



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ  
ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΛΥΣΕΩΝ  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΦΥΣΗ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ**

*Παπαγεωργίου Γ. Βασιλική*

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων: Καθηγητής Χ. Μακρόπουλος

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»  
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

**Ανάπτυξη και Διερεύνηση Σεναρίων για τη Διαχείριση του Νερού  
Μέσω Λύσεων Βασισμένων στη Φύση στη Βόρεια Εύβοια**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Παπαγεωργίου Βασιλική  
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ.

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Μακρόπουλος, Ε.Μ.Π.

Τριμελής Επιτροπή:

Χρήστος Μακρόπουλος, Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων)

Μ. Χονδρός

Α. Ευστρατιάδης

**Αθήνα, Φεβρουάριος 2024**

Copyright © Παπαγεωργίου Βασιλική, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που προέρχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας θα γίνει μελέτη για εφαρμογή λύσεων βασισμένων στη φύση (Nature Based Solutions, NBS) στη λεκάνη απορροής του Αρτεμισίου, της Βόρειας Εύβοιας για τη διαχείριση του νερού στα καμένα εδάφη της περιοχής. Η μελέτη εφαρμόζεται στη λεκάνη απορροής (ΛΑΠ) του Αρτεμισίου επιφάνειας 33.56 τ.χλμ., μια από τις περιοχές που έπληξαν οι μεγάλες πυρκαγιές το 2021 και μετέπειτα πλημμύρες το 2023. Αρχικά, διερευνώνται τα φαινόμενα της πυρκαγιάς και της πλημμύρας, και πως αυτά μπορούν να αλληλεξαρτηθούν, καθώς επίσης και οι επιδράσεις τους στο έδαφος και στις χρήσεις γης των περιοχών. Έπειτα, αναλύονται οι λύσεις βασισμένες στη φύση (Nature - Based Solutions) και αναφέρονται ορισμένες έρευνες αλλά και εφαρμογές που έχουν γίνει σε φυσικό περιβάλλον, όπως είναι το η λίμνη Wolong στην Κίνα, το Πάρκο Portofino στην Ιταλία, η μελέτη για χρήση συνδυασμένων Nature – Based Solutions κατά μήκος του Πηνιού, αποκατάσταση παράκτιου οικοσυστήματος στο Ηνωμένο Βασίλειο, κ.ο.κ.

Εν συνεχεία, με γνώμονα την υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής μελέτης και τα δεδομένα από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό παράχθηκε, με τη χρήση του προγράμματος GIS (Geographical Information Systems) και λαμβάνοντας υπόψιν το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), το υδρογραφικό δίκτυο της ΛΑΠ του Αρτεμισίου. Οι προσομοιώσεις του υδρολογικού μοντέλου πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα HEC – HMS, με την μέθοδο SCS Unit Hydrograph και τη μέθοδο SNYDER. Η μελέτη για τον κίνδυνο της πλημμύρας έγινε με την εξέταση έξι σεναρίων, για διάρκεια βροχής  $d = 6h$  και περίοδο επαναφοράς  $T = 25y$ ,  $T = 50y$ ,  $T = 100y$  και για διάρκεια βροχής  $d = 9h$  και περίοδο επαναφοράς  $T = 25y$ ,  $T = 50y$ ,  $T = 100y$ . Η λύση που επιλέχθηκε για την περιοχή μελέτης είναι η δημιουργία δύο πλημμυρικών λιμνών με τη δημιουργία δασικών ρυθμιστικών ζωνών γύρω από τις κοίτες τους. Για την επιλογή της κατάλληλης θέσης τοποθέτησης των λιμνών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Analytical Hierarchy Process (AHP) με κριτήρια την απόσταση από ρέματα, την κλίση του εδάφους, το υψόμετρο, την απόσταση από αστικό ιστό και από οδικό δίκτυο, τις καμένες εκτάσεις και τις χρήσεις γης από το Corine Land Cover 2018 του Ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus. Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό GIS και δημιουργήθηκε ο χάρτης καταλληλότητας, από τον οποίο επιλέχθηκαν τα δύο σημεία εφαρμογής των NBS.



Με δεδομένη την ύπαρξη των δύο πλημμυρικών λιμνών έγινε ξανά η υδρολογική μελέτη της περιοχής στο πρόγραμμα HEC – HMS, της οποίας τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της μελέτης χωρίς την ύπαρξη των λύσεων βασισμένων στη φύση. Για να γίνει πιο αντιληπτή η συμβολή των NBS δημιουργήθηκε το Causal Loop Diagram για την περιοχή μελέτης του Αρτεμισίου, στη Βόρεια Εύβοια, με δεδομένα την υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής, τα αποτελέσματα με τη χρήση λύσεων βασισμένων στη φύση και με εξωτερικούς κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, με τη χρήση του προγράμματος Vensim. Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι αναμενόμενα θετικά με αποτροπή της πλημμύρας στα κατάντι των τεχνητών λιμνών, και μεγάλες προοπτικές ανάκαμψης της βιοποικιλότητας της περιοχής μελέτης.

## Abstract

In the context of this thesis, a study will be conducted on the implementation of Nature-Based Solutions (NBS) in the drainage basin of Artemisio, Northern Euboea, for water management in the burned areas of the region. The study is applied to the drainage basin of Artemisio, covering an area of 33.56 km<sup>2</sup>, one of the areas affected by the major wildfires in 2021 and subsequent floods in 2023. Initially, the phenomena of fire and flood are investigated, and how they can be interrelated, as well as their effects on the soil and land uses of the areas. Moreover, Nature-Based Solutions are analyzed, as well as some researches and applications are mentioned, such as Lake Wolong in China, Portofino Park in Italy, the study research of the use of combined Nature-Based Solutions along the Pinios River, coastal ecosystem restoration in the United Kingdom, etc.

Subsequently, based on the existing situation of the study area and data from the nearest meteorological station, using GIS (Geographical Information Systems) and considering the Digital Elevation Model (DEM), the hydrographic network of the drainage basin of Artemisio is generated. The simulations of the hydrological model were carried out using the HEC-HMS program, with the SCS Unit Hydrograph method and the SNYDER method. The flood risk assessment was conducted by examining six scenarios, for a rainfall duration of  $d = 6\text{h}$  and return period  $T = 25\text{y}$ ,  $T = 50\text{y}$ ,  $T = 100\text{y}$ , and for a rainfall duration of  $d = 9\text{h}$  and return period  $T = 25\text{y}$ ,  $T = 50\text{y}$ ,  $T = 100\text{y}$ . The selected solution for the study area is the creation of two flood lakes with the establishment of forest buffer zones around their beds. The selection of the suitable placement position for the lakes utilized the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, considering criteria such as distance from streams, soil slope, elevation, distance from urban areas and road network, burned areas, and land use from the Corine Land Cover 2018 of the European Copernicus program. This data was imported into GIS software to create a suitability map, from which two application points for Nature-Based Solutions (NBS) were selected.

Given the existence of the two flood lakes, a hydrological study of the area was re-conducted using the HEC-HMS program. The results were compared with the study results without the presence of nature-based solutions. To better understand the contribution of NBS, a Causal Loop Diagram was created for the study area of Artemisio, in Northern Evia, incorporating

the existing state of the area, the results using nature-based solutions, and external socioeconomic factors using the Vensim program. The study results are expected to be positive, with flood prevention in the areas of the artificial lakes and significant prospects for the recovery of the biodiversity of the study area.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	5
Περιεχόμενα .....	7
Extended Abstract .....	8
1. Εισαγωγή.....	50
1.1. Αντικείμενο της Εργασίας .....	52
1.2. Βασικά Εργαλεία .....	53
1.3. Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών .....	56
1.4. Οι πλημμύρες στις δασικές εκτάσεις.....	59
2. Εισαγωγή στις λύσεις βασισμένες στη φύση (NATURE BASED SOLUTIONS~NBS) .....	63
2.1. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των λύσεων βασισμένων στη φύση .....	68
2.2. Ποιά η χρήση των System Dynamics (SD) στις λύσεις βασισμένες στη φύση (NBS).....	70
2.3. Παραδείγματα εφαρμογής NBS συστημάτων στη φύση.....	72
2.3.1. Η ΛΙΜΝΗ WOLONG (ΚΙΝΑ).....	72
2.3.2. ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΟΝΤΑΝΑ ΚΑΙ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ ( BEAVER DAM ANALOG) .....	74
2.3.3. ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΠΑΡΚΟ PORTOFINO (ΙΤΑΛΙΑ).....	76
2.3.4. ΤΟ ΠΕΤΡΙΝΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ.....	78
2.3.5. NBS ΣΤΟΝ ΠΗΝΕΙΟ .....	80
2.3.6. NBS ΣΤΟΝ ΣΠΕΡΧΕΙΟ .....	87
2.4. Μελέτες για εφαρμογή NBS συστημάτων στην υπόλοιπη Ευρώπη.....	93
2.4.1. NBS ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	96
2.4.2. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΣΚΩΤΙΑ .....	98
2.4.3. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΔΟΥΝΑΒΗ .....	100
3. Μελέτη Περίπτωσης NBS στη Βόρεια Εύβοια .....	102
3.1. Γεωμορφολογική Ανάλυση .....	105
3.2. Η λεκάνη απορροής του Αρτεμίσου .....	106
3.3. Εφαρμογή NBS στο Αρτεμίσιο, Β. Εύβοιας.....	117
4. Εφαρμογή System Dynamics στο Αρτεμίσιο Β. Εύβοιας .....	129
5. Συμπεράσματα.....	131
6. Μελλοντική έρευνα .....	133

## Extended Abstract

Nowadays, human activities have reached an advanced level and the ecological awareness is beginning to take significant steps, especially in the industry, researchers are working on ways to alleviate the pressures exerted by climate change (United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998). A set of innovative solutions for managing natural systems in a way that can balance benefits for both nature and society is called Nature-Based Solutions (NBS ~ UWE, Bristol, 2021). The term refers to "techniques inspired by, supported by, or copied from nature" (World Bank Climate Change and Adaptation, DC, 2008), meaning that by applying observations from nature, risks facing today's society, such as intense floods and sudden droughts, are addressed in a more sustainable way, adapting to and integrating with the environment without constructing large infrastructure projects.

Nature-Based Solutions are a technique applied globally, as climate changes have become evident not only to scientists but also to the wider society in its daily life across all geographic regions. Implementing NBS have become essential for the survival of both human species and the rest of the Earth's biodiversity. Examples of such climate changes include sudden snowstorms in Europe in 2023, earthquakes in non-seismic regions, large wildfires followed by severe droughts and subsequent floods. Examples in Greece include the floods in Mandra, Attica, in November 2017, where radar measurements from the National Observatory recorded rainfall exceeding 200 mm in just 6 hours. Subsequent events include floods and strong winds in Halkidiki in July 2019, floods in Thessaly and Magnesia due to the "Ianos" storm in September 2020, a major wildfire that almost burned down Northern Evia in August 2021, followed by a significant flood in September 2023, and the recent storm "Daniel," causing flooding again in Thessaly and some areas of Magnesia.

The current situation in Northern Evia is of great scientific interest, as its mountainous forested areas have been mostly burned, turning fertile soil with rich flora and fauna into a hospitable environment for floods, rich in eroded materials. Evia is the second-largest island in Greece, covering an area of 3,654 square kilometers, with an altitude of 1,734 meters, and a large portion of it covered by forested areas. The destructive wildfire that occurred in Northern Evia from August 3rd to August 11th, 2021, burned an area of 520,000 acres, according to the 2022 forest census, while the unburned areas amounted to 43,940 acres.

These wildfires were expected to be followed by intense floods, as happened in September 2023 with the storm named "ELIAS," causing significant flooding throughout Evia, especially in the burned areas. Heavy rainfall, lasting up to 12 continuous hours, triggered landslides and floods, with the peak in the Istiaia region, where 400 cubic meters of water per acre were recorded in a 24-hour period, and within 6 hours, 150 cubic meters of water per acre.

## **Study Area**

The subject of this Master's Thesis involves the development and exploration of scenarios for water management through Nature-Based Solutions (NBS) in the Northern Evia region, specifically in the Artemisio watershed. The study will examine Nature-Based Solutions in natural environments, both in a theoretical background and in applied studies. Additionally, a model will be developed for the study area to assess and explore scenarios for the performance of nature-based measures in reducing the impacts of wildfire, drought, and floods. In the study and application examples, various approaches are observed, providing a background for the selection of suitable NBS in the Artemisio watershed. The study area has been affected by both wildfires and subsequent floods. The historical context makes it necessary to investigate the impacts of both wildfire and flooding on the geomorphological characteristics of the area, which cannot be studied as a regular natural extension due to these events.

For hydrological simulation, the HEC-HMS 4.11 program was used, while the ArcMap 10.3 program, in conjunction with the HEC-GeoHMS toolbox, was used for the geomorphological analysis of the watershed. A comprehensive model is applied to estimate the Unit Hydrograph (UH), using Isochrone Curves. The study for selecting the appropriate type of NBS was conducted by examining six scenarios for rainfall duration and recovery period. Two artificial flood ponds were chosen, along with forested regulatory zones around them. The Analytical Hierarchy Process (AHP) analysis is then applied to create a suitability map for the points where NBS can be implemented. From this map, two locations are selected. With the presence of the two ponds, the hydrological model is solved again, and differences between the models are observed. Additionally, using the Vensim program, a Causal Loop Diagram is created to study the dynamics of the flood ponds system in Artemisio on both environmental and socio-economic scales in relation to the existing situation. The study of System Dynamics (SD) is often conducted to understand the complex interactions within the system, providing insights into the dynamic behavior of the flood ponds in the Artemisio region.

## **The Forest Fires**

Forest fires are an integral part of natural ecosystems, occurring at regular intervals as part of the natural life cycle, often triggered by events such as lightning, especially in mature forests of Aleppo pine and hard pine, where fire serves as a regenerative tool. However, when the accumulation of combustible material, including both dead and living plant tissues, exceeds the level that can be recycled, an increase in forest fires is observed (Kalabokidis et al., 2002). During the burning of a forest area, soil erosion occurs as trees, which normally help control water momentum, are no longer present. This leads to increased flooding in downstream areas. Additionally, wildfires can cause soil hydrophobia, making the soil less permeable and leading to increased runoff and the transport of sediments.

Furthermore, forest fires affect various soil properties. The intensity, type of fire, as well as the temperatures developed on the soil surface and within the soil mass, in relation to their duration, influence the changes observed (De Bano et al., 1979). The main changes are observed in the nutrient status, acidity, and certain physical properties of the soil. Moreover, forest fires affect soils with a low clay content and reduced buffering capacity more than other soils. Hetsch (1980) measured a decrease in soil acidity from 3.2 to 5.3 in sandy soil in Germany one year after a fire, and four years later, the value had dropped to 4.9. In contrast, Arianoutsou-Farangitaki (1979) recorded pH values ranging from 7.39 to 8.18 in clayey soils on Mount Ymittos, with pH levels from 7.17 to 8.24, after a fire in shrubland. Additionally, after a fire, soil erosion increases, affecting soil productivity. The increase in soil erosion leads to the occurrence of torrential phenomena, contributing fertile fine soil particles to streams. Simultaneously, the fire burns the organic layer on the soil surface, making the soil water repellent and increasing sediment production. Open areas covered by grasses and few shrubs are more easily eroded than dense forests. For this reason, cultivation and preparation of burned forests for reforestation are recommended to be carried out a few months before the onset of autumn rains.

Changes are also observed in soil temperature. When a forest fire breaks out and burns organic matter, temperatures on the soil surface reach 300-400 °C, while temperatures at depths of 1 cm, 3 cm, and 5 cm reach 200-300 °C, 60-80 °C, and 40-50 °C, respectively. On average, soil temperature increases by 10 °C after a fire, due to the death of organic matter,



soil exposure, and changes in physicochemical properties (Liberopoulos, 2008). It is worth noting that clayey soils heat up less compared to sandy soils. Finally, soil moisture retention is significantly affected. The soil has the ability to retain a certain amount of rainfall in the form of moisture. This moisture retention capacity varies by soil type and is determined by factors such as depth, texture, and structure.

### **Floods in Forest Areas**

As mentioned above, forest areas contribute to the retention and storage of a large volume of rainwater, as well as to the protection of the soil from erosion. The impact of vegetation on floods is quantified by the numerical expression of the hydrological processes that take place during a rainfall event. These processes include water retention by plants, foliage, and humus, the infiltration of rain into the soil, surface and subsurface runoff, permanent and temporary water retention in the soil as moisture, and soil erosion.

The geological morphology of the soil in the area of Euboea consists mainly of schistoliths, fine-grained sedimentary rock containing a mixture of clay minerals and microscopic fragments of other minerals such as calcite and quartz, and is a waterproof rock with low mechanical strength. As a result, water is not retained in these soils, and it flows downhill through surface runoff.

### **Introduction to Nature – Based Solutions**

Natural-based solutions (NBS) are actions inspired and supported by nature, effective in terms of their cost while providing environmental, social, and economic benefits, thus building resilience, which is essential for climate change. Essentially, they are actions inspired by the functioning of nature, creating harmonious environments through locally adapted, efficient resources, and systemic interventions. Their practices help increase biodiversity, absorb carbon dioxide, contribute to climate balance, aid in the proper management of natural resources, offer natural restoration, and simultaneously install green upgrades in urban landscapes.

NBS systems have eight principles:

1. Embrace the rules of nature in technical works.
2. Can be applied alone or in combination with other solutions to social challenges (e.g., technological and engineering solutions).
3. Determined by local, natural, and cultural uniqueness, resulting from the blend of traditional, local, and scientific knowledge.
4. Produce social benefits in a fair manner, establishing transparency and broad participation.
5. Maintain biological and cultural diversity and the ability of ecosystems to evolve over time.
6. Applied at a landscape scale.
7. Recognize the trade-off between the immediate economic benefits and those derived over time from the full development of ecosystem services.
8. Integral parts of policy designs, measures, or actions to address specific challenges.

According to the International Union for Conservation of Nature (IUCN), NBS systems are "actions for the protection, sustainable management, and restoration of natural or modified ecosystems." The backbone of nature-based solutions is the sustainable management and restoration of ecological balance, through direct addressing of environmental and socio-economic challenges. Based on these challenges, IUCN has categorized these solutions into five categories:

1. Ecosystem restoration approaches involve actions that improve any degraded ecosystem, including agricultural areas, savannas, wetlands, protected wildlife reserves, fisheries, managed plantations, rivers, coastal areas, and many more. The tangible benefits of this decade can be found in the Sustainable Development Goals (SDGs), such as nature-based solutions for climate change mitigation and adaptation, water and food security, poverty reduction, economic development, and biodiversity conservation.
2. Approaches for agriculture and soil biodiversity aim to promote dialogue between the agriculture and conservation sectors and encourage governments, businesses, and land managers (including rural communities) to implement a common vision for

protecting and restoring biodiversity in farms and rural landscapes, including the ecosystems on which agriculture depends.



3. Approaches related to disaster risk reduction should not be considered in isolation, but rather addressed through integrated landscape-scale approaches and incorporated into broader examples of development and conservation. Ecosystem-based disaster risk reduction (Eco-DRR) and ecosystem-based adaptation (EbA) are relevant approaches that can be considered continuous, from mitigating large-scale disasters such as tsunamis and landslides, to adapting to different climate conditions.
4. Approaches related to climate change, with the reduction of greenhouse gas emissions related to deforestation and land use, the collection and storage of carbon dioxide from the atmosphere, and the enhancement of ecosystem resilience, supporting society to adapt to climate risks such as floods, sea level rise, more frequent and intense droughts, heatwaves, and wildfires.
5. Approaches related to urban areas, which can improve the economic and aesthetic sustainability, resilience, and viability of cities. Trees clean pollutants, reduce noise, and cool the air. Wetlands and rain gardens reduce the risk of flooding. Seaweeds and marshes regulate storms. Green spaces facilitate exercise, mental well-being, and community interaction, while green corridors support active transportation.











Beyond the categorization promoted by the IUCN, at the European level, according to Eggermont, et al. (2015, p. 244), these solutions are distinguished into three types based on their degree of intervention in the environment:

1. **Type 1: Minimal intervention in the ecosystem.** In this case, the interventions are of very low intensity, in order to maintain and improve the existing protection. Characteristic cases include the protection of coastal areas threatened by extreme weather conditions, as well as protected areas and transition areas where a community lives and works sustainably.
2. **Type 2: Partial intervention in the ecosystem.** This type is directly related to agriculture and forest areas. Its goal is to increase the functionality of existing agricultural areas and to increase the resilience of forests to extreme phenomena.

3. **Type 3: Extensive intervention in the ecosystem.** This type involves the extensive management of ecosystems and the creation of new artificial means to mitigate the impacts on the atmosphere and waters. One of the representative examples mentioned by Eggermont, et al. is "green infrastructure, which operates to restore degraded areas," such as addressing pollution from stormwater.

The two tables below show the three types of interventions in the nature of NBS with color differentiation (Table 1) and an overview of the flood risk reduction that can be achieved within the context of riparian ecosystems depending on the degree of intervention required to implement them (Table 2).

NbS Intervention	Description	Benefit	Category
<b>Floodplain restoration and management<sup>33</sup></b>	Restoring retention capacity and ecosystem functions of floodplains, by reconnecting them to the river.	Flood risk reduction	
<b>River restoration</b>	Includes NbS interventions such as re-naturalisation of polder areas <sup>34</sup> , stream-bed renaturalisation <sup>35</sup> , reconnection of oxbow lakes and similar features <sup>36</sup> , and reconnection of seasonal streams <sup>37</sup> .	Flood risk reduction	

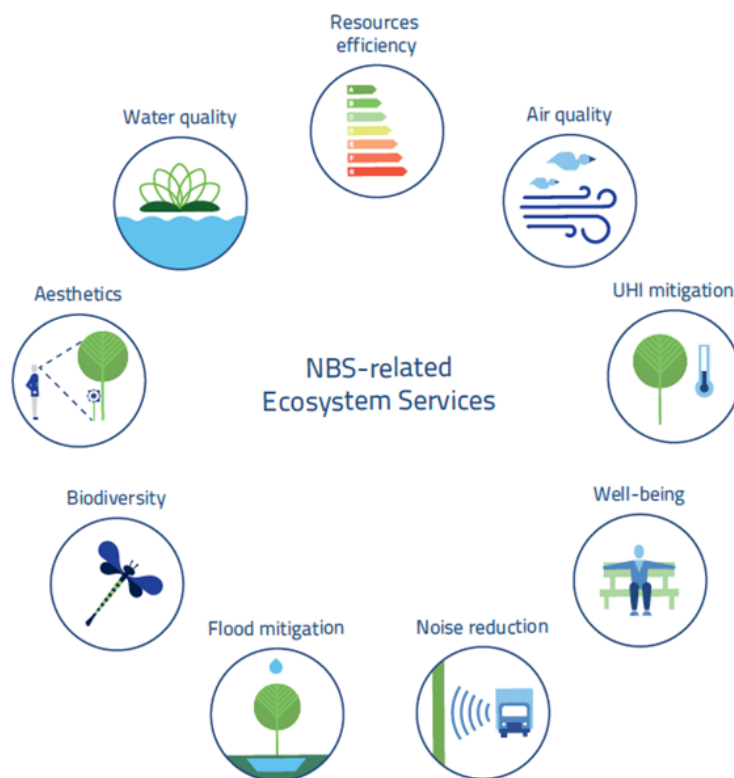
<b>Wetland restoration and management</b>	It can involve technical, spatially large-scale measures (including the installation of ditches for rewetting or the cutback of dikes to enable flooding).	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Basins, ponds, and lakes</b>	Provide temporary or permanent storage for water to flatten the water discharge peak.	Flood risk reduction, water availability	
<b>Low/No till agriculture</b>	Improvements to the management of the agricultural land to increase its retention capacity (e.g., agroforestry <sup>38</sup> ).	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Natural bank stabilisation</b>	Riverbank renaturalisation consists of recovering its ecological components, thus allowing the bank to be stabilised and rivers to move more freely, resulting in decreased water flow and erosion, and enhanced biodiversity.	Biodiversity, Erosion control	
<b>Maintenance of forests</b>	Protection of existing upstream forests. Forest soils generally have better infiltration capacity than other land cover types and may act as a "sponge", slowly releasing rainfall.	Flood risk reduction, water quality, Biodiversity	
<b>Forest riparian buffers</b>	Conservation of existing or restoration of "new" forests alongside river streams and other water bodies.	Recreational opportunities, Erosion control	
<b>Targeted planting for 'catching' precipitation</b>	Establishment of new forests & shrubs (i.e., habitats) to enhance the retention capacity of the watershed (e.g. reforestation).	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Restoration of natural infiltration</b>	Small stone barriers installed in creeks & riverbeds in the mountains to reduce velocity and retain water upstream.	Flood risk reduction	
<b>Coarse woody debris</b>	Deadfall of tree stems or stumps that either fall into or are deliberately placed in streams. Coarse woody debris will generally slow water flow velocity and can reduce the peak of flood hydrographs.	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Removal of dams and other longitudinal barriers</b>	Dams and other longitudinal barriers are obstacles crossing the river section and causing discontinuities for sediment and fauna.	Flood risk reduction, Biodiversity	

Approaches to nature-based solutions have sporadically developed in various time periods. Recently, there has been a notable increase in their inclusion in scientific literature, which arises to a greater extent from their practice rather than their scientific research.

## **The advantages of NBS**

Nature-based solutions (NBS) have many advantages that make them attractive for water resource management and addressing climate change, which the Earth is increasingly facing over time. With the 2000/60/EC Framework Directive, the choices of the European Union member states for water management are limited, as large-scale infrastructure projects are no longer an option. This, combined with the extreme weather phenomena observed in recent years, is pushing researchers to solve problems such as floods and droughts in more ecological and economical ways, which are the nature-based solutions.

Initially, NBS promote biodiversity by creating or enhancing natural ecosystems, restoring or even creating new habitats that, depending on their climatic and geographic characteristics, can protect animal species that are endangered, help existing ones to thrive in their natural environment, and move away from urban areas due to the reduction of forested areas. Additionally, they provide protection from floods and droughts by functioning as natural water absorption systems, reducing the risk of floods, promoting the creation of natural lakes and dams, which improve water resource management during periods of drought. They offer opportunities for community participation in their design and implementation, promoting sustainability, i.e., the use of natural ecosystems to ensure their future quality and balance. In many areas, the general public is given the opportunity to participate in the creation of NBS under the guidance of experts, a prominent example being the WWF Greece's initiative on the island of Naxos, which is further detailed in the next chapter.



One major advantage of NBS is their economic efficiency, as they are much more cost-effective than infrastructure projects, mainly because the raw materials they use are largely provided by the natural environment and do not require tons of artificial materials such as concrete and steel, the prices of which, as well as processing and extraction, are high. Therefore, they offer a more sustainable use of resources, with respect for nature. Additionally, they can help address desertification and soil loss by upgrading groundwater, making the soil more fertile, and creating new forest areas. These factors not only improve the natural environment but also enhance the quality of life for residents of surrounding areas and recreational areas for tourists, thus upgrading the quality of life and tourism in the respective areas. Finally, one could characterize NBS as a form of resistance to climate change, although their role corresponds more to adapting the land to expected climate changes and correcting erroneous human interventions in the natural environment, such as channelization of streams, river narrowing, urbanization of floodplains, etc.

## **What is the use of System Dynamics (SD) in NBS**

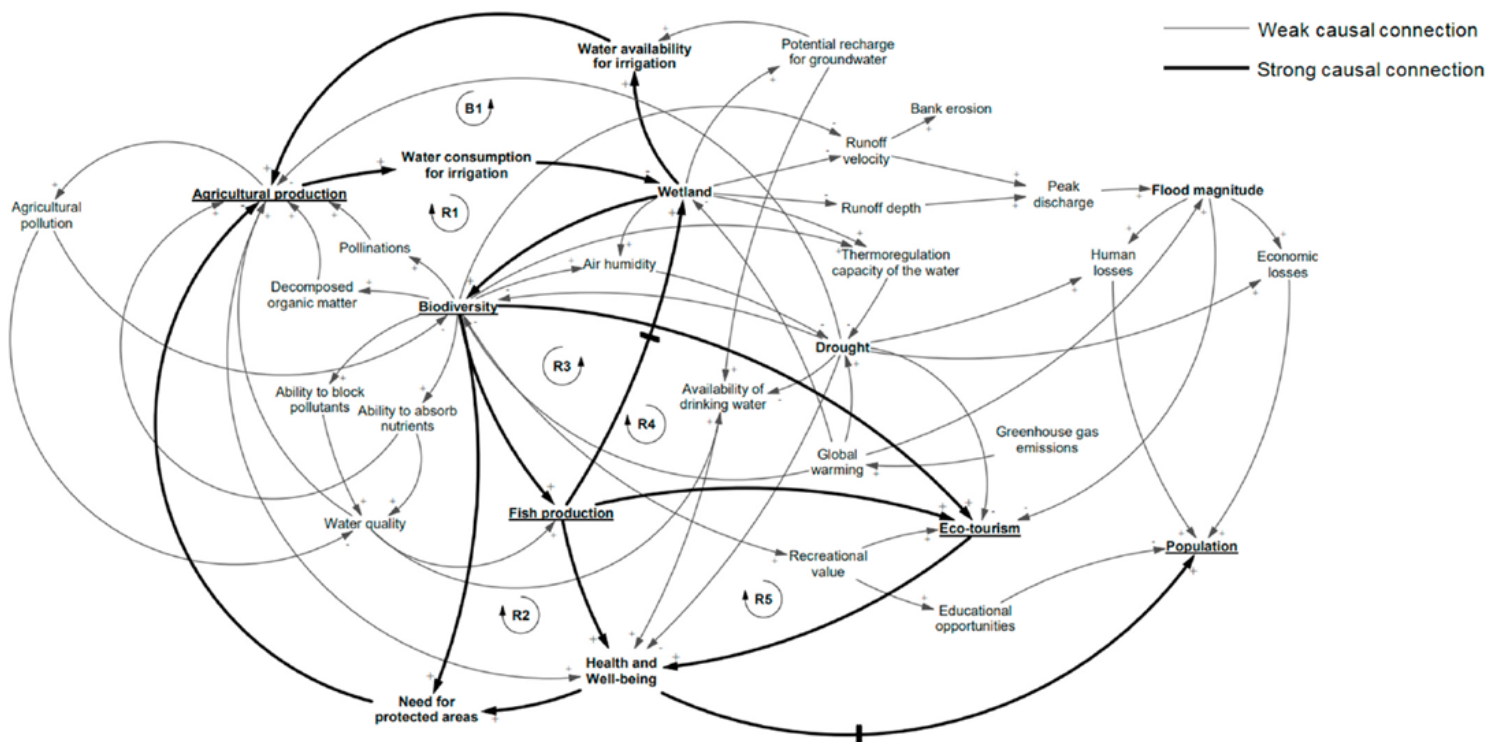
Despite the increasing attention to Nature-Based Solutions (NBS), there is a need for strong evidence of their multiple benefits, as well as assessment frameworks to demonstrate their effectiveness. Existing assessment frameworks are still far from supporting a comprehensive evaluation and decision-making process for the selection and use of appropriate NBS (Calliari et al., 2019). Most of these frameworks focus on analyzing effectiveness in terms of risk reduction. The main limitations are linked to the lack of involvement of stakeholders (Calliari et al., 2019; Narayan et al., 2017) and the limited ability to analyze the potential of NBS to produce co-benefits and describe the dynamics related to their implementation (Kabisch et al., 2016; World Bank, 2017). The use of System Dynamics Models (SDM) can help examine the behavior of complex systems over time by transforming the system into a set of variables through feedback loops (Chen and Wei, 2014; Zomorodian et al., 2018).

Many recent studies have highlighted the importance and potential of stakeholder engagement in the design and management of water resources (de Vito et al., 2019, 2017, Gastelum et al., 2018, Pagano et al., 2018, Wang et al., 2018), as well as in the field of "water security" (Chapman and Darby, 2016, Chen and Wei, 2014, Pagano et al., 2017, Phan et al., 2018). The number of studies using SDMs to conduct comprehensive analysis of the impact of multiple measures, such as NBS, on flood risk and other environmental issues is relatively small. Chu et al. (2010) adopted an SD-based approach to analyze an artificial lake in an urban environment, simulating the impact of multiple different strategies. SDMs have also been used to identify the psychological models of stakeholders and simulate a dynamic wetland (Chen et al., 2014). This technique has also been used to assess flood resilience in the case of typhoons, evaluating the impact of creating green infrastructure (shelter, inflow storage facilities, and permeable roads) (Song et al., 2018).

The use of System Dynamics achieves active collaboration and the combination of different specializations and interdisciplinary skills, thus building greater confidence in the models (Zomorodian et al., 2018). Furthermore, it contributes to the identification of complex interactions among system elements, helping to predict potential impacts or political resistance (Meinherz and Videira, 2018; Pluchinotta et al., 2019a), as well as to identify suitable strategies for influencing systems (Lopes and Videira, 2017). Finally, beyond modeling, the entire process promotes the awareness and motivation of those involved in



decision-making processes or policy determination, thus providing a platform for the shared ownership of results (Pluchinotta et al., 2019b, 2018, Rich et al., 2018).



## Examples of application of NBS in nature

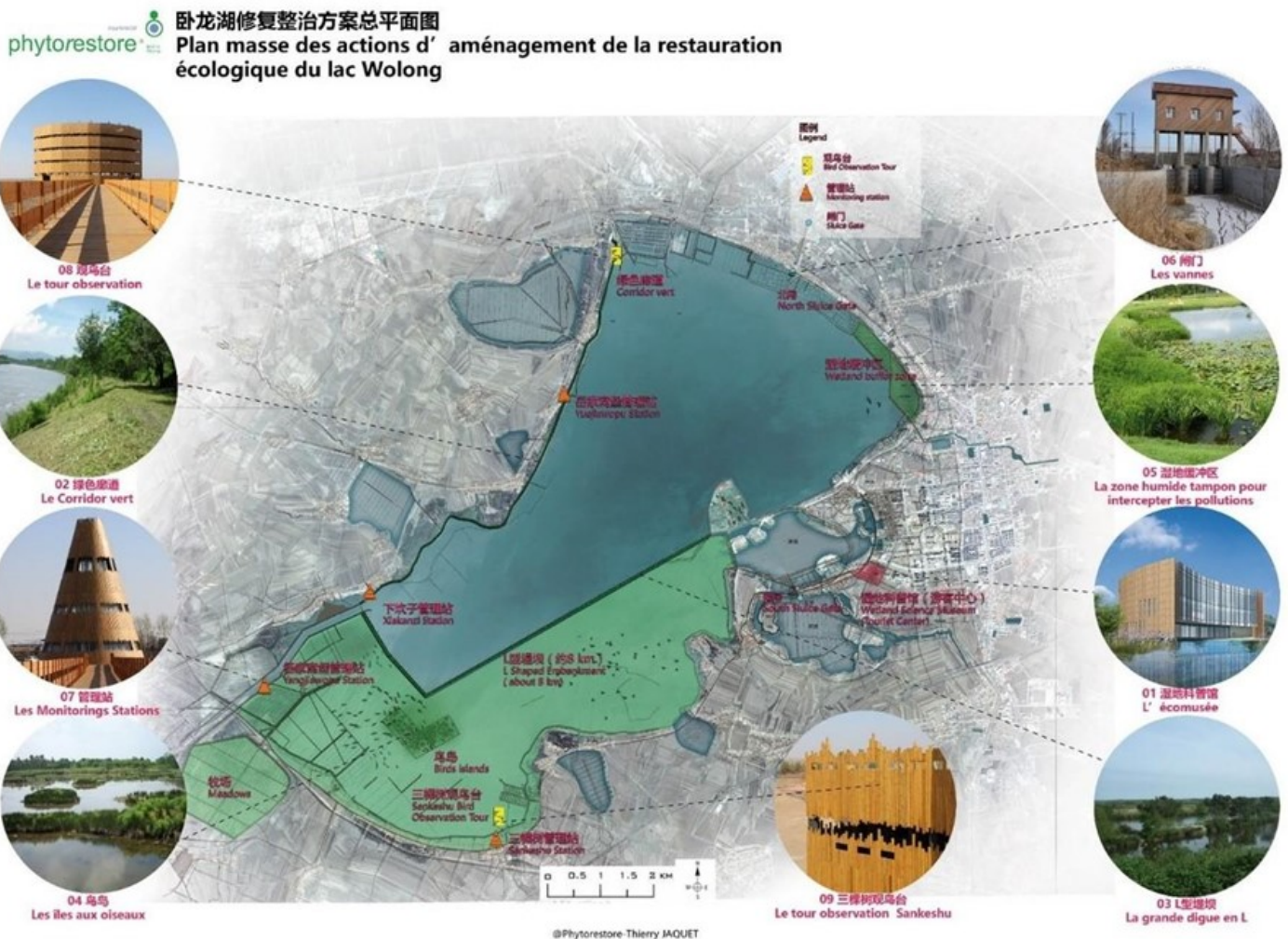
### 1. Wolong lake (China)

Located on the border with Inner Mongolia, Wolong Lake plays an essential ecological role by curbing the advance of the Mongolian deserts. The lake is home to rich biodiversity and has long been used as a stopover for tens of thousands of birds in the migration corridor between East Asia and Australia. However, due to water levels rising more than 1.5 meters, the wetlands have been greatly degraded. In two years, all natural habitats were lost, and migratory birds virtually disappeared from the area.

A restoration program for the ecosystems of this wetland area was launched in 2014 with support from AFD. The objective was to promote the development of rich biodiversity while encouraging ecotourism in order to provide the local residents with new sources of income. Several actions were carried out by four

consortiums of French and Chinese companies aimed at restoring the lake's hydrological, ecological and biological functions. A 7.8 km-long dike equipped with watergates was built to enable the differentiated management of water resources according to the lake's different uses.

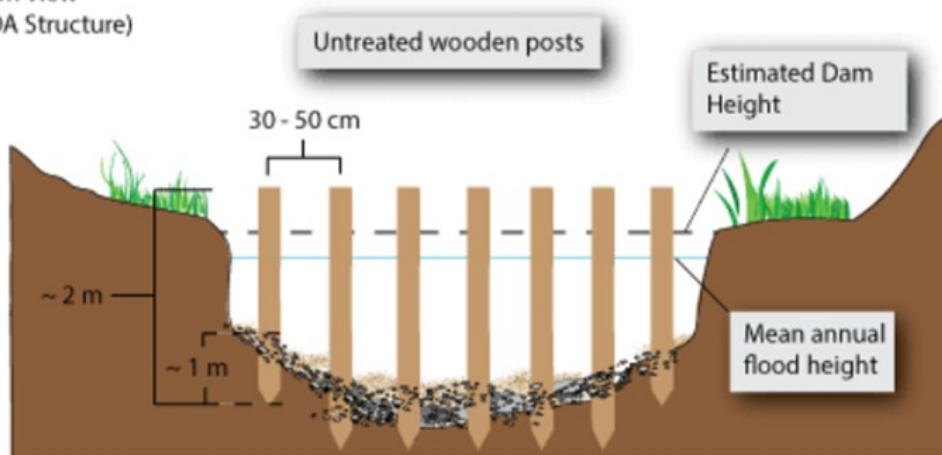
Technical assistance was provided for the close management of water levels and the monitoring of migratory bird populations. Thirty-six small bird islands were created. In order to encourage green tourism and raise awareness about the environment, walking trails, two observation towers and an ecomuseum were created.



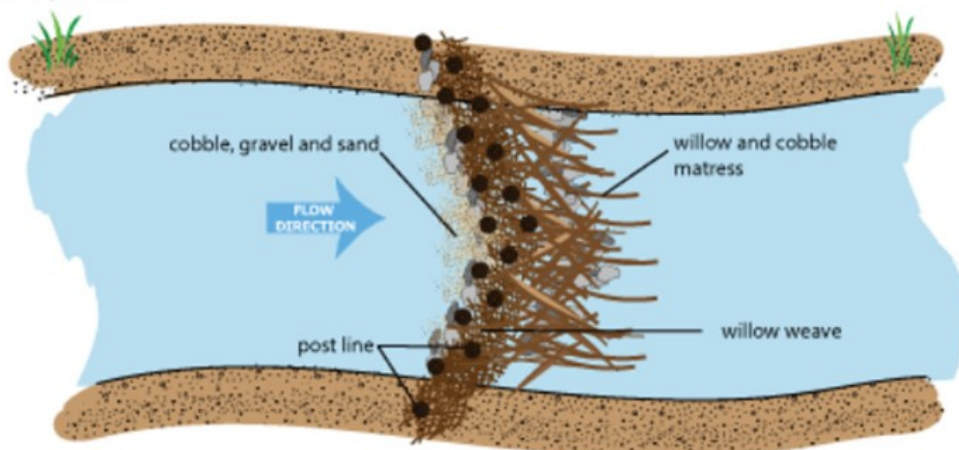
## 2. Beaver Dam Analog (Montana & California)

A Beaver Dam Analog (BDA) is a man-made structure designed to mimic the form and function of a natural beaver dam. BDAs can also be used to increase the probability of successful beaver translocation by creating immediate deep water habitat that reduces the risk of predation. In general, the design and installation of BDA complexes is a simple, cost-effective, non-intrusive approach to stream restoration that can influence a suite of hydraulic, geomorphic and hydrologic processes in order to achieve a range of common restoration goals.

Cross Section View  
(Generic BDA Structure)



Plan View  
(Convex Primary Dam)





### 3. Stone Dam in Paros (Greece)

The Municipality of Paros, in collaboration with WWF Greece, INSETE, MedINA, and Paros Festival, in June 2022, addressed the issue of water scarcity faced by many small, arid Greek islands by implementing multiple small-scale dams along the Kavouropotamos stream.

Small dams are a traditional water management practice that captures small amounts of water over time, serving multiple functions for the environment and people:

- By reducing the slope of the stream bed, small amounts of water are collected for irrigation purposes.
- By slowing down the flow of water and retaining part of it, greater infiltration into the soil is achieved, enriching the groundwater.
- During intense rainfall periods, they retain significant amounts of water and sediments, thus reducing the risk of flooding in settlements usually located in coastal areas and river deltas.
- They serve as biodiversity hotspots: the shallow water reservoirs created act as small oases for arid island ecosystems, especially during dry periods.



#### **4. Addressing Riverine Flooding With NBS in the Thessaly Region (Greece)**

The region of Thessaly in Greece is extremely vulnerable to floods, which frequently result in several casualties and significant economic losses. Moreover, the frequency and severity of flood events has increased in the past years due to climate change, economic development and landscape changes. The latest major flood event (known as the “Ianos Mediane”, in September 2020), is considered one of the most disruptive events ever to have hit the region.

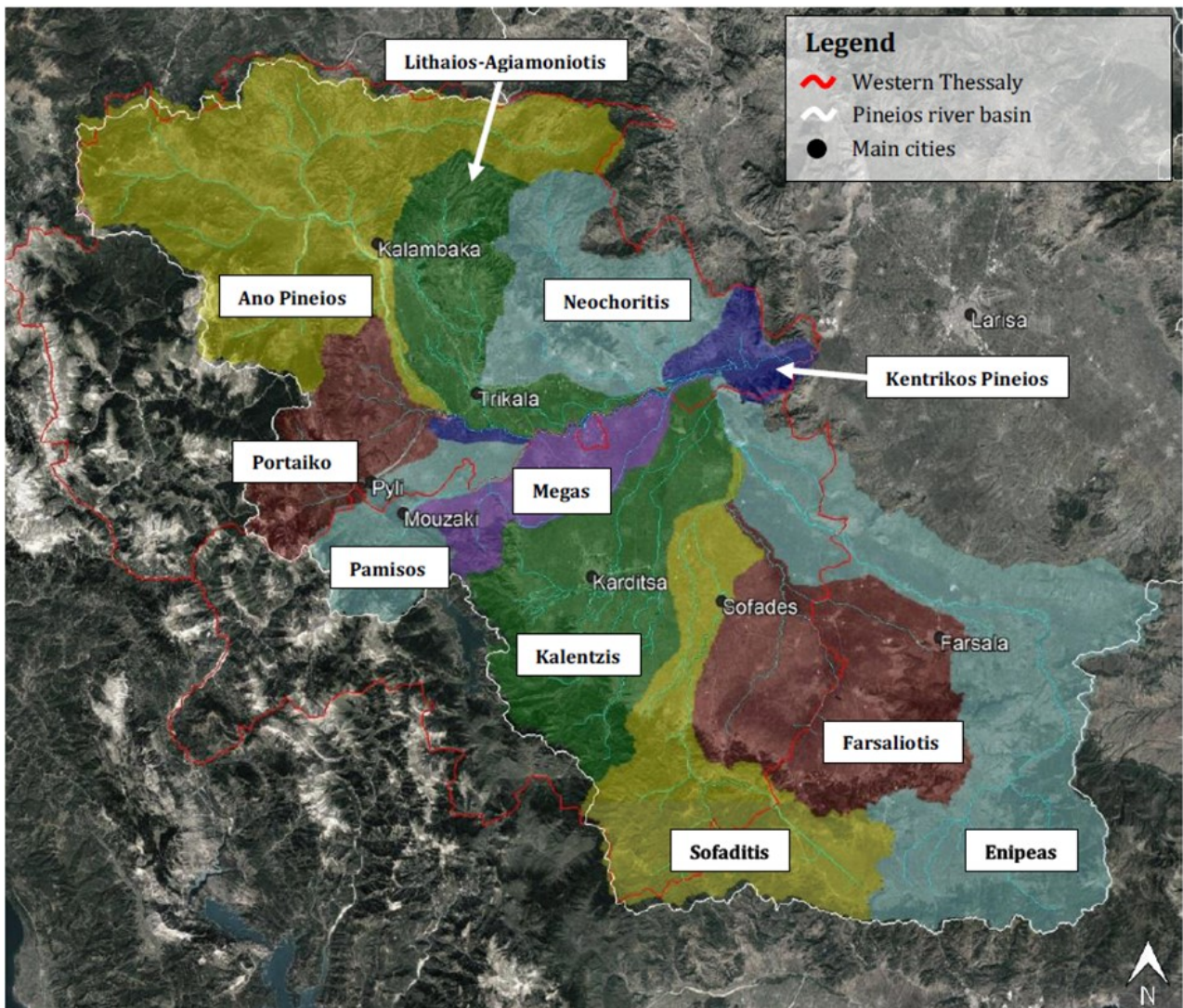
In 2022, WWF Greece initiated a research project aimed at reducing the risk of floods in the Pinios River area and evaluating the feasibility of Nature-Based Solutions (NBS). The proposed measures, however, not only aim to limit floods but also offer additional benefits to the local community, such as providing rich forests with various wildlife species like birds and butterflies in close proximity to urban areas. These areas will serve as recreational spaces with hiking and running trails, increased water availability, and an upgrade of the hydrological landscape, benefiting both urban and industrial areas.

