



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**«Πολυκριτηριακή ανάλυση βέλτιστης χωροθέτησης
ανεμογεννητριών στο νησί της Καρπάθου»**

Βασίλειος Βαλαβάνης

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Ιούλιος 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ευάγγελο Μπαλτά, καθηγητή ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια, υπομονή και στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάληψη του συγκεκριμένου θέματος και την ελευθερία που μου παρείχε σε επιλογές για την τελική διαμόρφωση του αντικειμένου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ελισάβετ Φελώνη για τη πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές που μου πρόσφερε. Ξεχωριστή αναφορά οφείλει να γίνει στην Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Αικατερίνη Νάνου και στον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Μαμάση Νικόλα οι οποίοι ανήκουν στην τριμελή επιτροπή και από τους οποίους απέκτησα πολλές γνώσεις. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω όλα τα άτομα που με στήριξαν κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Βαλαβάνης Βασίλης

Αθήνα, Ιούνιος 2018

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
EXTENDEDABSTRACT	viii
Introduction.....	viii
Study area.....	ix
Methodology	x
Results and discussion.....	xiii
Conclusions.....	xxi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.1.1. Ευρωπαϊκή ένωση και ενέργεια.....	1
1.1.2. Ενεργειακή Κατάσταση στην Ελλάδα.....	2
1.2 Αντικείμενο εργασίας.....	4
1.3 Διάρθρωση εργασίας	5
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6
2.1 Διοικητική υπαγωγή.....	6
2.2 Δημογραφικά χαρακτηριστικά.....	6
2.3 Υφιστάμενες υποδομές	8
2.4 Αρχαιολογικοί χώροι-μονές	9
2.5 Περιβάλλον-Χρήσεις γης	9
2.6 Αιολικό δυναμικό	11
2.7 Ενεργειακό καθεστώς.....	14
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	17
3.1 Ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων	17
3.2 Μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης	26
3.2.1. Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (MCDA)	27
3.2.2. Διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP)	30
3.3. Κριτήρια χωροθέτησης ανεμογεννητριών	34
3.3.1. Κριτήριο υψομέτρων C1.....	35
3.3.2. Κριτήριο τοπογραφικών κλίσεων C2.....	36
3.3.3. Κριτήριο αιολικού δυναμικού C3	36

3.3.4. Κριτήριο αξιών γης C4	38
3.3.5. Κριτήριο εγγύτητας δασών C5	40
3.3.6. Κριτήριο εγγύτητας οικισμών C6	41
3.3.7. Κριτήριο εγγύτητας δρόμων C7	44
3.3.8. Κριτήριο εγγύτητας αεροδρομίου C8	47
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	50
4.1. Επιλογή Ανεμογεννητριών	50
4.2. Σενάριο 1: Τεχνικό Σενάριο	52
4.3. Σενάριο 2: Τεχνικό-Οικονομικό Σενάριο	55
4.4. Σενάριο 3: Τεχνικό-Οικονομικό-Περιβαλλοντικό-Σενάριο.....	58
4.5. Ανάλυση Ευαισθησίας	60
4.6. Επιλογή Περιοχής	69
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	73
5.1 Σύνοψη	73
5.2 Συμπεράσματα	73
5.2.1 Γενικά.....	73
5.2.2 Ειδικά.....	74
5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	75
Βιβλιογραφικές Αναφορές	76

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζεται μια μέθοδος βασισμένη στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), και στον συνδυασμό τους με μια μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης με σκοπό την εύρεση βέλτιστης τοποθεσίας για την χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου στο νησί της Καρπάθου με στόχο την επίλυση του προβλήματος έλλειψης ενέργειας που υπάρχει στην περιοχή. Προκειμένου να βρεθούν οι περιοχές που είναι όντως βέλτιστες καθορίστηκαν οι περιορισμοί που ορίζονται από την νομοθεσία και που αντιστοιχούν στην συγκεκριμένη περιοχή. Στη συνέχεια, θεσπίστηκαν τα κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογήθηκαν οι επιτρεπτές περιοχές. Για την αξιολόγηση έγινε χρήση της μεθόδου λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) η οποία βασίστηκε μέθοδο σύγκρισης σημαντικότητας των κριτηρίων ανά ζεύγη όπως ορίζει η μεθοδολογία της Analytical Hierarchical Process (AHP). Ακόμα έγινε επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του νησιού. Επίσης, ορίστηκαν 3 διαφορετικά σενάρια στα οποία επιλέχθηκαν διαφορετικά κριτήρια με στόχο να διερευνηθούν διαφορετικές περιοχές ανάλογα τον στόχο του κάθε σεναρίου. Η επιλογή της βέλτιστης θέσης προέκυψε από την βαθμολογία που έχει η κάθε περιοχή ανάλογα με τα κριτήρια που έχουν οριστεί και τα αντίστοιχα βάρη τους. Τέλος γίνεται ανάλυση ευαισθησίας με ποσοστιαία μεταβολή στα βάρη ορισμένων κριτηρίων ώστε να φανεί πιο είναι πιο ευαίσθητο σε μεταβολές και ποιο προκαλεί τις μεγαλύτερες μεταβολές στα τελικά αποτελέσματα του μοντέλου.

EXTENDEDABSTRACT

Introduction

Greece is one of the countries with the most islands in Europe. There are more than 2500 islands with almost 165 of them habitable. One of the most common problems that these islands face is the lack of energy deposits, especially during the summer months due to the increase of tourism. Most of the Greek islands are connected with the national power grid in order to cover their needs. Nevertheless there are 60 islands that are not connected and are in need of energy supplies or energy production. The options these islands have are either to produce the energy they need through small facilities that use mineral fuels to produce energy or to use renewable energy sources such as solar energy or wind energy.

As a matter of fact the turn towards renewable energy sources is one of the main guidelines of the European Union. According to Directive 2001/77 a number of goals has been set for every member in a specific timeframe. These goals concern the percentage of renewable energy in the total energy production of each country as well as the change of procedures in order to facilitate the creation of renewable energy production stations. In Greece the amount of energy that is being produced does not meet the goals that have been set. To cover the needs there is the necessity of imported fuels mostly oils and minerals.

The purpose of this MSc Thesis is to find the optimum location for a wind farm operation on one of the islands that are not connected with the national power grid of Greece. Specifically in the island of Karpathos are being investigated the opportunities of the creation of a wind farm in order to create an energy sufficient island. The study is based on the use of Geographical Information Systems (GIS) in order to find the optimal site for the wind farm. The study area, the island of Karpathos, is being selected as a result of the high wind speed that prevail in the island. The multi-criteria decision making (MCDM) has been chosen, so that the best sites can be found, using the Analytical Hierarchical Process (AHP) which is a method using pairwise comparisons and it is developed by Saaty (1978). This method is based on several criteria that are defined and is followed by a sensitivity analysis to determine the criteria that are most influential.

The need of an energy production station in an area outside the national power grid is extremely important as it can reduce the cost of imported fuel, is an environmental-friendly alternative and covers the needs of an entire island.

Study area

The island of Karpathos is the selected area for this study. It is located on the southeast of Greece and the criteria for this selection is mostly the high wind speeds that statistically exists in the island. The area covers 302,2 km² and has almost 7000 habitants with almost 3000 of them living in the capital of the island. There are two ports on the island to serve the transfers as well as an airport on the south part of the area. Furthermore a wind farm also exists on the island even though it does not contribute on a large scale on the energy production. Two more independent wind turbines also exist but are being exploited by specific individuals. The wind farm that exists in the area does not meet the needs of the island due to constrictions in the power that can produce. The power demand on the area exceeds 3500MWh.

Also in the area exist two large areas of grave environmental importance. These areas are being claimed protected by the program NATURA 2000 and cover 258,1km². In addition a full map of land use was created based on the program corine land cover 2012. The land use played a very important role in the definition of the criteria.

One of the most important data that was used was the Digital Elevation Model (DEM) of the area which was provided by Ktimatologio A.E. This file was a raster file with a pixel size of 5x5 meters on the ground. Through this file was possible to generate the slopes of this area.

The wind speed that has been used in this study was shapefile of point measurements, granted by <http://geodata.gov.gr/>, with an annual average in an altitude of 40m. The measurements came in grid of 150x150 meters on the ground so it had to be resized in order to be compatible with the pixel size of the DEM.

Through <http://geodata.gov.gr/> was possible to found the shapefiles for the settlements of the area and the road network. Even though the road network was suitable for use in this study the settlements was a points file in order to accommodate the purpose of this study needed to be changed into a polygon file. In order to do so a basemap from Ktimatologio A.E. was used and the polygons were created manually. Using the same basemap were created some other features as well such as the monasteries of the area

In the area there are also various radar and communication antennas. The coordinates of them were found via <http://keraies.eett.gr> and then they were created as a points shapefile and transformed into the Greek National Geodetic System (named Greek Grid or 'ΕΓΣΑ 87').

Methodology

The purpose of this study is to locate the optimal positioning of a wind farm in the island of Karpathos, based on a multi-criteria analysis. In order to do so, a number of criteria were defined according to the methodology of Analytical Hierarchy Process (AHP). MCDA is a method created in 1960s and the aim of this method is to resolve decision problems that implement geographical data and are known as geographic or spatial decision problems. Those problems are based on the fact that it is possible for multiple feasible alternatives to exist and each one has to be evaluated according to some criteria. As a result many problems need to be resolved with the combination of multi-criteria decision-making (MCDM) and geographic information systems (GIS). This study aims to resolve a spatial problem using a large number of geographic data and using GIS techniques.

Multi-criteria decision-analysis is a procedure that creates links between defined factors and the problem that needs to be solved. Through this method a number of geographic data (inputs) are being transformed into results (outflow) concerning a specific decision with the definition of the relationships between the two. The definition of geographic data is information that is being georeferenced to a system that can be interpreted by any user. Each data is referred to a specific thematic map and the sum of every thematic map creates the real-world image. These thematic maps can be the criteria through which the alternatives are being evaluated. These criteria could be factors or restrictions depending on the problem. After defining the criteria the final results are being created. Through the evaluation of alternatives the final proposal is made.

One aspect of the MCDM is the combination of the criteria in order to produce the final outcome. The Weighted Linear Combination (WLC) is based on the creation of weights for every criteria and the aggregation of them all. An efficient way to apply that method is through the Analytical Hierarchy Process (AHP) which was created by T.L. Saaty (Saaty, 1978). This method is based on the premise that the available data are equally important to the people's knowledge and experience. The AHP is consisted of 4 steps:

- Creation of hierarchy model for the problem, which consists of the basic components that allow pair wise comparison.
- Comparison of each component.
- Composition of the evaluated criteria.
- Location of the optimal site.

This method consists of two steps. The first step is the creation of the hierarchy and the comparison between the components-criteria of the problem. The second step is

the evaluation of each criteria based on the experience of every person. The most important role in this procedure plays the knowledge and the experience of every individual. The comparison is based on a scale of importance and is the following

Table 1: Pair comparison scale (Saaty, 1977)

Intensity of Importance	Definition
1	Equal importance
2	Equal to moderate importance
3	Moderate importance
4	Moderate to strong importance
5	Strong importance
6	Strong to very strong importance
7	Very strong importance
8	Very to extremely strong importance
9	Extreme importance

The comparison is made according the relative importance of every criteria for the goal intended. Through a matrix that defines the importance of every criteria relatively to all the others the weight of every criteria is being created. To create the weights the following procedure is being executed:

- The sum of every column is being calculated.
- Each element is being divided with the sum of its column as it was already been found in the previous step.
- The average of every row from the matrix of the previous step is being calculated.

The results need to be evaluated in order to be used. To do so the consistency ratio needs to be checked. The consistency ratio should be lower than 10% in order to accept the results of the procedure. If it is higher than 10% then the importance comparison should be done again. The consistency ratio is being calculated by the following formula:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

In order to create a unified outcome the thematic maps of the criteria need to be in the same graded scale. Depending on the criteria there are many standardization

processes. Voogd (1983) proposed a scale based on the minimum and maximum values as scaling points. The following formula is used to do a simple linear scale:

$$xi = \frac{FVi - FVmin}{FVmax - FVmin} \times SR$$

or

$$xi = 1 - \frac{FVi - FVmin}{FVmax - FVmin} \times SR$$

Finally the result map can be created with the sum of every thematic map created. Every criteria is graded in scale of 0 to 1 and so every position on the map will have a final score (FS) of 0 to 1. The formula that is being used in order to calculate the final score of every position on the map is the following:

$$FS = \sum WiXi$$

It is possible that there may be Boolean constraints and the need to be implemented in the equation in order to have accurate results. The formula is being modified as follows:

$$FS = \sum WiXi \times \prod Ci$$

Based on the formula above every position in the study area has a final score. According to this score it is possible to locate the optimal positions for the site of the wind farms.

The Boolean maps that were created were based on the restriction that concern renewable energy production facilities and are defined by law. For every restriction, a thematic map was created with the values 1, for the restricted areas and their buffer zones, and 0 for every other area. The restrictions that were used are shown in the following table with their respective buffer zones.

Table 2: Restrictions and buffers

Restriction	Buffer
NATURA zones	0 (values of 0 only within the area)
Settlements	500m for settlements with less than 2000 habitants and 1000m for settlements with more than 2000 habitants
Monasteries	200m
Road network	150m
Antennas	200m

The factors that were used in this study were the altitude of the area, the slopes, the wind velocity, a certain land value that was determined by the land use, the proximity to the forest, the proximity to the settlements, the proximity to road network and the proximity to airport. The first three criteria were converted in a scale from 0 to 1 based on their maximum and minimum value. The land value factor was given values from 0 to 1.

For the proximity factors, the Euclidian distance was used in a GIS environment. The forests and airport factors were given the value 0 within these areas and a gradually increasing value further from the areas eventually reaching the value 1. The settlement and road network factors were inversed meaning that the further from the area the value was decreasing starting form 1 near the buffer limits and decreasing to 0.2. The following table show the buffers and Euclidian distances for the proximity factors.

Table 3: Proximity factors, buffer zones and Euclidian distances

Proximity Factors	Buffer zone	Euclidian distance
Forests	0	1000
Settlements	500	1000
Road network	150	300
Airport	5000	7500

Results and discussion

For the purpose of this study the first step was the choice of a wind turbine capable of covering the needs of the island. The wind turbines that were chosen were able to produce up to 900kw and in a total of 5 they were able to cover the energy needs of the area.

The optimal positioning for the wind farm is based on the criteria used. For the study area three scenarios were created.

- The first scenario is a technical scenario in which were used the factors of altitude, slopes and wind velocity. In this scenario the optimal positions were found with a score higher than 0.8. The number of pixels with this score is 1752, which represents the 0.01% of the area. In the second scenario, the factors previously used were used again in addition to 3 new factors, the proximity to road network, proximity to settlements and proximity to airport. This scenario was the technical-economic scenario with a 437 pixels with score above 0.8 which represents the 0.003% of the area. The last one scenario was a technical-economic scenario in which were used all the previous factor in addition to the factors of land value and proximity to forests (i.e., 'plus environmental'). The number of pixels with score greater than 0.8 is 37395 which represents the 0.3% of the area. This scenario was used in order to find the optimal site for the wind farm as it is the strictest scenario and the one with the most areas with high score.

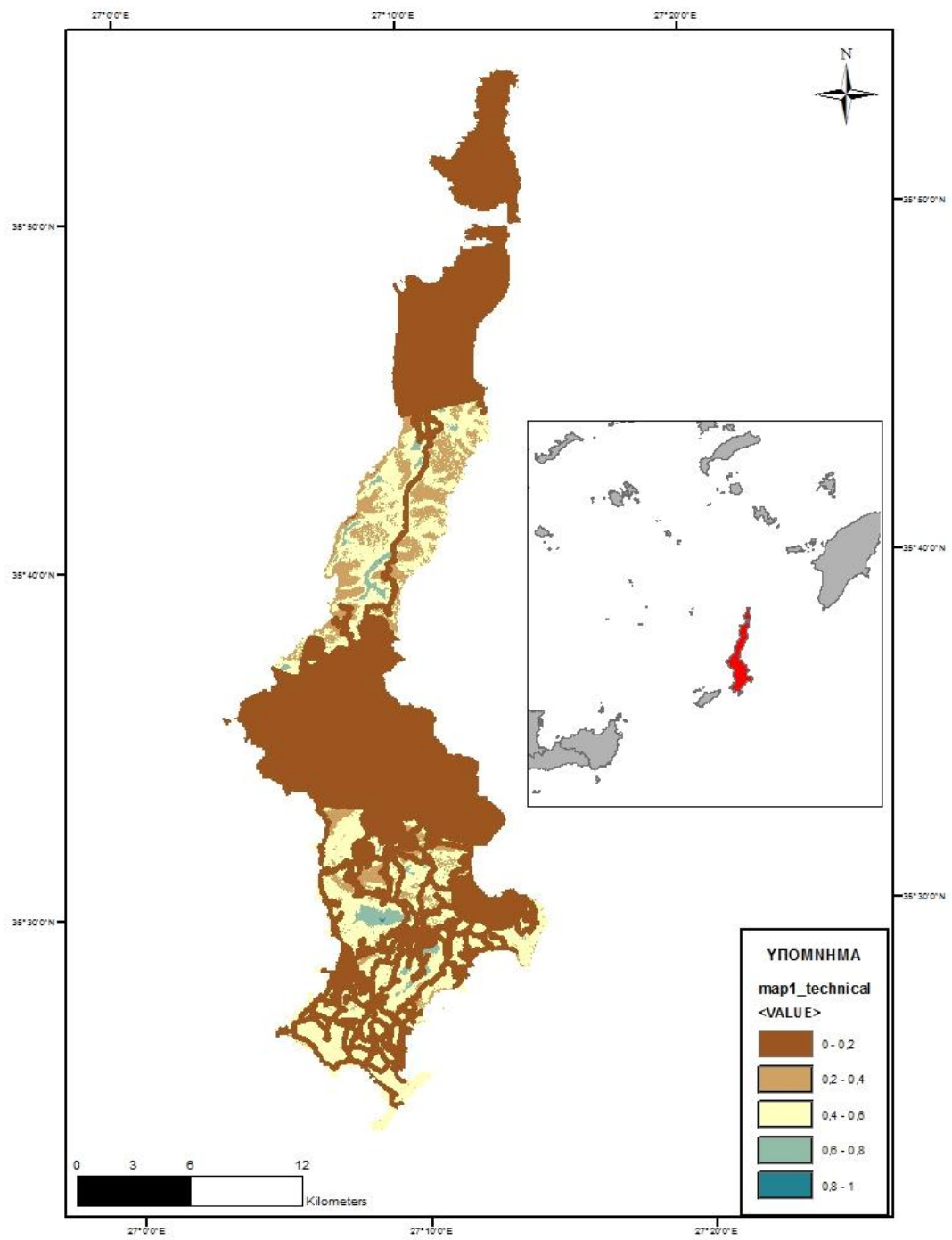


Figure 1: Technical scenario map

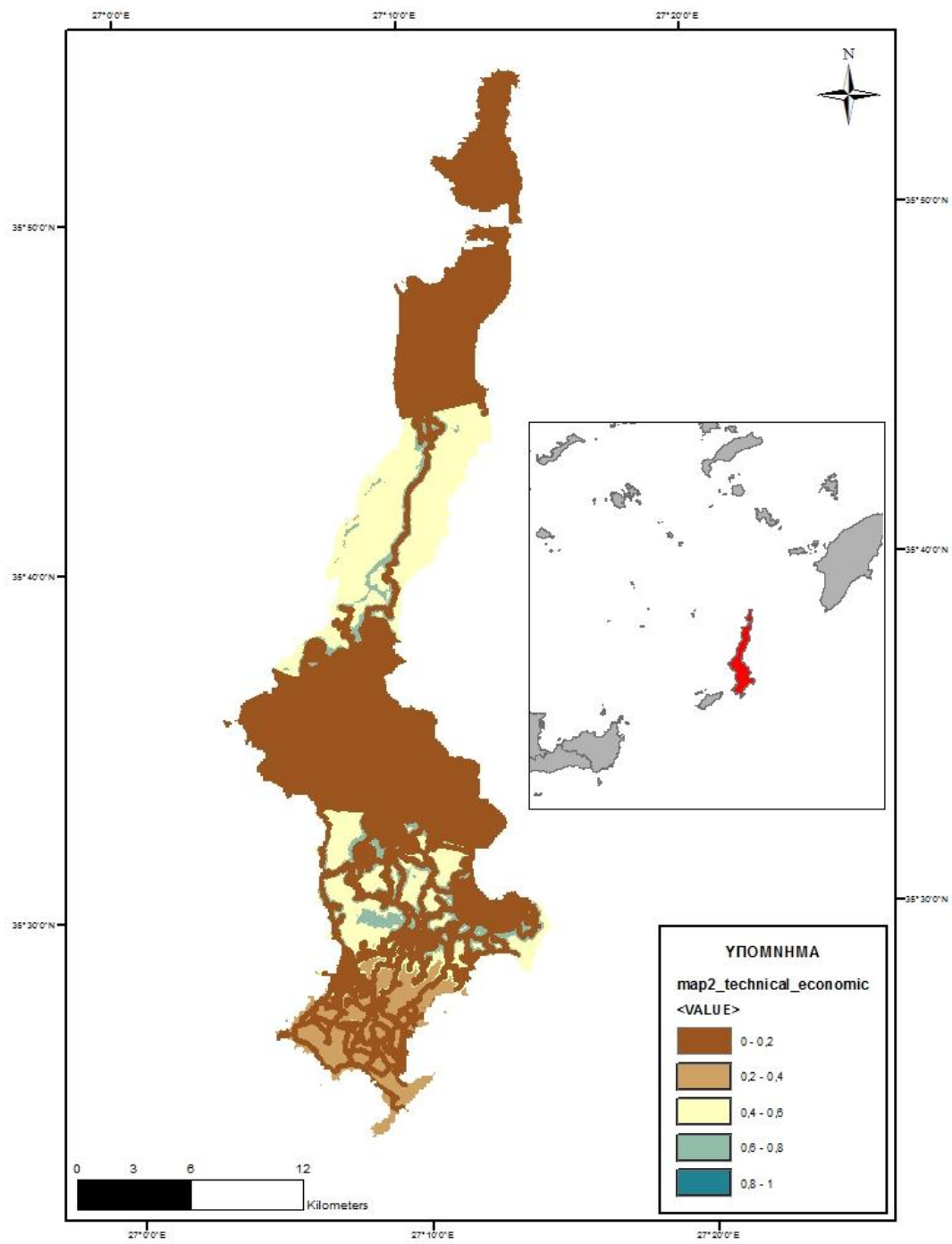


Figure 2: Technical-Economical scenario map

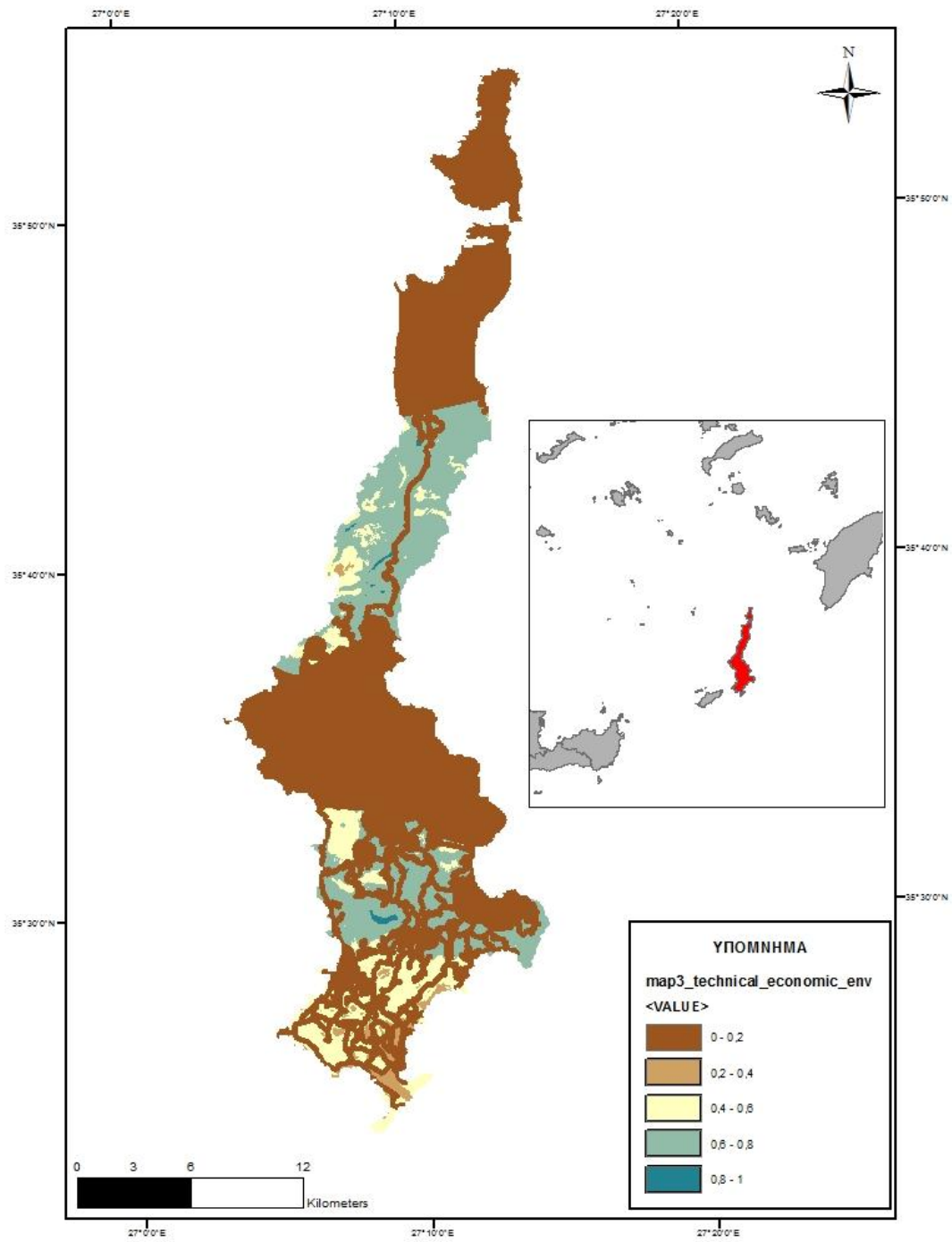


Figure 3: Technical-Economical-Environmental Scenario

The following step was the sensitivity analysis in the factors' weights. The sensitivity analysis was performed at the third scenario which takes into account all the factors that were created. The weights of the factors received a variation of $\pm 5\%$ and $\pm 10\%$. The weights that were chosen were the weight of wind velocity and the weight of the proximity to the airport as the most important ones, the weight of land value as a moderate and the weight of slopes as one of the least important.

The first analysis was done in the weight of the factor wind velocity. An increase on the weight causes an increase in the number of pixels with score over 0.8. A decrease on the weight causes a decrease in the number of pixels with great score. But the greater the decrease the number of pixels tends to increase probably because of the importance that other criteria gain.

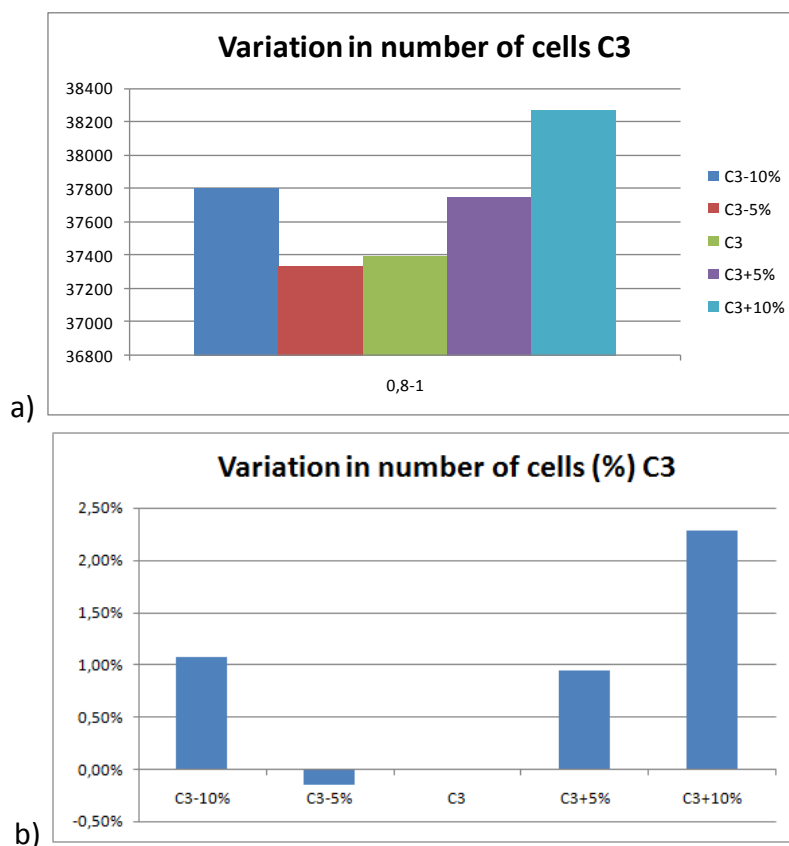


Figure 4: Sensitivity analysis in the weight of factor wind velocity a) Variation in the total number of pixel with score over 0.8 b) Percentage variation for pixels with score over 0.8

The second factor that was investigated was the proximity to the airport. In this factor the number of pixel with score greater than 0.8 changes accordingly with the variations of the weight. The great change in the number on pixels demonstrates that this factor, even though is not the most important, is the most sensitive to changes in the model.

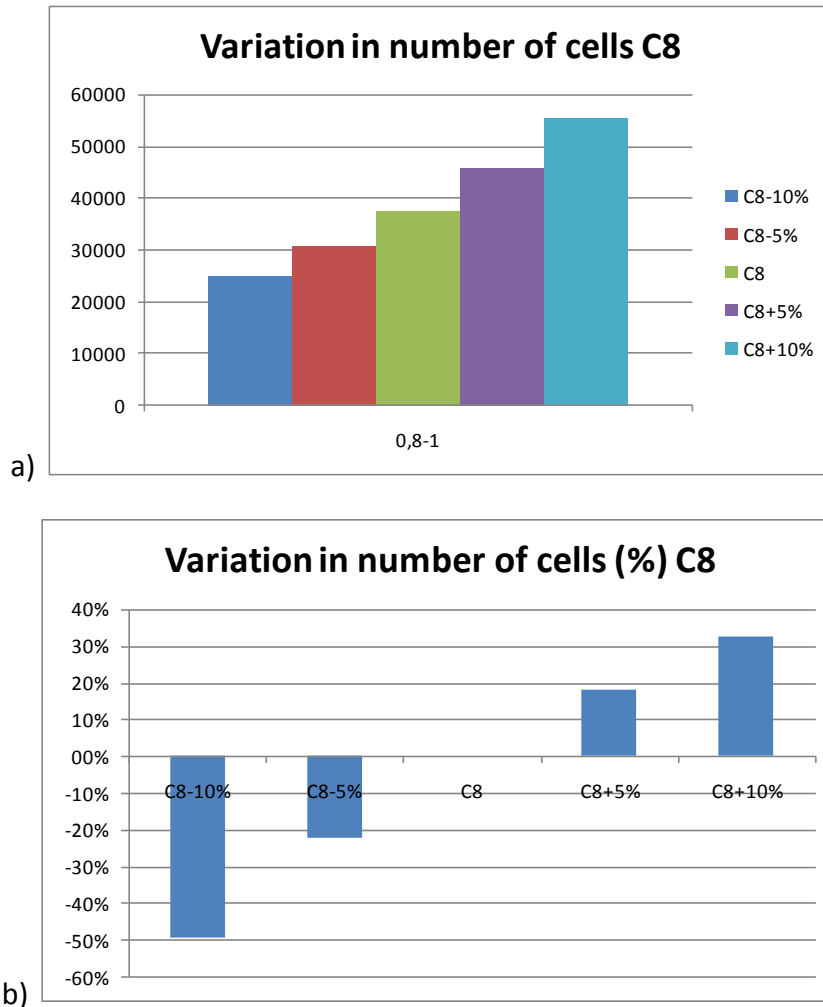


Figure 5: Sensitivity analysis in the weight of factor proximity to the airport a) Variation in the total number of pixel with score over 0.8 b) Percentage variation for pixels with score over 0.8

The third factor that was analyzed is the land value. This is a factor of mediocre importance. The variations at the weight of the factor changes the number of pixels, with score greater than 0.8, in the same way. Even though it is not a very important criteria it can change the number of optimum positions up to almost 12%

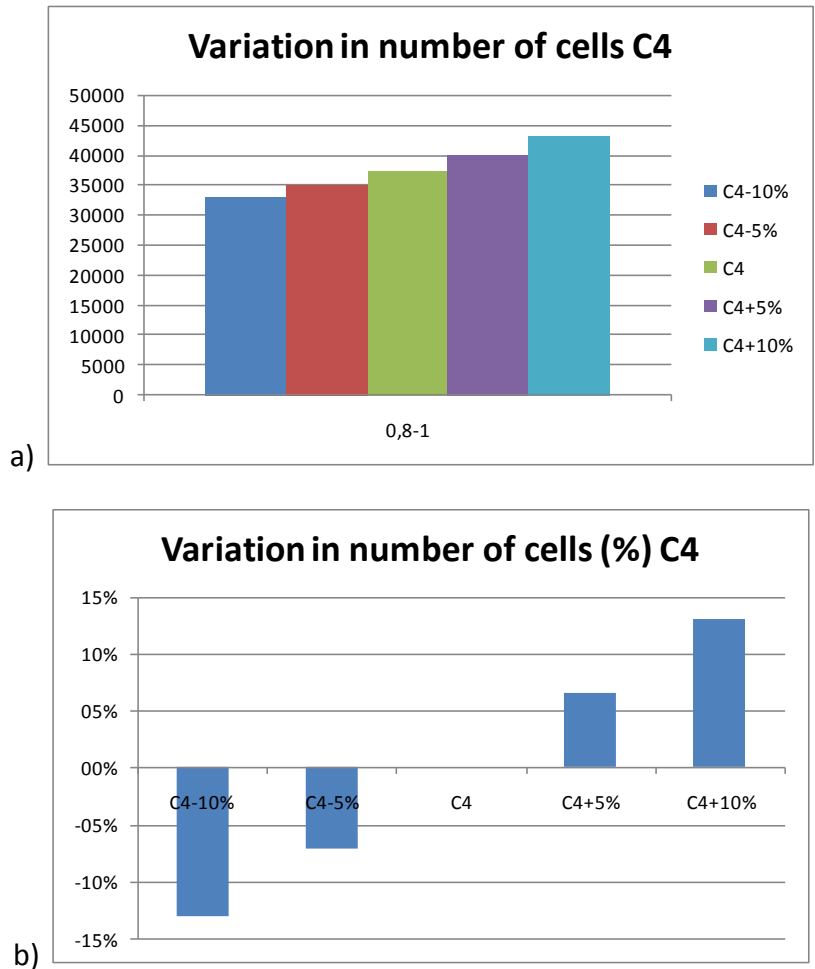


Figure 6: Sensitivity analysis in the weight of factor land value a) Variation in the total number of pixel with score over 0.8 b) Percentage variation for pixels with score over 0.8

The last factor that was investigated was the slope of the area. This is one of the factors with the least importance. Increase in the weight of this factor provokes increase in the number of pixel with the best score. On the other hand, decrease in the weight provokes a slight increase in the number of pixel with high score but as the decrease gets greater the number of pixel tends to be reduced. The variations of this factor are minimum as the total change is almost 1%. This factor is one of the least sensitive ones.

