24, ενώ για το σενάριο νούμερο 5 λαμβάνει μηδενική τιμή 6 λεπτά πιο αργά της ίδιας ημέρας. Η μπλε καμπύλη αυξημένων υψών βροχής χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη μέγιστη τιμή παροχής $59.6 \text{ m}^3/\text{s}$, έναντι $50 \text{ m}^3/\text{s}$ της πορτοκαλί καμπύλης. Για σταθερή διάρκεια επεισοδίου 3 ωρών, $T=100$ ετών, με την αύξηση του ολικού ύψους 10%, εύλογα προκύπτουν μεγαλύτερα ύψη βροχής και συνεπώς μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή. Το χωρίο που περικλύεται από την πορτοκαλί καμπύλη αντιστοιχεί σε όγκο 1.27 hm^3 , έναντι 1.51 hm^3 του σεναρίου αυξημένου ύψους βροχής κατά 10% λαμβάνοντας σαν παράμετρο την κλιματική αλλαγή.

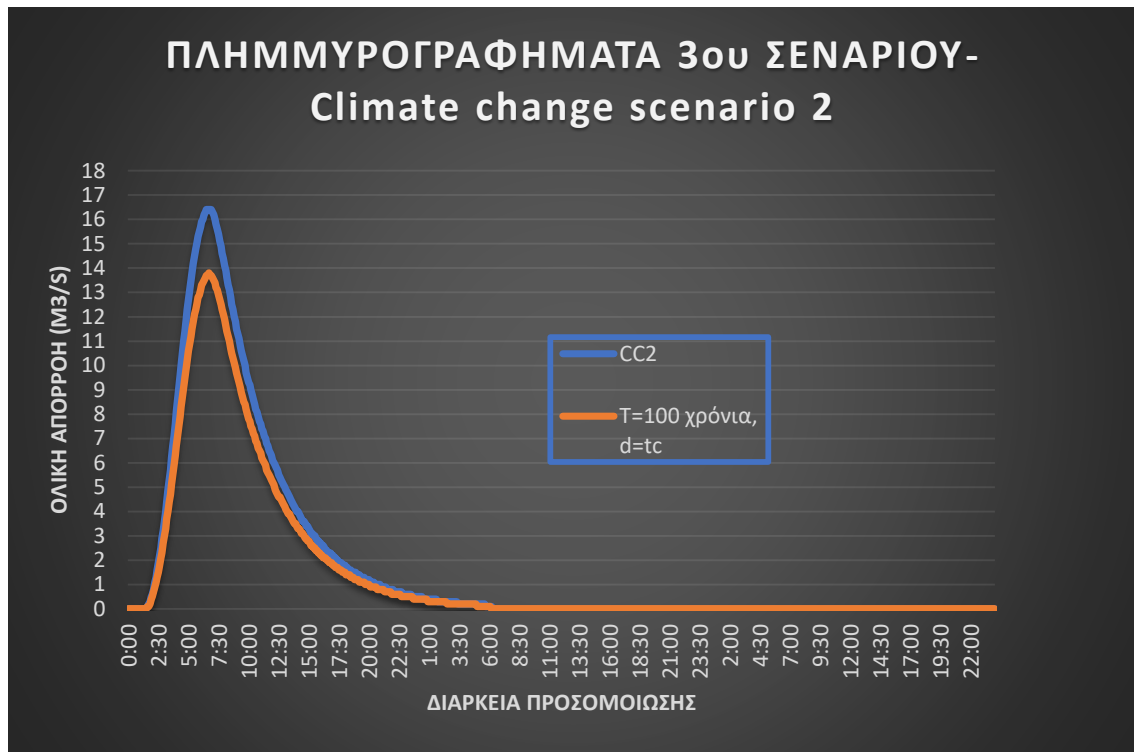


Σχήμα 5.8. : Υπολεκάνη Νυδρίου (πηγή: HMS)

Τέλος, για τη βοριότερη των υπολεκανών μελέτης (Σχήμα 5.9), διαπιστώνεται πως η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής αμφοτέρων των σεναρίων αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:36. Από την άλλη, η καμπύλη του 3^{ου} σεναρίου μηδενίζει για πρώτη φορά στις 6:12 της 2 Ιανουαρίου, 6 λεπτά νωρίτερα από αυτήν του κλιματικά σχετιζόμενου σεναρίου. Αμφότερα τα σεναρία φτάνουν στην πλημμυρική αιχμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:42. Η μπλε καμπύλη αυξημένων υψών βροχής παρουσιάζει ψηλότερη αιχμή με τιμή 16.4 m³/s, έναντι 13.8 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Σχετικά με τους όγκους των σεναρίων, προκύπτει αντίστοιχα μικρότερος όγκος 0.40 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 0.47 hm³ του δεύτερου σεναρίου κλιματικής αλλαγής.

Για ακόμη μία φορά ισχύει πως η επίδραση της μικρής επιφάνειας της υπολεκάνης Καλλιγονίου, ασκεί τεράστια επιρροή στα μεγέθη της αιχμής και του όγκου διότι εμφανίζονται 3 είτε 4 φορές μικρότερα, συγκριτικά με των άλλων δύο υπολεκανών.

Στην προκειμένη σύγκριση, οι πλημμυρικές αιχμές έχουν αυξηθεί ποσοστιαία δύο φορές σε σχέση με τις μεταβολές που επέφερε το CC1 (9%). Η μεγαλύτερη μεταβολή αιχμής λόγω κλιματικής αλλαγής παρουσιάζεται στην υπολεκάνη του Νυδρίου με 19.2%. Ακολουθεί η υπολεκάνη Καλλιγονίου με 18.8% και στο τέλος βρίσκεται αυτή της Βασιλικής με 18.2%. Όσο μεγαλύτερα ύψη βροχής εισάγονται, τόσο μεγαλύτερη πλημμύρα αιχμής προκύπτει.



Σχήμα 5.9. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

6. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΒΑΣΕΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

6.1 Γενικά

Αναπόφευκτο γεγονός αποτελεί πως η κλιματική αλλαγή εντείνεται με την πάροδο των χρόνων και ως απόρροια αυτού προκύπτει η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων συμπεριλαμβανομένου και πλημμυρών. Για την πρόληψη, μετρίαση και αντιμετώπιση των πλημμυρικών συμβάντων εφαρμόζονται συμβατικές «γκρι» λύσεις (φράγματα, αναχώματα και αντιπλημμυρικά τοιχία σκυροδέματος) είτε «πράσινες» λύσεις (εκτροπές ποταμών), η ύπαρξη των οποίων έχει αρνητικό αντίκτυπο σε οικονομικοκοινωνικούς και περιβαλλοντικούς τομείς. Αρχικά η κοστολόγηση για τη κατασκευή τέτοιων έργων συνήθως είναι υπέρογκη, η ασφάλεια που παρέχουν είναι αφενός συνάρτηση της εκδήλωσης φαινομένου που δεν θα υπερβαίνει τις τιμές σχεδιασμού για δεδομένη περίοδο επαναφοράς και αφετέρου εναπόκειται στην ορθή λειτουργία του έργου, δηλαδή δεν υπάρχουν περιθώρια αστοχίας. Ένα επιπλέον μειονέκτημα αποτελούν οι απαλλοτριωμένες εκτάσεις που συνήθως απαιτούνται πριν την κατασκευή προκαλώντας επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα του οικοσυστήματος. Δόκιμη κρίνεται λοιπόν, η αναζήτηση πιο φυσικών μεθόδων αντιμετώπισης. Σε αυτό το σημείο έρχονται να ενταχθούν λύσεις βασισμένες στη φύση γνωστές και ως NBS (Nature Based Solutions) με πληθώρα πλεονεκτημάτων. Σύμφωνα με την UNEA (United Nations Environment Assembly) οι NBS ορίζονται ως δράσεις με σκοπό τη προστασία, διαχείριση και αποκατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων. Επίσης οι λύσεις αυτές στοχεύουν συγχρόνως στην ανθρώπινη ευημερία καθώς είναι πολύ πιο οικονομικά βιώσιμες και συγχρόνως διευρύνουν τους οικονομικούς ορίζοντες παρέχοντας νέες θέσεις απασχόλησης σε καινοτόμα projects. Βέβαια αξίζει κανείς να αναλογιστεί πως οι NBS αποτελούν μία καινοτομία, και συνεπώς καθίσταται αμφίβολη η επιτυχία στην εφαρμογή τους. Ακόμα αμφίβολη κρίνεται και η απήχηση που θα έχει στο κοινό, ενώ όπως για κάθε καινούρια τεχνολογία απαιτείται συλλογή και ανάλυση των αποτελεσμάτων για την τελική αποτίμηση της συνεισφοράς της.

6.2 Αλλαγή χρήσεων γης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 1.3.2. σχετικά με τις αιτίες των πλημμυρών, η μετατροπή του φυσικού εδάφους σε αστική χρήση με αδιαπέρατες κατασκευές (δρόμοι, κτίρια) δρα αρνητικά καθώς αυξάνει την επιφανειακή απορροή, την παροχή αιχμής του πλημμυρογραφήματος και άρα τις επιπτώσεις μίας πιθανής πλημμύρας. Η καταστροφική αυτή αλλαγή κάλυψης γαιών, ίσως θα μπορούσε να λειτουργήσει αντίστροφα και να επιφέρει θετικά αποτελέσματα. Η αντικατάσταση των αστικών κατασκευών με φυσικό έδαφος προφανώς αποτελεί ουτοπικό σενάριο, αλλά η μετατροπή χωρίων γης, που καλύπτονται με χαμηλή και αραιή βλάστηση, βοσκοτόπων και καλλιεργιών, σε δασικές εκτάσεις θα μπορούσε να συμβάλλει στην καθυστέρηση της πλημμύρας, μείωση της παροχής αιχμής και άρα μικρότερο πλημμυρικό όγκο.

6.2.1 Διαδικασία προσέγγισης

Αρχικά εντοπίζονται στο αρχείο Corine του GIS τα πολύγωνα χρήσεων γης που δεν αξιοποιούνται από τον άνθρωπο και στις 3 υπολεκάνες. Πιο συγκεκριμένα, σε εκτάσεις που χαρακτηρίζονται από λιβάδια, μικτά δάση, σκληροφυλλική βλάστηση και

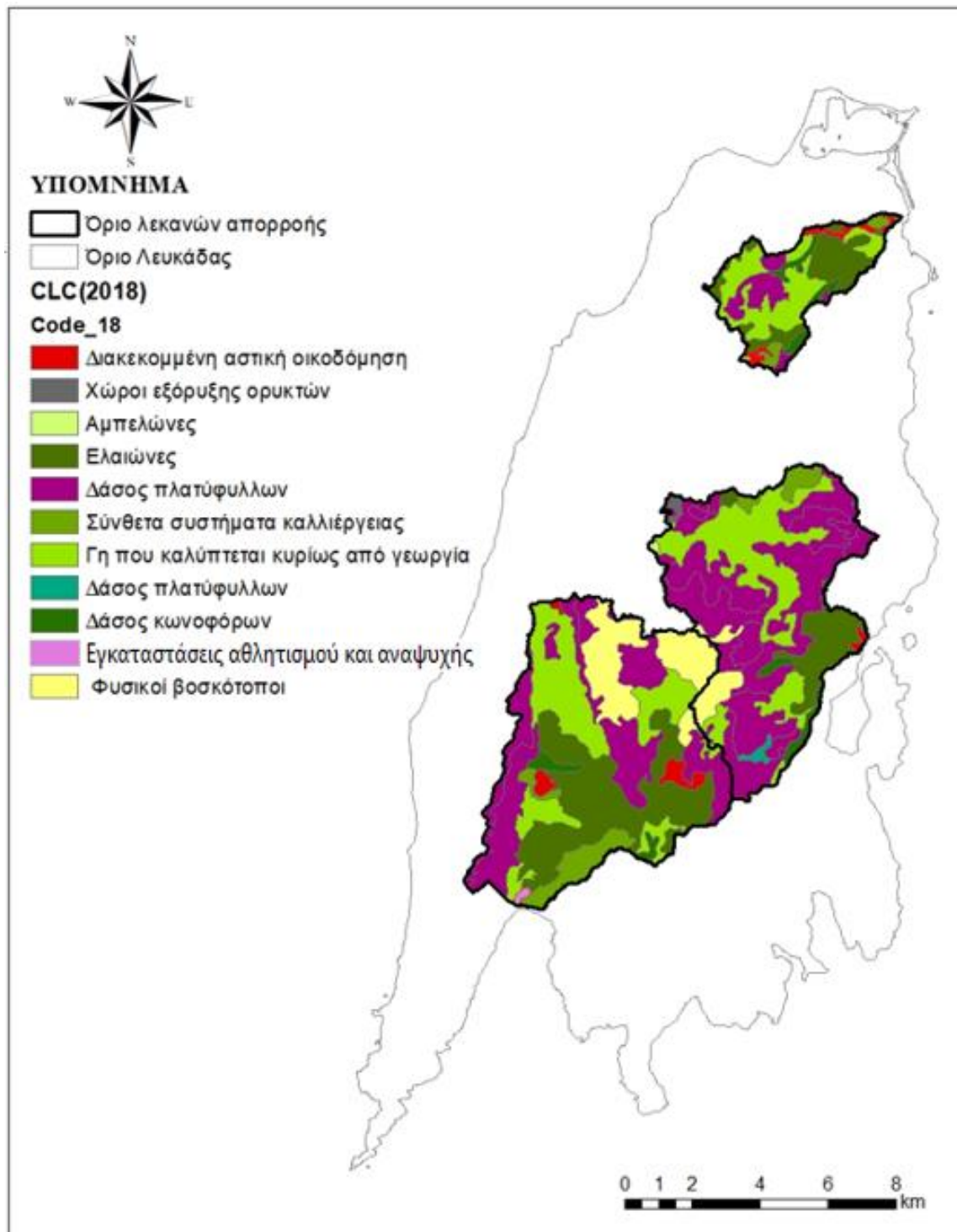
μεταβατικές δασώδεις- θαμνώδεις εκτάσεις, γίνεται αντικατάσταση χρήσης γης με πλατύφυλλες δασικές εκτάσεις (Σχήμα 6.1).

