



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS:

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΣΟΛΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΙΩΡΓΟΣ Ν. ΦΩΤΗΣ ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

ΕΠΟΝΗΣΗ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΣΟΛΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΙΩΡΓΟΣ Ν. ΦΩΤΗΣ ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΣΙΟΛΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΓΙΩΡΓΟΣ ΦΩΤΗΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στήριξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Ν. Φώτη, Αν. Καθηγητή ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Επιπρόσθετα, θέλω να ευχαριστήσω ολόψυχα τους γονείς μου καθώς και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που μου έδειξαν ώστε να περατώσω με επιτυχία τις σπουδές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, η μη ορθολογική χρήση της και η διασπάθιση των φυσικών πόρων της Γης έχουν δημιουργήσει πλήθος περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών, πολιτικών προβλημάτων και προβλημάτων ολοκληρωμένης ανάπτυξης. Σε αυτό το κρίσιμο ενεργειακό σκηνικό, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), απαλλαγμένες σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με πρωτοπόρο την αιολική, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Η διείσδυση της αιολικής ενέργειας, πέρα από τα οφέλη που δύναται να επιφέρει, αποτελεί προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, η ανεξέλεγκτη και απρογραμματίστη χωροθέτηση αιολικών πάρκων, δεν βοηθά στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η παρούσα διπλωματική εργασία, αναδεικνύει και αξιολογεί περιοχές οι οποίες είναι κατάλληλες προς χωροθέτηση αιολικών πάρκων, στην Κύπρο με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά οικονομοτεχνικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων. Η επιλογή των Γ.Σ.Π. έγινε γιατί πρόκειται για ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον.

Σε πρώτη φάση η εργασία παρουσιάζει τις περιοχές στις οποίες είναι δυνατή η χωροθέτηση αιολικών πάρκων λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια που πηγάζουν από την νομοθεσία καθώς και κριτήρια λειτουργικότητας. Σε δεύτερη φάση αξιολογείται η καταλληλότητα αυτών των περιοχών με τον καθορισμό βαρών στα κριτήρια, βάση της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης. Επιπρόσθετα, η καταλληλότητα των περιοχών εξετάζεται και με την λογική της ασάφειας. Αποτέλεσμα της διπλωματικής εργασίας, είναι παρουσίαση χαρτών καταλληλότητας για κάθε διαδικασία και η τελική αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών με την σύγκριση των δυο διαδικασιών, αναδεικνύοντας έτσι τις βέλτιστες περιοχές για χωροθέτηση αιολικού πάρκου στην Κύπρο.

ABSTRACT

The continuous increase of energy consumption, its irrational use and the dissipation of natural resources of Earth have created many environmental, social, economic, political problems as well as problems concerning integrated development. The Renewable Energy Sources (RES) with wind energy as a pioneer can play an important role in this crucial energy context because of their significant lack of environmental implications. The penetration of wind energy, in addition to its advantages, constitutes a priority for the European Union. However, the uncontrollable and unplanned sitting of wind parks, complicates the exploit of wind energy as much as possible. This thesis is focused on evaluating the areas which are suitable for wind parks sitting in Cyprus, using Geographic Information Systems (G.I.S), taking into account economical, technical and environmental criteria. The G.I.S were chosen because they are considered to be a very useful tool for the collection, storage, update, management, analysis and display of each form of information that concerns in the geographic environment.

In the first phase, the thesis presents the areas which are available for wind parks sitting, taking into consideration the legislation and functionality criteria also. In the second phase, the thesis evaluates the suitability of these areas by assign weights to the criteria, based on Analytic Hierarchy Process (AHP). Additionally the suitability of the areas is evaluated with fuzzy logic. The results of the thesis are presented by suitability maps for each process and the final suitability evaluation is assessed by comparing the two processes, thus highlighting the best locations for sitting wind parks in Cyprus.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	10
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ	11
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	12
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 Το Παγκόσμιο Ενεργειακό Πρόβλημα	15
1.2 Το Ενεργειακό Πρόβλημα της Κύπρου	16
1.3 Ενεργειακή πολιτική Κύπρου και Ευρωπαϊκής Ένωσης	17
1.4 Καθορισμός Προβλήματος μου μελετά η εργασία	19
1.5 Μεθοδολογική Προσέγγιση παρούσας μελέτης	20
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	22
2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).....	22
2.1.1 Γενικά	22
2.1.2 Αιολική Ενέργεια.....	24
2.1.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	28
2.1.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	30
2.1.5 Γεωθερμική Ενέργεια.....	33
2.1.6 Ενέργεια από Βιομάζα	35
2.1.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	38
2.2 Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών.....	40
2.2.1 Γενικά	40
2.2.2 Ορισμοί και Βασικές Αρχές	40
2.2.3 Τα μέρη ενός Γ.Σ.Π	41
2.2.4 Βασικές Διαδικασίες και Στάδια στα Γ.Σ.Π.....	42
2.2.5 Συμπεράσματα	43
2.2.6 Εφαρμογές	43
2.3 Χωρική Ανάλυση.....	44
2.4 Κατανόηση ανάλυσης επικάλυψης (Μοντέλο Καταλληλότητας)	46

2.4.1 Σταθμισμένη Επικάλυψη (weighted overlay)	48
2.5 Λογική της Ασάφειας (Fuzzy logic)	50
2.5.1 Γενικά	50
2.5.2 Εφαρμογή ασαφούς λογικής στην λειτουργία της επικάλυψης	50
2.5.3 Ταξινόμηση των δεδομένων και λογική της ασάφειας	51
2.5.4 Λειτουργία του εργαλείου fuzzy membership	53
2.5.5 Συναρτήσεις Μετασχηματισμού του εργαλείου Fuzzy membership	55
2.6 Μέθοδοι και Τεχνικές	57
2.6.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση.....	57
2.6.2 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης – AnalyticHierarchyProcess (AHP)	58
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	65
3.1 Γενικό Περίγραμμα Μεθοδολογίας.....	65
3.2 Στάδιο 1: Εκτίμηση Κατάλληλων Περιοχών	66
3.3 Στάδιο 2: Αξιολόγηση Καταλληλότητας προτεινόμενων περιοχών	68
3.4 Στάδιο 3: Αξιολόγηση προτεινόμενων περιοχών με την λογική της ασάφειας (Fuzzy logic)	71
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ	73
4.1 Περιοχή Μελέτης.....	73
4.1.1 Γενικά Στοιχεία	73
4.1.2 Πληθυσμιακά στοιχεία.....	73
4.1.3 Μορφολογία	74
4.1.4 Χρήσεις Γης	74
4.1.5 Υποδομές – Δίκτυα.....	75
4.1.6 Ιδιαίτερα Φυσικά Χαρακτηριστικά – Προστατευόμενες Περιοχές	77
4.1.7 Αρχαιολογικοί Χώροι	79
4.2 Ενεργειακά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης.....	80
4.2.1 Ενεργειακές Ανάγκες.....	82
4.2.2 Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών από ΑΠΕ	83
4.2.3 Ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια.....	84
4.2.4 Ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα	86
4.2.5 Ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα/βιοαέριο	88
4.2.6 Συμπεράσματα	89

4.3 Δεδομένα – Πηγές	90
4.4 Στάδιο 1: Εκτίμηση κατάλληλων περιοχών	92
4.4.1 Καθορισμός Κριτηρίων	92
4.4.2 Προσδιορισμός Απαιτούμενων Θεματικών Επιπέδων	95
4.4.3 Ανάλυση Δεδομένων.....	95
4.4.4 Δημιουργία Ζωνών Αποκλεισμού	98
4.4.5 Δημιουργία Ζωνών Επιρροής.....	104
4.4.6 Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές	106
4.5 Στάδιο 2: Αξιολόγηση Καταλληλότητας Προτεινόμενων Περιοχών με σταθμισμένη επικάλυψη (weighted overlay).....	109
4.5.1 Καθορισμός βαθμών καταλληλότητας κριτηρίων	110
4.5.2 Καθορισμός Βαρών στα κριτήρια	117
4.5.3 Χαρακτηρισμός Καταλληλότητας Περιοχών.....	122
4.5.4 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process)	127
4.6 Στάδιο 3: Αξιολόγηση περιοχών με την λογική της Ασάφειας (fuzzy logic).....	135
4.6.1 Αιολικό δυναμικό	135
4.6.2 Προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης	137
4.6.3 Προσβασιμότητα στο Οδικό δίκτυο.....	139
4.6.4 Κλίσεις	141
4.6.5 Χαρακτηρισμός Καταλληλότητας Περιοχών.....	144
4.7 Συμπεράσματα – Σύγκριση Αποτελεσμάτων	148
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	157
5.1 Γενικά.....	157
5.2 Προβλήματα και Προτάσεις προς διερεύνηση	158
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	160

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ το 2011.....	23
Πίνακας 2.2 : Εκπομπές επιβλαβών αερίων από διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε Kg/kwh παραγόμενης ενέργειας.....	35
Πίνακας 2.3: Ενδεικτικός πίνακας σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη.....	61
Πίνακας 2.4: Κλίμακα Saaty και η περιγραφή της.....	62
Πίνακας 2.5: Τιμές δείκτη RCI.....	64
Πίνακας 4.1: Κατανομή Πληθυσμού κατά επαρχία στις απογραφές 2001 και 2011.....	74
Πίνακας 4.2 Περιοχές Προστασίας Χλωρίδας και Πανίδας – Natura 2000.....	77
Πίνακας 4.3: Προστατευόμενες Περιοχές συνθήκης Natura 2000.....	78
Πίνακας 4.4: Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία της Κύπρου.....	79
Πίνακας 4.5: Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί της Κύπρου.....	81
Πίνακας 4.6: Υφιστάμενα αιολικά πάρκα.....	86
Πίνακας 4.7: Προέλευση και μορφή των δεδομένων.....	90
Πίνακας 4.8 : Εισαγωγή δεδομένων για την εκτέλεση της εντολής Topo to Raster.....	91
Πίνακας 4.9: Καθορισμός αρχικών και τελικών θεματικών επιπέδων.....	95
Πίνακας 4.10: Εκτίμηση κριτηρίων και περιορισμών.....	109
Πίνακας 4.11: Πίνακας καταλληλότητας για το αιολικό δυναμικό.....	111
Πίνακας 4.12: Πίνακας καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.....	112
Πίνακας 4.13: Πίνακας καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο.....	114
Πίνακας 4.14: Πίνακας καταλληλότητας για τις κλίσεις.....	115
Πίνακας 4.15: Εισερχόμενα δεδομένα στο εργαλείο weighted overlay, θεωρώντας όλα τα κριτήρια ίσης σημαντικότητας.....	118
Πίνακας 4.16: Αριθμός κελιών βαθμού καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 20 προτεινόμενες περιοχές.....	123
Πίνακας 4.17: Καθορισμός καταλληλότητας και τύπου κάθε περιοχής ανάλογα με τις διακυμάνσεις των μεγίστων ποσοστών της κλίμακας καταλληλότητας.....	123
Πίνακας 4.18: Ποσοστά αριθμού κελιών κάθε βαθμού καταλληλότητας επί του συνολικού αριθμού κελιών κάθε περιοχής και ο τελικός χαρακτηρισμός κάθε περιοχής.....	124
Πίνακας 4.19: Πίνακας σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη.....	127
Πίνακας 4.20: Κανονικοποιημένος πίνακας με τα τελικά βάρη.....	128

Πίνακας 4.21: Εισερχόμενα δεδομένα στο εργαλείο weighted overlay, με υπολογισμό των βαρών βάση της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης.....	129
Πίνακας 4.22: Αριθμός κελιών βαθμού καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 20 προτεινόμενες περιοχές.....	131
Πίνακας 4.23: Καθορισμός καταλληλότητας και τύπου κάθε περιοχής ανάλογα με τις διακυμάνσεις των μεγίστων ποσοστών της κλίμακας καταλληλότητας.....	131
Πίνακας 4.24: Ποσοστά αριθμού κελιών κάθε βαθμού καταλληλότητας επί του συνολικού αριθμού κελιών κάθε περιοχής και ο τελικός χαρακτηρισμός κάθε περιοχής.....	132
Πίνακας 4.25 : Χαρακτηρισμός κατηγοριών βάση τελικού βαθμού καταλληλότητας.....	144
Πίνακας 4.26:Αριθμός κελιών βαθμού καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 20 προτεινόμενες περιοχές.....	145
Πίνακας 4.27: Τελική κατάταξη και χαρακτηρισμός καταλληλότητας προτεινόμενων περιοχών για τις τρεις διαδικασίες.....	150

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας.....	25
Διάγραμμα 2.2: Ενδεικτική Μορφή Ιεράρχησης.....	60
Διάγραμμα 3.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο μελέτης.....	66
Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα ροής πρώτου σταδίου.....	68
Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα ροής δευτέρου σταδίου.....	70
Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα ροής τρίτου σταδίου.....	72
Διάγραμμα 4.1 : Διείδυση ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Κύπρου.....	81
Διάγραμμα 4.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα.....	82
Διάγραμμα 4.3: Τελική κατανάλωση ενέργειας το 2000 και το 2010.....	83
Διάγραμμα 4.4: Ποσοστά συμμετοχής ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας.....	84
Διάγραμμα 4.5: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς βιομάζας/βιοαερίου.....	88
Διάγραμμα 4.6 : Μετατροπή γεωμετρικών στοιχείων σε θεματικά επίπεδα.....	97
Διάγραμμα 4.7: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για το αιολικό δυναμικό.....	135
Διάγραμμα 4.8: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για το ηλεκτρικό δίκτυο.....	137
Διάγραμμα 4.9: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για το οδικό δίκτυο.....	139
Διάγραμμα 4.10: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για τις κλίσεις.....	141

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 4.1: Ποταμοί της Κύπρου.....	77
Χάρτης 4.2 Περιοχές Προστασίας Συνθήκης Natura 2000.....	79
Χάρτης 4.3: Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία της Κύπρου.....	80
Χάρτης 4.4: Μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στην Κύπρο.....	85
Χάρτης 4.5: Ετήσιο άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	87
Χάρτης 4.6 : Τελικός γεωμορφολογικός Χάρτης της Κύπρου.....	91
Χάρτης 4.7: Ζώνες Αποκλεισμού υδρογραφικού δικτύου και προστατευόμενων περιοχών	98
Χάρτης 4.8: Ζώνες Αποκλεισμού από αρχαιολογικούς χώρους.....	99
Χάρτης 4.9: Ζώνες Αποκλεισμού από κατοικημένες Περιοχές.....	100
Χάρτης 4.10: Ζώνες αποκλεισμού από οδικό δίκτυο και υφιστάμενες υποδομές.....	101
Χάρτης 4.11: Ζώνες Αποκλεισμού από Δίκτυο Ηλεκτροδότησης.....	102
Χάρτης 4.12: Τελικές ζώνες αποκλεισμού μετά από την ένωση όλων των αρχικών θεματικών επιπέδων.....	103
Χάρτης 4.13: Τελικές ζώνες επιρροής από την τομή του αιολικού δυναμικού και της ζώνης επιρροής 5 χλμ του δικτύου ηλεκτροδότησης.....	105
Χάρτης 4.14: Παραγόμενο επίπεδο μετά την αφαίρεση της τελικής ζώνης αποκλεισμού από την ζώνη επιρροής.....	106
Χάρτης 4.15: Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές.....	108
Χάρτης 4.16: Χάρτης με τους βαθμούς καταλληλότητας για το αιολικό δυναμικό μετά την αναταξινόμηση (Reclassify).....	111
Χάρτης 4.17: Χάρτης με την βαθμολογία καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο ηλεκτρικό δίκτυο μετά την αναταξινόμηση (Reclassify).....	113
Χάρτης 4.18: Χάρτης με την βαθμολογία καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο μετά την αναταξινόμηση (Reclassify).....	114
Χάρτης 4.19: Γεωμορφολογικός χάρτης με τους βαθμούς καταλληλότητας όσον αφορά τις κλίσεις μετά την αναταξινόμηση (Reclassify).....	116
Χάρτης 4.20: Βαθμοί καταλληλότητας κάθε προτεινόμενης περιοχής.....	119
Χάρτης 4.21: Μεγέθυνση χάρτη 4.20.....	120
Χάρτης 4.22: Χαρακτηρισμός τύπου καταλληλότητας περιοχών.....	125
Χάρτης 4.23: Μεγέθυνση του χάρτη 4.22.....	126
Χάρτης 4.24 : Χαρακτηρισμός τύπου καταλληλότητας περιοχών με την ΑΗΡ.....	133

Χάρτης 4.25: Μεγέθυνση χάρτη 4.24.....	134
Χάρτης 4.26: Ασαφοποίηση αιολικού δυναμικού με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership.....	138
Χάρτης 4.27: Ασαφοποίηση δικτύου ηλεκτροδότησης με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership.....	138
Χάρτης 4.28: Ασαφοποίηση του οδικού δικτύου με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership.....	140
Χάρτης 4.29: Ασαφοποίηση χάρτη κλίσεων με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership...	142
Χάρτης 4.30: Τελικός χάρτης μετά την ένωση όλων των θεματικών χαρτών για κάθε δυναμικό κριτήριο.....	143
Χάρτης 4.31: Χαρακτηρισμός κατηγορίας καταλληλότητας περιοχών.....	146
Χάρτης 4.32: Μεγέθυνση χάρτη 4.31.....	147
Χάρτης 4.33: Καταλληλότητα περιοχών με ίση επιρροή των δυναμικών κριτηρίων κατά την επικάλυψη.....	151
Χάρτης 4.34: Καταλληλότητα περιοχών με βάρη στα δυναμικά κριτήρια όπως αυτά καθορίστηκαν από την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης.....	152
Χάρτης 4.35: Καταλληλότητα περιοχών με την μέθοδο της ασαφούς λογικής.....	153
Χάρτης 4.36: Κατάταξη βέλτιστων προτεινόμενων περιοχών.....	155

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Βασικά τμήματα ανεμογεννήτριας.....	27
Εικόνα 2.2: Διαδικασίες κατά την εκτέλεση της σταθμισμένης επικάλυψης (weighted overlay).....	49
Εικόνα 2.3: Παράδειγμα συμμετοχής τιμής στην κάθε τάξη.....	53
Εικόνα 2.4: Διάγραμμα λειτουργίας fuzzy membership.....	54
Εικόνα 2.5: Διαφορετικές ζώνες μετάβασης στην κατανομή του Gauss.....	55
Εικόνα 2.6: Παραλλαγές της γραμμικής συνάρτησης μετασχηματισμού.....	57

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση και κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως, η κατασπατάληση αυτής, ταυτόχρονα με την χρήση των εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας έχει δημιουργήσει ένα πλήθος από περιβαλλοντικά, κοινωνικά, οικονομικά, πολιτικά και γενικότερα προβλήματα ολοκληρωμένης ανάπτυξης: υποβάθμιση του περιβάλλοντος από την εκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μείωση των αποθεμάτων τους, αύξηση του κόστους των συμβατικών καυσίμων (κυρίως του πετρελαίου). Το ενεργειακό ζήτημα έχει ποικίλες διαστάσεις, οι οποίες συνδέονται αιτιωδώς μεταξύ τους. Παράλληλα, η ανάγκη για ενεργειακή αυτάρκεια των κρατών και απεξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα και ιδίως από χώρες με ασταθείς πολιτικές και κοινωνικές καταστάσεις, καθώς και η ανάγκη για αποκεντρωμένη ανάπτυξη και τόνωση της τοπικής απασχόλησης ενισχύει την αντίληψη για αλλαγή και κυρίως βελτίωση του σημερινού παγκόσμιου ενεργειακού σκηνικού. Για την επίλυση των προβλημάτων που αυτό δημιουργεί, απαιτούνται συγκεκριμένες και άμεσες πολιτικές: οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) μπορούν να αποτελέσουν μία από τις λύσεις και πλέον, η ανάγκη για περαιτέρω στροφή στις ΑΠΕ μοιάζει περισσότερο επιτακτική από ποτέ.

Οι ΑΠΕ δεν αποτελούν πανάκεια στο ενεργειακό πρόβλημα, αφού δεν στερούνται κάποιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δεν είναι πάντα άμεσα ενεργειογόνες και διαθέσιμες. Όλες οι ΑΠΕ μπορούν να χρησιμοποιούνται επ' άπειρον αλλά με πολύ συγκεκριμένο ρυθμό. Δεν μπορούν να υποστηρίξουν οποιοδήποτε ανθρώπινο πληθυσμιακό μέγεθος, ούτε κοινωνία που μεγεθύνεται πληθυσμιακά με ταχύτατους ρυθμούς.

Παρ' όλα αυτά μπορούν να παράσχουν την ενεργειακή βάση για τη βιώσιμη κοινωνία του μέλλοντος. Είναι άφθονες, ποικίλες, χωρικά διάσπαρτες, αποκεντρωμένες, συμβάλλουν στην απεξάρτηση από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους και καθώς μάλιστα δεν ρυπαίνουν ποιοτικά και ποσοτικά όσο οι συμβατικές πηγές, προστατεύουν έμμεσα το περιβάλλον και φαίνονται να είναι η πιο συμφέρουσα περιβαλλοντικά λύση. Δημιουργούν θέσεις εργασίας, θα βοηθήσουν αποτελεσματικότερα στην ανάπτυξη του Τρίτου Κόσμου, ενώ μέσω της χρησιμοποίησής τους προστατεύεται το κλίμα του πλανήτη (μείωση εκπεμπόμενων ρύπων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου), εμποδίζουν έμμεσα την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων, δε βάζουν σε κίνδυνο βασικές ανθρώπινες ελευθερίες και δικαιώματα και προάγουν την αποκέντρωση αποφάσεων και εξουσιών (*Γεωργόπουλος, 1996*). Πρόκειται για εγχώριες πηγές ενέργειας, οι οποίες συνεισφέρουν έτσι στην εθνική ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση και στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Επίσης, δεν επηρεάζονται από το διεθνές οικονομικό περιβάλλον ειδικότερα των τιμών, γεγονός που δίνει μεγαλύτερη ασφάλεια και σταθερότητα.

Συνεπώς, από τα παραπάνω, αναδεικνύεται η ανάγκη προώθησης των ΑΠΕ και ειδικότερα της αιολικής ενέργειας, η οποία είναι η πιο εξελιγμένη τεχνολογικά. Το ζήτημα έγκειται στον σχεδιασμό της ανάπτυξής της και στη χωροθέτηση των αιολικών πάρκων. Όταν δεν υπάρχει

σχεδιασμός ή όταν αυτός είναι ελλιπής, τότε ο στόχος για την διείσδυση αυτής στην ηλεκτροπαραγωγή δεν μπορεί να επιτευχθεί. Στο σημείο αυτό να επισημανθεί ότι το ζήτημα της χωροθέτησης των έργων ΑΠΕ αποτελεί ένα σύνθετο θέμα το οποίο παρουσιάζει γενικότερο επιστημονικό ενδιαφέρον καθώς συμπυκνώνει πολλαπλά ζητήματα χωρικού, περιβαλλοντικού, κοινωνικού και αναπτυξιακού χαρακτήρα τα οποία συνδέονται με τις διαδικασίες χωροθέτησης.

Το θέμα που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι αυτό της χωροθέτησης αιολικών πάρκων στην Κύπρο και της αξιολόγησης των προτεινόμενων περιοχών. Η προώθηση της αιολικής ενέργειας και η χωροθέτηση των αντίστοιχων έργων συνδέεται αδιαμφισβήτητα με τις αναπτυξιακές διαδικασίες, δεδομένου ότι αποτελεί τμήμα του ενεργειακού ζητήματος, το οποίο σχετίζεται με πληθώρα οικονομικών, κοινωνικών, πολιτικών και περιβαλλοντικών υποθέσεων.

Η βιβλιογραφία για την εξεύρεση των κατάλληλων θέσεων για χωροθέτηση αιολικών πάρκων, είναι πλούσια τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και τοπικό. Η συγκεκριμένη διπλωματική βασίστηκε κατά ένα μεγάλο μέρος της στην μελέτη του Jeffrey D. Harrison, με τίτλο *On shore Wind Power Systems, AGIS-Based* (2012), που αξιολογεί θέσεις για εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην Ουάσιγκτον και στο Όρεγκον. Όσον αφορά την ελληνική βιβλιογραφία μελετήθηκαν οι μεταπτυχιακές εργασίες της Σαρρή Πηνελόπης, 2008 και Αγγελικής Γουλιάμου, 2008 για χωροθέτηση αιολικών πάρκων στον νομό Λακωνίας.

Όσον αφορά στη δομή της εργασίας, αυτή αποτελείται από 5 κεφάλαια. Για τη συγγραφή αυτών, χρησιμοποιήθηκε υλικό από τις βιβλιοθήκες του Ε.Μ.Π. σχετικό με τα Γ.Σ.Π., τη χωρική ανάλυση και την αιολική ενέργεια, μελέτες φορέων όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, τα αρμόδια Υπουργεία και Υπηρεσίες, το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, πανεπιστήμια, η Παγκόσμια και η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας και το διαδίκτυο.

Πιο αναλυτικά, στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος, ενώ περιγράφεται το ενεργειακό πρόβλημα τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο. Ακολούθως, αναλύονται οι πολιτικές που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Κυπριακή Δημοκρατία, όσον αφορά τα ενεργειακά ζητήματα. Τέλος, παρουσιάζεται το πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζει η παρούσα εργασία και πως αυτό προσεγγίστηκε.

Το **δεύτερο κεφάλαιο**, αφορά τις θεωρητικές έννοιες στις οποίες βασίστηκε η εργασία. Αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι μορφές ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, γεωθερμία, βιομάζα), ενώ για την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής γίνεται αναφορά στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π). Ειδικότερα, αναλύονται τα εργαλεία και οι λειτουργίες του ArcGis, δηλαδή της σταθμισμένης επικάλυψης (weighted overlay) και της λογικής της ασάφειας (fuzzy logic), που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή, καθώς και η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) που εφαρμόστηκε για τον καθορισμό βαρών στα κριτήρια.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται η μεθοδολογία της εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής, αναλύοντας τα επιμέρους στάδια που εφαρμόστηκαν για την τελική αξιολόγηση των περιοχών, για χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Κύπρο.

Στο **τέταρτο** κεφάλαιο, παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης παραθέτοντας κάποια γενικά στοιχεία (πληθυσμιακά, γεωμορφολογικά, δικτύων και υποδομών) καθώς και το υφιστάμενο ενεργειακό τοπίο. Στην συνέχεια, περιγράφεται η εφαρμογή, με τον καθορισμό των κριτηρίων για την επιλογή των θέσεων που είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση αιολικών πάρκων, ενώ ακολουθεί η τελική αξιολόγηση τους, βάση της σταθμισμένης επικάλυψης και της λογικής της ασάφειας.

Τέλος, στο **πέμπτο κεφάλαιο** παραθέτονται τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, προβλήματα που παρουσιάστηκαν καθώς και προτάσεις για περεταίρω διερεύνηση του προβλήματος.

1.1 Το Παγκόσμιο Ενεργειακό Πρόβλημα

Τις τελευταίες δεκαετίες είναι γεγονός ότι οι ενεργειακοί πόροι συνδέονται άμεσα με την ομαλή λειτουργία του οικονομικού συστήματος. Οι απαιτήσεις σε ενέργεια των γραμμών παραγωγής, η αυξανόμενη κατανάλωση και η ανορθόδοξη χρήση της ενέργειας έχουν οδηγήσει σε μείωση των αποθεμάτων των ενεργειακών πόρων και επομένως στην αύξηση του κόστους εξόρυξης και παραγωγής τους. Η στενότητα των φυσικών πόρων και η επίπτωσή τους στην οικονομική ανάπτυξη έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την οικονομική σκέψη. Ειδικότερα το ενδιαφέρον για την στενότητα των ορυκτών καυσίμων υπήρξε αρκετά έντονο εξαιτίας των δυο μεγάλων ενεργειακών κρίσεων. Ο προβληματισμός στρεφόταν πάντα γύρω από το πώς θα μπορέσει να συμβαδίσει η κοινωνική ευημερία σε συνάρτηση με την στενότητα των φυσικών πόρων.

Οι ενεργειακοί πόροι που κατέχουν σήμερα δεσπόζουσα θέση στην παγκοσμία κατανάλωση ενέργειας είναι κυρίως το πετρέλαιο και τα προϊόντα του, ενώ ακολουθεί ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (*International Energy Agency*) η παγκόσμια ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας εμφανίζει ετήσιο ρυθμό αύξησης 1,8%. Η ζήτηση κατά το έτος 2005 έφτανε τα 11,4 δις τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και υπάρχει η πρόβλεψη που θέλει να προσεγγίζει τα 17,7 δις το έτος 2030. Παρατηρείται ότι τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας), συνεχίζουν να είναι η κύρια πηγή πρωτογενούς ενέργειας, κατέχοντας το μεγαλύτερο μερίδιο παρά την μικρή ποσοστιαία αύξηση τους, από 81% το 2005 στο 82% το 2030.

Επιπρόσθετα, αυτή η αύξηση στην χρήση των φυσικών καυσίμων θα έχει ως συνέπεια την αύξηση των εκπομπών του CO₂ κατά 57% για την περίοδο 2005-2030, αν φυσικά δεν ληφθούν μέτρα περιορισμού τους (*International Energy Agency*), ενώ με την καύση τους απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και άλλα επιβλαβή οξέα (νιτρικά, θειικά, ανθρακικά) καθώς και διάφορες ραδιενέργειες ουσίες όπως ουράνιο και θόριο. Οι ρύποι αυτοί αποτελούν τον κυριότερο λόγο πρόκλησης του φαινομένου του θερμοκηπίου που οδηγεί στην αύξηση της

θερμοκρασίας της γης. Εκτιμάτε πως μέχρι το τέλος του αιώνα η θερμοκρασία θα ανεβεί από 1.7 °C μέχρι και 7 °C σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Η μείωση των αποθεμάτων του νερού, οι πλημμύρες, η μείωση του αριθμού των ειδών, οι απότομες μεταβολές θερμοκρασίας είναι οι κυριότερες συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη (*Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου*). Η κλιματική αλλαγή που αμφισβητήθηκε στο παρελθόν από τους «δυνατούς» του παγκόσμιου χάρτη είναι πλέον εμφανής, αφού την τελευταία δεκαετία όλο και πιο συχνά εμφανίζονται ακραία καιρικά φαινόμενα, που προκαλούν καταστροφές με τεράστιες πολιτικοοικονομικές συνέπειες.

Ταυτόχρονα, το πετρέλαιο και τα λοιπά ορυκτά καύσιμα είναι εξαντλήσιμοι και σπάνιοι πόροι και επομένως υπό την πίεση της αυξανόμενης ζήτησης θα αυξάνονται ολοένα και οι τιμές τους. Τα τελευταία χρόνια οι διεθνείς τιμές του πετρελαίου έχουν φτάσει σε πρωτόγνωρα υψηλά επίπεδα σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες. Επιπρόσθετα, οι τιμές του άνθρακα και του φυσικού αερίου έχουν αυξηθεί με τον ίδιο ρυθμό σε σχέση με τις τιμές του πετρελαίου το οποίο σημαίνει ότι οι υψηλές τιμές του πετρελαίου επηρεάζουν άμεσα τις τιμές των ενεργειακών προϊόντων, πιέζοντας ταυτόχρονα και τις τιμές των ειδών πρώτης ανάγκης.

Οι προηγούμενες πετρελαϊκές κρίσεις, όπως εκείνη της δεκαετίας του 70, είχαν προκληθεί από τους περιορισμούς που επιβλήθηκαν στην πρόσφορα του πετρελαίου από τις χώρες παραγωγής. Η σημερινή κρίση, οφείλεται στο γεγονός ότι το πετρέλαιο, αγωνίζεται να ανταποκριθεί σε μια αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση. Το συμπέρασμα είναι πως η αύξηση των τιμών του πετρελαίου οφείλεται σε μια διαρθρωτική μεταβολή της ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης του πετρελαίου στην παγκόσμια οικονομία και ως εκ τούτου το πιθανότερο σενάριο είναι να παραμείνουν υψηλές (*Καβουρίδης-Παυλουδάκης, 2004*).

Κλείνοντας, επισημάνεται πως στις μέρες μας το όλο ζήτημα είναι πιο οξύ από ποτέ. Η ανάγκη εξεύρεσης λύσης όλο και πιο αναγκαία και οι συζητήσεις περί του θέματος από τα κράτη όλο και πιο συχνές. Με τη ζήτηση για ενέργεια ολοένα να αυξάνεται η ανάγκη εισαγωγής «πράσινων» μορφών ενέργειας κρίνεται επιτακτική. Η κυριότερη πολιτική αντιμετώπιση του προβλήματος επικεντρώνεται στο να καταστούν οι χώρες περισσότερο αποτελεσματικές όσο αναφορά την χρήση Α.Π.Ε. και να είναι λιγότερο εξαρτημένες από τα ορυκτά καύσιμα. Χαρακτηριστική είναι η προσπάθεια που καταβάλλει η Σουηδία για την πλήρη απεξάρτησή της από το πετρέλαιο μέχρι το 2020 (*European Commission*).

1.2 Το Ενεργειακό Πρόβλημα της Κύπρου

Η Κύπρος όπως και τα περισσότερα νησιά παρουσιάζει κάποια σημαντικά ενεργειακά προβλήματα. Η υψηλή εξάρτηση της από εισαγόμενες πηγές ενέργειας, σε συνδυασμό με την συνεχιζόμενη αύξηση της τιμής των πετρελαιοειδών και της ζήτησης σε ενέργεια, είναι οι κύριοι λόγοι δημιουργίας του ενεργειακού προβλήματος του νησιού. Συγκεκριμένα κατά την περίοδο 2000-2010 παρατηρήθηκε μέση ετήσια αύξηση της ζήτησης σε ενέργεια της τάξης του 6,1%. Το 2010 οι εισαγωγές πετρελαιοειδών αποτελούσαν το 19,7% των συνολικών εισαγωγών, κοστίζοντας στην Κυπριακή Δημοκρατία 1,3 δις. ευρώ. ενώ κατά την ίδια περίοδο η πρωτογενής

κατανάλωση προϊόντων για την παραγωγή ενέργειας προερχόταν κατά 95,6% από πετρελαιοειδή (*Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου*).

Ακόμα, η Κύπρος λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής της θέσης δεν έχει κάποια ενεργειακή σύνδεση με άλλες χώρες. Το ενεργειακό της σύστημα χαρακτηρίζεται απομονωμένο, εφόσον δεν είναι διασυνδεδεμένο με αγωγούς πετρελαίου, φυσικού αερίου ή δικτύων μεταφοράς ενέργειας όπως συμβαίνει με τις πλούστες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ενώ, οι διάφορες νομοθεσίες περί προστασίας και ανάδειξης του νησιωτικού περιβάλλοντος, τις περισσότερες φορές δρουν αποτρεπτικά στην ανάπτυξη πρωτοβουλιών στον τομέα των ενεργειακών επενδύσεων.

Η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και οι διάφορες εποχιακές διακυμάνσεις αυτής, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, συχνά φέρνει στο όριο του το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η υπερβολική ζήτηση σε συνδυασμό με την άσκοπη και αχρείασθη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οδηγούν σε “blackout” το σύστημα παραγωγής με συχνές διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος.

Στα είδη υπάρχοντα ενεργειακά προβλήματα, ήρθε να προστεθεί ένα ακόμη μεγαλύτερο. Η έκρηξη που σημειώθηκε στο Μαρί (11/07/2011) στοίχησε τις ζωές 13 ανθρώπων και έπληξε την οικονομία του νησιού. Η ενεργειακή υποδομή της χώρας καταστράφηκε, το 53% της συνολικής δυναμικότητας παραγωγής 793 MW, του ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού στο Βασιλικό τέθηκε εκτός λειτουργίας. Συνολικά η διαθέσιμη ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιορίστηκε στα 1163 MW. Επιπλέον η κατάσταση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ΑΕΠ 2,4% σε ετήσια βάση, την μείωση των εργασιών στις επιχειρήσεις και την αύξηση της ανεργίας, την αύξηση των εξόδων της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ) σε 130-190 εκατ. ευρώ και την κάλυψη τους από αυξήσεις στο ηλεκτρικό ρεύμα (*Διαχειριστής συστήματος μεταφοράς Κύπρου*).

Τέλος βάση των όσων αναφέρθηκαν, της κατάστασης που επικρατεί μέχρι σήμερα, με τις συνεχιζόμενες διακοπές ρεύματος και με την οικονομία να μην έχει ακόμη ορθοποδήσει, η επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι επιβεβλημένη. Η Κυπριακή Δημοκρατία οφείλει να βρει λύσεις να χαράξει μια στρατηγική γύρω από το θέμα και να δημιουργήσει ένα υγιές ενεργειακό σύστημα, βασισμένο όσο το δυνατό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην εκμετάλλευση των φυσικών πόρων του νησιού.

1.3 Ενεργειακή πολιτική Κύπρου και Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στην Κύπρο, η ενέργεια αποτελεί έναν από τους σημαντικούς τομείς της οικονομίας. Ο τομέας της ενέργειας χαρακτηρίζεται από την υψηλή εξάρτηση από εισαγόμενες πηγές ενέργειας και την έντονη κυριαρχία του πετρελαίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Η Κύπρος, όπως προαναφέρθηκε είναι μια από τις περισσότερο ενεργειακά εξαρτημένες χώρες της Ε.Ε.

Τα τελευταία χρόνια το κυπριακό ενεργειακό σύστημα παρουσιάζει έντονη δυναμικότητα καθώς διανύει μια περίοδο σημαντικών αλλαγών, με την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας

(ηλεκτρισμού) όπως αυτή επιβάλλεται από: τις ισχύουσες Ευρωπαϊκές Οδηγίες, την απόφαση για εισαγωγή και διείσδυση του Φυσικού Αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, την προώθηση των ΑΠΕ και σύγχρονων συστημάτων συμπαραγωγής και της εξοικονόμησης ενέργειας, αλλαγές οι οποίες επιβάλλουν διαρθρωτικές παρεμβάσεις για την αντιμετώπιση των νέων προκλήσεων στην ενέργεια.

Η ενεργειακή πολιτική της Κύπρου διαμορφώνεται από την Υπηρεσία Ενέργειας και εγκρίνεται από το Υπουργικό Συμβούλιο. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Ενέργειας η ενεργειακή πολιτική της Κύπρου είναι πλήρως εναρμονισμένη με αυτή της Ευρωπαϊκής Ένωσης με 3 κύριους άξονες την εξασφάλιση υγιούς ανταγωνισμού στην αγορά, τη διασφάλιση προμήθειας της ενέργειας και την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της χώρας με όσο το δυνατό μικρότερη επιβάρυνση στην οικονομία και στο περιβάλλον.

Οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες ορίζουν τους εθνικούς στόχους των κρατών μελών για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που θα καταναλώνεται στις μεταφορές, στην ηλεκτροπαραγωγή, στην θέρμανση και ψύξη έως το 2020, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις άλλων μέτρων πολιτικής, που αφορούν την ενεργειακή απόδοση στην τελική κατανάλωση ενέργειας.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική που πρέπει να ακολουθούν τα κράτη μέλη της με στόχο την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ, ενισχύοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητα της και την μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική από ενεργειακή άποψη οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Οι απαιτήσεις που υιοθετήθηκαν από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων αφορούσαν:

- μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990,
- 20% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ,
- μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα, μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης

(Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής Ελλάδος)

Προς την κατεύθυνση αυτή τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται στη χώρα μια ενεργειακή πολιτική με στόχους: *(Ιδρυμα Ενέργειας Κύπρου)*

- Την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου τερματίζοντας το μονοπωλιακό καθεστώς της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ) στην παραγωγή και προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και ανοίγοντας περίπου το 35% στον ελεύθερο ανταγωνισμό.
- Την μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές ενέργειας.
- Την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού.

- Την απελευθέρωση της αγοράς πετρελαιοειδών με κατάργηση του συστήματος ελέγχου τιμών και των επιδοτήσεων μεταξύ των διαφόρων καυσίμων, τη διαμόρφωση των τιμών με βάση τους κανόνες της ελεύθερης αγοράς και την προσαρμογή της φορολογίας.
- Τη δημιουργία τερματικών αποθήκευσης στρατηγικών και λειτουργικών αποθεμάτων πετρελαιοειδών.
- Την εφαρμογή προγραμμάτων ανάπτυξης και χρήσης τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, εκμετάλλευσης των εγχώριων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος από τη βιομηχανική ρύπανση.
- Την προώθηση πετρελαιοειδών και άλλων μορφών ενέργειας φιλικότερων προς το περιβάλλον, όπως το φυσικό αέριο.

1.4 Καθορισμός Προβλήματος μου μελετά η εργασία

Ο προσδιορισμός του προβλήματος, αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για την εφαρμογή ενός Γ.Σ.Π, αφού αποτελεί το βασικό άξονα προσανατολισμού της μελέτης. Η όσο το δυνατό πληρέστερη και αναλυτικότερη διατύπωση του ζητήματος είναι αναγκαία συνθήκη για την επίλυσή του. Στη συνέχεια, επιχειρείται ένας σαφής καθορισμός του προβλήματος, έτσι ώστε να κατανοηθεί γιατί θεωρείται πρόβλημα και γιατί χρειάζεται επίλυση.

Το πρόβλημα που τίθεται στη συγκεκριμένη μελέτη είναι η εξεύρεση κατάλληλων περιοχών για εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην Κύπρο και η αξιολόγηση τους, με τη βοήθεια των Γ.Σ.Π. και με βάση τα κριτήρια και τους κανόνες που θέτει το νομοθετικό πλαίσιο (Νόμος Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας, Εντολή 2/ Άρθρο 6/ 2006).

Γίνεται, δηλαδή, προσπάθεια προσδιορισμού εκείνων των περιοχών του νησιού οι οποίες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα οικονομικοτεχνικής βιωσιμότητας των μελλοντικών αιολικών εγκαταστάσεων με την ταυτόχρονη μεγαλύτερη κοινωνική και περιβαλλοντική αποδοχή, κατευθύνσεις τις οποίες υποστηρίζουν οι ενεργειακές πολιτικές της Κύπρου αλλά και της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αναλύθηκαν παραπάνω.

Στα παραπάνω κεφάλαια, έγινε αναφορά στην κρισιμότητα του ενεργειακού ζητήματος σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και σε τοπικό και στο ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν οι ΑΠΕ στην επίλυσή του, με πρωτοπόρο την αιολική ενέργεια. Η εισαγωγή παραγώγων πετρελαίου στην Κύπρο λειτουργεί αρνητικά όχι μόνο στον οικονομικό τομέα αλλά και στον περιβαλλοντικό. Η στροφή λοιπόν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κρίνεται επιτακτική ώστε να ικανοποιηθούν οι στόχοι που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και από την Κυπριακή Δημοκρατία με την απεξάρτηση από τις συμβατικές μορφές ενέργειας (παράγωγα πετρελαίου) και την εκμετάλλευση καθαρότερων μορφών ενέργειας όπως η αιολική.

Το θέμα της αιολικής ενέργειας είναι επίκαιρο, όχι μόνο δεδομένης της ανάγκης προώθησής της, τόσο από κοινωνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής σκοπιάς, όσο και λόγω των κοινοτικών δεσμεύσεων που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ οι υποδομές για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας αυξάνονται ραγδαία ανά το παγκόσμιο.

Για τους λόγους αυτούς, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μπορεί να παίξει καταλυτικό ρόλο στην εξομάλυνση του ενεργειακού προβλήματος της Κύπρου και έτσι η συγκεκριμένη διπλωματική έχει ως σκοπό την εξεύρεση κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην Κύπρο. Ωστόσο, η χωροθέτηση αιολικών πάρκων είναι ένα θέμα περίπλοκο αφού εξαρτάται όχι μόνο από την ύπαρξη φυσικών διαθεσίμων (άνεμος), αλλά και από πολλές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνιστώσες.

Σχετικά με τις προκαταρκτικές ενέργειες για την εφαρμογή ενός Γ.Σ.Π., αυτές πρέπει να ακολουθούν μια λογική σειρά και η μία διαδικασία να προϋποθέτει την ολοκλήρωση της προηγούμενης ώστε το τελικό αποτέλεσμα να αποτελεί μια σαφή προδιαγραφή της βάσης δεδομένων της μελέτης. Επομένως, για την ορθή εφαρμογή ενός Γ.Σ.Π., μετά τον καθορισμό του προβλήματος, θα καθορισθούν τα κριτήρια που πρέπει αυτό να πληροί, τα θεματικά επίπεδα που πρέπει να δημιουργηθούν, τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των στοιχείων, το σύστημα συντεταγμένων που θα χρησιμοποιηθεί και η οργάνωση του χώρου εργασίας για το συγκεκριμένο Γ.Σ.Π.

1.5 Μεθοδολογική Προσέγγιση παρούσας μελέτης

Η παρούσα μελέτη ασχολείται με την εξεύρεση και αξιολόγηση των περιοχών οι οποίες είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Κύπρο μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν τα Γ.Σ.Π για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, είναι επειδή αποτελούν ιδανικό εργαλείο συλλογής, καταχώρησης, ενημέρωσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά το γεωγραφικό περιβάλλον, ενώ ως εργαλείο χωρικής ανάλυσης, στοχεύουν στην επίλυση χωρικών προβλημάτων και υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Κ. Κουτσόπουλος, 2005α)).

Για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης η οποία, εκτός από τεχνικούς και οικονομικούς, λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Πριν αρχίσει οποιαδήποτε διαδικασία, καθορίστηκε λεπτομερώς το πρόβλημα και τα κριτήρια χωροθέτησης, προσαρμοσμένα στο πλαίσιο της εργασίας και στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Κατά το πρώτο στάδιο της εργασίας, προσδιορίστηκαν τα απαιτούμενα θεματικά επίπεδα και με τη βοήθεια εργαλείων μοντελοποίησης και των αναλυτικών διαδικασιών προέκυψαν οι ζώνες αποκλεισμού για τη χωροθέτηση αιολικών πάρκων, οι ζώνες επιρροής και τέλος, οι κατάλληλες προς χωροθέτηση περιοχές. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για την ανάδειξη της σημασίας της ολοκληρωμένης χωρικής ανάλυσης ως εργαλείου χωροθέτησης αιολικών πάρκων, και την εξεύρεση εκείνων των χωρικών ενότητων που προκύπτουν, όχι με το θεσμό της σημειακής χωροθέτησης αλλά με μια μεθοδολογία που επιτρέπει τη δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων ΑΠΕ, τεχνικά και οικονομικά, παράλληλα με την αρμονική ένταξή τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Κατά το δεύτερο στάδιο της εφαρμογής γίνεται η αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών του πρώτου σταδίου, λαμβάνοντας υπόψη τέσσερα δυναμικά κριτήρια τα οποία

μετατρέπονται σε μια κοινή κλίμακα αξιολόγησης και στην συνέχεια επικαλύπτονται με την κατανομή βαρών σε αυτά για την τελική αξιολόγηση (weighted overlay). Σε πρώτη φάση θεωρείται ότι τα κριτήρια έχουν ίση επιρροή (βάρος) για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών, ενώ σε δεύτερη φάση τα βάρη υπολογίζονται βάσει της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process – AHP).

Κατά το τρίτο στάδιο της εφαρμογής τα κριτήρια αυτά αξιολογούνται εκ νέου με την λογική της ασάφειας (Fuzzy logic), ασαφοποιώντας τα αρχικά, σε μια ενιαία κλίμακα από 0 μέχρι 1 (fuzzy membership) και επικαλύπτοντας τα για την τελική αξιολόγηση. Συγκρίνοντας τις παραπάνω προσεγγίσεις εξάγεται η τελική αξιολόγηση καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

2.1.1 Γενικά

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων, τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη λειτουργία βιομηχανικών μονάδων κ.ά. Η πρόοδος της οικονομίας και η αύξηση του βιοτικού επιπέδου, οδηγούν σε συνεχή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται προέρχεται από συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας, πηγές ενέργειας που αργά ή γρήγορα, ως μη ανανεώσιμες, θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα, με αιχμή τους το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, ο ήλιος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού κ.α. Η εκμετάλλευσή τους δεν απαιτεί κάποια ενεργητική παρέμβαση (πχ. εξόρυξη, άντληση, καύση) όπως με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Οι ΑΠΕ υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα των συνεχόμενων πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής. Την αμέσως επόμενη δεκαετία παγιώθηκε, μετά τη συνειδητοποίηση της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασσικών πηγών ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε χρησιμοποιούνται άμεσα (για θέρμανση), είτε μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή ωστόσο μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες, που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση της παρούσας ισχύουσας κατάστασης στον ενεργειακό τομέα, εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Σήμερα, λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους ενεργειακούς σχεδιασμούς των περισσότερων ανεπτυγμένων κρατών, και αν και κατέχουν πολύ μικρό ποσοστό επί του συνόλου της ενεργειακής παραγωγής, γίνονται ενέργειες για περαιτέρω αξιοποίησή τους. Υπάρχουν ήδη πολλές χώρες στις οποίες οι ΑΠΕ αποτελούν μια σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με

μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού.

Σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (International Energy Agency), οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλλουν στο 13.1% στον παγκόσμιο πρωτογενή εφοδιασμό ενέργειας, ενώ οι ΑΠΕ συνεισφέρουν σε ποσοστό 19.5% στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και 3% στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας όσον αφορά τις μεταφορές, για το ίδιο έτος. Το 2011 το ποσοστό συνεισφοράς ΑΠΕ στην παγκόσμια κατανάλωση παρουσιάζει μικρή αύξηση σε σχέση με το 2009, ενώ η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ανερχόταν περίπου στα 1363.5GW. Από αυτά οι χώρες της ΕΕ συμμετέχουν σε ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 21.5% φτάνοντας τα 293.2 GW, ενώ πολύ σημαντική είναι η συνεισφορά της Κίνας με ποσοστό 20.7% και συνολική εγκατεστημένη ισχύς 281.5GW καθώς και των ΗΠΑ με ποσοστό 10.8% και εγκατεστημένη ισχύς 146.8GW. Από τις μορφές ΑΠΕ, η μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς σε παγκόσμια βάση, παρουσιάζεται στα έργα που αφορούν εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, με 970GW ενώ αρκετά σημαντική είναι και η συνεισφορά της αιολικής ενέργειας με την εγκατεστημένη ισχύ να φτάνει στα 238GW (Πίνακας 2.1).

Μορφές ΑΠΕ	Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)			
	Παγκοσμίως	Χώρες ΕΕ	Κίνα	Αμερική
Βιομάζα	72	26	4.4	13.7
Γεωθερμία	11.2	0.9	≈0.1	3.1
Υδροηλεκτρική (Κυμματική-Παλλιροιακή)	970.5	120.2	212	79
Ηλιακή	71.8	52.1	3.1	4
Αιολική	238	94	62	47
Σύνολο	1363.5	293.2	281.5	146.8

Πίνακας 2.1: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ το 2011, (Πηγή: International Energy Agency)

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος των παραπάνω εφαρμογών μειώνεται συνεχώς, ενώ ήδη η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, στέκονται αρκετά ανταγωνιστικά απέναντι στις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, οι ΑΠΕ συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο κλιματικών αλλαγών. Άλλωστε, έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Οι κυριότερες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική (Κυμματική, Παλλιροιακή), η γεωθερμία και η ενέργεια από τη βιομάζα, οι οποίες περιγράφονται στα παρακάτω κεφάλαια.

2.1.2 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι αφ' ενός είναι φιλική προς το περιβάλλον και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη. Η ισχύς του ανέμου σε ολόκληρο τον πλανήτη εκτιμάται σε $3,6 \cdot 10^9$ MW, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας, ποσοστό περίπου 1% της αιολικής ενέργειας, που ανέρχεται σε 0,6Q (ή $175 \cdot 10^{12}$ KWh) είναι διαθέσιμο για ενεργειακή αξιοποίηση σε διάφορα μέρη του κόσμου (Καλδέλλης Ι., 1999). Οι πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας, από πλευράς αιολικού δυναμικού, είναι οι χώρες της πολικής και εύκρατης ζώνης, ιδιαίτερα κοντά στις ακτές. Βέβαια, η αξιοποίηση της δωρεάν ενέργειας που προσφέρει η φύση στον άνθρωπο, προϋποθέτει την ύπαρξη των κατάλληλων μηχανών, για τη δέσμευση και τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας στην επιθυμητή μορφή ενέργειας.

Από τεχνικοοικονομικής άποψης, η αιολική ενέργεια αποτελεί μία από τις πλέον συμφέρουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι ήδη το κόστος της παραγόμενης αιολικής KWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής KWh χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα πρόσθετα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και άλλα οφέλη από τη χρήση της αιολικής ενέργειας. Φυσικά, δεν πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν είναι συνεχής και είναι μια ενέργεια χαμηλής πυκνότητας, γεγονός που μας υποχρεώνει σε μεγάλες κατασκευές.

Αρκετοί επιστήμονες έχουν υποστηρίξει ότι η κατάλληλη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μπορεί να λύσει το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα αλλά αυτοί οι ισχυρισμοί είναι μάλλον υπερβολικοί μιας και μόνο ένα μικρό μέρος του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί τελικά. Η σωστή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, όμως, θα μπορούσε να βελτιώσει το παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο και μάλιστα χωρίς πρόσθετη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Το κόστος της παραγόμενης αιολικής ενέργειας άρχισε να πέφτει σταθερά από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 μέχρι τις αρχές του 1990. Η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται ώστε να γίνει ταυτόχρονα φτηνή και αξιόπιστη, οπότε αναμένεται ότι η αιολική ενέργεια θα τείνει να γίνει ακόμα πιο ανταγωνιστική οικονομικά στα επόμενα χρόνια.

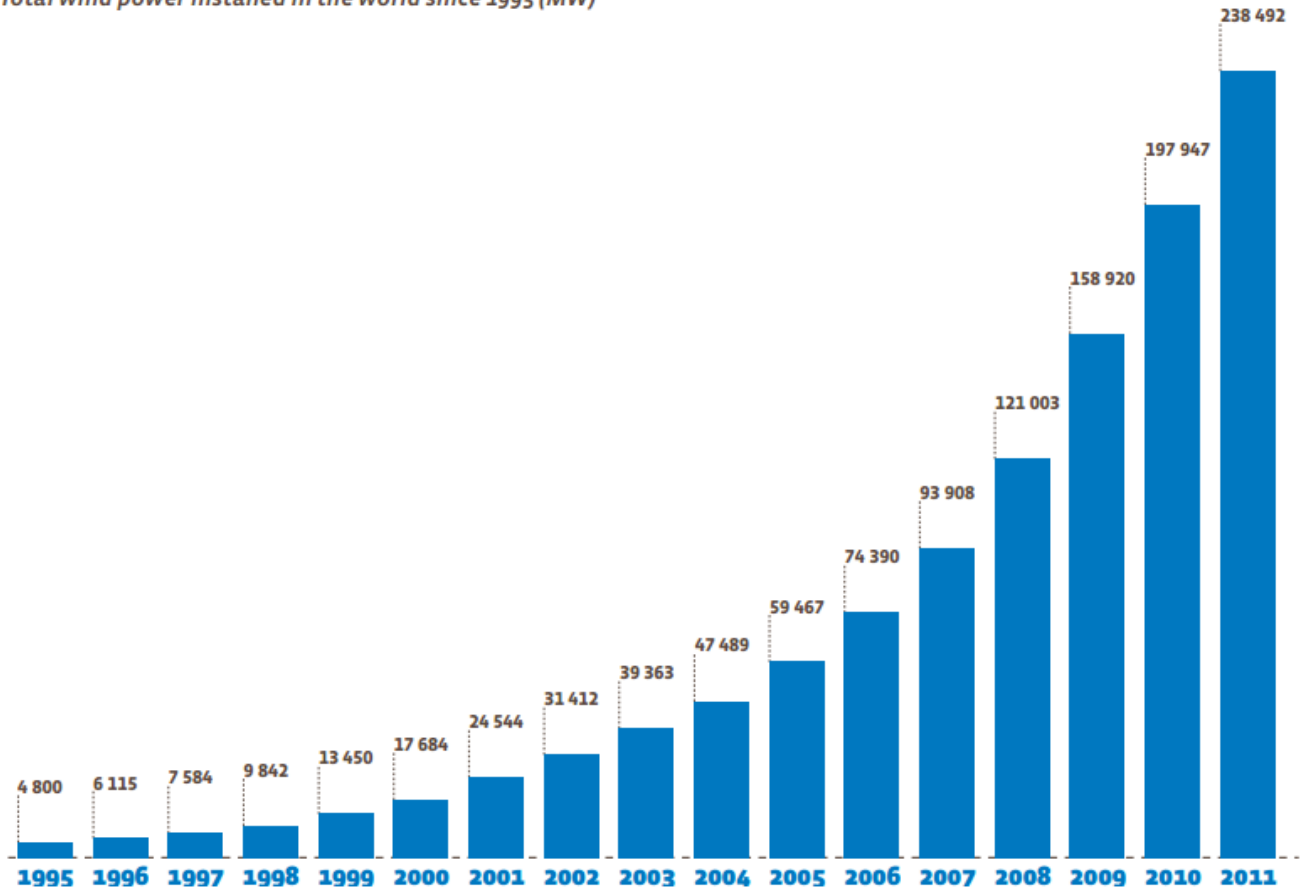
Η κατανόηση της λειτουργίας των αιολικών μηχανών περιλαμβάνει πολλούς τομείς γνώσεων, συμπεριλαμβανομένων της μετεωρολογίας, της αεροδυναμικής, του ηλεκτρισμού καθώς και της μηχανολογίας και της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού (Taylor, 1996).

Τα τελευταία χρόνια οι εγκαταστάσεις αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας αυξήθηκαν δραματικά με το 2011 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας να ανέρχεται στα περίπου στα 238GW, σημειώνοντας άνοδο περίπου 41 GW από το 2010.

Στο διάγραμμα 2.1 παρουσιάζεται η δραματική άνοδος που παρουσιάστηκε στην εγκατεστημένη ισχύ από το 1995. Συγκεκριμένα, το 1995 μόλις 4.8GW αξιοποίησης αιολικής ήταν εγκατεστημένα ανά τον κόσμο, ενώ μέσα 10 χρόνια η ισχύς αυξήθηκε περίπου 55 GW. Μέχρι το 2011 η ισχύς τετραπλασιάστηκε από το 2005, φτάνοντας τελικά τα 238 GW. Όσον αφορά τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατηρήθηκε επίσης μια αύξηση της

εγκατεστημένης ισχύς από το 2010 της τάξεως των 9GW από 85GW στα 94GW (<http://www.eurobserv-er.org/>). Η ισχύς αυτή εκτιμάται ότι θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο τα επόμενα χρόνια.

Total wind power installed in the world since 1995 (MW)



Διάγραμμα 2.1: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας, (Πηγή: www.eurobserv-er.org/pdf/windpower_2012)

2.1.2.1 Αρχή Λειτουργίας

Τα συστήματα ενεργειακής μετατροπής του αέρα (ανεμογεννήτριες) σχεδιάζονται για να μετατρέψουν την ενέργεια της μετακίνησης αέρα (κινητική ενέργεια) σε μηχανική δύναμη (μηχανική ενέργεια), η οποία είναι η κινητήρια δύναμη μιας μηχανής. Στην ανεμογεννήτρια, αυτή η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενώ στους ανεμόμυλους αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για να κάνει την οποιαδήποτε εργασία, όπως την άντληση του νερού, το άλεσμα των σιταριών ή την κίνηση των μηχανημάτων.

Η διαθέσιμη ισχύς του ανέμου είναι:

$$P = a * \rho * \pi r^2 * u^{3/2} \quad (2.1)$$

Όπου P η ισχύς σε watt,

a μια σταθερά απόδοσης,

ρ η πυκνότητα του αέρα σε kg ανά κυβικό μέτρο,

r η ακτίνα της ανεμογεννήτριας σε μέτρα και

v η ταχύτητα του ανέμου σε m/s. (Γ. Μπεργελές, 2005)

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί είτε να αποθηκευτεί σε μπαταρίες, είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Υπάρχουν τρεις βασικοί φυσικοί νόμοι που κυβερνούν το ποσό της διαθέσιμης από τον αέρα ενέργειας.

Ο πρώτος νόμος δηλώνει ότι η δύναμη που παράγεται από τη γεννήτρια είναι ανάλογη προς την κυβική δύναμη της ταχύτητας του αέρα. Παραδείγματος χάριν, εάν διπλασιαστεί η ταχύτητα του αέρα, η διαθέσιμη ισχύ οκταπλασιάζεται, ενώ εάν η ταχύτητα αέρα τριπλασιαστεί, είκοσι επτά φορές περισσότερη ισχύ είναι διαθέσιμη. Αντίθετα, υπάρχει πολύ λίγη ενέργεια στον αέρα όταν αυτός έχει χαμηλή ταχύτητα. Αυτός ο νόμος σημαίνει ότι το ακριβές και λεπτομερές τοπικό στοιχείο ταχύτητας αέρα είναι απαραίτητο για να καθορίσει την πιθανή ενεργειακή παραγωγή από μια δεδομένη περιοχή, και οι γεννήτριες πρέπει να σχεδιαστούν για εκείνη την συγκεκριμένη περιοχή. Ο μέσος όρος ταχύτητας αέρα έχει συχνά μόνο περιορισμένη αξία.

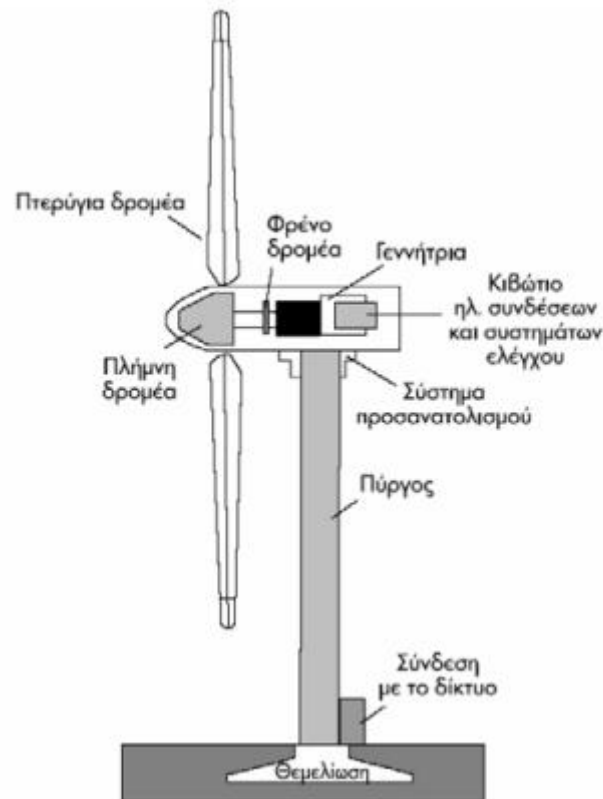
Ο δεύτερος νόμος δηλώνει ότι η διαθέσιμη δύναμη είναι ανάλογη προς το εμβαδόν σάρωσης των πτερυγίων. Αυτή η δύναμη είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μήκους των πτερυγίων. Παραδείγματος χάριν, ο διπλασιασμός του μήκους των πτερυγίων θα αυξήσει την ισχύ τέσσερις φορές, και ο τριπλασιασμός του μήκους των πτερυγίων θα αυξήσει την ισχύ εννέα φορές.

Ο τρίτος νόμος δηλώνει ότι στις ανεμογεννήτριες υπάρχει μια μέγιστη θεωρητική αποδοτικότητα της τάξης του 59%. Στην πράξη, οι περισσότερες ανεμογεννήτριες είναι πολύ λιγότερο αποδοτικές από αυτό, και οι διαφορετικοί τύποι σχεδιάζονται για να έχουν τη μέγιστη αποδοτικότητα με τις διαφορετικές ταχύτητες αέρα. Οι καλύτερες ανεμογεννήτριες έχουν αποδοτικότητα μεταξύ του 35 - 40%. Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν μεταξύ ορισμένων ταχυτήτων αέρα (<http://energypoint.gr>).

2.1.2.2 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, κάθετου και οριζόντιου άξονα. Στην αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη (Εικόνα 2.1)

- το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που απαρτίζεται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας
- την ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική
- το σύστημα προσανατολισμού, που αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου
- τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση
- το σύστημα ελέγχου (ηλεκτρονικός πίνακας και πίνακας ελέγχου) που συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της. (Γ. Μπεργελές, 2005)



Εικόνα 2.1: Βασικά τμήματα ανεμογεννήτριας (Πηγή: Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου)

Οι ανεμογεννήτριες εμπορικής κλίμακας κυμαίνονται σε μέγεθος από 100 kW έως αρκετά MW ενώ το ύψος του πύργου κυμαίνεται από 50μ. έως 135μ αναλόγως του τύπου (*Rheinisch Westfälisches Elektrizitätswerk RWE energy*). Οι μεγαλύτερες τουρμπίνες τοποθετούνται σε ομάδες στα αιολικά πάρκα, τα οποία παρέχουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Οι μικρές, μονές τουρμπίνες, κάτω των 100 kW,

χρησιμοποιούνται για σπίτια και για κεραίες τηλεπικοινωνιών, ή για άντληση νερού. Οι μικρές τουρμπίνες μερικές φορές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με γεννήτριες πετρελαίου, μπαταρίες και φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται υβριδικά αιολικά συστήματα και συνήθως χρησιμοποιούνται σε μακρινές περιοχές, εκτός δικτύου ηλεκτροδότησης (E. Ανδρονίκου, 2012).

