



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Βέλτιστη χωροθέτηση ταμιευτήρων με
χρήση τεχνικών GIS στη Νήσο Κέρκυρα**

Σταυροπούλου Ιωάννα
CV 16431

Επιβλέπων: Ευάγγελος Α. Μπαλτάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου. Θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων Καθηγητή της σχολής Πολιτικών μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα που με ενδιέφερε ιδιαίτερος καθώς και τη βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές και την αμέριστη προσφορά του σε όλα τα στάδια της εργασίας, αλλά και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε στον τομέα των υδατικών πόρων κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα της σχολής Πολιτικών μηχανικών του Ε.Μ.Π. Αιμιλία-Παναγιώτα Θεοχάρη, για την στήριξη, τις συμβουλές και την πολύτιμη βοήθειά της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω επίσης στις ευχαριστίες μου τον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη και τον κ. Βασίλειο Τσιχριντζή, οι οποίοι αποτελούν τα μέλη της τριμελούς επιτροπής και από τους οποίους έχω αποκτήσει χρήσιμες γνώσεις κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα ακόμη να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που με εφοδίασε με τα απαραίτητα μέσα για την υλοποίηση των στόχων μου και μου δίδαξε την αξία της επιμονής για την κατάκτησή τους. Τέλος στις αδερφές, τον Αλέξανδρο, τη Χριστίνα, το Δημήτρη και το Γιώργο που ήταν δίπλα μου κάθε στιγμή, με στήριζαν διαρκώς και μου υπενθύμιζαν να έχω πάντα πίστη στον εαυτό μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μια μέθοδο βασισμένη στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), συνδυάζοντάς τα με το μεθοδολογικό υπόβαθρο της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, για τη χωροθέτηση φραγμάτων στα κύρια υδατορέματα της Νήσου Κέρκυρας. Εξετάζονται δύο σενάρια, το πρώτο είχε στόχο την εύρεση βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης μικρού υδροηλεκτρικού φράγματος και το δεύτερο φράγματος πολλαπλού σκοπού. Για την υλοποίηση της εργασίας εξετάζεται το νησί ως προς τα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου μέσω του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, τις κλίσεις του εδάφους, τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, τις χρήσεις γης και άλλων στοιχείων που είναι απαραίτητα για τη χωροθέτηση. Έχοντας εξετάσει τα παραπάνω στοιχεία, γίνεται λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) για τις βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης των φραγμάτων, εφαρμόζοντας τη μέθοδο σύγκρισης ανά ζεύγη «Analytical Hierarchical Process» (AHP). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την πολυκριτηριακή ανάλυση για τα δύο σενάρια, παρουσιάζονται σε περιβάλλον ArcGIS. Συγκεκριμένα ταξινομούνται οι προτεινόμενες θέσεις με βάση το βαθμό επίδοσής τους και από αυτές τελικά προτείνονται η/οι καταλληλότερη/ες, κατά περίπτωση. Στο πρώτο σενάριο επιπλέον, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας στα προσδιορισμένα ως «βέλτιστα» βάρη για δύο κριτήρια. Στην περιοχή εντοπίστηκαν βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης φραγμάτων και στα δύο σενάρια που ερευνήθηκαν. Στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου ο αριθμός προτιμότερων θέσεων σε σχέση με το πρώτο σενάριο είναι μεγαλύτερος, γεγονός που προκύπτει από τα διαφορετικά βάρη που τέθηκαν στις εξεταζόμενες μεταβλητές.

Λέξεις – κλειδιά: φράγματα, υδροηλεκτρική ενέργεια, πλημμύρες, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), Πολυκριτηριακή ανάλυση, Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Most floods climate change will significantly impact the hydrological regime, water availability and quality by increasing the frequency and severity of droughts, floods climate change will significantly impact the hydrological regime, water availability and quality by increasing the frequency and severity of droughts, floods. Human activities depend upon water. Its availability and storage are necessary for drinking purposes, irrigation, agriculture, and economic development. Globally, the increasing human population, construction activities, and climate change will significantly impact the hydrological regime, water availability, and quality by increasing the frequency and severity of droughts, floods, and rainfall variability.

Energy security is a critical factor in modern development. The economies face an energy trilemma: security, access, and sustainability. However, the intensive use of fossil fuels for electricity production has led to a multitude of environmental problems, such as global warming and environmental pollution, according to the assessment reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023). With the opening and recovery of the global economy after the Covid-19 pandemic in mid-2021 and the easing of travel restrictions, there was a sharp increase in demand for energy, which could not be met due to the limited supply and capacity of the systems. In addition to the increase in demand for energy, a problem has arisen in the supply of fossil fuels and security of supply in Europe after the invasion of Ukraine by Russia in late February 2022.

One solution to these problems is to locate dams properly. Dams in rivers could control floods and provide hydropower energy for surrounding residential areas. The need for dam construction has been increasing in order to meet the existing drinking water supply, irrigation, and water resource productivity, and the outcome of this construction can have a significant social, environmental and economic impacts.

The European Directive 2000/60/EC on water is the main institutional tool for managing Water Resources in the countries of the European Union. Its aim is the long-term protection of all waters and ecosystems in the EU and the creation of a framework for sustainable management. Directive 2000/60/EC was incorporated into the Greek legal framework by Law 3199/2003 (Government Gazette A 280/9.12.2003). The

European Parliament and the Council issued Directive 2007/60/EC for the assessment and management of flood risks. This Directive complements the Water Framework Directive 2000/60/EC regarding flood risk management. It aims to "establish a framework for the assessment and management of flood risks, to reduce the negative consequences on human health, the environment, cultural heritage and economic activities linked to floods in the Community" (European Parliament, 2007). The Directive has been incorporated into Greek Law with the K.Y.A. H.P. 31822/1542/E103/2010 (Official Gazette B' 1108/21.07.2010).

Finally, Greek legislation includes a special framework for spatial planning and the development of Renewable Energy Sources (RES), including hydroelectricity. This framework is the Joint Ministerial Decision 49828/2008 and focuses on the selection of optimal locations for the construction of small Hydroelectric projects that will most efficiently exploit the water potential of the respective area (Government Gazette Sheet (F.E. K.) B 2464 /03.12.2008, Sheet No. 2464, 2008).

Dam site selection is one of the main challenges in water resources management. As can be concluded from the above, the site selection process for the installation of hydraulic projects related to energy production and alternative uses in an area is subject to a decision-making process involving a multitude of criteria.

For the purpose of this research, the use of GIS and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques is a possible way of making optimal decisions in selecting a suitable dam site for construction on the island of Corfu. Two scenarios are examined. The first objective is the siting of small hydroelectric dams, and the second refers to multi-purpose dams (flood protection, water supply and irrigation). The MCDM for the most suitable dam sites was used as a tool for the Analytical Hierarchical Process (AHP) pairwise comparison method developed by Saaty (1977). This research, therefore, suggested to , therefore, suggested the identification of various criteria for selecting a suitable dam site for construction to determine the degree of influence of each criterion and to determine suitable locations for the construction of dams across the entire region. to carry out the work, the area is examined in terms of a digital terrain model, the slopes of the ground, its geological and tectonic characteristics and other elements that are necessary for the location.

Study Area

Corfu is one of the northwestern islands of Greece; it belongs to the Region of the Ionian Islands and its capital is Corfu. Its area is 641 km², and according to the 2021 census, the population amounts to 101600 (ELSTAT, 2021); figure 1 is a map of the study area. The island's area is half occupied by mountainous heights, which divide it into three zones, the northern, central and southern Corfu. The total area of the island is distributed as follows:

- 65% lowland (422.40 km²)
- 35% semi-mountainous (218.60 km²)



Figure 1: Map of the study area.

The island of Corfu as a whole is classified in the Seismic Risk Zone II (zone of medium seismic risk), according to the distribution of the Greek Anti-Seismic Regulation - 2000 - (Amendment Official Gazette B' 1154/12-8-2003, Decision No. D17a/115/9 /FN275). The region of the Ionian Sea is characterized by intense seismic activity, expressed through numerous historical and recent earthquakes. Additionally, regarding environmental and wildlife protection, 16.20% of Corfu's area forms part of the Natura 2000 Network and established wildlife protection areas.

The distribution of land uses in the wider area, according to the data of the Corine Land Cover 2018 program, shows that the largest percentage of the island's area is covered by heterogeneous agricultural areas and more in detail by complex farming systems and by agricultural areas with significant natural vegetation at a rate of 40.22 %. Then follows the land coverage by permanent crops, mainly olive groves and, to a small extent, vineyards, with a total percentage of 29.07%. Throughout the island of Corfu, other uses such as urban buildings, industrial and commercial zones and communication networks, mines, waste disposal sites, constructions, artificial, non-agricultural areas, coastal wetlands, etc. exist.

Material and Methodology

Various types of data were collected from different sources to find suitable sites for dam construction. majority most of the data was collected from the government open data portal (<http://geodata.gov.gr>), and the files were imported into the ArcGIS environment. The road network, geological formations and tectonic data of the area were not available² from this database. The road network was sourced from the OpenStreetMaps geospatial data database. At the same time, the geological formations and tectonic information were collected from the Geoportal of the Hellenic Authority for Geological & Mineral Research (H.A.G.M.R.) (<http://gaia.igme.gr>). Table 1 lists all the data used, their file type, and the source from which they were obtained.

Table 1: Input Data - Information Layers of the Siting Methodology

Category	Data	File Type	Source
Administrative boundaries	Municipalities	Polygon	http://geodata.gov.gr
Morphology	Digital Elevation Model (DEM)	Raster	http://geodata.gov.gr
Geology	Geological Formations	Polygon	http://gaia.igme.gr
	Tectonics	Linear	http://gaia.igme.gr
Infrastructure	Road Network (primary, secondary)	Linear	https://www.openstreetmap.org
Environment	Natura 2000	Polygon	http://geodata.gov.gr
	Wildlife Sanctuaries	Polygon	http://geodata.gov.gr
Land Use	Corine 2008	Polygon	https://land.copernicus.eu/

For addressing modern, complex, and demanding issues, decision-making processes do not incorporate a one-dimensional analysis, as problems are multidimensional. This has led to the development and widespread use of Multi-Criteria Decision Aid (MCDA) or Multi-Criteria Decision Making (MCDM). (Doumpos & Zopounidis, 2001).

Multi-Criteria Analysis helps improve the quality of decisions by making the decision-making process more transparent, rational, and effective (Al-Shemmeri, Al-Kloub, & Pearman, 1997). The multi-criteria analysis method is applied in various sectors such as environment, energy, construction, transportation, public policy, etc.

This thesis aims to site a dam under two possible scenarios using a multi-criteria analysis. The decision problem involves a large number of geographic data, thus embodied in spatial decision-making issues. Many spatial problems can lead to MCDM using a Geographic Information System (GIS) (Abdulkareem, Pradhan, Sulaiman, & Jamil, 2018). GIS includes processes that provide automation and capability for both management and analysis of spatial elements for decision-making (Theochari, Feloni, Bournas, & Baltas, 2021).

There are many ways in which decision criteria can be combined into MCDM. The Weighted Linear Combination (WLC) and its variants require aggregating the weighted criteria. The Analytical Hierarchy Process (AHP) is an adoption of WLC. The AHP was introduced in 1977 by an American mathematician, Thomas L. Saaty. The implementation stages of the AHP method are:

- Problem definition by clearly stating the objectives and the outcomes
- Decomposing the problem into a hierarchical structure by the use of decision elements such as criteria, detailed criteria and alternatives
- Employing pair-wise comparison
- Estimating the relative weights of decision elements
- Checking the consistency property of matrices to ensure consistency of decision-makers' judgments
- Obtaining an overall rating for the alternatives

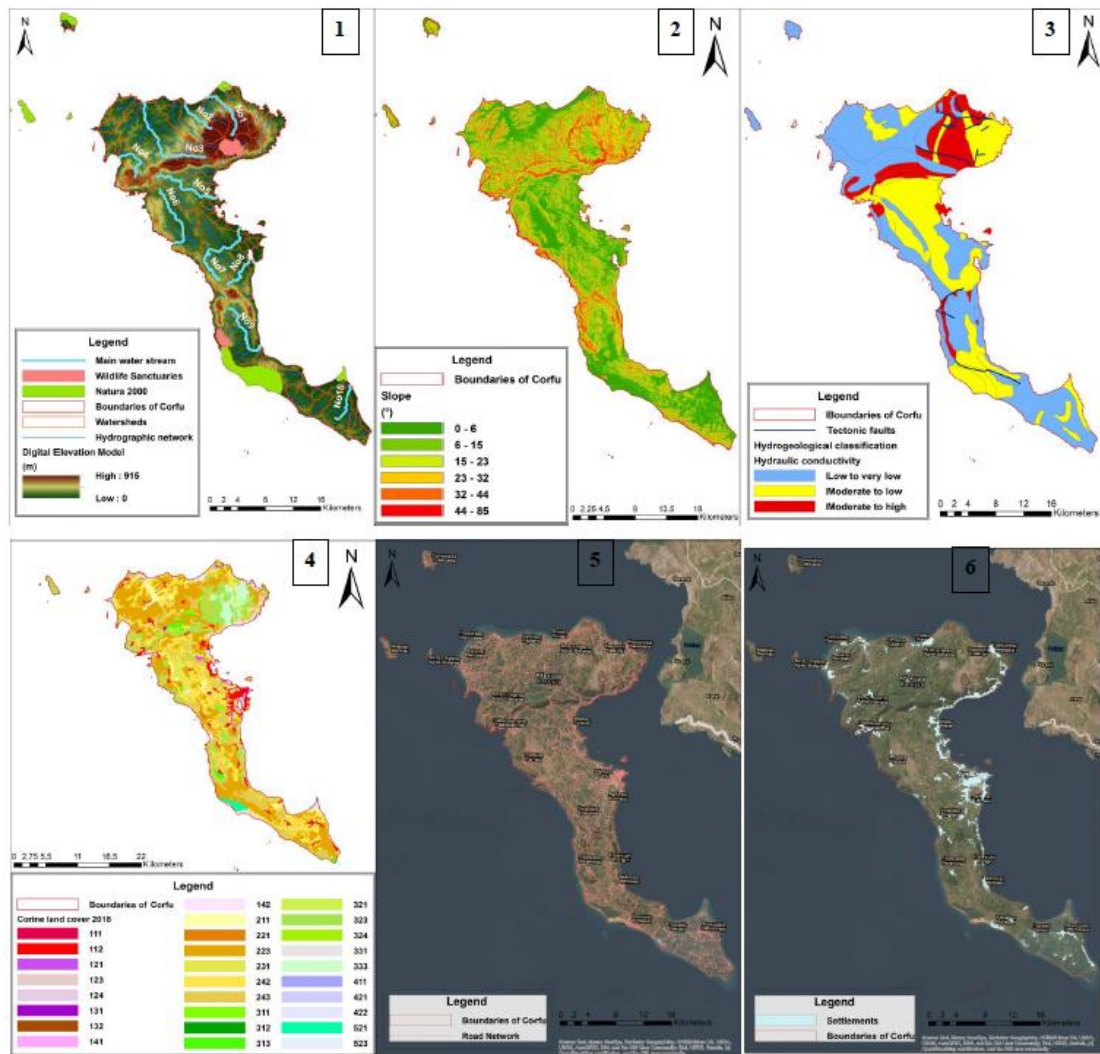


Figure 2: Input thematic layers; (1) DEM; (2) Slope; (3) Geological Formations and Tectonics; (4) Land use; (5) Road Network (primary, secondary); (6) Municipalities

The application of the method, therefore, includes two general phases: the structure of the hierarchy and the stage of evaluation of individual criteria. The assessment stage is based on the idea of pairwise comparisons of different criteria according to the subjective (personal, empirical, bibliographic, field research, etc.) view of the researcher as to the significant relationship that factors have between them. For Pairwise Comparison Matrice elements, Saaty suggested a scale of numbers 1 to 9. These numbers indicate the number of times more or less one element's importance is above the other. Saaty (2008), illustrated these scales as in Table 2.

Table 2: Intensity of Importance Scale

Relative Importance Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Moderate importance of one element over another	Experience and judgment slightly favor one activity over another
5	Strong importance of one element over another	Experience and judgment strongly favor one activity over another
7	Very strong importance	One activity is strongly favored and its dominance is evident in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible degree of affirmation
2,4,6,8	Intermediate values between two adjacent judgments	When compromise is needed
Reciprocals of the above non-zero numbers	If an activity is assigned one of the above numbers when compared to a second activity, then the second activity has the reciprocal value when compared to the first	
Rational numbers	Ratios resulting from the scale	If consistency is forced by taking n numerical values to form the matrix

During the many pairwise comparisons, inconsistency is expected to appear. The AHP method applies a technique to check the consistency in the researcher's choices for the values assigned to the pairwise comparisons. The technique is based on the Consistency Index (CI). The CI is defined by the formula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} \quad (1)$$

where M is the number of criteria and λ_{max} is derived from Equation 2, which requires the calculation of the vector w' . The vector w' is obtained from the equation $w' = A \cdot w$. Therefore, λ_{max} is approximately calculated as:

$$\lambda_{max} \approx \frac{\sum_{l=1}^M \frac{w'_l}{w_l}}{M} \quad (2)$$

If during the calculations $CI = 0$, it indicates that the researcher's comparisons are consistent; however, it is noted that small values of CI can be acceptable. The Random Consistency Index (RI) is defined, through which an additional quality measure, the Consistency Ratio (CR), is calculated. The Consistency Ratio indicates the coherence of the conducted comparisons and is expressed by the formula:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

The Random Consistency Index takes specific values depending on the number of criteria; for small M the values are listed in Table 3.

Table 3: Random Index consistency indicators (Saaty, 1986)

RI values for a small number of criteria										
M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

According to Saaty, if the consistency ratio is $CR \leq 0.10$, the weighting coefficients are acceptable. In any other case, where this specific threshold set by Saaty is not met, re-evaluation of the comparison matrix is mandatory as it is considered inconsistent.

To create a suitability map of optimal positions for constructing a dam, criteria must be standardized by classifying each criterion on a unified ranking scale. This scale consists of five classes ranging from 0 to 1, where 0 indicates a very low connection and 1 is very high. The categorization of criteria aims to establish comparable measures for each criterion (Chalkias, 2015). Voogd (1983) has reviewed various standardization procedures, typically using minimum and maximum values as scaling points, the simplest being a linear scale as follows:

$$x_i = \frac{(FV_i - FV_{min})}{(FV_{max} - FV_{min})} \cdot SR \quad (4) \quad \text{or} \quad x_i = 1 - \frac{(FV_i - FV_{min})}{(FV_{max} - FV_{min})} \cdot SR \quad (5)$$

The final step of the method involves creating the calculation of the desired level of information related to the suitability of areas for optimal siting of reservoirs in specific catchment basins. Therefore, a suitability map must be produced. The Weighted Linear Combination (WLC) or simply weighted sum method is integrated into the ArcGIS environment according to Equation 6.

$$FS = \sum w_i x_i \quad (6)$$

In cases where the Boolean constraints also apply, the process can be modified by multiplying the FS value by the product coefficients of the constraints:

$$FS' = \sum w_i x_i \cdot \prod c_i \quad (7)$$

It is noted through international literature that in most cases, certain basic criteria are applied to find a site for constructing a dam, covering the economic-quality and social aspects of evaluating each scenario. The most widely used criteria include the following:

- Topographic data (slope, elevation)
- Seismic characteristics of the area and distance from faults
- Soil type, geological, and hydrogeological characteristics
- Hydrological data (river length, precipitation data, etc.)
- Land use
- Distance from urban areas, villages
- Accessibility to materials
- Cost
- Environmental impact
- Socio-political impact

Based on these, and according to current legislation for siting Small Hydropower Projects (SHPs), certain criteria are taken into consideration, the most significant of which are as follows:

I. According to Article 13, areas suitable utilization of their water potential are primarily categorized into mountainous and semi-mountainous regions with forested areas, where the natural source, i.e. water, is in conjunction with the elevation difference between the intake point and the power station, achieving sustainability and functionality of the SHP.

II. According to Article 14, exclusion areas for siting SHPs are mentioned, such as those designated as preserved monuments of global cultural heritage, Natura 2000 areas, wetlands, traditional settlements, etc.

III. Article 16 outlines the criteria for assessing the carrying capacity of SHP hosts, where 'carrying capacity of SHP hosts (water streams) is understood as the maximum installation capacity of SHPs on the same water stream.

Accordingly, based on the above and after analyzing the fundamental characteristics of the study area on the island of Corfu, the following basic criteria were selected:

1. Slope of the terrain
2. Elevation
3. Distance from faults
4. Permeability of geological formations (hydrogeological characteristics)
5. Land use
6. Proximity to road network (accessibility)
7. Proximity to cities

The values assigned to these criteria derive from literature research as well as personal assessment by the researcher following the study of the subject.

Slope of the terrain

The slope is one of the primary factors influencing the siting of a dam, as it significantly impacts the safety of the structure. Areas with gentle slopes limit both construction costs and the risk of dam failure, whereas steep slopes pose a high risk of soil erosion and exert greater pressure on the foundation of the structure (Xinyi Dai, 2016). At the same time, slope affects soil settling, the speed of surface water, and its accumulation (Al-Ruzouq et al., 2019; Gaylan Rasul Faqe Ibrahim et al., 2019).

Elevation of the Area

The elevation of an area determines the accumulation and movement of water therefore, elevation also plays a significant role in siting a dam (Al-Ruzouq et al., 2019). According to legislation, areas suitable for harnessing their water potential are mainly categorized into mountainous and semi-mountainous regions.

Distance from Faults

In the case of dam construction, research must be conducted to determine the presence or absence of active faults at or near the site. Specifically, fault identification emphasizes the type of movement, total length, and the age of the last movement, through surface observations, measurements, and subsurface investigations. It is noted that displacements along active faults can cause differential shifting, hence it is avoided to locate dams close to the foundation area.

Inactive faults are typically weak zones that may act as pathways for water or contain material with low shear strength deformation, thus emphasizing the need for detailed geological mapping and assessment of their impact on the construction project.

Hydrogeological characteristics

The geological structure, the thickness of the layers bearing the weight of the dam, and permeability affect foundation conditions. The bedrock must be healthy and resistant to provide a satisfactory base for dam construction (Emiroglu, 2008). Suitable rock foundations offer high resistance to erosion, seepage, and pressure (Xinyi Dai, 2016).

It is emphasized that each soil type affects the amount of water that can permeate the soil (Emiroglu, 2008). Rocky substrates with low permeability and high rock strength are suitable for any dam. Geological formations with moderate to high hydraulic conductivity are deemed unsuitable, while those with low to very low and moderate to low hydraulic conductivity are considered suitable for dam siting.

Land use

One of the key criteria for dam siting is land use. Land use change affects the hydrological response of river basins, which is a major concern for hydrologists. Specifically, land cover affects the high runoff caused by rainfall in urban areas and the low runoff that occurs correspondingly in heavily vegetated areas (Gaylan Rasul Faqe Ibrahim et al., 2019). According to legislation, forested areas are considered suitable for dam siting and areas with vegetation or bare/rocky areas (Karakuş & Yıldız, 2022). Simultaneously, for irrigation dams, areas within or near agricultural land are recommended to reduce water transport costs (Mugo & Odera, 2019).

Proximity to road network (accessibility)

Accessibility is also a significant criterion for dam siting, as it is related to transportation costs (Ghazal & Salman, 2015). The need for new road cutting and construction can be avoided by constructing a dam near the road network. This reduces the cost of material and personnel transportation during construction and operation of the project. According to the above findings, shorter distances receive higher ratings.

Proximity to cities

Studies show that the distance from urban areas affects the selection of dam sites. Dams should be located at a distance from residential areas to protect against dam failure. Distances less than 1000 meters are considered unsuitable, as the aim is to prevent property damage and displacement of citizens in case of flooding (Kumi Boateng, Stemn, & Sibil, 2016). Simultaneously, proximity to a rural area/village serves as an indicator of ease, considering the human resources required for dam construction.

Weights were calculated for two different scenarios. The first scenario aimed to find the optimal location for an SHP, while the second considered multiple purposes (flood control, water supply, and irrigation).

In the first scenario, the slope criterion had the highest score compared to all other criteria, followed in significance by the elevation criterion. The criteria of impermeability, distance from faults, land use, distance from settlements, and finally, distance from the road network followed in importance. In the second scenario, the slope criterion was again defined as the most important, followed by impermeability, distance from faults, elevation, land use, distance from settlements, and the road network. Table 4 below summarizes the individual criteria considered in this analysis, along with how they were handled.

Table 4: Criteria and GIS-procedure

Factor	Classification process	Handling constraints	Observations - Implementation steps coding
1. Slope (C1)	Equation (5)		Technical criterion with a high weighting coefficient ◦ "Times" command between the criterion and the main watercourse to isolate values along the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command to merge the latter with the overall main watercourse (fathom value within "0")
2. Elevation (C2)	Equation (4)		Influences the accumulation and movement of water, legislation K.Y.A. 49828/2008 ◦ "Times" between the criterion and the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command
3. Distance from faults (C3)	Equation (4)	"0" <=1000	Calculation of Euclidean distance from faults ◦ Creation of condition: "Con(Euclidean distance>=1000,Euclidean distance)" ◦ "Times" between the condition and the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command
4. Geological Formations permeability (C4)	Equation (4)	"0" (Moderate to High Permeability) "1" (Low to Very Low Permeability - Impermeable)	Characterization of geological formations with values 0 and 1 according to their permeability ◦ "Feature to raster" to create a layer of geological formations with values 0 and 1 ◦ "Times" between the condition and the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command

5. Land use (C5)	Equation (4)		Characterization of land uses with values 0 and 1 ◦ "Feature to raster" to create a layer with values 0 and 1 ◦ "Times" between the condition and the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command
6. Distance from road network (C6)	Equation (5)		Calculation of Euclidean distance from the faults ◦ "Times" between the Euclidean distance and the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command
7. Distance from cities (C7)	Equation (5)	"0" <=1000	Calculation of Euclidean distance from settlements ◦ Creation of condition: "Con(Euclidean distance>=1000,Euclidean distance)" ◦ "Times" between the condition and the main watercourse ◦ Classification of the above file "Times" ◦ "Mosaic to new raster" command

Results

Following the methodology described in the previous chapter, the process of finding optimal locations for dam siting in the ten main water streams on the island of Corfu was completed. In the first scenario, two sub-scenarios were examined, in which a change in the significance value for pairwise comparisons was made for two criteria to be incorporated into the weight calculation table. The sub-scenarios were as follows:

1. The elevation criterion has a value of 2 (slightly preferred) compared to the distance from faults criterion (Sub-scenario 1).
2. The distance from faults criterion has a value of 2 (slightly preferred) compared to the elevation criterion (Sub-scenario 2).

In the second scenario, the weights for the criteria had the following differences in the two sub-scenarios:

1. The permeability of geological formations criterion has a value of 7 (strongly preferred) compared to the elevation criterion (Sub-scenario 3).
2. The permeability of geological formations criterion has a value of 4 (slightly-moderately preferred) compared to the elevation criterion (Sub-scenario 4).

The results obtained for the weights and the AHP indices are presented in the following Table 5.

Table 5: Comparison of criteria weights for the scenarios

	Scenario 1		Scenario 2	
	Sub-scenario 1	Sub-scenario 2	Sub-scenario 3	Sub-scenario 4
C1	0.331	0.330	0.363	0.370
C2	0.212	0.174	0.106	0.112
C3	0.166	0.205	0.137	0.142
C4	0.178	0.179	0.292	0.272
C5	0.052	0.052	0.046	0.047
C6	0.027	0.026	0.024	0.025
C7	0.034	0.034	0.032	0.032
λ	7.532	7.544	7.405	7.289
CI	0.088	0.091	0.060	0.040
CR	0.067	0.068	0.051	0.036

Scenario 1

The highest score of the locations was 0.85, and all these appeared in the main water stream No 4 and in Figure 3, these sites can be observed in reality via Google Earth. While in water stream No 3, some good scores appeared, which, in combination with the terrain morphology, can be candidate sites for dam siting. At the same time, it was found that in the main water stream No 1, No 2, No 7, and No 8, the scores at the sites are very low; therefore, the siting of dams is not recommended in these areas. The majority of the optimal sites are observed in the northern part of the island.

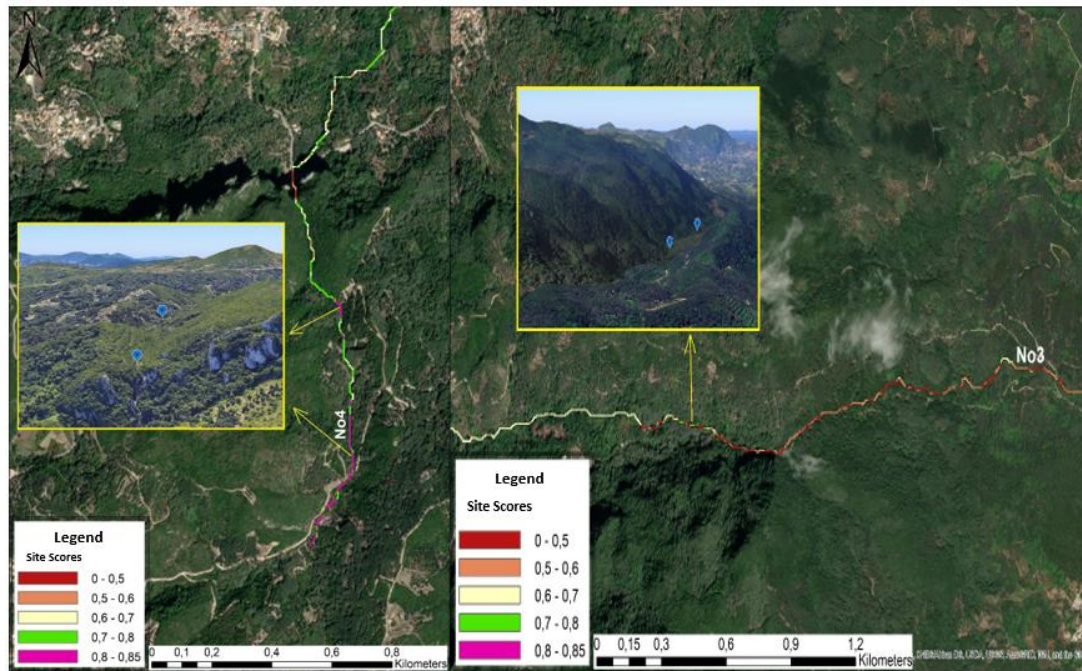


Figure 3: Optimal proposed dam siting locations for Scenario 1 in the main water stream No 3 and No 4

Figure 5 presents the statistics for the proposed sites for the siting of hydroelectric dams. Most siting locations have a score between 60%-70%, belong to the third class, and their number exceeds 12000. Similarly, approximately 6000 sites belong to the fourth class with scores between 70%-80%, and there are also about 5500 sites with scores below 60%, belonging to the second class. Lower scores, below 50%, are found in approximately 2450 proposed sites. The optimal siting locations have scores above 80% and are fewer than 1000 in number.

Scenario 2

In the case of the 2nd scenario, which deals with finding optimal locations for the siting of multipurpose dams, the final scores were identified in the main water streams of the area. The highest score of the locations was 0.91. Figure 5 presents the statistics for the proposed siting locations, which show that most proposed sites are approximately 11000 with a score below 80% and belong to the fourth class, while the optimal sites with a score below 91%, corresponding to the fifth class, are estimated at 9430 sites. Finally, about 6500 sites are found to have scores below 70%.

In the main water streams No 1 and No 2, the scores at the sites are very low therefore, the siting of dams is not recommended in these areas. In water stream No 3, several sites with good scores are identified, as shown in Figure 4, at the beginning of the water

stream near Mount Pantokrator. In water stream No 4, the sites with the highest score of 0.91 are found, which are in a favorable position in terms of terrain morphology, as seen in Figure 4 via Google Earth. Finally, in the Lefkimmi River (Water stream No. 10), in the Messongi River (Water stream No. 9), as well as in the other main water streams (No. 5, No. 6, No. 7, and No. 8), the majority of the sites show a score above 70%.

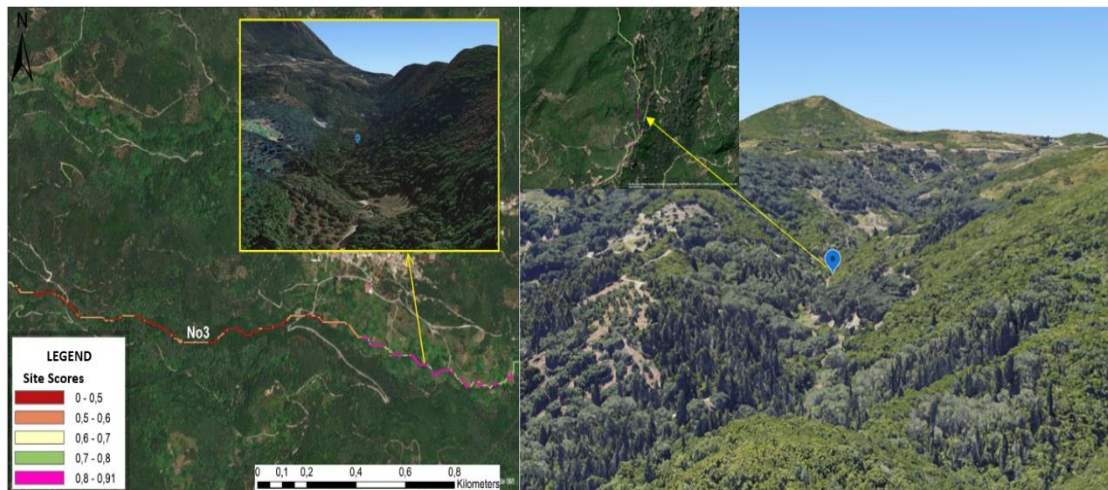


Figure 4: Optimal proposed dam siting locations for Scenario 2 in the main water stream No 3 and No 4

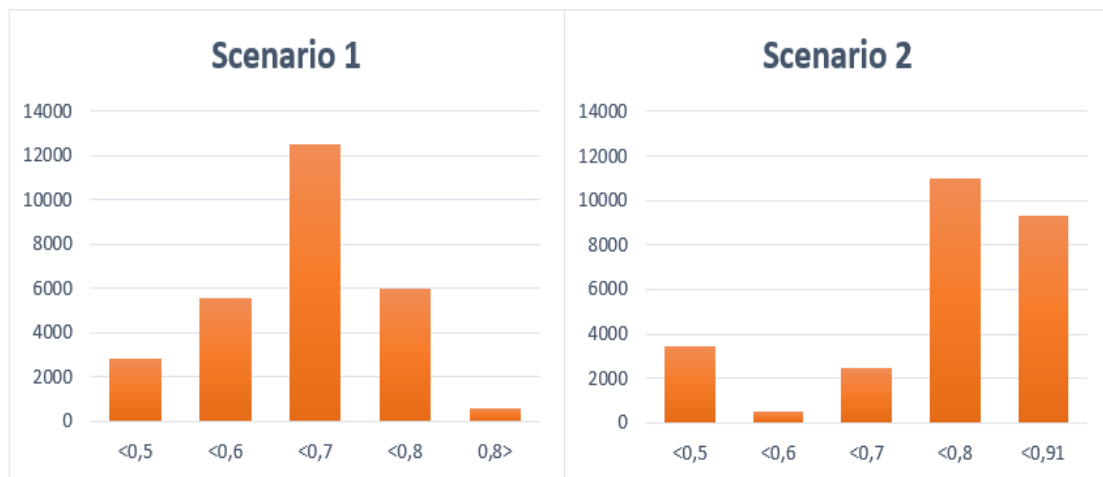


Figure 5: Statistical data of proposed siting locations for Scenario 1 and Scenario 2

Additionally, comparing the statistical data, in the case of multipurpose reservoir siting, the locations with scores above 0.80 are significantly more numerous compared to the case of siting small hydroelectric dams. Although in the 2nd scenario more locations with good scores are identified, it is observed that in both scenarios the highest scores are achieved by the locations in water stream No. 4, as shown in Figure 6.

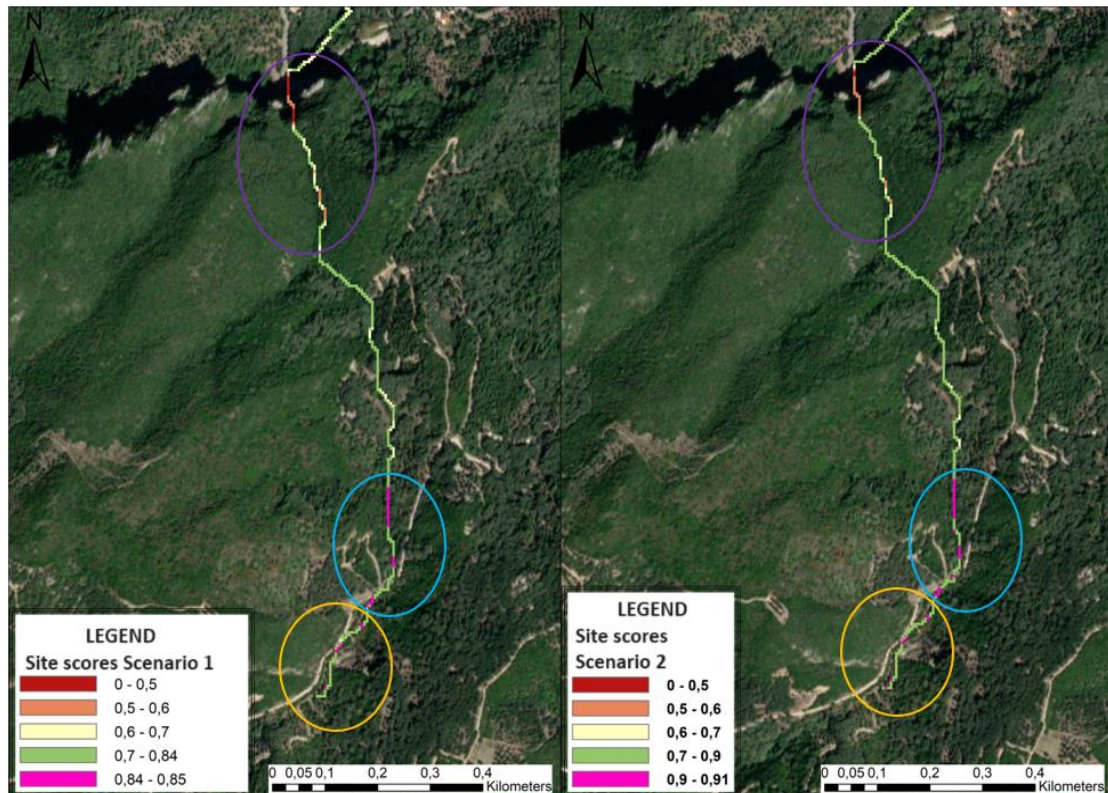


Figure 6: Comparison of results in the main Watercourse No. 4 for the two scenarios

In the case of siting a hydroelectric dam (1st scenario), sensitivity analysis was conducted on two criteria $\pm 5\%$. The analyzed first criterion was slope. According to Figure 7, which presents the differences in scores for locations in two main water streams, No. 7 and No. 9 respectively, it was observed that reducing the slope by 5% either maintained similar scores at the sites or decreased their scores. Increasing the slope resulted in positions presenting improved scores.

The second criterion for sensitivity analysis was elevation. In the case where the weight was reduced by 5%, as shown in Figure 8, new optimal proposed dam siting positions emerged or positions with lower scores presented better results. When the elevation weight was increased by 5%, the scores of the proposed dam siting positions decreased compared to the original.