To conduct this study, the Pinios Basin was divided into eleven sub-basins, as shown on the map below. Often, the rivers Lethaios and Agiamoniotis are considered as a system whose overflow can affect the Trikala area. However, in this particular study, the Agiamoniotis is treated as an individual system, while the Lethaios is grouped with the drainage basin of Neochoriti, despite the fact that the latter originates further east. Special attention was also given to Lake Plastira, which, although not located in the Pinios Basin, all of its water flows towards Thessaly, thus requiring significant attention to its capacity restoration.

Proposed NbS Interventions in selected seven sub-basins (out of 11) of the Pineios river basin included river restoration, floodplain restoration & management, wetland restoration & management, creation of basins, ponds and lakes, and restoration of natural infiltration through small-scale water retention measures, as well as actions for improving the natural condition of rivers, such as removal of dams and longitudinal barriers. Lake Plastira, although not in Pineios river basin, has been included in the proposed areas, all its water is being transferred to the Thessaly plain for irrigation and water supply. Proposed NbS interventions are expected to deliver the following benefits: flood risk reduction, aquifer recharge, surface water availability, biodiversity enhancement and provision of recreational opportunities (e.g. hiking trails along the river, birdwatching). NbS benefits



and their magnitude will depend on the scale, unique design and composition of each specific intervention (e.g. shape, type of vegetation, soil and anorganic materials such as rocks and gravel, specific location within the river basin). A retention capacity of 17 million m<sup>3</sup> of volume would need to be created to effectively mitigate a flood event with a return period of 50 years for Ano Pineios sub-basin.



## Case Study of NBS in Northern Evioea

Northern Evia in its current state is in a quite burdened position after a major fire, which burned most of the area, followed by several floods. These data create an even greater need for the use of nature-based solutions in order for the region to be able to return to its natural state along with its ecological cycle. Restoring the affected areas of Northern Evia requires the use of a combination of nature-based solutions to protect points of interest and future disasters. The selection of appropriate solutions must be carried out with great care so that human intervention in the environment is minimal and restoration over time becomes autonomous from the natural environment. The parameters to be examined for the selection of solutions include the restoration of burnt areas where feasible and the creation of an anti-flooding system by establishing floodplains.



## **Geomorphological Analysis**

In order to conduct any hydrological study in a specific area, it is necessary to map the geomorphology of the study area and record its characteristics. The study area selected in the region of Northern Euboea is Artemisio. Artemisio is part of the Hydrological District (HD) of Eastern Mainland Greece (HD 07) and in itself constitutes a small sub-basin of the Evia Drainage Basin (EDB).

Using GIS (Geographical Information Systems) software, the geomorphological analysis of Artemisio is carried out by inputting geographic coordinates provided by the website of the Ministry of Environment and Energy (YPEKA) and land use data from Copernicus EU (Corine Land Cover). Additionally, the HEC-GeoHMS software was used, which is an additional toolbox of ArcGIS with the Spatial Analyst extension for developing a series of hydrological input data that can later be used by HEC-HMS. Essentially, HEC-GeoHMS converts drainage paths and watershed boundaries into a series of hydrological data representing the hydrological network of the study area. Finally, the HEC-HMS software was used to apply hydrological methods aiming to simulate the rainfall runoff model. Specifically, the processes of creating the drainage basin and the hydrographic network within it were facilitated using ArcMap 10.3 and HEC-GeoHMS, as well as the calculation of hydrological and geomorphological parameters of the drainage basin.

## **Hydrological Analysis**

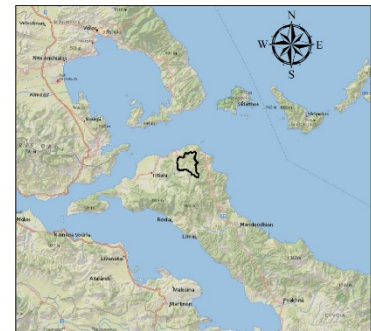
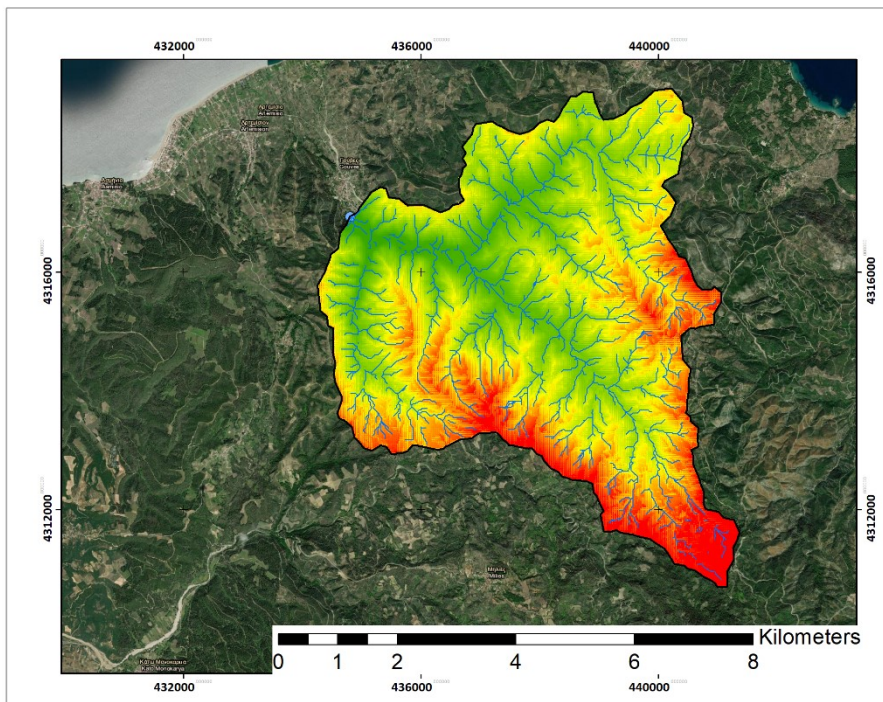
The input data used was the DEM file with a resolution of 25x25 m, from the European Copernicus EU program, with the WGS 84 reference system. The DEM was limited to the boundaries of the area of the Municipality of Istiaia-Aidipsos in Northern Evia, and the position of Artemision was defined as the outlet. Below is a brief description of the process followed to delineate the watershed of the study area, namely Artemision, using the ArcMap 10.3 program.

Initially, the **Fill Sinks** command was used to correct all the imperfections of the DEM file, which hinder the flow of pixels, in order to ensure the accuracy of the drainage basin and the hydrological network, and the latter to have continuity in the model and, by extension, in the calculations. Then, the **Flow Direction** command creates a new raster file, with each






cell having a unique number according to the direction a drop follows when it is within it. For each cell, there are eight different possible flow directions connected to its neighboring cells, and the direction of the drop from the cell with the highest elevation to the one with the lowest is determined based on their elevations.





#### LEGEND

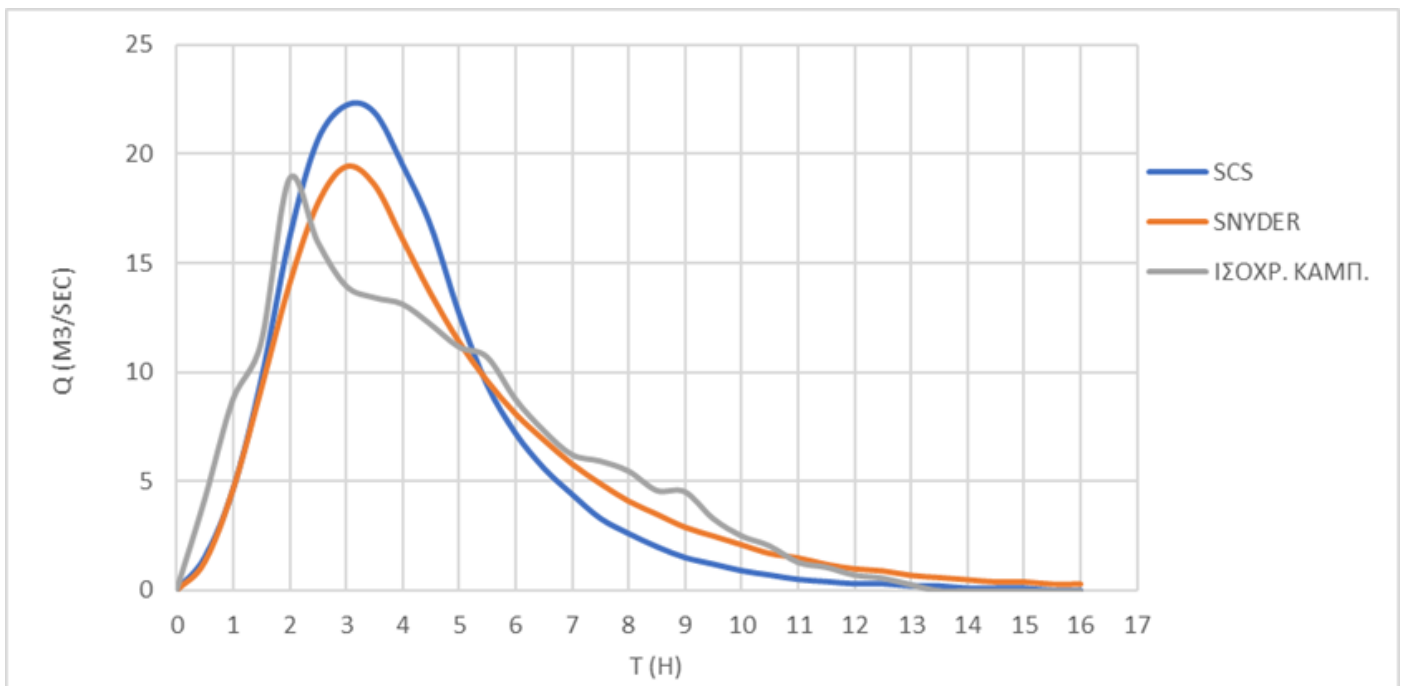
-  Hydrographic network
-  Watershed Boundaries
-  High : 519,3  
Low : 26,3

Coordinate System: Greek Grid  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: G GRS 1987  
 False Easting: 500,000.0000  
 False Northing: 0.0000  
 Central Meridian: 24.0000  
 Scale Factor: 0.9996  
 Latitude Of Origin: 0.0000  
 Units: Meter

The **Flow Accumulation** creates the path of the hydrographic network, with a new raster where the cell values define the cells that flow into a specific cell. **The Stream Definition** sets a threshold of cells in the flow accumulation, above which all cells with values greater than the threshold constitute parts of the hydrographic network, while smaller values indicate that these cells belong to the terrestrial flow. The threshold value affects the hydrographic network, as the smaller it is, the denser the network and the drainage times are reduced. Conversely, large threshold values create a smaller hydrographic network, while the drainage times increase. The land cover for the study area was based on the Corine Land Cover 2018 of the European Copernicus program, in a raster format with a resolution of 100 x 100 m. Corine divides land cover into 44 classes.

BASIN CHARACTERISTICS									
Basin	Longest flowpath	Basin slope	Max Altitude [m]	Min Altitude [m]	Mean Altitude [m]	Outlet Altitude [m]	Area [km2]	GIANDOTTI Tc [h]	LAG TL [h]
Artemisio	11.053	0.288	519.315	26.318	193.573	27.556	33.559	3.856	2.892

The hydrological model simulation and flood routing were performed using the HEC-HMS program, employing the SCS Unit Hydrograph and SNYDER method for a 30-minute rainfall event. The SCS method involves selecting a storm and calculating direct runoff. The CN (Curved Number) is obtained from SCS analytical tables for AMC II (Antecedent soil Moisture Condition) and land use. Additionally, the network runoff was computed using Isochronous Curves. The study utilized CN = 77. The characteristics of the study area's drainage basin are detailed in Table 5. Below is Table 6, displaying the Unit Hydrograph of the network according to SNYDER and SCS, as well as the Isochronous Curve.

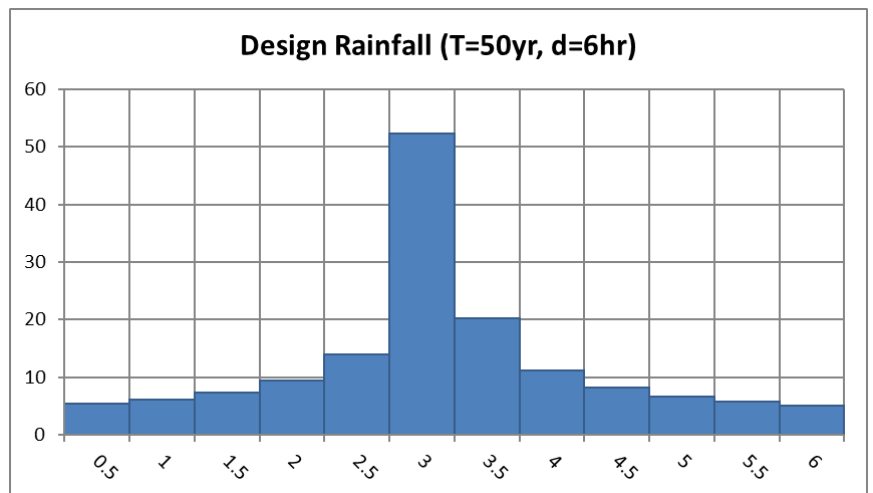


To assess the design rainfall, the three-parameter storm curve of the Milies station was used, described by the following equation.

Of the five parameters in the above expression ( $\lambda'$ ,  $\psi'$ ,  $\kappa$ ,  $\eta$ ,  $\theta$ ), the first two have been estimated "locally," based on the maximum rainfall intensity sample of the same station, while the remaining parameters have been estimated based on samples from multiple stations. A study was chosen to be conducted for rainfall durations  $d = 6h$  and  $d = 9h$  with return periods  $T = 25 y$ ,  $T = 50 y$ , and  $T = 100 y$ , using data from the Hydrographic Station Milies, where hyetographs were calculated for 6h rainfall events for return periods  $T = 25 y$ ,  $T = 50 y$ , and  $T = 100 y$ , and for 9h rainfall events for return periods  $T = 25 y$ ,  $T = 50 y$ , and  $T = 100 y$  using the Alternative Block Hyetograph method, with third quartile rains.

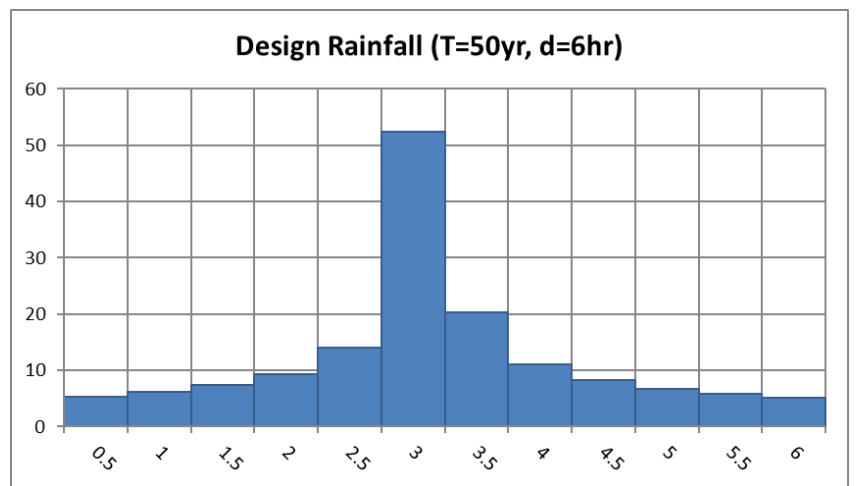
**Scenario 1<sup>st</sup>:  $d = 6h$ ,  $T = 25y$ :**

Milies	
d	6
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	25
<b>i [mm/hr]</b>	<b>22.32</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>133.92</b>



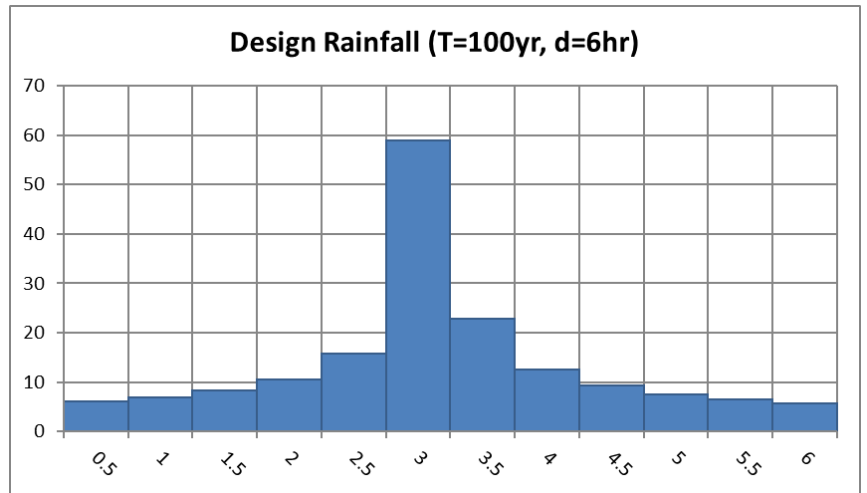
**Scenario 2<sup>nd</sup>:  $d = 6h$ ,  $T = 50y$ :**

Milies	
d	6
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	50
<b>i [mm/hr]</b>	<b>25.28</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>151.71</b>



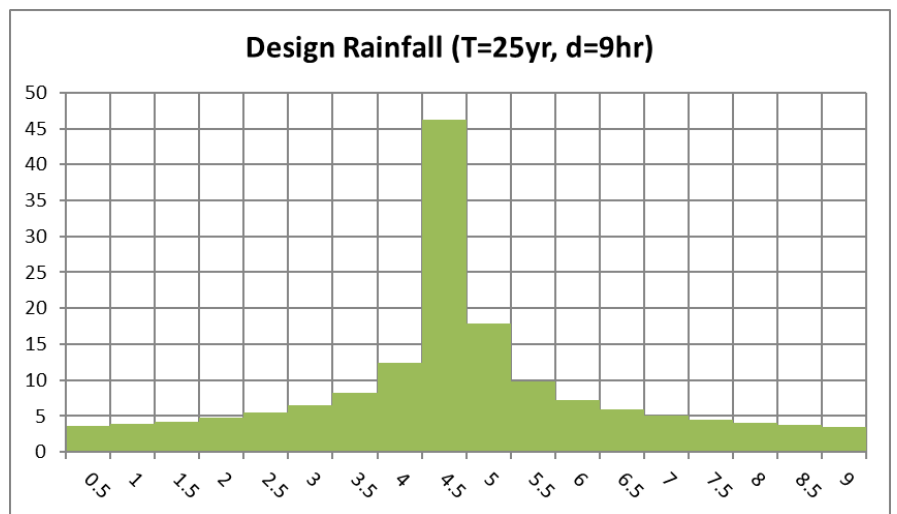
**Senario 3<sup>rd</sup>: d = 6h, T = 100y:**

Milies	
d	6
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	100
<b>i [mm/hr]</b>	<b>28.46</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>170.73</b>



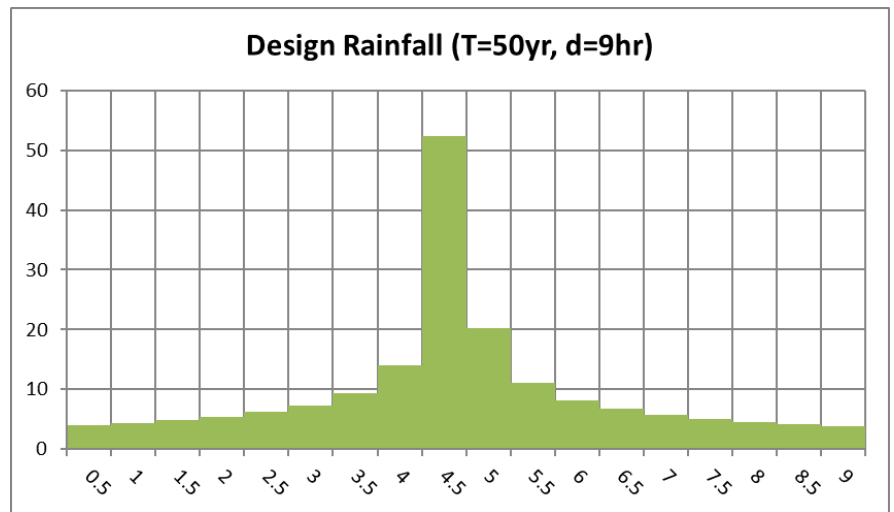
**Senario 4<sup>th</sup>: d = 9h, T = 25y:**

Milies	
d	9
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	25
<b>i [mm/hr]</b>	<b>17.42</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>156.76</b>



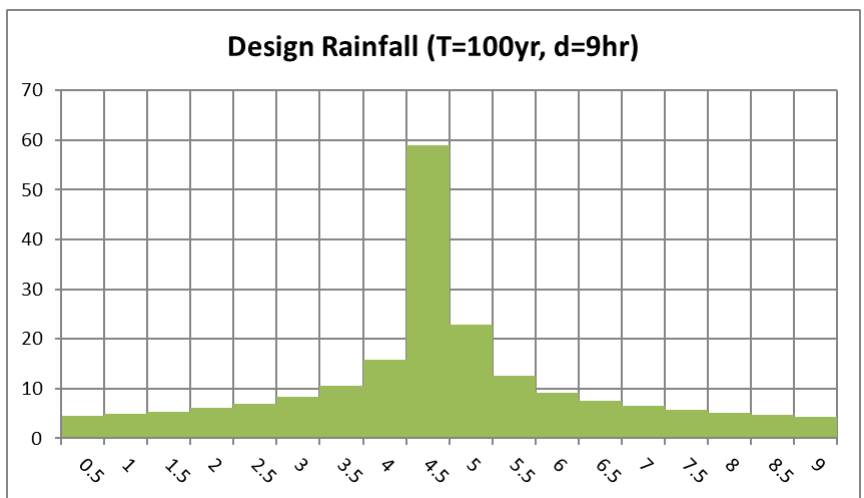
**Senario 5<sup>th</sup>: d = 9h, T = 50y:**

Milies	
d	9
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	50
<b>i [mm/hr]</b>	<b>19.73</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>177.58</b>



**Senario 6<sup>th</sup>: d = 9h, T = 100y:**

Milies	
d	9
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	100
<b>i [mm/hr]</b>	<b>22.21</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>199.85</b>



**Case Study**

The previous section analyzed the geomorphology of the study area and calculated its hydrological elements. Additionally, design provisions were estimated for selecting nature-based solutions to be implemented in the area. Based on the available data, the optimal solution for the area's recovery after the fires that have occurred is the creation of artificial lakes with the simultaneous establishment of buffer zones. These buffer zones will consist of

riparian forest areas, which will enhance soil stability and protect it from erosion, thereby preventing the reduction of the lakes' perimeter and the entry of sediments that could affect their water storage capacity. Another positive aspect of this solution is the creation of new habitats for both aquatic and terrestrial species in the area, whose numbers have significantly decreased after the fires and floods, with some already forced to relocate to ensure their survival.

Locating the suitable position for placing flood lakes is a complex process as many factors need to be taken into account in the design model for a detailed selection. To carry out this process, the exclusion factors of the positions where the lakes cannot be placed need to be enumerated, in order to end up with a map of compatible positions. For each exclusion zone, the distance is identified within which, based on the legal framework, it is prohibited to emplace a lake, and each exclusion zone is graded with the number 0, expressing its complete unsuitability. Values of integer numbers between 2 and 10 are given for distances beyond the boundary of the respective exclusion zone. It should be noted that Euclidean Distance is used in GIS. It is obvious that as this number increases, the suitability of the area also increases. Therefore, the mathematical relationship for site selection, using exclusion zones, will be (Gemitzi et al., 2006):

$$SI = \prod_{i=1}^K b_i \quad [1]$$

Where SI is the overall fitness index (with  $0 \leq SI \leq 10$ ),  $b_i$  is the fitness index value for each constraint criterion (with  $0 \leq b_i \leq 10$  and  $b_i \in \mathbb{Z}$ ), and K is the number of constraint criteria.

The Analytical Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty (Saaty, 1977), is used to calculate the weights of the evaluation criteria set n. Each criterion is compared in terms of its importance relative to each of the other criteria. The comparison between two criteria is made by assigning integer values ranging from 1 to 9 or their inverses, and the scale determines the relative importance of a criterion compared to another criterion, as shown in Table 7. Although even integers can be used within the range, it is common to use odd numbers to ensure a logical distinction between the criteria (Wind and Saaty, 1980).



Scale	Numerical Rating	Reciprocal
Extremely Preferred	9	0,111
Very strong Preferred	7	0,143
Strongly Preferred	5	0,200
Moderately Preferred	3	0,333
Equally Preferred	1	1,000

Once the above values are given for each criterion  $x_i$  in relation to each other and a comparison matrix is created, it is necessary to normalize this comparison matrix in order to give relative weights to each criterion. Normalization is done by dividing each value by the total value of the corresponding column in which the value is located. The value of the weights  $w_i$  is approximately achieved by calculating the mathematical average of all the relevant weights of each criterion. Obviously, the sum of the resulting weights will always be equal to 1. The values that result have direct physical significance in the AHP method, as they determine the participation or the weight of this criterion in relation to the overall result of the goal that has been set.

The next step is to check for any inconsistencies in the data. The Consistency Index (CI) is based on the maximum eigenvalue  $\lambda_{max}$ , which is calculated as follows (Saaty, 1977):

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{w_j}{w_i} \right) \quad [2]$$

The CI index is calculated accordingly by the following equation (Saaty, 2005):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [3]$$

In order to verify the correctness of the Consistency Index (CI), Saaty proposes the Consistency Rate (CR), which is determined by dividing the CI by the Random Index (RI). The methodology will be considered consistent if CR is less than 10%. The value of RI is constant and is based on the number of evaluated criteria.



The purpose of the above methodology developed is the production of thematic maps. Each individual thematic map corresponds to the application of a criterion for siting, and ultimately the suitability index for siting, taking into account both the restrictive criteria arising from exclusion zones and the evaluation criteria is calculated as described in the following equation (Gemitzi et al., 2006):

$$SI = \sum_{i=1}^n w_i x_i \prod_{i=1}^K b_i \quad [4]$$

To define these zones, the Euclidean Distance or 2-norm distance, as it is otherwise called, was used, which for points with coordinates  $x_i, y_i$  is calculated as follows:

$$d(x, y) = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2} \quad [5]$$

$\alpha/\alpha$	Criterion	Isolation Zone
1	Distance to streams (K1)	-
2	Slope (K2)	$\geq 25\%$
3	Elevation (K3)	$\geq 350\text{m}$
4	Distance to urban areas (K4)	$\leq 1000\text{m}$
5	Distance to road network (K5)	$\leq 100\text{m}$
6	Proximity to burned areas (K6)	
7	LULC (K7)	

LULC (K7) SCALE	
Agricultural land	9
Olive groves	1
Forest	3
Vegetation	7
Woodland-Scrub	9

Apart from the exclusion zones using Euclidean Distance, distances greater than the corresponding exclusion zone were calculated for the areas of interest within the boundaries of the Artemisio Land Planning (ALP). From this analysis, a thematic map of Euclidean Distances, grouped into classes, was created for each of the 7 cases. These 7 resulting

thematic maps then underwent a reclassification of their class boundaries using integer numbers from 0 to 10, using the "Reclassify" tool. The value 0 indicates complete prohibition of spatial allocation, while 10 indicates the complete suitability of an area for spatial allocation.

The 7 criteria are divided into 2 groups, and the criteria within the same group are considered equally important. Group 1 consists of criteria that are not only equally important but also considered the most significant. This is followed by Group 2, which consists of criteria of lesser importance than those in Group 1. Table 7 presents the Saaty's relative importance scale, and we will assess the criteria for siting based on this scale. Specifically, the criteria in Group 1 are rated as 3 (moderately preferred) compared to the criteria in Group 2. Conversely, the criteria in Group 2 are rated as 1/3 compared to those in Group 1. In summary, for every two consecutive groups, we move up one category on Saaty's relative importance scale.

N/A	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K2	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K3	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K4	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333
K5	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333
K6	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K7	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333
SUM	5.000	5.000	5.000	15.000	15.000	7.000	13.000

In Table 10, the sum of each column has been calculated. The next step is to normalize the table by dividing the elements of each column by the corresponding sum, resulting in a new table (Table 12) where each element  $a'_{ij}$  (i: row number and j: column number) is calculated as follows:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{13j}} \quad [6]$$

Where  $a_{ij}$  are the elements of Table 12.

The weight  $w_i$  of each criterion is the average of the values in the corresponding row, that is:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} \quad [7]$$

Where  $n = 7$  are the multiple criteria and  $i \in [1, 2, \dots, 7]$ .

It is noted that the sum of the weights should equal 1. By applying the above operations in an Excel spreadsheet, the weights shown in the table below are calculated.

Code	Criterion	Weight (w)
K1	Distance to streams	0.196
K2	Slope	0.196
K3	Elevation	0.196
K4	Distance to urban areas	0.072
K5	Distance to road network	0.072
K6	Proximity to burned areas	0.196
K7	LULC	0.072

N/A	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Weight	Weight %
K1	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K2	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K3	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K4	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.143	0.026	0.072	7.2
K5	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.143	0.026	0.072	7.2
K6	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K7	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.143	0.026	0.072	7.2
SUM								1.000	100.000

Next, a new table (Table 13) is created with elements  $b_{ij}$ , the calculation of which is done according to the equation:

$$b_{ij} = a_{ij} w_i \quad [8]$$

The column W.S.V. (Weighted Sum Value) is calculated as the sum of the individual elements of each row. The W.S.V. column is the 8th column of the new table, and the weights are placed in the 9th column. In the 10th column, which we call Ratio, calculations are performed as follows:

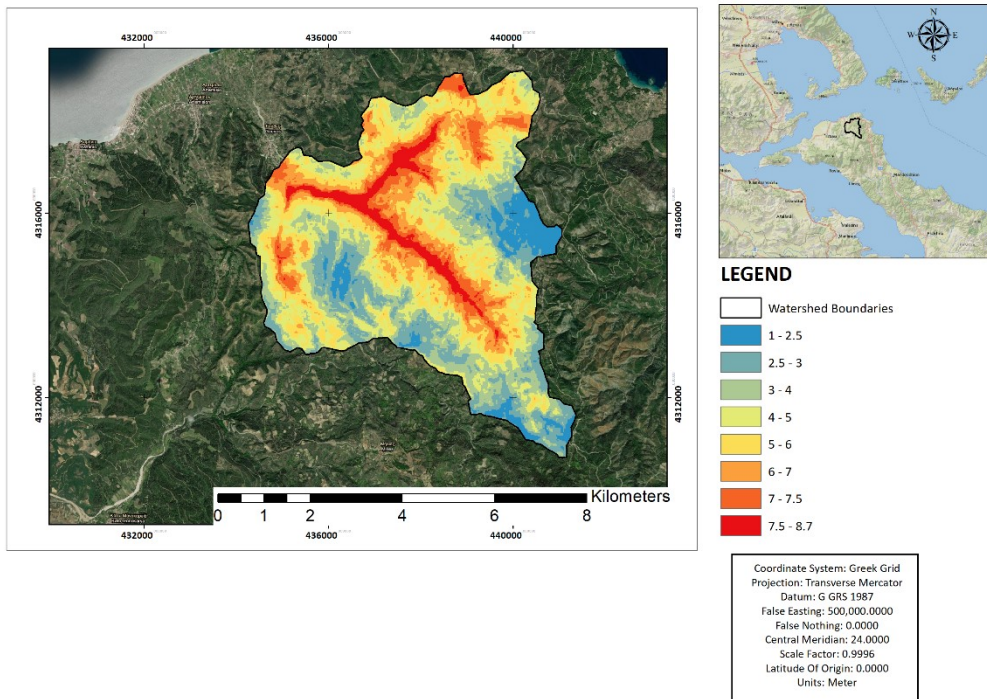
$$\text{Ratio}_i = \frac{\text{M.S.V.}_i}{w_i} \quad [9]$$

The average value of the Ratio values is equal to  $\lambda_{\max} = 7.511$ . Applying the equation for the CI index for  $\lambda_{\max} = 7.511$  and  $n = 7$ , the CI index is calculated as  $CI = 0.085$ . Finally, the CR index is calculated as  $CI/RI = 0.058$  or  $2.1\% < 10\%$  with  $RI = 1.48$ , therefore the methodology applied meets the continuity criteria.

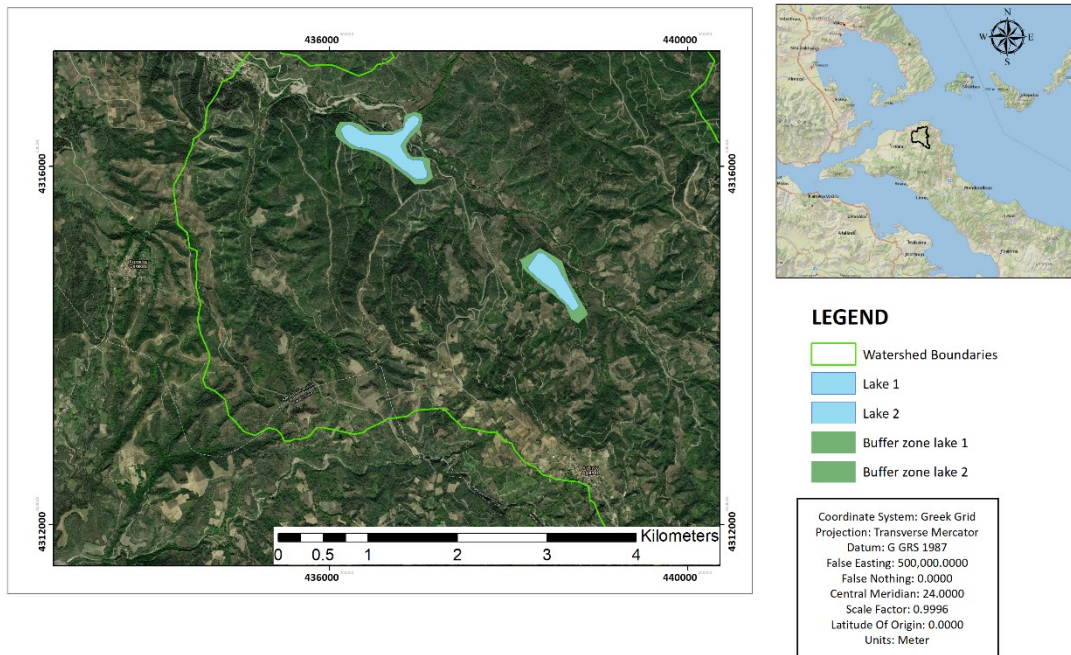
Weight	0.196	0.196	0.196	0.072	0.072	0.196	0.072
Criterion	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K2	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K3	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K4	0.065	0.065	0.065	0.072	0.072	0.196	0.024
K5	0.065	0.065	0.065	0.072	0.072	0.196	0.024
K6	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K7	0.065	0.065	0.065	0.072	0.072	0.196	0.024

Criterion	W.S.V.	Weight	Ratio	$\lambda_{\max}$
K1	1.430	0.196	7.288	7.511
K2	1.430	0.196	7.288	
K3	1.430	0.196	7.288	
K4	0.560	0.072	7.808	0.085
K5	0.560	0.072	7.808	
K6	1.430	0.196	7.288	CR
K7	0.560	0.072	7.808	0.058

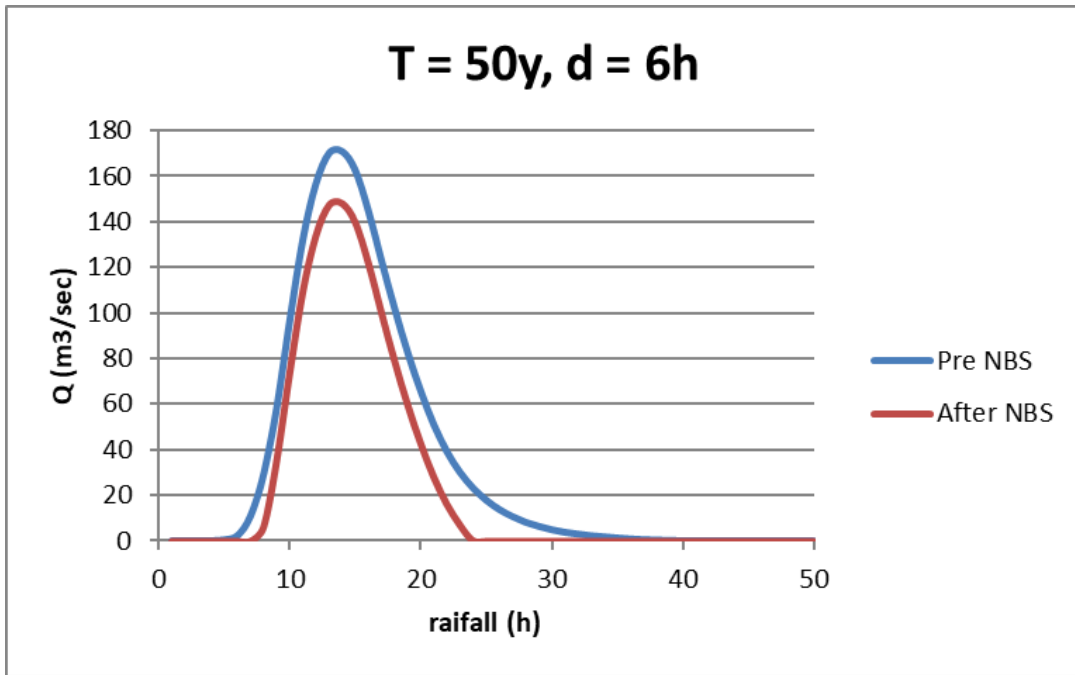
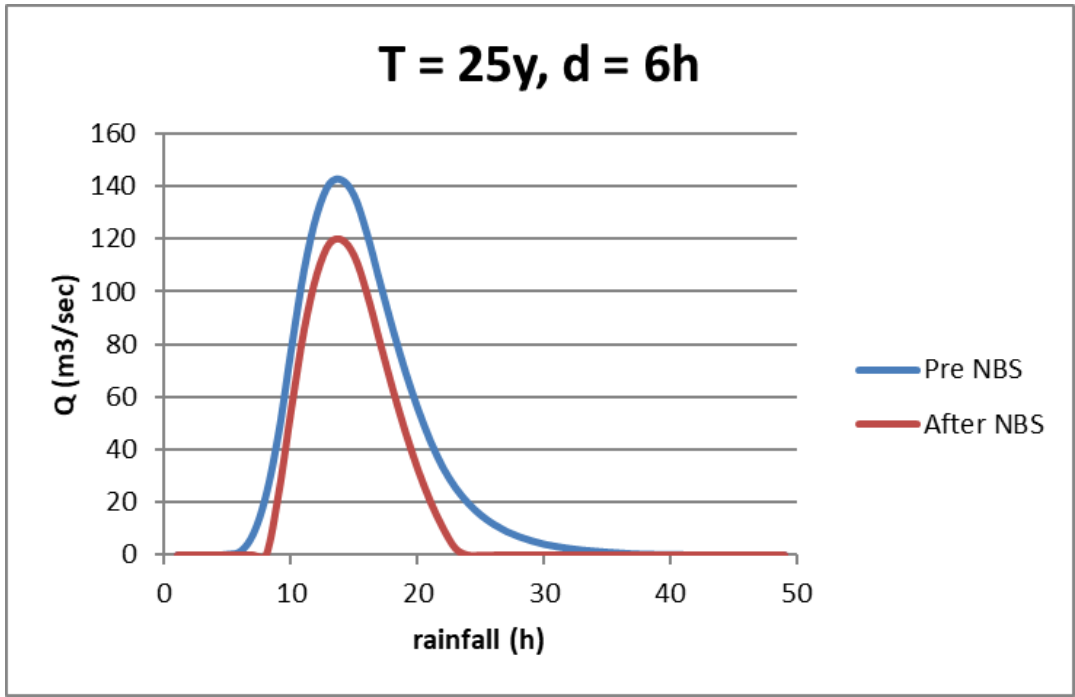
The application of criteria and their weights using the Analytical Hierarchy Process (AHP) resulted in the GIS map of permissible intervention locations for nature-based solutions in the watershed of Artemisio.

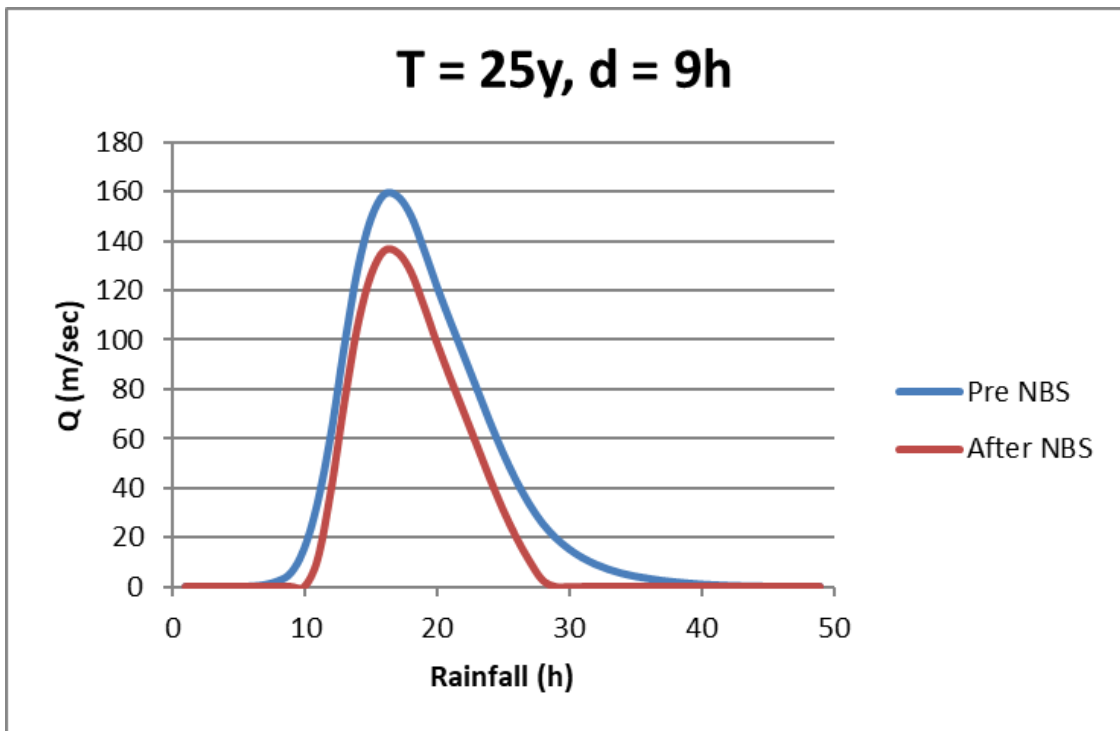
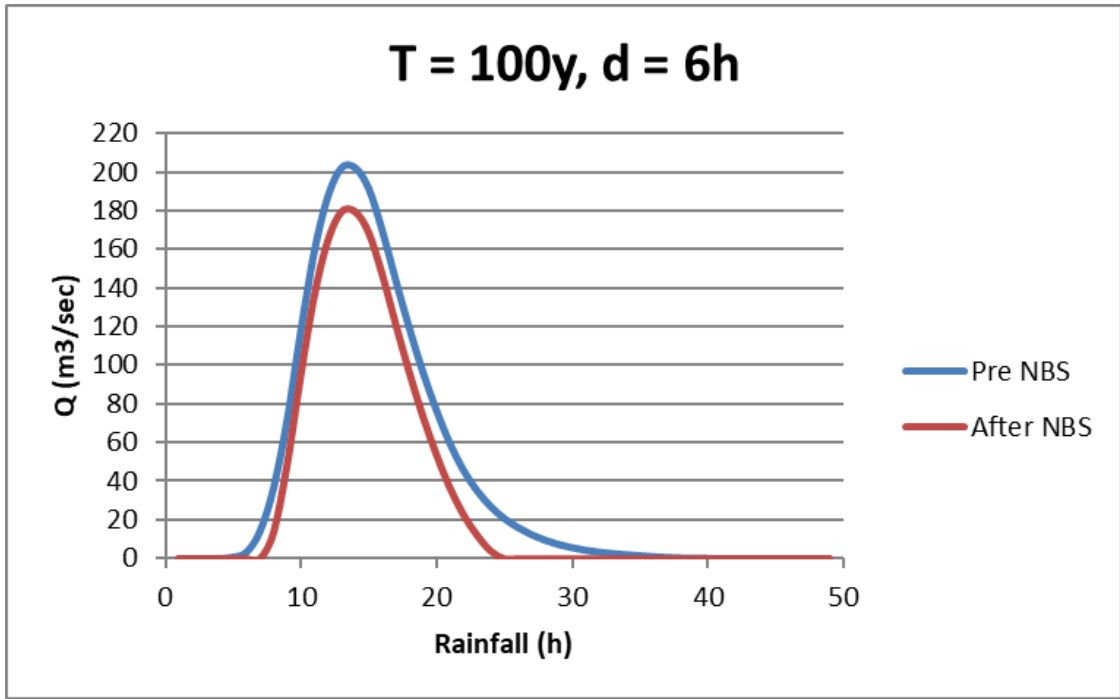


As expected, the areas with the highest suitability for creating nature-based solutions are located on the wetlands of the study area. Based on map 5, the creation of two flood lakes and their forest regulatory zones is selected along the main wetland of the Artemisio basin with a depth of  $d = 4$  m each, as shown in the map below.