Το γεωλογικό υπόβαθρο στο GIS παραμένει το ίδιο όπως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4.5.1 Σχήμα 4.6. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ξανά σε κάθε πολύγωνο αντιστοίχιση της εδαφικής κατηγορίας (A, B, C, D) με τη χρήση γης, και προκύπτουν καταναμημένοι CN με βάση τον πίνακα SCS. Τέλος, υπολογίζονται οι μέσοι αριθμοί καμπύλης με βάση ποσοστιαία κατανομή επιφάνειας (Πίνακας 6.1).

Οι νέες τιμές του CN, είναι μικρότερες από τις αρχικές, 70 έναντι 78 για την υπολεκάνη της Βασιλικής, 65 έναντι 75 για την υπολεκάνη Λευκάδος-Καλλιγονίου και 69 έναντι 76 για το Νυδρί. Από άποψη φυσικής σημασίας η μείωση δικαιολογείται καθώς πυκνώνοντας με δέντρα τις εκτάσεις απορρέουν μικρότεροι όγκοι νερού επιφανειακά. Η μεγαλύτερη μείωση αριθμού καμπύλης, σημειώνεται με την αλλαγή χρήσεων στην υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας με μεταβολή 10 μονάδων.

Πίνακας 6.1 : Μέσος μειωμένος CN II (πηγή: GIS)

| CN | ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ | | |
|-------|------------|-------|--------------------------|
| | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος- Καλλιγόνη |
| CN II | 70 | 69 | 65 |



Σχήμα 6.1. : Παρέμβαση στις χρήσεις γης (πηγή: GIS)

6.2.2 Δημιουργία και σύγκριση σεναρίων

Ως απόρροια της διευρεύνησης που έγινε με την αλλαγή των χρήσεων γης, προκύπτουν δύο ακόμη σεναρία:

- **6^ο σενάριο NBS1:** d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, μειωμένος CN II
- **7^ο σενάριο:** d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, μειωμένος CN II

Οι συγκρίσεις που λαμβάνουν χώρα και για τις τρεις υπολεκάνες έχουν ως εξής:

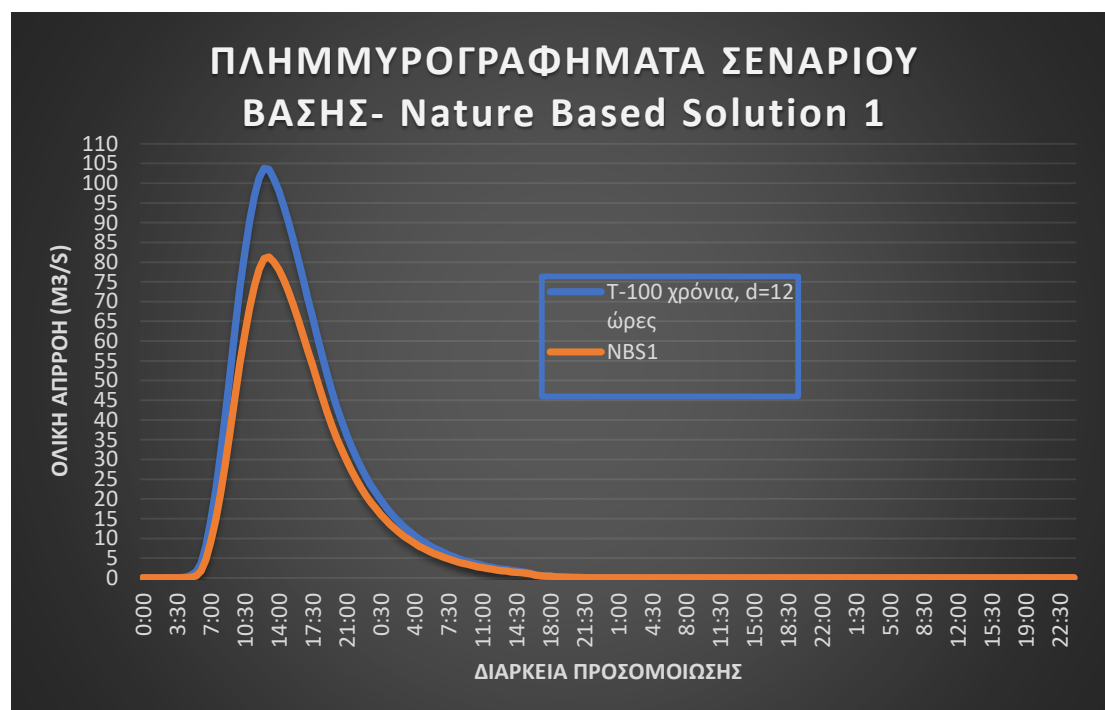
- **Σενάριο βάσης** (d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II) - **6^ο σενάριο NBS1**
- **3^ο σενάριο** (d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, CN II) - **7^ο σενάριο**

6.3 Σύγκριση Σεναρίου βάσης (d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II) - 6^ο σενάριο (Nature Based Solution 1)

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται σχολιασμός των διαφορών ανάμεσα σε καταιγίδα σχεδιασμού βροχής διάρκειας d=12 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων και CN κατηγορίας II (επεισόδιο βάσης) και σε καταιγίδα βροχής διάρκειας d=12 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων αλλά απομειωμένου CN κατηγορίας II εξαιτίας της αντικατάστασης βοσκοτόπων, καλλιεργιών και αραιής βλάστησης με πυκνά δάση. Το σενάριο που αφορά την αλλαγή χρήσεων γης, για λόγους ευκολίας αποκαλείται ως Nature Based Solution No1. Πιο συγκεκριμένα, οι αρχικές τιμές Curve Number είναι 78, 76, 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου- Πόλης Λευκάδας αντίστοιχα, ενώ οι μειωμένες είναι 70, 69 και 65 όπως φαίνονται και στον Πίνακα 12. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης ανέρχεται σε 30 λεπτά και η διάρκεια για την εκτέλεση της προσομοίωσης είναι 4 μέρες, από 1 Ιανουαρίου 2020 00:00 μέχρι 5 Ιανουαρίου 2020 00:00.

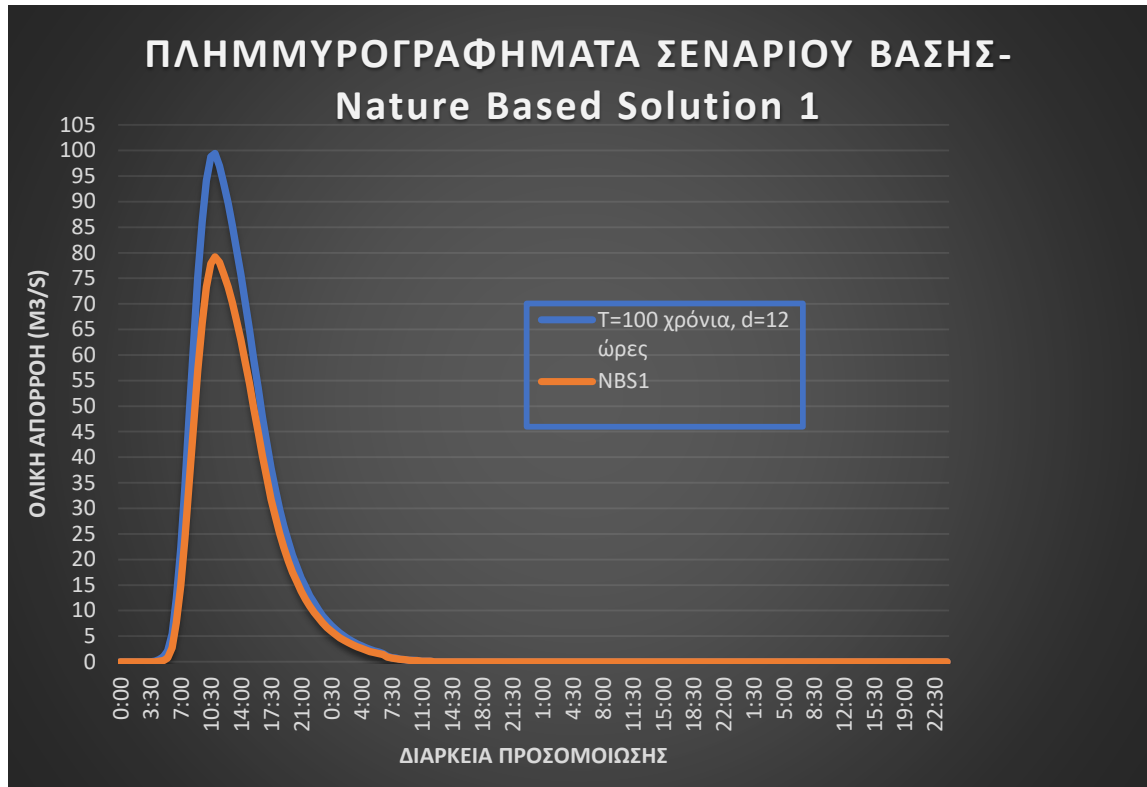
Αρχική παρατήρηση της προσομοίωσης στο HEC-HMS για την υπολεκάνη της Βασιλικής (Σχήμα 6.2) είναι πως η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για την καταιγίδα σεναρίου βάσης αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:00, ενώ για τη καταιγίδα σχεδιασμού που προκύπτει από την εφαρμογή της φυσικής λύσης, ο ανοδικός κλάδος του διαγράμματος αποκτά θετική τιμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 05:00 δηλαδή μία ώρα μετά. Ο μηδενισμός του διαγράμματος σεναρίου βάσης συμβαίνει για πρώτη φορά στις 2 Ιανουαρίου ώρα 22:00, ενώ για το 6^ο σενάριο στις 2 Ιανουαρίου ώρα 21:30. Σχετικά με την αιχμή (peak) των καμπύλων, αυτή πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 12:30 για το σενάριο βάσης και μισή ώρα αργότερα της ίδιας μέρας για την NBS1. Η αλλαγή κυρτότητας της μπλε καμπύλης αρχικού CN II βρίσκεται πολύ ψηλότερα με τιμή 103.8 m³/s, έναντι 81.3 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Ο ρυθμός μεταβολής της παροχής είναι της τάξης του -22%. Γίνεται αισθητό πως η μεταβολή του CN κατά 8 μονάδες προς τα κάτω επιφέρει πολύ μεγάλη μείωση της πλημμυρικής αιχμής. Η "χαμένη" παροχή έχει συγκρατηθεί από την πυκνή βλάστηση και δεν απορρέει επιφανειακά πλέον. Κατά αντιστοιχία η πυκνή βλάστηση έχει συμβάλει στην απόσβεση σημαντικών κυβικών μέτρων πλημμυρικού όγκου, οδηγώντας σε απορροή όγκου 3.36 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 4.28 hm³ του σεναρίου βάσης με αρχικό CN κατηγορίας II. Δηλαδή η συνεισφορά της πύκνωσης της

βλάστησης έχει ως απόρροια τη μείωση όγκου περίπου ενός εκατομμυρίου κυβικών μέτρων νερού.