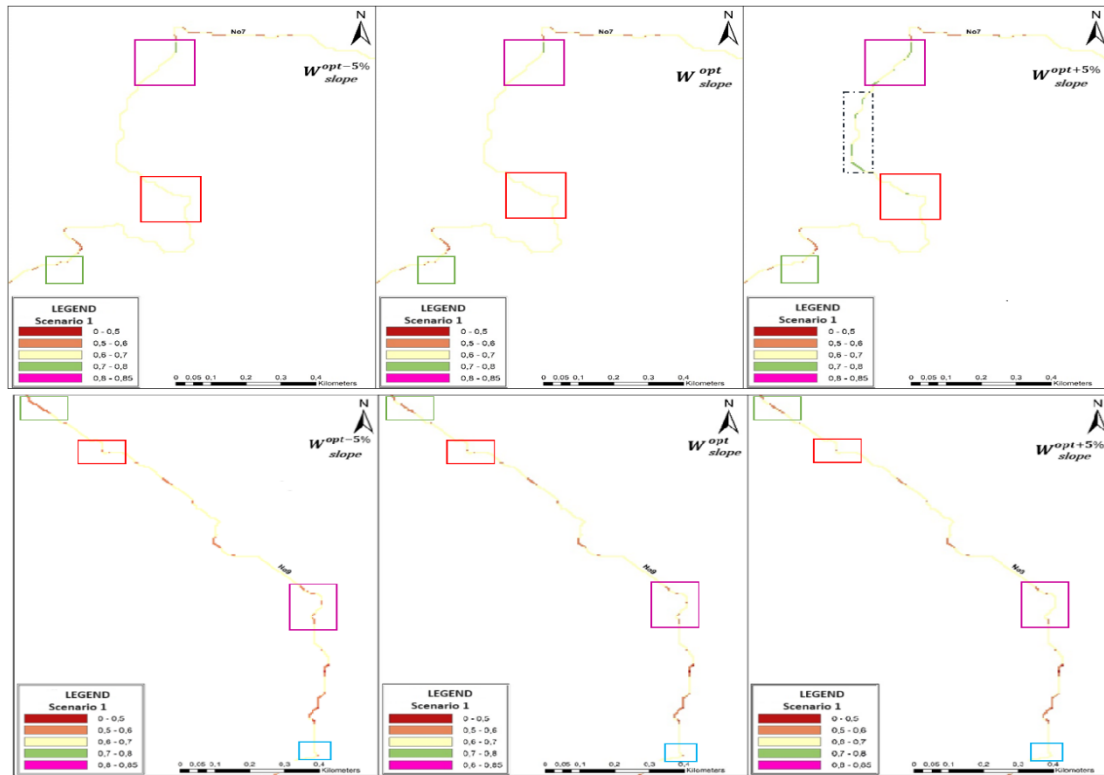


Figure 7: Sensitivity analysis results by varying the weight of the slope criterion in the main water stream No 7 & 9

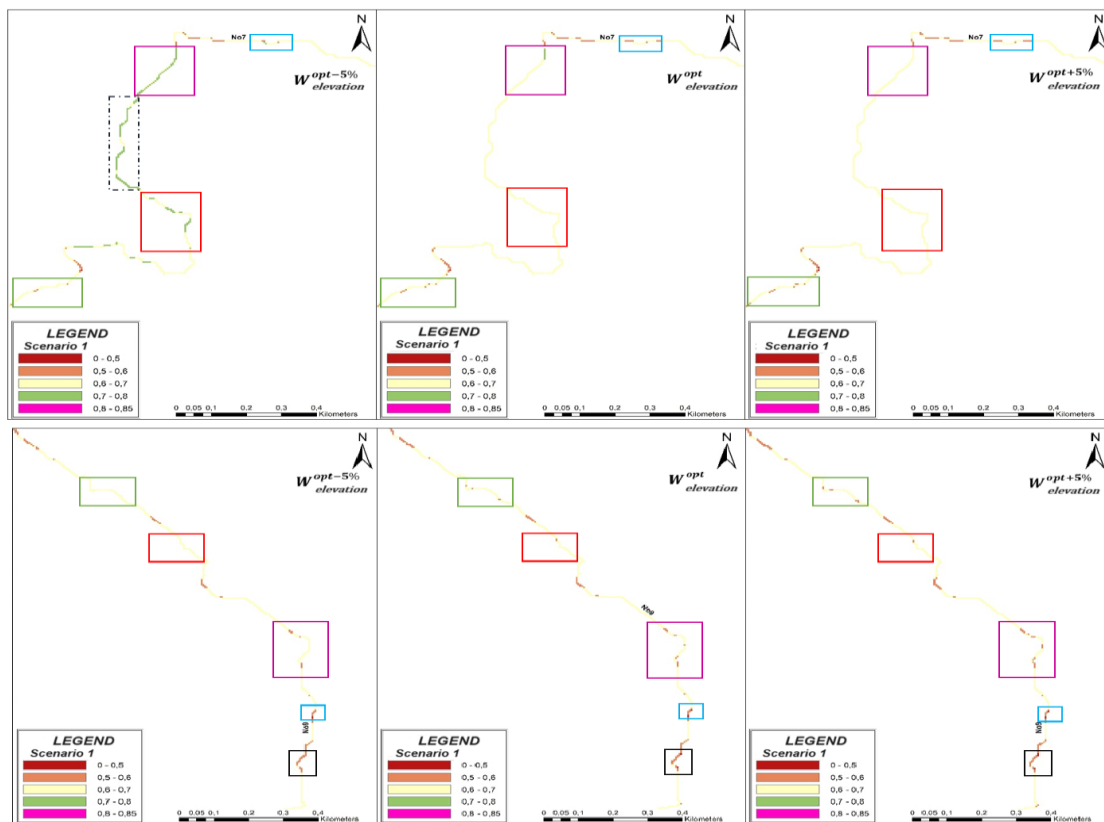


Figure 8: Sensitivity analysis results by varying the weight of the elevation criterion in the main water streams No 7 & 9

Conclusions – Future Research

Management and supervision of water resources, especially in the Greek region, are essential for the efficient utilization of available water reserves. The construction of hydraulic installations, including dams and reservoirs for water storage, serves various purposes, such as providing drinking water, irrigation systems, energy production, and protection against the adverse impacts of natural disasters.

From this specific study, the general conclusions drawn during and after the process were as follows:

- Initially, it is concluded that the selection of criteria for siting dams is particularly important, as the methodology is developed based on these criteria.
- It must be executed after studying the specific area of interest and the applicable legislation that regulates the process of site exclusion determination.
- During analytical hierarchy, assigning weight values for comparing criteria pairwise requires sound judgment, as the researcher determines their significance. Therefore, experience is necessary for the latter.
- Regarding the variation of the weight of a criterion by a certain percentage compared to other criteria, it is quite decisive because if this criterion is the most sensitive, completely different sitting positions may arise.
- The method is flexible depending on application needs, criteria can change, decrease, or be added to.
- In addition to GIS applications, on-site supervision is necessary to ensure the suitability of selected areas.
- A large number of proposed dam siting positions were calculated for all major water streams of Corfu, with a satisfactory number of optimal positions.

Additionally, specific conclusions were drawn regarding finding optimal dam sitting positions on the island of Corfu, which are as follows:

- Main water streams No. 4 and No. 3 contain the best-proposed dam sitting positions in both examined scenarios. The morphology of the valleys at those points appears ideal, as the valley narrows at the dam site and widens immediately upstream.

- Main water streams No. 1 and No. 2 contain the least optimal siting positions, due to their proximity to faults.
- The second scenario had a greater number of positions with scores above 70% compared to the first scenario, indicating more positions suitable for multi-purpose dam construction. Similarly, the significant role played by increasing the weight of the criterion of geological formation impermeability (second in importance criterion in the second scenario) in finding optimal siting positions and how this affects position scores compared to the elevation criterion (second in importance criterion in the first scenario) is demonstrated.
- In the river Lefkimmi (water stream No. 10) in the southern part of the island, as well as in water stream No. 6, positions with good scores are identified, but the geomorphology of the valley does not support dam construction, as no narrowing is identified.
- From the sensitivity analysis conducted in the first scenario and for percentage changes of $\pm 5\%$ in the two criteria with the two largest weights, it was observed that both criteria are highly sensitive to changes and depending on the change, show very different results in score values.

The present methodological framework of this thesis can be used for the siting of any dam, regardless of the study area, as well as in any multi-criteria problem of energy or water resource management. However, this approach is in the early stages and can be amended and specified by future researchers worldwide as new evolvments and criteria arise.

Specifically, criteria could be enriched, based on which the siting areas were evaluated, for a more general and comprehensive approach to the problems. The hydrological characteristics of the area should be added to the criteria, as they are a major factor for dam siting. Additionally, more socio-economic criteria could be added, such as compensation costs for agricultural land and buildings that will be found in the inundation zone of the dam and, similarly, the tourism development that could be created in the area during the dam's operation.

Furthermore, additional investigation of the AHP method, both in weight selection and in its direct use in water resource problems, is suggested. A more detailed sensitivity analysis could be performed on the weight coefficients of design criteria, as during this

approach the knowledge and experience of the analyst/decision-maker play a primary role.

Lastly, for the above reasons, proper engineering training for the correct design and construction of such projects is a necessary condition for the immediate and effective integration of the technical sector into a rapidly developing market.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
EXTENDED ABSTRACT.....	iv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 Γενικά.....	4
1.1.1 Τύποι φραγμάτων.....	5
1.1.2 Συνοδά Έργα Φράγματος.....	6
1.2 Αντικείμενο Εργασίας.....	8
1.3 Νομοθεσία.....	10
1.4 Διάρθρωση Εργασίας.....	14
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	16
2.1 Γεωμορφολογικά Δεδομένα.....	16
2.2 Γεωλογικά Δεδομένα.....	18
2.3 Σεισμικότητα και Τεκτονικά Δεδομένα.....	22
2.4 Προστατευόμενες Περιοχές.....	23
2.5 Χρήσεις Γης.....	26
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	29
3.1 Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων-Στοιχεία Περιοχής Μελέτης.....	29
3.1.1 Στοιχεία Περιοχής Μελέτης.....	29
3.1.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM).....	30
3.1.3 Χρήσεις Γης (Corine Land Cover).....	40
3.1.4 Υδρολιθολογική Ταξινόμηση.....	41
3.1.5 Οικισμοί.....	45
3.2 Μεθοδολογία Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	46
3.2.1 Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA).....	48
3.2.2 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP).....	49

3.2.3	Κριτήρια Χωροθέτησης Φράγματος.....	58
3.2.4	Τυποποίηση-Ταξινόμηση και Σύνθεση Κριτηρίων	69
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	74
4.1	Σύγκριση Βαρών Βάση 2 Σεναρίων.....	74
4.2	Αποτελέσματα 1 ^ο Σεναρίου.....	76
4.3	Αποτελέσματα 2 ^ο Σεναρίου	79
4.4	Σύγκριση Αποτελεσμάτων για τα 2 Σενάρια	81
4.5	Ανάλυση Ευαισθησίας των Κριτηρίων Χωροθέτησης για το 1 ^ο Σενάριο	83
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
5.1	Σύνοψη	86
5.2	Γενικά Συμπεράσματα.....	87
5.3	Ειδικά Συμπεράσματα.....	88
5.4	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	89
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί ένα πολύτιμο φυσικό αγαθό και ένα απαραίτητο στοιχείο για την ύπαρξη της ζωής στη Γη. Το νερό δεν καλύπτει μόνο τις βασικές ανάγκες του ανθρώπου, αλλά αποτελεί επίσης έναν κύριο κινητήριο παράγοντα για την ανάπτυξη. Αποτελεί το μέσο, μέσω του οποίου ικανοποιούνται πολλές από τις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας, όπως η ύδρευση, η γεωργία, η παραγωγή ενέργειας, η βιομηχανία, οι μεταφορές και ο τουρισμός, με στόχο τη δημιουργία και διατήρηση πλούτου.

Η αυξανόμενη πίεση στους υδατικούς πόρους λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας αποτελεί σημαντική απειλή για την παγκόσμια υδατική ασφάλεια. Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, ο παγκόσμιος πληθυσμός τριπλασιάστηκε, οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της χρήσης νερού. Παράλληλα, η μόλυνση του περιβάλλοντος, οι ακραίες και απρόβλεπτες κλιματικές μεταβολές, η ανεπαρκής διαχείριση των υδατικών πόρων και του ολοκληρωμένου υδατικού σχεδιασμού έχουν επιδεινώσει το πρόβλημα της έλλειψης υδάτων. Πέρα από το γεγονός ελλείψεων, οι ακραίες κλιματικές μεταβολές οδηγούν στην εκδήλωση έντονων πλημμυρικών φαινομένων. Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις πιο επικίνδυνες και καταστροφικές φυσικές καταστροφές. Είναι σημαντικό να διερευνηθούν μέθοδοι για την αντιμετώπισή τους και την προστασία των κοινοτήτων, του φυσικού περιβάλλοντος και της οικονομίας από τις επιπτώσεις τους.

Ταυτόχρονα στη σύγχρονη εποχή για την κοινωνική και οικονομική βελτίωση της ποιότητας ζωής είναι απαραίτητη η ενέργεια. Η πλειονότητα των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων είναι άμεσα συνυφασμένη με την κατανάλωση ενέργειας και ιδιαίτερα της ηλεκτρικής. Η εντατική, ωστόσο, χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει σε πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και η ρύπανση του περιβάλλοντος σύμφωνα με τις εκθέσεις αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC, 2023).

Ταυτόχρονα με το άνοιγμα και την ανάκαμψη της παγκόσμιας οικονομίας μετά την πανδημία Covid-19 στα μέσα του 2021 και τη μείωση των ταξιδιωτικών περιορισμών, εμφανίστηκε απότομη αύξηση της ζήτησης σε ενέργεια, η οποία δεν μπορούσε να ικανοποιηθεί λόγω της περιορισμένης προσφοράς. Πέραν της αύξησης της ζήτησης για ενέργεια, προέκυψε πρόβλημα στην προσφορά ορυκτών καυσίμων και ασφάλειας

εφοδιασμού στην Ευρώπη, μετά την εισβολή στην Ουκρανία από τη Ρωσία στα τέλη του Φεβρουαρίου 2022. Η Γηραιά Ήπειρος εισήγαγε έως τότε μεγάλο μέρος του φυσικού αερίου που χρησιμοποιούσε από τη Ρωσία ποσοστό μεγαλύτερο του 40% το 2021 (European Council, 2024).

Για την αντιμετώπιση τόσο των περιβαλλοντικών προβλημάτων, όσο και της ενεργειακής κρίσης, δίνεται έμφαση στην ενσωμάτωση ηπιότερων μορφών ενέργειας στο μίγμα παραγωγής και ιδιαίτερα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Ειδικότερα στην περίπτωση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον, καθώς λόγω των χαμηλών απαιτήσεων σε ποσότητα νερού και κατόπιν κατάλληλης χωροθέτησής τους, δύναται να συνεισφέρουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) αφού αποτελούν μορφή ΑΠΕ, είναι αυτόνομα και αποτελούν ιδανική πρόταση για την ικανοποίηση αναγκών απομακρυσμένων μη διασυνδεδεμένων με τα δίκτυα ηλεκτροδότησης περιοχών, διασφαλίζοντας την ανεξάρτητη και αυτόνομη λειτουργία τους.

Όπως συμπεραίνεται από τα προηγούμενα, η διαδικασία χωροθέτησης εγκατάστασης υδραυλικών έργων που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας και εναλλακτικών χρήσεων σε μια περιοχή, ανάγεται σε διαδικασία λήψης απόφασης, που συμμετέχουν πληθώρα κριτηρίων.

1.1 Γενικά

Τα φράγματα είναι υδραυλικές κατασκευές που σχεδιάζονται και υλοποιούνται σε κοίτες ποταμών και χειμάρρων και έχουν απώτερο σκοπό τη συγκέντρωση νερού σε έναν ταμιευτήρα για να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς. Ταμιευτήρας ονομάζεται η έκταση γης στην οποία αποθηκεύεται το νερό και βρίσκεται ανάντη του φράγματος (Γκρανά, 2010). Τα φράγματα κατασκευάζονται συνήθως στις κοίτες φυσικών ρεμάτων με διάταξη κάθετα προς τη διεύθυνσης ροής. Καλύπτουν το πλάτος της κοίτης και το ύψος του επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες εκ των οποίων οι βασικότεροι είναι ο όγκος του ταμιευτήρα και το εύρος της κοιλάδας. Πρόκειται για σημαντικά τεχνικά έργα που κατασκευάζονται για να εξυπηρετούν διάφορες χρήσεις, όπως:

- Φράγματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Αρδευτικά φράγματα

- Υδρευτικά φράγματα
- Ανάσχεση πλημμυρών (αντιπλημμυρικά φράγματα)
- Βιομηχανική χρήση
- Φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας (π.χ. Υδροηλεκτρικά και αρδευτικά κ.λπ.).
Τα πλεονεκτήματα της κατασκευής πολλαπλής σκοπιμότητας φράγματος είναι ότι πετυχαίνετε ορθολογική διαχείριση νερού και επιμερισμός των δαπανών μεταξύ περισσότερων καταναλωτών/ χρηστών.

1.1.1 Τύποι φραγμάτων

Τα φράγματα ταξινομούνται με βάση το σκοπό τους, καθώς επίσης και με τη γεωμετρία τους και τα υλικά κατασκευής τους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του τύπου του φράγματος είναι η γεωλογική και μορφολογική κατάσταση της περιοχής μελέτης, η αντοχή και η ευστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών, η διαθεσιμότητα υλικών για την κατασκευή του και το υδρολογικό δυναμικό της περιοχής.

Ταξινόμηση με βάση το σκοπό

Ανάλογα με το σκοπό τα φράγματα ταξινομούνται σε:

- 1. Φράγματα συγκέντρωσης νερού:** Δημιουργία τεχνητών λιμνών μέσω της συγκέντρωσης του νερού στον επιφανειακό ταμιευτήρα.
- 2. Φράγματα εκτροπής:** Εκτροπή του νερού για διάφορους σκοπούς, όπως την παροχέτευση του νερού σε συγκεκριμένο χώρο ή την εκτέλεση εργασιών «εν ξηρώ». Τα φράγματα αυτά διακρίνονται σε μόνιμα και προσωρινά.
- 3. Φράγματα ανάσχεσης:** Επιτυγχάνουν την ανάσχεση του νερού δηλαδή την επιβράδυνση της ταχύτητας ροής του με σκοπό τον εμπλουτισμό των υδροφορέων, την αποφυγή ή την μείωση της διάβρωσης λόγω εκδήλωσης χειμαρρωδών φαινομένων.
- 4. Φράγματα ρύθμισης:** Φράγματα που στόχο έχουν τον έλεγχο και την πρόληψη πλημμυρικών φαινομένων (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Ταξινόμηση με βάση τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής

Επιπλέον ανάλογα με τη Γεωμετρία και το υλικό κατασκευής τους ταξινομούνται σε:

1. Άκαμπτα φράγματα, τα οποία κατασκευάζονται από σκυρόδεμα ή λιθόκτιστα.
2. Εύκαμπτα φράγματα, τα οποία κατασκευάζονται από γεώδη υλικά.

3. Μικτά φράγματα, τα οποία είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω (Στειακάκης, Βαβαδάκης, & Μονόπωλης, 2010).

1.1.2 Συνοδά Έργα Φράγματος

Κατά την κατασκευή ενός φράγματος ανεξάρτητα από τη χρήση του απαιτείται να πραγματοποιηθούν παράλληλα κάποια επιπλέον έργα που το συνοδεύουν και το συμπληρώνουν και δεν αποτελούν από μόνα τους κάποια αυτοτελή κατασκευή. Οι κατασκευές αυτές μπορεί να προηγούνται, να συνοδεύουν το φράγμα ή να έπονται από αυτό. Παίζουν σημαντικό ρόλο στην κύρια κατασκευή και λειτουργία του φράγματος, για αυτόν το λόγο τα συνοδά έργα του φράγματος απαιτούν την ίδια λεπτομερή έρευνα με το φράγμα ως προς την υδρολογία και τις γεωλογικές συνθήκες (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Τα συναφή/ συνοδά έργα είναι τα εξής:

- **Σήραγγα εκτροπής:**

Κατά την κατασκευή του φράγματος ανοίγεται σήραγγα, η οποία διέρχεται από τα αντερείσματα με σκοπό την εκτροπή του ποταμού, ώστε να υλοποιηθούν οι εργασίες στην κοίτη του ποταμού με ασφάλεια και ευκολία. Ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της κατασκευής αν αναμένει ο ποταμός μεγάλη παροχή και υπάρχει πιθανότητα πλημμυρικών γεγονότων, η σήραγγα εκτροπής συνδυάζεται με την κατασκευή στα ανάντη προφράγματος, τα οποία στη συνέχεια ενσωματώνονται στην κατασκευή.

- **Υπερχειλιστής ή εκχειλιστής:**

Ο υπερχειλιστής ή εκχειλιστής κατασκευάζεται με σκοπό την διαχείριση των πλημμυρικών παροχών, διασφαλίζοντας την ελεγχόμενη παροχέτευση της περίσσειας νερού. Πιο αναλυτικά, ο εκχειλιστής με τα θυροφράγματα τα οποία τοποθετούνται στο σώμα του φράγματος επιτυγχάνουν τον έλεγχο του νερού που παροχέτευεται, ενώ ο υπερχειλιστής παροχέτευει το νερό προς τα κατάντη όταν υπερβεί την ανώτερη στάθμη χωρίς τη χρήση θυροφραγμάτων. Επισημαίνεται ότι τα παραπάνω κατασκευάζονται με βάση τη μέγιστη εκτιμώμενη παροχή του ποταμού και σύμφωνα με σειρές ιστορικών παρατηρήσεων βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής που επηρεάζεται από το φράγμα.

- **Σήραγγα/ αγωγός προσαγωγής:**

Σχετίζεται με τα υδροηλεκτρικά φράγματα, καθώς πρόκειται για σήραγγα ή αγωγό μέσω του οποίου μεταφέρεται το νερό από τον ταμιευτήρα στο εργοστάσιο και τους υδροστρόβιλους των γεννητριών. Η χωρητικότητά του επηρεάζεται από τις ανάγκες νερού για την παραγωγή ενέργειας, ύδρευσης, άρδευσης κτλ.

- **Σήραγγα επίσκεψης**

Είναι η σήραγγα που κατασκευάζεται κατά μήκος του άξονα του έργου και μέσω αυτής εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις στη βάση του έργου στη φάση της κατασκευής. Μετά την ολοκλήρωση του έργου η χρήση της σήραγγας είναι για τον έλεγχο στεγανότητας του φράγματος, τοποθέτησης οργάνων, αποστράγγισης κτλ.

- **Εκκενωτής πυθμένα**

Αποτελεί έργο ασφάλειας που κατασκευάζεται στη βάση του σώματος του φράγματος και σκοπό έχει την μείωση της στάθμης του ταμιευτήρα ή ακόμα και την πλήρη εκκένωση αυτού στην περίπτωση σοβαρής αστοχίας. Επίσης ενεργοποιείται ακόμα και όταν κριθεί αναγκαία η απόληψη των φερτών υλικών, λόγω της στερεοπαροχής στη λεκάνη κατάκλυσης. Συνήθως αποτελεί ανεξάρτητη διάταξη ή συνδυάζεται με τη σήραγγα εκτροπής κατά τη διάρκεια κατασκευής, αλλά με τη διαμόρφωση διαφορετικού έργου εισόδου, το οποίο κατασκευάζεται σε υψηλότερο σημείο από την είσοδο της σήραγγας εκτροπής.

- **Λεκάνη ηρεμίας**

Η λεκάνη ηρεμίας κατασκευάζεται στην κατάντη περιοχή του φράγματος, για να επιτύχει την ομαλότερη παροχέτευση του νερού στο κατάντη τμήμα του φράγματος και από εκεί στον ποταμό. Επιπλέον αποτρέπει τη διάβρωση που προκαλούν τα νερά από την υπερχειλίση στον πόδα του φράγματος.

- **Ταμιευτήρες άντλησης- αποθήκευσης νερού**

Κατά τη διάρκεια ζωής του έργου μπορεί να υπάρξουν χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η παραγόμενη ενέργεια είναι περισσότερη από αυτή που απαιτείται και αντίστοιχα να συμβεί και το αντίθετο. Η παραπάνω ενέργεια που παράγεται μπορεί να μετατραπεί σε δυναμική με ένα σχετικά μικρό κόστος και αντίστοιχα να χρησιμοποιηθεί ξανά σε μία περίοδο που οι απαιτήσεις για ενέργεια θα είναι μεγαλύτερες. Πιο αναλυτικά μπορεί να κατασκευαστεί ο ταμιευτήρας άντλησης-

αποθήκευσης νερού, στον οποίο θα διατηρείται το αντλούμενο νερό κατά τις βραδινές κυρίως ώρες που οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι μικρότερες. Το νερό που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στον υδροηλεκτρικό σταθμό μπορεί να διατηρηθεί για να παραχθεί ενέργεια σε περιόδους αιχμής ή ακόμα και να εκτραπεί για διαφορετικές χρήσεις.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι το έργο (φράγμα και ταμιευτήρας) προκειμένου να είναι χρήσιμο αλλά και ασφαλές κατά τη διάρκεια λειτουργίας του απαιτείται η διεπιστημονική συνεργασία των συναφών κλάδων μηχανικού και γεωλόγου. Καθώς αποτελείται από πλήθος έργων, στην περίπτωση οποιασδήποτε αστοχίας τόσο των συνοδών έργων όσο και του φράγματος και του ταμιευτήρα μπορεί να προκληθούν σημαντικές απώλειες σε ζώες αλλά και σε περιουσίες που βρίσκονται στην κατάντη περιοχή.

1.2 Αντικείμενο Εργασίας

Η Κέρκυρα είναι διασυνδεδεμένο νησί, όπου το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών της σε ηλεκτρισμό καλύπτεται από το κεντρικό δίκτυο και ένα μικρό μέρος (περίπου 4.4%) καλύπτεται από τοπική παραγωγή. Η τοπική παραγωγή προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά πάρκα, τα οποία εγκαταστάθηκαν την περίοδο 2012-2013. Από το 2013 μέχρι και σήμερα παρατηρείται έντονη στασιμότητα σε νέες επενδύσεις σε ΑΠΕ.

Σύμφωνα με το προσχέδιο του Εθνικού Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος (ΕΣΕΚ) που αναθεωρήθηκε τον Οκτώβριο του 2023, ορίζεται ως στόχος η συνεχής μείωση της ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη, με σκοπό τον μηδενισμό της μετά το 2028. Επιπλέον στοχεύει έως το 2030 ή και νωρίτερα οι ΑΠΕ να καλύπτουν το 80% της ηλεκτροπαραγωγής. Σε συνέχεια των παραπάνω, κρίνεται αναγκαία η μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης των ΑΠΕ και ειδικά του υδάτινου δυναμικού της περιοχής της Κέρκυρας. Η χωροθέτηση εγκατάστασης ΑΠΕ προϋποθέτει την εξέταση ενός αριθμού κριτηρίων με σκοπό την μεγιστοποίηση των ωφελειών του υδάτινου δυναμικού και ταυτόχρονα την προστασία του οικοσυστήματος και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της περιοχής.

Ταυτόχρονα η κύρια χρήση νερού στην Κέρκυρα, λόγω της τουριστικής ανάπτυξης, καλύπτει τις ανάγκες ύδρευσης. Τα υπόγεια υδάτινα σώματα καλύπτουν αποκλειστικά

τις ανάγκες σε νερό, όμως εξαιτίας των γεωλογικών σχηματισμών των Ιονίων, η πλειονότητά τους παρουσιάζει έντονα προβλήματα υφαλμύρισης σε αρκετά μεγάλο βάθος από την παράκτια περιοχή. Επιπλέον, τα υπόγεια υδάτινα σώματα που βρίσκονται στις εσωτερικές περιοχές του νησιού, εξαιτίας του γεωλογικού υποβάθρου στο οποίο αναπτύσσονται, περιέχουν σε ορισμένες περιοχές υψηλά ποσά θειϊκών και ανθρακικών αλάτων. Σημειώνεται ότι, η ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες είναι υπερδιπλάσια της μέσης ετήσιας κατανάλωσης και οι Δ.Ε.Υ.Α. των περισσότερων Δήμων, με τα υφιστάμενα δίκτυα, να μην μπορούν να ανταποκριθούν στις ποσοτικές και ποιοτικές απαιτήσεις των αναγκών ύδρευσης. Η δεδομένη κατάσταση, καθιστά αναγκαίο έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό και αντίστοιχη χρηματοδότηση, ώστε να διαχειριστούν αποτελεσματικότερα τις ανάγκες ύδρευσης του νησιού.

Η Νήσος Κέρκυρα, η οποία αποτελεί το μεγαλύτερο νησί του νησιωτικού τμήματος του ΥΔ 05, χαρακτηρίζεται από πολυάριθμες μικρές υπολεκάνες απορροής, τυπικές της νησιωτικής μορφολογίας. Η τοποθέτηση της Νήσου πάνω στον άξονα κίνησης των ομβροφόρων ανέμων (ΒΔ προς ΝΑ) έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή σημαντικών υψών βροχόπτωσης, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα της. Σύμφωνα με την 1η αναθεώρηση της προκαταρκτικής αξιολόγησης των κινδύνων πλημμύρας του ΥΠΕΝ, στην περιοχή της Κέρκυρας εντοπίζονται τρεις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας, η περιοχή Λευκίμμης (EL05APSFR004), η χαμηλή ζώνη Νήσου Κέρκυρας από το ύψος της Στρογγυλής μέχρι τους Βιταλάδες (EL05APSFR006) και οι χαμηλές ζώνες της πόλης της Κέρκυρας (EL05APSFR011) (ΥΠΕΝ, 2019).

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο τη βέλτιστη χωροθέτηση φραγμάτων στο νησί της Κέρκυρας. Εξετάζονται δύο σενάρια, το πρώτο έχει στόχο τη χωροθέτηση μικρών υδροηλεκτρικών φραγμάτων και το δεύτερο φραγμάτων πολλαπλού σκοπού (αντιπλημμυρική προστασία, ύδρευση και άρδευση). Το μεθοδολογικό πλαίσιο που παρουσιάζεται σκοπεύει στην εύρεση και ιεράρχηση των υποψήφιων περιοχών χωροθέτησης, βασιζόμενο στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), συνδυάζοντάς τα, με το μεθοδολογικό υπόβαθρο της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. Για τη διεκπεραίωση της εργασίας εξετάζεται η περιοχή ως προς το ανάγλυφό της, τις κλίσεις του εδάφους, τα γεωλογικά και τεκτονικά της χαρακτηριστικά και άλλα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη χωροθέτηση.

Μετά την ανάλυση των ανωτέρων κριτηρίων πραγματοποιείται λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) για τις καλύτερες θέσεις χωροθέτησης των

φραγμάτων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο σύγκρισης ανά ζεύγη «Analytical Hierarchical Process» (AHP), η οποία αναπτύχθηκε από τον Saaty (1977). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την πολυκριτηριακή ανάλυση σε μορφή χαρτών με σκοπό την οπτική απόδοση της χωροθέτησης. Συγκεκριμένα ταξινομούνται οι προτεινόμενες θέσεις με βάση το βαθμό επίδοσής τους (final score, *FS*) και από αυτές τελικά προτείνονται η/οι καταλληλότερη/ες, κατά περίπτωση.

Τέλος πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας στο πρώτο σενάριο στα προσδιορισμένα ως «βέλτιστα» βάρη για δύο κριτήρια, την κλίση και το υψόμετρο για $\pm 5\%$. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα αποτελέσματα διαφοροποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό, ως προς τις βαθμολογίες των προτεινόμενων θέσεων.

1.3 Νομοθεσία

Η ευρωπαϊκή οδηγία 2000/60/EK αποτελεί μία συμφωνία μεταξύ των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκειμένου να εναρμονισθεί ο εκάστοτε νόμος σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η οδηγία ή αλλιώς η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/EK για τα νερά αποτελεί το κύριο θεσμικό εργαλείο για τη Διαχείριση των Υδάτινων Πόρων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εισάγει μία νέα θεώρηση στη διαχείριση των υδάτινων πόρων και ταυτόχρονα αποτελεί μία νέα πολιτική πρόταση περιφερειακής οργάνωσης και προστασίας περιβάλλοντος.

Η Οδηγία έχει ως στόχο τη μακροπρόθεσμη προστασία όλων των υδάτων (επιφανειακών, μεταβατικών, υπόγειων και παράκτιων) και των οικοσυστημάτων στην ΕΕ και δημιουργεί ένα πλαίσιο αειφόρας διαχείρισης, το οποίο:

- στοχεύει στην εξασφάλιση παροχής πόσιμου ύδατος καλής ποιότητας στον πληθυσμό
- εμποδίζει την περαιτέρω υποβάθμιση και βελτιώνει την κατάσταση όλων των υδάτινων πόρων
- προωθεί τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων πόρων
- εφαρμόζει μέτρα για την ελαχιστοποίηση απόρριψης ρύπων και την εξάλειψη απόρριψης επικίνδυνων ρυπαντών στο υδάτινο περιβάλλον

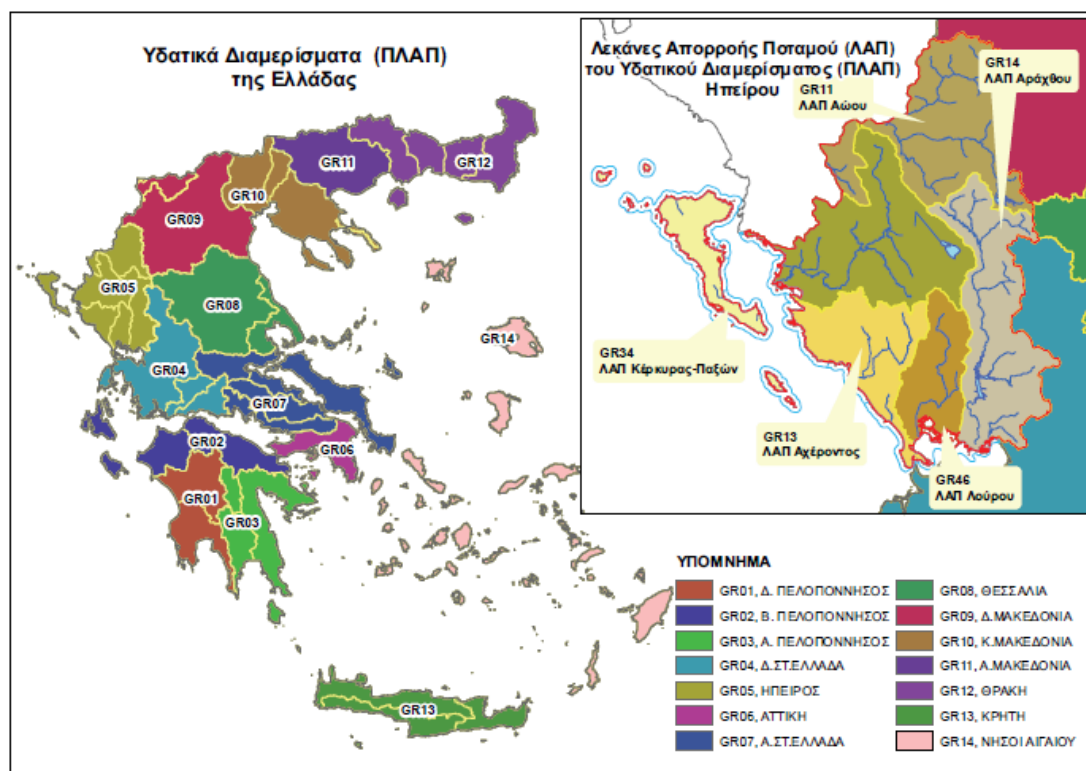
- στοχεύει στη μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και τη σταδιακή επαναφορά τους τόσο σε ποιότητα όσο και ποσότητα
- συνεισφέρει στην αντιμετώπιση των συνεπειών από ακραία φαινόμενα όπως πλημμυρών και ξηρασίας.

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ ενσωματώθηκε στην ελληνική έννομη τάξη με το Νόμο 3199/2003 (ΦΕΚ Α 280/9.12.2003) σύμφωνα με τον οποίο συστήνονται η Εθνική Επιτροπή Υδάτων, το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων και η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων στο ΥΠΕΧΩΔΕ. Η κύρια αρμοδιότητα του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων και της Εθνικής Επιτροπής είναι η υποβολή στη Βουλή ετήσιων εκθέσεων αναφορικά με την κατάσταση του υδάτινου δυναμικού της χώρας. Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων είναι αρμόδια για την κατάρτιση των εθνικών προγραμμάτων προστασίας και διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού της χώρας, του συντονισμού και ελέγχου της εφαρμογής τους (Ν. 3199, 2003).

Με δεδομένη την πολυπλοκότητα αλλά και την ιδιαίτερη σημασία των ζητημάτων που αφορούν στο νερό ως φυσικό πόρο, η εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ αποτελεί μία απαιτητική διαδικασία πολλών σταδίων που περιλαμβάνει την οργανωμένη υλοποίηση δράσεων από πολλούς εμπλεκόμενους φορείς. Απαιτείται ο συντονισμός και η καθοδήγηση όλων των φορέων στη βάση ενός μακροχρόνιου σχεδιασμού για την επίτευξη του στόχου της καλής κατάστασης των υδάτων. Ο σχεδιασμός αυτός προσδιορίζεται χωρικά με βάση τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών νερών που οριοθετούν την Περιοχή Λεκανών Απορροής Ποταμού (ΠΛΑΠ). Στην Ελλάδα έχουν καθοριστεί 14 Υδατικά Διαμερίσματα καθένα από τα οποία αποτελεί μία ΠΛΑΠ για τους σκοπούς της Οδηγίας. Κάθε Υδατικό Διαμέρισμα αποτελείται από επιμέρους Λεκάνες Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ), οι οποίες στο σύνολο της χώρας ανέρχονται σε 46.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου με κωδικό GR 05 (ή Υδατικό Διαμέρισμα 05) αποτελεί ένα από τα δεκατέσσερα (14) Υδατικά Διαμερίσματα στα οποία διαιρέθηκε ο ελληνικός χώρος με το Ν.1739/1987 (ΦΕΚ 201/Α/1987) (Ν.1739, 1987). Οι κύριες υδρολογικές λεκάνες σύμφωνα και με το Σχήμα 1.1 του Υδατικού Διαμερίσματος είναι οι λεκάνες του Αώου, του Καλαμά, του Αράχθου, του Λούρου, του Αχέροντα, η κλειστή λεκάνη Ιωαννίνων που επικοινωνεί με τη λεκάνη του Καλαμά μέσω της σήραγγας Λαψίστας και η αυτοτελής γεωγραφική ενότητα της Κέρκυρας και των Παξών. Το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό στις ποσότητες

νερού. Εμφανίζονται τοπικά προβλήματα έλλειψης, τα οποία με μια ορθολογική διαχείριση και μεταφορά πόρων μπορούν να αντιμετωπιστούν. Ταυτόχρονα το διαμέρισμα έχει μεγάλες προοπτικές για την ανάπτυξη και την αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας με την κατασκευή φραγμάτων (ΕΜΠ-Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 2008).



Σχήμα 1.1: Υδρολογική διαίρεση της χώρας σε Υδατικά Διαμερίσματα και Λεκάνες Απορροής Ποταμού με εστίαση στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου (Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, 2013)

Ταυτόχρονα η ελληνική νομοθεσία περιλαμβάνει ειδικό πλαίσιο για τον χωροταξικό σχεδιασμό και την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) συμπεριλαμβανομένης της υδροηλεκτρικής. Το πλαίσιο αυτό έχει ως στόχο την χωροθέτηση έργων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ μέσω κανόνων και κριτηρίων. Τα έργα αυτά θα ανταποκρίνονται στους στόχους των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών (πλαίσιο για τα νερά 2000/60 και οδηγία για τις πλημμύρες 2007/60) και θα εντάσσονται αρμονικά στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Το πλαίσιο αυτό είναι η Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) 49828/2008 και στοχεύει στην επιλογή βέλτιστων θέσεων για την κατασκευή μικρών Υδροηλεκτρικών έργων με την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού της εκάστοτε περιοχής. Τονίζεται ότι στις διατάξεις της παρούσας απόφασης δεν συμπεριλαμβάνονται τα

μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, εξαιτίας της ιδιομορφίας που παρουσιάζουν (Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης (Φ.Ε.Κ.) Β 2464 /03.12.2008, Αρ. Φύλλου 2464, 2008).

Σύμφωνα με το άρθρο 13 οι ημιορεινές και ορεινές περιοχές (δασικές ή χέρσες εκτάσεις) αποτελούν περιοχές που το υδατικό δυναμικό τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καθώς η ύπαρξη νερού σε συνδυασμό και με την υψομετρική διαφορά που δημιουργείται από το σημείο υδροληψίας μέχρι το σταθμό παραγωγής ενέργειας κατοχυρώνουν την σκοπιμότητα και την βιωσιμότητα του έργου. Επιπλέον τα διαμερίσματα που εμφανίζουν μεγάλη πυκνότητα εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού είναι το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου, της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, της Δυτικής Μακεδονίας, της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και της Δυτικής και Βόρειας Πελοποννήσου.

Σύμφωνα με το άρθρο 14 οι περιοχές αποκλεισμού και οι ζώνες ασυμβατότητας για την χωροθέτηση μικρών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι:

- κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της παγκόσμια κληρονομιάς και άλλα μνημεία μείζονος σημασίας
- περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης
- όρια των υγροτόπων διεθνούς σημασίας (υγρότοποι Ραμσάρ)
- πυρήνες των εθνικών δρυμών, των κηρυγμένων μνημείων της φύσης και των αισθητικών δασών
- οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της επικράτειας που έχουν ενταχθεί ως τόποι κοινοτικής σημασίας στο δίκτυο Natura 2000 (Φύση 2000) σύμφωνα με την υπ' αριθμ. 2006/613/EK
- παραδοσιακοί οικισμοί και ιστορικά κέντρα
- τμήματα των λατομικών περιοχών και μεταλλευτικών και εξορυκτικών ζωνών που λειτουργούν επιφανειακά
- άλλες περιοχές ή ζώνες που υπάγονται σε ειδικό καθεστώς χρήσεως γης

Σύμφωνα με το Άρθρο 15 της Κ.Υ.Α. κατά την επιλογή θέσης μικρών υδροηλεκτρικών έργων με μικρό ύψος υδραυλικής πτώσης ($H < 20m$) πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο, ώστε το οπτικά κύριο έργο και τα συνοδά να έχουν την μικρότερη δυνατή επίπτωση και τον ελάχιστο όγκο. Στα έργα με υδραυλική πτώση $H > 20m$, τα οποία κατασκευάζονται εντός των περιοχών Δικτύου Natura 2000, προτείνεται η κατασκευή σηράγγων ή ο εγκιβωτισμός αγωγών εντός του εδάφους στο υδραυλικό σύστημα

προσαγωγής και απαγωγής της περιοχής, ώστε να μην υπάρχει επιπλέον περιβαλλοντική επιβάρυνση. Σε αυτή την περίπτωση είναι υποχρεωτική η χρήση υφιστάμενων υποδομών π.χ. δρόμοι. Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι η κατασκευή οδών για τα συνοδά έργα δεν πρέπει να επηρεάζει την παραποτάμια βλάστηση και τους γεωλογικούς σχηματισμούς, ή να επιβάλλει την επίχωση της κοίτης του υδατορέματος ή να μπορεί να δημιουργήσει αστάθειες/ κατολισθήσεις.

Τέλος το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της 23ης Οκτωβρίου 2007 εξέδωσε την Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου 2007. Η Οδηγία αυτή συμπληρώνει την Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά 2000/60/EK όσον αφορά στη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου. Σκοπό έχει τη «θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα» (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2007).

Η Οδηγία έχει ενσωματωθεί στο Ελληνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010 (ΦΕΚ Β' 1108/21.07.2010) όπως ισχύει. Προβλέπει τρία στάδια για την αντιμετώπιση του φαινομένου της πλημμύρας από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, τη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας και τέλος την εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας.

