



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων και χωροθετική
ανάλυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε περιβάλλον
GIS: Η περίπτωση του αιολικού πάρκου Ζακύνθου



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΙΩΡΓΟΣ Ν.ΦΩΤΗΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ ΧΡ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

Αρ. Μητρώου: 06109024

Αθήνα, Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων και χωροθετική
ανάλυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε περιβάλλον
GIS: Η περίπτωση του αιολικού πάρκου Ζακύνθου

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΙΩΡΓΟΣ Ν.ΦΩΤΗΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ ΧΡ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

Αρ. Μητρώου: 06109024

Αθήνα, Ιούλιος 2015



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY AND REGIONAL PLANNING

THESIS

Application of multi criteria decision making and spatial analysis to renewable energy development in GIS environment: The case of onshore wind farm in Zakynthos

SUPERVISOR

YORGOS N. PHOTIS, ASSOCIATE PROFESSOR NTUA

MILTADIS CH. GIANNAKOPOULOS

Registration Number: 06109024

Athens, July 2015

Copyright © Μιλτιάδης Γιαννακόπουλος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015 στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς την καθοδήγηση και το ενδιαφέρον του κ. Γεωργίου Φώτη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τον ευχαριστώ εκ βάθους για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα που με ενδιέφερε ιδιαίτερα καθώς και τη βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές και την αμέριστη προσφορά του σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου των οποίων η πίστη στις δυνατότητες μου και αμέριστη στήριξη αποτέλεσε αρωγό σε όλους τους στόχους μου. Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα διπλωματική εργασία στην αδελφή μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία αύξηση των παγκοσμίων ενεργειακών αναγκών τους τελευταίους δύο αιώνες, ως αποτέλεσμα της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, έχει οδηγήσει στην εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνέπεια αυτού αποτελούν πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων σημαντικότερο των οποίων είναι η κλιματική αλλαγή.

Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) αποτελεί το κλειδί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. αποτελεί ένα μείζον θέμα και για τον λόγο αυτό έχει δημιουργηθεί νομοθετικό πλαίσιο με σκοπό την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων, την προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος καθώς και την αποφυγή συγκρούσεων χρήσεων γης.

Αντικείμενο της παρούσα διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χωροθέτηση εγκατάστασης Α.Π.Ε. και συγκεκριμένα χερσαίου αιολικού πάρκου, στο νομό Ζακύνθου. Στόχος είναι η δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου με σκοπό την εύρεση και την αξιολόγηση των περιοχών χωροθέτησης. Αρχικά, με τη χρήση των εργαλείων των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Σ.Γ.Π.), πραγματοποιείται η εύρεση των υποψήφιων περιοχών χωροθέτησης με βάση τις δεσμεύσεις και τους περιορισμούς της νομοθεσίας. Στην συνέχεια, με την χρήση της πολυκριτηριακής μεθόδου Electre Tri, ιεραρχούνται οι περιοχές αυτές, ως προς τον βαθμό της καταλληλότητας τους, με βάση μια ομάδα κριτηρίων. Τα αποτελέσματα της εύρεσης και αξιολόγησης των περιοχών χωροθέτησης δίνονται σε μορφή χαρτών με σκοπό την οπτική απόδοση και εξήγηση τους.

Τα συμπεράσματα της παρούσας ανάλυσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για την ανάπτυξη χερσαίων αιολικών πάρκων στον νομό Ζακύνθου.

Λέξεις Κλειδιά: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου, Σ.Γ.Π., Πολυκριτηριακές μέθοδοι λήψεων αποφάσεων, Electre Tri

ABSTRACT

The rapid increase of the global energy requirements over the last two centuries, as a result of the global population growth, has led to the intensive use of fossil fuels for electricity generation. This has caused a number of environmental problems, the most important of which is the climate change.

The development of renewable energy sources (R.E.S.) is the key to tackling these problems. The siting of R.E.S. installations is a major issue and a legal framework has been established to ensure the most efficient use of energy resources, protection of natural and human environment and prevent land use conflicts.

The objective of the thesis is the siting of a R.E.S. facility, an onshore wind farm, in Zakynthos county. The purpose of the analysis is to develop a methodological framework to identify and evaluate the siting areas. Firstly, the identification of the candidate siting areas is taking place, with respect to the legislative constraints, using the tools provided by the geographic information systems (G.I.S.). Then, the multi-criteria method Electre Tri is applied in order to prioritize the candidate areas on the basis of multiple criteria. Finally the output of the analysis, i.e. identification and prioritization of the alternative sites, is presented in the form of maps aiming at maximizing the visual representation and explanation.