2.1.2.3 Περιβαλλοντικά Οφέλη

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Κάθε κιλοβατώρα (kWh) που παράγεται από αιολική ενέργεια, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης περίπου 1 kg διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λ.π). Ενδεικτικά κάθε εγκατεστημένο μεγαβάτ (MW) αιολικής ενέργειας αποσοβεί την έκλυση περίπου 3.000 τόνων CO₂ ετησίως ενώ η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, ισχύος 10 MW, προσφέρει ετήσια την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται περίπου 7.250 νοικοκυριά και εξοικονομεί περίπου 2.580 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου.

Συγκεκριμένα στην περίπτωση της Κύπρου, με ένα σύστημα 3 kW το οποίο καλύπτει τις ανάγκες μιας μέσης οικογένειας, οι εκπομπές CO₂ που εξοικονομούνται ετησίως είναι περίπου 4,5 τόνοι. Για τον υπολογισμό των εκπομπών έχουν ληφθεί υπόψη η αποδοτικότητα των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ) \approx 35% καθώς και οι απώλειες στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής \approx 13,6 %.

Ωστόσο, δεν υπάρχει ανθρώπινη κατασκευαστική δραστηριότητα που να μην έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η χωροθέτηση των αιολικών πάρκων πρέπει να είναι προσεκτική και να συνοδεύεται από τη αντίστοιχη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) του έργου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή ενσωμάτωσή τους στο τοπικό περιβάλλον και να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις τους στην βιοποικιλότητα. Αν η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών δεν σχεδιαστεί σωστά, είναι πιθανόν να υπάρξουν αρνητικές συνέπειες για τη βιοποικιλότητα όπως προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν στα πουλιά αν οι ανεμογεννήτριες τοποθετηθούν σε σημαντικές μεταναστευτικές οδούς και η καταστροφή σημαντικών ενδιαιτημάτων εξαιτίας της διάνοιξης βοηθητικών δρόμων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η αιολική ενέργεια πλεονεκτεί σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας λόγω του χαμηλότερου κόστους. Μάλιστα, το κόστος της σχετικής τεχνολογίας είναι πολύ κοντά σε εκείνο της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, γεγονός που ανοίγει το δρόμο για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως. (Ιδρυμα Ενέργειας Κύπρου, «Μικρές Ανεμογεννήτριες – Εφαρμογές στον οικιακό τομέα», 2010).

2.1.3 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ήπια μορφή ενέργειας με αυξημένες προσδοκίες, ιδιαίτερα στην Κύπρο, η οποία διαθέτει αρκετά υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας. Αξιοποιείται μέσω

τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου για τη θέρμανση και ψύξη της κτιριακής υποδομής, αλλά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται σήμερα με τους εξής τρόπους (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr>):

- **Παθητικά ηλιακά συστήματα**

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα εστιάζουν στην κατάλληλη διαχείριση των δομικών στοιχείων του κτιρίου, που αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου.

- **Ενεργητικά ηλιακά συστήματα**

Τα ενεργητικά (ή θερμικά) ηλιακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο ρευστό είτε αέρα ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λπ. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες.

- **Φωτοβολταϊκά συστήματα**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν κατευθείαν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ ακριβή. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στην Κύπρο εντοπίζεται κυρίως σε θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι), ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την πολιτική προώθησης των ΑΠΕ από την Κυπριακή Δημοκρατία και την Ευρωπαϊκή Ένωση να βοηθά προς αυτή την κατεύθυνση.

2.1.3.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας, αποφεύγεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Το περιβαλλοντικό όφελος από τη χρήση ηλιακών θερμικών συστημάτων προκύπτει από την εξοικονόμηση ενέργειας και κατ' επέκταση τη μείωση των εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου. Ενδεικτικά, από τη χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμων ισοδύναμη με 50-70 kg πετρελαίου/m² συλλέκτη, το χρόνο, και μείωση εκπομπών πάνω από 750 kg CO₂/m² συλλέκτη, το χρόνο, σε περίπτωση υποκατάστασης ηλεκτρικού ρεύματος και 250 kg CO₂/m² συλλέκτη σε περίπτωση υποκατάστασης πετρελαίου (*Ιδρυμα Ενέργειας Κύπρου, 2010*).

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂),

συμβάλλοντας έτσι στον αγώνα κατά των κλιματικών αλλαγών. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των Φ/Β συστημάτων είναι ότι δεν εκπέμπουν CO₂ κατά τη λειτουργία τους. Παρόλο που κατά το στάδιο της παραγωγής τους ευθύνονται για ένα μικρό ποσό εκπομπών (21–65 g CO₂/kWh, ανάλογα την τεχνολογία), αυτό είναι σημαντικά μικρότερο από τις εκπομπές που αποφεύγονται με τη χρήση τους. Για παράδειγμα οι μέσες εκπομπές από θερμοηλεκτρικά στην Ευρώπη υπολογίζονται ως 0,900 Kg CO₂/kWh. Στην Κύπρο η μέση τιμή για τις εκπομπές CO₂ ανά παραγόμενη kWh στους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς υπολογίζεται στα 0,920 Kg CO₂/kWh (μαζί με τις απώλειες δικτύου).

Σύμφωνα με την ΕΡΙΑ, την Ένωση των Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Φ/Β, η παραγωγή ηλεκτρισμού από Φ/Β μπορεί να εξοικονομήσει πάνω από 1,6 τόνους εκπομπές CO₂ το χρόνο παγκοσμίως, ως το 2030. Αυτό ισοδυναμεί με εξοικονόμηση εκπομπών από 450 ηλεκτροθερμικές μονάδες άνθρακα (μέσο μέγεθος 750 MW).

2.1.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η Υδροδυναμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παρέχεται στον άνθρωπο από τη δύναμη του νερού στη φύση. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος χρήσης της, είναι μέσω των υδατοπτώσεων αλλά και των φραγμάτων. Μεγάλη προσπάθεια γίνεται τα τελευταία χρόνια για επενδύσεις σε συστήματα που θα εκμεταλλεύονται την ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας, αλλά και των παλιρροιών. Η υδροδυναμική ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν μολύνει το περιβάλλον και παρέχεται από τη φύση με περίσσεια.

Μια από τις παλαιότερες μεθόδους χρησιμοποίησης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, είναι ο υδροτροχός. Σήμερα, η εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού, αφορά κυρίως την παραγωγή ηλεκτρισμού. Υπάρχουν πολλές μορφές ενέργειας που έχουν σχέση με το νερό:

- Υδροηλεκτρική ισχύς, που παράγεται από νερό που πέφτει, μέσω υδροηλεκτρικών σταθμών.
- Ισχύς από κύματα, που προκαλούνται από την κίνηση νερού προς τις ακτές λόγω του ανέμου (Κυματική Ενέργεια).
- Παλιρροϊκή ισχύς, που παράγεται από παλίρροιες, οι οποίες σημειώνονται λόγω της βαρυτικής έλξης της σελήνης και του ηλίου (Παλιρροϊκή Ενέργεια).

2.1.4.1 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Τα εργοστάσια παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι εγκατεστημένα σε περιοχές με τρεχούμενο νερό (φράγματα, λίμνες, ποτάμια) και εκμεταλλεύονται τη ροή ενός ποταμού ή καναλιού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κινητική και δυναμική ενέργεια της ροής του νερού μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια περιστροφής και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Από την συνολική εκάστοτε ροή, ένα σταθερό τμήμα δεν αξιοποιείται αλλά παρακάμπτεται τον στρόβιλο ώστε να διασώζεται σε αυτό ο πληθυσμός του υδατορεύματος.

Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια ποικίλλουν πολύ σε μέγεθος και δυνατότητα παραγωγής ενέργειας. Αν και η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή ενέργεια, υπό την έννοια ότι δεν

έχει εκπομπές αερίων, οι μεγάλες εγκαταστάσεις δεν θεωρούνται βιώσιμες δεδομένου ότι έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αντιθέτως, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον των υδροηλεκτρικών εργοστασίων μικρής κλίμακας είναι ελεγχόμενες. Επομένως, στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εντάσσονται τα έργα εκμετάλλευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας, μικρής κλίμακας.

Το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μια περιοχή εξαρτάται από δύο συντελεστές: την υψομετρική διαφορά της στάθμης του νερού μεταξύ του φράγματος και του ποταμού (ή της λίμνης) όπου καταλήγει το νερό και την ποσότητα ροής του νερού. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι επομένως τοποθετημένοι όπου μπορούν να εκμεταλλευθούν τη μέγιστη πτώση μιας μεγάλης ποσότητας νερού, στο χαμηλότερο σημείο μιας βαθιάς και απότομα πλαισιωμένης κοιλάδας ή ενός φαραγγιού, ή κοντά στη βάση ενός φράγματος

Το νερό συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα φράγμα, επάνω από το σταθμό παραγωγής, για να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται. Μερικά φράγματα δημιουργούν μεγάλες δεξαμενές για αποθήκευση νερού (αυξάνοντας παράλληλα την στάθμη του ποταμού ή δημιουργώντας τεχνητή λίμνη), με σκοπό να αυξήσουν την δυναμικότητά τους. Αλλά φράγματα συλλαμβάνουν απλά τη ροή των ποταμών και εκτρέπουν το νερό στο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των σωληνώσεων (*Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου, 2009*).

- **Αρχή λειτουργίας**

Ενώ ένας υδροστρόβιλος είναι πιο περίπλοκος από τους παλαιούς υδραυλικούς τροχούς, οι αρχές λειτουργίας του παραμένουν ίδιες: τα πτερύγια της γεννήτριας είναι ενωμένα με έναν άξονα ο οποίος περιστρέφεται λόγω της ροής του νερού που ασκεί πίεση στα πτερύγια. Όταν το νερό έχει μεταφέρει όλη του την κινητική ενέργειά στον υδροστρόβιλο, απαλλάσσεται μέσω των αποχετεύσεων ή των καναλιών διαφυγής του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και συνεχίζει κανονικά τη ροή του στο ποτάμι ενώ δεν παύει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λόγους άρδευσης ή παροχής νερού.

Μια υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής αποτελείται από έναν υδροστρόβιλο, για να μετατρέψει την ενέργεια του νερού σε μηχανική, και μια ηλεκτρική γεννήτρια, για να μετατρέψει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το σύνολο της διαθέσιμης ενέργειας εξαρτάται από την ποσότητα του διαθέσιμου νερού και από την πίεσή του στο στρόβιλο. Η πίεση είναι η υδροστατική πίεση, και μετριέται ως το διανυσματικό διάστημα από το στρόβιλο έως την επιφάνεια του νερού στο φράγμα. Όσο μεγαλύτερο το ύψος του νερού πάνω από τον κινητήρα, τόσο περισσότερη ενέργεια μεταφέρει κάθε κυβικό μέτρο νερού στον κινητήρα (που κινεί στη συνέχεια τη γεννήτρια). Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα του νερού, τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός και το μέγεθος των στρόβιλων που μπορούν να περιστραφούν, και τόσο μεγαλύτερη η παραγωγή ενέργειας (<http://www.energypoint.gr>).

2.1.4.2 Κυματική Ενέργεια

Η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από τον κυματισμό της θάλασσας, είναι όπως όλες οι ΑΠΕ ανεξάντλητη και για αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται αξιοσημείωτες προσπάθειες στην έρευνα, αλλά και τη βελτίωση τεχνολογιών που μπορούν να αξιοποιήσουν αυτήν την ενέργεια αποδοτικά. Η ενέργεια από τα κύματα παρέχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι αν μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε έστω το 1% της ενέργειας που παράγεται από τους ωκεανούς της γης, θα καλύπταμε στο τετραπλάσιο τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη.

Ο λόγος που οι επενδύσεις σε αυτή την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας δεν έχουν προχωρήσει όσο θα έπρεπε, είναι το αντίξοο περιβάλλον που πρέπει να εγκατασταθεί ο εξοπλισμός, διότι ακραία καιρικά φαινόμενα απαιτούν εξοπλισμό που αντέχει σε μηχανικές καταπονήσεις, άρα το κατασκευαστικό κόστος είναι αυξημένο.

Υπάρχουν δυο συστήματα εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Εγκαταστάσεις παράκτιες, και εγκαταστάσεις θαλάσσιες, διασυνδεδεμένες με την ξηρά. Στις παράκτιες εγκαταστάσεις η αρχή λειτουργίας είναι απλή, και θυμίζει την ενέργεια που παράγεται από τους υδροστροβίλους. Η συσκευή υπερχειλίσης αποτελείται από ένα κανάλι το οποίο στενεύει στο επάνω μέρος του με αποτέλεσμα να αυξάνει το ύψος των κυμάτων που εισέρχονται σε αυτό. Στο επάνω μέρος του καναλιού είναι εγκατεστημένη μια δεξαμενή η οποία γεμίζει με νερό καθώς το κύμα εισέρχεται στο κανάλι. Αυτό το νερό διοχετεύεται ξανά στη θάλασσα αφού πρώτα περάσει από έναν υδροστρόβιλο για να παραχθεί η απαραίτητη ενέργεια. Μια εξίσου γνωστή εγκατάσταση αποτελείται από ένα θάλαμο που στο πάνω μέρος του έχει εγκατεστημένο έναν αεριοστρόβιλο συνδεδεμένο με μια ηλεκτρογεννήτρια. Καθώς το κύμα εισέρχεται μέσα στο θάλαμο, συμπιέζει τον αέρα προς τον αεριοστρόβιλο και κινεί την ηλεκτρογεννήτρια παράγοντας ηλεκτρισμό. Στις θαλάσσιες εγκαταστάσεις υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανών που μετατρέπουν την ενέργεια των κυμάτων σε ηλεκτρική. Οι σημειακοί απορροφητήρες επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας και μετατρέπουν την καθ' ύψος κίνησή τους μέσω υδραυλικών ή μηχανικών συστημάτων, σε γραμμική κίνηση ή περιστροφική για την κίνηση ηλεκτρογεννητριών. Παρεμφερές σύστημα είναι οι υποβρύχιες συσκευές διαφορικής υδροστατικής πίεσης, με τη διαφορά ότι ο συγκεκριμένος εξοπλισμός δεν επιπλέει, αλλά είναι εγκατεστημένος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και εκμεταλλεύεται την μεταβαλλόμενη υδροστατική πίεση κάτω από τους κυματισμούς. Το «θαλάσσιο φίδι» είναι μια μηχανή που αποτελείται από μεταλλικούς σωλήνες σε μέγεθος ενός τρένου ενωμένους και τοποθετημένους παράλληλα με την κίνηση των κυμάτων. Τα κύματα ταξιδεύουν μέσα από τους σωλήνες προκαλώντας τους ταλάντωση, και ένα υδραυλικό σύστημα εκμεταλλεύεται αυτή την κίνηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (E. Ανδρονίκου, 2012).

2.1.4.3 Παλιρροιακή ενέργεια

Η παλιρροιακή ενέργεια δημιουργείται από την άνοδο και πτώση της στάθμης των ωκεανών λόγω της επίδρασης των βαρυτικών πεδίων του ήλιου και της σελήνης στη γη. Το παλιρροιακό εύρος φτάνει το 1 μέτρο, ενώ στη Μεσόγειο τα 60 εκατοστά. Αξιοποιήσιμες παλίρροιες είναι

εκείνες που η μεταβολή της στάθμης υπερβαίνει το 1,5 μέτρο και συνήθως τέτοιες εγκαταστάσεις κατασκευάζονται κοντά σε όρμους, κόλπους, ή σε σημεία που μπορεί να κατασκευαστεί ένα φράγμα ή μια δεξαμενή. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι παρόμοια με αυτή των παράκτιων εγκαταστάσεων της αξιοποίησης των κυμάτων, με την κίνηση υδροστροβίλων και γεννητριών. Η κατακόρυφη άνοδος και πτώση της στάθμης των υδάτων προκαλεί επίσης την οριζόντια κίνηση υδάτινων μαζών, φαινόμενο που ονομάζεται παλιρροιακό ρεύμα. Την ενέργεια αυτού του ρεύματος μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρική, υδροστρόβιλοι εγκατεστημένοι σε βάθος τέτοιο που δεν επηρεάζεται η ναυσιπλοΐα (<http://landwaterwind.blogspot.gr>).

2.1.5 Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμία είναι η θερμότητα που εμπεριέχεται στα πετρώματα της γης, τους υπόγειους υδροφορείς και στα αέρια που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε κοιλότητες στο εσωτερικό της γης. Θεωρείται ότι παράγεται από τη διάσπαση ραδιενεργών ισοτόπων, όπως είναι το ουράνιο, το θόριο και το κάλιο και εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της γης εξαιτίας του συνδυασμού της μεγάλης μάζας της γης, με τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων. Η συσσωρευμένη θερμότητα εξέρχεται στην επιφάνεια της γης μέσω γεωλογικών φαινομένων, όπως οι ηφαιστειακές εκροές και οι γεωλογικές ασυνέχειες, και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού.

Είναι μία ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που μπορεί, με βάση τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, αλλά και να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια σε ορισμένες περιπτώσεις.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό δραστηριοτήτων και εφαρμογών ανάλογα με τη θερμοκρασία και την ποιότητα των ρευστών, οι οποίες διακρίνονται σε ηλεκτρικές και άμεσες χρήσεις. Στις άμεσες χρήσεις όπου γίνεται αξιοποίηση της θερμότητας των ρευστών, χωρίς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται η θέρμανση χώρων (κτιρίων, εγκαταστάσεων), αγροτικές χρήσεις (θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, υπεδάφια θέρμανση, θέρμανση κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων), υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις (π.χ. αφαλάτωση νερού, επεξεργασία γάλακτος, χώνευση βιολογικής λάσπης, ανάκτηση πετρελαίου, ξήρανση ξυλείας) και λουτροθεραπεία (ιαματικά λουτρά, πισίνες).

Όσον αφορά τη χρήση της για ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζει απίστευτα πλεονεκτήματα καθώς η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι μονάχα ανεξάντλητη αλλά και πιο «διαθέσιμη» καθώς οι συμβατικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά το 65-75% του έτους, σε αντιδιαστολή με το 90% του έτους μπορούν να παράξουν οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας. Επιπλέον, οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε, ενώ εξαιτίας των προχωρημένων τεχνικών άντλησης μπορούν να καταλάβουν περιορισμένη επιφάνεια γης.

2.1.5.1 Αρχή λειτουργίας

Η θερμοκρασία του υπεδάφους, σε βάθος από 5 έως 100 μέτρα, είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και κυμαίνεται από 18 έως 22°C στην περίπτωση της Κύπρου. Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του υπεδάφους ή των υπογείων υδάτων και της επιφάνειας της γης μπορεί να γίνει με τη χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ), οι οποίες αξιοποιούν το ενεργειακό δυναμικό που ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια, κυρίως για θέρμανση χώρων το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι αλλά και για παροχή ζεστού νερού χρήσης. Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι μία ανεξάντλητη και καθαρή πηγή ενέργειας και είναι διαθέσιμη όλο το χρόνο χωρίς να εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός συνδυασμού αντλίας θερμότητας συζευγμένη με γεώτρηση. Το σημαντικότερο γεγονός είναι ότι η προσφερόμενη ενέργεια είναι περιβαλλοντικά καθαρή, ανανεώσιμη και εξοικονομεί το 50-70% της ενέργειας που θα καταναλώνε ένα υποστατικό που χρησιμοποιεί μόνο συμβατικά μέσα θέρμανσης (πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρισμός κ.λ.π.).

Ένα σύστημα ΓΑΘ αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- Το Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (γεωεναλλάκτη θερμότητας, κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.
- Την αντλία θερμότητας (heat pump) που λειτουργεί όπως οι αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5°C) και τη μεταφέρει σε άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία (π.χ. 25°C).
- Το Σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου, που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coils). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λειτουργούν και με καλοριφέρ.

Ένα γεωθερμικό σύστημα, αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και τη φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου, η οποία αντλεί τη θερμότητα αυτή σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη. Με άλλα λόγια, το σύστημα ΓΑΘ πραγματοποιεί εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και των εσωτερικών χώρων.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα ΓΑΘ δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή θερμότητας. Ένα σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο σύστημα ΓΑΘ λειτουργεί με 30% υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από αυτή του καλύτερου συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες τη μέρα, 365 μέρες το χρόνο. Οι ΓΑΘ αξιοποιούν τις ιδιότητες θερμοεναλλαγής του νερού και την ήπια θερμοκρασία

του εδάφους, η οποία παραμένει σχεδόν σταθερή όλο το χρόνο ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες και παρέχουν αποδοτική θέρμανση, κλιματισμό και ζεστό νερό χρήσης στα κτίρια. Η χρήση ΓΑΘ για θέρμανση και κλιματισμό έχει σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, 30% μικρότερο κόστος λειτουργίας από το καλύτερο αερόψυκτο σύστημα, κόστος συντήρησης μόλις το 1/3 από αυτό ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης – κλιματισμού και σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (25-30 έτη). (Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου, «Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας», 2010)

2.1.5.2 Περιβαλλοντικά οφέλη

Με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, δεν απαιτείται κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Το περιβαλλοντικό όφελος από τη χρήση ΓΑΘ προκύπτει από την εξοικονόμηση ενέργειας και κατ' επέκταση τη μείωση των εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου. Τα γεωθερμικά συστήματα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά συστήματα, με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, νιτρικών οξέων και θείου να βρίσκονται χαμηλότερα επίπεδα (Πίνακας 2.2)

Μορφή Ενέργειας	CO ₂	NO _x	SO _x
Άνθρακας	1042	4.4	11.8
Πετρέλαιο	839	12.4	1.6
Φυσικό αέριο	453	1.4	0.1
Γεωθερμία (μέση τιμή)	95	0.3	0.1

Πίνακας 2.2 : Εκπομπές επιβλαβών αερίων από διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε Kg/kwh παραγόμενης ενέργειας), (Πηγή: Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου)

Για την παραγωγή 10 kWh θέρμανσης μέσω Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας απελευθερώνονται 1,9 kg CO₂, ενώ για να την ίδια ενέργεια με πετρέλαιο απελευθερώνονται 2,9 kg CO₂, (Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου, «Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας», 2010).

2.1.6 Ενέργεια από Βιομάζα

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σήμερα ο όρος βιομάζα συμπεριλαμβάνει όλα τα προϊόντα και υπολείμματα φυτικής ή ζωικής προέλευσης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας, όπως: τα καυσόξυλα, τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (κλαδέματα, άχυρα, πριονίδια, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα ενεργειακά φυτά, τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων και της αγροτικής βιομηχανίας.

Η βιομάζα είναι δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή ηλιακής ενέργειας, αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών και αποτελείται κυρίως από ενώσεις που βασικά στοιχεία έχουν τον άνθρακα και το υδρογόνο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Η αξιοποίηση της δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με CO₂, καθώς βασίζεται στην ανακύκλωση του άνθρακα.

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού) είτε με απ' ευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση) ή βιοχημικών διεργασιών (αλκοολική ζύμωση, αναερόβια χώνευση). Η κατάλληλη διεργασία για βέλτιστη ενεργειακή απόδοση επιλέγεται ανάλογα με την διαθέσιμη πρώτη ύλη, (Ιδρυμα Ενέργειας Κύπρου, «Χρήσεις Βιομάζας Ξυλείας – Εφαρμογές στον οικιακό τομέα», 2010).

2.1.6.1 Μορφές Ενεργειακής Βιομάζας

Η ενεργειακά αξιοποιήσιμη βιομάζα εμφανίζεται με τις εξής μορφές:

- Κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια, σφαγεία.
- Αγροτοβιομηχανικά απόβλητα (απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων όπως ελαιοτριβεία, τυροκομεία κ.α.).
- Αστικά απόβλητα (Οργανικό μέρος αστικών στερεών αποβλήτων και αστικά λύματα).
- Ενεργειακές καλλιέργειες, που αφορά καλλιέργειες φυτών οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα, το καλάμι, γλυκό σόργο, ευκάλυπτος.
- Γεωργικά υπολείμματα, η οποία περιλαμβάνει υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.α.) και επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.α.)
- Βιομάζα δασικής προέλευσης, περιλαμβάνει καυσόξυλα, υπολείμματα καλλιέργειας και καθαρισμών δασών (αραιώσεων, υλοτομιών) και υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου.

(Ιδρυμα Ενέργειας Κύπρου, «Χρήσεις Βιομάζας Ξυλείας – Εφαρμογές στον οικιακό τομέα», 2010).

2.1.6.2 Εφαρμογές Βιομάζας

Σήμερα, οι κύριες εφαρμογές της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι: η θέρμανση θερμοκηπίων, η θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/ κεντρικούς λέβητες, η παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες, και σε βιομηχανίες ξύλου, η τηλεθέρμανση, η παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), η παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο και η παραγωγή βιοκαυσίμων.

Η βιομάζα εκτός από την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή υγρών καυσίμων (τα λεγόμενα βιοκαύσιμα), τα οποία χρησιμοποιούνται τελευταία, στις μεταφορές σε πολλές χώρες της Ευρώπης (Γαλλία, Γερμανία, Σουηδία, Αυστρία, Ιταλία, Δανία κ.α.) στη Βραζιλία, στις ΗΠΑ κι αλλού. Σακχαρούχα φυτά (σόργο, σακχαροκάλαμο, σακχαρότευτλα κ.α.) ή αμυλούχα φυτά (καλαμπόκι κ.α.) και κутταρινούχα φυτά χρησιμοποιούνται για παραγωγή αλκοολούχων καυσίμων (βιοαιθανόλη) με αλκοολική ζύμωση. Η αιθανόλη αποτελεί το πιο διαδεδομένο βιοκαύσιμο, με κόστος που αναμένεται να εξισωθεί με εκείνο της βενζίνης στις προσεχείς δεκαετίες. Είναι καθαρότερο

καύσιμο από τη βενζίνη, με μειωμένες εκπομπές CO₂ , SO₂ , CO και πτητικών υδρογονανθράκων. Γι' αυτό χρησιμοποιείται σε πόλεις με μεγάλη ρύπανση, όπως το Los Angeles, για την κίνηση των αυτοκινήτων. Πρόκειται για τα λεγόμενα οχήματα ευέλικτου καυσίμου (FFV – Flexible Fuel Vehicles), μόνο του ή σε ανάμειξη με βενζίνη. Επίσης, από ελαιούχα φυτά (σόγια, ελαιοκράμβη, ηλίανθος κ.α.), ζωικά λίπη, προϊόντα σφαγίων καθώς και χρησιμοποιημένα λάδια παράγεται βιοντήζελ .

Τα βιοκαύσιμα αυτά, χρησιμοποιούνται σε κινητήρες εσωτερικής καύσεως, χωρίς ή με μικρές τροποποιήσεις. Τα βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αμιγή μορφή ή σε μίγμα με συμβατικά καύσιμα με στόχο την ελάττωση ρύπων από μηχανές εσωτερικής καύσης. Στη Γερμανία, μερικές αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η VW χρησιμοποιούν τα βιοκαύσιμα σε καθαρή μορφή (100%), ενώ έχει τεθεί από την Ε.Ε. ο στόχος, η μίξη να κυμαίνεται από 5 έως 10%. Η χρησιμοποίηση των βιοκαυσίμων στις μεταφορές παρουσιάζει ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των ορυκτών καυσίμων καθώς στην περίπτωση που διαρρεύσουν, βιοδιασπώνται αποφεύγοντας έτσι τη ρύπανση του εδάφους και του νερού (Ε. Ανδρονίκου, 2012).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η βιομάζα ξυλείας θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εάν και εφ' όσον διασφαλίζεται η αντικατάσταση της. Σήμερα, για την αποφυγή αυτού του ζητήματος ήδη κυκλοφορούν στο εμπόριο προϊόντα ξυλείας όπως: μπριγκέτες από πριονίδια, pellets (συσσωματώματα πριονιδιών) τα οποία έχουν και καλύτερη απόδοση από τα καυσόξυλα.

Η παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται σε ανοιχτά τζάκια για μαγείρεμα και για θέρμανση εξακολουθεί να είναι πολύ σημαντική στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω της έλλειψης εναλλακτικών λύσεων. Η καύση ξύλων σε μικρά συστήματα όπως οι ξυλόσομπες ή οι ανοιχτές καμινάδες για θέρμανση έχει μακρά παράδοση. Απόβλητα από επεξεργασία ξύλου σε μορφή συσσωματωμάτων βιομάζας (pellets) ή σε κομματάκια μαλακού ξύλου (chips) χρησιμοποιούνται πλέον σε καινοτόμα συστήματα θέρμανσης.

Η σύγχρονη βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Στερεή βιομάζα, όπως τα υπολείμματα ξύλου, τα απόβλητα από αυλές και το άχυρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καύση σε ειδικά κατασκευασμένους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, ή μαζί με άνθρακα σε υπάρχοντες σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα ως καύσιμο (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας).

Το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων (λύματα από χοιροστάσια, βουστάσια), βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων καθώς και από αστικά οργανικά απορρίμματα. Αποτελείται τυπικά από 65% μεθάνιο και 35% διοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και ως καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης. Ένα κυβικό μέτρο βιοαερίου υποκαθιστά 0,66l ντίζελ ή 0,75l πετρελαίου ή 0,85 κ.

κάρβου. Η διαφορά του βιοαερίου με τα ορυκτά καύσιμα είναι ότι αποτελεί μια «καθαρή» μορφή ενέργειας. Δηλαδή το συνολικό ισοζύγιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγεται κατά την καύση του βιοαερίου είναι ισοδύναμο αυτού που απορροφάται κατά την παραγωγή του, άρα δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα (Σόλων Κασίνης, 2009).

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μία εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επιλύει το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων. Υπολογίζεται ότι 1.000.000 τόνοι απορριμμάτων παρέχουν αρκετό βιοαέριο για την παραγωγή ενός MW ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως για δέκα περίπου χρόνια. Η οικονομικότητα μιας μονάδας βιοαερίου βασίζεται στο γεγονός ότι η πρώτη ύλη έχει μηδενική ή αρνητική αξία ενώ τα προϊόντα της έχουν αδιαμφισβήτητη εμπορική αξία, (Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου, «Χρήσεις Βιομάζας Ξυλείας – Εφαρμογές στον οικιακό τομέα», 2010).

2.1.6.3 Περιβαλλοντικά Οφέλη

Η βιομάζα σε όλες τις εφαρμογές της (παραγωγή ενέργειας, θέρμανση, καύσιμα) συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος και τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων, ανεξάρτητα αν χρησιμοποιούνται απόβλητα ή ειδικές καλλιέργειες. Όμως, η παραγωγή βιοενέργειας πιθανώς να επιφέρει να ορισμένες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η οξύνιση (acidification), ο ευτροφισμός των υδάτων και το νέφος. Η παραγωγή καλλιεργειών για ενέργεια μπορεί κι αυτή να έχει αρνητικές επιπτώσεις εξαιτίας των χρησιμοποιούμενων συμβατικών γεωργικών μεθόδων.

Η χρήση βιομάζας για θέρμανση συμβάλλει στη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Γενικά, η καύση βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο CO₂ και δε συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού θεωρητικά οι ποσότητες του CO₂ που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της. Δεν πρέπει όμως να υποτιμάται το γεγονός ότι οι εκπομπές από την καύση της βιομάζας σε μικρές εφαρμογές μπορεί να επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα μιας κατοικίας και αυτό πρέπει να είναι αντικείμενο συνεχούς προσοχής και επεξεργασίας. Αυτό όμως πρέπει να υπερβληθεί με τη χρήση των ενεργειακά αποδοτικών τζακιών στα οποία επικρατούν συνθήκες καλύτερης καύσης.

Η χρήση βιοαερίου, δηλαδή αερίου από αναερόβιες διαδικασίες χώνευσης και αερίου από χωματερές για την παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλα οφέλη, όχι μόνο για το κλίμα, αλλά και για τους αγρότες, οι οποίοι μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της λάσπης και να μειώσουν τις οσμές (<http://www.climate.wwf.gr>).

2.1.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής (Νάκου Ευτυχία, 2007):

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα. Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών CO₂ και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές ,π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Είναι ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα. Συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Επομένως μπορούν να βοηθήσουν στην ενεργειακή αυτάρκεια και στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι εφαρμογές διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο. Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

Από την άλλη πλευρά, εξαιτίας του μικρού συντελεστή απόδοσης των ΑΠΕ, της τάξης του 30% ή/και χαμηλότερο, απαιτείται μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Για το λόγο αυτό, μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων αλλά χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Εκτός αυτού, η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής που εγκαθίστανται.

2.2 Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών

2.2.1 Γενικά

Στη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών διαπιστώθηκε ευρέως ότι η ανάγκη για αξιόπιστες κι ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με τη γη, την κοινωνία και το περιβάλλον δεν μπορούσαν να ικανοποιηθούν με τους παραδοσιακούς τρόπους συλλογής, καταγραφής, ενημέρωσης και επεξεργασίας πληροφοριών. Έτσι, κυρίως από τις αρχές της δεκαετίας του '80, γνώρισαν εξαιρετικά μεγάλη ανάπτυξη τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), γνωστά ευρέως και ως Geographic Information Systems (G.I.S.).

Οι κυριότεροι λόγοι που την τελευταία εικοσιπενταετία η τεχνολογία των Γ.Σ.Π. γνώρισε ευρεία ανάπτυξη ήταν:

- η μεγάλη ανάπτυξη της πληροφορικής και το διαρκώς μειούμενο κόστος των αντίστοιχων μηχανημάτων και προγραμμάτων
- η βελτίωση των μαθηματικών μεθόδων ανάλυσης, ερμηνείας και πρόβλεψης των συνθηκών του γήινου περιβάλλοντος
- η διαρκώς αυξανόμενη ανησυχία για την περιβαλλοντική υποβάθμιση τόσο σε τοπικό, όσο και σε εθνικό και υπερεθνικό επίπεδο, και
- η αδυναμία επεξεργασίας με παραδοσιακούς τρόπους της πληθώρας στοιχείων και σύνθετων επεξεργασιών που απαιτούνται για τη μελέτη των φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών μεγεθών των σύγχρονων πολύπλοκων προβλημάτων ανάπτυξης (Μανιάτης, 1996).

2.2.2 Ορισμοί και Βασικές Αρχές

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν σαν κυρίαρχο στόχο τον χωρικό σχεδιασμό. Ουσιαστικά χρησιμοποιούνται στην διατύπωση και αξιολόγηση πολιτικών και προγραμμάτων που αναφέρονται στο φυσικό ή περιβαλλοντικό σχεδιασμό, από τοπικό έως εθνικό επίπεδο.

«Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για την συλλογή, αποθήκευση, ανάληψη ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου», (Burrough - McDonnell, 1998).

«Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών συστημάτων (hardware), λογισμικών συστημάτων (software), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού, με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον», (Κουτσόπουλος, 2005α).

Ένα ΓΣΠ έχει τη δυνατότητα να φέρει σε πέρας τις εξής δραστηριότητες:

- Να μπορεί να αποθηκεύει, να διαχειρίζεται και να ενσωματώνει ένα μεγάλο όγκο χωρικών στοιχείων
- Να αποτελεί το πιο κατάλληλο εργαλείο χωρικής ανάλυσης εστιαζόμενο ειδικά στην χωρική διάσταση των στοιχείων

- Να αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό μηχανισμό για την επίλυση χωρικών προβλημάτων μέσα από την οργάνωση, διαχείριση και μετασχηματισμό μεγάλου όγκου στοιχείων με τέτοιο τρόπο που η πληροφορία να είναι προσιτή σε όλους τους χρήστες.

Τέλος όσον αφορά τις βασικές αρχές στις οποίες πρέπει να στηρίζεται ένα ΓΣΠ αυτές είναι:

- Το σύστημα που θα αναπτυχθεί πρέπει να είναι χρήσιμο στους πολιτικούς υπεύθυνους που παίρνουν τις αποφάσεις, δηλαδή στους χρήστες.
- Οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν για την συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων, πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στην τεχνολογία και γενικότερα στην υποδομή που υπάρχει.
- Το επίπεδο απόδοσης του συστήματος και κατ' επέκταση οι δυνατότητες του Η/Υ να είναι σύμφωνα με τις ανάγκες και κυρίως τις οικονομικές δυνατότητες και την τεχνολογία.
- Τέλος οι παραδοχές που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων, πρέπει να αναφέρονται ρητά και κατηγορηματικά σε κάθε επιλογή προγραμμάτων που βασίζονται στις πληροφορίες του ΓΣΠ (*Κουτσόπουλος, 2005β*).

2.2.3 Τα μέρη ενός Γ.Σ.Π

Τα Γ.Σ.Π. έχουν τρία βασικά συστατικά τα οποία βρίσκονται σε συνεχή ισορροπία και αλληλεξάρτηση. Πρόκειται για τα μηχανήματα (hardware), τους αλγόριθμους (software) και τα διαθέσιμα (resources). Τα μηχανήματα και οι αλγόριθμοι έχουν ένα καθορισμένο κύκλο ζωής, επηρεάζονται στενά από τις τεχνολογικές εξελίξεις και αντικαθίστανται συχνά από νεότερα και πιο σύγχρονα προϊόντα (*Κουτσόπουλος, 2005β*).

- **Τα μηχανήματα (hardware)**

Τα μηχανικά μέρη ενός ΓΣΠ είναι τρία: η κεντρική μονάδα (CPU), τα περιφερειακά και το τερματικό (V.D.U.). Κύρια χαρακτηριστικά της κεντρικής μονάδας είναι το λειτουργικό σύστημα, η μνήμη και η ταχύτητα. Τα περιφερειακά διαφοροποιούνται σε περιφερειακά εισόδου, που επιτρέπουν την είσοδο των στοιχείων, σε περιφερειακά εξόδου που συμμετέχουν στην παρουσίαση των στοιχείων και σε περιφερειακά διαχείρισης που βοηθούν στην αποθήκευση και διαχείριση των στοιχείων. Τέλος το τερματικό αποτελεί το μέσο με το οποίο ο χρήστης ελέγχει τον υπολογιστή και τα περιφερειακά.

- **Οι αλγόριθμοι (software)**

Οι αλγόριθμοι σε ένα Γ.Σ.Π., μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε βασικές ομάδες (*Burrough - McDonnell, 1998*):

- a) Λογισμικό Εισαγωγής και Επαλήθευσης Στοιχείων
- b) Λογισμικό Αποθήκευσης και διαχείρισης Στοιχείων
- c) Λογισμικό Μετασχηματισμού Στοιχείων
- d) Λογισμικό Παρουσίασης

e) Λογισμικό Αναζητήσεων

Στις παραπάνω πέντε ομάδες αξίζει να προστεθεί και μια έκτη που αφορά το Λογισμικό Ανάλυσης Χώρου που είναι αναγκαίο για την κάλυψη των αναγκών για εμπειρικές εφαρμογές, που ουσιαστικά αναφέρονται στην ανάλυση χώρου. (Κουτσόπουλος,2005b)

- **Τα διαθέσιμα (resources)**

Το σύνολο των λογισμικών ενός ΓΣΠ καθορίζει πώς τα γεωγραφικά στοιχεία μετατρέπονται σε πληροφορία, αλλά εντούτοις δεν μπορούν να εγγραφούν ότι η όλη διαδικασία είναι η πιο κατάλληλη ή η πλέον αποδοτική.

Για την εξασφάλιση των παραπάνω σημαντικό ρόλο παίζουν οι άνθρωποι, τα στοιχεία και η οργανωτική υποδομή που αποτελούν και τα διαθέσιμα.

2.2.4 Βασικές Διαδικασίες και Στάδια στα Γ.Σ.Π

Οι τρεις βασικές διαδικασίες που συνθέτουν ένα Γ.Σ.Π. και εκτελούνται κατά την εφαρμογή του είναι ο καθορισμός του προβλήματος, η διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία και τα συμπεράσματα. Παρακάτω, περιγράφονται αναλυτικότερα οι βασικές διαδικασίες και τα στάδια ενός Γ.Σ.Π.

- **Καθορισμός Προβλήματος**

Το πρώτο βήμα στη δημιουργία και εφαρμογή ενός Γ.Σ.Π. είναι η αναγνώριση των διαφορετικών στρωμάτων των υπευθύνων των αποφάσεων (decisionmakers) και των χρηστών. Στη συνέχεια εξετάζεται πως αυτές οι αποφάσεις διαμορφώνουν τα χωρικά πρότυπα και τις διαδικασίες που σχετίζονται με το πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί. Ο ακριβής προσδιορισμός του προβλήματος είναι το πιο καθοριστικό βήμα, αφού περιέχει το σκοπό στον οποίο αποβλέπει η μελέτη και οριοθετεί το πρόβλημα προς επίλυση. Επιπλέον, πρέπει να διατυπώνεται αναλυτικά και με σαφήνεια, ώστε να παρέχετε η δυνατότητα εύρεσης της καταλληλότερης τεχνικής για την υλοποίησή του προβλήματος.

- **Διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία**

Το δεύτερο βήμα σε κάθε Γ.Σ.Π. αποτελεί η διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα νευραλγικό κέντρο κάθε Γ.Σ.Π. το οποίο αποτελείται από τέσσερα στάδια:

Στάδιο εισόδου:

Το στάδιο αυτό αφορά την αναγνώριση και συλλογή στοιχείων χωρικών και μη, την κωδικοποίησή τους καθώς και την αποθήκευσή τους.

Στάδιο της διαχείρισης:

Τα χωρικά στοιχεία διαμορφώνονται κατάλληλα, δημιουργείται δηλαδή μια βάση δεδομένων που τα περιέχει. Ειδικότερα στη βάση αυτή καταγράφονται σημαντικές πληροφορίες για κάθε

στοιχείο, όπως η θέση, η τοπολογία και άλλα χαρακτηριστικά του με στόχο την εύκολη ενημέρωση, συντήρηση και ανάκτησή τους.

Στάδιο της Ανάλυσης:

Στο παρόν στάδιο πραγματοποιείται η επεξεργασία των στοιχείων που συλλέχθηκαν στο στάδιο της εισαγωγής των δεδομένων. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να αναφέρεται σε διάφορες θεματικές ενότητες, όπως η Γεωγραφία (Τι υπάρχει στην χωρική ενότητα;), Αναζήτηση βάσει κριτηρίων (Που βρίσκεται;), Τάσεις που επικρατούν (Ποια η μεταβολή;), Μελέτη προτύπων (Από ποια χωρικά πρότυπα χαρακτηρίζεται;) αλλά και Διαδικασίες (Τι θα συνέβαινε αν;).

Στάδιο της παρουσίασης:

Σ' αυτό το στάδιο η πληροφορία που προέκυψε από το στάδιο της Ανάλυσης παρουσιάζεται με μια από τις παρακάτω βασικές μορφές:

- a) Μορφή 1^η: Πίνακες, Αριθμητικές συναρτήσεις, Μέσοι όροι και άλλες μη σχεδιαστικές αποδόσεις.
- b) Μορφή 2^η: Ιστογράμματα, Πολύγωνα συχνότητας και άλλες μορφές γραφημάτων
- c) Μορφή 3^η: Χάρτες

Τα δεδομένα αυτά μπορούν είτε να παρουσιαστούν κατευθείαν στην οθόνη του υπολογιστή είτε να αποθηκευτούν σε δισκέτες και σκληρούς δίσκους είτε τέλος να εκτυπωθούν με τη βοήθεια κάποιου εκτυπωτή.

• Συμπεράσματα

«Στο στάδιο των συμπερασμάτων πρέπει να καθρεπτίζεται η υλοποίηση του στόχου του Γ.Σ.Π και οι εναλλακτικές απόψεις για την επίλυση του προβλήματος».

Όλα τα συμπεράσματα πρέπει να είναι προσεκτικά τεκμηριωμένα με βάση κατάλληλα στοιχεία ή, αν αναφέρονται στην κρίση του μελετητή, πρέπει αυτό να αναφέρεται ρητώς και οι λόγοι να εξηγούνται με σαφήνεια (Κουτσόπουλος, 2005).

2.2.5 Εφαρμογές

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν να συμβάλλουν ως ολοκληρωμένα εργαλεία χωρικής ανάλυσης και σχεδιασμού σε μια πληθώρα επιστημονικών πεδίων όπως:

- **Περιφερειακός Προγραμματισμός – Σχεδιασμός** (Χωρική ανάλυση ανισοτήτων, διαχείριση ολοκληρωμένων αναπτυξιακών προγραμμάτων κ.α.)
- **Αστικός Προγραμματισμός – Σχεδιασμός** (χωρική ανάλυση αστικών περιοχών, δήμων, γειτονιών, κ.α.)
- **Συγκοινωνίες – Μεταφορές** (διαχείριση συστημάτων μεταφορών οδικών, ακτοπλοϊκών κ.α.)
- **Τεχνική υποδομή** (διαχείριση δικτύων ύδρευσης – αποχέτευσης, ενέργειας κ.α.)
- **Περιβάλλον** (διαχείριση οικοσυστημάτων, πολιτικές προστασίας και πρόληψης, κ.α.)
- **Φορολογία** (φορολογία ακίνητης περιουσίας κ.α.)

- **Εκπαίδευση και Υγεία-Πρόνοια** (πολιτική διαχείρισης παροχών εκπαίδευσης, υγείας-πρόνοιας, κ.α.)
- **Πυροσβεστική, Δασική Υπηρεσία, Αστυνομία** (πολιτικές πρόληψης και αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών, κ.α.)
- **Ανάλυση Αγοράς** (ανάλυση καταναλωτικής συμπεριφοράς, κ.α.)
- **Αγορά Εργασίας** (χωρική ανάλυση αγορών εργασίας, σύζευξη προσφοράς-ζήτησης, κ.α.)

(Κουτσόπουλος, 2005α)

2.3 Χωρική Ανάλυση

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής οποιασδήποτε διαδικασίας αποτελεί το σημείο εκκίνησης για μια σειρά από ερωτήσεις που εστιάζονται στην χωρική ανάλυση όπως για παράδειγμα: σημαίνουν τίποτα τα χωρικά πρότυπα που προέκυψαν από την διαχείριση των δεδομένων; είναι «πραγματικά» ή αποτελούν μια τυχαία παρατήρηση; τι μπορεί να τα έχει προκαλέσει; μπορούν αυτά τα πρότυπα να μοντελοποιηθούν και να προβλεφθούν; Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σχεδιαστικούς σκοπούς; Ερωτήσεις, που ουσιαστικά συμπυκνώνονται στις δύο βασικές μορφές της χωρικής ανάλυσης, την ανάλυση των χωρικών προτύπων και των χωρικών σχέσεων.

Η χωρική ανάλυση θεωρείται από πολλούς η καρδιά κάθε ΓΣΠ, αφού εμπεριέχει όλες τις επεξεργασίες και τις μεθόδους που εφαρμόζονται στα γεωγραφικά δεδομένα, ώστε να δημιουργούν πληροφορίες που υποστηρίζουν χωρικές αποφάσεις, αναλύοντας δομές, σχέσεις και διαδικασίες που δεν ήταν εκ των προτέρων αντιληπτές. Με λίγα λόγια η χωρική ανάλυση είναι η διαδικασία μετατροπής δεδομένων σε πολύτιμες πληροφορίες.

Πρέπει να τονιστεί όμως, ότι η ανάλυση δεν είναι μια ανεξάρτητη διαδικασία, αλλά τμήμα μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης και κυρίως δεν είναι μια απλή εφαρμογή συγκεκριμένων λειτουργιών, αλλά μια σειρά από απαραίτητα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν μέσα στο πλαίσιο των Γ.Σ.Π και τα οποία αναφέρονται:

- Στον καθορισμό των αντικειμένων ανάλυσης καθώς και των κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτήν. Για παράδειγμα στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής αντικείμενο ανάλυσης είναι η χωροθέτηση αιολικού πάρκου, ενώ τα κριτήρια που τίθενται να αναφέρονται στις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για τη λειτουργικότητα του και τα οποία εκφράζονται από τον χρήστη ως χωρικές ερωτήσεις.
- Στην προετοιμασία και το διαχωρισμό των στοιχείων που είναι διαθέσιμα στη βάση δεδομένων και θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση (προσθήκη χωρικών και μη στοιχείων ή αφαίρεσή τους).
- Στην εκτέλεση χωρικών πράξεων από τις οποίες υ α προκύψουν οι χωρικές σχέσεις που θα αναλυθούν (επικαλύψεις, επιλογή βάση εγγύτητας, ένωση οντοτήτων κλπ.)
- Στην ποσοτική ανάλυση. Στο προϊόν της γεωγραφικής ανάλυσης, εκτός από την χωρική πληροφορία και τις ιδιότητες της, που ήδη περιέχει, πρέπει να καταχωρηθεί και

πρόσθετη περιγραφική πληροφορία, η οποία θα χρησιμεύσει στην ποσοτική επεξεργασία του αποτελέσματος της ανάλυσης, βάσει κριτηρίων (θέτοντας τις κατάλληλες λογικές ή αριθμητικές ερωτήσεις).

- Στην εκτίμηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Εκτίμηση ως προς την εγκυρότητα τους, ερμηνεία ως προς της αξιοπιστία και την επικύρωση τους. Σε αυτό το στάδιο ο χρήστης καλείται να αποφασίσει εάν θα χρησιμοποιήσει η όχι το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Αν αποφασίσει να μην κρατήσει άλλο μέρος του αποτελέσματος, μπορεί να επαναλάβει κάποιες διαδικασίες τις οποίες κρίνει ότι δεν έδωσαν αποδεκτά αποτελέσματα.

(Κουτσόπουλος - Ανδρουλακάκης,2012)

Η ανάλυση των χωρικών δεδομένων μπορεί να διαχωριστεί σε δυο βασικές κατηγορίες:

- **Ανάλυση εγγύτητας (Proximity Analysis)**

Στο πλαίσιο των Γ.Σ.Π, η ερώτηση «που βρίσκεται κάποια οντότητα;» είναι ιδιαίτερα σημαντική και επομένως αναλύσεις που εστιάζονται στην θέση και το παράγωγο της, την απόσταση, αποτελούν μια βασική ομάδα διαδικασιών σε ένα Γ.Σ.Π. Αυτές οι αναλύσεις ονομάζονται αναλύσεις εγγύτητας και ουσιαστικά αφορούν στη δημιουργία μιας περιφέρειας (ενός νέου πολυγώνου), η οποία ορίζεται με βάση την εγγύτητα του σε μια υπάρχουσα οντότητα (σημείο, γραμμή, πολύγωνο). Από τις αναλύσεις εγγύτητας οι πιο σημαντικές και διαδεδομένες είναι η δημιουργία ζωνών επιρροής (buffer), η εγγύτητα (near) και η απόσταση από σημείο (Pointdistance).

- **Ανάλυση επικάλυψης (overlay)**

Η διαδικασία της επικάλυψης είναι ίσως η πιο θεμελιώδης διαδικασία ανάλυσης σε ένα Γ.Σ.Π και αυτό γιατί η έννοια των θεματικών επιπέδων και της επικάλυψης τους αποτελεί την πεμπουσία των συστημάτων αυτών. Ταυτόχρονα όμως είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία.

Η επικάλυψη είναι δυνατόν να γίνει είτε μεταξύ πολυγωνικών επιπέδων είτε μεταξύ σημειακών ή γραμμικών επιπέδων με πολυγωνικά επίπεδα. Στην πρώτη περίπτωση δημιουργείται ένα νέο πολυγωνικό επίπεδο, ενώ στην δεύτερη το παραγόμενο είναι σημειακό ή γραμμικό. Οι βασικές μέθοδοι για την επικάλυψη πολυγωνικών, γραμμικών και σημειακών δεδομένων είναι η τομή(intersect), η ένωση(union) και η ταυτότητα (identity).

(Κουτσόπουλος - Ανδρουλακάκης,2012)

Επίσης η ανάλυση της επικάλυψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη διαφορετικών θεματικών επιπέδων (raster) μεταξύ τους, καθορίζοντας βάρη στα εισερχόμενα επίπεδα και συνδυάζοντας τα μεταξύ τους παράγοντας ένα ενιαίο επίπεδο(output raster). Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της επικάλυψης διαφορετικών επιπέδων είναι το μοντέλο καταλληλότητας. Η ανάλυση της επικάλυψης βάσει της δημιουργίας μοντέλου καταλληλότητας που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της εφαρμογής που μελετά η συγκεκριμένη διπλωματική, αναλύεται εκτενώς παρακάτω.

2.4 Κατανόηση ανάλυσης επικάλυψης (Μοντέλο Καταλληλότητας)

Η ανάλυση της επικάλυψης στην χωρική ανάλυση είναι ένας συνδυασμός μεθοδολογιών που εφαρμόζονται στην επιλογή βέλτιστης τοποθεσίας ή στα μοντέλα καταλληλότητας. Πρόκειται για μια τεχνική εγκαθίδρυσης μιας κοινής κλίμακας τιμών διαφορετικών και ανόμοιων εισερχόμενων δεδομένων για την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης.

Τα μοντέλα καταλληλότητας έχουν την δυνατότητα να εντοπίζουν τις καλύτερες ή τις προτιμότερες θέσεις για ένα συγκεκριμένο φαινόμενο. Παραδείγματα προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα μοντέλα καταλληλότητας μπορεί να είναι: «Ποιες είναι οι καταλληλότερες θέσεις για να χωροθετηθεί ένα αιολικό πάρκο η οποιαδήποτε άλλη εγκατάσταση;» ή «Που είναι πιο πιθανόν να παρουσιαστεί οικονομική ανάπτυξη;» ή «Ποιες είναι οι πιθανότερες θέσεις που μπορεί να παρουσιαστούν κατολισθήσεις;».

Η ανάλυση της επικάλυψης συχνά απαιτεί την μελέτη πολλών διαφορετικών παραγόντων. Για παράδειγμα, η επιλογή κατάλληλης θέσης για την χωροθέτηση μια νέας κατοικίας μπορεί να περιλαμβάνει παράγοντες όπως το κόστος της γης, την προσβασιμότητα σε υφιστάμενες υπηρεσίες, τις κλίσεις του εδάφους κλπ. Η πληροφορία αυτή όμως υπάρχει σε διαφορετικές μορφές με διαφορετική κλίμακα τιμών: το κόστος μετριέται σε ευρώ, η απόσταση σε μέτρα και οι κλίσεις σε ποσοστά κλπ. Για να μπορούν να συγκριθούν οι διάφοροι αυτοί παράγοντες και να δώσουν ένα λογικό αποτέλεσμα πρέπει να μετατραπούν σε μια κοινή κλίμακα τιμών. (*ESRI, ArcGis Resource Center*)

Επιπρόσθετα, οι παράγοντες της ανάλυσης μπορεί να μην είναι ίδιας σημαντικότητας. Μπορεί για παράδειγμα, το αιολικό δυναμικό να παίζει σημαντικότερο ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης θέσης για εγκατάσταση αιολικού πάρκου, από την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο.

Επίσης μέσα σε ένα θεματικό επίπεδο (raster) πρέπει να ταξινομηθούν οι τιμές βάσει προτεραιότητας ανάλογα με τις προσεγγίσεις και τον σκοπό που θέλει να εξυπηρετήσει το πρόβλημα. Για παράδειγμα κλίσεις εδάφους κάτω από 5% για ένα πρόβλημα μπορεί να θεωρούνται ιδανικές ενώ για ένα άλλο ακατάλληλες.

Η ανάλυση της επικάλυψης περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- **Καθορισμός του προβλήματος**

Ο καθορισμός του προβλήματος είναι ένα από τα δυσκολότερα στάδια της διαδικασίας της μοντελοποίησης. Πρέπει να καθοριστεί ο γενικός στόχος καθώς και όλες οι πτυχές των υπόλοιπων σταδίων της ανάλυσης, που συμβάλλουν στην πραγμάτωση αυτού του στόχου. Επίσης πρέπει να καθοριστούν όλα τα επιμέρους στοιχεία που αφορούν τον στόχο και πως αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

- **Διάσπαση του προβλήματος σε υποστόχους**

Τα περισσότερα προβλήματα της επικάλυψης είναι συνήθως πολύπλοκα και πολλές φορές συνίσταται η διάσπαση τους σε υποστόχους ώστε το πρόβλημα να γίνει πιο κατανοητό και να μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικότερα.

- **Καθορισμός σημαντικών επιπέδων**

Πρέπει να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά και τα επίπεδα που επηρεάζουν κάθε υποστόχο καθώς και οι παράγοντες που τον περιγράφουν. Κάθε παράγοντας συμβάλλει στην κατανόηση κάθε υποστόχου, και κάθε υποστόχος συμβάλλει στην πραγμάτωση του γενικού στόχου.

- **Αναταξινόμηση ή μετατροπή δεδομένων σε ένα ενιαίο επίπεδο**

Τα διαφορετικά συστήματα αρίθμησης δεν είναι δυνατό να συνδυαστούν αποτελεσματικά μεταξύ τους. Για παράδειγμα ο συνδυασμός των κλίσεων του εδάφους (ποσοστά) με το κόστος της γης (ευρώ) θα δημιουργούσε ανυπόστατα αποτελέσματα.

Λόγω αυτών των διαφορετικών τύπων των τιμών (π.χ. ποσοστά, μέτρα, ευρώ) είναι απαραίτητη η δημιουργία μιας ενιαίας κλίμακας ώστε τα επίπεδα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους και να μπορούν επικαλυφθούν. Για παράδειγμα μπορεί να οριστεί μια κλίμακα από το 1 μέχρι το 5 με την υψηλότερη τιμή να είναι η ευνοϊκότερη.

- **Καθορισμός βαρών στα εισερχόμενα επίπεδα**

Κάποιοι παράγοντες μπορεί να είναι πιο σημαντικοί στην επίτευξη του γενικού στόχου από άλλους. Σε αυτή την περίπτωση πριν οι παράγοντες συνδυαστούν μεταξύ τους, καθορίζονται βάρη σε αυτούς ανάλογα με την σημαντικότητά τους. Για παράδειγμα για την επιλογή της κατάλληλης θέσης για χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου, το κατάλληλο αιολικό δυναμικό έχει σημαντικότερη επιρροή από την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο.

- **Πρόσθεση ή συνδυασμός των επιπέδων**

Στην ανάλυση της επικάλυψης είναι σκόπιμο να δημιουργηθεί μια συσχέτιση όλων των εισερχόμενων παραγόντων ώστε να προσδιοριστούν οι κατάλληλες θέσεις που εξυπηρετούν τον στόχο του προβλήματος. Στην σταθμισμένη επικάλυψη (weighted overlay), αφού προσδιοριστούν τα βάρη για κάθε παράγοντα τα σταθμισμένα επίπεδα συνδυάζονται μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα νέο ενιαίο σταθμισμένο μοντέλο. Σε αυτή την συνδυαστική προσέγγιση γίνεται δεκτό ότι όσο ευνοϊκότεροι είναι οι παράγοντες, τόσο πιο επιθυμητή θα είναι η αντίστοιχη θέση.

Με την συνδυαστική προσέγγιση της ασαφούς λογικής (fuzzylogic), διερευνάται η δυνατότητα συμμετοχής μιας θέσης σε πολλαπλά σύνολα. Οι συνδυαστικές αυτές προσεγγίσεις της σταθμισμένης επικάλυψης και της ασαφούς λογικής αναλύονται σε παρακάτω υποκεφάλαια.

- **Ανάλυση**

Το τελικό βήμα της διαδικασίας μοντελοποίησης είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Εξετάζεται εάν οι πιθανές θέσεις που έχουν επιλεγεί πληρούν τα κριτήρια που τέθηκαν. Μπορεί να είναι πλεονεκτικότερο να μην διερευνηθεί μόνο η καταλληλότερη θέση που

επιλέχθηκε από το μοντέλο, αλλά να διερευνηθούν και οι υπόλοιπες επιλογές. (ESRI, ArcGisResource Center)

2.4.1 Σταθμισμένη Επικάλυψη (weighted overlay)

Η διαδικασία της σταθμισμένης επικάλυψης είναι μια από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις της ανάλυσης της επικάλυψης για την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων. Στην σταθμισμένη επικάλυψη ακολουθούνται τα επτά βήματα της γενικής ανάλυσης της επικάλυψης που περιγράφηκαν παραπάνω. Έτσι πρέπει αρχικά να καθοριστεί το γενικό πρόβλημα, να διαιρεθεί σε επιμέρους στόχους και να γίνει ο προσδιορισμός των εισερχόμενων επιπέδων (raster).

Δεδομένου ότι τα κριτήρια των εισερχόμενων επιπέδων αντιστοιχούν σε διαφορετικά συστήματα αρίθμησης με διαφορετικές κλίμακες, για να μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους σε μια ενιαία ανάλυση, κάθε κελί για κάθε κριτήριο πρέπει να αναταξινομείται (reclassify), σε μια κοινή κλίμακα προτίμησης. Για παράδειγμα σε μια κλίμακα από το 1 μέχρι το 5, με το 5 να αποτελεί την ευνοϊκότερη τιμή. Οι τιμές της κλίμακας σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους, π. χ. σε μια κλίμακα από το 1 μέχρι το 10, η τιμή 10 είναι δυο φορές προτιμότερη από την τιμή 5.

Αντίστοιχα, πρέπει να ορίζονται όλες οι κλίμακες μέσα σε κάθε εισερχόμενο επίπεδο (raster), ώστε να έχουν την ίδια σημασία. Για παράδειγμα σε ένα πρόβλημα επιλογής κατάλληλης θέσης για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, ευνοϊκότερες κλίσεις εδάφους είναι αυτές που είναι μικρότερες από 5% και έτσι παίρνουν την υψηλότερη τιμή (5). Αντίστοιχα, εάν οι ευνοϊκότερες τιμές της ταχύτητας των ανέμων είναι μεγαλύτερες των 7m/s, πρέπει να αποδίδονται στην κοινή κλίμακα με την υψηλότερη τιμή (5), ώστε το αποτέλεσμα της επικάλυψης να είναι λογικό.

Ακολούθως, κάθε ένα από τα εισερχόμενα κριτήρια μπορεί να μην είναι ίδιας σημαντικότητας. Έτσι τα σημαντικότερα κριτήρια πρέπει να σταθμιστούν με μεγαλύτερο βάρος από τα υπόλοιπα. Ακολούθως τα κριτήρια εισόδου πολλαπλασιάζονται με τα βάρη και στην συνέχεια αθροίζονται μεταξύ τους.

Στο τελευταίο στάδιο της επικάλυψης αξιολογείται εάν τα αποτελέσματα είναι σωστά και ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα (ESRI, ArcGis Resource Center).

2.4.1.1 Χρήση του εργαλείου της σταθμισμένης επικάλυψης

Το εργαλείο αυτό δίνει την δυνατότητα πολλά από τα βήματα της γενικής λειτουργίας της επικάλυψης να εφαρμοστούν ταυτόχρονα σε ένα μόνο βήμα. Έτσι το εργαλείο αυτό συνδυάζει τα ακόλουθα βήματα:

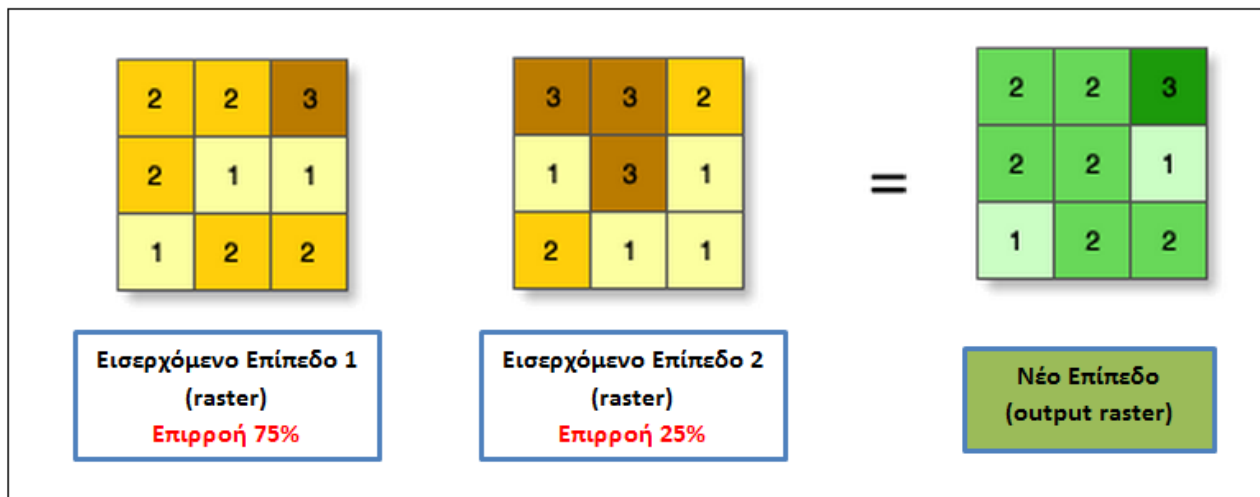
- Αναταξινομεί τις τιμές στα εισερχόμενα επίπεδα (raster) σε μια κοινή κλίμακα αξιολόγησης καταλληλότητας/προτίμησης.
- Κάθε εισερχόμενο επίπεδο σταθμίζεται βάσει της σημαντικότητας του. Το βάρος είναι σχετικό ποσοστό και το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου πρέπει να ισούται με 100.