1.4 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία εισαγωγή για όσα πραγματεύεται η εργασία, τονίζοντας τη σημασία της διαχείρισης των υδάτινων πόρων τόσο για τις ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και παραγωγής ενέργειας, όσο και για την προστασία περιοχών από πλημμυρικά φαινόμενα. Επιπλέον, επεκτείνεται στο αντικείμενο της εργασίας, στη μέθοδο που εφαρμόστηκε και το νομοθετικό πλαίσιο. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται η διάρθρωση της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Παρουσιάζονται γενικά στοιχεία όπως τα όρια και η θέση της περιοχής μελέτης. Έπειτα παρατίθενται τα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής, τα γεωλογικά δεδομένα, τα

τεκτονικά χαρακτηριστικά, οι προστατευόμενες περιοχές και οι χρήσεις γης σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018.

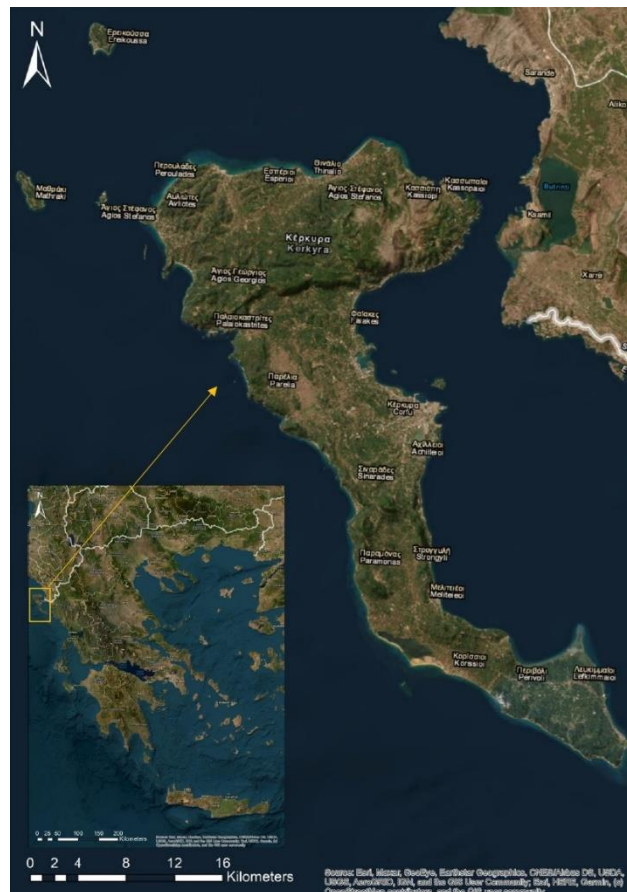
Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και της επεξεργασίας τους. Αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθείται κατά την ανάλυση, πρώτα αναφέρονται γενικά για την πολυκριτηριακή ανάλυση, ενώ έπειτα αναλύονται συγκεκριμένα πως χρησιμοποιείται η μέθοδος αυτή συνδυαστικά με τα GIS. Τέλος περιγράφονται οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη βέλτιστη χωροθέτηση των φραγμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων της μεθολογίας που χρησιμοποιείται. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για τα δύο σενάρια και οι βέλτιστες θέσεις σύμφωνα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία και διακρίνονται σε γενικά και ειδικά και σε μια σύνοψη. Και τέλος γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Κέρκυρα είναι ένα από τα βορειοδυτικότερα νησιά της Ελλάδας και εντάσσεται στο σύμπλεγμα των Επτανήσων. Ανήκει στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων και πρωτεύουσά της είναι η Κέρκυρα. Βρίσκεται στην είσοδο της Αδριατικής θάλασσας κοντά στις Ηπειρωτικές ακτές και το βορειοανατολικό της τμήμα είναι πολύ κοντά στις Αλβανικές ακτές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1. Η έκτασή της είναι 641 km² και σύμφωνα με την απογραφή του 2021 ο πληθυσμός ανέρχεται στους 101600 (ΕΛΣΤΑΤ, 2021). Διοικητικά χωρίζεται σε 3 δήμους, το Δήμο της Βόρειας Κέρκυρας με έδρα την Κασσιόπη, το Δήμο Κεντρικής Κέρκυρας και Διαποντίων Νήσων με έδρα την Κέρκυρα (που περιλαμβάνει και τα μικρότερα νησιά Οθωνοί, Ερεικούσσα και Μαθράκι) και το Δήμο Νότιας Κέρκυρας με έδρα τη Λευκίμη.



Σχήμα 2.1: Νήσος Κέρκυρα

2.1 Γεωμορφολογικά Δεδομένα

Η Νήσος Κέρκυρα έχει σχήμα μακρόστενο, πλατύτερο στο βόρειο τμήμα της και στενεύει προς το νότο. Η Κέρκυρα αποτελείται σχεδόν κατά το ήμισυ από ορεινά

υψώματα που διαιρούν το νησί σε τρεις ζώνες, τη βόρεια, κεντρική και νότια Κέρκυρα. Η μορφολογία της είναι γενικά λοφώδεις – ημιορεινή με πολλές μικρές κοιλάδες.

Η συνολική έκταση του νησιού κατανέμεται ως εξής:

- 65% πεδινή (422.40 km²)
- 35% ημιορεινή (218.60 km²)

Τα κυριότερα όρη της Νήσου Κέρκυρας είναι:

- το όρος του Παντοκράτορα με υψόμετρο 914 m, στο ΒΑ τμήμα και
- το Όρος της Άνω Παυλιάνας – Αγίου Ματθαίου με υψόμετρο 465 m, στο ΝΔ τμήμα.

Οι χερσαίες εκτάσεις της Νήσου διαχωρίζονται σε ορεινές και πεδινές. Στις ορεινές περιλαμβάνονται οι λοφώδεις και ημιορεινές περιοχές, ήτοι όσες έχουν υψόμετρο μεγαλύτερο από 200 m. Το μορφολογικό ανάγλυφο είναι πιο έντονο στο βόρειο τμήμα του νησιού, όπου υψώνεται το ψηλότερο βουνό του νησιού και το οποίο αποτελεί ένα φυσικό όριο και χωρίζει το κεντρικό και βόρειο τμήμα. Η υψηλότερη κορυφή ονομάζεται Παντοκράτορας. Γενικά το μεγαλύτερο μέρος του νησιού χαρακτηρίζεται από πιο ήπιο έδαφος με δεντρόφυτους λόφους που συνήθως καταλήγουν σε αμμώδεις ακτές.

Στο βόρειο – κεντρικό τμήμα διακρίνεται η ημιορεινή περιοχή των Λακώνων – Τρουμπέτα – Αγίου Μάρκου, με διεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά. Οι κυριότερες λοφοσειρές είναι του Βάτου – Ερμόνων – Γιαννάδων – Λιαπάδων, στο ΒΔ τμήμα, του Στυαρού – Στρογγύλης – Μωραϊκών στο κεντρικό – ανατολικό τμήμα και τέλος του Χλομού στο ΝΑ τμήμα του νησιού. Στο κεντρικό τμήμα του νησιού απαντώνται οι χαμηλότερες κορυφές των υψωμάτων Μελιτίου, ενώ στο νότιο τμήμα το υψόμετρο των λόφων δεν ξεπερνά τα 250 m και παρατηρείται, ότι νοτιότερα το ανάγλυφο γίνεται ομαλότερο.

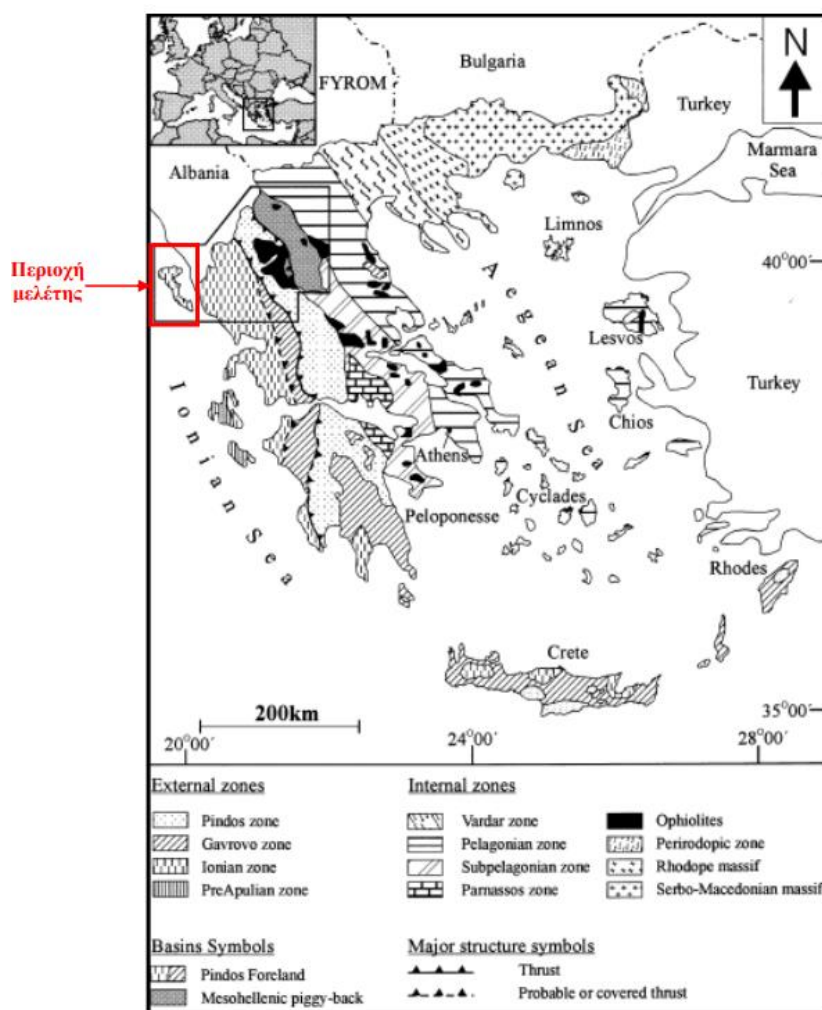
Στο νησί υπάρχουν πολλές κοιλάδες, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι οι κοιλάδες του Λειβαδίου Ράπα, με έκταση 13000 στρεμμάτων. Στο βόρειο τμήμα, υπάρχει μια σημαντική εύφορη πεδινή περιοχή, η οποία έχει υψηλό δείκτη γονιμότητας. Το κεντρικό τμήμα είναι πεδινό, αλλά όχι ενιαίο, καθώς το διασχίζει μια σειρά από λόφους καλυμμένοι με πλούσια βλάστηση. Οι πεδινές εκτάσεις στο ανατολικό τμήμα είναι ιδιαίτερα εύφορες σε αντίθεση με το δυτικό τμήμα, που θα περιγραφόταν ως μέτριο καλλιεργήσιμο και παραγωγικό. Το μεγαλύτερο μέρος του

νότιου τμήματος του νησιού είναι επίπεδο, διαθέτοντας μέτριας κλίμακας γόνιμο έδαφος (Corfu Port Authority S.A., 2019)

2.2 Γεωλογικά Δεδομένα

Στη γεωλογική δομή του νησιού σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Μουντράκης Δημοσθένης, 1985) συμμετέχουν σχηματισμοί της εξωτερικής Ιονίου ζώνης (Σχήμα 2.2) καθώς και μεταλλικές αποθέσεις. Αναλυτικότερα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στο νησί διακρίνονται σε τρεις μεγάλες ομάδες:

- Στην Αλπική σειρά, που δομείται από τους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης.
- Στους Μολασικούς σχηματισμούς μεταλλικής ηλικίας.
- Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις, που αποτελούν τις σύγχρονες αποθέσεις.



Σχήμα 2.2: Απλοποιημένος χάρτης των Γεωτεκτονικών ζωνών των Ελληνίδων (Bornovas and Rodogianni-Tsiambaou 1983), όπου σημειώνεται η περιοχή μελέτης

ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

Το όνομα Ιόνια για τη ζώνη αυτή δόθηκε από τον A. PHILIPPSON (1898), ενώ οι N. NOPCSA (1921) και C. RENZ (1940) την ονομάζουν Αδριατικοϊόνια ζώνη. Η Ιόνια ζώνη αρχίζει από την Αλβανία και εκτείνεται προς τα νότια, προς τη Δυτική Ηπειρωτική Ελλάδα (Ηπειρο και Ακαρνανία), τα Ιόνια Νησιά (Κέρκυρα, ανατολικό τμήμα Λευκάδας, Ιθάκη, Ανατολική Κεφαλονιά και ένα μικρό τμήμα της Ζακύνθου) και τη Β/Δ Πελοπόννησο. Στην περιοχή των Ιονίων Νήσων, η Ιόνια ζώνη είναι επωθημένη προς τα δυτικά πάνω στη ζώνη Παξών, ενώ προς τα ανατολικά πάνω στη ζώνη αυτή βρίσκεται επωθημένη η ζώνη της Πίνδου.

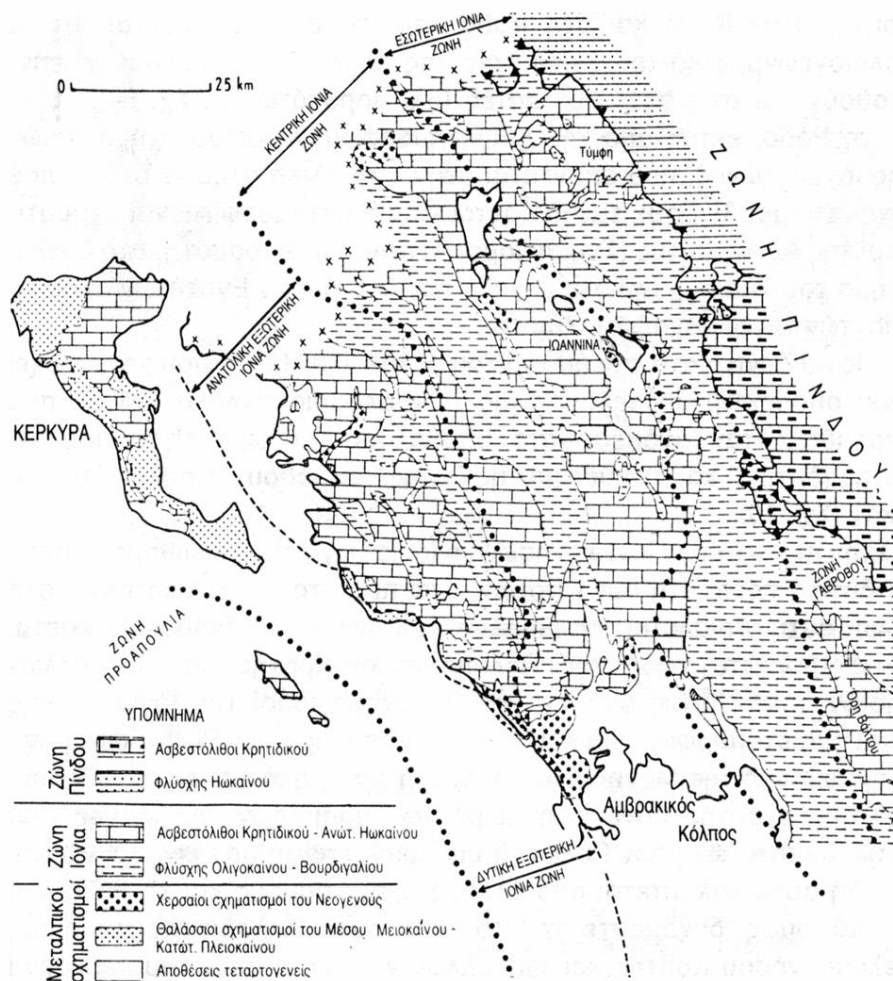
Πραγματοποιήθηκε γεωλογική έρευνα από το Ινστιτούτο Πετρελαίων της Γαλλίας (I.F.P.) και το τότε I.G.E.Y. (σημερινό I.G.M.E.) για την αναζήτηση υδρογονανθράκων της περιοχής, σε κλίμακα 1:50.000 (Κατσικάτσος Γεώργιος, 1992). Κατά τη διάρκεια της έρευνας διαπιστώθηκε, ότι η Ιόνια ζώνη στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας, με βάση τις διαφορές τις οποίες αυτή παρουσιάζει στη στρωματογραφική της επαλληλία στην αξονική περιοχή και στις περιοχές των παρυφών της, διακρίθηκε, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, στις παρακάτω τρεις επί μέρους ζώνες (Σχήμα 2.3):

- α) Την Εξωτερική Ιόνια ζώνη, η οποία διακρίθηκε στη Δυτική Εξωτερική και στην Ανατολική Εξωτερική Ιόνια,
- β) Την Κεντρική Ιόνια ζώνη
- γ) Την Εσωτερική ή Ανατολική Ιόνια ζώνη

Ειδικότερα στη Νήσο Κέρκυρα αναπτύσσονται οι κάτωθι σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης από τους παλαιότερους προς τους νεότερους:

- *Τριαδικά λατυποπαγή και γύψος*: Τα τριαδικά λατυποπαγή είναι προϊόντα τεκτονισμού και παράλληλα διαπειρισμού των εβαποριτών και αρχικών τριαδικών ιζημάτων. Είναι άστρωτοι χαώδεις σχηματισμοί και περιλαμβάνουν ασβεστόλιθους, δολομίτες μελανότεφρους και αργιλομαργαϊκά μελανόχρωμα υλικά. Οι γύψοι περιέχονται μέσα στα λατυποπαγή ή εμφανίζονται μετά από διάβρωση των λατυποπαγών σε μικρές εκτάσεις. Το σύστημα Τριαδικά λατυποπαγή και γύψοι, καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα του νησιού και τμήμα του νότιου και βρίσκεται σχεδόν πάντα σε τεκτονική επαφή με νεογενείς αποθέσεις.

- *Ασβεστόλιθοι Σινιών και Παντοκράτορα (Ιουρασικό)*: Είναι άστρωτοι, λευκοί με κρυσταλλικό συνδετικό υλικό, κατά τόπους δολομιτικό, πάχους γύρω στα 300μ. Στα ανώτερα στρώματα είναι λεπτοπλακώδεις με παρουσία κονδύλων πυριτόλιθων. Εμφανίζονται κυρίως στη Βόρεια Κέρκυρα και συγκεκριμένα στις περιοχές: Λάκωνες, Παντοκράτορας, Άγιος Μάρκος κ.α.



Σχήμα 2.3: Η επί μέρους διάκριση της Ιόνιας ζώνης (Δυτική Εξωτερική, Ανατολική Εξωτερική, Κεντρική και Εσωτερική) και η επωθημένη ζώνη της Πίνδου. (Κατά ΓΑΛΛΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ Ι.Γ.Ε.Υ., με τροποποιήσεις από τον J.AUBOUIN et. al., 1977, από (Κατσικάτος, 1992)

- *Σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες (Ιουρασικό)*: Είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί και παρουσιάζονται σε εναλλαγές από ενστρώσεις ιάσπιδων λευκόφαιου χρώματος μικρού πάχους, με πυριτικούς αργίλους με απολιθώματα. Παρεμβάλλονται ασβεστόλιθοι σε παχιές τράπεζες με κονδύλους λευκών πυριτόλιθων ή μαργαϊκών ερυθρόχρωμων ασβεστολίθων με αμμωνίτες. Απαντούν κυρίως στη Βόρεια Κέρκυρα και περιβάλλουν το βόρειο τμήμα του αντικλίνου του όρους Παντοκράτορα.

- *Ασβεστόλιθοι βίγλας (Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Σενώνιο):* Λευκοί έως υποκίτρινοι, λεπτοπλακώδεις με πυριτολιθικές και αργιλικές ενστρώσεις. Το συνολικό πάχος των αποθέσεων αυτών είναι μεγάλο και εμφανίζονται κυρίως στην ΒΑ Κέρκυρα.
- *Ασβεστόλιθοι Ανώτερου Σενωνίου (Κρητιδικό):* Λατυποπαγείς, υποκίτρινοι ασβεστόλιθοι, οι οποίοι εμφανίζονται κυρίως στη Βόρεια Κέρκυρα.
- *Υπόλευκοι έως ερυθρόχροοι ασβεστόλιθοι (Παλαιόκαινο – Ανώτερο Ηώκαινο):* Είναι ο τελευταίος ασβεστολιθικός σχηματισμός της αλπικής σειράς, πριν την απόθεση του φλύσχη. Εναλλάσσονται με λατυποπαγείς ή μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους και σπάνια πυριτόλιθους. Απαντούν αποκλειστικά στη Βόρεια Κέρκυρα.
- *Φλύσχη (Ανώτερο Ηώκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο):* Αποτελείται από εναλλαγές ψαμιτών, μαργών και οργανογενών ασβεστόλιθων και συναντάται στις Δυτικές υπώρειες του όρους Παντοκράτορα. Στην περιοχή «Επίσκεψη» αποκτά μεγάλο πάχος και αποτελείται από εναλλαγές κυανών και τεφρών μαργών, καθώς και ψαμιτικών ασβεστόλιθων.

ΜΕΤΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από τους μολασσικούς σχηματισμούς (μάργες, ψαμιτομάργες, κροκαλοπαγή, κροκαλολατυποπαγοί και γύψους) μειοπλειοκαινικής ηλικίας, καθώς και τεταρτογενές (πρόσφατες, χαλαρές αποθέσεις). Οι μολασσικοί σχηματισμοί επικάθονται σε ασυμφωνία στους προαναφερόμενους σχηματισμούς της αλπικής σειράς.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Είναι οι νεότερες και σύγχρονες αποθέσεις, όπως οι προσχώσεις κοιλάδων, οι παράκτιες αποθέσεις, τα κορήματα, οι θίνες κλπ. Οι θίνες, παλαιές και νέες, αναπτύσσονται γύρω από τη λίμνη Κορισσίων (Νότια Κέρκυρα). Τα κορήματα καλύπτουν τις πλαγιές των λόφων και βουνών και σε ορισμένες εξόδους ορεινών κοιλάδων σχηματίζουν μικρούς κώνους. Τέλος, οι προσχώσεις από φερτά υλικά καλύπτουν τις κοίτες των χειμάρρων και τις μικρές κοιλάδες, καθώς και τις παράκτιες πεδινές περιοχές. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι γενικά αργιλοαμμώδους σύστασης. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.

2.3 Σεισμικότητα και Τεκτονικά Δεδομένα

Οι Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας είναι 3 (I,II,III), και την μέγιστη επικινδυνότητα την έχει η ζώνη III. Το νησί της Κέρκυρας συνολικά κατατάσσεται στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας II (ζώνη μέσης σεισμικής επικινδυνότητας), κατά την κατανομή του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ – 2000 – (Τροποποίηση ΦΕΚ Β΄ 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275).

Η περιοχή του Ιόνιου Πελάγους χαρακτηρίζεται ως η περιοχή της Ελλάδας με έντονη σεισμική δραστηριότητα, η οποία εκφράζεται με πολυάριθμους ιστορικούς και πρόσφατους σεισμούς. Η συγκεκριμένη περιοχή χωρίζεται σε πέντε ανεξάρτητα τεκτονικά τεμάχια (blocks) (Σχήμα 2.4), με βάση τη χρήση της Ελληνικής Βάσης Δεδομένων Ενεργών Ρηγμάτων (Greek Database of Seismogenic Sources – GreDaSS). Τα τεμάχια αυτά είναι της Ζακύνθου, της Κεφαλονιάς (δύο ανεξάρτητα τεμάχια), της Λευκάδας και της Κέρκυρας.



Σχήμα 2.4: Τα ανεξάρτητα τεκτονικά τεμάχια (blocks) της περιοχής του Ιόνιου Πελάγους (1: Ζάκυνθος block, 2α: Κεφαλονιά block, 2β: Κεφαλονιά block, 3: Λευκάδα block και 4: Κέρκυρα block).

Στο βορειοδυτικό τμήμα του Ιόνιου Πελάγους ορίζεται το πέμπτο ανεξάρτητο τεκτονικό τεμάχος (block) της περιοχής με την ονομασία «Κέρκυρα block». Το συγκεκριμένο τεκτονικό τεμάχος είναι συγκριτικά το λιγότερο τεκτονικά ενεργό από

τα υπόλοιπα τεκτονικά τεμάχια του Ιόνιου Πελάγους. Σύμφωνα με την Ελληνική Βάση Δεδομένων Ενεργών Ρηγμάτων (GreDaSS) περιλαμβάνει πέντε Σύνθετα Ενεργά Ρήγματα (CSSs), ένα εκ των οποίων προεκτείνεται στην περιοχή της Αλβανίας.

Όσον αφορά την περιοχή του εξεταζόμενου τεκτονικού τμήματος, όπως αναφέρθηκε, τοποθετείται στο βόρειο – βορειοδυτικό τμήμα του Ιόνιου Πελάγους, φθάνοντας ουσιαστικά μέχρι το όριο του με την Αδριατική Θάλασσα. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία σημαντικών ανάστροφων ρηγμάτων δυτικά της Κέρκυρας και από το σύστημα της υποθαλάσσιας κοιλάδας Κέρκυρας – Κεφαλονιάς (ανατολικά της Κέρκυρας), το οποίο εκτείνεται παράλληλα με την ελληνική υφαλοκρηπίδα, παρουσιάζοντας ένα διαμήκη άξονα ΒΒΔ – ΝΝΑ παράταξης, μέχρι το βορειοδυτικό τμήμα της Κεφαλονιάς (Poulos, Lykousis, Collins, Rohling, & Pattiaratchi, 1999).

Σχετικά με την τεκτονική και στρωματογραφική γεωλογική σύνθεση, η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία ανάστροφων ρηγμάτων και πτυχών, η ενεργοποίηση των οποίων έχει πραγματοποιηθεί από το Μειόκαινο (Brooks & Ferentinos, 1984). Τα τεκτονικά παραμορφωμένα ιζήματα, μεταβλητού πάχους, είναι τοποθετημένα πάνω στα στρώματα Κρητιδικής – Μειοκαινικής ηλικίας, συμπεριλαμβάνοντας και τους εβαπορίτες, ηλικίας Μεσσηνίου. Ταυτόχρονα η τοπική τεκτονική περιλαμβάνει πολύπλοκα μοντέλα ολίσθησης, τα οποία προκύπτουν από την υψηλή σεισμικότητα, με σημαντικές κινήσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα έντονες στη δυτική Ελλάδα. Αυτές οι κινήσεις αναμένεται να προκαλέσουν μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις της τάξεως του 20–30% g στο νότιο τμήμα του τεκτονικού τεμάχους και ειδικά κατά μήκος του ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλονιάς, η ζώνη δράσης του οποίου αποτελεί το νότιο όριο του συγκεκριμένου τεκτονικού τεμάχους, ενώ μειώνεται σε 10–15% g προς το βόρειο τμήμα της περιοχής (Makropoulos & Burton, 1985) και ελαχιστοποιείται στο βορειότερο τμήμα του τεκτονικού τεμάχους.

2.4 Προστατευόμενες Περιοχές

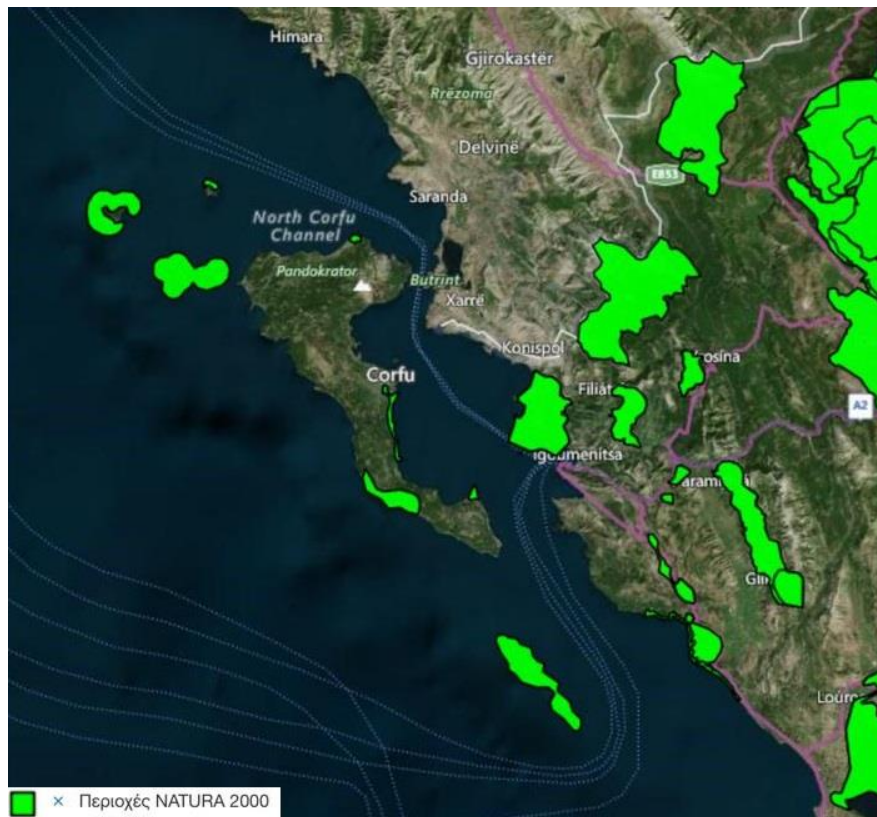
Από τα σημαντικότερα συστατικά του πλέγματος ρυθμίσεων για την προστασία της βιοποικιλότητας είναι η εφαρμογή της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ και η ένταξη σημαντικού αριθμού περιοχών στο Δίκτυο Natura 2000, το ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών. Το

Ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης που εκτείνεται σε ολόκληρη την Κοινότητα και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών: αποτελείται από τις Ειδικές Ζώνες Διατήρησης σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ και από τις Ζώνες Ειδικής Προστασίας για τα Πουλιά σύμφωνα με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ. Οι περιοχές του δικτύου τίθενται υπό καθεστώς ειδικής διαχείρισης, που καθορίζεται από κάθε κράτος-μέλος λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικές, οικονομικές και πολιτιστικές ιδιαιτερότητες (ΥΠΕΝ, Δίκτυο NATURA 2000, χ.χ.).

Το πλήθος των περιοχών του δικτύου Natura 2000 στον Νομό Κέρκυρας παρατίθεται στον επόμενο Πίνακα 2.1 και στο Σχήμα 2.5, αποτελεί σαφές μέτρο του εύρους που παρουσιάζει η βιοποικιλότητα στη ευρύτερη περιοχή μελέτης (Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης (Φ.Ε.Κ.) Α 3937 /31.03.2011, Αρ. Φύλλου 60, 2011). Το ποσοστό της εδαφικής έκτασης στο Νομό Κέρκυρας που έχει ενταχθεί στο Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί περίπου το 16.20% της συνολικής επιφάνειας του νησιού.

Πίνακας 2.1: Ενταγμένες περιοχές του Νομού Κέρκυρας στο Δίκτυο Natura 2000

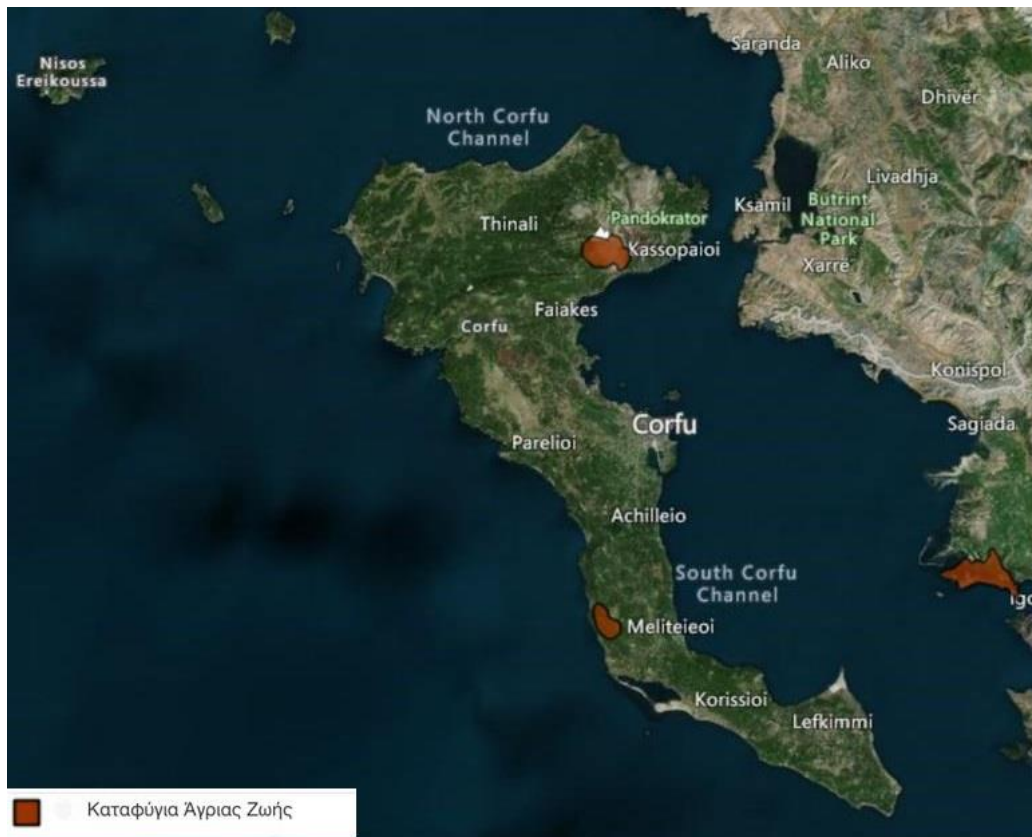
A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ ΤΟΠΟΥ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΟΠΟΥ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΠΟΥ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
1	GR2230001	ΕΖΔ/ΖΕΠ	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΑΝΤΙΝΙΟΤΗ (ΚΕΡΚΥΡΑ)	1.88
2	GR2230002	ΕΖΔ	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΚΟΡΙΣΣΙΩΝ (ΚΕΡΚΥΡΑ)	22.92
3	GR2230003	ΕΖΔ /ΖΕΠ	ΑΛΥΚΗ ΛΕΥΚΙΜΗΣ (ΚΕΡΚΥΡΑ)	2.43
4	GR2230004	ΕΖΔ	ΝΗΣΟΙ ΠΑΞΟΙ & ΑΝΤΙΠΑΞΟΙ	56.50
5	GR2230005	ΕΖΔ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΩΝΗ ΑΠΟ ΚΑΝΟΝΙ ΕΩΣ ΜΕΣΟΓΓΙ (ΚΕΡΚΥΡΑ)	8.88
6	GR2230007	ΖΕΠ	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΚΟΡΙΣΣΙΩΝ (ΚΕΡΚΥΡΑ) & ΝΗΣΟΣ ΛΑΓΟΥΔΙΑ	10.51
7	GR2230008	ΖΕΠ	ΔΙΑΠΟΝΤΙΑ ΝΗΣΙΑ (ΟΘΩΝΟΙ, ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ, ΜΑΘΡΑΚΙ ΚΑΙ ΒΡΑΧΟΝΗΣΙΔΕΣ)	10.15



Σχήμα 2.5: Περιοχές Natura 2000 στη Νήσο Κέρκυρας (<https://geodata.gov.gr/maps/?locale=en>)

Ταυτόχρονα πέρα από τις περιοχές Natura 2000 στο νησί εμφανίζονται και καταφύγια Άγριας Ζωής. Καταφύγια Άγριας Ζωής χαρακτηρίζονται φυσικές περιοχές (χερσαίες, υδάτινες ή θαλάσσιες), που έχουν ιδιαίτερη σημασία ως σημαντικοί τόποι ανάπτυξης της άγριας χλωρίδας ή ως βιότοποι αναπαραγωγής, διατροφής, διαχείμασης ειδών της άγριας πανίδας, ή ως περιοχές αναπαραγωγής ψαριών και συγκέντρωσης γόνου, ή τέλος, ως σημαντικά θαλάσσια ενδιαίτηματα. Καταφύγια άγριας ζωής ορίζονται και οι οικολογικοί διάδρομοι μεταξύ περιοχών. Στην Κέρκυρα συναντώνται δύο περιοχές χαρακτηρισμένες ως καταφύγια άγριας ζωής (ENVECO A.E., 2016):

1. Η περιοχή «Υψηλός Παντοκράτωρας (Σπαρτύλα- Πεταλείας- Νησακίου)» με κωδικό K217.
2. Η περιοχή «Παντοκράτωρας Βίγλα (Αγ. Ματθαίου)» με κωδικό K238.



Σχήμα 2.6: Καταφύγια Άγριας Ζωής στη Νήσο Κέρκυρας (<https://geodata.gov.gr/maps/?locale=el>)

2.5 Χρήσεις Γης

Η κατανομή των χρήσεων γης (χερσαίοι οικότοποι – ενδιαιτήματα) στην ευρύτερη περιοχή σύμφωνα με τα δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover 2018 παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2. και το Σχήμα 2.7. Σύμφωνα με τα παρακάτω προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής καλύπτεται από ετερογενείς γεωργικές περιοχές και πιο αναλυτικά από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και από γεωργικές περιοχές με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης σε ποσοστό 40.22%. Στη συνέχεια ακολουθεί η χρήση γης από μόνιμες καλλιέργειες, κυρίως ελαιώνων και σε μικρή έκταση από αμπελώνες σε συνολικό ποσοστό 29.07%. Σε όλη την έκταση του νησιού της Κέρκυρας παρατηρούνται σε πάρα πολύ μικρά ποσοστά και οι υπόλοιπες χρήσεις όπως:

- Αστικό οικοδόμημα
- Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας
- Ορυχεία, μεταλλεία, χώροι απορρίψης απορριμμάτων, κατασκευές
- Τεχνητή, μη γεωργική περιοχή

- Βοσκότοπος
- Παραθαλάσσιοι υγρότοποι

Πίνακας 2.2: Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης και η έκτασή τους στο Νομό της Κέρκυρας

corine code	Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης		Επιφάνεια km ²
111	Αστική οικοδόμηση	Συνεχής αστική οικοδόμηση	1.17
112		Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	23.07
121	Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	2.97
123		Ζώνες λιμένων	0.64
124		Αεροδρόμια	0.7
131	Ορυχεία, χώροι απορρίψεως	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0.29
132		Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	0.29
141	Τεχνητές, μη-γεωργικές ζώνες	Περιοχές αστικού πρασίνου	0.26
142		Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	20.51
211	Αρόσιμη γη	Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη	11.41
221	Μόνιμες καλλιέργειες	Αμπελώνες	1.95
223		Ελαιώνες	175.69
231	Λιβάδια	Λιβάδια	10.51
242	Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	128.37
243		Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	117.43
311	Δάση	Δάσος πλατύφυλλων	2.46
312		Δάσος κωνοφόρων	0.51
313		Μικτό Δάσος	5.79
321	Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	Φυσικοί βοσκότοποι	4
323		Σκληροφυλλική βλάστηση	72.02
324		Μεταβατικές δασώσεις-θαμνώδεις εκτάσεις	0.66
331	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	1.98
333		Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	20.22
411	Εσωτερικοί υγρότοποι	Βάλτοι στην ενδοχώρα	0.34
421	Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	Παραθαλάσσιοι βάλτοι	1.13
422		Αλυκές	0.94
521	Θαλάσσια ύδατα	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	5.88

Χρήσεις γης στην Κέρκυρα



Σχήμα 2.7: Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης στο Νομό Κέρκυρας

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων-Στοιχεία Περιοχής Μελέτης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εύρεση βέλτιστης χωροθέτησης φραγμάτων στο νησί της Κέρκυρας αναλύονται παρακάτω. Η μεθοδολογία χωροθέτησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δεδομένα που αποτυπώνουν το Νησί της Κέρκυρας. Ειδικά, η διαθεσιμότητα των δεδομένων σε μορφή συμβατή με τα ΣΓΠ ήταν κρίσιμη για την ολοκλήρωση της εργασίας, καθώς τόσο οι περιοχές αποκλεισμού όσο και τα κριτήρια αξιολόγησης απαιτούσαν χωρικά δεδομένα με ικανοποιητική ακρίβεια.

Ορισμένα δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα, οπότε σε κάποιες περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίησή τους. Καθώς δεν ήταν εφικτό να γίνει το ίδιο για όλα τα δεδομένα που δεν ήταν διαθέσιμα, αυτά είτε παραλήφθηκαν είτε τροποποιήθηκε η χρήση των κριτηρίων του μοντέλου, ώστε κατά το δυνατόν να ανταποκρίνονται στους περιορισμούς που ορίζει η νομοθεσία και στα κριτήρια της διεθνούς επιστημονικής εμπειρίας.