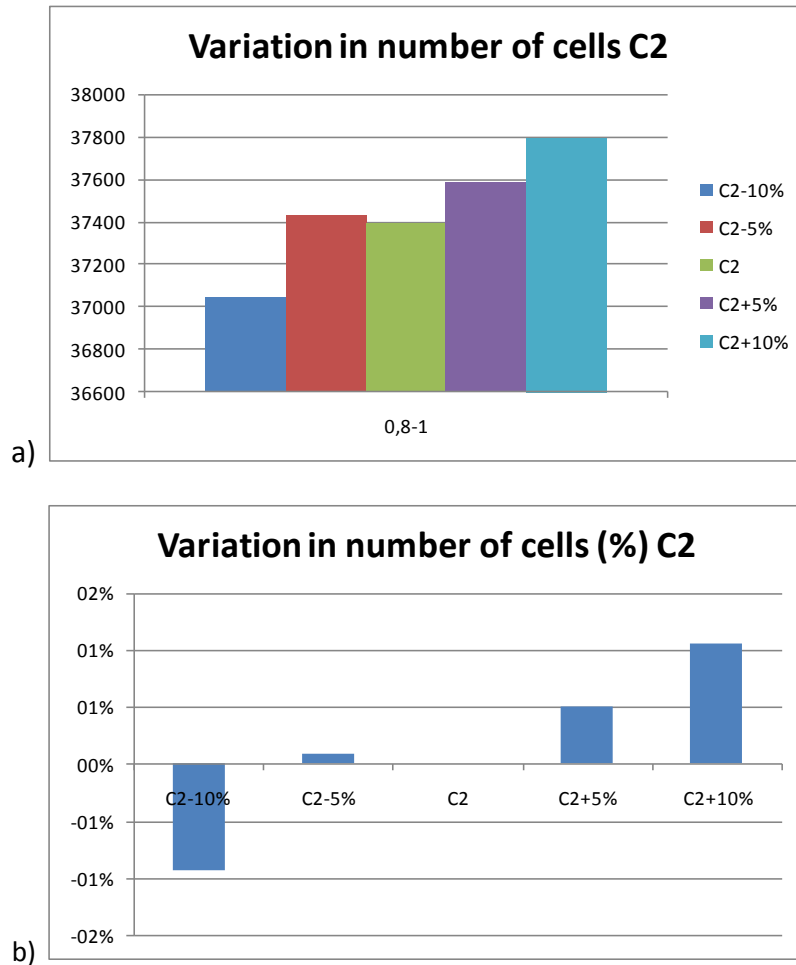


Figure 7: Sensitivity analysis in the weight of factor slopes a) Variation in the total number of pixel with score over 0.8 b) Percentage variation for pixels with score over 0.8

Conclusions

This study was created to investigate the optimal positions for a wind farm in the island of Karpathos using a multi-criteria approach. The analysis was performed using the multiple-criteria decision-analysis (MCDA) and the Analytical Hierarchical Process (AHP) in a GIS environment. All the restrictions were determined and 8 factors were defined in order to find the best site for the wind farm. Furthermore the proper wind turbine was chosen to cover the needs of the area. In addition, a sensitivity analysis was made to determine the factors that are more prone to change the final outcome. The last step was to determine the optimal positions according to the score that they have received and the wind of the position so that the wind turbine can produce the maximum power.

One of the most important general conclusions of this study was that the factors that are being chosen determine the optimal positioning of the wind farms. This can be

seen in the maps where different criteria did not always produce the same optimal sites. The restrictions determine the available area and contribute in a large scale in the final results. Also, wind farms should be located in areas where high speeds prevail but also it would be best if they were located near areas with energy deficiency problems. Another conclusion is that variations in the weights of criteria can provoke a significant change in the outcome, depending on the sensitivity of the factor. The optimal positions that were found were more than one and some needed to be eliminated even though they were areas with high score.

Specific conclusions of this study were that the best scenario was the technical-economic-environmental which was the strictest one. The highest score in this scenario was 89% with 37395 pixels with score greater than 80%. The second best scenario was the technical scenario with the highest score being 90% and 1752 pixel with score greater than 80%. The worst scenario was the technical-economic with 437 pixels with score over 80% and the highest score is 83%. The best scenario was the technical-economic-environmental. The factor of proximity to the airport, which was one of the most important, had a weight with high value and contributed more in the final outcome due to the high score that had in the largest part of the study area. This criteria was found to be the most sensitive as the variations of the weight provoke great variations in the number of pixels with great score.

This study has the potential to be the start of future research. Aspects of the study area, such as single buildings and a more detailed investigation in the land use, was not possible as it demanded a visit in the area. A change in the pair wise comparison is possible to lead to different results for this area. The sensitivity analysis can be done for all the criteria in order to be found the most sensitive one. Also, the change in the weights can be done simultaneously and not one at a time. Lastly this study can be the first step in a greater study which can investigate the potential of creating a local power grid that produces power through the wind farm and if it is possible to cover the needs of local areas.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Στην καθημερινότητα, οι περισσότερες δραστηριότητες βασίζονται στην κατανάλωση ενέργειας. Το βασικό πρόβλημα που έχει προκύπτει είναι η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια σε αντίθεση με τους περιορισμένους πόρους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Ταυτόχρονα η δημιουργία ενεργειακών αποθεμάτων προκαλεί επιβάρυνση του περιβάλλοντος, καθιστώντας την εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας απαραίτητη. Η λύση που καθιστά την παραγωγή ενέργειας με την μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο περιβάλλον βιώσιμη είναι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Μια εκ των ΑΠΕ είναι η αιολική ενέργεια η οποία εξαρτάται από μονάδα ή από μονάδες ανεμογεννητριών οι οποίες χρησιμοποιούν το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής για να το μετατρέψουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Στη παρούσα διπλωματική εξετάζεται η βέλτιστη δυνατή χωροθέτηση των μονάδων αυτών στο νησί της Καρπάθου με βάση τα κριτήρια που έχουν οριστεί από το νόμο, όπως και από ορισμένα τεχνικά κριτήρια όπως οικονομικά και περιβαλλοντικά.

1.1.1. Ευρωπαϊκή ένωση και ενέργεια

Στο πλαίσιο του θεσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης η κύρια στρατηγική σχετικά με τα θέματα ενέργειας είναι η στροφή όλων των μελών προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Η κίνηση αυτή έχει κύριο στόχο την ανεξαρτησία ενεργειακού εφοδιασμού, την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και την κοινωνική και οικονομική συνοχή κάθε χώρας. Αναλυτικά, η στρατηγική αυτή έχει εκφραστεί στην "Οδηγία 2001/77" του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και Συμβουλίου, όπως επίσης έχει δεσμευτεί με αυτή στο "Πρωτόκολλο του Κιότο" για το περιβάλλον.

Στην "οδηγία" που έχει εκδοθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ζητείται από τα κράτη-μέλη ο ορισμός στόχων ποσοστιαίας ενεργειακής και ηλεκτρικής κατανάλωσης, η οποία προέρχεται από ΑΠΕ για το έτος 2010. Ο στόχος που έχει τεθεί από τον Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 12% για τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια και 22,1% για την ηλεκτρική κατανάλωση. Ωστόσο γίνεται ξεχωριστή αναφορά ενδεικτικών ποσοστών για το κάθε κράτος-μέλος. Για την Ελλάδα το ποσοστό αυτό είναι 20,1%.

Βασικό στοιχείο της οδηγίας είναι επίσης η ανάθεση σε κάθε κράτος-μέλος του καθορισμού των μέτρων υποστήριξης των ΑΠΕ για την επίτευξη καθορισμένων στόχων χωρίς να υπόκεινται σε κεντρικό έλεγχο. Το παραπάνω σημαίνει ότι κάθε κράτος-μέλος ορίζει τα μέτρα που επιθυμεί τα οποία όμως πρέπει να συμφωνούν με τις αρχές της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, να λαμβάνουν υπόψη όλες τις διαφορετικές τεχνολογίες που εμπλέκονται και να είναι αποτελεσματικά.

Ορίζεται ακόμα η επανεξέταση στις υπάρχουσες αδειοδοτήσεις για την εξασφάλιση της διαφάνειας και την διευκόλυνση στην ανάπτυξη των ΑΠΕ. Επίσης γίνεται απαραίτητη η έγκριση κατάλληλων μέτρων για την σύνδεση των ΑΠΕ στα υφιστάμενα ηλεκτρικά δίκτυα. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει την επίβλεψη του κάθε κράτους για την ύπαρξη διαφάνειας στις διαδικασίες σύνδεσης και κοστολόγησης.

Ο χρονικός ορίζοντας για την επίτευξη αποτελεσμάτων ορίζεται στην "Οδηγία" για κάθε μέλος. Προκειμένου να επιτευχθούν σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα θεσπίζονται ορισμένα μέτρα. Τα μέτρα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί από τα κράτη-μέλη είναι επιδοτήσεις επενδύσεων και φοροαπαλλαγές αλλά και διαφορετικές τιμολογιακές πολιτικές στους παραγωγούς ΑΠΕ. Κυρίως όσον αφορά τη στήριξη στις τιμολογιακές πολιτικές υπάρχουν δυο κατηγορίες.

- i. Η πρώτη κατηγορία αφορά ένα σύστημα σταθερών τιμών το οποίο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη τιμή ενέργειας η οποία καταβάλλεται από τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στους παραγωγούς ΑΠΕ. Το σύστημα αυτό έχει εφαρμοστεί σε διάφορες χώρες όπως η Γερμανία, η Ισπανία όπως και στην Ελλάδα και έχει βρεθεί να αποφέρει αποτελέσματα.
- ii. Η δεύτερη κατηγορία αφορά ένα σύστημα ποσοτώσεων στο οποίο το κράτος καθιστά ένα επιθυμητό ποσό ενέργειας από ΑΠΕ και στη συνέχεια ο καθορισμός της τιμής ενέργειας γίνεται μέσω ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών ΑΠΕ. Το σύστημα αυτό έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία και στις Κάτω χώρες χωρίς ιδιαίτερη συμβολή στην ανάπτυξη των ΑΠΕ. (ΡΑΕ)

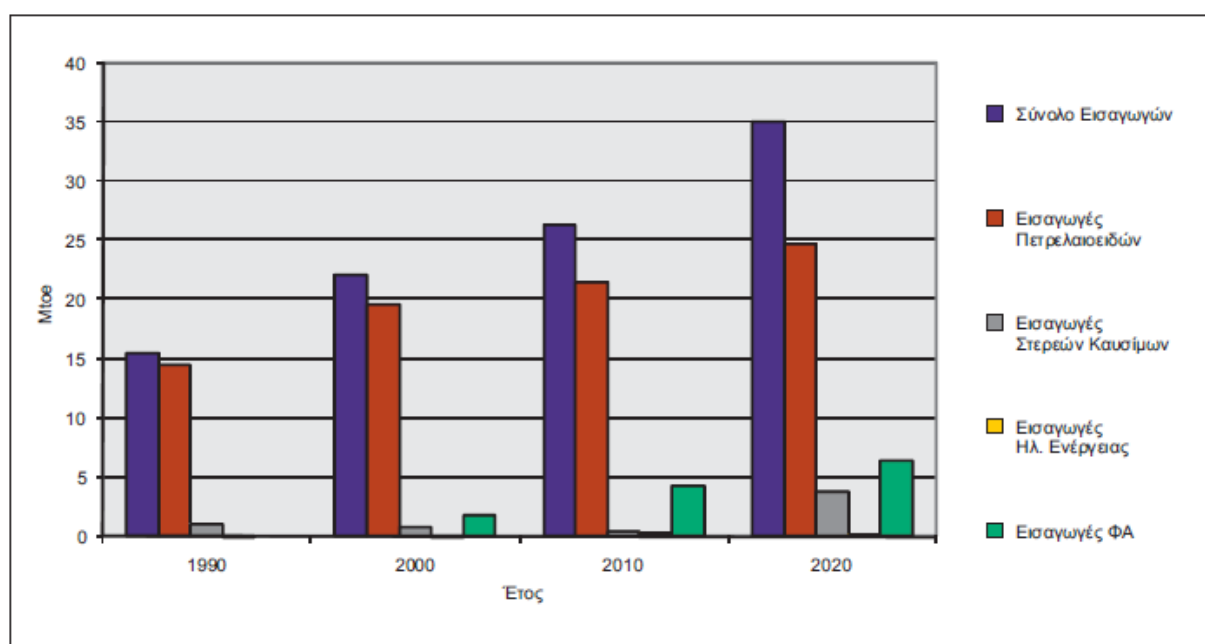
1.1.2. Ενεργειακή Κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχει πρόβλημα ανεπαρκούς κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενώ ταυτόχρονα η κατανάλωση γίνεται συνεχώς λιγότερο αποδοτική σε τομείς όπως οι μεταφορές. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την εξάρτηση της χώρας από εξωτερικές ενεργειακές πηγές με σοβαρές οικονομικές συνέπειες.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κυρίως από εργοστάσια επεξεργασίας λιγνίτη. Τα ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης και το πετρέλαιο

καλύπτουν σχεδόν το 85% της κάλυψης αναγκών σε ενέργεια, με το φυσικό αέριο να χρησιμοποιείται από το 1996 και έπειτα και τις ΑΠΕ να χρησιμοποιούνται από τα τέλη της δεκαετίας του 90. Εξάιρεση στα παραπάνω αποτελούν τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

Η ανάγκη για την κάλυψη των αναγκών έχει οδηγήσει στην εισαγωγή ενέργειας. Από το 1990 μέχρι και το 2010 παρουσιάζεται αυξητική τάση στην συνολική εισαγόμενη ενέργεια με αντίστοιχη αυξητική τάση να παρουσιάζουν και οι εισαγωγές πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου. Σχετικά σταθερές έχουν παραμείνει οι εισαγωγές στερεών καυσίμων ενώ σχεδόν μηδαμινές είναι οι εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας. Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζονται οι εισαγωγές των μορφών ενέργειας καθώς και μια πρόβλεψη για το έτος 2020.



Σχήμα 1.1: Καταμερισμός ενεργειακών εισαγωγών ανά έτος και καύσιμο (Πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης, 2009)

Το 2006 η συνεισφορά των ΑΠΕ ήταν της τάξης του 5% όσων αφορά την συνολική διάθεση πρωτογενούς ενέργειας και της τάξης του 18% όσων αφορά την παραγωγή της πρωτογενούς ενέργειας. Από το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας το 39% δημιουργήθηκε από χρήση βιομάζας σε νοικοκυριά, το 19% από χρήση βιομάζας σε βιομηχανία, 30% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, 8,1 από αιολικά πάρκα, 6% από ηλιακά θερμικά συστήματα και το υπόλοιπο ποσοστό προκύπτει από βιοαέριο και γεωθερμία.

Τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιαστεί αύξηση στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ της τάξης του 3,3% η οποία αφορά την παραγωγή ενέργειας από αιολικά πάρκα, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, βιομάζα και φωτοβολταϊκά. Εάν ληφθεί

υπόψη και η παραγωγή από μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ υπολογίζεται 12,4%.

Με δεδομένο ότι το σύστημα παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα δημιουργεί πολλούς ρύπους κύρια στρατηγική είναι η προώθηση των ΑΠΕ με στόχο την περιβαλλοντική πολιτική και την συμμόρφωση στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με στόχο το παραπάνω έχουν αναπτυχθεί, με συνεργασία των αρμόδιων φορέων, θεσμικά και ρυθμιστικά πλαίσια που ευνοούν την δημιουργία σταθμών ΑΠΕ και την ομαλή λειτουργία ενεργειακών αγορών.

1.2 Αντικείμενο εργασίας

Η Ελλάδα αποτελείται από περισσότερα από 2500 νησιά εκ των οποίων περίπου τα 165 είναι κατοικήσιμα. Από τα νησιά αυτά τα περισσότερα αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες στους οποίους υπάρχει αυξημένη τουριστική κίνηση. Το πρόβλημα εντείνεται στα νησιά τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής Ελλάδος. Συνολικά υπάρχουν 60 μη διασυνδεδεμένα νησιά τα οποία καλύπτουν της ανάγκες τους κυρίως από τοπικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας οι οποίοι λειτουργούν κατά βάση με υγρά καύσιμα. Σε μικρότερο βαθμό καλύπτουν τις ανάγκες τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ένα από αυτά τα νησιά είναι η Κάρπαθος η οποία ανήκει στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και αντιμετωπίζει πρόβλημα ενεργειακού ελλείμματος. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς έχει εξαιρετικά υψηλό αιολικό δυναμικό, γεγονός που την καθιστά ιδανική για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου, προκειμένου να καλύψει τα ενεργειακά προβλήματά της.

Στην παρούσα εργασία στόχος είναι να βρεθούν οι βέλτιστες περιοχές στις οποίες θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα αιολικό πάρκο. Η μέθοδος που ακολουθείται βασίζεται στην χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και σε μια μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης. Προκειμένου να προκύψουν οι βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης των ανεμογεννητριών λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί που τίθενται από την νομοθεσία και ορισμένα κριτήρια που έχουν τεθεί. Για να προκύψουν αποτελέσματα γίνεται χρήση της μεθόδου λήψεως αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, η οποία εκτελείται με βάση την σύγκριση ανά ζεύγη των κριτηρίων με βάση τον προσδιορισμό της ποσοστιαίας συνεισφοράς τους στο τελικό αποτέλεσμα. Η συγκεκριμένη μέθοδος αναπτύχθηκε από τον Saaty το 1977. Αντίστοιχα ερευνητές οι οποίες χρησιμοποιούν την ίδια μέθοδο για αυτό το σκοπό είναι οι Hansen (2005), Latinopoulos & Kechagia (2015) και Aticietal(2015).

Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η εξαγωγή κανονικοποιημένων χαρτών οι οποίοι περιέχουν μια βαθμολογία για κάθε φατνίο. Με βάση αυτή την βαθμολογία επιλέγεται η βέλτιστη περιοχή. Επίσης γίνεται επιλογή ανεμογεννήτριας για το αιολικό πάρκο με βάση της ανάγκες του νησιού και επιλέγεται η καλύτερη δυνατή τοποθεσία με βάση την βέλτιστη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Τέλος γίνεται ανάλυση ευαισθησίας στο πιο αυστηρό σενάριο που θεσπίστηκε για κριτήρια διαφορετικής σημαντικότητας.

1.3 Διάρθρωση εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται ορισμένα γενικά στοιχεία για τις ΑΠΕ, τις οδηγίες που έχει εκδώσει η ευρωπαϊκή ένωση και την πραγματικότητα που επικρατεί στην Ελλάδα. Επίσης αναφέρονται το αντικείμενο της εργασίας και η διάρθρωσή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα στοιχεία της περιοχής μελέτης που αφορούν την παρούσα εργασία. Τα στοιχεία αυτά είναι τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, οι υποδομές, οι αρχαιολογικοί και τουριστικοί χώροι της περιοχής, οι χρήσεις γης και τα στοιχεία του περιβάλλοντος, το αιολικό δυναμικό και το ενεργειακό καθεστώς που επικρατεί.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση των δεδομένων που βρέθηκαν τόσο πρωτογενώς όσο και δευτερογενώς για την εκπόνηση της εργασίας. Ακόμα εξετάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθοδολογίας που επιλέχθηκε για την βέλτιστη χωροθέτηση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση στην περιοχή. Εμφανίζονται οι βέλτιστες θέσεις τοποθέτησης των ανεμογεννητριών σύμφωνα με τα κριτήρια που επιλέχθηκαν και αυτά που ορίζονται από την νομοθεσία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο φαίνονται μια σύνοψη των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την έρευνα αυτή και γίνεται διάκριση αυτών σε γενικά και ειδικά. Επίσης αναφέρονται και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι το νησί της Καρπάθου. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε κυρίως με βάση την υφιστάμενη κατάσταση του νησιού η οποία παρουσιάζει ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα στη περιοχή υπάρχει πρόβλημα ενεργειακού ελλείμματος όπως και στη πλειοψηφία των απομακρυσμένων από την ηπειρωτική χώρα νησιών. Ωστόσο επικρατούν ισχυροί άνεμοι οι οποίοι την καθιστούν κατάλληλη για την δημιουργία αιολικού πάρκου.

2.1 Διοικητική υπαγωγή

Η Κάρπαθος ανήκει στην επαρχία Καρπάθου η οποία έχει ως έδρα τα Πηγάδια. Στην περιοχή υπάρχουν 2 Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης, η κοινότητα Ολύμπου και ο δήμος Καρπάθου. Σύμφωνα με το πρόγραμμα "Ι. Καποδίστριας" ο δήμος Καρπάθου έχει προέλθει από την συνένωση 8 κοινοτήτων οι οποίες πλέον αποτελούν τα δημοτικά διαμερίσματα του νέου δήμου. Με βάση το παραπάνω πρόγραμμα η επαρχία Καρπάθου υπάγεται στο Νομό Δωδεκανήσου με έδρα τη Ρόδο και στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου.

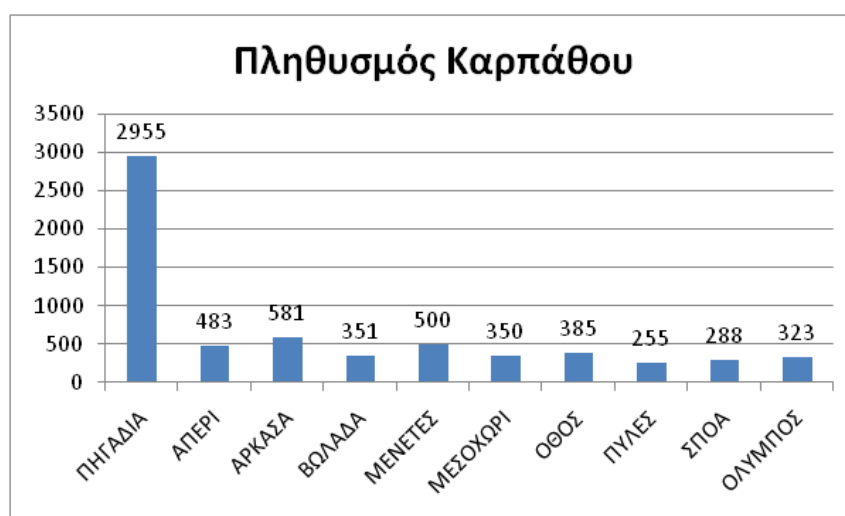
2.2 Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή μελέτης έχει παρουσιάσει πτωτική τάση στο σύνολο του πληθυσμού της από την ένταξή της στην υπόλοιπη Ελλάδα και έπειτα. Από το 1912 εμφανίζει σταθερά κυρίως πτωτική τάση με εξαίρεση όμως τη πρωτεύουσα του νησιού στην οποία φαίνεται να αυξάνεται ο πληθυσμός στη πάροδο των χρόνων. Στα περισσότερα χωριά οι κάτοικοι μειώνονται με το πέρασμα των χρόνων, γεγονός που φαίνεται σε χωριά όπως το Απέρι και η Όλυμπος τα οποία το 1961 είχαν 787 και 1341 κατοίκους αντίστοιχα ενώ το 2001 είχαν 450 και 575 (ΕΛΣΤΑΤ, 2001). Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται αναλυτικά ο πληθυσμός της περιοχής στις απογραφές που έχουν γίνει από το 1961 και μετά καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή του πληθυσμού για κάθε σημαντική πόλη της περιοχής.

Πίνακας 2.1: Πληθυσμός Καρπάθου και ποσοστιαία μεταβολή του 1961-2001 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ 2001)

	Πληθυσμός					Ποσοστιαία μεταβολή			
	1961	1971	1981	1991	2001	1961-1971	1971-1981	1981-1991	1991-2001
ΠΗΓΑΔΙΑ	1085	1281	1363	1266	1692	18,1%	6,4%	-7,1%	33,6%
ΑΠΕΡΙ	787	769	603	457	450	-2,4%	-21,5%	-24,2%	-1,5%
ΑΡΚΑΣΑ	567	510	446	390	478	-10,1%	-12,5%	-12,6%	22,6%
ΒΩΛΑΔΑ	507	505	361	275	261	-0,4%	-28,5%	-23,8%	-5,1%
ΜΕΝΕΤΕΣ	1043	741	601	584	679	-29,0%	-18,9%	-2,8%	19,3%
ΜΕΣΟΧΩΡΙ	487	464	371	357	406	-4,7%	-20,0%	-80,0%	13,7%
ΟΘΟΣ	521	436	294	282	275	-16,3%	-32,6%	-4,1%	-2,5%
ΠΥΛΕΣ	391	367	270	206	235	-6,1%	-26,4%	-23,7%	14,1%
ΣΠΟΑ	340	380	293	251	254	11,8%	-22,9%	-14,3%	1,2%
ΟΛΥΜΠΟΣ	1341	1255	831	581	575	-6,4%	-33,8%	-30,1%	-1,0%
Ν. ΚΑΡΠΑΘΟΣ	7069	6707	5433	4649	5323	-5,1%	-19,0%	-14,4%	14,5%

Η σημερινή κατάσταση παρουσιάζει αύξηση στο πληθυσμό της περιοχής σε σχέση με την απογραφή του 2001. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο συνολικός πληθυσμός του νησιού είναι 7111 κάτοικοι με 2955 από αυτούς να βρίσκονται στη πρωτεύουσα του νησιού, τα Πηγάδια. Με το 41,5% των κατοίκων να μένουν εκεί οι υπόλοιποι είναι διασκορπισμένοι στο νησί κυρίως στο Αρκάσα και στους Μενετές όπου υπάρχουν 581 και 500 κάτοικοι αντίστοιχα. Στην Όλυμπο, η οποία αποτελεί ξεχωριστή δημοτική ενότητα βρίσκονται 480 κάτοικοι με τους 323 να μένουν στην Όλυμπο (ΕΛΣΤΑΤ, 2011) . Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά ο αριθμός κατοίκων σε κάθε αξιοσημείωτη πόλη της περιοχής.



Σχήμα 2.1: Πληθυσμός Καρπάθου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ 2011)

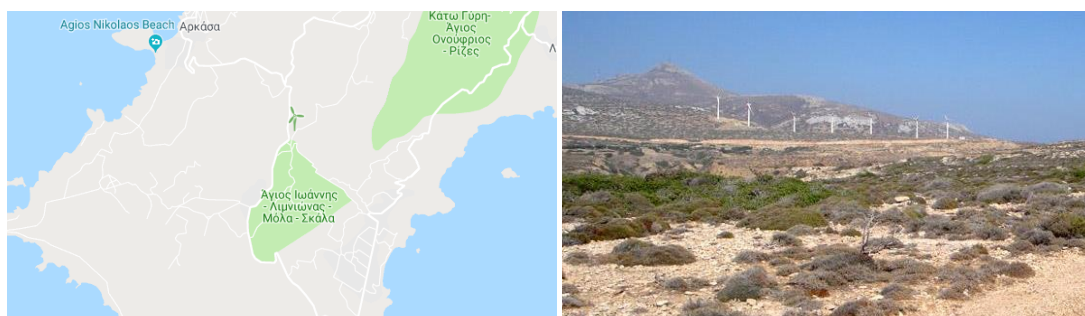
Η απογραφή του 2011 σε σχέση με την προηγούμενη αποδεικνύει μια αυξητική τάση του ποσοστού του πληθυσμού καθώς στις περισσότερες από τις σημαντικές πόλεις της περιοχής ο αριθμός των κατοίκων αυξήθηκε ακόμα και ελάχιστα. Μεγαλύτερη αύξηση του πληθυσμού υπήρχε στη πρωτεύουσα του νησιού τα Πηγάδια όπου παρουσιάστηκε αύξηση 74,3%

2.3 Υφιστάμενες υποδομές

Στη πρωτεύουσα του νησιού, τα Πηγάδια, υπάρχει ο κύριος λιμένας ο οποίος καλύπτει τις μετακινήσεις από και προς το νησί μέσω θαλάσσης και συνδέει το νησί με την ηπειρωτική χώρα. Ακόμα ένας λιμένας υπάρχει στο βόρειο τμήμα του νησιού ο οποίος καλύπτει τις μετακινήσεις στα νησιά που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

Στο νότιο τμήμα του νησιού υπάρχει αεροδρόμιο το οποίο συνδέει τη περιοχή με τα μεγάλα αεροδρόμια της υπόλοιπης χώρας. Η συνολική έκταση που καταλαμβάνει το αεροδρόμιο είναι περίπου 0,19 km².

Στην περιοχή επίσης λειτουργεί αιολικό πάρκο το οποίο ανήκει στην διαχείριση της ΔΕΗ. Το πάρκο βρίσκεται στην περιοχή Άγιος Ιωάννης αποτελείται από 5 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 0,275MW ενώ υπάρχει ακόμα μια στην περιοχή Όθος με ισχύς 0,175MW. Στο πάρκο ακόμα λειτουργούν 2 ακόμα ανεμογεννήτριες οι οποίες εκμεταλλεύονται από ιδιώτες.



Σχήμα2.2: Περιοχή ανεμογεννητριών στη Κάρπαθο (πηγή:www.ppcr.gr)

2.4 Αρχαιολογικοί χώροι-μονές

Συγκεντρωμένοι στο νησί υπάρχουν αρχαιολογικοί χώροι ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα, στα Πηγάδια της Καρπάθου υπάρχει το Επαρχείο, ένα σύμπλεγμα τριών ιστορικών κτηρίων, στην Αράκασα υπάρχουν διατηρημένα ερείπια κτηρίων ιστορικής σημασίας, Στην ακρόπολη Ποσειδίου βρίσκονται ακόμα σωζόμενες αρχαιότητες ενώ στο Βρυκούντα υπάρχει ιστορικός οικισμός.

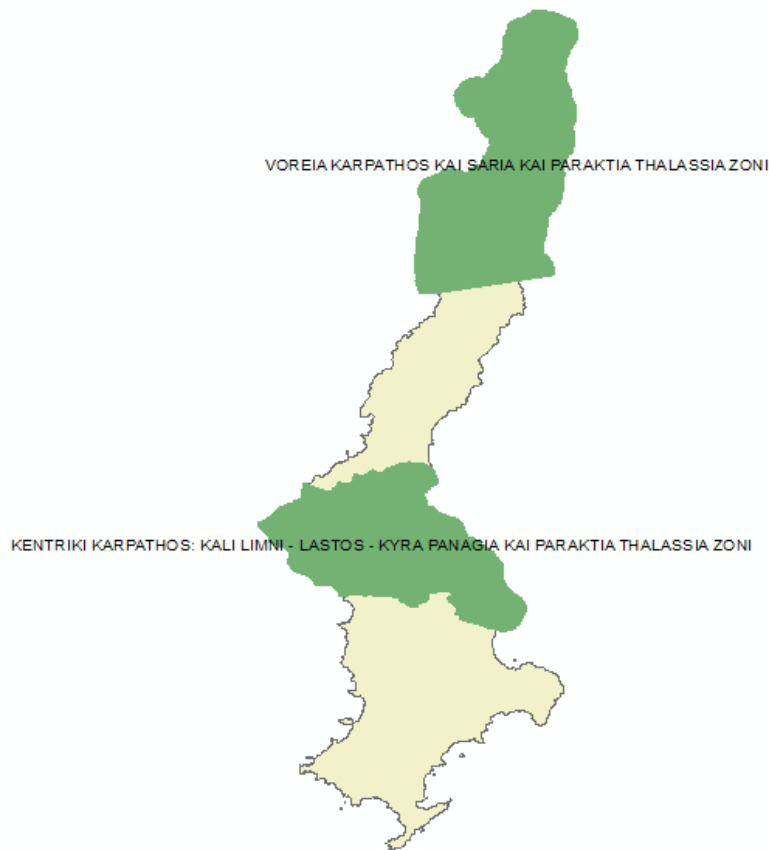
Στο νησί υπάρχουν αρκετές μικρές εκκλησίες όμως δεν υπάρχουν μεγάλες μονές. Μοναδική μονή που υπάρχει είναι η μονή Αγίου Γεωργίου που βρίσκεται στα ανατολικά του χωριού Όθος.

2.5 Περιβάλλον-Χρήσεις γης

Η Κάρπαθος καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού από ορεινές περιοχές με μέγιστο ύψος 1200m και μέσο υψόμετρο τα 264 m. Οι κλίσεις στην περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα ήπιες με μέση κλίση 22% και μέγιστη κλίση στην περιοχή 88%. Στην Κάρπαθο υπάρχουν επίσης δύο μεγάλες περιοχές οι οποίες ανήκουν στο δίκτυο NATURA και θεωρούνται προστατευόμενες. Η πρώτη είναι η περιοχή της βόρειας Ολύμπου ενώ τη δεύτερη καλύπτει τις περιοχές καλή λίμνη, Λάστος και Κυρά Παναγία με όλη την παράκτια ζώνη.