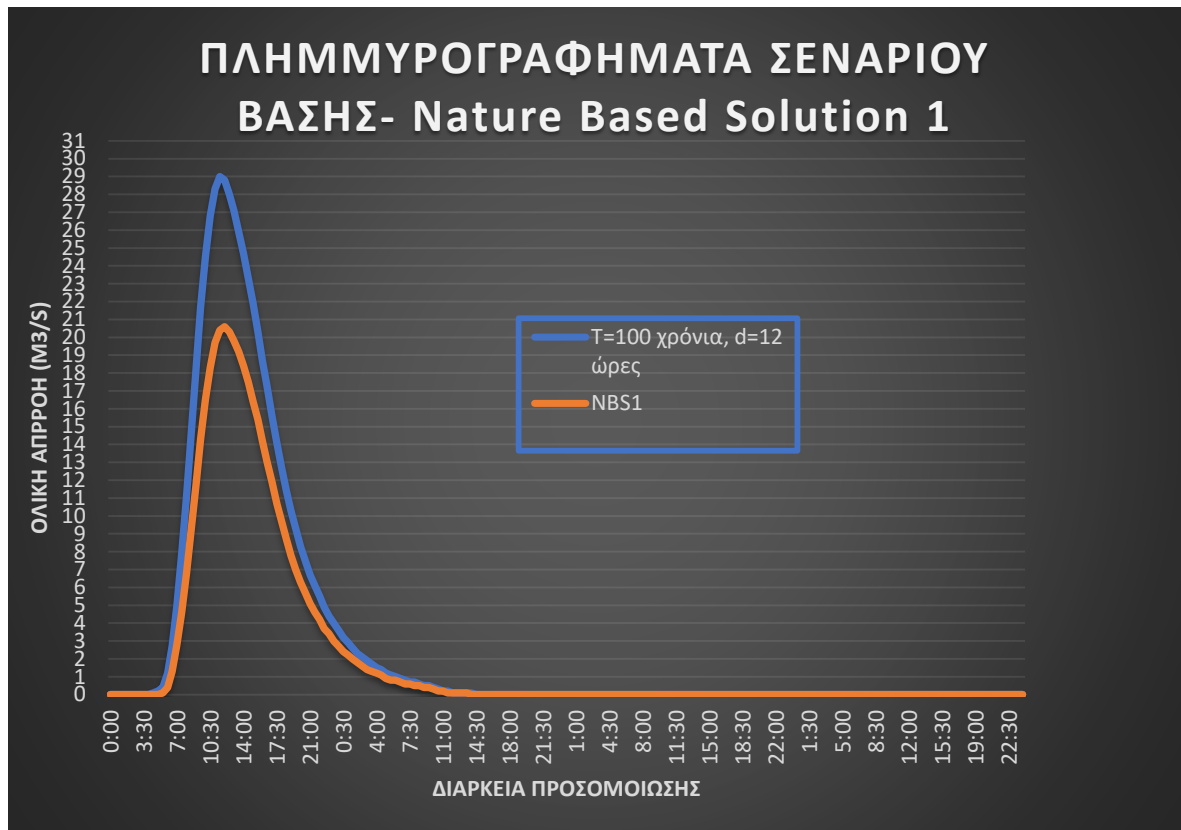
Σχήμα 6.2. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)

Για την ανατολικότερη υπολεκάνη μελέτης, (Σχήμα 6.3), παρατηρείται πως ο ανοδικός κλάδος του πλημμυρογραφήματος για την καταγίδα σεναρίου βάσης λαμβάνει θετική τιμή για πρώτη φορά στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:00, ενώ για το δεύτερο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:30, μισή ώρα αργότερα. Η αιχμή των πλημμυρογραφήματων σημειώνεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 11:00 και για τα 2 σενάρια. Ο μηδενισμός του καθοδικού κλάδου της καμπύλης συμβαίνει για πρώτη φορά και για τα δύο σενάρια στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:30. Το μέγιστο της μπλε καμπύλης αρχικού CN II βρίσκεται αρκετά ψηλότερα με τιμή $99.4 \text{ m}^3/\text{s}$, έναντι $79.2 \text{ m}^3/\text{s}$ της πορτοκαλί καμπύλης. Και σε αυτή τη περίπτωση η μείωση του CN κατά 7 μονάδες προς τα κάτω επιφέρει αρκετά μεγάλη μείωση της πλημμυρικής αιχμής όχι όμως σαν εκείνη που συνέβη στην υπολεκάνη της Βασιλικής. Υπολογίζεται ποσοστιαία μικρότερη μείωση της αιχμής που αντιστοιχεί σε 20%. Όσον αφορά τους πλημμυρικούς όγκους, αποτυπώνεται μικρότερος όγκος 2.65 hm^3 για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι $3,29 \text{ hm}^3$ του σεναρίου φυσικής λύσης βασισμένη στην αλλαγή χρήσεων γης.



Σχήμα 6.3. : Υπολεκάνη Νυδριού (πηγή: HMS)

Για την τελευταία υπολεκάνη του Καλλιγονίου- πόλης Λευκάδας (Σχήμα 6.4), τα αριθμητικά μεγέθη του πλημμυρογραφήματος είναι πολύ μικρότερα. Όπως έχει προαναφερθεί η συγκεκριμένη υπολεκάνη διαθέτει εμβαδό 3-4 φορές μικρότερο από τις υπόλοιπες υπολεκάνες γεγονός που λαμβάνεται υπόψιν στη προσομοίωση του HEC-HMS. Η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για το επεισόδιο βάσης αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:30 ενώ για το δεύτερο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 05:30 δηλαδή μία ώρα αργότερα. Από την άλλη, το πλημμυρογράφημα σεναρίου βάσης μηδενίζεται για πρώτη φορά στις 2 Ιανουαρίου ώρα 14:30 αλλά για το σενάριο NBS1 καταγράφει μηδενική τιμή ένα χρονικό βήμα νωρίτερα. Σχετικά με την αιχμή των καμπυλών, αυτή πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 11:30 για την πρώτη προσομοίωση, ενώ για τη δεύτερη η μέγιστη τιμή παροχής καταγράφεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 12:00. Το σημείο καμψής της μπλε καμπύλης βρίσκεται ψηλότερα με τιμή 29 m³/s, έναντι 20.3 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Η διαφορά αυτή αν και αριθμητικά φαίνεται να είναι μικρότερη, ποσοστιαία αποτελεί τη μεγαλύτερη μείωση συγκριτικά με τα αποτελέσματα στις άλλες δύο υπολεκάνες. Άλλωστε στην υπολεκάνη αυτή έχει προκύψει η μεγαλύτερη μείωση του συντελεστή απωλειών κατά 10 μονάδες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μείωση είναι 29% της αρχικής πλημμυρικής αιχμής. Φαίνεται πως ο CN αποτελεί αρκετά κρίσιμη παράμετρο για τη μεταβολή ενός πλημμυρογραφήματος. Τέλος, ο μικρότερος όγκος της τάξης των 0.94 hm³ αντιστοιχίζεται στην πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 1.05 hm³ του σεναρίου βάσης.



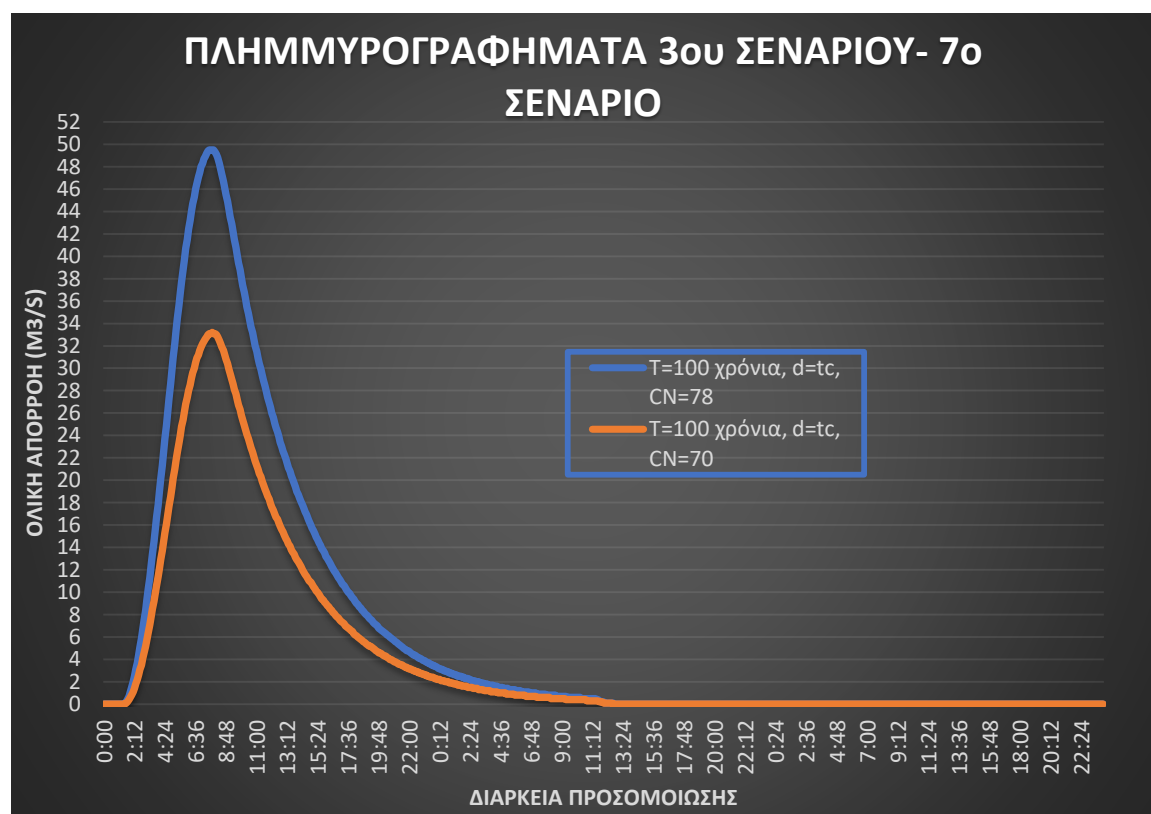
Σχήμα 6.4. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

6.4 Σύγκριση 3^{ου} σεναρίου (d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, CN II)- 7^ο σενάριο (d= 3 ώρες, T=100 χρόνια, τροποποιημένος CN II)

Στη συνέχεια, γίνεται μία παρόμοια σύγκριση αλλάζοντας αυτή τη φορά τη διάρκεια επεισοδίου από 12 ώρες σε 3 ώρες. Πρόκειται για προσομοίωση ανάμεσα σε υετογράφημα σχεδιασμού βροχόπτωσης διάρκειας d=3 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων και CN κατηγορίας II και σε βροχόπτωση διάρκειας d=3 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων αλλά απομειωμένου CN κατηγορίας II λόγω της αλλαγής χρήσεων στην κάλυψη εδάφους. Ειδικότερα, οι μειωμένες τιμές Curve Number είναι 70, 69 και 65 έναντι 78, 76, 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου- πόλης Λευκάδας αντίστοιχα. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης είναι 6 λεπτά και η εκτέλεση της προσομοίωσης διαρκεί 3 μέρες, από 1 Ιανουαρίου 2020 00:00 μέχρι 4 Ιανουαρίου 2020 00:00.

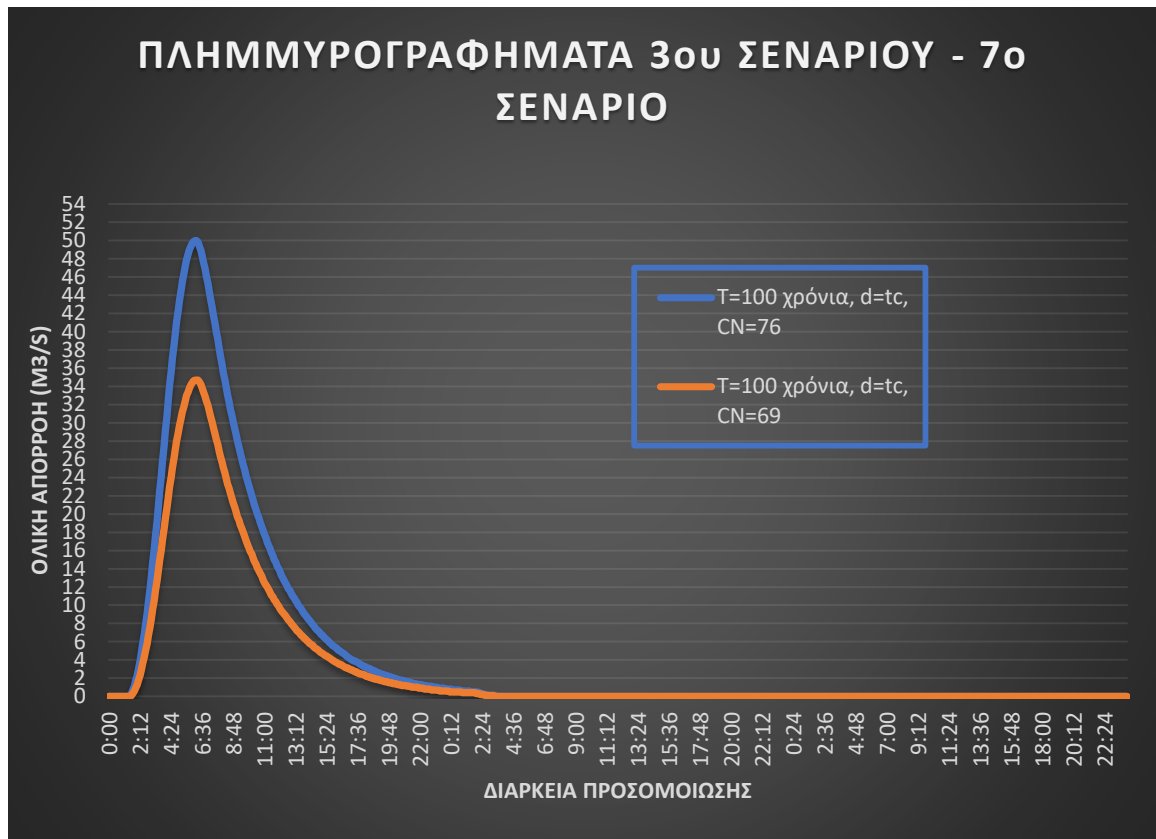
Από την ανάγνωση των πλημμυρογραφημάτων για την υπολεκάνη της Βασιλικής (Σχήμα 6.5), γίνεται αντιληπτό πως η μπλε καμπύλη οδηγεί σε μεγαλύτερο πλημμυρικό όγκο. Συγκεκριμένα προκύπτει 1.15 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 1.71 hm³ του σεναρίου βάσης με αρχικό CN κατηγορίας II. Η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για το επεισόδιο 3^{ου} σεναρίου σημειώνεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:30, ενώ για το επεισόδιο βροχής που προκύπτει από την εφαρμογή της φυσικής λύσης, ο αναδικός κλάδος του διαγράμματος αποκτά θετική τιμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:36 δηλαδή ένα χρονικό βήμα πιο μετά. Ο μηδενισμός του καθοδικού κλάδου του

διαγράμματος 3^{ου} σεναρίου συμβαίνει για πρώτη φορά στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:48, ενώ για το 7^ο σενάριο στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:42. Το σημείο καμψής (peak) των καμπύλων, βρίσκεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 07:42 για το σενάριο βάσης και 6 λεπτά αργότερα της ίδιας μέρας για την φυσική λύση της αλλαγής χρήσεων γης. Το σημείο αλλαγής κυρτότητας της μπλε καμπύλης αρχικού CN II εντοπίζεται πολύ ψηλότερα με τιμή 49.5 m³/s, έναντι 33.2 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Ο ρυθμός μεταβολής της παροχής είναι της τάξης του -33%. Μεταβάλλοντας τον CN κατά 8 μονάδες προς τα κάτω επέρχεται πολύ μεγάλη μείωση της πλημμυρικής αιχμής.