3.1.1 Στοιχεία Περιοχής Μελέτης

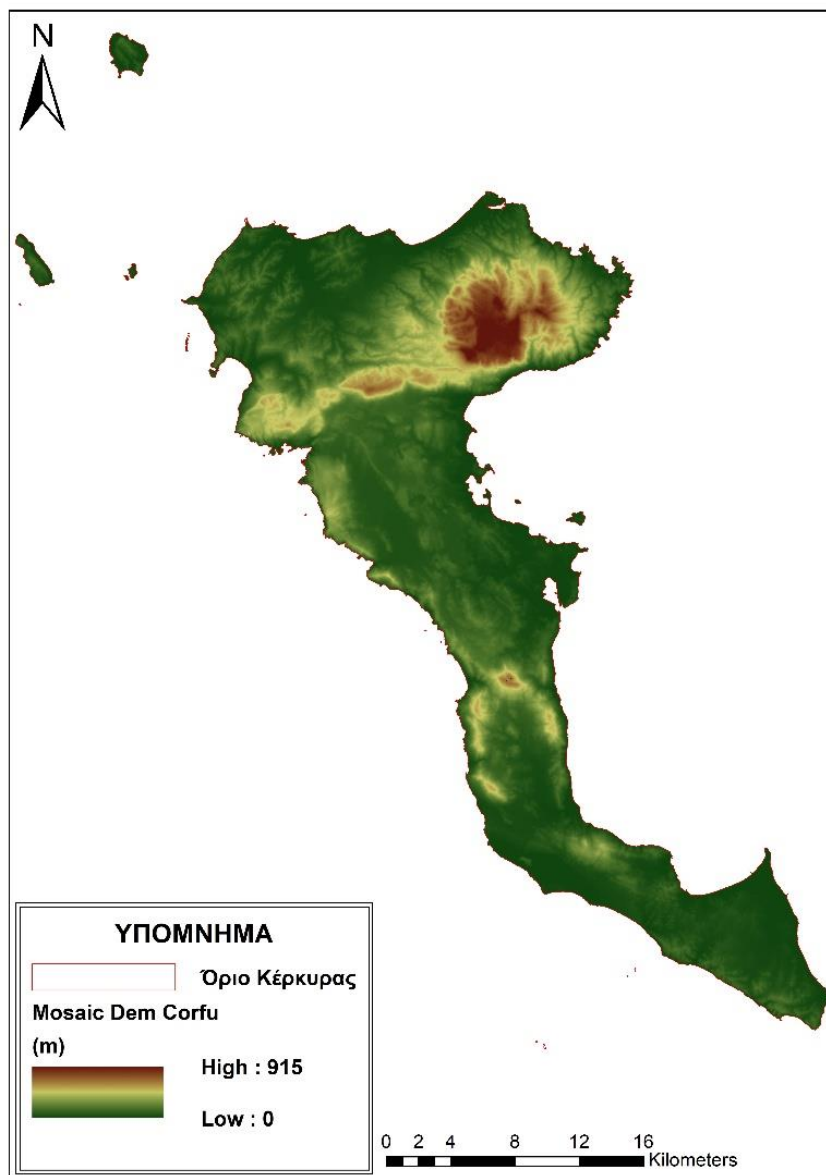
Η πλειοψηφία των δεδομένων συλλέχθηκε από την κρατική πύλη ανοιχτών δεδομένων (<http://geodata.gov.gr>) και έγινε η εισαγωγή των αρχείων στο περιβάλλον ArcGIS. Απουσίαζαν από τη συγκεκριμένη βάση δεδομένων το οδικό δίκτυο, οι γεωλογικοί σχηματισμοί και τα τεκτονικά δεδομένα της περιοχής. Το οδικό δίκτυο αντλήθηκε από τη βάση γεωχωρικών δεδομένων OpenStreet maps, ενώ οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι τεκτονικές πληροφορίες συλλέχθηκαν από τη Γεωπύλη Δεδομένων της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.) (<http://gaia.igme.gr>). Ακολουθεί ο Πίνακας 3.1 που αναφέρει όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, τον τύπο αρχείου τους, καθώς και την πηγή από την οποία αντλήθηκαν.

Πίνακας 3.1: Δεδομένα Εισόδου – Επίπεδα πληροφοριών της μεθοδολογίας χωροθέτησης

Κατηγορία	Δεδομένα	Τύπος αρχείου	Πηγή
Διοικητικά όρια	Καλλικρατικό Δήμοι	Polygon	http://geodata.gov.gr
Μορφολογία	DEM ανάγλυφο	Raster	http://geodata.gov.gr
Γεωλογία	Γεωλογικοί σχηματισμοί	Polygon	http://gaia.igme.gr
	Τεκτονικά	Linear	http://gaia.igme.gr
Υποδομές	Οδικό δίκτυο [κύριο, δευτερεύον]	Linear	https://www.openstreetmap.org
Περιβάλλον	Δίκτυο Natura 2000	Polygon	http://geodata.gov.gr
	Καταφύγια αγρίας ζωής	Polygon	http://geodata.gov.gr
Χρήσεις γης	Corine 2008	Polygon	https://land.copernicus.eu/

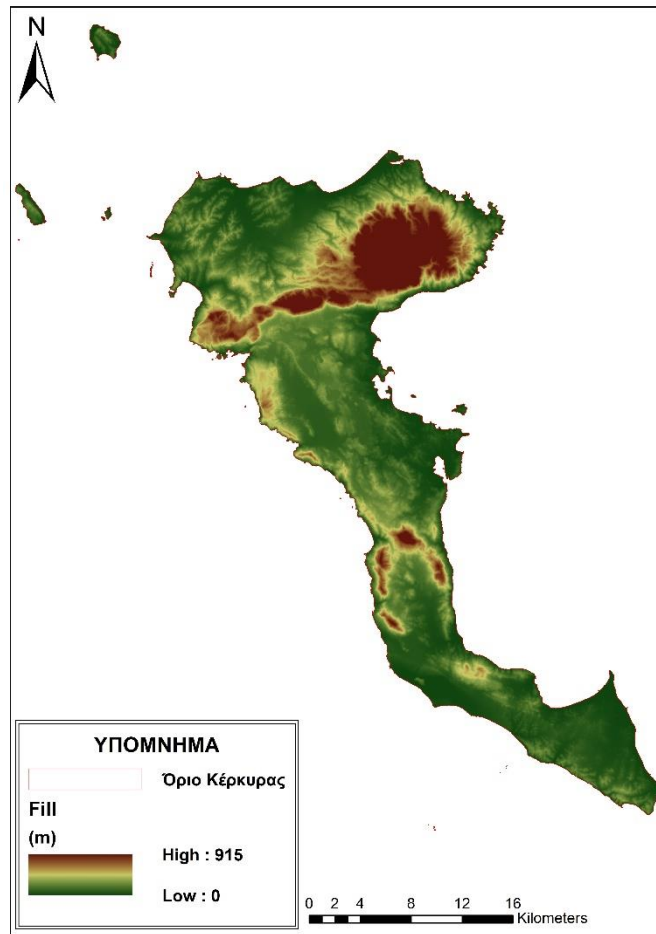
3.1.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)

Χορηγήθηκαν από το Κτηματολόγιο Α.Ε. κανονικοποιημένα αρχεία raster που αποτελούν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την περιοχή της Κέρκυρας. Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) έχει μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 5.00 m. Κάθε πινακίδα DEM έχει διαστάσεις στο έδαφος 4600 m x 3600 m, με περιμετρική επικάλυψη 300 m, και ακολουθούν τη διανομή ΕΓΣΑ87 κλίμακας 1:5000. Ο τύπος των αρχείων είναι img. Η γεωμετρική ακρίβεια του προϊόντος είναι $RMSE_z \leq 2.00$ m και η απόλυτη ακρίβεια ≤ 3.92 m για επίπεδο εμπιστοσύνης 95.00%. Στη συνέχεια τα αρχεία αυτά αποτέλεσαν αρχεία εισόδου στο πρόγραμμα ArcGIS και προκειμένου να ενωθούν και να δημιουργηθεί ένα ενιαίο ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την περιοχή της Κέρκυρας, χρησιμοποιήθηκε το Mosaic to new raster και έτσι προέκυψε το DEM Mosaic για όλη την Κέρκυρα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.

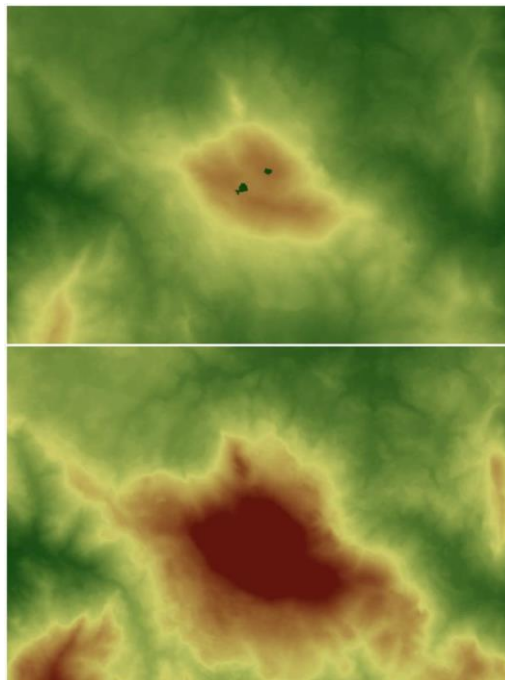


Σχήμα 3.1: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους για την Κέρκυρα

Κάποια σημεία/περιοχές δεν περιείχαν τιμή στο DEM ή η τιμή που είχαν ήταν εσφαλμένα μηδενική, δηλαδή αποτελούσαν βυθίσματα.. Χρησιμοποιήθηκε η εντολή Fill από το ArcToolbox επιλέγοντας Spatial Analyst Tools, ώστε να διορθωθεί το DEM και να βρεθεί η σωστή διαδρομή του νερού. Πιο αναλυτικά, η εντολή Fill διορθώνει τα βυθίσματα, ένα ή περισσότερα φατνία γύρω από το οποίο όλα τα φατνία έχουν μεγαλύτερο υψόμετρο, που προκύπτουν κατά τη δημιουργία του DEM. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Κέρκυρας μετά την εφαρμογή της εντολής Fill και στο Σχήμα 3.3 η σύγκριση του DEM σε μεγέθυνση μετά την εντολή.



Σχήμα 3.2: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Κέρκυρας μετά τη διόρθωση

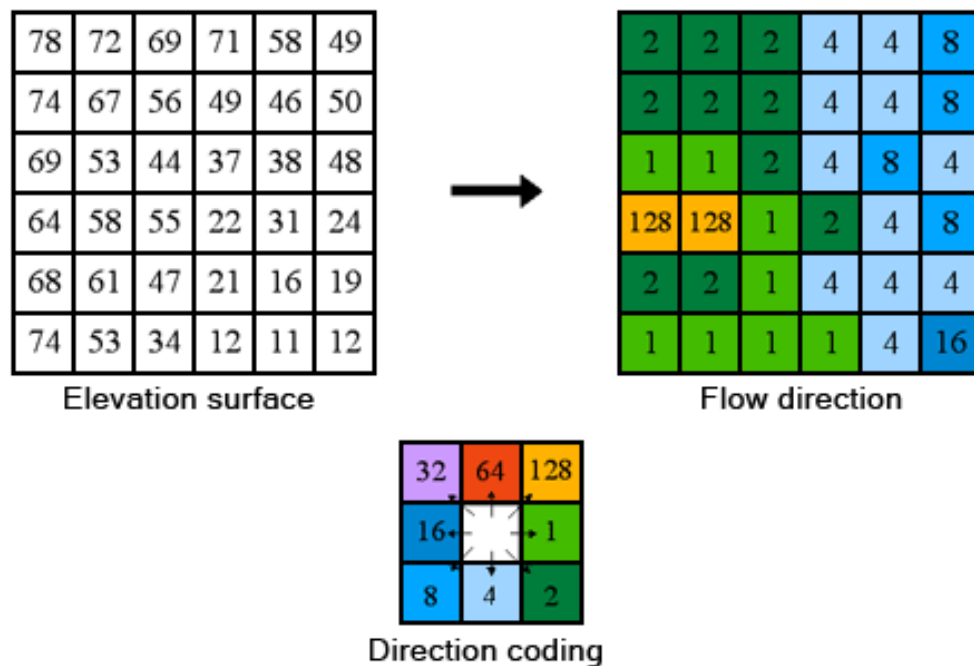


Σχήμα 3.3: Πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής Fill στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Για τη δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία, η οποία περιλάμβανε τις εξής εντολές:

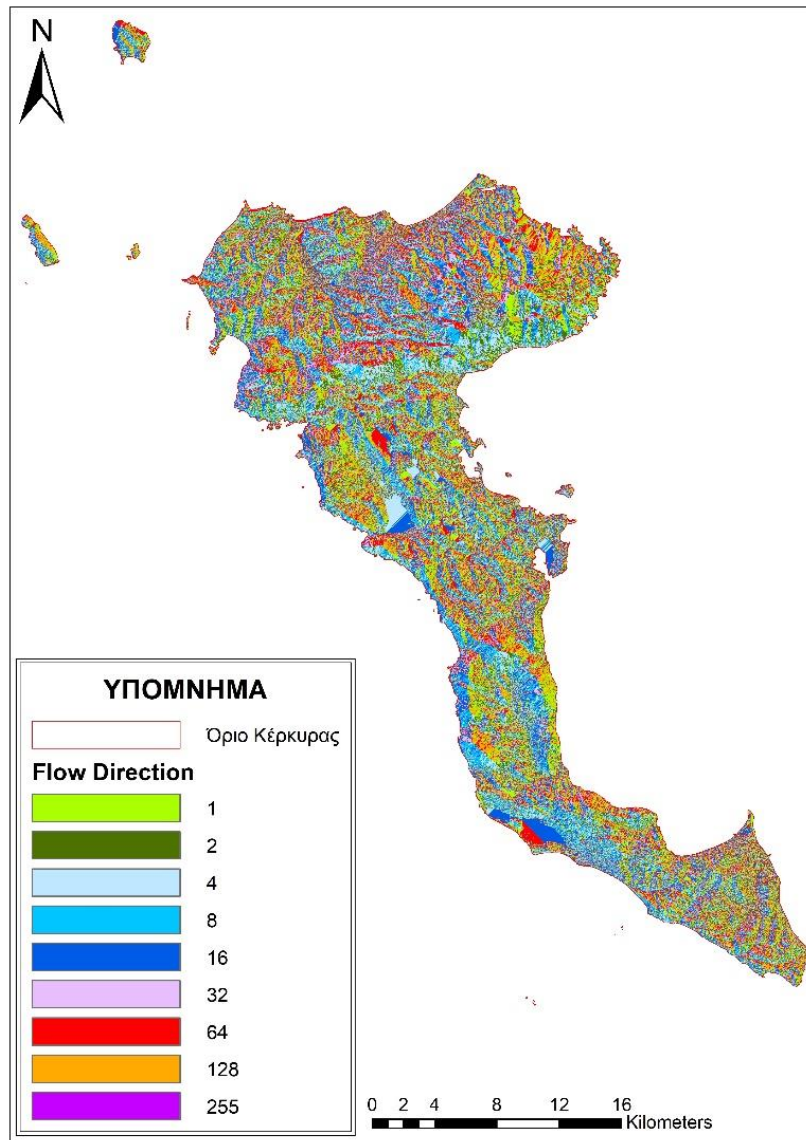
- Flow Direction:

Η εντολή είναι στο ArcToolbox στην κατηγορία Spatial Analyst Tools και στη υποκατηγορία Hydrology. Ο τρόπος για να καθοριστεί η κατεύθυνση της ροής μιας επιφάνειας, είναι να προσδιοριστεί η κατεύθυνση απορροής από κάθε κελί. Για το σκοπό αυτό δημιουργείται ένας κάρταβος, ο οποίος ορίζει ότι κάθε εικονοστοιχείο του DEM μπορεί να απορρέει προς ένα από τα 8 γειτονικά εικονοστοιχεία. Η διεύθυνση που απορρέει είναι με βάση τη μεγαλύτερη κλίση, συνεπώς η διεύθυνση απορροής του εικονοστοιχείου παίρνει μία από τις τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 3.4 (Law & Collins, 2022). Για παράδειγμα όταν το εικονοστοιχείο παίρνει την τιμή 1, αυτό υποδηλώνει ότι πάει στο δεξιό του εικονοστοιχείο (ανατολικά). Στο Σχήμα 3.5 απεικονίζεται το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή της εντολής Flow Direction στην περιοχή της Κέρκυρας.



Σχήμα 3.4: Τιμές εικονοστοιχείου ανάλογα με τον κάρταβο διεύθυνσης απορροής

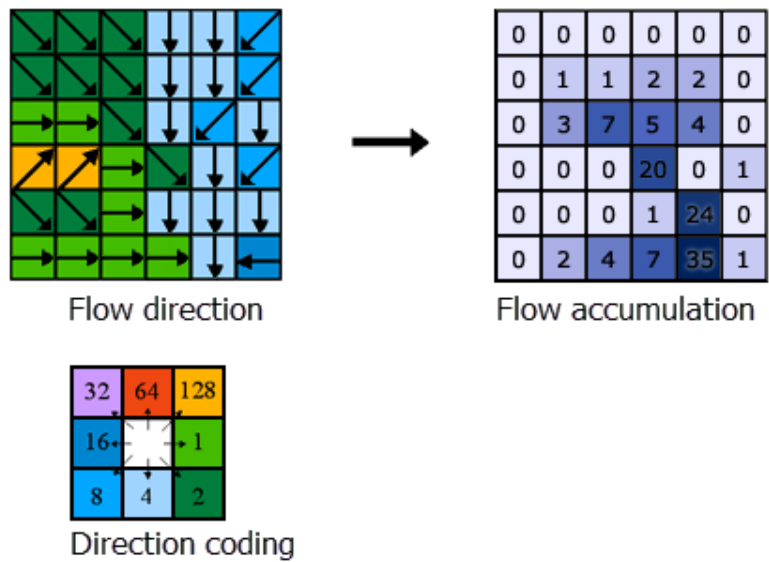
(<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>)



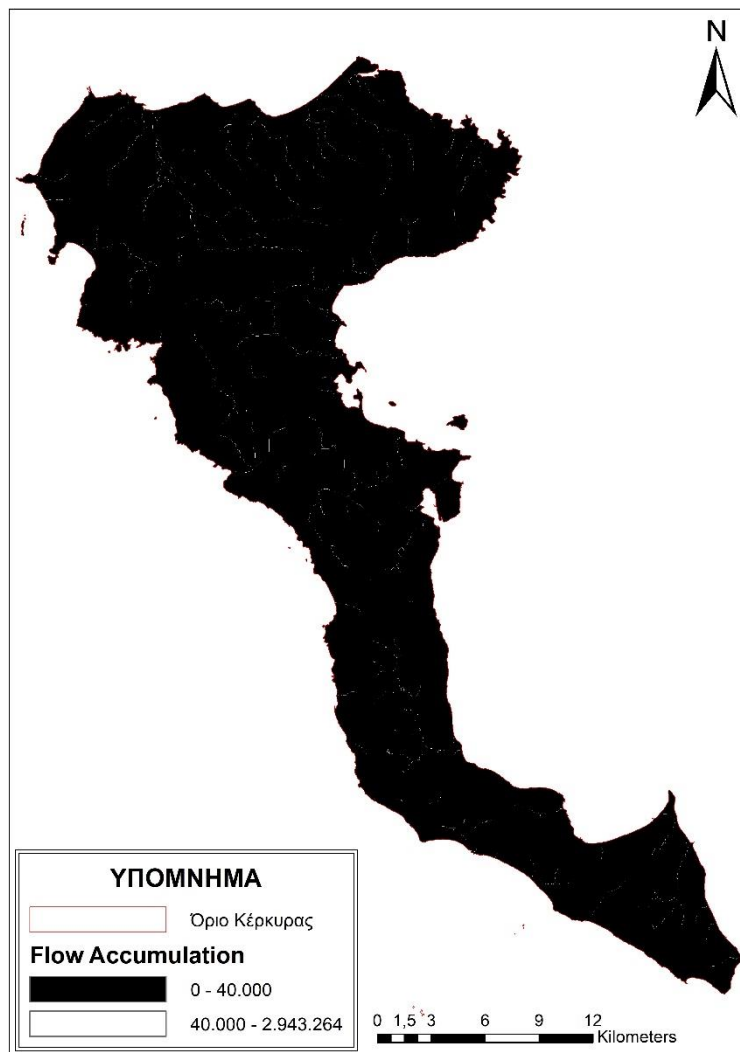
Σχήμα 3.5: Εφαρμογή της εντολής *Flow Direction* στην Κέρκυρα

- Flow Accumulation

Η εντολή είναι στο ArcToolbox στην κατηγορία *Spatial Analyst Tools* και στη υποκατηγορία *Hydrology*. Η εντολή δημιουργεί τον κানাβο συγκέντρωσης ροής, υπολογίζει σε κάθε εικονοστοιχείο πόσα γειτονικά εικονοστοιχεία απορρέουν, δημιουργώντας ουσιαστικά ένα υδρογραφικό δίκτυο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.6 (Law & Collins, 2022). Στη συνέχεια από το *Symbology* ορίζεται ο αριθμός κλάσεων με $N=2$, ώστε να διακρίνονται και οι κλάδοι μικρότερης τάξης και κατώφλι με την εντολή *Break Values* π.χ. 40000, το οποίο είναι σημαντικό βήμα για την ανάλυση. Στο Σχήμα 3.7 απεικονίζεται το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της εντολής με δύο τάξεις.



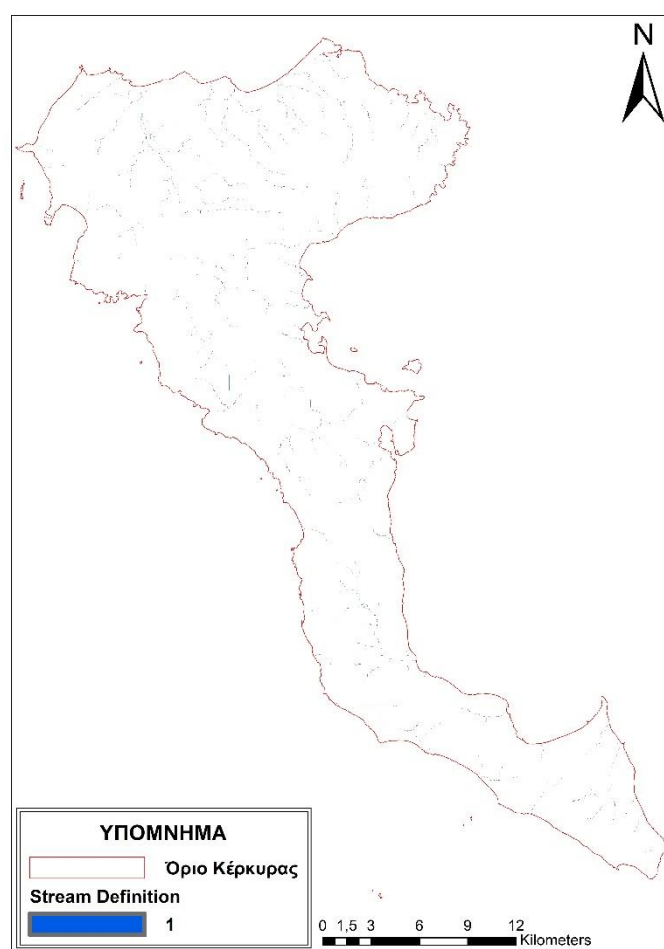
Σχήμα 3.6: Κάναβος συγκέντρωσης ροής (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>)



Σχήμα 3.7: Εφαρμογή της εντολής Flow Accumulation στην Κέρκυρα

3.1.2.1 HEC-GeoHMS

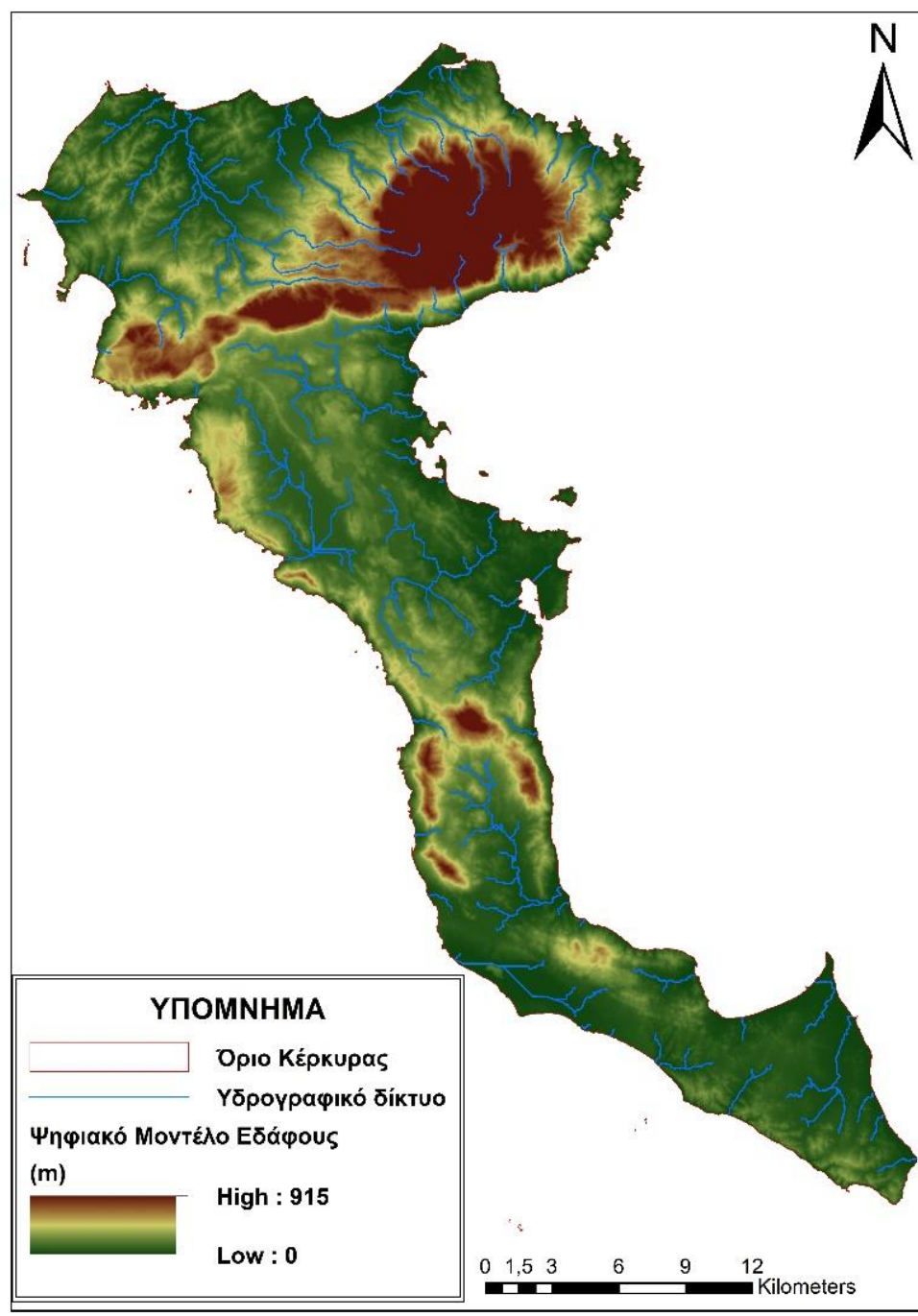
Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η εντολή του Flow Accumulation, πραγματοποιείται εγκατάσταση και εισαγωγή του προγράμματος HEC-GeoHMS στο ArcGIS, το οποίο αποτελεί βασικό υδρολογικό εργαλείο για τους μηχανικούς. Από το HEC-GeoHMS επιλέγεται η εντολή Stream Definition, στην οποία ορίζεται ένα μέγεθος ανάντη λεκάνης π.χ. 1 km² και το κατώφλι εικονοστοιχείων που απαιτούνται. Προκύπτει μέσω της εντολής το υδρογραφικό δίκτυο σε μορφή raster, στο οποίο όποιο pixel έχει τιμή 1 αποτελεί υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Στο Σχήμα 3.8 απεικονίζεται το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της εντολής.



Σχήμα 3.8: Εφαρμογή της εντολής Stream Definition στην Κέρκυρα

Στη συνέχεια γίνεται η μετατροπή του αρχείου raster σε vector μέσω της εντολής Drainage Line Processing του HEC-GeoHMS. Εφόσον προέκυψε το αρχείο του υδρογραφικού αρχείου σε vector μορφή, χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο και το basemap, μια εντολή του ArcMap, «add Basemap». Σύμφωνα με την Esri πρόκειται για χάρτη με ανάλυση ενός μέτρου, και περιέχει εικόνες με ανάλυση 15 m TerraColor για

μικρές και μεσαίες κλίμακες και 2.5m Spot για τον κόσμο, και έχει εναλλασσόμενη ακρίβεια με βάση το zoom. Επίσης έγινε και γρήγορη μετάβαση στο Google Earth, ώστε χρησιμοποιώντας το τελευταίο αλλά και το Basemap να γίνει σύγκριση με την κατάσταση που επικρατεί σήμερα. Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται το υδρογραφικό δίκτυο για την περιοχή της Κέρκυρας, όπως προέκυψε μετά τις διορθώσεις.

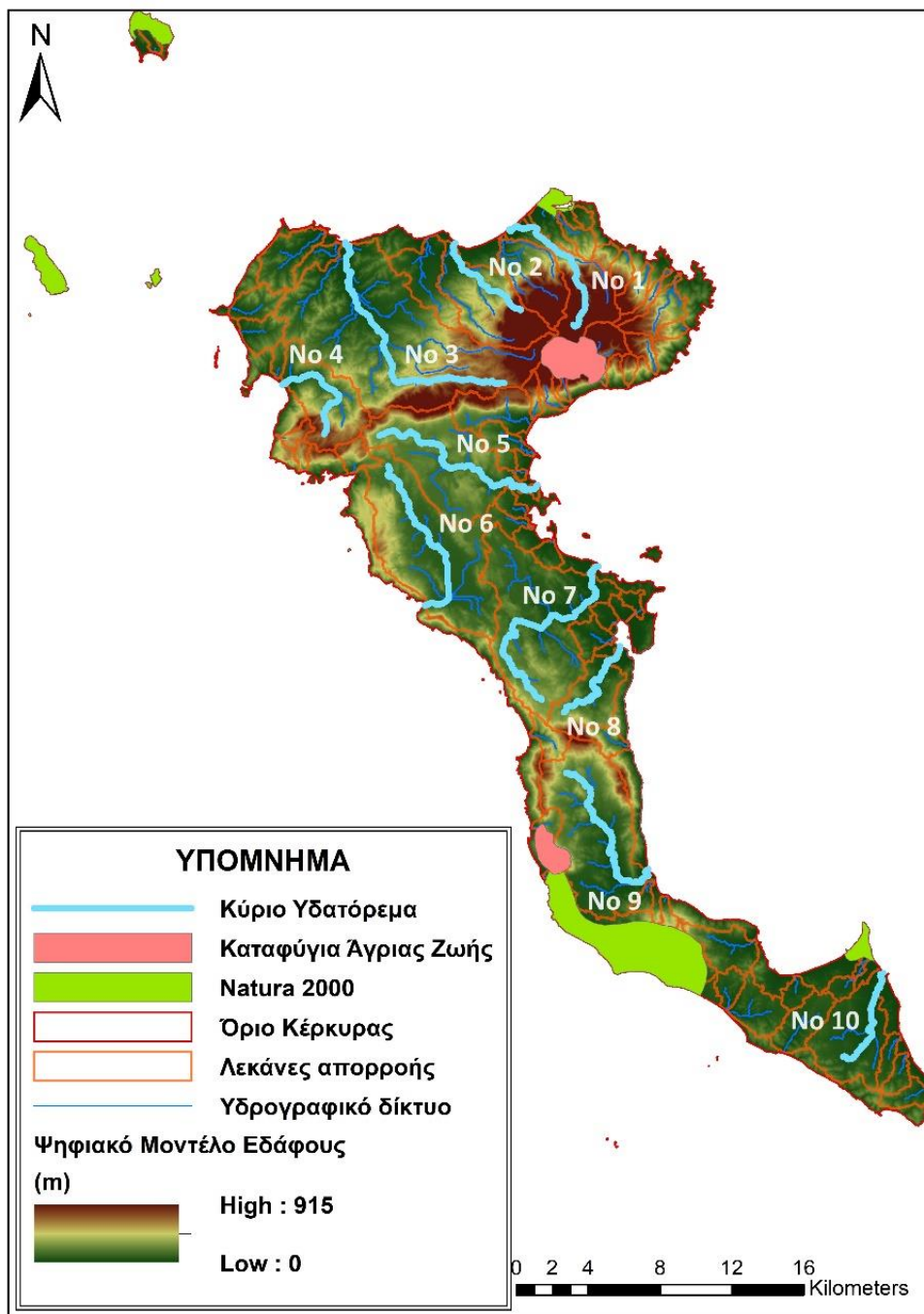


Σχήμα 3.9: Υδρογραφικό Δίκτυο της Κέρκυρας

Μετά τη δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου ακολούθησε η διαδικασία κατάταξής του σε τάξεις, σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler. Η μέθοδος Strahler (1952) αποτελεί μία από τις γνωστότερες μεθόδους ταξινόμησης-αρίθμησης των υδροφόρων δικτύων, με σκοπό την εύρεση του κύριου υδατορέματος της περιοχής. Η εντολή αυτή βρίσκεται στο ArcToolbox επιλέγοντας Spatial Analyst Tools, Hydrology και στη συνέχεια Stream Order, έτσι δημιουργήθηκε ένα αρχείο raster, το οποίο είχε τις διάφορες τάξεις, στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης εμφανίστηκαν 4 τάξεις, δηλαδή 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης}. Στη συνέχεια το αρχείο αυτό μετατράπηκε σε vector και από εκείνο προέκυψε το κύριο υδατόρεμα για κάθε λεκάνη στην περιοχή της Κέρκυρας.

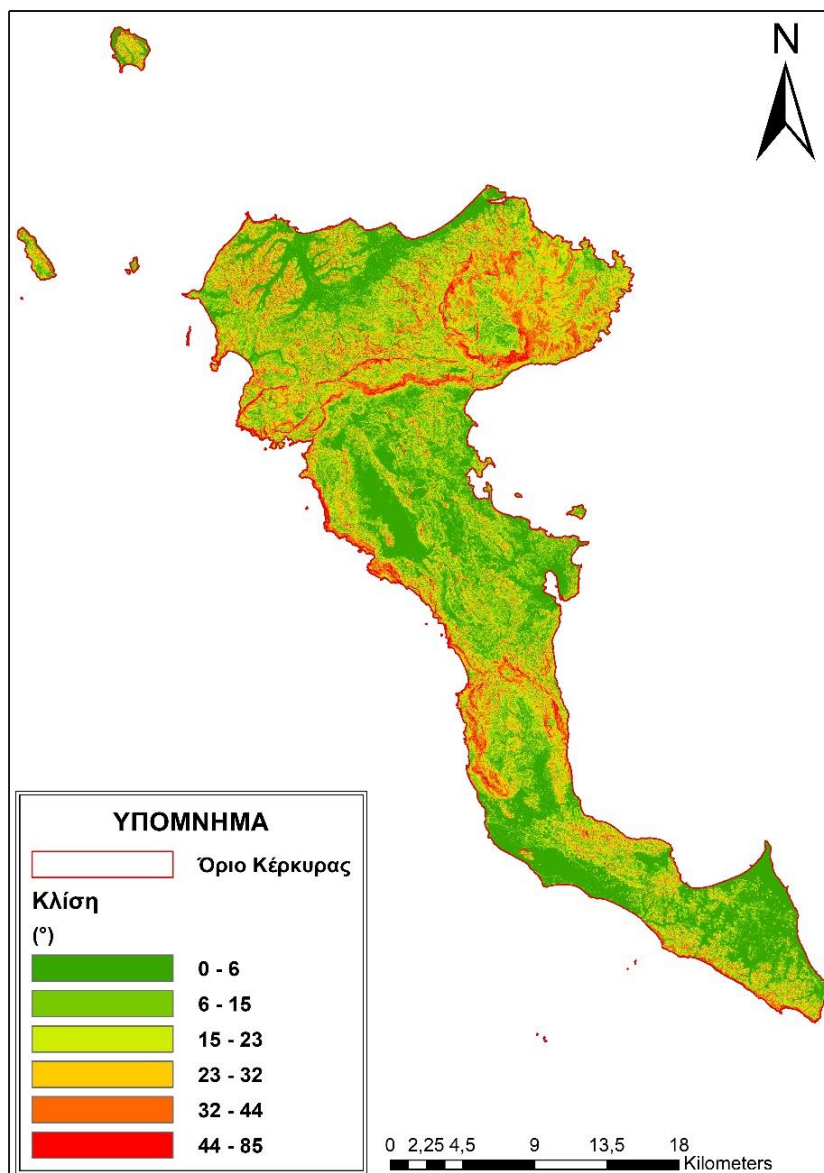
Μέσω της εντολής Catchment Polygon Processing του HEC-GeoHMS δημιουργήθηκαν όλες οι υπολεκάνες για το υδρογραφικό δίκτυο της Κέρκυρας. Με τη χρήση του editor έγινε ένωση (merge) των υπολεκανών, με σκοπό τη δημιουργία όλων των λεκανών της περιοχής μελέτης. Υπολογίστηκε η επιφάνεια κάθε λεκάνης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km²) και με βάση το μέγεθος της λεκάνης, επιλέχθηκαν ποια κύρια υδατορέματα κάθε λεκάνης θα μελετηθούν για την εύρεση βέλτιστης θέσης χωροθέτησης ενός ταμιευτήρα. Το μέγεθος της λεκάνης παίζει σημαντικό ρόλο στη χωροθέτηση ενός ταμιευτήρα, καθώς καθορίζει την ποσότητα του διαθέσιμου νερού που θα υπάρχει στην λεκάνη (Government of Western Australia, 2019). Το μέγεθος της λεκάνης πρέπει να είναι τόσο ώστε το διαθέσιμο νερό να μπορεί να γεμίσει τον ταμιευτήρα, αλλά και ταυτόχρονα να μην είναι πολύ μεγάλο καθώς μπορεί να απαιτηθεί η κατασκευή υπερχειλιστή, ο οποίος θα αυξήσει το κόστος (Njiru, 2017). Συνεπώς οι μικρές λεκάνες δεν αποτελούν επιλογή για τη χωροθέτηση ταμιευτήρων, λόγω μεγέθους.

Σύμφωνα με το πλαίσιο της Κ.Υ.Α. 49828/2008 οι προστατευόμενες περιοχές π.χ. Natura 2000, καταφύγια άγριας ζωής, παραδοσιακοί οικισμοί κτλ., δεν επιλέγονται για την χωροθέτηση ΜΥΕ. Συνεπώς επιλέχθηκαν κύρια υδατορέματα λεκανών, τα οποία δεν βρίσκονταν μέσα σε κάποια από τις περιοχές αποκλεισμού και τις ζώνες ασυμβατότητας. Με βάση τα παραπάνω διαμορφώθηκαν τα δέκα κύρια υδατορέματα κάθε λεκάνης που θα μελετηθούν, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 3.10, στο οποίο διακρίνονται και οι περιοχές αποκλεισμού.



Σχήμα 3.10: Κύρια Υδατορέματα στις Λεκάνες απορροής της Κέρκυρας

Από το DEM της περιοχής προέκυψαν οι κλίσεις στο νησί της Κέρκυρας (Lewis, Fitts, Kelly, & Dale, 2014). Η κλίση σε κάθε κελί υπολογίστηκε με τη βοήθεια του εργαλείου Slope από το Spatial Analyst στο περιβάλλον του ArcGIS. Οι κλίσεις που προέκυψαν έχουν τιμές έως και 85° και ταξινομήθηκαν σε έξι κλάσεις, ώστε να μπορούν να μελετηθούν καλύτερα. Στο Σχήμα 3.11 διαπιστώνεται ότι το νησί διακρίνεται κυρίως από ήπιες κλίσεις και οι πιο έντονες βρίσκονται κυρίως κοντά στο όρος Παντοκράτορα στο βόρειο τμήμα του νησιού.

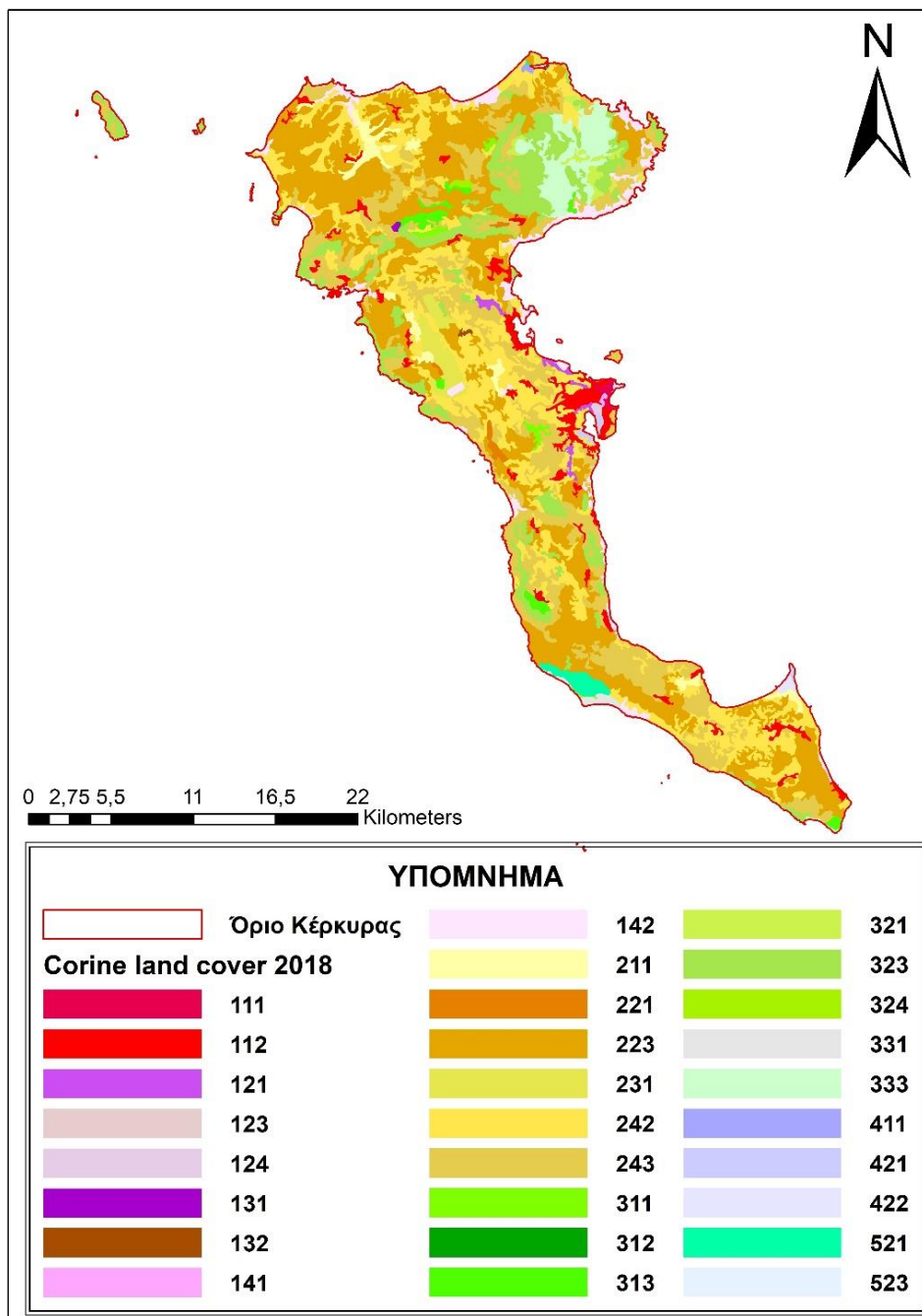


Σχήμα 3.11: Κλίσεις σε μοίρες για την περιοχή της Κέρκυρας

3.1.3 Χρήσεις Γης (Corine Land Cover)

Η δημιουργία του χάρτη των χρήσεων γης στην περιοχή της Κέρκυρας έγινε μέσω της ιστοσελίδας <https://land.copernicus.eu>. Οι χρήσεις γης του 2018 προήλθαν σε shapefile αρχείο από τη συγκεκριμένη ιστοσελίδα και εισήχθησαν στο ArcGIS. Για τη δημιουργία της χρωματικής παλέτας με βάση τα πρότυπα του Corine ελήφθη το αρχείο CLC_legend.lyr από την ιστοσελίδα <http://eidc.ceh.ac.uk/metadata/32533dd6-7c1b-43e1-b892-e80d61a5ea1d/corine-land-cover-legend-layer-file/view>. Με τη χρήση της

εντολής Symbology συνδέθηκε το layer με το αρχείο shapefile και στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης για την περιοχή μελέτης.