- Πολλαπλασιάζει τα κελιά των τιμών κάθε εισερχόμενου επιπέδου (raster) με τα βάρη που καθορίστηκαν.
- Προσθέτει τις τιμές των παραγόμενων κελιών δημιουργώντας ένα νέο ενιαίο επίπεδο. Αλλάζοντας την κλίμακα αξιολόγησης ή τα ποσοστά των βαρών, τότε αλλάζει και το αποτέλεσμα της επικάλυψης.

Το εργαλείο δέχεται μόνο ακέραιες τιμές στα εισερχόμενα επίπεδα (raster), έτσι όλα τα επίπεδα πριν εισαχθούν σε αυτό, πρέπει να αναταξινομηθούν σε ακέραιους αριθμούς. Αυτή η αναταξινόμηση μπορεί να γίνει με το εργαλείο reclassify.

Πολύ σημαντικό είναι επίσης, το γεγονός η κλίμακα των τιμών που ορίζεται σε κάθε επίπεδο να είναι πλήρως κατανοητή. Εάν η σταθμισμένη επικάλυψη χρησιμοποιείται σε ένα μοντέλο καταλληλότητας (εντοπισμός κατάλληλων περιοχών), οι υψηλότερες τιμές υποδεικνύουν γενικότερα ότι η περιοχή είναι καταλληλότερη.

Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται μια εικαστική προσομοίωση των διαδικασιών που εκτελούνται στο εργαλείο της σταθμισμένης επικάλυψης (weighted overlay). Τα δυο εισερχόμενα επίπεδα (raster) της εικόνας 2.2 έχουν αναταξινομηθεί σε μια κοινή κλίμακα μέτρησης από το 1 μέχρι το 3. Σε κάθε επίπεδο (raster) καθορίζεται το βάρος. Για το πρώτο αντιστοιχεί επιρροή 75% ενώ για το δεύτερο 25%. Οι τιμές των κελιών κάθε επιπέδου πολλαπλασιάζονται με το αντίστοιχο βάρος του επιπέδου και τα αποτελέσματα αθροίζονται ώστε να δημιουργήσουν το νέο επίπεδο (output raster). Για παράδειγμα στο πάνω αριστερά κελί της εικόνας 2.2 γίνονται οι ακόλουθες πράξεις: $(2 * 0.75) = 1.5$ για το πρώτο επίπεδο, και $(3 * 0.25) = 0.75$ για το δεύτερο επίπεδο. Το άθροισμα τους είναι ίσο με 2.25 και λόγω του ότι τιμή στο νέο επίπεδο πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός, η τελική τιμή στρογγυλοποιείται στον κοντινότερο ακέραιο. Έτσι ως τελική τιμή στο νέο επίπεδο καθορίζεται η τιμή 2.



Εικόνα 2.2: Διαδικασίες κατά την εκτέλεση της σταθμισμένης επικάλυψης (weighted overlay) (Πηγή: ESRI, ArcGis Resource Center)

2.5 Λογική της Ασάφειας (Fuzzy logic)

2.5.1 Γενικά

Ο Jan Lukasiewicz υπήρξε ο πρώτος που συστηματοποίησε την έννοια της ασαφούς λογικής, διατυπώνοντας μια πρώιμη ιδέα ασαφών συνόλων, στα οποία, εκτός των δύο τιμών της κλασικής λογικής (αληθές-ψευδές), προσέθεσε και την κατά ήμισυ αληθή και κατά ήμισυ ψευδή τιμή. Η ασαφής λογική (fuzzy logic) είναι μια επέκταση της κλασικής αριστοτέλειας λογικής. Μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής «με κάποιο βαθμό αληθείας», και όχι απλά αληθής ή ψευδής. Η ιδέα αυτή απετέλεσε επανάσταση στη θεωρία της λογικής, γιατί ξέφυγε από το μοντέλο που κυριαρχούσε εδώ και 2500 χρόνια, δηλαδή το μοντέλο του «0-1», «αληθές-ψευδές» (Zadeh, 1975).

Τα ασαφή συστήματα μπορούν να λειτουργούν σε περιβάλλον ασάφειας και αβεβαιότητας και δίνουν αποτελέσματα που πλησιάζουν την ανθρώπινη λογική. Είναι ιδανικό εργαλείο για την λήψη αποφάσεων. Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της ασαφούς λογικής είναι ότι μπορεί και λειτουργεί, αλλά και αναλύει, συστήματα τα οποία είναι αρκετά πολύπλοκα.

2.5.2 Εφαρμογή ασαφούς λογικής στην λειτουργία της επικάλυψης

Η λογική της ασάφειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια τεχνική της λειτουργίας της επικάλυψης, για την επίλυση παραδοσιακών εφαρμογών, όπως των χωροθετήσεων και των μοντέλων καταλληλότητας.

Η βασική αρχή της ασαφούς λογικής στηρίζεται στην ύπαρξη ανακριβειών στα χαρακτηριστικά και στην γεωμετρία των χωρικών δεδομένων. Η λογική της ασάφειας παρέχει τεχνικές για την αντιμετώπιση και των δύο τύπων ανακρίβειας αλλά δεδομένου ότι συσχετίζεται με την λειτουργία της επικάλυψης, επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση των ανακριβειών στα χαρακτηριστικά των χωρικών δεδομένων. Οι δύο κύριες περιοχές όπου προκύπτουν ανακρίβειες στα χαρακτηριστικά των δεδομένων είναι στον ορισμό των κλάσεων και στην μέτρηση του φαινομένου. Και οι δυο αυτές πηγές των ανακριβειών, και ειδικότερα ο ορισμός των κλάσεων μπορούν να προκαλέσουν ανακρίβειες στον προσδιορισμό των κελιών σε συγκεκριμένες τάξεις.

Ο ορισμός των κλάσεων σε μια ταξινόμηση και η ασάφεια στον προσδιορισμό των φαινομένων σε τάξεις μπορεί να επηρεάσουν την λήψη αποφάσεων. Το εργαλείο Fuzzy Overlay του Spatial Analyst μπορεί να βοηθήσει σε καλύτερη λήψη αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις ασάφειες. Η λογική της ασάφειας επικεντρώνεται στην μοντελοποίηση των ανακριβειών στα όρια των κλάσεων.

Η λειτουργία της σταθμισμένης επικάλυψης (weighted overlay), βασίζεται σε καθαρά σύνολα, όπου το κάθε κελί βρίσκεται εντός μιας συγκεκριμένης κλάσης ή όχι. Αντίθετα, η λογική της ασάφειας ασχολείται με ειδικές καταστάσεις όπου τα όρια μεταξύ των κλάσεων δεν είναι ορισμένα με σαφήνεια. Η λογική της ασάφειας δεν ασχολείται με τον αν ένα κελί βρίσκεται εντός ή εκτός μια τάξης, αλλά καθορίζει πόσο πιθανό είναι ένα φαινόμενο να αποτελεί μέρος

ενός συνόλου ή μιας τάξης. Βασίζεται στην λογική του καθορισμού συνόλων, ως εκ τούτου δεν ορίζονται πιθανότητες, αλλά δυνατότητες. Για παράδειγμα στο μοντέλο εύρεσης των κατάλληλων θέσεων για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου που εξετάζει η συγκεκριμένη διπλωματική, αν οι κλίσεις του εδάφους είναι ένα από τα εισερχόμενα κριτήρια, κάθε τιμή της θα μετατραπεί ή θα αποδοθεί σε μια τιμή μεταξύ 0 και 1. Οι τιμές αυτές αντικατοπτρίζουν την δυνατότητα για το αν η τιμές (ή κλάσεις) των κλίσεων αποτελούν μέλος του συνόλου καταλληλότητας για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου. Η τιμή 1 δηλώνει πλήρη βεβαιότητα ότι η τιμή ανήκει στο σύνολο καταλληλότητας και η τιμή 0 βεβαιώνει πλήρως, ότι η τιμή δεν ανήκει στο σύνολο. Όλες οι άλλες τιμές αντιστοιχούν σε κάποιο ενδιάμεσο επίπεδο δυνατότητας με τις υψηλότερες τιμές (κοντά στο 1) να δηλώνουν μεγαλύτερη πιθανότητα συμμετοχής.

Η διαδικασία μετατροπής των αρχικών τιμών εισόδου στην κλίμακα δυνατότητας ένταξης 0 -1 ονομάζεται ασαφοποίηση (fuzzyfication). Κάθε κριτήριο του μοντέλου (π.χ. προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο), ασαφοποιείται, μετατρέποντας τα δεδομένα του στη κλίμακα δυνατότητας συμμετοχής 0-1 με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership. Για τον προσδιορισμό των θέσεων που ανταποκρίνονται καλύτερα όλα τα κριτήρια, (υψηλή πιθανότητα συμμετοχής σε όλα τα σύνολα) χρησιμοποιείται το εργαλείο fuzzy overlay. Κατά τον συνδυασμό πολλαπλών κριτηρίων το εργαλείο fuzzy overlay διερευνά την πιθανότητα κάθε κελί να αποτελεί μέλος κάθε συνόλου που ορίζεται από πολλαπλά κριτήρια (*ESRI, ArcGis Resource Center*).

Ως εκ τούτου, τα δυο κύρια βήματα στην λογική της ασάφειας κατά την λειτουργία της επικάλυψης είναι:

- Η ασαφοποίηση των κριτηρίων (fuzzy membership)
- Λειτουργία της επικάλυψης με την λογική της ασάφειας (fuzzy overlay)

Αυτά τα δύο βήματα αντιστοιχούν στην αναταξινόμηση (reclassify), και στην σταθμισμένη επικάλυψη (weighted overlay).

Πολλές φορές η ταξινόμηση, αν κάτι δηλαδή ανήκει σε μια κλάση η όχι, δεν είναι ξεκάθαρο αλλά υποκειμενικό. Στην ανθρώπινη γλώσσα αυτές οι ασάφειες επεξηγούνται με “τροποποιητικές λέξεις” όπως για παράδειγμα πολύ, λίγο, μέτρια. Η λογική της ασάφειας εκτελεί την λειτουργία της επικάλυψης παρόμοια με την ανθρώπινη σκέψη. Η λογική της ασάφειας δεν αναλύει την αβεβαιότητα των δεδομένων, αλλά διερευνά την ασάφεια στα όρια των κλάσεων.

Οι ενότητες που ακολουθούν διερευνούν θέματα που αφορούν την ταξινόμηση των δεδομένων, την διαδικασία ασαφοποίησης των κριτηρίων (fuzzy membership) και της επικάλυψης (fuzzy overlay). Επίσης αναλύεται η σύγκριση της λογικής της ασάφειας με την σταθμισμένη επικάλυψη (weighted overlay) και πως η λογική της ασάφειας ενσωματώνεται στην γενική διαδικασία της επικάλυψης.

2.5.3 Ταξινόμηση των δεδομένων και λογική της ασάφειας

Για να περιγραφούν τα φαινόμενα ή για να μπουν σε μια λογική σειρά, ταξινομούνται γενικότερα σε κλάσεις. Ο τύπος του εδάφους, οι χρήσεις γης, οι δρόμοι, η βλάστηση είναι όλα

παραδείγματα διαφορετικών κλάσεων. Στα εύθραυστα σύνολα (crisp sets), η ιδιότητα της συσχέτισης είναι δυαδική και το φαινόμενο είναι μέσα στην τάξη είτε όχι. Τα όρια των κλάσεων είναι συνήθως πολύ λεπτά, και λόγω των διφορούμενων κανόνων κατηγοριοποίησης είναι πολύ δύσκολο να καθοριστούν ξεκάθαρα.

Για την καλύτερη κατανόηση τίθεται ως παράδειγμα η συσχέτιση των υψών μιας ομάδας ανθρώπων. Αρχικά καθορίζονται τρεις τάξεις ανάλογα με το ανάστημα : χαμηλό, μέτριο, υψηλό. Ακολούθως ορίζονται τα όρια των τάξεων, με χαμηλό ανάστημα να αντιστοιχούν ύψη χαμηλότερα του 1.5μ. , και υψηλού αναστήματος, ύψη πάνω του 1.8μ. Μέτριου αναστήματος θεωρούνται τα ενδιάμεσα ύψη . Εάν για παράδειγμα ένας άνθρωπος έχει ύψος 1.5μ. συγκαταλέγεται στη κατηγορία χαμηλού αναστήματος ενώ εάν είναι 1.51, μόλις ένα εκατοστό διαφορά, συγκαταλέγεται στην κατηγορία του μέτριου αναστήματος. Έτσι, λόγω αυτής της τραχύτητας των ταξινομήσεων, η πλήρης συσχέτιση μεταξύ των υψών είναι πολύ δύσκολο να καθορισθεί. Για καλύτερη κατανόηση, μπορεί να δημιουργηθούν περισσότερες από τρεις τάξεις ώστε το πρόβλημα να προσεγγιστεί καλύτερα. Όμως δεν υπάρχει σημασία το πόσες τάξεις θα καθοριστούν αφού ακόμα υπάρχει μια σχετική γενίκευση της σχέσης του ύψους μεταξύ των ανθρώπων. Υπάρχουν κάποια φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν να ταξινομηθούν σε αυστηρά καθορισμένες τάξεις (ESRI, ArcGis Resource Center).

Διαφαίνεται λοιπόν ότι η οριοθέτηση των κλάσεων είναι υποκειμενική και μπορεί να αλλάξει τον ορισμό του φαινομένου. Όσον αφορά το παραπάνω παράδειγμα με τα ύψη, επιλέχθηκαν και άντρες και γυναίκες για τον καθορισμό των κλάσεων. Ο καθορισμός των ορίων των κλάσεων θα άλλαζε ένα για παράδειγμα επιλέγονταν μόνο γυναίκες. Ο ορισμός των τάξεων και τα χαρακτηριστικά του φαινομένου ορίζουν την μοντελοποίηση του προβλήματος. Επίσης οι μετρήσεις των σφαλμάτων συνθέτουν το πρόβλημα της ταξινόμησης.

Τα μοντέλα ασαφούς λογικής καθορίζουν την αβεβαιότητα στην διαδικασία της ταξινόμησης όπου οι κλάσεις ορίζονται ως σύνολα. Πρέπει να υπάρχει μια κατανόηση για το ποια είναι η ιδανική τιμή για ένταξη στο σύνολο, για παράδειγμα, ποια είναι η ιδανική τιμή της κλίσης του εδάφους σε ένα πρόβλημα χωροθέτησης αιολικών πάρκων. Όσο οι τιμές μετακινούνται από την ιδανική τιμή, το επίπεδο της σαφήνειας μειώνεται έως ένα ορισμένο σημείο που είναι ξεκάθαρο ότι η τιμή δεν αποτελεί μέρος του συνόλου (πχ. πολύ απότομη κλίση για να εγκατασταθεί αιολικό πάρκο).

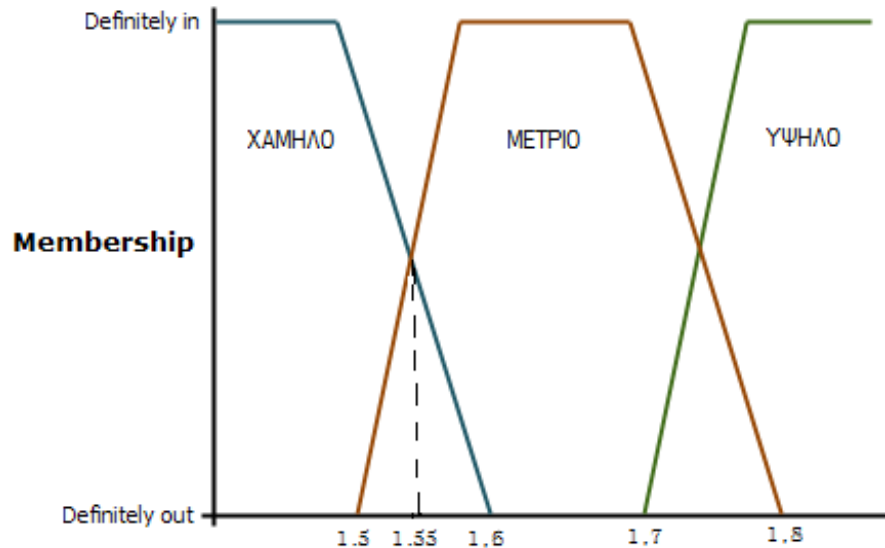
Όσον αφορά το παράδειγμα με τα ύψη οι τρεις κλάσεις αναστήματος χαμηλό, μέτριο , υψηλό μπορούν να αποκαλυφθούν ως εξής:

Πλήρης συμμετοχή σε κάθε κατηγορία:

- Χαμηλό ανάστημα: <1.5 μέτρα
- Μέτριο ανάστημα: 1.6 μέτρα – 1.7 μέτρα
- Υψηλό ανάστημα: <1.8 μέτρα

Για την κλάση του χαμηλού αναστήματος οποιαδήποτε τιμή μικρότερη και ίση του 1.5 μ. συμπεριλαμβάνεται στο σύνολο και αποδίδεται με την λογική της ασάφειας στην κλίμακα 0-1

ως 1. Οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του 1.5μ. και μικρότερη των 1.6μ. είναι μεταξύ των κλάσεων χαμηλού και μέτριου αναστήματος. Οποιοδήποτε ύψος μεταξύ 1.5μ. και 1.55μ είναι πιο πιθανό να ενταχθεί στην κατηγορία χαμηλού αναστήματος. Ύψη μεγαλύτερα από 1.55μ. και μικρότερα ή ίσα από 1.6μ. εντάσσονται πιθανώς στην κλάση χαμηλού αναστήματος, αλλά έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ενταχθούν στην κατηγορία του μέτριου αναστήματος. Τιμές από 1.6μ. μέχρι 1.7μ. εντάσσονται πλήρως στην κλάση του μέτριου αναστήματος ενώ ύψη πάνω από 1.8μ. εντάσσονται πλήρως στην κλάση του υψηλού αναστήματος (Εικόνα 2.3)



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα συμμετοχής τιμής στην κάθε τάξη (Πηγή: ESRI, ArcGis Resource Center)

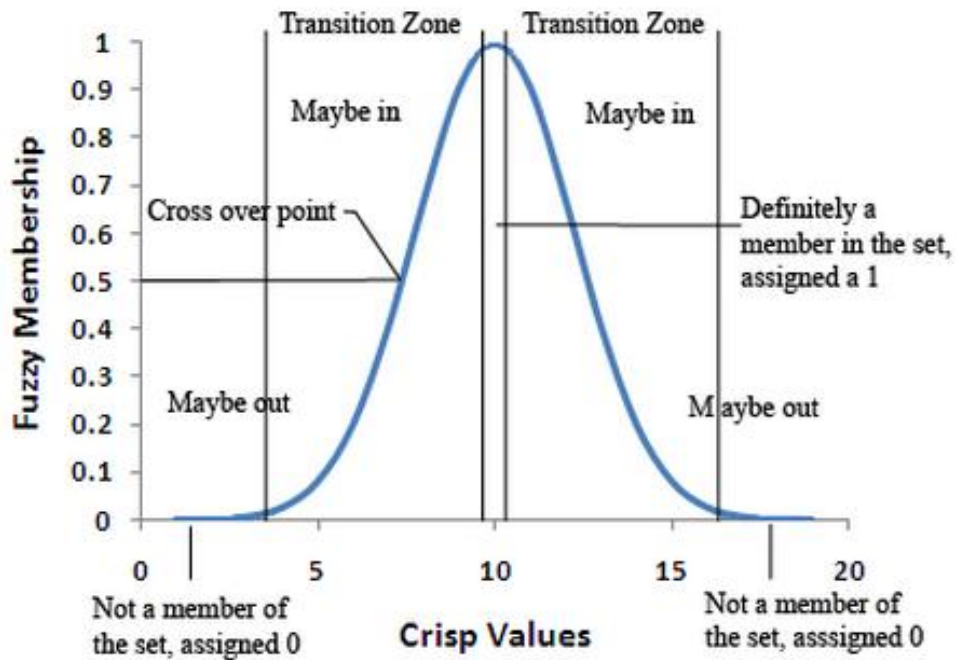
Η διαδικασία της ασαφοποίησης υλοποιείται συνήθως μέσω προκαθορισμένων λειτουργιών με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership.

2.5.4 Λειτουργία του εργαλείου fuzzy membership

Η διαδικασία της ασαφοποίησης (fuzzification) χαρακτηρίζει την ανακρίβεια των τάξεων για φαινόμενα τα οποία δεν έχουν αισθητά καθορισμένα όρια. Η διαδικασία αυτή μετατρέπει τις αρχικές τιμές του φαινομένου στην δυνατότητα εάν αυτές ανήκουν σε ένα καθορισμένο σύνολο. Οι αρχικές τιμές του φαινομένου αναταξινομούνται με την διαδικασία αυτή μέσω προκαθορισμένων ασαφών συναρτήσεων μετασχηματισμού, ή μέσω οποιονδήποτε άλλων τεχνικών αναταξινόμησης.

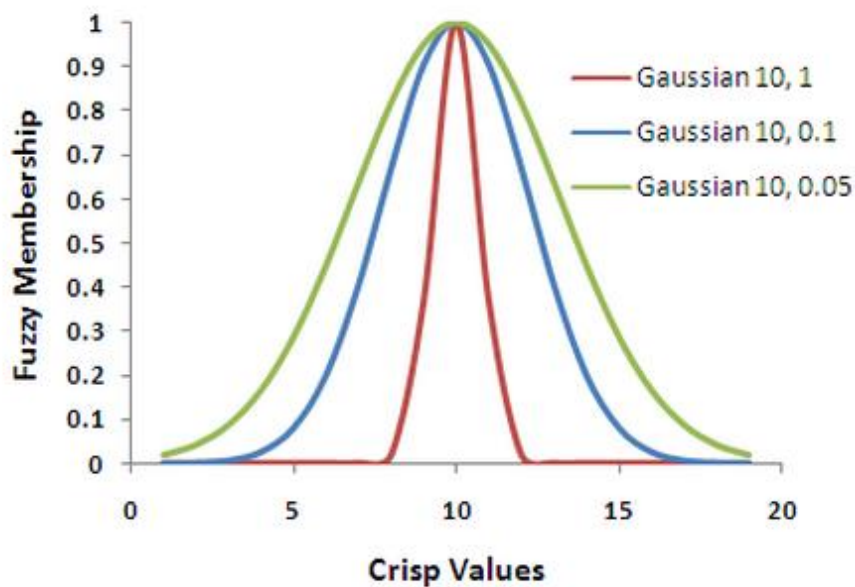
Κατά την διαδικασία της ασαφοποίησης, ορίζεται η ιδανική τιμή της ένταξης σε ένα σύνολο. Κάθε τιμή του φαινομένου που βρίσκεται στο κέντρο του πυρήνα του ορισμού του συνόλου θα παίρνει τιμή ίση με 1. Οι τιμές που σίγουρα δεν συμμετέχουν στο σύνολο θα παίρνουν τιμή ίση με μηδέν. Οι τιμές που βρίσκονται μεταξύ των δύο άκρων ανήκουν στην μεταβατική ζώνη (transition zone) του συνόλου. Όσο αυτές οι τιμές απομακρύνονται από την ιδανική τιμή ή το κέντρο του συνόλου παίρνουν τιμές οι οποίες μειώνονται με μια συνεχή κλίμακα από το 1 ως το 0. Όσο οι προσδιορισμένες τιμές μειώνονται, η αρχική τιμή του φαινομένου έχει μικρότερη πιθανότητα να αποτελεί μέρος του συνόλου. Κατά την διαδικασία της ασαφοποίησης το σημείο 0.5 αποτελεί το σημείο διασταύρωσης. Κάθε ασαφής τιμή που είναι μεγαλύτερη από 0.5

συνεπάγεται ότι η αρχική τιμή του φαινομένου μπορεί να συμμετέχει στο σύνολο. Όσο οι τιμές ασάφειας είναι κάτω από σημείο διασταύρωσης είναι λιγότερο πιθανό η αρχική τιμή του φαινομένου να συμμετέχει στο σύνολο (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Διάγραμμα λειτουργίας fuzzy membership (Πηγή: ESRI, ArcGIS Resource Center)

Το εύρος της ζώνης μετάβασης εξαρτάται από την μοντελοποίηση του φαινομένου, δηλαδή: τι είναι γνωστό για το φαινόμενο, για τον ορισμό του συνόλου και για την ακρίβεια των μετρήσεων. Με την μεταβολή των παραμέτρων της ασαφοποίησης, αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά της ζώνης μετάβασης. Για παράδειγμα, στην εικόνα 2.5 η κατανομή του Gauss παρουσιάζεται με τρεις διαφορετικές καμπύλες που προκύπτουν από την αλλαγή των παραμέτρων της συνάρτησης.



Fuzzy membership function altered by parameter values

Εικόνα 2.5: Διαφορετικές ζώνες μετάβασης στην κατανομή του Gauss (Πηγή: ESRI, ArcGis Resource Center)

2.5.5 Συναρτήσεις Μετασχηματισμού του εργαλείου Fuzzy membership

Οι συναρτήσεις μετασχηματισμού του εργαλείου fuzzy membership χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της μετατροπής των εισερχόμενων τιμών σε νέες τιμές που βασίζονται σε μια συγκεκριμένη λειτουργία. Η διαδικασία της μετατροπής δημιουργεί την ασαφή συσχέτιση για κάθε εισερχόμενη τιμή. Οι μετασχηματισμένες τιμές κυμαίνονται από 0 μέχρι 1, ορίζοντας την δυνατότητα συμμετοχής σε μια συγκεκριμένη τάξη ή σύνολο, με την τιμή 1 να δηλώνει την απόλυτη ένταξη στο σύνολο.

Κάθε συνάρτηση μετασχηματισμού ορίζει μια συνεχόμενη λειτουργία και κάθε λειτουργία συλλαμβάνει ένα διαφορετικό τύπο μετασχηματισμού για να επιτευχτεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, μια λειτουργία είναι καταλληλότερη όταν οι κοντινές τιμές σε μια καθορισμένη τιμή έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να αποτελούν μέρος ενός συνόλου, ενώ μια άλλη λειτουργία μπορεί να είναι καταλληλότερη όταν οι υψηλότερες τιμές είναι πιθανότερο να αποτελούν μέρος ενός συνόλου.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy Gaussian**

Η συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy Gaussian μετατρέπει τις αρχικές τιμές σε μια κανονική κατανομή. Το μέσο σημείο της κανονικής κατανομής καθορίζει την ιδανική τιμή του συνόλου και παίρνει τιμή ίση με 1, ενώ οι υπόλοιπες εισερχόμενες τιμές μειώνουν την πιθανότητα συμμετοχής τους στο σύνολο όσο απομακρύνονται από το μέσο σημείο, τόσο προς την θετική όσο και προς την αρνητική κατεύθυνση. Οι εισερχόμενες τιμές μειώνουν την πιθανότητα συμμετοχής στο σύνολο μέχρι να φτάσουν σε ένα πολύ απομακρυσμένο σημείο από το μέσο του συνόλου, όπου τότε οι τιμές αυτές δεν αποτελούν σίγουρα μέλος του συνόλου και λαμβάνουν τιμή ίση με μηδέν.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyLarge**

Η συγκεκριμένη συνάρτηση μετασχηματισμού, χρησιμοποιείται όταν οι μεγαλύτερες τιμές είναι πιθανότερο να συμμετέχουν σε ένα σύνολο. Το καθορισμένο μέσο σημείο προσδιορίζει το σημείο διασταύρωσης (0.5) , όπου οι τιμές που είναι μεγαλύτερες του μέσου σημείου έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ανήκουν στο σύνολο, ενώ οι τιμές κάτω του μέσου σημείου έχουν μειωμένη πιθανότητα συμμετοχής.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Large**

Αυτή η συνάρτηση μετασχηματισμού έχει παρόμοια λειτουργία με την συνάρτηση FuzzyLarge, εξαιρώντας τον ορισμό της λειτουργίας, ο οποίος καθορίζεται βάση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Γενικότερα η διαφορά των δυο αυτών συναρτήσεων είναι ότι η FuzzyMSLarge εφαρμόζεται καλύτερα αν οι πολύ μεγάλες τιμές είναι πιο πιθανό να αποτελούν μέλος του συνόλου. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως παρόμοιο με την κατανομή FuzzyLarge.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyNear**

Η συγκεκριμένη συνάρτηση μετασχηματισμού χρησιμοποιείται εάν η συμμετοχή στο σύνολο είναι κοντά σε μια ορισμένη τιμή. Η συνάρτηση ορίζεται από ένα μέσο σημείο στο κέντρο του συνόλου, στο οποίο συνεπάγεται πλήρης συμμετοχή, και παίρνει τιμές ίσες με 1. Όσο οι τιμές απομακρύνονται από το μέσο σημείο είτε προς την θετική, είτε προς την αρνητική κατεύθυνση, η πιθανότητα συμμετοχής μειώνεται μέχρι φτάσει στην τιμή 0 (Δεν συμμετέχει στο σύνολο).

Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι παρόμοια με την συνάρτηση μετασχηματισμού του Gauss, ανάλογα με τις καθοριζόμενες παραμέτρους. Η συνάρτηση FuzzyNear μειώνεται με ταχύτερο ρυθμό, με μια πιο στενή εξάπλωση από την συνάρτηση μετασχηματισμού του Gauss και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται όταν οι τιμές που βρίσκονται πολύ κοντά στο μέσο σημείο είναι πιθανότερο να συμμετέχουν στο σύνολο.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall**

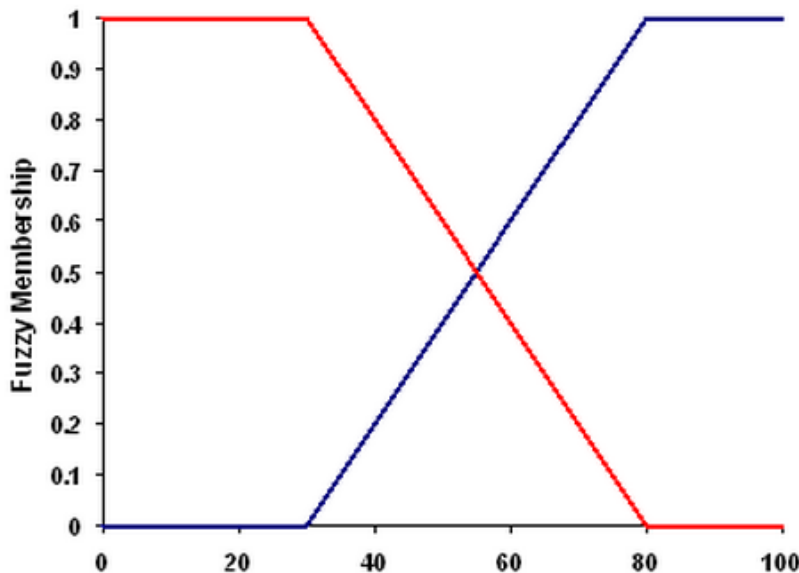
Η συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall, χρησιμοποιείται όταν οι μικρότερες εισερχόμενες τιμές είναι πιθανότερο να συμμετέχουν στο σύνολο. Το καθορισμένο μέσο σημείο προσδιορίζει το σημείο διασταύρωσης (0.5), με τις τιμές που είναι μεγαλύτερες από το μέσο σημείο να έχουν μικρότερη πιθανότητα συμμετοχής, ενώ οι τιμές που βρίσκονται κάτω του μέσου σημείου, μεγαλύτερη.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Small**

Η συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyMSSmall έχει παρόμοια λειτουργία με την συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall, εξαιρώντας τον ορισμό της λειτουργίας, ο οποίος καθορίζεται βάσει της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Γενικότερα η διαφορά των δυο αυτών συναρτήσεων είναι ότι η FuzzyMSSmall εφαρμόζεται καλύτερα αν οι πολύ μικρές τιμές είναι πιο πιθανό να συμμετέχουν στο σύνολο. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως παρόμοιο με την κατανομή FuzzySmall.

- **Συνάρτηση μετασχηματισμού Linear**

Η συνάρτηση μετασχηματισμού Linear, εφαρμόζει μια γραμμική συνάρτηση ανάμεσα στην ελάχιστη και μέγιστη τιμή που καθορίζεται από τον χρήστη. Ότιδήποτε κάτω από την ελάχιστη τιμή αποδίδεται με 0 (σίγουρα δεν συμμετέχει στο σύνολο) και οτιδήποτε πάνω από την μέγιστη τιμή αποδίδεται με 1 (εντάσσεται σίγουρα στο σύνολο). Στην εικόνα 2.6 που ακολουθεί η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει μια θετική γραμμική κλίση μετασχηματισμού, με ελάχιστη τιμή το 30 και μέγιστη το 80. Οποιαδήποτε τιμή μικρότερη του 30 θα αποδίδεται με 0 και οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του 80 θα αποδίδεται με 1. Η γραμμική κλίση μετασχηματισμού μπορεί να είναι και αρνητική εάν η ελάχιστη τιμή είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη. Η κόκκινη γραμμή της εικόνας αποτελεί μια αρνητική γραμμική κλίση μετασχηματισμού, με τις τιμές κάτω από 30 να αποδίδονται με 1 και τις τιμές πάνω από 80 να αποδίδονται με 0. Εκεί που η κλίση της γραμμής αυξάνεται η μειώνεται καθορίζεται η ζώνη μετάβασης (περιοχές μεταξύ 30 και 80).



Εικόνα 2.6: Παραλλαγές της γραμμικής συνάρτησης μετασχηματισμού (Πηγή: ESRI, ArcGis Resource Center)

Στα πλαίσια της εφαρμογής που μελετά η συγκεκριμένη διπλωματική κατά την ασαφοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων και της μετατροπής τους στην κλίμακα 0-1, χρησιμοποιήθηκε η γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού.

2.6 Μεθόδους και Τεχνικές

2.6.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση είναι μια μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για να χειριστεί την πολλαπλή διάσταση των φυσικών και κοινωνικοοικονομικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν τα χωρικά και τα φυσικά συστήματα. Όπως και άλλα εργαλεία, η πολυκριτηριακή ανάλυση καλείται να συμβάλει στην εκτίμηση πολιτικών και στη λήψη αποφάσεων. Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη περίπτωση ανάλυσης, όπου χρησιμοποιούνται συνήθως τεχνικές επικάλυψης (overlay) μεταξύ πολλαπλών επιπέδων για την ανεύρεση της κοινής περιοχής που ορίζουν τα

κριτήρια, ή της περιοχής που αποκλείουν τα κριτήρια (η αναζήτηση της λύσης γίνεται με σταδιακό χαρτογραφικό «φιλτράρισμα» βάσει των επιθεμάτων για να βρεθεί η περιοχή που ικανοποιεί όλα τα επιθυμητά κριτήρια) (Αραβώσης - Κούγκολος, 2003).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση, η οποία είναι κλάδος της επιστήμης της επιχειρησιακής έρευνας, είναι μια ποσοτική μέθοδος αξιολόγησης πολλαπλών και αντικρουόμενων κριτηρίων κατά τη λήψη αποφάσεων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση προϋποθέτει αφενός τη διατύπωση όλων των κριτηρίων που σχετίζονται με τη λήψη της απόφασης με ποσοτικούς όρους και αφετέρου την ενσωμάτωσή τους σε μια ενιαία αριθμητική έκφραση, η οποία ονομάζεται συνάρτηση καταλληλότητας. Η πρώτη προϋπόθεση είναι δύσκολο να υλοποιηθεί όταν τα κριτήρια είναι υποκειμενικά ή δεν μπορούν παρά να βαθμονομηθούν με ποιοτικούς όρους (π.χ. η αισθητική του τοπίου).

Παράλληλα, η δεύτερη προϋπόθεση ενέχει τον κίνδυνο υποτίμησης ή υπερτίμησης ορισμένων κριτηρίων σε σχέση με τα υπόλοιπα, με αποτέλεσμα τη διατύπωση μεροληπτικών συναρτήσεων χρησιμότητας. Παρόλο που στη βιβλιογραφία προτείνεται ένα μεγάλο πλήθος τεχνικών αντιμετώπισης των παραπάνω προβλημάτων, η εξάλειψη της μεροληψίας κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης δεν μπορεί να επιτευχθεί *ολοκληρωτικά* (Hadjibiros et al., 2005).

Κατά την πολυκριτηριακή ανάλυση είναι δυνατός ο καθορισμός βαρών στα κριτήρια ανάλογα με την σημαντικότητα που έχουν στο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται. Επειδή όμως ο καθορισμός των βαρών, βασίζεται στην σχετική σημαντικότητα των επιλεγμένων κριτηρίων από διάφορους παράγοντες, πρέπει να υπάρχει ομοφωνία σχετικά με το πώς *καθορίζονται* (JeffryD. Harrison, 2012). Μια από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους καθορισμού βαρών στα κριτήρια είναι η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process-AHP), όπως αυτή αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty.

2.6.2 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης – Analytic Hierarchy Process (AHP)

Η θεωρία της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης, που αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty στο Wharton School of Business στο τέλος της δεκαετίας του 1970, αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους ανάλυσης αποφάσεων. Σε αυτό έχουν συντελέσει τόσο οι απλές και σαφείς μαθηματικές ιδιότητες της μεθόδου και η ευκολία στην εισαγωγή των δεδομένων, όσο και τα αποτελέσματα των εφαρμογών της (JeffryD. Harrison, 2012).

2.6.2.1 Μεθοδολογία

Η διαδικασία της AHP οργανώνει συστηματικά τα συστατικά στοιχεία ενός προβλήματος απόφασης σε μία ιεραρχική δομή που ξεκινάει από το στόχο και κατεβαίνει προς τα κριτήρια, τα υποκριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις σε διαδοχικά επίπεδα (ThomasL. Saaty, 1990).

Στο μοντέλο μπορούν επίσης να περιληφθούν στοιχεία αβεβαιότητας και άλλοι σημαντικοί παράγοντες για την απόφαση. Η μέθοδος δίνει επίσης τη δυνατότητα για ένα συστηματικό

τρόπο υπολογισμού των προτεραιοτήτων ή των βαρών του κάθε στοιχείου, αντί της αυθαίρετης εισαγωγής τους (*E. Forman – M.A. Selly, 2001*).

Η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης έχει τρεις βασικές αρχές. Η πρώτη αρχή είναι η ανάλυση του αρχικού σύνθετου προβλήματος στα επιμέρους στοιχεία του και η ιεράρχησή τους σε επίπεδα. Η συγκριτική αξιολόγηση αποτελεί τη δεύτερη αρχή, που εφαρμόζεται με τη διεξαγωγή κατά ζεύγη συγκρίσεων όλων των στοιχείων ενός επιπέδου της ιεραρχίας σε σχέση με τα στοιχεία του ανώτερου επιπέδου (γονικά στοιχεία). Από τις συγκρίσεις προκύπτουν οι τοπικές προτεραιότητες των στοιχείων απόφασης κάθε επιπέδου.

Τέλος, η τρίτη αρχή είναι η ιεραρχική σύνθεση των προτεραιοτήτων. Η εφαρμογή της συνίσταται στον πολλαπλασιασμό των τοπικών προτεραιοτήτων των στοιχείων ενός επιπέδου με τη συνολική προτεραιότητα του γονικού στοιχείου, ώστε τελικά να προκύψουν οι συνολικές προτεραιότητες των εναλλακτικών επιλογών του προβλήματος (*E. Forman – M.A. Selly, 2001*).

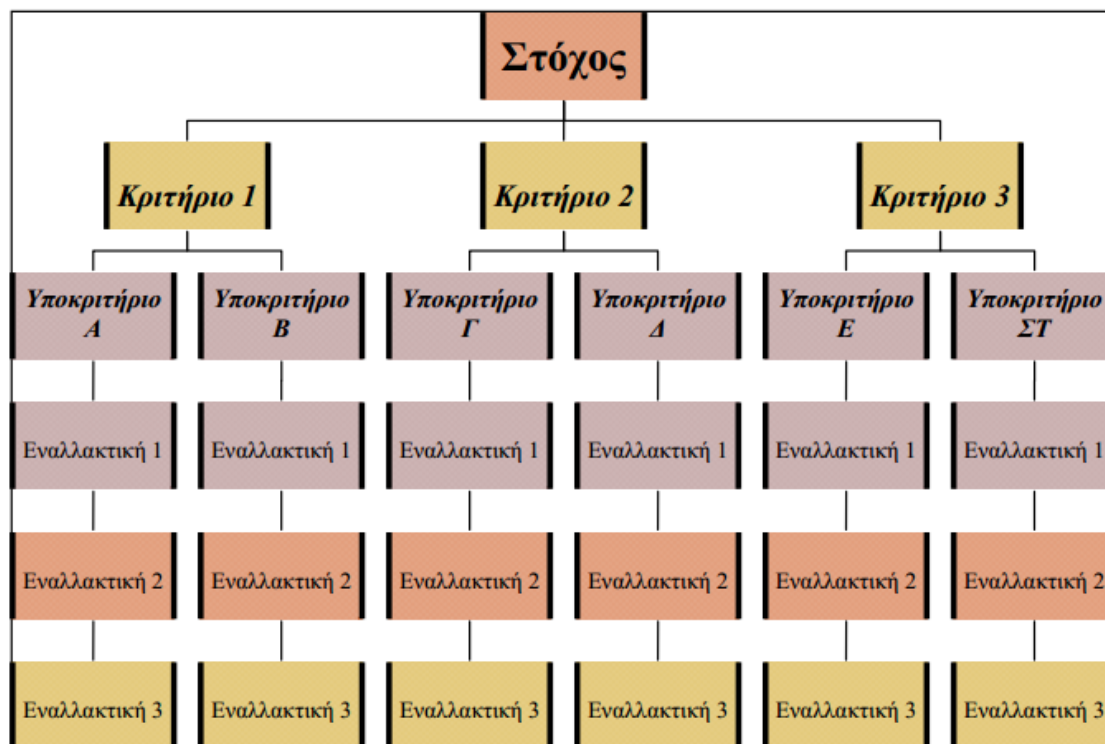
Γενικά, τα βήματα που ακολουθούνται στη μεθοδολογία της διαδικασίας της αναλυτικής ιεράρχησης θα μπορούσαν να συνοψισθούν στα εξής:

- **Βήμα 1:** Ανάλυση του προβλήματος στα συστατικά του στοιχεία και καθορισμός της ιεραρχικής δομής.
- **Βήμα 2:** Εισαγωγή των προτιμήσεων του αποφασίζοντα σε πίνακες κατά ζεύγη συγκρίσεων για κάθε επίπεδο της ιεραρχίας.
- **Βήμα 3:** Υπολογισμός των βαρών ή προτεραιοτήτων όλων των στοιχείων του προβλήματος.
- **Βήμα 4:** Σύνθεση του τελικού αποτελέσματος και επιλογή της καλύτερης δυνατής εναλλακτικής λύσης

2.6.2.2 Ιεραρχία

Ο γενικός στόχος του προβλήματος αποτελεί το υψηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας. Στη συνέχεια αναλύεται σε επιμέρους υποστόχους – κριτήρια, η ικανοποίηση των οποίων ικανοποιεί και τον απώτερο στόχο. Στοιχεία με πιο συνολικό χαρακτήρα τοποθετούνται στα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχικής δομής, ενώ πιο εξειδικευμένα στοιχεία εκπροσωπούνται στα κατώτερα επίπεδα. Στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται οι εναλλακτικές επιλογές του προβλήματος.

Στο διάγραμμα 2.2 παρουσιάζεται μία ενδεικτική μορφή ιεράρχησης. Ο ορθός καταμερισμός των στοιχείων απόφασης στα επίπεδα της ιεραρχίας είναι απαραίτητος ώστε να έχει νόημα η σύγκριση κατά ζεύγη των στοιχείων του ίδιου επιπέδου (*ThomasL. Saaty, 1990*).



Διάγραμμα 2.2: Ενδεικτική Μορφή Ιεράρχησης

Σύμφωνα με τον Thomas Saaty, η δομή της ιεραρχίας θα πρέπει (Thomas L. Saaty, 1990):

- Να αντιπροσωπεύει το πρόβλημα όσο το δυνατόν περισσότερο
- Να λαμβάνει υπ' όψη το εξωτερικό περιβάλλον
- Να εντοπίζει στοιχεία που συμβάλλουν στην επίλυση του προβλήματος
- Να περιλαμβάνει όλους τους συμμετέχοντες στο πρόβλημα

2.6.2.3 Συγκρίσεις κατά ζεύγη

Ένα βασικό πρόβλημα στη θεωρία λήψης απόφασης είναι ο επιμερισμός των βαρών σε ένα σύνολο εναλλακτικών αναφορικά με τη σημαντικότητά τους, η οποία κρίνεται με βάση κάποια κριτήρια. Η ιεραρχική δομή της AHP και η διαδικασία των κατά ζεύγη συγκρίσεων απαντούν στα παραπάνω θέματα. Μια σημαντική συμβολή της ιεράρχησης είναι ότι επιτρέπει την εστίαση στη σύγκριση κάθε ζεύγους στοιχείων ξεχωριστά, γεγονός που οδηγεί στη λήψη ασφαλέστερων αποφάσεων (Thomas L. Saaty, 1990).

Τα στοιχεία κάθε επιπέδου της ιεραρχίας συγκρίνονται κατά ζεύγη μεταξύ τους ως προς το βαθμό προτίμησης σε σχέση με τα γονικά τους στοιχεία. Για παράδειγμα, οι τρεις εναλλακτικές της ιεράρχησης του διαγράμματος 2.2, συγκρίνονται ανά δύο με γνώμονα την καλύτερη ικανοποίηση των έξι υποκριτηρίων. Στη συνέχεια, τα υποκριτήρια A και B συγκρίνονται ως προς την ικανοποίηση του κριτηρίου 1, τα Γ και Δ ως προς την ικανοποίηση του κριτηρίου 2 και τα E και ΣΤ ως προς την ικανοποίηση του κριτηρίου 3. Τέλος, τα τρία κριτήρια 1, 2, 3 συγκρίνονται κατά ζεύγη ως προς την σημαντικότητα τους στην ικανοποίηση του συνολικού στόχου.

Δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό πίνακες σύγκρισης ζευγών, τόσοι όσα και τα στοιχεία του προβλήματος, εκτός των εναλλακτικών. Ο πίνακας 2.3 παρουσιάζει έναν ενδεικτικό πίνακα, όπου συγκρίνονται ανά δύο τα κριτήρια της ιεραρχικής δομής του διαγράμματος 2.2 ως προς την ικανοποίηση του απώτερου στόχου

Στόχος	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2	Κριτήριο 3
Κριτήριο 1	α_{11}	α_{12}	α_{13}
Κριτήριο 2	α_{21}	α_{22}	α_{23}
Κριτήριο 3	α_{31}	α_{33}	α_{33}

Πίνακας 2.3: Ενδεικτικός πίνακας σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη

Η τυπική ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί για τη συμπλήρωση του πίνακα είναι ποια από τα δύο κριτήρια i, j είναι σημαντικότερο για την ικανοποίηση του στόχου και πόσο σημαντικότερο είναι (Thomas L. Saaty, 1977). Τα στοιχεία a_{ij} του πίνακα δηλώνουν την προτίμηση του κριτηρίου i έναντι του κριτηρίου j και πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζουν πόσες φορές πιο σημαντικό είναι το ένα κριτήριο από το άλλο.

Για κάθε πίνακα κατά ζεύγη συγκρίσεων ισχύει $a_{ii}=1$, αφού αναφέρεται σε σύγκριση του κριτηρίου i με τον εαυτό του. Επίσης, αν το κριτήριο i είναι σημαντικότερο από το j τότε $a_{ij}>1$ ενώ αν το j είναι σημαντικότερο το i , τότε $a_{ij}<1$. Τέλος, για κάθε $i \neq j$, ισχύει $a_{ij}=1/a_{ji}$.

2.6.2.4 Κλίμακα

Στην AHP δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην αριθμητική κλίμακα που χρησιμοποιείται κατά την εισαγωγή των δεδομένων στη σύγκριση κατά ζεύγη και στη σωστή εξαγωγή των προτεραιοτήτων από αυτή τη διαδικασία (Thomas L. Saaty, 1990).

Με δεδομένο το ότι οι άνθρωποι είναι σε θέση να πραγματοποιούν καλύτερα σχετικές και όχι απόλυτες συγκρίσεις, η κλίμακα που προτείνει ο Saaty, όπου υπάρχει αντιστοίχιση μεταξύ ενός συνόλου λεκτικών διαβαθμίσεων και μιας αριθμητικής κλίμακας, επιτρέπει την εξαγωγή των προτεραιοτήτων μέσα από μια διαδικασία λεκτικών συγκρίσεων (E. Forman – M.A. Selly, 2001).

Στον πίνακα 2.4 απεικονίζεται η εννιαβάθμια κλίμακα που έχει προταθεί από τον Thomas Saaty:

Αριθμική Κλίμακα	Ορισμός	Επεξήγηση
1	Όμοια σημαντικότητα	Τα δύο στοιχεία συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο
3	Ασθενής σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Η εμπειρία και η αξιολόγηση κλίνουν ελαφρά υπέρ του ενός στοιχείου
5	Δυνατή σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Η εμπειρία και η αξιολόγηση κλίνουν έντονα υπέρ του ενός στοιχείου
7	Πολύ δυνατή σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Το ένα στοιχείο αποδεικνύεται πρακτικά σημαντικότερο του άλλου
9	Απόλυτη σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Όλα τα στοιχεία επιβεβαιώνουν σε απόλυτο βαθμό την υπεροχή του ενός στοιχείου
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές μεταξύ δύο διαδοχικών επιπέδων	Όταν απαιτείται συμβιβασμός

Πίνακας 2.4: Κλίμακα Saaty και η περιγραφή της

2.6.2.5 Υπολογισμός Προτεραιοτήτων

Σε αυτό το στάδιο υπολογίζονται για κάθε κόμβο της ιεραρχικής δομής οι σχετικές προτεραιότητες (w) σε σχέση με το γονικό στοιχείο. Για παράδειγμα, για τον πίνακα συγκρίσεων 2.3, θα υπολογιστούν τα σχετικά βάρη w_1, w_2, w_3 που εκφράζουν τη συμμετοχή κάθε κριτηρίου στην ικανοποίηση του στόχου.

- **Η προσέγγιση του Saaty**

Έστω ότι ο αποφασίζων γνωρίζει τα βάρη w_1, w_2, \dots, w_n των κόμβων A_1, A_2, \dots, A_n . Τότε ο πίνακας σύγκρισης ανά ζεύγη θα ήταν ο εξής:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Ενώ το διάνυσμα των βαρών σε διάταξη στήλης θα ήταν το:

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Για τον πίνακα A ισχύει $Aw=nw$, όπου n είναι το πλήθος των συγκρινόμενων κόμβων. Σύμφωνα με τη γραμμική άλγεβρα, το n αποτελεί τη μέγιστη ιδιοτιμή (eigenvalue) του πίνακα A και το w το αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα (eigenvector).

Επίσης, κάθε πίνακας $A=(a_{ij})$, όπου $a_{ij}=w_i/w_j$ για κάθε $i, j=1, \dots, n$ θεωρείται συνεπής όταν ισχύει $a_{jk} = a_{ik} / a_{ij}$, για κάθε $i, j, k=1, \dots, n$.

Ο παραπάνω πίνακας A, όπου όλα τα βάρη είναι γνωστά, ικανοποιεί το κριτήριο της συνέπειας. Όμως στην πραγματικότητα ο αποφασίζων δεν είναι σε θέση να γνωρίζει ακριβώς τα βάρη w_1, w_2, \dots, w_n , παρά μόνο εκτιμήσεις αυτών.

Επομένως, ο πίνακας A δεν είναι απόλυτα συνεπής και σύμφωνα με τη θεωρία των ιδιοτιμών (eigenvalue theory), η εκτίμηση του διανύσματος των βαρών δίνεται από τη σχέση $Aw'=\lambda_{max}w'$, όπου λ_{max} είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του ασυνεπούς πίνακα A. Το διάνυσμα w' αποτελεί προσέγγιση του πραγματικού διανύσματος βαρών w, ενώ αποδεικνύεται ότι $\lambda_{max}>n$ (ThomasL. Saaty, 1990).

2.6.2.6 Υπολογισμός του διανύσματος βαρών w'

Ο υπολογισμός του ιδιοδιανύσματος w' που αντιπροσωπεύει τα βάρη που αντιστοιχούν στον ασυνεπή πίνακα A ακολουθεί την εξής διαδικασία :

Βήμα 1: Κανονικοποίηση του πίνακα A, με τη διαίρεση κάθε στοιχείου του προς το άθροισμα των στοιχείων της στήλης όπου βρίσκεται.

Βήμα 2: Υπολογισμός του βάρους w_i , για κάθε $i=1, \dots, n$, ως του μέσου όρου των κανονικοποιημένων τιμών της γραμμής i, για κάθε $i=1, \dots, n$, του πίνακα A.

2.6.2.7 Συνέπεια

Ένα από τα πιο βολικά σημεία της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης είναι ότι επιτρέπει την αποδοχή ελαφρώς ασυνεπών συγκρίσεων κατά ζεύγη (ThomasL. Saaty, 1977).

Η ασυνέπεια σε έναν πίνακα συγκρίσεων μπορεί να αποδοθεί από την τιμή $\lambda_{max}-n$, που εκτιμά την απόκλιση των συγκρίσεων από τη συνεπή προσέγγιση (ThomasL. Saaty, 1990). Η μέγιστη ιδιοτιμή του ασυνεπούς πίνακα A υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το άθροισμα των στοιχείων του πίνακα A με την σχετική βαρύτητα του αντίστοιχου κριτηρίου w_i . Στο γεγονός αυτό βασίζεται ο υπολογισμός του δείκτη συνέπειας CI (consistency index), που προκύπτει από τη σχέση:

$$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1) \quad (2.4)$$

Στη συνέχεια ο λόγος συνέπειας CR (consistency ratio) δίνεται από το λόγο του CI προς τον τυχαίο δείκτη συνέπειας RCI δηλαδή ισχύει:

$$CR=(CI/RCI)*100 \quad (2.5)$$

Οι τιμές του RCI προκύπτουν από τις μέσες τιμές του CI για τυχαίους πίνακες και απεικονίζονται στον πίνακα 2.5 (E. Triantafyllou – S.H. Mann, 1994).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RCI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Πίνακας 2.5: Τιμές δείκτη RCI

Αν η τιμή του CR είναι μικρότερη από 10% τότε η εκτίμηση του w από το w' γίνεται αποδεκτή. Σε διαφορετική περίπτωση επιχειρείται βελτίωση της συνέπειας.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Γενικό Περίγραμμα Μεθοδολογίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην εξεύρεση περιοχών οι οποίες είναι κατάλληλες για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από απλά και δυναμικά κριτήρια. Η εξεύρεση των καταλληλότερων περιοχών και η αξιολόγηση της καταλληλότητας τους αποτελεί και τον στόχο της εφαρμογής.

Κατά το πρώτο στάδιο της εφαρμογής γίνεται ο καθορισμός των απλών κριτηρίων τα οποία καθορίζονται βάση της νομοθεσίας και του σκοπού που εξυπηρετεί η μελέτη ώστε να εξευρεθούν οι περιοχές στις οποίες επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικού πάρκου. Ακολούθως στο δεύτερο στάδιο γίνεται η αξιολόγηση των τελικών προτεινόμενων περιοχών του πρώτου σταδίου βάση των δυναμικών κριτηρίων που έχουν οριστεί. Τα δυναμικά κριτήρια επιλέχθηκαν κυρίως για να εξυπηρετήσουν οικονομικούς και λειτουργικούς σκοπούς και η επιρροή που έχουν στην καταλληλότητα μιας συγκεκριμένης περιοχής αλλάζει σε σχέση με άλλα κριτήρια, αναλόγως με την με την σημαντικότητα της επιρροής (βάρος) κάθε κριτηρίου.

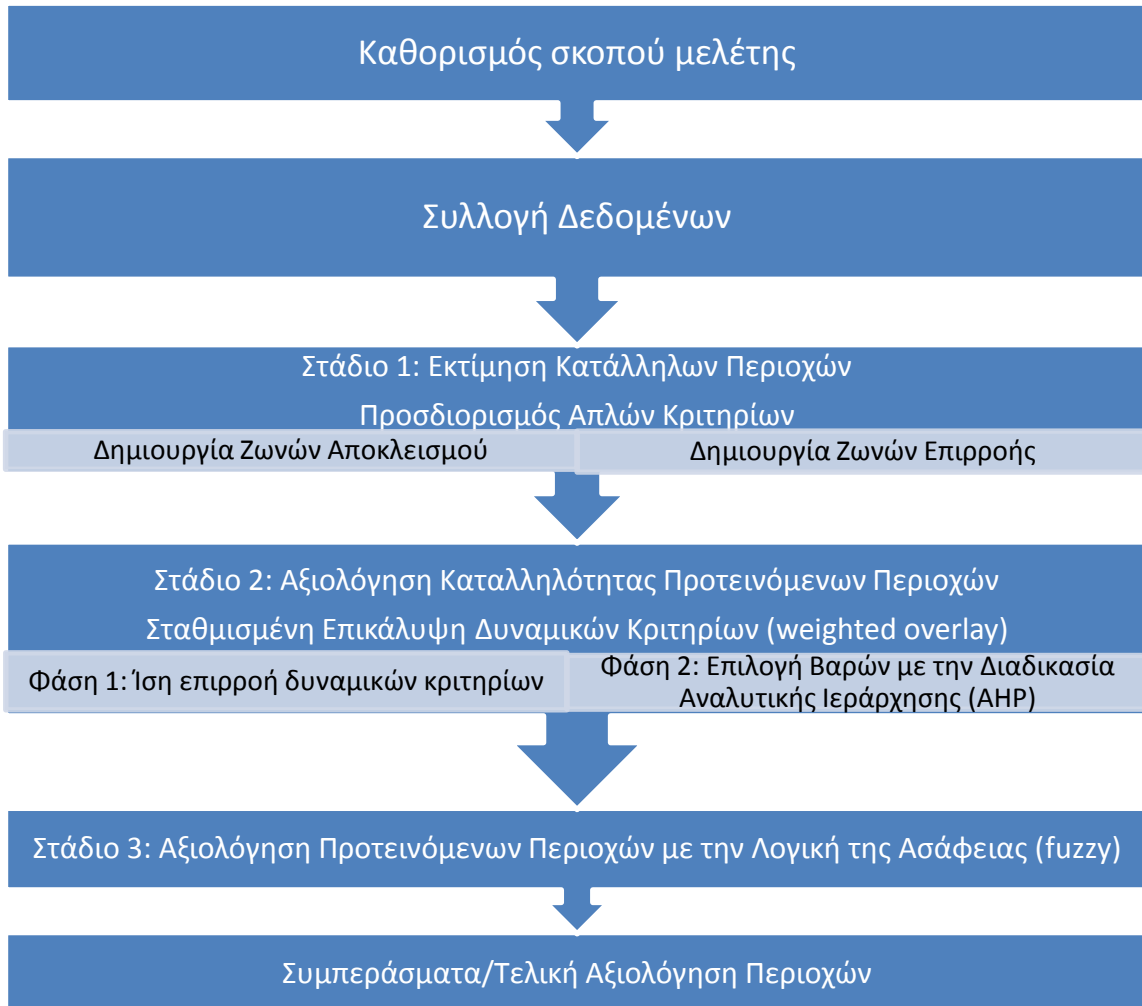
Τα δυναμικά αυτά κριτήρια μετατρέπονται αρχικά σε μια ενιαία κλίμακα βαθμολόγησης ώστε στην συνέχεια να μπορούν να επικαλυφθούν με την χρήση του εργαλείου weighted overlay (σταθμισμένη επικάλυψη) του Spatial Analyst, με τον καθορισμό του βαθμού επιρροής (βάρος) που έχει το κάθε ένα από αυτά στην τελική αξιολόγηση της κάθε περιοχής.

Σε πρώτη φάση η επικάλυψη γίνεται θεωρώντας ότι όλα τα δυναμικά κριτήρια έχουν ίδια επιρροή (βάρος) στην τελική αξιολόγηση ενώ σε δεύτερη φάση υπολογίζονται τα βάρη των δυναμικών κριτηρίων βάσει της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης (AHP).

Στη τρίτο στάδιο της εφαρμογής, τα δυναμικά κριτήρια αξιολογούνται εφαρμόζοντας την λογική της ασάφειας και γίνεται εκ νέου καθορισμός της καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών.

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα και να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα, για το ποιες είναι οι βέλτιστες περιοχές εγκατάστασης αιολικού πάρκου δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες καταλληλότητας: χαμηλής, μέτριας, υψηλής και για τις τρεις διαδικασίες.

Το γενικό περίγραμμα της μεθοδολογίας με τα επιμέρους στάδια της διαδικασίας παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.1



Διάγραμμα 3.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο μελέτης

3.2 Στάδιο 1: Εκτίμηση Κατάλληλων Περιοχών

Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής γίνεται ο καθορισμός των απλών κριτηρίων ώστε να εκτιμηθούν οι κατάλληλες περιοχές. Τα κριτήρια διαχωρίζονται σε πέντε βασικές κατηγορίες:

- Περιβαλλοντικά
- Οικιστικά
- Δικτύων Υποδομών
- Πολιτιστικά
- Λειτουργικά/Οικονομικά

Έτσι, πριν απαντηθεί το ερώτημα για το ποιες είναι οι καταλληλότερες θέσεις για την εγκατάσταση των αιολικών πάρκων, είναι ιδανικότερο να διερευνηθούν ποιες θέσεις αποκλείονται από την διαδικασία είτε για πρακτικούς λόγους, είτε για λόγους ασφαλείας. Δημιουργούνται για αυτό τον λόγο ζώνες αποκλεισμού που εξυπηρετούν κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες. Για περιβαλλοντικούς σκοπούς, δημιουργήθηκαν ζώνες αποκλεισμού από προστατευόμενες περιοχές που είναι ενταγμένες στο δίκτυο Natura 2000, από λίμνες και

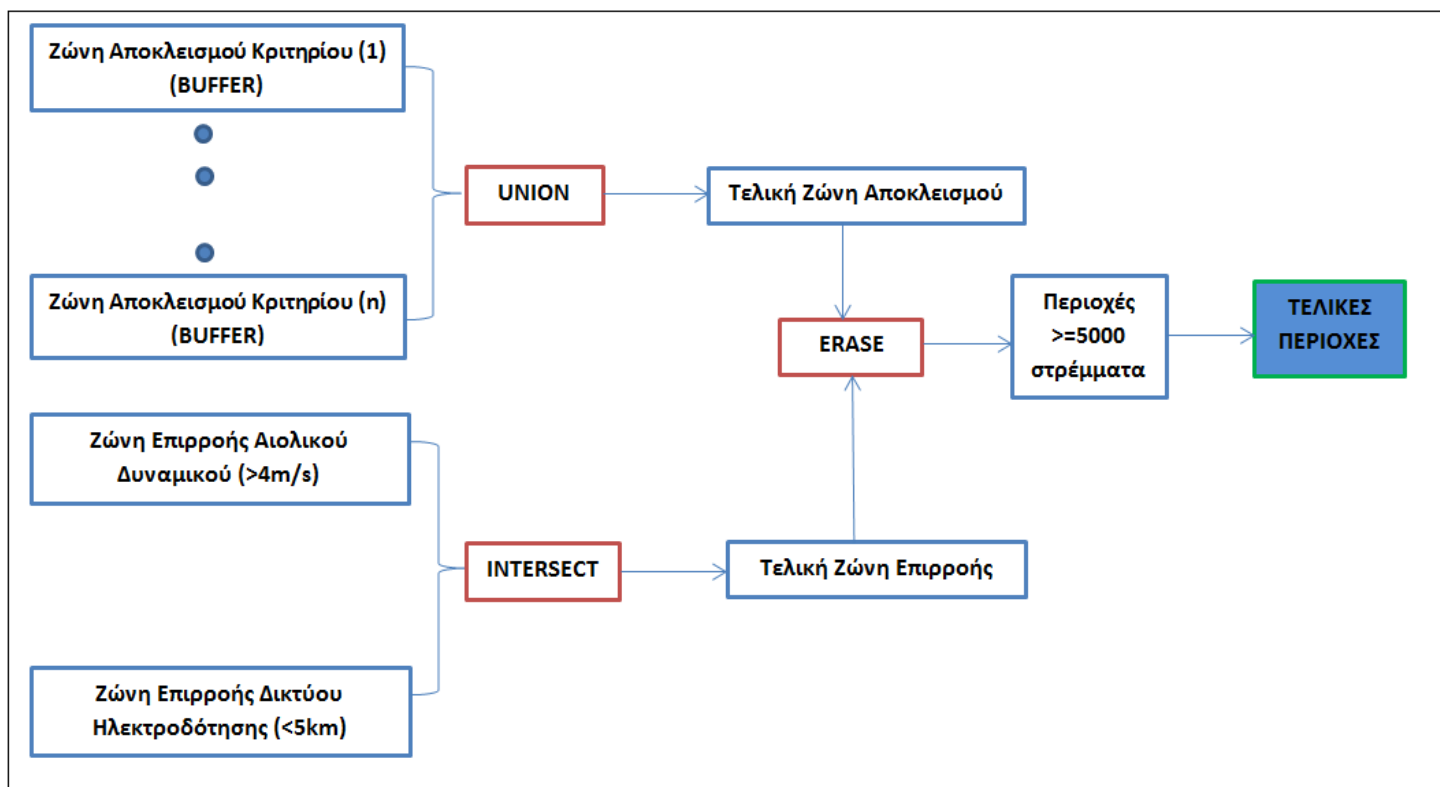
ποταμούς και από τα όρια της ακτογραμμής. Για τα οικιστικά κριτήρια δημιουργήθηκαν ζώνες αποκλεισμού γύρω κατοικημένες περιοχές εξυπηρετώντας κυρίως λόγους ασφαλείας ενώ για τα πολιτιστικά κριτήρια δημιουργήθηκαν ζώνες αποκλεισμού γύρω από αρχαιολογικά μνημεία και τόπους πολιτιστικής κληρονομιάς. Για τα κριτήρια δικτύων και υποδομών δημιουργήθηκαν ζώνες αποκλεισμού γύρω από το οδικό δίκτυο και από αεροδρόμια εξυπηρετώντας λόγους ασφαλείας ενώ για πρακτικούς λόγους αποκλείστηκαν περιοχές γύρω από υφιστάμενα αιολικά πάρκα. Όσον αφορά το δίκτυο ηλεκτροδότησης αποκλείστηκε μια περιοχή ασφαλείας περιμετρικά από αυτό. Οι ζώνες αποκλεισμού δημιουργήθηκαν βάση του εργαλείου buffer του ArcMap 10.