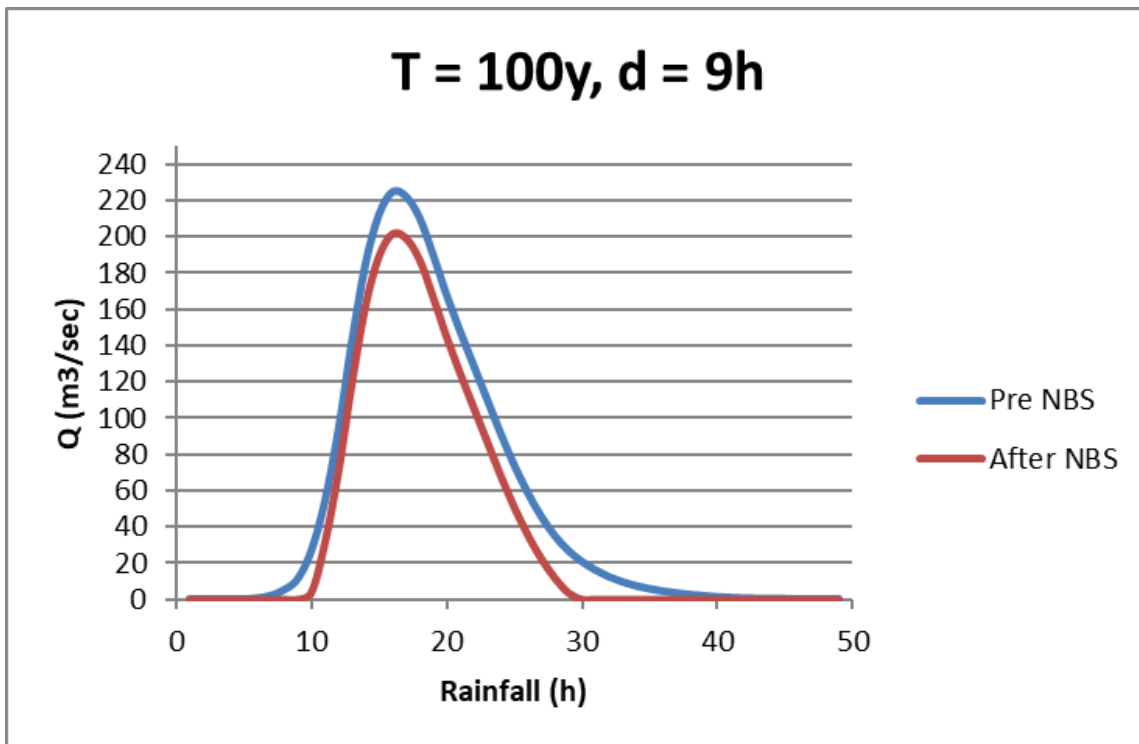
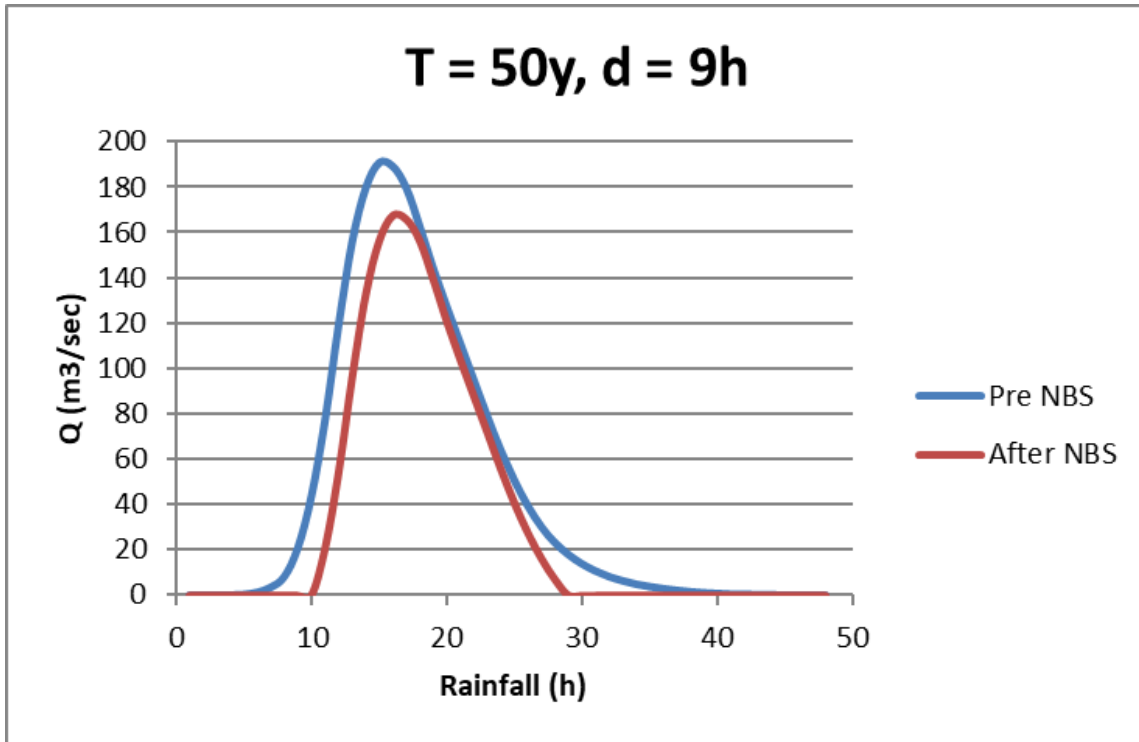


The Volume of the Lake 1 is  $V = 5.05 \text{ hm}^3$  and the Volume of the Lake 2 is  $V = 3.23 \text{ hm}^3$  and both of them have depth  $d = 4\text{m}$ . The hydrological analysis of the drainage basin of the study area was re-evaluated using the volume data of the two lakes. The runoff of the network was calculated along with the retention of the water volume by the lakes in the Artemisiou area, for rainfall events of  $d = 6\text{h}$  for return periods  $T = 25 \text{ y}$ ,  $T = 50 \text{ y}$ , and  $T = 100 \text{ y}$ , as well as for a rainfall event of  $d = 9\text{h}$  for return periods  $T = 25 \text{ y}$ ,  $T = 50 \text{ y}$ , and  $T = 100 \text{ y}$ . Below are the results of the analysis.



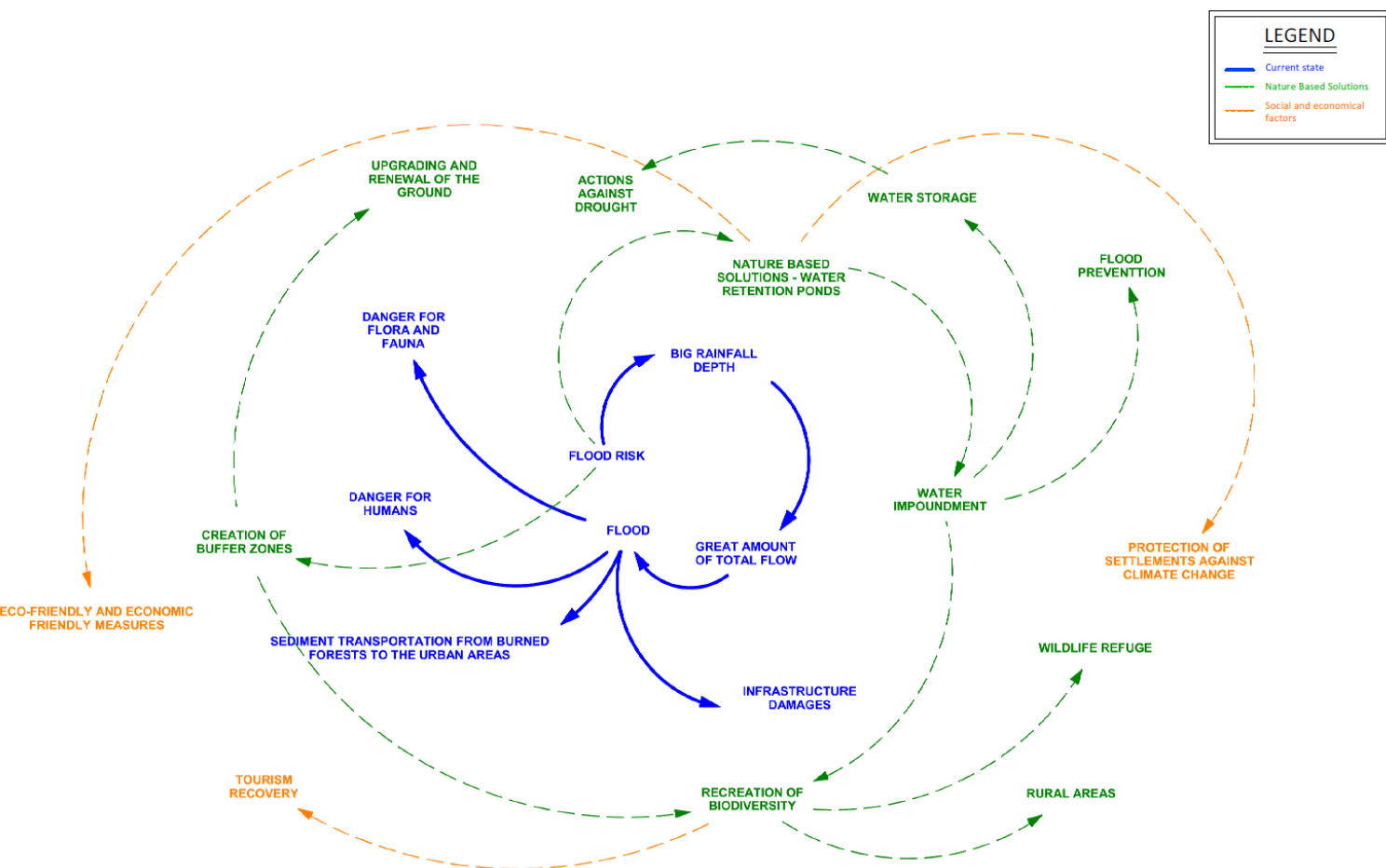






## Application of System Dynamics in Artemisio

The model was created using Vensim software to develop Causal Loop diagrams, which are very useful for understanding and communicating their structures. These diagrams are named as such because each link has a causal interpretation. An arrow going from A to B indicates that A causes B. Creating causal loop diagrams is very useful even when a simulation model is not being created. Additionally, it allows for easy and imaginative determination of input conditions for simulation, also supporting real-time visualization of results and the changes caused by variations in the state of input variables. Secondly, it supports comparative scenario analysis and includes several tools for model analysis (e.g. sensitivity analysis). Therefore, the Casual Loop diagram was created to make the intervention with nature-based solutions in the existing state of the study area evident, as well as their impacts.



The Causal Loop diagram is the result of the combination of the existing situation and the application of NBS in the study area. Specifically, by depicting the geomorphology of Artemisio, the historical floods, and the recorded disasters they have brought to the area, both in material goods and human lives, we introduce into this system the proposed application of NBS, namely the two flood lakes and their regulatory zones. With the two solutions that have preceded in the hydrographic network, a significant reduction in the outflows of the catchment area towards Artemisio is observed. This water is retained by the flood lakes and their forest regulatory zones, which reduce the speed of the water and prevent flood phenomena. Therefore, the NBS selected, based on the successfully conducted study, prevent flooding after a fire and create two natural water storage reservoirs, which can be used by the surrounding settlements for water supply and irrigation during dry periods, as well as maintain the fauna of the area.

These actions have a significant impact on the economy and the quality of life of the residents of Northern Euboea. By upgrading the environment from a burnt and barren forest to a rich habitat, the depleted soil is renewed and enriched naturally with carbon quantities. There is also a major impact on the residents' quality of life as the lakes, with their regulatory zones, will provide an additional recreational space and attraction for the tourists of the area. An important factor is also the economic aspect of this project. In contrast to an infrastructure project creating a dam, the creation of floodplain lakes is much more economical in both their creation and maintenance, as well as much more environmentally friendly, as the latter is recreated with the existing elements, resulting in a fully natural habitat assimilated into the natural characteristics of the forest area after a few years.

## **Conclusions**

Two rainfall runoff models were developed and applied as part of the postgraduate thesis, one using rainfall data for the existing condition of the study area, and one incorporating nature-based solutions for return periods of 25, 50, and 100 years, and for rainfall event durations of 6 and 9 hours. The conclusions drawn from observing the research results are summarized below:

- The application of NBS in the study area results in a significant reduction in the runoff volume to the Artemisio area, up to 64.7 m<sup>3</sup>, compared to the existing situation at the same time. This result is expected as a large volume of water is stored in the lakes before they overflow. The impacts of this intervention are significant not only in the study area but also in the surrounding areas, as post-fire flood events can be significantly reduced and the transportation of sediments, resulting in changes to the area's geomorphology, can be prevented. Forest regulatory zones play a significant role in this, as they will retain both sediments and transform the soil into a more solid substrate for surface layers, where water will be retained and serve as the basis for the regeneration of burnt forest areas.
- Creating a floodplain lake is an energy-intensive endeavor, along with establishing forest regulatory zones, but it is not more costly than building a large concrete dam. Additionally, their maintenance costs are lower.
- Creating a natural environment that helps in both the regeneration of flora and the protection of fauna, as well as in the enhancement of the area, providing recreational areas for the residents of Northern Evia. This action also contributes to the recovery of tourism by offering attractions for tourists.
- In the study, with a return period of  $T = 50$  years and a rainfall duration of  $d = 9$  hours, a delay in the flood is observed of up to one hour, which is very important for the prevention of the deterioration of areas and their inhabitants. This significant delay can be further increased with the use of other NBS systems.
- In all the scenarios studied, water volume retention has been observed in the lakes. Specifically, along the large Misgengkia, where the two lakes are located, there is a gradual retention of water volume while the area is simultaneously discharged from one lake to the other. This significantly reduces the water flow velocities and prevents intense floods, which carry large volumes of sediments.
- When observing the results of human interventions in nature, we discern that concerning the geomorphology of areas and hydrological networks, humans should not make indiscriminate use of the natural resources provided by nature, such as diverting streams, converting floodplains into settlements, narrowing rivers, etc. The

results of these actions lead to the release of water in ways beyond its natural flow, which may not be immediately perceptible to people, only becoming evident in extreme events, requiring subsequent study.

- Nature-based solutions rely on the mechanisms of nature to address issues such as climate change, and are considered the optimal solution for both the environment and humans. These solutions have emerged as a result of trials and long-term observations of infrastructure projects. Comparing NBS to infrastructure projects is an element of future research, as not enough time has passed to study their performance and lifespan.

## **Future Research**

Future research aiming to improve the restoration of the Northern Evia region is a significant topic of discussion. In Greece, a common intervention used to address floods involves the construction of small stone dams, up to a maximum height of 0.5 meters, which slow down the water flow and create small reservoirs. These reservoirs retain small volumes of water that are significant enough to delay a flood and its momentum.

Another major issue in the area of Evia is the small coal reserves in the soil from the burned forest areas. Studies have shown that the best solution for soil recovery and therefore the habitat's prosperity is the conversion of forest areas into agricultural land. However, this solution has a major drawback in terms of coal reserves, which are reduced due to the burning of organic material. To improve the soil's coal content, whether organic or inorganic, a long period of alternating agricultural products is required to enhance the soil with their organic load. This obstacle has created the need for a more effective solution, the conversion of forest areas into agroforestry. This implementation could thrive in the study area as it would not only protect and restore the forest but also protect it from farmers, thus preventing the possibility of new fire episodes.

In conclusion, as studies on nature-based solutions are still in an early phase and researchers mostly focus on methods of recovery at the macro level with more

"mechanical" methods, there is great potential in NBS science to find solutions on a "micro" scale.

## 1. Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν φτάσει σε αρκετά προηγμένο επίπεδο και οι ερευνητές εργάζονται πάνω σε τρόπους ανακούφισης των συστημάτων από τις πιέσεις που ασκούν οι κλιματικές αλλαγές (United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998). Ένα σύνολο καινοτόμων λύσεων για τη διαχείριση των φυσικών συστημάτων με τρόπο που μπορεί να εξισορροπήσει τα οφέλη τόσο για τη φύση όσο και για την κοινωνία ονομάζεται λύσεις βασισμένες στη φύση (Nature-Based Solutions, NBS ~ UWE, Bristol, 2021). Ο όρος αναφέρεται σε «τεχνικές που εμπνέονται από, υποστηρίζονται ή αντιγράφονται από τη φύση» (World Bank Climate Change and Adaption, DC, 2008), δηλαδή με την εφαρμογή των παρατηρήσεων μας από τη φύση, οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για τη σημερινή κοινωνία, όπως είναι οι έντονες πλημμύρες και οι ξαφνικές ξηρασίες, αντιμετωπίζονται με πιο βιώσιμο τρόπο, ο οποίος προσαρμόζεται στο περιβάλλον και εντάσσεται σε αυτό, χωρίς την κατασκευή μεγάλων έργων υποδομής.

Οι λύσεις βασισμένες στη φύση είναι μια τεχνική η οποία εφαρμόζεται σε ολόκληρο τον πλανήτη καθώς οι κλιματικές μεταβολές έχουν γίνει πλέον αισθητές όχι μόνο από επιστήμονες αλλά και από την υπόλοιπη κοινωνία στην καθημερινότητά της σε όλα τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη. Μεγάλα παραδείγματα των κλιματικών αλλαγών αυτών είναι οι ξαφνικοί χιονιάδες που ξέσπασαν στην Ευρώπη το 2023, οι σεισμοί σε μη σεισμογενής περιοχές, οι μεγάλες πυρκαγιές, τις οποίες ακολουθούν μεγάλες ξηρασίες και μετέπειτα πλημμύρες. Τα παραδείγματα που έχουμε στον Ελλαδικό χώρο είναι η πλημμύρα που έγινε στη Μάνδρα Αττικής το Νοέμβριο του 2017, όπου σύμφωνα με το ραντάρ του Εθνικού Αστεροσκοπείου το ύψος βροχής ξεπέρασε τα 200 μμ σε μόλις 6 ώρες. Δεύτερη χρονολογικά έρχεται η πλημμύρα και οι δυνατοί άνεμοι στην Χαλκιδική τον Ιούλιο του 2019, όπου η ταχύτητα ανέμου έφτασε τα 132 χλμ/ώρα. Επόμενη έρχεται η Θεσσαλία και η Μαγνησία με τις πλημμύρες που είχαν λόγω τη κακοκαιρίας που ονομάστηκε «Ιανός» το Σεπτέμβρη του 2020. Η μεγάλη πυρκαγιά που έκαψε σχεδόν ολόκληρη τη Βόρεια Εύβοια τον Αύγουστο του 2021, την οποία ακολούθησε μια μεγάλη πλημμύρα τον Σεπτέμβρη του 2023. Τελευταία στη σειρά έρχεται η κακοκαιρία Ντάνιελ, όπου πλημμύρισε ξανά η περιοχή της Θεσσαλίας και ορισμένες περιοχές του νομού Μαγνησίας, όπου η περιοχή του Βόλου

δέχθηκε 150 εκατομμύρια τόνους νερού και λάσπης σε 24 ώρες και μετρήσεις από το σταθμό του Πηλίου μέτρησαν βροχή ύψους 750μμ, για διάρκεια 15 ωρών.

Μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον φέρει η υπάρχουσα κατάσταση της περιοχής της Βόρειας Εύβοιας καθώς όλη σχεδόν η ορεινή δασική της έκταση βρίσκεται καμένη και από γόνιμο έδαφος με πλούσια χλωρίδα και πανίδα πλέον αποτελεί ένα αρκετά φιλόξενο περιβάλλον για πλημμύρες, πλούσιο σε φερτά υλικά. Η Εύβοια είναι το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας, η έκταση της οποίας ανέρχεται στα 3.654 τ.χλμ. και με υψόμετρο 1,734 μ. με μεγάλο τμήμα της να καλύπτεται από δασικές εκτάσεις. Η καταστροφική πυρκαγιά η οποία ξέσπασε στην Βόρεια Εύβοια στις 03/08/2021 και έκαψε έως τις 11/08/2021 έκαψε μία έκταση 520.000 στρεμμάτων, με βάση την απογραφή που έγινε από το δασαρχείο το 2022, ενώ οι εκτάσεις οι οποίες δεν κάηκαν ανέρχονται στα 43.940 στρέμματα.

Οι πυρκαγιές αυτές ήταν αναμενόμενο να ακολουθήσουν και έντονες πλημμύρες, όπως και έγινε τον Σεπτέμβρη του 2023 με την κακοκαιρία που ονομάστηκε «ELIAS», όπου προκλήθηκαν μεγάλες πλημμύρες σε ολόκληρη την Εύβοια και κυρίως στις καμένες εκτάσεις. Η έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες διήρκησαν έως και 12 ώρες συνεχόμενες προκάλεσαν κατολισθήσεις και πλημμύρες, με αποκορύφωμα την περιοχή της Ιστιαίας, στην οποία σημειώθηκαν 400 κ.μ. νερού ανά στρέμμα μέσα σε ένα 24ωρο και σε διάστημα 6 ωρών 150 κ.μ. νερού ανά στρέμμα.



## 1.1. Αντικείμενο της Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη και διερεύνηση σεναρίων για τη διαχείριση του νερού μέσω λύσεων βασισμένων στη φύση στην περιοχή της Βόρεια Εύβοιας, στη λεκάνη απορροής του Αρτεμισίου. Στο πλαίσιο της εργασίας θα γίνει η μελέτη των λύσεων βασισμένων στη φύση σε φυσικά περιβάλλοντα τόσο σε μελετητικό υπόβαθρο, όσο και σε εφαρμοσμένες μελέτες, καθώς επίσης και η ανάπτυξη ενός μοντέλου για την περιοχή μελέτης με σκοπό την ανάπτυξη και την διερεύνηση σεναρίων για την επίδοση των μέτρων βασισμένων στη φύση στη μείωση των επιπτώσεων από την πυρκαγιά, την ξηρασία και την πλημμύρα. Στα παραδείγματα μελέτης και εφαρμογής παρατηρούνται οι τρόποι με τους οποίους ενεργεί ο κάθε μελετητής ανάλογα με τον στόχο που έχει, αποτελώντας ένα υπόβαθρο για την επιλογή των κατάλληλων NBS στην Λεκάνη Απορροής του Αρτεμισίου. Η περιοχή μελέτης έχει πληγεί από πυρκαγιά και μετέπειτα από πλημμύρα. Το ιστορικό της αυτό καθιστά απαραίτητη την διερεύνηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς και της πλημμύρας στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς αυτή δεν μπορεί να μελετηθεί ως μία κανονικά φυσική έκταση, όπως οι περισσότερες στις οποίες εφαρμόζονται οι λύσεις βασισμένες στη φύση.

Για την υδρολογική προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HEC-HMS 4.11, ενώ για τη γεωμορφολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής το πρόγραμμα ArcMap 10.3 σε συνδυασμό με την εργαλειοθήκη HEC-GeoHMS. Γίνεται η εφαρμογή ενός συγκεντρωτικού μοντέλου, για το οποίο εκτιμάται το Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ), με τη χρήση των Ισόχρονων Καμπυλών. Η μελέτη για την επιλογή του κατάλληλου τύπου NBS έγινε με την εξέταση έξι σεναρίων για διάρκεια βροχής και περίοδο επαναφοράς, όπου επιλέχθηκε η δημιουργία δύο πλημμυρικών τεχνητών λιμνών, μαζί με δασικές ρυθμιστικές ζώνες στον περίγυρο τους. Στη συνέχεια γίνεται η εφαρμογή της ανάλυσης AHP (Analytical Hierarchy Process), για τη δημιουργία ενός χάρτη καταλληλότητας με τα σημεία που μπορεί να γίνει η εφαρμογή λύσεων βασισμένων στη φύση, από τον χάρτη αυτό γίνεται η επιλογή των δύο θέσεων. Με δεδομένη την ύπαρξη των δύο λιμνών γίνεται ξανά η επίλυση του υδρολογικού μοντέλου και παρατηρούνται οι διαφορές των μοντέλων. Επιπλέον, με τη χρήση του προγράμματος Vensim έγινε η δημιουργία ενός Causal Loop διαγράμματος, όπου μελετάται η δυναμική του συστήματος των πλημμυρικών λιμνών στο Αρτεμίσιο, τόσο σε

περιβαλλοντική κλίμακα, όσο και σε κοινωνικοοικονομική, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση του.

## 1.2. Βασικά Εργαλεία

### 1.2.1. Μοντέλα βροχής – Απορροής

Ένα μοντέλο είναι μια απλοποιημένη αναπαράσταση ενός πραγματικού συστήματος με ορισμένες παραδοχές. Ένα βέλτιστο μοντέλο εξασφαλίζει αποτελέσματα που πλησιάζουν αρκετά την πραγματική κατάσταση με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό παραμέτρων και το μικρότερο βαθμό πολυπλοκότητας. Ένα μοντέλο αποτελείται από πολλές παραμέτρους που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Ένα μοντέλο απορροής μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο εξισώσεων, βάση των οποίων εκτιμάται η απορροή συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων σχετικών με τα κλιματικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του. Βιβλιογραφικά συναντάται μια πληθώρα μοντέλων απορροής, τα οποία ποικίλουν ανάλογα με τα δεδομένα που έχουμε διαθέσιμα, τον αριθμό και τη φύση των παραμέτρων, τον βαθμό πολυπλοκότητας τους και το είδος τη ανάλυσης που επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε. Η μεγάλη αυτή διαθεσιμότητά μοντέλων καθιστά την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αρκετά σύνθετη διαδικασία. Τα περισσότερα μοντέλα απορροής έχουν δημιουργηθεί στο εξωτερικό, επομένως η χρήση τους για μελέτες στον ελλαδικό χώρο τα κάνει δύσχρηστα λόγω της έλλειψης αντιστοιχίας δεδομένων που αφορούν τις ιδιαιτερότητες των λεκανών απορροής της χώρας μας. Το πιο σύνηθες πρόβλημα των ελληνικών λεκανών απορροής είναι η έλλειψη δεδομένων απορροής, με φυσικό επακόλουθο την δυσκολία βαθμονόμησης και αντιστοιχίας των μοντέλων με τα πραγματικά γεγονότα. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται κατάτμηση της λεκάνης απορροής σε επιμέρους μικρότερες υπολεκάνες, προκειμένου να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια στην μελέτη τους και να μειωθεί η αβεβαιότητα των μοντέλων.

Υπάρχουν τριών ειδών μοντέλα ανάλογα με τη χωρική κατανομή των δεδομένων τους τα συγκεντρωτικά, τα ημικατανεμημένα και τα κατανεμημένα. Στα συγκεντρωτικά μοντέλα η

περιοχή μελέτης θεωρείται ως μια ενιαία οντότητα, μέσα στην οποία κατανέμονται ομοιόμορφα τα μεγέθη εισόδου και εξόδου, ενώ στα ημικατανεμημένα η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε επιμέρους υποπεριοχές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και σε κάθε υποπεριοχή τα δεδομένα εισόδου και εξόδου κατανέμονται ομοιόμορφα, με ξεχωριστά δεδομένα η κάθε μια. Τα κατανεμημένα μοντέλα βασίζονται στη χωρική κατανομή των δεδομένων εισόδου και εξόδου της περιοχής μελέτης, με την τελευταία να χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα δημιουργώντας έτσι ένα είδος κανάβου στοιχείων.

### 1.2.2. Μοντέλα Δυναμικής Συστημάτων ~ System Dynamics (SD)

Τα μοντέλα SD είναι μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουμε και να κατανοήσουμε την αιτιοκυριαρχία και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών εντός ενός συστήματος. Η Δυναμική Συστημάτων ποσοτικοποιεί την επίδραση αυτών των αλληλεπιδράσεων, χρησιμοποιώντας προσομοιωτική μοντελοποίηση βασισμένη στη θεωρία των συστημάτων ανατροφοδότησης. Τα μοντέλα αυτά επειδή είναι δυναμικά, μπορούν να εφαρμοστούν σε πολύπλοκα κοινωνικά, διοικητικά, οικονομικά ή οικολογικά συστήματα. Τα μοντέλα SD συμπληρώνουν τη σκέψη συστημάτων ποσοτικοποιώντας τις αλληλεπιδράσεις και αναπτύσσει μια χρονοεξαρτώμενη άποψη για το πώς συμπεριφέρεται το σύστημα. Η προσέγγιση επικεντρώνεται στην κατασκευή υπολογιστικών μοντέλων που αναπαριστούν και προσομοιώνουν πολύπλοκα προβλήματα όπου η συμπεριφορά αλλάζει. Αυτά τα μοντέλα φωτίζουν λιγότερο ορατές σχέσεις, δυναμική πολυπλοκότητα, καθυστερήσεις και μη επιθυμητές συνέπειες των αλληλεπιδράσεων. Σαν μέθοδος αναπτύχθηκε το 1950 από τον καθηγητή Jay Forrester στο Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης, από τη επιθυμία του να εφαρμόσει το υπόβαθρό του στην επιστήμη και τη μηχανολογία για να αντιμετωπίσει κρίσιμα ζητήματα που καθορίζουν την επιτυχία ή την αποτυχία επιχειρήσεων. Το 1956, ο Forrester εντάχθηκε στο νεοσύστατο Σχολείο Διοίκησης Sloan του MIT, και εμπνεόμενος από τις αλληλεπιδράσεις του με διαχειριστές στην General Electric (GE), ξεκίνησε την ανάπτυξη των θεμελίων της δυναμικής συστημάτων.

Η αρχική πρόκληση στην GE αφορούσε την κατανόηση του σημαντικού τριετούς κύκλου απασχόλησης που παρατηρούνταν στα εργοστάσια ηλεκτρικών συσκευών τους στο Κεντάκι. Χειροκίνητες προσομοιώσεις της δομής ροής-ανατροφοδότησης, περιλαμβανομένης της

δομής λήψης αποφάσεων για πρόσληψη και απολύσεις, έδειξαν ότι η αστάθεια στην απασχόληση οφείλονταν στην εσωτερική δομή της εταιρείας, παρά σε εξωτερικούς παράγοντες όπως ο επιχειρηματικός κύκλος. Αυτές οι προσομοιώσεις σηματοδότησαν την έναρξη του πεδίου της δυναμικής των συστημάτων.

Κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1950 και τις αρχές της δεκαετίας του 1960, ο Forrester και μια ομάδα από διδακτορικούς φοιτητές μετέφεραν τη νεοσυσταθείσα δυναμική συστημάτων από τη φάση των χειροκίνητων προσομοιώσεων στο στάδιο του επίσημου μοντελοποιητικού υπολογιστή. Ο Richard Bennett δημιούργησε την πρώτη γλώσσα μοντελοποίησης υπολογιστή για τη δυναμική συστημάτων, ονομαζόμενη SIMPLE (Προσομοίωση Βιομηχανικών Διαχειριστικών Προβλημάτων με Πολλές Εξισώσεις), την άνοιξη του 1958. Το 1959, η Phyllis Fox και ο Alexander Pugh συνέταξαν την πρώτη έκδοση του DYNAMO (Δυναμικά Μοντέλα), μια βελτιωμένη έκδοση της SIMPLE, και η γλώσσα δυναμικής συστημάτων έγινε το βιομηχανικό πρότυπο για πάνω από τριάντα χρόνια. Ο Forrester δημοσίευσε το πρώτο, και ακόμα κλασικό, βιβλίο στον τομέα με τίτλο "Βιομηχανική Δυναμική" το 1961.

Αρχικά εφαρμόστηκε σε εταιρικά και διοικητικά προβλήματα, η δυναμική συστημάτων διευρύνθηκε το 1968 με τη συνεργασία μεταξύ του Forrester και του πρώην Δημάρχου της Βοστώνης John F. Collins. Το έργο τους οδήγησε στο βιβλίο "Αστική Δυναμική," σηματοδοτώντας την πρώτη σημαντική μη-εταιρική εφαρμογή της δυναμικής συστημάτων. Το 1970, ο Jay Forrester προσκλήθηκε από το Club of Rome σε μια συνάντηση στη Βέρνη, Ελβετία, με σκοπό να αντιμετωπιστούν παγκόσμιες προκλήσεις. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία των μοντέλων WORLD1 και WORLD2, που αντιμετωπίζουν την απειλή της ανθρωπότητας απέναντι στην αυξανόμενη παγκόσμια πληθυσμιακή ανάπτυξη και τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Ο Forrester δημοσίευσε το "World Dynamics" σε σύνδεση με αυτές τις προσπάθειες.

Τα System Dynamics αποτελούν πλέον ένα ευρύ πεδίο μελέτης καθώς μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους κλάδους και να μοντελοποιήσουν τόσο τις υφιστάμενες καταστάσεις όσο και τις μεταβολές που θα υποστούν αυτές με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί διαφορικές εξισώσεις για να περιγράψει την εξέλιξη ενός συστήματος και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών του.

### 1.3. Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των οικοσυστημάτων της φύσης καθώς κατά σχεδόν κανονικά διαστήματα (Ντάφης 1986) αυτές εμφανίζονται από μόνες τους στον κύκλο της ζωής (κεραυνοί), όπως συμβαίνει για παράδειγμα στα ώριμα δάση χαλεπιού και τραχείας πεύκης, όπου η πυρκαγιά αποτελεί αναγεννητικό εργαλείο. Όταν όμως το ποσοστό της καύσιμης ύλης που συσσωρεύεται, δηλαδή είτε οι νεκροί είτε οι ζωντανοί ιστοί των φυτών, είναι μεγαλύτερο από αυτό που ανακυκλώνεται, τότε έχουμε αύξηση των πυρκαγιών (Kalabokidis et al. 2002). Η καύσιμη ύλη κατανέμεται σε δύο κατηγορίας: α) την καύσιμη ύλη εδάφους, η οποία περιλαμβάνει όλη την καύσιμη ύλη που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους μέχρι ύψος 1,5 m. Οι κυριότερες δασικές καύσιμες ύλες του εδάφους είναι η τύρφη, οι ρίζες των δέντρων, ο ξηροτάπητας, τα νεαρά δέντρα και οι θάμνοι, η παρεδάφια βλάστηση, καθώς επίσης και κλαδιά λεπτότερα ή παχύτερα, κατακείμενοι κορμοί και πρέμνα. και β) Εναέρια καύσιμη ύλη, η οποία περιλαμβάνει το σύνολο της καύσιμης ύλης που βρίσκεται σε ύψος 1,5 m και υψηλότερα (Κατσάνος 1970).

Οι δασικές πυρκαγιές ανάλογα με τον τρόπο εξάπλωσής τους και ανάλογα με τη θέση τους στην επιφάνεια του εδάφους διακρίνονται, σε εδάφους ή υπόγειες, σε επιφανείας ή έρπουσες και σε κόμης ή επικόρυφες. Στις πυρκαγιές εδάφους καίγεται η οργανική ύλη που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και βρίσκεται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης. Οι πυρκαγιές του είδους αυτού μπορούν να διεισδύσουν βαθύτερα πάνω από 1 ή 2 μέτρα, όταν υπάρχει οργανική ουσία (τύρφη) και να εξαπλωθούν υπόγεια (χαρακτηριστική η περίπτωση στα Τενάγη Φιλίππων - Δράμας). Στις πυρκαγιές επιφανείας καίγεται ο φυλλοτάπητας ή βελονοτάπητας, η παρεδάφια βλάστηση, τα νεαρά δέντρα, θάμνοι μικρού ύψους, υπολείμματα υλοτομίας και κατακείμενα ξερά κλαδιά. Είναι το πιο συνηθισμένο είδος πυρκαγιάς, διαδίδεται εύκολα, αλλά σβήνει γενικά γρήγορα. Στις πυρκαγιές κόμης καίγεται η κόμη των δέντρων ή θάμνων των φυτικών ειδών που είναι εύφλεκτα. Αυτές οι πυρκαγιές είναι οι πιο επικίνδυνες, γιατί εξαπλώνονται ταχύτερα, καταστέλλονται δυσκολότερα και έχουμε καταστροφή μεγάλων δασών. Ο άνεμος παρασύρει σε αρκετή απόσταση μικρά καιγόμενα τεμάχια κλαδιών φύλλων, φλοιού, κ.λπ., δημιουργώντας νέες εστίες πυρκαγιάς. Προέρχονται από έρπουσες πυρκαγιές που

μεταδίδονται στην κόμη, όταν υπάρχει συνέχεια στην καύσιμη ύλη και έχουμε συγχρόνως πυρκαγιές κόμης και έρπουσες. Οι καθαρές πυρκαγιές κόμης είναι πολύ σπάνιες και μόνο σε δάση μαύρης πεύκης.

Κατά την καύση μιας δασικής έκτασης, γίνεται διάβρωση του εδάφους καθώς τα δέντρα τα οποία συγκρατούν την ορμή του νερού, ενώ παράλληλα απορροφούν και μέρος αυτού, πλέον δεν υπάρχουν, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πλημμύρες στις περιοχές κατάντι. Ένα ακόμη πρόβλημα που μπορεί να δημιουργηθεί είναι η λειψυδρία, καθώς το έδαφος πλέον δεν στραγγίζει με σταθερό ρυθμό στα σημεία εκροής (λίμνες, ρέματα, ποτάμια, πηγες, κλπ), αλλά καταλήγει σε αυτά με επιφανειακή απορροή και με μεγάλη ποσότητα φερτών υλικών.

Επιπλέον, πολλές από τις ιδιότητες του εδάφους επηρεάζονται από τις δασικές πυρκαγιές. Η ένταση, το είδος της πυρκαγιάς, καθώς επίσης και το ύψος των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια και στη μάζα του εδάφους, συναρτήσει της χρονικής διάρκειά τους, επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στις μεταβολές που παρουσιάζονται (De Bano et al., 1979). Οι βασικότερες μεταβολές, παρατηρούνται στη θρεπτική κατάσταση του εδάφους, στην οξύτητά του αλλά και σε ορισμένες φυσικές του ιδιότητές.

Για πολλά δασικά είδη, υπάρχει ένα εύρος τιμής οξύτητας που χαρακτηρίζει την ομαλή ανάπτυξή τους. Όταν αυτό μεταβάλλεται με οποιονδήποτε τρόπο, έχει άμεση επίδραση στις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητές του. Η καύση μεγάλων ποσοτήτων ζώσης και νεκρής οργανικής ουσίας στην επιφάνεια των δασικών εδαφών, έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση υπό μορφή οξειδίων αλκαλιμετάλλων και γαιοαλκαλιμετάλλων, τα οποία γρήγορα μετατρέπονται σε υδροξείδια. Αποτέλεσμα αυτής της χημικής αντίδρασης είναι η ελάττωση της οξύτητας του εδάφους (Sampson 1944, Christensen and Muller, 1975, Hetsch, 1980). Η ποσότητα και το είδος των κατιόντων που απελευθερώνονται από τη φωτιά, η έντασή της και η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, καθορίζουν το ύψος της μεταβολής.

Επιπρόσθετα, οι δασικές πυρκαγιές επηρεάζουν περισσότερο τα εδάφη με μικρό ποσοστό αργίλου και μειωμένη ρυθμιστική ικανότητα. Ο Hetsch (1980), ένα χρόνο μετά από πυρκαγιά, μέτρησε σε αμμώδες έδαφος στη Γερμανία, μείωση της οξύτητας από 3,2 σε 5,3 ενώ τέσσερα χρόνια μετά, η τιμή είχε κατέβει στο 4,9. Αντίθετα, η Αριανούτσου – Φαραγγιτάκη (1979), σε εδάφη με υψηλό ποσοστό αργίλου, στον Υμηττό, με pH από 7,17

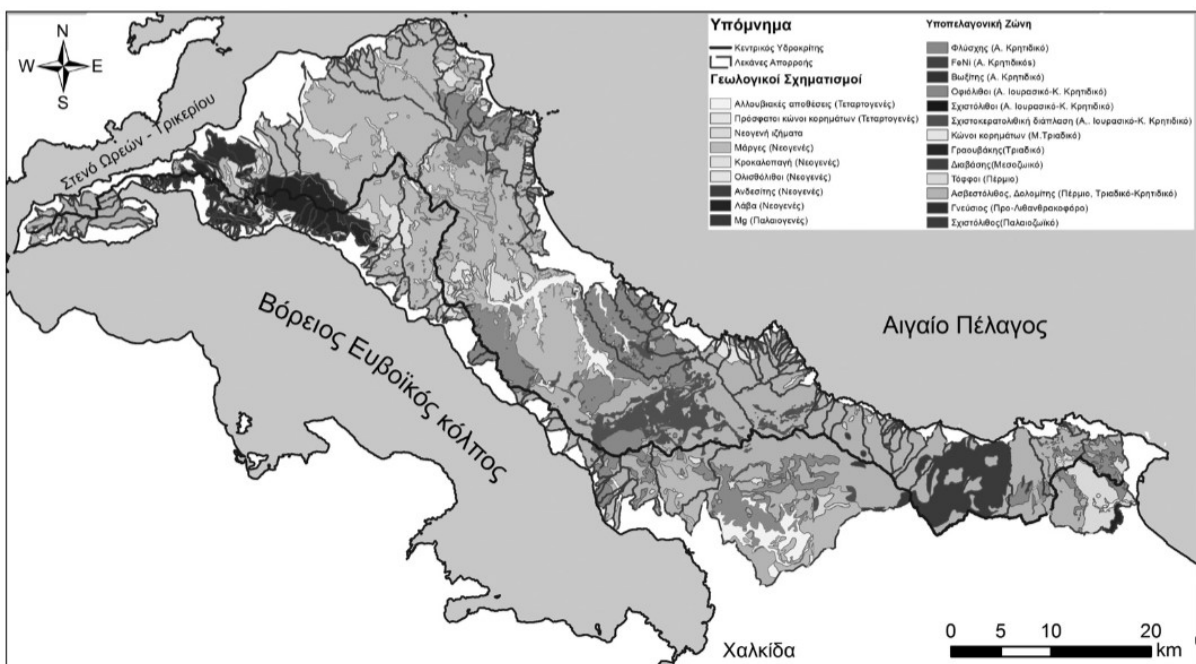
έως 8,24, μέτρησε μετά από πυρκαγιά σε φρύγανα, τιμές pH 7,39 έως 8,18. Παράλληλα, μετά από μία πυρκαγιά, μεταβάλλεται η διάβρωση του εδάφους και σαφώς και η παραγωγικότητά του. Η αύξηση της διάβρωσης του εδάφους έχει ως συνέπεια την εμφάνιση χειμαρρικών φαινομένων. Κάτι τέτοιο, τροφοδοτεί τους χειμάρρους με φερτά υλικά από τα οποία μεγάλο ποσοστό είναι γόνιμο λεπτό έδαφος. Παράλληλα, με τη φωτιά, καίγεται το οργανικό στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους, γεγονός που καθιστά το χώμα υδατοαπωθητικό και αυξάνεται η παραγωγή των ιζημάτων. Οι λιβαδικές εκτάσεις που καλύπτονται από λιβαδικά φυτά και λίγους θάμνους, διαβρώνονται ευκολότερα απ' ότι το πυκνό δάσος. Για το λόγο αυτό, η καλλιέργεια και η προετοιμασία του καμένου δάσους προς αναδάσωση, συνίσταται να γίνεται λίγους μήνες πριν ξεκινήσουν οι φθινοπωρινές βροχές.

Αλλαγές παρατηρούνται και στη θερμοκρασία του εδάφους. Όταν ξεσπάσει πυρκαγιά σε δασική έκταση και καεί η οργανική ύλη, οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους φθάνουν τους 300-400 °C , ενώ οι θερμοκρασίες σε βάθος εδάφους 1 cm, 3 cm και 5 cm, φθάνουν αντίστοιχα τους 200-300 °C, τους 60-80 °C και τους 40-50 °C. Η θερμοκρασία εδάφους αυξάνει, κατά μέσο όρο, κατά 10 °C μετά την πυρκαγιά και αυτό οφείλεται στη θανάτωση της οργανικής ύλης, στην αποκάλυψη του εδάφους και στη μεταβολή των φυσικοχημικών του ιδιοτήτων (Λυμπερόπουλος, 2008). Αξίζει να αναφερθεί ότι τα αργιλώδη εδάφη θερμαίνονται λιγότερο σε σχέση με τα αμμώδη. Τέλος, επηρεάζεται σημαντικά και η συγκράτηση υγρασίας του εδάφους. Το έδαφος, παρουσιάζει τη δυνατότητα να συγκρατεί ορισμένη ποσότητα βροχής υπό τη μορφή υγρασίας. Η ποσότητα αυτή της υγρασίας διαφέρει ανά τύπο εδάφους που καθορίζεται από παράγοντες όπως το βάθος, η υφή και η δομή.

## 1.4. Οι πλημμύρες στις δασικές εκτάσεις

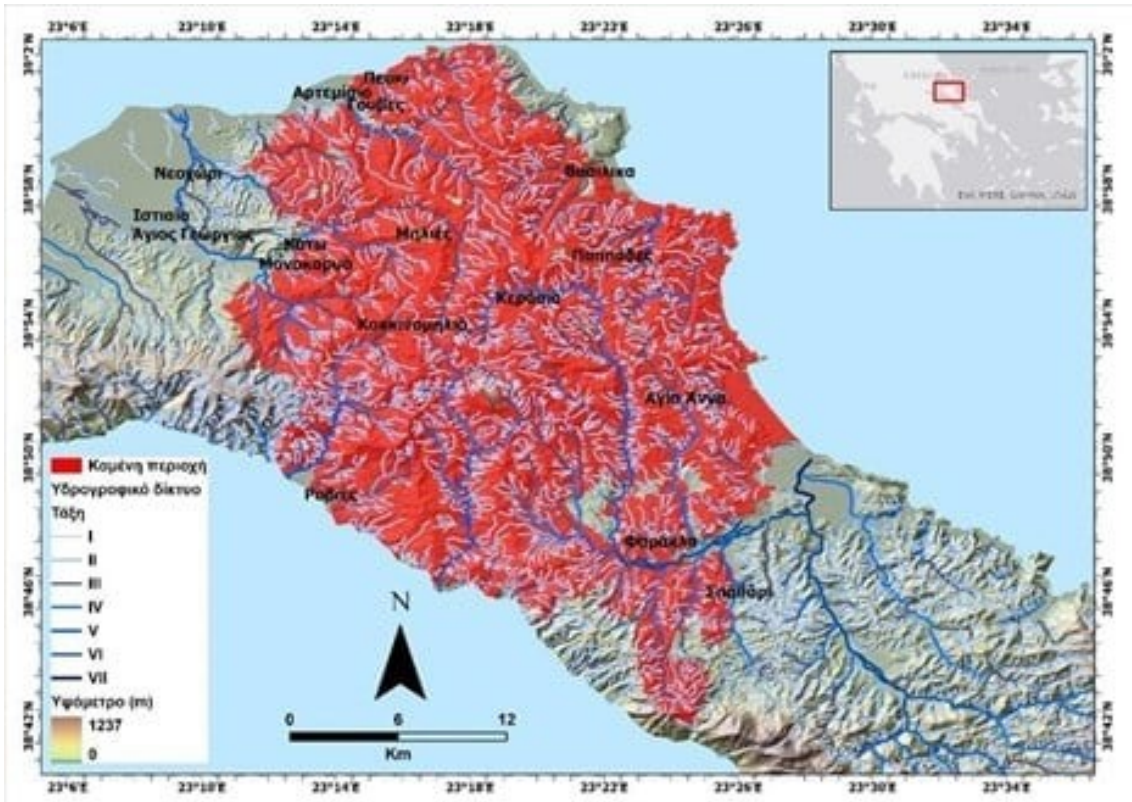
Η δασικές εκτάσεις συμβάλουν όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τόσο στη συγκράτηση και την αποθήκευση μεγάλου όγκου βρόχινου νερού, όσο και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Η επίδραση της βλάστησης στις πλημμύρες ποσοτικοποιείται με την αριθμητική έκφραση των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου βροχής. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν την συγκράτηση νερού από τα φυτά, τη φυλλάδα και το χούμο, τη διήθηση την βροχής στο έδαφος, την επιφανειακή και υπεδάφεια απορροή, τη μόνιμη και την παροδική συγκράτηση νερού από το έδαφος με τη μορφή υγρασίας, και τη διάβρωση του εδάφους.