Σχήμα 3.12: Χρήσεις γης της Κέρκυρας

3.1.4 Υδρολιθολογική Ταξινόμηση

Η υδρολιθολογική κατάταξη των σχηματισμών και των πετρωμάτων μιας περιοχής σχετίζεται με την ικανότητά τους να επιτρέπουν την κυκλοφορία, τη διήθηση και την

αποθήκευση του νερού στους πόρους και στα διάκενά τους. Η κατάταξη των σχηματισμών γίνεται με βάση δυο παραμέτρους, το πορώδες και την υδροπερατότητα. Το πορώδες ενός πετρώματος εκφράζει το λόγο του όγκου των πόρων του προς το συνολικό όγκο του πετρώματος. Η υδρολογική έννοια του ολικού πορώδους εκφράζει τον όγκο του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί σε ένα πέτρωμα αν σε αυτό δεν υπάρχουν απόλυτα απομονωμένοι πόροι.

Η υδροπερατότητα αποτελεί την ικανότητα των πετρωμάτων να επιτρέπουν την κίνηση του νερού δια μέσου αυτών. Η υδροπερατότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού εκφράζεται από το συντελεστή υδροπερατότητας K , ο οποίος αποτελεί το μέτρο της Ικανότητάς τους να επιτρέπουν την κίνηση του νερού μέσα από τον όγκο τους. Ο συντελεστής υδροπερατότητας K έχει μονάδες ταχύτητας και μετριέται σε m/sec ή cm/sec.

Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών ως προς την κατηγορία του συντελεστή υδροπερατότητας K έγινε με βάση την ταξινόμηση κατά Terzaghi and Peck (1967) και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηρισμός συντελεστών υδροπερατότητας Terzaghi and Peck (1976)

Συντελεστής K (m/sec)	Χαρακτηρισμός
$10^{-3} < K$	Υψηλή
$10^{-5} < K < 10^{-3}$	Μέτρια
$10^{-7} < K < 10^{-5}$	Χαμηλή
$10^{-9} < K < 10^{-7}$	Πολύ χαμηλή
$K < 10^{-9}$	Πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός

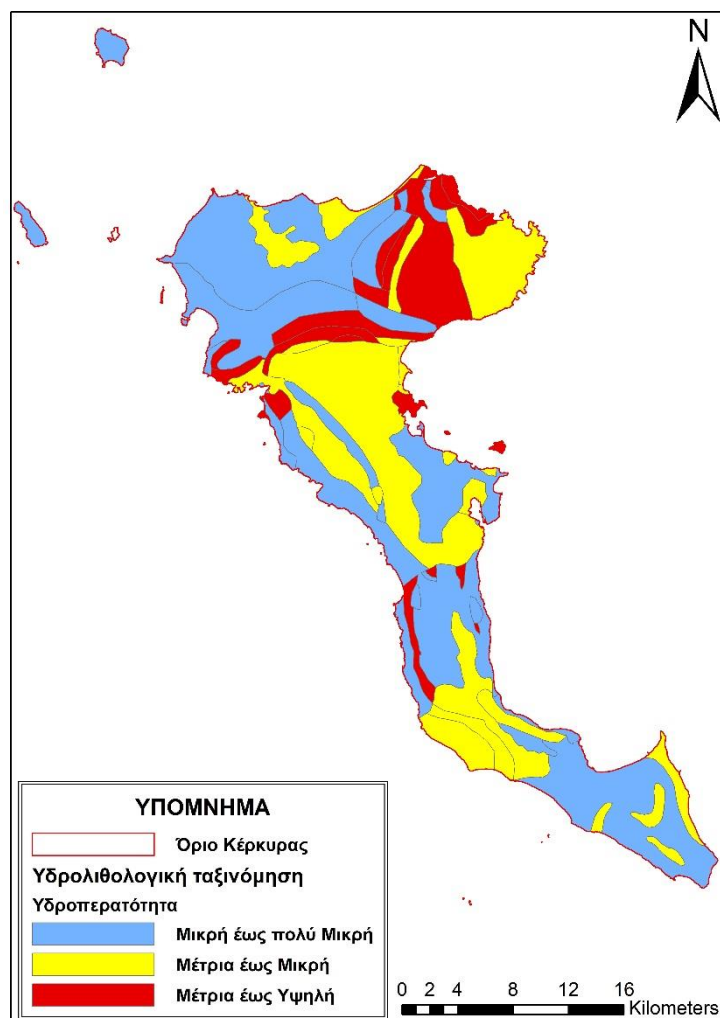
Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (EL05) (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017) και τον Υδρολιθολογικό Χάρτη της Ελλάδος, ο οποίος συνάχθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης Διεύθυνση Υδάτινου Δυναμικού (Σμυρνιώτη, Περλέρο, Γεωργαλά, & Σαλαχώρη, 1996), η υδρογεωλογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που απαντούν στη Νήσο είναι:

- **Τριαδικά λατυποπαγή:** Η υδροπερατότητά τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε μάργες, γύψους, ανυδρίτες και ασβεστολιθικά λατυποπαγή και χαρακτηρίζεται κυρίως μικρή έως μέτρια.
- **Δολομίτες και ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα:** Είναι οι πλέον υδροπερατοί σχηματισμοί, παρουσιάζουν υψηλή καρστικοποίηση και επομένως και υψηλό συντελεστή κατείσδυσης. Οι παραπάνω σχηματισμοί παρουσιάζουν γενικά έντονη καρστικοποίηση, λόγω της χημικής τους διάβρωσης, η οποία ποικίλλει μεταξύ ασβεστόλιθων και δολομιτών. Η συνήθως μεγάλη επιφανειακή τους ανάπτυξη σε συνδυασμό με την έντονη τεκτονική τους καταπόνηση, την λιθολογική τους σύσταση και τη στρωματογραφική τους δομή συντελούν στην ανάπτυξη πορώδους ρωγμών και ασυνεχειών (δευτερογενές πορώδες), με συμπέρασμα να χαρακτηρίζονται με μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα. (Σμυρνιώτη, Περγλέρο, Γεωργαλά, & Σαλαχώρη, 1996)
- **Σχιστόλιθοι:** Είναι στεγανοί σχηματισμοί μικρού πάχους και μικρής έκτασης και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών των περιοχών όπου απαντώνται. Ειδικότερα στην περιοχή του Παντοκράτορα η επιφανειακή και υπόγεια ανάπτυξή τους επιδρά τόσο στα γεωμετρικά όρια της υδρογεωλογικής λεκάνης όσο και στην κατεύθυνση της ροής των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.
- **Ασβεστόλιθοι Βίγλας:** Είναι οι λιγότερο υδροπερατοί (ημιπερατοί σχηματισμοί) με μέτρια έως κακή αποκάρσωση από όλους τους ανθρακικούς σχηματισμούς, λόγω των πυριτολιθικών ενστρώσεων και των μαργαϊκών οριζόντων που περιέχουν. Έτσι η περατότητά τους ποικίλει και η υδροφορία τους δεν είναι ενιαία, αλλά εξαρτάται από την περατότητα που η παραπάνω σύσταση καθορίζει.
- **Φλύσχης:** Χαρακτηρίζεται γενικά ως αδιαπέρατος σχηματισμός, τοπικά όπου επικρατούν οι ψαμμίτες και τα κροκαλλοπαγή, εμφανίζεται μία μικρή έως μέτρια υδροπερατότητα, η οποία έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη περιορισμένης έκτασης υδροφόρων. Πιο αναλυτικά είναι στεγανός σχηματισμός και μόνο ο εξαλοιωμένος μανδύας και οι επιφανειακοί ψαμμιτικοί ορίζοντες αυτού παρουσιάζουν περατότητα και γενικά δίνουν μια κάποια υδροφορία με την μορφή εποχιακών κυρίως μικροπηγών. Στην Κέρκυρα και ειδικότερα στις δυτικές παρυφές του όρους Παντοκράτορα όπου εμφανίζεται, ο πιο πάνω

σχηματισμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής. (Σμυρνιώτη, Περγλέρο, Γεωργαλά, & Σαλαχώρη, 1996)

- **Σχηματισμοί Μειοκαίνου – Πλειοκαίνου:** Εμφανίζονται ψαμμίτες εναλλασσόμενοι με κυανές μάργες, τα οποία δεν είναι συνεκτικά και παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία που εξαρτάται βέβαια από το πάχος και την έκταση που καταλαμβάνουν. Στις περισσότερες περιοχές που απαντούν γίνεται η εμφάνιση οριζόντων γύψου, ο οποίος επιβαρύνει ποιοτικά την υδροφορία του με υψηλές σκληρότητες απαγορευτικές για υδρευτική χρήση. Τέλος οι μάργες αποτελούν στεγανό σύνολο με πολύ χαμηλή έως μηδενική υδροπερατότητα ($K < 10^{-7}$ m/sec) και μόνο τοπικά, όπου υπάρχουν εναλλαγές με υδροπερατές κατά κανόνα έως ημιπερατές ψαμμιτικές ενστρώσεις, παρατηρείται μικρή υδροφορία (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2008), συνεπώς οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα.
- **Τεταρτογενείς αποθέσεις:** Είναι οι νεότερες και σύγχρονες αποθέσεις, όπως οι προσχώσεις κοιλάδων, οι παράκτιες αποθέσεις, τα κορήματα, οι θίνες κλπ. Οι σύγχρονες αποθέσεις κοιλάδων ανήκουν στην κατηγορία των κοκκωδών προσχωματικών αποθέσεων με κυμαινόμενη υδροπερατότητα. Οι ανώτεροι σχηματισμοί εμφανίζουν μέτρια έως μικρή υδροπερατότητα ανάλογα με την συμμετοχή χονδρόκοκκου ή λεπτομερούς υλικού, η οποία κυμαίνεται από 10^{-4} έως 10^{-6} m/sec (Ηπείρου, 2017).

Με βάση τα παραπάνω για τη δημιουργία του υδρολιθικού χάρτη στην περιοχή της Κέρκυρας μέσω του Ε.Α.Γ.Μ.Ε. (<http://gaia.igme.gr>) χορηγήθηκαν τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής. Στη συνέχεια στο ArcGIS στο αρχείο Polygon (vector) μορφής ανοίγοντας το Open Attribute Table προστέθηκε μία στήλη, η οποία περιέγραφε για κάθε γεωλογικό σχηματισμό την υδροπερατότητά (K), με αποτέλεσμα να διαμορφωθεί ο χάρτης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.13.



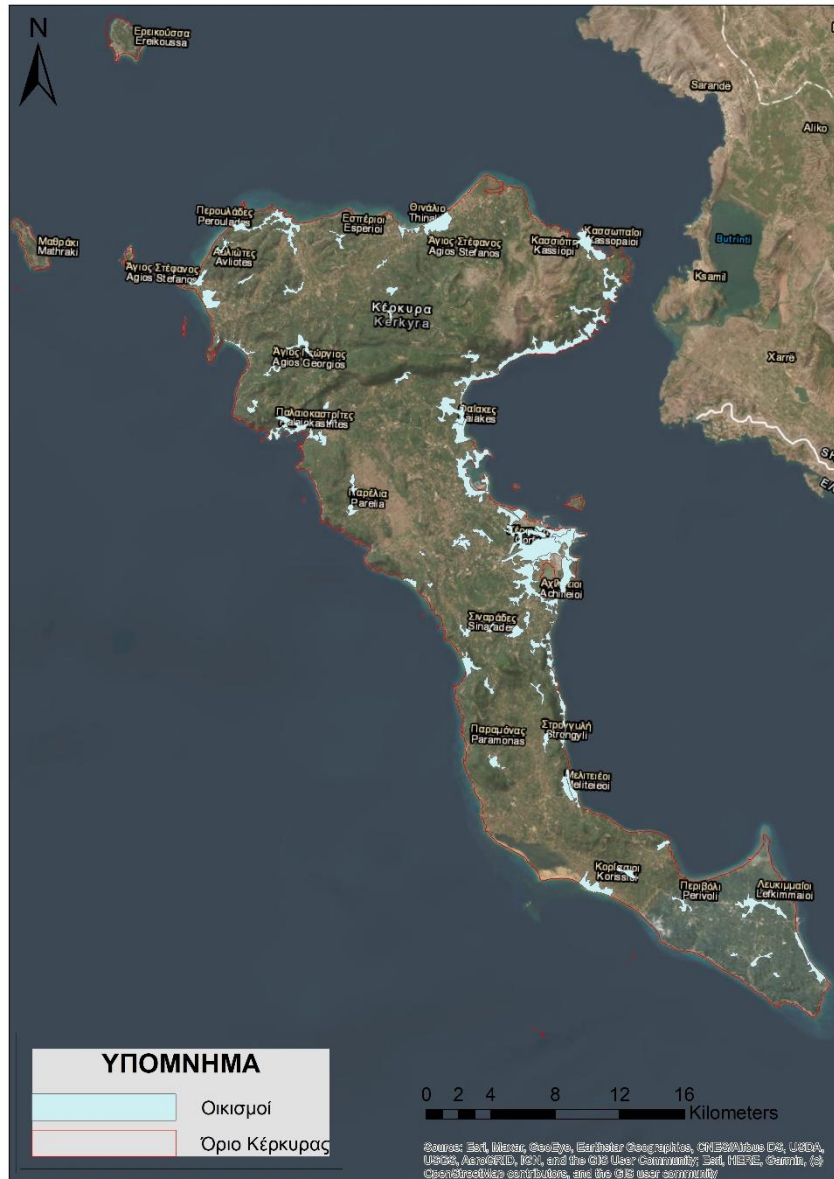
Σχήμα 3.13: Υδρολιθολογικός χάρτης Κέρκυρας

3.1.5 Οικισμοί

Τα σχέδια πόλεων και οικισμών δεν είναι διαθέσιμα, μόνο μέσω των ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων (<http://geodata.gov.gr>) υπήρχαν σημειακά δεδομένα των οικισμών, πληροφορία που δεν έδειχνε την έκταση των οικισμών. Συνεπώς για να περιορισθεί κατά το δυνατό, αυτή η ανακρίβεια έγινε χρήση των δεδομένων χρήσεων γης του Corine 2018. Συγκεκριμένα τα πολύγωνα με κωδικούς 111 και 112 ανήκουν στην κατηγορία αστική οικοδόμηση για συνεχή και ασυνεχή αστικό ιστό αντίστοιχα, τα οποία επιλέχθηκαν και έγινε εξαγωγή τους σε ένα νέο shapefile αρχείο.

Έγινε εισαγωγή του Basemap με τη μορφή δορυφορικής εικόνας, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν υπήρχαν πόλεις ή χωριά, τα οποία μπορεί να έχουν παραλειφθεί από τις χρήσεις γης. Με τη χρήση του editor προστέθηκαν οι επιπλέον πόλεις και

διαμορφώθηκε το τελικό αρχείο που περιλαμβάνει όλους τους οικισμούς με τα όριά τους για το νησί της Κέρκυρας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.14: Χάρτης οικισμών για το νησί της Κέρκυρας

3.2 Μεθοδολογία Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Για την επίλυση των νέων σύγχρονων, πολύπλοκων και απαιτητικών προβλημάτων παρατηρείται ότι η λήψη αποφάσεων δεν γίνεται μέσω μίας μονοδιάστατης ανάλυσης, εφόσον στην πράξη τα προβλήματα είναι πολυδιάστατα. Αυτό οδηγεί στην ανάπτυξη και στην ευρεία χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων (Multi-Criteria

Decision Aid, MCDA ή Multi-Criteria Decision Making, MCDM). (Δούμπος & Ζοπουνίδης, 2001).

Πιο αναλυτικά όταν έγινε η εισαγωγή της μαθηματικής επιστήμης στο χώρο των αποφάσεων, έγινε δυνατή η οργάνωση του προβλήματος και εξαγωγής της απόφασης. Δημιουργήθηκαν διάφορα μαθηματικά μοντέλα, τα οποία είχαν σαν βάση μαθηματικούς μετασχηματισμούς και έδιναν τη δυνατότητα αν όχι εύρεσης λύσης σε ένα πρόβλημα, σημαντικής βοήθειας στο πρόβλημα της απόφασης (Γάλλιου, 2009).

Τα πρώτα μαθηματικά μοντέλα προσέγγιζαν το πρόβλημα παρουσίας ενός κριτηρίου, γεγονός που καθιστούσε αυτές τις μεθόδους δύσχρηστες, καθώς τα προβλήματα της πραγματικής ζωής δεν είναι μονοδιάστατα. Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της πραγματικότητας απαιτεί συγκέντρωση του συνόλου των πληροφοριών/κριτηρίων που τη χαρακτηρίζουν. Τα κριτήρια αυτά είναι συνήθως ανεξάρτητα και ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την προτίμησή τους από το μελετητή που παίρνει την απόφαση. Αυτό δίνει σαν αποτέλεσμα μίας λύσης λιγότερο βέβαιης, αλλά περισσότερο συμβατικής, καθώς αυτή η λύση στηρίζεται στις δημοκρατικές αξίες και βρίσκεται σε μεγαλύτερη συμφωνία με τις συνθήκες της σύγχρονης ζωής (Λούκας, 2004).

Με την ανάγκη να εισαχθούν πολλά κριτήρια στα προβλήματα απόφασης αναδείχθηκε η Πολυκριτηριακή Ανάλυση ως νέο ρεύμα στο χώρο της θεωρίας αποφάσεων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα σχετικά νέο επιστημονικό πεδίο, καθώς άρχισε να αναπτύσσεται περισσότερο μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο στις Δημοκρατίες των Ηνωμένων Πολιτειών και στην Δυτική Ευρώπη και έχει χρήση ως εργαλείο λήψης απόφασης ήδη από το 1960. Τονίζεται ότι οι πρώτες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης εφαρμόστηκαν στον τομέα της οικονομίας.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση βοηθάει στη βελτίωση της ποιότητας των αποφάσεων, καθώς η διαδικασία λήψης απόφασης γίνεται πιο σαφής, ορθολογική και αποτελεσματική (Al-Shemmeri, Al-Kloub, & Pearman, 1997). Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς όπως το περιβάλλον, η ενέργεια, οι κατασκευές, οι μεταφορές, η δημόσια πολιτική κλπ. Η χρήση της στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό γίνεται εδώ και αρκετά χρόνια, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο και έγκυρο μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση, κατηγοριοποίηση και επιλογή περιβαλλοντικών έργων (Lootsma, 1997) (Polharel & Chandrashekar, 1998) (Güngör & Arıkan, 2000) (Afgan & Carvalho, 2002) (Beccali,

Cellura, & Mistretta, 2003) και γενικότερα για τον καθορισμό μίας κατάλληλης πρακτικής στην περιβαλλοντική διαχείριση (Bellehumeur, Vasseur, Anseau, & Marcos, 1997) (De Marchi, Funtowicz, Lo Cascio, & Munda, 2000) (Geldermann, Rentz, & Spengle, 2000).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η χωροθέτηση φράγματος για δύο πιθανά σενάρια με πολυκριτηριακή ανάλυση. Το πρόβλημα απόφασης περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό γεωγραφικών δεδομένων, συνεπώς εντάσσεται στα χωρικής απόφασης προβλήματα. Πολλά χωρικά προβλήματα μπορούν να οδηγήσουν σε λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) με τη χρήση του GIS (Abdulkareem, Pradhan, Sulaiman, & Jamil, 2018). Το GIS περιλαμβάνει διαδικασίες, οι οποίες προσφέρουν αυτοματοποίηση και δυνατότητα τόσο διαχείρισης όσο και ανάλυσης των χωρικών στοιχείων για τη λήψη αποφάσεων (Theochari, Feloni, Bournas, & Baltas, 2021), ενώ η MCDM στη σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών (Abdullahi, Mahmud, & Pradhan, 2014).

3.2.1 Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA)

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA) είναι μια μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και τη λήψη αποφάσεων όταν υπάρχουν πολλαπλά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης που βασίζονται σε ένα μόνο κριτήριο, η MCDA επιτρέπει την εξέταση πολλαπλών παραμέτρων ταυτόχρονα. Δίνει τη δυνατότητα σε συνδυασμό με το GIS οι γεωχωρικές πληροφορίες με κατάλληλη ανάλυση και επεξεργασία να οδηγήσουν σε μία απόφαση.

Τα βασικά βήματα για την υλοποίηση της μεθόδου είναι (Θεοχάρη, 2018):

1^ο Βήμα: Ορισμός προβλήματος και του/των στόχων

Εφόσον γίνει ο ορισμός του γενικού προβλήματος, μετά προσδιορίζεται αν υπάρχουν πολλαπλοί στόχοι ή αν ο στόχος είναι ένας.

2^ο Βήμα: Προσδιορισμός κριτηρίων, περιορισμών και εναλλακτικών επιλογών

Καθορίζονται τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο πλαίσιο του μοντέλου, τα οποία μπορεί να εφαρμόζονται είτε σαν περιορισμοί, είτε σαν παράγοντες ως προς το εξεταζόμενο πρόβλημα.

3^ο Βήμα: Συλλογή Δεδομένων και αποτίμησή των κριτηρίων

Βασικό είναι η συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με τα κριτήρια και ο ορισμός της σημασίας κάθε κριτηρίου στην τελική απόφαση.

4^ο Βήμα: Επιλογή Μεθόδου

Καθορισμός της μεθόδου που θα εφαρμοστεί, είτε πρόκειται για γεωχωρικά συστήματα είτε για μοντέλα λήψης αποφάσεων,

5^ο Βήμα: Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας

Ορισμός συντελεστών βαρύτητας σε κάθε κριτήριο, δηλαδή καθορισμός της σημασίας κάθε κριτηρίου στην τελική απόφαση. Παραγωγή των αποτελεσμάτων με βάση τις εναλλακτικές επιλογές.

6^ο Βήμα: Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας κάνει έλεγχο της ευαισθησίας του μοντέλου και των τελικών αποτελεσμάτων σε μικρές αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να έχουν να κάνουν είτε με τη βαθμονόμηση των κριτηρίων είτε με τους συντελεστές βαρύτητας που εφαρμόζονται. Η ανάλυση είναι απαραίτητη για τον καθορισμό των τελικών προτάσεων, καθώς αν διαγνωστεί μεγάλη ευαισθησία του μοντέλου σε μικρές αλλαγές, τότε απαιτούνται τροποποιήσεις στα προηγούμενα βήματα.

7^ο Βήμα: Τελικές Προτάσεις

Διαμόρφωση των τελικών προτάσεων με την αποτίμηση των εναλλακτικών επιλογών.

Οι βασικοί στόχοι της MCDA είναι η διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων και η ανάδειξη των προτεραιοτήτων. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του προβλήματος και τις προτιμήσεις του μελετητή.

3.2.2 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP)

Η μέθοδος της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου (Analytical Hierarchy Process – AHP) παρουσιάστηκε το 1977 από έναν Αμερικανό μαθηματικό, τον Thomas L. Saaty. Διακεκριμένος καθηγητής στο University of Pittsburgh, είναι ο εφευρέτης και πρωταρχικός θεωρητικός της Analytical Hierarchy Process, μιας πλατφόρμας λήψης αποφάσεων για μεγάλης κλίμακας, πολλών μεταβλητών και πολλών κριτηρίων προβλήματα ανάλυσης αποφάσεων. Οι εφαρμογές της μεθόδου AHP είναι πάρα

πολλές, όπως και η έρευνα η οποία γίνεται πάνω σε αυτήν. Έχει εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία σε προβλήματα λήψης αποφάσεων σε διάφορους τομείς όπως η οικονομία, η βιομηχανία, η επιχειρηματικότητα, η διοίκηση επιχειρήσεων, η μηχανική, η τεχνολογία, η πολιτική, η εκπαίδευση, ο αθλητισμός, ο στρατός κ.ά. (Whitaker, 2007) (Hsiang-Hsi Liu, Yeong-Yuh Yeh, & Jih-Jeng Huang, 2014) (Ishizaka & Nemery, 2013).

Η μέθοδος κατατάσσεται στις μεθόδους λήψης αποφάσεων πολυδιάστατων προβλημάτων με την αξιολόγηση και ιεράρχηση εναλλακτικών λύσεων, οι οποίες βασίζονται σε εναλλακτικές που παρουσιάζουν διάφορα χαρακτηριστικά ή κριτήρια, γνωστές ως Multi-attribute decision making (MADM) (Carlos A. Bana e Costa & Mónica D. Oliveira, 2012) (Dong Yucheng, Liu Yating, Liang Haiming, Francisco Chiclana , & Enrique Herrera-Viedma, 2018). Η AHP βασίζεται σε ένα σύνολο κριτηρίων βάσει των οποίων εξετάζεται το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών. Τα δεδομένα σε αυτό το μοντέλο μπορεί να είναι και ποιοτικά, γεγονός που διαφοροποιεί τη μέθοδο του Saaty. Όπως έγραψε και ο ίδιος, ο σκοπός πάνω στον οποίο δούλεψε με τους συνεργάτες του κατά τη σύνθεση της μεθόδου «ήταν η ανάπτυξη μια θεωρίας και η παροχής μιας μεθοδολογίας, η οποία θα επέτρεπε τη μοντελοποίηση αδόμητων προβλημάτων των οικονομικών, κοινωνικών και διοικητικών επιστημών». Για τη μοντελοποίηση τέτοιων προβλημάτων κρίνονται απαραίτητες οι σχετικές μετρήσεις. Μετρήσιμα κριτήρια είναι διάφορα οικονομικά μεγέθη και δείκτες, όμως υπάρχει μεγάλος όγκος άλλων παραγόντων όπως η ποιότητα του περιβάλλοντος, η υγεία, κοινωνικά φαινόμενα και αξίες, οι οποίοι δεν είναι μετρήσιμοι με κάποια από τις θεμελιώσεις κλίμακες. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία ο Saaty και οι συνεργάτες του προσέγγισαν έννοιες σαν τις παραπάνω μέσω σχετικών συγκρίσεων (Κόλλια, 2012). Τονίζεται ότι κάποια κριτήρια μπορεί να είναι και αντικρουόμενα, συνεπώς διαπιστώνεται ότι η επιλογή που θα παρθεί δεν θα είναι η βέλτιστη όλων των κριτηρίων, αλλά αυτή που θα δημιουργεί τον καλύτερο συμβιβασμό μεταξύ τους.

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ Α.Η.Ρ.

Η μέθοδος AHP στηρίζεται σε σχετικές συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων, με σκοπό να προκύψει ένα μετρήσιμο αποτέλεσμα για την σύνθεση των προτεραιοτήτων. Η δόμηση του προβλήματος απαιτεί κατανόηση αρχικά και ακολούθως απαραίτητες κρίσεις που θα παρέχουν τις προτεραιότητες. Η υποκειμενική άποψη του μελετητή παίζει σημαντικό ρόλο κατά τη δόμηση ενός προβλήματος απόφασης. Στη διαδικασία

λήψης απόφασης οι κλίμακες προτεραιότητας είναι αντικειμενικές, προέρχονται όμως από υποκειμενικές αποφάσεις.

Στα πολυδιάστατα προβλήματα ως προς τα κριτήρια σκοπός κατά τη βαθμολόγηση των κριτηρίων είναι να παρουσιάζεται η επιρροή που έχουν μεταξύ τους. Το εργαλείο για να πραγματοποιηθούν αυτές οι συγκρίσεις και να γίνει ορθή βαθμολόγησή τους είναι οι απόλυτοι αριθμοί, καθώς οι απόλυτοι αριθμοί δεν απαιτούν κάποια μονάδα μέτρησης για να τους χαρακτηρίσει. Σε μία δυαδική σύγκριση ο απόλυτος αριθμός μπορεί να δείξει πόσο καλύτερο/προτιμότερο ή μεγαλύτερο είναι ένα συγκρίσιμο κριτήριο από ένα άλλο. Οι δυαδικές συγκρίσεις μέσα από την απλότητα που προσφέρουν, βοηθούν στη διασφάλιση της συνέπειας, δίνοντας στον αποφασίζοντα/μελετητή τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες χρειάζεται (Κόλλια, 2012).

Ο Saaty με σκοπό να κάνει πιο εύκολη τη μέτρηση μέσω των σχετικών συγκρίσεων και να διασφαλίσει την ορθή εξαγωγή των προτεραιοτήτων δημιούργησε μία κλίμακα απόλυτων αριθμών, η λεγόμενη κλίμακα του Saaty (fundamental scale of absolute numbers), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα πολυδιάστατα προβλήματα λήψης αποφάσεων. Ο Saaty, κατέληξε σε ένα σύνολο S πεπερασμένων θετικών πραγματικών αριθμών, οι οποίοι δίνουν ένα μέτρο της σχετικής σημασίας δυο παραγόντων στη γνώμη του μελετητή/αποφασίζοντα. Το σύνολο S , είναι πεπερασμένο όχι μόνο για σκοπούς προτυποποίησης μίας μελέτης μέσω σύγκρισης, αλλά και για την αποφυγή δημιουργίας της παραπλανητικής εντύπωσης ότι η ανθρώπινη κρίση μπορεί να δημιουργήσει αυθαίρετα οποιαδήποτε σύγκριση ανεξάρτητα από την ανομοιογένεια των συγκρινόμενων μερών. Ο Saaty, όπως δίνεται και στον Πίνακα 3.3, προτείνει ως επαρκές το σύνολο:

$$S = \{1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9\}$$

αλλά επιτρέπει την επέκταση του συνόλου για τη βελτίωσή του σε (Donegan, Dodd, & McMaster, 1992):

$$\{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

Πίνακας 3.3: Κλίμακα Συγκρίσεων Saaty και περιγραφή αυτής (Saaty 1986, Ιδία επεξεργασία)

Ένταση σχετικής σημασίας	Ορισμός	Εξήγηση
1	Ίση βαρύτητα	Δύο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο
3	Μέτρια βαρύτητα ενός στοιχείου πάνω σε άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς μία δραστηριότητα αντί της άλλης
5	Σημαντική βαρύτητα ενός στοιχείου πάνω σε άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σθεναρά μία δραστηριότητα αντί της άλλης
7	Εκδηλωμένη βαρύτητα	Μία δραστηριότητα ευνοείται σθεναρά και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη
9	Μέγιστη βαρύτητα	Οι ενδείξεις που ευνοούν τη μία δραστηριότητα αντί της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός
Αντίστροφοι των παραπάνω μη μηδενικών αριθμών	Αν σε μία δραστηριότητα αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτή συγκρίνεται με μία δεύτερη δραστηριότητα τότε η δεύτερη δραστηριότητα έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με την πρώτη	
Ρητοί αριθμοί	Αναλογίες που προκύπτουν από την κλίμακα	Αν επιβαλλόταν η συνέπεια λαμβάνοντας η αριθμητικές τιμές για το σχηματισμό του πίνακα

Η μεθοδολογία της AHP διακρίνεται σε δύο στάδια, το πρώτο αποτελείται από την Ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος, δηλαδή το διαχωρισμό του σε επιμέρους επίπεδα με στόχο τη δημιουργία μίας ιεραρχικής δομής. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη διαδικασία αξιολόγησης των επί μέρους κριτηρίων (Βασιλάκης, 2019). Τα βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή της μεθόδου είναι τα ακόλουθα (Τσαγγαράτος, 2012):

1) Δημιουργία του Πίνακα ανά ζεύγη συγκρίσεων

Για τον υπολογισμό των βαρών για τα διαφορετικά κριτήρια η μέθοδος AHP απαιτεί τη δημιουργία ενός πίνακα προκειμένου να πραγματοποιηθούν κατά ζεύγη συγκρίσεις της σχετικής σημασίας των στοιχείων στο δεύτερο επίπεδο σχετικά με το γενικό στόχο του πρώτου επιπέδου. Επιπρόσθετα πίνακες συγκρίσεως χρησιμοποιούνται προκειμένου να συγκριθούν τα στοιχεία του τρίτου επιπέδου αναφορικά με τα αντίστοιχα στοιχεία του δεύτερου επιπέδου, κ.ο.κ. καθώς κατεβαίνουμε στην ιεραρχία. Ο πίνακας σύγκρισης A (Πίνακας 3.4) είναι $M \times M$, όπου M είναι ο αριθμός των κριτηρίων αξιολόγησης που εξετάζονται. Κάθε καταχώρηση a_{ij} αντιπροσωπεύει τη σημασία του κριτηρίου i σε σχέση με το κριτήριο j . Αν $a_{ij} > 1$, τότε το κριτήριο i είναι σημαντικότερο από το κριτήριο j , ενώ αν $a_{ij} < 1$, τότε το κριτήριο i είναι λιγότερο σημαντικό από το κριτήριο j . Εάν δύο κριτήρια έχουν την ίδια σημασία, τότε η καταχώρηση a_{ij} είναι 1. Οι καταχωρήσεις a_{ij} και a_{ji} πληρούν τον ακόλουθο περιορισμό:

$$a_{ij} \cdot a_{ji} = 1 \quad (1)$$

Πίνακας 3.4: Πίνακας με ανά ζεύγη συγκρίσεις κριτηρίων (Ιδία επεξεργασία)

	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2	Κριτήριο 3	Κριτήριο 4
Κριτήριο 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
Κριτήριο 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
Κριτήριο 3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}
Κριτήριο 4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}

2) Υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας για τους παράγοντες και τις κατηγορίες τους

Όταν κατασκευαστεί ο πίνακας σύγκρισης A, για τον υπολογισμό του διανύσματος με τα βάρη w, θεωρείται ότι το w είναι το ιδιοδιάνυσμα του A για τη μέγιστη τιμή λ_{max} του A. Συνεπώς ισχύει:

$$A \cdot w = \lambda_{\max} w \quad (1)$$

Για τον υπολογισμό του w χρησιμοποιείται η προσεγγιστική μέθοδος. Δημιουργείται ο κανονικοποιημένος πίνακας A_{norm}, αυτό γίνεται υπολογίζοντας το άθροισμα των τιμών σε κάθε στήλη του πίνακα των ανά ζεύγη συγκρίσεων και έπειτα, κάθε στοιχείο του πίνακα διαιρείται με το σύνολο της αντίστοιχης στήλης.

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^M a_{ik}} \quad (2)$$

Τέλος το διάνυσμα με τα βάρη για κάθε κριτήριο w υπολογίζεται αθροίζοντας κάθε γραμμή του πίνακα A_{norm} και στη συνέχεια διαιρώντας με το πλήθος των κριτηρίων (M), δηλαδή η τιμή j του διανύσματος w υπολογίζεται ως εξής:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{a}_{ij}}{M} \quad (3)$$

3) Σύνθεση των εκτιμήσεων

Εφόσον γίνει ο υπολογισμός του διανύσματος με τα βάρη w και οριστεί ο πίνακας A με τις βαθμολογίες η μέθοδος AHP ορίζει στη συνέχεια το διάνυσμα με τις συνολικές βαθμολογίες v, το οποίο υπολογίζεται με τον τύπο:

$$v = S \cdot w \quad (4)$$

Η τιμή v_i του διανύσματος v αποτελεί τη συνολική βαθμολογία για την εναλλακτική i σταθμισμένη από όλα τα κριτήρια. Στη συνέχεια ακολουθεί η κατάταξη όλων των επιλογών σε φθίνουσα σειρά με βάση τις βαθμολογίες τους στο διάνυσμα v.

4) Έλεγχος συνέπειας στο μοντέλο AHP

Κατά τη διάρκεια των πολλών δυαδικών συγκρίσεων αναμένεται η εμφάνιση ασυνέπειας. Αυτό διαπιστώνεται ακόμα και όταν ο μελετητής είναι ανάμεσα σε 3 κριτήρια, πιο αναλυτικά μπορεί να θεωρήσει ότι το πρώτο κριτήριο είναι πιο σημαντικό

από το δεύτερο και το δεύτερο πιο σημαντικό από το τρίτο. Δημιουργείται μία μικρή ασυνέπεια αν το πρώτο θεωρηθεί ελαφρώς πιο σημαντικό από το τρίτο και ακόμα μεγαλύτερη ασυνέπεια στην περίπτωση που το τρίτο είναι εξίσου σημαντικό ή πιο σημαντικό από το πρώτο.

Η μέθοδος AHP εφαρμόζει μία τεχνική για να μπορεί να ελέγξει τη συνέπεια στις επιλογές του μελετητή για τις τιμές που θα ορίσει στον πίνακα A για τις δυαδικές συγκρίσεις. Η τεχνική στηρίζεται στο δείκτη συνέπειας (Consistency Index ή CI). Ο δείκτης CI ορίζεται από την εξίσωση:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} \quad (5)$$

Το M είναι ο αριθμός των κριτηρίων και το λ_{max} προκύπτει από τη Εξίσωση 6, η οποία απαιτεί τον υπολογισμό του διανύσματος w' . Το w' προκύπτει από την εξίσωση $w' = A \cdot w$. Συνεπώς το λ_{max} υπολογίζεται προσεγγιστικά ως:

$$\lambda_{max} \approx \frac{\sum_{l=1}^M \frac{w'_l}{w_l}}{M} \quad (6)$$

Αν κατά τους υπολογισμούς προκύψει $CI=0$, αυτό υποδηλώνει ότι οι συγκρίσεις του μελετητή είναι συνεπείς, παρόλα αυτά τονίζεται ότι μικρές τιμές του CI μπορούν να είναι αποδεκτές. Ορίζεται ο τυχαίος δείκτης συνέπειας (Random Consistency Index, RI), μέσω του οποίου υπολογίζεται ένα επιπλέον μέτρο ποιότητας ο λόγος συνέπειας (Consistency Ratio, CR). Ο λόγος συνέπειας φανερώνει τη συνοχή των διεξαγόμενων συγκρίσεων και εκφράζεται μέσω της εξίσωσης:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Ο τυχαίος δείκτης συνέπειας ανάλογα με τον αριθμό κριτηρίων παίρνει συγκεκριμένες τιμές, για μικρά M οι τιμές παρατίθενται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Τυχαίοι δείκτες συνέπειας RI (Saaty, 1986)

Τιμές του RI για μικρό αριθμό κριτηρίων										
M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Σύμφωνα με το Saaty αν προκύπτει ο λόγος συνέπειας $CR \leq 0,10$, οι συντελεστές βαρύτητας είναι αποδεκτοί. Σε κάθε άλλη περίπτωση που δεν ισχύει το συγκεκριμένο όριο που έθεσε ο Saaty είναι υποχρεωτική η επαναξιολόγηση του πίνακα συγκρίσεων, καθώς θεωρείται ασυνεπείς. Στην πράξη αν προκύψουν τιμές πάνω του 0.10 είναι αποδεκτές. Επισημαίνεται ότι οι τρεις αυτοί δείκτες ολοκληρώνουν τον έλεγχο της συνέπειας της μεθόδου. Το γεγονός ότι η ίδια η μέθοδος προβλέπει τρόπους για τη μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων, την καθιστά ως μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους.

Για τη δημιουργία του χάρτη καταλληλότητας των βέλτιστων θέσεων για την κατασκευή ταμιευτήρα απαιτείται να ομογενοποιηθούν τα κριτήρια με κατηγοριοποίηση (classification) κάθε κριτηρίου σε μια ενιαία τακτική κλίμακα ταξινόμησης. Η κλίμακα αποτελείται από πέντε κλάσεις, των οποίων οι τιμές αντιστοιχούν στον βαθμό σύνδεσης της κάθε μεταβλητής με το φαινόμενο της ανάστροφης αστικοποίησης, όπου οι τιμές είναι από το 0-1, με 0=πολύ μικρή και 1=πολύ μεγάλη. Η κατηγοριοποίηση των κριτηρίων έχει σκοπό τη δημιουργία συγκρίσιμων μεγεθών για κάθε κριτήριο (Χαλκιάς, 2015). Ο Voogd (1983) επανεξέτασε μια ποικιλία διαδικασιών για τυποποίηση, χρησιμοποιώντας συνήθως τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές ως σημεία κλιμάκωσης, το απλούστερο είναι μια γραμμική κλίμακα όπως οι ακόλουθες Σχέσεις:

$$x_i = \frac{(FV_i - FV_{min})}{(FV_{max} - FV_{min})} \cdot SR \quad (8) \quad \text{ή} \quad x_i = 1 - \frac{(FV_i - FV_{min})}{(FV_{max} - FV_{min})} \cdot SR \quad (9)$$

Όπου

FV_i : Η ακατέργαστη τιμή του κριτηρίου i

$FV_{min, max}$: Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του κριτηρίου i

SR : Το τυποποιημένο φάσμα με τιμές από 0 έως 1

Η Εξίσωση (8) χρησιμοποιείται για το μετασχηματισμό των τιμών των κριτηρίων, των οποίων η βέλτιστη τιμή τους, είναι στη μέγιστη τιμή του κανονικοποιημένου εύρους, ενώ η εξίσωση (9) όταν η βέλτιστη τιμή είναι στην ελάχιστη τιμή του κανονικοποιημένου εύρους, όπως συμβαίνει στην κλίση όταν χρησιμοποιείται για κριτήριο στη χωροθέτηση ταμιευτήρα. Στο περιβάλλον του ArcGIS η διαδικασία της τυποποίησης πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου Raster Calculator, το οποίο

εκτελεί πράξεις μεταξύ κανονικοποιημένων (raster) αρχείων, ξεχωριστά για το κάθε κριτήριο.