Η ένωση των πιο πάνω ζωνών αποκλεισμού που αφορούν το κάθε κριτήριο έγινε με το εργαλείο Union του ArcMap 10, παράγοντας μια τελική ζώνη αποκλεισμού στις περιοχές που είναι ακατάλληλες για εγκατάσταση αιολικού πάρκου.

Ακολούθως, δημιουργήθηκαν ζώνες επιρροής που αφορούσαν το αιολικό δυναμικό και την προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Για να είναι βιώσιμο ένα αιολικό πάρκο χρειάζονται ταχύτητες ανέμων μεγαλύτερες των 4m/s, έτσι μετά από ψηφιοποίηση του αντίστοιχου χάρτη για το αιολικό δυναμικό επιλέχθηκαν οι περιοχές εκείνες που πληρούν τον συγκεκριμένο περιορισμό. Ταυτόχρονα επιλέχθηκε και μια ζώνη επιρροής 5 χιλιομέτρων γύρω από το δίκτυο ηλεκτροδότησης η οποία εξυπηρετεί οικονομικούς κυρίως σκοπούς αφού δεν θα χρειάζεται η εγκατάσταση νέων γραμμών ή υποσταθμών όταν το νέο αιολικό πάρκο πρόκειται να συνδεθεί με το δίκτυο.

Η τομή των δυο αυτών περιορισμών γίνεται με το εργαλείο Intersect του ArcMap 10, δημιουργώντας την τελική ζώνη επιρροής. Από την αφαίρεση των ζωνών αποκλεισμού από τις ζώνες επιρροής εξάγονται οι τελικές προτεινόμενες περιοχές που είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου. Η αφαίρεση έγινε με το εργαλείο erase του ArcMap 10 (Διάγραμμα 3.2).

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής επιλέχθηκαν μόνο οι περιοχές που είναι μεγαλύτερες από 5000 στρέμματα που είναι η ελάχιστη έκταση για να χωροθετηθεί ένα αιολικό πάρκο συνολικής ισχύς 50MW (*Jeffrey D. Harrison, 2012*). Η επιλογή των περιοχών που είναι μεγαλύτερες από 5000 στρέμματα έγινε με την εντολή Calculate Areas του Spatial StatisticsTools- Utilities αφού υπολογίστηκαν αρχικά τα εμβαδά όλων των περιοχών και επιλέχθηκαν τελικά αυτά που πληρούν τον περιορισμό.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα ροής πρώτου σταδίου

3.3 Στάδιο 2: Αξιολόγηση Καταλληλότητας προτεινόμενων περιοχών

Στο δεύτερο στάδιο αξιολογούνται οι περιοχές που επιλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο βάση τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων:

- Αιολικό Δυναμικό
- Προσβασιμότητα στο Οδικό Δίκτυο
- Προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης
- Κλίσεις Εδάφους

Πριν γίνει οποιαδήποτε διαδικασία τα τέσσερα δυναμικά κριτήρια μετατράπηκαν σε μορφή raster ώστε να μπορούν ακολούθως να επικαλυφθούν με την χρήση του εργαλείου weighted overlay. Τα τέσσερα αυτά κριτήρια αναταξινομήθηκαν αρχικά, σε μια κοινή κλίμακα αξιολόγησης της καταλληλότητας από 1 μέχρι 5, με τον βαθμό 5 να αποτελεί τον υψηλότερο βαθμό καταλληλότητας και τον αριθμό 1 τον χαμηλότερο, ενώ οι μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις περιοχές που είναι ακατάλληλες. Η μετατροπή στην ενιαία κλίμακα αξιολόγησης έγινε με την χρήση του εργαλείου reclassify του ArcMap 10. Για τα κριτήρια που εξάρτησης-απόστασης (προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο ηλεκτροδότησης) πριν την αναταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε η εντολή Euclidean distance για την δημιουργία ζωνών ανάλογα της απόστασης περιμετρικά των γραμμικών χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά το αιολικό δυναμικό που αναμφίβολα είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες για την βιωσιμότητα ενός αιολικού πάρκου η κλίμακα αξιολόγησης τέθηκε βάση της ταχύτητας των ανέμων που πνέουν σε κάθε περιοχή. Οι περιοχές που αντιστοιχούν σε πολύ

χαμηλές ταχύτητες ανέμων κάτω από 4m/s θα παίρνουν μηδενικές τιμές (ακατάλληλες), ενώ όσο αυξάνονται οι ταχύτητες οι περιοχές θα παίρνουν μεγαλύτερες τιμές βάση της κλίμακας αξιολόγησης 1-5, με τις μέγιστες ταχύτητες (>7m/s) να αντιστοιχούν στον μέγιστο βαθμό καταλληλότητα (5).

Η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης είναι επίσης ακόμα ένας πολύ σημαντικός παράγοντας αφού η εύκολη πρόσβαση σε αυτό εξυπηρετεί οικονομικούς και λειτουργικούς σκοπούς. Έτσι όσο πιο κοντά είναι οι προτεινόμενες περιοχές στο δίκτυο ηλεκτροδότησης θα παίρνουν μεγαλύτερο βαθμό καταλληλότητας. Φυσικά οι περιοχές που είναι εντός της ζώνης αποκλεισμού που έχει τεθεί στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής θα απορρίπτονται όπως και οι πολύ μακρινές περιοχές που βρίσκονται εκτός της ζώνης επιρροής των 5 χιλιομέτρων.

Ακόμα ένα δυναμικό κριτήριο που τέθηκε υπόψη στην αξιολόγηση είναι το οδικό δίκτυο. Η προσβασιμότητα σε αυτό εξυπηρετεί επίσης οικονομικούς και λειτουργικούς σκοπούς αφού η δημιουργία νέων δρόμων που είναι ικανοί να υποστηρίξουν την μεταφορά των πολύ μεγάλων κομματιών των ανεμογεννητριών είναι αρκετά δαπανηρή. Έτσι, όμοια με το δυναμικό κριτήριο της προσβασιμότητας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, οι περιοχές που είναι πολύ κοντά σε αυτό θα παίρνουν βαθμό καταλληλότητας 5 ενώ όσο απομακρύνονται ο βαθμός καταλληλότητας θα μειώνεται αντίστοιχα. Οι περιοχές που βρίσκονται εντός της ζώνης αποκλεισμού που τέθηκε στο πρώτο στάδιο θα απορρίπτονται (βαθμός καταλληλότητας ίσος με 0).

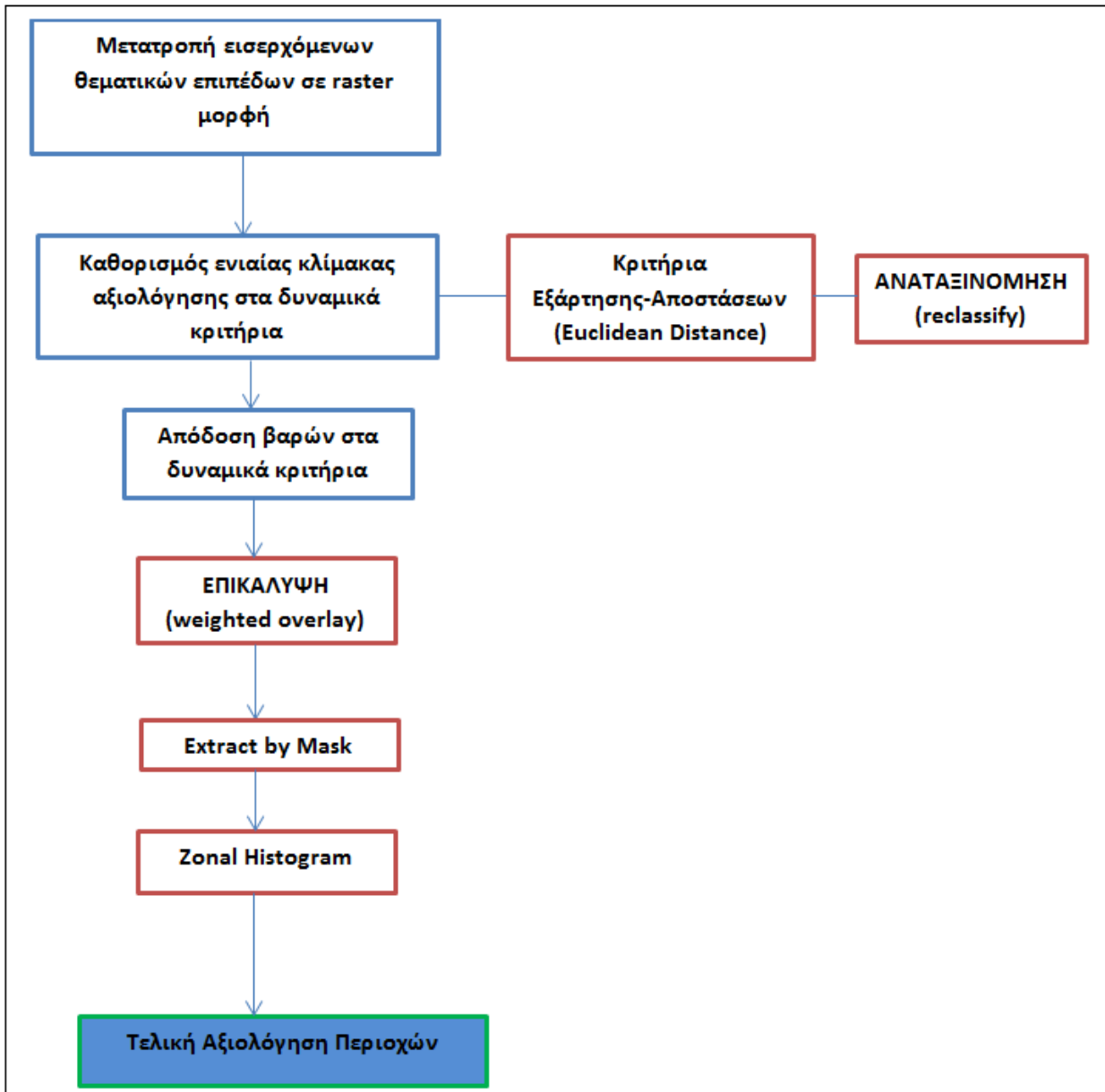
Το τελευταίο δυναμικό κριτήριο αντιστοιχεί στις κλίσεις του εδάφους και εξυπηρετεί κατασκευαστικούς και οικονομικούς σκοπούς. Βάση της βιβλιογραφίας (*Jeffrey D. Harrison, 2012*), πολύ μεγάλες κλίσεις εδάφους πέραν του 25%, θα δυσκόλευαν πολύ την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών ενώ το κόστος εγκατάστασης θα αυξανόταν σημαντικά. Έτσι έγινε διαχωρισμός του κριτηρίου αυτού σε τάξεις όπου οι περιοχές με κλίσεις μεγαλύτερες από 25% απορρίπτονται ενώ όσο η κλίση του εδάφους μειώνεται ο βαθμός καταλληλότητας αυξάνεται. Περιοχές που έχουν κλίσεις εδάφους κάτω από 5% παίρνουν τον μεγαλύτερο βαθμό καταλληλότητας (5).

Αφού καθοριστεί η ενιαία κλίμακα καταλληλότητας για κάθε δυναμικό κριτήριο, μπορεί να γίνει η επικάλυψη τους μέσω του εργαλείου *weighted overlay*. Το εργαλείο αυτό δίνει την δυνατότητα να καθοριστούν βάρη για κάθε δυναμικό κριτήριο, δηλαδή τι επιρροή /σημαντικότητα έχει το κάθε ένα από αυτά στην τελική επιλογή. Σε πρώτη φάση θεωρείται ότι τα τέσσερα κριτήρια συμμετέχουν το ίδιο στην τελική αξιολόγηση παίρνοντας δηλαδή βάρη ίσα με 25%, ενώ σε δεύτερη φάση τοποθετούνται τα βάρη όπως αυτά εξάγονται από την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP). Με την εκτέλεση της λειτουργίας της σταθμισμένης επικάλυψης (*weighted overlay*), αξιολογούνται τελικά οι προτεινόμενες περιοχές του πρώτου σταδίου.

Για τον λόγο ότι οι ενδιαφερόμενες περιοχές είναι μόνο αυτές που εξάχθηκαν από το πρώτο στάδιο, χρησιμοποιείται η εντολή *extract by mask* του *Spatial Analyst*, ώστε η πληροφορία (νέο

Θεματικό επίπεδο) που δημιουργήθηκε από την επικάλυψη των τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων να παρουσιάζεται μόνο στις ενδιαφερόμενες περιοχές.

Τέλος, με την εντολή ZonalHistogram του Spatial Analyst εξάγεται ο πίνακας που δίνει πληροφορίες για τον αριθμό των κελιών που αντιστοιχούν σε κάθε βαθμό καταλληλότητας, για κάθε μια από τις προτεινόμενες περιοχές του πρώτου σταδίου. Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών, γίνεται ο τελικός χαρακτηρισμός της καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών. (Διάγραμμα 3.3)



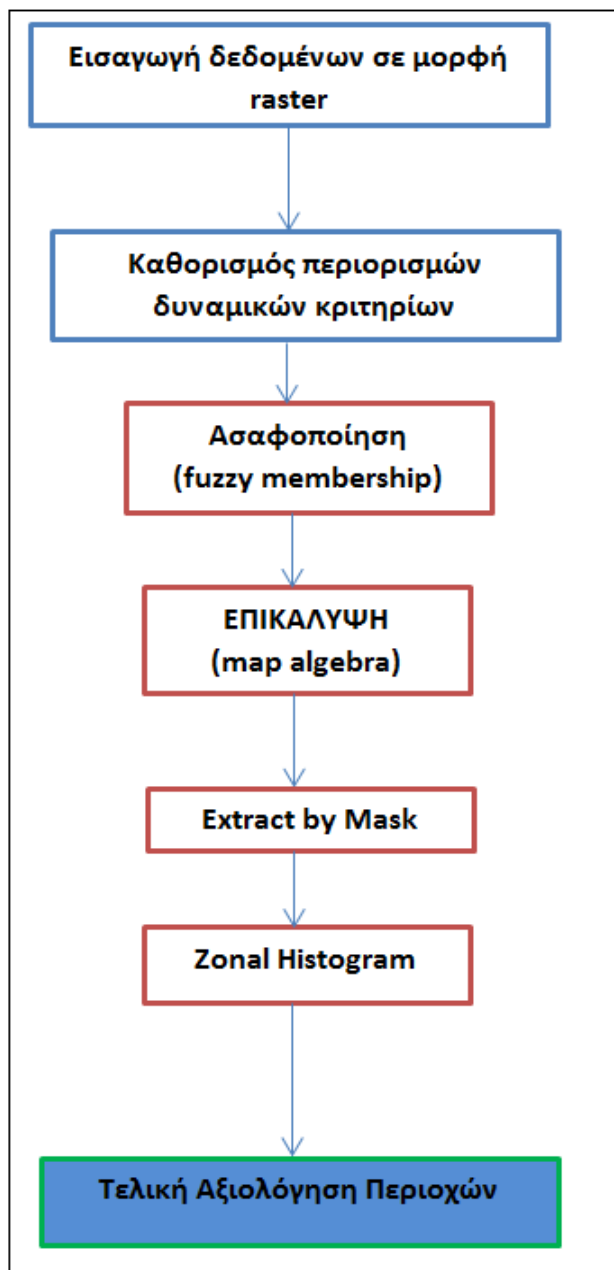
Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα ροής δευτέρου σταδίου

3.4 Στάδιο 3: Αξιολόγηση προτεινόμενων περιοχών με την λογική της ασάφειας (Fuzzy logic)

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο της εφαρμογής αξιολογούνται εκ νέου οι προτεινόμενες περιοχές του πρώτου σταδίου βάση των τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων με την λογική της ασάφειας. Η λογική της ασάφειας, αποτελεί μια μαθηματική λογική για τη δημιουργία μοντέλων απεικόνισης φυσικών προβλημάτων, η οποία ανταποκρίνεται με μεγαλύτερη ευκολία στην αναγκαιότητα της εισαγωγής, με μαθηματικό τρόπο, της ανακρίβειας και της απροσδιοριστίας που υπάρχει στα φυσικά προβλήματα.

Αρχικά εισάγονται τα θεματικά επίπεδα των τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων σε μορφή raster. Ακολούθως γίνεται η ασαφοποίηση τους (fuzzification), δηλαδή, μετατροπή των δεδομένων σε μια ενιαία κλίμακα αξιολόγησης από 0 μέχρι 1 με την τιμή, 1 να αποτελεί την βέλτιστη τιμή. Η διαδικασία της ασαφοποίησης έγινε με την χρήση της εντολής fuzzy membership χρησιμοποιώντας για την μετατροπή των δεδομένων την γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού (linear).

Ακολούθως τέθηκαν οι περιορισμοί στα δυναμικά κριτήρια, έτσι ώστε να γίνει η ασαφοποίηση με την γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού. Όσες τιμές των επιπέδων ξεπερνούν την μέγιστη οριακή τιμή του περιορισμού (1), εντάσσονται σίγουρα στο σύνολο και αποδίδονται στην κλίμακα αξιολόγησης με 1, ενώ όσες τιμές είναι κάτω της ελάχιστης οριακής τιμής (0) του περιορισμού, δεν εντάσσονται στο σύνολο και αποδίδονται στην κλίμακα με μηδενική τιμή. Οι τιμές που βρίσκονται μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής των περιορισμών για κάθε δυναμικό κριτήριο, αποδίδονται βάση μιας γραμμικής συνάρτησης μετασχηματισμού και παίρνουν τιμές μεταξύ του 0 και του 1 στην κλίμακα αξιολόγησης.



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα ροής τρίτου σταδίου

Μετά την ασαφοποίηση τα νέα θεματικά επίπεδα που εξάχθηκαν από την εντολή fuzzy membership επικαλύπτονται, σχηματίζοντας ένα ενιαίο θεματικό χάρτη με την βοήθεια του εργαλείου Map Algebra. Ο νέος θεματικός χάρτης εξήχθηκε ως ένας μέσος όρος των τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων. Ουσιαστικά θεωρήθηκε ότι τα δυναμικά κριτήρια έχουν ισάξια επιρροή (βάρος).

Τέλος όπως και στο δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας χρησιμοποιήθηκε η εντολή extract by mask για να αξιολογηθούν μόνο οι ενδιαφερόμενες περιοχές όπως αυτές εξάχθηκαν στο πρώτο στάδιο, ενώ τελικός χαρακτηρισμός της καταλληλότητας γίνεται με την εξαγωγή του πίνακα συσχέτισης από το εργαλείο ZonalHistogram (Διάγραμμα 3.4).

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στο παρών κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε ώστε να εξευρεθούν οι καταλληλότερες θέσεις για να χωροθετηθούν αιολικά πάρκα στην Κύπρο με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Αρχικά θα αναλυθεί η περιοχή μελέτης παρουσιάζοντας συνοπτικά τα γενικά χαρακτηριστικά της Κύπρου. Ακολούθως παρουσιάζεται η υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση, οι ενεργειακές δυνατότητες της περιοχής καθώς επίσης και λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή. Στη συνέχεια θα περιγραφούν τα επιμέρους στάδια της επεξεργασίας και θα παρατεθούν οι τελικοί χάρτες με τις καταλληλότερες θέσεις για να εγκατασταθούν αιολικά πάρκα στην Κύπρο. Η διαδικασία θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια του λογισμικού ArcMap 10.

4.1 Περιοχή Μελέτης

4.1.1 Γενικά Στοιχεία

Η Κύπρος βρίσκεται στην βορειοανατολική λεκάνη της Μεσογείου. Με συνολική έκταση 9,251 km², είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου μετά τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Η θέση της είναι εξαιρετικής σημασίας από οικονομική και στρατηγική άποψη, αφού βρίσκεται στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων, Ευρώπης, Ασίας και Αφρικής. Από το 1960, αποτελεί ανεξάρτητο νησιωτικό κράτος της Ανατολικής Μεσογείου, με επίσημη ονομασία «Κυπριακή Δημοκρατία», ενώ από την 1^η Μαΐου του 2004 η Κυπριακή Δημοκρατία αποτελεί και πλήρες μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από το 1974 το 36,2% των εδαφών του νησιού (στο βόρειο τμήμα του) βρίσκεται υπό διαρκή παράνομη Τουρκική κατοχή, ενώ το 2,7% του εδάφους του νησιού αποτελεί την νεκρή ζώνη των Ηνωμένων Εθνών.

Γεωγραφικά η Κύπρος χωρίζεται σε έξι επαρχίες, Λευκωσία, Λεμεσός, Λάρνακα, Πάφος, Αμμόχωστος και Κερύνεια. Πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη του νησιού είναι η Λευκωσία, με τον πληθυσμό της να ανέρχεται στις 325,756 κατοίκους (απογραφή 2011). Στην νότια ακτή του νησιού βρίσκεται η Λεμεσός με πληθυσμό 235,056 κατοίκους, ενώ εκεί βρίσκεται και το μεγαλύτερο εμπορικό λιμάνι. Ο κύριος Διεθνής Αερολιμένας του νησιού βρίσκεται πολύ κοντά στην πόλη της Λάρνακας, της τρίτης σε μέγεθος πόλης και πληθυσμό 143,367 κατοίκους. Η Πάφος, τέταρτη πληθυσμιακά πόλη (88,266), βρίσκεται στη νοτιοδυτική ακτή του νησιού. Εκεί βρίσκεται και ο δεύτερος Διεθνής Αερολιμένας της Κύπρου, ενώ είναι ιδιαίτερα γνωστή για τα αρχαία μνημεία που υπάρχουν στην περιοχή της. Άλλες μεγάλες πόλεις της Κύπρου είναι η Κερύνεια, στη βόρεια ακτή του νησιού και η Αμμόχωστος, ερημωμένη σήμερα, στην ανατολική ακτή. Και οι δυο βρίσκονται στο τμήμα του νησιού που κατέχουν οι Τούρκοι από την εισβολή του 1974.

4.1.2 Πληθυσμιακά στοιχεία

Σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού που πραγματοποιήθηκε από την Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου από την 1ην Οκτωβρίου 2011 μέχρι τις 23 Δεκεμβρίου ο πληθυσμός της Κύπρου αριθμούσε την 1ην Οκτωβρίου 2011 838.897 άτομα. Η επαρχία με τη μεγαλύτερη

πληθυσμιακή αύξηση το 2011 σε σχέση με το 2001 είναι η Πάφος με ποσοστό αύξησης 33,0%, ακολουθεί η Λάρνακα με 24,4%, η Αμμόχωστος με 23,1%, η Λεμεσός με 19,6% και τέλος η Λευκωσία με 19,0%. (Πίνακας 4.1)

Επαρχία	Πληθυσμός 1/10/2011	Πληθυσμός 1/10/2001	Αύξηση (%)
Σύνολο	838.897	689.565	21,70
Λευκωσία	325.756	273.642	19,00
Αμμόχωστος	46.452	37.738	23,10
Λάρνακα	143.367	115.268	24,40
Λεμεσός	235.056	196.553	19,60
Πάφος	88.266	66.364	33,00

Πίνακας 4.1: Κατανομή Πληθυσμού κατά επαρχία στις απογραφές 2001 και 2011 (Πηγή: Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου)

Η κατανομή του πληθυσμού κατά επαρχία το 2011 είναι η ακόλουθη:

- Λευκωσία 38,8%
- Λεμεσός 28,0%
- Λάρνακα 17,1%
- Πάφος 10,5%
- Αμμόχωστος 5,5%

4.1.3 Μορφολογία

Μορφολογικά η Κύπρος διαιρείται στις πιο κάτω μορφολογικές περιφέρειες:

- Το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους στο κέντρο-νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού που καλύπτει έκταση 3500km² με ψηλότερη κορυφή τον Όλυμπο (1953m).
- Τη βόρεια οροσειρά του Πενταδακτύλου που καλύπτει έκταση 400km² με ψηλότερη κορυφή τον Κυπαρισσόβουνο (1024m). Ο Πενταδάκτυλος είναι υπό τουρκική κατοχή αφού βρίσκεται στην επαρχία Κερύνειας.
- Την κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας που καλύπτει έκταση 2600km² μεταξύ των δύο προηγούμενων οροσειρών.
- Τη λοφώδη περιοχή γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους.
- Τις παράκτιες πεδιάδες με υψόμετρα κάτω από 300m.

4.1.4 Χρήσεις Γης

Οι κυριότερες κατηγορίες χρήσεων γης στην Κύπρο (σύμφωνα με το corine2000) είναι οι καλλιεργούμενες εκτάσεις, η χαλίτικη γη (δηλαδή γη η οποία ούτε καλλιεργείται ούτε διεκδικείται από κανέναν επομένως αποτελεί κρατική γη), τα δάση, η αστική γη, οι εγκαταλειμμένες ακαλλιέργητες εκτάσεις και οι υδάτινες επιφάνειες.

- **Καλλιεργούμενη γη**

Καταλαμβάνει ποσοστό περίπου 46% και υποδιαιρείται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

- a) ετήσιες καλλιέργειες όπως σιτηρά, όσπρια, βιομηχανικά προϊόντα, κτηνοτροφικά προϊόντα, λαχανικά και άνθη
- b) μόνιμες καλλιέργειες που αποτελούνται από αρδευόμενες και ξηρές καλλιέργειες
- c) καλλιέργειες που βρίσκονται υπό αγρανάπαυση

- **Δάση**

Καλύπτουν ποσοστό 18,96% (1750km²) της συνολικής έκτασης του νησιού, είναι όλα φυσικά και ανήκουν σχεδόν εξ ολοκλήρου στο κράτος. Οι μεγαλύτερες δασικές εκτάσεις βρίσκονται κυρίως στις οροσειρές του Τροόδους και του Πενταδάκτυλου (1460km²) και διακρίνονται σε μόνιμες δασικές περιοχές, εθνικά δασικά πάρκα και προστατευόμενες περιοχές. Δευτερεύοντα κρατικά δάση έκτασης περίπου 160km² αποτελούνται από δάση πολλαπλής χρήσης, κοινοτικά και δημοτικά δάση, δασικά φυτώρια και περιοχές βοσκής. Τα ιδιωτικά δάση καλύπτουν έκταση περίπου 136km² και ανήκουν σε ιδιώτες, εκκλησίες και μοναστήρια.

- **Χαλίτικη γη**

Καλύπτει ποσοστό περίπου 8% και αφορά έκταση η οποία ούτε καλλιεργείται ούτε διεκδικείται από κανέναν επομένως αποτελεί ιδιοκτησία του κράτους. Είναι γη άγονη και ακαλλιέργητη, βραχώδης, επικλινής και χρησιμοποιείται κυρίως για ελεύθερη βόσκηση αιγοπροβάτων.

- **Αστική γη**

Καλύπτει ποσοστό περίπου 8% και αφορά κάθε είδους δομημένο περιβάλλον όπως κατοικίες, βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, γεωργικές εγκαταστάσεις κλπ.

- **Εγκαταλειμμένη ακαλλιέργητη έκταση**

Καλύπτει ποσοστό περίπου 17,5% . Η εγκαταλειμμένη έκταση περιλαμβάνει άγονες, επικλινείς εκτάσεις, ενώ η ακαλλιέργητη έκταση περιλαμβάνει εκτάσεις οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες έπρεπε να καλλιεργούνται. Η διαφοροποίηση της εγκαταλειμμένη έκταση με την χαλίτικη γη είναι ότι η χαλίτικη γη αποτελεί κρατική γη ενώ εγκαταλειμμένη ακαλλιέργητη έκταση αποτελεί ιδιωτική γη.

- **Υδάτινες επιφάνειες**

Καλύπτουν ποσοστό περίπου 2% και αφορούν λίμνες και ποταμούς. Στο νησί υπάρχουν 25 ποταμοί. Οι δύο κυριότεροι από αυτούς είναι ο Πεδιαίος (ο μεγαλύτερος ποταμός της Κύπρου) και ο Γιαλιάς που πηγάζουν από το Μαχαιρά και χύνονται στον κόλπο της Αμμοχώστου.

(Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων)

4.1.5 Υποδομές - Δίκτυα

Ο τομέας των συγκοινωνιών στην Κύπρο περιλαμβάνει δρόμους, αυτοκινητόδρομους, αεροδρόμια και λιμάνια ενώ δεν υπάρχει σιδηροδρομικό δίκτυο.

- **Οδικό δίκτυο**

Η Κύπρος διαθέτει ένα πολύ ανεπτυγμένο οδικό δίκτυο για εξυπηρέτηση των μεταφορικών

αναγκών των πολιτών, της βιομηχανίας, της γεωργίας, του εμπορίου και του τουρισμού. Σύμφωνα με αρκετές αναφορές ειδικών το οδικό δίκτυο της Κύπρου είναι από τα καλύτερα της Ευρώπης, ειδικά οι υπεραστικοί δρόμοι που ενώνουν τις κυρίες πόλεις Πάφο, Λευκωσία, Λεμεσό, Λάρνακα και Αμμόχωστο. Το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου στις ελεύθερες περιοχές της χώρας, είναι περίπου 8000km ασφαλτοστρωμένων δρόμων και περίπου 5000 km μη ασφαλτοστρωμένων δρόμων. Το οδικό δίκτυο της χώρας αναπτύσσεται συνεχώς . Την Προγραμματική Περίοδο 2007-2013 η Κύπρος ενισχύθηκε με σημαντικούς πόρους από τα Διαρθρωτικά Ταμεία και το Ταμείο Συνοχής στα πλαίσια της Πολιτικής Συνοχής της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σημαντικότερα έργα το δρόμο που ενώνει το νέο λιμάνι Λεμεσού με τον αυτοκινητόδρομο Λεμεσού – Πάφου (κάθετος δρόμος Λεμεσού) και το δρόμο διπλής κατεύθυνσης 6 λωρίδων (δρόμος 6 λωρίδων κατασκευάστηκε στην Κύπρο για πρώτη φορά) παρά το Νέο Γ.Σ.Π που αποτελεί τμήμα του αυτοκινητόδρομου Λευκωσίας – Λεμεσού.

- **Αεροδρόμια**

Για την εξυπηρέτηση των αεροπορικών μεταφορών, γίνεται χρήση των δυο πρόσφατα ανακαινισμένων και σύγχρονων αεροδρομίων, της Πάφου και της Λάρνακας.

- **Λιμάνια**

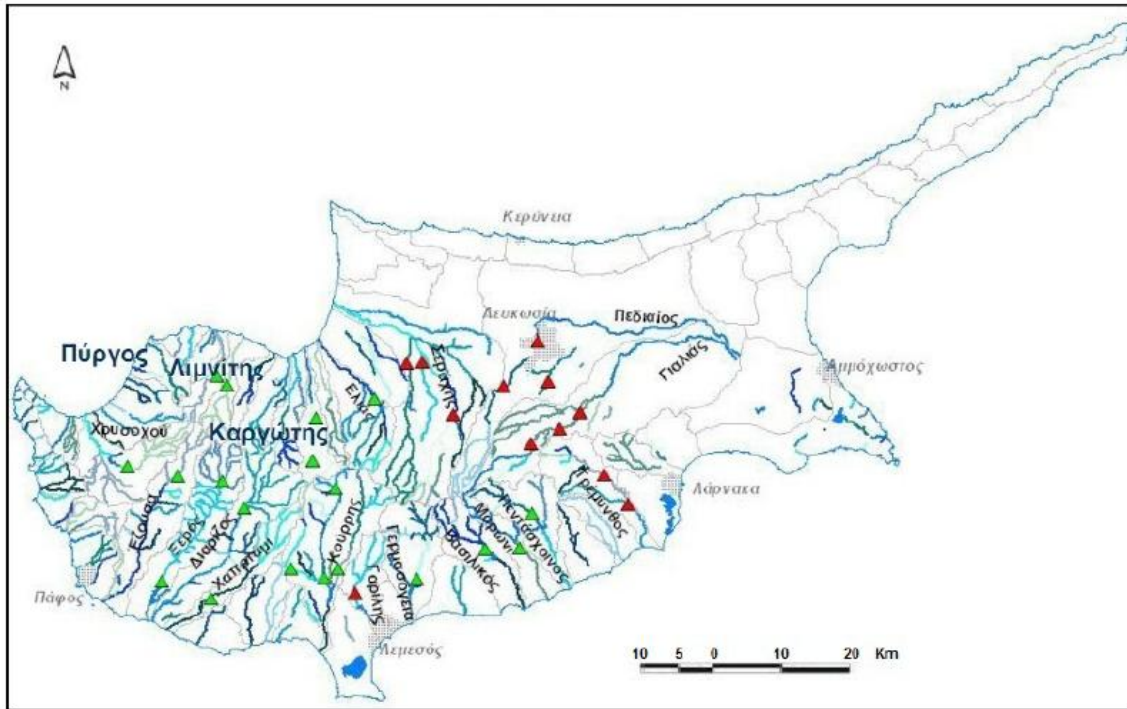
Η Κύπρος διαθέτει 6 ανοιχτά λιμάνια τα οποία είναι τα εξής: Λιμάνι Λάρνακας, Νέο λιμάνι Λεμεσού, Παλιό λιμάνι Λεμεσού, Λιμάνι Βασιλικού (επαρχία Λεμεσού), λιμάνι Πάφου και λιμάνι Λατσιού (επαρχία Πάφου). Τα δύο κυριότερα και μεγαλύτερα λιμάνια τα οποία ελλμενίζου τα περισσότερα κρουαζιερόπλοια, είναι το λιμάνι της Λάρνακας και το Νέο λιμάνι της Λεμεσού.

- **Υδρογραφικό Δίκτυο**

Το επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο του νησιού αριθμεί 25 ποταμούς και 5 φυσικές λίμνες οι οποίες είναι υφάλμυρες ή αλμυρές. Οι δύο κυριότεροι ποταμοί είναι ο Πεδιαίος (ο μεγαλύτερος ποταμός της Κύπρου) και ο Γιαλιάς που πηγάζουν από το Μαχαιρά και χύνονται στον κόλπο της Αμμοχώστου. Εκτός από τις 5 φυσικές λίμνες έχουν δημιουργηθεί και άλλα συστήματα υδάτων ως αποτέλεσμα της κατασκευής φραγμάτων σε ποτάμια ή της δημιουργίας αποθηκευτικών δεξαμενών .

Όσον αφορά τα υπόγεια ύδατα οι περισσότεροι υδροφορείς του νησιού είναι φρεάτιοι, είναι ανεπτυγμένοι σε ποτάμιες ή παράκτιες αλλουβιακές αποθέσεις και έχουν βάθος γύρω στα 30m. Όλοι οι υδροφορείς της Κύπρου είναι 66 και έχουν ομαδοποιηθεί σε 20 συστήματα υπόγειων υδάτων, με βάση τη λιθολογία, τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, τις πιέσεις και τη σπουδαιότητα του κάθε υδροφορέα. Δέκα συστήματα υπόγειων υδάτων έχουν άμεση σύνδεση με τη θάλασσα. Τα περισσότερα συστήματα υπόγειων υδάτων είναι φρεάτια με κάποια τμήματα ημιπερατά ή υπό πίεση. Μόνο οι γύψοι Μαρώνι είναι εντελώς υπό πίεση. Το οικοσύστημα των βάλτων Φασούρι (κοντά στη αλμυρή λίμνη Ακρωτήρι) είναι το μοναδικό οικοσύστημα στην Κύπρο που εξαρτάται άμεσα από τα υπόγεια ύδατα και συγκεκριμένα

από το υδατικό σύστημα του Ακρωτηρίου (Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου).



Χάρτης 4.1: Ποταμοί της Κύπρου (Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου)

4.1.6 Ιδιαίτερα Φυσικά Χαρακτηριστικά – Προστατευόμενες Περιοχές

Σχετικά με τις προστατευόμενες περιοχές μέχρι σήμερα έχουν κηρυχθεί 7 «Περιοχές Προστασίας Χλωρίδας και Πανίδας» με συνολική έκταση 4788,4 εκτάρια. Οι περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνονται στο Ευρωπαϊκό δίκτυο προστατευόμενων περιοχών, «Natura 2000» και έχουν κηρυχθεί με απόφαση του Υπουργικού Συμβουλίου ως περιοχές απόλυτης προστασίας της φύσης. (Πίνακας 4.2)

A/A	Ονομασία	Έκταση (εκτάρια)
1	Τρίτυλος	823
2	Πικρομυλούδι	108,3
3	Λιβάδι του Ππασιά	14,5
4	Χιονίστρα	69
5	Προεδρική κατοικία (Κρύος Ποταμός)	28,4
6	Μαδαρή	1187,8
7	Μαύροι Γκρεμμοί	2557,6
	Σύνολο	4788,4

Πίνακας 4.2: Περιοχές Προστασίας Χλωρίδας και Πανίδας – Natura 2000

Όσον αφορά το δίκτυο NATURA 2000, είναι ένα ευρύ Ευρωπαϊκό δίκτυο το οποίο αναφέρεται στην προστασία φυσικών περιοχών, χλωρίδας, πανίδας και οικοτόπων, με στόχο την διασφάλιση της επιβίωσης πολύτιμων και απειλούμενων ειδών. Η Οδηγία δεν απαγορεύει τις

δραστηριότητες εντός των ορίων του, αλλά επιτρέπει μόνο αυτές οι όποιες δεν επηρεάζουν την αρμονία της φύσης.

Για την Κύπρο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει συμπεριλάβει 61 περιοχές στο δίκτυο Natura 2000 οι οποίες καλύπτουν τους τύπους οικοτόπων και τα είδη χλωρίδας και πανίδας των Παραρτημάτων της Ευρωπαϊκής Οδηγίας των Οικοτόπων 92/43/ΕΟΚ, καθώς και είδη πουλιών που αναφέρονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Πουλιά 2009/147/ΕΚ. Οι 61 περιοχές χωρίζονται σε «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας» (ΤΚΣ/SCI: Sites of Community Importance) οι οποίοι είναι τόποι που συνεισφέρουν σημαντικά στη διατήρηση ή αποκατάσταση φυσικών οικοτόπων του Παραρτήματος I ή/και ειδών του Παραρτήματος II της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 92/43/ΕΚ και «Ζώνες Ειδικής Προστασίας» (ΖΕΠ/SPA: Special Protection Areas) οι οποίες είναι καθορισμένες ζώνες οι οποίες χρήζουν προστασίας και διαχείρισης, αφού φιλοξενούν είδη πτηνών του Παραρτήματος I της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/147/ΕΚ, όπως και αποδημητικά είδη των οποίων η έλευση είναι τακτική (Πίνακας 4.3/Χάρτης 4.2)

Προστατευόμενες Περιοχές NATURA 2000		
Τοποι Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)	Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)	
Μάμμαρι - Δένεια	Ξερός Ποταμός	Αλυκές Λάρνακας
Αλυκός Ποταμός - Αγ. Σωζόμενος	Περιοχή Σκούλλη	Δάσος Σταυροβουνιού
Κοιλάδα των Κέδρων Περιοχή Μιτσερού	Περιοχή Σταυρός της Ψώκας	Τζιώνια
Μαδαρή - Παπούτσα	1 Φαράγγια Αγ. Αικατερίνης	Ακρωτήριο Άσπρο - Πέτρα του Ρωμιού
Κοιλάδα Ποταμού Μαρούλλενας	Αγ. Παρασκευής	Κάβο Γκρέκο
Κοιλάδα Καρκώτη	Περιοχή Κόσης - Παλλουρόκαμπου	Ποταμός Πεντάσχοινας
Ποταμός Περιστερώνας	Γκρεμοί Έζουσας	ΖΕΠ Λίμνη Ορόκλινης
Κοίλη - Μαυροκόλυμπος	ΖΕΠ Κοιλιάδας Διαρίζου	Χερσόνησος του Ακάμα
Περιοχή Κρήτου Μαρόττου	Εκβολές Ποταμού Έζουσας, Ξερού και Διαρίζου	Ζώνη Ειδικής Προστασίας Χα-Ποτάμι
Περιοχή Πόλις - Γιαλιά		Λίμνη Ορόκλινης
Δάσος Λεμεσού	Κοιλάδα Διαρίζου	Γκρεμοί Χανουτάρη
Περιοχή Ασγάτας	Ποταμός Παναγίας Στάζουσας	Περιοχή Αγιάτη
Περιοχή Δρύμου	Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους	Περιοχή κοιλιάδας Ξυλούρικου
Κοιλάδα Λιμνάτη	Κοιλάδα Έζουσας	ΖΕΠ κοιλιάδας Σαμαρά
Εθνικό Δασικό Πάρκο Ριζοελιάς	Περιοχή Αγ. Θέκλας - Λιοπέτρι	Φάρος Κάτω Πάφου
Περιοχή Λευκάρων	Φράγμα Άχνας	Βουνί Παναγιάς
Θαλάσσια Περιοχή Μουλιά	Χα-Ποτάμι	Λίμνη Παραλιμνίου
Θαλάσσια Περιοχή Νησιά	Βουνό κορφές Μαδαρής - Παπούτσας	Κοιλάδα Ποταμού
Δάσος Μαχαιρα	Περιοχή Πλατύ	Φουντουκοδάση Πιτσιλιάς
Περιοχή Λυμπιών - Αγ. Άννας	Επισκοπή - Μωρού Νερού	Ποταμός Παραμαλιού

Πίνακας 4.3: Προστατευόμενες Περιοχές συνθήκης Natura 2000 (Πηγή: Τμήμα περιβάλλοντος Κύπρου, Προστασία της Φύσης)



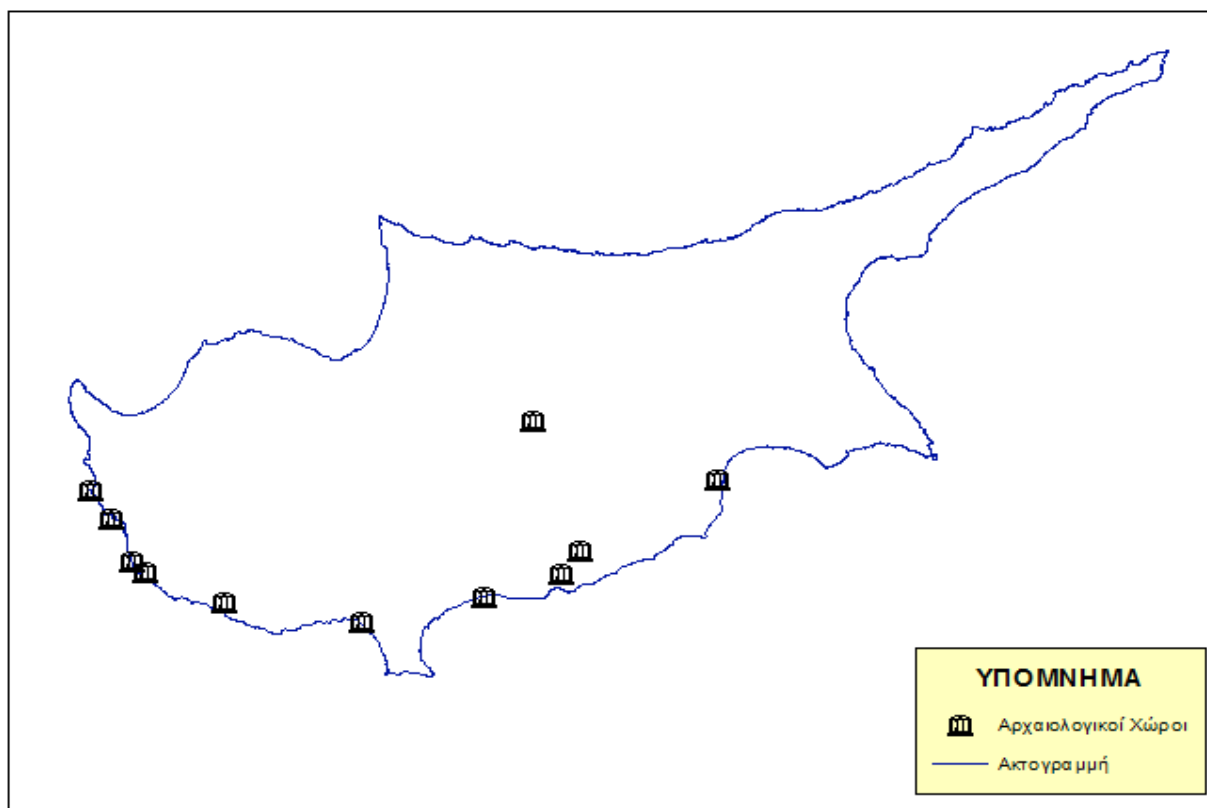
Χάρτης 4.2: Περιοχές Προστασίας Συνθήκης Natura 2000 (Πηγή: Τμήμα περιβάλλοντος Κύπρου, Προστασία της Φύσης)

4.1.7 Αρχαιολογικοί Χώροι

Η Κύπρος παρά το μικρό της μέγεθος έχει να επιδείξει πλούσια πολιτιστική κληρονομιά. Η γεωγραφική της θέση καθώς και οι ιστορικές συγκυρίες που βίωσε το νησί διαμέσου των αιώνων, οδήγησαν στην δημιουργία ενός πολιτισμού ο οποίος άφησε πλούσια κατάλοιπα στην επιφάνεια του νησιού. Τα αρχαιολογικά μνημεία και οι χώροι πολιτιστικής κληρονομιάς καταγράφονται κατά επαρχία στον πίνακα 4.4 ενώ η αντίστοιχη θέση τους παρουσιάζεται στον χάρτη 4.3.

Επαρχία Λάρνακας	Αρχαίο Κίτιον	Επαρχία Πάφου	Άγιος Γεώργιος Πέγειας
	Αρχαίος οικισμός Χοιροκοιτίας		Μάα-Παλιόκαστρο
	Τέντα Καλαβασού		Τάφοι των Βασιλέων
Επαρχία Λευκωσίας	Ταμασσός		Νέα Πάφος
	Επαρχία Λεμεσού		Κούριο
Αμαθούντα		Μνημεία	Εκτός από τις αρχαίες εκκλησίες υπάρχουν και τα κάστρα της Πάφου, του Κολοσσίου και της Λάρνακας

Πίνακας 4.4: Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία της Κύπρου (Πηγή: Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου)



Χάρτης 4.3: Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία της Κύπρου (Πηγή: Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου)

4.2 Ενεργειακά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί τον βασικότερο πυλώνα της ενεργειακής πολιτικής κάθε χώρας. Για την Κύπρο η εξοικονόμηση ενέργειας έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού ο τομέας της ενέργειας χαρακτηρίζεται από την υψηλή εξάρτηση από εισαγόμενες μορφές ενέργειας κυρίως πετρελαιοειδών, το κόστος των οποίων είναι δυσβάστακτο και επηρεάζει αρνητικά το ισοζύγιο πληρωμών. Τα τελευταία χρόνια το κυπριακό ενεργειακό σύστημα παρουσιάζει έντονη δυναμικότητα καθώς διανύει μια περίοδο σημαντικών αλλαγών, με την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας (ηλεκτρισμού) όπως αυτή επιβάλλεται από τις ισχύουσες Οδηγίες, την απόφαση για εισαγωγή και διείσδυση του Φυσικού Αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και την προώθηση των ΑΠΕ και σύγχρονων συστημάτων συμπαραγωγής.

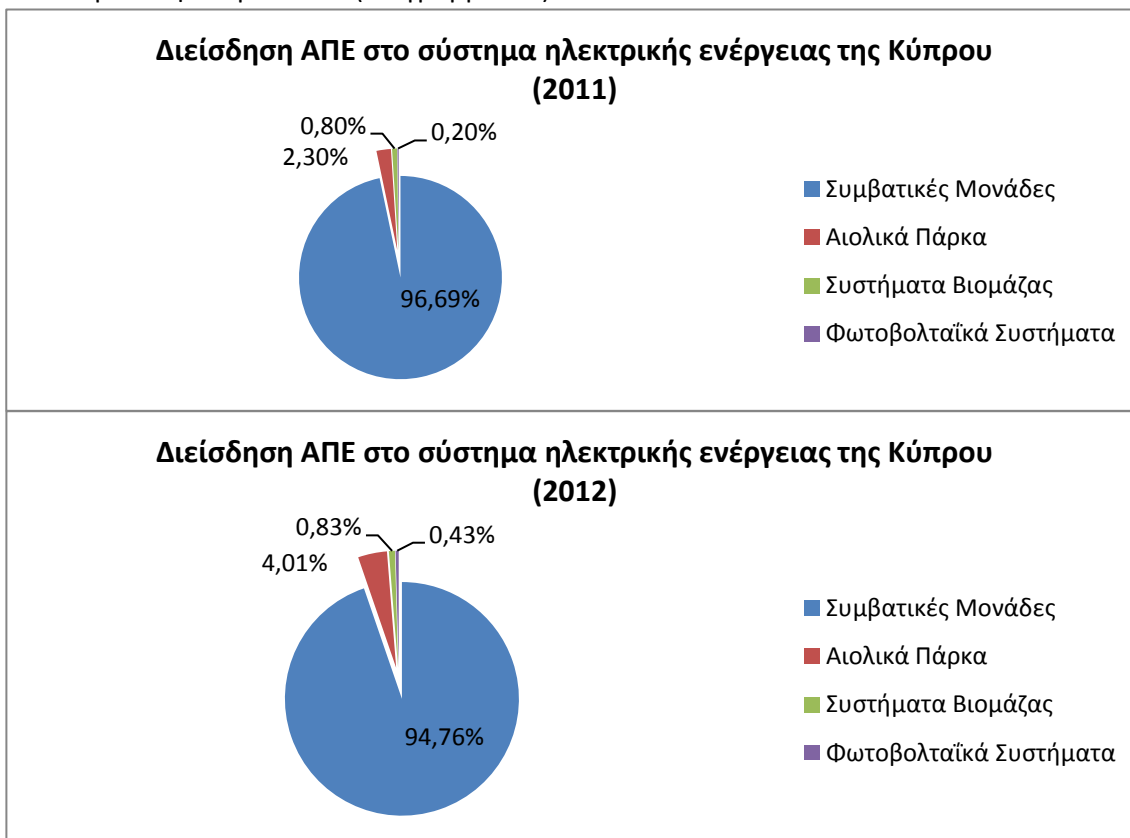
Το κύριο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου αποτελείται από τρεις ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς, ιδιοκτησίας της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ), η οποία επί του παρόντος αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σταθμοί αυτοί της Μονής, της Δεκέλειας και του Βασιλικού τροφοδοτούν ολόκληρη την Κύπρο με ηλεκτρική ενέργεια, εξαιρουμένων των κατεχόμενων περιοχών. (Πίνακας 4.5).

Γενικά οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται σχεδόν εξολοκλήρου από τους τρεις ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς της ΑΗΚ (συμβατικές μονάδες) ενώ η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου είναι ελάχιστη.

Εταιρεία / Ηλεκτροπαραγωγός Σταθμός	ΟΛΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
	Εγκατεστημένη Ονομαστική Ικανότητα (MW)	Διαθέσιμη Ικανότητα Παραγωγής (MW)
ΑΗΚ / Μονής	270	140
ΑΗΚ / Δεκέλειας	460	340
ΑΗΚ / Βασιλικού	477,5	455
ΟΛΙΚΟ ΑΗΚ	1207.5	935

Πινάκας 4.5: Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί της Κύπρου (Πηγή: Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, 2012)

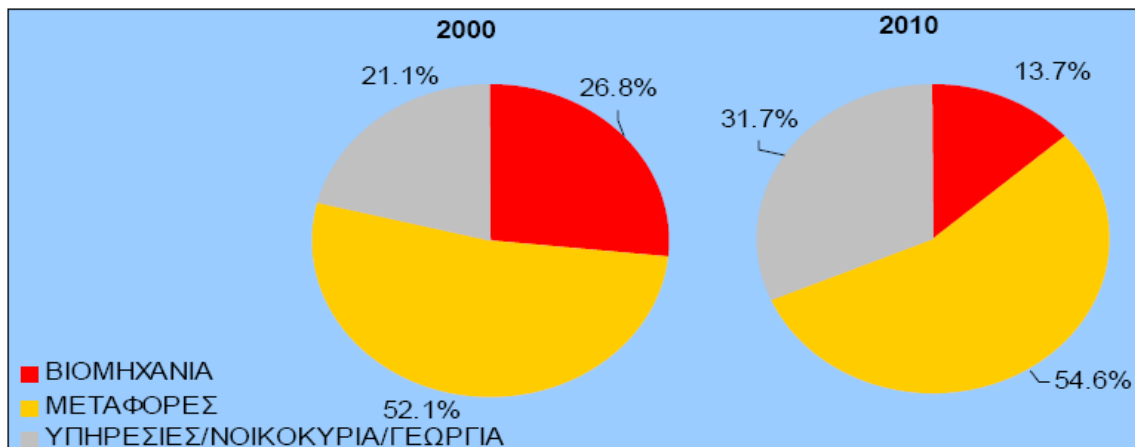
Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό συνολικής παραγωγής από τις συμβατικές μονάδες επί της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στο 94.76% για το 2012, ενώ το ποσοστό παραγωγής των αιολικών πάρκων στο σύστημα μεταφοράς και διανομής επί της συνολικής ενέργειας ανέρχεται στο 4.01% συνολικά. Όσον αφορά τα συστήματα βιομάζας το ποσοστό φτάνει στο 0.83% και για τα φωτοβολταϊκά συστήματα στο 0.43%. Συγκριτικά με το 2011 παρουσιάζετε μια σχετική άνοδος στην διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της τάξεως του 1.7% για τα αιολικά πάρκα, του 0.03% για τα συστήματα βιομάζας και του 0.23% για τα φωτοβολταϊκά (Διάγραμμα 4.1).



Διάγραμμα 4.1 : Διείσδυση ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Κύπρου (Πηγή: Υπουργείο Βιομηχανίας και Τουρισμού)

4.2.1 Ενεργειακές Ανάγκες

Την τελευταία δεκαετία η ζήτηση ενέργειας παρουσιάζει ταχεία αύξηση επηρεαζόμενη από την συνεχιζόμενη ανάπτυξη και την αύξηση του πληθυσμού. Ο κλάδος των μεταφορών καταλαμβάνει την πρώτη θέση σε κατανάλωση ενέργειας. Το 2010 ποσοστό 54.6% της ενέργειας καταναλώθηκε από τον κλάδο των μεταφορών, 31.7% από υπηρεσίες, νοικοκυριά και γεωργικές χρήσεις ενώ 13,9% από τον τομέα της βιομηχανίας. Συγκριτικά με τα ποσοστά του 2000, ο τομέας των μεταφορών σημειώνει μέση ετήσια αύξηση στην ζήτηση ενέργειας της τάξης του 2,5%, τα νοικοκυριά, οι υπηρεσίες και η γεωργία παρουσιάζουν σημαντική αύξηση της τάξεως του 10,6% ενώ η κατανάλωση ενέργειας για βιομηχανικούς σκοπούς μειώνεται περίπου στο μισό. (Διάγραμμα 4.2)



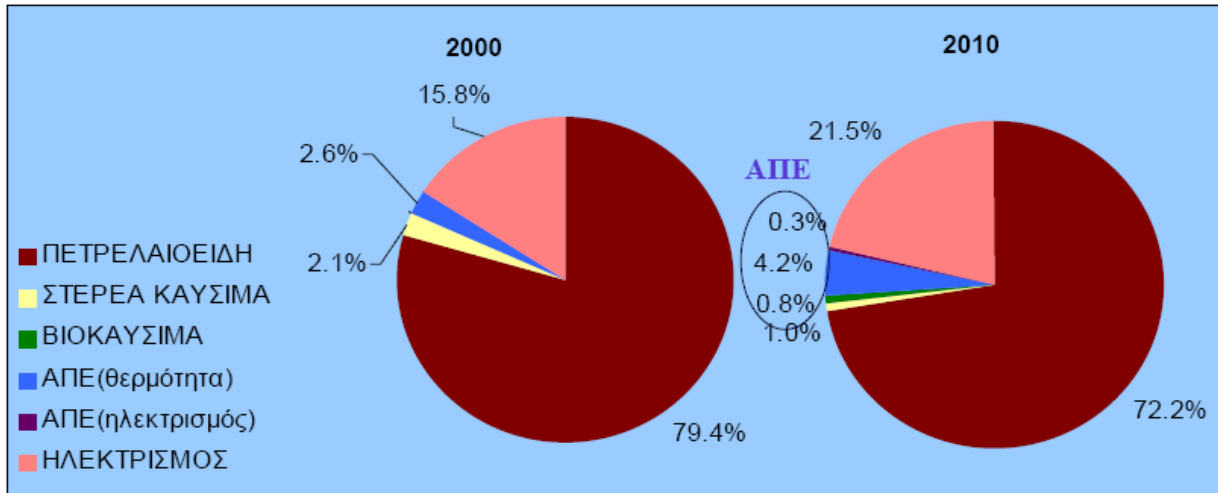
Διάγραμμα 4.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα (Πηγή: Υπουργείο Βιομηχανίας και Τουρισμού)

Η κάλυψη των παραπάνω αναγκών, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται κυρίως με την παραγωγή ενέργειας από τις συμβατικές μονάδες της ΑΗΚ, με αποτέλεσμα η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Κύπρο να στηρίζεται σχεδόν εξολοκλήρου στην καύση ορυκτών καυσίμων και κυρίως Μαζούτ. Συγκεκριμένα το 2000, 79.4% της τελικής κατανάλωσης προέρχεται από παράγωγα πετρελαίου ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεισφέρουν στην κατανάλωση στο ελάχιστο ποσοστό του 2.6%. Μια σημαντική αύξηση παρατηρείται στην συνεισφορά των ΑΠΕ το 2010 αλλά το ποσοστό παραμένει αρκετά χαμηλό στο 5.4%, ενώ κύρια πηγή ενέργειας εξακολουθούν να είναι τα προϊόντα πετρελαίου με ποσοστό 72.2%. (Διάγραμμα 4.3)

Η Κύπρος είναι αναγκασμένη να εισάγει τεράστιες ποσότητες προϊόντων πετρελαίου για να καλύψει τις ενεργειακές τις ανάγκες. Συγκεκριμένα το 2010 το κόστος εισαγωγών προϊόντων πετρελαίου ήταν της τάξης των 1.27 δις. Ευρώ, φτάνοντας σε ποσοστό το 19.7% του κόστους των συνολικών εισαγωγών της Κυπριακής Δημοκρατίας, η ποσό που αντιστοιχεί στο 7.3% του ΑΕΠ.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η οικονομία της Κύπρου να εξαρτάται από τις εισαγωγές και τις αυξομειώσεις των τιμών των προϊόντων πετρελαίου. Σύμφωνα με μελέτες της Ευρωπαϊκής

Ένωσης, κατά το 2010 η Κύπρος καταλάμβανε την πρώτη θέση σε ενεργειακή εξάρτηση με ποσοστό 100,89%, δεύτερη την Μάλτα με 100,79% και τρίτο το Λουξεμβούργο με ποσοστό 96,82%.



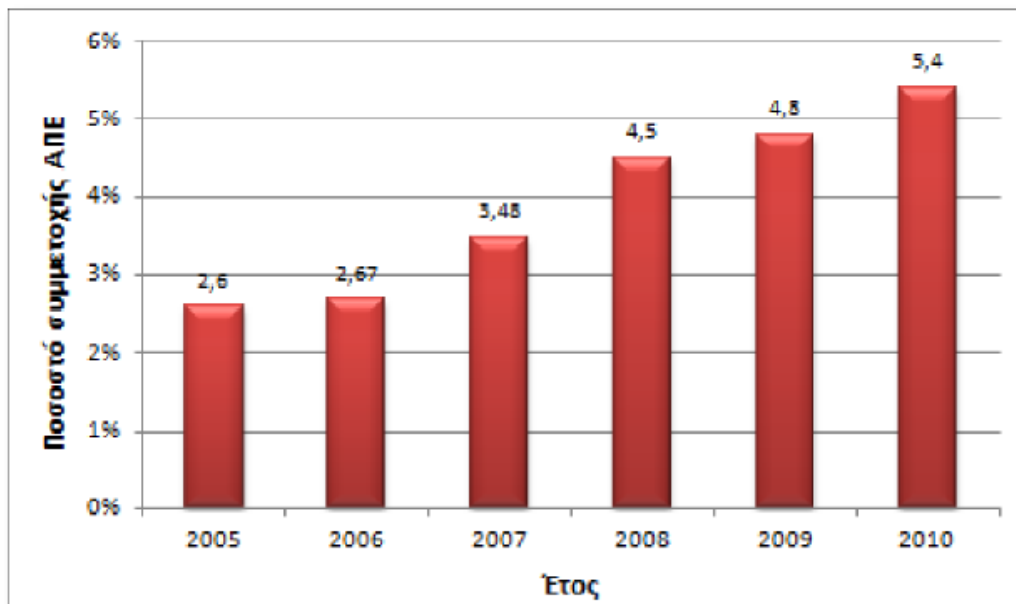
Διάγραμμα 4.3: Τελική κατανάλωση ενέργειας το 2000 και το 2010 (Πηγή: Υπουργείο Βιομηχανίας και Τουρισμού)

4.2.2 Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών από ΑΠΕ

Η Κύπρος παραμένει μια χώρα με μεγάλο βαθμό εξάρτησης από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Η συνεισφορά των ΑΠΕ στη τελική κατανάλωση ενέργειας στην Κύπρο παραμένει μέχρι σήμερα περιορισμένη. Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα αιολικά πάρκα και τους ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως στην Κύπρο για την θέρμανση νερού. Μικρότερη συνεισφορά έχει η βιομάζα και τα φωτοβολταϊκά.

Οι ΑΠΕ μπορούν να διαδραματίσουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως πετρελαιοειδή και άνθρακα, με όλες τις θετικές επιπτώσεις στην ισορροπία του εμπορίου και της οικονομίας της χώρας. Για το λόγο αυτό η αξιοποίηση των ΑΠΕ είναι βασική προτεραιότητα της ενεργειακής πολιτικής της χώρας, με την Κυπριακή Δημοκρατία να στοχεύει στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί βάσει της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, η οποία προνοεί αύξηση του ποσοστού της συνεισφοράς των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας του έτους 2020 στο 13%.

Από το 2006 και έπειτα παρατηρείται αύξηση του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στην ικανοποίηση των αναγκών του πληθυσμού σε ενέργεια. Σύμφωνα με το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τουρισμού, το 2010 η πρωτογενής παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ανερχόταν στο 5,4% της συνολικής παραγωγής από το 2,6% που παρατηρήθηκε το 2005, ικανοποιώντας είδη το στόχο για το 2011-2012 που οριοθετήθηκε από την Οδηγία στο 4,9%. (Διάγραμμα 4.4)



Διάγραμμα 4.4: Ποσοστά συμμετοχής ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας (Πηγή: Eurostat)

Το ποσοστό της παραγόμενης αυτής ενέργειας προέρχεται κατά κύριο λόγο από αιολικά πάρκα με ποσοστό συμμετοχής 85,5%, από μεγάλα εμπορικά φωτοβολταϊκά συστήματα 7,7% και από επεξεργασία βιομάζας 6,8%. Οι εγκαταστάσεις ανήκουν σε διάφορες εταιρίες οι οποίες επενδύουν στο συγκεκριμένο τομέα, με την ΑΗΚ σε συνεργασία με το Κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση να αναλαμβάνει την ενθάρρυνση τέτοιων περιπτώσεων μέσω διαφόρων επιδοτήσεων.