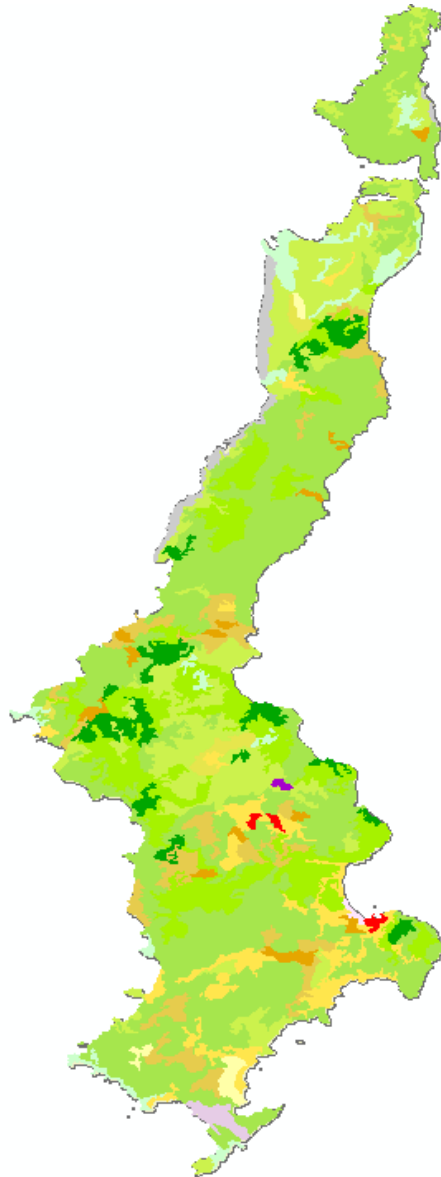
Η περιοχή της βόρειας Ολύμπου υπάγεται διοικητικά στο δήμο Καρπάθου, όπως ορίζει η ισχύουσα διοικητική διαίρεση, δηλαδή το σύστημα "Καλλικράτης". Στην προστατευόμενη περιοχή περιλαμβάνονται συνολικά 165,1 km² εκ των οποίων τα 52,1 είναι θαλάσσια έκταση και περίπου τα 113 χερσαία. Ανήκει στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000 και ο κωδικός που τις αντιστοιχεί είναι GR4210003. Η περιοχή έχει χαρακτηριστεί ως ζώνη ειδικής προστασίας SPA σύμφωνα με την εφαρμογή της οδηγίας 79/44/EE και ως ειδική ζώνη διατήρησης SCI σύμφωνα με την εφαρμογή της οδηγίας 92/43/EE. Ο σκοπός της περιοχής ορίζεται από την ΚΥΑ η οποία την χαρακτηρίζει ως προστατευόμενη και είναι η ανάδειξη του φυσικού περιβάλλοντος και των αρχαιολογικών, ιστορικών, αισθητικών και πολιτιστικών στοιχείων της περιοχής.

Η περιοχή καλή λίμνη-Λάστος-Κυρά Παναγία υπάγεται επίσης στο δήμο Καρπάθου. Καλύπτει περίπου 93 km² και ανήκει στο δίκτυο NATURA 2000 με κωδικό GR4210002. Η περιοχή είναι ιδιαίτερα σημαντική εξαιτίας των σπάνιων ειδών βιοποικιλότητας που υπάρχει (Φορέας Διαχείρισης Καρπάθου και Σαρίας).



Σχήμα 2.3: Περιοχές NATURA στο νησί της Καρπάθου (Πηγή: geodata.gov.gr)

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι καλυμμένο από βλάστηση είτε αυτή κατατάσσεται στην αραιή βλάστηση είτε στη πυκνή. Συγκεκριμένα η βλάστηση, μαζί με τα δάση κωνοφόρων που υπάρχουν στην περιοχή και τους απογυμνωμένους βράχους, καλύπτει 190 km² δηλαδή το 59,1% της επιφάνειας του νησιού. Μεγάλο ποσοστό επίσης καλύπτουν οι γεωργικές δραστηριότητες όπως οι σύνθετες καλλιέργειες, τα λιβάδια και οι ελαιώνες. Το σύνολο αυτής της γης είναι περίπου 45 km² δηλαδή το 14% της επιφάνειας της περιοχής. Το υπόλοιπο ποσοστό της περιοχής καλύπτεται από ασυνεχής αστική υφή, αθλητικές εγκαταστάσεις, περιοχές εξόρυξης και το αεροδρόμιο που υπάρχει (geodata.gov.gr). Στη παρακάτω εικόνα φαίνονται οι χρήσεις γης όπως προκύπτουν από το corine landcover 2012. Η χρωματική παλέτα που έχει επιλεγεί έχει ληφθεί από τον διαδικτυακό τόπο: <http://eidc.ceh.ac.uk/metadata/32533dd6-7c1b-43e1-b892-e80d61a5ea1d/corine-land-cover-legend-layer-file/viewγια> τη χρήση του σε GIS περιβάλλον.



Σχήμα2.4: Χρήσεις γης στο νησί της Καρπάθου (Πηγή: ktimatologio.gr)

2.6 Αιολικό δυναμικό

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας η Κάρπαθος είναι το νησί των Δωδεκανήσων με το υψηλότερο αιολικό δυναμικό. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ετήσια ποσοστά συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τα αντίστοιχα της διεύθυνσης του, στην περιοχή.

Πίνακας 2.3: Συχνότητα εντάσεων και διεύθυνσης ανέμων στην Κάρπαθο (πηγή: ΕΜΥ, Μ.Σ. Καρπάθου)

Ισχύς ανέμου σε BEAUFORT	B	BA	A	NA	N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	ΗΡΕΜΙΑ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
0									4,707	4,704
1	0,143	3,697	0,121	0,869	0,814	1,793	0,385	1,551		9,373
2	0,825	7,008	0,286	2,410	1,804	4,753	1,826	7,614		26,526
3	1,551	4,698	0,187	2,057	1,144	3,488	1,848	11,761		26,734
4	2,101	2,993	0,110	1,331	0,462	1,870	0,990	9,154		19,011
5	1,793	1,584	0,099	0,627	0,154	0,847	0,363	3,829		9,296
6	1,353	0,660	0,011	0,165	0,055	0,330	0,066	0,847		3,487
7	0,418	0,132	0,001	0,033	0,011	0,033	0,011	0,077		0,726
8	0,099	0,011	0,000	0,011	0,011	0,000	0,000	0,000		0,132
9	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000		0,011
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
>11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	8,283	20,783	0,825	7,514	4,455	13,114	5,489	34,833	4,704	100,000

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η κύρια διεύθυνση του ανέμου είναι βορειοδυτική καθώς σχεδόν το 34,9% των ανέμων πνέουν από αυτή τη διεύθυνση. Ακολουθούν οι βορειοανατολικοί άνεμοι με ποσοστό 20,8% και οι νοτιοδυτικοί άνεμοι με ποσοστό 13,11%. Η συχνότητα με την οποία εμφανίζεται άπνοια στο νησί είναι 4,704%.

Οι ταχύτητες του ανέμου είναι μετρημένες στη κλίμακα BEAUFORT. Άνεμοι ταχύτητας 3 BEAUFORT παρουσιάζονται πιο συχνά με ποσοστό εμφάνισης 26,8% όπως και οι άνεμοι ταχύτητας 2 BEAUFORT με ποσοστό εμφάνισης 26,5%. Άνεμοι με ταχύτητα πάνω από 4 BEAUFORT παρουσιάζονται με συχνότητα 13,6%. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το αιολικό δυναμικό σε όλο τη περιοχή μελέτης.



ΝΟΜΟΣ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ (Α)

Έκθεση στοιχείων τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου Αιολικού Δυναμικού

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Σχήμα2.5: Στοιχεία αιολικού δυναμικού στο νησί της Καρπάθου (Πηγή: cres.gr/kape)

2.7 Ενεργειακό καθεστώς

Η Κάρπαθος ανήκει στα μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας. Τα νησιά αυτά δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας και η ενέργεια που καταναλώνουν παράγεται από τοπικούς θερμικούς σταθμούς, οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο βαρύ (μαζούτ) ή ελαφρύ (ντίζελ), ή σταθμούς ΑΠΕ, συνήθως αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα. Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά το ποσοστό της θερμικής παραγόμενης ενέργειας είναι 82%, 16% από παραγωγή αιολικών πάρκων και 2% από φωτοβολταϊκά(ΡΑΕ, 2013).

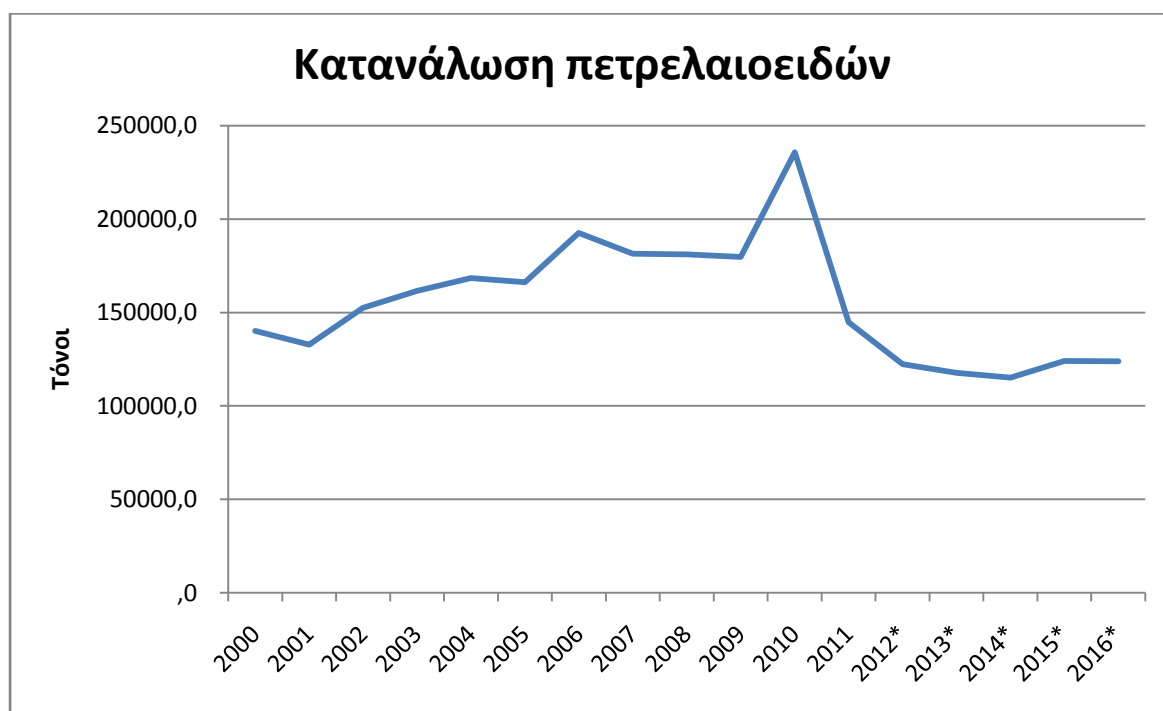
Οι ενεργειακές ανάγκες των Δωδεκανήσων εντοπίζονται κυρίως σε βενζίνη, ντίζελ και ηλεκτρισμό. Ωστόσο η χρήση της βενζίνης και του ντίζελ είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως η ανάγκη για βενζίνη και ντίζελ μπορεί να ερμηνευθεί και ως ανάγκη για ηλεκτρισμό. Αθροιστικά η ανάγκη για ντίζελ και βενζίνη φτάνει στο 66% ενώ οι ανάγκες για ηλεκτρισμό στο 25,%. Το υπόλοιπο ποσοστό μοιράζεται σε ενεργειακές ανάγκες για βιομάζα, ηλιακή ενέργεια, φυσικό αέριο και βαρέα καύσιμα (ΔΕΗ, 2008).

Η ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται κατά κόρων στα Δωδεκάνησα για διάφορες χρήσεις. Οι μεγαλύτερες απαιτήσεις που υπάρχουν είναι για εμπορική χρήση με ποσοστό 59,77% και για οικιακή χρήση με ποσοστό 29,53%. Οι υπόλοιπες χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας γίνονται από βιομηχανική χρήση, γεωργική χρήση, από δημόσιες και δημοτικές αρχές και από το φωτισμό των οδών (ΕΛΣΤΑΤ, 2010).



Σχήμα 2.6: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρήση στο νομό Δωδεκανήσων (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2010)

Τα πετρελαιοειδή επίσης καταναλώνονται σε μεγάλο βαθμό για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Τη περίοδο 2010-2016 χρησιμοποιήθηκαν κατά μέσο όρο 155.283 τόνοι πετρελαιοειδών. Μεγαλύτερη κατανάλωση υπήρχε το 2010 με 237.764 τόνους ενώ μικρότερη υπήρχε το 115.124 (ΕΛΣΤΑΤ, 2016). Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανάλωση πετρελαιοειδών το χρονική περίοδο 2010-2016. Για την περίοδο 2012-2016 στην κατανάλωση που αναφέρεται συνυπολογίζεται και η κατανάλωση υγραερίου.



Σχήμα 2.7: Κατανάλωση πετρελαιοειδών στο νομό Δωδεκανήσων (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2016)

Το 2016 η κατανάλωση των πετρελαιοειδών στο νομό Δωδεκανήσων ήταν 1,4% της συνολικής κατανάλωσης της χώρας. Η μεγαλύτερη κατανάλωση στην περιοχή έγινε σε βενζίνη όπου καταναλώθηκαν 56.030 τόνοι εκ των οποίων οι 17 ήταν βενζίνη σούπερ (LRP), οι 54.713 ήταν αμόλυβδη (95RON) και οι 1.300 αμόλυβδη (98/100RON). Ακολουθεί το πετρέλαιο diesel με 52.611 τόνους εκ των οποίων οι 6.797 είναι θέρμανσης και οι 45.814 είναι κίνησης (BIO). Ακόμα καταναλώθηκαν 148 τόνοι από μαζούτ χαμηλού θείου και τέλος καταναλώθηκαν 15.159 τόνοι υγραερίου LPG (ΕΛΣΤΑΤ, 2016).

Η ζήτηση σε ενέργεια στη Κάρπαθο την περίοδο 2008-2013 ήταν συνολικά 224.827 MWh. Κατά μέσο όρο η κατανάλωση ήταν 37.471 MWh. Στην Κάρπαθο υπάρχει εγκατεστημένος ΑΣΠ ο οποίος καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών του νησιού. Συμπληρωματικά λειτουργεί αιολικό πάρκο το οποίο δεν αρκεί για να καλύψει αυτόνομα της ανάγκες του νησιού. Η ενέργεια που παράγεται από το αιολικό πάρκο ήταν 1,23 MW το 2015. Ποσοστό της ενέργειας που απαιτείται για

την κάλυψη των αναγκών έρχεται και από τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία παράγααν 0,49MW το 2015(ΕΛΣΤΑΤ, 2013).

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων

Για την παρούσα διπλωματική συλλέχτηκαν μια σειρά από δεδομένα τα οποία σχετίζονται με τις επιτρεπόμενες αποστάσεις, τοποθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων, από γειτνιαζουσες χρήσεις γης δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής. Συγκεκριμένα, οι επιτρεπόμενες αποστάσεις ορίζονται στο ΦΕΚ 2464 Β/03.12.2008 και χωρίζονται σε 6 κατηγορίες.

- Α. Αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας
- Β. Αποστάσεις από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος
- Γ. Αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς
- Δ. Αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες
- Ε. Αποστάσεις από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικές χρήσεις
- ΣΤ. Αποστάσεις από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα οι περιορισμοί αποστάσεων για κάθε κατηγορία.

Πίνακας 3.1: Ελάχιστες αποστάσεις για αιολικά πάρκα σύμφωνα με την νομοθεσία Α

Α. Αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας	
Α. Μέγιστη απόσταση από υφιστάμενη οδό χερσαίας προσπέλασης οποιασδήποτε κατηγορίας	-Για εγκαταστημένη ισχύ/μονάδα κάτω των 10 MWe: Σε Π.Α.Π. και Αττική: 20 χλμ. μήκους όδευσης -Σε άλλες περιοχές (Π.Α.Κ.): 15χλμ. ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ/μονάδα -Σε νησιά: 10 χλμ. ανεξάρτητα από την εγκαταστημένη ισχύ/μονάδα.
Β. Μέγιστη απόσταση από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.)	Όπως ορίζει ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. στους όρους σύνδεσης της εγκατάστασης (υψηλή τάση) και η ΔΕΗ (μέση και χαμηλή τάση)
Γ. Ελάχιστη απόσταση (Α) μεταξύ των ανεμογεννητριών	2,5 φορές τη διάμετρο (d) της φτερωτής της ανεμογεννήτριας

Η διασφάλιση της λειτουργικότητας των ανεμογεννητριών καθορίζεται από την απόσταση τους από τις υφιστάμενες οδούς της περιοχής, την απόσταση από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης και την σχετική απόσταση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους. Σχετικά με τις παραμέτρους αυτές, η μόνη που

δεν λαμβάνεται υπόψη είναι η απόσταση από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διότι στην περιοχή δεν υπάρχουν καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης.

Πίνακας 3.2: Ελάχιστες αποστάσεις για αιολικά πάρκα σύμφωνα με την νομοθεσία Β

Β. Αποστάσεις από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση από την ασύμβατη χρήση
Περιοχές απολύτου προστασίας της Φύσης και προστασίας της φύσης του άρθρου 19 παρ.1, 2 ν.1650/86 (Α' 160)	Σύμφωνα με την εγκεκριμένη Ε.Π.Μ. ή το σχετικό π.δ. (του άρθρου 21 του ν. 1650/86) ή την σχετική Κ.Υ.Α. (ν. 3044/02)
-Πυρήνες των Εθνικών Δρυμών, κηρυγμένα μνημεία της φύσης, αισθητικά δάση που δεν περιλαμβάνονται στις περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και προστασίας της φύσης των παρ. 1 και 2 του άρθρου 19 του ν. 1650/1986 -Οι υγρότοποι RAMSAR -Οι οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της Επικράτειας που έχουν ενταχθεί στον κατάλογο των τόπων κοινοτικής σημασίας του δικτύου ΦΥΣΗ 2000 σύμφωνα με την απόφαση 2006/613/ΕΚ της επιτροπής (ΕΕ L 259 της 21.9.2006, σ.1).	Κρίνεται κατά περίπτωση στο πλαίσιο της ΕΠΟ
Ακτές κολύμβησης που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης που συντονίζεται από το Υ.ΠΕ.ΚΑ.	1500μ. ²
Περιοχές ΖΕΠ ορνιθοπανίδας (SPA)	Κρίνεται κατά περίπτωση στο πλαίσιο της ΕΠΟ, μετά από ειδική ορνιθολογική μελέτη

Όσον αφορά την περιβαλλοντική προστασία της περιοχής μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης που υπάρχουν στη περιοχή. Συγκεκριμένα υπάρχουν δυο περιοχές που ανήκουν στο δίκτυο NATURA 2000 όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αντίθετα δεν έχουν βρεθεί στην περιοχή πυρήνες εθνικών δρυμών, υγρότοποι RAMSAR, οικότοποι προτεραιότητας, ακτές στις οποίες γίνεται παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων και περιοχές ορνιθοπανίδας. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η απαγόρευση χωροθέτησης μόνο εντός των περιοχών απολύτου προστασίας της φύσης.

Πίνακας 3.3: Ελάχιστες αποστάσεις για αιολικά πάρκα σύμφωνα με την νομοθεσία Γ

Γ. Αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση από την ασύμβατη χρήση
Εγγεγραμμένα στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς και τα άλλα μείζονος σημασίας μνημεία, αρχαιολογικοί χώροι και ιστορικοί τόποι της παρ.5. εδάφιο ββ του άρθρου 5 του Ν. 3028/02	3000 μ.
Ζώνη απολύτου προστασίας (ζώνη Α) λοιπών αρχαιολογικών χώρων	A=7d όπου (d) η διάμετρος της φτερωτής της ανεμογεννήτριας, τουλάχιστον 500μ.
Κηρυγμένα πολιτιστικά μνημεία και ιστορικοί τόποι	A=7d όπου (d) η διάμετρος της φτερωτής της ανεμογεννήτριας, τουλάχιστον 500μ.

Στην περιοχή δεν βρέθηκαν αρχαιολογικοί και ιστορικοί τόποι μείζονος σημασίας ή εγγεγραμμένοι στον κατάλογο πολιτιστικής κληρονομιάς όπως επίσης δεν βρέθηκαν ζώνες απολύτου προστασίας λοιπών αρχαιολογικών χώρων. Τα πολιτιστικά μνημεία που βρέθηκαν βρίσκονταν εντός οικισμών και η ελάχιστη απόσταση που απαιτείται για την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου καλύπτεται από αυτή των οικισμών, όπως φαίνεται και παρακάτω.

Πίνακας 3.4: Ελάχιστες αποστάσεις για αιολικά πάρκα σύμφωνα με την νομοθεσία Δ

Δ. Αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση από την ασύμβατη χρήση
Πόλεις και οικισμοί με πληθυσμό >2000 κατοίκων ή οικισμοί με πληθυσμό <2000 κατοίκων που χαρακτηρίζονται ως δυναμικοί, τουριστικοί ή αξιόλογοι κατά την έννοια του άρθρου 2 του π.δ. 24.4/3.5.1985	1000μ από το όριο του οικισμού ή του σχεδίου πόλης κατά περίπτωση
Παραδοσιακοί οικισμοί	1500 μ. από το όριο του οικισμού Κατά την παρέκκλιση από τα παραπάνω είναι δυνατή με απόφαση του Γ.Γ. Υ.ΠΕ.ΚΑ. ύστερα από εισήγηση της αρμόδιας Δ/νσης του Υ.ΠΕ.ΚΑ. η μείωση της ως άνω απόστασης των κατοικιών που συνθέτουν τον οικισμό είναι μικρότερος των είκοσι

Λοιποί οικισμοί	500 μ. από το όριο του οικισμού
Οργανωμένη δόμηση Α' ή Β' κατοικίας (Π.Ε.Ρ.ΠΟ., Συνεταιρισμοί κλπ) ή και διαμορφωμένες περιοχές Β' κατοικίας, όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της Μ.Π.Ε. κάθε μεμονωμένης εγκατάστασης αιολικού πάρκου.	1000μ. από τα όρια του σχεδίου ή της διαμορφωμένης περιοχής αντίστοιχα.
Ιερές μονές	500 μ. από τα όρια της μονής
Μεμονωμένη κατοικία (νομίμως υφιστάμενη)	Εξασφάλιση ελάχιστου επιπέδου θορύβου μικρότερου των 45db.

Οι οικισμοί που βρέθηκαν στην περιοχή είναι στην πλειονότητα τους οικισμοί με λιγότερους από 2000 κατοίκους, με εξαίρεση την πρωτεύουσα του νησιού η οποία τους ξεπερνά. Για τους οικισμούς αυτούς οι ελάχιστες αποστάσεις που επιλέχθηκαν είναι σύμφωνες με την νομοθεσία. Ακόμα, δεν βρέθηκαν παραδοσιακοί οικισμοί, οργανωμένη δόμηση Α' ή Β' κατοικίας και μεμονωμένες κατοικίες. Ωστόσο στην περιοχή υπάρχει ιερά μονή, η οποία λήφθηκε υπόψη και επιλέχθηκε ελάχιστη απόσταση όπως την ορίζει η νομοθεσία.

Πίνακας 3.5: Ελάχιστες αποστάσεις για αιολικά πάρκα σύμφωνα με την νομοθεσία Ε

Ε. Αποστάσεις από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικές χρήσεις	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση από την ασύμβατη χρήση
Κύριοι οδικοί άξονες, οδικό δίκτυο αρμοδιότητας των Ο.Τ.Α. και σιδηροδρομικές γραμμές.	Απόσταση ασφαλείας 1,5d από τα όρια της ζώνης απαλλοτρίωσης της οδού ή του σιδηροδρομικού δικτύου αντίστοιχα.
Γραμμές υψηλής τάσεως	Απόσταση ασφαλείας 1,5d από τα όρια διέλευσης των Υ.Τ.
Υποδομές τηλεπικοινωνιών (κεραίες RADAR)	Κατά περίπτωση μετά από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα
Εγκαταστάσεις ή δραστηριότητες της αεροπλοΐας	Κατά περίπτωση μετά από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα

Τα δίκτυα τεχνικής υποδομής που βρέθηκαν στο νησί είναι ελάχιστα. Συγκεκριμένα δεν υπάρχει σιδηροδρομικό δίκτυο, υπάρχει όμως οδικό. Επίσης δεν υπάρχουν γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και εγκαταστάσεις ή δραστηριότητες της αεροπλοΐας. Βρέθηκαν όμως υποδομές τηλεπικοινωνιών (κεραίες RADAR) για τις οποίες επιλέχθηκε ελάχιστη απόσταση 200m.

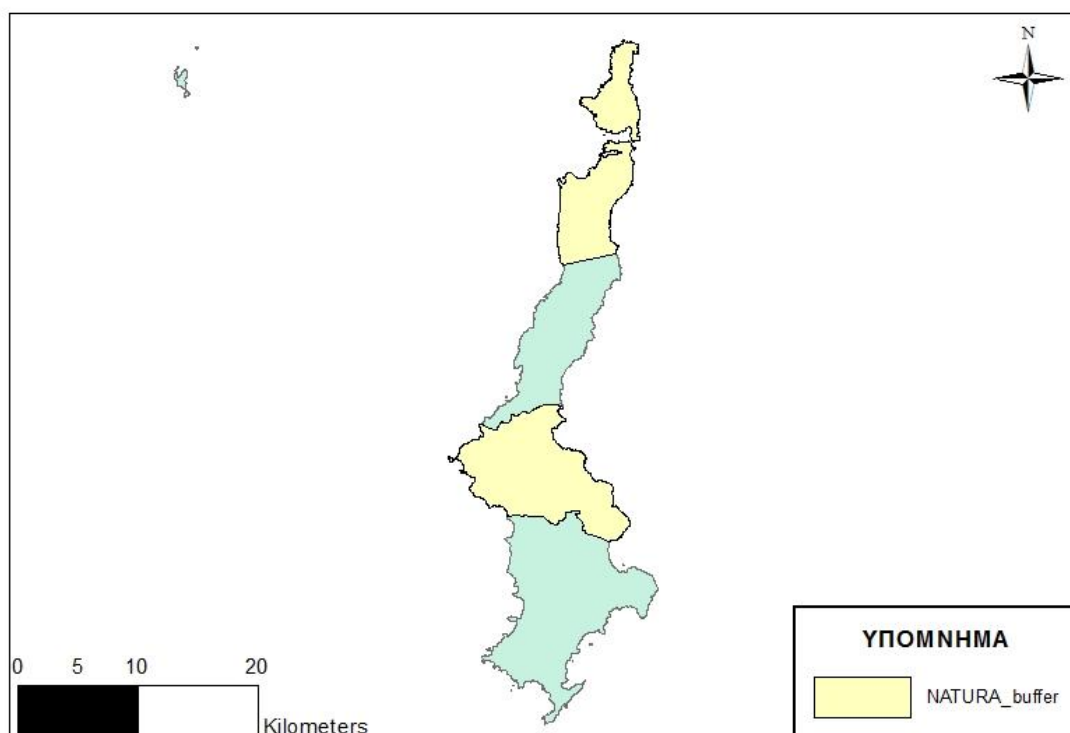
Πίνακας 3.6: Ελάχιστες αποστάσεις για αιολικά πάρκα σύμφωνα με την νομοθεσία ΣΤ

ΣΤ. Αποστάσεις από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση από την ασύμβατη χρήση
Αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, ζώνες αναδασμού, αρδευόμενες εκτάσεις.	Απόσταση ασφαλείας 1,5d
Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση ασφαλείας 1,5d
Μονάδες εσταυλισμένης κτηνοτροφίας	Απόσταση ασφαλείας 1,5d
Λατομικές ζώνες και δραστηριότητες	Όπως ορίζεται στην κείμενη νομοθεσία.
Λειτουργούσες επιφανειακά μεταλλευτικές εξορυκτικές ζώνες και δραστηριότητες.	500 μ.
ΠΟΤΑ και άλλες περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων του τριτογενούς τομέα, θεματικά πάρκα, τουριστικοί λιμένες και άλλες θεσμοθετημένες ή διαμορφωμένες τουριστικά περιοχές (όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της ΜΠΕ του αιολικού πάρκου για κάθε μεμονωμένη εγκατάσταση).	1000 μ από τα όρια της ζώνης / περιοχής.
Τουριστικά καταλύματα και ειδικές τουριστικές υποδομές.	

Οι παραγωγικές δραστηριότητες του νησιού είναι ελάχιστες με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν περιορισμοί από αυτές. Η αγροτική γη δεν είναι υψηλής παραγωγικότητας και περιορίζεται σε μεμονωμένες καλλιέργειες. Επίσης δεν υπάρχουν ιχθυοκαλλιέργειες και ενώ υπάρχει κτηνοτροφική δραστηριότητα δεν υπάρχουν μονάδες εσταυλισμένης κτηνοτροφίας. Ακόμα, δεν υπάρχουν ενεργές λατομικές ζώνες και δραστηριότητες καθώς και επιφανειακές μεταλλευτικές εξορυκτικές ζώνες και δραστηριότητες. Τέλος δεν βρέθηκαν μεγάλες περιοχές ΠΟΤΑ ή μεγάλες τουριστικές εγκαταστάσεις.

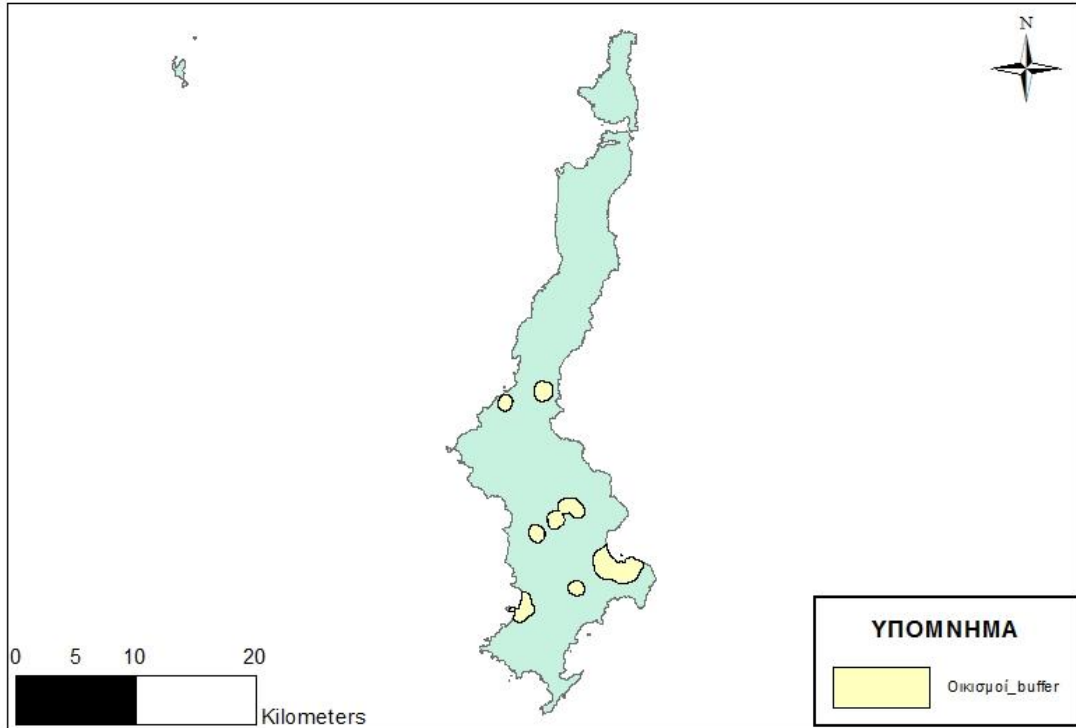
Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκαν οι περιορισμοί στην περιοχή με βάση τους παραπάνω πίνακες νομοθεσίας. Οι συνολικοί περιορισμοί που προέκυψαν αφορούν τις περιοχές NATURA, οι οικισμοί, οι δρόμοι, η μονή της περιοχής και οι κεραίες που υπάρχουν στην περιοχή. Οι περιοχές NATURA, οι οποίες βρέθηκαν από την ιστοσελίδα www.geodata.gov.gr, απαγορεύουν την δημιουργία αιολικών πάρκων εντός τους και σε απόσταση η οποία ορίζεται κατά περίπτωση από τους αρμόδιους φορείς. Για την μελέτη αυτή επιλέχθηκε η απαγόρευση χωροθέτησης

μόνο εντός των περιοχών και όχι σε απόσταση από αυτές. Δημιουργήθηκε κανονικοποιημένος χάρτης ο οποίος περιέχει την τιμή 1 σε όλη την έκταση του νησιού εκτός από τις περιοχές NATURA στις οποίες έχει δοθεί η τιμή 0.