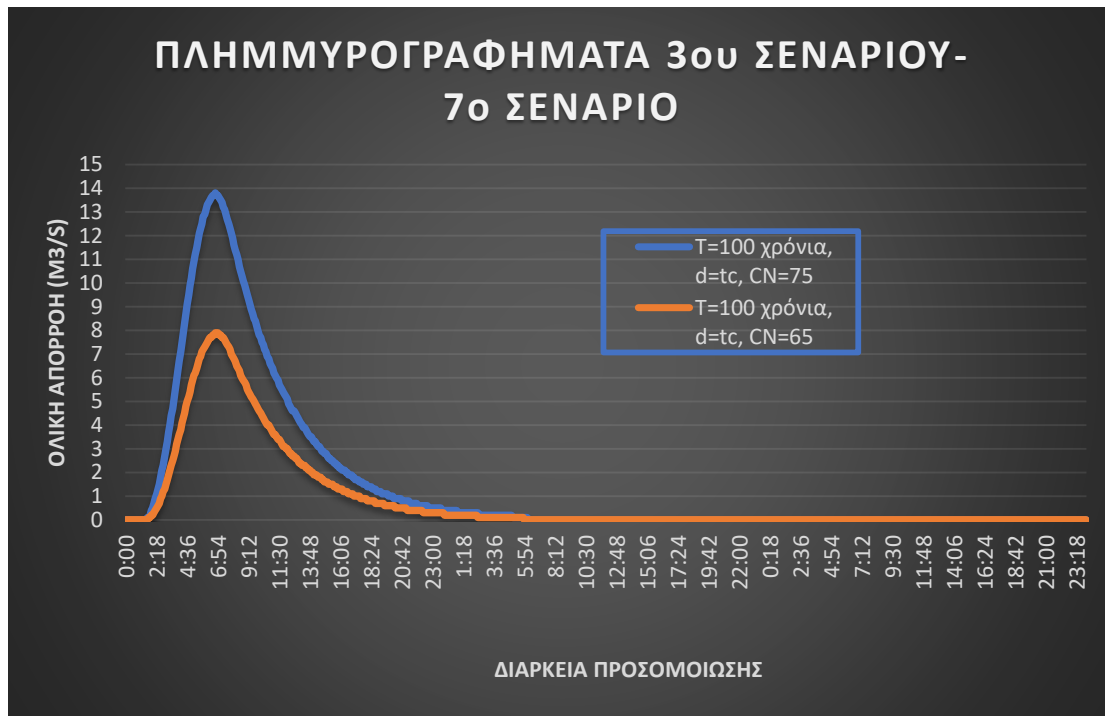
Σχήμα 6.5. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)

Για την υπολεκάνη του Νυδριού (Σχήμα 6.6), παρατηρείται πως το πλημμυρογράφημα της καταιγίδας 3^{ου} σεναρίου σημειώνει ανοδική πορεία για πρώτη φορά στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:30, ενώ για το έβδομο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:36. Ο μηδενισμός του καθοδικού κλάδου της καμπύλης καταγράφεται για πρώτη φορά στις 2 Ιανουαρίου ώρα 03:24 για τη βροχή 3^{ου} σεναρίου και 6 λεπτά νωρίτερα για το έβδομο σενάριο. Η αιχμή των διαγραμμάτων πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:06 και στη 1 Ιανουαρίου 06:12 ώρα αντίστοιχα για τα δύο σενάρια. Η μέγιστη τιμή της μπλε καμπύλης αρχικού CN II βρίσκεται αρκετά ψηλότερα ίση με 50.0 m³/s, έναντι 34.7 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Ο μειωμένος CN κατά 7 μονάδες επιφέρει μικρότερη μείωση της πλημμυρικής από αυτή που συνέβη στην υπολεκάνη της Βασιλικής. Η ποσοστιαία μείωση της αιχμής αντιστοιχεί σε 31%. Όσον αφορά τους πλημμυρικούς όγκους, αποτυπώνεται μικρότερος όγκος 0.88 hm³ για την πορτοκαλί καμπύλη του σεναρίου φυσικής λύσης βασισμένη στην αλλαγή χρήσεων γης, έναντι 1.27 hm³ της μπλε.



Σχήμα 6.6. : Υπολεκάνη Νυδριού (πηγή: HMS)

Για την βορειότερη υπολεκάνη μελέτης (Σχήμα 6.7), η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής της καταιγίδας 3^{ου} σεναρίου αποκτάται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:36, ενώ για το δεύτερο σενάριο στη 1 Ιανουαρίου ώρα 01:42 δηλαδή έξι λεπτά αργότερα. Από την άλλη, το πλημμυρογράφημα 3^{ου} σεναρίου μηδενίζεται για πρώτη φορά στις 2 Ιανουαρίου ώρα 06:12 και για το σενάριο NBS1ο μηδενισμός συμβαίνει την ίδια μέρα ώρα 05:54. Η μέγιστη τιμή (αιχμή) των διαγραμμάτων, παρατηρείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:42 για την πρώτη προσομοίωση ενώ για τη δεύτερη η μέγιστη τιμή παροχής καταγράφεται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 06:48. Το σημείο αλλαγής κυρτότητας της μπλε καμπύλης βρίσκεται ψηλότερα με τιμή 13.8 m³/s, έναντι 7.9 m³/s της κόκκινης καμπύλης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, με την εφαρμογή μείωσης του συντελεστή απωλειών κατά 10 μονάδες, η μεταβολή είναι 43% προς τα κάτω της αρχικής πλημμυρικής αιχμής και αποτελεί τη μεγαλύτερη μεταβολή αιχμής εκ των τριών υπολεκανών. Τέλος, ο μικρότερος όγκος της τάξης των 0.23 hm³ αντιστοιχίζεται στην πορτοκαλί καμπύλη, έναντι 0.40 hm³ της μπλε.



Σχήμα 6.7. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

6.3 Λίμνες συγκράτησης υδάτινων όγκων (retention ponds)

Μία ακόμα λύση συμμορφωμένη με τη φύση έναντι στις πλημμύρες θα μπορούσε να είναι αυτή των τεχνητών λιμνών. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τεχνητών λιμνών, οι λίμνες απλής κατακράτησης νερού (detention ponds) και οι λίμνες συγκράτησης νερού (retention ponds). Η διαφορά μεταξύ των δύο, έγκειται στο γεγονός ότι οι πρώτες κρατούν προσωρινά όγκους νερού, ενώ οι δεύτερες μπορούν να συγκρατούν νερό για μεγάλο διάστημα παρέχοντας και άλλες λειτουργίες πέραν της απλής αποθήκευσης υδάτων. Η ικανότητα συγκράτησης οφείλεται στην υψομετρική διαφορά τοποθέτησης του αναβαθμού και του στομίου πυθμένα στις δύο κατηγορίες λιμνών, καθώς στην πρώτη τοποθετείται πολύ ψηλότερα από τη δεύτερη και άρα το νερό δεν συγκρατείται. Ο σχεδιασμός των λιμνών συγκράτησης είναι τέτοιος ώστε να αποθηκεύουν για 14 έως 21 μέρες το νερό που απορρέει, διάστημα μέχρις ότου αποστραγγιστεί φυσικά διαμέσου των εδαφικών υλικών (Wessler Engineering, 2015). Ο ρόλος των λιμνών αυτών, είναι πως αποθηκεύοντας και έπειτα διοδεύοντας συγκεκριμένα κυβικά μέτρα νερού, καταφέρνουν να ρίχνουν την αιχμή της πλημμύρας, μεγαλώνουν τη χρονική βάση της πλημμύρας και εν τέλει μειώνουν τον πλημμυρικό όγκο.

Όσον αφορά τη διαστασιολόγηση των λιμνών συγκράτησης, η κεντρική ιδέα είναι πως κατασκευάζεται σύστημα λιμνών κατά μήκος του κύριου υδατορέματος εκατέρωθεν αυτού, σε μη εκμεταλλεζόμενες εκτάσεις γης. Το εμβαδό του συνόλου των λιμνών σε εντός αστικού ιστού, καλό είναι να αντιστοιχεί στο 5-10% της ολικής επιφάνειας από την οποία συλλέγουν νερό, ενώ για περιβάλλον μη αστικό δεν υπάρχει κάποια υπόδειξη. Εξαιτίας του μικρού βάθους τους και του εγκυβωτισμού τους σε σχετικά επίπεδες επιφάνειες, περιλαμβάνουν μικρής κλίμακας εργασίες κυρίως χωματουργικού χαρακτήρα, ξεφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο και από την κατηγορία των «γκρι»

κατασκευών. Ο όγκος γαιών που προκύπτει από τις εκσκαφές, χρησιμοποιείται για την περιμετρική ενίσχυση του ταμιευτήρα με τη δημιουργία ίσως κάποιων χωμάτινων τοιχωμάτων. Τέλος, από άποψη συνεισφοράς στο περιβάλλον, οι τεχνητές λίμνες θα μπορούσαν να αποκαταστήσουν τη βιοποικιλότητα που ίσως διαταράξουν κατά τις εργασίες εκσκαφών, δημιουργώντας έναν κατάλληλο βιότοπο για είδη φυτών και ζώων.

Η λύση αυτή των λιμνών φυσικά έχει και τα αρνητικά της, με κυριότερο αυτό του κόστους συντήρησης. Καθώς αποτελούν αποδέκτες υδάτων που απορρέουν επιφανειακά, λογικό είναι στη στάθμη πυθμένα να συσσωρεύονται ιζήματα και αποθέσεις. Οπότε ανά χρονικά διαστήματα και με βάση τη συχνότητα λειτουργίας τους, χρειάζεται να δαπανούνται χρηματικά ποσά για την επαναφορά τους σε λειτουργική κατάσταση.

6.3.1 Διαδικασία προσέγγισης

Η διαστασιολόγηση των λιμνών συγκράτησης στις υπολεκάνες αποφασίζεται να γίνει για τα δυσμενέστερα σενάρια περιόδου επαναφοράς $T=100$ ετών, δηλαδή για τη μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή. Τα σενάρια αυτά αντιστοιχούν στα ακόλουθα δεδομένα (Πίνακας 6.2). Γίνεται η θεώρηση πως η συγκεκριμένη φυσική λύση θα επιφέρει μείωση της τάξης του 5% στον ολικό πλημμυρικό όγκο του κύριου υδατορεύματος έκαστης υπολεκάνης.