4.2.3 Ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια

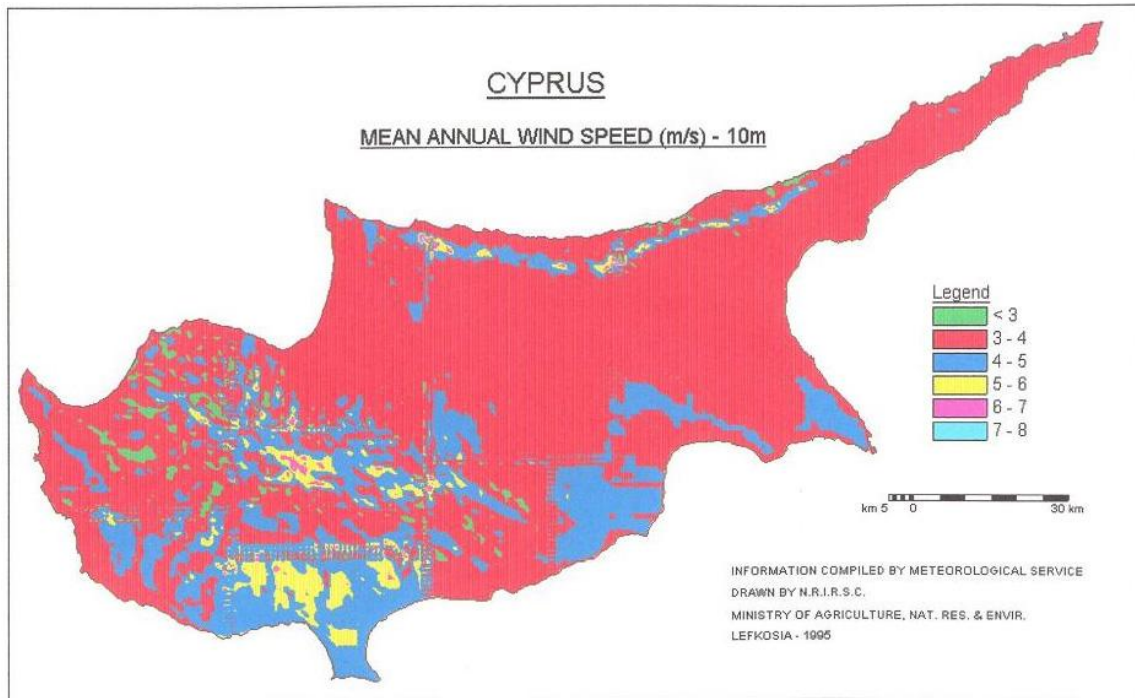
4.2.3.1 Αιολικό Δυναμικό

Η Κύπρος επηρεάζεται από σύστημα ανέμων που εκτείνονται στην Ανατολική Μεσόγειο, κυρίως ελαφροί ως μέτριοι δυτικοί ή νοτιοδυτικοί το χειμώνα και βόρειοι ή βορειοδυτικοί το καλοκαίρι. Οι πολύ δυνατοί άνεμοι είναι σπάνιοι. Παρόλο που το αιολικό δυναμικό δεν είναι ιδιαίτερα ψηλό εντούτοις υπάρχουν περιοχές στις οποίες η μέση ένταση του ανέμου είναι ικανοποιητική για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Ενδεικτικά ένα αιολικό πάρκο είναι βιώσιμο με μέσες ταχύτητες πάνω από 4m/s.

Όσον αφορά την ταχύτητα οι άνεμοι στην περιοχή της Κύπρου είναι κυρίως ελαφροί ως μέτριοι. Οι ισχυροί άνεμοι με ταχύτητα 24 κόμβων και πάνω είναι μικρής διάρκειας και συμβαίνουν σε περιπτώσεις μεγάλης κακοκαιρίας. Οι πολύ ισχυροί άνεμοι, με ταχύτητα ανέμου 34 κόμβοι και πάνω, είναι σπάνιοι και συμβαίνουν κυρίως στις προσήνεμες περιοχές όταν επηρεάζουν την Κύπρο συστήματα με πολύ χαμηλές πιέσεις.

Από την μελέτη του Χάρτη 4.4, προκύπτει ότι στις παράλιες περιοχές η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στα 10 m, κυμαίνεται μεταξύ 3 - 6 m/s. Όσο προχωρούμε στο εσωτερικό η

ταχύτητα του ανέμου ελαττώνεται και κυμαίνεται μεταξύ 3 – 4 m/s. Ιδιαίτερα σε ορισμένα υψώματα της πεδιάδας της Μεσαορίας, συγκεκριμένα στα υψώματα της Αθαλάσας και του Άρονα, παρατηρούνται ιδιαίτερα ψηλές ταχύτητες που κυμαίνονται μεταξύ 5 – 6 m/s. Στις κοιλάδες των ορεινών περιοχών η μέση ταχύτητα του ανέμου περιφέρεται από τα 1,5 – 3 m/s ενώ στις κορυφές διαφόρων υψωμάτων είναι δυνατό να φτάσει μέχρι και τα 5 m/s και σε μεμονωμένες περιπτώσεις τα 6,5 – 7 m/s (Πηγή: Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου).



Χάρτης 4.4: Μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στην Κύπρο, (Πηγή: Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου)

4.2.3.2 Υφιστάμενες υποδομές

Αν και η αιολική ενέργεια στην Κύπρο αξιοποιείται για χρόνια με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους για την άντληση νερού και τους νερόμυλους για την άλεση σιτηρών, ωστόσο οι εφαρμογές για ηλεκτροπαραγωγή είναι αρκετά περιορισμένες. Τα τελευταία χρόνια όμως έχει εκδηλωθεί έντονο ενδιαφέρον από επενδυτές για την κατασκευή μεγάλων αιολικών πάρκων.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν συνδεδεμένα με ο δίκτυο της ΑΗΚ πέντε συνολικά αιολικά πάρκα, συνολικής ηλεκτρικής ισχύς 148,7 MW, ενώ ακόμη ένα αναμένεται να συνδεθεί με το δίκτυο εντός του 2013 συνολικής ισχύς 10,8MW. Πρόκειται για ιδιόκτητα αιολικά πάρκα, κατασκευασμένα από μεγάλες εταιρείες σε συνεργασία με την ΑΗΚ, ακολουθώντας τους περιορισμούς που προβλέπονται. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από την ΑΗΚ και χρησιμοποιείται για κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού.

Ιδιοκτήτρια Εταιρία	Τοποθεσία	Αριθμός Ανεμογεννητριών	Ονομαστική Ικανότητα Ανεμογεννήτριας	Ολική Ικανότητα
D.K Windsupply Ltd	Ορείτες, Πάφος	41	2	82
Ketonis Development Ltd	Αλέξιγρος, Λάρνακα	21	1.5	31.5
Rokas Aeoliki Cy Ltd	Αγία Άννα, Λάρνακα	10	2	20
Moglia Trading Ltd	Κόσης, Λάρνακα	6	1.8	10.8
Aerotricity Ltd	Καμπί, Φαρμακάς	3	1.8	4.4
			Σύνολο:	148.7
T.PAeolianDynamicsLtd (δεν είναι συνδεδεμένο με δίκτυο ΑΗΚ)	Ψευδάς, Λάρνακα	6	1.8	10.8
			Σύνολο:	159.5

Πίνακας 4.6: Υφιστάμενα αιολικά πάρκα, (Πηγή: Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου)

4.2.4 Ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα

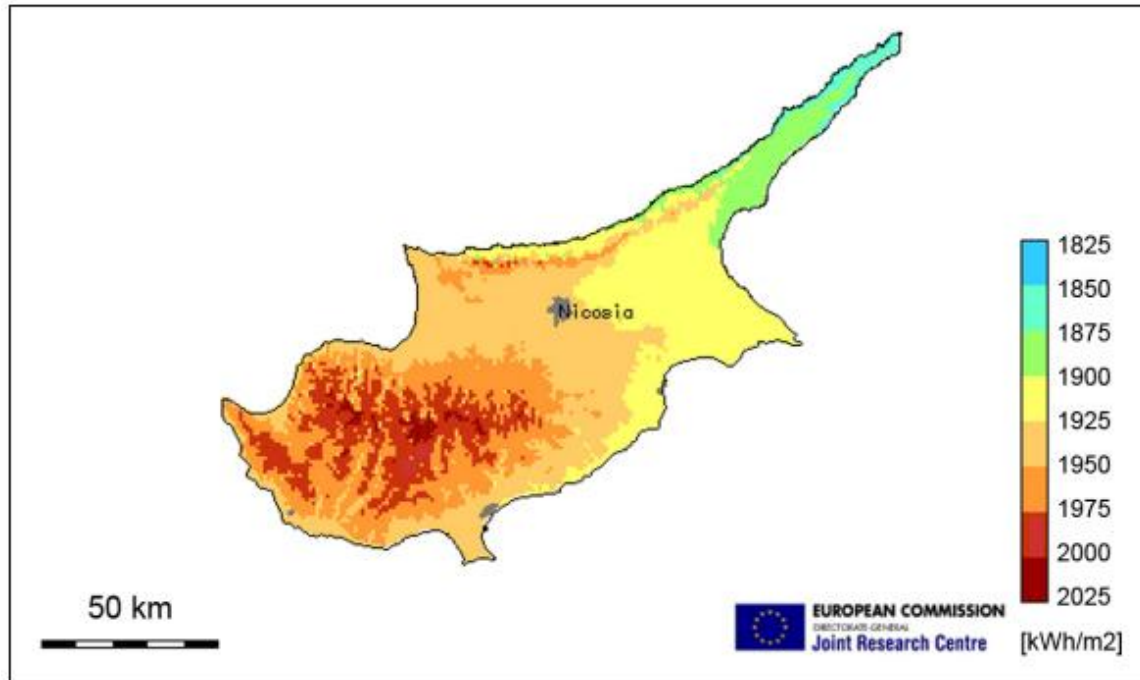
4.2.4.1 Ηλιακό δυναμικό

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στην Κύπρο είναι πολύ υποσχόμενη λόγω του γεγονότος ότι όλες οι περιοχές της Κύπρου έχουν μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας σε σύγκριση με πολλές χώρες. Στις πεδινές περιοχές ο μέσος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας για ολόκληρο το χρόνο είναι 75% των ωρών που ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα. Σε όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού η ηλιοφάνεια είναι κατά μέσο όρο 11.5 ώρες την ημέρα, ενώ στους μήνες Δεκέμβρη και Γενάρη που έχουν την μεγαλύτερη νέφωση η διάρκεια της ηλιοφάνειας ελαττώνεται μόνο στις 5.5 ώρες την ημέρα.

Ακόμα και στις πιο ψηλές περιοχές του Τροόδους στους χειμερινούς μήνες με πολύ μεγάλη νέφωση, η μέση ηλιοφάνεια είναι περίπου 4 ώρες την ημέρα και στους μήνες Ιούνη και Ιούλη η τιμή αυτή φτάνει στις 11 ώρες.

Η μεγαλύτερη δυνατή διάρκεια της ηλιοφάνειας (δηλαδή από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου) στην Κύπρο κυμαίνεται από 9.8 ώρες την ημέρα το Δεκέμβρη σε 14.5 ώρες την ημέρα τον Ιούνη (Πηγή: Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου).

Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην Κύπρο εκτιμάται σε 5,4 kWh/m²(Χάρτης 4.5)



Χάρτης 4.5: Ετήσιο άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, (Πηγή: Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου).

4.2.4.2 Υφιστάμενες Υποδομές

Όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά, που είναι ένα σύστημα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή, υπάρχει τα τελευταία χρόνια μία αυξητική τάση χρησιμοποίησης τους από φυσικά και νομικά πρόσωπα, κυρίως από φυσικά πρόσωπα. Αν και παρουσιάζουν υψηλό κόστος και μεγάλο χρόνο απόσβεσης της αρχικής επένδυσης, η εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε οικίες και βιομηχανίες, είναι οικονομικά συμφέρουσες λαμβάνοντας υπόψη και τα σχέδια χορηγιών και επιδοτήσεων που δίνονται από το κράτος.

Η εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε οικίες, μπορεί να θεωρηθεί ως ο πιο εύκολος και γρήγορος τρόπος για την συνεισφορά των πολιτών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στη διαμόρφωση περιβαλλοντικής συνείδησης και στην εξασφάλιση οικονομικού οφέλους. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, αποτελεί επίσης την άμεση επαφή των πολιτών με τα οφέλη αξιοποίησης των ΑΠΕ και το γεγονός αυτό συνεισφέρει στην ευρύτερη κοινωνική αποδοχή και άλλων τεχνολογιών ΑΠΕ στο νησί.

Μέχρι στιγμής υπάρχουν εγκατεστημένα και ενωμένα με το δίκτυο της ΑΗΚ 773 φωτοβολταϊκά συστήματα. Από αυτά τα 21 εγκαταστάθηκαν σε μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος 100-150kWp και τα υπόλοιπα σε στέγες και οροφές κτηρίων ισχύος κάτω από 20kWp. Τουλάχιστον 329 συστήματα αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων είχαν εγκατασταθεί μέχρι το τέλος του 2011, ενώ μέχρι τα τέλη του 2013 αναμένεται να δημιουργηθούν μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα συνολικής ισχύος 1-10 MW. Μέχρι το τέλος του 2014 αναμένεται να

λειτουργήσουν δυο ηλιοθερμικοί σταθμοί συνολικής δυναμικότητας 25 MW. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων έφτασε τα 9.5 MW το 2011, παρουσιάζοντας σχετική αύξηση 3.3 MW από το 2010.

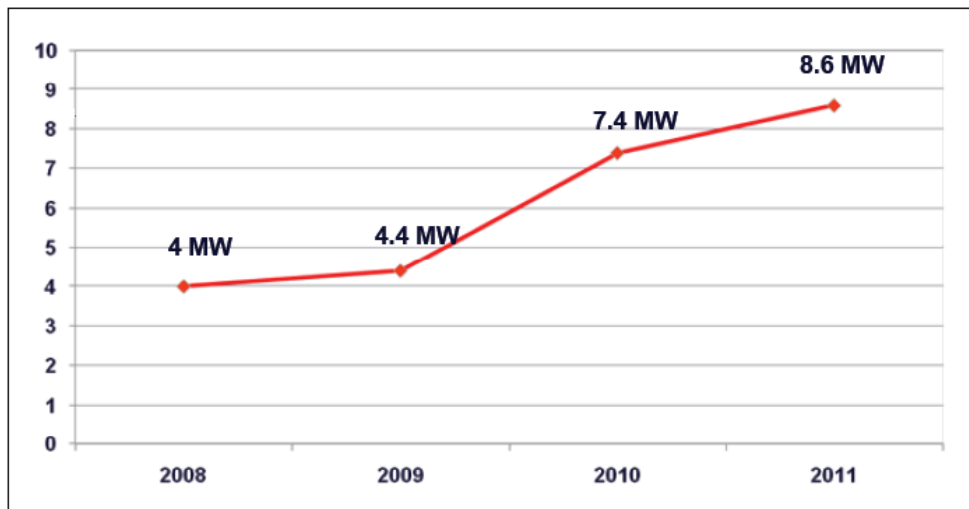
Με βάση τα στοιχεία που υποβάλλονται στα πλαίσια των Σχεδίων Χορηγιών μέχρι το τέλος του 2011 εγκαταστάθηκαν 92 κεντρικά ηλιακά συστήματα, 45 ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού πισίνας και 291 ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων με ισχύ που κυμαίνεται εντός 21-150kWp, η ΑΗΚ παρέχει διάφορες χορηγίες και ευκολίες στην σύνδεση με το δίκτυο. Οι ιδιοκτήτες έχουν το δικαίωμα να πωλούν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ή το πλεόνασμα αυτής στην ΑΗΚ ή άλλο μη οικιστικό φορέα. Για σκοπούς ενθάρρυνσης και άλλων τέτοιων περιπτώσεων εκτός από τις διάφορες χορηγίες, η ΑΗΚ δεσμεύεται μέσω εικοσαετούς συμβολαίου να αγοράζει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ή πλεόνασμα αυτής, σε τιμή ψιλότερη από αυτήν που η ίδια πουλά.

4.2.5 Ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα/βιοαέριο

4.2.5.1 Βιομάζα

Η χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή στην Κύπρο μέχρι σήμερα προέρχεται μόνο από συστήματα παραγωγής και ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου το οποίο παράγεται από την αναερόβια χώνευση ζωικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, από το 2012 βρίσκονται σε λειτουργία 12 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αξιοποίηση βιομάζας συνολικής ισχύος 8.6 MW, ενώ από το 2008 η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα έχει υπερδιπλασιαστεί. (Διάγραμμα 4.5). Μέχρι το τέλος του 2013 αναμένεται να λειτουργήσουν άλλες 3 μονάδες συνολικής δυναμικότητας 10 MW.



Διάγραμμα 4.5: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς βιομάζας/βιοαερίου, (Πηγή: Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου, 2011)

Η πρώτη μονάδα βιομάζας/βιοαερίου με ισχύ 250 kW, συνδέθηκε με το δίκτυο της ΑΗΚ, το Δεκέμβριο του 2007. Η συνολική παραγόμενη ενέργεια για την περίοδο Δεκέμβριο 2007 με Φεβρουάριο του 2009, που δόθηκε στο δίκτυο ανέρχεται στις 108.7GWh. Για το έτος 2010 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς συνδεδεμένους με το δίκτυο ήταν 52.5 GWh ενώ το 2011 έφτασε τα 88.7GWh.

Σύμφωνα με τη μελέτη εκτίμησης του εθνικού δυναμικού βιομάζας, η Κύπρος, ως νησιωτική-μεσογειακή χώρα, δεν παρουσιάζει ισχυρό δυναμικό που θα επιτρέπει την αποφασιστική συμμετοχή της βιομάζας στο ενεργειακό σύστημα, όπως συμβαίνει με χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης λόγω της απουσίας δασικής βιομάζας, των ξηροθερμικών συνθηκών, καθώς και λόγω του υδατικού προβλήματος που αντιμετωπίζει το νησί.

4.2.5.2 Βιοκαύσιμα

Με δεδομένη την περιορισμένη διαθεσιμότητα καλλιεργήσιμων εκτάσεων για ενεργειακή γεωργία αλλά και τις ξηροθερμικές συνθήκες της Κύπρου, η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να στηριχθεί αποκλειστικά κυρίως σε εισαγωγές πρώτων υλών.

Σήμερα, μόνο μία εταιρεία παράγει βιοκαύσιμα στην Κύπρο από εισαγόμενες πρώτες ύλες, ενώ η δυνατότητα παραγωγής βιοκαυσίμων από χρησιμοποιούμενα μαγειρικά λάδια και ζωικά λίπη είναι περιορισμένη.

Στις 21 Οκτωβρίου 2011 εκδόθηκε το «Περί της Περιεκτικότητας των Συμβατικών Καυσίμων που Χρησιμοποιούνται στις Μεταφορές (Τροποποιητικό) Διάταγμα» σύμφωνα με το οποίο οι προμηθευτές υποχρεούνται να αναμινγνούν βιοκαύσιμα στα συμβατικά καύσιμα ώστε η μέση ετήσια ενεργειακή περιεκτικότητα των καυσίμων σε βιοκαύσιμα να ανέρχεται τουλάχιστον στο 2.4%.

4.2.6 Συμπεράσματα

Βάση των προαναφερθέντων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η Κύπρος αντιμετωπίζει σοβαρό ενεργειακό πρόβλημα. Η εισαγωγή προϊόντων πετρελαίου η οποία αποτελεί και την κυριότερη πηγή παραγωγή ενέργειας για τον νησί είναι υπερβολικά δαπανηρή. Έτσι, η στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κρίνεται αναγκαία και επιτακτική, αφού θα επιφέρει σημαντικά οφέλη στην τοπική οικονομία.

Αξιολογώντας την υπάρχουσα κατάσταση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα ενεργειακά χαρακτηριστικά και τους στόχους και που καλείται η Κυπριακή Δημοκρατία να ικανοποιήσει, εξάγεται το συμπέρασμα πως η εκμετάλλευση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να συμβάλει στην προσπάθεια αντιμετώπισης του ενεργειακού προβλήματος του νησιού. Μπορεί να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως τα πετρελαιοειδή και να ενισχύσει την ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού και την τροφοδοσία της χώρας με ενέργεια.

Επιπρόσθετα, την παρούσα στιγμή οι τεχνολογίες που προσφέρονται για εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, είναι αποδοτικότερες και με χαμηλότερο κεφαλαιουχικό κόστος, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ηλιακές ή τις εγκαταστάσεις για εκμετάλλευση της βιομάζας. Οι ανεμογεννήτριες είναι σε θέση ισχύος στην παραγωγή μεγάλων ποσών ενέργειας και κάλυψη περισσότερων ενεργειακών αναγκών. Από την άλλη τα φωτοβολταϊκά συστήματα με τις διαθέσιμες τεχνολογίες που υπάρχουν, μπορούν να συνεχίσουν να συμβάλουν στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε θέρμανση νερού και χώρου, μέσω της τοποθέτησης τους στις στέγες των κτηρίων. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή, ώστε να μελετηθούν πιθανές νέες θέσεις που θα ήταν ιδανικές για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων αφού θα ανακούφιζαν σε μεγάλο βαθμό την κυπριακή οικονομία και ταυτόχρονα θα αποτελούσαν καταλυτικός παράγοντας στη εξομάλυνση του ενεργειακού προβλήματος του νησιού.

4.3 Δεδομένα - Πηγές

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος και την επεξεργασία των κριτηρίων που θα αποδώσουν τα αντίστοιχα θεματικά επίπεδα, χρειάστηκε να εισαχθούν σε μορφή shape file στο πεδίο του ArcMap 10, δεδομένα τα οποία προέρχονται από το κτηματολόγιο Κύπρου. Επίσης ήταν αναγκαίο σε κάποιες περιπτώσεις να μετατραπούν τα δεδομένα σε ψηφιακή μορφή ακολουθώντας την διαδικασία της ψηφιοποίησης από κατάλληλους χάρτες οι οποίοι προέρχονται από τις αντίστοιχες ιστοσελίδες των υπηρεσιών. (Πίνακας 4.7)

Αρχικό Θεματικό Επίπεδο	Μορφή	Πηγή
Οδικό δίκτυο	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Υφιστάμενα αιολικά πάρκα	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Αεροδρόμια	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Ακτογραμμή	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Αστική Περιοχή	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Υδρογραφικό δίκτυο (λίμνες/ποτάμια)	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Αρχαιολογικά μνημεία	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Αστικές περιοχές/οικισμοί	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Προστατευόμενες Περιοχές (ΖΕΠ/ΤΚΣ)	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Ισοϋψείς	Shape file	Κτηματολόγιο Κύπρου
Δίκτυο ΑΗΚ	Χάρτης (Ψηφιοποίηση)	Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (Ιστότοπος)
Αιολικό Δυναμικό	Χάρτης (Ψηφιοποίηση)	Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου (Ιστότοπος)

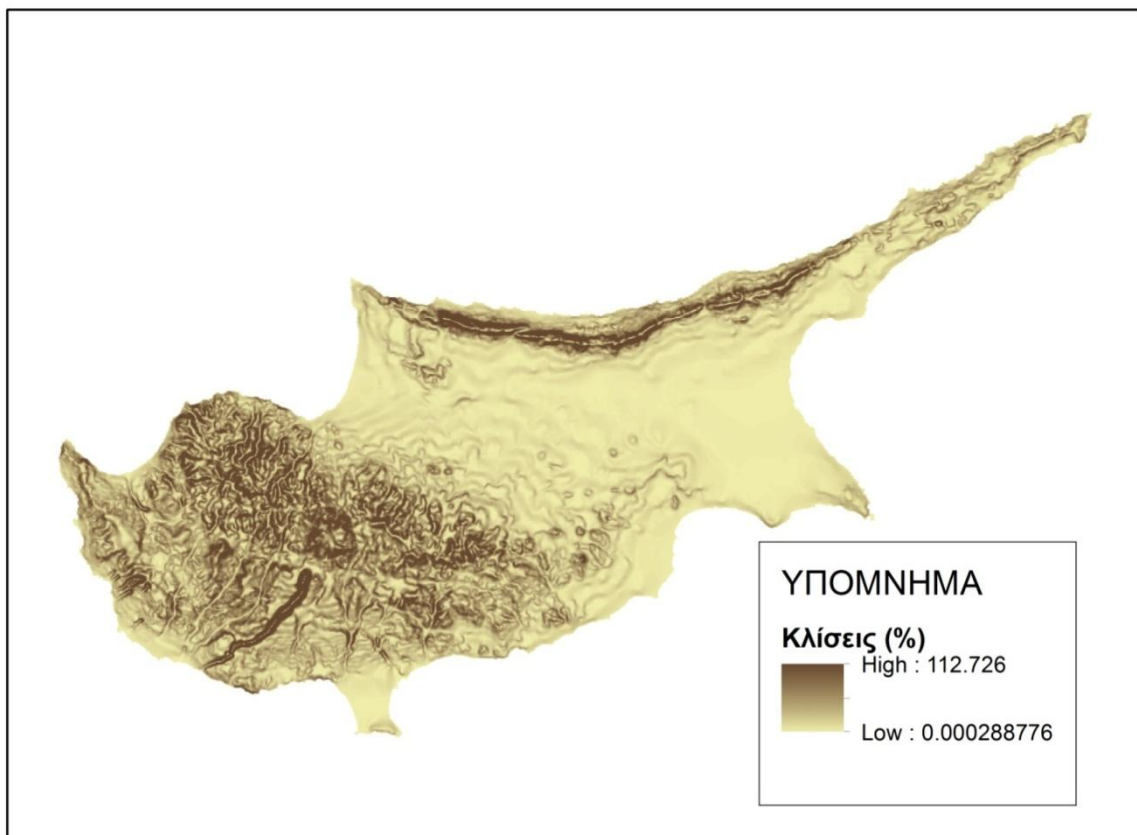
Πίνακας 4.7: Προέλευση και μορφή των δεδομένων

Επιπρόσθετα, χρειάστηκε κατά την επεξεργασία η εξαγωγή ενός γεωμορφολογικού χάρτη της Κύπρου, όπου θα απεικονίζονταν οι κλίσεις για ολόκληρη την επιφάνεια (Χάρτης 4.6). Επειδή θα ήταν ανακριβής να γίνει ψηφιοποίηση ενός υφιστάμενου γεωμορφολογικού χάρτη της Κύπρου, προτιμήθηκε να γίνει η εξαγωγή του, μέσω του ArcMap 10. Συγκεκριμένα

χρησιμοποιήθηκε η εντολή:Topo to Raster, του 3D Analyst Tools – Raster Interpolation. Για την καλύτερη απόδοση του ανάγλυφου εισήχθηκε στο εργαλείο το υδρογραφικό δίκτυο (ποταμοί) του νησιού, με τύπο streamενώ το πολύγωνο της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκε ως όριο (boundary). Για να διαμορφωθεί το τελικό ανάγλυφο εισήχθησαν στο εργαλείο οι ισοΐψεις και η ακτογραμμή με τύπο contourκαι πεδίο elevation. (Πίνακας 4.8)

Feature layer	Field	Type
Ισοΐψεις	ELEVATION	Contour
Ακτογραμμή	ELEVATION	Contour
Ακτογραμμή (πολύγωνο)	-	Boundary
Υδρογραφικό δίκτυο	-	Stream

Πίνακας 4.8 : Εισαγωγή δεδομένων για την εκτέλεση της εντολής Topo to Raster



Χάρτης 4.6 : Τελικός γεωμορφολογικός Χάρτης της Κύπρου

Τέλος για την αποφυγή σφαλμάτων κατά την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε αναγκαίο να μετατραπούν όλα τα αρχικά θεματικά επίπεδα σε ένα κοινό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Συγκεκριμένα το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε ήταν το CGRS_1993_LTM, το αντιστοιχεί στα δεδομένα της Κύπρου και ήταν διαθέσιμο μέσω του λογισμικού ArcGis 10.

4.4 Στάδιο 1: Εκτίμηση κατάλληλων περιοχών

4.4.1 Καθορισμός Κριτηρίων

Η σωστή επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας, αποτελεί το πρώτο στάδιο χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου. Για να μπορέσει το αιολικό πάρκο να αποδώσει το αναμενόμενο, εξυπηρετώντας τις ανάγκες για τις οποίες έχει σχεδιαστεί να καλύψει, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα κριτήρια. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την διεξοδική επίλυση του προβλήματος οδηγώντας στον αποκλεισμό των ακατάλληλων και παράλληλα στον προσδιορισμό των κατάλληλων περιοχών. Τα κριτήρια αυτά χαρακτηρίζονται ως απλά αφού απλά καθορίζουν το αν επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικού πάρκου εντός μιας περιοχής ή όχι.

Έτσι, μετά από διεξοδική μελέτη της βιβλιογραφίας καθώς επίσης και της νομοθεσίας: *Νόμος Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας, Εντολή 2/ Άρθρο 6/ 2006*, προσδιορίστηκαν τα παρακάτω κριτήρια που πρέπει να πληρούν οι τελικές περιοχές.

• Περιβαλλοντικά

Τα κριτήρια αυτά λαμβάνουν υπόψη τις διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα έχει η εγκατάσταση ενός τέτοιου έργου στο φυσικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής. Τα κριτήρια που αφορούν τις προστατευόμενες περιοχές (ΤΚΣ, ΖΕΠ), καθώς και την ακτογραμμή επιλέχθηκαν βάση του πιο πάνω νόμου. Για τα κριτήρια που αφορούν το υδρογραφικό δίκτυο (λίμνες, ποταμοί), ο νόμος δεν ορίζει μια συγκεκριμένη ζώνη αποκλεισμού αλλά θεωρήθηκε ορθό να επιλεγεί μια λογική ζώνη αποκλεισμού για περιβαλλοντικούς σκοπούς.

Κριτήριο 1: Προστατευόμενες Περιοχές (Τόποι Κοινοτικής Σημασίας)

Θα πρέπει οι προτεινόμενες περιοχές να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 300μ. , από τις περιοχές που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο Natura 2000 ως Τόποι Κοινοτικής Σημασίας. Η Κύπρος διαθέτει 20 περιοχές κοινοτικής σημασίας οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3 που παρατέθηκε πιο πάνω.

Κριτήριο 2: Ζώνες Ειδικής Προστασίας

Θα πρέπει οι προτεινόμενες περιοχές να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 500μ. , από το όριο καθορισμένης Ζώνης Ειδικής Προστασίας.

Κριτήριο 3: Ακτογραμμή

Οι προτεινόμενες περιοχές θα πρέπει να απέχουν 300μ. , από το όριο ακτής.

Κριτήρια 4, 5: Υδρογραφικό Δίκτυο (ποταμοί, λίμνες)

Οι προτεινόμενες περιοχές πρέπει να απέχουν 100μ. από ποταμούς και 150μ. από λίμνες.

- **Πολιτιστικά**

Στα πολιτιστικά κριτήρια ανήκουν όλοι οι αρχαιολογικοί χώροι, καθώς και μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Το κριτήριο αυτό εξήχθηκε επίσης από την νομοθεσία.

Κριτήριο 6: Αρχαιολογικοί Χώροι

Τα αιολικά πάρκα πρέπει να χωροθετούνται σε απόσταση μεγαλύτερη των 500μ. από αρχαιολογικό χώρο, η οποία θα καθορίζεται από την Πολεοδομική Αρχή, αφού ληφθούν υπόψη οι σχετικές απόψεις του Τμήματος Αρχαιοτήτων και της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος.

- **Οικιστικά**

Σύμφωνα με τον Νόμο Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας του 2006, δεν μπορούν να τοποθετηθούν αιολικά πάρκα κοντά σε κατοικημένες περιοχές κυρίως για λόγους ασφαλείας, αλλά και πιθανών προβλημάτων από τους κατοίκους, λόγω του θορύβου που μπορεί να προκύψει κατά την κατασκευή και λειτουργία των αιολικών πάρκων.

Κριτήρια 7,8: Αστικές Περιοχές/ Οικισμοί

Απόσταση μεγαλύτερη των 850 μ. από ήδη καθορισμένο Όριο Ανάπτυξης και μεγαλύτερη των 350 μ. από νόμιμα υφιστάμενη μεμονωμένη κατοικία που βρίσκεται εκτός Ορίου Ανάπτυξης.

- **Κριτήρια δικτύων και υποδομών**

Σε αυτά τα κριτήρια εντάσσονται οι υφιστάμενες υποδομές των αεροδρομίων και των αιολικών πάρκων, καθώς και το οδικό δίκτυο της Κύπρου. Τα συγκεκριμένα κριτήρια έχουν επίσης επιλεχθεί βάση της νομοθεσίας και εξυπηρετούν κυρίως λόγους ασφαλείας.

Κριτήριο 9: Οδικό Δίκτυο

Απόσταση μεγαλύτερη του 150% και του 100% του μέγιστου ύψους ανεμογεννήτριας, από το όριο αυτοκινητόδρομου και το όριο οποιουδήποτε άλλου εγγεγραμμένου δημόσιου δρόμου (δεν περιλαμβάνεται δρόμος που οδηγεί κυρίως σε ανεμογεννήτρια του αιολικού πάρκου).

Το μέγιστο ύψος μιας τυπικής ανεμογεννήτριας 2MW, είναι 100μ. (*Industrial Wind Energy Opposition*), άρα προκύπτει ότι το αιολικό πάρκο θα πρέπει να απέχει απόσταση 130μ. από το οδικό δίκτυο.

Κριτήριο 10: Υφιστάμενα Αιολικά Πάρκα

Δύο αιολικά πάρκα που διαθέτουν συνολικά περισσότερες των 15 ανεμογεννητριών δεν θα επιτρέπονται σε απόσταση μικρότερη του 1.5 χλμ. μεταξύ τους.

Κριτήριο 11: Αεροδρόμια

Απόσταση μεγαλύτερη των 350 μ. από οποιοδήποτε σημείο αεροδιαδρόμου ή κώνου πτήσεων και διακίνησης πτητικών μέσων ή άλλη απόσταση που θα καθορισθεί από το Τμήμα Πολιτικής Αεροπορίας ή το Υπουργείο Άμυνας, ανάλογα με τις ιδιομορφίες της κάθε περιοχής

• **Λειτουργικά/ Οικονομικά**

Κριτήριο 12: Αιολικό Δυναμικό

Η προτεινόμενη περιοχή θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από κατάλληλο αιολικό δυναμικό. Οι περιοχές αιολικού δυναμικού πρέπει να είναι μεγαλύτερες των 4m/sec ώστε το αιολικό πάρκο να είναι βιώσιμο και προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του χάρτη αιολικού δυναμικού, της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Χάρτης 4.4). Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε περιοχή με μέσο αιολικό δυναμικό με ταχύτητες που φτάνουν τα 4 m/sec, μπορεί να αποδώσει έως και 200 kW. Η αποδοτικότητα του οκταπλασιάζεται αν η ταχύτητα αυτή διπλασιαστεί.

Ανεπιφύλακτα το αιολικό δυναμικό είναι πρωταρχικό κριτήριο αφού είναι αυτό που πρωταρχικά καθορίζει, ποια θέση κρίνεται καταλληλότερη για την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, ενώ οι μετρήσεις αιολικού δυναμικού είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό και τον καλό προγραμματισμό λειτουργίας ενός αιολικού σταθμού.

Κριτήριο 13: Δίκτυο Ηλεκτροδότησης (ΑΗΚ)

Όπως προβλέπεται από την νομοθεσία τα αιολικά πάρκα πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη του 150% και του 100% του μέγιστου ύψους ανεμογεννήτριας, από εναέριες γραμμές υψηλής τάσης (66 KV ή περισσότερα) ή άλλων χαμηλότερων τάσεων, αντίστοιχα για λόγους ασφαλείας.

Έτσι στην συγκεκριμένη περίπτωση πάρθηκαπόσταση ασφαλείας 130μ. από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Το κριτήριο αυτό όμως είναι πολύ σημαντικό αφού εξυπηρετεί οικονομικά κριτήρια καθώς και κριτήρια υποδομής. Συγκεκριμένα, δεν θα χρειάζονται να ενταχθούν στο δίκτυο νέες γραμμές μεταφοράς ή να ανοικοδομηθούν καινούριοι υποσταθμοί. Ταυτόχρονα, το κόστος που αφορά τυχόν απώλειες ενέργειας λόγω των μεγάλων αποστάσεων μεταφοράς, μπορεί να υποτιμήσει την παραγωγή αιολικής ενέργειας σε σημείο που δεν θα μπορεί να είναι τόσο ανταγωνιστική με άλλες μορφές ενέργειας.

Για αυτό επιλέχθηκε τελικά οι προτεινόμενες περιοχές να βρίσκονται εντός 5 χιλιομέτρων από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

4.4.2 Προσδιορισμός Απαιτούμενων Θεματικών Επιπέδων

Κάθε κριτήριο πρέπει να μεταφρασθεί σε συγκεκριμένα γεωγραφικά – γεωμετρικά στοιχεία και στα αντίστοιχα θεματικά επίπεδα. Η επιλογή αυτή εξαρτάται από την ανάλυση που είναι αναγκαία στην εκάστοτε μελέτη και τα τελικά προϊόντα που πρέπει να δημιουργηθούν (Κουτσόπουλος, 2005β). Στη συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτούνται στοιχεία για τις περιοχές που εντάσσονται ως τόποι κοινοτικής σημασίας και ζώνες ειδικής προστασίας στο δίκτυο Natura 2000, για τους αρχαιολογικούς χώρους, για το υδρογραφικό δίκτυο, τις κατοικημένες περιοχές, το οδικό δίκτυο, τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα και αεροδρόμια, το αιολικό δυναμικό και το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Για την οργάνωση των χωρικών στοιχείων σε επίπεδα, δύο είναι οι βασικές συνιστώσες: η μορφή των στοιχείων (σημείο, γραμμή, πολύγωνο) και η θεματολογία τους (Κουτσόπουλος, 2005β). Στον παρακάτω πίνακα 4.9 περιγράφονται τα κριτήρια με τη μετατροπή τους σε θεματικά επίπεδα αρχικά και τελικά:

Κριτήριο	Αρχικά Επίπεδα	Τοπολογία	Παραγόμενα Επίπεδα	Τοπολογία
1	Τόποι Κοινοτικής Σημασίας	Πολυγωνική	Ζώνη Αποκλεισμού 300μ.	Πολυγωνική
2	Ζώνες Ειδικής Προστασίας	Πολυγωνική	Ζώνη Αποκλεισμού 500μ.	Πολυγωνική
3	Ακτογραμμή	Γραμμική	Ζώνη Αποκλεισμού 300μ.	Πολυγωνική
4	Ποταμοί	Γραμμική	Ζώνη Αποκλεισμού 100μ.	Πολυγωνική
5	Λίμνες	Πολυγωνική	Ζώνη Αποκλεισμού 150μ.	Πολυγωνική
6	Αρχαιολογικοί Χώροι	Σημειακή	Ζώνη Αποκλεισμού 500μ.	Πολυγωνική
7	Αστικές Περιοχές	Πολυγωνική	Ζώνη Αποκλεισμού 850μ.	Πολυγωνική
8	Οικισμοί	Σημειακή	Ζώνη Αποκλεισμού 350μ.	Πολυγωνική
9	Οδικό Δίκτυο	Γραμμική	Ζώνη Αποκλεισμού 130μ.	Πολυγωνική
10	Αιολικά Πάρκα	Σημειακή	Ζώνη Αποκλεισμού 1500μ.	Πολυγωνική
11	Αεροδρόμια	Σημειακή	Ζώνη Αποκλεισμού 350μ.	Πολυγωνική
12	Αιολικό Δυναμικό	Πολυγωνική	Ζώνη Επιρροής	Πολυγωνική
13	Δίκτυο Ηλεκτροδότησης (ΑΗΚ)	Γραμμική	Ζώνη Αποκλεισμού 130μ.	Πολυγωνική
			Ζώνη Επιρροής 5000μ.	

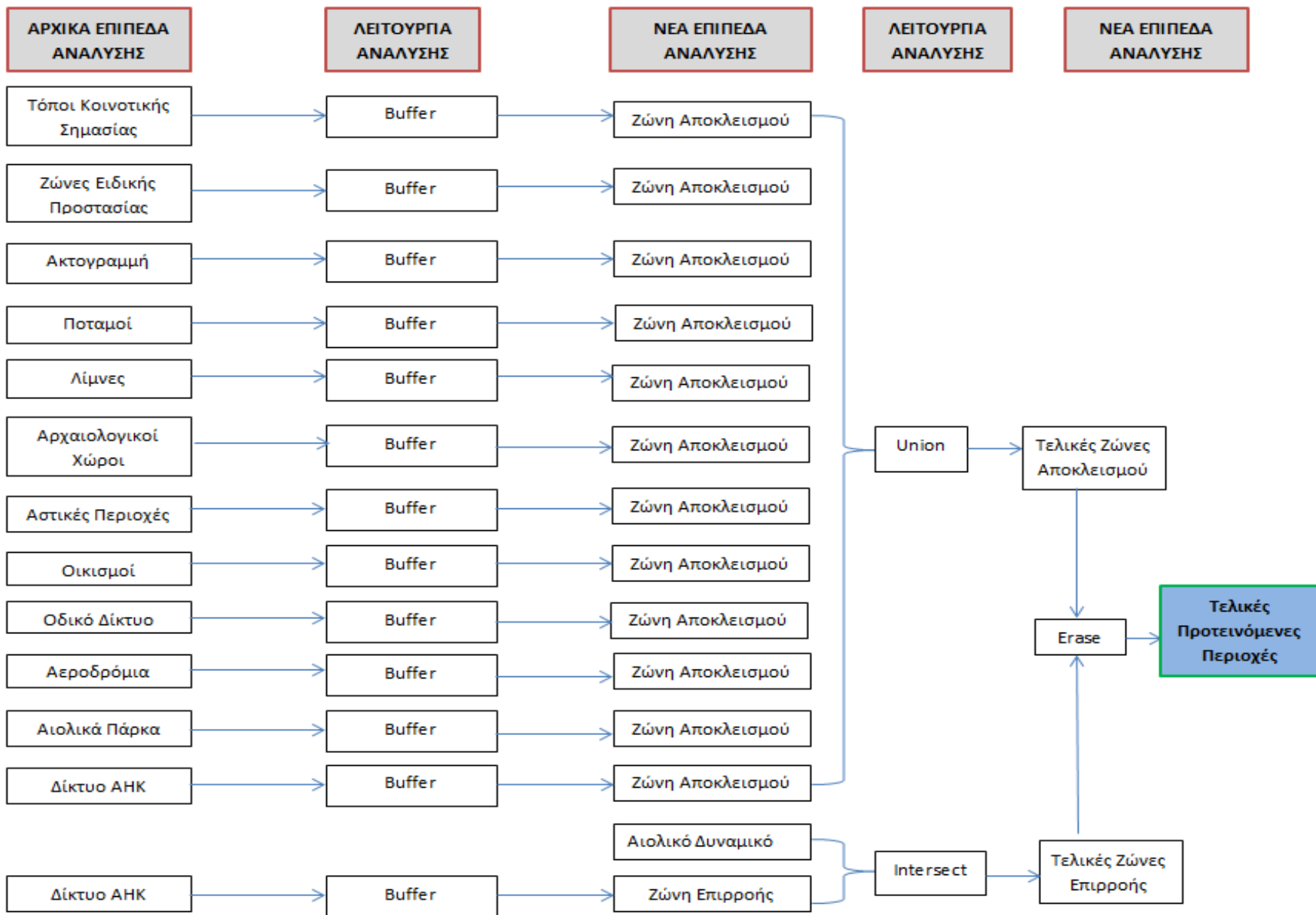
Πίνακας 4.9: Καθορισμός αρχικών και τελικών θεματικών επιπέδων

4.4.3 Ανάλυση Δεδομένων

Μετά τον προσδιορισμό του προβλήματος, τη δημιουργία της βάσης δεδομένων και τον καθορισμό των κριτηρίων με τη μετατροπή τους σε επίπεδα ανάλυσης, ακολουθεί η χωρική

ανάλυση των δεδομένων με τη δημιουργία νέων επιπέδων, τη βοήθεια εργαλείων δημιουργίας ζωνών αποκλεισμού, αλληλεπίθεσης διαφόρων επιπέδων και άλλων αναλυτικών λειτουργιών.

Ακολούθως, παρουσιάζεται το μοντέλο για τις περιοχές που είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Κύπρο με τα στοιχεία εισόδου, τις λειτουργίες ανάλυσης, τα νέα επίπεδα και τις παραγόμενες πληροφορίες. Η διαδικασία είναι η εξής: δημιουργούνται όλες οι ζώνες αποκλεισμού για τις επιμέρους κατηγορίες κριτηρίων (περιβαλλοντικά, πολιτιστικά, οικιστικά, δικτύων/υποδομών, λειτουργικά οικονομικά) οι οποίες στη συνέχεια ενώνονται και παράγεται ένα νέο επίπεδο. Στην συνέχεια δημιουργούνται οι ζώνες επιρροής οι οποίες με τη λειτουργία της τομής παράγουν το νέο επίπεδο των ζωνών επιρροής και τέλος, αφαιρώντας από τις ζώνες επιρροής τις ζώνες αποκλεισμού, παράγεται το τελικό επίπεδο των κατάλληλων περιοχών. (Διάγραμμα 4.6)



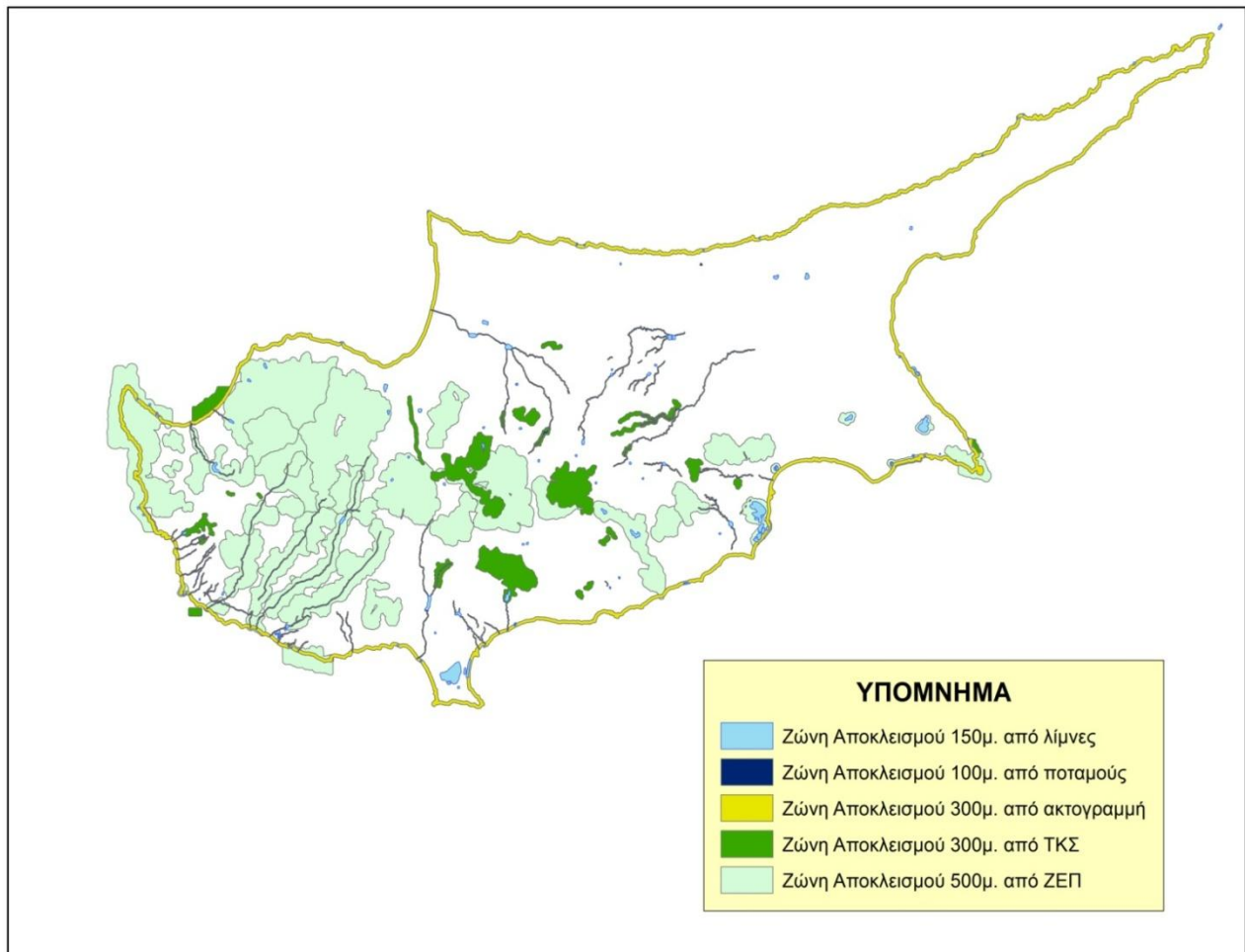
Διάγραμμα 4.6 : Μετατροπή γεωμετρικών στοιχείων σε θεματικά επίπεδα

4.4.4 Δημιουργία Ζωνών Αποκλεισμού

Παρατηρώντας το μοντέλο, φαίνεται ο τρόπος δημιουργίας των ζωνών αποκλεισμού για τη χωροθέτηση αιολικών πάρκων, δηλαδή εκείνων των περιοχών που κυρίως βάση του *Νόμου Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας, Εντολή 2/ Άρθρο 6/ 2006*, θεωρεί ασύμβατες για την κατασκευή αιολικών πάρκων για λόγους κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και τεχνικούς. Για την δημιουργία όλων των ζωνών αποκλεισμού χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Buffer Tool από Analysis Tools – Proximity του ArcMap 10. Το εργαλείο αυτό, έχει την δυνατότητα να δημιουργεί ζώνες περιμετρικά των αρχικών θεματικών επιπέδων, αναλόγως της απόστασης που καταχωρείται από τον χρήστη.

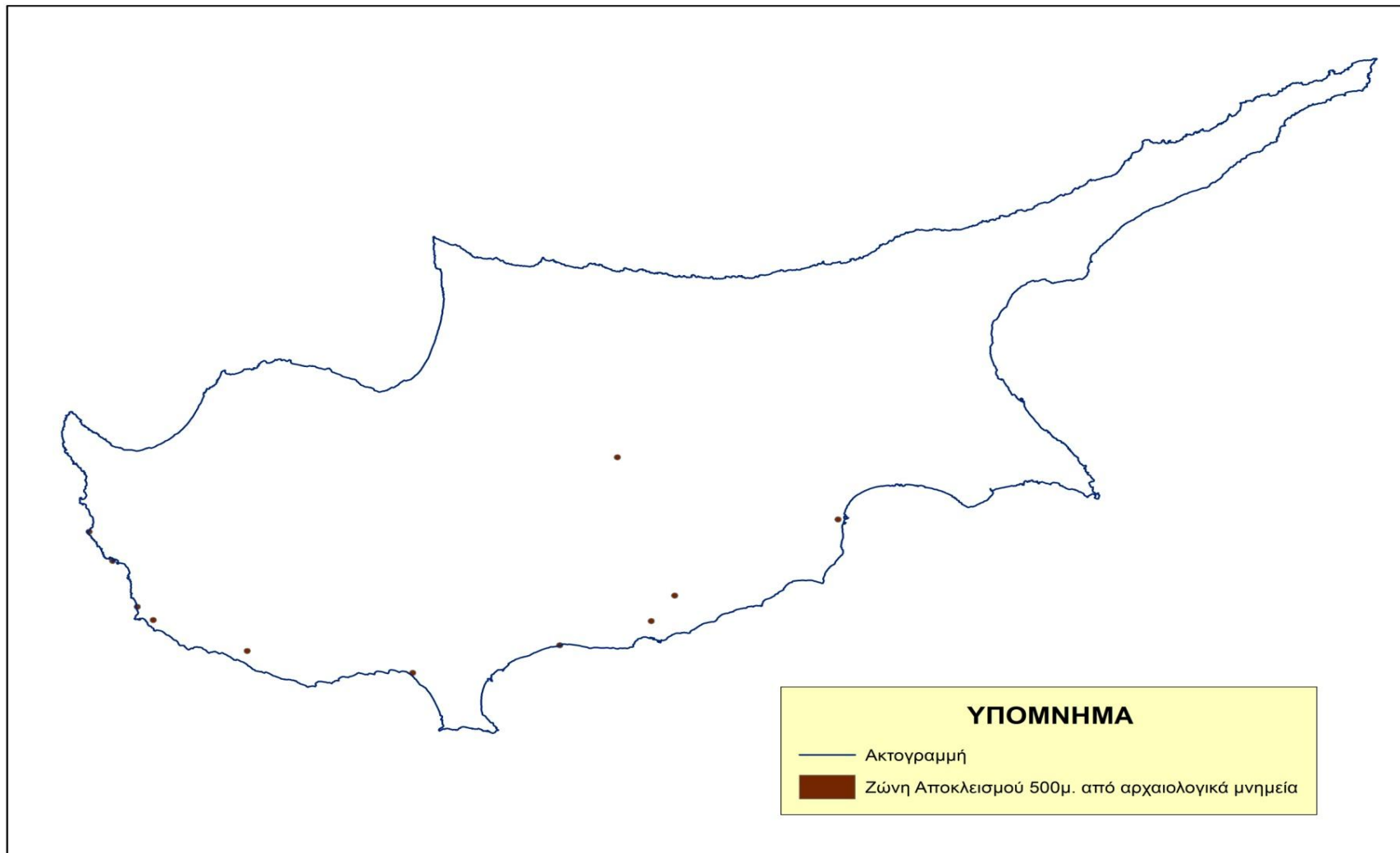
Στους παρακάτω Χάρτες 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, παρουσιάζονται οι ζώνες αποκλεισμού για τις επιμέρους κατηγορίες κριτηρίων όπως έχουν περιγραφεί στην παράγραφο 4.4.1 καθώς και η ένωση αυτών (Union), απεικονίζοντας την τελική ζώνη αποκλεισμού (Χάρτης 4.12).

- **ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**



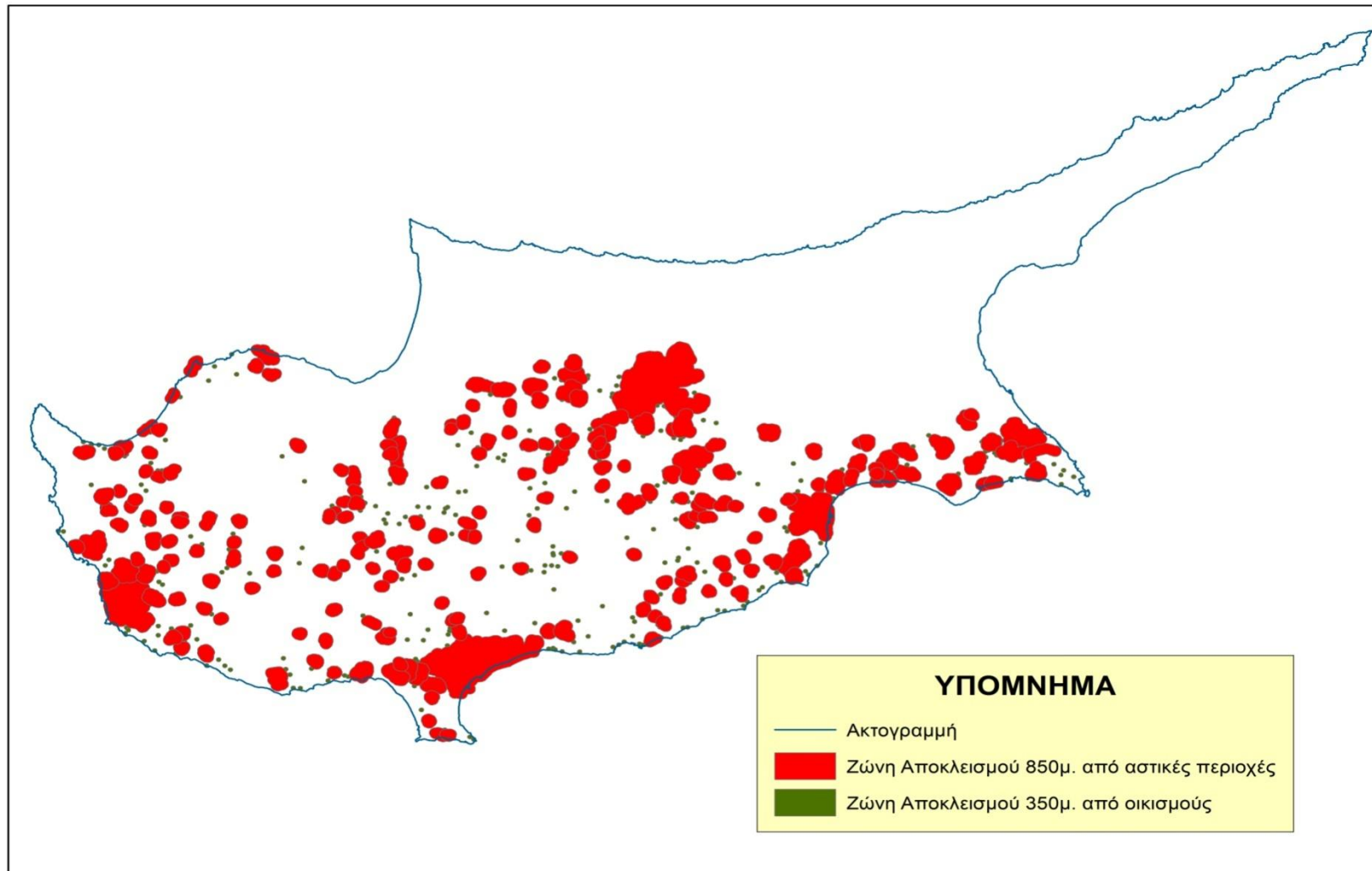
Χάρτης 4.7: Ζώνες Αποκλεισμού υδρογραφικού δικτύου και προστατευόμενων περιοχών

- **ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**



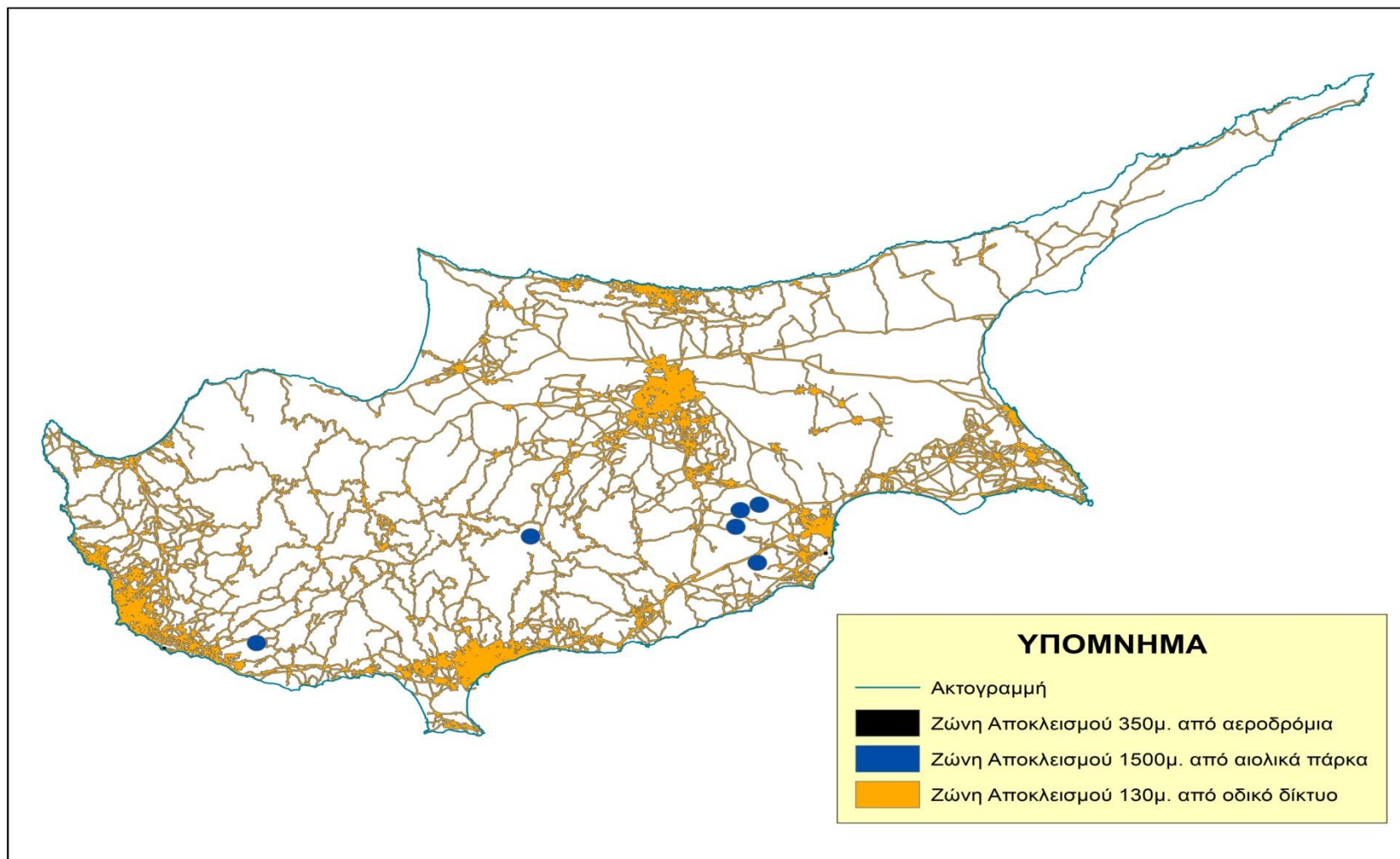
Χάρτης 4.8: Ζώνες Αποκλεισμού από αρχαιολογικούς χώρους

• ΟΙΚΙΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ



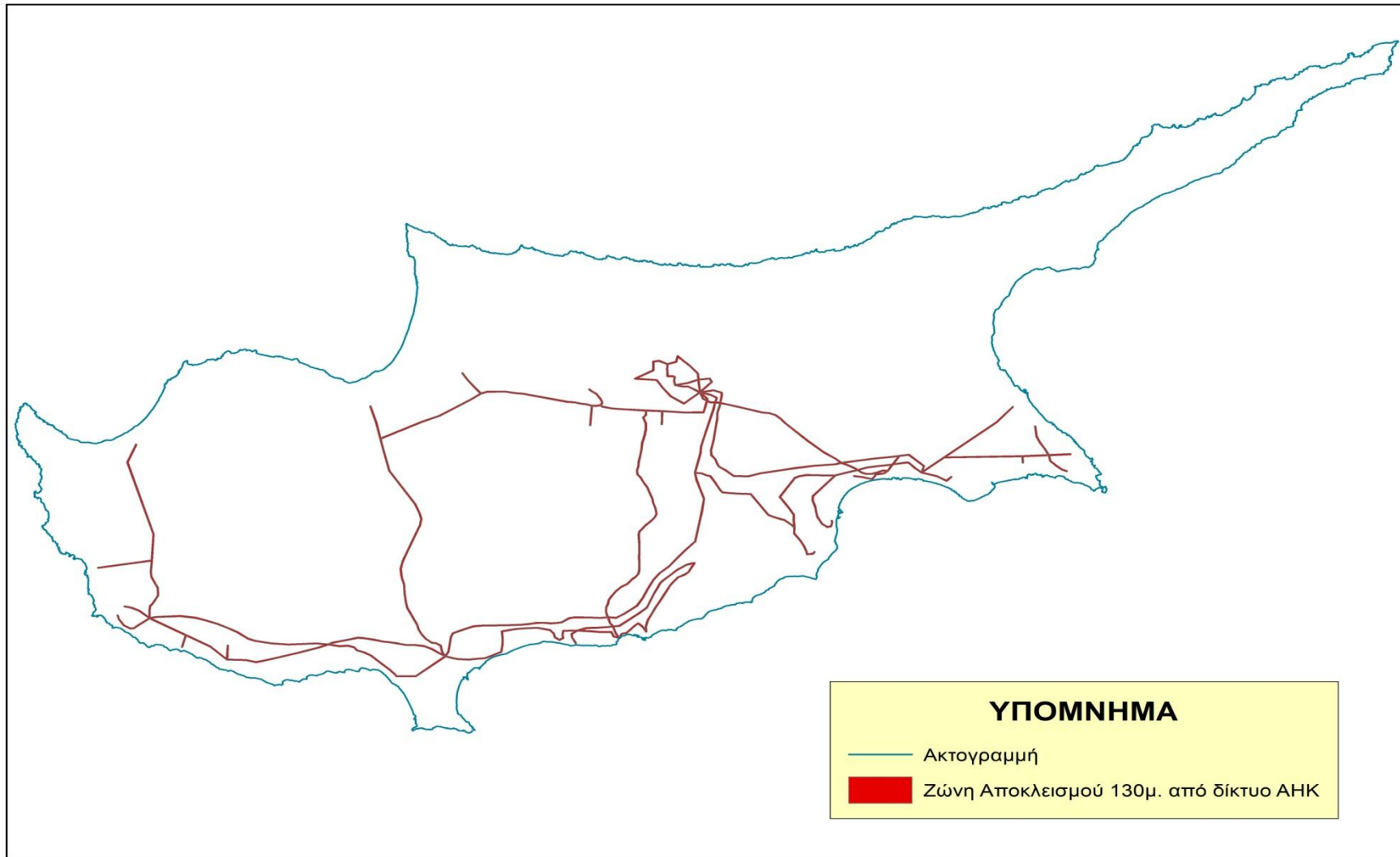
Χάρτης 4.9: Ζώνες Αποκλεισμού από κατοικημένες Περιοχές

• **ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ**



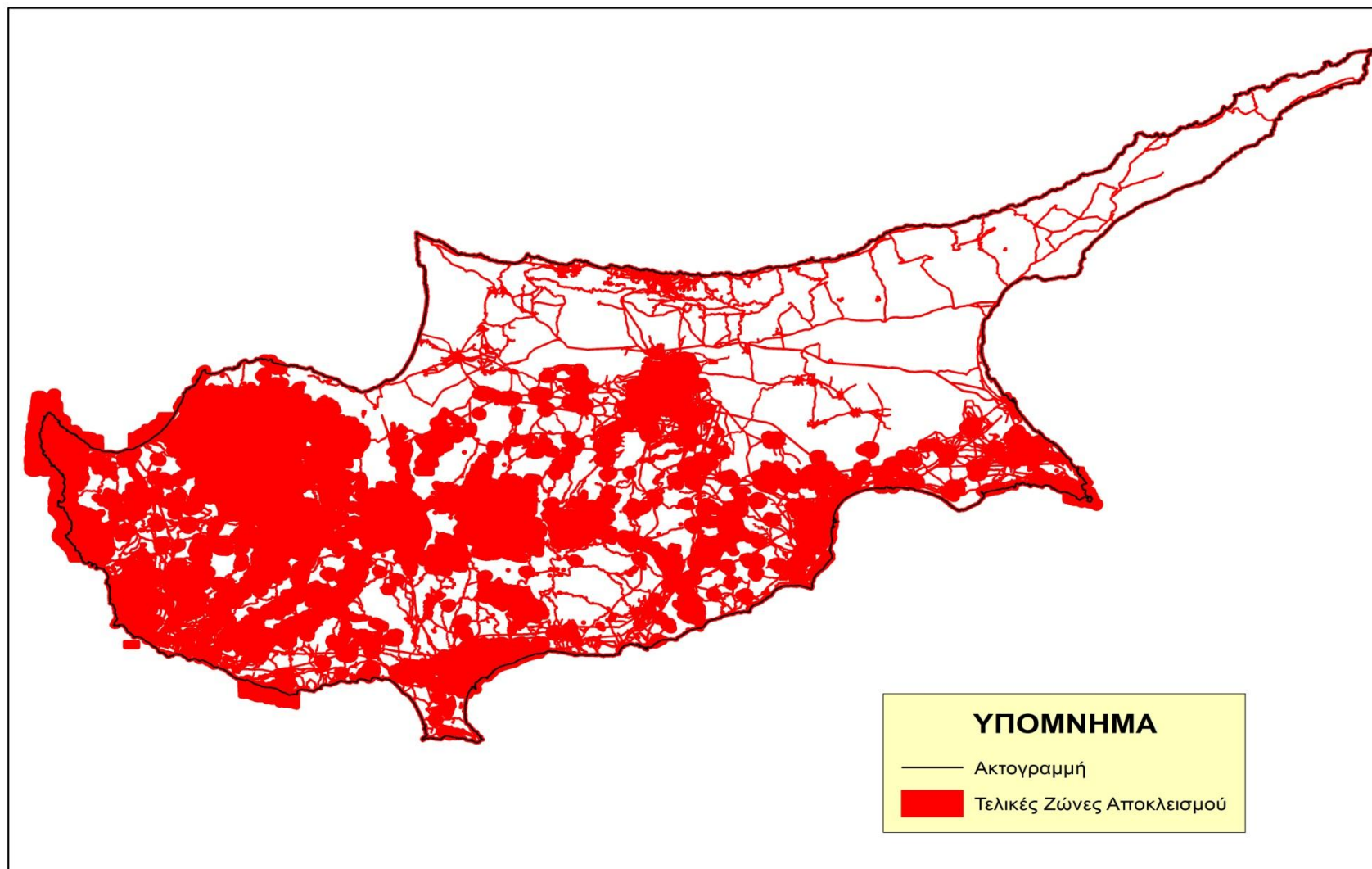
Χάρτης 4.10: Ζώνες αποκλεισμού από οδικό δίκτυο και υφιστάμενες υποδομές

- **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ/ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ**



Χάρτης 4.11: Ζώνες Αποκλεισμού από Δίκτυο Ηλεκτροδότησης

- **ΤΕΛΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ**



Χάρτης 4.12: Τελικές ζώνες αποκλεισμού μετά από την ένωση όλων των αρχικών θεματικών επιπέδων

Μετά την ένωση όλων των επιμέρους κριτηρίων (περιβαλλοντικών, οικιστικών, πολιτιστικών, δικτύων και υποδομών, λειτουργικών και οικονομικών) με την εντολή Union του ArcMap 10, εξήχθηκε μια ενιαία ζώνη αποκλεισμού η οποία παρουσιάζεται στον χάρτη 4.12 με κόκκινο χρώμα. Στις περιοχές αυτές δεν μπορεί να γίνει χωροθέτηση αιολικού πάρκου είτε επειδή το επιβάλλει η νομοθεσία εξυπηρετώντας λειτουργικούς και οικονομικούς σκοπούς καθώς και λόγους ασφαλείας.