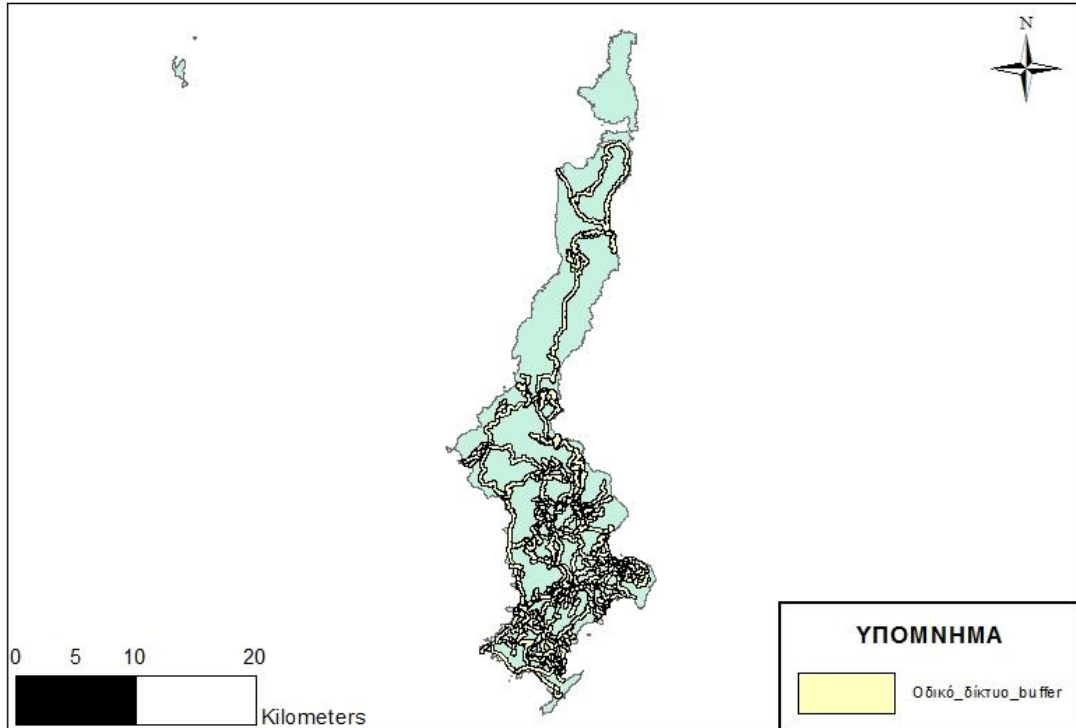
Σχήμα 3.1: Χάρτης περιορισμού περιοχών NATURA

Οι οικισμοί της περιοχής ψηφιοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο έναν χάρτη της περιοχής ο οποίος βρέθηκε από το κτηματολόγιο. Μετά την ψηφιοποίηση τους δημιουργήθηκε buffer zone απόστασης 500 μέτρων. Στον οικισμό της Καρπάθου δημιουργήθηκε buffer zone 1000 μέτρων λόγω του αριθμού των κατοίκων του καθώς η ελάχιστη απόσταση χωροθέτησης ανεμογεννητριών που ορίζει η νομοθεσία για οικισμούς άνω των 2000 κατοίκων είναι 1000 μέτρα. Στην συνέχεια οι οικισμοί μαζί με τα buffer τους μετατράπηκαν σε κανονικοποιημένους χάρτες λαμβάνοντας την τιμή 0 σε αντίθεση με την υπόλοιπη περιοχή η οποία λαμβάνει την τιμή 1



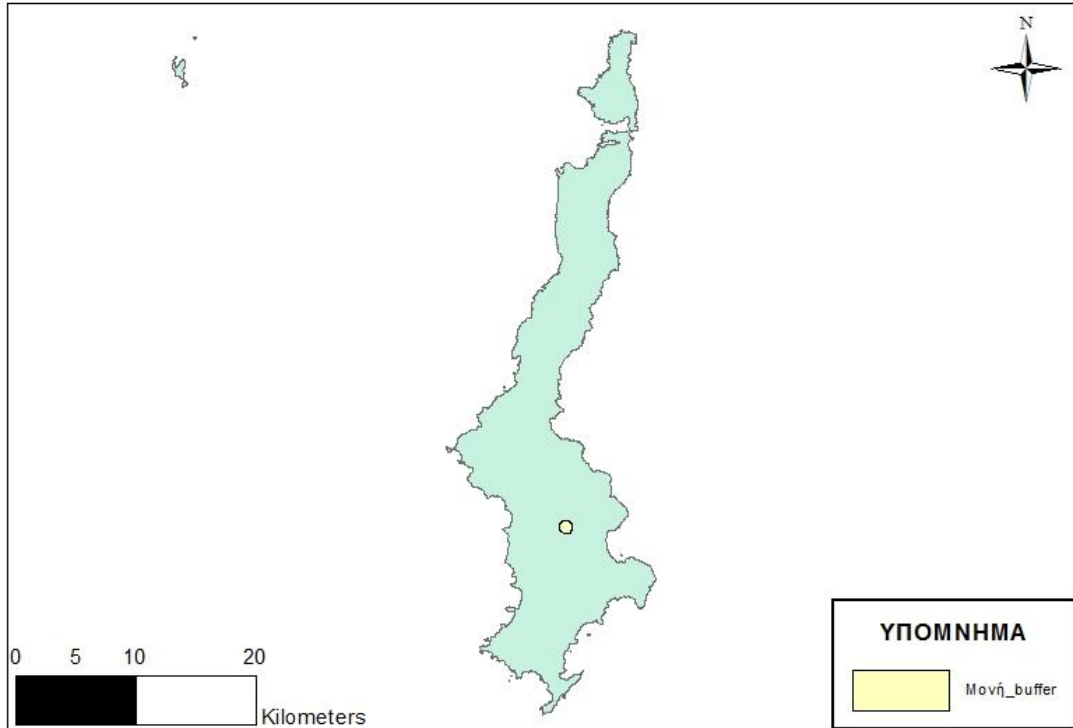
Σχήμα 3.2: Χάρτης περιορισμού οικισμών

Το αρχείο του οδικού δικτύου της περιοχής παραδόθηκε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και με βάση αυτό δημιουργήθηκαν buffer zone. Η νομοθεσία ορίζει ελάχιστη απόσταση 10.000 μέτρων από τμήματα οδού στα νησιά, ωστόσο κάτι τέτοιο θα απαγόρευε την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου στην περιοχή. Επιλέχθηκε μια απόσταση 150 μέτρων για την διασφάλιση της ανεμπόδιστης λειτουργικότητας της οδού. Έπειτα ο χάρτης κανονικοποιήθηκε λαμβάνοντας την τιμή 1 εκτός των περιοχών στις οποίες υπάρχει δρόμος με τα αντίστοιχα buffer zone στις οποίες ορίστηκε η τιμή 0.



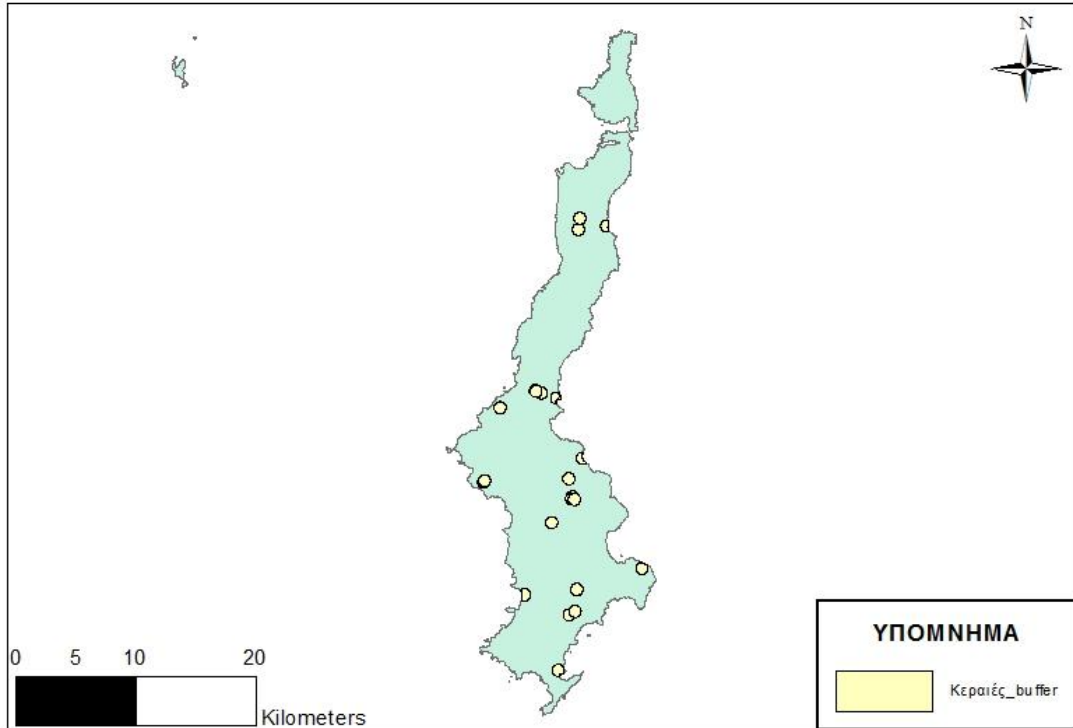
Σχήμα 3.3: Χάρτης περιορισμού οδικού δικτύου

Στην περιοχή υπάρχει ακόμα μονή από την οποία ορίζεται από την νομοθεσία να υπάρχει μια ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων. Με την χρήση χάρτη του κτηματολογίου ως υπόβαθρο ψηφιοποιήθηκε η περιοχή της μονής και μετέπειτα δημιουργήθηκε το αντίστοιχο buffer zone. Ακολούθησε η κανονικοποίηση του χάρτη με την περιοχή της μονής και του buffer zone να λαμβάνουν την τιμή 0 και την υπόλοιπη περιοχή να λαμβάνει την τιμή 1.



Σχήμα 3.4: Χάρτης περιορισμού μονής

Οι κεραιές της περιοχής αποτελούν κεραιές τηλεπικοινωνίας και οι συντεταγμένες τους βρέθηκαν από την ιστοσελίδα www.keraies.eett.gr η οποία αναπτύχθηκε από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων. Η ελάχιστη απόσταση από τις κεραιές ορίζεται κατά περίπτωση από τον αρμόδιο φορέα. Για την διπλωματική αυτή επιλέχθηκε μια απόσταση 200 μέτρων. Έπειτα δημιουργήθηκε κανονικοποιημένος χάρτης ο οποίος έλαβε την τιμή 0 στις περιοχές που καθιστούν την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων απαγορευτικές και 1 στις υπόλοιπες περιοχές.



Σχήμα 3.5: Χάρτης περιορισμού κεραιών

3.2 Μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης

Στην διπλωματική αυτή επιλέγονται οι καλύτερες θέσεις χωροθέτησης αιολικού πάρκου στην περιοχή της Καρπάθου. Η επιλογή αυτή γίνεται με την μέθοδο της απόφασης πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDA) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (AHP).

Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης θεωρείται ως μια σειρά από συστηματικές διαδικασίες, οι οποίες έχουν στόχο να οδηγήσουν στην απλοποίηση και ανάλυση περίπλοκων προβλημάτων. Στην καθημερινότητα πολλά προβλήματα που προκύπτουν από την διαφορά ανάμεσα στην πραγματικότητα και την ιδεατή λύση, η οποία εντάσσεται σε ένα γεωγραφικό πλαίσιο, είναι προβλήματα χωρικής ανάλυσης στα οποία μπορεί να δοθεί λύση μέσω των πολυκριτηριακών αναλύσεων. Ο συνδυασμός της ανάγκης για επεξεργασία μεγάλων χωρικών δεδομένων και της εύρεσης εφικτής και βέλτιστης λύσης σύμφωνα με έναν αριθμό κριτηρίων και σεναρίων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) προκειμένου η λήψη αποφάσεων να γίνει ευκολότερη.

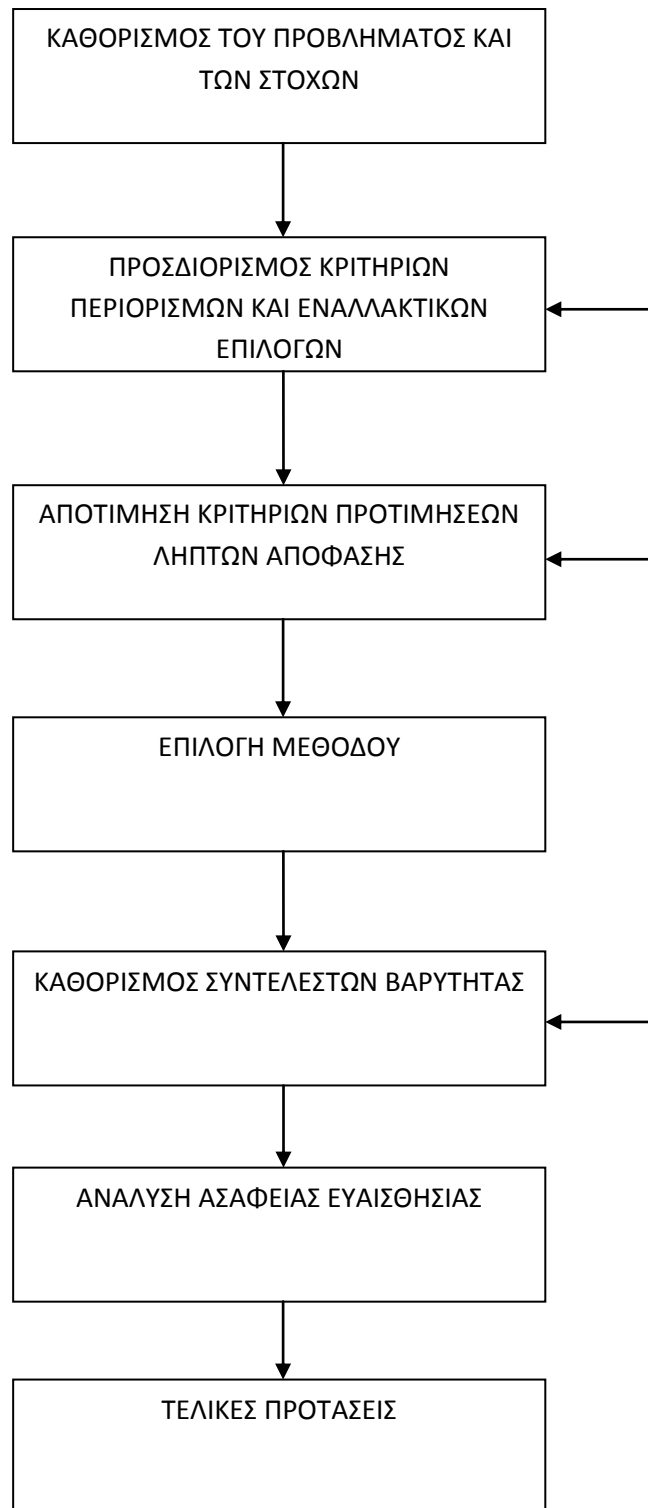
Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στην παρούσα διπλωματική η φύση του αντικειμένου που πραγματεύεται ορίζεται ως ένα πρόβλημα χωρικής απόφασης. Προκειμένου να λυθεί απαιτείται η διαχείριση μεγάλου όγκου χωρικών δεδομένων και ο

συνδυασμός αυτών με την λήψη της κατάλληλης απόφασης η οποία στηρίζεται σε έναν αριθμό κριτηρίων. Είναι εμφανές ότι για την έρευνα αυτή είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων GIS.

3.2.1. Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (MCDA)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (MCDA) λειτουργεί με γνώμονα την δημιουργία διαδικασιών, ικανών να βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων, συνδυάζοντας ορισμένα κριτήρια τα οποία καθορίζονται εκ των προτέρων από τον μελετητή, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Ο τρόπος με τον οποίο γίνονται αυτές οι διαδικασίες βασίζεται στην σχέση που δημιουργείται ανάμεσα σε μια σειρά δεδομένων εισόδου, όπως τα γεωγραφικά δεδομένα, και σε μια σειρά δεδομένων εξόδου, όπως οι τελικοί χάρτες. Το σύνολο των γεωγραφικών δεδομένων εισόδου αποτελείται από θεματικά επίπεδα χαρτών τα οποίοι οφείλουν να είναι γεωαναφερμένα. Το σύνολο των διαδικασιών γίνεται σε περιβάλλον GIS με στόχο την ευκολότερη διαχείριση, αποθήκευση, ανάκτηση και χειρισμό των χωρικών δεδομένων. Πλεονέκτημα της MCDA είναι η δυνατότητα που παρέχει στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να συνδυάσει τις προτιμήσεις του με μια σειρά από γεωγραφικά δεδομένα (Drobne&Lisec, 2009).

Η μεθοδολογία της MCDA μπορεί να παρουσιαστεί γραφικά σε ορισμένα στάδια. Τα στάδια αυτά φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.6: Στάδια υλοποίησης μοντέλου MCDA (Προέλευση: Χαλκιάς, 2015)

Στο πρώτο στάδιο γίνεται ο καθορισμός του προβλήματος και των στόχων οι οποίοι σχετίζονται με αυτό. Ενδεχομένως στο καθορισμό του προβλήματος και των στόχων να γίνει φανερό ότι υπάρχουν στόχοι αντικρουόμενοι. Στη περίπτωση αυτή η

μέθοδος γίνεται πολλαπλών στόχων (MultiObjectiveDecisionAnalysis). Αντίθετα όταν υπάρχει μοναδικός στόχος και η ανάλυση στηρίζεται σε κριτήρια με μετρήσιμες περιγραφές σχετικές με το γενικό πρόβλημα, η μέθοδος γίνεται πολλαπλών περιγραφών (MultiAttributeDecisionAnalysis). Η παρούσα διπλωματική εξετάζει την επίλυση προβλήματος με μοναδικό στόχο την βέλτιστη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Οπότε γίνεται χρήση της μεθόδου πολλαπλών εγγραφών (Χαλκιάς, 2015).

Στο δεύτερο στάδιο γίνεται ο καθορισμός των κριτηρίων και των εναλλακτικών επιλογών που τυχόν υπάρχουν. Τα κριτήρια που σχετίζονται με το πρόβλημα προς εξέταση χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη σχετίζεται με περιορισμούς (restrictions) οι οποίοι υπαγορεύουν τα σημεία του χώρου τα οποία αδυνατούν να δώσουν λύση στο πρόβλημα. Η δεύτερη σχετίζεται με τους παράγοντες (factors) οι οποίοι καθορίζουν τις βέλτιστες εναλλακτικές στα σημεία του χώρου που προσφέρουν λύση. Στη συνέχεια γίνεται εκτίμηση των κριτηρίων και ορίζονται οι προτιμήσεις των υπεύθυνων λήψης αποφάσεων (Χαλκιάς, 2015).

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της μεθόδου με την οποία διαμορφώνονται τα κριτήρια και οι συντελεστές βαρύτητας για το κάθε ένα. Αφού έχουν ολοκληρωθεί όλα αυτά τα στάδια εξάγονται τα τελικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση ευαισθησίας ώστε να ελεγχθεί αν το μοντέλο είναι ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές στη βαθμονόμηση των κριτηρίων και στα βάρη που έχουν επιλεχθεί για αυτά. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτός ο έλεγχος γίνονται διαδοχικά επανεκτελέσεις του μοντέλου με τροποποίηση στα αντίστοιχα κριτήρια και βάρη. Αν βρεθεί μεγάλη ευαισθησία στο μοντέλο, δηλαδή μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα εξαιτίας αυτών των μικροαλλαγών τότε τροποποιούνται αναλόγως τα στάδια που προηγήθηκαν. Τελικό βήμα είναι η τελική πρόταση η οποία διαμορφώνεται από την εκτίμηση των εναλλακτικών λύσεων (Χαλκιάς, 2015).

Στη συνέχεια φαίνεται η διαμόρφωση της παραπάνω δομής μέσα από έναν πίνακα που αποσκοπεί στην δημιουργία αποφάσεων ο οποίος συνδέει τις εναλλακτικές και με τα αντίστοιχα βάρη.

Πίνακας 3.7: Πίνακας απόφασης(E: Εναλλακτικές επιλογές, W: Συντελεστές βαρύτητας)

	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ 1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ 2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ 3.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ 3.2	• • •	ΤΕΛΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ
E 1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 1 - 1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 1 - 2	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 1 - 3.1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 1 - 3.2	• • •	ΤΑ - 1
E 2	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 2 - 1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 2 - 2	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 2 - 3.1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 2 - 3.2	• • •	ΤΑ - 2
E 3	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 3 - 1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 3 - 2	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 3 - 3.1	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ 3 - 3.2	• • •	ΤΑ - 3
• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• •• •	• • •
ΠΡΟΤΙΜΗΣΕΙΣ	W 1	W 2	W 3.1	W 3.2	• • •	

(Πηγή: Χαλκιάς, 2015)

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ο συνδυασμός των εναλλακτικών επιλογών (alternatives) με τις περιγραφές των κριτηρίων (attributes). Οι γραμμές του πίνακα αντιστοιχούν στις εναλλακτικές επιλογές και οι στήλες στις περιγραφές. Στα εσωτερικά κελιά αναγράφονται οι παραγόμενες τιμές οι οποίες προκύπτουν από την κάθε εναλλακτική σε συνάρτηση με το εκάστοτε βάρος. Στη τελευταία στήλη αναφέρονται τα τελικά αποτελέσματα για κάθε εναλλακτική ενώ στην τελευταία γραμμή τα συνολικά βάρη κάθε προτίμησης (Χαλκιάς, 2015).

3.2.2. Διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP)

Η μέθοδος της MCDA δεν καθορίζει από μόνη της τον τρόπο με τον οποίο θα συνδυαστούν τα κριτήρια. Υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει αυτό. Ένας από αυτούς είναι ο σταθμισμένος γραμμικός συνδυασμός (WLC) ο οποίος απαιτεί άθροιση των σταθμισμένων κριτηρίων. Μια από τις παραλλαγές αυτής της μεθόδου είναι η μέθοδος αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) η οποία προτάθηκε από τον T.L. Saaty το 1977. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην συνάρτηση που υπάρχει ανάμεσα στα διαθέσιμα δεδομένα και στην εμπειρία και γνώση των ανθρώπων για τη λήψη μιας απόφασης. Είναι αναλυτική μέθοδος στην οποία εμπεριέχεται η αιτιολόγηση για την λήψη των αποφάσεων με μαθηματικό και λογικό τρόπο μεταφράζοντας τις σκέψεις του αναλυτή σε αριθμητική αξιολόγηση. Ο λόγος που εμπεριέχεται ο όρος της ιεράρχησης είναι η βοήθεια που προσφέρει στην δόμηση του προβλήματος με ιεραρχικό τρόπο ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα και να διαιρεθεί σε επιμέρους υπο-προβλήματα. Πρόκειται για μια θεωρία η οποία χρησιμοποιεί παραγωγική και επαγωγική λογική ενώ είναι σε θέση να λαμβάνει πολλούς διαφορετικούς παράγοντες ταυτόχρονα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στάδια υλοποίησης της μεθόδου AHP (Χαλκιάς, 2015)

1. Απλοποίηση του υπό μελέτη προβλήματος με τρόπο ιεραρχικό και στόχο τη δημιουργία αντίστοιχου μοντέλου, το οποίο απαρτίζεται από τις βασικές συνιστώσες του και καθιστά επιτρεπτή την σύγκριση κατά ζεύγη.
2. Αξιολόγηση της κάθε συνιστώσας-κριτηρίου
3. Σύνθεση των αξιολογημένων κριτηρίων με στόχο την εξαγωγή τελικού αποτελέσματος
4. Εύρεση βέλτιστης επιλογής

Με βάση τα παραπάνω βήματα γίνεται αντιληπτό ότι αφού γίνει ιεράρχηση του προβλήματος και ο καθορισμός των κριτηρίων με τα οποία θα γίνει η ανάλυση ακολουθεί η κατάταξη των κριτηρίων στην οποία βασική συνιστώσα είναι η εμπειρία του μελετητή και στο τέλος συντίθενται όλα τα παραπάνω για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα ανάμεσα στα υπόλοιπα που έχουν προκύψει με βάση τους στόχους και τις προτεραιότητες που έχουν τεθεί εξαρχής.

Η μέθοδος AHP περιλαμβάνει δυο βασικά στάδια για την υλοποίηση της. Στο πρώτο στάδιο γίνεται η ιεράρχηση του προβλήματος και στο δεύτερο αξιολογούνται τα κριτήρια βάση των οποίων γίνεται η επίλυση του. Η αξιολόγηση των κριτηρίων γίνεται ανά ζεύγη για τα διάφορα κριτήρια τα οποία έχει θέσει ο μελετητής και είναι σύμφωνα με την προσωπική ή εμπειρική του άποψη. Η σύγκριση των κριτηρίων γίνεται με τρόπο ο οποίος καθορίζει την σημαντικότητα που έχουν οι παράγοντες μεταξύ τους. Προκειμένου να καθοριστεί ένας κοινός τρόπος σύγκρισης χρησιμοποιείται ο θεμελιώδης πίνακας σύγκρισης του Saaty. Σύμφωνα με τον Saaty τα βάρη τα οποία χρησιμοποιούνται έχουν προέλθει από μια σειρά πράξεων ενός τετραγώνου σε ένα κοινό πίνακα συγκρίσιμων ζευγαριών μεταξύ των κριτηρίων. Η εκάστοτε σύγκριση έχει στόχο να προσδιορίσει τη σημασία που έχει το κάθε κριτήριο κάθε φορά σε σχέση με αυτό που συγκρίνεται και σε συνάρτηση με τον στόχο που έχει καθοριστεί. Η μέθοδος αυτή έχει αναπτυχθεί εκτός του περιβάλλοντος GIS και πρώτη φορά συνδυάστηκε με αυτό το 1991.

Πίνακας 3.8: Κλίμακα σύγκρισης ζευγών (Saaty, 1977)

Intensity of Importance	Definition
1	Equal importance
2	Equal to moderate importance
3	Moderate importance
4	Moderate to strong importance
5	Strong importance
6	Strong to very strong importance
7	Very strong importance
8	Very to extremely strong importance
9	Extreme importance

(Πηγή: Samo Drobne & Anka Lisec, 2009)

Με βάση την παραπάνω τεχνική γίνεται ο καθορισμός των βαρών για τα αντίστοιχα κριτήρια. Για να υπάρξει μια απλοποίηση στη περίπτωση ύπαρξης πολλών βαρών γίνεται τυποποίηση ώστε τα βάρη να λαμβάνουν τιμές από 0 έως 1. Ένα διάνυσμα βαρών για κριτήρια έχει την παρακάτω μορφή:

$$W=(w_1,w_2,\dots,w_j,\dots,w_{n-1},w_n) \quad \text{και} \quad \sum w_j=1$$

Αφού τα βάρη βρεθούν και πινακοποιηθούν, ο ερευνητής αναλαμβάνει την βαθμολόγηση κάθε πιθανού ζεύγους. Τα κελιά του πίνακα που αντιστοιχούν στη σύγκριση δύο ίδιων βαρών παίρνουν την τιμή της μονάδας. Όσων αφορά τα υπόλοιπα κελιά του πίνακα θα πρέπει να συμπληρωθεί το άνω ή κάτω τρίγωνο του πίνακα και τα υπόλοιπα συμπληρώνονται με βάση αυτά.

Για να προκύψουν τα βάρη για το κάθε κριτήριο αρχικά αθροίζονται οι τιμές της κάθε στήλης στο πίνακα σύγκρισης κριτηρίων. Με βάση το άθροισμα που προέκυψε διαιρείται το κάθε στοιχείο του πίνακα με αυτό το άθροισμα. Από τα νέα στοιχεία του πίνακα που προκύπτουν υπολογίζεται ο μέσος όρος ανά σειρά. Οι τελικοί μέσοι όροι που υπολογίζονται αποτελούν τα βάρη για κάθε κριτήριο (SamoDrobne&AnkaLisec, 2009).

Στη συνέχεια ακολουθεί ο έλεγχος συνέπειας της σύγκρισης των κριτηρίων και των βαρών που έχουν προκύψει. Ο λόγος συνέπειας (CR) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 10% ($CR \leq 0.1$). Με τον τρόπο αυτό θεωρείται ότι η ιεράρχηση που έχει προηγηθεί καθώς και η σύγκριση ανάμεσα στα κριτήρια είναι λογική επομένως και τα βάρη που έχουν προκύψει είναι αποδεκτά (Χαλκιάς, 2015). Στην περίπτωση που δεν ισχύει το $CR \leq 0.1$ ο Saaty προτείνει την επανεκτίμηση των συντελεστών βαρύτητας. Ο λόγος συνέπειας προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.1)$$

RI: Ο τυχαίος δείκτης συνέπειας ενός τυχαία παραγόμενου πίνακα συγκρίσιμων ζευγών. Εξαρτάται από τον αριθμό των συγκρίσιμων στοιχείων.

CI: Ο δείκτης συνέπειας ο οποίος παρέχει ένα μέτρο απομάκρυνσης από τη συνέπεια. Υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3.2)$$

λ : Η ιδιοτιμή του πίνακα

n : Ο αριθμός των κριτηρίων

Στη συνέχεια είναι απαραίτητο να γίνει τυποποίηση των κριτηρίων με κατηγοριοποίηση του κάθε κριτηρίου σε μια ενιαία κλίμακα ταξινόμησης. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να δημιουργηθούν συγκρίσιμα μεγέθη για το κάθε κριτήριο (Χαλκιάς, 2015). Σύμφωνα με τον Voogd (1983) μια διαδικασία τυποποίησης γίνεται με τη χρήση των ελαχίστων και μεγίστων τιμών ως σημεία κλιμάκωσης. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι:

$$xi = \frac{FVi - FVmin}{FVmax - FVmin} \times SR \quad (3.3)$$

$$xi = 1 - \frac{FVi - FVmin}{FVmax - FVmin} \times SR \quad (3.4)$$

FV_i : Η τιμή του κριτηρίου i

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

SR: Το τυποποιημένο φάσμα με τιμές από 0 έως 1

Από τις παραπάνω εξισώσεις η πρώτη χρησιμοποιείται σε κριτήρια που εμφανίζουν την βέλτιστη τιμή τους στο μέγιστό τους ενώ η δεύτερη σε κριτήρια που παρουσιάζουν την βέλτιστη τιμή τους στο ελάχιστο.

Τέλος με βάση τα παραπάνω δημιουργείται ο τελικός χάρτης που περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την επίτευξη του στόχου. Με βάση τα κριτήρια που έχουν δημιουργηθεί και τα αντίστοιχα βάρη προκύπτει μια τιμή για το κάθε κελί με βάση τον παρακάτω τύπο

$$FS = \sum WiXi \quad (3.5)$$

FS: Η τελική τιμή του κελιού

w_i : Το βάρος του κριτηρίου i

x_i : Η τυποποιημένη τιμή του κριτηρίου i

Σε πολλές περιπτώσεις είναι πιθανό να υπάρχουν περιορισμοί σε μια περιοχή μελέτης. Η τελική τιμή του κελιού σε αυτή την περίπτωση διαμορφώνεται λαμβάνοντας υπόψη και τους περιορισμούς που υπάρχουν. Η εξίσωση υπολογισμού φαίνεται παρακάτω:

$$FS = \sum WiXi \times \prod Ci \quad (3.6)$$

c_i : ο περιορισμός i

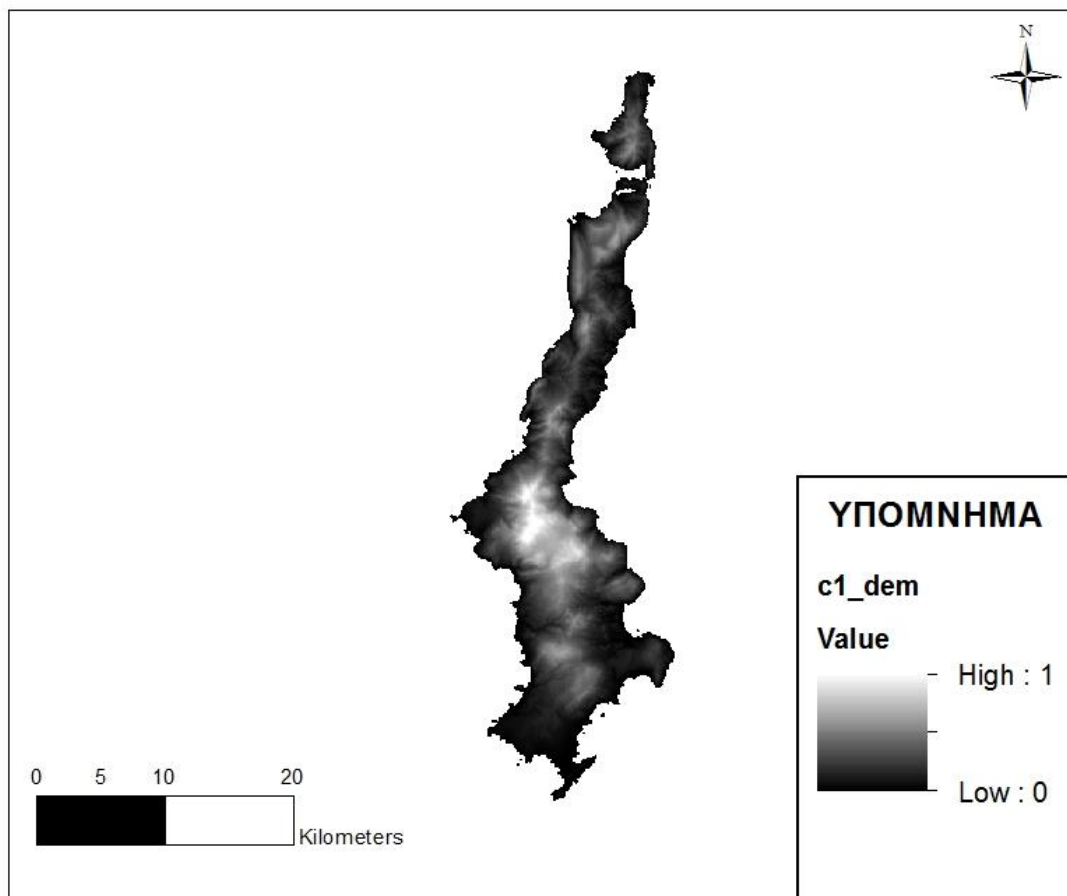
Στη παραπάνω εξίσωση τα κελιά στα οποία υπάρχουν περιορισμοί λαμβάνουν την τιμή 0 με αποτέλεσμα να μηδενίζουν την τελική τιμή του κελιού και να το καθιστούν πρακτικά ακατάλληλο για την επίτευξη του στόχου. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι το κάθε κελί λαμβάνει μια τιμή ως άθροισμα του γινομένου της κανονικοποιημένης τιμής του κάθε κριτηρίου με το αντίστοιχο βάρος, πολλαπλασιασμένο με την τιμή του περιορισμού. Η τελική βαθμολογία που προκύπτει καταδεικνύει κατά πόσο το κάθε κελί είναι κατάλληλο σύμφωνα με την εναλλακτική που έχει οριστεί. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις εναλλακτικές και επιλέγεται η βέλτιστη.