Πίνακας 6.2 : Οριακές συνθήκες δυσμενέστερων σεναρίων NBS2 (πηγή: HMS)

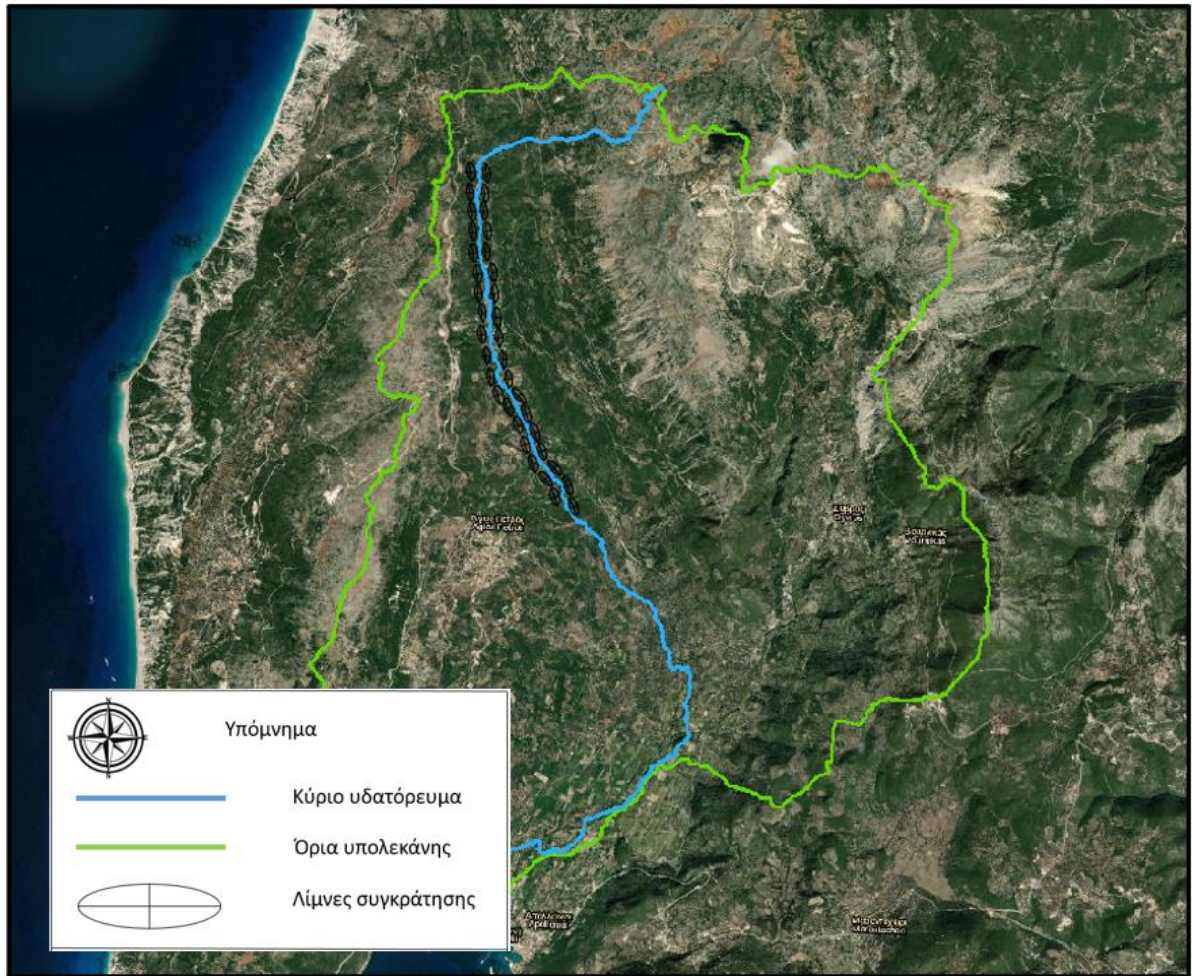
| Δεδομένα | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδας-Καλλιγόνι |
|--------------------------------------|----------|---------|-------------------------|
| CN | 78 | 76 | 75 |
| T (χρόνια) | 100 | 100 | 100 |
| d (ώρες) | 12 | 12 | 12 |
| Πλημμυρικός όγκος (m ³) | 4279200 | 3292800 | 1046800 |
| Πλημμυρικός όγκος (hm ³) | 4.28 | 3.29 | 1.05 |

Βιβλιογραφικά στοιχεία δείχνουν πως το σχήμα των λιμνών συγκράτησης είναι συνήθως ελλειπτικό. Γίνεται η παραδοχή βάθους λειτουργίας των κατασκευών ίσο με 2m, προκειμένου να μην απαιτηθούν υπέρογκες χωματοουργικές εργασίες οι οποίες κοστίζουν και σε επίπεδο οικοσυστήματος αλλά και οικονομικά. Γνωρίζοντας τους πλημμυρικούς όγκους από τα επεισόδια βροχής που εκτελέστηκαν σε περιβάλλον HMS, το βάθος εκσκαφής και μεταβάλλοντας τις διαστάσεις των ελλειπτικών σχημάτων, αποφασίζεται η κατασκευή λιμνών επιφάνειας 3000 m². Δύο διαδοχικές λίμνες της ίδιας όχθης του υδατορεύματος, απέχουν μεταξύ τους απόσταση 10-20 m, εξαρτώμενη από το ανάγλυφο. Η συνεισφορά του συστήματος παρεμβάσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3. : Επιρροή έργου στους πλημμυρικούς όγκους (πηγή: Excel)

| Λίμνες Συγκράτησης | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδας-Καλλιγόνι |
|---|-----------------|--------------|--------------------------------|
| Επιφάνεια λιμνών (m²) | 3000 | 3000 | 3000 |
| Πλήθος λιμνών | 36 | 28 | 9 |
| Αρχικός πλημμυρικός όγκος (hm³) | 4.28 | 3.29 | 1.05 |
| Διαφορά πλημμυρικού όγκου (hm³) | 0.22 | 0.17 | 0.054 |
| Νέος πλημμυρικός όγκος (hm³) | 4.06 | 3.12 | 0.996 |

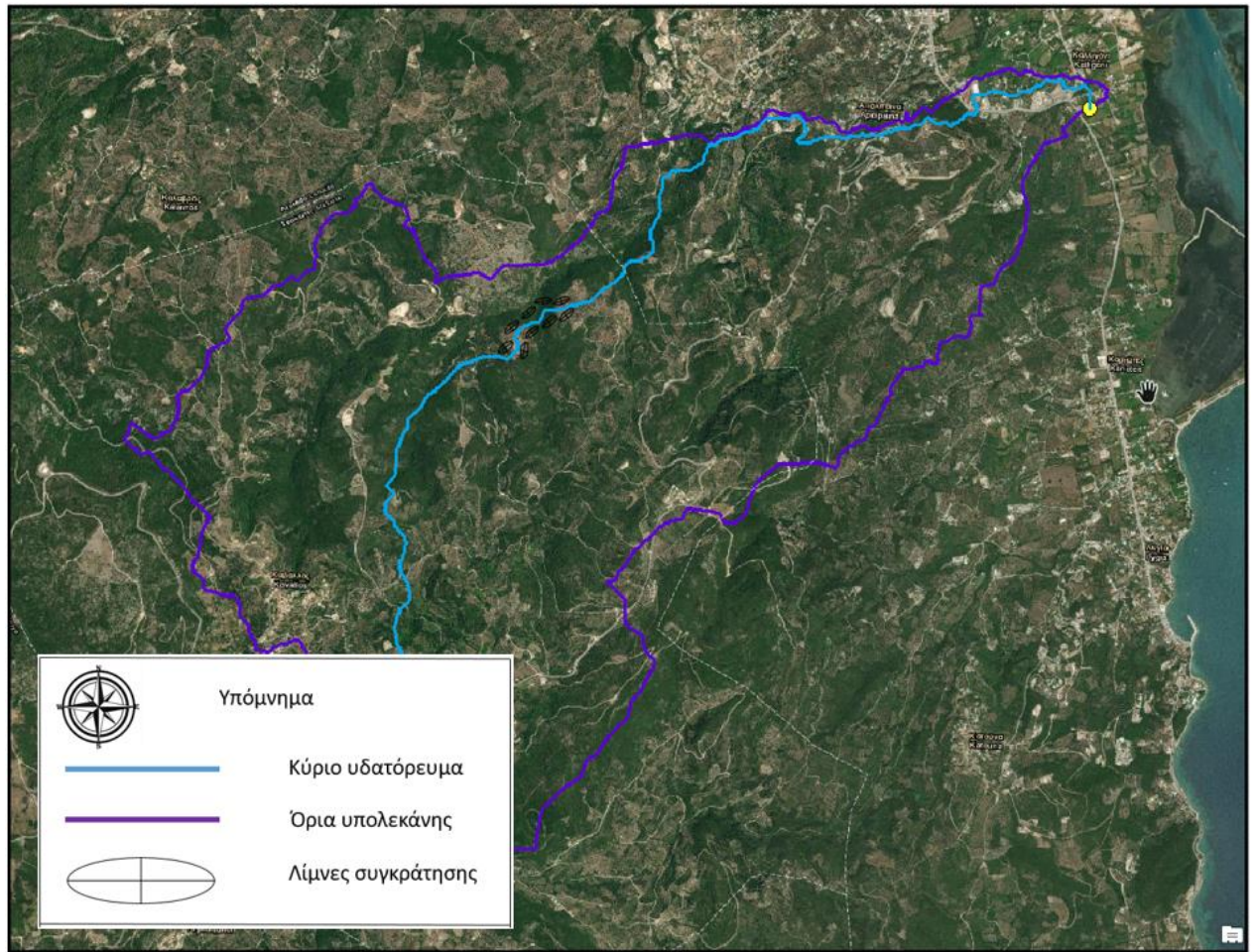
Ο σχεδιασμός των έργων πραγματοποιείται με τη χρήση Autocad σε κλίμακα 1:1 εφαρμόζοντας την εντολή Scale. Για να τοποθετηθούν σε περιβάλλον Autocad, το υπόβαθρο των ορίων υπολεκανών μαζί τα κύρια υδατορέματά τους έγιναν εξαγωγή από το περιβάλλον GIS. Όπως έχει προαναφερθεί η διαμόρφωση των λιμναίων συστημάτων έγινε σε περιοχές που παρουσιάζουν απουσία ανθρώπινης εκμετάλλευσης και πυκών δασικών εκτάσεων. Στα Σχήματα 6.8, 6.9, 6.10 φαίνεται η χωρική τοποθέτηση των retention ponds, ενώ στο Σχήμα 6.11 ένα σκαρίφημα της κατασκευής με διαστάσεις.



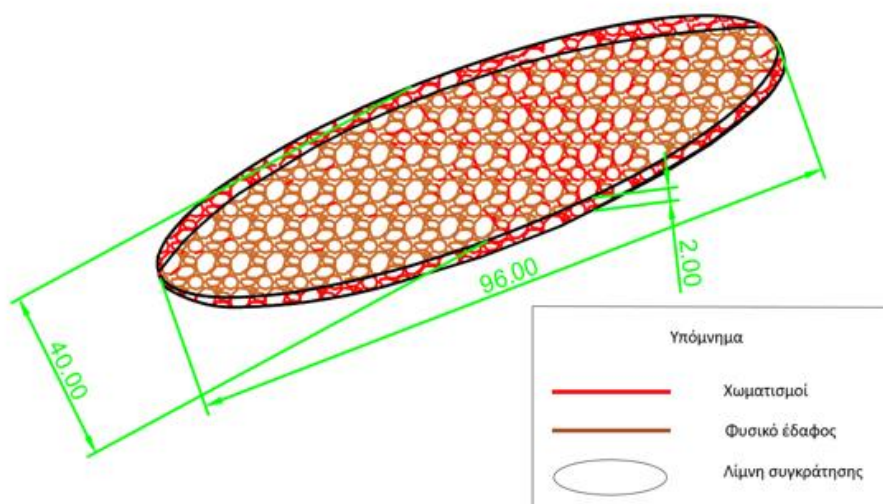
Σχήμα 6.8. : Σύστημα retention ponds υπολεκάνης Βασιλικής (πηγή: Autocad, Gis)



Σχήμα 6.9. : Σύστημα retention ponds υπολεκάνης Νοδριού (πηγή: Autocad, Gis)



Σχήμα 6.10. : Σύστημα *retention ponds* υπολεκάνης Καλλιγονίου-πόλης Λευκάδας (πηγή: Autocad,Gis)



Σχήμα 6.11. : Σκαρίφημα λίμνης συγκράτησης (πηγή: Autocad)

6.3.2 Δημιουργία και σύγκριση σεναρίων

Προκειμένου να παρουσιαστεί η αποτελεσματικότητα της λύσης που προτάθηκε βασισμένη στη φύση, δημιουργείται σενάριο και για τις 3 υπολεκάνες. Διατηρώντας τα ύψη βροχής αμετάβλητα όπως προέκυψαν στο σενάριο βάσης μέσω της μεθόδου εναλλασσόμενων υψών βροχής, στο παραγόμενο πλημμυρογράφημα σχηματίζεται μία οριζόντια ευθεία παράλληλη με τον άξονα των τετμημένων. Ως αρχική δοκιμή η ευθεία διέρχεται από σημείο που αντιστοιχεί στο 75% της μέγιστης παροχής αιχμής. Το χωρίο που περικλείεται πάνω από την σταθερή ευθεία (Εξίσωση 6.1) με την καμπύλη του πλημμυρογραφήματος, αντιπροσωπεύει τον όγκο που αποθηκεύεται από τις λίμνες συγκράτησης.

$$y = c * Qp \text{ (Εξίσωση 6.1)}$$

Όπου,

c: σταθερά που παίρνει τιμές από 0.75 μέχρι 1,

Qp: τιμή παροχής αιχμής εκάστοτε πλημμυρογραφήματος.