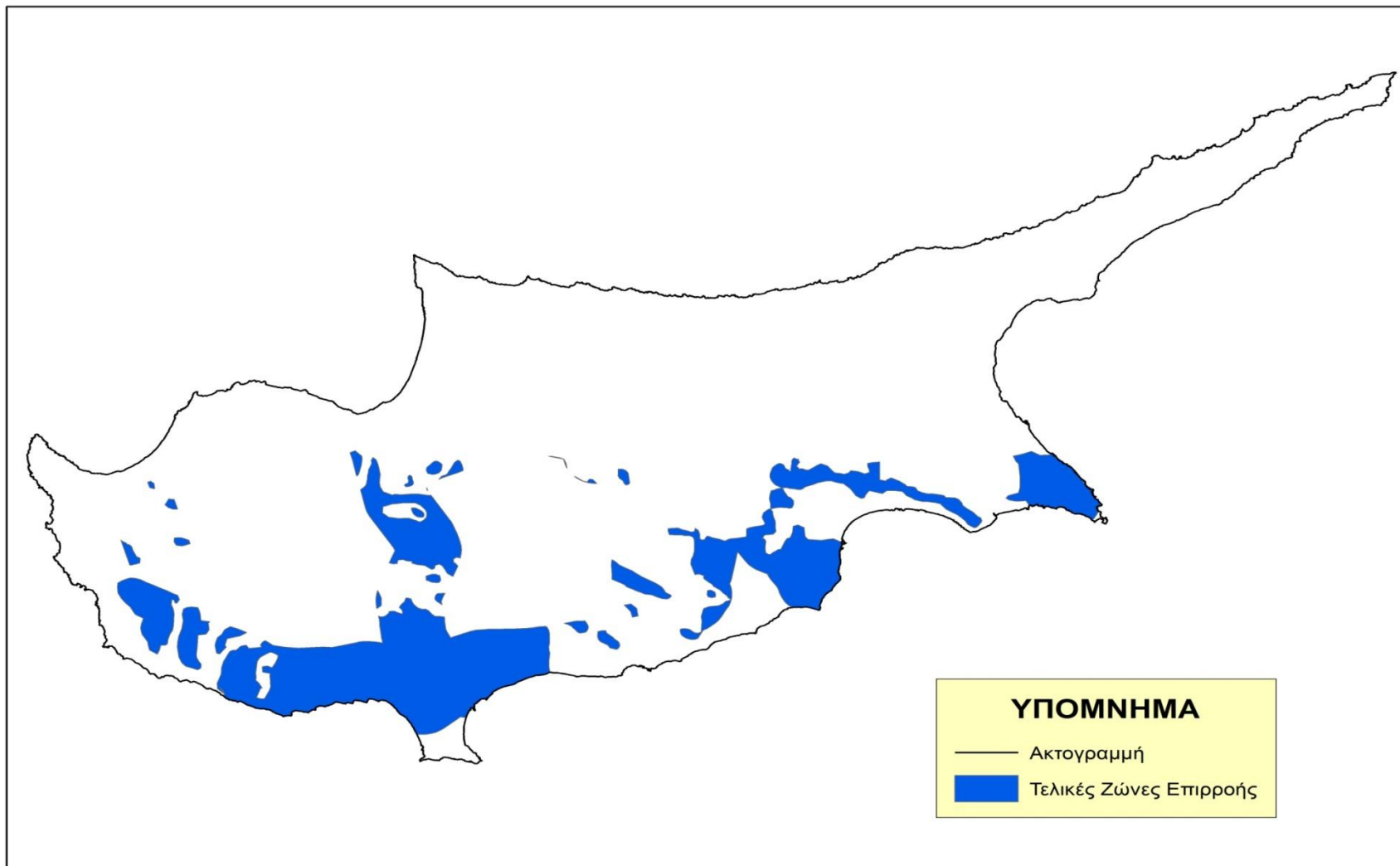
4.4.5 Δημιουργία Ζωνών Επιρροής

Βάση της βιβλιογραφίας για τη δημιουργία των ζωνών επιρροής της χωροθέτησης αιολικών πάρκων, απαραίτητα επίπεδα είναι το δίκτυο ηλεκτροδότησης το οδικό δίκτυο και σαφώς το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της περιοχής. Το οδικό δίκτυο όμως του νησιού καλύπτει σχεδόν όλη την έκταση της Κύπρου έτσι δεν χρειάστηκε να ληφθεί υπόψη το κριτήριο μέγιστης απόστασης από αυτό.

Έχει προαναφερθεί ότι το κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα για την οικονομικοτεχνική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι η ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού, που βέβαια από μόνο του δεν είναι αρκετό. Αυτό συμπεριλήφθηκε στον κατάλογο με τα κριτήρια γιατί είναι το πρώτο και σημαντικότερο βήμα για την εξέλιξη του έργου. Από το χάρτη του αιολικού δυναμικού της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Κύπρου επιλέχθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν εκείνες οι περιοχές που διαθέτουν αιολικό δυναμικό μεγαλύτερο από 4m/s, ως καταρχήν κατάλληλες. Τα 4m/s είναι ετήσια μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου που οι περισσότεροι επιστήμονες και μηχανικοί παραδέχονται ως την ελάχιστη για αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Επίσης, δημιουργήθηκε μια ζώνη επιρροής 5 χιλιομέτρων γύρω από το δίκτυο ηλεκτροδότησης (Buffer).

Από την τομή (ArcToolbox–AnalysisTools – Overlay - Intersect) των δύο παραπάνω επιπέδων προέκυψε η ζώνη καταλληλότητας για χωροθέτηση αιολικών πάρκων, όπως αυτή φαίνεται στο μοντέλο και αναπαριστάται στον ακόλουθο χάρτη 4.13

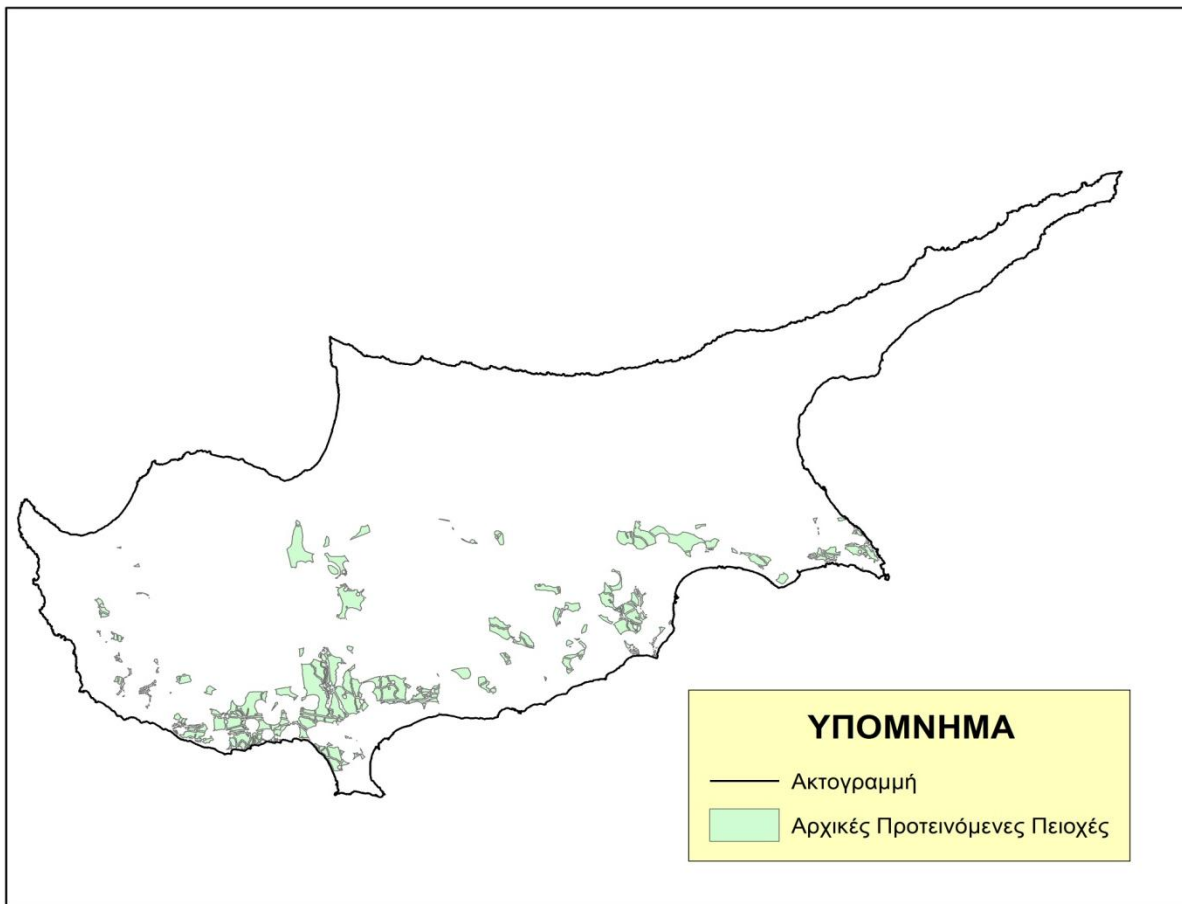
- **ΤΕΛΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ**



Χάρτης 4.13: Τελικές ζώνες επιρροής από την τομή του αιολικού δυναμικού και της ζώνης επιρροής 5 χλμ του δικτύου ηλεκτροδότησης

4.4.6 Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας, περιλαμβάνει την αφαίρεση των δυο επιπέδων, των ζωνών αποκλεισμού από τις ζώνες επιρροής. Με τον τρόπο αυτό επιλέγονται οι τελικές περιοχές στις οποίες, επιτρέπεται η χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, πληρώντας όλα τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Μέσω τις διαδικασίας ArcToolbox- AnalysisTools-Overlay-Erase, γίνεται η αφαίρεση των ζωνών αποκλεισμού από τις ζώνες επιρροής και αποδίδονται έτσι οι αρχικές προτεινόμενες περιοχές. (Χάρτης 4.14)



Χάρτης 4.14: Παραγόμενο επίπεδο μετά την αφαίρεση της τελικής ζώνης αποκλεισμού από την ζώνη επιρροής

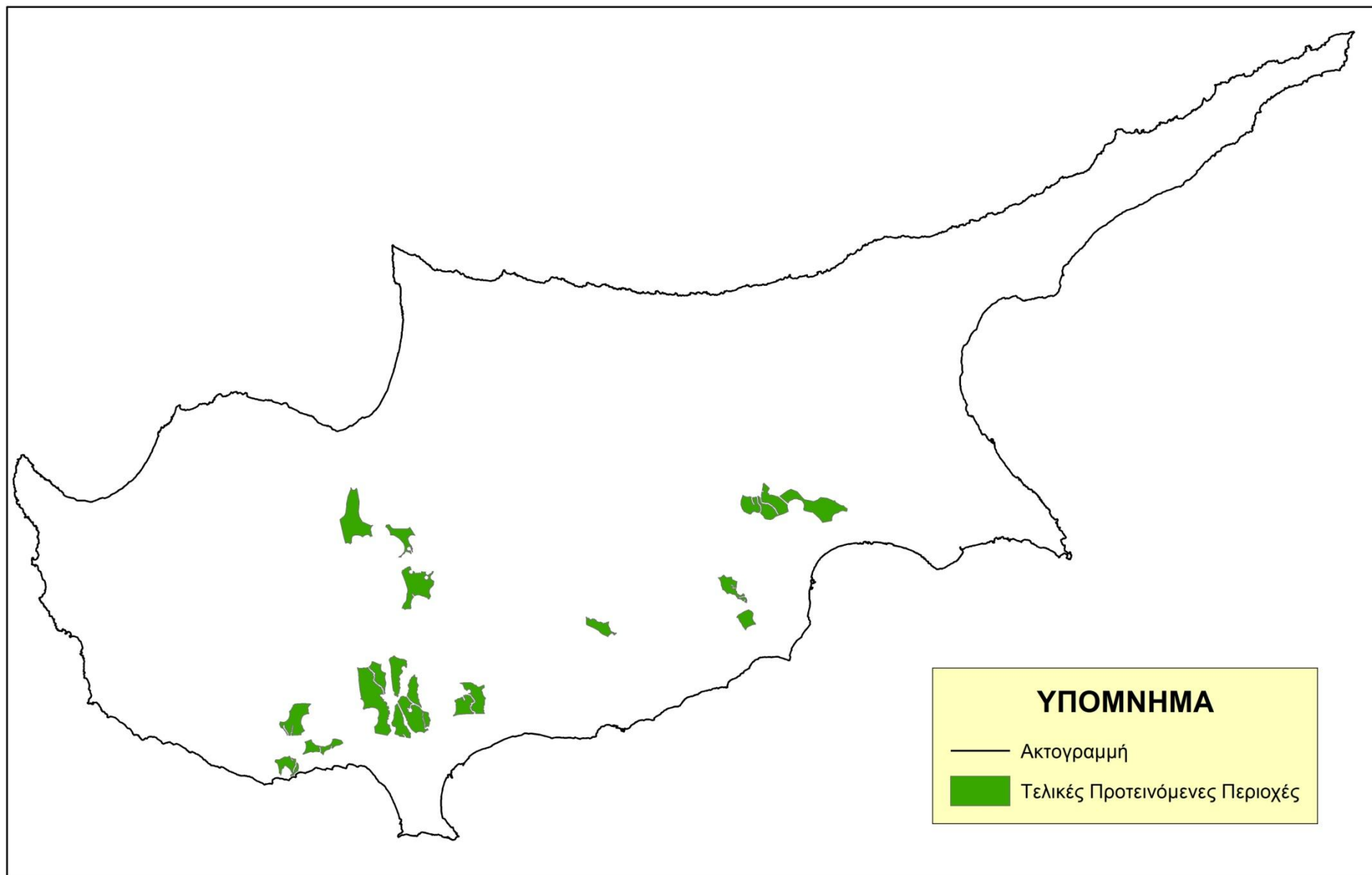
Όπως διακρίνεται στον παραπάνω χάρτη, από τις αρχικές προτεινόμενες περιοχές υπάρχουν πολλά κατακερματισμένα πολύγωνα τα οποία καλύπτουν πολύ μικρή έκταση. Οι περιοχές αυτές είναι ακατάλληλες για να χωροθετηθεί αιολικό πάρκο. Οι εκτιμήσεις που αφορούν την κατάλληλη έκταση που πρέπει να έχει μια περιοχή ώστε να τοποθετηθεί ένα αιολικό πάρκο ποικίλουν. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία το ασφαλές διάστημα μεταξύ των ανεμογεννητριών πρέπει να είναι 5-15 φορές η διάμετρος των πτερυγίων της κάθε ανεμογεννήτριας. Έτσι εκτιμάται ότι το συνολικό μέγεθος ενός αιολικού πάρκου πρέπει να κυμαίνεται από 0.25

στρέμματα/ανεμογεννήτρια, που αντιστοιχεί περίπου σε 40-200 στρέμματα/MW. (JeffreyD. Harrison, 2012)

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρήθηκε ότι το αιολικό πάρκο που πρόκειται να χωροθετηθεί θα έχει ικανότητα 50MW με 25 ανεμογεννήτριες ισχύς 2MW, χρησιμοποιώντας απόσταση ασφαλείας 100 στρέμματα/MW. Έτσι οι τελικές προτεινόμενες θέσεις πρέπει να έχουν έκταση μεγαλύτερη των 5000 στρεμμάτων.

Με την βοήθεια του ArcMap10, γίνεται ο υπολογισμός εμβαδών των περιοχών που προήλθαν από την αφαίρεση των ζωνών αποκλεισμού από τις ζώνες επιρροής. Από το ArcToolbox-SpatialStatisticsTools-Utilities-CalculateAreas, επιλέγεται το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται οι περιοχές. Ακολούθως το πρόγραμμα υπολογίζει και εμφανίζει τα αντίστοιχα εμβαδά σε ένα καινούργιο επίπεδο. Η επιλογή των ενδιαφερόμενων περιοχών έγινε από το πεδίο Attributes του καινούργιου επιπέδου. Οι 20 συνολικά τελικές περιοχές με εμβαδόν ≥ 5000 στρεμμάτων παρουσιάζονται στον χάρτη 4.15.

- **ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ** (Χάρτης 4.15)



4.5 Στάδιο 2: Αξιολόγηση Καταλληλότητας Προτεινόμενων Περιοχών με σταθμισμένη επικάλυψη (weighted overlay)

Στο δεύτερο στάδιο της εφαρμογής αξιολογούνται οι 20 προτεινόμενες περιοχές βάση κάποιων μεταβλητών με τον καθορισμό βαρών σε κάθε κριτήριο, ώστε να καθοριστεί η καταλληλότητα της κάθε περιοχής ξεχωριστά. Η αξιολόγηση των περιοχών στηρίζεται σε τρεις βασικές λειτουργίες και διαδικασίες

1. Χρήση της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process – AHP) για τον καθορισμό των βαρών.
2. Λειτουργία της επικάλυψης με την χρήση του weighted overlay tool του ArcMap 10.

Ενώ το πρώτο στάδιο της εφαρμογής αφορούσε μια απλή ταξινόμηση κριτηρίων, αποκλείοντας της περιοχές που είναι ακατάλληλες για χωροθέτηση αιολικού πάρκου με την δημιουργία ζωνών αποκλεισμού και επιλέγοντας τις τελικές θέσεις βάση του αιολικού δυναμικού και της προσβασιμότητας στο δίκτυο της ΑΗΚ (Ζώνες Επιρροής), το δεύτερο στάδιο αποτελεί ένα υποσύνολο όλων των κριτηρίων που αφορούν την χωροθέτηση αιολικού πάρκου τα οποία έχουν μια κυμαινόμενη γεωγραφική εξάρτηση σε κάποιους τομείς των εισερχόμενων επιπέδων. Τα εισερχόμενα κριτήρια μπορεί να χρησιμοποιήθηκαν και στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής, αφού μπορεί να υπήρχαν κατώφλια τα οποία έπρεπε να αποκλειστούν, αλλά λόγω του ότι τα κριτήρια αυτά συσχετίζονται μεταξύ τους και κάθε ένα από αυτά μπορεί να αποτελείται από ένα διαβαθμισμένο φάσμα τιμών, αξιολογήθηκαν ξανά στο δεύτερο στάδιο.

Τα κριτήρια λοιπόν που χρησιμοποιήθηκαν στο δεύτερο στάδιο της εφαρμογής είναι δυναμικά, εννοώντας ότι οι επιπτώσεις που έχουν στην καταλληλότητα μιας συγκεκριμένης περιοχής αλλάζουν σε σχέση με άλλα κριτήρια, αναλόγως της σημαντικότητας (βάρους) κάθε κριτηρίου. Επίσης είναι πολύ πιο δύσκολο να καθοριστούν αφού σχετίζονται με ένα ευρύ φάσμα τιμών. Τα δυναμικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών και οι περιορισμοί που τέθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.10.

Θεματικά Επίπεδα	Παράγοντες	Περιορισμοί/Κριτήρια
Αιολικό Δυναμικό	Οικονομικοί/Φυσικοί	≥ 4 m/s
Προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο	Οικονομικοί/Υποδομών	Μεταξύ 130μ. και 3000μ.
Προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης (ΑΗΚ)	Οικονομικοί/Υποδομών	Μεταξύ 130μ. και 5000μ.
Γεωμορφολογία (Κλίσεις)	Φυσικοί/ Οικονομικοί	$\leq 25\%$

Πίνακας 4.10: Εκτίμηση κριτηρίων και περιορισμών

4.5.1 Καθορισμός βαθμών καταλληλότητας κριτηρίων

Στο παρών στάδιο γίνεται ο καθορισμός των βαθμών καταλληλότητας για κάθε επιμέρους κριτήριο του πίνακα 4.10. Όλα τα επίπεδα καθορίζονται βάση μιας κοινής κλίμακας από το 1 μέχρι το 5 με διαστήματα του 1, που ονομάζεται κλίμακα τιμών καταλληλότητας της λειτουργίας του weighted overlay tool, με τον βαθμό 5 να αποτελεί τον υψηλότερο βαθμό καταλληλότητας και τον αριθμό 1 τον χαμηλότερο, ενώ οι μηδενικές τιμές απορρίπτονται. (Περιοχές που είναι ακατάλληλες). Τα θεματικά επίπεδα του οδικού δικτύου και του δικτύου ηλεκτροδότησης αφορούν σειρές αποστάσεων, του αιολικού δυναμικού τάξεις, ενώ των κλίσεων, κλάσεις ποσοστών. Για τον λόγο αυτό έγινε χρήση του εργαλείου Reclassify Tool του Spatial Analyst ώστε τα αρχικά θεματικά επίπεδα να αναταξινομηθούν στην κοινή κλίμακα καταλληλότητας 1-5, εφαρμόζοντας στην συνέχεια την λειτουργία της επικάλυψης με την χρήση του weighted overlay tool (Παράγραφος 2.4.1, Θεωρητικές Έννοιες).

Τα κριτήρια που έχουν γεωγραφική εξάρτηση λόγω της εγγύτητας τους στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (οδικό δίκτυο και δίκτυο ηλεκτροδότησης), θα έχουν βαθμούς καταλληλότητας οι οποίοι μειώνονται όσο απομακρύνονται από αυτό μέχρι να φτάσουν στο κατώφλι το οποίο ο βαθμός είναι μηδενικός (οικονομικά ακατάλληλες). Το ίδιο συμβαίνει και με τις κλίσεις αφού όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση ο βαθμός καταλληλότητας θα μειώνεται. Όσον αφορά το αιολικό δυναμικό θα παίρνει βαθμούς καταλληλότητας αναλόγως της ταχύτητας των ανέμων κάθε περιοχής.

Πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε λειτουργία όλα τα εισερχόμενα θεματικά επίπεδα θα πρέπει να βρίσκονται σε μορφή raster. Για το αιολικό δυναμικό, το οδικό δίκτυο και το δίκτυο ηλεκτροδότησης χρησιμοποιήθηκε η εντολή Feature to Raster ώστε να μετατραπούν τα επίπεδα σε rasterμορφή. Ο χάρτης με τις κλίσεις προϋπήρχε είδη σε αυτή την μορφή αφού εξήχθηκε βάση του εργαλείου Topo to Raster (Παράγραφος 4.3), έτσι δεν χρειάζονταν οποιαδήποτε μετατροπή.

Για τα κριτήρια τα οποία σχετίζονται με την απόσταση, (εξάρτησης – αποστάσεων), οδικό δίκτυο και δίκτυο ηλεκτροδότησης, πριν την χρήση του Reclassify Tool (αναταξινόμηση), χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Euclidean Distance Tool του Spatial Analyst. Το συγκεκριμένο εργαλείο έχει ουσιαστικά τη ίδια εφαρμογή με το Buffer tool, αλλά έχει την δυνατότητα να καθορίζει τις ζώνες αποστάσεων περιμετρικά του εισερχόμενου θεματικού επιπέδου σε ένα βήμα.

Ακολουθεί η ανάλυση κάθε δυναμικού κριτηρίου παρουσιάζοντας τους πίνακες καταλληλότητας και τους χάρτες μετά την αναταξινόμηση (reclassify)

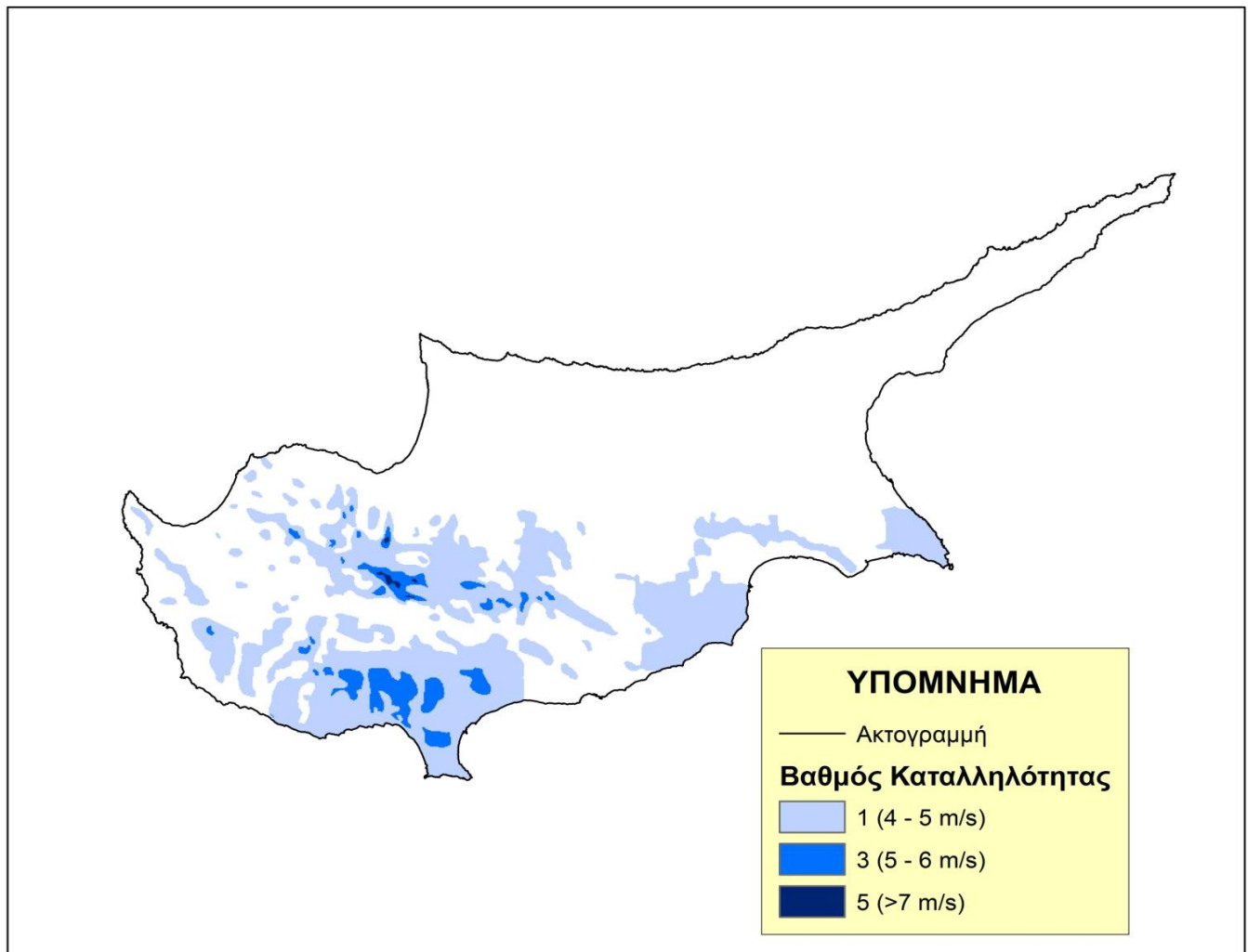
- **Αιολικό Δυναμικό**

Το αιολικό δυναμικό είναι αναμφισβήτητα ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την βιωσιμότητα ενός αιολικού πάρκου. Η απόδοση ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από την ταχύτητα των ανέμων που πνέουν σε κάθε περιοχή. Ο περιορισμός σε αυτό το κριτήριο ήταν οι επιλεγμένες περιοχές να αντιστοιχούν σε ταχύτητα μεγαλύτερη των 4m/s. Η κλίμακα

καταλληλότητας αντιστοιχεί σε 3 τάξεις, με τον μεγαλύτερο βαθμό να αντιστοιχεί στις περιοχές όπου η μέση ετήσια ταχύτητα των ανέμων είναι μεγαλύτερη των 7m/s, ακολουθούν οι περιοχές με 5-6m/s και τέλος οι περιοχές με ταχύτητα 4-5 m/s. Παρουσιάζονται ο πίνακας καταλληλότητας 4.11 και ο αντίστοιχος χάρτης 4.16 μετά την αναταξινόμηση. Ο χάρτης 4.16 απεικονίζει με αποχρώσεις του μπλε το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής, με σκούρο μπλε να απεικονίζονται οι περιοχές με υψηλές ταχύτητες ανέμων και βαθμό καταλληλότητας 5, ενώ καθώς μειώνονται οι ταχύτητες το χρώμα γίνεται πιο ανοιχτό.

A/A	Ταχύτητα Ανέμων (m/s)	Βαθμός Καταλληλότητας
1	7	5
2	5-6	3
3	4-5	1
4	<4	0 (Ακατάλληλη)

Πίνακας 4.11: Πίνακας καταλληλότητας για το αιολικό δυναμικό



Χάρτης 4.16: Χάρτης με τους βαθμούς καταλληλότητας για το αιολικό δυναμικό μετά την αναταξινόμηση (Reclassify)

- **Προσβασιμότητα στο Ηλεκτρικό Δίκτυο**

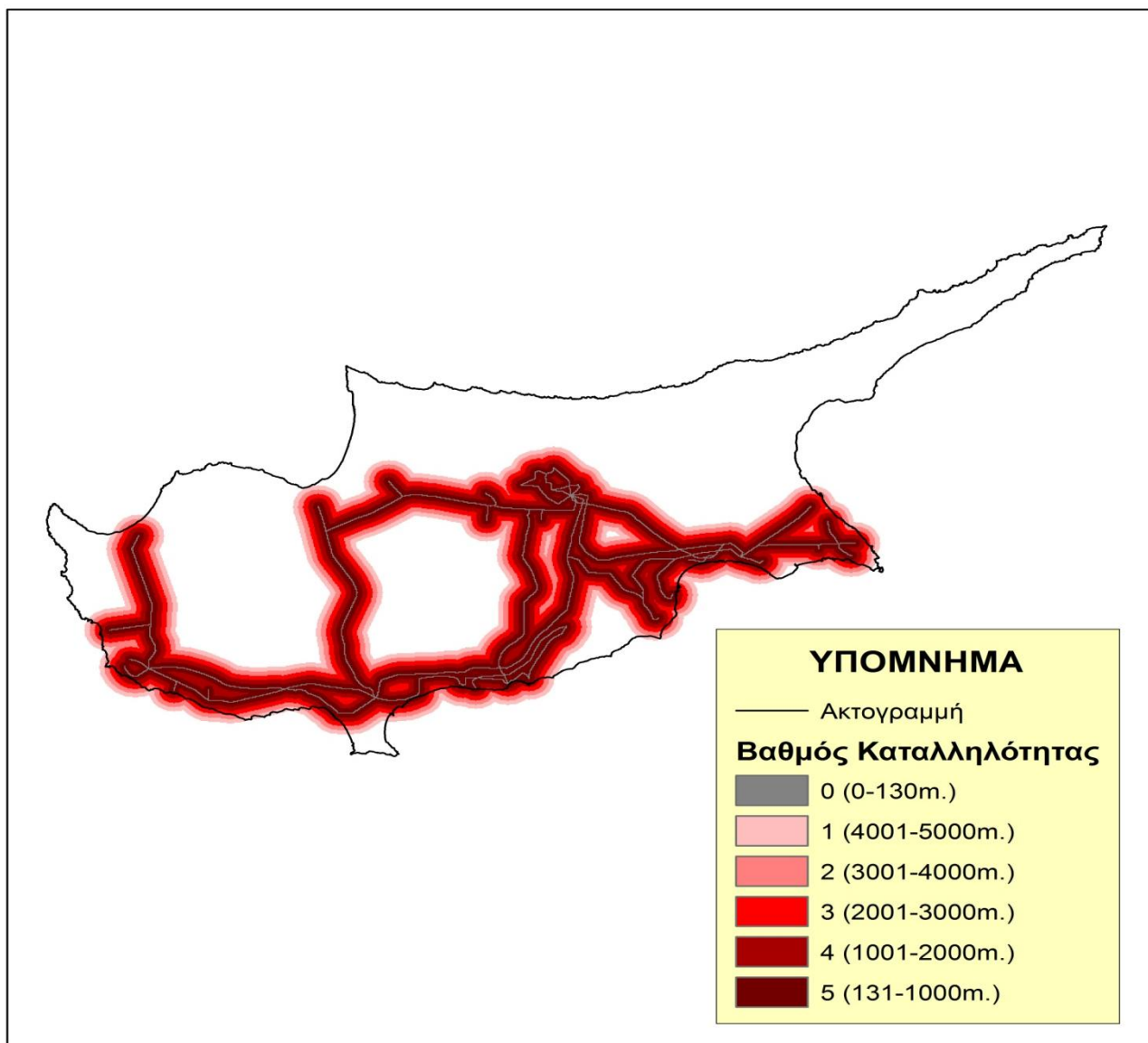
Η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης είναι το πιο σημαντικό κριτήριο εξάρτησης-αποστάσεων, κυρίως για οικονομικούς λόγους. Η τοποθέτηση ενός αιολικού πάρκου μακριά από το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο θα έχει υψηλότερο κόστος, λόγω του ότι νέες γραμμές και υποσταθμοί θα χρειάζεται να κατασκευαστούν, ενώ η ενέργεια που χάνεται λόγω τις μεταφοράς της σε μακρινές αποστάσεις μπορεί να υποτιμήσει την αξία της αιολικής ενέργειας συγκριτικά με άλλες μορφές ενέργειας (*Jeffrey D. Harrision, 2012*).

Επιπρόσθετα, η αιολική ενέργεια είναι μια «διακοπτόμενη» πηγή ενέργειας, η οποία χρειάζεται ειδικούς ενεργειακούς χειρισμούς, αποθήκευση και εγκαταστάσεις μετάδοσης για τον χειρισμό των ενεργειακών διακυμάνσεων (*Ibrahim, Ghandour, Dimitrova, & Perron, 2011*). Η εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στις υφιστάμενες υποδομές αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα αφού θα αντισταθμίσει τις δαπάνες που προαναφέρθηκαν όσο το δυνατόν καλύτερα. Ακολουθεί ο πίνακας 4.12 με τους βαθμούς καταλληλότητας που δόθηκαν κατά την ανάλυση καθώς και ο χάρτης 4.17 μετά την αναταξινόμηση (Reclassify).

A/A	Απόσταση από δίκτυο ΑΗΚ	Βαθμός Καταλληλότητας
1	0-130	0 (Ακατάλληλη)
2	131-1000	5
3	1001-2000	4
4	2001-3000	3
5	3001-4000	2
6	4001-5000	1
7	>5000	0 (Ακατάλληλη)

Πίνακας 4.12: Πίνακας καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης

Στον χάρτη 4.17 απεικονίζεται ο βαθμός καταλληλότητας των περιοχών για το δυναμικό κριτήριο του δικτύου ηλεκτροδότησης, με αποχρώσεις του κόκκινου. Όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα τόσο καλύτερες είναι οι περιοχές για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου, με το πιο σκούρο χρώμα να αντιστοιχεί στον βέλτιστο βαθμό καταλληλότητας (5) και το πιο ανοιχτό στον χαμηλότερο (1). Οι περιοχές που απορρίπτονται λόγω των αρχικών κριτηρίων για λόγους ασφαλείας (0-130μ.), απεικονίζονται στον χάρτη με γκριζο χρώμα.



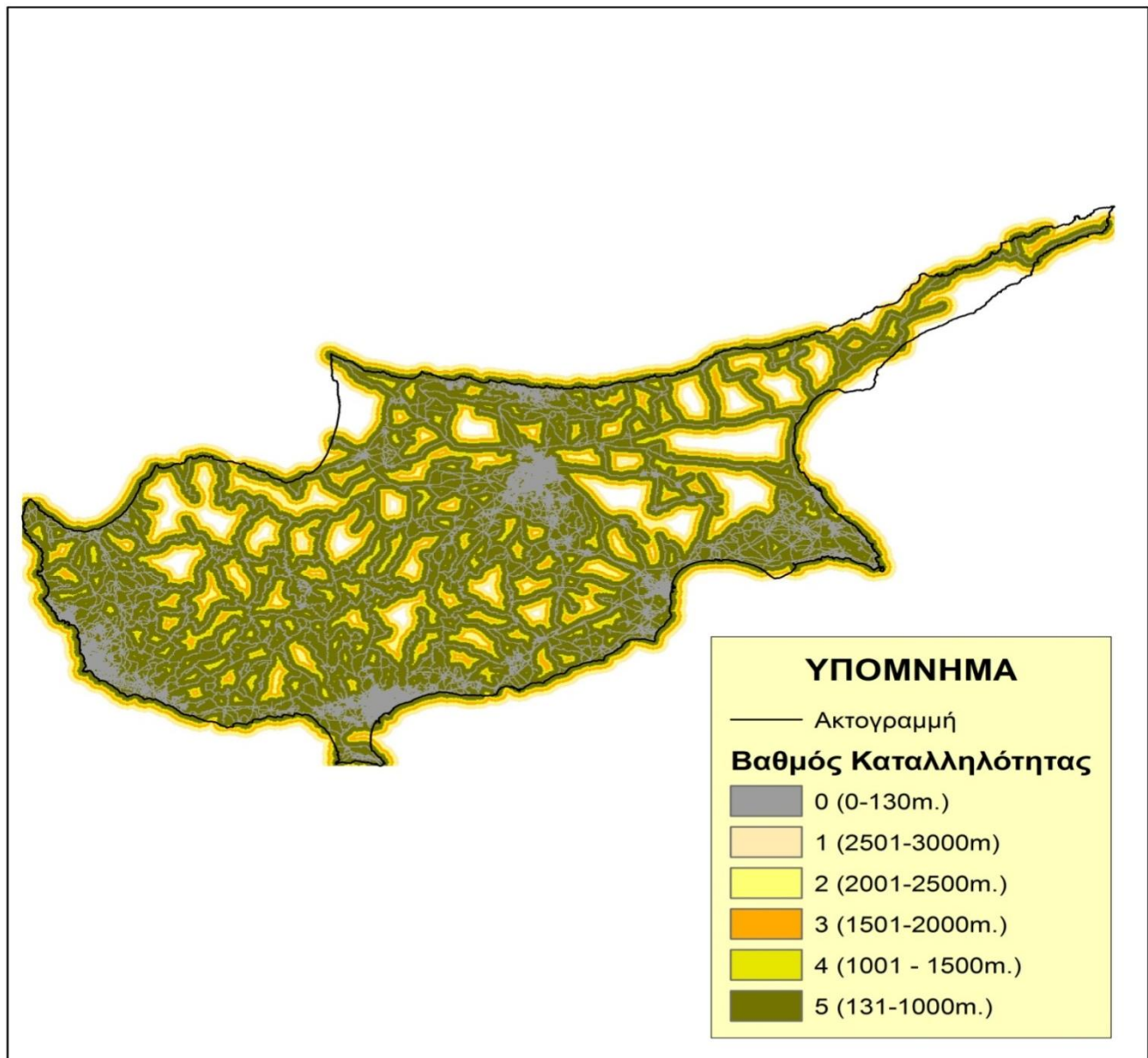
Χάρτης 4.17: Χάρτης με την βαθμολογία καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο ηλεκτρικό δίκτυο μετά την αναταξινόμηση (Reclassify)

- **Προσβασιμότητα στο Οδικό Δίκτυο**

Λόγω του πάρα πολύ καλού οδικού δικτύου της Κύπρου το κριτήριο αυτό δεν λήφθηκε υπόψη στο πρώτο στάδιο, για την δημιουργία ζωνών επιρροής. Όμως η προσβασιμότητα σε αυτό είναι ακόμα ένα σημαντικό κριτήριο εξάρτησης-αποστάσεων, λαμβάνοντας υπόψη το υψηλό κόστος κατασκευής και διατήρησης νέων δρόμων, οι οποίοι πρέπει να είναι ικανοί αρκετά, ώστε να επιτρέπουν την μεταφορά των μεγάλων κομματιών των ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα μια τυπική ανεμογεννήτρια με ονομαστική ισχύ 2MW, έχει διάμετρο πτερυγίων 80-100μ. αναλόγως του τύπου της και ύψος πύργου 100μ. , (*Industrial Wind Energy Opposition*). Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η χωροθέτηση αιολικών πάρκων όσο το δυνατόν πιο κοντά στους υφιστάμενους δρόμους είναι πολύ οικονομικότερη. Ακολουθεί ο πίνακας καταλληλότητας 4.13 και ο αντίστοιχος χάρτης 4.18 μετά την αναταξινόμηση (Reclassify).

A/A	Απόσταση από οδικό δίκτυο	Βαθμός Καταλληλότητας
1	0-130	0 (Ακατάλληλη)
2	131-1000	5
3	1001-1500	4
4	1501-2000	3
5	2001-2501	2
6	2501-3000	1
7	>3000	0 (Ακατάλληλη)

Πίνακας 4.13: Πίνακας καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο



Χάρτης 4.18: Χάρτης με την βαθμολογία καταλληλότητας για την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο μετά την αναταξινόμηση (Reclassify)

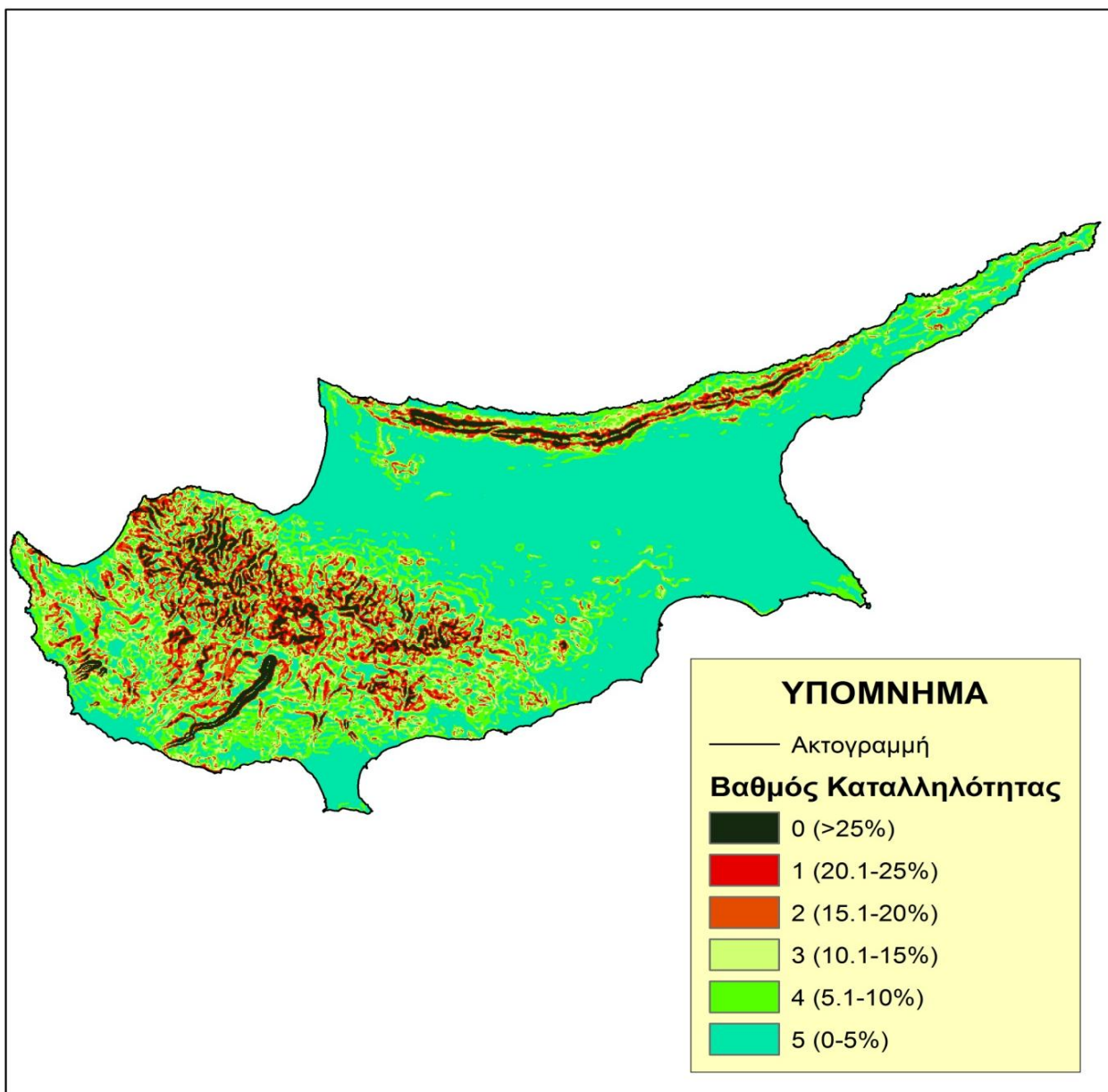
Ο χάρτης 4.18 απεικονίζει τους βαθμούς καταλληλότητας που αντιστοιχούν στο οδικό δίκτυο. Περιοχές κοντά στο οδικό δίκτυο μέχρι 1000 μέτρα παίρνουν τον βέλτιστο βαθμό καταλληλότητας (5) και απεικονίζονται στο χάρτη με σκούρο πράσινο, ενώ οι πιο όσο απομακρύνονται οι περιοχές από το οδικό δίκτυο, ο βαθμός καταλληλότητας μικραίνει. Οι περιοχές με γκριζο χρώμα (0-130μ.) αποκλείονται για λόγους ασφαλείας όπως εξηγήθηκε στο πρώτο στάδιο της εργασίας.

- **Γεωμορφολογία (Κλίσεις)**

Η επιλογή της κατάλληλης γεωμορφολογίας για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου σε μια περιοχή, είναι δύσκολο να καθοριστεί βάση της βιβλιογραφίας. Οι προτεινόμενες τιμές κυμαίνονται από κλίσεις 10% με 30%, αλλά ένας λογικός συμβιβασμός μπορεί να γίνει σε κλίσεις μέχρι 25% ως ανώτερο κατώφλι για μηχανικούς και κατασκευαστικούς σκοπούς. Σαφώς η τοποθέτηση ανεμογεννητριών σε πολύ απότομες περιοχές είναι πολύ δύσκολη ενώ αυξάνει σημαντικά το κόστος κατασκευής (*Jeffrey D. Harrison, 2012*). Το γεγονός αυτό δυστυχώς αποκλείει πολλές περιοχές με υψηλές ταχύτητες ανέμων, αφού τέτοιες περιοχές συνήθως βρίσκονται σε ψηλές πλαγιές ή βουνά, δημιουργώντας έτσι και άλλους περιορισμούς, όπως την δύσκολη πρόσβαση στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Πολλές έρευνες θεωρούν ότι κλίσεις πάνω από 10% είναι ακατάλληλες για εγκατάσταση αιολικού πάρκου, βασισμένες στις μελέτες φορέων σχεδιασμού και ιδιωτικών κατασκευαστικών (*Baban & Parry, 2001; Van Haaren & Fthenakis, 2011*). Για την συγκεκριμένη εφαρμογή οι βαθμοί καταλληλότητας μειώνονται όσο αυξάνεται η κλίση μέχρι να φτάσει στο ανώτερο κατώφλι με κλίσεις 25%. Ο σχετικός πίνακας καταλληλότητας 4.14 και ο αντίστοιχος χάρτης 4.19 ακολουθούν.

A/A	Κλίσεις (%)	Βαθμός Καταλληλότητας
1	0 – 5	5
2	5.1 – 10	4
3	10.1 – 15	3
4	15.1 - 20	2
5	20.1 – 25	1
6	>25	0

Πίνακας 4.14: Πίνακας καταλληλότητας για τις κλίσεις



Χάρτης 4.19: Γεωμορφολογικός χάρτης με τους βαθμούς καταλληλότητας όσον αφορά τις κλίσεις μετά την αναταξινόμηση (Reclassify)

Στον χάρτη 4.19 απεικονίζονται οι βαθμοί καταλληλότητας για τις κλίσεις του εδάφους. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με κλίσεις μικρότερες από 5% αντιστοιχούν σε βαθμό καταλληλότητας 5 ενώ οι περιοχές που απορρίπτονται (μεγαλύτερες από 25%), παρουσιάζονται στον χάρτη με σκούρο πράσινο χρώμα. Όσο πιο μεγάλες είναι οι κλίσεις, τόσο χαμηλότερος είναι ο βαθμός καταλληλότητας, όπου με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με τον χαμηλότερο βαθμό καταλληλότητας (1) με κλίσεις μεταξύ 20.1 και 25%.

4.5.2 Καθορισμός Βαρών στα κριτήρια

Η απόδοση των βαρών για κάθε κριτήριο γίνεται με την λειτουργία της επικάλυψης του ArcGIS με την βοήθεια του εργαλείου Weighted Overlay Tool του Spatial Analyst. Το εργαλείο αυτό δίνει την δυνατότητα επικάλυψης των εισερχόμενων θεματικών επιπέδων (σε μορφή raster), χρησιμοποιώντας μια κοινή κλίμακα και αποδίδοντας τα βάρη ανάλογα με την σημαντικότητα τους. Η λειτουργία του weighted overlay είναι μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες της επικάλυψης δίνοντας την δυνατότητα επίλυσης πολυκριτηριακών προβλημάτων (*ESRI, ArcGis Resource Center*).

Λόγω του ότι το συγκεκριμένο εργαλείο δέχεται εισερχόμενα raster μόνο ως ακέραιους αριθμούς, έγινε πρώτα η αναταξινόμηση με την χρήση του Reclassify Tool. Έτσι λοιπόν τα τέσσερα θεματικά επίπεδα (αιολικό δυναμικό, προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο, προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, κλίσεις εδάφους), αντιστοιχούν σε μια κοινή κλίμακα καταλληλότητας 1-5 και μπορούν να αποκαλυφθούν (*Παράγραφος 4.5.1*).

- **Πίνακας Απόδοσης Βαρών του Weighted Overlay**

Με την συμπλήρωση του πίνακα απόδοσης βαρών που προσφέρει το εργαλείο Weighted Overlay μπορεί να γίνει η επικάλυψη των θεματικών επιπέδων μεταξύ τους. Τα δεδομένα που μπορεί να δεχτεί ο πίνακας είναι:

1. Το θεματικό επίπεδο σε μορφή raster – (Raster)
2. Η επιρροή (βάρος) που αντιστοιχεί στο κάθε κριτήριο – (Influence)
3. Το πεδίο τιμών (Τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε βαθμό καταλληλότητας) – (Field)
4. Η κλίμακα καταλληλότητας για κάθε πεδίο τιμών – (Scale Value)

Κάθε θεματικό επίπεδο σταθμίζεται βάση της σημαντικότητας του, της επιρροής που έχει συνολικά συγκρινόμενο με τα άλλα κριτήρια, καθώς και βάση της αξιολόγησης της καταλληλότητας του κάθε πεδίο τιμών μέσα στο ίδιο το θεματικό επίπεδο. Τα βάρη αντιστοιχούν σε σχετικά ποσοστά και το άθροισμα της επιρροής τους για κάθε επίπεδο πρέπει να ισούται με 100. Αλλάζοντας τις κλίμακες αξιολόγησης καταλληλότητας ή τα ποσοστά επιρροής αλλάζουν αναλόγως και τα αποτελέσματα της επικάλυψης (*ESRI, ArcGis Resource Center*).

Τα εισερχόμενα raster, δεδομένα που δέχεται το εργαλείο, όπως προαναφέρθηκε πρέπει να είναι ακέραιοι αριθμοί, έτσι κατά την επικάλυψη η τιμή στρογγυλοποιείται γύρω από τον κοντινότερο ακέραιο (*Παράγραφος 2.4.1, Θεωρητικές Έννοιες*).

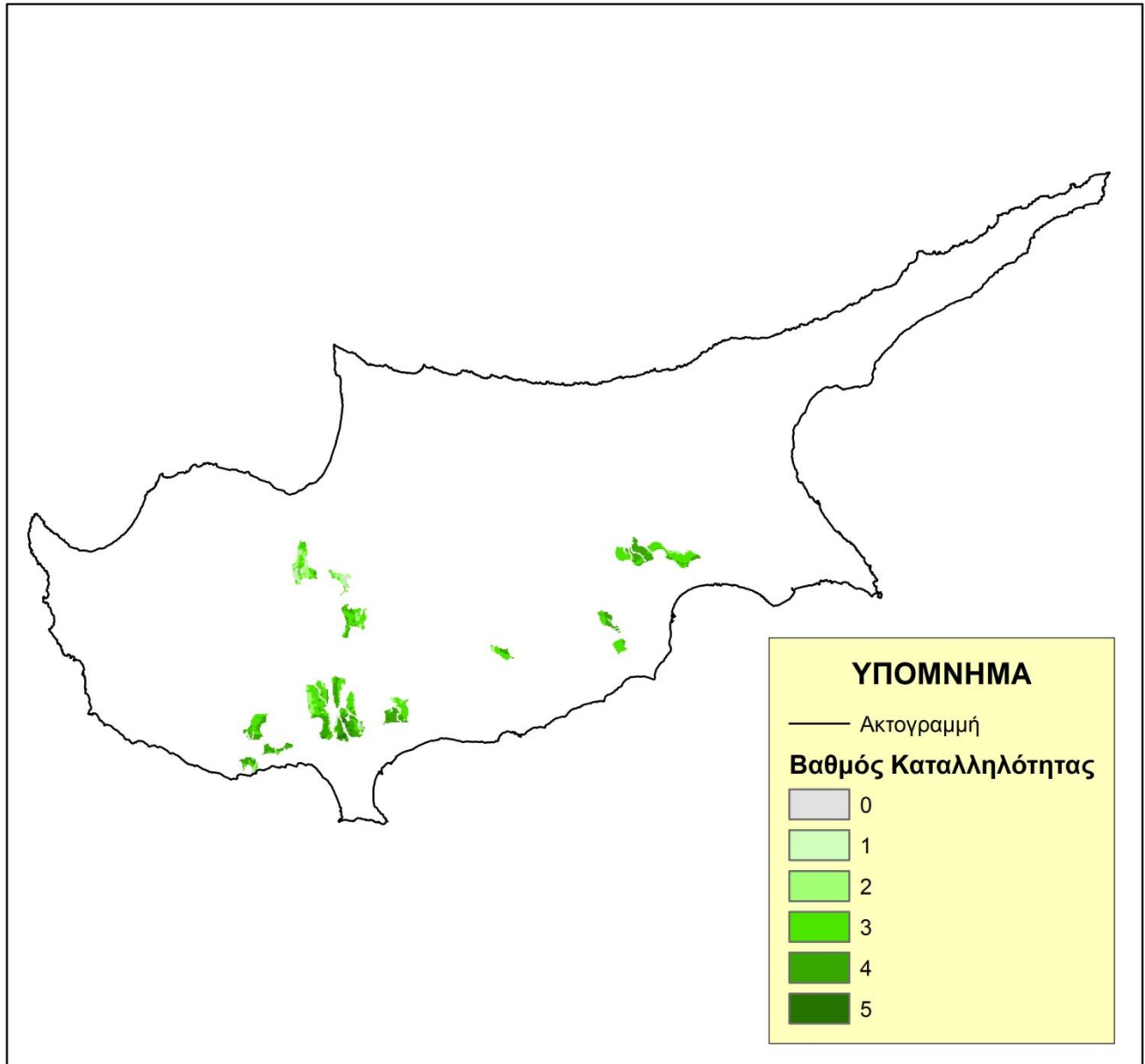
Σε πρώτη φάση η επικάλυψη γίνεται θεωρώντας ότι τα 4 κριτήρια έχουν την ίδια σημαντικότητα/επιρροή. Ο σχετικός πίνακας 4.15 παρουσιάζει τα δεδομένα όπως αυτά εισήχθησαν στο εργαλείο Weighted Overlay.

Θεματικό Επίπεδο/Κριτήριο (Raster)	Επιρροή/Βάρος (Influence)	Πεδίο Τιμών (Field)	Κλίμακα Καταλληλότητας (Scale Value)
Αιολικό Δυναμικό	25%	Ταχύτητα Ανέμων (m/s)	
		>7	5
		5-6	3
		4-5	1
		<4	0
Υφιστάμενο Δίκτυο ηλεκτροδότησης	25%	Απόσταση από δίκτυο ΑΗΚ (m)	
		0-130	0
		131-1000	5
		1001-2000	4
		2001-3000	3
		3001-4000	2
		4001-5000	1
>5000	0		
Υφιστάμενο Οδικό Δίκτυο	25%	Απόσταση από οδικό δίκτυο (m)	
		0-130	0
		131-1000	5
		1001-1500	4
		1501-2000	3
		2001-2501	2
		2501-3000	1
		>3000	0
Γεωμορφολογικός Χάρτης	25%	Κλίσεις (%)	
		0 – 5	5
		5.1 – 10	4
		10.1 – 15	3
		15.1 - 20	2
		20.1 – 25	1
		>25	0

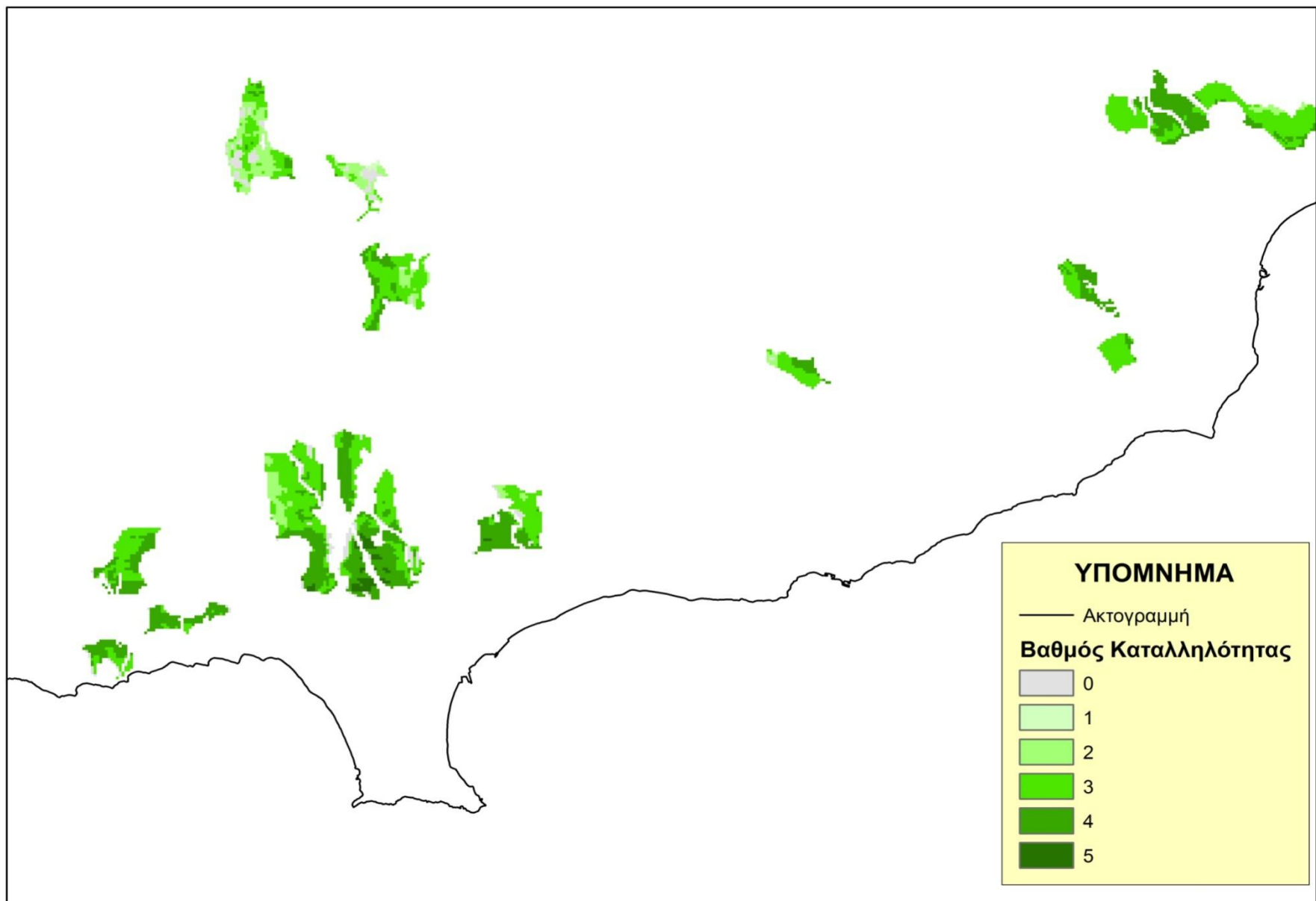
Πίνακας 4.15: Εισερχόμενα δεδομένα στο εργαλείο weighted overlay, θεωρώντας όλα τα κριτήρια ίσης σημαντικότητας

Αφού εκτελέστηκε η λειτουργία της επικάλυψης με την χρήση του weighted overlay tool, για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων, μας ενδιαφέρουν μόνο οι τελικές περιοχές που επιλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας (Χάρτης 4.15). Για τον λόγο αυτό ο χάρτης 4.15 χρησιμοποιήθηκε ως μια «μάσκα», ώστε τα τελικά αποτελέσματα να αποδοθούν μόνο στις ενδιαφερόμενες περιοχές. Τα αποτελέσματα της επικάλυψης εκτός αυτών των περιοχών δεν μας ενδιαφέρουν αφού αποκλείστηκαν στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Extract by Masc του Spatial Analyst το οποίο έχει την δυνατότητα να εξαγάγει τα κελιά του εισερχόμενου θεματικού επιπέδου (raster) που

αντιστοιχούν στις περιοχές που καθορίζουν την μάσκα(ESRI). Έτσι ως εισερχόμενο θεματικό επίπεδο εισήχθηκε το επίπεδο της επικάλυψης και ως μάσκα οι τελικές προτεινόμενες περιοχές του χάρτη 4.15.Οι βαθμοί καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε κελί για τις τελικές προτεινόμενες περιοχές παρουσιάζονται στους χάρτες 4.20, 4.21.