Η γεωλογική μορφολογία του εδάφους της περιοχής της Εύβοιας είναι κυρίως από σχιστόλιθους, λεπτόκκοκο ιζηματογενές πέτρωμα, το οποίο περιέχει μείγμα αργιλικών ορυκτών και μικροσκοπικών θραυσμάτων άλλων ορυκτών όπως είναι ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας και είναι υδατοστεγές πέτρωμα με μικρές μηχανικές αντοχές. Με αποτέλεσμα να μην κατακρατούνται ποσότητες νερού σε αυτά και το νερό να οδεύει προς τα κατάντι με επιφανειακή απορροή.

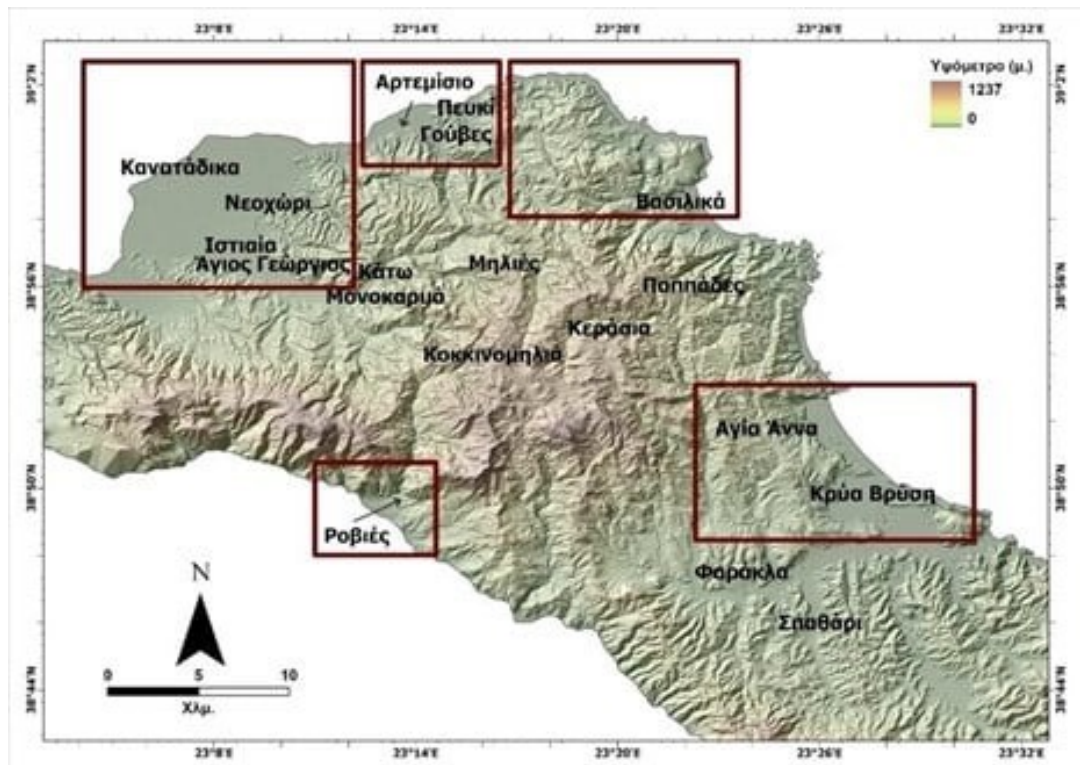


Χάρτης 1 Γεωλογικός χάρτης της Εύβοιας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών





Χάρτης 2 Το υδρογραφικό δίκτυο της Βόρειας Εύβοιας στις καμένες περιοχές, πηγή: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

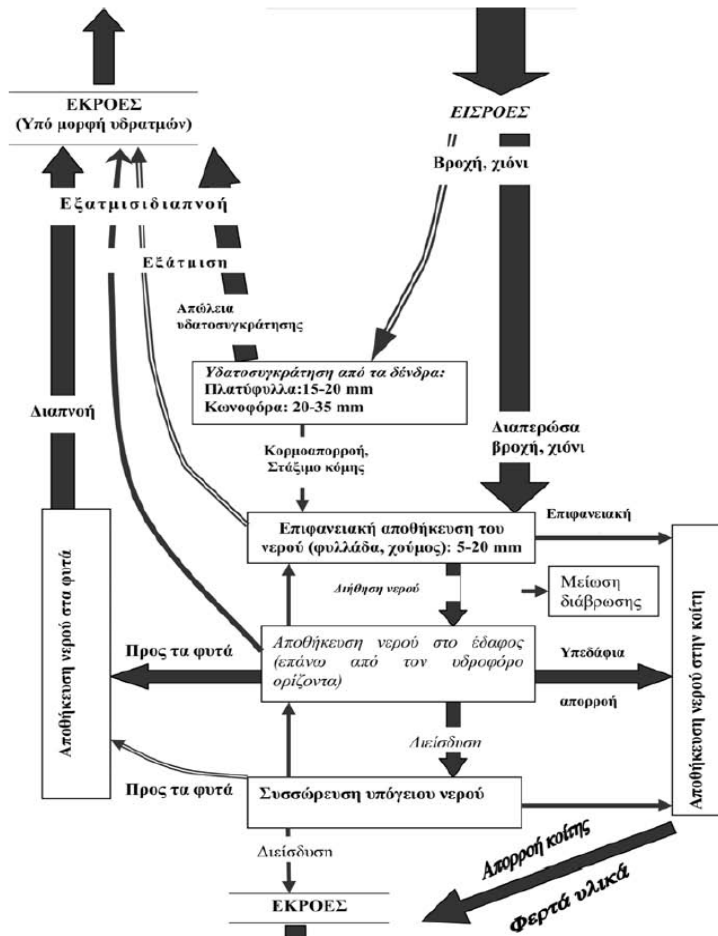


Χάρτης 3 Περιοχές που είναι πιο τρωτές σε πλημμυρικά φαινόμενα και φαινόμενα διάβρωσης σε περίπτωση σφοδρής βροχοπτώσεως για την περιοχή της Βόρειας Εύβοιας, πηγή: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Με βάση την έρευνα, η οποία πραγματοποιήθηκε από την ομάδα της καθηγήτριας Νίκης Ευελπίδου με επιτόπιες μετρήσεις στις καμένες περιοχές της Ελλάδας, μέσα στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η περιοχή της Βόρειας Εύβοιας, καταγράφηκαν όλα τα γεωμορφολογικά, εδαφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά των περιοχών και σε συνδυασμό με δεδομένα βροχοπτώσεων, βλάστησης και το ιστορικό επαναλληψιμότητας των φαινομένων, δημιουργήθηκαν οι χάρτες επικινδυνότητας διάβρωσης και πλημμύρας.

Προκειμένου να μελετηθεί περαιτέρω η συμπεριφορά του εδάφους των δασωμένων περιοχών στις έντονες βροχοπτώσεις είναι απαραίτητο να μελετηθεί εις βάθος ένα τμήμα του υδρολογικού κύκλου, το οποίο αφορά την πορεία του νερού και την κατακράτηση του τόσο από την επιφάνεια του εδάφους, όσο και από τις κατώτερες στρώσεις του. Οι εισροές στο έδαφος γίνονται από το βρόχινο νερό και από το λιώσιμο των πάγων, τα 15-22 mm των οποίων απορρέει από τα πλατύφυλλα δέντρα ( καστανιά, οξιά, πλατάνι, λεύκη, ελιά, κ.λ.π.) και τα 20 – 35 mm από τα κωνοφόρα δέντρα ( πεύκο, κυπαρίσσι, έλατο, κ.λ.π.), ενώ τα υπόλοιπα καταλήγουν στην επιφάνεια του εδάφους και αποθηκεύεται στη φυλλάδα και το χούμους. Από την υδατοσυγκράτηση των δέντρων ένα μέρος του νερού καταλήγει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής και το εναπομείνον καταλήγει μέσω της κορμοαπορροής, στην επιφάνεια του εδάφους αποθηκευμένο στη φυλλάδα και το χούμους μαζί με το μέρος του βρόχινου νερού και τους νερού των πάγων. Το αποθηκευμένο νερό στην φυλλάδα της επιφάνειας είναι 5-20 mm απορροής, εκ του οποίου ένα μέρος απορρέει με την επιφανειακή απορροή και καταλήγει στην κοίτη, ένα άλλο μέρος του αποθηκεύεται στις βαθύτερες στρώσεις εδάφους, πάνω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και το υπολειπόμενο αποθηκεύεται στη βλάστηση. Από τις στρώσεις αυτές το νερό είτε διεισδύει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, είτε με την υπεδάφια απορροή αποθηκεύεται στην τελική κοίτη. Το νερό που συσσωρεύεται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα κατά ένα τμήμα του εκρέει, άλλο μέρος του αποθηκεύεται στη κοίτη. Κάποιο τμήμα του ακολουθεί την αντίστροφη πορεία και οδηγείται στις ανώτερες στρώσεις εδάφους και τέλος ένα άλλο τμήμα του αποθηκεύεται στα φυτά, τα οποία το χρησιμοποιούν στην εξατμισοδιαπνοή τους. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, από την οποία παρατηρούμε ότι ένα μεγάλο μέρος του νερού στις δασικές εκτάσεις καταλήγει στις κοίτες.

ΝΕΡΟ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (ΥΓΡΑΣΙΑ)



Εικόνα 1 Υδρολογικές διεργασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή στο στόμιο μιας δασωμένης λεκάνης απορροής, πηγή: Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Γ. Μπαλούτσος, Α. Οικονόμου, Κ. Καούκης, «Κίνδυνος Πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά. Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων»

## 2. Εισαγωγή στις λύσεις βασισμένες στη φύση (NATURE BASED SOLUTIONS~NBS)

Τα NBS συστήματα είναι δράσεις που εμπνέονται και υποστηρίζονται από τη φύση και είναι αποτελεσματικές σε σχέση με το κόστος τους ενώ ταυτόχρονα παρέχουν περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη χτίζοντας την ανθεκτικότητα (resilience), κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για την κλιματική αλλαγή. Ουσιαστικά είναι δράσεις εμπνευσμένες από τη λειτουργία της φύσης, οι οποίες δημιουργούν αρμονικά περιβάλλοντα μέσω τοπικά προσαρμοσμένων, αποδοτικών πόρων και συστημικών παρεμβάσεων. Οι πρακτικές τους βοηθούν στην αύξηση της βιοποικιλότητας, στην απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα, συνεισφέρουν στην κλιματική ισορροπία, βοηθούν στην ορθή διαχείριση φυσικών πόρων, προσφέρουν φυσική αποκατάσταση ενώ παράλληλα εγκαθιστούν πράσινη αναβάθμιση στα αστικά τοπία.

Τα NBS συστήματα έχουν οκτώ αρχές, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Προϋποθέτουν τον εναγκαλισμό των κανόνων της φύσης σε τεχνικά έργα.
2. Μπορούν να εφαρμοστούν μόνες ή σε συνδυασμό με άλλες λύσεις σε κοινωνικές προκλήσεις (π.χ. τεχνολογικές και μηχανικές λύσεις).
3. Καθορίζονται από την τοπική, φυσική και πολιτιστική ιδιομορφία και προέρχονται ως αποτέλεσμα από την μίξη παραδοσιακών, τοπικών και επιστημονικών γνώσεων.
4. Παράγουν κοινωνικά οφέλη με δίκαιο τρόπο, που εδραιώνουν τη διαφάνεια και την ευρεία συμμετοχή.
5. Διατηρούν τη βιολογική και πολιτιστική ποικιλομορφία και την ικανότητα των οικοσυστημάτων να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου.
6. Εφαρμόζονται σε κλίμακα τοπίου.
7. Αναγνωρίζουν το αντιστάθμισμα μεταξύ των άμεσων οικονομικών οφελών και αυτών που προέρχονται σε βάθος χρόνου από την πλήρη ανάπτυξη των οικοσυστημικών υπηρεσιών και τέλος
8. Αποτελούν ακέραια τμήματα πολιτικών σχεδιασμών, μέτρων ή δράσεων για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προκλήσεων.

Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Διατήρησης της Φύσης (IUCN) τα συστήματα NBS είναι «δράσεις για την προστασία, τη βιώσιμη διαχείριση και αποκατάσταση των φυσικών ή τροποποιημένων οικοσυστημάτων». Η ραχοκοκαλιά των λύσεων βασισμένων στη φύση είναι η βιώσιμη διαχείριση και η αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας, μέσα από την άμεση αντιμετώπιση περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων. Με βάση τις προκλήσεις αυτές η IUCN κατανέμησε τις λύσεις αυτές σε πέντε κατηγορίες:

1. Προσεγγίσεις που αφορούν στην αποκατάσταση των οικοσυστημάτων (Ecosystem restoration approaches), με ενέργειες οι οποίες βελτιώνουν οποιοδήποτε υποβαθμισμένο οικοσύστημα, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών περιοχών, της σαβάνας, των υγροτόπων, των προστατευόμενων αποθεμάτων άγριας ζωής, της αλιείας, των διαχειριζόμενων φυτειών, των ποταμών, των παράκτιων περιοχών και πολλών άλλων. Τα εμφανή οφέλη της δεκαετίας μπορούν να εντοπισθούν στους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης (SDGs), όπως λύσεις που βασίζονται στη φύση για τον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, την ασφάλεια του νερού και των τροφίμων, τη μείωση της φτώχειας, την οικονομική ανάπτυξη και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας.
2. Προσεγγίσεις για την γεωργία και την βιοποικιλότητα του εδάφους (Agricultural and soil biodiversity). Ο στόχος αυτής της προγραμματικής δέσμευσης είναι να προωθήσει το διάλογο μεταξύ των τομέων της γεωργίας και της διατήρησης και να ενθαρρύνει τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και τους διαχειριστές γης (συμπεριλαμβανομένων των αγροτικών κοινοτήτων) να εφαρμόσουν ένα κοινό όραμα για την προστασία και την αποκατάσταση της βιοποικιλότητας στα αγροκτήματα και στα αγροτικά τοπία, συμπεριλαμβανομένων των οικοσυστημάτων από τα οποία η γεωργία εξαρτάται.
3. Προσεγγίσεις που αφορούν την μείωση του κινδύνου των καταστροφών (Disaster risk reduction). Οι συνεχείς και μελλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και των καταστροφών στις κοινότητες δεν πρέπει να εξεταστούν μεμονωμένα, αλλά να αντιμετωπιστούν μέσω ολοκληρωμένων προσεγγίσεων κλίμακας τοπίου και να ενσωματωθούν σε ευρύτερα παραδείγματα ανάπτυξης και διατήρησης. Η μείωση του κινδύνου καταστροφών με βάση το οικοσύστημα (Eco-DRR) και η προσαρμογή βάσει οικοσυστήματος (EbA) είναι σχετικές προσεγγίσεις που μπορούν να

θεωρηθούν ως συνεχείς, από τον μετριασμό καταστροφών μεγάλης κλίμακας, όπως τσουνάμι και κατολισθήσεις, έως την προσαρμογή σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες

4. Προσεγγίσεις που αφορούν την κλιματική αλλαγή (Nature based solutions for climate), με την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την αποψίλωση των δασών και τη χρήση γης, τη συλλογή και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων και την υποστήριξη της κοινωνίας να προσαρμοστεί σε κλιματικούς κινδύνους όπως είναι οι πλημμύρες, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, πιο συχνές και έντονες ξηρασίες, καύσωνες και πυρκαγιές.
5. Προσεγγίσεις που αφορούν τον αστικό ιστό (Nature-Based solutions for cities), οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν οικονομικά και κομψά τη βιωσιμότητα, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των πόλεων. Τα δέντρα καθαρίζουν τους ρύπους, μειώνουν τον θόρυβο και δροσίζουν τον αέρα. οι υγρότοποι και οι βροχόκηποι μειώνουν τον κίνδυνο πλημμύρας. Τα φύκια και τα έλη ρυθμίζουν τις καταιγίδες, Οι χώροι πρασίνου διευκολύνουν την άσκηση, την πνευματική τροφή και την αλληλεπίδραση με την κοινότητα. και οι πράσινοι δρόμοι υποστηρίζουν τα ενεργά ταξίδια.

Πέρα του διαχωρισμού σε κατηγορίες που προώθησε η IUCN, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, σύμφωνα με τον Eggermont, et al. (2015, σελ. 244), οι λύσεις αυτές διακρίνονται σε τρεις τύπους, βάση του βαθμού παρέμβασης τους στο περιβάλλον:

1. **Τύπος 1: Ελάχιστη παρέμβαση στο οικοσύστημα.** Στην περίπτωση αυτή, οι παρεμβάσεις που σημειώνονται είναι πολύ μικρής έντασης, προκειμένου να διατηρείται και να βελτιώνεται η ήδη υπάρχουσα προστασία. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν την προστασία παράκτιων περιοχών που κινδυνεύουν από ακραίες καιρικές συνθήκες, καθώς και προστατευόμενες περιοχές και περιοχές μετάβασης όπου ένα κοινωνικό σύνολο κατοικεί και εργάζεται με βιώσιμο τρόπο.
2. **Τύπος 2: Μερική παρέμβαση στο οικοσύστημα.** Ο εν λόγω τύπος συνδέεται άμεσα με τη γεωργία και τις δασικές εκτάσεις. Στόχος του αποτελεί η αύξηση της λειτουργικότητας των υφιστάμενων γεωργικών εκτάσεων, καθώς και την αύξηση της ανθεκτικότητας των δασών σε ακραία φαινόμενα.





3. **Τύπος 3: Εκτεταμένη παρέμβαση στο οικοσύστημα.** Ο τύπος αυτός προβλέπει στην εκτενέστερη διαχείριση των οικοσυστημάτων, καθώς και στη δημιουργία νέων τεχνητών για το μετριασμό των επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα και τα ύδατα. Ένα από τα αντιπροσωπευτικότερα παραδείγματα που αναφέρει και ο Eggermont, et al., αποτελούν οι «πράσινες υποδομές, οι οποίες λειτουργούν για την αποκατάσταση των υποβαθμισμένων περιοχών», όπως η αντιμετώπιση των μολύνσεων από όμβρια ύδατα.











Στους δύο παρακάτω πίνακες φαίνονται οι τρεις τύποι παρεμβάσεων στη φύση των NBS με χρωματική διάκριση (πίνακας 1) και μια επισκόπηση για την μείωση του κινδύνου της πλημμύρας που μπορούν να επιτύχουν στο πλαίσιο των παραποτάμιων οικοσυστημάτων σε συνάρτηση με τον βαθμό παρέμβασης που απαιτούν για να υλοποιηθούν (πίνακας 2).

Categories of NbS Interventions	
Use of natural ecosystem	is an intervention that prevents, or greatly limits, overexploitation of existing natural resources to achieve the long-term conservation of nature. <sup>30</sup>
Managed or restored ecosystem	is an active or passive intervention that involves returning degraded, damaged or destroyed ecosystems to pre-disturbance state. <sup>31</sup>
Creation of new ecosystem	involves the establishment, protection and/or management of artificial “new” ecosystems. This includes non-natural tree stands, artificial grasslands, created artificial wetlands (not restored) and urban green infrastructure.

Πίνακας 1 Οι κατηγορίες των παρεμβάσεων των NBS, πηγή: ADDRESSING RIVERINE FLOODING WITH NATURE-BASED SOLUTIONS IN THE THESSALY REGION, GREECE

NbS Intervention	Description	Benefit	Category
<b>Floodplain restoration and management<sup>33</sup></b>	Restoring retention capacity and ecosystem functions of floodplains, by reconnecting them to the river.	Flood risk reduction	
<b>River restoration</b>	Includes NbS interventions such as re-naturalisation of polder areas <sup>34</sup> , stream-bed renaturalisation <sup>35</sup> , reconnection of oxbow lakes and similar features <sup>36</sup> , and reconnection of seasonal streams <sup>37</sup> .	Flood risk reduction	



<b>Wetland restoration and management</b>	It can involve technical, spatially large-scale measures (including the installation of ditches for rewetting or the cutback of dikes to enable flooding).	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Basins, ponds, and lakes</b>	Provide temporary or permanent storage for water to flatten the water discharge peak.	Flood risk reduction, water availability	
<b>Low/No till agriculture</b>	Improvements to the management of the agricultural land to increase its retention capacity (e.g., agroforestry <sup>38</sup> ).	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Natural bank stabilisation</b>	Riverbank renaturalisation consists of recovering its ecological components, thus allowing the bank to be stabilised and rivers to move more freely, resulting in decreased water flow and erosion, and enhanced biodiversity.	Biodiversity, Erosion control	
<b>Maintenance of forests</b>	Protection of existing upstream forests. Forest soils generally have better infiltration capacity than other land cover types and may act as a “sponge”, slowly releasing rainfall.	Flood risk reduction, water quality, Biodiversity	
<b>Forest riparian buffers</b>	Conservation of existing or restoration of “new” forests alongside river streams and other water bodies.	Recreational opportunities, Erosion control	
<b>Targeted planting for ‘catching’ precipitation</b>	Establishment of new forests & shrubs (i.e., habitats) to enhance the retention capacity of the watershed (e.g. reforestation).	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Restoration of natural infiltration</b>	Small stone barriers installed in creeks & riverbeds in the mountains to reduce velocity and retain water upstream.	Flood risk reduction	
<b>Coarse woody debris</b>	Deadfall of tree stems or stumps that either fall into or are deliberately placed in streams. Coarse woody debris will generally slow water flow velocity and can reduce the peak of flood hydrographs.	Flood risk reduction, Biodiversity	
<b>Removal of dams and other longitudinal barriers</b>	Dams and other longitudinal barriers are obstacles crossing the river section and causing discontinuities for sediment and fauna.	Flood risk reduction, Biodiversity	

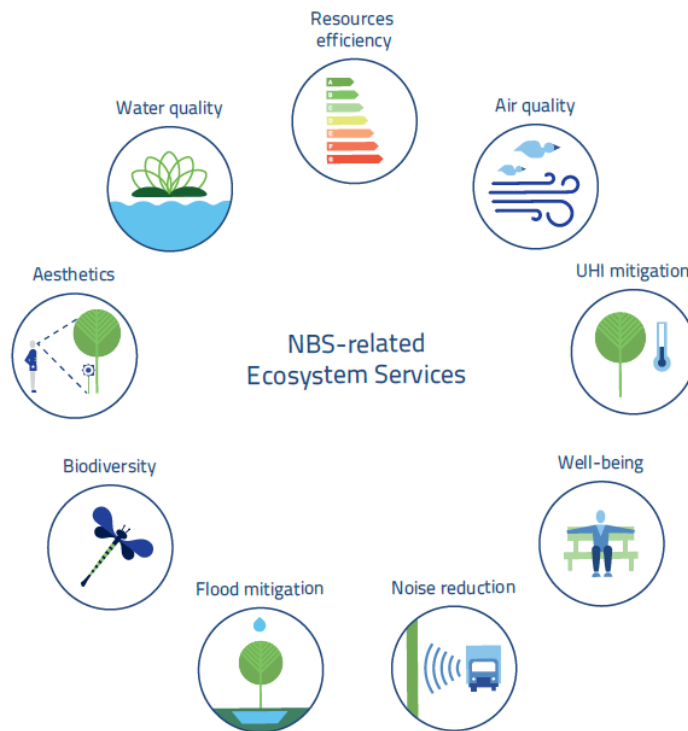
Πίνακας 2 Τα πιο γνωστά NBS για τη μείωση επικινδυνότητας πλημμύρας, πηγή: ADDRESSING RIVERINE FLOODING WITH NATURE-BASED SOLUTIONS IN THE THESSALY REGION, GREECE

Οι προσεγγίσεις των λύσεων βασισμένων στη φύση έχουν αναπτυχθεί σποραδικά σε διάφορες χρονικές περιόδους. Πρόσφατα έχει παρατηρηθεί μια αξιοσημείωτη αύξηση στη συμπερίληψη τους στις επιστημονικές βιβλιογραφίες, η οποία προκύπτει σε μεγαλύτερο βαθμό από την πρακτική τους, παρά από την επιστημονική τους έρευνα.

## 2.1. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των λύσεων βασισμένων στη φύση

Οι λύσεις βασισμένες στη φύση (NBS) έχουν πολλά προτερήματα που τις καθιστούν ελκυστικές για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών με τις οποίες η γη έρχεται αντιμέτωπη όλο και πιο έντονα με το πέρασμα των χρόνων. Με την οδηγία πλαίσιο 2000/60/ΕΚ οι επιλογές των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των Υδάτων περιορίζονται καθώς τα έργα υποδομών μεγάλης κλίμακας δεν είναι πλέον επιλογή. Ο παράγοντας αυτός σε συνδυασμό με τα ακραία καιρικά φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια, ωθούν τους ερευνητές στην λύση των προβλημάτων όπως είναι οι πλημμύρες και οι ξηρασίες, κ.λπ. με πιο οικολογικούς και οικονομικούς τρόπους, οι οποίοι αποτελούν τις λύσεις βασισμένες στη φύση.

Αρχικά, τα NBS προάγουν τη βιοποικιλότητα, καθώς μπορούν να δημιουργήσουν ή να ενισχύσουν φυσικά οικοσυστήματα, και να επαναφέρουν ή και ακόμη να δημιουργήσουν εξαρχής νέους βιότοπους, οι οποίοι με τη σειρά τους ανάλογα με τα κλιματικά και γεωγραφικά στοιχεία τους να προστατέψουν ήδη του ζωικού βασιλείου που βρίσκονται υπό εξαφάνιση, να βοηθήσουν τα ήδη υπάρχοντα ήδη να ζήσουν στο φυσικό τους περιβάλλον και να απομακρυνθούν από τον αστικό ιστό, στον οποίο αναζητούν καταφύγιο και τροφή λόγω της μείωσης των δασικών εκτάσεων. Επιπλέον, προσφέρουν προστασία από τις πλημμύρες και τις ξηρασίες λειτουργώντας ως φυσικά συστήματα απορρόφησης νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμυρών, προωθώντας την δημιουργία φυσικών λιμνών και φραγμάτων, τα οποία βελτιώνουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων κατά τις περιόδους ξηρασίας. Προσφέρουν ευκαιρίες για τη συμμετοχή των κοινοτήτων στον σχεδιασμό και την υλοποίηση τους, προάγοντας την αειφορία, δηλαδή την χρήση των φυσικών οικοσυστημάτων ώστε να εξασφαλίζεται η μελλοντική ποιότητα και ισορροπία τους. Σε πολλές περιοχές δίνεται η ευκαιρία στο ευρύ κοινό να συμμετάσχει στη δημιουργία των NBS υπό την καθοδήγηση των ειδικών, μεγάλο παράδειγμα στην Ελλάδα αποτελεί η ενέργεια της WWF ΕΛΛΑΣ στο νησί της Νάξου, το οποία αναφέρεται πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 2 Τα πλεονεκτήματα των λύσεων βασισμένων στη φύση NBS. πηγή: Blue Green Solutions, The Guide

Μεγάλο προτέρημα των NBS αποτελεί και η οικονομική τους αποδοτικότητα καθώς σαν έργα είναι πολύ πιο οικονομικά από τα έργα υποδομών κυρίως γιατί οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούν παρέχονται από το φυσικό περιβάλλον σε μεγάλο βαθμό και δεν απαιτούν τόνους τεχνητών υλικών όπως είναι το σκυρόδεμα και ο χάλυβας, των οποίων οι τιμές αγοράς, επεξεργασίας καθώς και εξόρυξης είναι μεγάλες. Επομένως προσφέρουν μια πιο βιώσιμη χρήση των πόρων, με σεβασμό προς τη φύση. Επιπρόσθετα, μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση της ερημοποίησης και της απώλειας εδάφους, με την αναβάθμιση των υπόγειων υδροφορέων, καθιστώντας το έδαφος πιο γόνιμο και δημιουργώντας νέες δασικές εκτάσεις. Οι παράγοντες αυτοί εκτός από την αναβάθμιση της φύσης προσφέρουν τόσο στους κατοίκους των γύρω περιοχών, όσο και στους τουρίστες χώρους αναψυχής, αναβαθμίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ποιότητα ζωής και τον τουρισμό των περιοχών αντίστοιχα. Τέλος, θα μπορούσε κάποιος να χαρακτηρίσει τα NBS ως μια μορφή αντίστασης στις κλιματικές αλλαγές, παρόλο που ο ρόλος τους αντιστοιχεί περισσότερο στην προσαρμογή της γης στις αναμενόμενες κλιματικές αλλαγές και στη διόρθωση των λανθασμένων ανθρωπίνων παρεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον, όπως είναι το μπάζωμα ρεμάτων, η στένωση ποταμών, η αστικοποίηση πλημμυρικών πεδιάδων, κ.λπ.

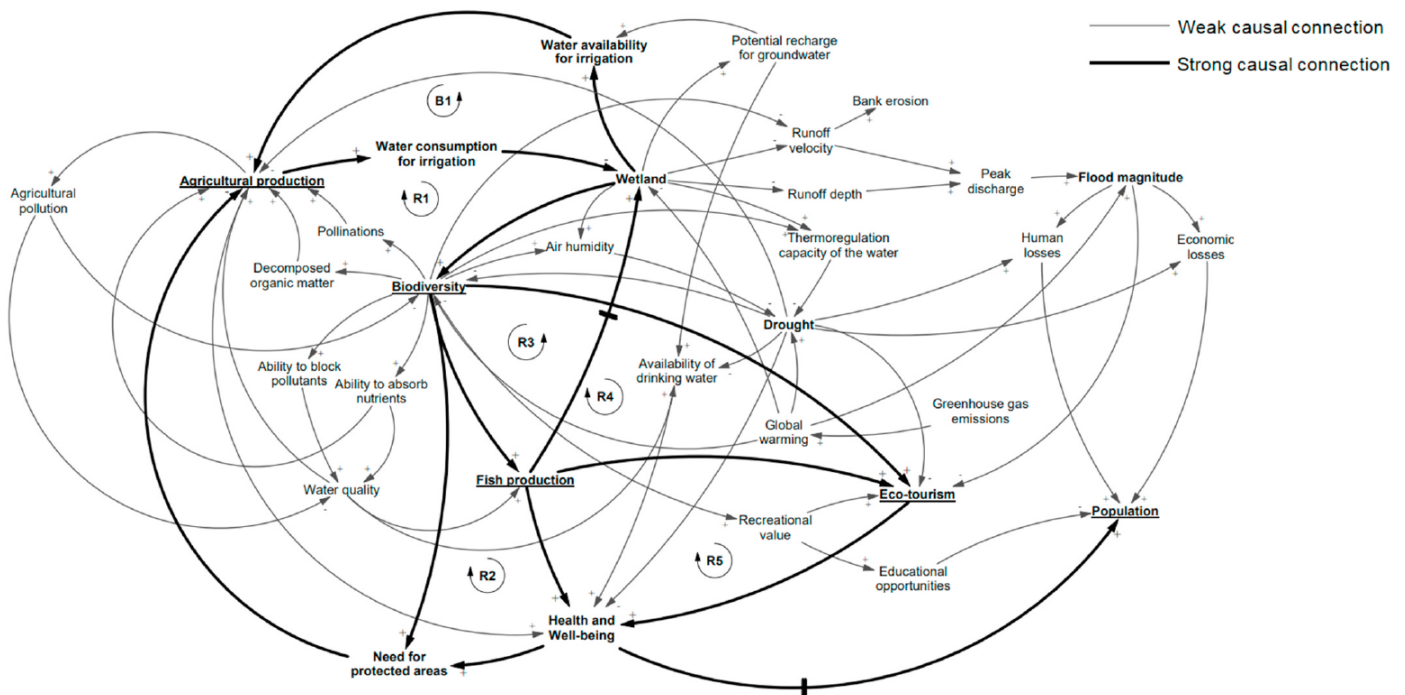
## 2.2. Ποιά η χρήση των System Dynamics (SD) στις λύσεις βασισμένες στη φύση (NBS)

Παρά την αυξανόμενη προσοχή στις λύσεις βασισμένες στη φύση (NBS), χρειάζεται μια ισχυρή απόδειξη για τα πολλαπλά οφέλη τους, καθώς επίσης και πλαίσια αξιολόγησης για να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους. Τα υπάρχοντα πλαίσια αξιολόγησης βρίσκονται ακόμα μακριά από το να υποστηρίξουν μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση και λήψη αποφάσεων για την επιλογή και την χρήση των κατάλληλων NBS (Calliari et al., 2019). Τα περισσότερα από αυτά τα πλαίσια επικεντρώνονται στην ανάλυση της αποτελεσματικότητας όσον αφορά τη μείωση του κινδύνου. Οι βασικοί περιορισμοί συνδέονται με την έλλειψη συμμετοχής των εμπλεκόμενων φορέων (Calliari et al., 2019; Narayan et al., 2017), καθώς και την περιορισμένη ικανότητα ανάλυσης του δυναμικού των NBS για την παραγωγή συνοδευτικών οφελών και την περιγραφή του δυναμικού που σχετίζεται με την εφαρμογή τους (Kabisch et al., 2016; World Bank, 2017). Η χρήση των System Dynamics Models (SDM) μπορεί να βοηθήσει στην εξέταση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, μετατρέποντας το σύνολο του συστήματος σε ένα σύνολο μεταβλητών μέσω βρόγχων ανάδρασης (Chen and Wei, 2014, Zomorodian et al., 2018).

Πολλές πρόσφατες εφαρμογές έχουν υπογραμμίσει τη σημασία και το δυναμικό της συμμετοχικής των SDM στον σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων (de Vito et al., 2019, 2017, Gastelum et al., 2018, Pagano et al., 2018, Wang et al., 2018), καθώς και στον τομέα της "υδάτινης ασφάλειας" (Charman and Darby, 2016, Chen and Wei, 2014, Pagano et al., 2017, Phan et al., 2018). Ο αριθμός των μελετών που έχουν χρησιμοποιήσει τα SDM για να πραγματοποιήσουν ολοκληρωμένη ανάλυση της επίδρασης πολλαπλών μέτρων, όπως οι NBS, στον κίνδυνο πλημμύρας και σε άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα είναι σχετικά μικρός. Η Chu et al. (2010) υιοθέτησε μια προσέγγιση βασισμένη στα SD για να αναλύσει μία τεχνητή λίμνη σε αστικό περιβάλλον, προσομοιώνοντας την επίδραση των πολλαπλών διαφορετικών στρατηγικών. Τα SDM χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τον εντοπισμό των ψυχολογικών μοντέλων των ενδιαφερομένων φορέων και την προσομοίωση ενός δυναμικού υγροτόπου (Chen et al., 2014). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε επίσης για την αξιολόγηση της αντοχής με έμφαση στον κίνδυνο πλημμύρας σε περίπτωση τυφώνων,

αξιολογώντας τον αντίκτυπο της δημιουργίας πράσινων υποδομών (στέγαση, εγκαταστάσεις αποθήκευσης εισροών και διαπερατούς δρόμου) (Song et al., 2018).

Με τη χρήση των System Dynamics επιτυγχάνεται η ενεργός συνεργασία και ο συνδυασμός διαφορετικών ειδών ειδίκευσης και διακλαδικών δεξιοτήτων, χτίζοντας έτσι μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στα μοντέλα (Zomorodian κ.ά., 2018). Έπειτα, συμβάλλει στην ανάδειξη των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων του συστήματος, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στην πρόβλεψη πιθανών επιδράσεων ή σε πολιτικές αντίστασης (Meinherz και Videira, 2018; Pluchinotta κ.α., 2019a) καθώς και στην εντοπισμό κατάλληλων στρατηγικών για την επίδραση στα συστήματα (Lopes και Videira, 2017). Τέλος, πέρα από τη μοντελοποίηση, ολόκληρη η διαδικασία προάγει την ευαισθητοποίηση και το κίνητρο εκείνων που συμμετέχουν σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων ή καθορισμού πολιτικών, παρέχοντας έτσι μια πλατφόρμα για την κοινή κυριότητα των αποτελεσμάτων (Pluchinotta κ.ά., 2019b, 2018, Rich κ.α., 2018).



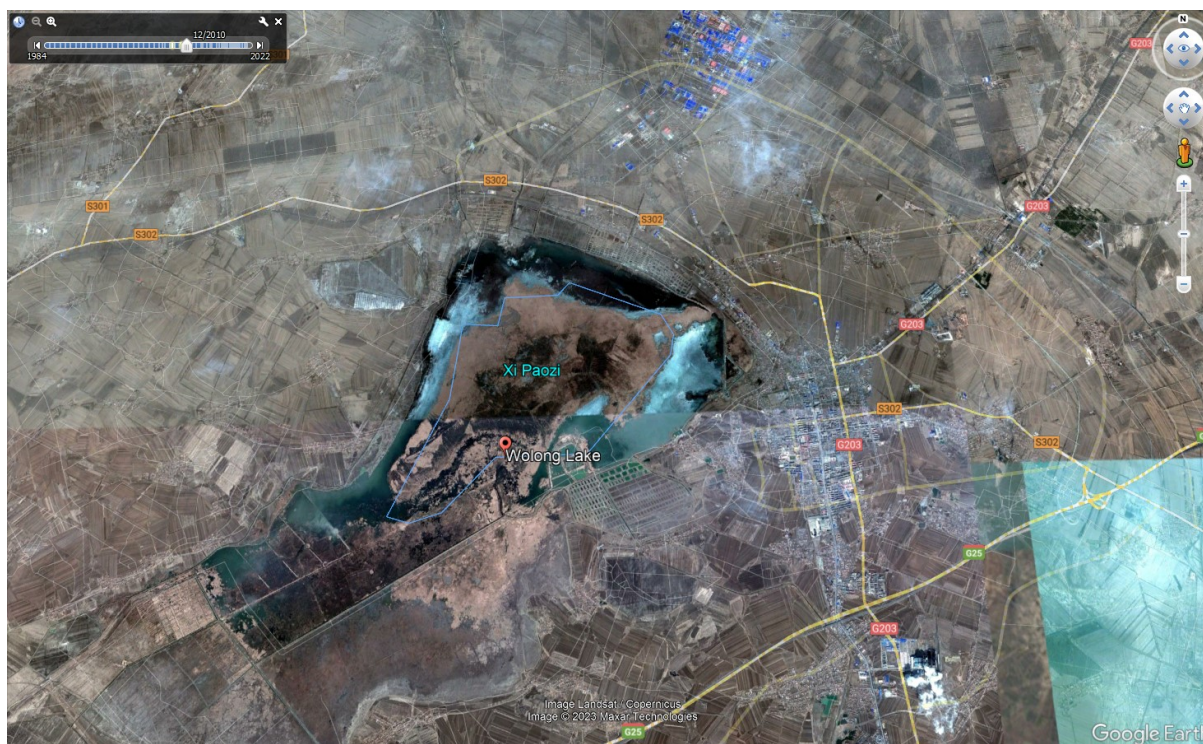
Διάγραμμα 1 Causal Loop διάγραμμα που περιγράφει τη δυναμική των NBS, για την ξηρασία και το μέγεθος της πλημμύρας για τον υγρότοπο Balta Potelu, πηγή: Virginia Rosa Coletta, Alessandro Pagano, Irene Pluchinotta, Umberto Fratino, Albert Scricciu, Florentina Nanu, Giordano Raffaele «Causal Loop Diagrams for supporting Nature Based Solutions participatory design and performance assessment»



## 2.3. Παραδείγματα εφαρμογής NBS συστημάτων στη φύση

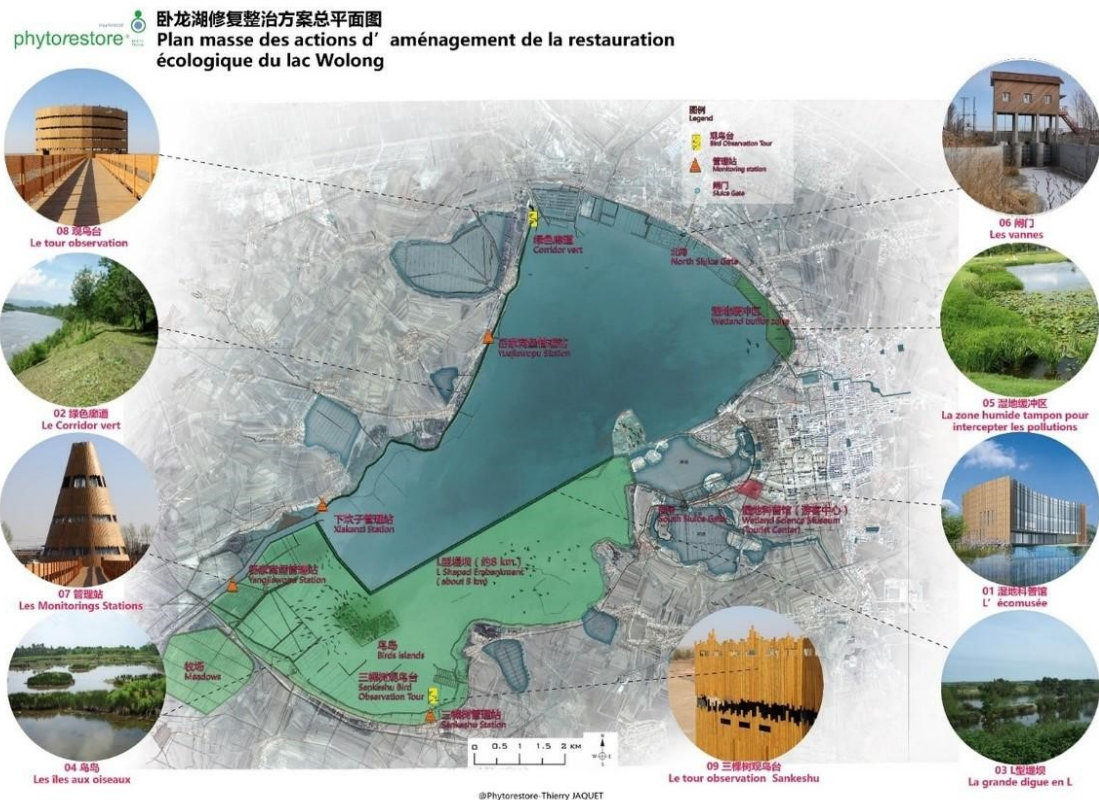
### 2.3.1. Η ΛΙΜΝΗ WOLONG (ΚΙΝΑ)

Στην Βορειοανατολική Κίνα στην επαρχία Liaoning βρίσκεται η λίμνη Wolong, η μεγαλύτερη λίμνη γλυκού νερού με επιφάνεια 68 τ.χλμ., η οποία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους βιότοπους πτηνών υπό εξαφάνιση, καθώς επίσης έχει χρησιμοποιηθεί από καιρό ως ενδιάμεσος σταθμός για δεκάδες χιλιάδες πουλιά στον δρόμο της μετανάστευσης τους μεταξύ Ανατολικής Ασίας και Αυστραλίας. Η λίμνη Wolong βρέθηκε αντιμέτωπη με την ξηρασία ως επακόλουθον των δραστηριοτήτων αλιείας, γεωργίας από τον άνθρωπο και την κλιματική αλλαγή. Αποτέλεσμα αυτών των πράξεων ήταν η μετανάστευση μεγάλου πληθυσμού αποδημητικών πουλιών και ιχθύων και μετατροπή της λίμνης σε βάλτο. Το 2012 ανακηρύχθηκε αναδείχθηκε ως εθνική πιλοτική περιοχή οικολογικής περιβαλλοντικής προστασίας λιμνών.



Εικόνα 3 Λίμνη Wolong πριν την επαναφορά της σε βιότοπο, πηγή: 2010, Google Maps

Το 2014 έλαβε χώρα ένα πρόγραμμα αποκατάστασης της λίμνης, με στόχο να αναπτυχθεί ξανά η πλούσιο βιοποικιλότητα την λίμνης με παράλληλη ενθάρρυνση του οικοτουρισμού προκειμένου να παρέχονται στους κατοίκους της περιοχής νέες πηγές εισοδήματος (Wolong Lake restoration Masterplan, AFD, 2013). Με τη συνεργασία Γαλλικών και Κινεζικών εταιριών πραγματοποιήθηκαν πολλές ενέργειες με στόχο την αποκατάσταση των υδρολογικών, οικολογικών και βιολογικών λειτουργιών της λίμνης. Πιο συγκεκριμένα κατασκευάστηκε ανάχωμα με θύρες νερού για να επιτρέψει τη διαχείριση των υδάτινων πόρων ανάλογα με τις διαφορετικές χρήσεις της λίμνης και η δημιουργία μιας ουδέτερης ζώνης υγροτόπων για την αποτροπή της μόλυνσης των υδάτων από τα λύματα που προέρχονται από τον σταθμό επεξεργασίας τους. Έγινε στενή παρακολούθηση της στάθμης των υδάτων και των πληθυσμών των αποδημητικών πουλιών και δημιουργία 36 μικρών νησιών για αυτά με διαφορετική μορφή βιότοπου στο καθένα και συνολική έκταση 0,6 τ.χλμ. Δημιουργήθηκαν μονοπάτια πεζοπορίας, δύο πύργοι παρατήρησης και ένα οικομουσείο.