Το τελευταίο βήμα της μεθόδου αφορά τη δημιουργία, υπολογισμό του ζητούμενου επιπέδου πληροφορίας, που σχετίζεται με την καταλληλότητα των περιοχών για τη βέλτιστη χωροθέτηση ταμιευτήρα σε συγκεκριμένες λεκάνες απορροής. Επομένως πρέπει να προκύψει ο χάρτης καταλληλότητας. Ο σταθμισμένος γραμμικός συνδυασμός (WLC) ή απλά πρόσθετο βάρους, ενσωματώνεται στο περιβάλλον του ArcGIS σύμφωνα με την Εξίσωση (10).

$$FS = \sum w_i x_i \quad (10)$$

Όπου

FS: Η τελική τιμή για κάθε κελί

w_i: Το βάρος του κριτηρίου i

x_i: Η τυποποιημένη τιμή του κριτηρίου i

Σε περιπτώσεις, όπου ισχύουν οι περιορισμοί Boolean, η διαδικασία μπορεί να τροποποιηθεί πολλαπλασιάζοντας την τιμή FS με τους συντελεστές των προϊόντων των περιορισμών, όπως φαίνεται στην Εξίσωση (11) :

$$FS' = \sum w_i x_i \cdot \prod c_i \quad (11)$$

Όπου

c_i: Οι περιορισμοί

Με την παραπάνω εξίσωση οι περιοχές με κωδικό 0 οδηγούν σε τελική τιμή μηδενική, άρα ακατάλληλες, ενώ οι κατάλληλες περιοχές δεν περιέχουν 0. Ως εκ τούτου, λαμβάνεται η συνολική βαθμολογία για κάθε εναλλακτική λύση πολλαπλασιάζοντας τη σημαντικότητα του βάρους που αποδίδεται σε κάθε ένα χαρακτηριστικό από την κλιμακούμενη τιμή που δίνεται για το χαρακτηριστικό αυτό στην εναλλακτική λύση και στη συνέχεια αθροίζονται τα προϊόντα σε όλα τα χαρακτηριστικά. Οι βαθμολογίες

υπολογίζονται για όλες τις εναλλακτικές λύσεις και αυτή με το υψηλότερο «σκόρ» όλων επιλέγεται.

3.2.3 Κριτήρια Χωροθέτησης Φράγματος

Ο εντοπισμός μίας κατάλληλης τοποθεσίας για την κατασκευή ενός φράγματος είναι μία περίπλοκη διαδικασία λήψης απόφασης, καθώς η επιλογή της θέσης επηρεάζεται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες μεταξύ των οποίων οικονομικοί, περιβαλλοντικοί αλλά και κοινωνικοπολιτικοί. Σε αυτό το σημείο γίνεται αισθητός ο όγκος των δεδομένων που πρέπει να ληφθούν υπόψη και να αναλυθούν. Έχουν δημοσιευτεί πολλά άρθρα, τα οποία παρουσιάζουν διαφορετικούς παράγοντες που καθορίζουν τη θέση ενός ταμιευτήρα, όπως και πολλές διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Το 2013 δημοσιεύθηκε ένα άρθρο με περιοχή μελέτης το Δυτικό Ιράν, το οποίο είχε στόχο την εύρεση βέλτιστης θέσης κατασκευής ταμιευτήρα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο AHP, η οποία είναι μία από της πιο ευέλικτες και απλές μεθόδους και ταυτόχρονα πολύ αποτελεσματική για να λύνει πολυδιάστατα προβλήματα (Yasser, Jahangir, & Mohmmad, 2012). Το 2018 δημοσιεύτηκε άρθρο για την εύρεση τοποθεσίας φράγματος για αποταμίευση νερού με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση στην περιοχή της Μάλακαντ στο Πακιστάν, στο οποίο γίνεται εκτενής αναφορά στα κριτήρια που μπορεί ένας μελετητής να λάβει υπόψη (Raza, και συν., 2018). Επιπλέον το 2019 μελετήθηκε ο Μεγάλος ποταμός Ζάμπ στο Βόρειο Ιράκ για την εύρεση κατάλληλης θέσης κατασκευής ταμιευτήρα με σκοπό την αντιπλημμυρική προστασία της αστικής περιοχής, την ύδρευση και την άρδευση των γύρω περιοχών, χρησιμοποιώντας την AHP και την fuzzy logic μέθοδο (Noori, Pradhan, & Ajaj, 2019).

Διαπιστώνεται μέσω των συγκεκριμένων άρθρων αλλά και της διεθνούς βιβλιογραφίας ότι στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζονται κάποια βασικά κριτήρια για την εύρεση θέσης κατασκευής ενός ταμιευτήρα, τα οποία καλύπτουν το οικονομικό-ποιοτικό και κοινωνικό σκέλος της αξιολόγησης του κάθε σεναρίου. Τα πιο ευρέως διαδεδομένα ήταν τα ακόλουθα:

- Τοπογραφικά δεδομένα (κλίση, υψόμετρο)
- Σεισμολογικά χαρακτηριστικά περιοχής και απόσταση από ρήγματα
- Τύπος εδάφους, γεωλογικά και υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά

- Υδρολογικά δεδομένα (μήκος ποταμού, δεδομένα βροχόπτωσης κ.α.)
- Χρήση γης
- Απόσταση από πόλη, χωριά
- Προσβασιμότητα σε υλικά
- Κόστος
- Περιβαλλοντικός αντίκτυπος
- Κοινωνικοπολιτικός αντίκτυπος

Πάνω σε αυτά αλλά και σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία για τη χωροθέτηση ΜΥΗΕ λαμβάνονται υπόψη κάποια κριτήρια, τα σημαντικότερα εκ' των οποίων είναι τα παρακάτω:

- I. Σύμφωνα με το Άρθρο 13 οι περιοχές που δύναται να αξιοποιηθούν για το υδάτινο δυναμικό τους, διακρίνονται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές με δασικές εκτάσεις, όπου η φυσική πηγή, δηλαδή το νερό, σε συνάρτηση με την υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο σημείο υδροληψίας και στον σταθμό παραγωγής ενέργειας, πετυχαίνουν την βιωσιμότητα και λειτουργικότητα του ΜΥΗΕ.
- II. Σύμφωνα με το Άρθρο 14 αναφέρονται οι περιοχές αποκλεισμού για τη χωροθέτηση ΜΥΗΕ, όπως για παράδειγμα οι κηρυγμένες ως διατηρητέων μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστική κληρονομιάς, οι περιοχές Natura 2000, οι υγρότοποι, οι παραδοσιακοί οικισμοί κλπ.
- III. Στο Άρθρο 16 αναφέρονται τα κριτήρια για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας υποδοχέων ΜΥΗΕ, όπου για τις ανάγκες της παρούσας απόφασης ως «φέρουσα ικανότητα των υποδοχέων (υδατορευμάτων) ΜΥΗΕ, νοείται η μέγιστη δυνατότητα εγκατάστασης ΜΥΗΕ στο ίδιο υδατόρευμα.

Είναι δύσκολο να οριστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός κριτηρίων, τα οποία θα ορίζουν τη βέλτιστη θέση για την κατασκευή ενός φράγματος. Τονίζεται ότι η κάθε περιοχή μελέτης με βάση τα μοναδικά της χαρακτηριστικά (περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά) και την τάση έντονης ή σταδιακής ανάπτυξής της δημιουργεί κριτήρια και περιορισμούς, τα οποία εφαρμόζονται κατά τη λύση του προβλήματος. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποια βασικά κριτήρια, τα οποία επηρεάζουν την ασφάλεια του ταμιευτήρα και είναι απαραίτητα για την έντεχνη κατασκευή του. Σύμφωνα με τα

παραπάνω και μετά από την ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης της Νήσου Κέρκυρας, έγινε η επιλογή των παρακάτω βασικών κριτηρίων:

1. Κλίση εδάφους
2. Υψόμετρο
3. Απόσταση από ρήγματα
4. Στεγανότητα γεωλογικών σχηματισμών (υδρολιθολογικοί χαρακτηρισμοί)
5. Χρήση γης
6. Εγγύτητα σε οδικό δίκτυο (προσβασιμότητα)
7. Εγγύτητα σε πόλεις

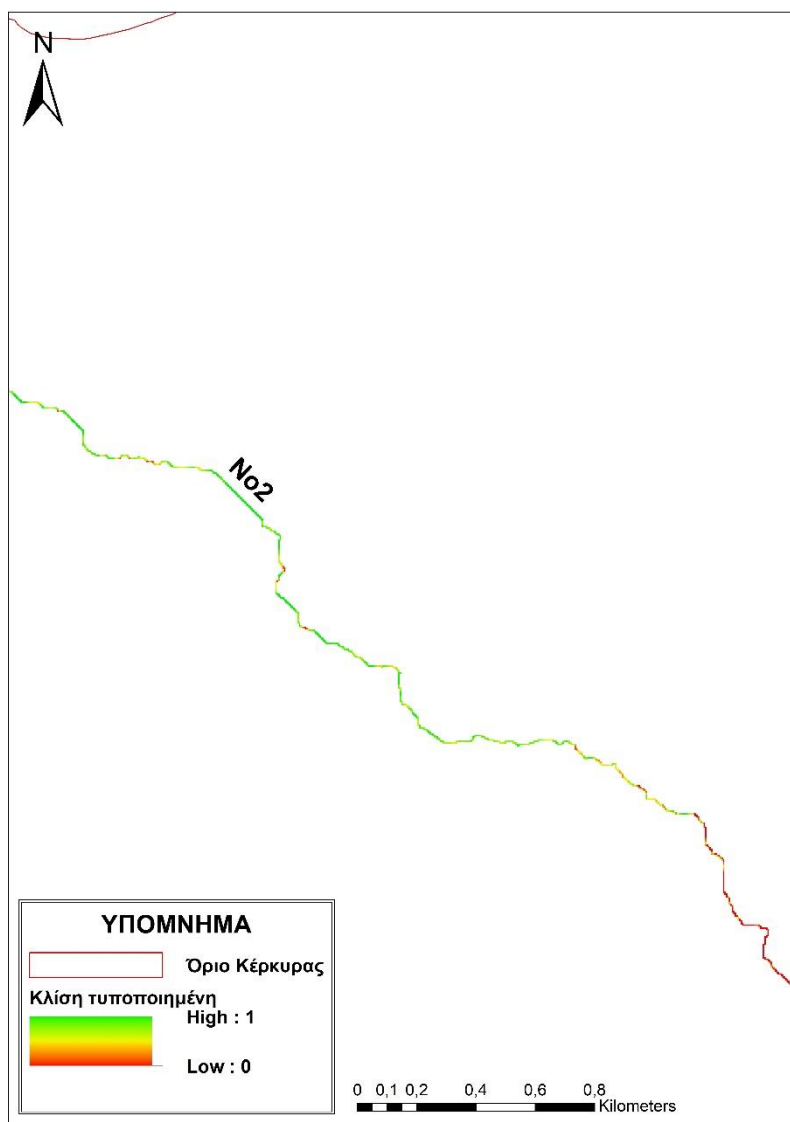
Οι τιμές που παίρνουν τα κριτήρια είναι απόρροια βιβλιογραφικής έρευνας, καθώς επίσης και προσωπικής εκτίμησης του χρήστη κατόπιν μελέτης του αντικειμένου.

3.2.3.1 Κλίση εδάφους

Η κλίση αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζει την θέση κατασκευής ενός φράγματος, καθώς αυτή έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ασφάλεια του έργου. Περιοχές με ήπια κλίση περιορίζουν τόσο το κόστος κατασκευής, όσο και τον κίνδυνο αστοχίας του φράγματος, καθώς οι μεγάλες κλίσεις εμφανίζουν υψηλό κίνδυνο κατολίσθησης του εδάφους και προκαλούν μεγαλύτερες πιέσεις στη θεμελίωση της κατασκευής (Xinyi Dai, 2016). Ταυτόχρονα όμως η κλίση επηρεάζει την καθίζηση του εδάφους, την ταχύτητα του επιφανειακού νερού και την συσσώρευσή του (Al-Ruzouq, και συν., 2019) (Gaylan Rasul Faqe Ibrahim, Azad Rasul, Arieann Ali Hamid, Zana Fattah Ali, & Amanj Ahmad Dewana, 2019).

Η κλίση μπορεί να περιγραφεί με δύο διαφορετικούς τρόπους, με ποσοστό και με βαθμό. Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέγεται σε βαθμό η κλίση, ο οποίος υποδεικνύει τη γωνία μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και του οριζόντιου επιπέδου, ενώ η ποσοστιαία κλίση υποδεικνύει την ποσοστιαία αναλογία αλλαγής υψομέτρου σε οριζόντια αλλαγή απόστασης. Το Σχήμα 3.11 δείχνει τις κλίσεις στο νησί της Κέρκυρας όπως προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) της περιοχής (Lewis, Fitts, Kelly, & Dale, 2014). Έγινε εφαρμογή της εντολής «Times» μεταξύ της κλίσης και του κύριου υδατορέματος, με σκοπό την απομόνωση των τιμών της κλίσης κατά το μήκος των κύριων υδατορευμάτων στην περιοχή. Στη συνέχεια η τυποποίηση έγινε με τη χρήση της Εξίσωσης 9, η οποία αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.2.2 και εφαρμόστηκε μέσω της εντολής Raster Calculator. Εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη εξίσωση, καθώς οι

καλύτερες τιμές κλίσεων για χωροθέτηση φραγμάτων είναι αυτές με χαμηλές τιμές. Προέκυψε το τυποποιημένο αρχείο με τιμές από 0 έως 1 και αυτό ενοποιήθηκε με την εφαρμογή της εντολής Mosaic to new raster με το κύριο υδατόρεμα. Το κύριο υδατόρεμα είχε τιμές φατνίων «0» και έτσι προέκυψε το κριτήριο των κλίσεων. Στο Σχήμα 3.15 φαίνεται το τυποποιημένο αρχείο των κλίσεων στο κύριο υδατόρεμα No2 της υπολεκάνης.



Σχήμα 3.15: Κριτήριο κλίσης τυποποιημένο στο κύριο υδατόρεμα No2

3.2.3.2 Υψόμετρο της Περιοχής

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) με ένα μέγεθος κελιού 5x5 m δείχνει ότι το υψόμετρο στο νησί της Κέρκυρας κυμαίνεται από 0 έως 915 m περίπου. Τα μεγάλα υψόμετρα διακρίνονται στο βόρειο τμήμα του νησιού σύμφωνα με το Σχήμα 3.2. Το

υψόμετρο μίας περιοχής καθορίζει τη συσσώρευση του νερού και την κίνησή του, συνεπώς διαπιστώνεται ότι και το υψόμετρο παίζει σημαντικό ρόλο στη χωροθέτηση ενός ταμιευτήρα (Al-Ruzouq, και συν., 2019).

Σύμφωνα με τη νομοθεσία οι περιοχές που δύναται να αξιοποιηθούν για το υδάτινο δυναμικό τους, διακρίνονται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές. Η Γενική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (1938) εξέδωσε την «Υψομετρική Κατανομή της Ελλάδος», αναφέρθηκε αναλυτικά και για το νησί της Κέρκυρας και διαχώρισε τις περιοχές σύμφωνα με το υψόμετρό τους σε:

1. Χαμηλές περιοχές όταν το υψόμετρο κυμαίνεται από 0 έως 200 m.
2. Ημιορεινές περιοχές όταν το υψόμετρο κυμαίνεται από 201 έως 500 m.
3. Ορεινές περιοχές όταν το υψόμετρο κυμαίνεται από 501 έως 1500 m.
4. Υψηλές περιοχές όταν το υψόμετρο είναι μεγαλύτερο από 1500 m.

Έγινε εφαρμογή της εντολής «Times» μεταξύ του DEM και του κύριου υδατορέματος, με σκοπό την απομόνωση των τιμών των υψομέτρων κατά το μήκος των κύριων υδατορευμάτων. Σύμφωνα με τα παραπάνω και με την ταξινόμηση που εφαρμόζεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Luís & Cabral, 2021), η τυποποίηση έγινε με τη χρήση της Εξίσωσης 8, η οποία αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.2.2. Εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη εξίσωση, καθώς τα μεγαλύτερα υψόμετρα είναι καλύτερα για τη χωροθέτηση φραγμάτων. Μέσω της εντολής Raster Calculator προέκυψε το τυποποιημένο αρχείο με τιμές από 0 έως 1 και αυτό ενοποιήθηκε με την εφαρμογή της εντολής Mosaic to new raster με το κύριο υδατόρεμα. Το κύριο υδατόρεμα είχε τιμές φατνίων «0» και έτσι προέκυψε το κριτήριο των υψομέτρων.

3.2.3.3 Απόσταση από Ρήγματα

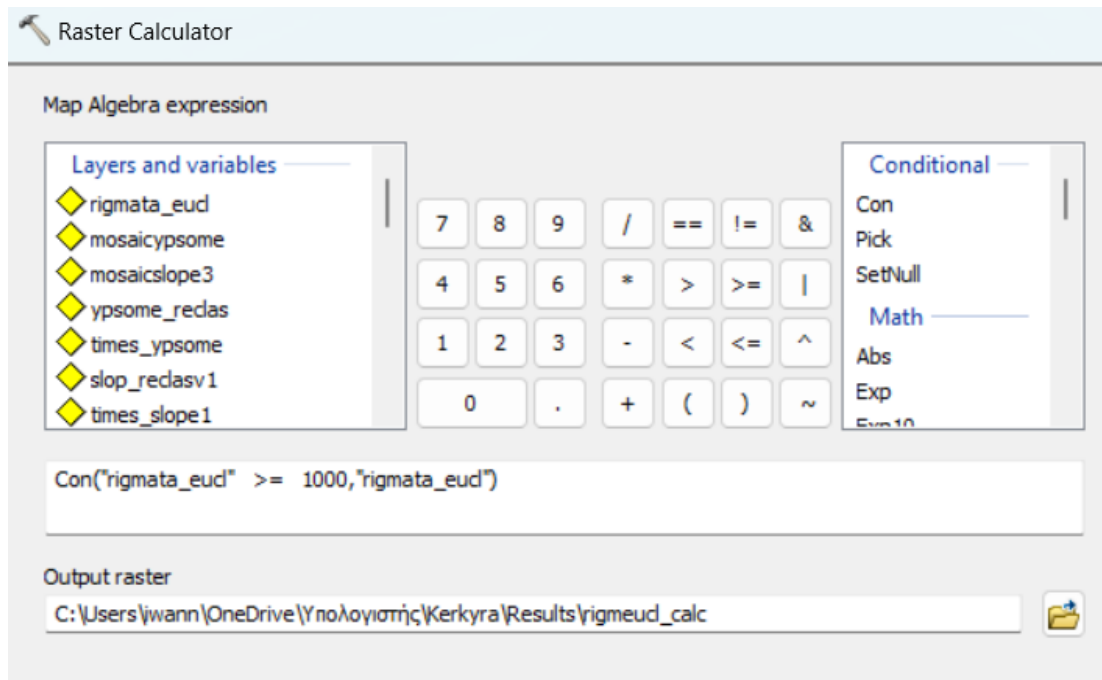
Στην περίπτωση κατασκευής φράγματος θα πρέπει να γίνεται έρευνα για την παρουσία ή μη ενεργού ρήγματος στη θέση ή κοντά σε αυτή. Ειδικότερα κατά τον εντοπισμό ρήγματος έμφαση δίνεται στον τύπο κίνησης, το συνολικό μήκος και η ηλικία της τελευταίας κίνησης, μέσω υπαίθριων παρατηρήσεων, μετρήσεων και υπεδαφικών ερευνών. Επισημαίνεται ότι μετατοπίσεις κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων μπορεί να προκαλέσουν διαφορικές καθιζήσεις, γι' αυτό αποφεύγονται να βρίσκονται κοντά στην περιοχή θεμελίωσης άκαμπτων φραγμάτων ή στη θέση του αργιλικού πυρήνα και των συνοδών έργων των γεωφραγμάτων. Επιπλέον τα ενεργά ρήγματα μπορεί να

αποτελέσουν δίοδο κυκλοφορίας θερμών υδάτων με μέταλλα, για τα οποία πρέπει να προβλεφθεί αγωγός απομόνωσης, ώστε να επιτευχθεί η ασφαλή απαγωγή τους.

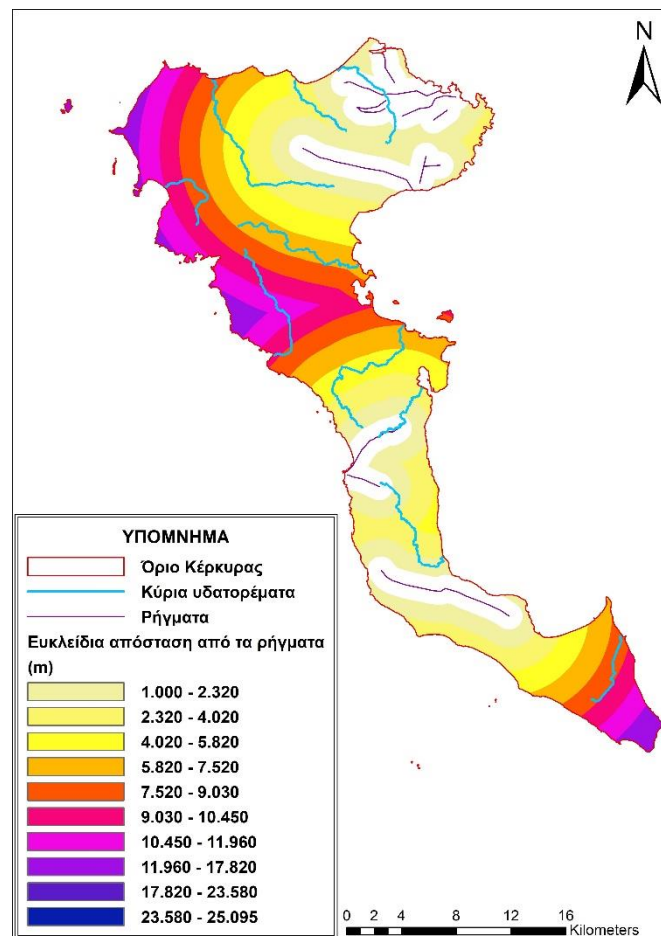
Τα ανενεργά ρήγματα αποτελούν συνήθως ασθενείς ζώνες, οι οποίες μπορεί να αποτελέσουν δίοδο νερού ή να φέρουν υλικό παραμορφωμένο μικρής διατμητικής αντοχής, συνεπώς τονίζεται η πραγματοποίηση λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης και η αξιολόγηση της επίδρασής τους στην κατασκευή του έργου.

Σε περίπτωση που η θέση κατασκευής είναι σε σεισμογενή περιοχή, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα σεισμικά φορτία και η επίδρασή τους στην ευστάθεια των πρανών του φράγματος και η πιθανότητα εκδήλωσης κυμάτων, τα οποία μπορούν να υπερπηδήσουν το φράγμα. Οι σεισμικές δονήσεις μπορεί να επιφέρουν ρευστοποίηση σε χαλαρά γεωυλικά με μικρή συνοχή που βρίσκονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτά τα γεωυλικά προτείνεται να αποφεύγονται για τη θεμελίωση του φράγματος και να μην χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.

Η απόσταση από ρήγματα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1000 m και οι περιοχές με ενεργά ρήγματα να αποκλείονται από την χωροθέτηση (Arsalan Ahmed Othman, et al., 2020). Συνεπώς υπολογίστηκε η απόσταση των pixels από τα ρήγματα με την εφαρμογή την εντολή της Euclidean Distance και στο αρχείο που προέκυψε με το εργαλείο Raster Calculator εφαρμόστηκε η συνθήκη της απόστασης, ότι πρέπει να είναι οι τιμές της απόστασης μεγαλύτερες από 1000 m. Στο Σχήμα 3.16. φαίνεται η συνθήκη και στο Σχήμα 3.17 το αποτέλεσμα της συνθήκης, δηλαδή η Ευκλείδεια Απόσταση με τον περιορισμό ότι αποκλείονται οι περιοχές που είναι σε απόσταση 1000 m από τα ρήγματα.



Σχήμα 3.16: Η συνθήκη αποκλεισμού των περιοχών που είναι σε απόσταση 1000m από τα ρήγματα. (Το αρχείο rigmata_eudl είναι το layer που προέκυψε από την εφαρμογή της Euclidean Distance στο layer των ρηγμάτων)



Σχήμα 3.17: Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της συνθήκης αποκλεισμού των περιοχών που είναι σε απόσταση 1000m από τα ρήγματα

Έγινε εφαρμογή της εντολής «Times» μεταξύ του layer της Ευκλείδειας Απόστασης των ρηγμάτων (με την συνθήκη αποκλεισμού) και του κύριου υδατορέματος, με σκοπό την απομόνωση των τιμών των αποστάσεων κατά το μήκος των κύριων υδατορευμάτων. Σύμφωνα με τα παραπάνω και με την ταξινόμηση που εφαρμόζεται στη διεθνή βιβλιογραφία, η τυποποίηση έγινε με τη χρήση της Εξίσωσης 8, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από ρήγματα τόσο καλύτερο είναι αυτό για τη χωροθέτηση ενός φράγματος (Noori, Pradhan, & Ajaj, 2019). Μέσω της εντολής Raster Calculator προέκυψε το τυποποιημένο αρχείο με τιμές από 0 έως 1 και αυτό ενοποιήθηκε με την εφαρμογή της εντολής Mosaic to new raster με το κύριο υδατόρεμα. Το κύριο υδατόρεμα είχε τιμές φατνίων «0» και έτσι προέκυψε το κριτήριο της απόστασης από ρήγματα.

3.2.3.4 Στεγανότητα (υδρολιθολογικοί χαρακτηρισμοί)

Η γεωλογική δομή, το πάχος των στρώσεων που φέρουν το βάρος του φράγματος και η διαπερατότητα επηρεάζουν τις συνθήκες θεμελίωσης. Η βραχομάζα επιβάλλεται να είναι υγιής και ανθεκτική ώστε να αποτελεί μία ικανοποιητική βάση για την κατασκευή του φράγματος (Emiroglu, 2008). Τα κατάλληλα θεμέλια πετρωμάτων όπως για παράδειγμα πυριγενή πετρώματα (γρανίτης κτλ.) προσφέρουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση, τη διήθηση και την πίεση (Xinyi Dai, 2016).

Τονίζεται ότι το κάθε είδος εδάφους επηρεάζει την ποσότητα νερού που μπορεί να διηθηθεί στο έδαφος (Emiroglu, 2008). Σε βραχώδη υπόβαθρα με χαμηλή διαπερατότητα και υψηλή αντοχή πετρώματος είναι κατάλληλος κάθε τύπος φράγματος. Στην περίπτωση που το υπόβαθρο είναι αποσαθρωμένο είναι σημαντικό να απομακρυνθούν τα πετρώματα, καθώς και να στεγανοποιηθούν οι ρωγμές προκειμένου να περιοριστούν οι διαρροές. Τα λεπτόκοκκα εδάφη (αργιλώδη) και οι συνδυασμοί τους, όπως ο πηλός είναι αρκετά αδιαπέρατα και συνεπώς δεν εμφανίζουν φαινόμενα διάβρωσης και προτείνονται για θέσεις κατασκευής φραγμάτων (Stephens, 2010).

Με βάση τα παραπάνω και όσα αναπτύχθηκαν στην Ενότητα 3.1.4 οι γεωλογικοί σχηματισμοί με μέτρια ως υψηλή υδροπερατότητα χαρακτηρίστηκαν ως ακατάλληλοι και οι υπόλοιποι, δηλαδή με μικρή έως πολύ μικρή και μέτρια έως μικρή, ορίστηκαν ως κατάλληλοι για τη χωροθέτηση ενός φράγματος. Στο περιβάλλον του ArcGIS στο αρχείο των γεωλογικών σχηματισμών μέσα στο Open Attribute Table δημιουργήθηκε

μία στήλη, στην οποία δόθηκε η πληροφορία της υδροπερατότητας και ο χαρακτηρισμός 1 για τα λιγότερο υδροπερατά/στεγανά πετρώματα και 0 για τα περατά. Στη συνέχεια με την εντολή Feature to raster επιλέχθηκε αυτή η στήλη και δημιουργήθηκε ένα raster αρχείο, στο οποίο εφαρμόστηκε η εντολή Times με το κύριο υδατόρεμα, με σκοπό την απομόνωση της υδροπερατότητας των σχηματισμών κατά μήκος των κύριων υδατορευμάτων. Το αρχείο τυποποιήθηκε με τη χρήση της Εξίσωσης 8 και με την εντολή Mosaic to new raster τυποποιήθηκε με το κύριο υδατόρεμα που είχε τιμές pixel «0». Με αυτό τον τρόπο διαμορφώθηκε το κριτήριο του υδρολιθολογικού χαρακτηρισμού των πετρωμάτων.

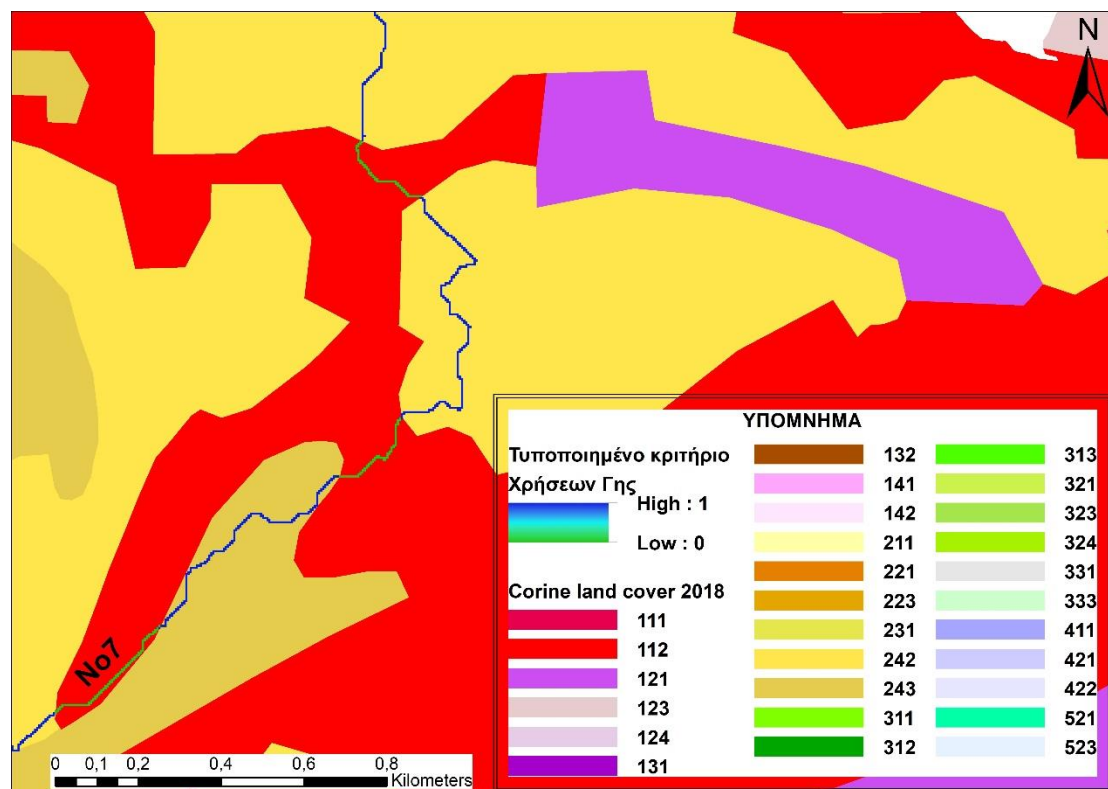
3.2.3.5 Χρήσεις Γης

Ένα από τα βασικά κριτήρια για την χωροθέτηση ενός ταμειυτήρα είναι η χρήση γης. Η αλλαγή της χρήσης γης επηρεάζει την υδρολογική απόκριση των λεκανών απορροής των ποταμών, γεγονός που προκαλεί μεγάλο προβληματισμό στους Υδρολόγους. Η χρήση γης αποτελεί σημαντική παράμετρο για την αξιολόγηση της απορροής, καθώς όταν αλλάζει η μία αυτό προκαλεί αλλαγή και στην άλλη. Πιο αναλυτικά η χρήση γης επηρεάζει την υψηλή απορροή που θα προκαλέσει το νερό της βροχής σε μία αστική περιοχή και την χαμηλή απορροή που θα προκληθεί αντίστοιχα σε μία περιοχή με έντονη βλάστηση (Gaylan Rasul Fage Ibrahim, Azad Rasul, Arieann Ali Hamid, Zana Fattah Ali, & Amanj Ahmad Dewana, 2019).

Σύμφωνα με τη νομοθεσία οι δασικές εκτάσεις κρίνονται κατάλληλες για τη χωροθέτηση ενός φράγματος, όπως και περιοχές με βλάστηση ή και γυμνές/βραχώδεις περιοχές (Karakus & Yildiz, 2022). Ταυτόχρονα όταν πρόκειται για αρδευτικό φράγμα προτείνονται περιοχές εντός ή κοντά σε γεωργική γη με σκοπό τη μείωση του κόστους μεταφοράς νερού (Mugo & Odera, 2019). Οι παραπάνω χρήσεις γης έλαβαν καλή βαθμολογία, ενώ σε αντίθετη περίπτωση οι αστικές περιοχές και οι οικισμοί λόγω της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας δεν προτείνονται ως επιλογή για την κατασκευή φραγμάτων (Ajibade, και συν., 2020).

Στο περιβάλλον του ArcGIS εφόσον τα δεδομένα των χρήσεων γης έλαβαν τιμές από 0 έως 1 με την εντολή Feature to raster δημιουργήθηκε ένα raster αρχείο, στο οποίο εφαρμόστηκε η εντολή Times με το κύριο υδατόρεμα, με σκοπό την απομόνωση της πληροφορίας των χρήσεων γης κατά μήκος των κύριων υδατορευμάτων. Το αρχείο τυποποιήθηκε με τη χρήση της Εξίσωσης 8 και με την εντολή Mosaic to new raster

τυποποιήθηκε με το κύριο υδατόρεμα που είχε τιμές pixel «0». Με αυτό τον τρόπο διαμορφώθηκε το κριτήριο των χρήσεων γης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.18 στα σημεία που υπάρχει οικισμός (Κωδικός 112: Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση) η τιμή πάνω στο υδατόρεμα είναι 0.



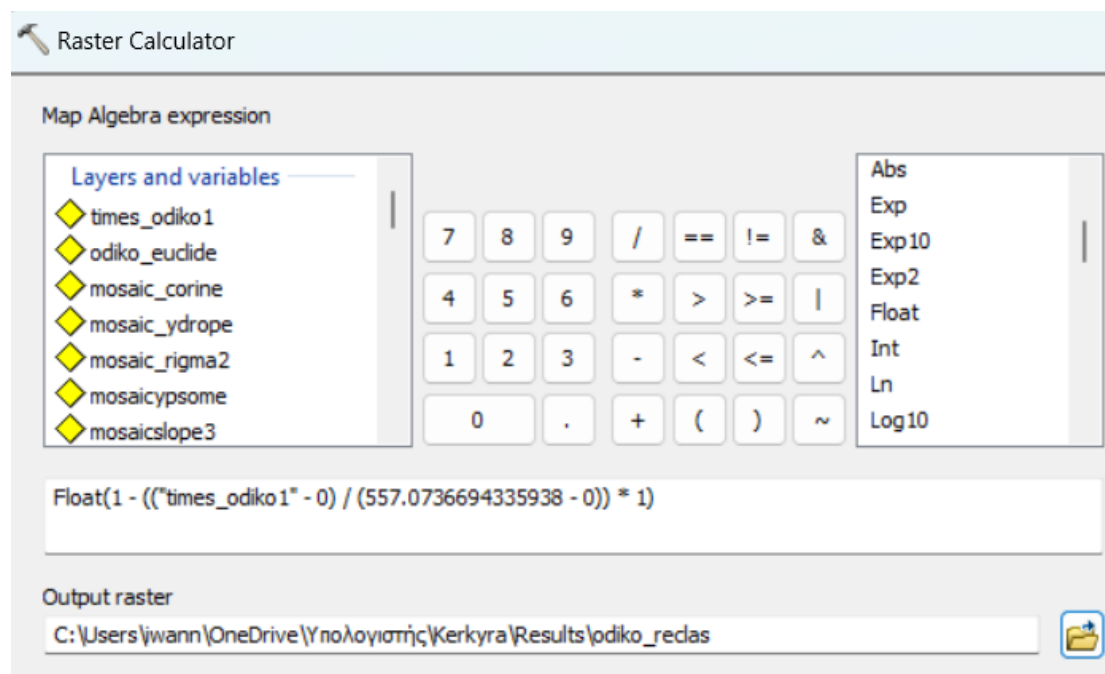
Σχήμα 3.18: Τυποποίηση κριτηρίου χρήσεων γης στο υδατόρεμα Νο7

3.2.3.6 Εγγύτητα σε Οδικό Δίκτυο (προσβασιμότητα)

Η προσβασιμότητα αποτελεί επίσης σημαντικό κριτήριο για τη χωροθέτηση του φράγματος, καθώς συνδέεται με το κόστος μεταφοράς (Ghazal & Salman, 2015). Με την κατασκευή ενός φράγματος κοντά στο οδικό δίκτυο, μπορεί να αποφευχθεί η χάραξη και κατασκευή νέων δρόμων. Ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος μεταφοράς υλικών και προσωπικού κατά τη διάρκεια κατασκευής, αλλά και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου. Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι οι μικρές αποστάσεις θα παίρνουν και τις καλύτερες βαθμολογίες.

Στο ArcMap με την ευκλείδεια απόσταση μετατράπηκαν σε raster το vector αρχείο του οδικού δικτύου και με την εντολή Times απομονώθηκαν οι αποστάσεις του οδικού δικτύου κατά μήκος των κύριων υδατορευμάτων. Το αρχείο που δημιουργήθηκε είχε ελάχιστη τιμή το 0 και μέγιστη τα 560 m και στη συνέχεια το αρχείο τυποποιήθηκε,

όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.19 με τη χρήση της Εξίσωσης (9), καθώς όσο πιο κοντά στο οδικό δίκτυο είναι το έργο τόσο μεγαλύτερα είναι τα οφέλη. Τέλος, με την εντολή Mosaic to new raster προέκυψε το τελικό τυποποιημένο κριτήριο που δηλώνει την απόσταση από το οδικό δίκτυο.

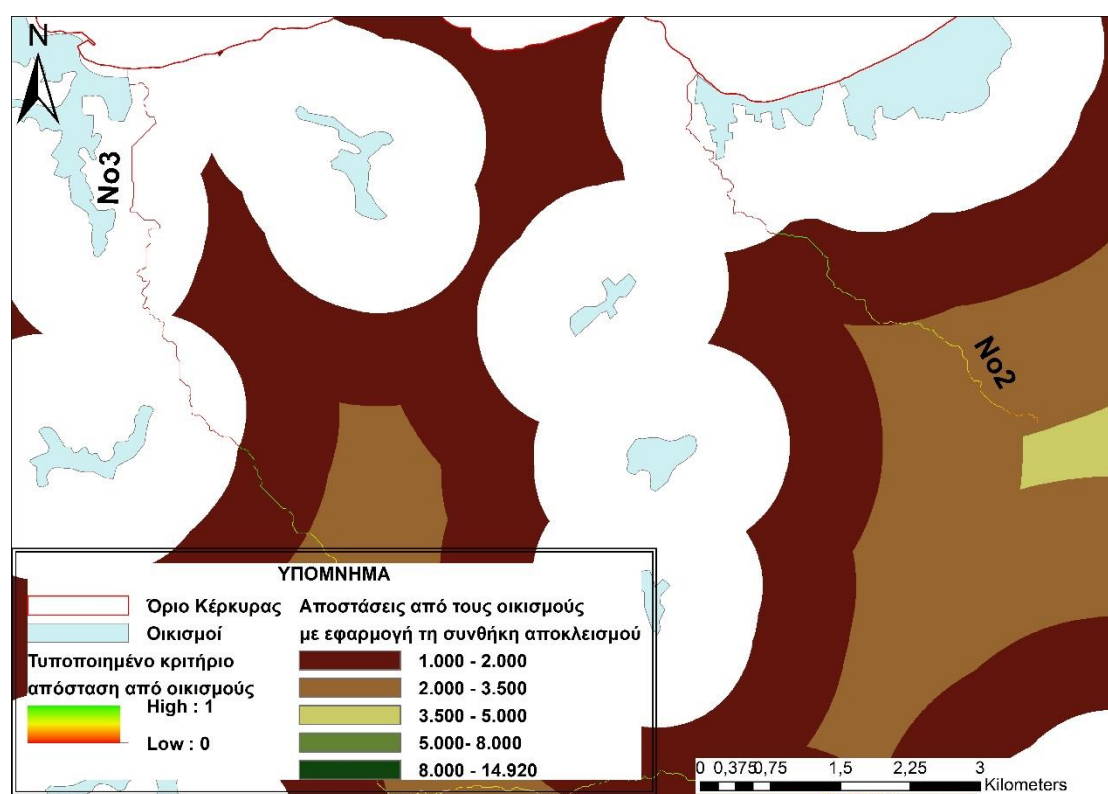


Σχήμα 3.19: Εφαρμογή της Εξίσωσης 9 για την τυποποίηση των αποστάσεων από το οδικό δίκτυο (το αρχείο times_odiko1 είναι το αρχείο που προέκυψε από την εφαρμογή της εντολή Times μεταξύ του layer των κύριων υδατορευμάτων και του layer που προέκυψε από την εντολή της Ευκλείδειας απόστασης στο οδικό δίκτυο).