Χάρτης 4.20: Βαθμοί καταλληλότητας κάθε προτεινόμενης περιοχής



Χάρτης 4.21: Μεγέθυνση χάρτη 4.20

Στους χάρτες 4.20 και 4.21, παρουσιάζονται οι 20 προτεινόμενες περιοχές με τους αντίστοιχους βαθμούς καταλληλότητας μέσα σε αυτές μετά την επικάλυψη. Ο βαθμός καταλληλότητας απεικονίζεται στους χάρτες με αποχρώσεις πράσινου χρώματος όπου όσο πιο σκούρος είναι είναι ο τόνος του χρώματος, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός καταλληλότητας, με την τιμή 5 να έχει τον εντονότερο τόνο και την τιμή 1 τον ασθενέστερο. Παρατηρείται επίσης, ότι μέσα στις 20 περιοχές εμφανίζονται διάφοροι βαθμοί καταλληλότητας, με κάποια σημεία εντός αυτών να έχουν καλύτερο βαθμό από άλλα. Για τον λόγο ότι επιλέχθηκε η χωροθέτηση του αιολικού πάρκου να μην γίνει σημειακά, αλλά στο σύνολο της έκτασης των 20 προτεινόμενων περιοχών, η καταλληλότητα για χωροθέτηση αιολικών πάρκων σε αυτές τις περιοχές, αξιολογείται εκ νέου όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

4.5.3 Χαρακτηρισμός Καταλληλότητας Περιοχών

Για να χαρακτηριστούν οι 20 περιοχές βάση της διαδικασίας της επικάλυψης χρησιμοποιήθηκε η εντολή Zonal Histogram του Spatial Analyst για την εξαγωγή του πίνακα 4.16, οποίος δίνει τον αριθμό των κελιών για κάθε βαθμό καταλληλότητας που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή. Το εργαλείο αυτό δίνει την δυνατότητα διερεύνησης της κατανομής της συχνότητας των τιμών σε ένα σύνολο δεδομένων μέσα σε κλάσεις ενός άλλου συνόλου δεδομένων (*ESRI, ArcGIS Resource Center*).

Έτσι δίνεται η δυνατότητα να συγκριθούν οι περιοχές μετά την επικάλυψη βάση του αριθμού των κελιών που αντιστοιχούν στους βαθμούς καταλληλότητας 0-5. Για την διαβάθμιση των περιοχών μετατράπηκαν αρχικά οι αριθμοί των κελιών για κάθε βαθμό καταλληλότητα σε ποσοστά βάση του συνολικού αριθμού των κελιών κάθε περιοχής (Πίνακας 4.18). Ακολούθως επιλέχθηκε το μεγαλύτερο ποσοστό για κάθε μια από τις 20 περιοχές, και οι περιοχές χωρίστηκαν σε κατηγορίες που αντιστοιχούν στον βαθμό καταλληλότητας του μεγαλύτερου ποσοστού. (Για παράδειγμα η Περιοχή 1 έχει το μεγαλύτερο ποσοστό 59%, για τα κελιά που αντιστοιχούν σε βαθμό καταλληλότητας 3. Έτσι η περιοχή 1 χαρακτηρίζεται ως Κατηγορία 3) . Παρατηρώντας τον πίνακα 4.18, οι 20 περιοχές χωρίζονται στις κατηγορίες 2, 3, και 4 ανάλογα με το μεγαλύτερο ποσοστό του βαθμού καταλληλότητας.

Έπειτα για κάθε κατηγορία καθορίζονται οι διακυμάνσεις των μέγιστων ποσοστών, ώστε να καθοριστεί ο τύπος κάθε περιοχής. Η κατηγορία 2 αντιστοιχεί στις περιοχές χαμηλής καταλληλότητας, η κατηγορία 3 περιοχές σε μέτριας και κατηγορία 4 σε περιοχές υψηλής. (Πίνακας 4.17)

Το τελευταίο στάδιο του χαρακτηρισμού αφορά τις περιοχές στις οποίες παρουσιάστηκε αριθμός κελιών με τον βέλτιστο βαθμό καταλληλότητας (5). Παρατηρώντας τους πίνακες 4.16 και 4.18 , μόνο τέσσερις περιοχές εμφανίζουν ποσοστά στον βέλτιστο βαθμό καταλληλότητας. Οι περιοχές αυτές είναι η περιοχή 6 με ποσοστό 22%, η περιοχή 8 με ποσοστό 10% και οι περιοχές 9 και 12 ποσοστά 2% και 1% αντίστοιχα. Για την οπτική απεικόνιση τους στον τελικό χάρτη 4.22 επιλέχθηκε η διαβάθμιση τους να γίνει με διαγράμμιση. Έτσι η περιοχή 6 θα έχει πυκνή διαβάθμιση (Π) και τύπο 413 η περιοχή 8 μέτρια (Μ) και τύπο 412 και οι περιοχές 9 και 12 αραιή (Α) με τύπους 431 και 311 αντίστοιχα. (Πίνακας 4.18)

Από τον πίνακα 4.18 και τον χάρτη 4.22 παρατηρείται ότι οι καταλληλότερες περιοχές για χωροθέτηση του αιολικού πάρκου είναι οι περιοχές 6, 8, 9 και 12 στις οποίες παρουσιάζεται ο βέλτιστος βαθμός καταλληλότητας (5). Ακολουθούν οι υπόλοιπες περιοχές, πρώτες αυτές που χαρακτηρίζονται ως υψηλής καταλληλότητας ανάλογα με το μέγιστο ποσοστό που παρουσιάζουν (διαβαθμίσεις πράσινου). Συγκεκριμένα, ακολουθούν οι περιοχές 5 και 17 με τύπο 43(σκούρο πράσινο), η περιοχή 19 με τύπο 42 και οι περιοχές 4 και 14 με τύπο 41(ανοιχτό). Στην κατηγορία μέτριας καταλληλότητας εντάσσονται οι περιοχές 11,15,18 (τύπος 33), ακολουθούν οι περιοχές 10,13,16,20 (τύπος 32) και οι περιοχές 1 και 7 (τύπος 31), με διαβαθμίσεις του μπλε. Τέλος στις περιοχές χαμηλής καταλληλότητας εντάσσεται η περιοχή 2 (τύπος 22, σκούρο κίτρινο) και ακολουθεί η περιοχή 3(τύπος 21, ανοιχτό κίτρινο).

Περιοχές Βαθμός Καταλληλότητας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Αριθμός κελιών																			
0	2	39	76	15	5	28	3	25	2	17	4	21	23	6	3	0	16	1	0	8
1	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	17	73	205	0	0	0	0	0	0	21	0	95	0	0	0	30	0	0	0	45
3	84	42	198	50	20	20	162	87	9	147	110	309	96	94	139	321	46	114	60	261
4	39	3	30	75	123	99	146	202	146	35	23	203	25	122	9	80	264	10	102	105
5	0	0	0	0	0	41	0	36	3	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο κελιών	142	169	509	140	148	188	311	350	160	220	137	636	144	222	151	431	326	125	162	419

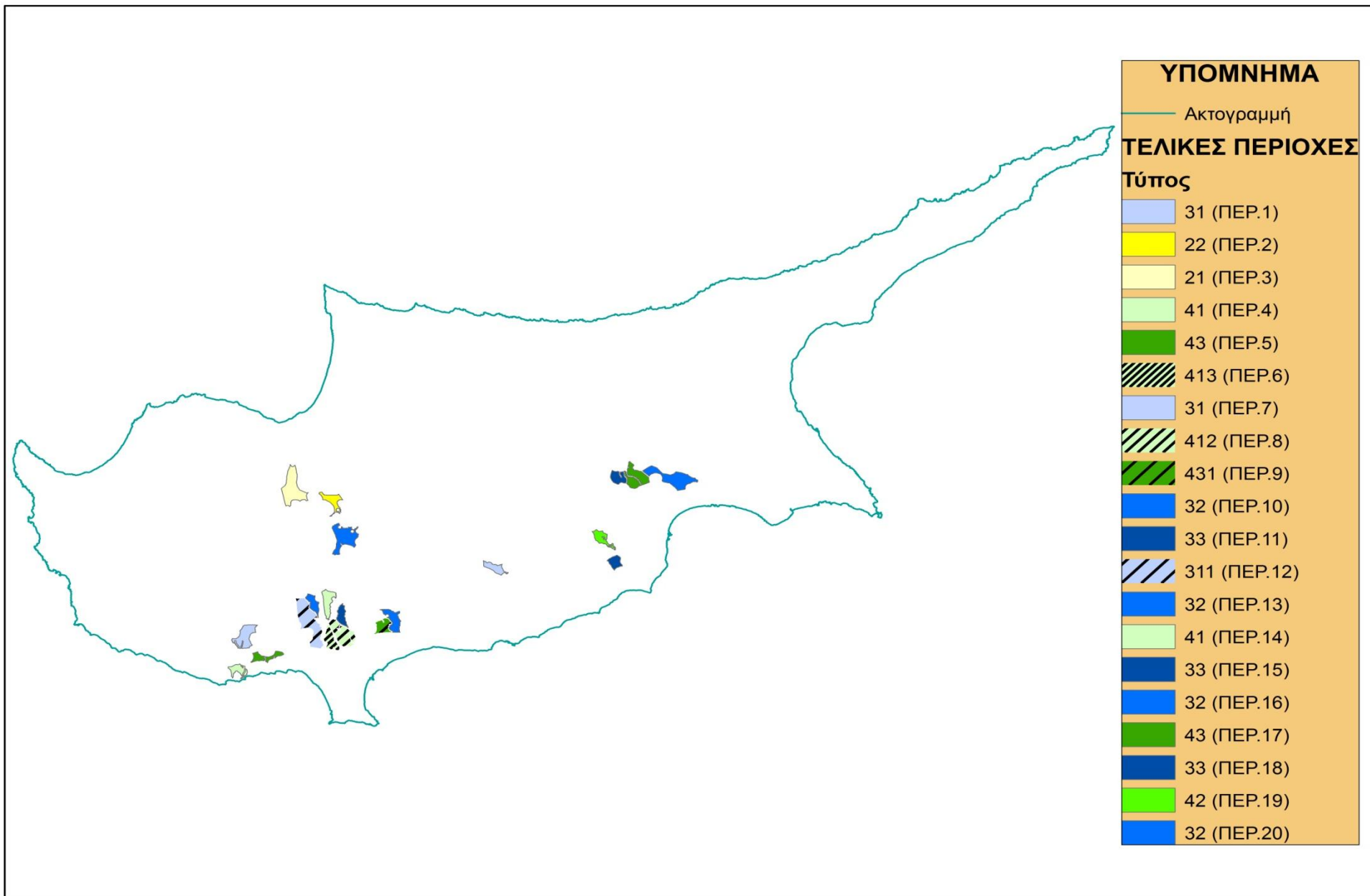
Πίνακας 4.16: Αριθμός κελιών βαθμού καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 20 προτεινόμενες περιοχές

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)	ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ
2	0-40	21	ΧΑΜΗΛΗ
2	40-80	22	
3	40-59	31	ΜΕΤΡΙΑ
3	60-79	32	
3	80-100	33	
4	40-59	41	ΥΨΗΛΗ
4	60-79	42	
4	80-100	43	

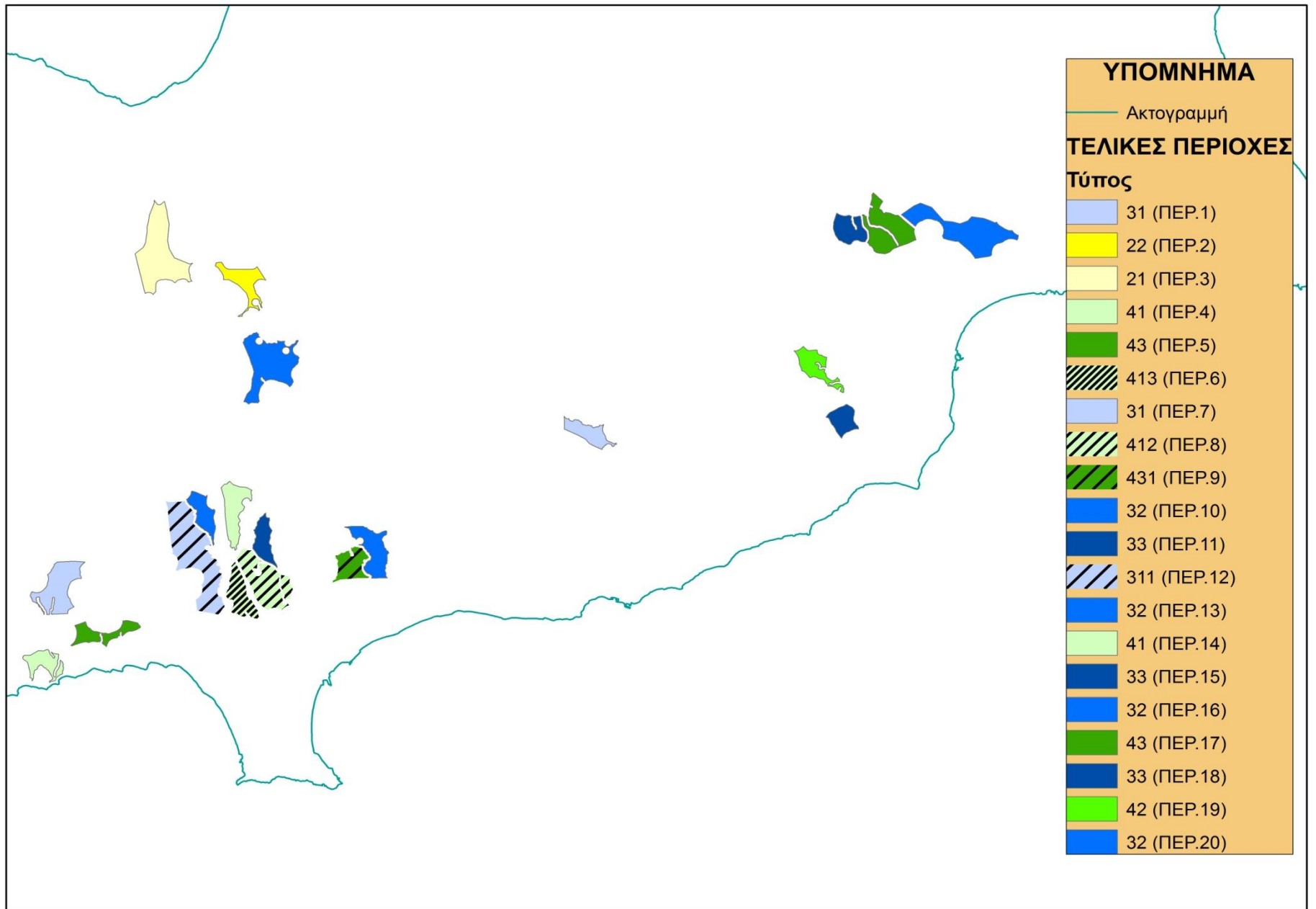
Πίνακας 4.17: Καθορισμός καταλληλότητας και τύπου κάθε περιοχής ανάλογα με τις διακυμάνσεις των μεγίστων ποσοστών της κλίμακας καταλληλότητας

Περιοχές Βαθμός Καταλληλότητας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Ποσοστό αριθμού κελιών																			
0	1%	23%	15%	11%	3%	15%	1%	7%	1%	8%	3%	3%	16%	3%	2%	0%	5%	1%	0%	2%
1	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	12%	43%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	15%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	0%	11%
3	59%	25%	39%	36%	14%	11%	52%	25%	6%	67%	80%	49%	67%	42%	92%	74%	14%	91%	37%	62%
4	27%	2%	6%	54%	83%	53%	47%	58%	91%	16%	17%	32%	17%	55%	6%	19%	81%	8%	63%	25%
5	0%	0%	0%	0%	0%	22%	0%	10%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Μέγιστο Ποσοστό	59%	43%	40%	54%	83%	53%	52%	58%	91%	67%	80%	49%	67%	55%	92%	74%	81%	91%	63%	62%
Κατηγορία	3	2	2	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3
Τύπος	31	22	21	41	43	413	31	412	431	32	33	311	32	41	33	32	43	33	42	32
Διαγράμμιση						Π		Μ	Α			Α								

Πίνακας 4.18: Ποσοστά αριθμού κελιών κάθε βαθμού καταλληλότητας επί του συνολικού αριθμού κελιών κάθε περιοχής και ο τελικός χαρακτηρισμός κάθε περιοχής.



Χάρτης 4.22: Χαρακτηρισμός τύπου καταλληλότητας περιοχών



Χάρτης 4.23: Μεγέθυνση του χάρτη 4.22

4.5.4 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process)

Στο σημείο αυτό επανεξετάζεται η λειτουργία της επικάλυψης (weighted overlay), βάση της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης. Τα κριτήρια που εξετάζονται είναι επίσης το αιολικό δυναμικό, η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης και στο οδικό δίκτυο και οι κλίσεις. Αυτό που αλλάζει είναι η επιρροή (βάρος) που έχει το κάθε κριτήριο, το οποίο καθορίζεται βάση της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης με την δημιουργία του πίνακα σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη (Πίνακας 4.19). Η κλίμακα καταλληλότητας για κάθε κριτήριο παραμένει η ίδια όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.5.1.

Συγκρίνονται λοιπόν τα τέσσερα κριτήρια που έχουν τεθεί ανά ζεύγη ανάλογα με την κλίμακα Saaty. Η επιλογή του βαθμού της κλίμακας Saaty (Παράγραφος 2.6.2.4, Θεωρητικές Έννοιες) για την σύγκριση των κριτηρίων ανά ζεύγη και την δημιουργία του πίνακα σύγκρισης κριτηρίων, επιλέχθηκε βάση της βιβλιογραφίας (Jeffrey D. Harrison, 2012):

- Η επιρροή του αιολικού δυναμικού υπερτερεί απόλυτα έναντι των κλίσεων του εδάφους (9).
- Το αιολικό δυναμικό και η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης έχουν ισάξια επιρροή (1).
- Το αιολικό δυναμικό υπερτερεί ασθενώς έναντι της προσβασιμότητας στο οδικό δίκτυο (3).
- Η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης υπερτερεί απόλυτα έναντι των κλίσεων του εδάφους (9).
- Η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης υπερτερεί ασθενώς έναντι της προσβασιμότητας στο οδικό δίκτυο (3).
- Η προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο υπερτερεί ασθενώς έναντι των κλίσεων του εδάφους (3).

Κριτήρια	Αιολικό Δυναμικό	Κλίσεις	Προσβασιμότητα στο δίκτυο ΑΗΚ	Προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο
Αιολικό Δυναμικό	1	9	1	3
Κλίσεις	1/9	1	1/9	1/3
Προσβασιμότητα στο δίκτυο ΑΗΚ	1	9	1	3
Προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο	1/3	3	1/3	1
Άθροισμα	2.444	22	2.444	7.333

Πίνακας 4.19: Πίνακας σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη

Ακολούθως σύμφωνα με την θεωρία της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης (Παράγραφος 2.6.2.6, Θεωρητικές Έννοιες), ο πίνακας 4.19 κανονικοποιείται, με τη διαίρεση κάθε στοιχείου του προς το άθροισμα των στοιχείων της στήλης όπου βρίσκεται (Πίνακας 4. 20). Ακολούθως

υπολογίζεται το βάρος για κάθε κριτήριο από τον μέσο όρο των κανονικοποιημένων τιμών κάθε γραμμής του πίνακα 4.20,

Κριτήρια	Αιολικό Δυναμικό	Κλίσεις	Προσβασιμότητα στο δίκτυο ΑΗΚ	Προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο	Μέσος όρος	Τελικά βάρη
Αιολικό Δυναμικό	0.409165	0.409091	0.409165	0.40911	0.409	41
Κλίσεις	0.045417	0.045455	0.045417	0.045411	0.048	5
Προσβασιμότητα στο δίκτυο ΑΗΚ	0.409165	0.409091	0.409165	0.40911	0.409	41
Προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο	0.136252	0.136364	0.136252	0.13637	0.134	13
				Άθροισμα:	1.000	100

Πίνακας 4.20: Κανονικοποιημένος πίνακας με τα τελικά βάρη

4.5.4.1 Υπολογισμός βαθμού ασυνέπειας

Για να είναι αποδεκτές οι τιμές των βαρών ασυνέπειας πρέπει να υπολογιστεί ο λόγος συνέπειας CRo οποίος του οποίου η τιμή πρέπει να είναι μικρότερη από 10%. Έτσι αρχικά υπολογίζεται η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα $\lambda_{\max}=4.039$ (Παράγραφος 2.6.2.7, Θεωρητικές Έννοιες).

Ακολούθως υπολογίζεται ο δείκτης συνέπειας CI από την εξίσωση $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$.

Άρα $CI = (4.039 - 4) / (4 - 1) = 0.013$

Τέλος υπολογίζεται ο λόγος συνέπειας CR βάση του τύπου $CR = (CI / RCI) * 100$ όπου το RCI (τυχαίος δείκτης συνέπειας) υπολογίστηκε από τον πίνακα 2.5 (Παράγραφος 2.6.2.7, Θεωρητικές Έννοιες), ίσος με 0.9. Τελικά ο δείκτης συνέπειας υπολογίστηκε ίσος με 1.44% που είναι μικρότερο του 10%, άρα τα βάρη που υπολογίστηκαν βάση της αναλυτικής διαδικασίας ιεράρχησης είναι αποδεκτά.

Ακολουθεί η διαδικασία της επικάλυψης με την χρήση του Weighted Overlay του Spatial Analyst εισάγοντας τα νέα υπολογιζόμενα βάρη όπως φαίνεται στο πίνακα 4.21.

Θεματικό Επίπεδο (Raster)	Επιρροή/Βάρος (Influence)	Πεδίο Τιμών (Field)	Κλίμακα Καταλληλότητας (Scale Value)
Αιολικό Δυναμικό	41%	Ταχύτητα Ανέμων (m/s)	
		>7	5
		5-6	3
		4-5	1
		<4	0
Υφιστάμενο Δίκτυο ηλεκτροδότησης	41%	Απόσταση από δίκτυο ΑΗΚ (m)	
		0-130	0
		131-1000	5
		1001-2000	4
		2001-3000	3
		3001-4000	2
		4001-5000	1
		>5000	0
Υφιστάμενο Οδικό Δίκτυο	13%	Απόσταση από οδικό δίκτυο (m)	
		0-130	0
		131-1000	5
		1001-1500	4
		1501-2000	3
		2001-2501	2
		2501-3000	1
		>3000	0
Γεωμορφολογικός Χάρτης	5%	Κλίσεις (%)	
		0 – 5	5
		5.1 – 10	4
		10.1 – 15	3
		15.1 - 20	2
		20.1 – 25	1
		>25	0

Πίνακας 4.21: Εισερχόμενα δεδομένα στο εργαλείο weighted overlay, με υπολογισμό των βαρών βάση της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης.

4.5.4.2 Χαρακτηρισμός καταλληλότητας Περιοχών

Για τον χαρακτηρισμό της καταλληλότητας των περιοχών χρησιμοποιήθηκε η εντολή Zonal Histogram, για την εξαγωγή του πίνακα 4.22 που δίνει τον αριθμό των κελιών για κάθε βαθμό καταλληλότητας που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή. Όπως παρατηρείται από τον πίνακα 4.22 υπάρχουν δεδομένα που αντιστοιχούν μόνο στους βαθμούς καταλληλότητα από 0-4, ενώ ο βέλτιστος βαθμός καταλληλότητας (5) δεν εμφανίζεται καθόλου. Το γεγονός αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι κατά την επικάλυψη γίνεται στρογγυλοποίηση γύρω από τον κοντινότερο ακέραιο αριθμό (Παράγραφος 2.4.1.2, Θεωρητικές Έννοιες). Το αιολικό δυναμικό και η προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης τα οποία έχουν και την σημαντικότερη επιρροή κατά την λειτουργία της επικάλυψης (41%), έχουν πολύ μικρές περιοχές με βαθμό καταλληλότητας 5 (Χάρτες 4.16, 4.17). Έτσι μετά την επικάλυψη οι περιοχές αυτές στρογγυλοποιούνται στον βαθμό καταλληλότητας 4.

Ο τύπος κάθε περιοχής ορίζεται με όμοιο τρόπο όπως εξηγήθηκε στην παράγραφο 4.5.3. Υπολογίζονται αρχικά τα ποσοστά των κελιών βάση του συνολικού αριθμού κελιών του πίνακα 4.22 και βάση του μέγιστου ποσοστού επιλέγεται η κατηγορία κάθε περιοχής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι κατηγορίες χαμηλής, μέτριας και υψηλής καταλληλότητας αντιστοιχούν επίσης στους βαθμούς 2, 3 και 4 (Πίνακας 4.24). Τέλος ο τύπος υπολογίζεται βάση των διακυμάνσεων των μεγίστων ποσοστών κάθε κατηγορίας. (Πίνακας 4.23)

Ο τελικός χαρακτηρισμός κάθε περιοχής με τους αντίστοιχους τύπους και τις κατηγορίες παρουσιάζεται στον πίνακα 4.24.

Στον χάρτη 4.24 εμφανίζονται οι 20 τελικές περιοχές με τον αντίστοιχο τύπο καταλληλότητας. Παρατηρώντας τον χάρτη 4.24 και τον πίνακα 4.24 ως καταλληλότερη περιοχή εμφανίζεται η περιοχή 9 αφού έχει το μεγαλύτερο ποσοστό για την κατηγορία υψηλής καταλληλότητας 4. Ακολουθεί η περιοχή 6 και 8 με αντίστοιχους τύπους καταλληλότητας βάση του μέγιστου ποσοστού 42 και 41. Στην κατηγορία 3 (μέτριας καταλληλότητας) με το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχούν οι περιοχές 14, 17 και 19 με τύπο καταλληλότητας 33, ακολουθούν με μικρότερο ποσοστό οι περιοχές 5, 7, 13, 16 και 20 (τύπος 32) και με χαμηλότερο ποσοστό οι περιοχές 1, 4 και 12. Τέλος, στην κατηγορία χαμηλής καταλληλότητας υπάγονται οι περιοχές 11, 15 και 18 (τύπος 23), ακολουθούν οι περιοχές 2 και 10 με χαμηλότερο ποσοστό (τύπος 22) και στην τελευταία θέση εμφανίζεται η περιοχή 3 (τύπος 23).

Οι περιοχές χαμηλής καταλληλότητας (κατηγορία 2) απεικονίζονται στους χάρτες με διαβαθμίσεις του κίτρινου, από ανοιχτό (μικρό ποσοστό, τύπος 21) σε σκούρο (μεγάλο ποσοστό, τύπος 23). Αντίστοιχα η κατηγορία 3 (μέτριας καταλληλότητας) με διαβαθμίσεις του μπλε και η κατηγορία 4 (υψηλής καταλληλότητας) με διαβαθμίσεις του πράσινου (Χάρτες 4.24, 4.25)

Περιοχές Βαθμός Καταλληλότητας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Αριθμός αριθμού κελιών																			
0	2	35	77	15	5	31	3	26	2	14	4	22	27	6	3	0	16	1	0	7
1	2	32	5	0	0	0	0	0	0	3	0	96	0	0	14	0	0	0	0	0
2	69	93	237	47	4	0	122	8	0	125	112	204	35	17	125	167	30	117	38	173
3	69	9	186	78	110	47	179	138	61	47	21	239	82	199	9	264	280	7	124	239
4	0	0	4	0	29	110	7	178	97	31	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο κελιών	142	169	509	140	148	188	311	350	160	220	137	636	144	222	151	431	326	125	162	419

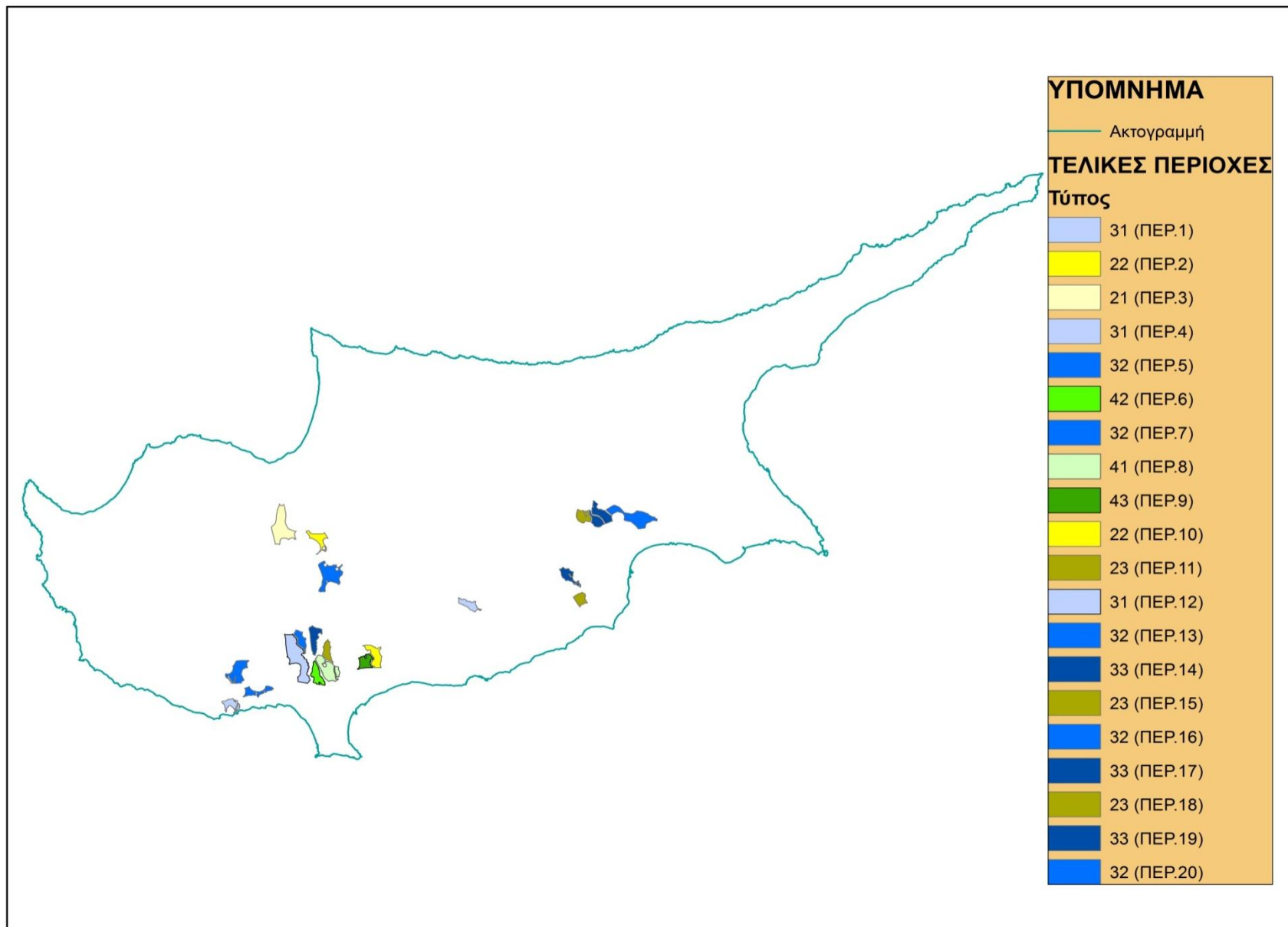
Πίνακας 4.22: Αριθμός κελιών βαθμού καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 20 προτεινόμενες περιοχές

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΗΤΑ
2	30-54	21	ΧΑΜΗΛΗ
2	55-74	22	
2	75-100	23	
3	35-54	31	ΜΕΤΡΙΑ
3	55-74	32	
3	75-100	33	
4	50-55	41	ΥΨΗΛΗ
4	55-60	42	
4	60-65	43	

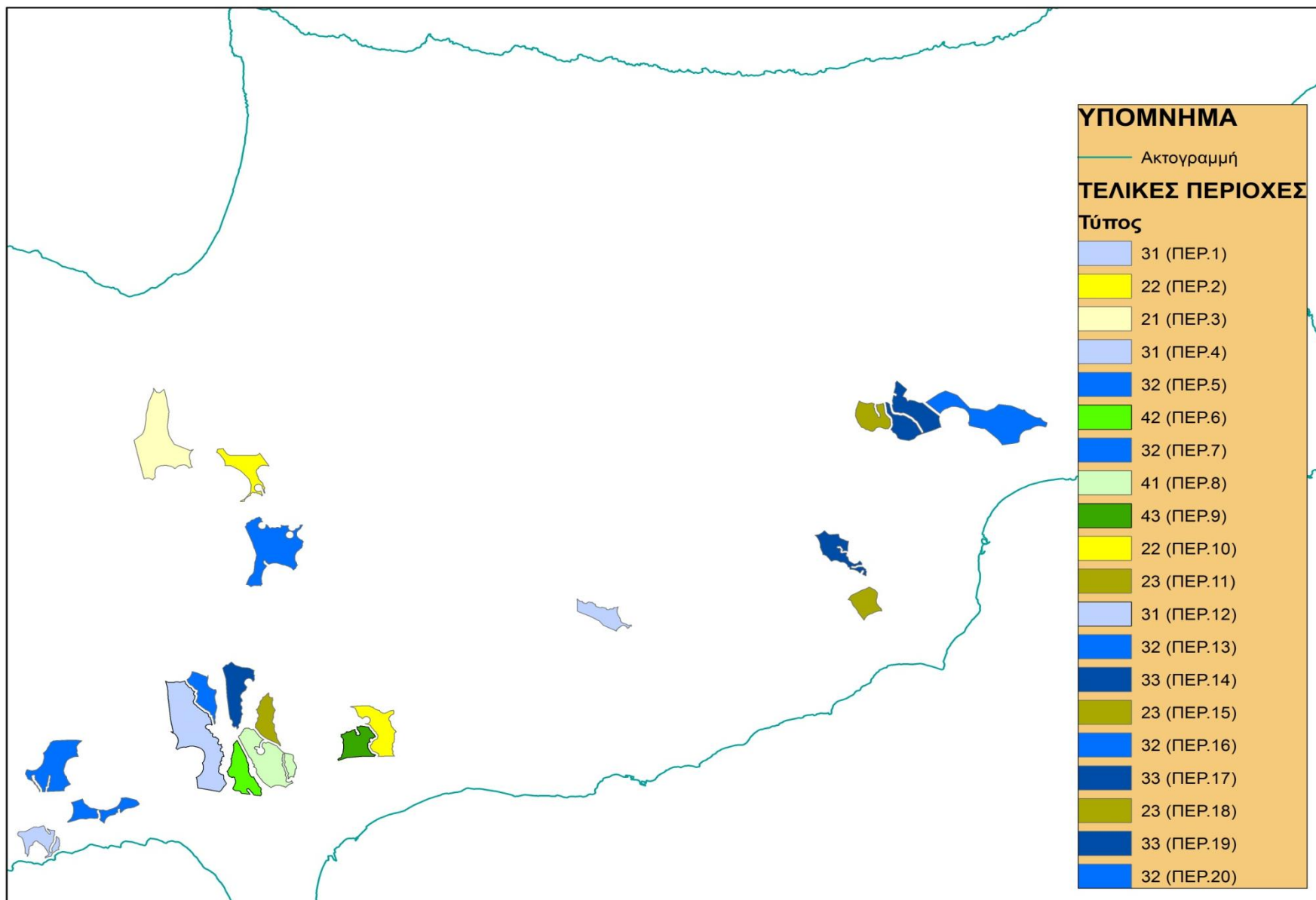
Πίνακας 4.23: Καθορισμός καταλληλότητας και τύπου κάθε περιοχής ανάλογα με τις διακυμάνσεις των μεγίστων ποσοστών της κλίμακας καταλληλότητας

Περιοχές Βαθμός Καταλληλότητας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Ποσοστό κελιών																			
0	1%	21%	15%	11%	3%	16%	1%	7%	1%	6%	3%	3%	19%	3%	2%	0%	5%	1%	0%	2%
1	1%	19%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	15%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%
2	49%	55%	47%	34%	3%	0%	39%	2%	0%	57%	82%	32%	24%	8%	83%	39%	9%	94%	23%	41%
3	49%	5%	37%	56%	74%	25%	58%	39%	38%	21%	15%	38%	57%	90%	6%	61%	86%	6%	77%	57%
4	0%	0%	1%	0%	20%	59%	2%	51%	61%	14%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Μέγιστο Ποσοστό	49%	55%	47%	56%	74%	59%	58%	51%	61%	57%	82%	38%	57%	90%	83%	61%	86%	94%	77%	57%
Κατηγορία	3	2	2	3	3	4	3	4	4	2	2	3	3	3	2	3	3	2	3	3
Τύπος	31	22	21	31	32	42	32	41	43	22	23	31	32	33	23	32	33	23	33	32

Πίνακας 4.24: Ποσοστά αριθμού κελιών κάθε βαθμού καταλληλότητας επί του συνολικού αριθμού κελιών κάθε περιοχής και ο τελικός χαρακτηρισμός κάθε περιοχής



Χάρτης 4.24 : Χαρακτηρισμός τύπου καταλληλότητας περιοχών με την ΑΗΡ



Χάρτης 4.25: Μεγέθυνση χάρτη 4.24

4.6 Στάδιο 3: Αξιολόγηση περιοχών με την λογική της Ασάφειας (fuzzy logic)

Στο στάδιο αυτό αναλύονται εκ νέου τα τέσσερα δυναμικά κριτήρια: αιολικό δυναμικό, προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο ηλεκτροδότησης και οι κλίσεις του εδάφους. Με την λογική της ασάφειας μετασχηματίζονται (ασαφοποιούνται) τα εισερχόμενα δεδομένα σε μια κοινή κλίμακα από 0-1 με την βοήθεια του εργαλείου fuzzy membership του Spatial Analyst (Παράγραφος 2.5.4, Θεωρητικές Έννοιες), ώστε στην συνέχεια να μπορούν να επικαλυφθούν. Ουσιαστικά το εργαλείο fuzzy membership έχει την ίδια ιδιότητα με το εργαλείο της αναταξινόμησης (reclassify), αφού μετατρέπει τα εισερχόμενα δεδομένα σε μια κοινή κλίμακα ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

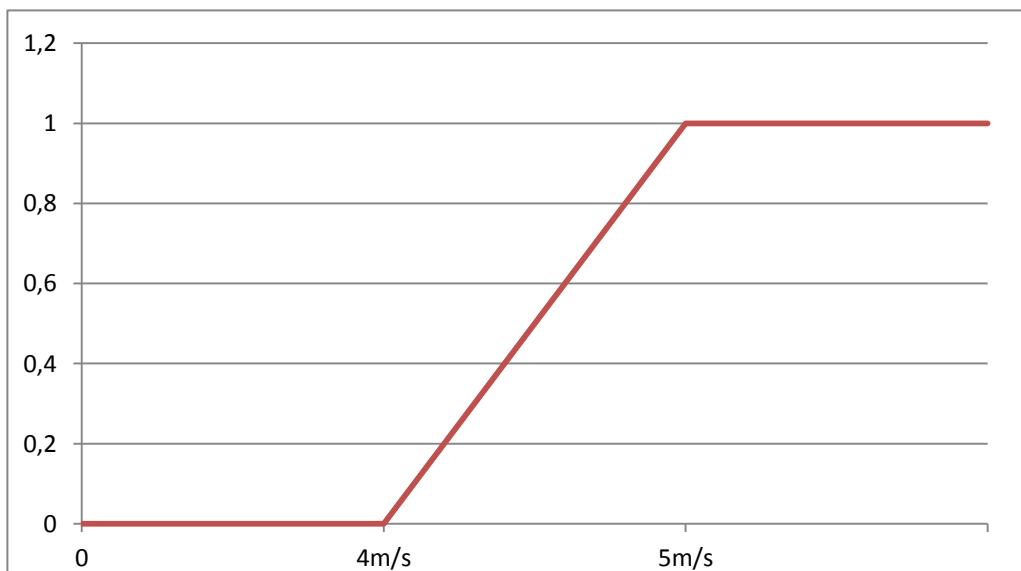
Το κάθε ένα από τα πιο πάνω κριτήρια μετασχηματίζεται στην κλίμακα 0-1, με την γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού (Παράγραφος 2.5.5, Θεωρητικές Έννοιες). Τα ελάχιστα και μέγιστα όρια που τέθηκαν σε κάθε κριτήριο ώστε να γίνει η ασαφοποίηση καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες παρουσιάζονται παρακάτω.

4.6.1 Αιολικό δυναμικό

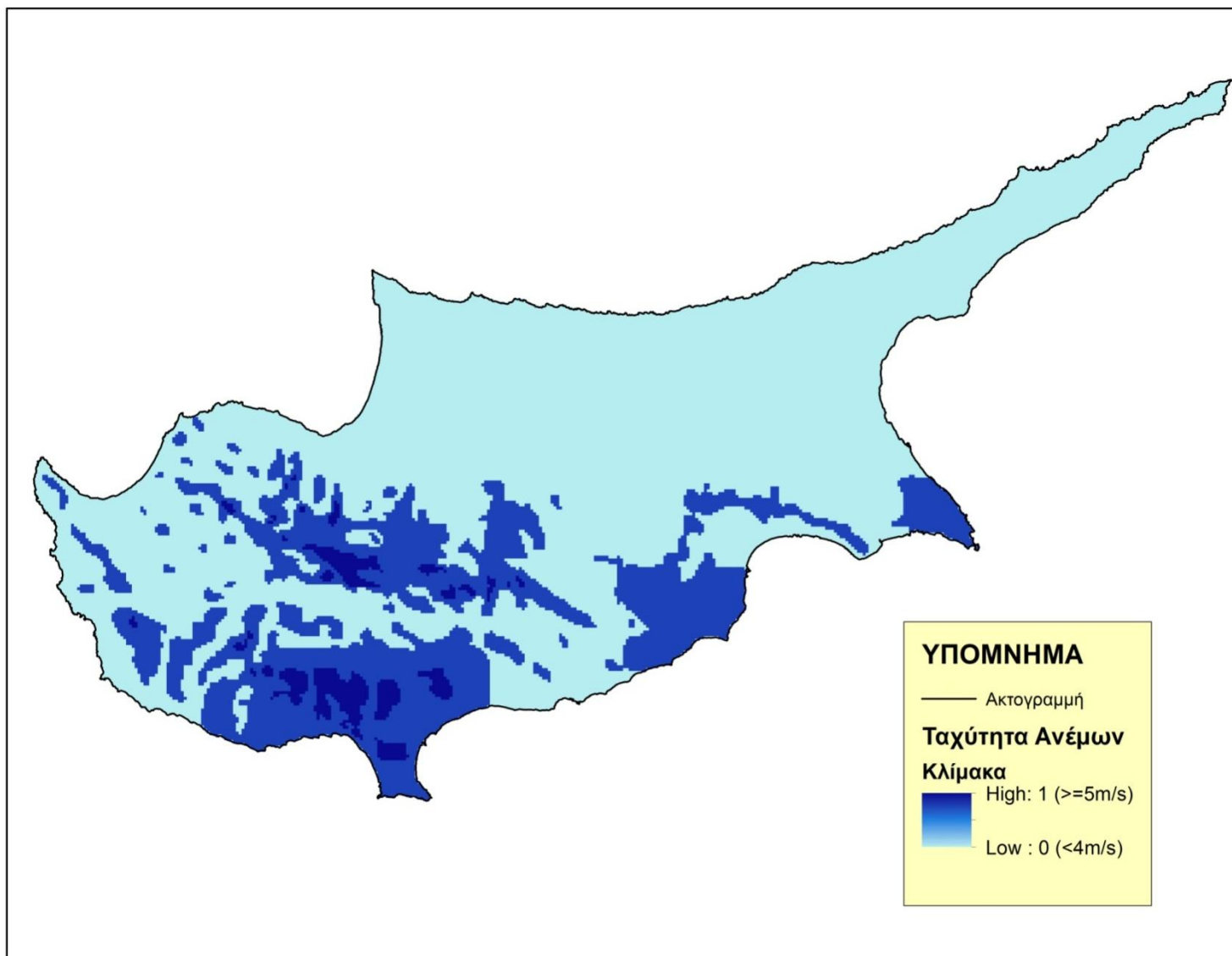
Οι περιορισμοί που τέθηκαν για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ασαφοποίησης, όσον αφορά το αιολικό δυναμικό έχουν ως εξής:

- Ταχύτητες ανέμων μικρότερες των 4m/s δεν περιλαμβάνονται σε καμία τάξη και παίρνουν τιμή ίση με 0.
- Ταχύτητες ανέμων μεγαλύτερες των 5m/s θεωρούνται ιδανικές και παίρνουν τιμή ίση με 1.
- Οι τιμές που βρίσκονται ανάμεσα στα δυο άκρα αποτελούν μια ενδιάμεση τάξη βάση μιας θετικής γραμμικής κλίσης μετασχηματισμού.

Στο διάγραμμα 4.7 παρουσιάζεται η γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού και στον χάρτη 4.26 τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετά την ασαφοποίηση (fuzzy membership)



Διάγραμμα 4.7: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για το αιολικό δυναμικό



Χάρτης 4.26: Ασαφopoίηση αιολικού δυναμικού με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership

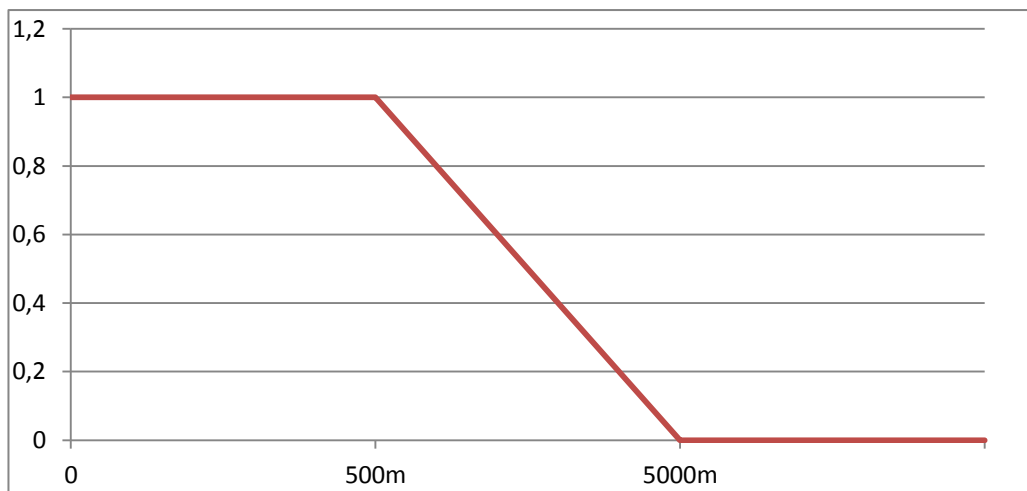
Στον παραπάνω χάρτη παρουσιάζονται οι περιοχές όπως αυτές αναταξινομήθηκαν με την εντολή fuzzy membership, για το αιολικό δυναμικό. Με σκούρο μπλε παρουσιάζονται οι περιοχές με ταχύτητες ανέμων μεγαλύτερες των 5m/s όπου αντιστοιχούν στην κλίμακα καταλληλότητας στον βέλτιστο βαθμό (1) ενώ με γαλάζιο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που αποκλείονται λόγω ακαταλληλότητας του αιολικού δυναμικού (ταχύτητες ανέμων μικρότερες των 4 m/s). Οι περιοχές με ταχύτητες ανέμων μεταξύ 4 και 5m/s, απαρτίζουν μια ενδιάμεση κλάση η οποία απεικονίζεται στον χάρτη 4.26 με μπλε χρώμα.

4.6.2 Προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης

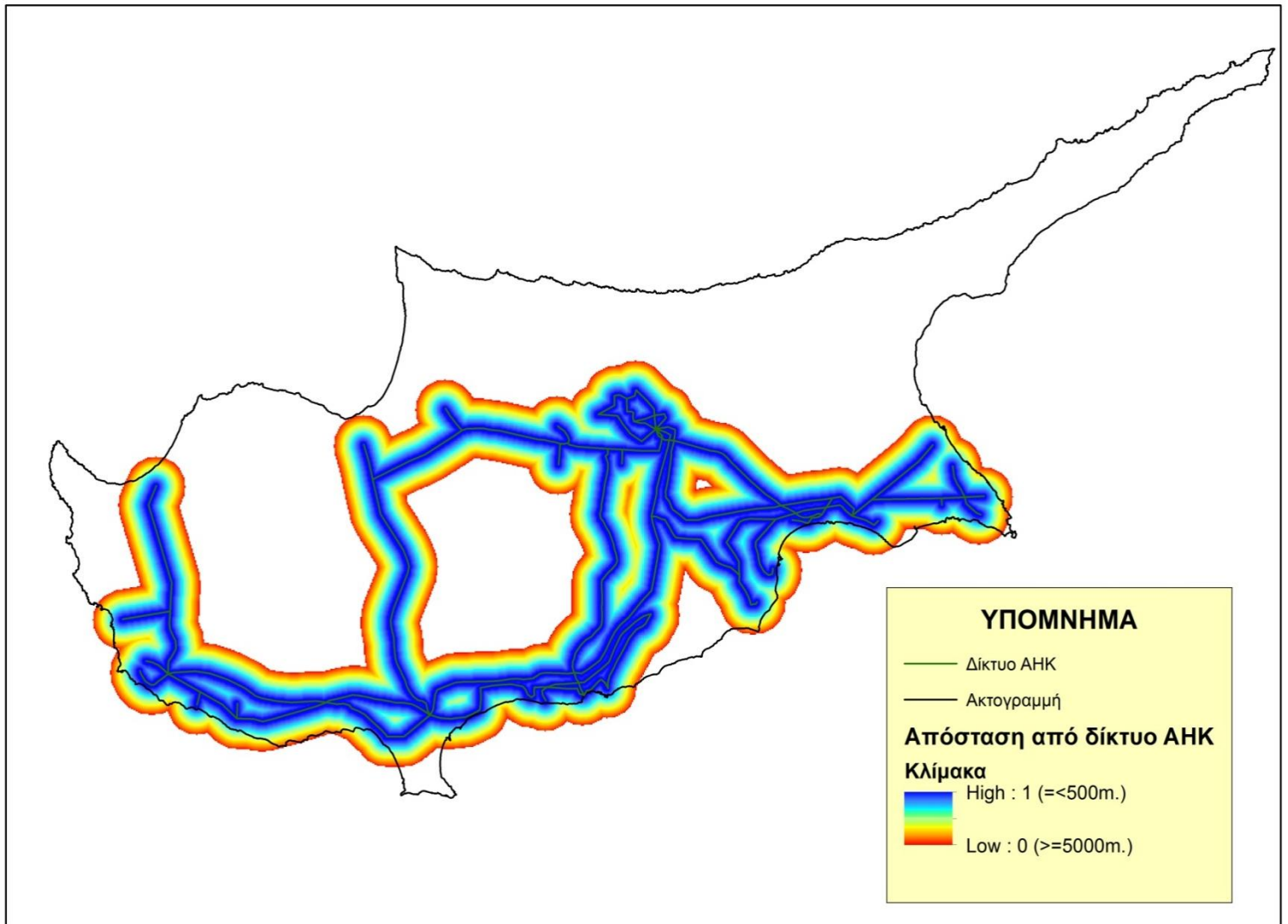
Οι περιορισμοί που τέθηκαν για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ασαφοποίησης, όσον αφορά την προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης έχουν ως εξής:

- Για απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο μικρότερη και ίση από 500μ. θα αποδίδεται τιμή ίση με 1.
- Για απόσταση μεγαλύτερη και ίση των 5000μ. θα αποδίδονται τιμές ίσες με μηδέν.
- Όλες οι ενδιάμεσες τιμές αποδίδονται βάση μια γραμμικής αρνητικής κλίσης μετασχηματισμού.

Στο διάγραμμα 4.8 παρουσιάζεται η γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού και στον χάρτη 4.27 τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετά την ασαφοποίηση (fuzzy membership).



Διάγραμμα 4.8: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για το ηλεκτρικό δίκτυο



Χάρτης 4.27: Ασαφοποίηση δικτύου ηλεκτροδότησης με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership

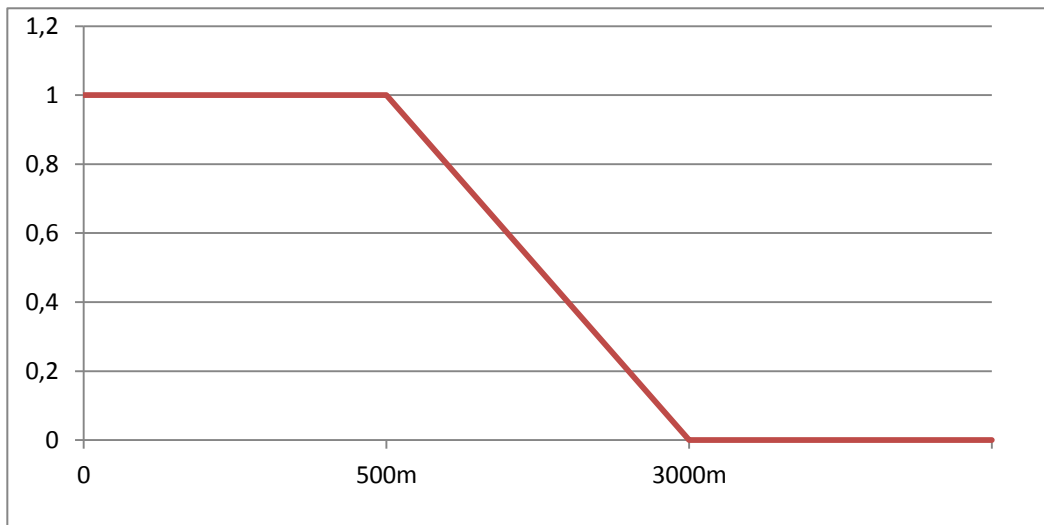
Στον παραπάνω χάρτη 4.27 απεικονίζεται η κλίμακα από 0-1 μετά την ασαφοποίηση όσον αφορά την προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Την μέγιστη τιμή (1) παίρνουν οι περιοχές που βρίσκονται εντός 500 μέτρων από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και απεικονίζονται στον χάρτη με μπλε χρώμα, ενώ οι περιοχές με κόκκινο χρώμα βρίσκονται εκτός της ελάχιστης απόστασης των 5000 μέτρων και παίρνουν μηδενική τιμή. Οι περιοχές που βρίσκονται μεταξύ των ορίων (500-5000μ.) παίρνουν τιμές μεταξύ του 0 και του 1 και παρουσιάζονται στον χάρτη με τα αντίστοιχα χρώματα.

4.6.3 Προσβασιμότητα στο Οδικό δίκτυο

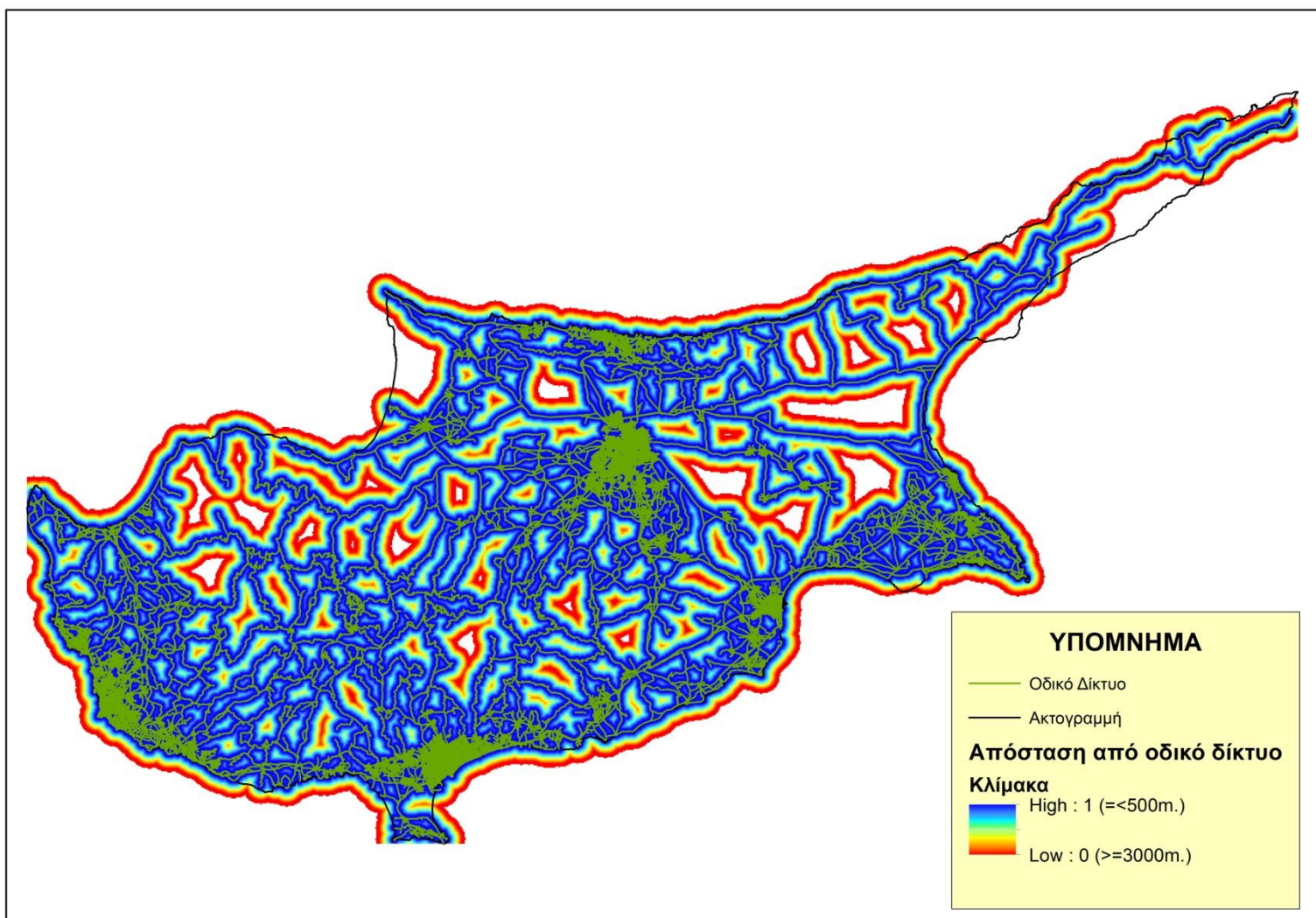
Οι περιορισμοί που τέθηκαν για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ασαφοποίησης, όσον αφορά την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο έχουν ως εξής:

- Για απόσταση από το οδικό δίκτυο μικρότερη και ίση από 500μ. θα αποδίδεται τιμή ίση με 1.
- Για απόσταση μεγαλύτερη και ίση των 3000μ. θα αποδίδονται τιμές ίσες με μηδέν.
- Όλες οι ενδιάμεσες τιμές αποδίδονται βάση μια γραμμικής αρνητικής κλίσης μετασχηματισμού.

Στο διάγραμμα 4.9 παρουσιάζεται η γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού και στον χάρτη 4.28 τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετά την ασαφοποίηση (fuzzy membership)



Διάγραμμα 4.9: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για το οδικό δίκτυο



Χάρτης 4.28: Ασαφοποίηση οδικού δικτύου με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership

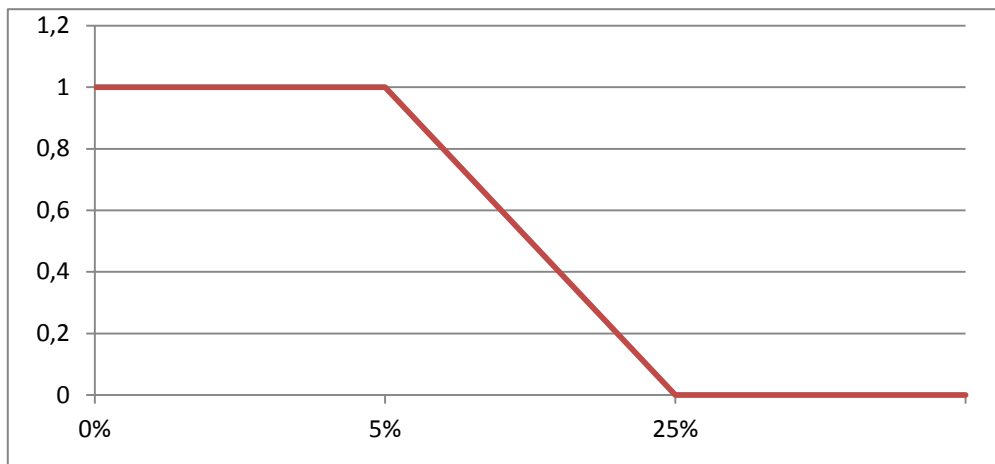
Στον παραπάνω χάρτη 4.28 απεικονίζεται η κλίμακα από 0-1 μετά την ασαφοποίηση όσον αφορά την προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο. Την μέγιστη τιμή (1) παίρνουν οι περιοχές που βρίσκονται εντός 500 μέτρων από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και απεικονίζονται στον χάρτη με μπλε χρώμα, ενώ οι περιοχές με κόκκινο χρώμα βρίσκονται εκτός της ελάχιστης απόστασης των 3000 μέτρων και παίρνουν μηδενική τιμή. Οι περιοχές που βρίσκονται μεταξύ των ορίων (500-3000μ.) παίρνουν τιμές μεταξύ του 0 και του 1 και παρουσιάζονται στον χάρτη με τα αντίστοιχα χρώματα.