3.3. Κριτήρια χωροθέτησης ανεμογεννητριών

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία προκύπτουν οι περιοχές οι οποίες καθιστούν επιτρεπτή την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών στην περιοχή. Στη συνέχεια για κάθε επιτρεπτή περιοχή θα πρέπει να βρεθεί κατά πόσο είναι ικανοποιητική προκειμένου να υπάρχει η βέλτιστη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Για να συμβεί αυτό ορίστηκε μια σειρά κριτηρίων τα οποία προσδιορίζουν τις καλύτερες περιοχές με στόχο την εξεύρεση της βέλτιστης λύσης. Για την παρούσα διπλωματική επιλέχθηκαν συνολικά 8 κριτήρια βάση των οποίων βρέθηκαν οι ιδανικές περιοχές χωροθέτησης.

3.3.1.Κριτήριο υψομέτρων C1

Για το κριτήριο αυτό χρησιμοποιήθηκε το DEM της περιοχής το οποίο προήλθε από το ΕΜΠ. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη μελέτη χρειάστηκε να γίνει τυποποίηση του δηλαδή να λάβει τιμές από 0 έως 1. Η διαδικασία αυτή έγινε με την χρήση του Rastercalculator και της εξίσωσης (3.3). Το τελικό αποτέλεσμα του DEM με εύρος τιμών 0 έως 1 φαίνεται στον παρακάτω χάρτη.

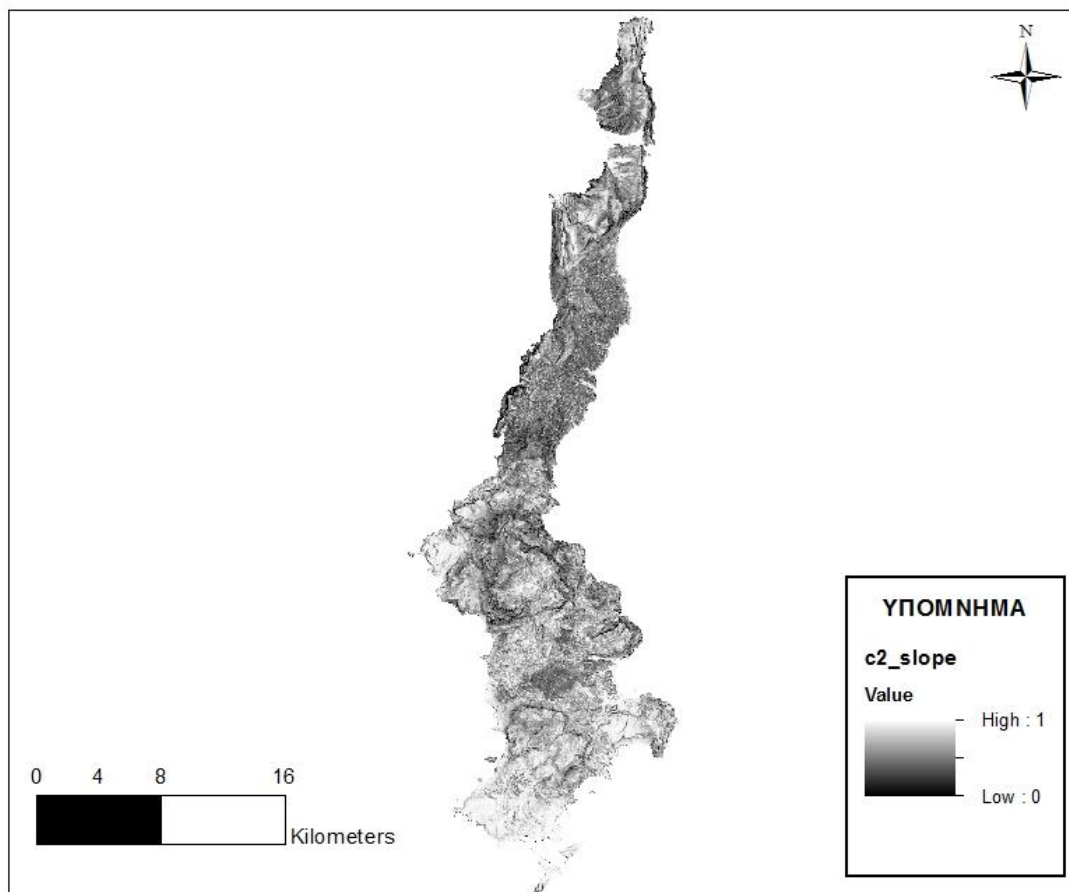


Σχήμα 3.7: Κριτήριο υψομέτρων

Η τυποποίηση που επιλέχθηκε για τα υψόμετρα έγινε με αντιστοίχιση της μέγιστης τιμής του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ως βέλτιστης. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένας χάρτης στον οποίο τα χαμηλά υψόμετρα έχουν τιμές κοντά στο 0 ενώ τα υψηλά έχουν τιμή κοντά στη μονάδα. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους έχει ανάλυση 5x5m και η ανάλυση αυτή επιλέχθηκε για το σύνολο των δεδομένων της εργασίας.

3.3.2. Κριτήριο τοπογραφικών κλίσεων C2

Η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών ως τεχνικό έργο ωφελείται από τις μικρότερες δυνατές κλίσεις. Προκειμένου να ελεγχθούν οι κλίσεις στην περιοχή δημιουργήθηκε ένα αρχείο, παράγωγο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, στο οποίο απεικονίζονται σε μοίρες οι κλίσεις στην περιοχή. Στη συνέχεια με τη χρήση της εξίσωσης (3.4) έγινε τυποποίηση των κλίσεων προκειμένου να λάβουν τιμές από 0 έως 1.



Σχήμα3.8: Κριτήριο κλίσεων

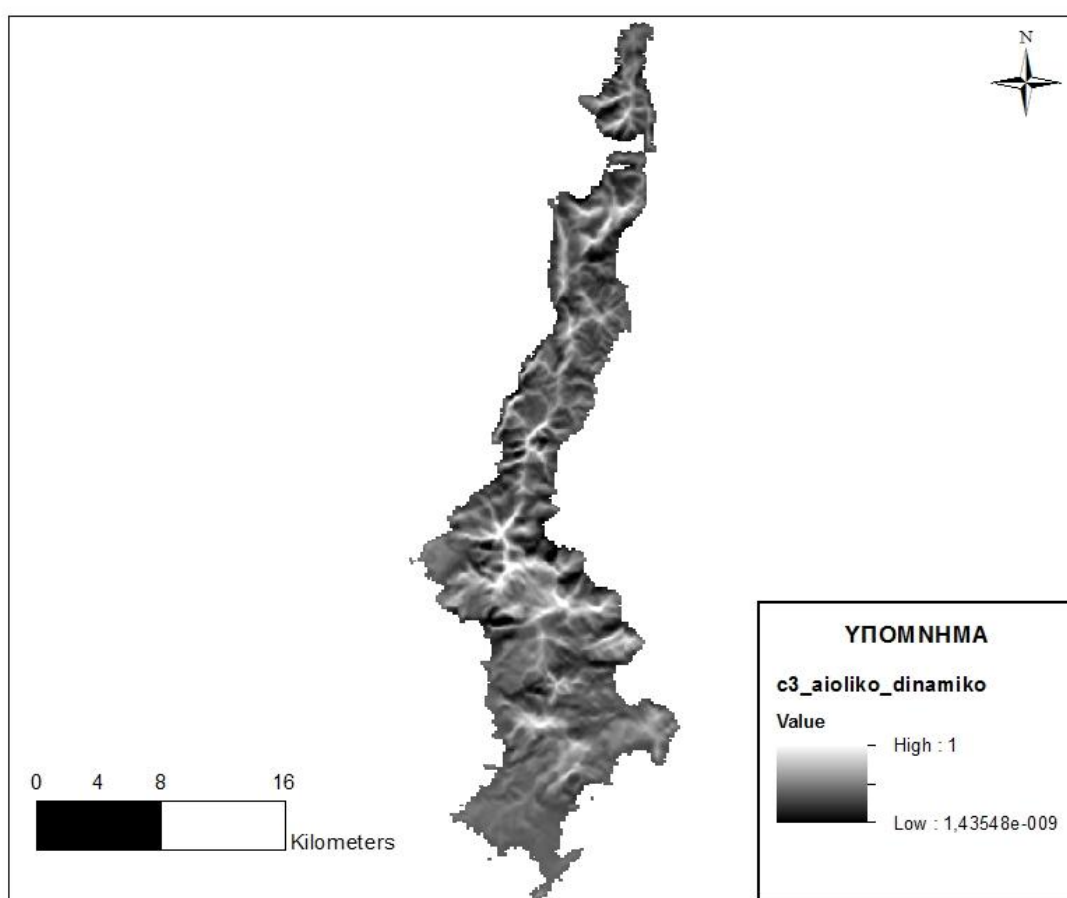
Για την τυποποίηση αυτή επιλέχθηκε αντιστοιχία της ελάχιστης τιμής ως βέλτιστης. Επομένως περιοχές με μεγάλη κλίση κρίνονται ως οι λιγότερο κατάλληλες για τη χωροθέτηση ανεμογεννητριών

3.3.3. Κριτήριο αιολικού δυναμικού C3

Το αιολικό δυναμικό είναι το βασικότερο κριτήριο στην επιλογή βέλτιστης χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου. Οι μετρήσεις του αιολικού δυναμικού ήταν σημειακές και καταναμημένες σε κάναβο 150x150m. Οι τιμές του χάρτη

υπολογίστηκαν από το ΚΑΠΕ με βάση ένα πρόγραμμα επί τόπου μετρήσεων και ταυτόχρονη εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων. Ο χάρτης εκφράζει το αιολικό δυναμικό με βάση την μέση ετήσια ταχύτητα του αέρα σε μέτρα το δευτερόλεπτο και υπολογισμένα σε ύψος 40 μέτρων.

Τα δεδομένα του χάρτη μετατράπηκαν με την χρήση του PointtoRaster σε έναν κανονικοποιημένα δεδομένα με ανάλυση 150x150m και με κάθε ρικελ να περιέχει την αντίστοιχη τιμή του αιολικού δυναμικού. Στη συνέχεια για την μετατροπή της ανάλυσης σε ρικελ μεγέθους 5x5m επιλέχθηκε η εντολή Resample στην οποία τέθηκαν ως μεγέθη ρικελ τόσο κατά τον άξονα των Χ όσο και κατά τον άξονα των Υ τα 5 μέτρα. Η μέθοδος της χωρικής ολοκλήρωσης που επιλέχθηκε είναι η μέθοδος Bilinear. Στη συνέχεια έγινε τυποποίηση του χάρτη με χρήση της εξίσωσης (3.3).



Σχήμα 3.9: Κριτήριο αιολικού δυναμικού

Οι μεγαλύτερες τιμές αιολικού δυναμικού αντιστοιχούν στην βέλτιστη τιμή. Οι περιοχές με τιμές που βρέθηκαν κοντά στη μονάδα κρίνονται ως οι πλέον κατάλληλες.

3.3.4. Κριτήριο αξιών γης C4

Το κριτήριο αξιών γης ορίζεται στην παρούσα εργασία από τον ερευνητή προκειμένου να ερευνηθεί κατά πόσο είναι ικανές να προσφέρουν λύση ορισμένες περιοχές στις οποίες η νομοθεσία δεν απαγορεύει την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Για το κριτήριο αυτό χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης χρήσεων γης στον οποίο δόθηκαν τιμές για τις διάφορες κατηγορίες που υπάρχουν στην περιοχή. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές που αποδόθηκαν σε κάθε χρήση γης.

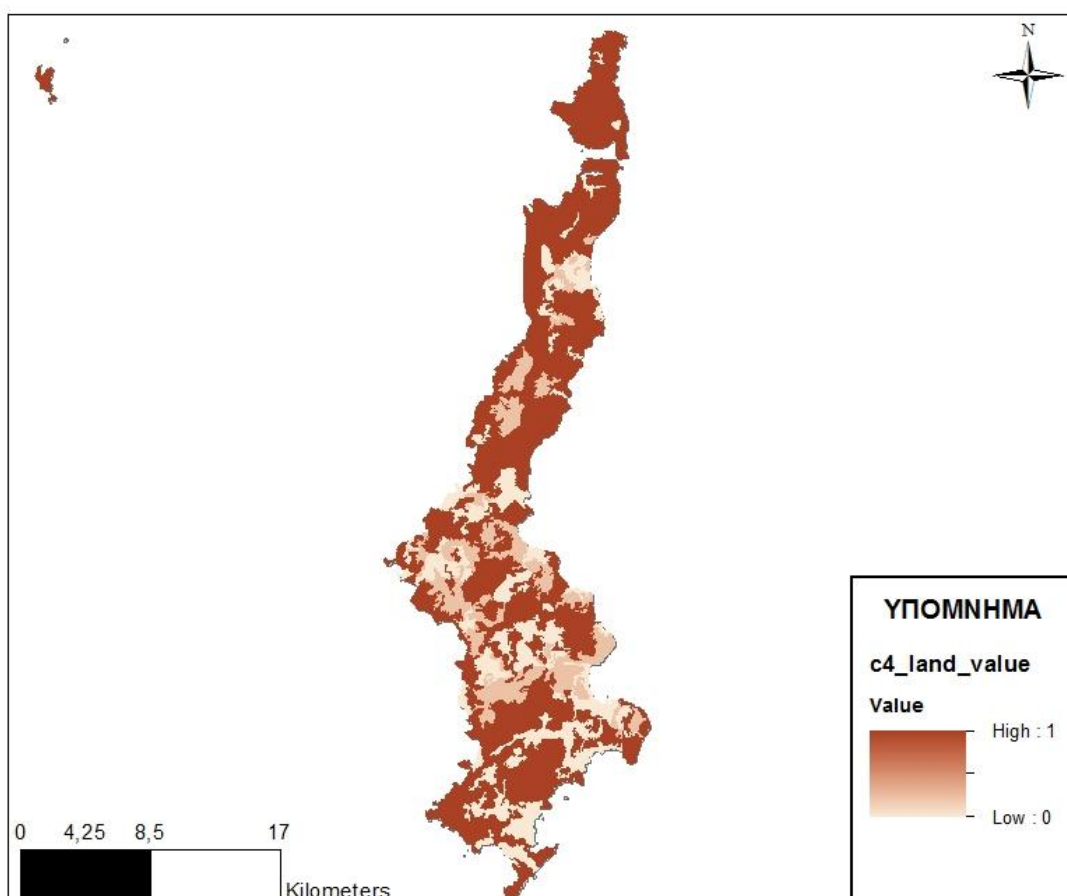
Πίνακας 3.9: Συγκριτικές αξίες γης με βάση τη χρήση τους στην κλίμακα [0,1]

Κωδικός		Αξία γης
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0
124	Αεροδρόμια	0
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0
211	Μη αρδεύσιμη - αρόσιμη γη	0,4
223	Ελαιώνες	0,4
231	Λιβάδια	0,4
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0,4
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0,4
312	Δάσος κωνοφόρων	0
321	Φυσικοί βοσκότοποι	1
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	1
324	Μεταβατικές δασώσεις-θαμνώδεις εκτάσεις	0,5
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	0,9
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0,9

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι αξίες γης σε σχέση με την βέλτιστη λύση χωροθέτησης των ανεμογεννητριών στο νησί. Οι τεχνητές επιφάνειες όπως η αστική δόμηση, τα αεροδρόμια, οι χώροι άθλησης και αναψυχής και χώροι εξορύξεως ορυκτών καθίστανται οι πλέον ακατάλληλοι και για το λόγο αυτό λαμβάνουν την τιμή 0. Την τιμή 0 λαμβάνουν επίσης και τα δάση κωνοφόρων διότι στις περιοχές αποκλεισμού έχουν ληφθεί υπόψη μόνο οι περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης. Ωστόσο στην περιοχή υπάρχουν δάση τα οποία στόχος είναι να προστατευτούν και για το λόγο αυτό λαμβάνουν την τιμή 0.

Οι γεωργικές περιοχές λαμβάνουν την τιμή 0,4 ως μια τιμή που δεν καθιστά τις περιοχές ακατάλληλες αλλά δεν ενθαρρύνει την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου σε αυτές. Στην περιοχή υπάρχουν ελαιώνες, λιβάδια, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και εκτάσεις με φυσική βλάστηση. Με σκοπό την μη διατάραξη της αγροτικής δραστηριότητας επιλέχθηκε η παραπάνω τιμή.

Οι μεταβατικές δασώδεις εκτάσεις λαμβάνουν την τιμή 0,5 και πάλι με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος. Δεν αποτελούν όμως εξολοκλήρου δασώδεις εκτάσεις οπότε δεν αποκλείονται ως πιθανές περιοχές χωροθέτησης. Οι περιοχές των απογυμνωμένων βράχων και των εκτάσεων με αραιή βλάστηση λαμβάνουν την τιμή 0,9 ως περιοχές σχεδόν τέλειες για την χωροθέτηση ανεμογεννητριών κυρίως λόγω των πλεονεκτημάτων θεμελίωσης που προσφέρουν οι βραχώδεις περιοχές και του μικρού περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν οι περιοχές με αραιή βλάστηση. Τέλος την τιμή 1 λαμβάνουν οι περιοχές με σκληροφυλλική βλάστηση και οι βοσκότοποι, φυσικές περιοχές με μηδαμινό περιβαλλοντικό ενδιαφέρον.

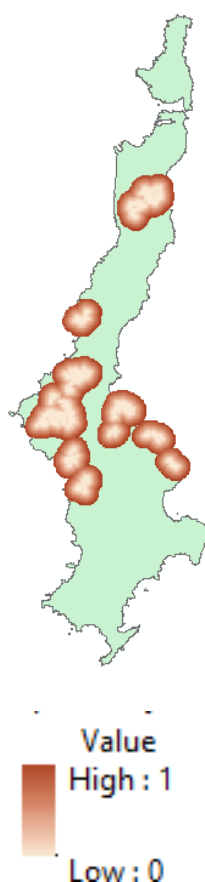


Σχήμα 3.10: Κριτήριο αξιών γης

Ο χάρτης χρήσεων γης μετατράπηκε με την εντολή Polygonorasterσε έναν κανονικοποιημένο χάρτη. Οι τιμές που του αποδόθηκαν είναι οι παραπάνω αξίες γης.

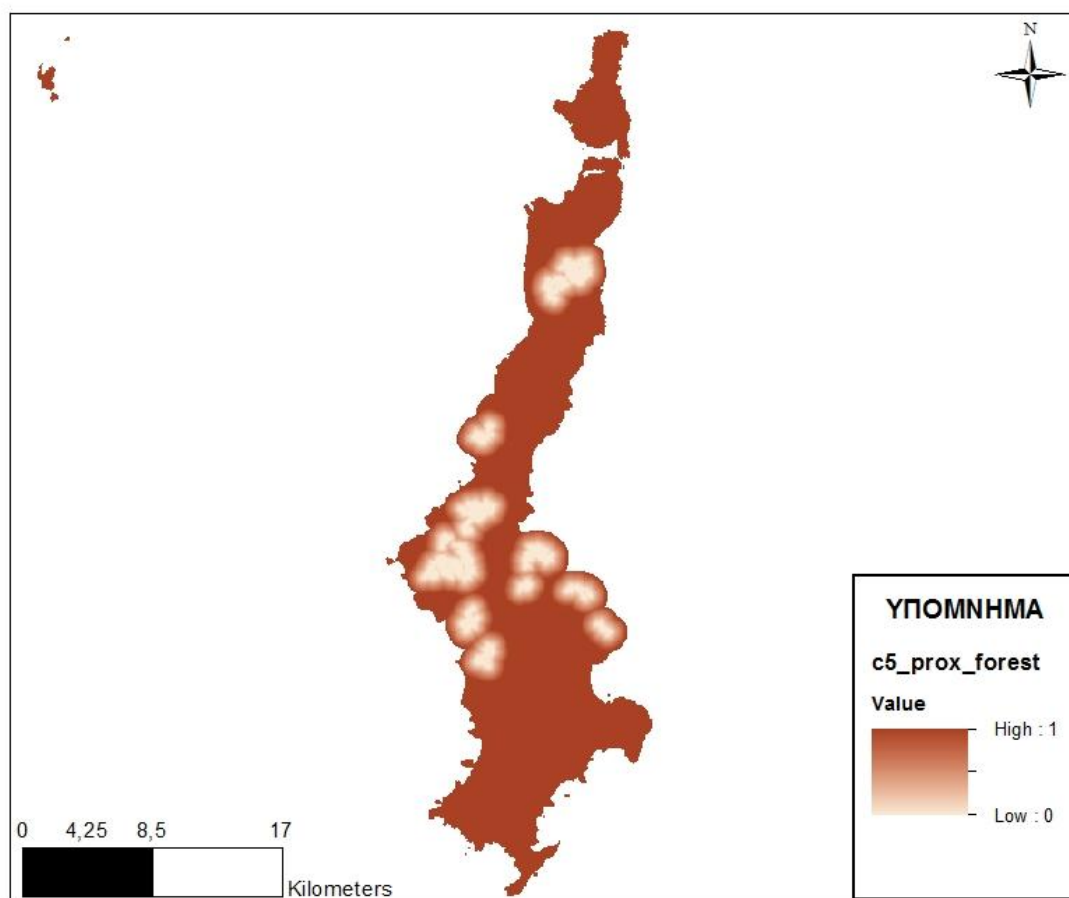
3.3.5. Κριτήριο εγγύτητας δασών C5

Με βάση την νομοθεσία οι περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης έχουν αποκλειστεί από την εύρεση κατάλληλης περιοχής για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Ωστόσο στην περιοχή υπάρχουν δάση κωνοφόρων τα οποία πρέπει να προστατευτούν ακόμα και αν δεν ανήκουν στις παραπάνω περιοχές. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε ένα shapefile για τα δάση της περιοχής το οποίο προέκυψε από τον χάρτη χρήσεων γης. Στο αρχείο που περιέχει πλέον τα δάση χρησιμοποιήθηκε η εντολή Euclidiandistanceγια μια απόσταση 1000m. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε μια περιοχή γύρω από τα δάση με απόσταση 1000m στην οποία έχει αποδοθεί μια τιμή η οποία αυξάνεται με την απομάκρυνση από το δάσος.



Σχήμα 3.11: Ευκλείδεια απόσταση δασών

Στη συνέχεια το αποτέλεσμα που προέκυψε τυποποιήθηκε και ενώθηκε με τον υπόλοιπο χάρτη, ο οποίος είχε την τιμή 1, με την εντολή `Mosaictonewraster` για να προκύψει το τελικό κριτήριο εγγύτητας για τα δάση.

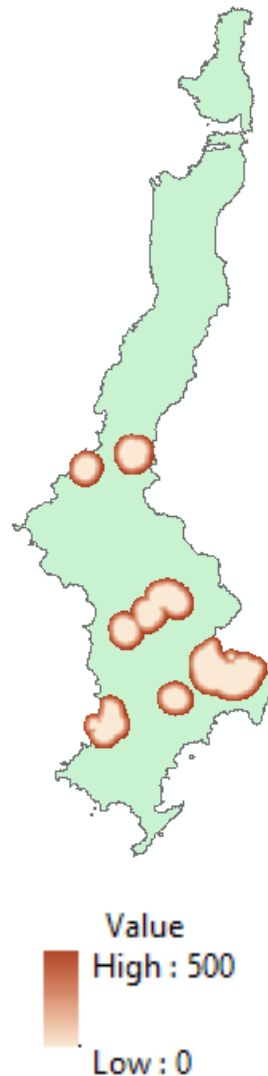


Σχήμα 3.12: Κριτήριο εγγύτητας δασών

3.3.6. Κριτήριο εγγύτητας οικισμών C6

Οι οικισμοί λαμβάνονται υπόψη και από τη νομοθεσία κατά την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Όπως έχει φανεί και σε προηγούμενο εδάφιο, στους οικισμούς υπάρχει ένα `bufferzone500` μέτρων στο οποίο δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση ανεμογεννητριών. Η ιδιαιτερότητα των οικισμών έγκειται στο γεγονός ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των ανεμογεννητριών από έναν οικισμό τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος μετακίνησης για τους εργαζομένους σε αυτές. Επομένως εάν εντός του οικισμού και στο ελάχιστο όριο που προτείνει η νομοθεσία απαγορεύεται η χωροθέτηση αιολικού πάρκου, βέλτιστες λύσεις προκύπτουν όσο το δυνατό πλησιέστερα στα όρια της περιοχής. Για να οριστούν αυτές οι περιοχές, στο αρχείο των οικισμών με τα αντίστοιχα `bufferzones`, με την εντολή

Euclidiandistanceγια απόσταση 1000 μέτρων από τον οικισμό ορίστηκαν τιμές από 0 οι οποίες αυξάνονταν με την απόσταση.

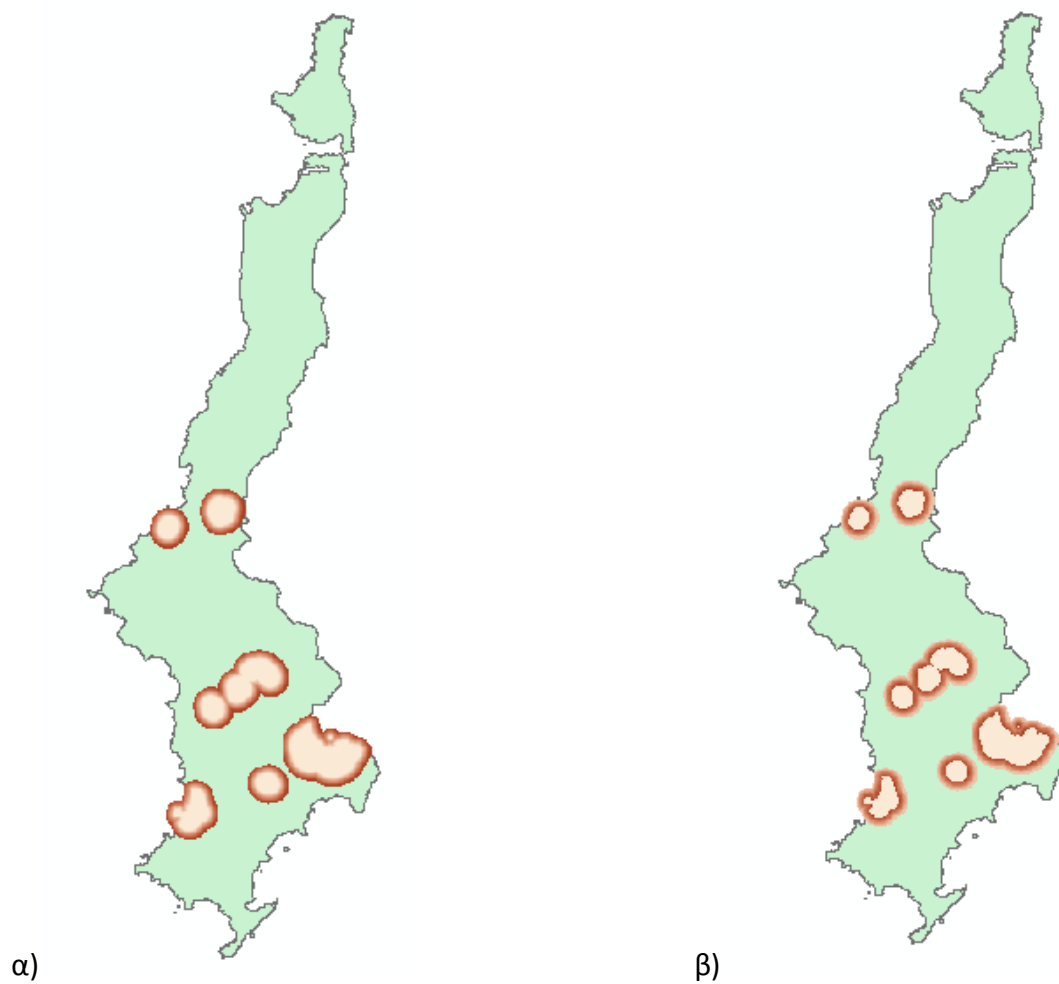


Σχήμα 3.13: Ευκλείδεια απόσταση οικισμών

Στη συνέχεια το αποτέλεσμα τυποποιήθηκε αλλά οι τιμές έπρεπε να αναστραφούν. Με τη χρήση της εντολής Reclassifyορίστηκαν 10 κλάσεις από την τιμή 0 έως την τιμή 1. Στις κλάσεις αυτές ορίστηκε για την τιμή 0 η ίδια τιμή και για κάθε αντίστοιχη τιμή που απομακρυνόταν από την περιοχή όλο και μικρότερη τιμή μέχρι που έφτασε στην τιμή 0,2.

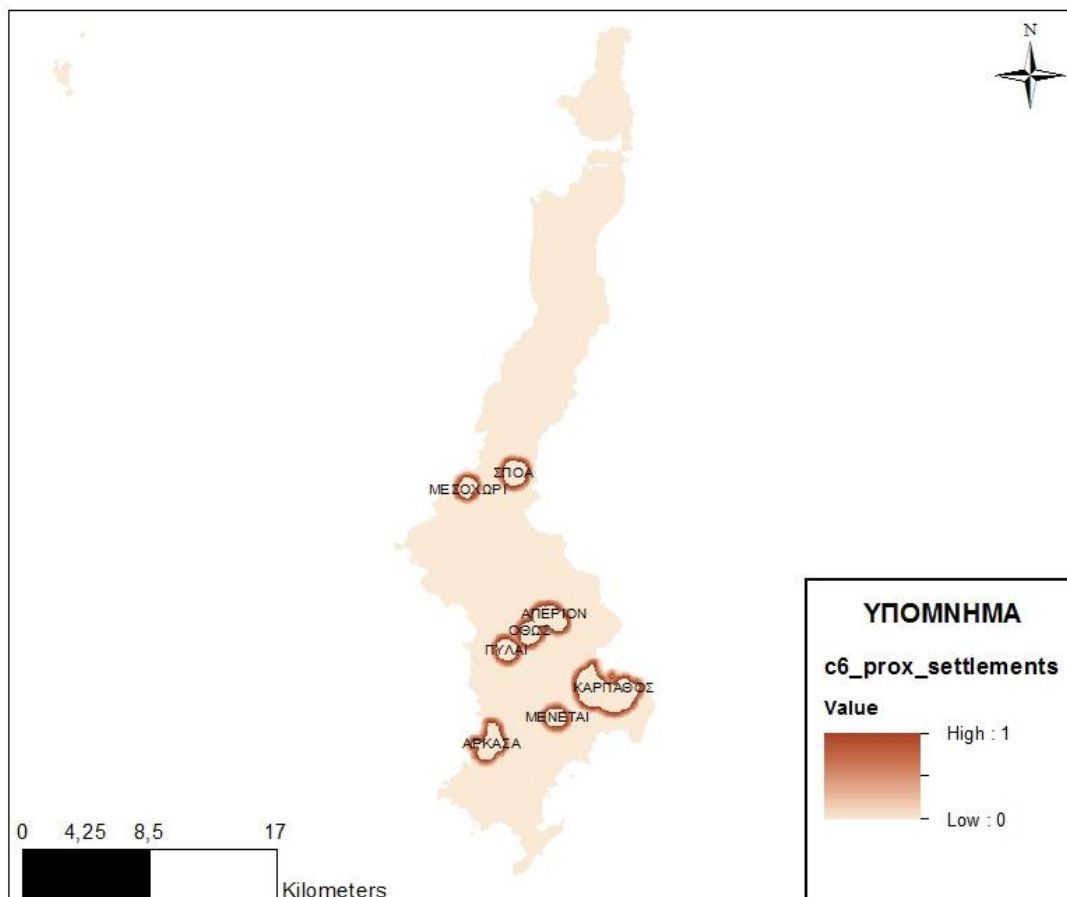
Πίνακας 3.10: Τιμές που ορίστηκαν στις κλάσεις στην εντολή reclassify

0	0
0-0,1	1
0,1-0,2	0,9
0,2-0,3	0,8
0,3-0,4	0,7
0,4-0,5	0,6
0,5-0,6	0,5
0,6-0,7	0,4
0,7-0,8	0,3
0,8-0,9	0,2



Σχήμα 3.14: α) Εικόνα οικισμών πριν το reclassify β) Εικόνα οικισμών μετά το reclassify

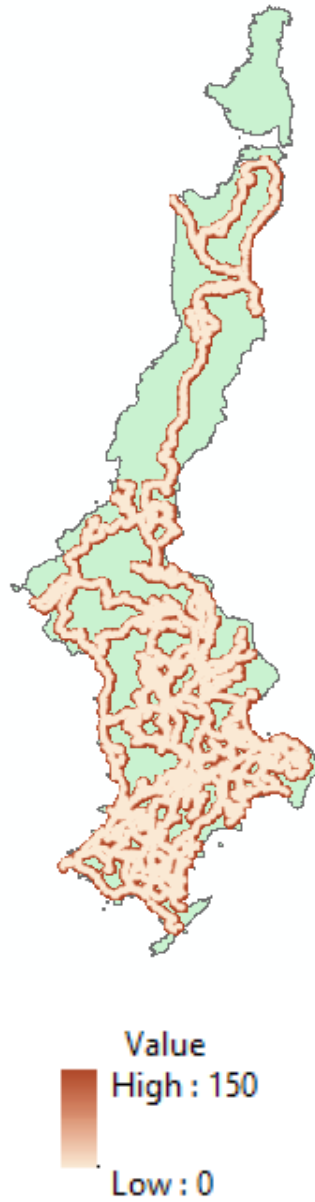
Μετά από αυτή τη διαδικασία το αρχείο που προέκυψε ενώθηκε με τον υπόλοιπο χάρτη στον οποίο είχε αποδοθεί η ελάχιστη τιμή του κριτηρίου δηλαδή 0,2. Ο τελικός χάρτης που προέκυψε αποτέλεσε το κριτήριο για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.