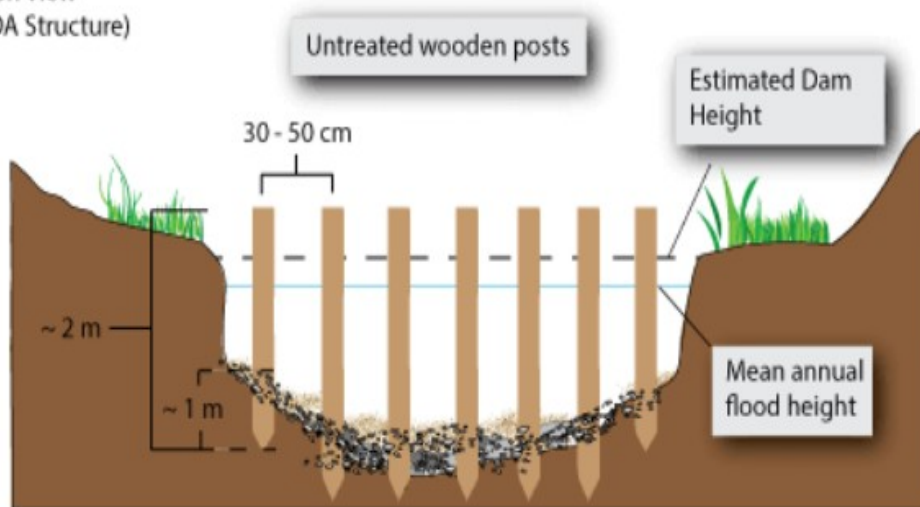
Εικόνα 4 Λίμνη Wolong το Masterplan της επαναφοράς της, πηγή: Network Nature, «Wolong Lake biodiversity conservation and wetland protection project Programme, Lot2»

### 2.3.2. ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΟΝΤΑΝΑ ΚΑΙ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ ( BEAVER DAM ANALOG)

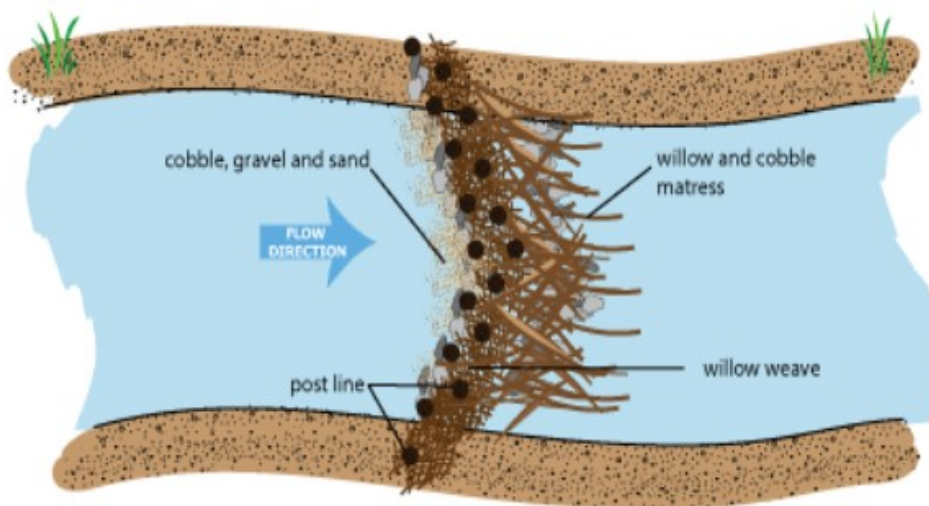
Οι πολιτείες της Μοντάνα και της Καλιφόρνιας είναι μέλη της Nature Conservancy, μιας μη κερδοσκοπικής περιβαλλοντικής οργάνωσης, η οποία εδραιώνεται στις ΗΠΑ από το 1951. Τα προγράμματα που τρέχει είναι σχετικά με τη διατήρηση σημαντικών οικοτόπων άγριας ζωής, τη διακοπή της αποψίλωσης δασικών εκτάσεων, καθώς και στην προστασία των υδάτινων πόρων. Με την κατασκευή φραγμάτων στα πρότυπα αυτών που δημιουργούν οι κάστορες γίνεται η αποκατάσταση των ρεμάτων και του βιός των ενδιαιτημάτων που διαμένουν σε περιοχές οι οποίες πλήττονται από πλημμύρες, αλλά και υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούν ξηρασία. Οι κάστορες κατασκευάζουν φυσικά φράγματα και καταφύγια σε παραποτάμιες περιοχές, συνδέοντας πλημμυρικές πεδιάδες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υγρότοπων στους οποίους αποθηκεύεται σημαντική ποσότητα νερού, αλλά και τη δημιουργία καταφυγίων για αρκετά είδη της πανίδας που βρίσκονται σε κίνδυνο. Με τη χρήση φυσικών υλικών, όπως κορμούς δέντρων για τη στύλωση, και φυτά σαν την ιτιά για την πλέξη, αναδημιουργούνται φράγματα, τα οποία συγκρατούν το νερό στη κοίτη τους, αλλά και επιτρέπουν τη διέλευση των ιχθύων δε (Pollock et al., 2007). Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση των ρεμάτων και των ποταμών, με έναν τρόπο ο οποίος αφενός δεν είναι επιζήμιος για το ευρύτερο περιβάλλον, και αφετέρου είναι οικονομικός.



Cross Section View  
(Generic BDA Structure)



Plan View  
(Convex Primary Dam)



Εικόνα 5 Τεχνητό φράγμα κάστορα, πηγή: Scott Shahverdian, William Wallace Macfarlane, Joseph M. Wheaton, « MEMO: Westerly Creek Beaver Dam Capacity Assessment: Developing Realistic Expectations for Beaver Dam Activity»

### 2.3.3. ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΠΑΡΚΟ PORTOFINO (ΙΤΑΛΙΑ)

Το φυσικό περιφερειακό πάρκο Portofino δημιουργήθηκε το 1935 για την προστασία του ομώνυμου ακρωτηρίου, το οποίο εντοπίζεται μεταξύ της Γένοβας και της Τοσκάνης, αλλά και για την διατήρηση της βιοποικιλότητας της περιοχής. Είναι ευρέως γνωστό για το κάλος και τη γεωμορφολογία του και θεωρείται πρότυπο ομαλής συνύπαρξης του φυσικού περιβάλλοντος και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ωστόσο, εδώ και πολλά χρόνια, έρχεται αντιμέτωπο με κινδύνους που προκαλούνται από φυσικά φαινόμενα, αναταράσσοντας την ηρεμία του πληθυσμού και των ενδιακτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή πλήττεται από κατολισθήσεις, πτώσεις βράχων και ροές λάσπης, και τέλος από έντονες βροχοπτώσεις οι οποίες συχνά συνοδεύονται από ανεμοστρόβιλους. Ο συνδυασμός των οποίων προκαλεί μεγάλης επικινδυνότητας επιπτώσεις στο έδαφος και στην ακεραιότητα του ντόπιου πληθυσμού και των ειδών πανίδας και χλωρίδας.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω γεωλογικών κινδύνων, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή φυσικών λύσεων με την σταθεροποίηση των βράχων, την αναβάθμιση του φυσικού τοπίου, στην οποία προβλέπεται η ανακατασκευή μονοπατιών, σκαλοπατιών και τοιχίων από ξερολιθιά, ενώ όσον αφορά τα υδάτινα δίκτυα, η ροή των οποίων συμπαρασύρει πετρώματα και ιλύες, αποτελέσματα των βροχοπτώσεων, θα αντιμετωπιστεί με «υδραυλικές δασικές ρυθμίσεις» (Alberto Girani, 2019), όπως η απομάκρυνση δέντρων από τις κοίτες των ποταμών, αλλά και με τεχνητά μέσα, όπως είναι τα εναλλακτικά φράγματα, των οποίων η κατασκευή προβλέπει τη χρήση ξύλων και πετρών.



Εικόνα 6. Ακρωτήριο Portofino, πηγή: « Reconnect, Portofino Natural Park»

#### 2.3.4. ΤΟ ΠΕΤΡΙΝΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ

Ο Δήμος Πάρου σε συνεργασία με την WWF ΕΛΛΑΣ, το ΙΝΣΠΕΕ, το MedINA και το Paros Festival, τον Ιούνιο του 2022, προκειμένου να αντιμετωπίσει το πρόβλημα λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν πολλά μικρά άνυδρα Ελληνικά νησιά, οδηγήθηκαν στη χρήση πολλών μικροφραγμάτων, κατά μήκος του ρέματος του Καβουροποτάμου.

Τα μικροφράγματα αποτελούν μία παραδοσιακή πρακτική διαχείρισης του νερού που χάνεται στο χρόνο, επιτελώντας πολλαπλές λειτουργίες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο:

- Μειώνοντας την κλίση της κοίτης του ρέματος, συλλέγονται μικρές ποσότητες νερού για αρδευτικούς σκοπούς.
- Μειώνοντας την ταχύτητα ροής του νερού και συγκρατώντας μέρος αυτού, επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη διείσδυση του στο έδαφος, εμπλουτίζοντας έτσι τον υπόγειο υδροφόρο.
- Σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων συγκρατούν σημαντικές ποσότητες νερού και φερτών υλικών, μειώνοντας έτσι το ρίσκο για πλημμύρες στους οικισμούς που συνήθως βρίσκονται στον παράκτιο χώρο, στις εκβολές των ρεμάτων.
- Αποτελούν εστίες βιοποικιλότητας: οι ρηχί ταμιευτήρες νερού που δημιουργούνται αποτελούν μικρές οάσεις για τα άνυδρα νησιωτικά οικοσυστήματα, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους ξηρασίας.

Κατά την δημιουργία των φραγμάτων τέσσερις ημέρες οι δεκαπέντε συμμετέχοντες/ουσες εκπαιδεύτηκαν στην παραδοσιακή κατασκευή μικρών λίθινων αναβαθμών κατά μήκος του ρέματος του Καβουροποτάμου, υπό την καθοδήγηση τριών μαστόρων της περιοχής.

Το εργαστήριο ολοκληρώθηκε με την παρουσίαση της δράσης στην τοπική κοινότητα και συζήτηση γύρω από παραδοσιακές και σύγχρονες λύσεις αντιμετώπισης περιβαλλοντικών προκλήσεων. Το βιωματικό εργαστήριο διοργανώθηκε στο πλαίσιο του έργου: «Λίθινοι αναβαθμοί: Μια πράσινη υποδομή για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού σε μικρά άνυδρα νησιά» που υλοποιείται από το WWF Greece, το MedINA (Mediterranean Institute for Nature and Anthropos), το Ινστιτούτο Σηπλαιολογικών Ερευνών Ελλάδας (ΙΝΣΠΕΕ), το



Δήμο Πάρου (Municipality of Paros) και τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πάρου (ΔΕΥΑ Πάρου).



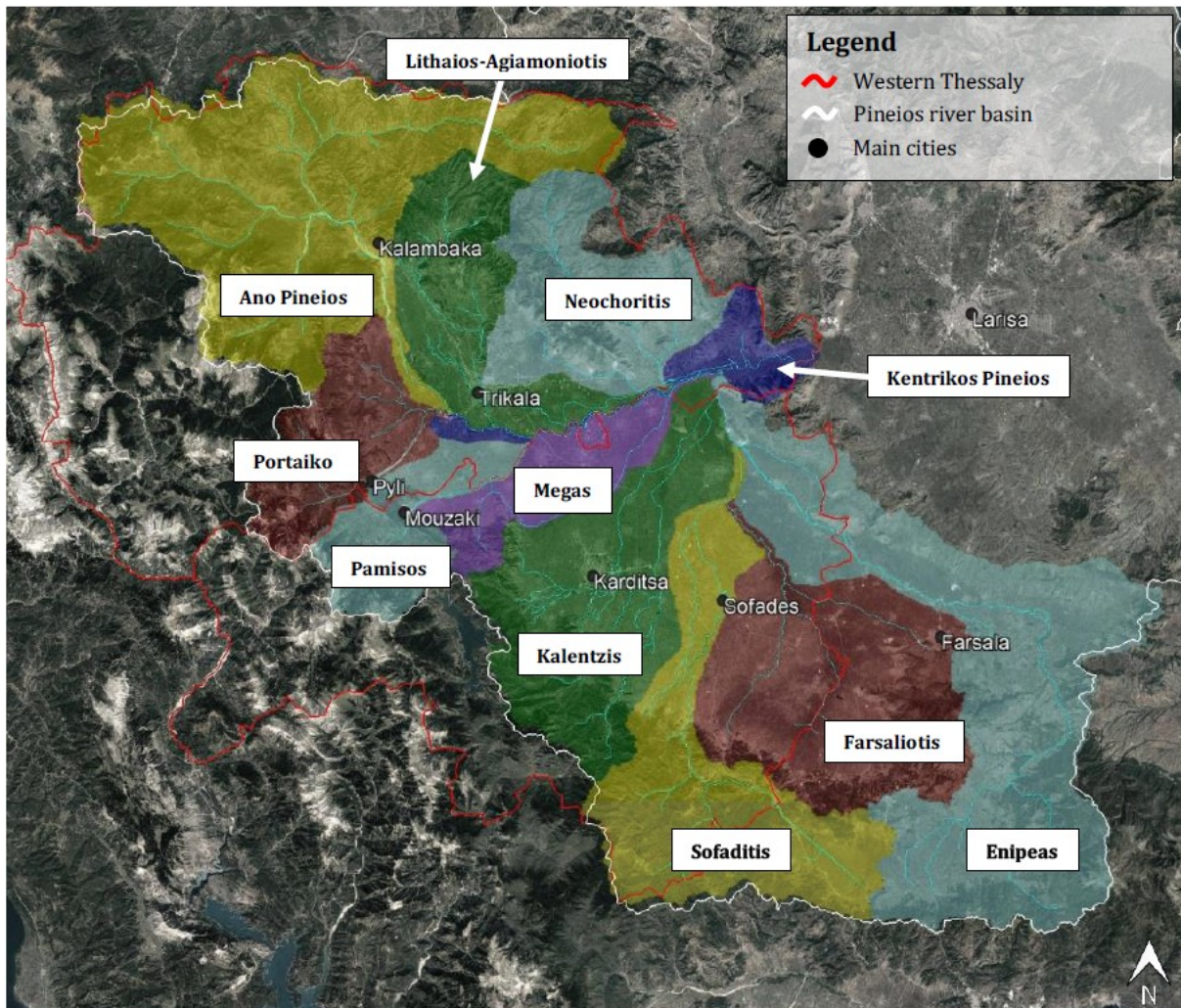
Εικόνα 7. Ολοκληρωμένο μικροφράγμα κατά μήκος του Καβουροπόταμου στην Πάρο, πηγή: Δ.Ε.Υ.Α.Π. Πάρου, « Ξερολιθικές υποδομές για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας»

### 2.3.5. NBS ΣΤΟΝ ΠΗΝΕΙΟ

Το 2022 η WWF ΕΛΛΑΣ ξεκίνησε μια έρευνα με στόχο την μείωση του κινδύνου πλημμυρών για την περιοχή του Πηνειού ποταμού, και να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα των NBS. Οι προτάσεις που σχεδιάστηκαν ωστόσο, πέρα από τον περιορισμό των πλημμυρών προσφέρου και άλλα οφέλη στην τοπική κοινωνία, όπως είναι η παροχή δασών πλούσια με διάφορα είδη πανίδας όπως είναι τα πτηνά και οι πεταλούδες, σε κοντινή απόσταση από τις πόλεις, όπου θα λειτουργούν ως χώροι αναψυχής με μονοπάτια πεζοπορίας και τρεξίματος, μεγαλύτερη διαθεσιμότητα νερού και αναβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα, προκειμένου οι τοπικές περιοχές τόσο σε αστικό, όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο, να μπορούν να εξυπηρετούνται από αυτό.

Για να επιτευχθεί η μελέτη αυτή η Λεκάνη του Πηνειού χωρίστηκε σε έντεκα υπολεκάνες, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω χάρτη. Συχνά, ο Ληθαίος και ο Αγιαμονιώνης ποταμοί αντιμετωπίζονται ως ένα σύστημα του οποίου η υπερχειλίση μπορεί να επηρεάσει τα Τρίκαλα, στη συγκεκριμένη μελέτη όμως ο Αγιαμονιώτης αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένο σύστημα, ενώ ο Ληθαίος ομαδοποιείται με τη λεκάνη απορροής του Νεοχωρίτη, παρόλο που ο δεύτερος απορρέει αρκετά πιο ανατολικά. Ιδιαίτερη συζήτηση έγινε και για τη λίμνη Πλαστήρα, η οποία αν και δεν βρίσκεται στη λεκάνη απορροής του Πηνειού, όλο το νερό της λίμνης κατευθύνεται προς τη Θεσσαλία, οπότε θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην αποκατάσταση της χωρητικότητας της.





Χάρτης 4 Οι 11 υπολεκάνες του Πηνειού για την εφαρμογή NBS, πηγή: ADDRESSING RIVERINE FLOODING WITH NATURE-BASED SOLUTIONS IN THE THESSALY REGION, GREECE

Κατά την εκπόνηση της μελέτης αυτής κάθε υπολεκάνη μελετήθηκε ξεχωριστά και δόθηκαν διαφορετικές προτάσεις παρέμβασης για την κάθε μια. Πιο συγκεκριμένα για την υπολεκάνη του Ενιπέα προτάθηκε η αποκατάσταση των παλαιών και νέων ροών με διαπλάτυνση του ποταμού και αφαίρεση τυχόν διαμήκων φραγμάτων και η δημιουργία ενός παραποτάμιου δάσους, το οποίο θα λειτουργεί ως ρυθμιστική ζώνη και θα αποτρέπει τη διάβρωση του εδάφους, ενώ παράλληλα θα αποτελέσει και ενδιαίτημα για τη βιοποικιλότητα. Έπειτα, τρεις περιοχές προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ως πλημμυρικές πεδιάδες και ως υγροβιότοποι. Ο ταμιευτήρας της Ηλείας να συνδεθεί με τον Ενιπέα ως λίμνη κατακράτησης νερού σε περίπτωση ακραίων φυσικών φαινομένων. Και τέλος η αποκατάσταση των υπογείων υδάτων από την υπερχειλίση του Ενιπέα μέσω των

γεωτρήσεων του χωριού Ορφανά, με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής απορροής και τη βελτίωση του υπόγειου υδροφορέα

Οι παρεμβάσεις που προτάθηκαν για τον Σοφαδίτη είναι σε μεγάλο βαθμό σημειακές, ούτως ώστε σε ακραία φαινόμενα να μπορεί το νερό να εκτονωθεί στην κοίτη του ποταμού. Προτείνεται η δημιουργία μαιανδρισμού για να μειωθεί η ταχύτητα του νερού και η δημιουργία δάσους ως ρυθμιστική ζώνη, όπως παραπάνω. Στο τμήμα του ποταμού με σημαντικά μικρό πλάτος συνιστάται η διαπλάτυνση του καθώς και η σύνδεση του με πλημμυρική παιδιάδα. Στα ανάντι του ποταμού όπου υπάρχει και ορεινό τμήμα προτείνεται η κατασκευή πολλών λίθινων φραγμάτων με ύψος έως και 0.50 μ. Η τελική παρέμβαση για το Σοφαδίτη περιλαμβάνει την επαναφορά της λίμνης Ξυνιάδας, η οποία κάλυπτε 3160 εκτάρια με μέγιστο βάθος τα 4 μ. προτού αποστραγγιστεί το 1936 έως το 1942, η οποία με το πέρασμα των χρόνων η γονιμότητα του εδάφους της έχει επιδεινωθεί και η παρέμβαση αυτή μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του νερού που ρέει στον Θεσσαλικό κάμπο.

Η δημιουργία τεσσάρων έως έξι πλημμυρικών πεδιάδων κατακράτησης κοντά στους τρεις κύριους ποταμούς, ανάντη της Καρδίτσας, προτείνεται ως λύση για την παροχή έκτακτων αποθηκευτικών χώρων σε περίπτωση υψηλών βροχοπτώσεων και τη μείωση της πίεσης κατάντη του Καλέτζη ποταμού, καθώς επίσης και άλλη μια στα δυτικά του ποταμού, η οποία θα δέχεται εισροές τόσο από τον Καλέτζη, όσο και από τον Λείψιμο. Προτείνονται άλλες δύο πλημμυρικές πεδιάδες για την αποθήκευση του επιπλέον νερού του Καράμπαλη, η μία προς την βόρεια του χωριού Αγιοπηγή και ένα που συνδέεται με τον Καράμπαλη. Απέναντι από τον Καλέτζη και τον Καράμπαλη, ο Γαβράς ποταμός δεν διατηρεί την αρχική του πορεία και σημαντικό μέρος της έχει διοχετευτεί. Ιδανικά θα πρέπει να εξετασθεί η διαπλάτυνση της κοίτης του Γαβρά και η δημιουργία μιας δασικής παραποτάμιας ρυθμιστικής ζώνης. Εναλλακτικά προτείνεται η δημιουργία μιας επιπλέον πλημμυρικής πεδιαδάδας στο σημείο που η παλιά κοίτη του ποταμού Γαβρά συναντά το κανάλι και άλλη μία για να αποθηκεύεται ο όγκος νερού που απορρέει από το ρέμα της Γαβριάς. Παράλληλα, όμως με τις παραπάνω παρεμβάσεις είναι απαραίτητο να εξετασθεί το σενάριο διαπλάτυνσης των Καράμπαλη και Καλέτζη ποταμών, καθώς η κοίτη και των δύο ποταμών μειώνεται σε κάποιο σημείο δημιουργώντας ένα στενό και αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας. Η διαπλάτυνση αυτή είναι μια πολύπλοκη διαδικασία λόγω των



υπάρχοντων δικτύων υποδομών και της εθνικής οδού Καρδίτσας – Βόλου. Η διαπλάτυνση του Λείψιμου ποταμού θα πρέπει να διερευνηθεί κατά την αποκατάσταση της πλημμυρικής πεδιάδας στο κάτω μέρος του Καλέτζη. Μια ακόμα πρόταση είναι η αποκατάσταση μιας πλημμυρικής πεδιάδας στο Μακρυχώρι και την Μεταμόρφωση, τα οποία σύμφωνα με τον γερμανικό χάρτη του 1943 και τον χάρτη του 1944 από το Βρετανικό Γραφείο Πολέμου και τον Χάρτη του Στρατού των ΗΠΑ, ήταν και παλαιότερα εποχική πλημμυρική πεδιάδα. Η περιοχές αυτές θεωρούνται περιοχές υψηλού πλημμυρικού κινδύνου, γεγονός που επιβεβαιώνεται καθώς πλημμύρισαν κατά τα γεγονότα του 2018 και του 2020 (Ιανός). Συγκεκριμένες εργασίες πρέπει να πραγματοποιηθούν για την επίτευξη αυτών των ενεργειών, όπως είναι η απομάκρυνση επιχώσεων, σύνδεση του Καλέτζη και του Λειψίνου με την πλημμυρική πεδιάδα κ.λπ. Η τελευταία παρέμβαση που αφορά την λεκάνη απορροής του Καλέτζη ποταμού είναι η κατασκευή πολλών μικρών πέτρινων φραγμάτων ύψους έως και 0,5 μ., στο ανώτερο, ορεινό τμήμα των ποταμών Γαβράς, Καράμπαλης, Καλέτζης και των παραποτάμων τους.

Σχετικά με τον Πάμισο ποταμό προτείνεται η αποκατάσταση του σε 10 – 12 θέσεις. Οι σημαντικότερες παρεμβάσεις θα πρέπει να γίνουν στο τμήμα του ποταμού που διασχίζει την πόλη Μουζάκι, με την απομάκρυνση κτιρίων και άλλων υποδομών, διαπλάτυνση της κοίτης, κατάργηση της τεχνητής προστασίας της κοίτης και αντικατάστασης της με φυσική. Θα πρέπει επίσης να εξετασθεί η δημιουργία μιας δασικής ρυθμιστικής ζώνης, η οποία όπως προαναφέρθηκε θα εμποδίζει τη διάβρωση της κοίτης του ποταμού, καθώς επίσης θα παρέχει κατάλυμα για την άγρια ζωή της περιοχής και χώρο αναψυχής. Η αποκατάσταση του κάτω τμήματος του Παμίσου γίνεται με την αφαίρεση των αναχωμάτων, την διαπλάτυνση της κοίτης και της σύνδεσης του ποταμού με την πλημμυρική πεδιάδα στα ανατολικά και στα δυτικά, ούτως ώστε να επιτρέπεται στα μικρότερα ρέματα που ρέουν κάθετα του Παμίσου να έχουν ελεύθερη ροή, μαζί με τη παράλληλη δημιουργία ρυθμιστικής ζώνης στα παρόχθια σημεία. Σε συνδυασμό με τα παραπάνω έρχεται η αποκατάσταση των πλημμυρικών πεδιάδων στις δύο πλευρές του κάτω τμήματος του Παμίσου, για τη μείωση των συχνών πλημμυρών που παρατηρούνται στην περιοχή.

Όσο αναφορά τη λίμνη Πλαστήρα, καθώς η χαρτογράφηση και η αποτύπωση του πυθμένα της θα πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο μελέτης του βάθους του νερού από το Ελληνικό

Ναυτικό, με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής θα πραγματοποιηθούν ενέργειες για την απομάκρυνση των ιζημάτων και των μπαζών από την λίμνη ανάλογα.

Στην λεκάνη απορροής του Πορταϊκού ή αλλιώς Πορτιάτη προτείνεται η αποκατάσταση του σε τρεις συγκεκριμένες θέσεις κοντά στην πόλη Πύλη, όπου από 1945 έως το 1960 το πλάτος και η κοίτη του ποταμού έχουν μειωθεί, με αποτέλεσμα σε περίπτωση υψηλής βροχόπτωσης να υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας στην πόλη. Παράλληλα με την κίνηση αυτή για την προστασία της κοίτης απαιτείται και η δημιουργία μια ρυθμιστικής δασικής ζώνης στις όχθες της αλλά και σε δημόσια εδάφη της γύρω περιοχής όπου θα μετατοπιστούν τα αναχώματα και θα συνδεθεί ο ποταμός με την παρακείμενη περιοχή. Κατάντη του χωριού Λίλη η κοίτη του Πορταϊκού αν και ενώνεται με τους ποταμούς Μπεντένη και Ανάποδο, στενεύει σημαντικά. Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις περιλαμβάνουν τη διαπλάτυνση της κοίτης του ποταμού από το χωριό Λιλή μέχρι τη συμβολή του Πορταϊκού με τον Πηνειό, καθώς επίσης και η διαπλάτυνση των ποταμών Μπεντένης και Ανάποδος, λόγω της αναμενόμενης αύξησης των ακραίων γεγονότων ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και τον υψηλό δυναμικό κινδύνου πλημμύρας στο κάτω μέρος της υπολεκάνης του Πορταϊκού. Μια ακόμα διεύρυνση προτείνεται στην κοίτη του Αφορεσμένου ποταμού κοντά στο Δενδροχώρι και Βαλτινό και μετατροπή μιας μικρής περιοχής κοντά στα Ματσουκιώτικα σε πλημμυρική πεδιάδα, όλες αυτές τις διαπλατύνσεις πάντα τις συνοδεύει και η δημιουργία δασικών ρυθμιστικών ζωνών για την προστασία των κοιτών από τη διάβρωση. Τέλος, προτείνεται η δημιουργία τεσσάρων έως έξι πλημμυρικών πεδιάδων/υγροτόπων/λιμνών κατακράτησης ως λύση για τη μείωση του κινδύνου πλημμύρας στο κάτω μέρος της υπολεκάνης. Όλες αυτές οι περιοχές συμπίπτουν με τις ιστορικές πλημμυρικές πεδιάδες, όπως απεικονίζονται στους Χάρτες του 1944 από το Βρετανικό Γραφείο Πολέμου και την Υπηρεσία Στρατού των ΗΠΑ.

Η παλιά κοίτη του Λιθαιού ποταμού δεν χρησιμοποιείται πλέον, καθώς ο ποταμός είχε εκτραπεί εδώ και πολλές δεκαετίες. Το μήκος της παλιάς κοίτης είναι 32 χλμ και το μέσο πλάτος της 14 μ., τα χαρακτηριστικά αυτά την καθιστούν κατάλληλη για τη δημιουργία μιας μεγάλης φυσικής «δεξαμενής» νερού με την δημιουργία παραποτάμιας δασικής ρυθμιστικής ζώνης. Προτείνεται επίσης η αποκατάσταση του παλιού ρέματος Μιλαβλάκου. Ομοίως με την πρώτη δράση, με τη διαπλάτυνση του ποταμού και θα πρέπει επίσης να διερευνηθεί η δημιουργία μιας παρόχθιας δασικής ζώνης. Η δημιουργία τεσσάρων

πλημμυρικών περιοχών/ λιμνών είναι μια πρόταση επίσης, δύο στον ποταμό Αγιαμονιώτη, ένα στον Λιθαίο ποταμό ανάντη Τρικάλων και ένα μετά τη Φανερωμένη, κοντά στον Πετρόπορο χωριό. Οι πλημμυρικοί χάρτες κινδύνου υποδεικνύουν μεγάλη πιθανότητα πλημμυρών γύρω από τον ποταμό Αγιαμονιώρη. Οι προτεινόμενες πλημμυρικές πεδιάδες/λίμνες συγκράτησης θα δημιουργηθούν σε δημόσια γη και στους δύο παραπόταμους του Αγιαμονιώρη. Ως συμπληρωματική δράση των παραπάνω πλημμυρικών εκτάσεων συνιστάται η διαπλάτυνση του ποταμού Αγιαμονιώτη. Ο χάρτης του 1944 υποδεικνύει επίσης την παρουσία ενός έλους/υγροτόπου κοντά στο χωριό Κηπάκι. Οι παρεμβάσεις θα πρέπει επίσης να διερευνηθούν και για λίγο πριν τη σιδηροδρομική γραμμή, όπου η δράση αυτή θα ωφελήσει επίσης τη βιοποικιλότητα και θα επιτρέψει τις διάφορες ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Σαν τελική παρέμβαση στην υπολεκάνη προτείνεται στο ανώτερο, ορεινό τμήμα του Λιθαίου ποταμού και των παραποτάμων του, η κατασκευή πολλών μικρών πέτρινων φραγμάτων μέγιστους ύψους 0,5μ.

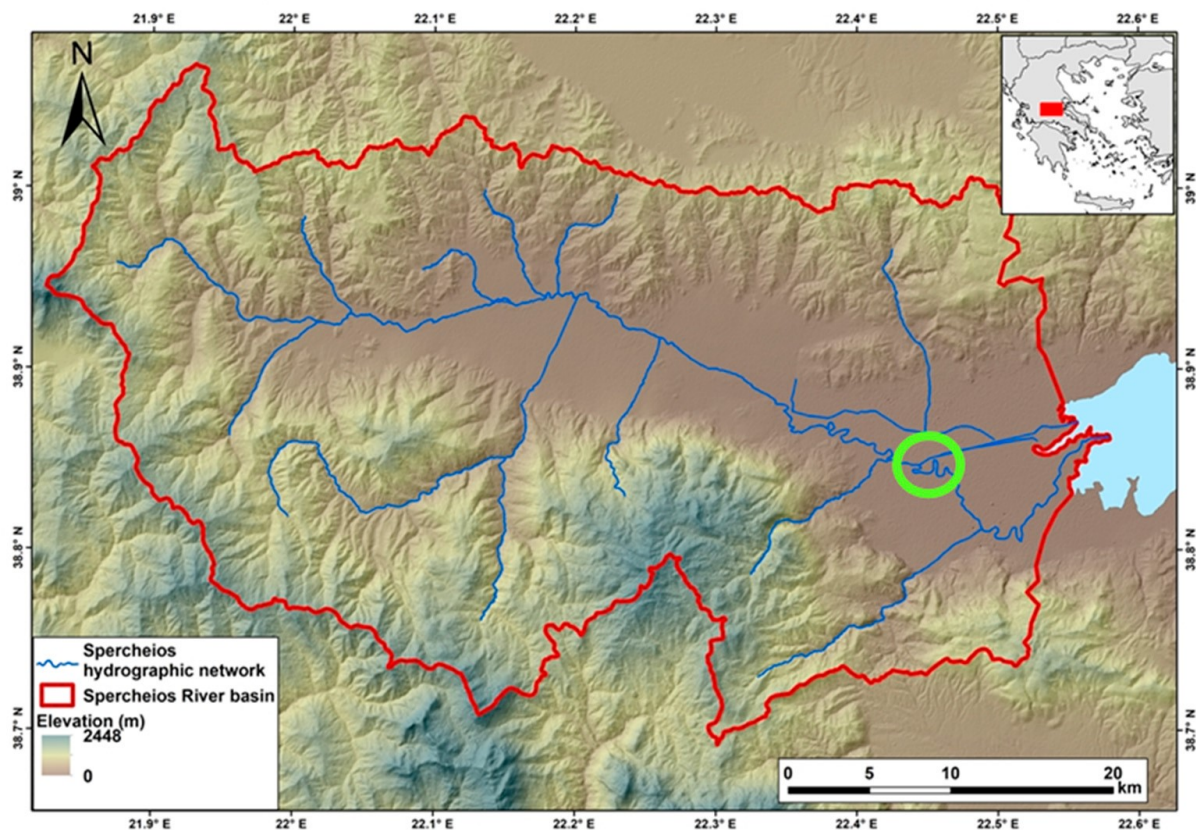
Η τελευταία λεκάνη που μελετάται στο σχέδιο αυτό είναι του Άνω Πηνειού, οι προτεινόμενες δράσεις περιλαμβάνουν αρκετές παρεμβάσεις κατά μήκος των κοιτών του Μαλακασιώτικου ποταμού, του Κλινοβίτικου, Ίων (Μουργκάνης) και του Άνω Πηνειού. Από το 1945 έχουν γίνει σημαντικές αλλαγές στο πλάτος της κοίτης και σε πολλές περιπτώσεις, οι παρεμβάσεις αυτές είναι μη αναστρέψιμες καθώς περιλαμβάνουν την αστικοποίηση του στις παρόχθιες ζώνες, και τη χρήση δημόσιας γης για την κατασκευή της εθνικής οδού Ε65. Στον Μαλακασιώτικο ποταμό προτείνεται αποκατάσταση της κοίτης στο πλάτος που είχε το 1945 κατά μήκος το βόρειο τμήμα του ποταμού. Η αρχική παραποτάμια ζώνη έχει μετατραπεί σε γεωργική γη, καθώς αποκαλύπτουν οι αεροφωτογραφίες του Ελληνικού Κτηματολογίου. Λιγότερες παρεμβάσεις προτείνονται για τον Κλινοβίτικο και Ίων , με στόχο την αποκατάσταση της ιστορικής κοίτης. Εφόσον κοντά στην Καλαμπάκα δεν μπορούν να γίνουν παρεμβάσεις συγκεκριμένες παρεμβάσεις πρέπει να λάβουν χώρα στο τμήμα του Άνω Πηνειού. Προτείνεται η δημιουργία πέντε έως επτά πλημμυρικών πεδιάδων/υγροτόπων/λιμνών κατακράτησης στο κάτω μέρος της υπολεκάνης. Αυτές οι ενέργειες θα λειτουργήσουν σε συνδυασμό με την αποκατάσταση του ποταμού στις περιοχές που έχουν ήδη προταθεί παραπάνω.

Στόχος της μελέτης αυτής είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός πλαισίου για τον υπολογισμό του επιθυμητού όγκου που θα πρέπει να συγκρατούνται από τις

λίμνες/πεδιάδες συγκράτησης προκειμένου να δρομολογηθεί με ασφάλεια η παραγόμενη απορροή σε κάθε περιοχή. Λίμνες συγκράτησης, όπως και άλλες δομικά συστήματα πρόληψης, έχουν σχεδιαστεί για να μετριάζουν ζημιές από πλημμύρα ελέγχοντας την απορροή, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση της μέγιστης ροής και την αύξηση του χρόνου υστέρησης. Οι λεκάνες συγκράτησης είναι αποτελεσματικές στον μετριασμό του επιπτώσεων από τις πλημμύρες όταν είναι σωστά τοποθετημένες στην περιοχή μελέτης. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, θεωρούνται περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον από τα μεγάλα φράγματα και μπορούν να δημιουργηθούν οπουδήποτε μέσα στη λεκάνη.

### 2.3.6. NBS ΣΤΟΝ ΣΠΕΡΧΕΙΟ

Ο Σπερχειός ποταμός είναι γενικά ευαίσθητος στις έντονες βροχοπτώσεις και στην υπερχειλίση των όχθων του λόγω των πλημμύρων από τα ανωτέρω ρεύματα, ενώ παράλληλα η αποψίλωση αυξάνει την ευαισθησία του σε έντονες βροχοπτώσεις. Πλημμύρες συμβαίνουν κανονικά υπερβαίνοντας τη χωρητικότητα του ρεύματος, επηρεάζοντας τα περισσότερα στοιχεία του κοινωνικοοικονομικού συστήματος της περιοχής. Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τις πλημμύρες στην περιοχή περιλαμβάνουν την πιθανή απώλεια ανθρώπινων ζώων, την πιθανή απώλεια παραγωγής καλλιεργειών και κτηνοτροφίας, τη ζημία σε ιδιοκτησίες και υποδομές, καθώς και δυσκολίες στις μεταφορές. Ο Σπερχειός πηγάζει από τα ορεινά μέρη του λεκανοπεδίου, κυρίως από τον οροπέδιο Τύμφρηστος στα δυτικά και τις οροσειρές Βαρδούσια και Οίτη προς τα νοτιοδυτικά και νότια αντίστοιχα. Έχει συνολικό μήκος 82 χιλιομέτρων, μέσο υψόμετρο 626 μ. , με μέγιστο ύψος 2281 μέτρα στο Όρος Οίτη. Κατευθύνεται από τα δυτικά προς ανατολικά, επαναφορτίζεται από πολλά ρέματα με μόνιμη και περιοδική ροή και εκβάλλει στον Κόλπο του Μαλιακού. Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχόπτωσης για την περίοδο 1980-2010 υπολογίζεται έως 788 χιλιοστά και έχει Μεσογειακό κλίμα. Η παροχή του κυμαίνεται μεταξύ 12,79 κ.μ./δευτ. τους χειμερινούς μήνες και λιγότερο από 1 κ.μ./δευτ. τους θερινούς.



Χάρτης 5 Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού και το σημείο παρέμβασης με NBS (πράσινος κύκλος), πηγή: Christos Spyrou , Michael Loupis , Nikos Charizopoulos, Ilektra Apostolidou, Angeliki Mentzafo, George Varlas , Anastasios Papadopoulos, Elias Dimitriou, Depy Panga, Lamprini Gkeka, Paul Bowyer, Susanne Pfeifer, Sisay E. Debele and Prashant Kumar, « Evaluating Nature-Based Solution for Flood Reduction in Spercheios River Basin under Current and Future Climate Conditions»

Οι προκλήσεις τις οποίες καλούνται τα NBS να αντιμετωπίσουν είναι υπερχείλιση των όχθων λόγω πλημμυρικών υδάτων από τα ανωτέρω ρεύματα και το λιώσιμο των χιονιών, λόγω των απαιτήσεων για άρδευση κατά τους θερινούς μήνες, η περιοχή αντιμετωπίζει επίσης έλλειψη νερού, προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και κατά τις περιόδους ξηρασίας υπάρχει αυξημένος κίνδυνος καταστροφών στα φυσικά οικοσυστήματα, πυρκαγιές δασών και απώλειες σε αγροτικές καλλιέργειες. Η περιοχή που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του NBS είναι κοντά στο χωριό Κόμμα και τη γέφυρα της Αλαμάνας. Τα κριτήρια για την επιλογή ήταν η γεωμορφολογία, η διαθεσιμότητα γης, η προσβασιμότητα, η ελάχιστη διαταραχή άλλων χρήσεων, η βιωσιμότητα, τα ευδιάκριτα θετικά αποτελέσματα, ο κίνδυνος για τις κοινότητες και οι χρήσεις προς τα κάτω ρεύμα, καθώς και το κόστος.

Η επιλεγείσα παρέμβαση καταλαμβάνει μια περιοχή 105.314 τ.μ. και αποτελεί φυσικό μέτρο συγκράτησης νερού που στοχεύει στον μετριασμό των επιπτώσεων πλημμυρών και ξηρασίας στον ποταμό Σπερχειό. Η υλοποιηθείσα λύση περιλαμβάνει την κατασκευή ενός δεξαμενοστασίου πλημμυρών, με την αποκατάσταση και σταθεροποίηση των όχθων του ποταμού, τον καθαρισμό του πυθμένα, τη διαπλάτυνση του ρέματος και τη μείωση των υπάρχοντων κοντινών υβριδικών μέτρων που χτίστηκαν για τον έλεγχο της ροής του νερού. Καθώς απομακρύνθηκαν τα ιζήματα από τον πυθμένα και χρησιμοποιήθηκαν σαρζανέτ τόσο για την κάλυψη και τη σταθεροποίηση του πυθμένα όσο και για τις όχθες του ποταμού, τα οποία εξυπηρετούν στην ομαλή λειτουργία του οικοσυστήματος του ποταμού. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στο έργο είναι μια κατασκευή που ονομάζεται "Cribwall", μια τεχνική σταθεροποίησης του εδάφους που χρησιμοποιείται σε περιοχές με προβλήματα υποβάθμισης του εδάφους ή πλημμύρες. Τα cribwalls είναι κατασκευές που σχηματίζονται από ξύλινα κομμάτια, συνήθως κομμένα σε σχήμα πλαισίου, που τοποθετούνται στρωτά μεταξύ των δύο τοιχωμάτων για να σχηματίσουν ένα είδος κιβωτοειδούς δομής. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ο εξής:

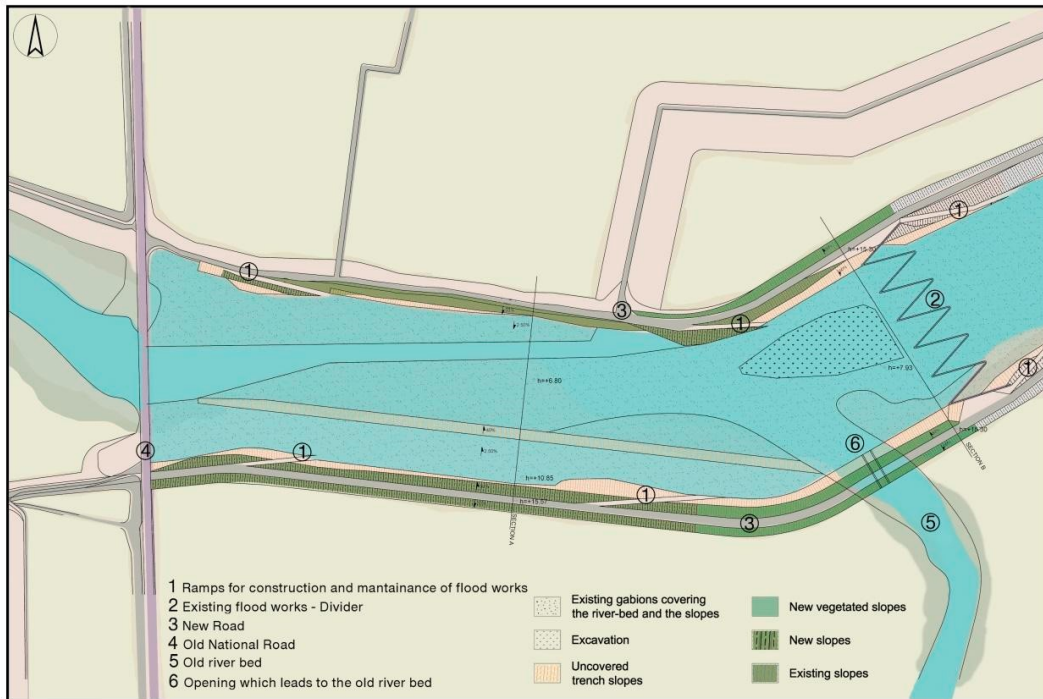
- **Σταθεροποίηση του Εδάφους:** Τα ξύλινα κομμάτια των cribwalls ενωμένα μεταξύ τους δημιουργούν μια σταθερή δομή που αντιστέκεται στην υποβάθμιση του εδάφους. Η διάταξη αυτή προσφέρει πρόσθετη αντοχή στο έδαφος και το κρατά σε θέση.
- **Αντίσταση στη Ροή του Νερού:** Τα cribwalls μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως εμπόδια για τη ροή του νερού. Η κατασκευή τους μειώνει την ταχύτητα της ροής, επιτρέποντας στο νερό να εισχωρεί πιο βαθιά στο έδαφος αντί να το απομακρύνει.
- **Προστασία από Πλημμύρες:** Σε περιοχές που υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας, τα cribwalls μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία φράκτη που εμποδίζει το νερό από το να πλημμυρίσει συγκεκριμένες περιοχές.
- **Προστασία της Φυτοκοινότητας:** Τα cribwalls μπορούν να είναι επίσης φιλικά προς το περιβάλλον, επιτρέποντας την ανάπτυξη φυτών μεταξύ των ξύλινων κομματιών. Αυτό ενισχύει τη φυτοκοινότητα και μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη της υποβάθμισης του εδάφους.