The conclusions of the present analysis could be used in the future for the development of onshore wind farms in Zakynthos county.

Key words: Wind farm siting, G.I.S., Multi-criteria decision making methods, Electre Tri

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT.....	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Σκοπός- Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	3
1.2. Μεθοδολογική Προσέγγιση.....	4
2. ΘΕΩΡΙΑ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	6
2.1. Περιβαλλοντικά Προβλήματα Ενεργειακού Χαρακτήρα.....	6
2.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	8
2.3. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	9
2.3.1. Ανά μορφή ενέργειας παγκοσμίως.....	9
2.3.2. Ανά μορφή ενέργειας στην Ελλάδα.....	10
2.4. Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρισμού.....	11
2.5. Αιολική Ενέργεια.....	14
2.5.1. Περιγραφή.....	14
2.5.2. Ανεμογεννήτριες.....	15
2.5.3. Αιολικά πάρκα.....	17
2.6. Νομοθετικό Πλαίσιο Αιολικών Πάρκων.....	18
2.6.1. Περιβαλλοντικά κριτήρια.....	20
2.6.2. Κριτήρια Υποδομής.....	21
2.6.3. Οικιστικά Κριτήρια.....	22
2.6.4. Παραγωγικά Κριτήρια.....	22
2.6.5. Πολιτιστικά κριτήρια.....	23
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	28
3.1. Γενικά.....	28
3.2. Δομές Δεδομένων.....	28
3.2.1. Ψηφιδωτή αναπαράσταση.....	28
3.2.2. Διανυσματική αναπαράσταση.....	28
3.3. Διαδικασίες G.I.S.....	29

3.4.	Προγράμματα G.I.S.....	30
3.4.1.	ArcGIS.....	31
3.4.2.	QGIS	31
4.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	34
4.1.	Κατηγορίες Μεθόδων Πολυκριτηριακών Λήψεων Αποφάσεων.....	34
4.2.	Πολυκριτηριακές Λήψεις Αποφάσεων και Ενεργειακός Σχεδιασμός	36
4.3.	Πολυκριτηριακή Μέθοδος της Παρούσας Εφαρμογής	39
5.	ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΖΑΚΥΝΘΟΥ .	44
5.1.	Περιγραφή Περιοχής Μελέτης	44
5.1.1.	Υποδομές-Δίκτυα.....	45
5.1.2.	Χρήσεις γης	47
5.1.3.	Προστατευόμενες περιοχές.....	48
5.1.4.	Πολιτιστικά στοιχεία	50
5.1.5.	Ενεργειακά χαρακτηριστικά νομού Ζακύνθου	50
5.2.	Μεθοδολογία	51
5.3.	Θεματικά Επίπεδα.....	52
5.4.	Κατάλληλες Περιοχές για Χωροθέτηση.....	56
5.4.1.	Κριτήρια για χωροθέτηση.....	56
5.4.2.	Περιγραφή μοντέλου.....	57
5.4.3.	Θεματικά επίπεδα μοντέλου.....	58
5.4.4.	Διαδικασία πράξεων επικάλυψης.....	58
5.4.5.	Περιοχές και ζώνες αποκλεισμού	60
5.4.6.	Τελικές περιοχές χωροθέτησης.....	65
5.5.	Ιεράρχηση Περιοχών Χωροθέτησης Αιολικού Πάρκου.....	67
5.5.1.	Κριτήρια αξιολόγησης περιοχών χωροθέτησης.....	67
5.5.2.	Εφαρμογή μεθόδου Electre Tri	68
5.5.3.	Ιεραρχημένες περιοχές χωροθέτησης.....	70
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	73
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	I
Παραρτήματα	VII
Παράρτημα Α Ελληνικό σύστημα ηλεκτρισμού	VIII
Παράρτημα Β Περιοχές αιολικής προτεραιότητας	IX
Παράρτημα C Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία νομού Ζακύνθου.....	XI