Αναλυτικότερα, εφαρμόζοντας την Εξίσωση 6.2, σε κάθε χρονικό βήμα πολλαπλασιάζεται η διαφορά που προκύπτει από την παροχή της καμπύλης πλημμυρογραφήματος αφαιρώντας την τιμή παροχής που βρίσκεται πάνω στην ευθεία. Οι επιμέρους όγκοι των χρονικών βημάτων στη συνέχεια αθροίζονται και δημιουργούν τον πλημμυρικό όγκο συγκράτησης.

$$V = Q * \Delta t \text{ (Εξίσωση 6.2)}$$

Φυσικά πραγματοποιούνται δοκιμές στις τιμές της ευθείας, μετατοπίζοντάς την παράλληλα στον οριζόντιο άξονα τετμημένων μέχρι να επιτευχθεί μία ικανοποιητική

προσέγγιση της τάξεως του 5% μείωσης του αρχικού όγκου πλημμύρας. Επομένως προκύπτει:

- **8^ο σενάριο NBS2** για d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II, μειωμένος πλημμυρικός όγκος

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4. : Χαρακτηριστικά του σεναρίου (Πηγή: Excel)

| Δεδομένα | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος-Καλλιγόνι |
|--|----------|---------|-------------------------|
| CN | 78 | 76 | 75 |
| T (χρόνια) | 100 | 100 | 100 |
| d (ώρες) | 12 | 12 | 12 |
| Μειωμένος πλημμυρικός όγκος (m ³) | 4090600 | 3142800 | 998300 |
| Μειωμένος πλημμυρικός όγκος (hm ³) | 4.09 | 3.14 | 0.998 |

Η σύγκριση του 8^{ου} σεναρίου πραγματοποιείται με τη δυσμενέστερη περίπτωση η οποία αντιστοιχεί στο σενάριο βάσης:

- **Σενάριο βάσης** (d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II) - **8^ο σενάριο NBS2**

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στα ακόλουθα διαγράμματα Ολικής Απορροής-Χρονικών Βημάτων διάρκειας επεισοδίου. Παρατηρείται πως και στις 3 υπολεκάνες η Nature Based Solution έχει λειτουργήσει με επιτυχία, καθώς έχουμε μειωμένους πλημμυρικούς όγκους. Η μορφή των πλημμυρογραφημάτων της NBS2, αντιπροσωπεύεται με μία σταθερή ευθεία η οποία μειώνει την πλημμυρική αιχμή αλλά και γενικότερα τις αρχικές παροχές.

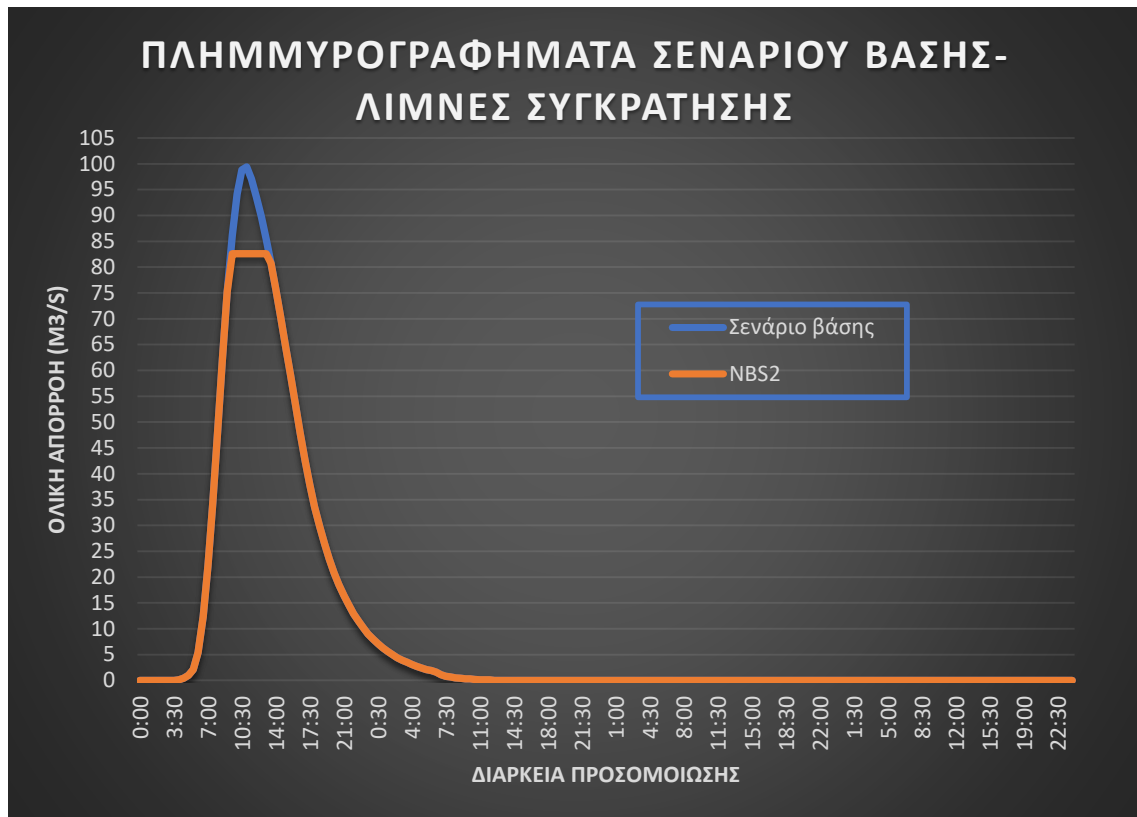
Για την υπολεκάνη της **Βασιλικής**, η εξίσωση της οριζόντιας ευθείας ισούται με το 82.90 % της παροχής αιχμής του σεναρίου βάσης. Προκύπτει νέα πλημμυρική αιχμή 86.05 m³/s και πλημμυρικός όγκος 4.09 hm³ έναντι αρχικών τιμών 103.80 m³/s και 4.28 hm³ (Σχήμα 6.12). Έχει επιτευχθεί μία μείωση της παροχής αιχμής κατά 17.10 %.

Για του **Νυδριού**, ευθεία αποτελείται από σταθερά σημεία με τιμές ίσες με το 83.1 % της πλημμυρικής αιχμής του σεναρίου βάσης. Η νέα πλημμυρική αιχμή ισούται με 82.60 m³/s, ο μειωμένος πλημμυρικός όγκος είναι ίσος με 3.14 hm³ έναντι 99.4 m³/s και 3.29 hm³ (Σχήμα 6.13). Οπότε πραγματοποιείται ένα ποσοστό μείωσης της παροχής 16.90 %.

Τέλος για την υπολεκάνη **Καλλιγονίου-Λευκάδας**, η σταθερή ευθεία παράλληλη με τον άξονα των τετμημένων, ισούται με το 82% της μέγιστης παροχής του πλημμυρογραφήματος. Η μειωμένη πλημμυρική αιχμή είναι ίση με 23.78 m³/s, ο πλημμυρικός όγκος είναι ίσος με 0.998 hm³, έναντι 29 m³/s και 1.05 hm³ (Σχήμα 6.14). Η αιχμή έχει μειωθεί κατά 18.00 %.



Σχήμα 6.12. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)



Σχήμα 6.13. : Υπολεκάνη Νοδριού (πηγή: HMS)



Σχήμα 6.14. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

6.4 Αποτελεσματικότερη φυσική λύση

Αμφότερες οι λύσεις φαίνεται να μειώνουν την πλημμυρική αιχμή και τον πλημμυρικό όγκο, αλλά χρειάζεται να πραγματοποιηθεί και μία σύγκριση μεταξύ των δύο έτσι ώστε να γίνει μία συνολική αποτίμηση και βελτιστοποίηση οφελών, κόστους και αποτελεσματικότητάς τους.

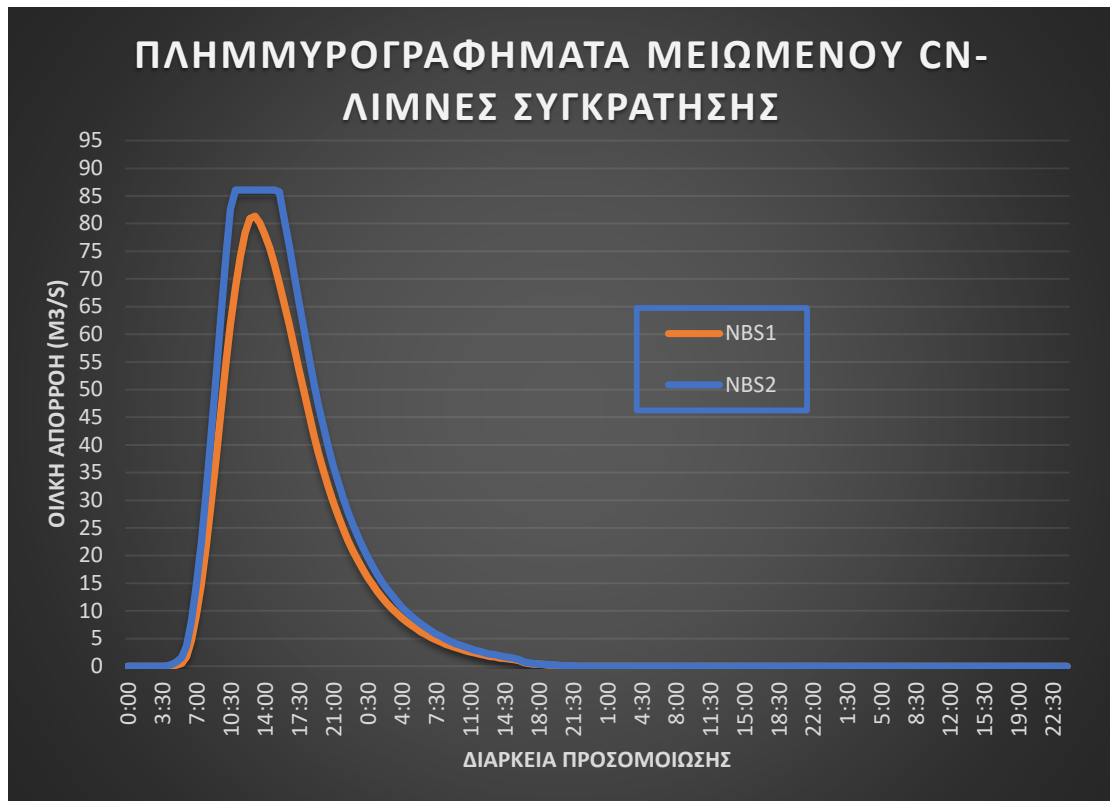
Θα γίνει σύγκριση λοιπόν ανάμεσα σε:

- **6^ο σενάριο NBS1** (d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, μειωμένος CN II) - **8^ο σενάριο NBS2** (d= 12 ώρες, T=100 χρόνια, CN II, μειωμένος πλημμυρικός όγκος)

Όπως παρατηρείται στα παρακάτω διαγράμματα Ολικής Απορροής-Διάρκειας προσομοίωσης επεισοδίου, και στις 3 υπολεκάνες η Nature Based Solution 1 δηλαδή η αλλαγή χρήσεων γης, πλεονεκτεί της Nature Based Solution 2 με τα λιμναιία συστήματα. Η NBS1 έχει λειτουργήσει πολύ αποτελεσματικότερα καθώς χαρακτηρίζεται από μικρότερες πλημμυρικές αιχμές, άρα το εμβαδόν που περικλείεται εντός διαγράμματος είναι μικρότερο και συνεπώς αντιστοιχούν μικρότεροι πλημμυρικοί όγκοι.

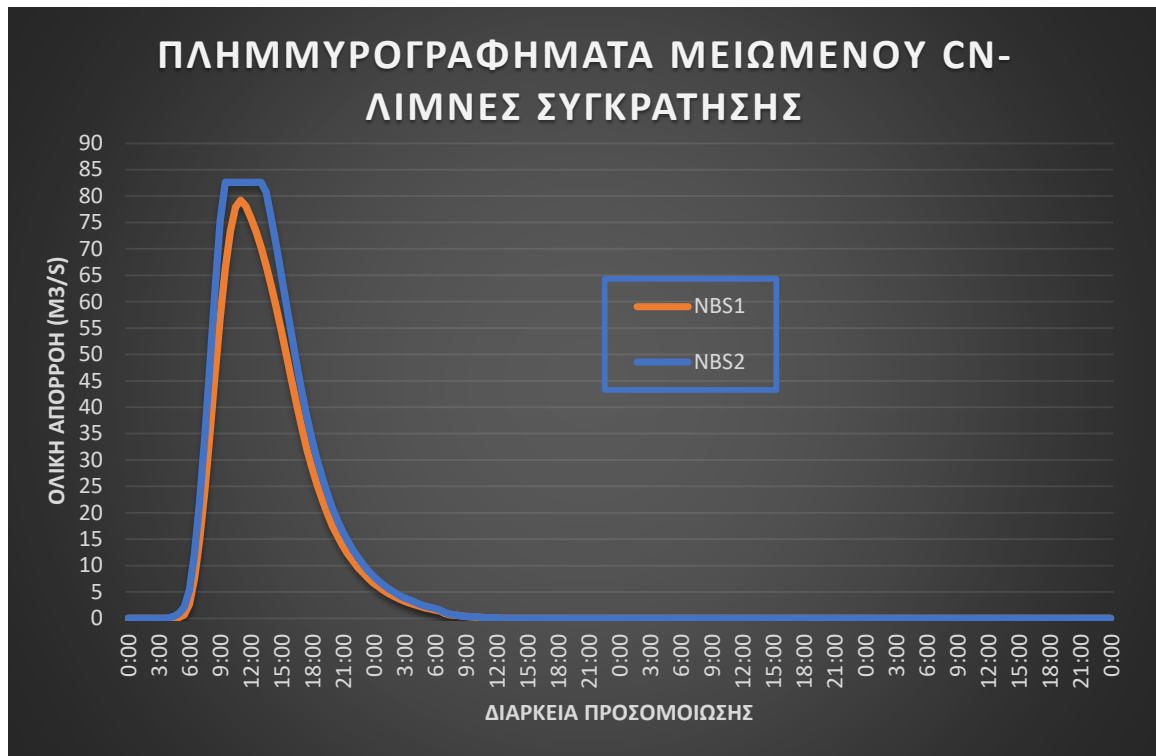
Πιο αναλυτικά θα εντοπιστούν οι διαφορές ανάμεσα σε επεισόδιο βροχής διάρκειας d=12 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων και CN κατηγορίας II με μειωμένο πλημμυρικό όγκο (NBS2) και σε επεισόδιο βροχής διάρκειας d=12 ωρών, περιόδου επαναφοράς 100 χρόνων αλλά απομειωμένου CN κατηγορίας II εξαιτίας της αντικατάστασης βοσκότοπων, καλλιεργιών και αραιής βλάστησης με πυκνά δάση (NBS1). Πιο συγκεκριμένα, οι αρχικές τιμές Curve Number ήταν 78, 76, 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου- Πόλης Λευκάδας, ενώ οι μειωμένες είναι 70, 69 και 65 αντίστοιχα. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης ήταν 30 λεπτά και η εκτέλεση της προσομοίωσης διήρκησε 4 μέρες, από 1 Ιανουαρίου 2020 00:00 μέχρι 5 Ιανουαρίου 2020 00:00.