Οι νέες πλαγιές που δημιουργήθηκαν, δίπλα στις υπάρχουσες, είναι επίσης φυτεμένες. Μια κιβωτοειδής δομή στήριξης με ζωντανά φυτά μεταξύ των στρωμάτων κορμών ονομάζεται

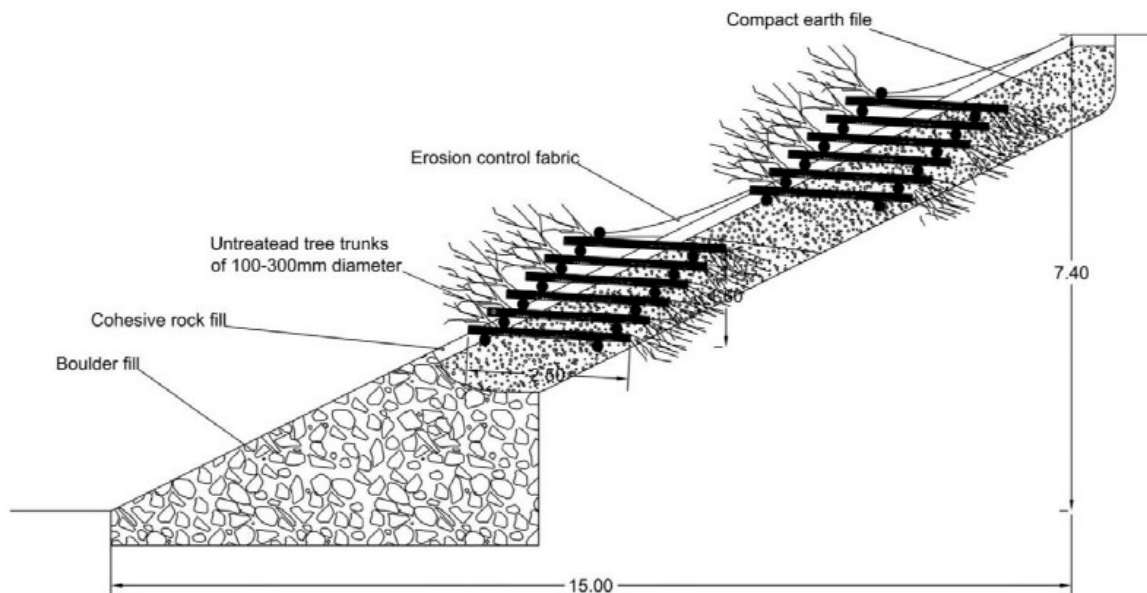
«φυτική» ή «ζωντανό cribwall». Τέτοιες κατασκευές προσφέρουν άμεση προστασία από μαζικές ανατροπές και μακροπρόθεσμο όφελος για τη σταθεροποίηση μέσω της βλάστησης όταν εγκαθιδρύονται. Στις φυτεμένες περιοχές, κατασκευάζονται κλιμακούμενες γέφυρες για τη συντήρηση των έργων πρόληψης πλημμύρας. Τέλος, μια ακάλυπτη πλαγιά τάφρου τοποθετείται στο κέντρο του ποταμού για την παρακολούθηση της ροής του νερού. Συνολικά, αυτές οι πλαγιές δημιουργούν μια μεταβατική ζώνη ανάμεσα στον ποταμό που μπορεί να παρέχει πολλαπλές οικοσυστημικές υπηρεσίες. Έτσι, η ροή του νερού ρυθμίζεται κυρίως από τις φυσικές παρεμβάσεις και δευτερευόντως από τον υφιστάμενο διαχωριστικό. Ο ποταμός εκπέμπει μέσω δύο χειμάρρων, του πρόσφατα δημιουργημένου ρεύματος και του παλαιού. Η δεξαμενή αποθήκευσης που προκύπτει έχει χωρητικότητα περίπου 600,000 κ.μ., μπορεί να απορροφήσει ροές πλημμύρας έως και 2.167 κ.μ./δευτ. και μειώνει την έλλειψη νερού για γεωργικές περιοχές κοντά στην Ανθίλη και την Ροδίτσα, αυτό το περίσσειμα νερού είναι αρκετό για 1000 στρέμματα ενός τυπικού καλλιεργούμενου φυτού στην περιοχή.

Οι τέσσερις βασικοί στόχοι των NBS στην περιοχή του Σπερχειού είναι πρώτον, η ενίσχυση της αποθήκευσης νερού με την εισαγωγή ενός ρεζερβουάρ μεσαίας κλίμακας και η διατήρηση της χωρητικότητας των συνδεδεμένων αυλάκων, των χωμάτινων ρεζερβουάρ και των καναλιών. Δεύτερον, η μείωση της επιφανειακής απορροής με την αύξηση της διήθησης του εδάφους. Επιπλέον, επιβραδύνει τη ροή του νερού αυξάνοντας την αντίσταση, με την φύτευση πλευρικά στην παρακείμενη περιοχή. Τέλος, μειώνει τη συνοχή της ροής του νερού διακόπτοντας τις επιφανειακές ροές, φυτεύοντας λωρίδες προστασίας από χόρτα και δέντρα. Ένα σημαντικό όφελος είναι ότι τα NBS μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως τόπος αναψυχής για τους ντόπιους κατοίκους και τους κατοίκους της κοντινής πόλης της Λαμίας και ακόμη και για επισκέπτες από άλλες περιοχές της χώρας και του εξωτερικού.





Εικόνα 8 Οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις της κοίτης και οι μετατροπές που προτάθηκαν να γίνουν στον Σπερχειό, πηγή: Christos Spyrou , Michael Loupis , Nikos Charizopoulos, Ilektra Apostolidou, Angeliki Mentzafo, George Varlas , Anastasios Papadopoulos, Elias Dimitriou, Depy Panga, Lamprini Gkeka, Paul Bowyer, Susanne Pfeifer, Sisay E. Debele and Prashant Kumar, « Evaluating Nature-Based Solution for Flood Reduction in Spercheios River Basin under Current and Future Climate Conditions»



Εικόνα 9 Τομή της υποδομής των Gribwall, πηγή: Christos Spyrou , Michael Loupis , Nikos Charizopoulos, Ilektra Apostolidou, Angeliki Mentzafo, George Varlas , Anastasios Papadopoulos, Elias Dimitriou, Depy Panga, Lamprini Gkeka, Paul Bowyer, Susanne Pfeifer, Sisay E. Debele and Prashant Kumar, « Evaluating Nature-Based Solution for Flood Reduction in Spercheios River Basin under Current and Future Climate Conditions»

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε έτρεξε για συμβάντα με πιθανότητα υπέρβασης 10% ετησίως, τόσο για τις τρέχουσες όσο και για τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Η έκταση πλημμύρας με πιθανότητα υπέρβασης του 10% ακολούθησε τον αναμενόμενο σχηματισμό, με πλημμύρα να ακολουθεί τον κύριο ποταμό και εκτός αυτού.

10% AEP Scenario	Baseline Results	Results with NBS	Location	Simulation Time
Maximum Depth (m)	12.28	12.28	Upstream of Athinon Road (left bank)	16 Hours
Mean Depth (m)	1.27	1.24	N/A	N/A
Maximum Velocity (m/s)	7.98	7.98	Upstream boundary of the model	16 Hours
Mean Velocity (m/s)	0.51	0.50	N/A	N/A
Flooded Area (km <sup>2</sup> )	35.28	34.94	N/A	N/A

*Πίνακας 3 Αποτελέσματα επίλυσης Σπερχειού με 10% υπέρβαση, πηγή: Christos Spyrou , Michael Loupis , Nikos Charizoroulos, Ilektra Apostolidou, Angeliki Mentzafo, George Varlas , Anastasios Papadopoulos, Elias Dimitriou, Depy Panga, Lamprini Gkeka, Paul Bowyer, Susanne Pfeifer, Sisay E. Debele and Prashant Kumar, « Evaluating Nature-Based Solution for Flood Reduction in Spercheios River Basin under Current and Future Climate Conditions»*

Το μοντέλο είχε καλή απόδοση και παρήγαγε σταθερά αποτελέσματα με τις εκτάσεις πλημμύρας να συμφωνούν καλά με προηγούμενες μελέτες. Όταν λαμβάνονται υπόψη τα NBS, το μέγιστο βάθος πλημμύρας και η μέγιστη ταχύτητα μειώνονται για όλα τα συμβάντα, ειδικά στην περιοχή γύρω και κάτω από τα NBS. Η πλημμυρισμένη περιοχή μειώθηκε επίσης με την παρουσία των NBS, ιδιαίτερα για συχνότερα συμβάντα. Η μεγαλύτερη μείωση βάθους πλημμύρας συνέβη αμέσως κάτω από τα NBS. Τα χωριά Νέο Κρίκελλιο, Κόμμα και Ανθήλη ήταν λιγότερο ευάλωτα στις πλημμύρες λόγω των NBS. Όσον αφορά την υπόγεια αποθήκευση υδάτων κάτω από παρούσες και μελλοντικές κλιματικές συνθήκες, φάνηκε να προωθείται η μακροπρόθεσμη επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, καθώς η μέση ετήσια αποθήκευσης υπόγειου νερού προηγουμένως ήταν 125,5 μμ/έτος, ενώ με τα NBS η επαναφόρτιση αυξήθηκε ελαφρώς κατά 0,4 μμ/έτος (αύξηση 0,3%) και έφτασε τα 125,9 μμ/έτος.

## 2.4. Μελέτες για εφαρμογή NBS συστημάτων στην υπόλοιπη Ευρώπη

Η αυξημένη επεξεργασία λυμάτων και οι έλεγχοι εκπομπών σημειακών πηγών έχουν βελτιώσει την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες, αλλά τα επιφανειακά υδατικά συστήματα εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν σημαντικά προκλήσεις. Οι περιβαλλοντικοί στόχοι που ενσωματώνονται στη βασική νομοθεσία της ΕΕ, η οδηγία UWWTD και η οδηγία για τα νιτρικά άλατα δεν έχουν ακόμη τηρηθεί πλήρως. Υπάρχουν μεγάλες προκλήσεις που σχετίζονται με τον εμπλουτισμό θρεπτικών συστατικών (κυρίως άζωτο και φώσφορο), τα φορτία ιζημάτων και τη χημική ρύπανση. Η διάχυτη ρύπανση από τη γεωργία παραμένει σήμερα μια κύρια αιτία κακής ποιότητας νερού που παρατηρείται σε αρκετά μέρη της Ευρώπης. Πολλές πρακτικές διαχείρισης γης (που συνδέονται με τη γεωργία, την κτηνοτροφία, δασοπονία) οδηγούν επίσης σε διάβρωση του εδάφους και καθίζηση των επιφανειακών υδάτων. Σχετικά με τα χημικά, αν και ορισμένα βασικά ζητήματα σχετικά με τις πιο επικίνδυνες ουσίες έχουν αντιμετωπιστεί και εξακολουθούν να αντιμετωπίζονται, υπάρχουν μεγάλες ανησυχίες για τους διαλυτούς ρύπους (π.χ. φαρμακευτικά προϊόντα) και άλλες χημικές ουσίες (π.χ. φυτοφάρμακα που δεν ρυθμίζονται από την WFD) οι οποίες βρίσκουν είσοδο στους πόρους γλυκού νερού. Η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος της επεξεργασίας του πόσιμου νερού και των λυμάτων με συστήματα όπως είναι η χρήση τεχνητών υγροτόπων ως εναλλακτική επεξεργασίας.

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν την κύρια πηγή πόσιμου νερού στην Ευρώπη. Το 20% του πόσιμου νερού προέρχεται από υπόγειου υδροφορείς. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα σε όλη την Ευρώπη, καθώς χρησιμοποιείται συχνά χωρίς επεξεργασία, ιδιαίτερα όταν αυτό εξάγεται από ιδιωτικά πηγάδια. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων επηρεάζεται κυρίως από τη ρύπανση που προκαλείται από τη γεωργία, συμπεριλαμβανομένων των νιτρικών αλάτων σε λιπάσματα ή κοπριά και τα φυτοφάρμακα.

Μέχρι πρόσφατα η διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων περιλάμβανε περισσότερο συμβατικά μηχανολογικά μέσα. Η χρήση συστημάτων NBS σε αντίθεση με τις γκρίζες υποδομές προσφέρει πιο βιώσιμες λύσεις και παράλληλα πιο οικονομικές. Μια πολλά

υποσχόμενη εναλλακτική είναι η πράσινη αντιπλημμυρική προστασία με δυναμικά, πολυλειτουργικά και ήπια μέτρα επιτρέποντας κάποια αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη φυσική μεταβλητότητα και δυναμική των οικοσυστημάτων, παρόλα αυτά ο αντίκτυπος τους δεν είναι άμεσα ορατός σε σύγκριση με τις γκρίζες υποδομές. Τέτοιες λύσεις είναι οι λίμνες κατακράτησης (η αλλιώς γνωστές ως ξηρές λίμνες) σχεδιάζονται για να συγκρατούν την απορροή όταν το νερό υπερβαίνει τη χωρητικότητα των καναλιών και συγκρατούν νερό μόνιμα. Κατακρατούν την περίσσεια απορροή, μια μερίδα της οποίας αποστραγγίζεται μετά τη λήξη του επεισοδίου της βροχής.

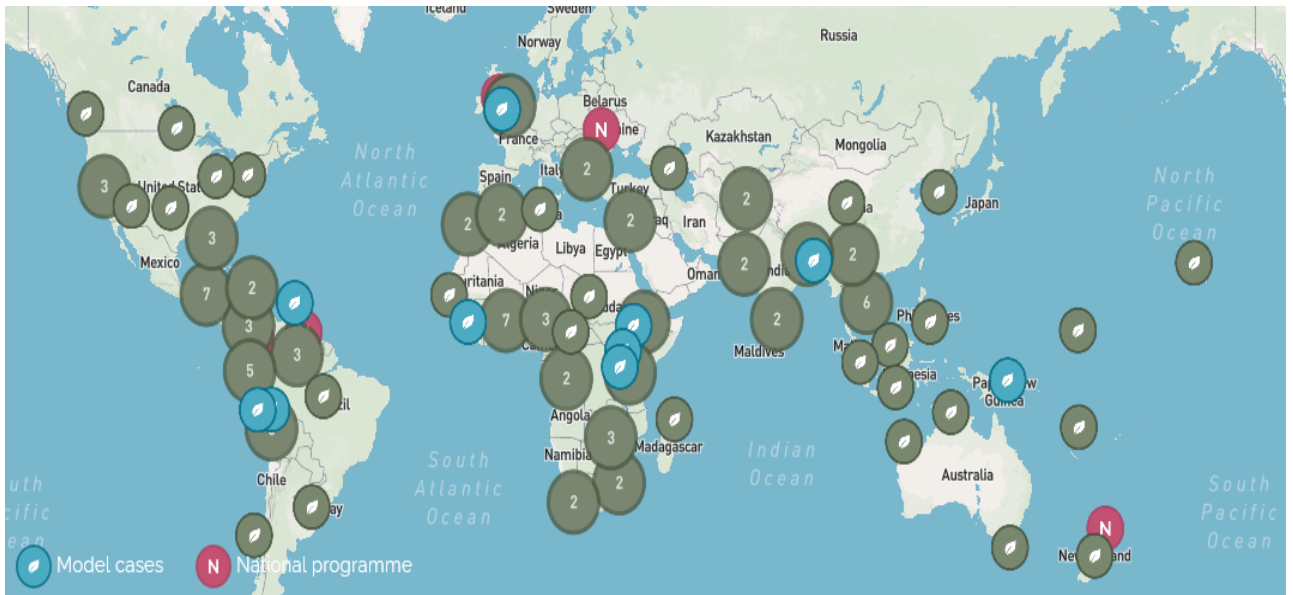
Η αναδάσωση σε περιοχές που δεν χαρακτηρίζονται δασικές μπορεί να συμβάλλει σε έναν πιο βιώσιμο και φυσικό υδρολογικό κύκλο. Με την αναδάσωση το τεχνητό αδιαπερατό της γης μετατρέπεται σε δενδροσκεπής διαπερατές επιφάνειες, ο οποίες υποστηρίζουν την υδρολογική λειτουργία. Η αναδάσωση μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των πλημμυρών επιβραδύνοντας, αποθηκεύοντας και μειώνοντας το νερό απορροής.

Αν και συνήθως δεν σχετίζεται με τη διαχείριση των πλημμυρών οι υγροβιότοποι παίζουν σημαντικό ρόλο στις πλημμύρες, καθώς προστατεύουν τις κατάντι και τις παρακείμενες περιοχές από τις πλημμύρες. Η αποτελεσματικότητα των υγροτόπων για τη μείωση των πλημμυρών ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής, τον τύπο και την κατάσταση της βλάστησης, την κλίση, τη θέση του υγροτόπου στη διαδρομή της πλημμύρας και τον κορεσμό των υγροτοπικών εδαφών πριν από τις πλημμύρες. Τα δένδρα και η βλάστηση των υγροτόπων βοηθούν στην επιβράδυνση της ταχύτητας της πλημμύρας του νερού. Αυτή η ενέργεια, σε συνδυασμό με την αποθήκευση νερού, επιτυγχάνει χαμηλότερο ύψος πλημμύρας και μείωση των καταστροφών από το δυναμικό του νερού.

Οι παρόχθιες ζώνες παρέχουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών και λειτουργιών του οικοσυστήματος κατά μήκος των όχθων των ποταμών (π.χ. χημική διήθηση, έλεγχος πλημμύρας, σταθεροποίηση των όχθων, υδρόβια ζωή και παρόχθια υποστήριξη άγριας ζωής). Η παρόχθια αποκατάσταση των καναλιών των ποταμών μπορεί να μειώσει της καταστροφές από τις πλημμύρες, να προστατέψει τα κανάλια ροής από την απομάκρυνση των ιζημάτων από τη κοίτη των ρεμάτων, και προσφέρουν έλεγχο της διάβρωσης, μειώνουν τις ταχύτητες ροής, και παγιδεύουν επιπλέον ποσότητα ιζημάτων στην πλημμυρική περιοχή. Η τραχύτητα της βλάστησης επιτρέπει στα buffer zones να αποθηκεύουν νερό και να μειώνουν τη μέγιστη απορροή κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, ενώ το αποθηκευμένο

νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και της εξατμισοδιαπνοής, κάτι το οποίο προσφέρει επίσης και οφέλη για την θερμοκρασία του νερού.

Στην περιοχή της Ευρώπης έχουν γίνει πολλές μελέτες αλλά και εφαρμογές των λύσεων βασισμένων στη φύση οι περισσότερες από τις οποίες έχουν λάβει χώρα στην Αγγλία.



Εικόνα 10. NBS μοντέλα που έχουν καταγραφεί από τον οργανισμό NBS Initiative, πηγή: Nature-Based Solutions Initiative, Projects

#### 2.4.1. NBS ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το πάρκο Medmerry, στο Δυτικό Σάσεξ του Ηνωμένου Βασιλείου θεωρείται το μεγαλύτερο έργο διαχειριζόμενης επανατοποθέτησης στην ανοιχτή παράκτια Ευρώπη έχει αναγεννήσει 184 εκτάρια οικοσυστήματος παραμεθόριου πελάγους, αποκαθιστώντας τη λειτουργία της άγριας ζωής και προστατεύοντας τις κοινότητες από πλημμύρες και παράκτια διάβρωση (ΥΚΕΑ, 2008. RSPB, 2011). Στο πρότζεκτ αυτό δημιουργήθηκε μια πλυμμηρική πεδιάδα, η οποία προσέφερε 184 εκτάρια υδρόβιας βλάστησης και και 263 εκτάρια οικότοπων.



Εικόνα 11 Το πάρκο Medmerry, Δυτικό Σάσεξ, Ηνωμένο Βασίλειο, πηγή: Orpla, Project Medmerry West Sussex coastal flooding

Για την δημιουργία της χρησιμοποιήθηκαν χιλιάδες κυβικά μέτρα πηλού τα οποία εξήχθησαν από την ίδια την περιοχή, οδηγώντας στο σχηματισμό λιμνών γλυκού νερού και ρηχών υδροβιότοπων που έχουν προσελκύσει την άγρια ζωή. Σε συνεργασία με τους ντόπιους αγρότες, η υδρόβια βλάστηση τρέφει τα πρόβατα και βοοειδή σε χαμηλή ποσότητα, ενώ στην γύρω περιοχή καλλιεργούνται σιτηρά και δημητριακά ειδικά μίγματα

σπόρων για την προσέλκυση άγριων πτηνών και το όφελος της άγριας φύσης. Το έργο παρείχε επίσης μια μονάδα επεξεργασίας υδάτων και έναν δρόμο που εξυπηρετεί 5.000 κατοίκους.



#### 2.4.2. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΣΚΩΤΙΑ

Ένα ακόμη φιλόδοξο έργο με οραματικό χρονικό ορίζοντα 200 ετών είναι η διαχείριση των 600 τετραγωνικών χιλιομέτρων του Εθνικού Πάρκου Cairngorms στη Σκωτία για βιοποικιλότητα, παρέχοντας παράλληλα άλλα οφέλη, όπως την αποθήκευση άνθρακα και τη διαβίωση των ντόπιων κατοίκων, αποτελεί το μεγαλύτερο έργο αποκατάστασης οικοτόπου στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι στόχοι του έργου έχουν χρονικό πλαίσιο για το 2065 και το 2216, εκτείνεται σε 600 τ.χλμ. άγριας φύσης, 9.800 εκτάρια γηγενούς δάσους, 10.000 εκτάρια τύρφης και 23.000 εκτάρια ορεινών οικοτόπων, με 5.000 καταγεγραμμένα είδη (ELP, 2019). Η διαχείριση του περιλαμβάνει μια ποικιλία ενεργειών σε όλη την περιοχή, συμπεριλαμβανομένης της αποκατάστασης υδατορεμάτων και πλημμυρικών εκτάσεων με την αφαίρυντας τα έργα αποστράγγισης και την προωθώντας τις φυσικές διεργασίες, τη ενίσχυση και την επέκταση των γηγενών δασικών εκτάσεων με τη διαχείριση των βοσκοτόπων, την αφαίρεση μη ιθαγενών ειδών και τον εμπλουτισμού της φύτευσης. Οι πευκοφυτείες θα γίνουν καλύτεροι βιότοποι με την αραιώση τους και με τον διαχωρισμό των ειδών. Μια σημαντική πηγή απορρόφησης άνθρακα θα προέλθει από την αποκατάσταση δασικών εκτάσεων με τύρφη, με τη δημιουργία καναλιών με τύρφη και τη χρήση ογκόλιθων για την επιβράδυνση της ταχύτητας του νερού.



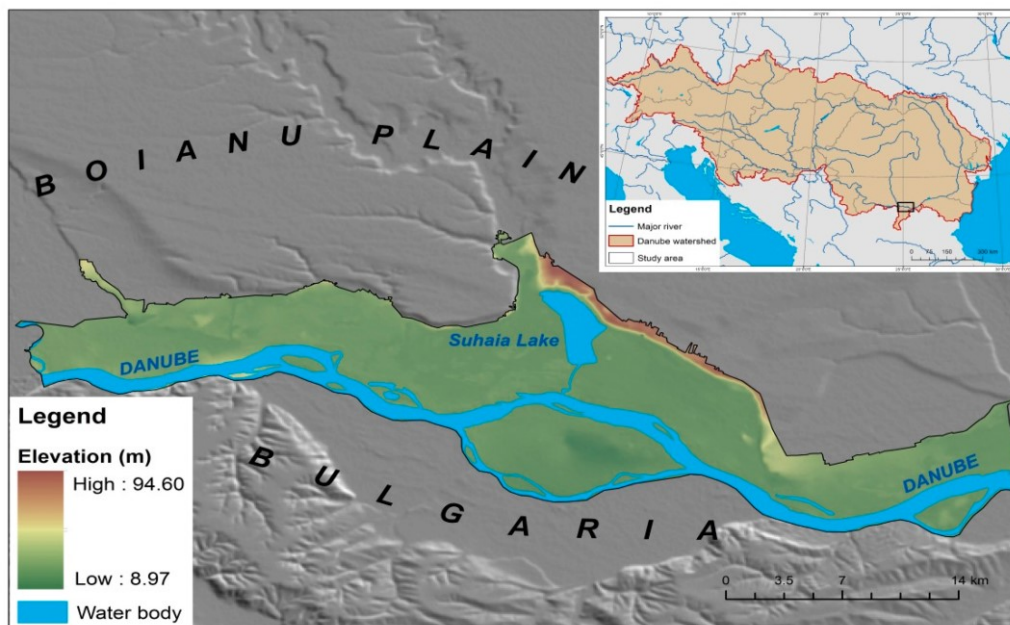
Εικόνα 12 Μέρος από την οροσειρά Cairngorms, πηγή: Visit Cairngorms



Οι ενέργειες που σχεδιάζονται να γίνουν στην οροσειρά Cairngorms θα βοηθήσουν στη διατήρηση και την ενίσχυση των οφελών για τη φύση και τους ανθρώπους στο μέλλον, θα βελτιώσουν την ανθεκτικότητα των οικοτόπων, των ειδών και των οικοσυστημάτων στην κλιματική αλλαγή και θα επιτρέψουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οικοτόπων.

### 2.4.3. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΔΟΥΝΑΒΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, η Ευρώπη έχει υποστεί μεγάλες καταστροφικές πλημμύρες κατά μήκος του ποταμού Δούναβη. Ως εκ τούτου, απαιτούνται επαρκή και συντονισμένα μέτρα για τη μείωση του πλημμυρικού κινδύνου, χωρίς αυτά να αντιτίθενται στους στόχους του WFD (Water Framework Directive). Στόχος του έργου είναι η βελτίωση της διακρατικής διαχείρισης των υδάτων και η πρόληψη των πλημμυρών, μεγιστοποιώντας τα οφέλη για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Η συμφωνία για το έργο αυτό έγινε μεταξύ των κυβερνήσεων της Βουλγαρίας, της Ρουμανίας, της Ουκρανίας και της Μολδαβίας για την αποκατάσταση 224.000 εκταρίων πλημμυρικής πεδιάδας ως μέρος ενός ευρύτερου πράσινου διαδρόμου που θα περιλαμβάνει μια διατηρημένη έκταση 935.000 εκταρίων κατά μήκος του κάτω τμήματος του Δούναβη.



Χάρτης 6 Η περιοχή μελέτης της λεκάνης απορροής του Δούναβη, πηγή: Iuliana Vijulie, Mihaela Preda, Ana Irina Lequeux Dinca, Roxana Cuculici, Elena Matei, Alina Mareci, Gabriela Manea and Anca Tudoricu, « Economic Productivity vs. Ecological Protection in Danube Floodplain. Case Study: Danube's Sector between Olt and Vedeia »

Από το 2020, περισσότερα από 60.000 εκτάρια πλημμυρικών πεδιάδων έχουν αποκατασταθεί. Παράλληλα με αυτήν την αποκατάσταση, έγιναν αφαιρέσεις αναχωμάτων κατά μήκος του ποταμού για να μπορέσει να επανέλθει η φυσική ροή, προκαλώντας πάνω από 750 εκτάρια γης να επιστρέψουν στην αρχική τους πλημμυρική κατάσταση. Η άγρια βλάστηση που επεκτείνεται ήταν επίσης ένα πρόβλημα κατά μήκος του ποταμού, έτσι γίναν ενέργειες καθαρισμού τους από συγκεκριμένα είδη βοοειδών, τα οποία τρέφονται με τα συγκεκριμένα φυτά. Γηγενής βλάστηση φυτεύτηκε επίσης κατά μήκος του ποταμού με δεκάδες χιλιάδες αυτοφυή δέντρα, καθώς επίσης δημιουργήθηκαν νέες εκτάσεις για τη φυσική αναγέννηση του δάσους.

### 3. Μελέτη Περίπτωσης NBS στη Βόρεια Εύβοια

Η Βόρεια Εύβοια στη σημερινή της κατάσταση βρίσκεται σε μια αρκετά βεβαρυσμένη θέση ύστερα από μια μεγάλη πυρκαγιά, η οποία έκαψε το μεγαλύτερο τμήμα της και αρκετές πλημμύρες μετέπειτα. Τα δεδομένα αυτά δημιουργούν ακόμη μεγαλύτερη αναγκαιότητα για την χρήση λύσεων βασισμένων στη φύση προκειμένου η περιοχή να καταφέρει να επανέλθει στη φυσική της κατάσταση μαζί με τον οικολογικό της κύκλο. Για να επιτευχθεί η αποκατάσταση των πληγεισών περιοχών της Β. Εύβοιας απαιτείται η χρήση ενός συνδυασμού λύσεων βασισμένων στη φύση, προκειμένου να προστατευτούν τα σημεία ενδιαφέροντος και από μελλοντικές καταστροφές. Οι λύσεις αυτές είναι από τις πιο απλές όπως είναι η δενδροφύτευση, έως και την πιο περίπλοκη όπως είναι η δημιουργία φυσικών φραγμάτων και η δημιουργία παραποτάμων για την εκτόνωση του νερού. Η επιλογή των κατάλληλων λύσεων οφείλει να πραγματοποιηθεί με μεγάλη προσοχή, ούτως ώστε η ανθρώπινη παρέμβαση στο περιβάλλον να είναι η ελάχιστη και η αποκατάσταση με την πάροδο των χρόνων να γίνεται αυτόνομα από το φυσικό περιβάλλον. Οι παράμετροι που θα εξετασθούν για να γίνει η επιλογή των λύσεων είναι η αποκατάσταση των καμένων εκτάσεων σε όσα τμήματα είναι εφικτό και η δημιουργία αντιπλημμυρικού συστήματος με την δημιουργία πλημμυρικών πεδιάδων.



Εικόνα 13 Οι καμένες εκτάσεις της Βόρειας Εύβοιας, πηγή: [Dasarxeio.com](http://Dasarxeio.com), «Βόρεια Εύβοια, περιγραφή και οριοθέτηση μη καμένων εκτάσεων»

A/A	Μορφή βλάστησης και χρήσεων γης	Έκταση (στρ)
1	Πεύκη χαλέπιος	29.941,16
2	Ελάτη	2.688,66
3	Δρυς	977.29
4	Πεύκη μαύρη	884.41
5	Θάμνοι	867.33
6	Λιβάδια, αραιά ξυλώδης βλάστηση	658.34
7	Παραποτάμια βλάστηση	184.85
8	Άγονα	321.24
9	Γεωργικές καλλιέργειες	6.103,04
10	Εγκαταλελειμμένες γεωρ. καλλιέργειες	1.182,22
11	Οικισμοί	45.77
	<b>Σύνολο</b>	<b>43.854.31</b>

Πίνακας 4 Πίνακας μη καμένων εκτάσεων ανά μορφή βλάστησης και χρήσεων γης, πηγή: *Dasarkeio.com*, «Βόρεια Εύβοια, περιγραφή και οριοθέτηση μη καμένων εκτάσεων»

Η φυσική υποδομή υποστηρίζει τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται οι λεκάνες απορροής των ποταμών και επομένως τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος καλλιεργεί τρόφιμα, παράγει ηλεκτρική ενέργεια και προμηθεύει νερό στις πόλεις (Coates & Smith 2012). Ο όρος υποδομή ορίζεται ως το απόθεμα των εγκαταστάσεων και υπηρεσιών που απαιτούνται για τη λειτουργία μιας κοινωνίας. Ως εκ τούτου, οι κατασκευασμένες υποδομές μιας περιοχής έχουν φυσικά ισοδύναμα στις λεκάνες απορροής τα οποία συμπληρώνουν, επαυξάνουν ή αντικαθιστούν συμβατικές υποδομές όπως είναι οι δεξαμενές, τα φράγματα, τα αναχώματα και τα κανάλια (Krchnak et al., 2011). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι πλημμυρικές πεδιάδες, παρόλο που αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 1% της επιφάνειας της γης, εκτιμάται ότι παρέχουν σχεδόν το 25% των χερσαίων υπηρεσιών των οικοσυστημάτων, με κύρια οφέλη την εξασθένιση των πλημμυρικών ροών, την ανάπτυξη της αλιείας, την επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων και το φιλτράρισμα του νερού.



Εικόνα 14 Φυσική υποδομή για τη διαχείριση των υδάτων, πηγή: IUCN, «as part of 'WISE-UP to Climate' project»



### 3.1. Γεωμορφολογική Ανάλυση

Για να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε υδρολογική μελέτη σε κάποια περιοχή είναι απαραίτητη η γεωμορφολογική αποτύπωση της περιοχής μελέτης και η επιμέρους καταγραφή των χαρακτηριστικών της. Η περιοχή μελέτης που επιλέγεται στην περιοχή της Βόρεια Εύβοιας είναι το Αρτεμίσιο. Το Αρτεμίσιο εντάσσεται στο Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 07) και από μόνο του αποτελεί μια μικρή υπολεκάνη την Λεκάνης Απορροής (ΛΑΠ) της Εύβοιας.

Με τη χρήση του προγράμματος GIS (Geographical Information Systems) γίνεται η γεωμορφολογική ανάλυση του Αρτεμισίου με την εισαγωγή γεωγραφικών συντεταγμένων που μας παρέχει η ιστοσελίδα του ΥΠΕΚΑ και τις χρήσεις γης από το Copernicus EU (Corine Land Cover). Επιπλέον, λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το HEC – GeoHMS, το οποίο αποτελεί μια επιπρόσθετη εργαλειοθήκη του ArcGIS με την επέκταση Spatial Analyst για την ανάπτυξη μιας σειράς υδρολογικών δεδομένων εισόδου, τα οποία μετέπειτα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το HEC-HMS. Ουσιαστικά το HEC – GeoHMS μετατρέπει τις διαδρομές αποστράγγισης και τα όρια των λεκάνων απορροής σε μια σειρά υδρολογικών δεδομένων, τα οποία αντιπροσεύουν το υδρολογικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Τέλος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HEC-HMS για την εφαρμογή υδρολογικών μεθόδων με στόχο την υδρολογική προσομοίωση του μοντέλου βροχής απορροής. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση της έκδοσης ArcMap 10.3 και το HEC-GeoHMS διευκολύνθηκαν οι διεργασίες της δημιουργίας λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου εντός αυτής, καθώς επίσης και ο υπολογισμός των υδρολογικών και γεωμορφολογικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής.



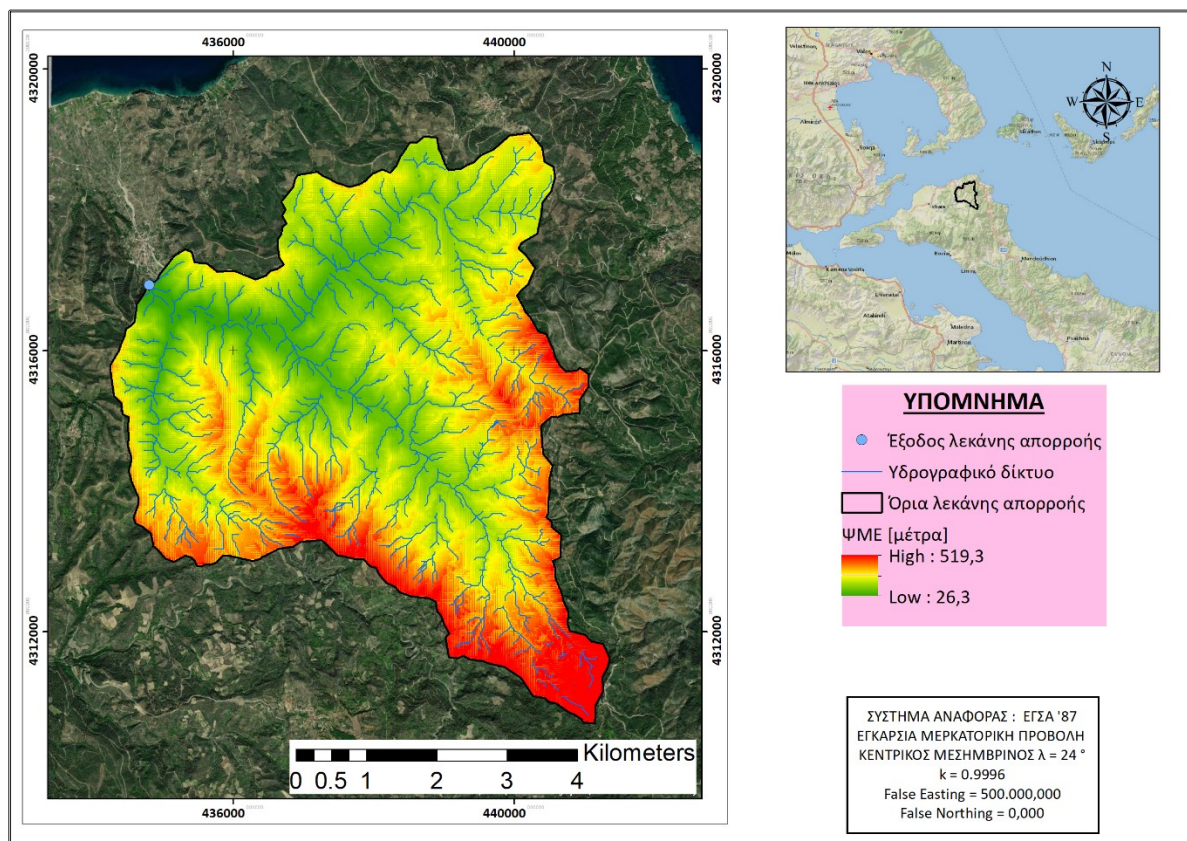
### 3.2. Η λεκάνη απορροής του Αρτεμισίου

Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκε το DEM αρχείο με ισοδιάσταση 25x25 m, από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus EU, με σύστημα αναφοράς το WGS 84. Το DEM περιορίστηκε στα όρια τμήματος της περιοχής του Δήμου Ιστιαίας – Αιδηψού στη Βόρεια Εύβοια και ορίστηκε σαν σημείο εξόδου (outlet) η θέση του Αρτεμισίου. Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την οριοθέτηση της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης, δηλαδή του Αρτεμισίου με το πρόγραμμα ArcMap 10.3.

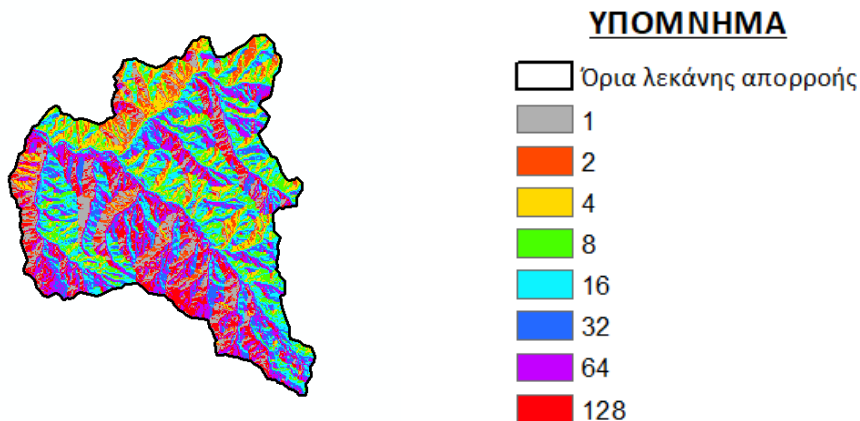


Εικόνα 15 Λεκάνη Απορροής του Αρτεμισίου

Η λεκάνη απορροής του Αρτεμισίου υπολογίστηκε στα  $A = 33,56$  τ.χλμ., ο υδροκρίτης της ΛΑΠ βάση της γεωμορφολογικής ανάλυσης έχει περίμετρο  $P = 4,42$  χλμ, ενώ το μήκος της κύριας μισγάγγειας είναι  $L = 11,1$  χλμ. Αρχικά με την εντολή **Fill Sinks** διορθώθηκαν όλες οι ατέλειες του DEM αρχείου, οι οποίες εμποδίζουν την απορροή των ρixel, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ορθότητα της λεκάνης απορροής και του υδατικού δικτύου και το τελευταίο να έχει μια συνέχεια στο μοντέλο και κατ' επέκτασίν στους υπολογισμούς. Έπειτα, με την εντολή **Flow Direction** δημιουργείται ένα νέο raster αρχείο, του οποίου οι τιμές των κελιών του έχουν έναν μοναδικό αριθμό ανάλογα με τη διεύθυνση που ακολουθεί μια σταγόνα, όταν αυτή βρεθεί εντός αυτού. Για κάθε κελί υπάρχουν οκτώ διαφορετικές πιθανές κατευθύνσεις ροής που συνδέονται με τα γειτονικά κελιά του και ανάλογα με το υψόμετρο τους ορίζεται η κατεύθυνση της σταγόνας από το κελί με το μεγαλύτερο υψόμετρο προς αυτό με το μικρότερο.



Εικόνα 16 Ο Γεωμορφολογικός χάρτης του Αρτεμισίου που προκύπτει από το GIS

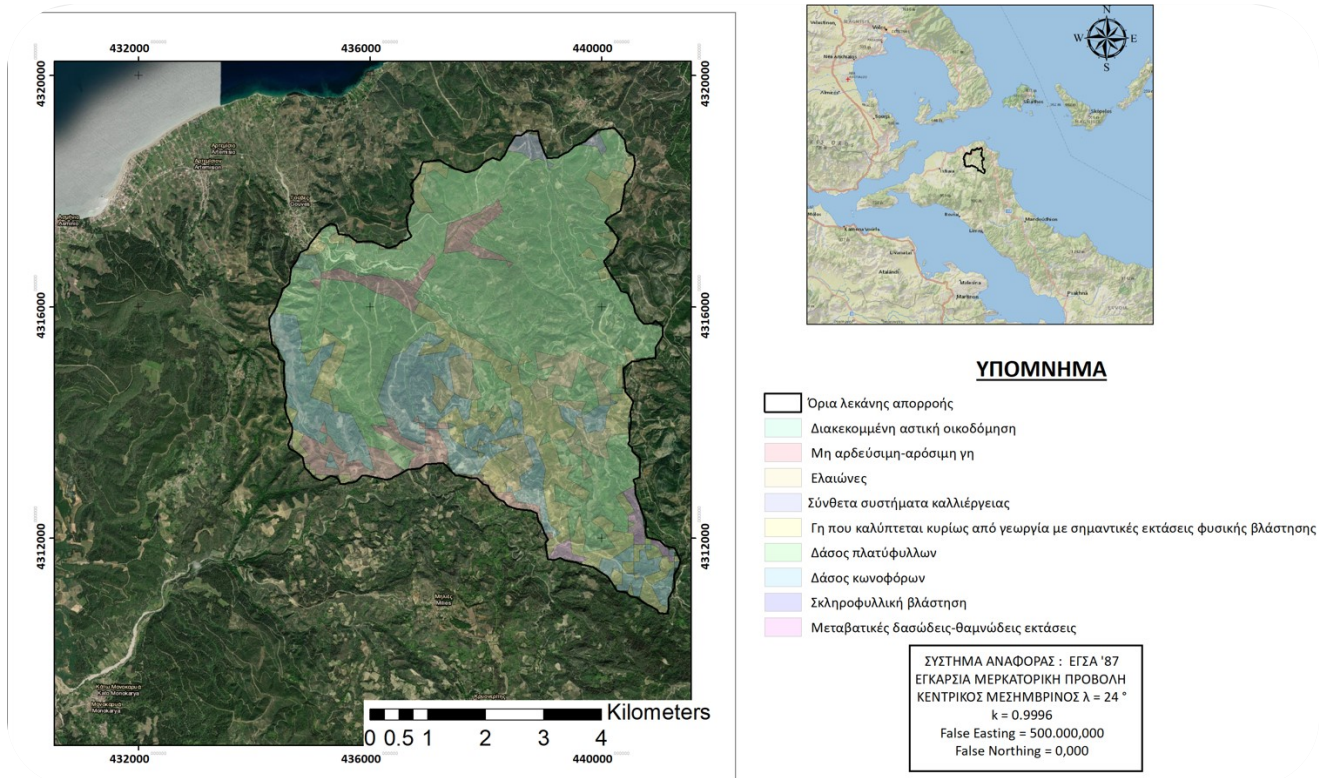


Εικόνα 17. Το Raster του Flow Direction

Το **Flow Accumulation** δημιουργεί την πορεία του υδρογραφικού δικτύου, με ένα νέο raster όπου οι τιμές των κελιών ορίζουν τα κελιά που απορρέουν στο συγκεκριμένο κελί. Με το **Stream Definition** ορίζεται ένα κατώφλι κελιών στο flow accumulation, πάνω από το οποίο όλα τα κελιά που έχουν τιμές μεγαλύτερες από το κατώφλι αποτελούν τμήματα του υδρογραφικού δικτύου, ενώ οι μικρότερες τιμές προσδιορίζουν ότι τα κελιά αυτά ανήκουν στη χερσαία ροή. Η τιμή του κατωφλιού επηρεάζει το υδρογραφικό δίκτυο, καθώς όσο μικρότερη είναι, τόσο πυκνότερο είναι το δίκτυο και οι χρόνοι απορροής μειώνονται. Τουναντίον, μεγάλες τιμές κατωφλιού δημιουργούν μικρότερο υδρογραφικό δίκτυο, ενώ οι χρόνοι απορροής αυξάνονται.

Η κάλυψη γης για την περιοχή μελέτης βασίστηκε στο Corine Land Cover 2018 του Ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus, σε μορφή raster ανάλυσης 100 x 100 μ. Το Corine διαχωρίζει την κάλυψη γης σε 44 κλάσεις. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη η κύρια κάλυψη γης είναι από δάση πλατύφυλλων και δάση κωνοφόρων.





Εικόνα 18 Κατανομή των χρήσεων γης του Αρτεμισίου από το Corine Land Cover 2018

Με τη βοήθεια του προγράμματος HEC-HMS πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του υδρολογικού μοντέλου και η διόδευση των πλημμυρών έγινε με την μέθοδο SCS Unit Hydrograph και τη μέθοδο SNYDER, για επεισόδιο βροχής διάρκειας 30 λεπτών. Η μέθοδος SCS περιλαμβάνει την επιλογή μιας καταιγίδας και τον υπολογισμό της άμεσης απορροής. Ο αριθμός CN (Curved Number), λαμβάνεται από αναλυτικούς πίνακες της SCS για υγρασιακή κατάσταση AMC II (Antecedent soil Moisture Condition) και ανάλογα με τη χρήση γης. Επίσης υπολογίστηκε η απορροή του δικτύου με Ισόχρονες Καμπύλες, παρακάτω βρίσκεται το σχήμα (σχήμα 1) με το Μοναδιαίο Υδρογράφημα του δικτύου κατά SNYDER, SCS και η Ισόχρονη Καμπύλη του. Ο αριθμός CN που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη είναι **CN = 79**. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης μας (πίνακας 5).