4.6.4 Κλίσεις

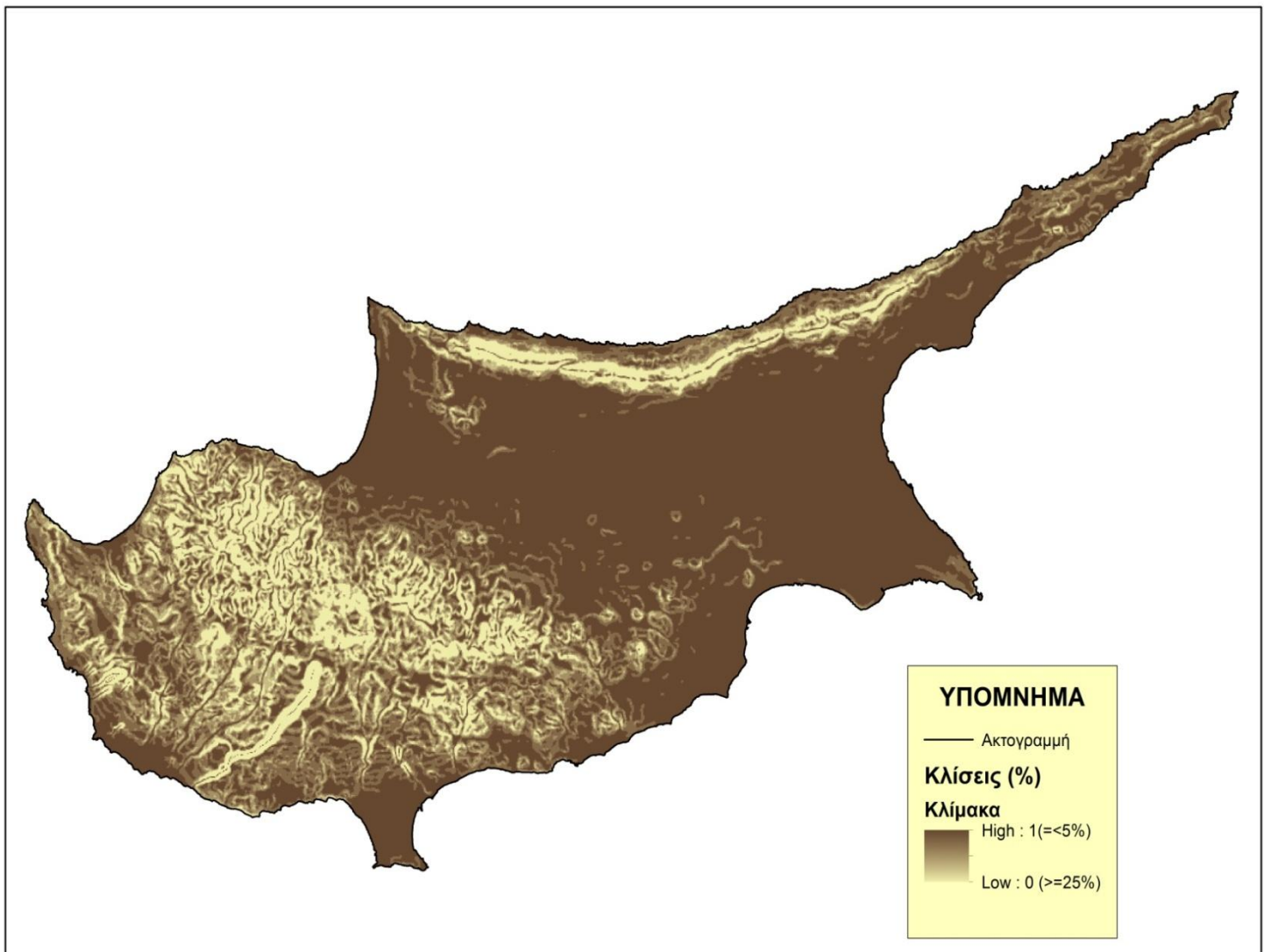
Οι περιορισμοί που τέθηκαν για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ασαφοποίησης, όσον αφορά τις κλίσεις του εδάφους έχουν ως εξής:

- Για κλίσεις μικρότερες από 5% αποδίδεται τιμή ίση με 1.
- Για κλίσεις μεγαλύτερες από 25% αποδίδεται τιμή ίση με 0.
- Όλες οι ενδιάμεσες τιμές αποδίδονται βάση μια γραμμικής αρνητικής κλίσης μετασχηματισμού.

Στο διάγραμμα 4.10 παρουσιάζεται η γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού και στον χάρτη 4.29 τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετά την ασαφοποίηση (fuzzy membership).



Διάγραμμα 4.10: Γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού για τις κλίσεις



Χάρτης 4.29: Ασαφοποίηση χάρτη κλίσεων με την χρήση του εργαλείου fuzzy membership

Όσον αφορά τον χάρτη 4.29 παρουσιάζει την κλίμακα μετά την ασαφοποίηση για τις κλίσεις του εδάφους με αποχρώσεις καφέ χρώματος. Όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα τόσο καταλληλότερη είναι η περιοχή, με την βέλτιστη τιμή (1) να αντιστοιχεί σε κλίσεις εδάφους μικρότερες από 5% και, ενώ οι περιοχές με πολύ ανοιχτό χρώμα παίρνουν μηδενική τιμή (κλίσεις εδάφους μεγαλύτερες από 5%)

Ακολούθως τα επίπεδα αυτά που δημιουργήθηκαν με την διαδικασία της ασαφοποίησης πρέπει να συγκριθούν μεταξύ τους ώστε να εξαχθεί μια τελική κλίμακα για τις ενδιαφερόμενες περιοχές. Για την επικάλυψη των θεματικών επιπέδων χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία Raster calculation του Map Algebra του Spatial Analyst Tools. Με το εργαλείο αυτό ουσιαστικά οι τέσσερις χάρτες που εξάχθηκαν από την ασαφοποίηση (fuzzy membership) μετατρέπονται σε ένα ενιαίο χάρτη ανάλογα με την φόρμουλα που εισάγεται. Στην δεδομένη περίπτωση ο χάρτης της επικάλυψης εξάγεται ως μέσος όρος των επιμέρους θεματικών χαρτών με εξίσωση:

$$(\text{Αιολικό δυναμικό} + \text{Απόσταση από οδικό δίκτυο} + \text{Απόσταση από δίκτυο ΑΗΚ} + \text{Κλίσεις}) / 4$$

Στην συνέχεια για να εμφανίζεται το αποτέλεσμα μόνο στις τελικές περιοχές που επιλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας χρησιμοποιείται η εντολή *extract by mask* (Παράγραφος 4.5.2). (Χάρτης 4.30)



Χάρτης 4.30: Τελικός χάρτης μετά την ένωση όλων των θεματικών χαρτών για κάθε δυναμικό κριτήριο.

Ο χάρτης 4.30 απεικονίζει τις τελικές περιοχές μετά την επικάλυψη με την μέγιστη τιμή (περιοχές μέγιστης καταλληλότητας) να αντιστοιχεί σε 0.92 και την χαμηλότερη σε 0.17(περιοχές χαμηλής καταλληλότητας) με αποχρώσεις πράσινου χρώματος. Όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα τόσο πιο κοντά βρίσκεται στην μέγιστη τιμή (0.92) ενώ όσο πιο ανοιχτό είναι τόσο πιο κοντά βρίσκεται, στην χαμηλότερη τιμή (0.17). Παρατηρείται επίσης, ότι μέσα στις 20 περιοχές εμφανίζονται διάφοροι βαθμοί καταλληλότητας, με κάποια σημεία εντός αυτών να έχουν καλύτερο βαθμό από άλλα. Για τον λόγο ότι επιλέχθηκε η χωροθέτηση του αιολικού πάρκου να μην γίνει σημειακά, αλλά στο σύνολο της έκτασης των 20 προτεινόμενων περιοχών,

η καταλληλότητα για χωροθέτηση αιολικών πάρκων σε αυτές τις περιοχές, αξιολογείται εκ νέου όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

4.6.5 Χαρακτηρισμός Καταλληλότητας Περιοχών

Για να χαρακτηριστούν οι 20 τελικές περιοχές, η κλίμακα του ενιαίου χάρτη 4.30 χωρίζεται αρχικά σε 5 τάξεις:

- 1) 0.17-0.42
- 2) 0.42-0.55
- 3) 0.55-0.66
- 4) 0.66-0.76
- 5) 0.76-0.92

Με την εντολή Zonal Histogram του Spatial Analyst εξάγεται ο πίνακας 4.26 που δίνει τον αριθμό των κελιών που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις πιο πάνω τάξεις για κάθε περιοχή. Για να χαρακτηριστούν τελικά οι περιοχές (τελικός βαθμός καταλληλότητας) υπολογίστηκε ο σταθμισμένος μέσος όρος. Υπολογίστηκε αρχικά η μέση τιμή κάθε τάξης και πολλαπλασιάστηκε με τον αριθμό που αντιστοιχεί σε αυτήν, για κάθε περιοχή. Ακολούθως αθροίστηκαν οι επιμέρους πολλαπλασιασμοί για κάθε κατηγορία και διαιρέθηκαν με τον συνολικό αριθμό των κελιών κάθε περιοχής για να υπολογιστεί ο τελικός βαθμός καταλληλότητας. Ο τελικός βαθμός καταλληλότητας κυμαίνεται από 0.22 (Περιοχή χαμηλότερης καταλληλότητας), μέχρι 0.69 (Περιοχή υψηλής καταλληλότητας). Οι κατηγορίες καταλληλότητας χαμηλή, μέτρια, υψηλή διαχωρίστηκαν βάση του τελικού βαθμού καταλληλότητας (Πίνακας 4.25).

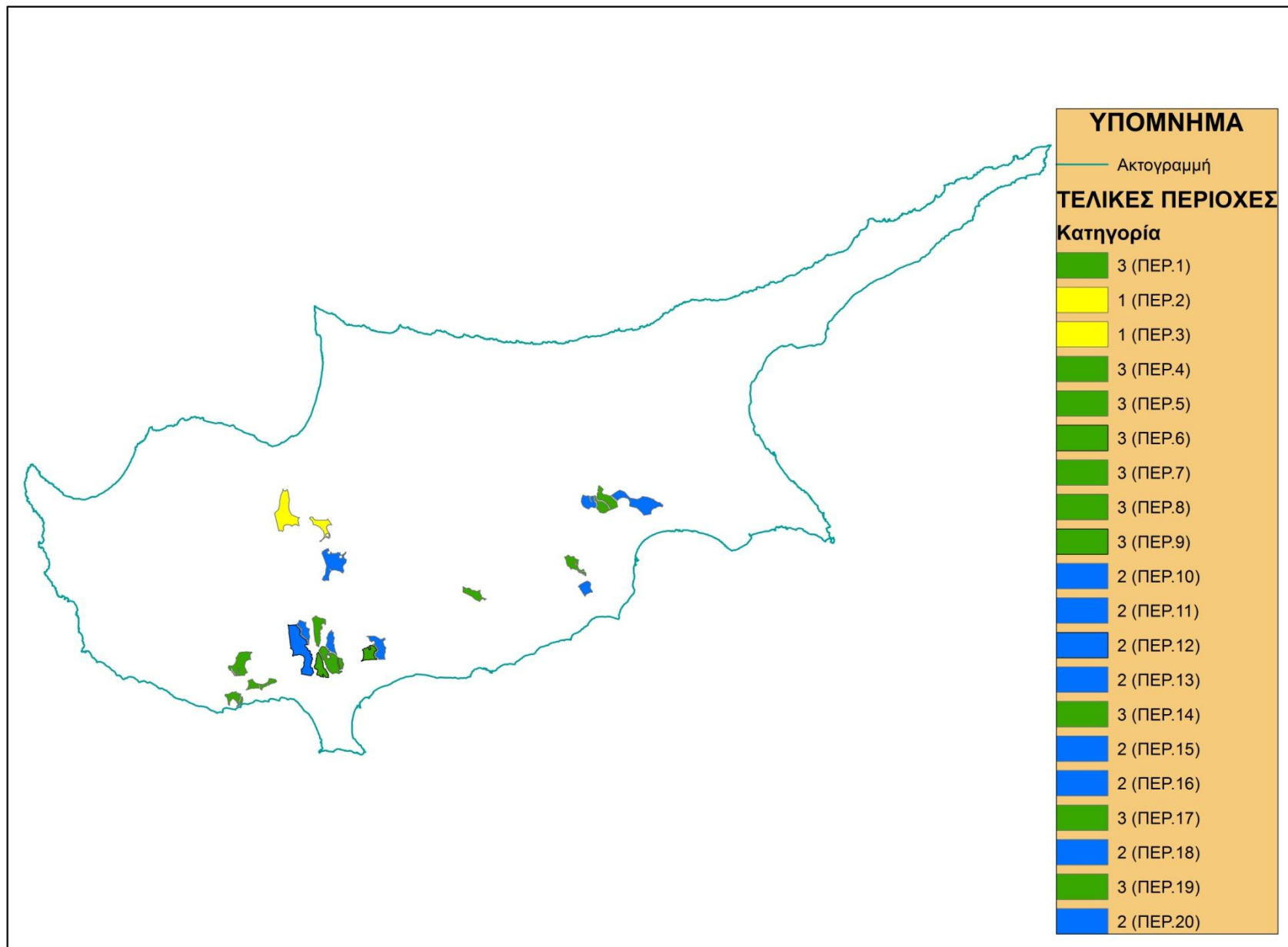
Τελικός Βαθμός Καταλληλότητας	Κατηγορία	Καταλληλότητα
0-0.30	1	ΧΑΜΗΛΗ
0.31-0.55	2	ΜΕΤΡΙΑ
0.56-0.75	3	ΥΨΗΛΗ

Πίνακας 4.25 : Χαρακτηρισμός κατηγοριών βάση τελικού βαθμού καταλληλότητας

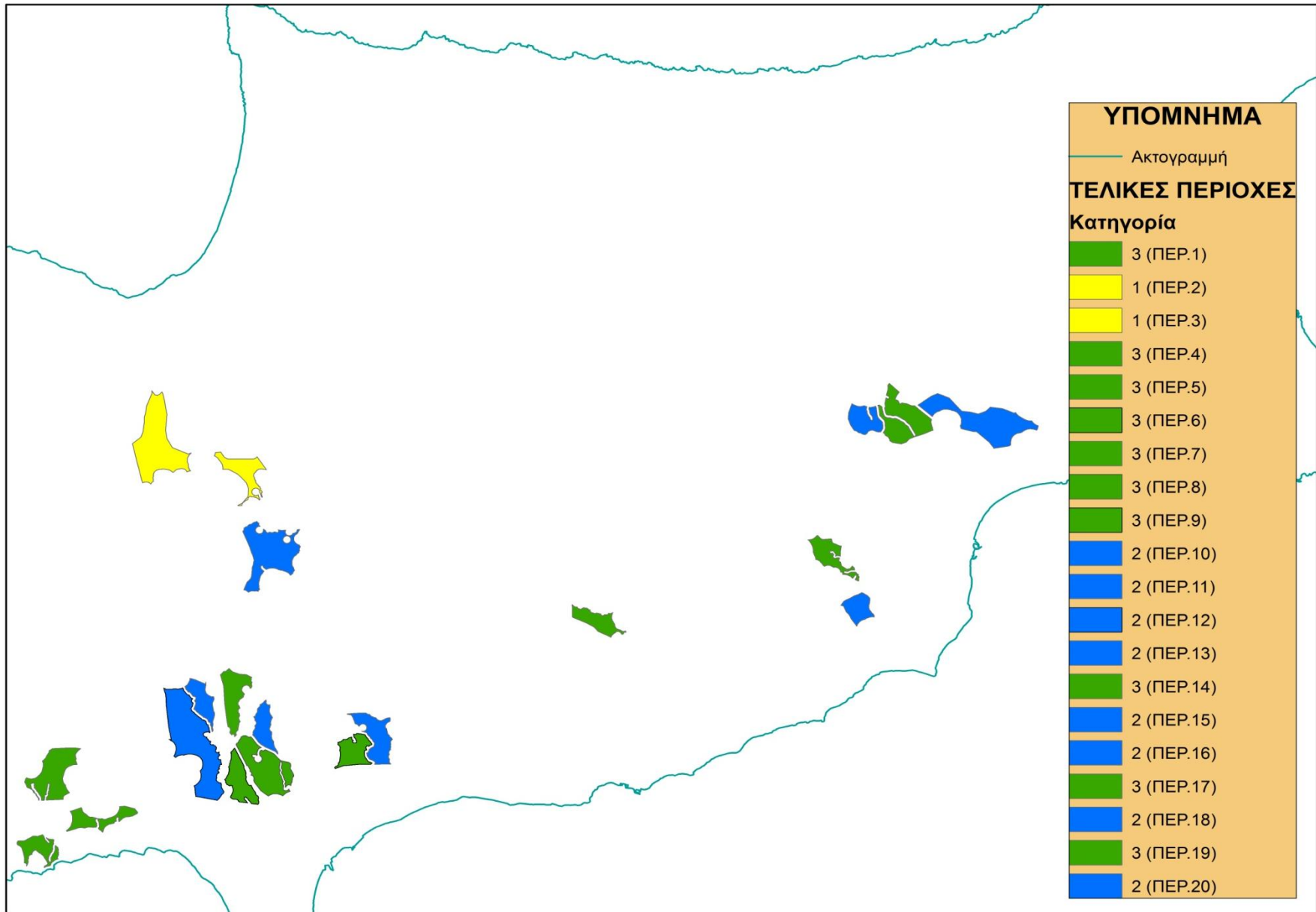
Στους χάρτες 4.31 και 4.32 που ακολουθούν απεικονίζονται οι περιοχές με αντίστοιχο χαρακτηρισμό της καταλληλότητας τους, όπως αυτός προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία.

Περιοχές Βαθμός Καταλληλότητας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Αριθμός κελιών																			
0.17- 0.42	2	13	32	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3
0.42 - 0.55	6	8	30	0	0	1	5	7	0	12	0	28	5	3	3	20	0	1	0	19
0.55 - 0.66	7	3	11	7	3	5	18	6	3	12	16	26	8	13	11	28	3	12	8	21
0.66- 0.76	7	0	9	9	11	4	16	18	10	7	6	32	4	14	7	16	29	8	6	17
0.76 - 0.92	2	0	1	6	7	21	4	25	10	3	0	10	4	4	0	2	21	0	7	7
Σύνολο	24	24	83	22	21	31	43	56	23	36	22	99	21	34	21	67	53	21	21	67
Τελικός βαθμός καταλληλότητας	0.60	0.22	0.29	0.64	0.67	0.71	0.56	0.65	0.69	0.46	0.54	0.51	0.54	0.58	0.52	0.48	0.70	0.55	0.64	0.49
Κατηγορία	3	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2

Πίνακας 4.26: Αριθμός κελιών βαθμού καταλληλότητας που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 20 προτεινόμενες περιοχές



Χάρτης 4.31: Χαρακτηρισμός κατηγορίας καταλληλότητας περιοχών



Χάρτης 4.32: Μεγέθυνση χάρτη 4.31

Στους χάρτες 4.31 και 4.32 εμφανίζονται οι 20 περιοχές που επιλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο, με την κατηγορία καταλληλότητας που αντιστοιχεί σε κάθε μια από αυτές. Παρατηρώντας τον χάρτη 4.31 και τον πίνακα 4.26, 10 περιοχές αντιστοιχούν στην κατηγορία 3 (υψηλής καταλληλότητας) με την περιοχή 6 να καταλαμβάνει την πρώτη θέση με τελικό βαθμό 0.71, ενώ ακολουθούν οι περιοχές 17 και 9 με βαθμούς 0.70 και 0.69 αντίστοιχα. Στην δεύτερη κατηγορία καταλληλότητας (μέτρια), εμφανίζονται 8 περιοχές με τον υψηλότερο βαθμό 0.55 να εμφανίζεται στην περιοχή 18 και στις περιοχές 11 και 12 με βαθμό 0.54. Ενώ στην κατηγορία χαμηλής καταλληλότητας αντιστοιχούν 2 μόνο περιοχές η 2 και η 3. Οι περιοχές με υψηλή καταλληλότητα αποδίδονται με πράσινο χρώμα, οι περιοχές με μέτρια με μπλε χρώμα ενώ οι περιοχές με χαμηλή καταλληλότητα με κίτρινο χρώμα.

4.7 Συμπεράσματα - Σύγκριση Αποτελεσμάτων

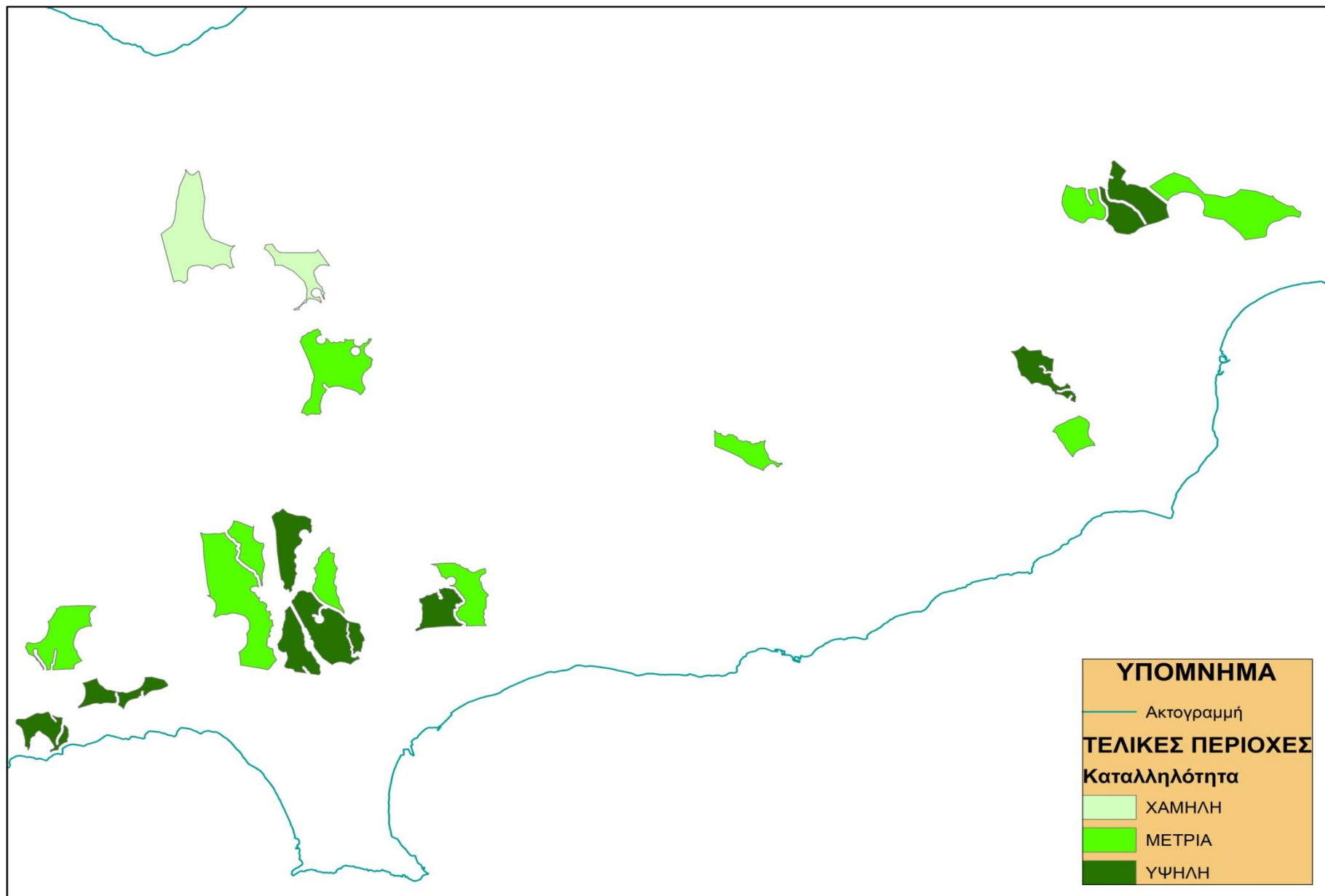
Η παρούσα διπλωματική εξετάζει και αξιολογεί τις περιοχές που είναι κατάλληλες για να εγκατασταθεί αιολικό πάρκο στην Κύπρο. Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής προτείνονται αρχικά κάποιες περιοχές, μετά από την ανάλυση περιβαλλοντικών, πολιτιστικών, οικιστικών, δικτύων και υποδομής, λειτουργικών και οικονομικών κριτηρίων. Οι περιορισμοί των κριτηρίων αυτών εξάγονται κυρίως μέσα από την νομοθεσία *Νόμος Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας, Εντολή 2/ Άρθρο 6/ 2006*, με την δημιουργία ζωνών αποκλεισμού γύρω από προστατευόμενες περιοχές, λίμνες, ποταμούς, αρχαιολογικούς χώρους, κατοικημένες περιοχές, το οδικό δίκτυο, το δίκτυο ηλεκτροδότησης, υφιστάμενες υποδομές αεροδρομίων και αιολικών πάρκων. Αφού αποκλείστηκαν οι περιοχές αυτές που είναι ακατάλληλες για χωροθέτηση αιολικού πάρκου δημιουργήθηκαν ζώνες επιρροής βάση του κατάλληλου αιολικού δυναμικού που απαιτείται για είναι βιώσιμο ένα αιολικό πάρκο αλλά και την προσβασιμότητα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης κυρίως για οικονομικούς λόγους. Έτσι επιλέχθηκαν τελικά 20 περιοχές οι οποίες πληρούν και το κριτήριο της ελάχιστης έκτασης των 5000 στρεμμάτων.

Στο επόμενο στάδιο γίνεται αξιολόγηση των 20 περιοχών με την λειτουργία της επικάλυψης τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων, του αιολικού δυναμικού της προσβασιμότητας στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο ηλεκτροδότησης και των κλίσεων του εδάφους. Στην συνέχεια τα κριτήρια αυτά μετατράπηκαν σε μια ενιαία κλίμακα βαθμολόγησης από 1-5 ώστε να μπορούν να επικαλυφτούν με την χρήση του weighted overlay tool του ArcMap 10. Για την απόδοση βαρών σε αυτά, δηλαδή τι επιρροή έχει το κάθε κριτήριο στην καταλληλότητα των περιοχών, χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) ενώ πραγματοποιήθηκε επίσης η επικάλυψη θεωρώντας ότι τα δυναμικά κριτήρια έχουν ισάξια επιρροή. Στο τρίτο στάδιο οι 20 περιοχές αξιολογήθηκαν με την λογική της ασάφειας αφού πρώτα έγινε η ασαφοποίηση των επιμέρους επιπέδων (fuzzification) με την γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού από εργαλείο fuzzy membership του ArcMap 10.

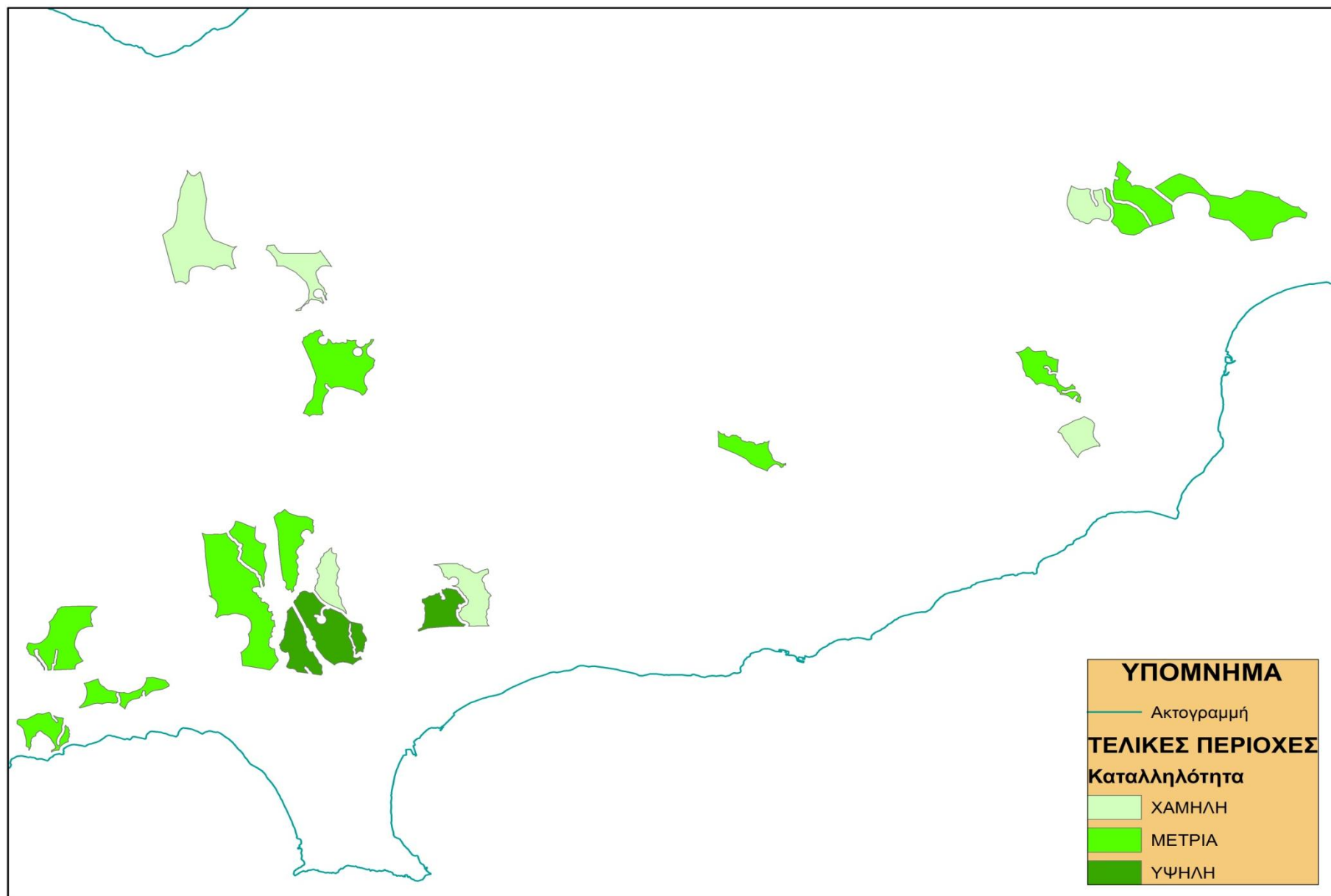
Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των πιο πάνω διαδικασιών και για να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα για το ποιες από αυτές τις 20 περιοχές υπερτερούν έναντι των άλλων στην χωροθέτηση αιολικών πάρκων, δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες καταλληλότητας : χαμηλή, μέτρια, υψηλή, όπως αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 4.27. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει την κατάταξη των 20 περιοχών βάση του τύπου καταλληλότητας τους για κάθε διαδικασία. Αντίστοιχα, στους χάρτες 4.33, 4.34 και 4.35 απεικονίζεται η τελική καταλληλότητα για κάθε μια από τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, με αποχρώσεις πράσινου χρώματος με το σκούρο πράσινο να αντιστοιχεί στην υψηλότερη καταλληλότητα.

Α/Α	ΙΣΑ ΒΑΡΗ (EQUAL)			ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΣΗ (ΑΗΡ)			ΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ (FUZZY)				
	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΑΘΜΟΣ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ		
1	6	413	ΥΨΗΛΗ	9	43	ΥΨΗΛΗ	6	0.71	ΥΨΗΛΗ		
2	8	412		6	42		17	0.7			
3	9	431		8	41		9	0.69			
4	12	311		14	33	ΜΕΤΡΙΑ	5	0.67			
5	5	43		17			8	0.65			
6	17	42		19			4	0.64			
7	19	41		5	32		19	0.6			
8	4	41		7			1	0.58			
9	14	33		13			14	0.56			
10	11	32	ΜΕΤΡΙΑ	16	7		0.55	ΜΕΤΡΙΑ			
11	15			20	18		0.54				
12	18			1	11		0.52				
13	10	31		23	ΧΑΜΗΛΗ	4	12		15	0.51	
14	13					12	12		20	0.49	
15	16					11	16		16	0.48	
16	20	15		18		10	0.46				
17	1	31		22		2	10		3	0.29	ΧΑΜΗΛΗ
18	7										
19	2	22	ΧΑΜΗΛΗ	10		22	3	0.29	ΧΑΜΗΛΗ		
20	3	21								3	21

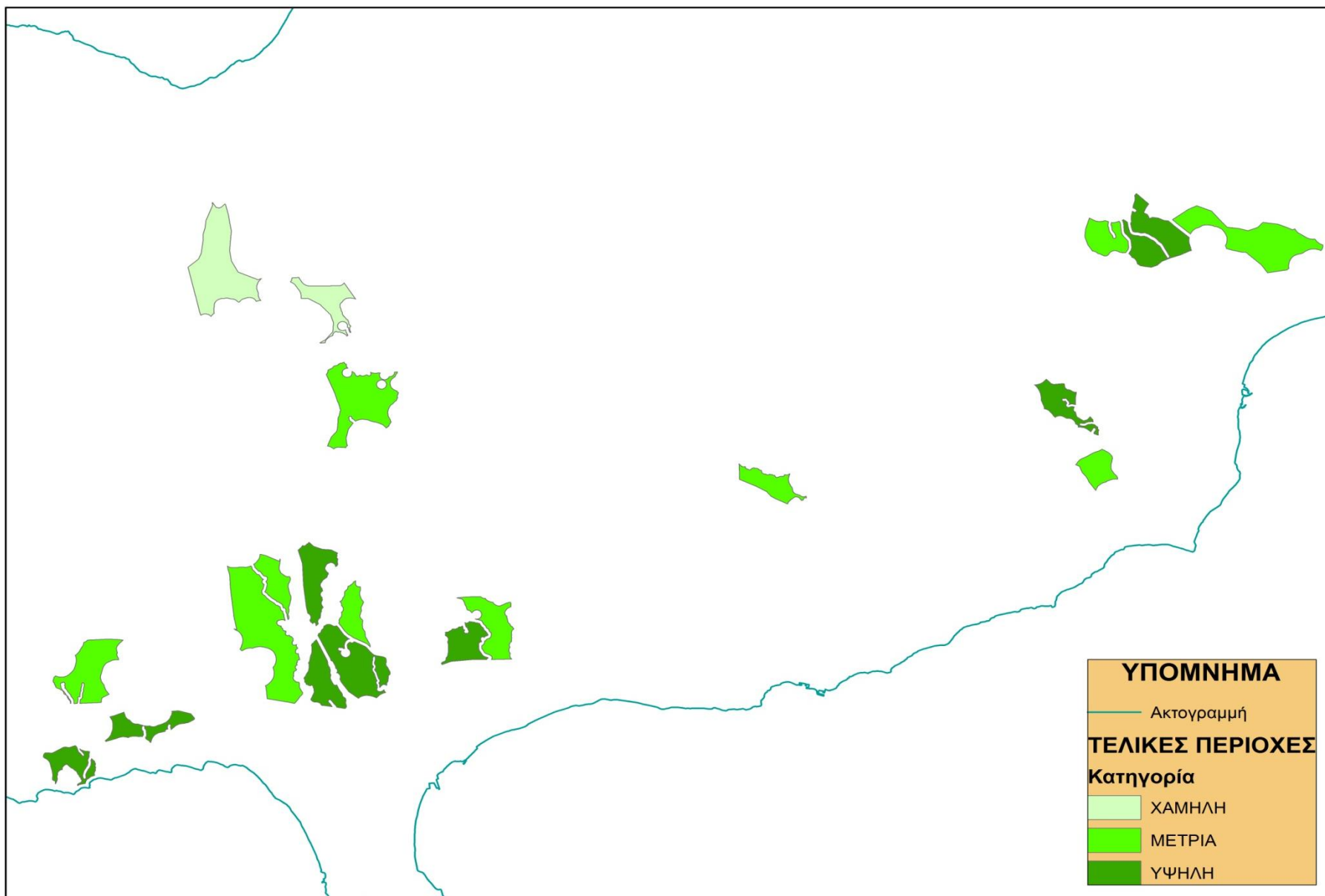
Πίνακας 4.27: Τελική κατάταξη και χαρακτηρισμός καταλληλότητας προτεινόμενων περιοχών για τις τρεις διαδικασίες



Χάρτης 4.33: Καταλληλότητα περιοχών με ίση επιρροή των δυναμικών κριτηρίων κατά την επικάλυψη



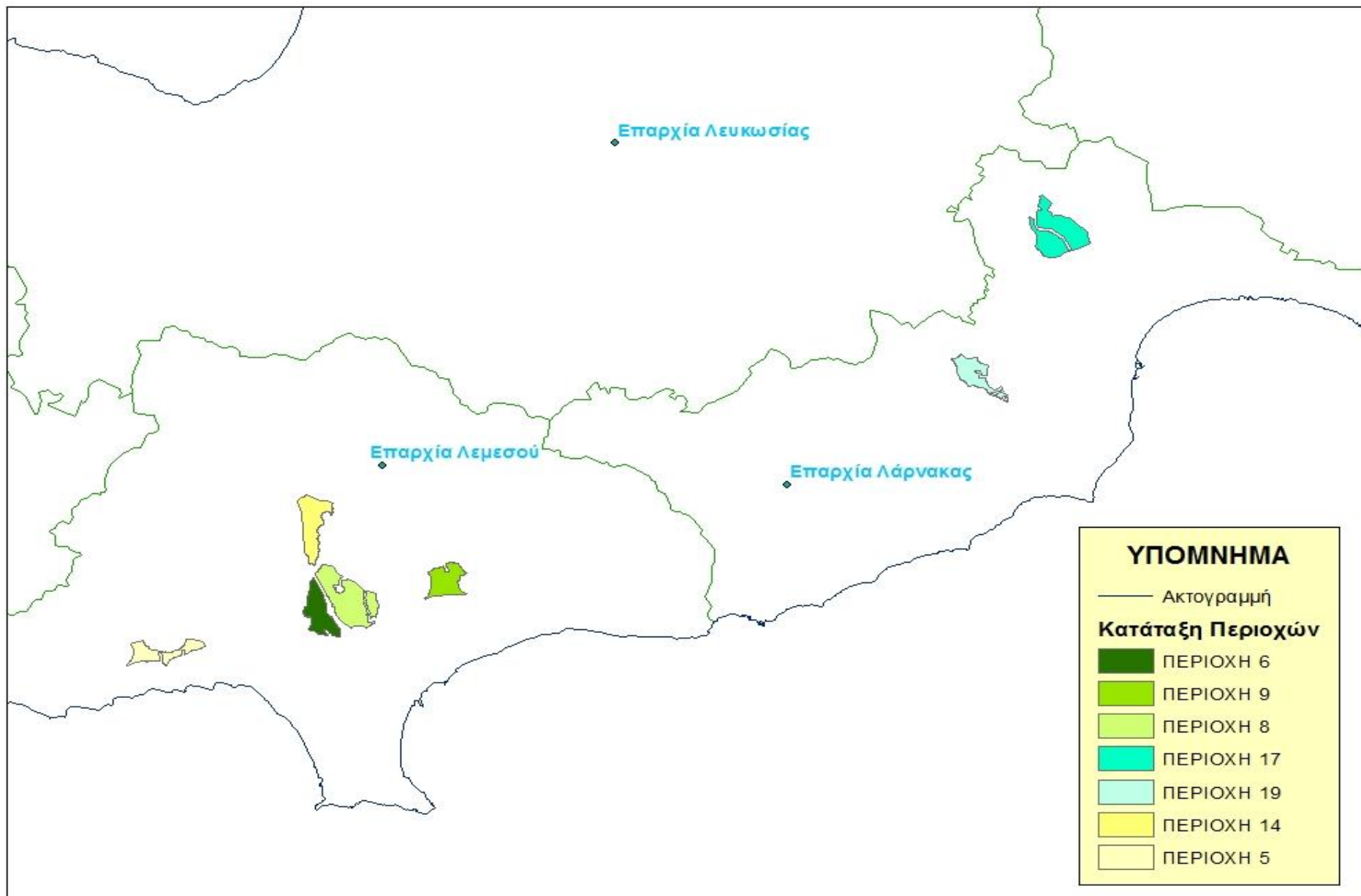
Χάρτης 4.34: Καταλληλότητα περιοχών με βάση στα δυναμικά κριτήρια όπως αυτά καθορίστηκαν από την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης



Χάρτης 4.35: Καταλληλότητα περιοχών με την μέθοδο της ασαφούς λογικής

Ο χάρτης 4.33 απεικονίζει την καταλληλότητα των περιοχών όπως αυτή χαρακτηρίστηκε μέσω της διαδικασίας της επικάλυψης (weighted overlay) με τα δυναμικά κριτήρια να έχουν ίση επιρροή στην τελική κατάταξη. Σύμφωνα με τον χάρτη 4.33, 9 περιοχές χαρακτηρίζονται ως υψηλής καταλληλότητας (6,8,9,12,5,17,19,4,14), 9 ως μέτριας (11,15,18,10,13,16,20,1,7) και 2 ως χαμηλής (2 και 3). Ο χάρτης 4.34 εμφανίζει τις περιοχές με την αντίστοιχη βαθμολογία καταλληλότητας όπως αυτή προέκυψε από την επικάλυψη των τεσσάρων δυναμικών κριτηρίων με βάρη που ορίστηκαν μέσω της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης (AHP). Στον χάρτη αυτό 3 περιοχές κατατάσσονται ως υψηλής καταλληλότητας (9, 6, 8), 11 περιοχές ως μέτριας (14,17,1,9,5,7,13,16,20,1,4,12) και έξι ως χαμηλής (11,15,18,2,10,3). Ο χάρτης 4.35 εμφανίζει του βαθμούς καταλληλότητας των περιοχών όπως αυτή ορίστηκαν μέσω της ασαφούς λογικής. Ως υψηλής καταλληλότητας χαρακτηρίζονται 10 περιοχές (6,17,9,5,8,4,19,1,14,7), ως μέτριας οκτώ (18,11,13,15,12,20,16,10) και ως χαμηλής εμφανίζονται ξανά οι περιοχές 2 και 3.

Από την σύγκριση του πίνακα 4.27 και των χαρτών 4.33, 4.34, 4.35 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, οι τρεις καταλληλότερες περιοχές για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου είναι οι περιοχές 6, 8 και 9 οι οποίες και στις τρεις διαδικασίες χαρακτηρίζονται ως υψηλής καταλληλότητας με διαφορετική όμως σειρά. Για τον λόγο ότι η περιοχή 6 εμφανίζεται στην πρώτη θέση του πίνακα για τις 2 από τις 3 διαδικασίες θεωρείται ως η βέλτιστη για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου στην Κύπρο, ενώ ακολουθούν οι περιοχές 9 και 8, αφού η περιοχή 9, επίσης εμφανίζεται σε υψηλότερη θέση από την 8, στις 2 από τις 3 διαδικασίες. Μετά από αυτές τις 3 περιοχές ακολουθούν οι περιοχές 17, 19 και 14 οι οποίες χαρακτηρίζονται ως υψηλής καταλληλότητας στις 2 από τις τρεις διαδικασίες (ίσα βάρη, ασάφεια), ενώ με την διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης εμφανίζονται ως μέτριας καταλληλότητας μεν, αλλά τοποθετούνται στην ψηλότερη βαθμολογία αυτής της κατηγορία με τύπο 33. Η περιοχή 17 υπερτερεί έναντι των άλλων δυο περιοχών με την λογική της ασάφειας και της σταθμισμένης επικάλυψης με ίσα βάρη, έτσι κατατάσσεται στην τέταρτη θέση, ενώ ακολουθούν οι περιοχές 19 και 14 στην πέμπτη και έκτη θέση αντίστοιχα. Στην επόμενη θέση κατατάσσεται η περιοχή 5 αφού και πάλι στις δύο από τις τρεις διαδικασίες εμφανίζεται ως περιοχή υψηλής καταλληλότητας ενώ με την διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης ως μέτριας καταλληλότητας με τύπο 32. Οι υπόλοιπες περιοχές είναι δύσκολο να ταξινομηθούν με απόλυτη σειρά λόγω του ότι διαφέρει η κατάταξη τους και στις τρεις διαδικασίες. Όμως είναι ξεκάθαρο ότι από τις 20 προτεινόμενες στις τελευταίες δύο θέσεις βρίσκονται οι περιοχές 2 και 3 αφού και στις τρεις διαδικασίες εμφανίζονται ως περιοχές χαμηλής καταλληλότητας. Ο χάρτης 4.36 παρουσιάζει τις επτά προτιμότερες περιοχές που μπορούν να τεθούν προς μελέτη για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου στην Κύπρο.



Χάρτης 4.36: Κατάταξη των βέλτιστων προτεινόμενων περιοχών

Όπως παρουσιάζεται στον παραπάνω χάρτη οι καλύτερες περιοχές προς χωροθέτηση αιολικού πάρκου παρουσιάζονται στις επαρχίες Λεμεσού και Λάρνακας, όπως ήταν αναμενόμενο, για τον λόγο ότι σε αυτές παρουσιάζεται υψηλότερο αιολικό δυναμικό, ενώ βρίσκονται πολύ κοντά στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Παρά το σχετικά χαμηλό αιολικό δυναμικό που χαρακτηρίζει την Κύπρο, αφού σπάνια παρουσιάζονται άνεμοι πολύ υψηλής έντασης, η παρούσα διπλωματική εργασία ανέδειξε, αρκετές περιοχές στις οποίες μπορεί να χωροθετηθεί ένα αιολικό πάρκο και να είναι βιώσιμο, βοηθώντας στην εξομάλυνση του ενεργειακού προβλήματος που ταλανίζει το νησί. Οι ταχύτητες των ανέμων δεν ξεπερνούν συνήθως τα 7m/s στην Κύπρο, όμως για να είναι βιώσιμο ένα αιολικό πάρκο αρκούν άνεμοι της τάξεως των 4m/s, κριτήριο που πληρούν και οι 20 προτεινόμενες περιοχές. Επιπρόσθετα το πολύ καλό οδικό δίκτυο που διαθέτει η Κύπρος, αφού εξυπηρετεί σε πολύ μεγάλο βαθμό ακόμα και τους πιο απομακρυσμένους οικισμούς, δεν αποτελεί πρόβλημα για την χωροθέτηση, καθώς δεν θα χρειάζονται να δαπανηθούν επιπρόσθετα ποσά για την δημιουργία νέων δρόμων. Ταυτόχρονα, το υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτροδότησης είναι διευρυμένο σε όλη την έκταση της Κύπρου, έτσι το νέο αιολικό πάρκο που θα χωροθετηθεί, θα μπορεί να συνδεθεί κατευθείαν με το δίκτυο, χωρίς να απαιτείται η κατασκευή νέων υποσταθμών. Τέλος το σχετικά ομαλό ανάγλυφο της περιοχής, ευνοεί την κατασκευή αιολικών πάρκων, μειώνοντας σημαντικά το κόστος κατασκευής τους. Οι περιοχές που προτάθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία συμπεριλαμβάνουν και κατατάσσουν όλα αυτά τα κριτήρια, ενώ βρίσκονται εκτός προστατευόμενων ή κατοικημένων περιοχών καθώς και μακριά από τόπους πολιτιστικής κληρονομιάς. Συμπερασματικά, οι προτεινόμενες περιοχές μπορούν να υποστηρίξουν στον μέγιστο δυνατό βαθμό μια αιολική εγκατάσταση, ικανοποιώντας μια σειρά οικονομοτεχνικών, καθώς και περιβαλλοντικών κριτηρίων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά

Σημαντικό ζήτημα για την προώθηση των ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα της αιολικής ενέργειας, θεωρείται η χωροθέτηση των έργων τους. Όπως αποδείχτηκε, αυτή πρέπει να αποτελεί προϊόν ευρύτερου σχεδιασμού, έτσι ώστε να δημιουργούνται βιώσιμες εγκαταστάσεις ενταγμένες αρμονικά στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, με ταυτόχρονη ανταπόκριση στους στόχους των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών. Μέχρι σήμερα, η χωροθέτηση των αιολικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζεται στο πλαίσιο της γενικότερης αδειοδοτικής διαδικασίας τους, γεγονός που οδηγεί στην απρογραμμάτιστη και στην ανεξέλεγκτη διασπορά των εγκαταστάσεων. Η αιολική ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει καταλυτικό ρόλο στην εξομάλυνση του σοβαρού ενεργειακού προβλήματος τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε τοπικό, έτσι η προώθηση και η ανάδειξη των κατάλληλων περιοχών για χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων κρίνεται επιτακτική.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επιχειρήθηκε η ανάδειξη, κατάλληλων περιοχών προς χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Κύπρο, με βάση λειτουργικά, οικονομικά, τεχνικά, πολιτιστικά, περιβαλλοντικά και οικιστικά κριτήρια λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τίθενται από το νομοθετικό πλαίσιο (Νόμος Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας, Εντολή 2/ Άρθρο 6/ 2006), σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Αρχικά, επιλέχθηκαν οι προτεινόμενες θέσεις βάση των παραπάνω κριτηρίων, δημιουργώντας τις αντίστοιχες ζώνες αποκλεισμού για τις περιοχές που είναι ακατάλληλες, και τις ζώνες επιρροής για τις περιοχές που επιβάλλεται να εντάσσονται στο πλαίσιο της χωροθέτησης. Ακολούθως έγινε η αξιολόγηση της καταλληλότητας των επιλεχθέντων περιοχών λαμβάνοντας υπόψη τέσσερα δυναμικά κριτήρια (το αιολικό δυναμικό, τις κλίσεις του εδάφους, προσβασιμότητα στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο ηλεκτροδότησης), που εξυπηρετούν κυρίως λειτουργικούς και οικονομικούς σκοπούς. Στα δυναμικά κριτήρια επιμερίστηκαν βάρη ανάλογα με την σημαντικότητα που έχουν στην τελική επιλογή, τα οποία εξήχθησαν βάση της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης. Ταυτόχρονα η αξιολόγηση των προτεινόμενων περιοχών εξετάστηκε και με την λογική της ασάφειας. Η σύγκριση των επιμέρους αποτελεσμάτων για κάθε διαδικασία οδήγησε στην τελική αξιολόγηση της καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών.

Γενικά η μεθοδολογία επιτυγχάνει:

- Να αναδείξει τις περιοχές που είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Κύπρο, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από κριτήρια τα οποία εξυπηρετούν όχι μόνο οικονομοτεχνικούς σκοπούς αλλά και περιβαλλοντικούς. Επίσης απορρίπτει τις περιοχές εκείνες που είναι ακατάλληλες για εγκατάσταση αιολικών πάρκων όπως ορίζεται από την νομοθεσία.
- Να αξιολογήσει την καταλληλότητα των προτεινόμενων περιοχών, εξετάζοντας τα βασικότερα κριτήρια που επηρεάζουν την χωροθέτηση από οικονομικής και

λειτουργικής άποψης, με την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Γίνεται καθορισμός βαρών για κάθε κριτήριο, ανάλογα με την σημαντικότητα του, και με την σταθμισμένη επικάλυψη των επιμέρους επιπέδων (weighted overlay) επιτυγχάνεται η τελική αξιολόγηση της καταλληλότητας.

- Να εφαρμόσει και να συγκρίνει διαφορετικές προσεγγίσεις αξιολόγησης, όπως τον καθορισμό των βαρών στα δυναμικά κριτήρια με την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP), αλλά και να αξιολογήσει την καταλληλότητα των προτεινόμενων περιοχών με την λογική της ασάφειας (fuzzy logic), καταλήγοντας έτσι σε ένα πιο ολοκληρωμένο και σταθμισμένο αποτέλεσμα.

5.2 Προβλήματα και Προτάσεις προς διερεύνηση

Η πληρότητα των κριτηρίων που ενσωματώνονται στην ανάλυση ενός προβλήματος με πολλές αλληλοεπηρεαζόμενες παραμέτρους, επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την απόδοσή του. Επομένως, για να αποτελέσει αυτή η εργασία βάση για περαιτέρω ανάλυση, προτείνεται ο εμπλουτισμός των κριτηρίων, τόσο με αυτά που δεν χρησιμοποιήθηκαν λόγω αδυναμίας στην παρούσα μελέτη όσο και με πρόσθετα τεχνολογικά, ενδεχομένως σε μια μικρότερη κλίμακα, πραγματοποιώντας μια σημειακή χωροθέτηση αιολικών σταθμών. Αναλυτικότερα κριτήρια που αφορούν τις τηλεπικοινωνίες, τις διάσπαρτες τουριστικές μονάδες του νησιού τις μεμονωμένες κατοικίες, καθώς και αισθητικά κριτήρια όπως ο θόρυβος και οπτική όχληση επίσης δεν λήφθηκαν υπόψη. Επιπρόσθετα για την μεγαλύτερη τεχνολογική βιωσιμότητα των έργων προτείνεται ένας πιο ολοκληρωμένος και σαφής καθορισμός των ανεμολογικών δεδομένων (χρονική μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου, μεταβολή της έντασής του με το ύψος, ύπαρξη ακραίων καιρικών συνθηκών), ενώ δεν μελετήθηκαν τα τεχνικά στοιχεία και το κόστος των ανεμογεννητριών. Τυχόν εμπόδια και ανώμαλες εξάρσεις του εδάφους ήταν αδύνατο να εντοπιστούν μέσω της μεθοδολογίας για αυτό και δεν λαμβάνονται υπόψη.

Έτσι, από τις καταρχήν προτεινόμενες περιοχές της παρούσας εργασίας, με χρήση των προαναφερθέντων κριτηρίων και με επιτόπιο έλεγχο, είναι δυνατή η σημειακή χωροθέτηση αιολικών πάρκων όχι μόνο χωροταξικά και περιβαλλοντικά αποδεκτών, αλλά και τεχνολογικά βιώσιμων και οικονομικά συμφερόντων. Ταυτόχρονα η μελέτη δεν αξιολογεί την καταλληλότητα της σημειακής χωροθέτησης των ανεμογεννητριών μέσα σε κάθε προτεινόμενη περιοχή. Απλά αξιολογεί το σύνολο της έκτασης κάθε περιοχής εφόσον πληροί το ελάχιστο κριτήριο που τέθηκε. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα να μελετηθούν και να αξιολογηθούν συγκεκριμένες θέσεις μέσα σε κάθε περιοχή (σημειακά), υποδεικνύοντας την ακριβή θέση κάθε ανεμογεννήτριας έτσι ώστε να αποδίδει στον μέγιστο δυνατό βαθμό αλλά ταυτόχρονα να αποτελεί και την πιο συμφέρουσα οικονομικά λύση.

Άλλη μια παράμετρος η οποία μπορεί να εξεταστεί είναι και οι τύποι του εδάφους. Η παρούσα μελέτη δεν συγκρίνει και αξιολογεί τις διαφορετικούς τύπους εδάφους, απλά αποκλείει τις περιοχές που είναι ακατάλληλες για χωροθέτηση αιολικού πάρκου εξυπηρετώντας κυρίως περιβαλλοντικά κριτήρια (προστατευόμενες περιοχές – εθνικά πάρκα και δάση). Παρόλα αυτά οι κατάλληλοι τύποι εδάφους είναι ένα κριτήριο το οποίο πολύ δύσκολα μπορεί να εκτιμηθεί,

κυρίως λόγω της ανικανότητας ακριβούς καθορισμού τους, αλλά και της ύπαρξης διαφορετικών συστημάτων ταξινόμησης τους. Για παράδειγμα από τους τύπους του εδάφους που μπορούν να υποστηρίξουν την χωροθέτηση αιολικών πάρκων, είναι προτιμότερες οι περιοχές που δεν έχουν ανεπτυγμένο κάποιο είδος καλλιέργειας ή δεν χρησιμοποιούνται για βόσκηση, από άλλους τύπους αγροτικών περιοχών που η τοποθέτηση ανεμογεννητριών θα επηρέαζε αρνητικά την παραγωγή. Επίσης, είναι κοινά αποδεκτό από την βιβλιογραφία (Janke, 2010) ότι περιοχές που καλύπτονται από είδη χαμηλής βλάστησης όπως χόρτα και θάμνους, είναι προτιμότερες από περιοχές με ψηλότερη βλάστηση, όπως δάση, κυρίως για οικονομικούς λόγους, που βασίζονται στον καθαρισμό της περιοχής για να γίνει η χωροθέτηση αλλά και ότι η υψηλότερη βλάστηση μπορεί να μειώνει την ταχύτητα των ανέμων στην περιοχή. Θεωρητικά ο καταλληλότερος τύπος εδάφους είναι το γυμνό έδαφος, το οποίο όμως πολλές φορές αποτελείται από πετρώδη στερεά και μεγάλους βράχους, συνθήκες που δεν είναι ευνοϊκές για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών. Για τους λόγους αυτούς το κριτήριο αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως δυναμικό κριτήριο και εκτός από τον βαθμό καταλληλότητας που θα αντιστοιχούσε σε κάθε τύπο εδάφους στην κλίμακα αξιολόγησης, θα μπορούσε να καθοριστεί βάρος σε αυτό με την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης, συγκρινόμενο με τα άλλα δυναμικά κριτήρια που εξετάζει η παρούσα μελέτη.

Τέλος, μια άλλη προοπτική προς εξέταση μπορεί να είναι η τροφοδότηση ενός οικισμού με ηλεκτρική ενέργεια από το αιολικό πάρκο που πρόκειται να χωροθετηθεί. Η παρούσα διπλωματική δεν εξέτασε αυτή την προοπτική, για τον λόγο ότι τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα εντάσσονται κατευθείαν στο τοπικό δίκτυο ηλεκτροδότησης και δεν λειτουργούν αυτόνομα. Έτσι εάν το μελλοντικό αιολικό πάρκο έχει την δυνατότητα να λειτουργεί αυτόνομα, μπορεί να εξεταστεί η χωροθέτηση του κοντά σε έναν οικισμό, τον οποίο να τροφοδοτεί είτε εξολοκλήρου είτε ένα ποσοστό των συνολικών ενεργειακών του αναγκών. Σε αυτή την περίπτωση μεγάλη βαρύτητα θα πρέπει να έχουν οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες του οικισμού καθώς και απόσταση της προτεινόμενης περιοχής από αυτόν, ώστε να μην αυξάνεται το κόστος για μεγάλες γραμμές μεταφοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1) Ανδρονίκου Ε. (2012). « *Ανάπτυξη των ΑΠΕ και επιπτώσεις στην απασχόληση. Η περίπτωση της Κύπρου*», Αθήνα: Ε.Μ.Π
- 2) Αραβώσης Κ. - Κούγκολος Α. (2003). «*Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης*», Σειρά ερευνητικών εργασιών, 9
- 3) Γεωργόπουλος Α. (1996). «*Γη ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης*», Αθήνα: Gutenberg
- 4) Γουλιάμου Α. (2008). «*Το πλαίσιο των οικοπεριφερειών και η συμβολή του στην εύρεση κατάλληλης περιοχής για χωροθέτηση αιολικού πάρκου*», Αθήνα: Ε.Μ.Π
- 5) Καβουρίδης Β. – Παυλουδάκη Φ. (2009). «*Ο ρόλος των στερεών καυσίμων στην ευρωπαϊκή και παγκόσμια αγορά ενέργεια τον 21^ο αιώνα*»
- 6) Καλδέλης Ι. (1999). «*Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*», Αθήνα: Εκδόσεις ΑΘ. Σταμούλης
- 7) Κουτσόπουλος Κ. (2005α). « *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*», Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- 8) Κουτσόπουλος Κ. (2005β). «*Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS 9x με Απλά Λόγια*», Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- 9) Κουτσόπουλος Κ. - Ανδρουλακάκης Ν. (2012). «*Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών θεωρία και πράξη με χρήση του ArcGIS 10*», Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- 10) Κωνσταντέλου Π. (2009). «*Χωροθέτηση αιολικών σταθμών στον νομό Λακωνίας, Προβλήματα – Προοπτικές*», Αθήνα: ΕΜΠ
- 11) Μανιάτης Γ. (1996). «*Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης – Κτηματολογίου*», Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη
- 12) Μπεργελές Γ. (2005). «*Ανεμοκινητήρες*», Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών
- 13) Μπινόπουλος Ε. - Χαβιαρόπουλος Π. (2010). «*Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων : "Μύθος και πραγματικότητα"*», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- 14) Νάκου Ε. (2007). « *Χωροθέτηση αιολικού πάρκου στο νομό Φωκίδας με λογική της ασάφειας και Γ.Σ.Π*», Αθήνα: ΕΜΠ
- 15) Σαρρή Ε. (2008). «*Χωροθέτηση αιολικών πάρκων στο νομό Λακωνίας με χρήση Γ.Σ.Π*», Αθήνα: Ε.Μ.Π

Ξένη Βιβλιογραφία

- 1) Baban, S.- Parry, T. (2001). «*Developing and applying a GIS-assisted approach for locating wind farms in the UK*», Renewable Energy
- 2) Burrough P. - Mc Donnel R. (1998). «*Principles of Geographical Information Systems*», New York : Oxford University Press
- 3) Forman E. - Selly M.A. (2001). «*Decision by Objectives: How to convince others that you are right*», World Scientific Publishing
- 4) Hadjibiros K., A. Katsiri, A. Andreadakis, D. Koutsoyiannis, A. Stamou, A. Christofides, A. Efstratiadis, and G. F. Sargentis. (2005). «*Multi-criteria reservoir water management*», Rhodes, Department of Environmental Studies, University of the Aegean
- 5) Ibrahim, H., Ghandour, M., Dimitrova, M. I., & Perron, J. (2011). «*Integration of wind energy into electricity systems*», Technical challenges and actual solutions, Energy Procedia
- 6) Jeffry D. Harrison (2012). «*Onshore wind power systems: A GIS – based, Tool for preliminary site – suitability analysis*», Faculty of the USC graduate school, University of Southern California
- 7) Saaty, T.L. (1977). «*A scaling method for priorities in hierarchical structures*», Journal of Mathematical Psychology 15
- 8) Saaty, T.L. (1990). «*How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*», European Journal of Operational Research
- 9) Taylor D. (1996). «*Wind Energy, Renewable Energy, Power for a sustainable future*» Oxford: Oxford University Press.
- 10) Tegou, L., Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. (2010). «*Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study*», Journal of Environmental Management
- 11) Triantaphyllou E. - Mann S.H. (1994). «*A computational evaluation of the original and revised analytic hierarchy process*», Computers and Industrial Engineering
- 12) Zadeh L. A. (1975). «*Fuzzy logic and approximate reasoning*», Journal Synthese, Springer Netherlands

Διαδικτυακές Αναφορές

- Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου,
<http://www.eac.com.cy>
- European Commission (2009), Eurostat, Statistics,
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- Fact Book Renewable Energy,
<http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/315842/data/0/3/RWE-Facts-Figures-December-2009-englisch-.pdf>
- Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου (2010). «Μικρές Ανεμογεννήτριες – Εφαρμογές στον οικιακό τομέα»,
<http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/Small%20Wind%20Turbines%20for%20households%20-%20CEA.pdf>
- Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου (2010). «Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας»,
<http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/Heat%20Pumps%20%20energy%20from%20the%20earth.pdf>
- Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου(2010), «Χρήσεις Βιομάζας Ξυλείας – Εφαρμογές στον οικιακό τομέα»,
<http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/biomass%20final.pdf>
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,
<http://www.cres.gr/kape/index.htm>
- Αρχή Λιμένων Κύπρου,
<http://www.cpa.gov.cy/CPA/page.php?pageID=46>
- Υπηρεσία Ενέργειας Κύπρου, Εκπαιδευτικό πρόγραμμα για την ενέργεια, ΑΠΕ, Ηλεκτρισμός,
<http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#>
- Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, Κλίμα, Κλιματολογικές πληροφορίες,
http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument
- Ο Τομέας της ενέργειας στην Κύπρο (2009), Σόλων Κασίνης, Διευθυντής Υπηρεσίας Ενέργειας,
<http://www.mcit.gov.cy>
- Οι ενεργειακές προκλήσεις της Κυπριακής Δημοκρατίας και οι προοπτικές, (2011), Σόλων Κασίνης,
[http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/F35CAD9F4226E424C225771B00546F25/\\$file/presentation_University%20of%20Nicosia_Oct.%202011.pdf](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/F35CAD9F4226E424C225771B00546F25/$file/presentation_University%20of%20Nicosia_Oct.%202011.pdf)

- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου,
<http://www.cera.org.cy>
- Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου,
http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument
- Σύνδεσμος αιολικής ενέργειας Κύπρου,
<http://cwea.org.cy/>
- Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, Υδάτινοι πόροι,
http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument
- Τμήμα Αρχαιοτήτων,
http://www.mcw.gov.cy/mcw/da/da.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument
- Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου, Γεωλογία της Κύπρου,
http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlIntroduction_gr/dmlIntroduction_gr?OpenDocument
- Τμήμα Δασών Κύπρου,
http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/DMLfaq_gr/DMLfaq_gr?OpenDocument&print
- Τμήμα Δημοσίων Έργων,
http://www.mcw.gov.cy/mcw/pwd/pwd.nsf/index_gr/index_gr?opendocument
- Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας Κύπρου,
http://www.moi.gov.cy/moi/dls/dls.nsf/dmlindex_gr/dmlindex_gr?OpenDocument
- Υπηρεσία Θήρας Κύπρου,
http://www.moi.gov.cy/moi/wildlife/wildlife_new.nsf/web04_gr/web04_gr?OpenDocument
- Υπουργείο Βιομηχανίας Εμπορίου και Τουρισμού, Κύπρος. Υπηρεσία ενέργειας,
<http://www.mcit.gov.cy>
- Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων Κύπρου, Υπηρεσία Περιβάλλοντος, « Δίκτυο Φύση2000»,
http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/index_gr/index_gr?opendocument
- Υπουργείο Εξωτερικών Κύπρου, Γενικές πληροφορίες,
<http://www.mfa.gov.cy>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ελλάδας. Ενέργεια και ΑΠΕ,
<http://www.ypeka.gr>
- Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency),

- <http://www.iea.org>
- Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Κύπρου,
<http://www.dsm.org.cy>
 - Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής Ελλάδος,
<http://www.ypeka.gr/>
 - Renewables – Global Status Report (2012),
http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012_low.pdf
 - <http://www.energypoint.gr>
 - <http://landwaterwind.blogspot.gr>
 - <http://www.climate.wwf.gr>
 - <http://kpe-kastor.kas.sch.gr>
 - ESRI, ArcGIS Resource Center, Σταθμισμένη επικάλυψη (weighted overlay),
http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Weighted_Overlay/009z000000rg000000/
 - ESRI, ArcGIS Resource Center, Λογική της Ασάφειας (fuzzy logic),
http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Applying_fuzzy_logic_to_overlay_rasters/009z000000rv000000/

Νομοθετικά στοιχεία

«Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας Νόμος, Εντολή 2/ Άρθρο 6/ 2006»
http://www.cera.org.cy/main/data/articles/entoli2a_09.pdf