Σχήμα 3.15: Κριτήριο εγγύτητας οικισμών

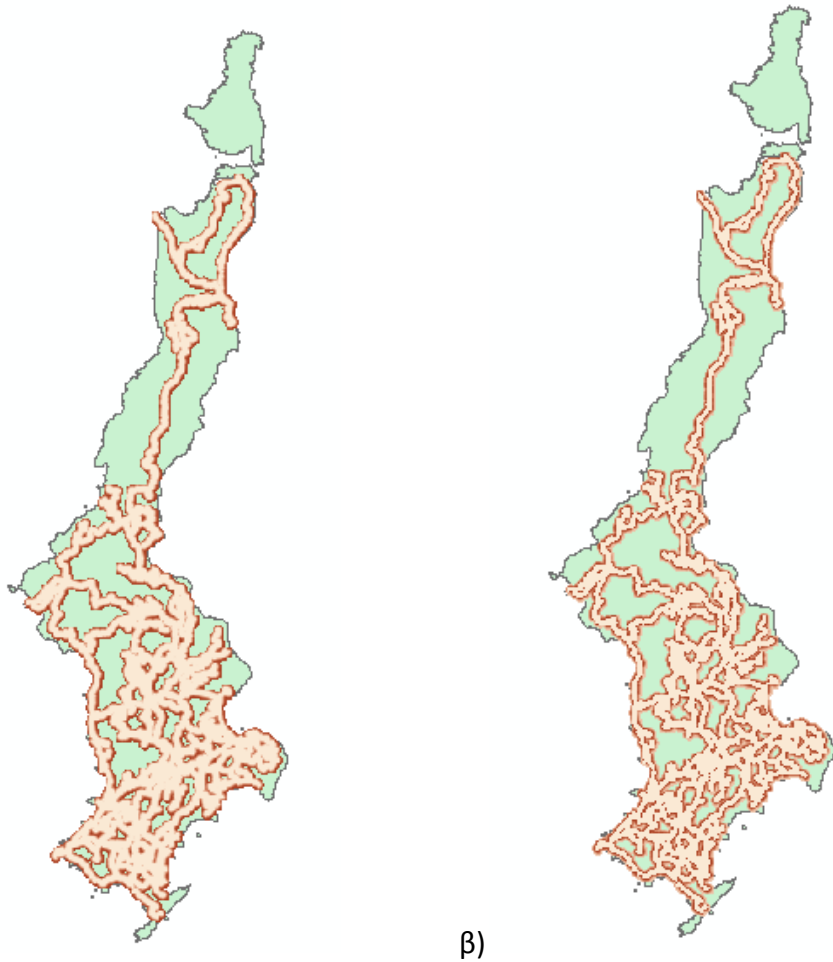
3.3.7. Κριτήριο εγγύτητας δρόμων C7

Όσον αφορά τους δρόμους ισχύει ότι και για τους οικισμούς. Για το λόγο αυτό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία εφαρμογής της ευκλείδειας απόστασης για 300 μέτρα.



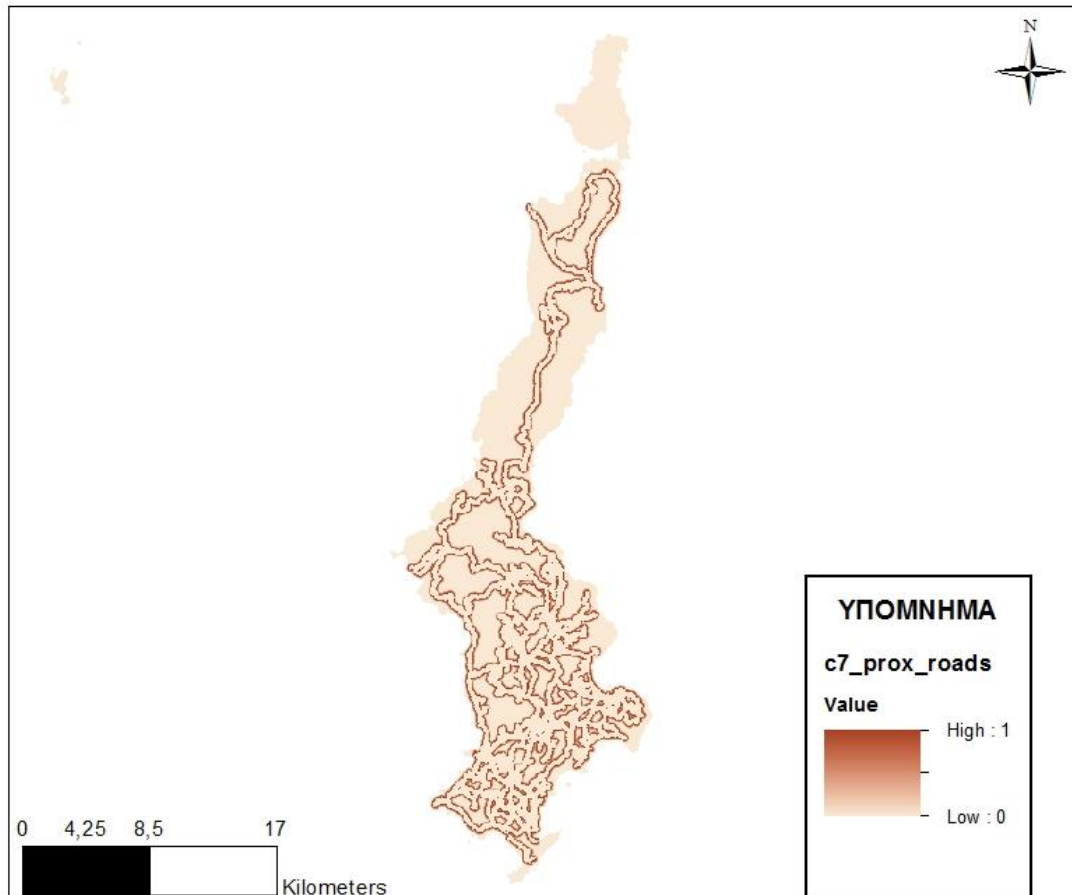
Σχήμα 3.16: Ευκλείδεια απόσταση στους δρόμους

Για το παραπάνω αποτέλεσμα έγινε τυποποίηση και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την εντολή reclassify και τις ίδιες κλάσεις όπως και έγινε και στο κριτήριο εγγύτητας οικισμών.



Σχήμα 3.17: α) Εικόνα δρόμων πριν το reclassify β) Εικόνα δρόμων μετά το reclassify

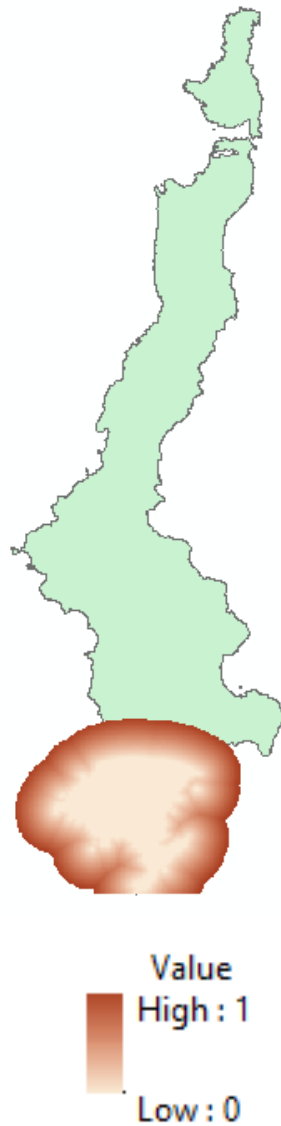
Ο χάρτης έπειτα ενώθηκε με την χάρτη της υπόλοιπης περιοχής, ο οποίος περιείχε ως τιμή την ελάχιστη τιμή του χάρτη εγγύτητας των δρόμων. Το αποτέλεσμα ορίστηκε ως ο χάρτης κριτηρίου εγγύτητας δρόμων.



Σχήμα 3.18: Κριτήριο εγγύτητας δρόμων

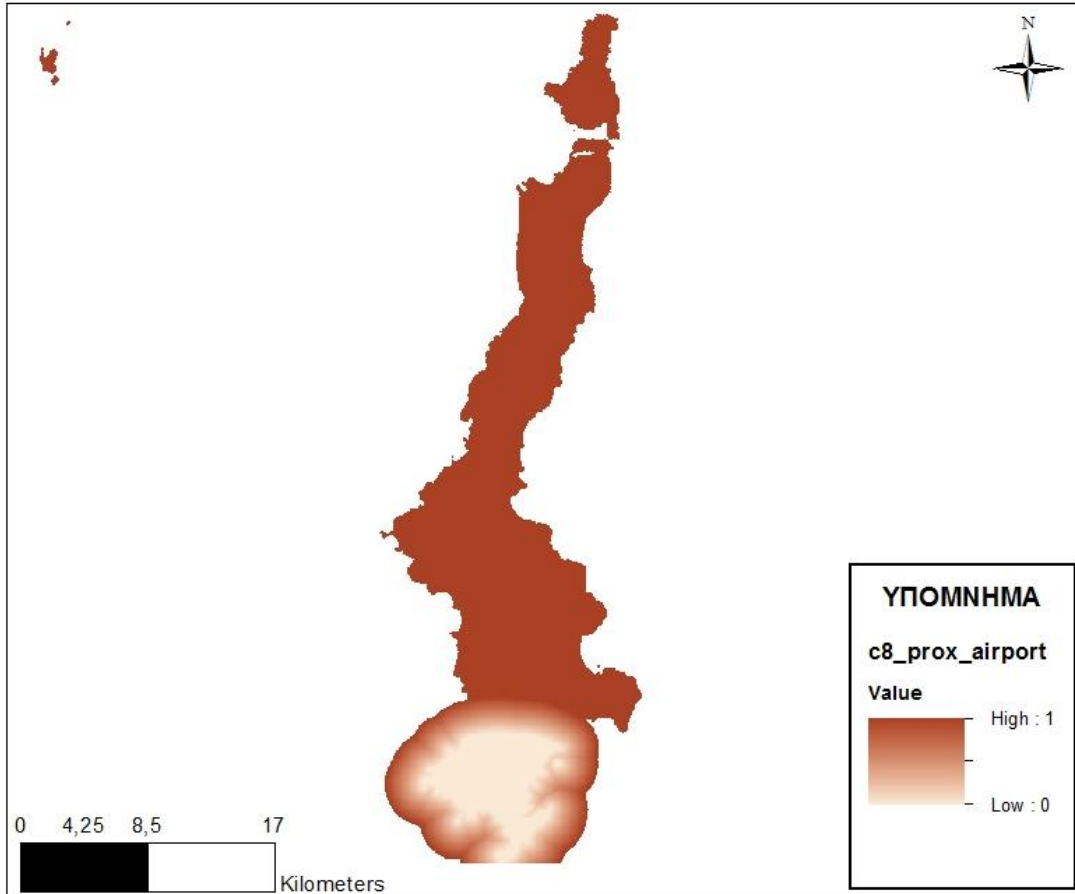
3.3.8. Κριτήριο εγγύτητας αεροδρομίου C8

Το αεροδρόμιο ορίζεται από την νομοθεσία ως απαγορευμένη περιοχή για την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων. Επίσης ορίζει μια απόσταση η οποία προκύπτει από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα. Στην παρούσα διπλωματική ορίστηκε ένα bufferzone 5000 μέτρων ως ζώνη πλήρους απαγόρευσης χωροθέτησης ανεμογεννητριών και επιπλέον μια ζώνη 2500 μέτρων η οποία υπαγορεύει την εγκατάσταση του αεροδρομίου στην μεγαλύτερη δυνατή απόσταση με στόχο την ομαλή λειτουργία τόσο του αιολικού πάρκου όσο και του αεροδρομίου. Συγκεκριμένα με την εντολή Euclidian distance στο αρχείο που περιείχε το αεροδρόμιο με το αντίστοιχο bufferzone δημιουργήθηκε μια περιοχή ακτίνας 7500 μέτρων από το αεροδρόμιο στην οποία στα πρώτα 5000 υπάρχει η τιμή 0 και στην συνέχεια η τιμή αυξάνεται.



Σχήμα 3.19: Ευκλείδεια απόσταση αεροδρομίου

Το παραγόμενο αποτέλεσμα τυποποιήθηκε προκειμένου να λάβει το εύρος τιμών από 0 έως 1 και στην συνέχεια ενοποιήθηκε με τον υπόλοιπο χάρτη ο οποίος είχε την τιμή 1. Το τελικό παραγόμενο αποτέλεσε το χάρτη κριτηρίου εγγύτητας αεροδρομίου.



Σχήμα 3.20: Κριτήριο εγγύτητας αεροδρομίου

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης. Αρχικά επιλέγονται οι ανεμογεννήτριες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στο αιολικό πάρκο ώστε να ερευνηθεί αν στη βέλτιστη περιοχή που έχει βρεθεί μπορούν να τοποθετηθούν, να καλύψουν τις ανάγκες της περιοχής και να λειτουργήσουν ομαλά. Στη συνέχεια δημιουργούνται ορισμένα σενάρια στα οποία προσδιορίζονται οι βέλτιστες περιοχές χωροθέτησης με διαφορετικά κριτήρια κάθε φορά.

4.1. Επιλογή Ανεμογεννητριών

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες του νομού Δωδεκανήσων. Με μια απλή αναλογία και με δεδομένο τον πληθυσμό στη περιοχή και τον συνολικό πληθυσμό σε όλο τον νομό, είναι εύκολο να βρεθεί ότι οι ετήσιες ανάγκες του νησιού είναι περίπου 35330 MWh. Από τις ανάγκες αυτές είναι εφικτό να βρεθεί η συνολική ενέργεια που απαιτείται για να καλυφθούν. Υπολογίζεται ότι οι ανάγκες καλύπτονται με 4000kW. Επομένως οι ανάγκες του νησιού είναι δυνατό να καλυφθούν με 5 ανεμογεννήτριες των 900kW. Με δεδομένο και το ιδιαίτερο ανάγλυφο του νησιού το οποίο καθιστά εξαιρετικά ακριβή την εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών άνω των 1000 kW γίνεται επιλογή ανεμογεννητριών μεσαίας κατηγορίας. Συγκεκριμένα επιλέγεται το μοντέλο E44-900 της ENERCON το οποίο έχει ονομαστική ισχύ 900kW. Στη συνέχεια παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας.

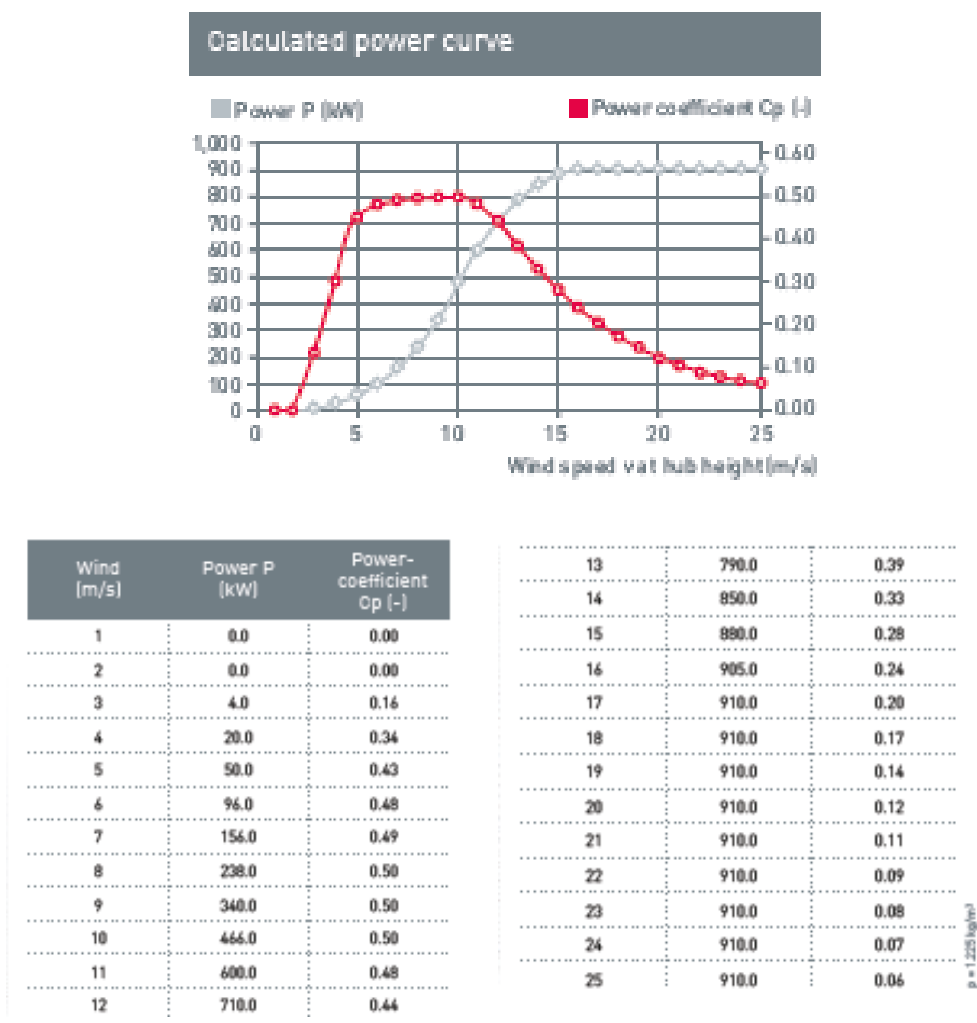
Technical specifications E-44		Drive train with generator	
Rated power:	900 kW	Main bearing:	Twin tapered roller bearing
Rotor diameter:	44 m	Generator:	ENERCON direct-drive annular generator
Hub height in meter:	45 / 55	Grid feed:	ENERCON inverter
Wind zone (DIBt):	-	Brake systems:	- 3 independent pitch control systems with emergency power supply - Rotor brake - Rotor lock
Wind class (IEC):	IEC/EN IA	Yaw system:	Active via yaw gear, load-dependent damping
WEC concept:	Gearless, variable speed, single blade adjustment	Cut-out wind speed:	28 - 34 m/s (with ENERCON storm control*)
Rotor		Remote monitoring:	ENERCON SCADA
Type:	Upwind rotor with active pitch control		
Rotational direction:	Clockwise		
No. of blades:	3		
Swept area:	1,521 m ²		
Blade material:	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection		
Rotational speed:	Variable, 16 - 34.5 rpm		
Pitch control:	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply		

* For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.

Σχήμα 4.1: Τεχνικές προδιαγραφές ανεμογεννήτριας E44-900
(Πηγή: www.enercon.de)

Οι παραπάνω προδιαγραφές καθορίζουν και την έκταση που καταλαμβάνει μια ανεμογεννήτρια στο έδαφος. Με δεδομένη αυτή την έκταση και το μήκος της φτερωτής, είναι δυνατό να προσδιοριστεί η συνολική έκταση που θα καταλαμβάνει το αιολικό πάρκο, λαμβάνοντας υπόψη και της ελάχιστες αποστάσεις που θα πρέπει να τηρούνται.

Σημαντική για την λειτουργία της ανεμογεννήτριας είναι επίσης η ταχύτητα του ανέμου. Ο συντελεστής απόδοσης της ανεμογεννήτριας παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην παραγόμενη ενέργεια. Με βάση το διάγραμμα που ακολουθεί έγινε η επιλογή της καλύτερης θέσης για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών ώστε η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή να δίνει τον κατά το δυνατό μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης.



Σχήμα 4.2: Καμπύλη ισχύος για την ανεμογεννήτρια E44-900
(Πηγή:www.enercon.de)

4.2. Σενάριο 1: Τεχνικό Σενάριο

Το πρώτο σενάριο που ερευνήθηκε είναι ένα τεχνικό σενάριο για το οποίο έγινε χρήση 3 κριτηρίων. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι το αιολικό δυναμικό, οι κλίσεις της περιοχής και το υψόμετρο της περιοχής. Κάθε ένα από αυτά τα κριτήρια συνεισφέρει στην εξαγωγή αποτελέσματος με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές ενός αιολικού πάρκου, δηλαδή την εξασφάλιση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών και της ευκολίας εγκατάστασης. Η σύγκριση των κριτηρίων με βάση την μέθοδο ΑΗΡ φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1: Σύγκριση κριτηρίων για το Τεχνικό σενάριο

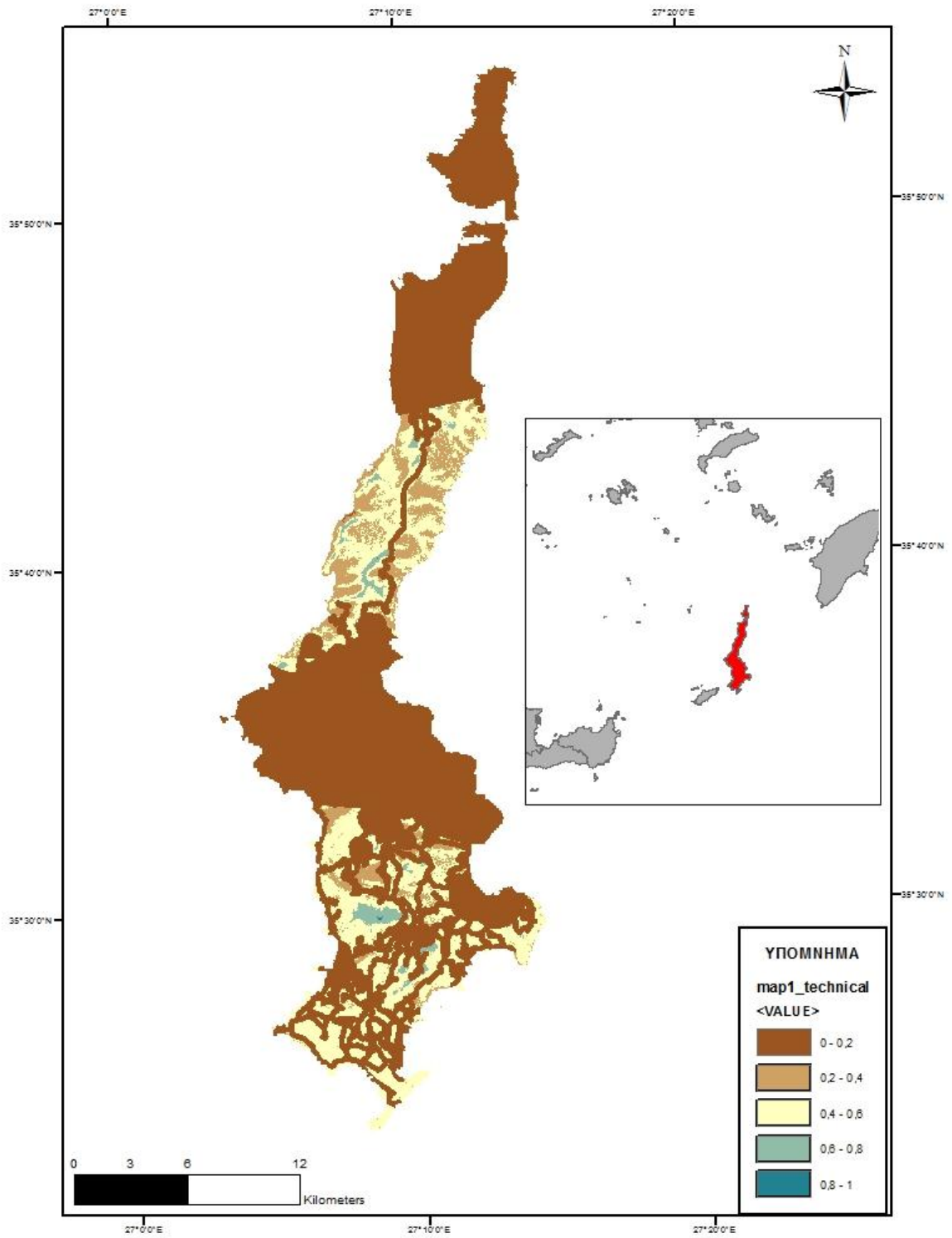
	C1	C2	C3
C1	1	0,333333333	0,142857
C2	3	1	0,333333
C3	7	3	1

Από τον πίνακα αυτό προέκυψαν τα τελικά βάρη τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για κάθε κριτήριο και αυτά φαίνονται στην συνέχεια.

Πίνακας 4.2: Βάρη κριτηρίων για το Τεχνικό σενάριο

	w _i
C1	0,088202
C2	0,243101
C3	0,668697
λ _{max}	3,00703
CI	0,003515
CR	0,006061

Με χρήση των βαρών που υπολογίστηκαν και λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που έχουν ήδη οριστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο προέκυψε ο τελικός χάρτης ο οποίος φαίνεται παρακάτω.



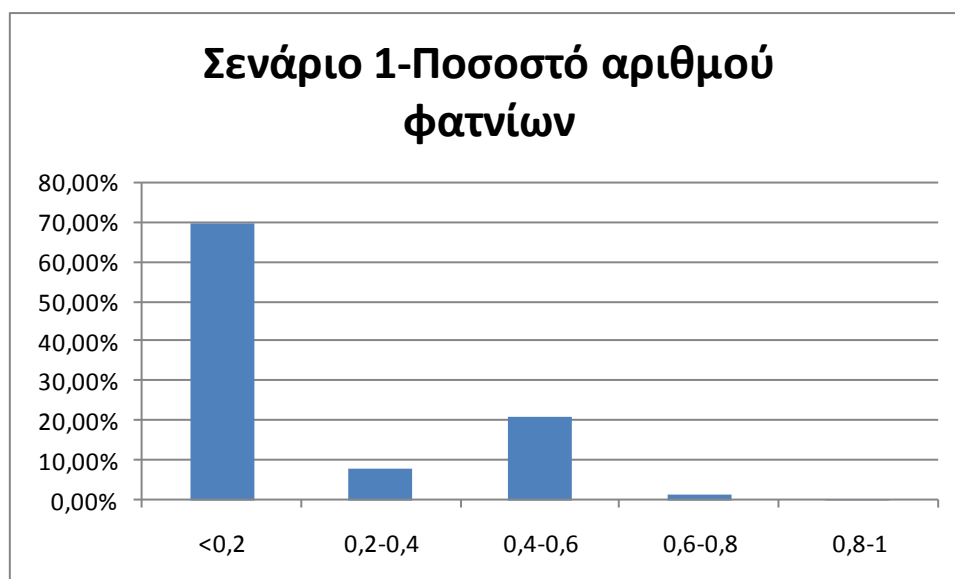
Σχήμα 4.3: Χάρτης τεχνικού σεναρίου

Από τον παραπάνω χάρτη προκύπτουν οι περιοχές οι οποίες καθιστούν ευνοϊκότερη την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου σε αυτές. Η ταξινόμηση έγινε σε 5 κλάσεις τα όρια των οποίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Επίσης φαίνονται ο αριθμός των φατνίων που ανήκουν σε κάθε κλάση.

Πίνακας 4.3: Όρια βαθμολογίας και αριθμός φατνίων για το Τεχνικό σενάριο

<0,2	8796575
0,2-0,4	1023877
0,4-0,6	2653185
0,6-0,8	216276
0,8-1	1752

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι στην χαμηλότερη κατηγορία, βαθμολογίας 0-0,2 ανήκουν 879657 φατνία που αντιστοιχούν στο 69,31% της περιοχής. Στην επόμενη κατηγορία, βαθμολογίας 0,2-0,4, ανήκουν 102387 φατνία δηλαδή το 8,07% της περιοχής. Στη μεσαία κατηγορία, βαθμολογίας 0,4-0,6 ανήκουν 265318 φατνία που σημαίνει το 20,90% της περιοχής. Η επόμενη κατηγορία περιέχει φατνία με βαθμολογία από 0,6 έως 0,8. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 216276 φατνία δηλαδή το 1,70% της περιοχής. Τέλος, σημαντικότερη κατηγορία είναι η τελευταία στην οποία ανήκουν φατνία με βαθμολογία μεγαλύτερη του 0,8. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 1752 φατνία δηλαδή μόλις το 0,01% της περιοχής.



Σχήμα 4.4: Στατιστικά στοιχεία προτεινόμενων θέσεων για το Τεχνικό σενάριο

4.3. Σενάριο 2: Τεχνικό-Οικονομικό Σενάριο

Το δεύτερο σενάριο που δημιουργήθηκε, έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του έργου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια του προηγούμενου σεναρίου με την προσθήκη ακόμα 3 κριτηρίων. Τα κριτήρια που προστέθηκαν είναι η εγγύτητα από οδούς, η εγγύτητα από οικισμούς και η εγγύτητα από το αεροδρόμιο της περιοχής. Με βάση αυτά τα κριτήρια δημιουργήθηκε ο πίνακας σύγκρισης της μεθόδου ΑΗΡο οποίος φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 4.4: Σύγκριση κριτηρίων για το Τεχνικό-Οικονομικό σενάριο

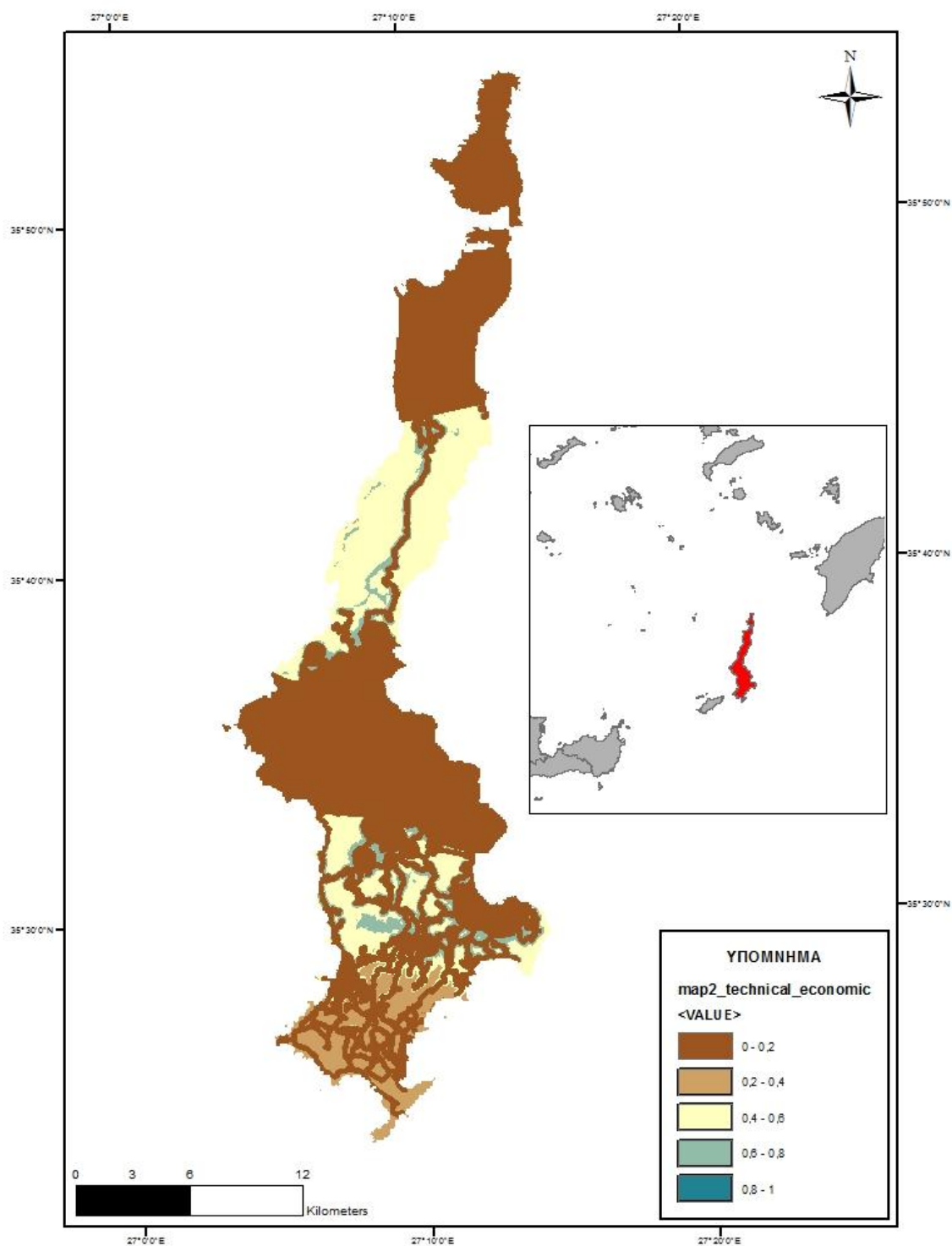
	C1	C2	C3	C6	C7	C8
C1	1	0,5	0,142857	0,166667	0,166667	0,125
C2	2	1	0,2	0,5	0,5	0,333333
C3	7	5	1	3	3	1
C6	6	2	0,333333	1	1	0,5
C7	6	2	0,333333	1	1	0,5
C8	8	3	1	2	2	1

Με βάση τον παραπάνω πίνακα δημιουργήθηκαν τα βάρη για το κάθε κριτήριο όπως αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 4.5: Βάρη κριτηρίων για το Τεχνικό-Οικονομικό σενάριο

	wi
C1	0,03291
C2	0,072336
C3	0,334625
C6	0,144059
C7	0,144059
C8	0,272011
λ_{max}	6,098353
CI	0,019671
CR	0,015863

Με βάση τα βάρη των κριτηρίων και τους περιορισμούς που έχουν θεσπιστεί δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης για αυτό το τεχνικό-οικονομικό σενάριο. Το αποτέλεσμα φαίνεται στον παρακάτω χάρτη.