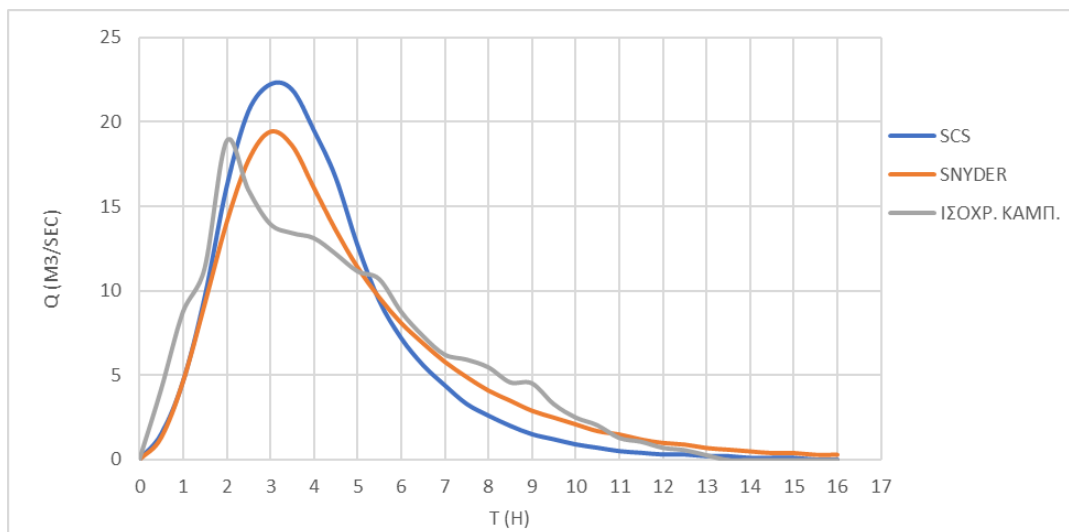
BASIN CHARACTERISTICS									
Basin	Longest flowpath	Basin slope	Max Altitude [m]	Min Altitude [m]	Mean Altitude [m]	Outlet Altitude [m]	Area [km <sup>2</sup> ]	GIANDOTTI Tc [h]	LAG TL [h]
Artemisio	11.053	0.288	519.315	26.318	193.573	27.556	33.559	3.856	2.892

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά της Λεκάνης Απορροής του Αρτεμισίου

Οι ισόχρονες καμπύλες είναι ο υπολογισμός τμημάτων εντός της περιοχής μελέτης που απορρέουν στο ίδιο χρονικό βήμα (Α. Μπουρνάς 2022). Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό τους είναι η εξής:

- Υπολογισμός του χρόνου που κάνουν τα ριχεί να απορρεύσουν προς την έξοδο της λεκάνης
- Ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων ανά επιλεγμένο χρονικό βήμα (Κατασκευή Ισόχρονων Καμπυλών)
- Μετατροπή των αριθμό των ριχεί ανά χρονικό βήμα σε εμβαδό λεκάνης απορροής
- Μετατροπή επιφάνειας σε παροχή θεωρώντας βροχή 10 mm  $Q=P \times A$ )

Η παράμετρος που λαμβάνεται υπόψιν για τον υπολογισμό των ισόχρονων καμπυλών είναι οι ταχύτητες κίνησης των ριχεί εντός και εκτός υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 1 ΜΥΓ ΛΑΠ Αρτεμισίου

Για την εκτίμηση της βροχής σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη τριών παραμέτρων του σταθμού Μηλιές, η οποία περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

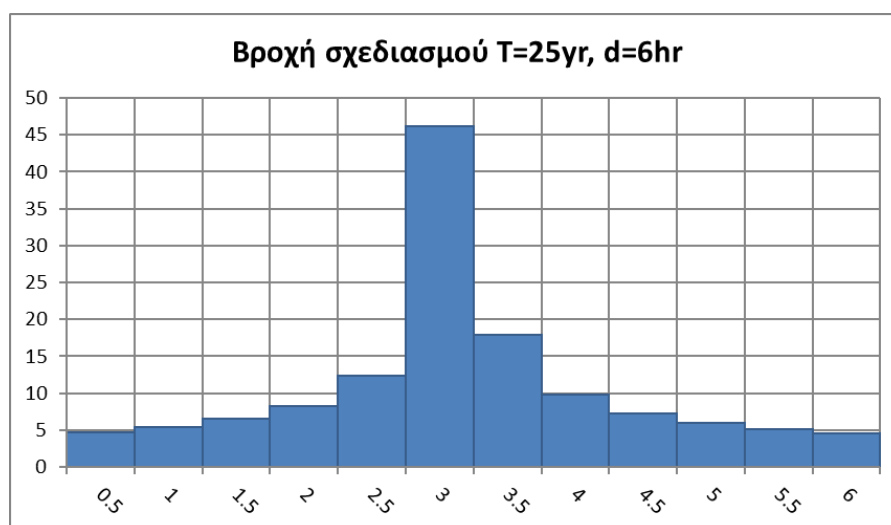
$$i(d, T) = \frac{\lambda' (T^k - \psi')}{(1 + d/\theta)^n}$$

Από τις πέντε παραμέτρους της παραπάνω έκφρασης ( $\lambda'$ ,  $\psi'$ ,  $k$ ,  $\eta$ ,  $\theta$ ), οι δύο πρώτες έχουν εκτιμηθεί «τοπικά», δηλαδή με βάση το δείγμα μέγιστων εντάσεων βροχής του ίδιου σταθμού, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν εκτιμηθεί με βάση δείγματα περισσότερων σταθμών.

Επιλέχθηκε να γίνει μελέτη για διάρκειες βροχής  $d = 6h$  και  $d = 9h$  με περιόδους επαναφοράς  $T = 25$  γ,  $T = 50$  γ και  $T = 100$  γ, με δεδομένα από τον Υδρογραφικό Σταθμό Μηλιές, όπου υπολογίστηκαν τα υετογραφήματα για επεισόδια βροχής  $d = 6h$  για περιόδους επαναφοράς  $T = 25$  γ,  $T = 50$  γ και  $T = 100$  γ και για επεισόδιο βροχής  $d = 9h$  για περιόδους επαναφοράς  $T = 25$  γ,  $T = 50$  γ και  $T = 100$  γ με τη μέθοδο Alternative Block Hyetograph, με βροχές τρίτου τετάρτου.

### ΣΕΝΑΡΙΟ 1<sup>ο</sup>: $d = 6h, T = 25γ$ :

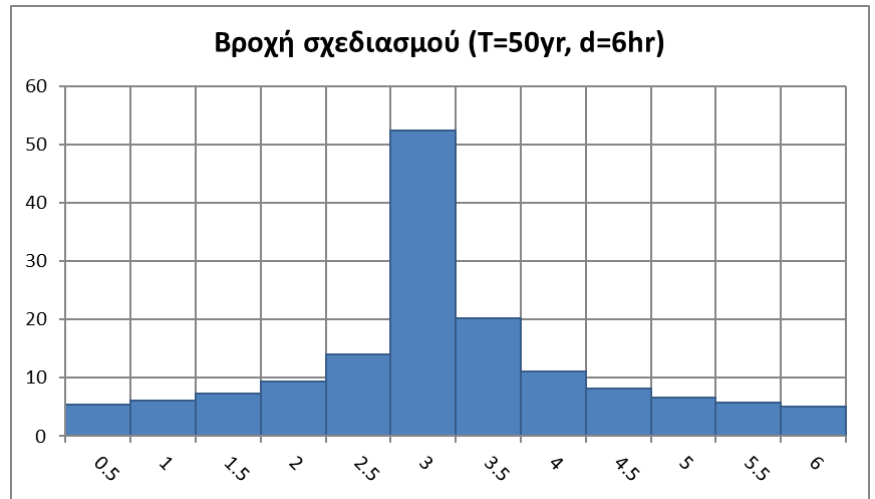
Μηλιές	
d	6
λ	352.8
κ	0.097
ψ	0.651
η	0.622
θ	0.124
T	25
<b>i [mm/hr]</b>	<b>22.32</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>133.92</b>



t [hr]	i	$h_i$	$p_i$	$Dp_i$	Θέση	Τιμή	Τελικό Υετογράφημα
			0				
0.5	92.39	46.19	0.345	0.345	11	0.035	4.75
1	64.07	64.07	0.478	0.133	9	0.041	5.45
1.5	50.96	76.44	0.571	0.092	7	0.048	6.49
2	43.13	86.25	0.644	0.073	5	0.062	8.28
2.5	37.81	94.53	0.706	0.062	3	0.092	12.37
3	33.92	101.77	0.760	0.054	1	0.345	46.19
3.5	30.93	108.26	0.808	0.048	2	0.133	17.87
4	28.54	114.17	0.853	0.044	4	0.073	9.81
4.5	26.58	119.62	0.893	0.041	6	0.054	7.24
5	24.94	124.69	0.931	0.038	8	0.044	5.91
5.5	23.53	129.44	0.967	0.035	10	0.038	5.07
6	22.32	133.92	1.000	0.033	12	0.033	4.48
sum							133.92

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2°: d = 6h, T = 50γ:**

Μηλιές	
d	6
λ	352.8
κ	0.097
ψ	0.651
η	0.622
θ	0.124
T	50
<b>i [mm/hr]</b>	<b>25.28</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>151.71</b>

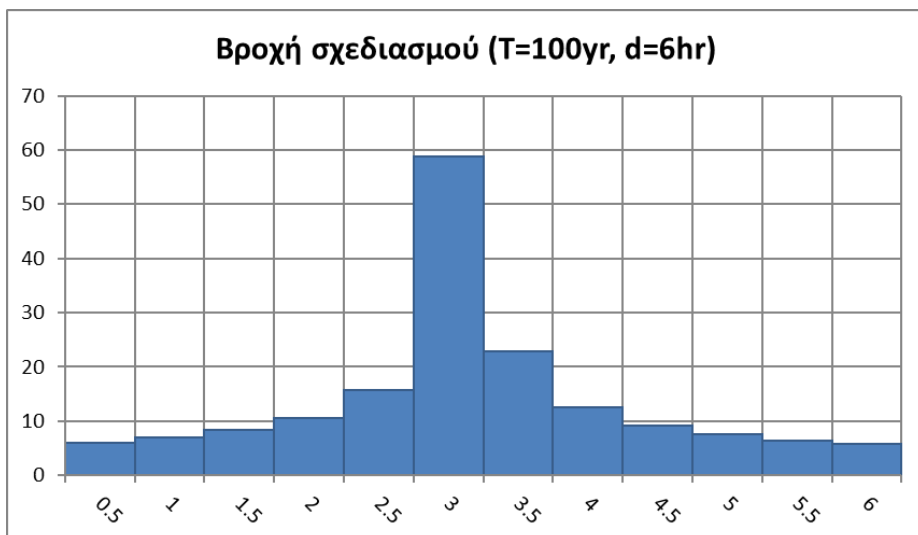


t [hr]	i	h <sub>i</sub>	ρ <sub>i</sub>	Dρ <sub>i</sub>	Θέση	Τιμή	Τελικό Υετογράφημα
			0				
0.5	104.66	52.33	0.345	0.345	11	0.035	5.38
1	72.58	72.58	0.478	0.133	9	0.041	6.17
1.5	57.73	86.60	0.571	0.092	7	0.048	7.35
2	48.85	97.71	0.644	0.073	5	0.062	9.38
2.5	42.83	107.09	0.706	0.062	3	0.092	14.02
3	38.43	115.29	0.760	0.054	1	0.345	52.33
3.5	35.04	122.64	0.808	0.048	2	0.133	20.25
4	32.33	129.34	0.853	0.044	4	0.073	11.11
4.5	30.11	135.51	0.893	0.041	6	0.054	8.21
5	28.25	141.25	0.931	0.038	8	0.044	6.69
5.5	26.66	146.63	0.967	0.035	10	0.038	5.74
6	25.28	151.71	1.000	0.033	12	0.033	5.08
sum							151.71



**ΣΕΝΑΡΙΟ 3ο:  $d = 6h, T = 100y$ :**

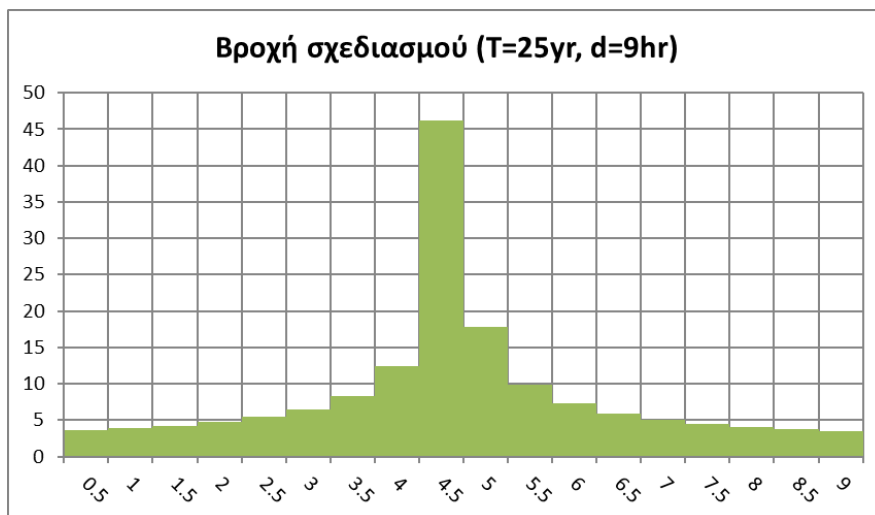
Μηλιές	
d	6
$\lambda$	352.8
$\kappa$	0.097
$\psi$	0.651
$\eta$	0.622
$\theta$	0.124
T	100
<b>i [mm/hr]</b>	<b>28.46</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>170.73</b>



t [hr]	i	$h_i$	$p_i$	$Dp_i$	Θέση	Τιμή	Τελικό Υετογράφημα
			0				
0.5	117.79	58.89	0.345	0.345	11	0.035	6.06
1	81.68	81.68	0.478	0.133	9	0.041	6.94
1.5	64.97	97.46	0.571	0.092	7	0.048	8.27
2	54.98	109.96	0.644	0.073	5	0.062	10.55
2.5	48.21	120.52	0.706	0.062	3	0.092	15.77
3	43.25	129.75	0.760	0.054	1	0.345	58.89
3.5	39.44	138.02	0.808	0.048	2	0.133	22.79
4	36.39	145.56	0.853	0.044	4	0.073	12.51
4.5	33.89	152.50	0.893	0.041	6	0.054	9.24
5	31.79	158.96	0.931	0.038	8	0.044	7.53
5.5	30.00	165.02	0.967	0.035	10	0.038	6.46
6	28.46	170.73	1.000	0.033	12	0.033	5.71
sum							170.73

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4ο: d = 9h, T = 25y:**

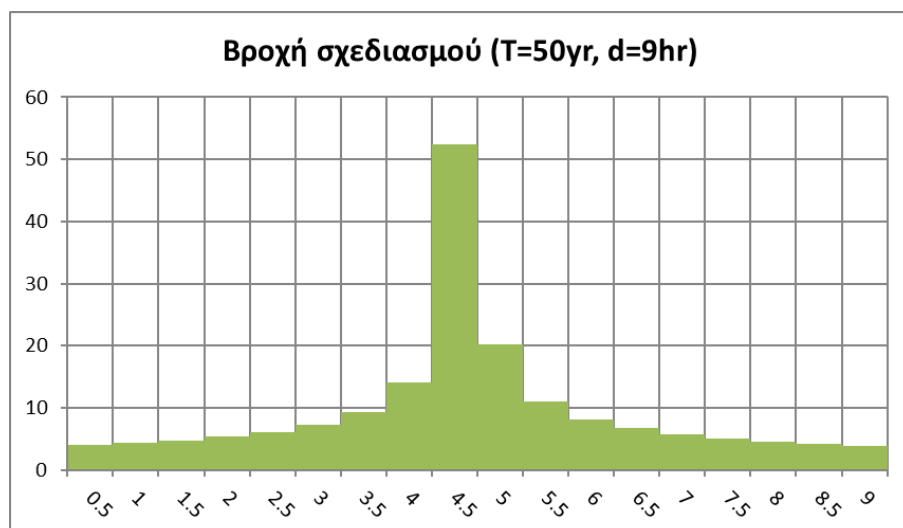
Μηλιές	
d	9
λ	352.8
κ	0.097
ψ	0.651
η	0.622
θ	0.124
Τ	25
<b>i [mm/hr]</b>	<b>17.42</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>156.76</b>



t [hr]	i	h <sub>i</sub>	ρ <sub>i</sub>	Dρ <sub>i</sub>	Θέση	Τιμή	Τελικό Υετογράφημα
			0				
0.5	92.39	46.19	0.295	0.295	17	0.023	3.56
1	64.07	64.07	0.409	0.114	15	0.025	3.86
1.5	50.96	76.44	0.488	0.079	13	0.027	4.25
2	43.13	86.25	0.550	0.063	11	0.030	4.75
2.5	37.81	94.53	0.603	0.053	9	0.035	5.45
3	33.92	101.77	0.649	0.046	7	0.041	6.49
3.5	30.93	108.26	0.691	0.041	5	0.053	8.28
4	28.54	114.17	0.728	0.038	3	0.079	12.37
4.5	26.58	119.62	0.763	0.035	1	0.295	46.19
5	24.94	124.69	0.795	0.032	2	0.114	17.87
5.5	23.53	129.44	0.826	0.030	4	0.063	9.81
6	22.32	133.92	0.854	0.029	6	0.046	7.24
6.5	21.26	138.17	0.881	0.027	8	0.038	5.91
7	20.32	142.21	0.907	0.026	10	0.032	5.07
7.5	19.48	146.07	0.932	0.025	12	0.029	4.48
8	18.72	149.78	0.955	0.024	14	0.026	4.04
8.5	18.04	153.33	0.978	0.023	16	0.024	3.70
9	17.42	156.76	1.000	0.022	18	0.022	3.43
sum							156.76

**ΣΕΝΑΡΙΟ 5ο: d = 9h, T = 50y:**

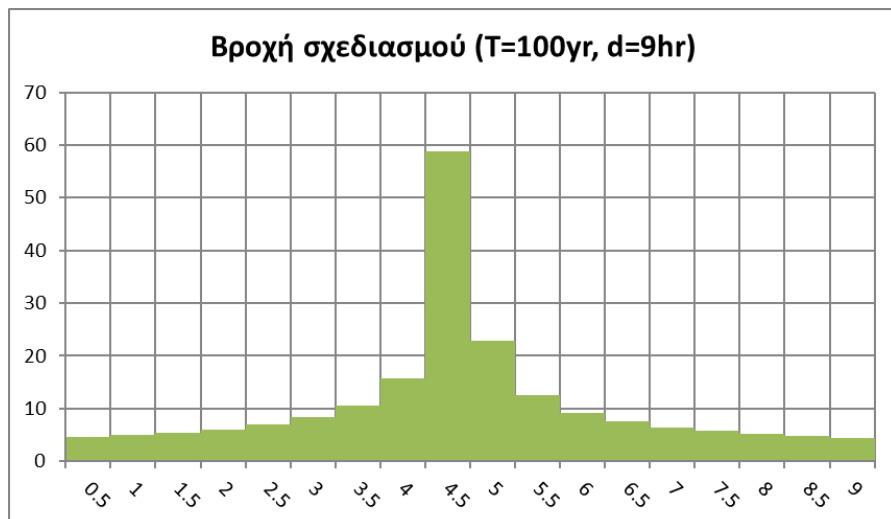
Μηλιές	
d	9
λ	352.8
κ	0.097
ψ	0.651
η	0.622
θ	0.124
T	50
<b>i [mm/hr]</b>	<b>19.73</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>177.58</b>



t [hr]	i	h <sub>i</sub>	ρ <sub>i</sub>	Dρ <sub>i</sub>	Θέση	Τιμή	Τελικό Υετογράφημα
			0				
0.5	104.66	52.33	0.295	0.295	17	0.023	4.03
1	72.58	72.58	0.409	0.114	15	0.025	4.38
1.5	57.73	86.60	0.488	0.079	13	0.027	4.81
2	48.85	97.71	0.550	0.063	11	0.030	5.38
2.5	42.83	107.09	0.603	0.053	9	0.035	6.17
3	38.43	115.29	0.649	0.046	7	0.041	7.35
3.5	35.04	122.64	0.691	0.041	5	0.053	9.38
4	32.33	129.34	0.728	0.038	3	0.079	14.02
4.5	30.11	135.51	0.763	0.035	1	0.295	52.33
5	28.25	141.25	0.795	0.032	2	0.114	20.25
5.5	26.66	146.63	0.826	0.030	4	0.063	11.11
6	25.28	151.71	0.854	0.029	6	0.046	8.21
6.5	24.08	156.52	0.881	0.027	8	0.038	6.69
7	23.01	161.10	0.907	0.026	10	0.032	5.74
7.5	22.06	165.48	0.932	0.025	12	0.029	5.08
8	21.21	169.67	0.955	0.024	14	0.026	4.58
8.5	20.44	173.70	0.978	0.023	16	0.024	4.19
9	19.73	177.58	1.000	0.022	18	0.022	3.88
sum							177.58

**ΣΕΝΑΡΙΟ 6ο: d = 9h, T = 100y:**

Μηλιές	
d	9
λ	352.8
κ	0.097
ψ	0.651
η	0.622
θ	0.124
T	100
<b>i [mm/hr]</b>	<b>22.21</b>
<b>H event [mm]</b>	<b>199.85</b>



t [hr]	i	h <sub>i</sub>	ρ <sub>i</sub>	Dρ <sub>i</sub>	Θέση	Τιμή	Τελικό Υετογράφημα
			0				
0.5	117.79	58.89	0.332	0.332	17	0.026	4.54
1	81.68	81.68	0.460	0.128	15	0.028	4.92
1.5	64.97	97.46	0.549	0.089	13	0.030	5.42
2	54.98	109.96	0.619	0.070	11	0.034	6.06
2.5	48.21	120.52	0.679	0.059	9	0.039	6.94
3	43.25	129.75	0.731	0.052	7	0.047	8.27
3.5	39.44	138.02	0.777	0.047	5	0.059	10.55
4	36.39	145.56	0.820	0.042	3	0.089	15.77
4.5	33.89	152.50	0.859	0.039	1	0.332	58.89
5	31.79	158.96	0.895	0.036	2	0.128	22.79
5.5	30.00	165.02	0.929	0.034	4	0.070	12.51
6	28.46	170.73	0.961	0.032	6	0.052	9.24
6.5	27.10	176.15	0.992	0.030	8	0.042	7.53
7	25.90	181.30	1.021	0.029	10	0.036	6.46
7.5	24.83	186.23	1.049	0.028	12	0.032	5.71
8	23.87	190.95	1.075	0.027	14	0.029	5.16
8.5	23.00	195.48	1.101	0.026	16	0.027	4.72
9	22.21	199.85	1.125	0.025	18	0.025	4.37
sum							199.85

### 3.3. Εφαρμογή NBS στο Αρτεμίσιο, Β. Εύβοιας

Στην προηγούμενη ενότητα αναλύθηκε η γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης και υπολογίστηκαν τα υδρολογικά της στοιχεία, καθώς επίσης εκτιμήθηκαν και οι παροχές σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή λύσεων βασισμένων στη φύση που θα εφαρμοστούν στην περιοχή. Με τα δεδομένα που διαθέτουμε και προκειμένου οι παρεμβάσεις που θα γίνουν να είναι η βέλτιστη λύση για την ανάκαμψη της περιοχής έπειτα των πυρκαγιών που έχουν συμβεί επιλέγεται η δημιουργία τεχνητών λιμνών με την ταυτόχρονη δημιουργία buffer zones, δηλαδή την δημιουργία παρόχθιων δασικών ζωνών, οι οποίες θα προσφέρουν ενίσχυση του εδάφους και σταθερότητα προστατεύοντας το από τις διαβρώσεις που μπορούν να μικρύνουν την περίμετρο των λιμνών και να αποτρέψουν την είσοδο φερτών υλικών μέσα σε αυτή επηρεάζοντας τον όγκο νερού που αυτές θα μπορούν να αποθηκεύσουν. Ένα επίσης θετικό αντίκρουσμα που έχει αυτή η λύση είναι πως θα δημιουργηθούν νέοι βιότοποι τόσο για τα υδρόβια ήδη όσο και για τα θηλάσθηκα και πτηνά της περιοχής, των οποίων ο αριθμός μετέπειτα των πυρκαγιών και των πλημμυρών έχει μειωθεί σημαντικά, ενώ ορισμένα ήδη έχουν αναγκαστεί να μεταναστεύσουν για να εξασφαλίσουν την επιβίωση τους.

Ο εντοπισμός της κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση των πλημμυρικών λιμνών αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία καθώς πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη στο μοντέλο σχεδιασμού για να γίνει με λεπτομέρεια η επιλογή τους. Για να γίνει η διαδικασία αυτή θα πρέπει να απαριθμηθούν οι παράγοντες αποκλεισμού των θέσεων που δεν μπορούν να τοποθετηθούν οι λίμνες, ούτως ώστε να καταλήξουμε με έναν χάρτη των συμβατών θέσεων.

Για κάθε ζώνη αποκλεισμού εντοπίζεται η απόσταση στην οποία βάσει το νομικού πλαισίου απαγορεύεται να χωροθετηθεί λίμνη και η εκάστοτε ζώνη αποκλεισμού βαθμολογείται με τον αριθμό 0 ο οποίος εκφράζει την πλήρη ακαταλληλότητα αυτής. Σε αποστάσεις πέραν του ορίου της αντίστοιχης ζώνης αποκλεισμού δίνονται τιμές ακέραιων αριθμών μεταξύ του 2 και του 10. Σημειώνεται ότι στο GIS γίνεται χρήση της Ευκλείδειας Απόστασης. Είναι προφανές ότι όσο αυτός ο αριθμός αυξάνει, αυξάνει και η καταλληλότητα της περιοχής (Kontos et al., 2003). Συνεπώς, μαθηματική σχέση για την επιλογή θέσης, χρησιμοποιώντας τις ζώνες αποκλεισμού θα είναι (Gemitzi et al., 2006):

$$SI = \prod_{i=1}^K b_i$$

[3.3.1]

Όπου  $SI$  ο συνολικός δείκτης καταλληλότητας (με  $0 \leq SI \leq 10$ ),  $b_i$  η τιμή του δείκτη καταλληλότητας για κάθε περιοριστικό κριτήριο (με  $0 \leq b_i \leq 10$  και  $b_i \in \mathbb{Z}$ ) και  $K$  ο αριθμός των περιοριστικών κριτηρίων.

Για τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης πλήθους  $n$ , χρησιμοποιείται η Ανάλυση AHP (Analytical Hierarchy Process) η οποία αναπτύχθηκε από τον Saaty (Saaty, 1977). Κάθε κριτήριο συγκρίνεται ως προς τη σημασία του σε σχέση με κάθε ένα από τα υπόλοιπα κριτήρια. Η σύγκριση μεταξύ δύο κριτηρίων γίνεται αποδίδοντας ακέραιες τιμές που κυμαίνονται από 1 έως 9 ή με τους αντίστροφους αυτών των τιμών και η κλίμακα καθορίζει τη σχετική σημασία ενός κριτηρίου σε σύγκριση με ένα άλλο κριτήριο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6. Παρόλο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ζυγοί ακέραιοι αριθμοί εντός του διαστήματος, είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται μονοί αριθμοί, για να εξασφαλισθεί ότι υπάρχει μια λογική διάκριση μεταξύ των κριτηρίων (Wind and Saaty, 1980).

Κλίμακα	Βαθμολογία	Αντίστροφος
Εξαιρετικά προτιμώμενο	9	0,111
Πολύ ισχυρά προτιμώμενο	7	0,143
Ιδιαίτερα προτιμώμενο	5	0,200
Μέτρια προτιμώμενο	3	0,333
Εξίσου προτιμώμενο	1	1,000

Πίνακας 6 Κλίμακα σχετικής σημασίας του Saaty

Αφού δοθούν οι παραπάνω τιμές για κάθε κριτήριο  $x_i$  σε σχέση με ένα άλλο και δημιουργείται ένας πίνακας, για να δοθούν σχετικά βάρη σε κάθε κριτήριο, είναι

απαραίτητο να ομαλοποιηθεί ο αυτός ο πίνακας σύγκρισης. Η κανονικοποίηση γίνεται διαιρώντας κάθε τιμή με τη συνολική τιμή της αντίστοιχης στήλης που βρίσκεται η τιμή. Η τιμή των βαρών  $w_i$  επιτυγχάνεται κατά προσέγγιση με τον υπολογισμό του μαθηματικού μέσου όρου όλων των σχετικών βαρών του κάθε κριτηρίου. Προφανώς το άθροισμα των βαρών που προκύπτουν θα είναι πάντα ίσο με 1. Οι τιμές που προκύπτουν έχουν άμεση φυσική σημασία στη μέθοδο AHP, αφού καθορίζουν τη συμμετοχή ή το βάρος αυτού του κριτηρίου σε σχέση με το συνολικό αποτέλεσμα του στόχου, που έχει τεθεί.

Το επόμενο βήμα είναι να ελέγξουμε εάν υπάρχουν τυχόν ασυνέπειες στα δεδομένα. Ο Δείκτης Συνέπειας (Consistency Index) CI βασίζεται στη μέγιστη ιδιοτιμή  $\lambda_{max}$ , η οποία υπολογίζεται ως εξής (Saaty, 1977):

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{w_j}{w_i} \right) \quad [3.3.2]$$

Ο δείκτης CI υπολογίζεται αντίστοιχα από τη σχέση (Saaty, 2005):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [3.3.3]$$

Προκειμένου να επαληθευτεί εάν ο Δείκτης Συνέπειας (CI) είναι ορθός, ο Saaty προτείνει το Ποσοστό Συνοχής (Consistency Rate) CR, το οποίο καθορίζεται από διαίρεση μεταξύ του δείκτη CI και του Δείκτη Τυχαίας Συνέπειας RI. Η μεθοδολογία θα θεωρείται συνεχής αν ο CR είναι μικρότερος από 10%. Η τιμή RI είναι σταθερή και βασίζεται στον αριθμό των κριτηρίων που αξιολογήθηκαν.

Σκοπός της παραπάνω μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε είναι η παραγωγή θεματικών χαρτών. Κάθε επιμέρους θεματικός χάρτης ανταποκρίνεται στην εφαρμογή ενός κριτηρίου για χωροθέτηση και τελικά ο δείκτης καταλληλότητας για χωροθέτηση, λαμβάνοντας υπόψη και τα περιοριστικά κριτήρια που προκύπτουν από τις ζώνες αποκλεισμού και τα κριτήρια αξιολόγησης υπολογίζεται όπως περιγράφεται στην επόμενη εξίσωση (Gemtzi et al., 2006):

$$SI = \sum_{i=1}^n w_i x_i \prod_{i=1}^K b_i \quad [3.3.4]$$

Για την οριοθέτηση των ζωνών αυτών χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδεια Απόσταση ή 2-νορμική απόσταση όπως αλλιώς ονομάζεται, η οποία για σημεία με συντεταγμένες  $x_i, y_i$  υπολογίζεται ως εξής:



$$d(x,y) = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2}$$

[3.3.5]

α/α	Κριτήριο	Ζώνη αποκλεισμού
1	Απόσταση από ρέματα (Κ1)	-
2	Κλίση (Κ2)	>=25%
3	Υψόμετρο (Κ3)	>=350m
4	Απόσταση από αστικό ιστό (Κ4)	<=1000m
5	Απόσταση από οδικό δίκτυο (Κ5)	<=100m
6	Καμένες εκτάσεις(Κ6)	
7	Κάλυψη γης (Κ7)	

Πίνακας 7 Κριτήρια και ζώνες αποκλεισμού χωροθέτησης τεχνητών λιμνών

Κάλυψη Γης (Κ7)	
Γεωργικές εκτάσεις	9
Ελαιώνες	1
Δασική έκταση	3
Βλάστηση	7
Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	9

Πίνακας 8 Σχετική σημασία του Saaty για τα είδη κάλυψης γης για την τοποθέτηση των ΝΒS

Εκτός όμως από τις ζώνες αποκλεισμού με τη χρήση της Ευκλείδειας Απόστασης, υπολογίστηκαν και οι αποστάσεις που είναι μεγαλύτερες από την αντίστοιχη ζώνη αποκλεισμού για τις περιοχές ενδιαφέροντος, που βρίσκονται εντός των ορίων της ΛΑΠ του Αρτεμισίου. Από την ανάλυση αυτή για κάθε μία από τις 7 περιπτώσεις δημιουργήθηκε ένας θεματικός χάρτης των Ευκλείδειων Αποστάσεων, ομαδοποιημένων σε κλάσεις. Αυτοί οι 7 παραγόμενοι θεματικοί χάρτες στη συνέχεια με τη χρήση του εργαλείου “Reclassify”, υπέστησαν αναβαθμολόγηση των ορίων των κλάσεων τους με ακέραιους αριθμούς από το 0 έως το 10. Το 0 δηλώνει την πλήρη απαγόρευση χωροθέτησης και αντίστοιχα το 10 την πλήρη καταλληλότητα μίας περιοχής για χωροθέτηση.

Τα 7 κριτήρια χωρίζονται σε 2 ομάδες και τα κριτήρια που βρίσκονται στην ίδια ομάδα θεωρούνται μεταξύ τους ισοβαρή. Η ομάδα 1 αποτελείται από τα κριτήρια που είναι μεν ισοβαρή μεταξύ τους, αλλά παράλληλα θεωρούνται και τα πιο σημαντικά. Ακολουθεί η

ομάδα 2 η οποία αποτελείται από κριτήρια μικρότερης σημασίας από αυτά της ομάδας 1. Στον Πίνακα 6 παρουσιάστηκε η κλίμακα σχετικής σημασίας του Saaty και θα βαθμολογήσουμε τα κριτήρια χωροθέτησης με βάση αυτή. Πιο συγκεκριμένα, τα κριτήρια της ομάδας 1 βαθμολογούνται με 3 (μέτρια προτιμώμενο) σε σχέση με τα κριτήρια της ομάδας 2. Αντίστροφα, τα κριτήρια της ομάδας 2 βαθμολογούνται με 1/3 σε σχέση με αυτά της ομάδας 1. Συνοψίζοντας λοιπόν, για κάθε δύο διαδοχικές ομάδες, ανεβαίνουμε μία κατηγορία στην κλίμακα σχετικής σημασίας του Saaty.

N/A	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K2	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K3	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K4	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333
K5	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333
K6	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	3.000
K7	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333
SUM	5.000	5.000	5.000	15.000	15.000	7.000	13.000

Πίνακας 9 Σχετική συσχέτιση κριτηρίων αξιολόγησης

Στον Πίνακα 9 έχει υπολογιστεί και το άθροισμα της κάθε στήλης. Το επόμενο βήμα είναι να κανονικοποιηθεί ο πίνακας, διαιρώντας τα στοιχεία της κάθε στήλης με το αντίστοιχο άθροισμα, δηλαδή θα προκύψει ένας νέος πίνακας (Πίνακας 11) στον οποίο το κάθε στοιχείο  $a'_{ij}$  (  $i$ : αριθμός γραμμής και  $j$ : αριθμός στήλης ) του υπολογίζεται ως εξής:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{13j}} \quad [3.3.6]$$

όπου  $a_{ij}$  είναι τα στοιχεία του Πίνακα 12.

Το βάρος  $w_i$  του κάθε κριτηρίου είναι ο μέσος όρος των τιμών της αντίστοιχης γραμμής, δηλαδή:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a'_{ij}}{n} \quad [3.3.7]$$

όπου  $n=7$ : το πλήθος των κριτηρίων και  $i \in [1,2,\dots,7]$ .

Σημειώνεται ότι το άθροισμα των βαρών θα πρέπει να ισούται με 1. Με την εφαρμογή των παραπάνω πράξεων σε λογιστικό φύλλο Excel υπολογίζονται τα βάρη τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κωδικός	Κριτήριο	ΒΑΡΟΣ (w)
K1	Απόσταση από ρέματα	0.196
K2	Κλίση	0.196
K3	Υψόμετρο	0.196
K4	Απόσταση από αστικό ιστό	0.072
K5	Απόσταση από οδικό δίκτυο	0.072
K6	Καμένες εκτάσεις	0.196
K7	Κάλυψη γης	0.072

Πίνακας 10 Βάρη κριτηρίων

N/A	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Βάρος	Βάρος %
K1	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K2	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K3	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K4	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.143	0.026	0.072	7.2
K5	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.143	0.026	0.072	7.2
K6	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.143	0.231	0.196	19.6
K7	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.143	0.026	0.072	7.2
SUM								1.000	100.000

Πίνακας 11 Πίνακας υπολογισμού βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης

Στη συνέχεια, δημιουργείται ένας νέος πίνακας (Πίνακας 12) με στοιχεία  $b_{ij}$  των οποίων ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$b_{ij} = a_{ij} w_i \quad [3.3.8]$$

Υπολογίζεται η στήλη W.S.V. (=Weighted Sum Value), ως το άθροισμα των επιμέρους στοιχείων της κάθε γραμμής. Η στήλη W.S.V. είναι η 8<sup>η</sup> στήλη του νέου πίνακα και στη 9<sup>η</sup> του τοποθετούνται κατά σειρά τα βάρη. Στη 10<sup>η</sup> την οποία την ονομάζουμε Ratio γίνονται υπολογισμοί ως εξής:

$$\text{Ratio, } i = \frac{M.S.V.,i}{w_i} \quad [3.3.9]$$

Ο μέσος όρος των τιμών Ratio, ισούται με  $\lambda_{\max} = 7,511$ . Εφαρμόζοντας την εξίσωση για τον δείκτη CI για  $\lambda_{\max} = 7,511$  και  $n = 7$ , υπολογίζεται ο δείκτης  $CI = 0,085$ . Τέλος, υπολογίζεται και ο δείκτης  $CR = \frac{CI}{RI} = 0,058$  ή  $2,1\% < 10\%$  με  $RI = 1,48$ , συνεπώς η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε πληροί τα κριτήρια συνέχειας.

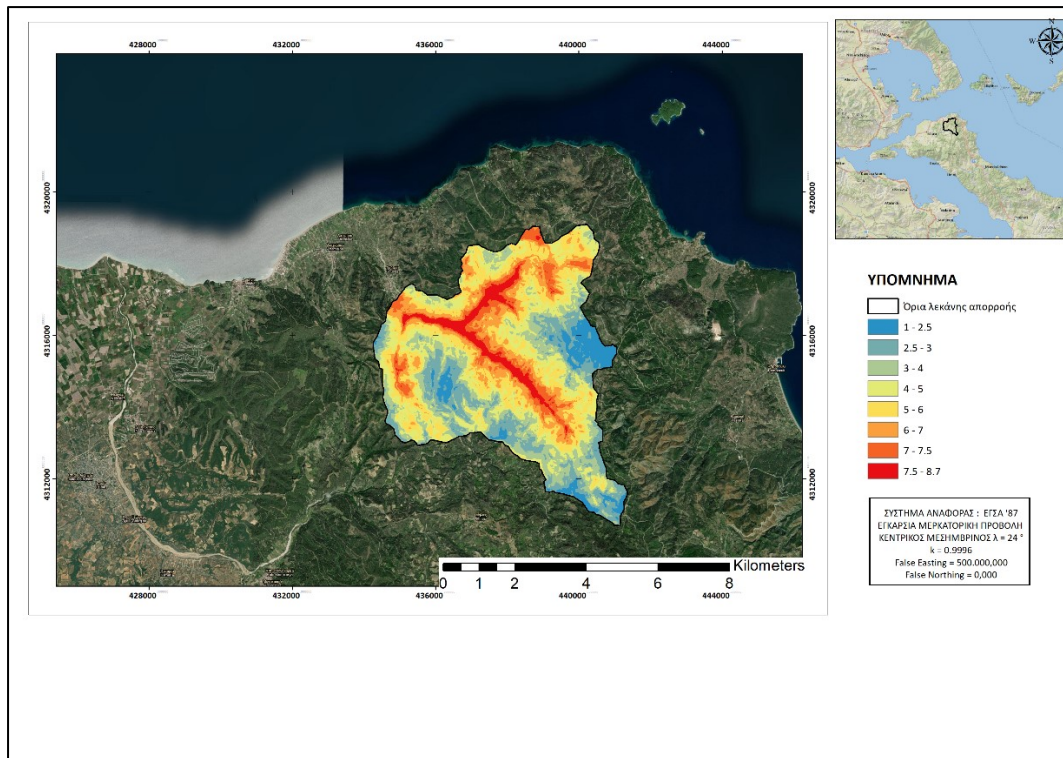
Βάρος	0.196	0.196	0.196	0.072	0.072	0.196	0.072
Κριτήριο	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K2	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K3	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K4	0.065	0.065	0.065	0.072	0.072	0.196	0.024
K5	0.065	0.065	0.065	0.072	0.072	0.196	0.024
K6	0.196	0.196	0.196	0.215	0.215	0.196	0.215
K7	0.065	0.065	0.065	0.072	0.072	0.196	0.024

Πίνακας 12 Υπολογισμός των δεικτών της μεθόδου AHP.

Κριτήριο	W.S.V.	Weight	Ratio	$\lambda_{\max}$
K1	1.430	0.196	7.288	7.511
K2	1.430	0.196	7.288	
K3	1.430	0.196	7.288	
K4	0.560	0.072	7.808	0.085
K5	0.560	0.072	7.808	
K6	1.430	0.196	7.288	CR
K7	0.560	0.072	7.808	0.058

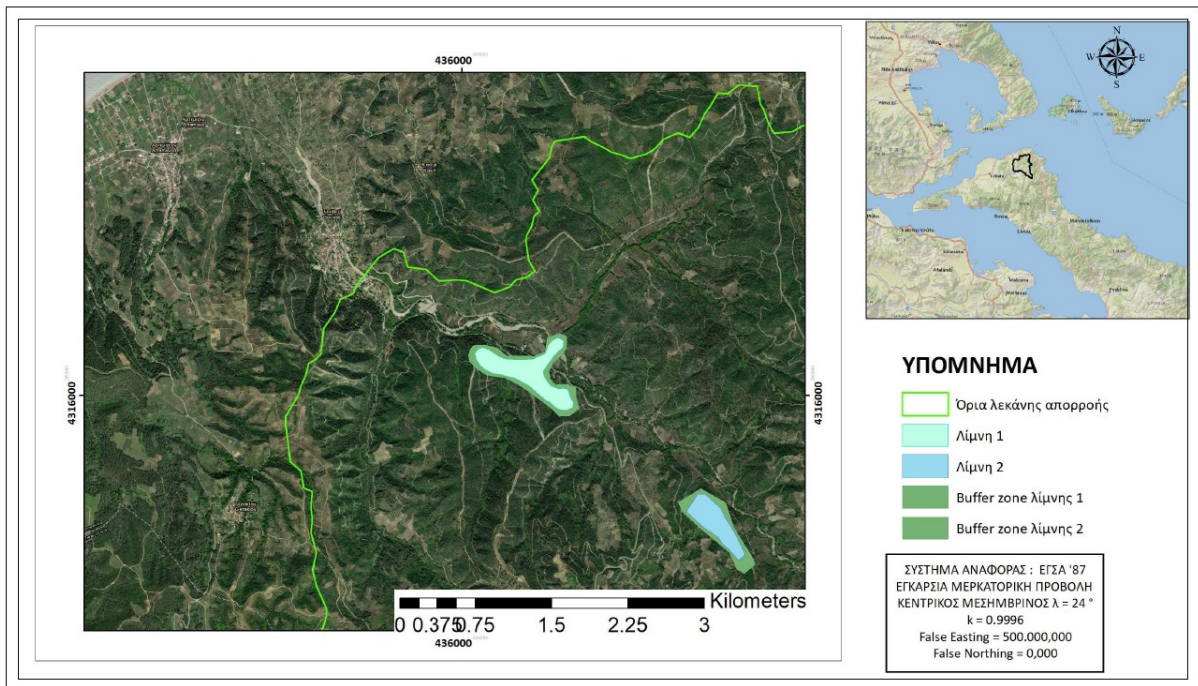
Πίνακας 13 Δείκτες της μεθόδου AHP

Από την εφαρμογή των κριτηρίων και των βαρών τους με την μέθοδο AHP (Analytical Hierarchy Process), προέκυψε στο GIS ο χάρτης με τις επιτρεπόμενες θέσεις επεμβάσεων για λύσεις βασισμένες στη φύση στην Λεκάνη απορροής του Αρτεμισίου.