Σχετικά με την υπολεκάνη της Βασιλικής (Σχήμα 6.15), αρχική διαπίστωση είναι πως η πρώτη θετική τιμή ολικής απορροής για το σενάριο NBS1 αποκτήθηκε στη 1 Ιανουαρίου ώρα 05:00, ενώ για το επεισόδιο βροχής που προκύπτει από την εφαρμογή της φυσικής λύσης των λιμνών, ο ανοδικός κλάδος του διαγράμματος αποκτά θετική τιμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:00 δηλαδή μία ώρα πριν. Η πρώτη μηδενική τιμή καθοδικού άξονα των διαγραμμάτων και των δύο φυσικών λύσεων προκύπτει στις 2 Ιανουαρίου ώρα 21:30. Όσον αφορά την αιχμή (peak) των καμπύλων, αυτή πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 11:00 για τα σενάρια NBS2. Η αιχμή της NBS1 εμφανίζεται 2 ώρες αργότερα. Η μέγιστη τιμή της μπλε καμπύλης αρχικού CN II- μειωμένου όγκου βρίσκεται ψηλότερα με τιμή 86.05 m³/s, έναντι 81.3 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Αντίστοιχα ο πλημμυρικός όγκος προκύπτει 4.09 hm³ για την μπλε καμπύλη, έναντι 3.36 hm³ του σεναρίου με μειωμένο CN.



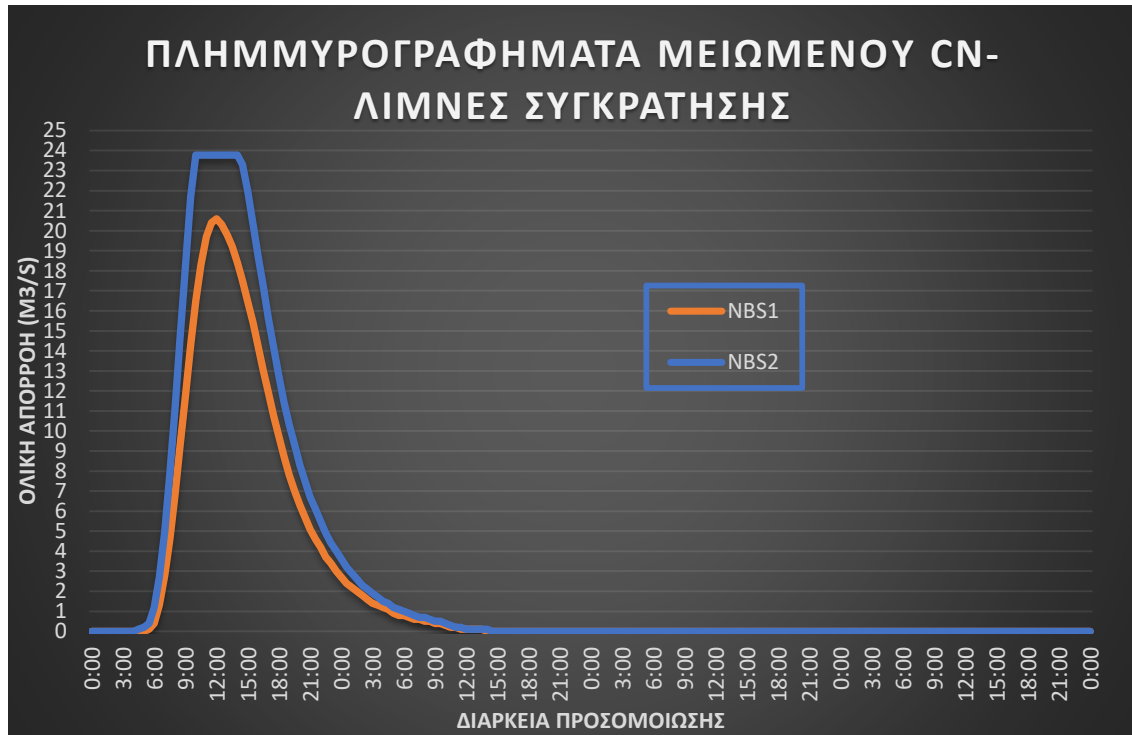
Σχήμα 6.15. : Υπολεκάνη Βασιλικής (πηγή: HMS)

Για την υπολεκάνη του Νυδριού (Σχήμα 6.16) το πλημμυρογράφημα της καταιγίδας σχεδιασμού παραγώμενο με βάση την NBS1, λαμβάνει θετική τιμή για πρώτη φορά στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:30, ενώ για το σενάριο βροχής που προκύπτει από την εφαρμογή της φυσικής λύσης 2, ο ανοδικός κλάδος του διαγράμματος αποκτά θετική τιμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:00 δηλαδή μισή ώρα νωρίτερα. Η πρώτη μηδενική τιμή καθοδικού άξονα των διαγραμμάτων και των δύο φυσικών λύσεων προκύπτει στις 2 Ιανουαρίου ώρα 12:30. Η αιχμή των καμπύλων, πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 09:30 για την NBS2 ενώ για την NBS1 παρατηρείται μιάμιση ώρα αργότερα. Το μέγιστο σημείο της μπλε καμπύλης αρχικού CN II- μειωμένου όγκου βρίσκεται ψηλότερα με τιμή $82.6 \text{ m}^3/\text{s}$, έναντι $79.2 \text{ m}^3/\text{s}$ της πορτοκαλί καμπύλης. Συνεπώς, προκύπτει μεγαλύτερος πλημμυρικός όγκος 3.14 hm^3 για την μπλε καμπύλη, έναντι 2.65 hm^3 του σεναρίου με μειωμένο CN.



Σχήμα 6.16. : Υπολεκάνη Νυδριού (πηγή: HMS)

Τέλος, όσον αφορά την υπολεκάνη του Καλλιγονίου-Λευκάδας (Σχήμα 6.17), η αιχμή των καμπύλων πραγματοποιείται στη 1 Ιανουαρίου ώρα 10:00 για το σενάριο NBS2 και δύο ώρες αργότερα της ίδια μέρας για την NBS1. Ο ανοδικός κλάδος της καταιγίδας σχεδιασμού αλλαγής χρήσεων γης λαμβάνει την πρώτη θετική τιμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 05:30, ενώ στη καταιγίδα που προκύπτει από την εφαρμογή της δεύτερης φυσικής λύσης ο ανοδικός κλάδος του διαγράμματος αποκτά θετική τιμή στη 1 Ιανουαρίου ώρα 04:30 δηλαδή μία ώρα νωρίτερα. Η πρώτη μηδενική τιμή καθοδικού άξονα των διαγραμμάτων και των δύο φυσικών λύσεων καταγράφεται στις 2 Ιανουαρίου ώρα 14:00. Το μέγιστο σημείο της μπλε καμπύλης αρχικού CN II- μειωμένου όγκου βρίσκεται ψηλότερα με τιμή 23.78 m³/s, έναντι 20.6 m³/s της πορτοκαλί καμπύλης. Τέλος, ο πλημμυρικός όγκος προκύπτει 0.998 hm³ σαφώς μεγαλύτερος για το μπλε διάγραμμα, έναντι 0.75 hm³ του σεναρίου με μειωμένο CN.



Σχήμα 6.17. : Υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας (πηγή: HMS)

Στους Πίνακες 6.5 και 6.6, αποτυπώνονται οι διαφορές των δύο φυσικών λύσεων καθώς και η αποτελεσματικότητά τους ανάλογα με τη ποσοστιαία μείωση της αιχμής και του πλημμυρικού όγκου σχετικά με το δυσμενέστερο σενάριο περιόδου 100 ετών, αυτό του σεναρίου βάσης.

Πίνακας 6.5 : Σύγκριση Nature Based Solutions (πηγή: HMS)

| Nature Based Solutions | Μεγέθη | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος-Καλλιγόνη |
|------------------------|--------------------------------------|----------|-------|-------------------------|
| NBS1 | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | 81.3 | 79.2 | 20.6 |
| | Πλημμυρικός όγκος (m ³) | 3.36 | 2.65 | 0.75 |
| NBS2 | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | 86.05 | 82.6 | 23.78 |
| | Πλημμυρικός όγκος (m ³) | 4.09 | 3.14 | 0.998 |

Πίνακας 6.6 : Αποτελεσματικότητα Nature Based Solutions (πηγή: HMS)

| Nature Based Solutions | Μεγέθη | Βασιλική | Νυδρί | πόλη Λευκάδος-Καλλιγόνι |
|------------------------|--------------------------------------|----------|---------|-------------------------|
| NBS1 | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | 81.3 | 79.2 | 20.6 |
| | Πλημμυρικός όγκος (m ³) | 3.36 | 2.65 | 0.75 |
| NBS2 | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | 86.05 | 82.6 | 23.78 |
| | Πλημμυρικός όγκος (m ³) | 4.09 | 3.14 | 0.998 |
| ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ | Πλημμυρική αιχμή (m ³ /s) | 103.8 | 99.4 | 29 |
| | Πλημμυρικός όγκος (m ³) | 4.28 | 3.29 | 1.05 |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ NBS1 | ΔQ | -21.68% | -20.32% | -28.97% |
| | ΔV | -21.50% | -19.45% | -28.57% |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ NBS2 | ΔQ | -17.10% | -16.90% | -18.00% |
| | ΔV | -4.44% | -4.56% | -4.95% |

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνει χώρα η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στη νήσο Λευκάδας. Η μελέτη εξειδικεύεται σε τρεις λεκάνες απορροής οι οποίες διαθέτουν αστικό ιστό, αποτελούν τουριστικό πόλο έλξης, χαρακτηρίζονται από πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο και αποτελούν αποδέκτες υδάτινων όγκων μετά από εκδήλωση υετού όπως προέκυψε από την πιλοτική μελέτη του Earth Observation Browser. Λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντικότητα των τριών υπολεκάνων, ορίζονται τα σημεία ενδιαφέροντος ανάντη των οικισμών. Για τις υπολεκάνες που απορρέουν στα σημεία προσομοίωσης γίνεται υπολογισμός διάφορων σεναρίων καταγίδων σχεδιασμού με δεδομένα από τις όμβριες καμπύλες του σταθμού της Παλαίρου, ο οποίος αποτελεί τον πλησιέστερο στις υπολεκάνες που μελετώνται με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Διερευνάται επίσης η επιρροή της κλιματικής αλλαγής με αύξηση των υψών βροχόπτωσης κάνοντας ξανά χρήση των εναλλασσόμενων block. Υπολογίζονται έπειτα τα υετογραφήματα σχεδιασμού για βροχοπτώσεις διάρκειας 3 και 12 ωρών, περιόδου επαναφοράς $T=100$ και 200 ετών για όλες τις υπολεκάνες, τα οποία και εισάγονται στο HEC-HMS. Στο λογισμικό ως μέθοδος βροχής-απορροής επιλέγεται το MYG και ειδικότερα το Συνθετικό MYG κατά Snyder. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα πλημμυρογραφήματα όλων των καταγίδων σχεδιασμού για κάθε υπολεκάνη, γίνονται συγκρίσεις μεταξύ τους και εν τέλει προτείνονται δύο σενάρια λύσεων εναρμονισμένων με τη φύση προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα πλημμυρικά γεγονότα.

7.2 Γενικά συμπεράσματα

Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων πηγάζουν σημαντικές διαφορές στα πλημμυρογραφήματα που μορφώθηκαν από την προσομοίωση των καταγίδων σχεδιασμού βροχής. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- Από την ανάλυση σε περιβάλλον GIS προκύπτει η παρουσία πλούσιου υδρογραφικού δικτύου στη νήσο της Λευκάδας.
- Η υδρολογική μελέτη με τη χρήση του λογισμικού HEC-HMS συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη διερεύνηση και κατανόηση της επιρροής των μεγεθών των καταγίδων σχεδιασμού.
- Αύξηση της περιόδου σχεδιασμού δημιουργεί μεγαλύτερα ύψη βροχής και συνεπώς μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή και όγκο πλημμύρας.
- Η μείωση της επιφάνειας μιας υπολεκάνης διατηρώντας αμετάβλητες όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους, οδηγεί αριθμητικά σε μείωση της πλημμύρας αιχμής και του πλημμυρικού όγκου.
- Οι χρήσεις γης, που καταγράφηκαν από το Corine του GIS, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην πλημμυρική αιχμή και στον πλημμυρικό όγκο, καθώς επηρεάζεται η διαπερατότητα του εδάφους και συνεπώς η επιφανειακή απορροή.
- Η συμβολή του συνελεστή απωλειών CN μπορεί να κριθεί ως η καθοριστικότερη για τη μεταβολή των μεγεθών της πλημμύρας.