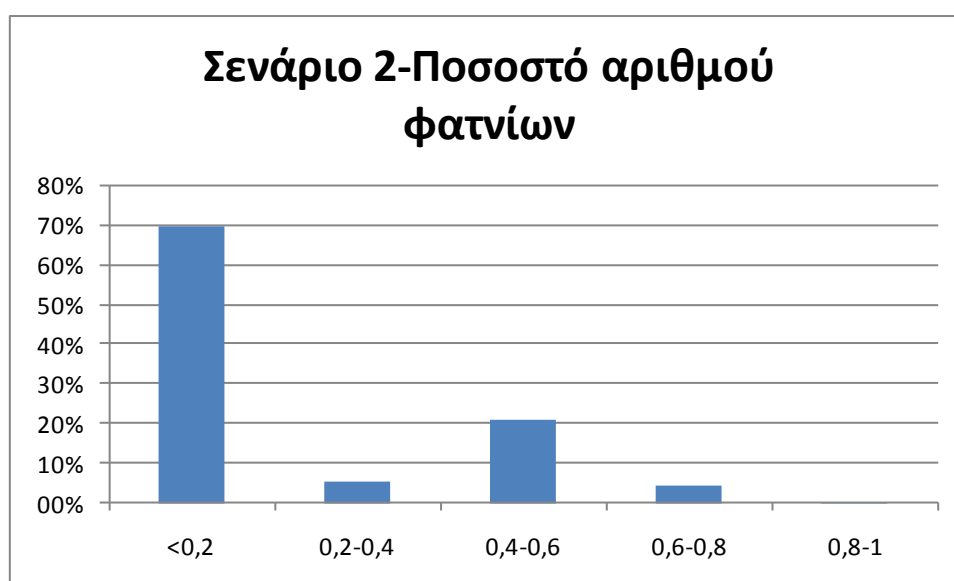
Σχήμα 4.5: Χάρτης Τεχνικού-Οικονομικού Σεναρίου

Στον παραπάνω χάρτη φαίνονται οι περιοχές στις οποίες είναι εφικτό να γίνει η χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου. Ο χάρτης διαιρείται σε 5 κατηγορίες ανάλογα με την βαθμολογία που περιέχει το κάθε φατνίο του. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα όρια βαθμολογίας που εφαρμόστηκαν στο χάρτη και τα φατνία που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.

Πίνακας 4.6: Όρια βαθμολογίας και αριθμός φατνίων για το Τεχνικό-Οικονομικό σενάριο

<0,2	8794655
0,2-0,4	680055
0,4-0,6	2667849
0,6-0,8	548174
0,8-1	437

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα στην κατηγορία με τη χαμηλότερη βαθμολογία , δηλαδή στην κατηγορία με βαθμολογία μικρότερη του 0,2 ανήκουν τα περισσότερα φατνία της περιοχής. Συγκεκριμένα ανήκουν 879465 φατνία τα οποία αντιστοιχούν στο 69,3% της περιοχής. Στην κατηγορία που ακολουθεί, με βαθμολογία 0,2-0,4, ανήκουν 680055 φατνία δηλαδή το 5,36%. Στην μεσαία κατηγορία με όρια βαθμολογίας 0,4 έως 0,6 ανήκουν 266784 δηλαδή το 21,02% της περιοχής. Στη επόμενη κατηγορία, βαθμολογίας 0,6-0,8, ανήκουν 548174 φατνία που αντιστοιχούν στο 4,32%. Τέλος, στην τελευταία κατηγορία η οποία αντιστοιχεί στην υψηλότερη βαθμολογία με πάνω από 0,8 ανήκουν 437 φατνία δηλαδή μόλις το 0,003% της περιοχής.



Σχήμα 4.6: Στατιστικά στοιχεία προτεινόμενων θέσεων για το Τεχνικό-Οικονομικό σενάριο

4.4. Σενάριο 3: Τεχνικό-Οικονομικό-Περιβαλλοντικό-Σενάριο

Το τρίτο και τελευταίο σενάριο το οποίο εξετάστηκε είναι ένα συνδυαστικό σενάριο για όλα τα παραπάνω. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν είναι τα ίδια με τα προηγούμενα σενάρια με την προσθήκη του κριτηρίου εγγύτητας δασών και του κριτηρίου των αξιών γης. Το σενάριο αυτό συνδυάζει τα τεχνικά κριτήρια που έχουν θεσπιστεί μαζί με τα οικονομικά, λαμβάνοντας υπόψη και περιβαλλοντικά κριτήρια για την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου. Ο πίνακας της ΑΗΡδιαμορφώθηκε εκ νέου προκειμένου να προσδιοριστούν τα νέα βάρη.

Πίνακας 4.7: Σύγκριση κριτηρίων για το Τεχνικό-Οικονομικό-Περιβαλλοντικό σενάριο

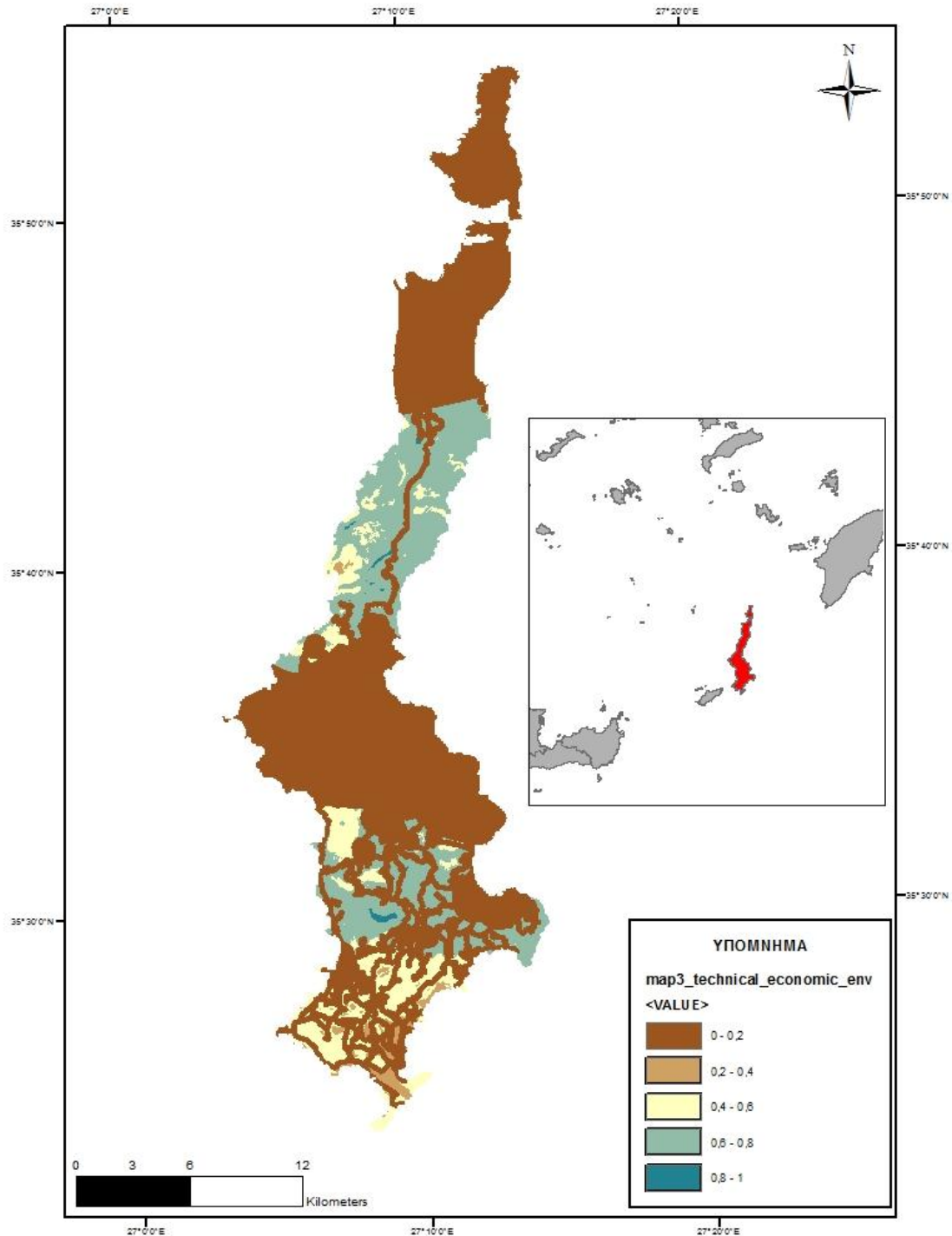
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1,00	0,50	0,11	0,20	0,17	0,33	0,33	0,13
C2	2,00	1,00	0,11	0,33	0,14	0,50	0,50	0,13
C3	8,00	8,00	1,00	5,00	6,00	7,00	7,00	3,00
C4	5,00	3,00	0,20	1,00	0,50	3,00	3,00	0,25
C5	6,00	7,00	0,17	2,00	1,00	5,00	3,00	0,20
C6	3,00	2,00	0,14	0,33	0,20	1,00	1,00	0,14
C7	3,00	2,00	0,14	0,33	0,33	1,00	1,00	0,14
C8	8,00	8,00	0,33	4,00	5,00	7,00	7,00	1,00

Με βάση τον παραπάνω πίνακα σύμφωνα με την μέθοδο της ΑΗΡ προέκυψαν τα ακόλουθα βάρη για κάθε κριτήριο.

Πίνακας 4.8: Βάρη κριτηρίων για το Τεχνικό-Οικονομικό-Περιβαλλοντικό σενάριο

	w _i
C1	0,021839
C2	0,030086
C3	0,368467
C4	0,092534
C5	0,13296
C6	0,045561
C7	0,04681
C8	0,261743
λ _{max}	8,56361
CI	0,080516
CR	0,057103

Με δεδομένα τα βάρη για κάθε κριτήριο και τους περιορισμούς προσδιορίστηκε ο τελικός χάρτης στον οποίο φαίνονται οι βέλτιστες περιοχές χωροθέτησης.



Σχήμα 4.7: Χάρτης Τεχνικού-Οικονομικού-Περιβαλλοντικού σεναρίου

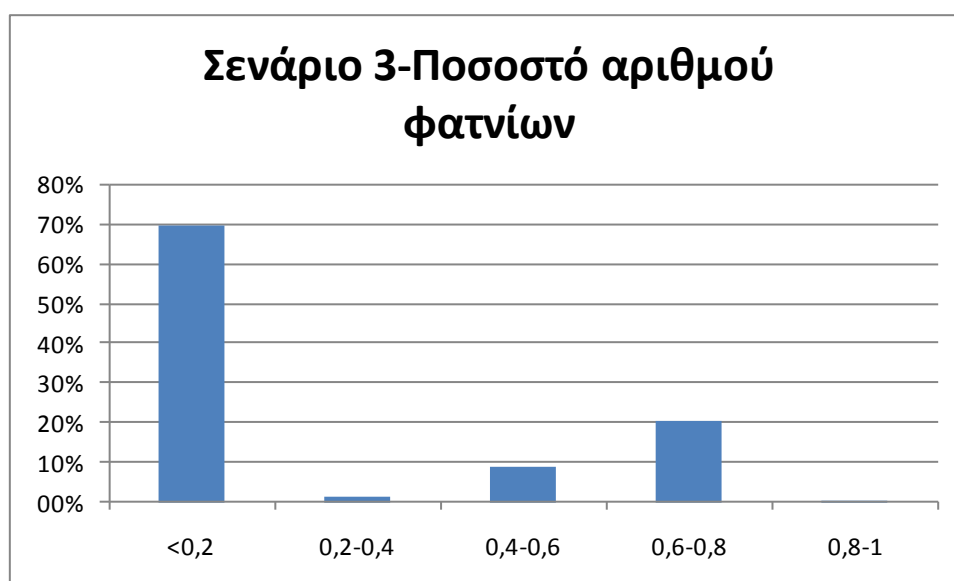
Τα αποτελέσματα των θέσεων που προέκυψαν ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα

αποτελέσματα στην κλάση 0,8-1. Στην κλάση αυτή φαίνονται ο αριθμός φατνίων διαστάσεων 5x5m που έχει βαθμολογία μεγαλύτερη του 80%.

Πίνακας 4.9: Όρια βαθμολογίας και αριθμός φατνίων για το Τεχνικό-Οικονομικό-Περιβαλλοντικό σενάριο

<0,2	8737199
0,2-0,4	164147
0,4-0,6	1118002
0,6-0,8	2543383
0,8-1	37395

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι 37395 φατνία, δηλαδή περίπου το 0,3% της περιοχής, έχει εξαιρετικά καλή βαθμολογία. Το 20,2% της περιοχής ανήκει στην επόμενη κλάση με βαθμολογία 0,6-0,8. Το 8,9% της περιοχής ανήκει στην τρίτη κλάση με βαθμολογία 0,4-0,6. Το 1,3% ανήκει στην επόμενη κλάση με βαθμολογία 0,4-0,2. Τέλος το 69,3% ανήκει στην τελευταία κλάση με βαθμολογία μικρότερη του 0,2.



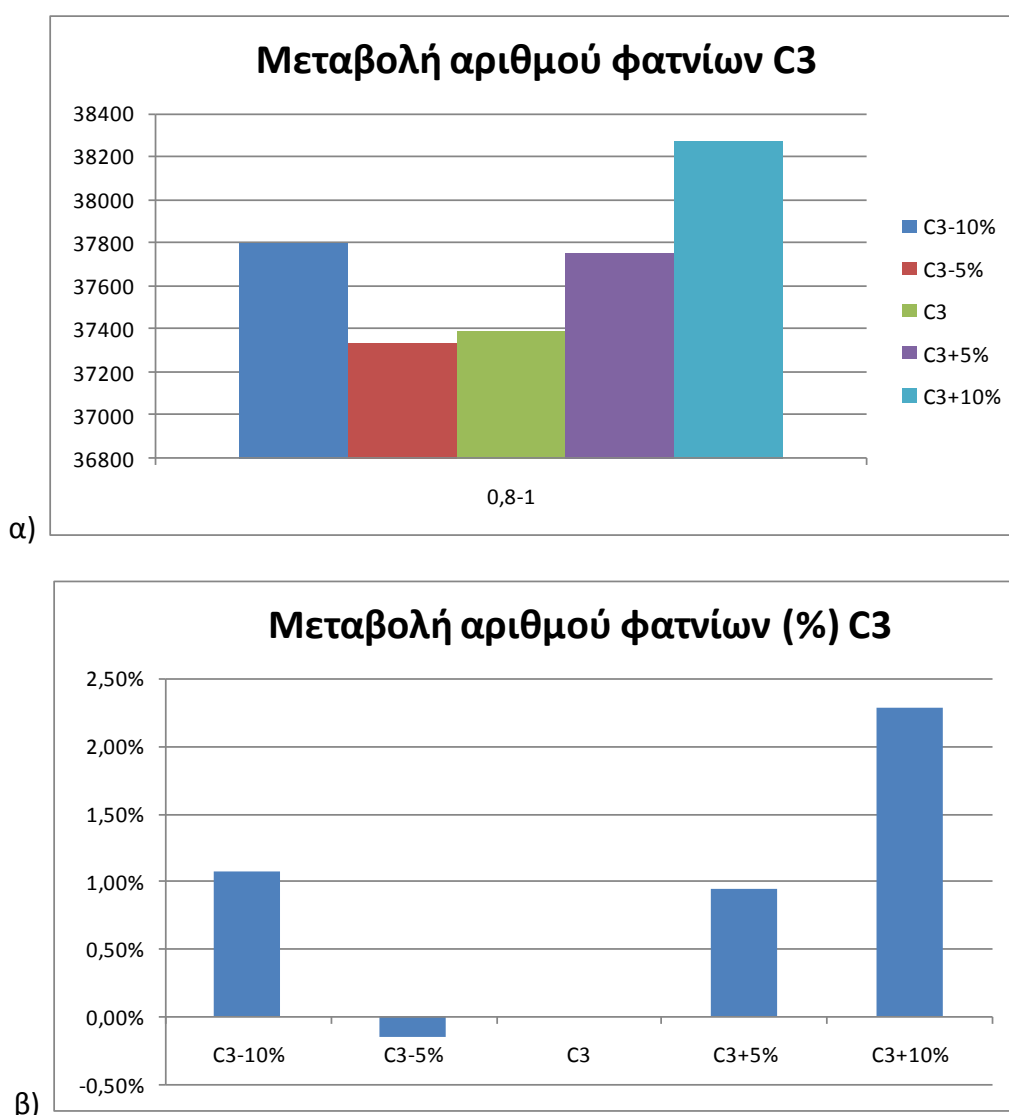
Σχήμα 4.8: Στατιστικά στοιχεία προτεινόμενων θέσεων για το Τεχνικό-Οικονομικό-Περιβαλλοντικό σενάριο

4.5. Ανάλυση Ευαισθησίας

Προκειμένου να ελεγχθεί αν το μοντέλο που δημιουργήθηκε είναι ευπαθές σε μεταβολές έγινε ανάλυση ευαισθησίας στα βάρη που αποδόθηκαν σε κάθε κριτήριο. Η ανάλυση αυτή έγινε για τα τέσσερα από τα οκτώ κριτήρια, στο τεχνικό-οικονομικό-περιβαλλοντικό σενάριο, ως το πιο αυστηρό από τα τρία. Τα κριτήρια

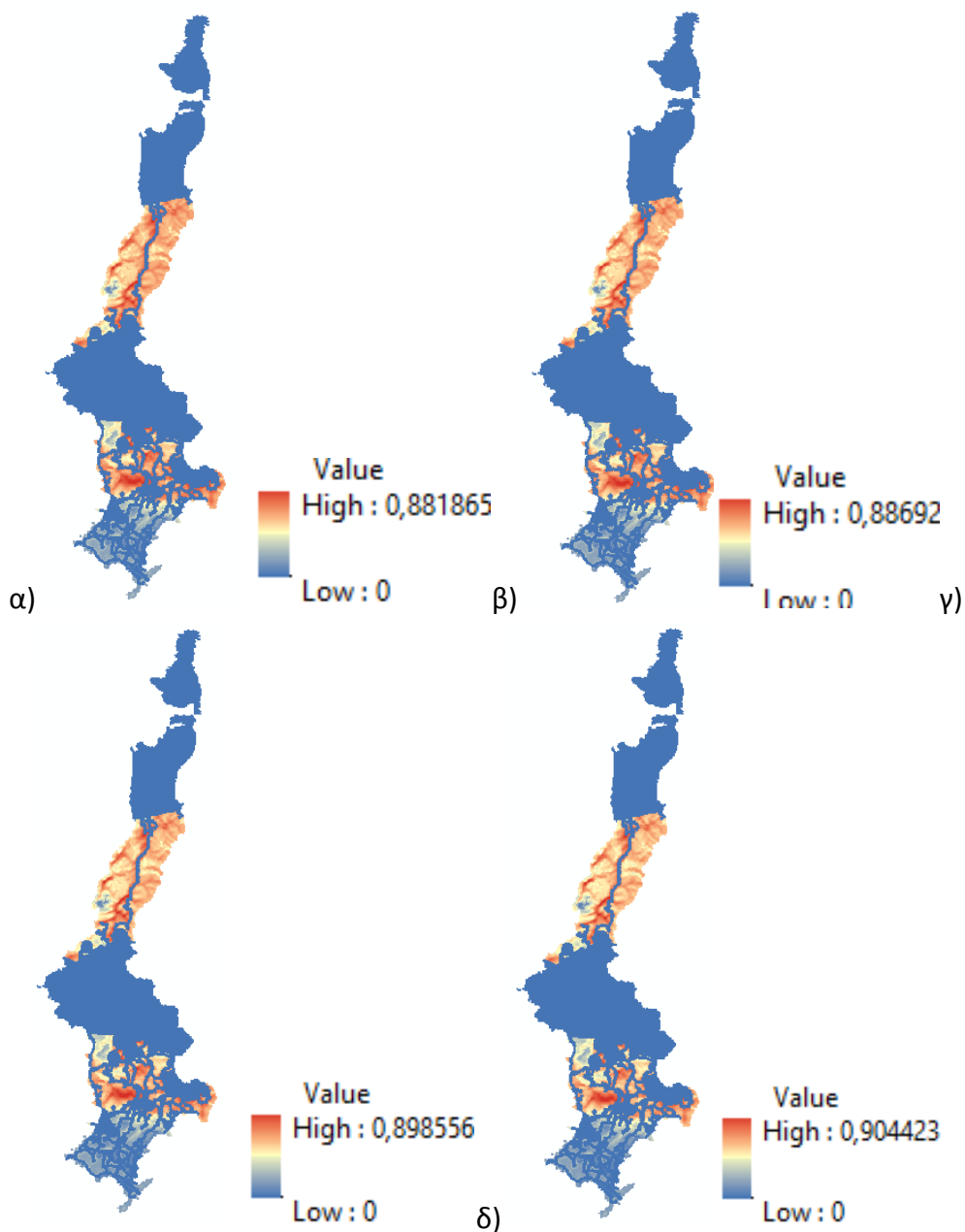
που επιλέχθηκαν για να εξεταστεί κατά πόσο οι μεταβολές τους επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα είναι τα δύο σημαντικότερα, δηλαδή το κριτήριο του αιολικού δυναμικού και της εγγύτητας αεροδρομίου, ένα μετρίως σημαντικό δηλαδή το κριτήριο της αξίας γης και ένα λιγότερο, το κριτήριο των κλίσεων.

Αρχικά έγιναν μεταβολές στο κριτήριο του αιολικού δυναμικού. Οι μεταβολές που εφαρμόστηκαν είναι μια μείωση στο βάρος του κριτηρίου κατά 5% και 10% και στη συνέχεια μια αύξηση του βάρους του κριτηρίου κατά τα ίδια ποσοστά με αντίστοιχες αυξήσεις και μειώσεις στα βάρη των υπόλοιπων κριτηρίων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 4.9: α) Μεταβολή αριθμού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο αιολικού δυναμικού β) Μεταβολή ποσοστού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο αιολικού δυναμικού

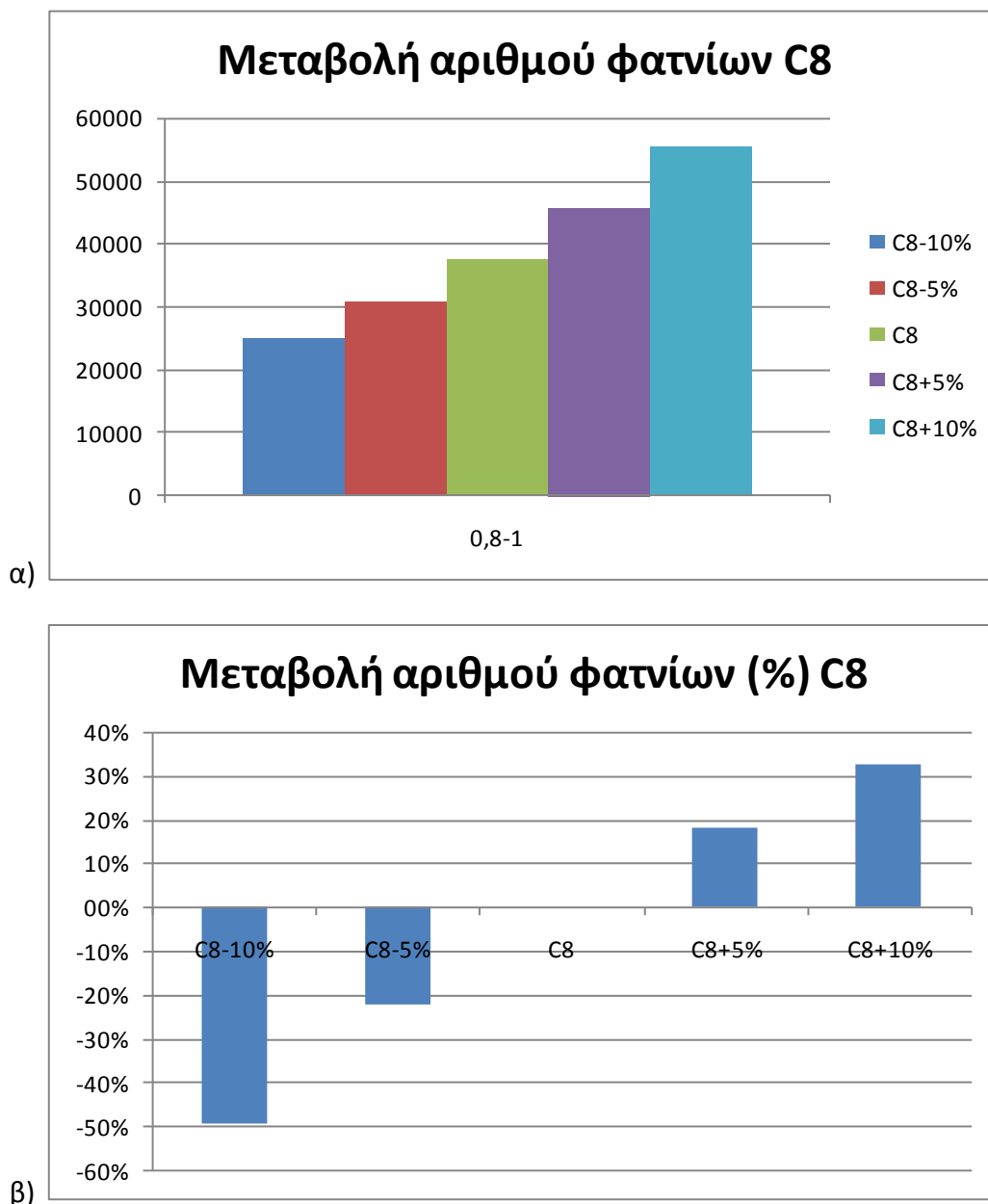
Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα αύξηση του βάρους του κριτηρίου κατά 5% και 10% προκαλεί αντίστοιχη αύξηση των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης και 0,95% και 2,28% αντίστοιχα. Αναμενόμενη είναι και η μείωση των βέλτιστων θέσεων κατά 0,16% με μείωση του βάρους του κριτηρίου κατά 5%. Με μείωση του βάρους κατά 10% ωστόσο παρατηρείται μια αύξηση των βέλτιστων θέσεων κατά 1,8%. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από την αύξηση των βαρών άλλων κριτηρίων όπως το κριτήριο εγγύτητας του αεροδρομίου το οποίο έχει αυξημένο συντελεστή βάρους και υψηλή τιμή στο μεγαλύτερο μέρος του χάρτη. Στη συνέχεια φαίνονται οι χάρτες για τις αντίστοιχες μεταβολές στο κριτήριο του αιολικού δυναμικού.



Σχήμα 4.10: α) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αιολικού δυναμικού -10% β) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αιολικού δυναμικού -5% γ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αιολικού δυναμικού +5% δ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αιολικού δυναμικού +10%

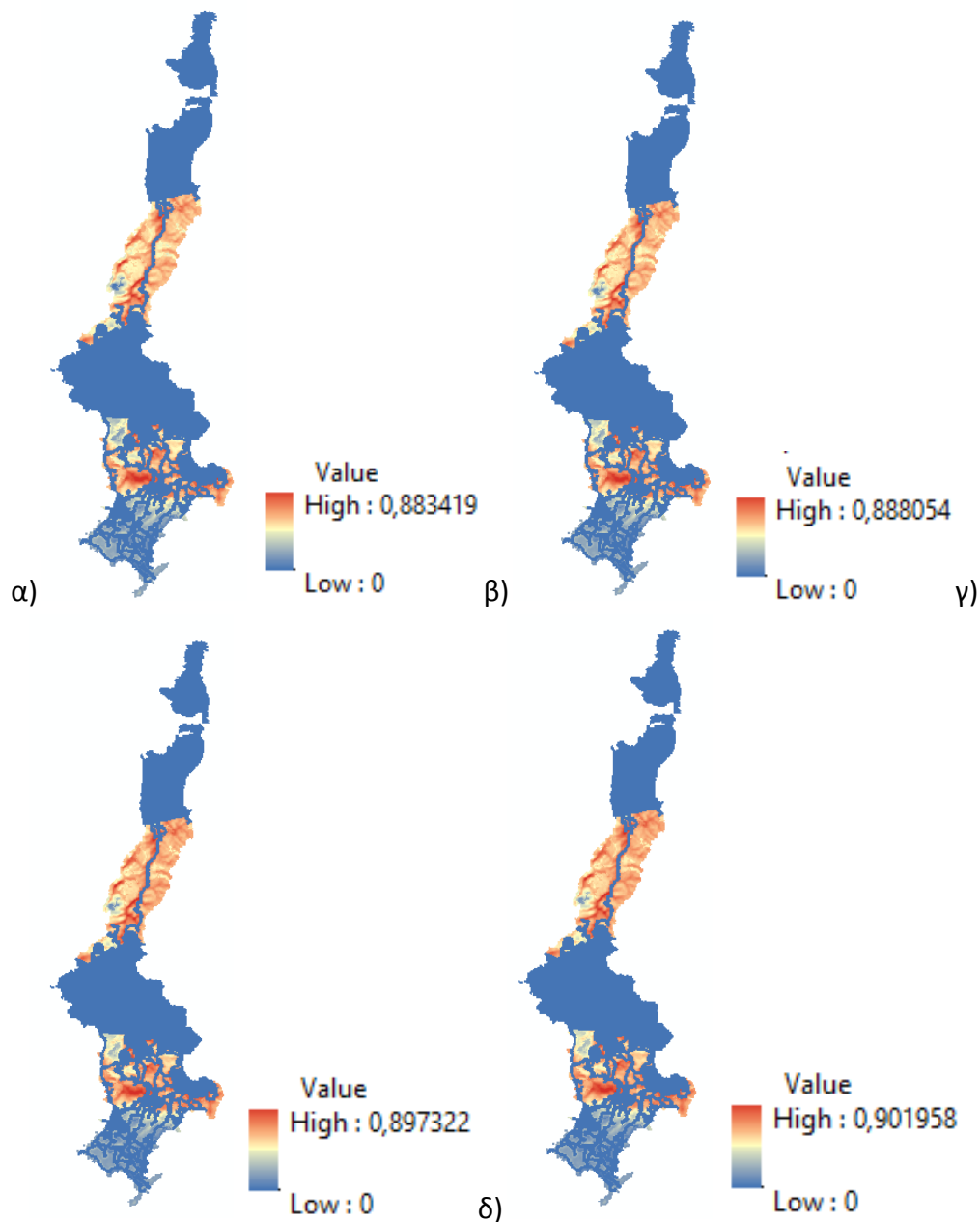
Το επόμενο κριτήριο το οποίο δέχθηκε μεταβολές είναι το κριτήριο εγγύτητας του αεροδρομίου. Το συγκεκριμένο κριτήριο είναι ιδιαίτερο καθώς η τιμή του κριτηρίου αυτού είναι ίση με τη μονάδα στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού, χαμηλότερη της μονάδας σε ένα μικρότερο μέρος και 0 μόνο κοντά στην περιοχή του αεροδρομίου. Επομένως οι μεταβολές στο βάρος του κριτηρίου αναμένεται να προκαλέσουν

μεγάλες μεταβολές στα τελικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια φαίνονται οι μεταβολές που έγιναν στο βάρος του κριτηρίου αυτού.



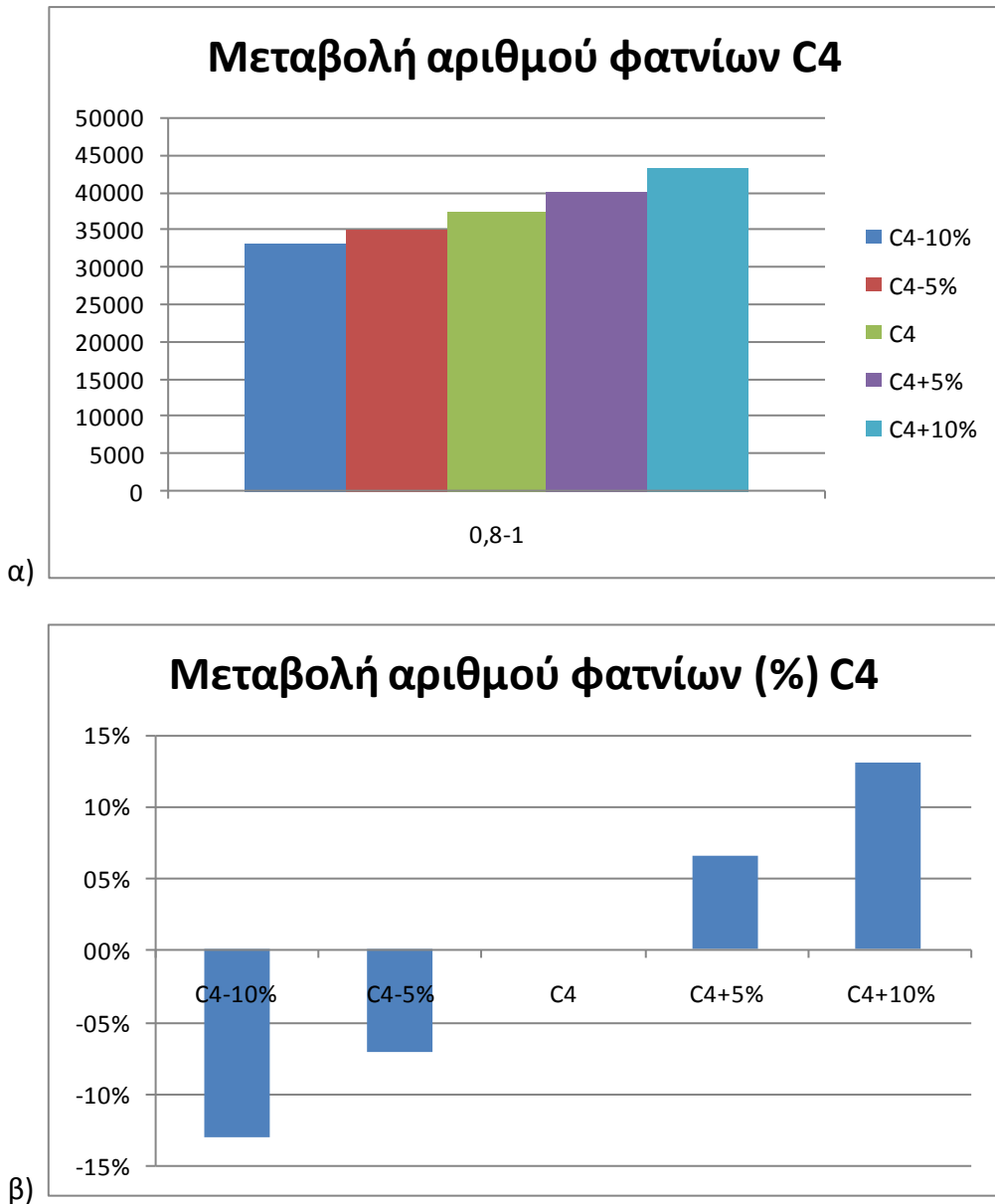
Σχήμα 4.11: α) Μεταβολή αριθμού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο εγγύτητας αεροδρομίου β) Μεταβολή ποσοστού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο αιολικού δυναμικού

Όπως αναμενόταν οι αυξήσεις στο βάρος του κριτηρίου εγγύτητας αεροδρομίου προκαλούν αυξήσεις στον αριθμό βέλτιστων περιοχών. Για αύξηση κατά 5% και 10% υπάρχει αύξηση 18% και 33% αντίστοιχα. Για μείωση του βάρους κατά 5% και 10% παρουσιάζεται μείωση στον αριθμό βέλτιστων περιοχών κατά 22% και 50% αντίστοιχα. Παρακάτω φαίνονται οι χάρτες της περιοχής με τις αντίστοιχες μεταβολές βάρους για κάθε κριτήριο.