3.2.3.7 Εγγύτητα σε Οικισμούς

Έρευνες δείχνουν ότι η απόσταση από τις αστικές περιοχές επηρεάζουν την επιλογή της θέσης του φράγματος. Τα φράγματα πρέπει να βρίσκονται σε μία απόσταση από τις κατοικημένες περιοχές, έτσι ώστε να προφυλάσσονται σε περίπτωση αστοχίας του φράγματος. Αποστάσεις μικρότερες από 1000 m θεωρούνται ακατάλληλες, καθώς σε περίπτωση αστοχίας σκοπός είναι να αποφευχθεί η καταστροφή περιουσίας και η μετατόπιση των πολιτών σε περίπτωση πλημμύρας (Kumi Boateng, Stemn, & Sibil, 2016). Ταυτόχρονα η εγγύτητα σε μια αγροτική περιοχή/χωριό είναι ένας δείκτης ευκολίας στη μέτρηση του ανθρώπινου δυναμικού που απαιτείται για την κατασκευή φραγμάτων. Επιπλέον η τοποθεσία του φράγματος θα πρέπει να έχει εύκολη πρόσβαση, ώστε να μπορεί να ωφελήσει οικονομικά πόλεις που θα βρίσκονται κοντά.

Στο περιβάλλον του ArcGIS υπολογίστηκε η απόσταση των pixels από τους οικισμούς με την εφαρμογή της εντολής Euclidean Distance και στο αρχείο που προέκυψε εφαρμόστηκε η συνθήκη αποκλεισμού, ότι πρέπει οι τιμές της απόστασης να είναι μεγαλύτερες από 1000 m. Το νέο αρχείο του περιορισμού απομονώθηκε στα κύρια υδατορεύματα με την εντολή Times, σε αυτό το σημείο διαπιστώθηκε ότι τα σημεία που η απόσταση ήταν κάτω από 1000 m δεν είχαν κανένα δεδομένο. Το layer τυποποιήθηκε με την εφαρμογή της Εξίσωσης 9, καθώς βέλτιστη τιμή θα έχουν οι κοντινές αποστάσεις στους οικισμούς. Τέλος, στο τυποποιημένο αρχείο εφαρμόστηκε η εντολή Mosaic to new raster, έτσι ώστε το τυποποιημένο κριτήριο της απόστασης από τους οικισμούς να έχει τιμή pixel «0» στα σημεία αποκλεισμού, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.20: Τυποποιημένο κριτήριο της απόστασης από τους οικισμούς σε περιοχή της Κέρκυρας

3.2.4 Τυποποίηση-Ταξινόμηση και Σύνθεση Κριτηρίων

Η διαδικασία για την εύρεση της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης φράγματος ολοκληρώθηκε με την ταξινόμηση των επτά κριτηρίων και τον υπολογισμό των βαρών τους. Υπολογίστηκαν βάρη για δύο διαφορετικά σενάρια, το πρώτο σενάριο είχε στόχο

την εύρεση βέλτιστης θέσης χωροθέτησης ΜΥΗΕ, ενώ το δεύτερο για πολλαπλής σκοπιμότητας (αντιπλημμυρικό, ύδρευση και άρδευση).

Η διαδικασία υπολογισμού των βαρών έγινε με τη χρήση του Excel εφαρμόζοντας τη θεωρία της αναλυτικής ιεράρχησης. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι κλίσεις (C1), το υψόμετρο (C2), η απόσταση από τα ρήγματα (C3), η στεγανότητα των γεωλογικών σχηματισμών (C4), οι χρήσεις γης (C5), η απόσταση από το οδικό δίκτυο (C6) και η απόσταση από οικισμούς (C7). Ακολούθησε η διαδικασία του ορισμού της σημαντικότητας του ενός κριτηρίου σε σχέση με τα υπόλοιπα, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3, ο οποίος παρουσιάζει τη θεμελιώδη κλίμακα σύγκρισης ζευγών. Στο πρώτο σενάριο το κριτήριο των κλίσεων είχε τη μεγαλύτερη βαθμολογία σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα κριτήρια, έπειτα σε σημαντικότητα ορίστηκε το κριτήριο του υψομέτρου και ακολουθούν τα κριτήρια της στεγανότητας, της απόστασης από ρήγματα, των χρήσεων γης, της απόστασης από οικισμούς και τέλος της απόστασης από το οδικό δίκτυο. Στο δεύτερο σενάριο το κριτήριο των κλίσεων ορίστηκε πάλι το πιο σημαντικό, αλλά ακολούθησε η στεγανότητα, η απόσταση από τα ρήγματα, το υψόμετρο, οι χρήσεις γης, η απόσταση από τους οικισμούς και το οδικό δίκτυο.

Με βάση τα παραπάνω συμπληρώθηκε ο πίνακας σύγκρισης ζευγών για το πρώτο σενάριο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ιδιοτιμή $\lambda_{\max}=7.532$ του πίνακα, ο δείκτης $CI=0.088$ συνέπειας και εφόσον τα κριτήρια είναι επτά το RI ορίστηκε 1.32. Για το λόγο συνέπειας πρέπει να ισχύει ότι $CR \leq 0.10$, όπως και προέκυψε, καθώς υπολογίστηκε ότι $CR=0.067$. Αντίστοιχα συμπληρώθηκε ο πίνακας για το δεύτερο σενάριο, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.7 και υπολογίστηκαν οι τιμές για την ιδιοτιμή $\lambda_{\max}=7.405$ του πίνακα, ο δείκτης $CI=0.067$ και ο λόγος συνέπειας $CR=0.051$.

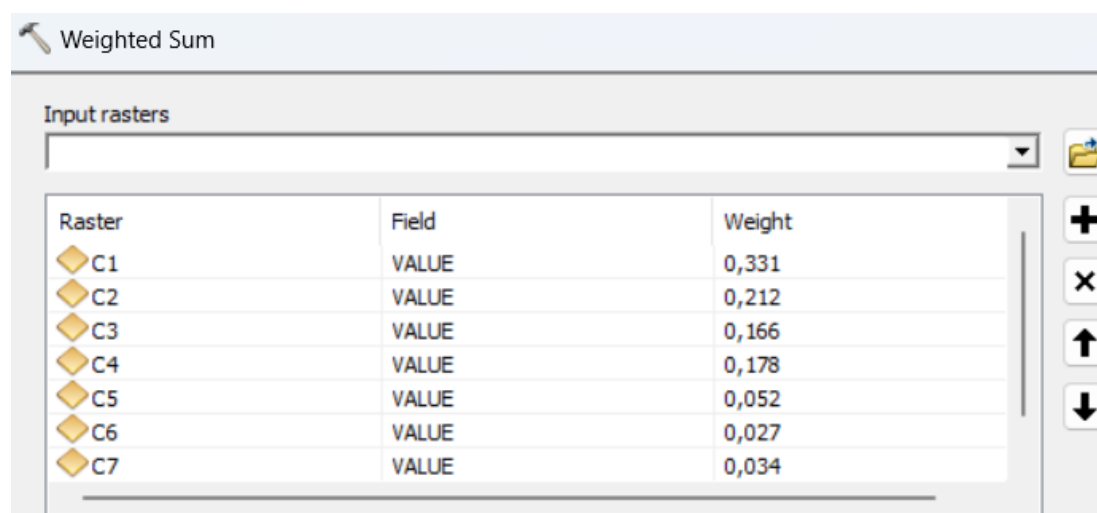
Πίνακας 3.6:Εισαγωγή τιμών σύγκρισης μεταξύ των κριτηρίων για το Σενάριο 1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	2	2	3	7	9	9
C2	1/2	1	2	3	3	5	5
C3	1/2	1/2	1	2	3	7	5
C4	1/3	1/3	1/2	1	7	9	9
C5	1/7	1/3	1/3	1/7	1	2	2
C6	1/9	1/5	1/7	1/9	1/2	1	1/2
C7	1/9	1/5	1/5	1/9	1/2	2	1

Πίνακας 3.7: Εισαγωγή τιμών σύγκρισης μεταξύ των κριτηρίων για το Σενάριο 2

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	3	5	2	7	9	9
C2	1/3	1	1/2	1/7	3	5	5
C3	1/5	2	1	1/2	3	7	5
C4	1/2	7	2	1	7	9	9
C5	1/7	1/3	1/3	1/7	1	2	2
C6	1/9	1/5	1/7	1/9	1/2	1	1/2
C7	1/9	1/5	1/5	1/9	1/2	2	1

Έχοντας λοιπόν υπολογιστεί οι παραπάνω δείκτες, με την εφαρμογή των σχέσεων στο περιβάλλον του excel υπολογίστηκαν αυτόματα τα βάρη κάθε κριτηρίου. Όπως ήταν αναμενόμενο στο πρώτο σενάριο το μεγαλύτερο βάρος έχει το κριτήριο των κλίσεων με τιμή 0.331, καθώς είχε την μεγαλύτερη τιμή στη σημαντικότητα ως προς τα υπόλοιπα κριτήρια. Το βάρος για το υψόμετρο έχει την τιμή 0.212, για τη στεγανότητα 0.178, την απόσταση από τα ρήγματα 0.166, των χρήσεων γης 0.052, της απόστασης από το οδικό δίκτυο 0.027 και από τους οικισμούς την τιμή 0.034. Αντίστοιχα τα βάρη που προέκυψαν για το δεύτερο σενάριο ήταν 0.363 για το κριτήριο των κλίσεων, 0.106 για το υψόμετρο, 0.137 για την απόσταση από ρήγματα, 0.292 για τη στεγανότητα, 0.046 για τις χρήσεις γης και 0.024 και 0.032 για την απόσταση από το οδικό δίκτυο και τις πόλεις αντίστοιχα. Στο περιβάλλον του ArcGIS εφαρμόστηκαν αυτά τα βάρη για κάθε κριτήριο με τη χρήση της εντολής Weighted Sum, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.21.



Σχήμα 3.21: Εισαγωγή βαρών στα κριτήρια για το 1^ο Σενάριο

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.8) συνοψίζονται τα επιμέρους κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για την παρούσα ανάλυση, όπως και ο τρόπος χειρισμού τους.

Πίνακας 3.8: Συγκεντρωτικός πίνακας κριτηρίων χωροθέτησης, με επιγραμματική αναφορά στη διαδικασία εφαρμογής

Παράγοντες	Διαδικασία τυποποίησης	Χειρισμός περιορισμών	Παρατηρήσεις-Κωδικοποίηση βημάτων υλοποίησης
1. Κλίση(C1)	Εξίσωσης (9)		Τεχνικό κριτήριο με υψηλό συντελεστή βάρους ◦ Εντολή «Times» μεταξύ του κριτηρίου και του κύριου υδατορέματος με σκοπό την απομόνωση τιμών κατά μήκος του κύριου υδατορέματος ◦ Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ◦ Εντολή «Mosaic to new raster» για ενοποίηση του τελευταίου με συνολικό κύριο υδατόρεμα (τιμή φαντιών εντός "0")
2. Ύψόμετρο (C2)	Εξίσωσης (8)		Επηρεάζει τη συσσώρευση και την κίνηση του νερού, νομοθεσία Κ.Υ.Α. 49828/2008 ◦ «Times» μεταξύ του κριτηρίου και του κύριου υδατορέματος ◦ Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ◦ Εντολή «Mosaic to new raster»
3. Απόσταση από τα ρήγματα (C3)	Εξίσωσης (8)	"0" <=1000	Υπολογισμός ευκλείδειας απόστασης από τα ρήγματα ◦ Δημιουργία συνθήκης: «Con(Euclidean distance>=1000,Euclidean distance)» ◦ «Times» μεταξύ της συνθήκης και του κύριου υδατορέματος ◦ Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ◦ Εντολή «Mosaic to new raster»

4. Στεγανότητα γεωλογικών σχηματισμών (C4)	Εξίσωσης (8)	"0" (Μέτρια έως Υψηλή Υδροπερατότητα) "1" (Μικρή έως πολύ μικρή Υδροπερατότητα-Στεγανοί)	Χαρακτηρισμός των γεωλογικών σχηματισμών με τιμές 0 και 1 ανάλογα με την υδροπερατότητά τους ° «Feature to raster» με σκοπό τη δημιουργία ενός layer των γεωλογικών σχηματισμών με τιμές 0 και 1 ° «Times» μεταξύ της συνθήκης και του κύριου υδατορέματος ° Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ° Εντολή «Mosaic to new raster»
5. Χρήσεις γης (C5)	Εξίσωσης (8)		Χαρακτηρισμός των χρήσεων γης με τιμές 0 και 1 ° «Feature to raster» με σκοπό τη δημιουργία ενός layer με τιμές 0 και 1 ° «Times» μεταξύ της συνθήκης και του κύριου υδατορέματος ° Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ° Εντολή «Mosaic to new raster»
6. Απόσταση από το οδικό δίκτυο (C6)	Εξίσωσης (9)		Υπολογισμός ευκλείδειας απόστασης από τα ρήγματα ° «Times» μεταξύ της ευκλείδειας απόστασης και του κύριου υδατορέματος ° Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ° Εντολή «Mosaic to new raster»
7. Απόσταση από οικισμούς (C7)	Εξίσωσης (9)	"0" <=1000	Υπολογισμός ευκλείδειας απόστασης από τους οικισμούς ° Δημιουργία συνθήκης: «Con(Euclidean distance>=1000,Euclidean distance)» ° «Times» μεταξύ της συνθήκης και του κύριου υδατορέματος ° Τυποποίηση του παραπάνω αρχείου «Times» ° Εντολή «Mosaic to new raster»

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, ολοκληρώθηκε η διαδικασία εύρεσης βέλτιστων θέσεων για τη χωροθέτηση φραγμάτων στα δέκα κύρια υδατορέματα που εξετάζονται στο νησί της Κέρκυρας (Σχήμα 3.10). Παράχθηκε ένα αρχείο για κάθε σενάριο με τις πιθανές θέσεις των φραγμάτων που παρουσιάζουν τη βέλτιστη βαθμολογία για χωροθέτηση σε κάθε κύριο υδατόρεμα. Επιπλέον, σε κάθε σενάριο έγιναν δύο υποσενάρια και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των βαρών των κριτηρίων που προκύπτουν για διαφορετική τιμή κάποιων κριτηρίων στη σύγκριση ζευγών. Τέλος, έγινε ανάλυση ευαισθησίας για τον εντοπισμό του κριτηρίου που είναι πιο καθοριστικό στη χωροθέτηση.

4.1 Σύγκριση Βαρών Βάση 2 Σεναρίων

Εξετάστηκαν δύο σενάρια ως προς την εύρεση βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης φραγμάτων. Στο πρώτο εντοπίζονται βέλτιστες θέσεις κατασκευής μικρών υδροηλεκτρικών φραγμάτων και στο δεύτερο φραγμάτων πολλαπλού σκοπού (αντιπλημμυρικό, ύδρευση, άρδευση). Τα ΜΥΗΕ είναι κυρίως "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, και συνεπώς ούτε κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων (Εξάρχου, Κασίμης, & Μιχαηλίδης, 2014). Η παροχή του ύδατος στην θέση υδροληψίας ενός Μ.Υ.Η.Ε. επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και αυτό συμβαίνει γιατί οι κατασκευές τέτοιου είδους δεν χρησιμοποιούν ταμιευτήρα για αποθήκευση νερού αλλά αξιοποιούν την παροχή που υπάρχει τη δεδομένη στιγμή (run of the river), σε αντίθεση με τα φράγματα πολλαπλού σκοπού, στα οποία ο ταμιευτήρας απαιτείται.

Το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος και στα δύο σενάρια ορίστηκε η κλίση. Επιπλέον τονίζεται, ότι οι σχηματισμοί στη βάση και τα όρια του ταμιευτήρα είναι σημαντικό να έχουν χαμηλή διαπερατότητα, ώστε να επιτυγχάνεται η αποφυγή διαρροών από τον ταμιευτήρα προς τις γειτονικές λεκάνες (Μαρίνος, 1991). Συνεπώς στην περίπτωση του πολλαπλού φράγματος δεύτερο σε σημαντικότητα κριτήριο θεωρήθηκε η υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών σε αντίθεση με το υδροηλεκτρικό φράγμα. Τα υπόλοιπα κριτήρια διαχειρίστηκαν με παρόμοιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις.

Στο πρώτο σενάριο εξετάστηκαν δύο υποσενάρια, στα οποία πραγματοποιήθηκε αλλαγή στην τιμή σημαντικότητας για τη σύγκριση μεταξύ των ζευγών σε δύο κριτήρια προκειμένου να ενσωματωθούν στον πίνακα υπολογισμού των βαρών. Τα υποσενάρια ήταν τα εξής:

1. Το κριτήριο του υψόμετρου έχει την τιμή 2 (ελαφρά προτιμητέο) σε σχέση με το κριτήριο της απόστασης από ρήγματα (Υποσενάριο 1).
2. Το κριτήριο της απόστασης από ρήγματα έχει την τιμή 2 (ελαφρά προτιμητέο) σε σχέση με το κριτήριο του υψόμετρου (Υποσενάριο 2).

Στο δεύτερο σενάριο τα βάρη στα κριτήρια είχαν τις εξής διαφορές στα δύο υποσενάρια:

1. Το κριτήριο της υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών έχει την τιμή 7 (ισχυρά προτιμητέο) σε σχέση με το κριτήριο του υψόμετρου (Υποσενάριο 3).
2. Το κριτήριο της υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών έχει την τιμή 4 (ελαφρά-μέτρια προτιμητέο) σε σχέση με το κριτήριο του υψόμετρου (Υποσενάριο 4).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα βάρη και τους δείκτες της AHP παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1. Παρατηρείται ότι στο σενάριο 1 με τη μείωση της σημαντικότητας του κριτηρίου του υψόμετρου σε σχέση με την απόσταση από τα ρήγματα, μειώνεται το βάρος του. Πιο αναλυτικά στο 1^ο υποσενάριο το κριτήριο του υψόμετρου είχε το δεύτερο μεγαλύτερο βάρος και το κριτήριο της απόστασης από τα ρήγματα το τέταρτο, με την αλλαγή της τιμής σημαντικότητας αντιστράφηκαν οι θέσεις στο 2^ο υποσενάριο. Στα υπόλοιπα κριτήρια δεν παρατηρήθηκε κάποια αισθητή διαφορά στα βάρη που προέκυψαν, ούτε και στους δείκτες λ , CI και CR.

Στο σενάριο 2 διαπιστώνεται ότι με τη μείωση της σημαντικότητας του κριτηρίου της υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών σε σχέση με το κριτήριο του υψόμετρου, μειώνεται το βάρος του, ενώ αντίθετα αυξάνεται το βάρος του κριτηρίου του υψόμετρου, καθώς και τα βάρη των υπόλοιπων κριτηρίων αλλά σε πιο μικρό βαθμό. Αντίστοιχα παρατηρείται και έντονη διαφορά στους δείκτες λ , CI και CR. Στο υποσενάριο 4 ο δείκτης CR από 0.051 γίνεται 0.036, και τείνει ακόμα πιο κοντά στο 0 σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα υποσενάρια.

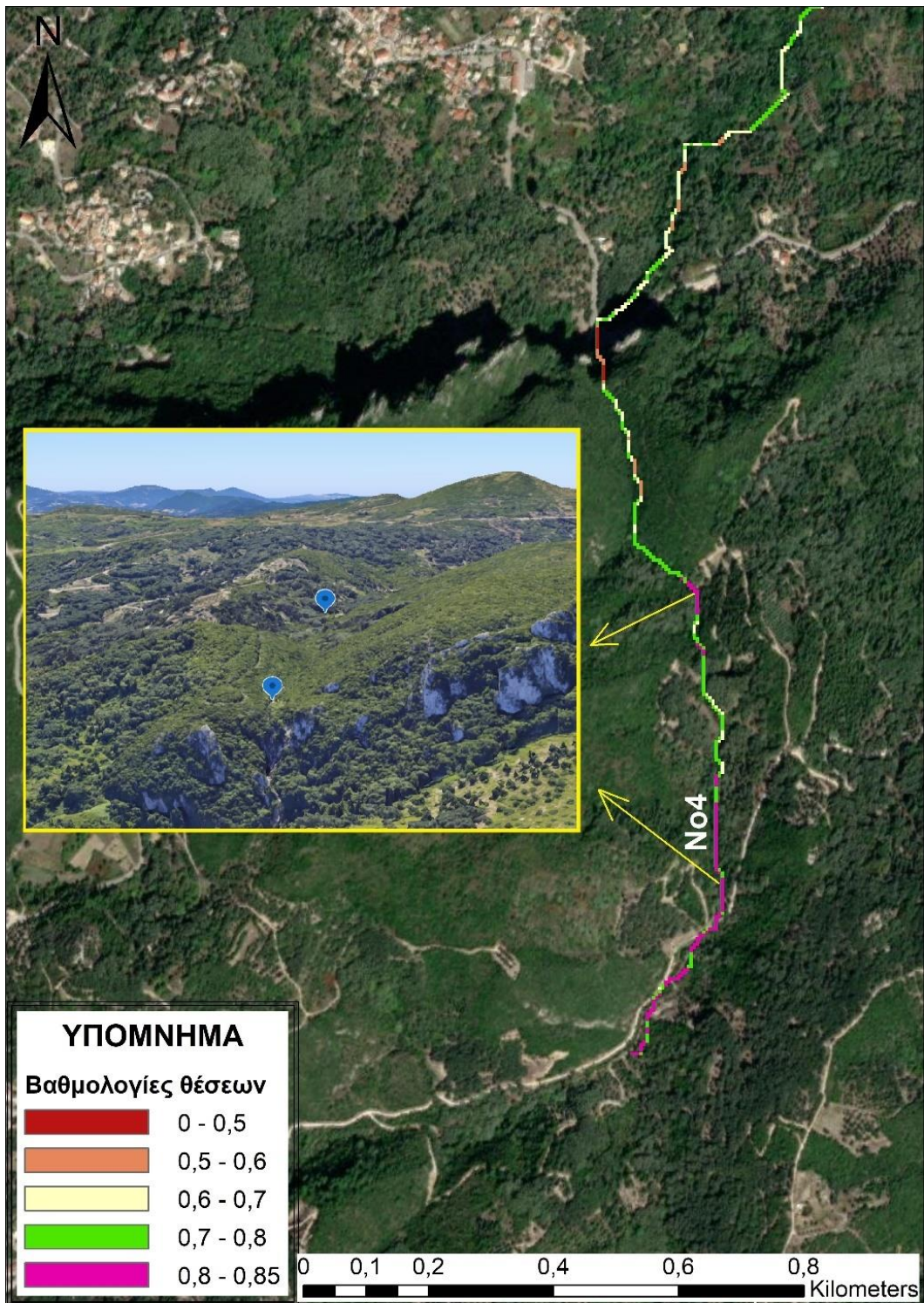
Πίνακας 4.1: Σύγκριση βαρών των κριτηρίων για τα σενάρια

	Σενάριο 1		Σενάριο 2	
	Υποσενάριο 1	Υποσενάριο 2	Υποσενάριο 3	Υποσενάριο 4
C1	0.331	0.330	0.363	0.370
C2	0.212	0.174	0.106	0.112
C3	0.166	0.205	0.137	0.142
C4	0.178	0.179	0.292	0.272
C5	0.052	0.052	0.046	0.047
C6	0.027	0.026	0.024	0.025
C7	0.034	0.034	0.032	0.032
λ	7.532	7.544	7.405	7.289
CI	0.088	0.091	0.060	0.040
CR	0.067	0.068	0.051	0.036

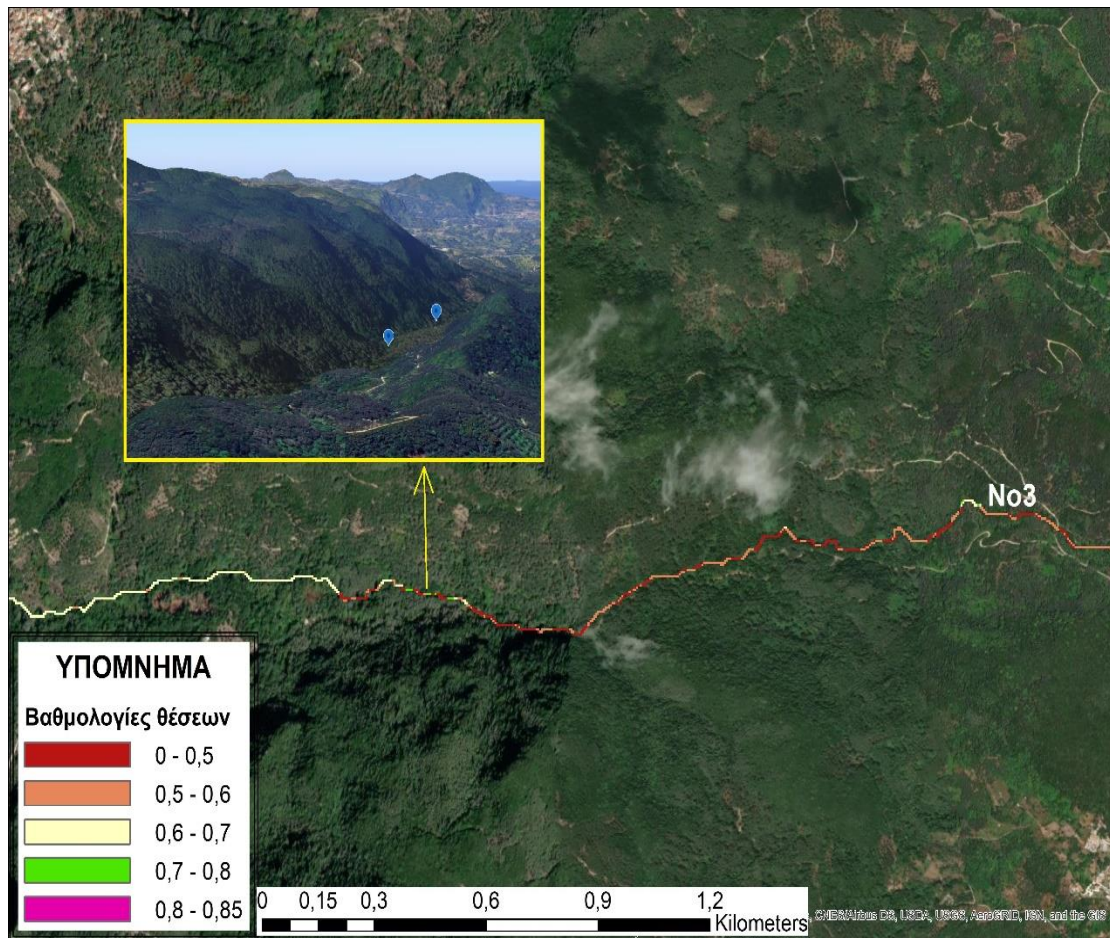
4.2 Αποτελέσματα 1^ο Σεναρίου

Στα δέκα κύρια υδατορέματα προέκυψαν οι τελικές βαθμολογίες με τις βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις για την χωροθέτηση μικρού υδροηλεκτρικού φράγματος. Η μέγιστη βαθμολογία που πήραν οι θέσεις ήταν 0.85 και παρατηρήθηκε ότι και στις δύο περιπτώσεις εμφανίστηκαν όλες στο κύριο υδατόρεμα Νο4. Η διαφορά μεταξύ των δύο υποσεναρίων είναι ότι στο κύριο υδατόρεμα Νο4 στο υποσενάριο 2 παρατηρούνται λίγες περισσότερες θέσεις με καλύτερες βαθμολογίες σε σχέση με το υποσενάριο 1. Οι θέσεις αυτές αντιστοιχούν σε φαντίο διαστάσεων 5 m x 5 m στο πρόγραμμα του ArcGIS και στο Σχήμα 4.1 παρατηρούνται οι θέσεις αυτές στην πραγματικότητα μέσω του Google Earth.

Ταυτόχρονα διαπιστώθηκε ότι στα κύρια υδατορέματα Νο1, Νο2, Νο7 και Νο8 οι βαθμολογίες στις θέσεις είναι πολύ χαμηλές, συνεπώς σε αυτά τα σημεία δεν προτείνεται η χωροθέτηση φράγματος. Στο υδατόρεμα Νο3 εμφανίζονται κάποιες καλές βαθμολογίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2, οι οποίες σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους μπορούν να είναι υποψήφιες θέσης για τη χωροθέτηση ενός φράγματος.

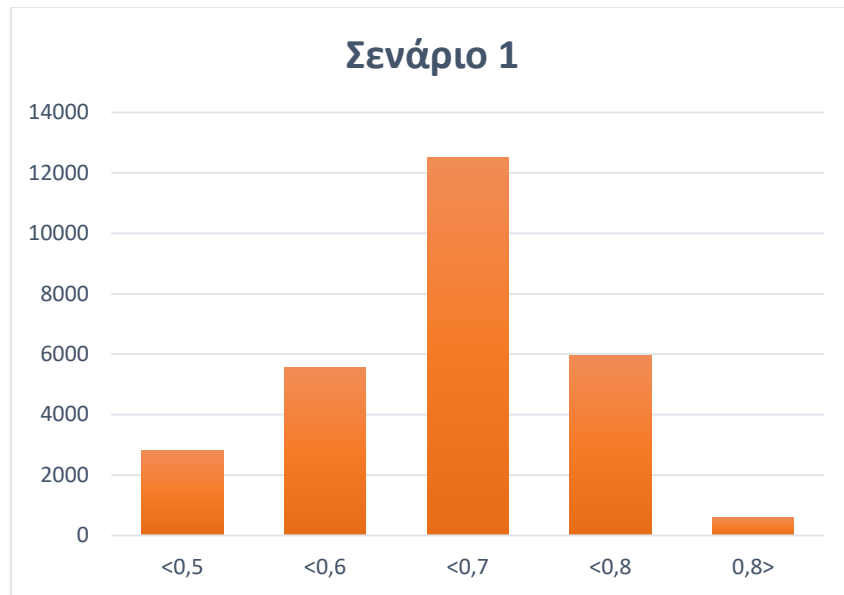


Σχήμα 4.1: Βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης φραγμάτων στο κύριο υδατόρεμα Νο4



Σχήμα 4.2: Βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης φραγμάτων για το Σενάριο 1 στο κύριο υδατόρεμα Νο3

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία για τις προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης των υδροηλεκτρικών φραγμάτων, τα οποία υπολογίστηκαν μέσω του ArcGIS ύστερα από το αποτέλεσμα χωροθέτησης. Τα αποτελέσματα των θέσεων ταξινομήθηκαν σε πέντε (5) κλάσεις (βλ. Σχήμα 4.1 και 4.2), όπου για κάθε κλάση υπάρχουν τα όρια βαθμολογίας για τις πιθανές θέσεις χωροθέτησης. Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.3, στην περιοχή της Κέρκυρας οι περισσότερες θέσεις χωροθέτησης έχουν βαθμολογία μεταξύ 60%-70%, ανήκουν στην τρίτη κλάση και ο αριθμός τους είναι μεγαλύτερος από 12000. Αντίστοιχα περίπου 6000 θέσεις ανήκουν στην τέταρτη κλάση με βαθμολογία μεταξύ 70%-80%, καθώς επίσης υπάρχουν και περίπου 5500 θέσεις με βαθμολογία μικρότερη του 60% και ανήκουν στην δεύτερη κλάση. Χαμηλότερη βαθμολογία μικρότερη του 50% ως προτεινόμενες θέσεις έχουν περίπου 2450 θέσεις. Οι βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης έχουν βαθμολογία μεγαλύτερη του 80% και είναι σε αριθμό λιγότερες από 1000. Η πλειοψηφία των βέλτιστων θέσεων παρατηρείται στο βόρειο τμήμα του νησιού.



Σχήμα 4.3: Στατιστικά στοιχεία προτεινόμενων θέσεων χωροθέτησης για το 1ο Σενάριο

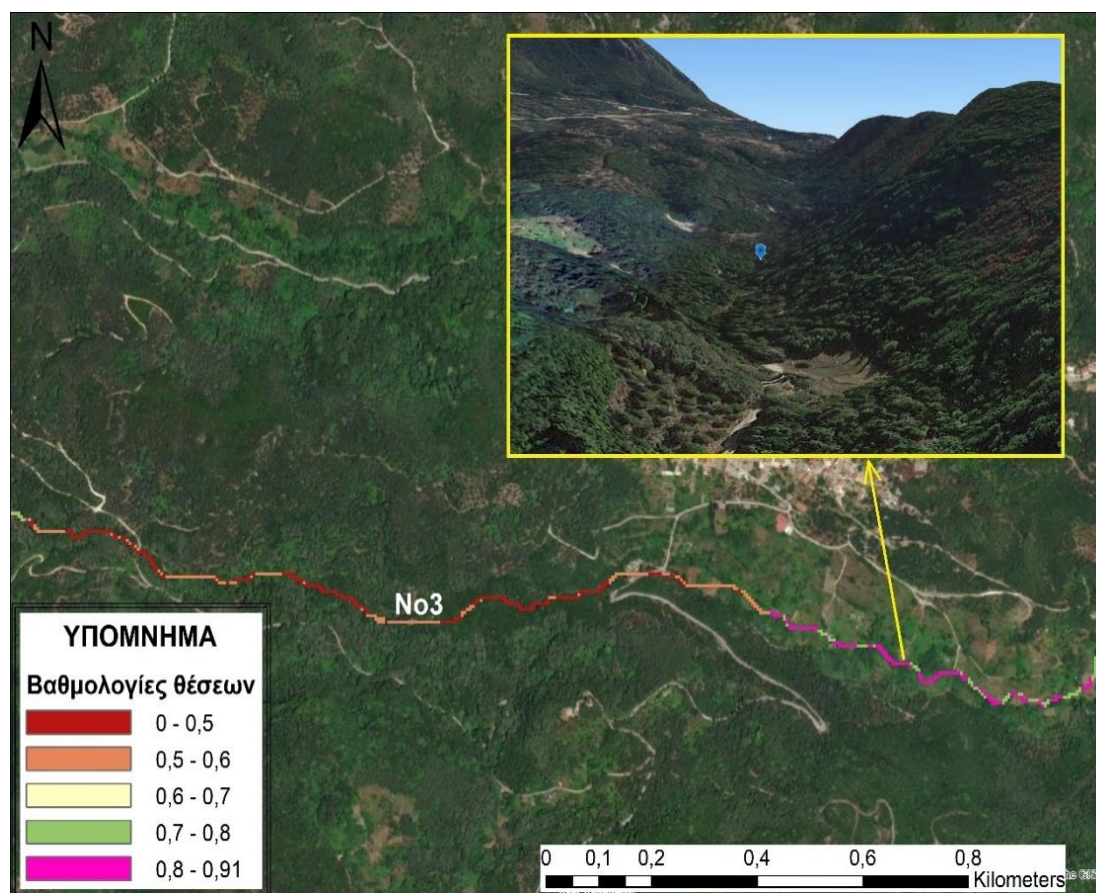
4.3 Αποτελέσματα 2^ο Σεναρίου

Στην περίπτωση του 2^ο σεναρίου, το οποίο πραγματεύεται την εύρεση βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης φραγμάτων πολλαπλού σκοπού, εντοπίστηκαν οι τελικές βαθμολογίες στα κύρια υδατορέματα της περιοχής. Η μέγιστη βαθμολογία που πήραν οι θέσεις ήταν 0.91 και στα δύο υποσενάρια. Παρατηρήθηκε ότι και στις δύο περιπτώσεις εμφανίστηκαν σε κοινά υδατορέματα βέλτιστες βαθμολογίες, απλά στο υποσενάριο 3 εντοπίστηκε μεγαλύτερος αριθμός θέσεων με καλύτερες βαθμολογίες σε σχέση με το υποσενάριο 4.

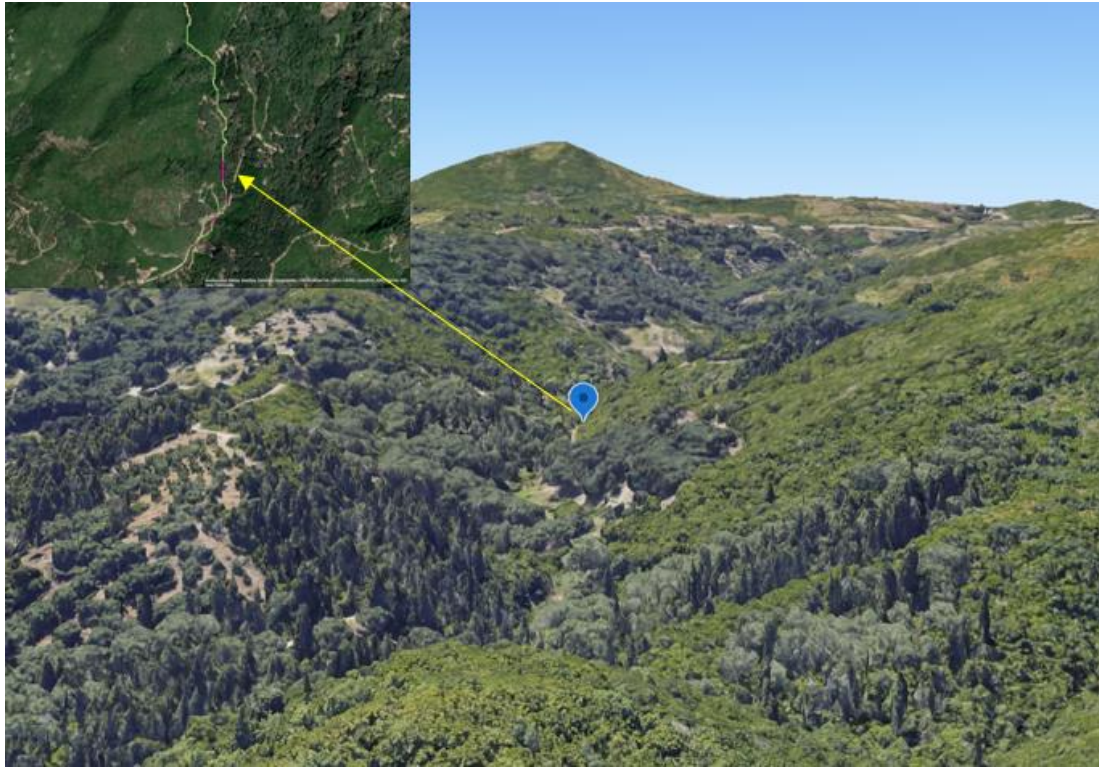
Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία για τις προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης, τα οποία υπολογίστηκαν μέσω του ArcGIS. Τα αποτελέσματα των θέσεων ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις, όπου για κάθε κλάση υπάρχουν τα όρια βαθμολογίας και ο αριθμός των θέσεων φραγμάτων για κάθε κλάση. Οι περισσότερες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης είναι περίπου 11000 με βαθμολογία μικρότερη του 80% και ανήκουν στην τέταρτη κλάση, ενώ οι βέλτιστες θέσεις με βαθμολογία μικρότερη από 91%, οι οποίες αντιστοιχούν στην πέμπτη κλάση υπολογίζονται σε 9430 θέσεις. Τέλος, περίπου 6500 θέσεις διαπιστώνεται ότι έχουν βαθμολογίες μικρότερες από 70%.

Οι θέσεις αυτές αντιστοιχούν σε φαντίο διαστάσεων 5 m x 5 m στο πρόγραμμα του ArcGIS και παρατηρώντας τα κύρια υδατορέματα No1 και No2 οι βαθμολογίες στις

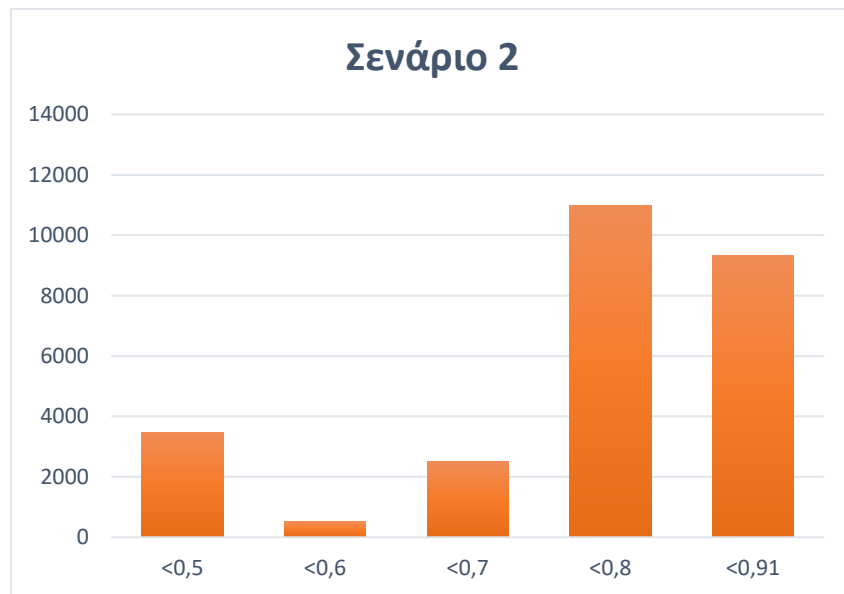
θέσεις είναι πολύ χαμηλές, συνεπώς σε αυτά τα σημεία δεν προτείνεται η χωροθέτηση φράγματος. Στο υδατόρεμα Νο3 εντοπίζονται αρκετά σημεία με καλές βαθμολογίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4 στην αρχή του υδατορέματος κοντά στο όρος Παντοκράτορα. Στο υδατόρεμα Νο4 εντοπίζονται οι θέσεις με την υψηλότερη βαθμολογία 0.91, οι οποίες βρίσκονται σε ευνοϊκή θέση από άποψη μορφολογίας του εδάφους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.5. μέσω του Google Earth. Τέλος, στον ποταμό της Λευκίμμης (Υδατόρεμα Νο10), στον ποταμό Μεσογγής (Υδατόρεμα Νο9), όσο και στα υπόλοιπα κύρια υδατορέματα (Νο5, Νο6, Νο7 και Νο8) η πλειονότητα των θέσεων εμφανίζει βαθμολογία πάνω από 70%.