- Η επιρροή της κλιματικής αλλαγής οδηγεί σε καταιγίδες με μεγαλύτερα ύψη βροχής γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στα μοντέλα προσομοίωσης.
- Η εφαρμογή φυσικών λύσεων μέλλεται σταδιακά να αντικαταστάσει τις συμβατικές «γκρι» κατασκευές. Βέβαια απαιτείται περαιτέρω μελέτη και εφαρμογή σε βάθος κάποιων ετών για να κριθεί η αποτελεσματικότητά τους.
- Η αντικατάσταση κάλυψης γης με πλατύφυλλα δασικά συστήματα επιφέρει μεγάλη μείωση στην επιφανειακή απορροή, καθώς σημαντικοί όγκοι υδάτων συγκρατώνται χάρη στην εδαφική συνοχή που παρέχουν τα δέντρα.
- Η κατασκευή λιμναίων συστημάτων συγκράτησης υδάτων κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος, συμβάλλει στη μείωση της αιχμής και του όγκου ενός πλημμυρικού γεγονότος.

7.3 Ειδικά συμπεράσματα

Τα ειδικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη είναι:

- Αυξάνοντας την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού προκύπτουν μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή και όγκος πλημμύρας. Η προσομοίωση του σεναρίου βάσης για $T=100$ χρόνια, οδηγεί σε αιχμή $103.8 \text{ m}^3/\text{s}$ στη Βασιλική, $99.4 \text{ m}^3/\text{s}$ στο Νυδρί και $29 \text{ m}^3/\text{s}$ στην υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας. Αντίθετα, η ίδια προσομοίωση μεταβάλλοντας μόνο την περίοδο σε 200 χρόνια, έχει ως απόρροια την αύξηση της πλημμυρικής αιχμής σε $124.8 \text{ m}^3/\text{s}$, σε $120.3 \text{ m}^3/\text{s}$ και $35.2 \text{ m}^3/\text{s}$ για τις τρεις υπολεκάνες κατά αντιστοιχία.
- Η υπολεκάνη του Καλλιγονίου, όντας η μικρότερη σε επιφάνεια υπολεκάνη, παρουσιάζει με διαφορά, αριθμητικά τα μικρότερα μεγέθη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σεναρίου βάσης για $T=100$ έτη, διάρκεια βροχής 12 ώρες και CN ίσοι με 78, 76 και 75 για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδριού και Καλλιγονίου-Λευκάδας όπου στις δύο πρώτες υπολεκάνες παρατηρείται αιχμή της τάξεως των $100 \text{ m}^3/\text{s}$ και όγκοι περίπου 4 hm^3 , ενώ στην τελευταία υπολεκάνη η αιχμή και ο όγκος είναι 3 φορές μικρότερα.
- Από τις 3 υπολεκάνες, αυτή της Βασιλικής παρουσιάζει σε όλα τα σενάρια τις μεγαλύτερες τιμές πλημμυρικής αιχμής και όγκου πλημμύρας. Αυτό ερμηνεύεται εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας που καλύπτει παρόλο που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο χρόνο υστέρησης. Συγκεκριμένα για το σενάριο βάσης, στη Βασιλική καταγράφονται αιχμή και όγκος ίσοι με $103.8 \text{ m}^3/\text{s}$ και 4.28 hm^3 , στο Νυδρί σημειώνονται μέγιστη παροχή και όγκος ίσοι με $99.4 \text{ m}^3/\text{s}$ και 3.29 hm^3 ενώ στο Καλλιγόνη-Λευκάδα προκύπτει αιχμή και όγκος ίσα με $29 \text{ m}^3/\text{s}$ και 1.05 hm^3 αντίστοιχα.
- Η επιρροή της αλλαγής χρήσεων γης μειώνοντας τις τιμές αριθμού καμπύλης CN και διατηρώντας αμετάβλητα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, έχει ως απόρροια μείωση της αιχμής και όγκου πλημμύρας. Με μείωση του CN από 78 σε 70 για την υπολεκάνη Βασιλικής, από 76 σε 69 για το Νυδρί και από 75 σε 65 για την υπολεκάνη Καλλιγονίου-Λευκάδας, οι παροχές μεταβάλλονται από $103.8 \text{ m}^3/\text{s}$ σε $81.3 \text{ m}^3/\text{s}$, από $99.4 \text{ m}^3/\text{s}$ σε $79.2 \text{ m}^3/\text{s}$ και από $29 \text{ m}^3/\text{s}$ σε $20.6 \text{ m}^3/\text{s}$ αντίστοιχα για τις τρεις υπολεκάνες.

- Η λύση αλλαγής των χρήσεων γης χρήζει καλύτερης αποτελεσματικότητας συγκριτικά με τη λύση των λιμνών συγκράτησης. Η φυσική λύση βασισμένη στην αλλαγή των χρήσεων γης έχει ως απόρροια τη μείωση της αιχμής σε σχέση με το σενάριο βάσης κατά 21.68%, 20.32% και 28.97% για τις υπολεκάνες Βασιλικής, Νυδρίου και Καλλιγονίου-Λευκάδας αντίστοιχα. Στον αντίποδα, η συνεισφορά των λιμνών συγκράτησης οδηγεί σε μείωση 17.10 % , 16.90 % , 18.00 % για τις τρεις υπολεκάνες.

7.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η διεξαγωγή της παρούσας εργασίας οδηγεί στη γέννηση ζητημάτων που χρήζουν επίλυσης και τα οποία παρατίθενται ακολούθως:

- Μελέτη μεγαλύτερου πλήθους υπολεκανών για διερεύνηση των αποτελεσμάτων σε μεγαλύτερη κλίμακα στο νησί. Πιο συγκεκριμένα, προσομοίωση υπολεκανών στο λογισμικό HEC-HMS, των οποίων τα υδατορεύματα θα συνδέονται απορρέοντας ως ενιαίο σύστημα.
- Μελέτη πιθανής διάβρωσης, στερεομεταφοράς είτε εναπόθεσης ιζημάτων κατά μήκος του ρου των ποταμών στις υπολεκάνες και η επιρροή που θα επιφέρει στο μέγεθος επερχόμενης πλημμύρας.
- Μελέτη πιθανής διαπλάτυνσης της κοίτης του κύριου υδατορεύματος και δημιουργία πλημμυρικής πεδιάδας για απομείωση των μεγεθών της πλημμύρας, ανάντη των οικισμών.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Βαφειάδης, Μ. (2021). *Χρόνοι συγκέντρωσης*. Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων. *1η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΕΛ04)*.

Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο. *Οδηγία 25/2018 για τις πλημμύρες: πρόοδος ως προς την αξιολόγηση των κινδύνων, ανάγκη βελτίωσης του σχεδιασμού και της υλοποίησης*.

Θεοχάρης, Μ. (2015). *Πλημμύρες – Όμβριες καμπύλες*. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, Άρτα.

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

Λίτζιου, Τ. (2020). *Επικινδυνότητα Πλημμύρας και Αστική Ανθεκτικότητα*. Ερευνητική εργασία.

Λουκάς, Α. *Υδρολογικές απώλειες – Καθαρή ή Άμεση απορροή – Υετογράφημα*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Μαμάσης, Ν.(2012). *Πλημμύρες – Εκτίμηση πλημμυρικών αιχμών*.

Μιμίκου, Μ.Α. & Μπαλτάς, Ε. (2012). *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα, έκδοση 5^η.

Μπαλούτσος, Γ., Οικονόμου, Α. & Καούκης, Κ. *Ο κίνδυνος πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά*. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων.

Μπαλτάς, Ε. & Μαμάσης, (2016). *Διεργασίες Υδρολογικού Κύκλου*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων.

Μπαλτάς, Ε. & Μπουρνάς, Α. (2019). *Γεωμορφολογική Ανάλυση Λεκάνης Απορροής χρησιμοποιώντας εργαλεία GIS*.

Μπαλτάς, Ε. & Μπουρνάς, Α.(2019). *Υετογράφημα Σχεδιασμού & Υδρολογικές απώλειες*.

Μπαλτάς, Ε. & Μπουρνάς, Α. (2019). *Χρήσιμα Εργαλεία για το λογισμικό ArcGIS*.

Μπαλτάς, Ε. (2021). *Νέες τεχνολογικές προσεγγίσεις στην αντιμετώπιση αστικών πλημμυρών – Διεθνής εμπειρία*.

Ονοματολογία CORINE Land Cover

Διεθνής

Asian Development Bank (February 2022). *Nature-Based Solutions for Flood Risk Management Revitalizing Philippine Rivers to Boost Climate Resilience and Enhance Environmental Sustainability*.

Beven, K. J. (2020). *Rainfall- Runoff modeling-The primer*. Second Edition.

CORINE Land Cover nomenclature conversion to Land Cover Classification system

European Commission (August 2021). *Evaluating the impact of Nature Based Solutions*. 1st edition

Serinaldi, F. & Kilsby, C. G. (2013). *The intrinsic dependence structure of peak, volume, duration, and average intensity of hyetographs and hydrographs*.

Wasko, C., Westra, S., Nathan, R., Orr, H. G., Villarini, G., Villalobos Herrera R., Fowler, H. J. (2021). *Incorporating climate change in flood estimation guidance*.

Διαδικτυακές παραπομπές

Εθνικό Αστεροσκοπείο, μετεωρολογικός σταθμός Λευκάδος. Ιστότοπος: <https://penteli.meteo.gr/stations/lefkada/>, ανακτήθηκε την 20/03/2023.

Γενική Γραμματεία Υδάτων, Μητρώο ταυτοτήτων υδάτων κολύμβησης της Ελλάδας. Ιστότοπος: <http://www.bathingwaterprofiles.gr/bathingprofiles/GRBW049121040>, ανακτήθηκε την 19/03/2023.

Κουτσογιάννης, Δ., Ρώτη, Σ., Τζεράνης, Ι., Ξανθόπουλος, Θ. (1998). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Όμβριες καμπύλες, Αθήνα. Ιστότοπος: <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/242/?fbclid=IwAR26WR8593Tbk3L0u39JCF0jvR50YT0IUFCJd8WQvL7ApQUXWsE4HxCWqlw>, ανακτήθηκε την 20/05/2023.

Σχέδια Διαχείρισης Πλημμυρών ΥΠΕΚΑ, Όμβριες καμπύλες σε επίπεδο χώρας. Ιστότοπος: https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=604, ανακτήθηκε την 15/05/2023.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Προσαρμογή στη κλιματική αλλαγή. Ιστότοπος: <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/prosarmogi-stin-klimatiki-allagi/>, ανακτήθηκε την 15/03/2023.

Χάρτες Ελλάδος. Ιστότοπος: <http://www.orykta.gr/hartes-elladas>, ανακτήθηκε την 19/03/2023.

Barcelona: *Nature-based Solutions (NBS) Enhancing Resilience to Climate Change*. Ιστότοπος: <https://oppla.eu/casestudy/17283>, ανακτήθηκε την 28/05/2023.

Coordinating Lead Authors: Gensuo Jia, Elena Shevliakova, *Land–climate interactions*. Ιστότοπος: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-2/>, ανακτήθηκε την 22/05/2023.

European Commission, *Environment action programme to 2030*. Ιστότοπος: https://environment.ec.europa.eu/strategy/environment-action-programme-2030_en, ανακτήθηκε την 15/06/2023.

European Commission, *Green Infrastructure*. Ιστότοπος: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en, ανακτήθηκε την 23/05/2023.

European Commission, *Nature-based solutions research policy*. Ιστότοπος: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions/research-policy_en, ανακτήθηκε την 25/05/2023.

Geodata.gov.gr, *Καλλικρατικοί δήμοι*. Ιστότοπος: <http://geodata.gov.gr/dataset/oria-demon-kallikrates/>, ανακτήθηκε την 19/04/2023.

HEC-HMS Users Manual. Ιστότοπος: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.6>.

HelpSaveNature, *Really Interesting Things you need to know about Retention Ponds*. Ιστότοπος: <https://helpsave-nature.com/things-you-need-to-know-about-retention-ponds>, ανακτήθηκε την 27/05/2023.

Sentinelhub, User guide about EO Browser. Ιστότοπος: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/user-guide/>.

United Nations, UNCCD at COP23: nature-based solutions and multi-sectoral approaches to address climate hazards. Ιστότοπος: <https://www.unccd.int/news-stories/stories/unccd-cop23-nature-based-solutions-and-multi-sectoral-approaches-address>, ανακτήθηκε την 03/06/2023.

WESSLER ENGINEERING, *Stormwater Basins: How Detention and Retention Ponds work*. Ιστότοπος: <https://info.wesslerengineering.com/blog/stormwater-basins-detention-retention-ponds>, ανακτήθηκε την 27/05/2023.