Χάρτης 7 Χάρτης Καταλληλότητας για τη δημιουργία NBS

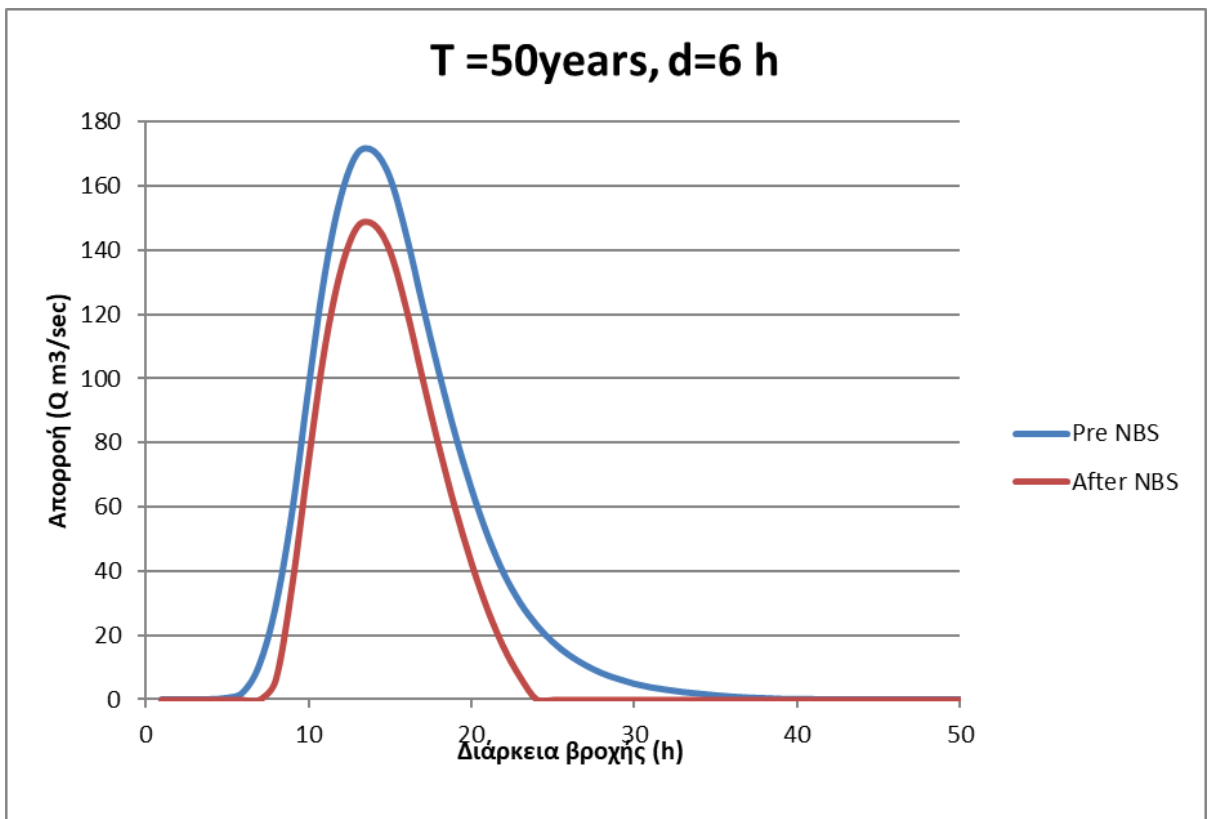
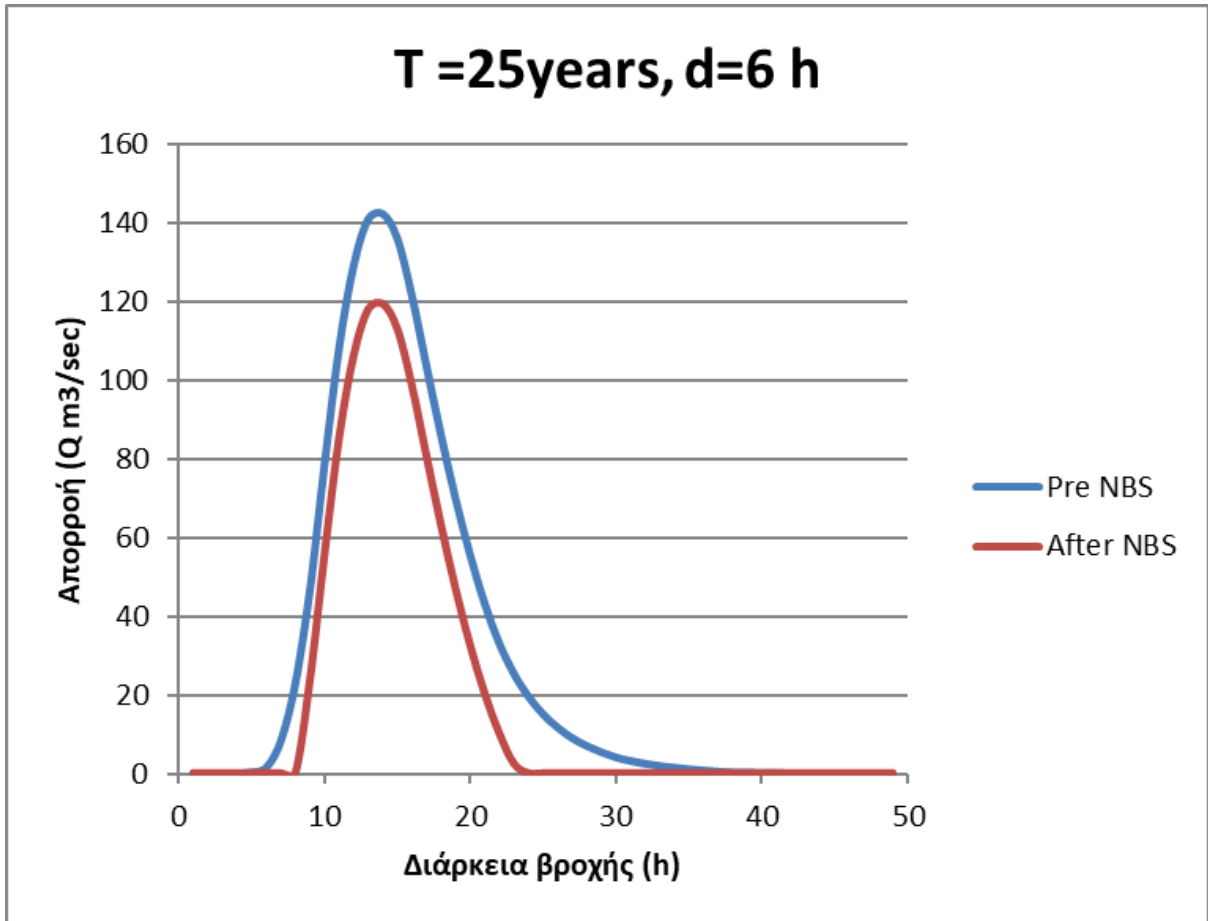
Όπως ήταν αναμενόμενο οι περιοχές με την υψηλότερη καταλληλότητα για την δημιούργια λύσεων βασισμένων στη φύση βρίσκονται πάνω στις μισγάγκειες της περιοχής μελέτης. Βάση του χάρτη 5 επιλέγεται η δημιουργία δύο πλημμυρικών λιμνών και των δασικών ρυθμιστικών ζώνων τους, κατά μήκος της κύριας μισγάγκειας της λεκάνης απορροής του Αρτεμισίου με βάθος  $d = 4$  μ έκαστη, όπως φαίνεται στον παρακάτω χάρτη.



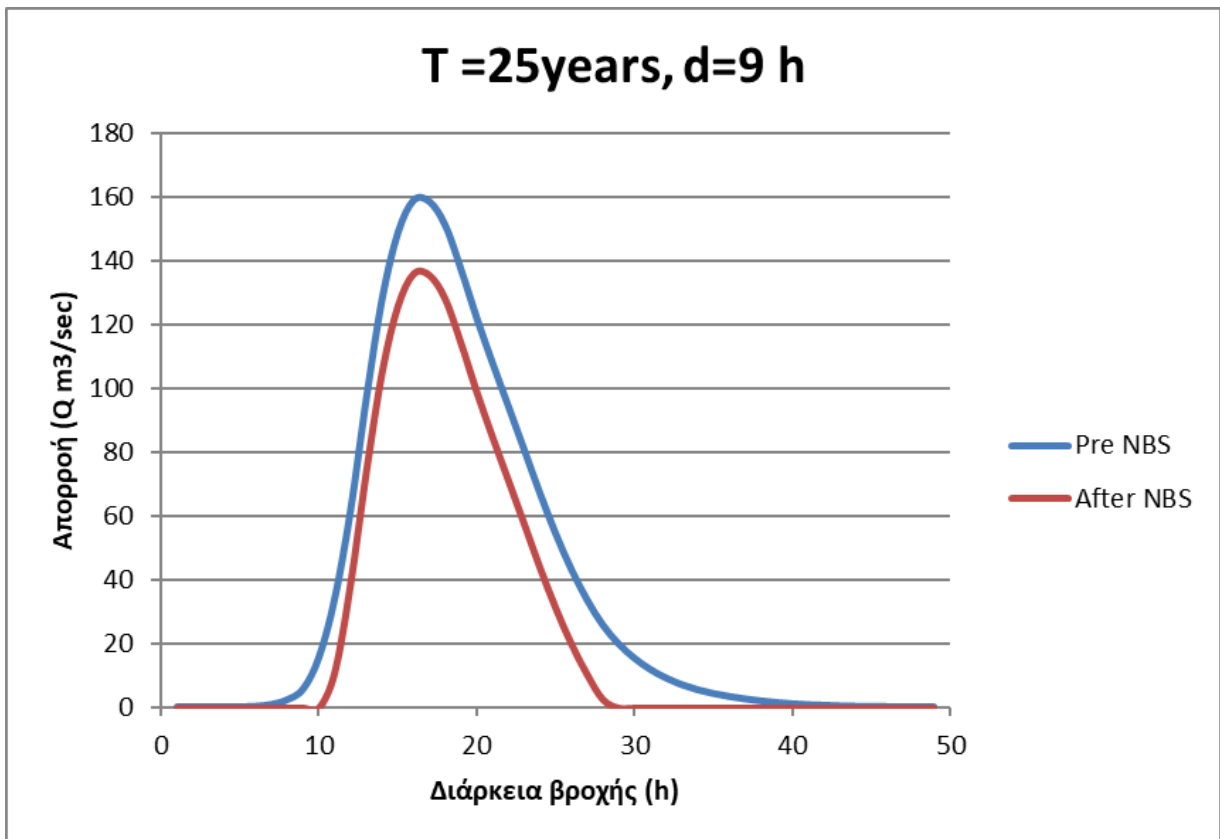
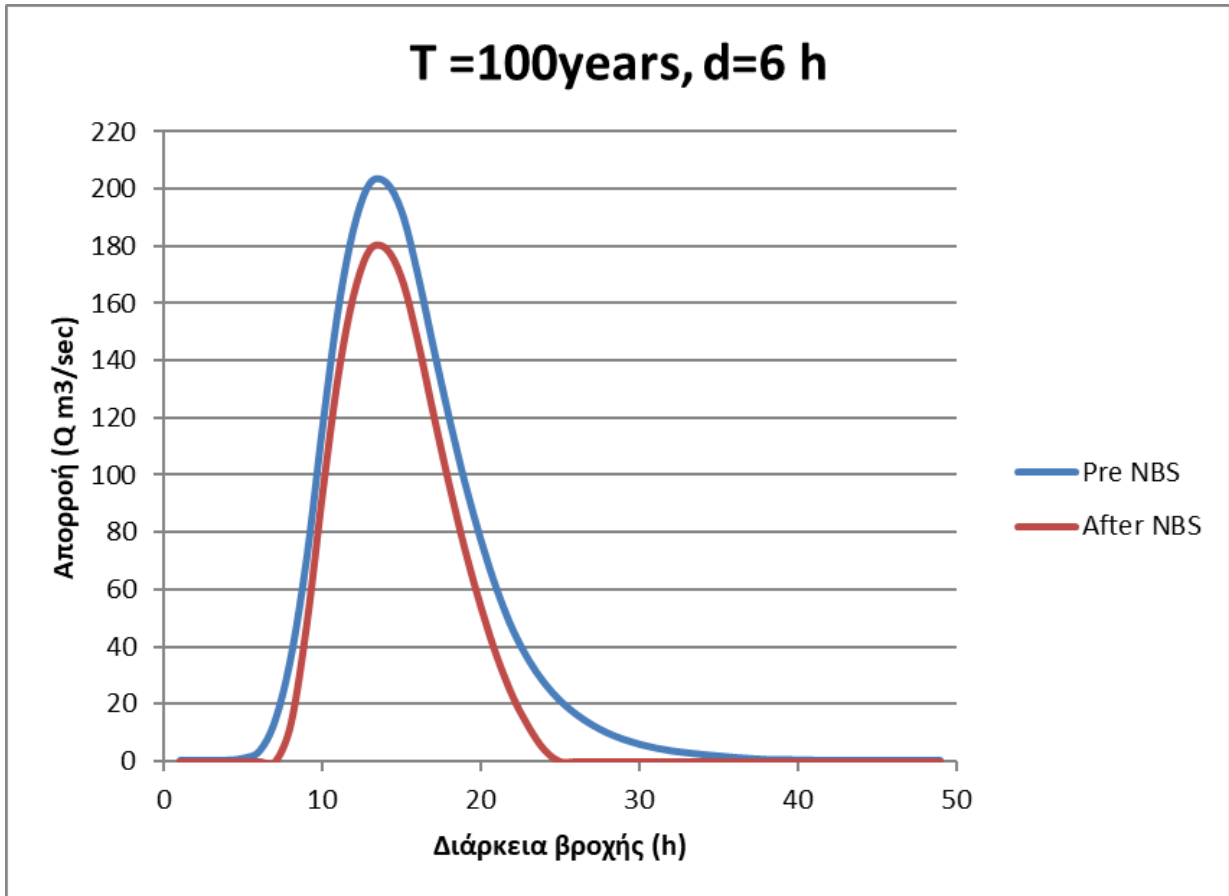
Λίμνη 1	Λίμνη 2
Όγκος V = 5.05 hm <sup>3</sup>	Όγκος V = 3.23 hm <sup>3</sup>
Βάθος d = 4.00 m	Βάθος d = 4.00 m

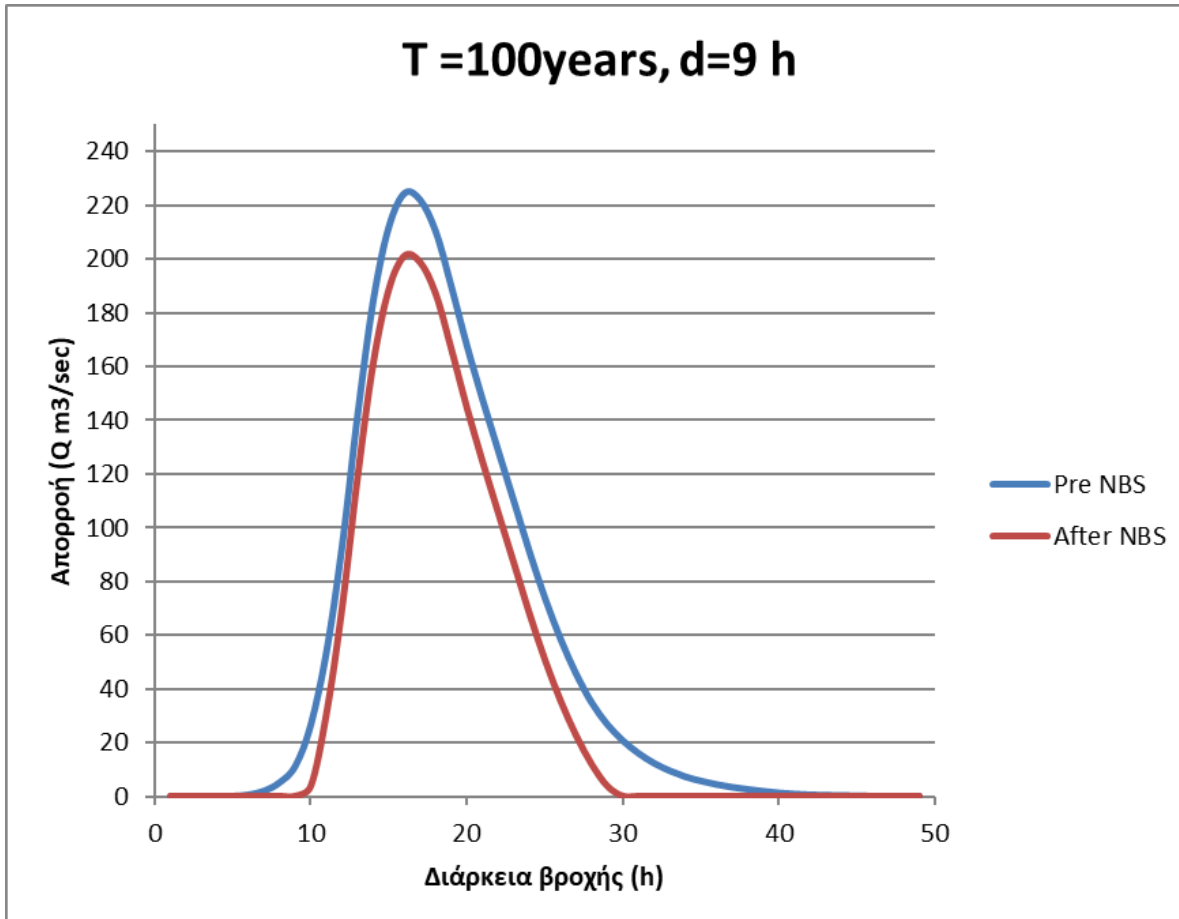
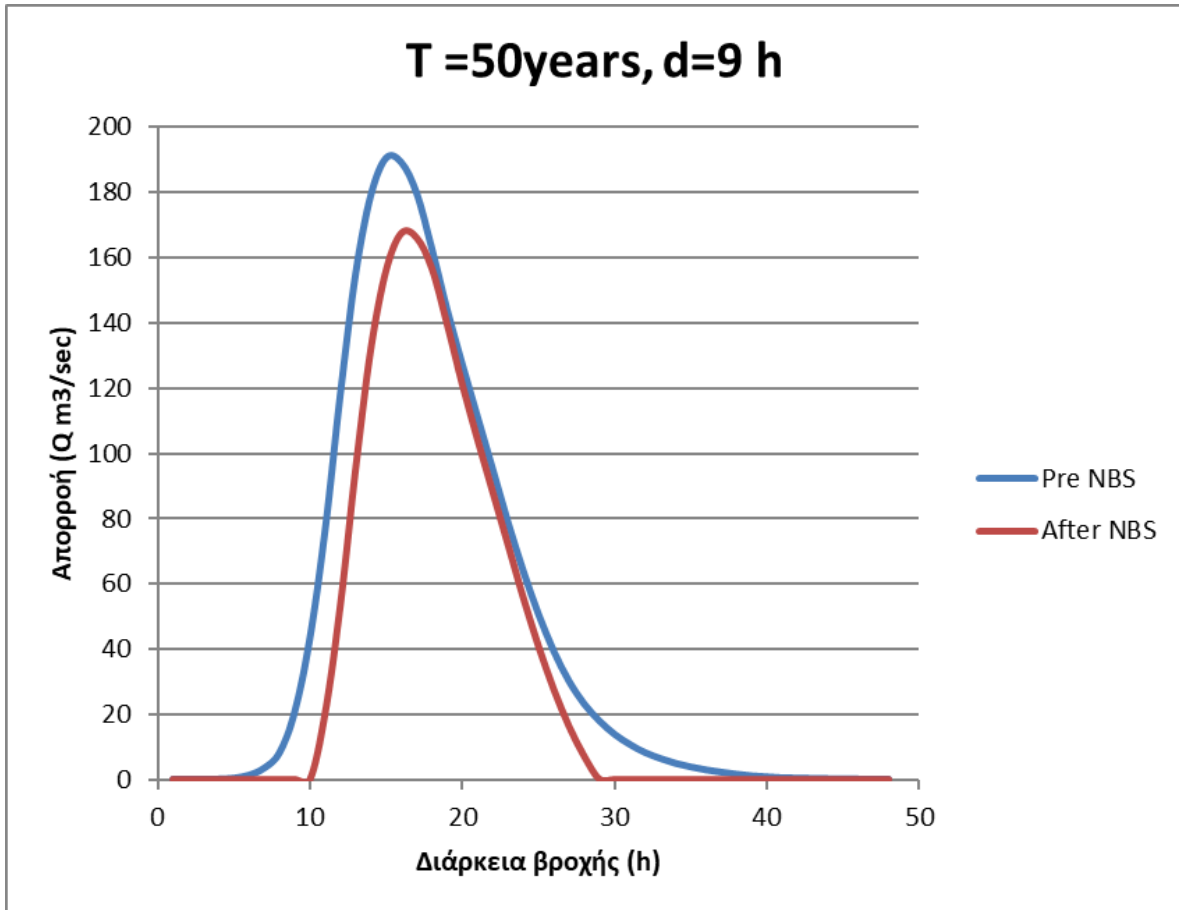
Χάρτης 8 Χωροθέτηση των τεχνητών λιμνών

Με τα δεδομένα του όγκου των δύο λιμνών εκπονήθηκε ξανά η υδρολογική επίλυση της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης και υπολογίστηκαν οι απορροές του δικτύου μαζί με την κατακράτηση του όγκου νερού που κάνουν οι λίμνες στην περιοχή του Αρτεμίσιου, για επεισόδια βροχής d = 6h για περιόδους επαναφοράς T = 25 γ, T = 50 γ και T = 100 γ και για επεισόδιο βροχής d = 9h για περιόδους επαναφοράς T = 25 γ, T = 50 γ και T = 100 γ. Παρακάτω βρίσκονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.



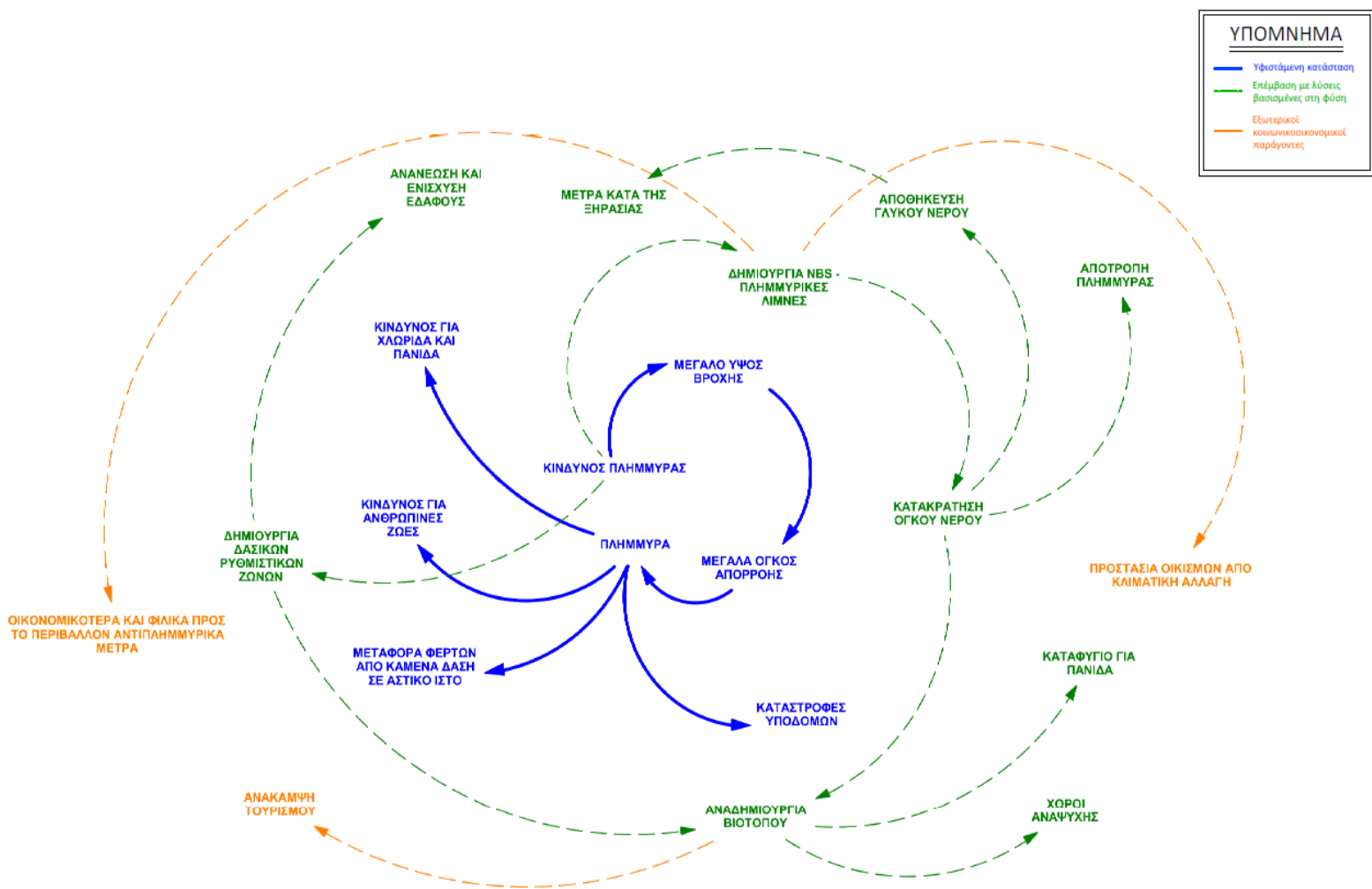






#### 4. Εφαρμογή System Dynamics στο Αρτεμίσιο Β. Εύβοιας

Το μοντέλο δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Vensim για την δημιουργία Causal Loop διαγραμμάτων, τα οποία είναι πολύ χρήσιμα για τη σύλληψη και επικοινωνία των δομών τους. Τα διαγράμματα αυτά ονομάζονται έτσι επειδή κάθε σύνδεσμος έχει μια αιτιακή ερμηνεία. Ένα βέλος που πηγαίνει από το Α στο Β υποδεικνύει ότι το Α προκαλεί το Β. Η δημιουργία διαγραμμάτων αιτιώδους βρόχου είναι πολύ χρήσιμη ακόμη και όταν δεν δημιουργείται μοντέλο προσομοίωσης. Επιπλέον, επιτρέπει το εύκολο και ευρηματικό καθορισμό των συνθηκών εισόδου για την προσομοίωση, υποστηρίζοντας επίσης την πραγματικού χρόνου οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και των αλλαγών που προκαλούνται από τις μεταβολές στην κατάσταση των μεταβλητών εισόδου. Δεύτερον, υποστηρίζει μια συγκριτική ανάλυση σεναρίων και περιλαμβάνει αρκετά εργαλεία για την ανάλυση του μοντέλου (π.χ. ανάλυση ευαισθησίας). Δημιουργήθηκε επομένως, το Casual



Σχήμα 2 Causal Loop Diagram για την εφαρμογή NBS στο Αρτεμίσιο της Βόρειας Εύβοιας

Loop diagram στο οποίο γίνεται αισθητή η παρέμβαση με λύσεις βασισμένες στη φύση στην υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής μελέτης, καθώς και οι επιπτώσεις τους.

Το Causal Loop διάγραμμα είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της υφιστάμενης κατάστασης και της εφαρμογής NBS στην περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, αποτυπώνοντας την γεωμορφολογία του Αρτεμισίου, το ιστορικών πλημμυρών, και τις καταγεγραμμένες καταστροφές που αυτές έχουν επιφέρει στην περιοχή, τόσο σε υλικά αγαθά, όσο και σε ανθρώπινες ζωές, εισάγουμε μέσα στο σύστημα αυτό την προτεινόμενη εφαρμογή NBS, δηλαδή τις δύο πλημμυρικές λίμνες και τις ρυθμιστικές τους ζώνες. Με τις δύο επιλύσεις που έχουν προηγηθεί στο υδρογραφικό δίκτυο παρατηρείται η σημαντική μείωση των εκροών της λεκάνης απορροής προς το Αρτεμίσιο. Το νερό αυτό κατακρατείται από τις πλημμυρικές λίμνες και από τις δασικές ρυθμιστικές τους ζώνες, οι οποίες μειώνουν την ταχύτητα του νερού και αποτρέπουν τα πλημμυρικά φαινόμενα. Επομένως, τα NBS που επιλέχθηκαν, βάση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε με επιτυχία αποτρέπουν την πλημμύρα μετά την ύπαρξη πυρκαγιάς, και δημιουργούν δύο φυσικές δεξαμενές αποθήκευσης νερού, οι οποίες κατά την περίοδο ξηρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατάντι οικισμούς για ύδρευση και για άρδευση, καθώς επίσης μπορούν να διατηρήσουν την πανίδα της περιοχής.

Οι ενέργειες αυτές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομία και στην ποιότητα ζωής των κατοίκων της Βόρειας Εύβοιας. Με την αναβάθμιση του περιβάλλοντος από ένα καμένο και άγονο δάσος σε έναν πλούσιο βιότοπο ανανεώνεται και ενισχύεται το κορεσμένο έδαφος και εμπλουτίζεται φυσικά με ποσότητες άνθρακα. Μεγάλος αντίκτυπος υπάρχει επίσης και στην ποιότητα ζωής των κατοίκων καθώς οι λίμνες με τις ρυθμιστικές τους ζώνες θα αποτελούν ένα επιπλέον χώρο αναψυχής και αξιοθέατο για τους τουρίστες της περιοχής. Ένας αρκετά σημαντικός παράγοντας είναι επίσης και η οικονομική πλευρά του έργου αυτού. Σε αντίθεση με ένα έργο υποδομής δημιουργίας φράγματος η δημιουργία πλημμυρικών λιμνών είναι αρκετά πιο οικονομική τόσο στην δημιουργία τους, όσο και στην συντήρησή τους, καθώς επίσης και πολύ πιο φιλικό προς το περιβάλλον, εφόσον το τελευταίο αναδημιουργείται με τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία του, με αποτέλεσμα μετά το πέρασμα ορισμένων ετών να είναι ένας πλήρως φυσικός βιότοπος αφομοιωμένος στα φυσικά χαρακτηριστικά της δασικής έκτασης.

## 5. Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν δύο μοντέλα βροχής απορροής ένα με τα δεδομένα βροχόπτωσης για την υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής μελέτης και ένα με την επέμβαση των λύσεων βασισμένων στη φύση για περιόδους επαναφοράς 25, 50 και 100 ετών και για διάρκεια επεισοδίου βροχής 6 και 9 ωρών. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων της έρευνας συνοψίζονται παρακάτω:

- Με την εφαρμογή των NBS στην περιοχή μελέτης παρατηρείται σημαντική μείωση του όγκου απορροής προς την περιοχή του Αρτεμισίου έως και  $64,7 \text{ m}^3$ , συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση την ίδια χρονική στιγμή. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς μεγάλος όγκος νερού αποθηκεύεται στις λίμνες πρώτου αυτές υπερχειλίσουν. Οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει αυτή η παρέμβαση όχι μόνο στην περιοχή μελέτης, αλλά και στις υπόλοιπες κατάντι περιοχές είναι σημαντική, καθώς τα επεισόδια των πλημμυρών μετά τις πυρκαγιές μπορούν να μειωθούν σημαντικά και η μεταφορά φερτών υλικών με αποτέλεσμα την αλλαγή της γεωμορφολογίας της περιοχής θα αποτραπεί. Οι δασικές ρυθμιστικές ζώνες παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτό καθώς θα συγκρατούν τόσο τα φερτά υλικά αλλά, παράλληλα όμως θα μετατρέψουν το υπέδαφος σε ένα πιο στερεό υπόβαθρο για τα επιφανειακά στρώματα, στο οποίο θα συγκρατούνται ποσότητες νερού και θα αποτελούν τη βάση για την αναδημιουργία των καμένων δασικών εκτάσεων.
- Η δημιουργία πλημμυρικής λίμνης είναι μια κοστοβόρα ενέργεια μαζί με τη δημιουργία δασικών ρυθμιστικών ζωνών, όχι όμως πιο κοστοβόρα από τη κατασκευή μεγάλου φράγματος από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως επίσης και το κόστος συντήρησης τους είναι χαμηλότερο.
- Δημιουργία φυσικού περιβάλλοντος, το οποίο βοηθά τόσο στην αναδημιουργία της χλωρίδας και την προστασία της πανίδας, όσο και στην αναβάθμιση της περιοχής, προσφέροντας χώρους αναψυχής για τους κατοίκους της Βόρειας Εύβοιας. Η ενέργεια αυτή συμβάλλει και στην ανάκαμψη του τουρισμού, προσφέροντας αξιοθέατα για τους τουρίστες.

- Στη μελέτη με περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  years και διάρκεια βροχής  $d = 9$  hours παρατηρείται καθυστέρηση της πλημμύρας έως και μία ώρα, κάτι πολύ σημαντικό για την πρόληψη των κατάντι περιοχών και των κατοίκων τους. Η σημαντική αυτή καθυστέρηση με την χρήση και άλλων συστημάτων NBS μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη.
- Σε όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν έχει γίνει κατακράτηση όγκου νερού από τις λίμνες. Πιο συγκεκριμένα κατά μήκος της μεγάλης μισγάγκειας, όπου έχουν τοποθετηθεί οι δυο λίμνες γίνεται σταδιακά κατακράτηση όγκου νερού και παράλληλα αποφορτίζεται η περιοχή από τη μία λίμνη στην άλλη. Αυτό μειώνει πολύ τις ταχύτητες ροής του νερού και αποτρέπει τις έντονες πλημμύρες, οι οποίες παρασέρνουν μεγάλους όγκους φερτών υλικών.
- Παρακολουθώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις ανθρώπινες επεμβάσεις στη φύση, διακρίνουμε ότι όσο αναφορά τη γεωμορφολογία των περιοχών για τα υδρολογικά δίκτυα ο άνθρωπος δεν πρέπει να κάνει αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων που διατίθενται από την φύση, όπως είναι το μπάζωμα ρεμάτων, η μετατροπή πλημμυρικών πεδιάδων σε οικισμούς, η στένωση των ποταμών, κ.ο.κ. Τα αποτελέσματα των πράξεων αυτών έχουν την εκτόνωση του νερού με άλλους τρόπους, πέρα της φυσικής του ροής, οι οποίοι δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί από τους ανθρώπους, παρά μόνο σε ακραία φαινόμενα, στα οποία μετέπειτα απαιτείται μελέτη τους.
- Οι λύσεις βασισμένες στη φύση στηρίζονται στους μηχανισμούς της φύσης για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως είναι η κλιματική αλλαγή, ως η βέλτιστη λύση τόσο για το περιβάλλον, όσο και για τον άνθρωπο. Οι λύσεις αυτές έχουν έρθει ως αποτέλεσμα των δοκιμών και χρόνιων παρατηρήσεων των έργων υποδομής. Γίνεται αντιληπτό πως η σύγκριση των NBS με τα έργα υποδομής αποτελεί στοιχείο μελλοντικών ερευνών, καθώς δεν έχει περάσει αρκετός χρόνος για να μελετηθεί η πορεία και η διάρκεια ζωής τους.

## 6. Μελλοντική έρευνα

Ένα μεγάλο θέμα συζήτησης αποτελεί η μελλοντική έρευνα που μπορεί να μπορούσε να φτάσει την αποκατάσταση της περιοχής της Βόρειας Εύβοιας σε ακόμα καλύτερο επίπεδο. Συχνή παρέμβαση που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα για να αντιμετωπίσει τις πλημμύρες και θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στην λεκάνη απορροής του Αρτεμισίου είναι η δημιουργία μικρών πέτρινων φραγμάτων μέγιστου ύψους 0.5 μ τα οποία επιβραδύνουν τη ροή του νερού αλλά ταυτόχρονα δημιουργούν και ένα είδος μικρών ταμιευτήρων, οι οποίοι συγκρατούν μικρούς όγκους νερού αλλά σημαντικούς για να καθυστερήσουν μια πλημμύρα καθώς και την ορμή της.

Ένα επίσης μεγάλο πρόβλημα στην περιοχή της Εύβοιας είναι τα μικρά αποθέματα άνθρακα που υπάρχουν στο έδαφος από τις καμένες δασικές εκτάσεις. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε καμένες δασικές εκτάσεις έχουν δείξει ότι η καλύτερη λύση για την ανάκαμψη του ευφορίας του εδάφους και κατά συνέπεια και του βιότοπου είναι η μετατροπή των δασικών εκτάσεων σε γεωργικές εκτάσεις, η λύση αυτή όμως έχει ένα μεγάλο μειονέκτημα όσο αναφορά το απόθεμα του άνθρακα, το οποίο είναι μειωμένο από την καύση οργανικού υλικού. Για να μπορέσει το έδαφος να ευδοκιμήσει σαν αγροτική έκταση όσο αναφορά την περιεκτικότητά του σε άνθρακα, είτε οργανικό, είτε ανόργανο απαιτείται μεγάλη χρονική περίοδος εναλλαγής αγροτικών προϊόντων, ούτως ώστε αυτά να ενισχύσουν το έδαφος με το οργανικό τους φορτίο. Το εμπόδιο αυτό δημιούργησε την ανάγκη για μια πιο αποτελεσματική λύση, την μετατροπή των δασικών εκτάσεων σε αγροτοδασοκομία. Η εφαρμογή αυτή θα μπορούσε να ευδοκιμήσει στην περιοχή μελέτης καθώς πέρα από την προστασία που θα δώσει και την ανάκαμψη του δάσους, θα υπάρχει παράλληλα και προστασία τους από τους αγρότες, ούτως ώστε να αποτραπεί το ενδεχόμενο νέας επεισοδίου πυρκαγιάς.

Εν κατακλείδι, καθώς οι μελέτες των λύσεων βασισμένων στη φύση είναι ακόμα σε πρώιμη φάση, καθώς οι ερευνητές στην πλειοψηφία τους μελετάνε μεθόδους ανάκαμψης στον μακρόκοσμο με ποιο «μηχανικές» μεθόδους, υπάρχει μεγάλο περιθώριο στην επιστήμη των NBS για εύρεση λύσεων σε κλίμακα «μικρόκοσμου».



## 7. Βιβλιογραφία

### Ηλεκτρονική

- [www.insurancedaily.gr](http://www.insurancedaily.gr) , Αρθρογράφος: Βίκυ Γερασίμου, Ημερομηνία: 20/11/2023, τίτλος άρθρου: « 6 μεγάλες φυσικές καταστροφές στην Ελλάδα & οι αποζημιώσεις τους»[www.dasarxeio.com](http://www.dasarxeio.com)
- [www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu)
- [www.cairngormsconnect.org.uk](http://www.cairngormsconnect.org.uk)
- <https://casestudies.naturebasedsolutionsinitiative.org/case-search/>
- [www.interreg-danube.eu](http://www.interreg-danube.eu)
- <https://land.copernicus.eu>
- WWF, 2020. What are nature-based solutions and how can they help us address the climate crisis. <https://www.worldwildlife.org/stories/what-are-nature-based-solutions-and-how-can-they-help-us-address-the-climate-crisis>
- IUCN. CEM work on nature-based solutions. <https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions>
- IUCN. IUCN Global Standard for NbS. <https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/resources/iucn-global-standard-nbs>
- IUCN. Nature-based Solutions. <https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/about>
- IUCN. WISE – UP to Climate project. <http://www.iucn.org/theme/water/our-work/wise-climate>
- AFD. The ecological restoration of Wolong lake, a major contribution to preserving biodiversity in China. <https://www.afd.fr/en/carte-des-projets/ecological-restoration-wolong-lake-major-contribution-preserving-biodiversity-china?origin=/fr/recherche?view=list>
- Oppla, 2022. Wolong Lake biodiversity conservation and wetland protection project Programme Lot2. <https://oppla.eu/casestudy/21243>
- Wolong Lake restoration Masterplan. <http://wolonglakerestoration.com/en/>

- The Nature Conservancy. North America Priority Landscapes. <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/united-states>
- Beaver Dam Analogs. <https://www.anabranchnsolutions.com/beaver-dam-analogs.html>
- RECONNECT. Portofino Natural Park, Italy. <http://www.reconnect.eu/network-of-cases/portofino-natural-park/>
- Nature-Based Solutions in the Portofino Natural Park. <https://reconnectproject.medium.com/preserving-natural-and-cultural-heritage-nbs-against-flash-floods-in-portofino-italy-89f47ac0b888>
- VENSIM. <https://vensim.com/>
- Πέτρινο φράγμα Καβουροπόταμου στην Πάρου. <https://www.deya-parou.gr/%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%86%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%80%CF%8C%CF%84%CE%B1%CE%BC%CE%BF-%CF%84%CE%B7/>
- Πέτρινο φράγμα Καβουροπόταμου στην Πάρου. <https://el.boulouki.org/micro-dams>

### **Ελληνόγλωσση:**

- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Απρίλιος 2015, «ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ (GR13)», ΣΤΑΔΙΟ 1 ΦΑΣΗ 1 – ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 2 ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ – ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, ΥΠΕΝ, ΕΣΠΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2017, « 1Η ΑΝΑΘΕΩΡΙΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (EL07), Ενδιάμεση Φάση 1, Παραδοτέο Π13: Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών»
- Ευθύμιος Καρύμπαλης, «Η επίδραση της τεκτονικής στα ποτάμια συστήματα της Βόρειας Εύβοιας, Στερεά Ελλάδα»
- Εφημερίδα «Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ», Ημερομηνία έκδοσης: 08/09/2023: Θέμα: Κοινωνικά, τίτλος άρθρου: «Οι πιο φονικές πλημμύρες στην Ελλάδα»
- Λυμπερόπουλος Σ., Επίδραση Δασικών Πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής: Η περίπτωση του ρέματος Γιαννούλα στην Πάρνηθα, διπλωματική εργασία. Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2008.

- Ινστιτούτο Μεσογειακών & Δασικών Οικοσυστημάτων, Γ. Μπαλουτσος, Α. Οικονόμου και Κ. Καούκης, «Ο κίνδυνος πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά. Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων»
- Ιωάννης Κούκος, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών, Τμήμα Λογιστικής & Χρηματοοικονομικής, Π.Μ.Σ. «Δημόσια Οικονομική & Πολιτική», Διαχείριση κρίσεων σε τοπικό επίπεδο και η σημασία ένταξης μετεωρολογικών δεδομένων και προϊόντων στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης Α΄ Βαθμού. Η περίπτωση του Δήμου Ελευσίνας/Μαγούλας, 2023
- Κούκης Γεώργιος, Σαμπατακάκης Νικόλαος, 2η Έκδοση, «Τεχνική Γεωλογία»
- Μπαλτάς Ε., ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π., Διαλέξεις μαθήματος « Πλημμύρες και αντιπλημμυρικά έργα»
- Μπουρνάς Α., ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π., Διαλέξεις μαθήματος « Πλημμύρες και αντιπλημμυρικά έργα»
- Σεϊλόπουλος Δ., Επίδραση δασικών πυρκαγιών στις εδαφικές ιδιότητες, Θεσσαλονίκη, 1991.
- Ταμπάκης Σ. - Καρανικόλα Π., 2015 « Δασικές πυρκαγιές και κοινωνία»

### **Ξενόγλωση:**

- Bournas, A., Baltas, E., 2020. Application of a rainscanner system for quantitative precipitation estimates in the region of Attica, in: Sixth International Symposium on Green Chemistry, Sustainable Development and Circular Economy Conference on Environmental Science and Technology, Thessaloniki, Greece. p.p. 8.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). "Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges Switzerland." p.p. 1-30
- Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E.I., Spyrou, N.I., Gogou, M.E., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, N.K., Antoniadis, Z., Melaki, M., Georgakopoulos, A., Tsaprouni, K., Kalogiros, J., Lekkas, E., 2019. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. International Journal of Disaster Risk Reduction 33, p.p. 290– 309.
- Iuliana Vijulie, Mihaela Preda, Ana Irina Lequeux-Dinca, Roxana Cuculici ,Elena Matei, Alina Mareci, Gabriela Manea and Anca Tudoricu, 2019. "Economic Productivity vs. Ecological Protection in Danube Floodplain. Case Study: Danube's Sector between Olt and Vedea" p.p. 1-20

- Michael J. Radzicki and Robert A. Taylor (2008), U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics "Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics" p.p. 1350-1355
- MIT System Dynamics in Education Project (SDEP)
- Moradkhani, H. and Sorooshian, S., 2008. "General review of rainfall-runoff modeling. Model calibration, data assimilation, and uncertainty analysis." Springer Berlin Heidelberg p.p. 1-24
- Nature-based Solutions: State of the Art in EU-funded Projects' (Wild et al. (Eds.))
- Pagano, A., Pluchinotta, I., Pengal, P., Cokan, B. and Giordano, R., 2019. "Engaging stakeholders in the assessment of NBS effectiveness in flood risk reduction: A participatory System Dynamics Model for benefits and co-benefits evaluation". Science of the Total Environment, 690, p.p.543-555.
- Papathanasiou, C., Makropoulos, C. and Mimikou, M., (2015a), Hydrological modelling for flood forecasting: calibrating the post-fire initial conditions, Journal of Hydrology, Vol. 529, Part 3, pp. 1838-1850, doi: 10.1016/j.hydrol.2015.07.038.
- Papathanasiou Chrysoula, 2018, "Development of a methodology for the estimation of the dynamic evolution of the flood-related hydrological behavior of periurban catchments under post-fire conditions"
- Papathanasiou, C., Makropoulos, C. and Mimikou, M., (2013b), An innovative approach to Floods and Fire Risk Assessment and Management: the FLIRE Project, Proc. 8th International Conference of EWRA "Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context", 26th-29th June 2013, Porto, Portugal
- Petra Dankers, Leading Professional Nature-based Solutions at Royal Haskoning DHV. "Demystifying the Benefits of Nature-Based Solutions for Climate Resilience"
- Rui Serôdio Simões , Paulo Flores Ribeiro and José Lima Santos, "Estimating the Trade-Offs between Wildfires and Carbon Stocks across Landscape Types to Inform Nature-Based Solutions in Mediterranean Regions", Forest Research Centre, Associate Laboratory TERRA, School of Agriculture, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal; pfribeiro@isa.ulisboa.pt (P.F.R.); jlsantos@isa.ulisboa.pt (J.L.S.) \* Correspondence: imobiente@sapo.pt,, p.p. 18
- Sahani, J., Kumar, P., Debele, S., Spyrou, C., Loupis, M., Aragão, L., Porcù, F., Rahman Shah, M.A., Di Sabatino, S. "Hydro-meteorological risk assessment methods and management by nature-based solutions. Sci. Total Environ." 2019, 696, 133936. p.p. 1-20
- Science for Environment Policy, The Solution is in nature. Future Brief 24. Brief Produced For the European Commission DG Environment, Science Communication Unit, UWE Bristol, Bristol, 2021

- Spyrou, C., Loupis, M., Charizopoulos, N., Apostolidou, I., Mentzafou, A., Varlas, G., Papadopoulos, A., Dimitriou, E., Panga, D.; Gkeka, L.; et al. (2021). "Evaluating Nature-Based Solution for Flood Reduction in Spercheios River Basin under Current and Future Climate Conditions. Sustainability " p.p. 1 -20
- Springer, E.P. and Hawkins, R.H., (2005), Curve number and peakflow responses following the Cerro Grande Fire on a small watershed. In: Moglen, G.E. (Eds.), Proceedings: 2005 Watershed Management Conference- Managing Watersheds for Human and Natural Impacts: Engineering, Ecological, and Economic Challenges, 19th – 22nd July 2005, Williamsburg, VA. Alexandria, VA: American Society of Civil Engineers, p.p. 459-470.
- The nature Conservancy, ICLEI & ecologic, 2019, Investing in Nature for European Water Security
- United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1992, Αρ.1, παρ.3
- Van Der Knijff J.M., Younis J. and De Roo A.P.J., (2010), LISFLOOD: a GIS- based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 24, No. 2, pp. 189-212.
- Virginia Rosa Coletta, Alessandro Pagano, Irene Pluchinotta, Umberto Fratino, Albert Scricciu, Florentina Nanu, Raffaele Giordano, " Causal Loop Diagrams for supporting Nature Based Solutions participatory design and performance assessment" p.p 1 -10
- Willgoose, G.R., (2011), Modelling bushfire impact on hydrology: The implications of the fire modelling approach on the climate change impact, 19<sup>th</sup> International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia, 12-16 December 2011.
- Wondzell, S.M. and King, J.G., (2003), Postfire erosional processes in the Pacific Northwest and Rocky Mountain regions, Forest Ecology and Management, Vol. 178, pp. 75-87.
- WWF GREECE, Addressing Riverine Flooding With Nature-Based Solutions in the Thessaly Region, Greece. Pre-Feasibility Study
- Zhou Y., Zhang Y., Vaze J., Lane P. and Xu S., (2013), Impact of bushfire and climate variability on streamflow from forested catchments in southeast Australia, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, Vol. 10, p.p. 4397-4437. doi:10.5194/hessd-10-4397-2013.