Σχήμα 4.4: Βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης φραγμάτων για το Σενάριο 2 στο κύριο υδατόρεμα Νο3



Σχήμα 4.5: Θέσεις με την υψηλότερη βαθμολογία για τη χωροθέτηση φράγματος στο Σενάριο 2 στο κύριο υδατόρεμα Νο4



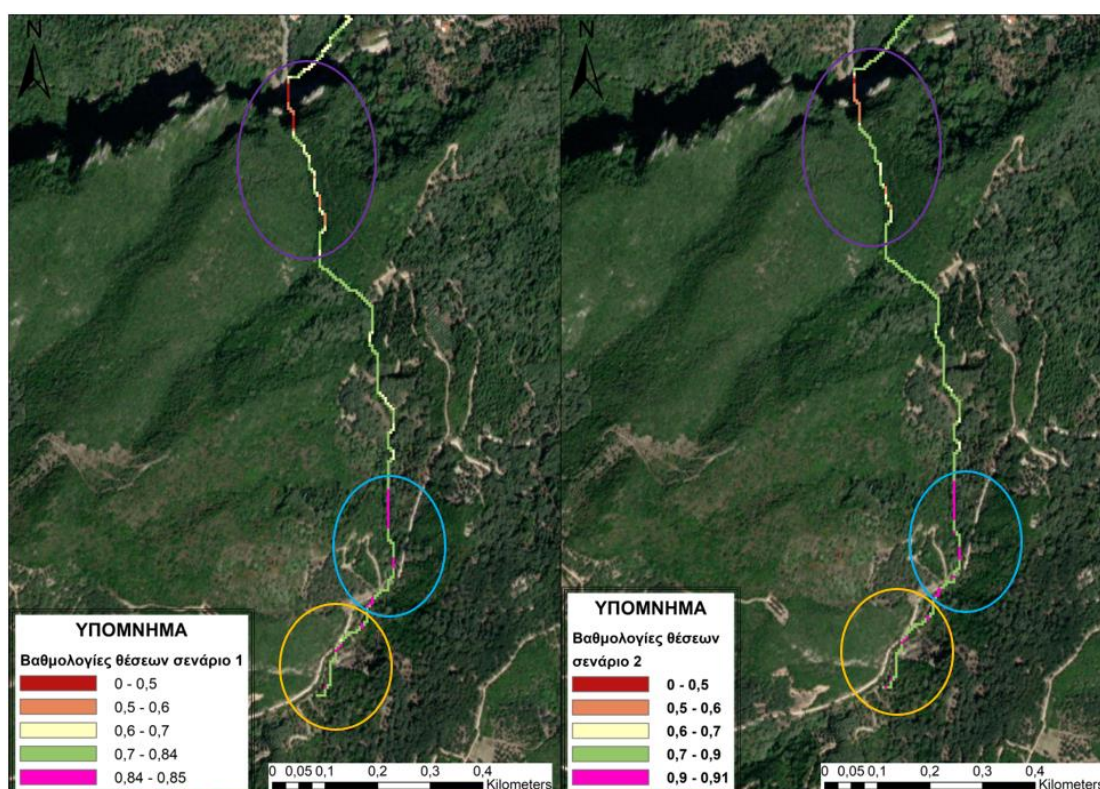
Σχήμα 4.6: Στατιστικά στοιχεία προτεινόμενων θέσεων χωροθέτησης για το 2ο Σενάριο

4.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων για τα 2 Σενάρια

Αξιολογώντας τα παραπάνω δύο σενάρια διαπιστώνεται ότι με την αύξηση του βάρους στο κριτήριο της στεγανότητας των γεωλογικών σχηματισμών στο δεύτερο σενάριο σε

σχέση με το πρώτο, μειώνεται αισθητά ο λόγος συνέπειας (CR). Γεγονός που φανερώνει ότι στο δεύτερο σενάριο τα κριτήρια έχουν συντελεστές βαρύτητας με καλή σχέση μεταξύ τους.

Ταυτόχρονα στο 2^ο σενάριο η μέγιστη βαθμολογία που παίρνουν οι θέσεις είναι 0.91, σε σχέση με το 1^ο σενάριο, όπου η μέγιστη τιμή βαθμολογίας είναι 0.85. Επιπλέον συγκρίνοντας τα στατιστικά στοιχεία, στην περίπτωση χωροθέτησης ταμειυτήρα πολλαπλών χρήσεων οι θέσεις με βαθμολογία πάνω από 0.80 είναι αισθητά περισσότερες σε σχέση με την περίπτωση της χωροθέτησης μικρού υδροηλεκτρικού φράγματος. Παρότι στο 2^ο σενάριο εντοπίζονται περισσότερες θέσεις με καλές βαθμολογίες, παρατηρείται ότι και στα δύο σενάρια τις μέγιστες βαθμολογίες παίρνουν οι θέσεις στο Υδατόρεμα Νο4, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.7.



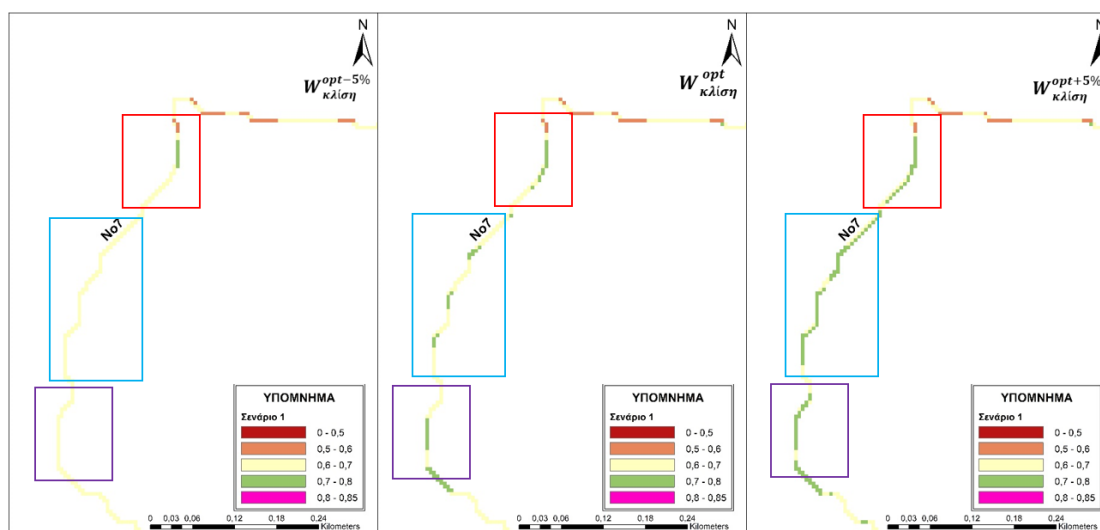
Σχήμα 4.7: Σύγκριση των αποτελεσμάτων στο κύριο Υδατόρεμα Νο4 για τα δύο σενάρια

Στο Σχήμα 4.7 στον κύκλο με το κίτρινο χρώμα στο δεύτερο σενάριο εντοπίζεται μία επιπλέον θέση με μέγιστη βαθμολογία σε σχέση με το πρώτο σενάριο, όπως και μία θέση στην οποία στο σενάριο 1 είχε τιμή μεταξύ 0.60 έως 0.70 στο δεύτερο έχει 0.70 έως 0.90. Αντίστοιχα στο μπλε κύκλο στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός θέσεων με βέλτιστη βαθμολογία, όπως και στο μωβ κύκλο οι θέσεις με πολύ

χαμηλή βαθμολογία έχουν περιοριστεί αισθητά στο δεύτερο σενάριο σε σχέση με το πρώτο.

4.5 Ανάλυση Ευαισθησίας των Κριτηρίων Χωροθέτησης για το 1^ο Σενάριο

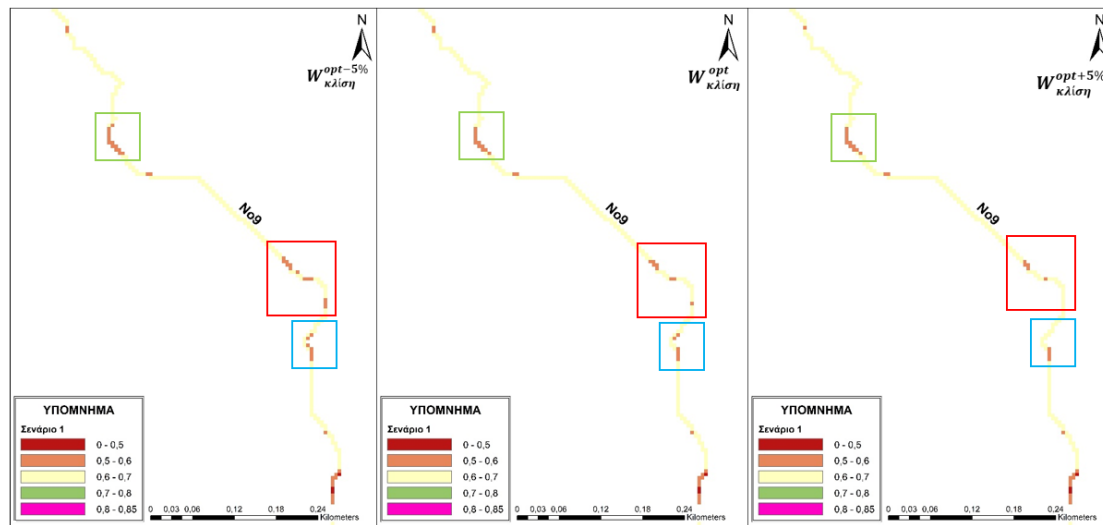
Στην περίπτωση χωροθέτησης υδροηλεκτρικού φράγματος (1^ο σενάριο) πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας σε δύο κριτήρια για $\pm 5\%$. Το πρώτο κριτήριο, στο οποίο έγινε η ανάλυση ήταν η κλίση. Σύμφωνα με το Σχήμα 4.8 και το Σχήμα 4.9, στα οποία παρατίθενται οι διαφορές στις βαθμολογίες των θέσεων, σε δύο κύρια υδατόρεμα το Νο7 και το Νο9 αντίστοιχα, διαπιστώθηκε ότι και στις δύο περιπτώσεις με τη μείωση της κλίσης κατά 5% είτε τα σημεία διατηρούσαν παρόμοια βαθμολογία είτε η βαθμολογία τους μειωνόταν. Με την αύξηση της βαθμολογίας εμφανίζονταν θέσεις με καλύτερες τιμές στις βαθμολογίες τους. Πιο αναλυτικά στο υδατόρεμα Νο7 στο κόκκινο, μπλε και το μωβ πλαίσιο παρατηρείται ότι με τη μείωση του βάρους των κλίσεων η βαθμολογία των προτεινόμενων θέσεων χωροθέτησης σε σχέση με τις αρχικές μειώνεται. Αντίθετα, με την αύξηση του βάρους κατά 5% στο κόκκινο, μπλε και το μωβ πλαίσιο προέκυψαν θέσεις με πολύ καλύτερες βαθμολογίες.



Σχήμα 4.8: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας μεταβάλλοντας το βάρος για το κριτήριο των κλίσεων στο κύριο υδατόρεμα Νο7

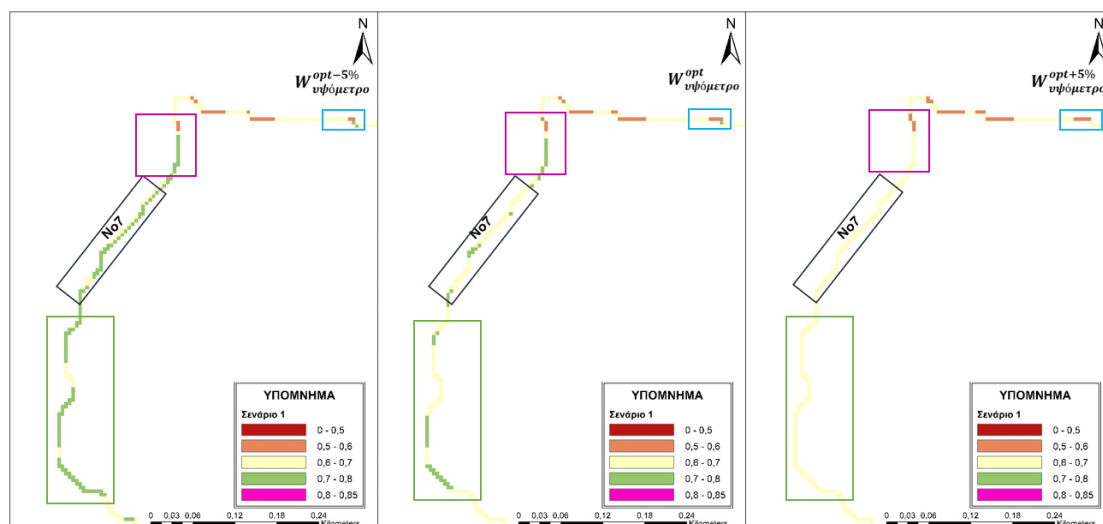
Αντίστοιχα στο κύριο υδατόρεμα Νο9 με τη μείωση του βάρους κατά 5% στο πράσινο, κόκκινο και μπλε πλαίσιο εντοπίζονται θέσεις με χειρότερες βαθμολογίες σε σχέση με την αρχική κατάσταση, ενώ κάποιες παραμένουν στις ίδιες τιμές. Στην περίπτωση της αύξησης του βάρους της κλίσης κατά 5% στο πράσινο πλαίσιο οι τιμές παραμένουν αντίστοιχες, ενώ στα άλλα δύο πλαίσια παρατηρείται ότι εμφανίζονται θέσεις με

καλύτερες βαθμολογίες, δηλαδή θέσεις που στην αρχική περίπτωση είχαν τιμές μεταξύ 0.50 έως 0.60 παίρνουν τιμές από 0.60 έως 0.70.

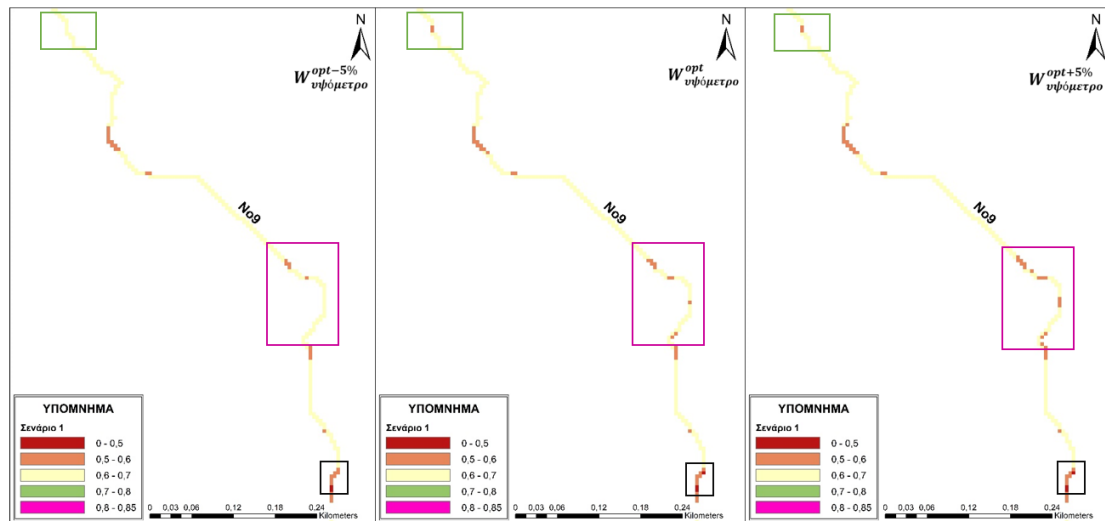


Σχήμα 4.9: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας μεταβάλλοντας το βάρος για το κριτήριο των κλίσεων στο κύριο υδατόρεμα Νο9

Το δεύτερο κριτήριο, στο οποίο έγινε ανάλυση ευαισθησίας ήταν το υψόμετρο. Στην περίπτωση μείωσης του βάρους κατά 5%, όπως φαίνεται τόσο στο Σχήμα 4.10 όσο και στο Σχήμα 4.11 προέκυψαν νέες βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης φραγμάτων ή θέσεις με χαμηλές βαθμολογίες που πήραν καλύτερες τιμές. Όταν το βάρος του υψόμετρου αυξήθηκε 5% τότε μειώθηκε η βαθμολογία των προτεινόμενων θέσεων χωροθέτησης σε σχέση με τις αρχικές.



Σχήμα 4.10: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας μεταβάλλοντας το βάρος για το κριτήριο των υψομέτρων στο κύριο υδατόρεμα Νο7



Σχήμα 4.11: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας μεταβάλλοντας το βάρος για το κριτήριο των υψομέτρων στο κύριο υδατόρεμα Νο9

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύνοψη

Η διαχείριση και εποπτεία των υδάτινων πόρων, ιδιαίτερα στην ελληνική περιφέρεια, είναι ουσιώδης για την αποδοτική αξιοποίηση των διαθέσιμων υδάτινων αποθεμάτων. Η κατασκευή υδραυλικών εγκαταστάσεων, που περιλαμβάνουν φράγματα και ταμιευτήρες για την αποθήκευση νερού με διάφορους σκοπούς, όπως παροχή πόσιμου νερού, αρδευτικά συστήματα, παραγωγή ενέργειας, αλλά και για την προστασία από τις αρνητικές συνέπειες των φυσικών καταστροφών, είναι κρίσιμης σημασίας.

Τα φράγματα, είτε μεγάλης είτε μικρότερης κλίμακας, είναι καθοριστικά εργαλεία για την αποθήκευση και την αποδοτική διαχείριση των επιφανειακών υδάτων. Ωστόσο, η κατασκευή τους είναι ένα σύνθετο τεχνικό εγχείρημα που προκαλεί σημαντικές επιδράσεις, τόσο θετικές όσο και αρνητικές.

Από τη μία πλευρά, τα φράγματα μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση της διαθεσιμότητας νερού, την υποστήριξη της γεωργίας μέσω αρδευτικών συστημάτων, την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και την προστασία από πλημμύρες. Από την άλλη πλευρά, μπορούν να δημιουργήσουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η αλλαγή των υδάτινων οικοσυστημάτων, η απώλεια βιοποικιλότητας και η ερημοποίηση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε ανάπτυξη μεθολογίας για την εύρεση βέλτιστης θέσης για τη χωροθέτηση φραγμάτων στα κύρια υδατορέματα της Κέρκυρας με χρήση μεθόδων GIS. Η μεθοδολογία βασίστηκε στην πολυκριτηριακή ανάλυση και τη διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP), χρησιμοποιώντας επτά κριτήρια. Αυτά αφορούν τις κλίσεις κατά μήκος του κύριου υδατορέματος, οι οποίες προτείνεται να είναι ήπιες, τα υψόμετρα, τις αποστάσεις από ρήγματα, την υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, τις χρήσεις γης και την απόσταση από τους οικισμούς και το οδικό δίκτυο. Με τη βοήθεια του Excel έγινε εφαρμογή των σχέσεων της AHP και υπολογίστηκαν τα βάρη των κριτηρίων. Η διαδικασία αυτή έγινε για δύο υποθετικά σενάρια. Το πρώτο στόχευε στη εύρεση θέσεων για χωροθέτηση μικρού υδροηλεκτρικού φράγματος, ενώ το δεύτερο για φράγμα πολλαπλού σκοπού. Στη συνέχεια προέκυψαν στο ArcGIS οι προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης των φραγμάτων στα δέκα κύρια υδατορέματα της περιοχής, με βαθμολογία για την κάθε θέση για το αν ανήκει στην κλάση των βέλτιστων θέσεων. Επιπλέον, προκειμένου να εξεταστεί ποια βάρη είναι καθοριστικά στη χωροθέτηση, έγινε ανάλυση ευαισθησίας

για μεταβολή $\pm 5\%$ στο πρώτο σενάριο στο κριτήριο των κλίσεων και των χρήσεων γης. Οι προτεινόμενες θέσεις τελικά απεικονίζονται στο περιβάλλον του ArcGIS αλλά και μέσω του Google Earth.

5.2 Γενικά Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε την βέλτιστη χωροθέτηση φραγμάτων, τα γενικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά τη διαδικασία και με το πέρας της ήταν τα εξής:

- Αρχικά συμπεραίνεται ότι είναι ιδιαίτερα σημαντική η επιλογή των κριτηρίων για τη χωροθέτηση των φραγμάτων, αφού με βάση αυτά αναπτύσσεται η μεθοδολογία.
- Πρέπει να γίνεται μετά από μελέτη της εκάστοτε περιοχής ενδιαφέροντος και της ισχύουσα νομοθεσίας που ρυθμίζει την διαδικασία εντοπισμού περιοχών αποκλεισμού.
- Κατά την αναλυτική ιεράρχηση, η απόδοση τιμών σημαντικότητας κατά τη σύγκριση των κριτηρίων ανά ζεύγη, απαιτεί ορθή κρίση, καθώς ο χρήστης καθορίζει τη σημαντικότητά τους. Οπότε είναι αναγκαίο να υπάρχει εμπειρία από τον τελευταίο.
- Σχετικά με τη μεταβολή του βάρους ενός κριτηρίου για κάποιο ποσοστό σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια, είναι αρκετά καθοριστική διότι αν το κριτήριο αυτό είναι το πιο ευαίσθητο τότε μπορεί να προκύψουν εντελώς διαφορετικές θέσεις χωροθέτησης.
- Η μέθοδος είναι ευέλικτη, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής, τα κριτήρια μπορούν να αλλάξουν, να μειωθούν ή και να προστεθούν κι άλλα.
- Επικουρικά των εφαρμογών GIS πρέπει να γίνει και δια ζώσης εποπτεία, για να σιγουρευτεί η καταλληλότητα των επιλεγμένων περιοχών.
- Υπολογίστηκε μεγάλος αριθμός προτεινόμενων θέσεων χωροθέτησης φραγμάτων σε όλα τα κύρια υδατορέματα της Κέρκυρας και ικανοποιητικός αριθμός βέλτιστων θέσεων.

5.3 Ειδικά Συμπεράσματα

Κατά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διεξάχθηκαν ειδικά συμπεράσματα, όσον αφορά την εύρεση βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης φραγμάτων στο νησί της Κέρκυρας, τα οποία είναι τα εξής:

- Το κύριο υδατόρεμα Νο4 και το υδατόρεμα Νο3 περιέχει τις βέλτιστες προτεινόμενες θέσεις χωροθέτησης φραγμάτων και στα δύο σενάρια που ερευνήθηκαν. Η μορφολογία των κοιλάδων σε εκείνα τα σημεία φαίνεται ιδανική, καθώς στη θέση του φράγματος στενεύει η κοιλάδα και αμέσως ανάντη διευρύνεται.
- Τα κύρια υδατόρεμα Νο1 και Νο2 περιέχουν τις λιγότερο βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης, με βαθμολογίες θέσεων κάτω του 60% στο υδατόρεμα Νο1 και κάτω του 70% στο Νο2. Αποτέλεσμα που σχετίζεται με το γεγονός ότι σε εκείνες τις περιοχές βρίσκονται κοντά ρήγματα.
- Το δεύτερο σενάριο είχε μεγαλύτερο αριθμό θέσεων με βαθμολογίες άνω του 70% σε σχέση με το πρώτο σενάριο, γεγονός που φανερώνει ότι οι θέσεις με καλές τιμές για κατασκευή φράγματος πολλαπλού σκοπού είναι περισσότερες. Αντίστοιχα διαπιστώνεται ο καθοριστικός ρόλος που παίζει η αύξηση του βάρους του κριτηρίου της στεγανότητας των γεωλογικών σχηματισμών (δεύτερο σε σημαντικότητα κριτήριο στο δεύτερο σενάριο) στην εύρεση βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης και πόσο αυτός επηρεάζει τις τιμές των θέσεων σε σχέση με το κριτήριο του υψομέτρου (ήταν δεύτερο σε σημαντικότητα κριτήριο στο πρώτο σενάριο).
- Στον ποταμό της Λευκίμμης (υδατόρεμα Νο10) στο νότιο τμήμα του νησιού, όπως και στο υδατόρεμα Νο6 εντοπίζονται θέσεις με καλές βαθμολογίες, όμως η γεωμορφολογία της κοιλάδας δεν ευνοεί την κατασκευή φραγμάτων, καθώς δεν εντοπίζεται κάποια στένωση.
- Από την ανάλυση ευαισθησίας που διεξήχθη στο πρώτο σενάριο και για ποσοστιαία μεταβολή $\pm 5\%$ στα δύο κριτήρια με τα δύο μεγαλύτερα βάρη, αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι και τα δύο κριτήρια είναι πολύ ευαίσθητα στις μεταβολές και ανάλογα με την μεταβολή δίνουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα στις τιμές των βαθμολογιών.

5.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Το παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην χωροθέτηση οποιασδήποτε φράγματος, ανεξάρτητα από την περιοχή μελέτης, καθώς επίσης και σε οποιοδήποτε πολυκριτηριακό πρόβλημα ενεργειακού ή διαχειριστικού χαρακτήρα των υδάτινων πόρων. Παρόλα αυτά, υπάρχουν δυνατότητες βελτίωσης που αφορούν το μεθοδολογικό αυτό πλαίσιο και αποτελούν προτάσεις προς μελλοντική έρευνα.

Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν τα κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογήθηκαν οι περιοχές χωροθέτησης, για μια γενικότερη και πληρέστερη αντιμετώπιση των προβλημάτων που ενδεχομένως θα προκύψουν κατά τη μελέτη και κατασκευή των φραγμάτων. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής πρέπει να προστεθούν στα κριτήρια, καθώς αποτελούν κύριο παράγοντα για τη χωροθέτηση ενός φράγματος. Επιπλέον θα μπορούσαν να προστεθούν περισσότερα κοινωνικοοικονομικά κριτήρια, όπως το κόστος αποζημιώσεων για αγροτεμάχια και κτίσματα που θα βρεθούν στη ζώνη κατάκλυσης του φράγματος και αντίστοιχα την τουριστική ανάπτυξη που μπορεί να δημιουργηθεί στην περιοχή κατασκευής.

Ακόμα, προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση της μεθόδου της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP), τόσο στην επιλογή βαρών, όσο και στην αυτούσια χρησιμοποίησή της σε προβλήματα υδατικών πόρων. Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αναλυτικότερη ανάλυση ευαισθησίας στους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων σχεδιασμού όπως και διερεύνηση με χρήση διαφορετικών μεθόδων ιεράρχησης των προεπιλεγμένων κριτηρίων, καθώς κατά την εν λόγω προσέγγιση παίζει πρωταρχικό ρόλο η γνώση και εμπειρία του αναλυτή/υπεύθυνου λήψης αποφάσεων.

Για τους παραπάνω λόγους η κατάρτιση των μηχανικών στην ορθή υλοποίηση τέτοιων έργων είναι αναγκαία συνθήκη για την άμεση και αποτελεσματική ενσωμάτωση του τεχνικού κλάδου σε μια ραγδαία αναπτυσσόμενη αγορά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Abdulkareem, J., Pradhan, B., Sulaiman, W., & Jamil, N. (2018). Quantification of Runoff as Influenced by Morphometric Characteristics in a Rural Complex Catchment. *Earth System Environment*, σσ. 145–162. Ανάκτηση από <https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-018-0043-0>
- Abdullahi, S., Mahmud, A., & Pradhan, B. (2014). Spatial modelling of site suitability assessment for hospitals using geographical information system-based multicriteria approach at Qazvin city, Iran. Ανάκτηση από <https://doi.org/10.1080/10106049.2012.752531>
- Afgan, N., & Carvalho, M. (2002). Multicriteria Assesment of new and Renewable Energy Power Plants. Lisbon, Portugal: Instituto Superior Tecnico, Av. Rovisco Pais.
- Ajibade, T., Nwogwu, N., Ajibade, F., Adelodun, B., Idowu, T., Ojo, A., . . . Akinmusere, O. (2020). Potential dam sites selection using integrated techniques of remote sensing and GIS in Imo State, Southeastern, Nigeria. *Sustainable Water Resources Management*. Ανάκτηση από <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00416-5>
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Yilmaz, A., Idris, A., Mukherjee, S., Khalil, M., & Gibril, M. (2019, 09 10). Dam Site Suitability Mapping and Analysis Using an Integrated GIS and Machine Learning Approach. *Water*. doi:doi:10.3390/w11091880
- Al-Shemmeri, T., Al-Kloub, B., & Pearman, A. (1997). Model choice in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, σσ. 550-560.
- Arsalan Ahmed Othman, Ahmed F. Al-Maamar, Diary AliMohammed Amin Al-Manmi, Liesenberg, V., Syed E. Hasan, Ahmed K. Obaid, & AyadM. Fadhil Al-Quraishi. (2020, April 15). GIS-Based Modeling for Selection of Dam Sites in the Kurdistan Region, Iraq. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* Ανάκτηση 02 15, 2024, από <https://doi.org/10.3390/ijgi9040244>

- Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the ELECTRE method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 2063-2087.
- Bellehumeur, C., Vasseur, L., Anseau, C., & Marcos, B. (1997). Implementation of a Multicriteria Sewage Sludge Management Model in the Southern Québec Municipality of Lac-Mégantic, Canada. *Journal of Environmental Management*, σσ. 51-66.
- Brooks, M., & Ferentinos, G. (1984, 01 10). Tectonics and sedimentation in the Gulf of Corinth and the Zakynthos and Kefallinia channels, Western Greece. *Tectonophysics*, σσ. 25–54. Ανάκτηση 12 14, 2023, από [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90040-4)
- Carlos A. Bana e Costa, & Mónica D. Oliveira. (2012, 08). A multicriteria decision analysis model for faculty evaluation. *Omega*, σσ. 424-436. Ανάκτηση 12 14, 2023, από <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.08.006>
- Corfu Port Authority S.A. (2019). *Intermodal Passengers Connectivity between Ports and Airports. The Action Plan for demonstrative action*. Corfu: Corfu Port Authority.
- De Marchi, B., Funtowicz, S., Lo Cascio, S., & Munda, G. (2000). Combining participative and institutional approaches with multicriteria evaluation. An empirical study for water issues in Troina, Sicily. *Ecological Economics*, σ. 267.
- Donegan, H., Dodd, F., & McMaster, T. (1992). A New Approach to AHP Decision-Making. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)*, σσ. 295-302.
- Dong Yucheng, Liu Yating, Liang Haiming, Francisco Chiclana , & Enrique Herrera-Viedma. (2018, 03). Strategic weight manipulation in multiple attribute decision making. *Omega*, σσ. 154-164. Ανάκτηση 01 15, 2024, από <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.02.008>
- Emiroglu, M. (2008). *Influences on Selection of the Type of Dam*. International Journal of Science & Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 173 – 189.
- ENVECO A.E. (2016, Ιούλιος). *Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το ειδικό σχέδιο χωρικής ανάπτυξης Δημοσίων Ακινήτων (Ε.Σ.Χ.Α.Δ.Α.) "Castello*

Bibelli"-Επικαιροποίηση της ΣΜΠΕ Φεβρουαρίου 2014. Αθήνα: Ταμείο Αξιοποίησης Ιδιωτικής Περιουσίας του Δημοσίου.

European Council. (2024, 3 21). *Where does the EU's gas come from?* Ανάκτηση από Council of the European Union: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/#0>

Gaylan Rasul Faqe Ibrahim, Azad Rasul, Arieann Ali Hamid, Zana Fattah Ali, & Amanj Ahmad Dewana. (2019, April 25). Suitable Site Selection for Rainwater Harvesting and Storage Case Study Using Dohuk Governorate. *Water*. Ανάκτηση 01 07, 2024, από <https://doi.org/10.3390/w11040864>

Geldermann, J., Rentz, O., & Spengle, T. (2000). Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry. *Fuzzy Sets and Systems*.

Ghazal, N., & Salman, S. (2015). *Determining the Optimum Site of Small Dams Using Remote Sensing Techniques and GIS*. Baghdad Iraq: International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER).

Government of Western Australia. (2019). *Dam construction and operation in rural areas. Water quality protection note no. 53.* . Joondalup: Department of Water and Environmental Regulation.

Güngör, Z., & Arıkan, F. (2000, 08 16). A fuzzy outranking method in energy policy planning. *Fuzzy Sets and Systems*. *Fuzzy Sets and Systems*, σσ. 115-122. Ανάκτηση 10 16, 2023, από [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00144-4)

Hsiang-Hsi Liu, Yeong-Yuh Yeh, & Jih-Jeng Huang. (2014, 08 18). Correlated Analytic Hierarchy Process. *Mathematical Problems in Engineering*. Ανάκτηση 11 09, 2023, από <https://doi.org/10.1155/2014/961714>

IPCC. (2023). *Climate Change 2023 Synthesis Report*. Geneva 2, Switzerland: IPCC. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis. Methods and Software*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Karakuş, C., & Yıldız, S. (2022, July 16). Gis-multi criteria decision analysis-based land suitability assessment for dam site selection. *International Journal of*

- Environmental Science and Technology*, σσ. 12561-12580. Ανάκτηση 01 06, 2024, από <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04323-4>
- Kumi Boateng, B., Stemn, E., & Sibil, S. (2016, 03). Multi-Criteria-GIS Based Site Selection for Irrigational Reservoir – A Case Study. *European Agrophysical Journal*, σσ. 1-17. doi:10.17830/j.eaj.2016.03.001
- Law, M., & Collins, A. (2022). *Getting to Know ArcGIS Desktop 10.8*. REDLANDS, Calif: Esri. Ανάκτηση 12 05, 2023, από ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>
- Lewis, S., Fitts, G., Kelly, M., & Dale, L. (2014, 04). A fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant switchgrass in the United States. *Computers and Electronics in Agriculture*, σσ. 39-47. Ανάκτηση 11 09, 2023, από <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.006>
- Lootsma, F. (1997). Multicriteria decision analysis in a decision tree. *European Journal of Operational Research*, σσ. 442-451.
- Luís, A., & Cabral, P. (2021, 09). Small dams/reservoirs site location analysis in a semi-arid region of Mozambique. *International Soil and Water Conservation Research*, σσ. 381-393. Ανάκτηση 11 12, 2023, από <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.02.002>
- Makropoulos, K., & Burton, P. (1985). *Seismic hazard in Greece. II. Ground acceleration*. *Tectonophysics*, 117(3-4), 259-294. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/publication/258439551_Makropoulos_KC_and_Burton_PW_1985_Seismic_Hazard_in_Greece_I_Magnitude_recurrence_Tectonophysics_117_205-257
- Mugo, G., & Odera, P. (2019, 08). Site selection for rainwater harvesting structures in Kiambu County-Kenya. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, σσ. 155-164. Ανάκτηση 02 01, 2024, από <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.003>
- Njiru, F. (2017). *Hydrological information for Dam site selection by Intergrating Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchical Process (AHP)*. Nairobi: University of Nairobi School of Engineering.

- Noori, A., Pradhan, B., & Ajaj, Q. (2019). *Dam site suitability assessment at the Greater Zab River in northern Iraq using remote sensing data and GIS*. *Journal of Hydrology*. Ανάκτηση από <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.001>
- Polharel , S., & Chandrashekar, M. (1998). A multiobjective approach to rural energy policy analysis. *Energy*, σσ. 325-336.
- Poulos, S., Lykousis, V., Collins, M., Rohling, E., & Pattiaratchi, C. (1999). *Sedimentation processes in a tectonically active environment: The Kerkyra-Kefalonia submarine valley system (NE Ionian Sea)*. *Marine Geology*, 160(1–2), 25–44. Ανάκτηση από [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(99\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(99)00016-X)
- Raza, S., Shafique, M., Zia-ur-Rehman, M., Sikandar, A., Ahmad, N., & Shah, K. (2018). Site selection of water storage based on multi-criteria decision analysis. *International Journal of Human Capital in Urban Management (IJHCUM)*, σσ. 265-278.
- Saaty, T. (1986, July 1). Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*. doi:<https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.841>
- Stephens, T. (2010). *Manual on small earth dams. A guide to siting, design and construction*. Rome: Food and Agriculture organization of the United Nations.
- Theochari, A.-P., Feloni, E., Bournas, A., & Baltas, E. (2021, July 20). Hydrometeorological - Hydrometric Station Network Design Using Multicriteria Decision Analysis and GIS Techniques. *Environmental Processes*, σσ. 1099-1119. Ανάκτηση 10 16, 2023, από <https://doi.org/10.1007/s40710-021-00527-x>
- Whitaker, R. (2007, 10). Validation examples of the analytic hierarchy process and analytic network process. *Mathematical and Computer Modelling*. *Mathematical and Computer Modelling*, σσ. 840-859. Ανάκτηση 12 06, 2023, από <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.018>
- Xinyi Dai. (2016). *Dam site selection using an integrated method of AHP and GIS for decision making support in Bortala, Northwest China*. Sweden: Department of Physical Geography and Ecosystem Science Lund University.

Yasser, M., Jahangir, K., & Mohmmad, A. (2012, 09). Earth dam site selection using the analytic hierarchy process (AHP): a case study in the west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, σσ. 3417-3426. doi:10.1007/s12517-012-0602-x

B. Ελληνική Βιβλιογραφία

Βασιλάκης, Χ. (2019). «Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Επενδύσεων σε Έργα χωροθέτησης και κατασκευής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα». Διπλωματική Εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Διαχείριση Τεχνικών Έργων, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Γάλλιου, Φ. (2009). *Διερεύνηση πλαισίου αξιολόγησης συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μικρής κλίμακας με πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων*. Γεωπονική Σχολή, Μεταπτυχιακή διατριβή ΑΠΘ.

Γκρανά, Δ. (2010). *Διαχείριση υδρολογικής λεκάνης Αλιάκμονα. Υδατικό Ισοζύγιο*. Θεσσαλονίκη: Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΑΠΘ.

Δημοκρατία Ελληνική. (1987). *N.1739*. Αθήνα: Εφημερίς της Κυβερνησεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.

Δημοκρατία Ελληνική. (2003). *N. 3199*. Αθήνα: Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.

Δημοκρατία Ελληνική. (2008). *Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης (Φ.Ε.Κ.) Β 2464 /03.12.2008, Αρ. Φύλλου 2464*. Αθήνα: Εφημερίς της Κυβερνησεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.

Δούμπος, Μ., & Ζοπουνίδης, Κ. (2001). *Πολυκριτήριες Τεχνικές Ταξινόμησης*. Αθήνα: Κλειδάριθμος.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2017). *1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (EL05)*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Ελληνική Δημοκρατία. (2011). *Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης (Φ.Ε.Κ.) Α 3937 /31.03.2011, Αρ. Φύλλου 60*. Αθήνα: Εφημερίς της Κυβερνησεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.

- ΕΛΣΤΑΤ. (2021). *Αποτελέσματα απογραφής πληθυσμού κατοίκων ΕΛΣΤΑΤ 2021*. Πειραιάς: Ελληνική Στατιστική Αρχή.
- ΕΜΠ-Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. (2008). *Τεχνική υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για την «Κατάρτιση του μεσοχρόνιου προγράμματος προστασίας και διαχείρισης του Υδατικού Δυναμικού της Χώρας»*. Αθήνα: ΥΠΕΧΩΔΕ.
- Εξάρχου, Έ., Κασίμης, Κ., & Μιχαηλίδης, Τ. (2014, Σεπτέμβριος). *Ενεργειακά έργα ΑΠΕ στην περιοχή της Ηπείρου*. Ιωάννινα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2007). *Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας*. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Ηπείρου, Κ. Σ. (2017, Σεπτέμβριος). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδάτινων Διαμερισμάτων Ηπείρου, Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.
- Θεοχάρη, Α.-Π. (2018). *Ανάπτυξη μεθοδολογίας βέλτιστης χωροθέτησης δικτύου υδρομετρικών σταθμών στην Αττική με χρήση μεθόδων GIS*. Αθήνα.
- Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Η. κ. (2013). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδάτινου Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05)*. Αθήνα.
- Κατσικάτσος Γεώργιος. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων Πανεπιστημίου Πατρών.
- Κόλλια, Η. (2012). *Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων (AHP) Ένα μοντέλο Λήψης Αποφάσεων σε Συνθήκες Πολλαπλών Κριτηρίων*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα Μαθηματικών, Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών «Τα Μαθηματικά των Υπολογιστών και των Αποφάσεων».
- Κούκης, Γ., & Σαμπατακάκης, Ν. (2007). *Γεωλογία Τεχνικών Έργων*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Λούκας, Δ. (2004). *Πολυκριτηριακή υποστήριξη αποφάσεων με τη βοήθεια της Παραγοντικής Ανάλυσης των Αντιστοιχιών*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

- Μαρίνος, Π. (1991). *Γεωλογία φραγμάτων. Διεθνείς και ελληνικές εμπειρίες*. Αθήνα: Πρακτικά εμερίδας της Ελληνικής Επιτροπής Τεχνικής Γεωλογίας της Ε.Γ.Ε. «Γεωλογία και Φράγματα, Εμπειρίες από τον Ελληνικό χώρο».
- Μουντράκης Δημοσθένης. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Σμυρνιώτη, Χ., Περλέρο, Β., Γεωργαλά, Λ., & Σαλαχώρη, Μ. (1996, Νοέμβριος). *Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*. Ανάκτηση 11 03, 2023, από <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%B8%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82-%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82.pdf>
- Στειακάκης, Ε., Βαβαδάκης, Δ., & Μονόπωλης, Δ. (2010). *Προσομοίωση της υπόγειας ροής στον καρστικό υδροφορέα Αγιάς Χανίων και εκτίμηση υδρογεωλογικών επιπτώσεων από την εκμετάλλευση του*. Ορυκτός Πλούτος.
- Τσαγγαράτος, Π. (2012). «*Διερεύνηση της Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς των Γεωλογικών Σχηματισμών με τη χρήση Πληροφοριακών Συστημάτων*». Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- ΥΠΕΝ. (2019). *Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ 1η Αναθεώρηση Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- ΥΠΕΝ. (χ.χ.). *Δίκτυο NATURA 2000*. Ανάκτηση 10 29, 2023, από <https://ypen.gov.gr/perivallon/viopoikilotita/diktyo-natura-2000/>
- Υπουργείο Ανάπτυξης. (2008). *Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Αττικής, Αν. Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας*.
- Χαλκιάς, Χ. (2015). *Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγράμματα και Βοηθήματα.