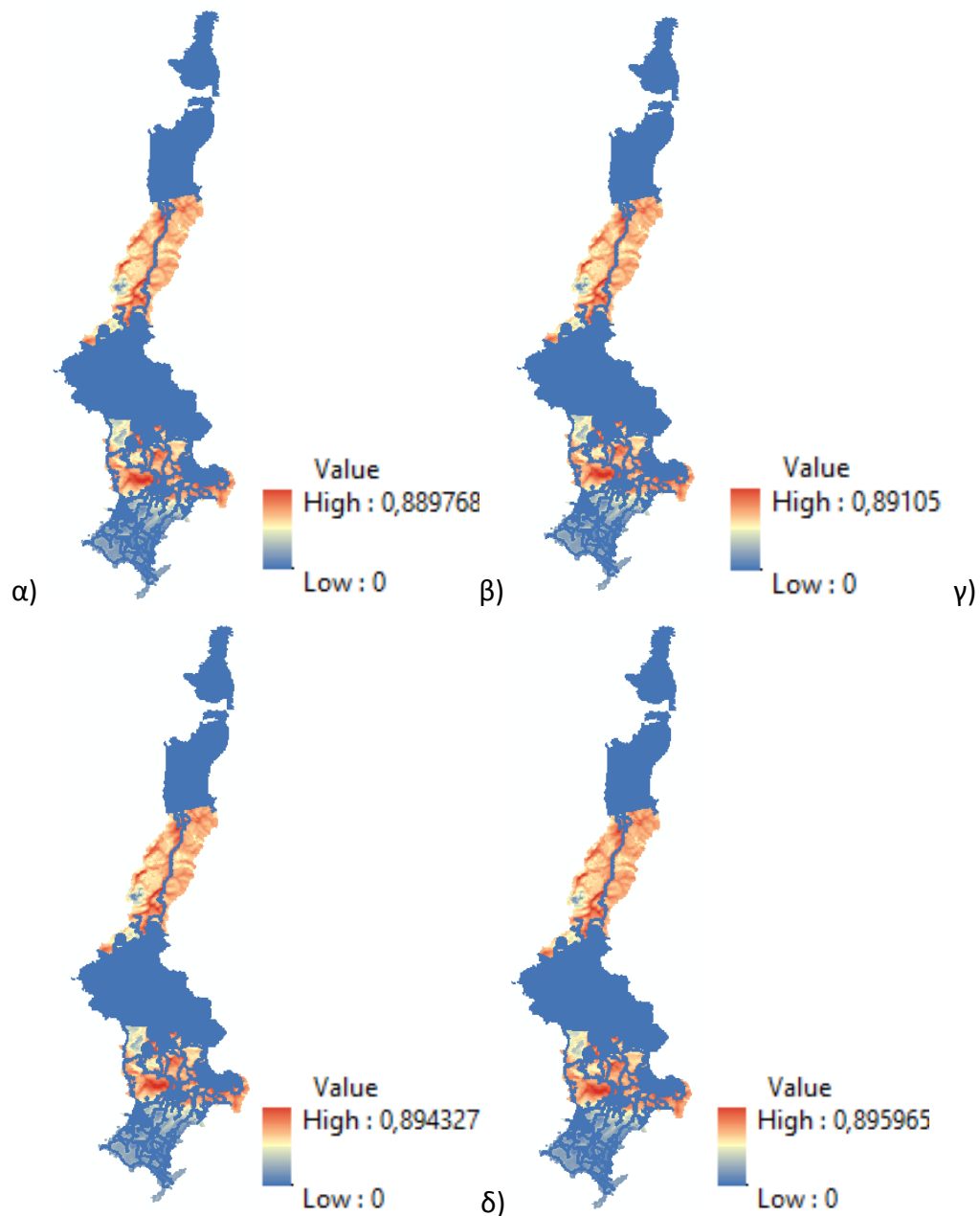
Σχήμα 4.12: α) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου εγγύτητας αεροδρομίου -10% β) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου εγγύτητας αεροδρομίου -5% γ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου εγγύτητας αεροδρομίου +5% δ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου εγγύτητας αεροδρομίου +10%

Στη συνέχεια έγιναν μεταβολές στα βάρη κριτηρίων λιγότερο σημαντικών όπως οι αξίες γης. Οι μεταβολές που έγιναν ήταν μείωση 5% και 10% και αντίστοιχη αύξηση. Τα υπόλοιπα βάρη των κριτηρίων αυξήθηκαν ή μειώθηκαν αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα από τις μεταβολές αυτές φαίνονται παρακάτω.



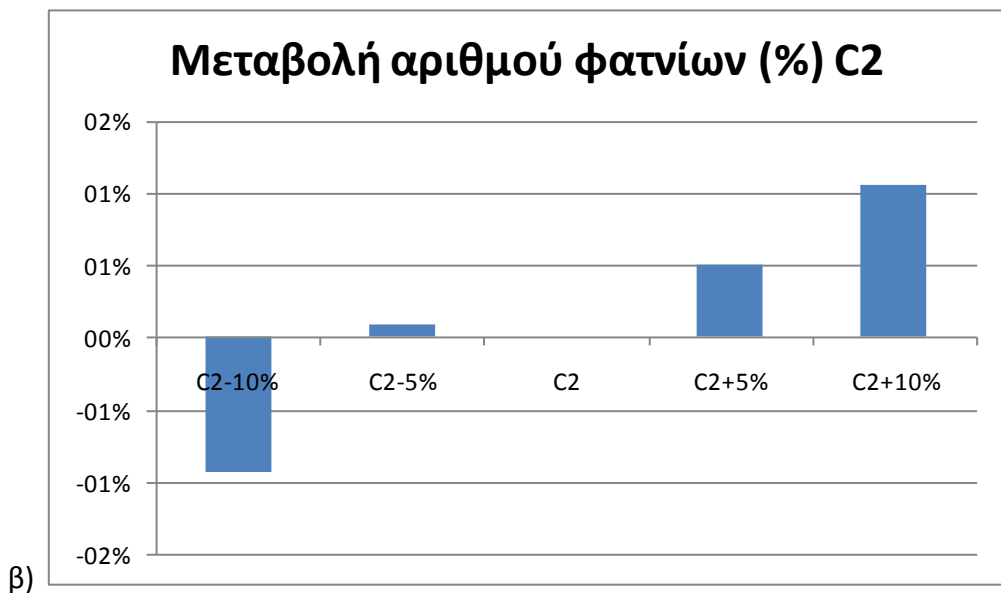
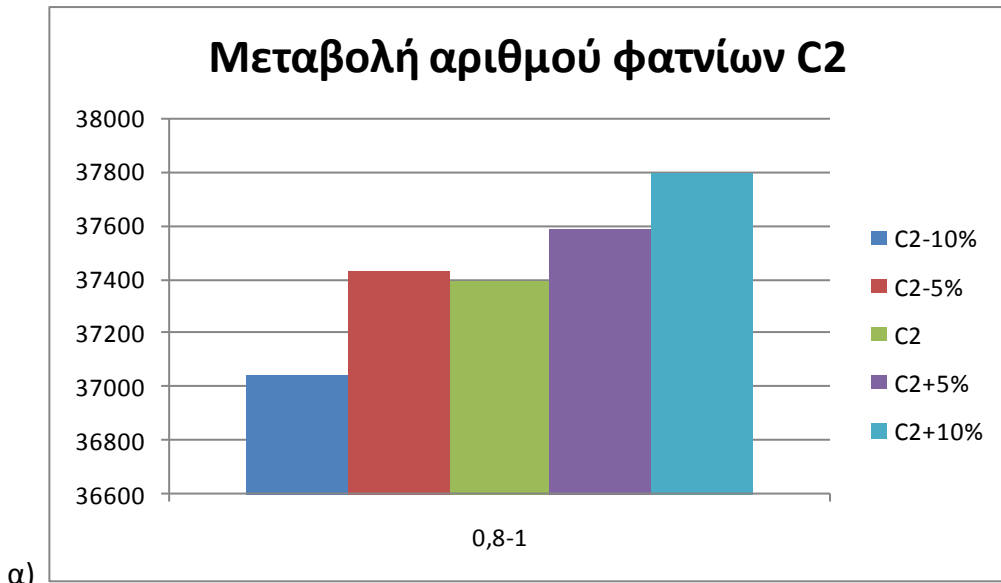
Σχήμα 4.13: α) Μεταβολή αριθμού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο αξίας γης β) Μεταβολή ποσοστού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο αξίας γης

Η αύξηση στο βάρος του κριτηρίου κατά 5% και 10% προκάλεσε αύξηση και στον αριθμό βέλτιστων περιοχών κατά % και 13% αντίστοιχα. Μια τέτοια αύξηση φαίνεται αναμενόμενη καθώς υπάρχουν περιοχές με υψηλό συντελεστή αξίας οι οποίες συνεισφέρουν περισσότερο στο τελικό αποτέλεσμα. Αντίστοιχη μείωση εμφανίζεται και σε μείωση της τιμής του βάρους του κριτηρίου καθώς για μείωση 5% και 10% παρουσιάζεται μείωση 5% και 13% αντίστοιχα στον αριθμό βέλτιστων περιοχών. Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα σε χάρτη.



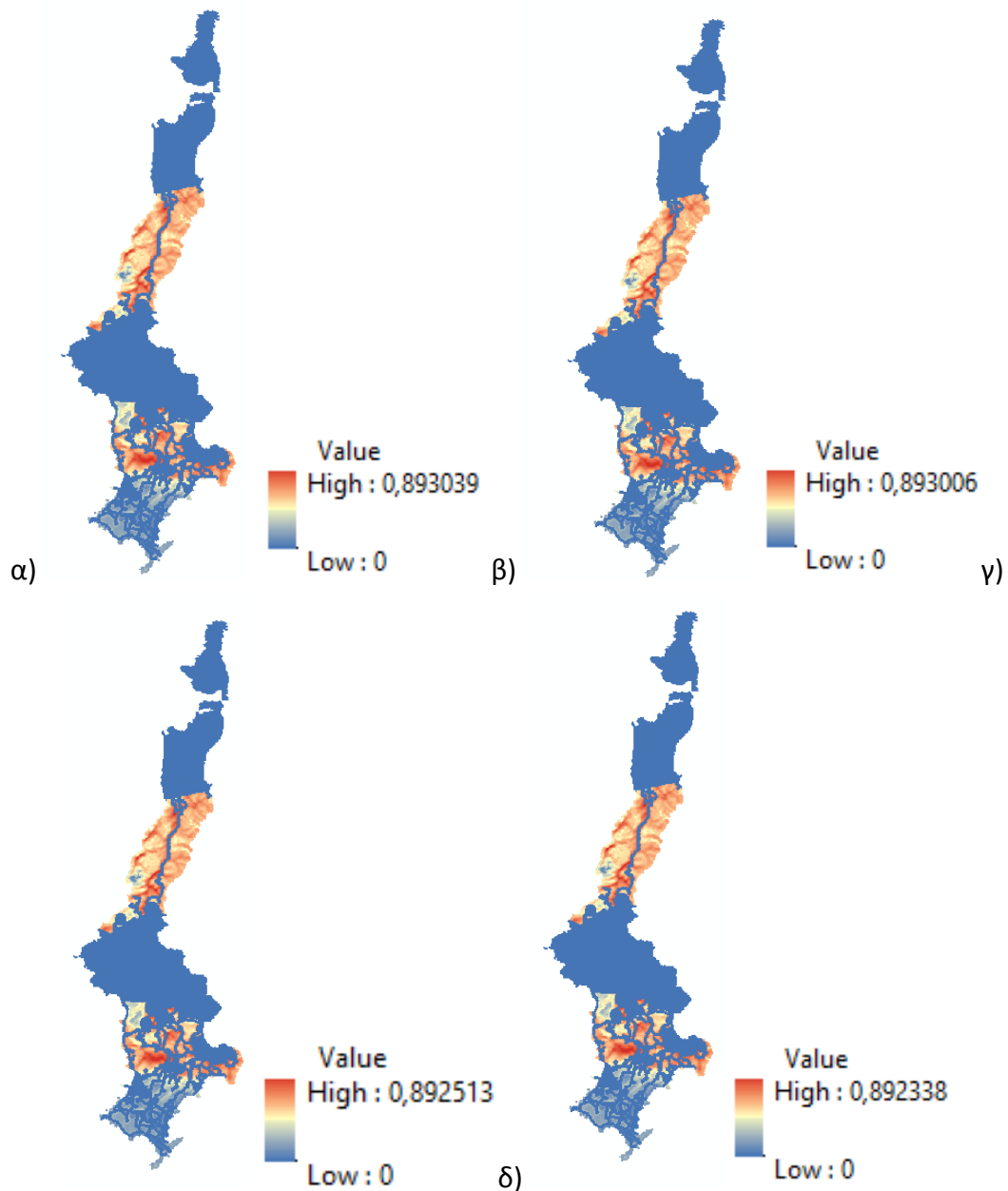
Σχήμα 4.14: α) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αξίας γης -10% β) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αξίας γης -5% γ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αξίας γης +5% δ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου αξίας γης +10%

Τέλος έγινε ανάλυση ευαισθησίας σε ένα ελάχιστα σημαντικό κριτήριο δηλαδή στο κριτήριο των κλίσεων. Η τιμή του βάρους του κριτηρίου είναι αρκετά χαμηλή με αποτέλεσμα οι μεταβολές να είναι σχεδόν αμελητέες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.15: α) Μεταβολή αριθμού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο κλίσεων β) Μεταβολή ποσοστού φατνίων στην κλάση 0,8-1 για το κριτήριο κλίσεων

Όπως φαίνεται μια αύξηση στην τιμή του βάρους του κριτηρίου κατά 5% και 10% οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των βέλτιστων περιοχών κατά 0,5% και 1% αντίστοιχα. Η μείωση της τιμής του βάρους των κριτηρίων κατά 5% αντιστοιχεί σε αύξηση 0,09% στον αριθμό βέλτιστων περιοχών ενώ η μείωση 10% αντιστοιχεί σε μείωση 0,9%. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους χάρτες που ακολουθούν.



Σχήμα 4.16: α) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου κλίσεων -10% β) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου κλίσεων -5% γ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου κλίσεων +5% δ) Χάρτης ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή κριτηρίου κλίσεων +10%

4.6. Επιλογή Περιοχής

Στο τελικό στάδιο της παρούσας εργασίας έγινε η επιλογή της βέλτιστης περιοχής για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Το σενάριο το οποίο επιλέχθηκε να για να εντοπιστούν αυτές οι περιοχές είναι το τεχνικό-οικονομικό-περιβαλλοντικό

σενάριο ως το πιο αυστηρά ορισμένο και ως το σενάριο που λαμβάνει υπόψη τους περισσότερους παράγοντες. Από το σύνολο των περιοχών που βρέθηκαν και αναλύθηκαν στα προηγούμενα εδάφια επιλέχθηκαν 4 ως οι περιοχές με ικανοποιητικό εμβαδό ώστε να μπορούν εντός αυτών να τοποθετηθούν οι ανεμογεννήτριες αλλά να υπάρχει και η μεταξύ τους απόσταση όπως αυτή ορίζεται από την νομοθεσία. Οι περιοχές που εξετάζονται φαίνονται στο παρακάτω γράφημα.



Σχήμα 4.17: Οι τέσσερις βέλτιστες περιοχές για χωροθέτηση ανεμογεννητριών

Η πρώτη περιοχή που εξετάζεται είναι η περιοχή στα νότια του νησιού η οποία βρίσκεται 1500 μέτρα δυτικά του οικισμού Μενεταί. Η περιοχή έχει εμβαδό 470611m^2 το οποίο την καθιστά ικανή να γίνει χωροθέτηση εντός αυτής των ανεμογεννητριών ενώ καλύπτεται και ελάχιστη μεταξύ τους απόσταση. Ο σημαντικότερος παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί για την περιοχή είναι το αιολικό δυναμικό που επικρατεί. Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου που επικρατεί στην περιοχή είναι $16,1\text{m/s}$. Για την ανεμογεννήτρια που έχει επιλεχθεί σε

προηγούμενο εδάφιο η ταχύτητα αυτή ορίζει συντελεστή απόδοσης ίσο με 0,24 και παραγόμενη ισχύ ίση με 905kW.



Σχήμα 4.18: Περιοχή δυτικά του οικισμού Μενεταί στην οποία επιλέγεται να γίνει η χωροθέτηση

Η δεύτερη περιοχή που εξετάζεται είναι η περιοχή στα κεντρικά του νησιού η οποία βρίσκεται σε απόσταση 3000 μέτρων βόρεια από τον οικισμό Σπόα. Το εμβαδό της είναι 209454m^2 το οποίο καλύπτει την ένταξη των ανεμογεννητριών εντός αυτού αλλά και τις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ τους. Οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή έχουν μέση ετήσια ταχύτητα $17,2\text{m/s}$. Για την επιλεχθείσα ανεμογεννήτρια αυτή η ταχύτητα αντιστοιχεί σε συντελεστή ισχύς ίσο με 0,21 και παραγόμενη ισχύ ίση με 910kW.



Σχήμα 4.19: Περιοχή βόρεια του οικισμού Σπόα

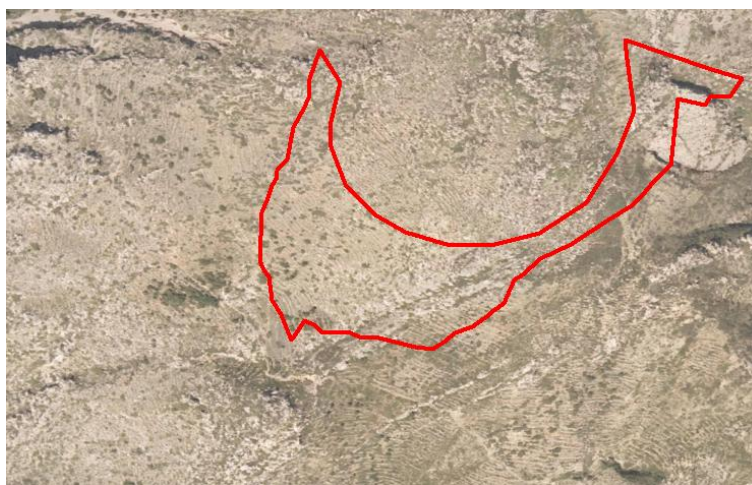
Η τρίτη περιοχή βρίσκεται στα δυτικά του νησιού. Είναι απομονωμένη περιοχή καθώς δεν βρίσκεται κάποιος οικισμός κοντά της. Το εμβαδό της είναι 78873m^2 στο οποίο μπορούν να χωροθετηθούν οι ανεμογεννήτριες και να υπάρχουν οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ τους. Στην περιοχή υπάρχουν άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα $17,4\text{m/s}$. Η συγκεκριμένη ταχύτητα για την ανεμογεννήτρια που έχει

επιλεχθεί αντιστοιχεί σε συντελεστή απόδοσης ίσο με 0,21 ενώ η ισχύς που παράγει είναι 910kW.



Σχήμα 4.20: Περιοχή στα δυτικά του νησιού

Η τελευταία περιοχή είναι αυτή στα βόρεια του νησιού. Είναι και αυτή απομονωμένη καθώς δεν υπάρχει οικισμός πλησίον αυτής και έχει εμβαδό 62760m^2 . Το εμβαδό αυτό καλύπτει τις ανάγκες χωροθέτησης και την ελάχιστη απόσταση που ορίζεται ανάμεσα από της ανεμογεννήτριες. Οι άνεμοι στην περιοχή έχουν μέση ετήσια ταχύτητα $15,3\text{ m/s}$. Σύμφωνα με την ανεμογεννήτρια που επιλέχθηκε η ταχύτητα αυτή αντιστοιχεί σε συντελεστή ισχύος ίσο με 0,29 και ισχύς ίση με 890kW . Όπως φαίνεται η περιοχή αυτή είναι ικανή να προσφέρει αποδοτικότερη παραγωγή ρεύματος παρά την χαμηλότερη ονομαστική ισχύ που προσφέρει η ανεμογεννήτρια. Για το λόγο αυτό σε αυτή την περιοχή επιλέγεται να γίνει η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.



Σχήμα 4.21: Περιοχή στα βόρεια του νησιού

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 Σύνοψη

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής είναι η ανάπτυξη μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης για τη βέλτιστη χωροθέτηση ανεμογεννητριών στο νησί της Καρπάθου. Η επιλογή έγινε με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων (MCDA), την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) και τη χρήση μεθόδων GIS. Αρχικά προσδιορίστηκαν οι περιορισμοί οι οποίοι υπάρχουν στην περιοχή, ορίζονται από την νομοθεσία και καθιστούν την χωροθέτηση των αιολικών εγκαταστάσεων αδύνατη. Αφού εξαιρέθηκαν οι περιοχές που επηρεάζονται από τους περιορισμούς έγινε η διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης περιοχής. Η ανάλυση έγινε με 8 κριτήρια, το αιολικό δυναμικό, τις τοπογραφικές κλίσεις, το υψόμετρο, τις αξίες γης, την εγγύτητα δασών, την εγγύτητα οικισμών, την εγγύτητα δρόμων και την εγγύτητα αεροδρομίου. Με βάση την μέθοδο AHP ορίστηκαν τα βάρη για κάθε ένα από αυτά τα κριτήρια και θεσπίστηκαν 3 σενάρια προκειμένου να ελεγχθεί πως επηρεάζουν οι διαφορετικοί παράγοντες τις βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης. Ακόμα έγινε επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας με βάση τις ανάγκες της περιοχής και επιλέχθηκε τελικά η βέλτιστη θέση για την χωροθέτηση της. Τέλος έγινε ανάλυση ευαισθησίας στα βάρη 4 κριτηρίων προκειμένου να βρεθεί πιο από αυτά επηρεάζει περισσότερο το τελικό αποτέλεσμα. Οι τελικές θέσεις φαίνονται σε εικόνες χαρτών και επιλέχθηκαν με βάση το εμβαδό τους, το αιολικό δυναμικό που επικρατεί σε αυτές και πως αυτό επηρεάζει την παραγωγή ενέργειας με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας.

5.2 Συμπεράσματα

5.2.1 Γενικά

Από την παρούσα διπλωματική εργασία προέκυψαν ορισμένα γενικά συμπεράσματα τα οποία είναι τα εξής:

- Η επιλογή των κριτηρίων αποτελεί το σημαντικότερο βήμα καθώς βάση αυτών γίνεται η χωροθέτηση και καθορίζονται οι βέλτιστες θέσεις στην περιοχή μελέτης. Στα διαφορετικά σενάρια που έγινε χρήση διαφορετικών κριτηρίων δεν προέκυπταν κάθε φορά οι ίδιες βέλτιστες θέσεις.
- Η χωροθέτηση αιολικών πάρκων θα πρέπει να γίνεται σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα τους αλλά αν

είναι δυνατό και σε περιοχές στις οποίες υπάρχει πρόβλημα έλλειψης ενέργειας ώστε να καλύπτονται τα ελλείμματα.

- Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι περιορισμοί οι οποίοι τίθενται και καθορίζουν τις διαθέσιμες προς χωροθέτηση περιοχές. Ιδιαίτερα σημαντικοί είναι όταν αυτοί οι περιορισμοί ορίζονται από την νομοθεσία.
- Βασική είναι η απόδοση βαρών στα κριτήρια τα οποία έχουν θεσπιστεί για την ανάλυση της περιοχής. Η σύγκριση των κριτηρίων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τόσο τα βάρη τα οποία χρησιμοποιούνται όσο και το τελικό αποτέλεσμα οπότε απαιτείται εμπειρία από τον μελετητή
- Η μεταβολή του βάρους ενός κριτηρίου μπορεί να διαμορφώσει διαφορετικά αποτελέσματα σε μεγάλο βαθμό. Αυτό εξαρτάται από το πόσο σημαντικό είναι το κριτήριο και αντίστοιχα πόσο υψηλή τιμή έχει το βάρος του.
- Υπολογίστηκαν αρκετές περιοχές στις οποίες μπορεί να γίνει η χωροθέτηση οι οποίες πληρούν τις προϋποθέσεις των περιορισμών και συνάδουν με τα κριτήρια που θεσπίστηκαν

5.2.2 Ειδικά

Στην εργασία αυτή προέκυψαν επίσης και ορισμένα ειδικά συμπεράσματα τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Το σενάριο το οποίο προσέφερε τις περισσότερες βέλτιστες θέσεις για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών είναι το τεχνικό-οικονομικό-περιβαλλοντικό σενάριο στο οποίο υπήρχαν 37395 φατνία με βαθμολογία μεγαλύτερη του 80% και μέγιστη βαθμολογία το 89%. Ακολουθεί το τεχνικό σενάριο στο οποίο υπάρχουν 1752 φατνία με βαθμολογία μεγαλύτερη του 80% και μέγιστη βαθμολογία το 90%.
- Το δυσμενέστερο σενάριο είναι το τεχνικό-οικονομικό στο οποίο υπήρχαν μόλις 437 φατνία με βαθμολογία μεγαλύτερη του 80% και μέγιστη βαθμολογία το 83%. Στο σενάριο αυτό κρίνεται πολύ δύσκολη ακόμα και η εύρεση περιοχής με βαθμολογία άνω του 80% για να γίνει η χωροθέτηση.
- Βέλτιστο σενάριο βρέθηκε το τεχνικό-οικονομικό-περιβαλλοντικό σενάριο κυρίως λόγω των τιμών των κριτηρίων του. Το κριτήριο εγγύτητας αεροδρομίου κρίθηκε πολύ σημαντικό και είχε υψηλό συντελεστή βάρους. Στο κριτήριο αυτό η τιμή της μονάδας δόθηκε σε μεγάλο τμήμα της περιοχής μακριά από το αεροδρόμιο με αποτέλεσμα να αυξηθεί η βαθμολογία κάθε θέσης. Το αποτέλεσμα επηρεάζεται και από το κριτήριο εγγύτητας δασών το οποίο λαμβάνεται υπόψη στο σενάριο αυτό, έχει υψηλό συντελεστή βάρους και δίνει επίσης υψηλή βαθμολογία σε μεγάλο μέρος της περιοχής εκτός των δασών που υπάρχουν σε αυτή. Ακόμα σε αυτό το σενάριο λαμβάνεται

υπόψη το κριτήριο αξιών γης το οποίο έχει μέσο βάρος και δίνει υψηλή βαθμολογία σε περιοχές που προτιμάται να γίνει χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

- Από την ανάλυση ευαισθησίας που έγινε προέκυψε ότι για ποσοστιαία μεταβολή $\pm 5\%$ και $\pm 10\%$ στο βάρος του κριτηρίου της εγγύτητας αεροδρομίου προκλήθηκαν οι μεγαλύτερες μεταβολές στον αριθμό περιοχών με βαθμολογία μεγαλύτερη του 0,8. Επομένως το πιο ευαίσθητο κριτήριο είναι η εγγύτητα αεροδρομίου.

5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής προέκυψαν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα. Ωστόσο, η εργασία αυτή μπορεί να γίνει αφορμή για μελλοντική έρευνα όπως προτείνεται στη συνέχεια.

- Προτείνεται η περεταίρω ανάλυση των κριτηρίων με προσθήκη νέων όπως την ύπαρξη μεμονωμένων κατοικιών και την αναλυτικότερη καταγραφή χρήσεων γης. Κριτήρια όπως αυτά απαιτούν την επιτόπου καταγραφή στη βάση χωρικών δεδομένων, γεγονός που δεν μπορούσε να συμβεί στην παρούσα διπλωματική. Ακόμα προτείνεται η διερεύνηση της κατάστασης στην περιοχή κατά τους θερινούς μήνες όπου παρουσιάζεται αύξηση των ενεργειακών αναγκών. Επίσης προτείνεται η εκ νέου σύγκριση των κριτηρίων προκειμένου να βρεθούν τα πιθανά διαφορετικά αποτελέσματα.
- Επίσης προτείνεται η εμβάθυνση στην ανάλυση ευαισθησίας στους συντελεστές βαρύτητας προκειμένου να βρεθούν ακριβώς τα κριτήρια τα οποία επηρεάζουν περισσότερο την ανάλυση αλλά και τον βαθμό που το κάνουν. Επίσης προτείνεται η ταυτόχρονη ποσοστιαία μεταβολή περισσότερων του ενός κριτηρίου προκειμένου να βρεθεί πως θα αντιδρούσε σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο.
- Τέλος προτείνεται η διερεύνηση των δυνατοτήτων που υπάρχουν στην περιοχή για διασύνδεση με άλλες γειτονικές περιοχές προκειμένου να υπάρξει ένα τοπικό δίκτυο διανομής ενέργειας η οποία θα παράγεται στο νησί της Καρπάθου. Μια τέτοια έρευνα απαιτεί τον προσδιορισμό των αναγκών σε γειτονικές περιοχές αλλά και μια τεχνικοοικονομική ανάλυση για να φανεί κατά πόσο είναι δυνατή η υλοποίηση ενός τέτοιου έργου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

A. Ελληνικές

- Δαγκαλίδης Α., Κλαδική Μελέτη, Μονάδα Οικονομικής Ανάλυσης και Αγορών, Ιούνιος 2010.
- Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μελέτη Διασυνδέσεων των Νησιών του Αιγίου στο Ηπειρωτικό Σύστημα - Φάση Α' Γενικός Σχεδιασμός, Αθήνα, 2010.
- Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης και Αυτοδιοίκησης, Η συμβολή των ΑΠΕ στην τοπική ανάπτυξη, Υπουργείο Εσωτερικών και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης, Αθήνα, 2011.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα. Αθήνα: Υπουργείο Ανάπτυξης, Φεβρουάριος 2009.
- Κουσκουρίδης Δ., Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011.
- Κουτσόπουλος Κ., Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2005.
- Κουτσόπουλος Κ., Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS 9x με Απλά Λόγια. Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2005.
- Μανιάτης Γ., Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης – Κτηματολογίου, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη, 1996.
- Μαυρίδης, Α., & Καλότυχου, Κ., Συμβολή των GIS στη χωροθέτηση των Α.Π.Ε με ταυτόχρονη προσέγγιση ζητημάτων διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος, 1ο Συνέδριο Χωρικής Ανάλυσης, Αθήνα, 17-18 Μαΐου 2013.
- Μπεργελές Γ., Ανεμοκινητήρες, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2005.
- Νάκου Ε., Χωροθέτηση Αιολικού Πάρκου στο Νομό Φωκίδας με Λογική της Ασάφειας και ΓΣΠ, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.
- Νικολάου Σ., Χωροθετικός Σχεδιασμός ΑΠΕ σε περιβάλλον GIS: Η περίπτωση των αιολικών πάρκων της Κύπρου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2013.

- Περιστερης Γ, Οι επενδύσεις ΑΠΕ ως μοχλός περιβαλλοντικής αναβάθμισης και τοπικής ανάπτυξης, Ελληνικός Σύνδεσμος Επενδυτών ΑΠΕ, 2001.
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Έγγραφο Γνωμοδότηση για τη διαδικασία χορήγησης αδειών παραγωγής για σταθμούς ΑΠΕ μη ελεγχόμενης παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, Φεβρουάριος 2006.
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Επικαιροποιημένη Έκθεση Μαΐου, 2010.
- Σαρρή Ε., Π., Χωροθέτηση Αιολικών Πάρκων στο Νομό Λακωνίας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008.
- Στρατηγέα Α. & Γραμματικογιάννης Η., Μεθοδολογία Αξιολόγησης Εναλλακτικών Θέσεων Χωροθέτησης Αιολικού Πάρκου, Τεχνικά Χρονικά - Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ, 2010.
- Τμήμα Διεύθυνσης Νήσων, ΔΕΗ, 2016.
- Τσιπουρίδης Ι., Η Αιολική Ενέργεια με στοιχεία και αριθμούς, Αθήνα: ΔΕΗ, 2005.
- Τσίτουρα, Ι., Βιώσιμη χωροθέτηση Αιολικών Πάρκων - Μελέτη περίπτωσης στην Περιφέρεια Κρήτης, 2012.
- Υπουργείο Ανάπτυξης, Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα, Αθήνα, (Φεβρουάριος 2009).
- Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος & Ενέργειας (2008). Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αθήνα, 2008.
- Φορέας Διαχείρισης Β. Καρπάθου και Σαρίας, 2016.
- Χαλκιάς Χ., Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής, 157 σελίδες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Αθήνα 2015.

Β. Ξενόγλωσσες

- Drobne, S., & Lisec, A. Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging. Informatica, 2009.
- Eastman, J. Ronald, Peter A.K. Kyem, and James Toledano. (1993). A Procedure for Multi-Objective Decision Making in GIS under Conditions of Conflicting Objectives. Proceedings of the Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, EGIS '93. Genoa : EGIS Foundation, 1993. 1: 438-447.
- Hansen, H.S., GIS-based multi-criteria analysis of wind farm development, National Environmental Research Institute of Aalborg University, pp. 75-87, 2005.
- Saaty T. L. (1977,1987). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. J. Math. Psychology, 15, pp. 234–281, 2018.
- vanHaaren, R., Fthenakis, V., GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp.3332-3340, 2011.
- Voogd H., Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. Pion, Ltd., London, 1983.

Γ. Διαδικτυακοί ιστότοποι

- www.cres.gr/kape 1/3/2018
- www.data.gov.gr 1/3/2018
- www.deddie.gr 17/4/2018
- www.dei.gr 6/3/2018
- www.geodata.gov.gr 17/4/2018
- www.ktimatologio.gr 19/3/2018
- www.ppcr.gr 9/6/2018
- www.statistics.gr 14/3/2018