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	7
Εικόνα 2: Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης CO ₂	7
Εικόνα 3: Παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρισμού (TWh), 1990-2012.....	9
Εικόνα 4: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας, παγκοσμίως, 1990 και 2013.....	10
Εικόνα 5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας στην Ελλάδα, 1990 και 2013.....	11
Εικόνα 6: Ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο.....	13
Εικόνα 7: Παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη αιολική ισχύς, 1996-2012.....	14
Εικόνα 8: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (MW) ανά έτος στην Ελλάδα, 1998-2013.....	15
Εικόνα 9: Συστατικά μέρη ανεμογεννήτριας.....	16
Εικόνα 10: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα.....	17
Εικόνα 11: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα.....	17
Εικόνα 12: Περιοχές αιολικής προτεραιότητας.....	19
Εικόνα 13: Σχηματική μορφή ενός Σ.Γ.Π.	30
Εικόνα 14: Περιβάλλον ArcGIS.....	31
Εικόνα 15: Περιβάλλον QGIS.....	32
Εικόνα 16 : Στάδια της μεθόδου Electre Tri.....	40
Εικόνα 17: Κατηγορίες και πρότυπα αναφοράς.....	40
Εικόνα 18: Θέση νομού Ζακύνθου στην Ελλάδα.....	45
Εικόνα 19: Χάρτης νομού Ζακύνθου.....	45
Εικόνα 20: Κυριότεροι οδικοί άξονες νομού Ζακύνθου.....	46
Εικόνα 21: Σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Ζακύνθου.....	47
Εικόνα 22: Διαγραμματική απεικόνιση μεθοδολογίας.....	51
Εικόνα 23: Περιοχή μελέτης.....	53
Εικόνα 24: Οικισμοί.....	54
Εικόνα 25: Αρχαιολογικοί χώροι-μνημεία.....	54

Εικόνα 26: Ακτές κολύμβησης του προγράμματος του Υ.Π.Ε.Κ.Α	54
Εικόνα 27: Εθνικό πάρκο	54
Εικόνα 28: Περιοχές Natura 2000.....	55
Εικόνα 29: Κάλυψη γης Corine 2000	55
Εικόνα 30: Οδικό δίκτυο	55
Εικόνα 31: Δίκτυο ηλεκτροδότησης	55
Εικόνα 32: Περιγραφή μοντέλου χωροθέτησης αιολικού πάρκου	57
Εικόνα 33: Μοντέλο χωροθέτησης.....	59
Εικόνα 34: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα κριτήρια υποδομής	61
Εικόνα 35: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα οικιστικά κριτήρια	62
Εικόνα 36: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα παραγωγικά κριτήρια.....	63
Εικόνα 37: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα πολιτιστικά κριτήρια.....	64
Εικόνα 38: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα περιβαλλοντικά κριτήρια	65
Εικόνα 39: Τελικά πολύγωνα χωροθέτησης αιολικού πάρκου	66
Εικόνα 40: Ιεραρχημένες περιοχές χωροθέτησης	70
Εικόνα 41: Τελικά πολύγωνα χωροθέτησης αιολικού πάρκου	75
Εικόνα 42: Ιεραρχημένες περιοχές χωροθέτησης	76

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.....	21
Πίνακας 2: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από δίκτυα τεχνικής υποδομής	21
Πίνακας 3: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από οικιστικές δραστηριότητες	22
Πίνακας 4: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων.....	23
Πίνακας 5: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς.....	24
Πίνακας 6: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από σημεία ενδιαφέροντος.....	25
Πίνακας 7: Ομόκεντρες ζώνες σημείων ενδιαφέροντος	26
Πίνακας 8: Σύγκριση μεταξύ raster και vector αναπαράστασης.....	29
Πίνακας 9: Πολυκριτηριακές μέθοδοι στον ενεργειακό σχεδιασμό.....	38
Πίνακας 10: Καταφύγια άγριας ζωής νομού Ζακύνθου	48
Πίνακας 11: Περιοχή Προστασίας της Φύσης νομού Ζακύνθου.....	49
Πίνακας 12: Περιοχή απόλυτης προστασίας της φύσης νομού Ζακύνθου.....	49
Πίνακας 13: Ειδικές ζώνες διατήρησης νομού Ζακύνθου.....	50
Πίνακας 14: Ζώνες ειδικής προστασίας νομού Ζακύνθου.....	50
Πίνακας 15: Θεματικά επίπεδα μεθοδολογίας.....	52
Πίνακας 16: Περιοχές αποκλεισμού και ζώνες επιρροής παραγωγικών κριτηρίων	57
Πίνακας 17: Θεματικά επίπεδα μοντέλου	58
Πίνακας 18: Περιοχές και ζώνες αποκλεισμού	60
Πίνακας 19: Βάρη κριτηρίων.....	69
Πίνακας 20: Κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης	69
Πίνακας 21: Παράμετροι της μεθόδου Electre Tri.....	69
Πίνακας 22: Αριθμός, συνολικό εμβαδόν και ποσοστό κάλυψης πολυγώνων χωροθέτησης για κάθε βαθμό καταλληλότητας	71
Πίνακας 23: Περιοχές και ζώνες αποκλεισμού	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σύγχρονη εποχή, η πλειονότητα των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων είναι άμεσα συνυφασμένη με την κατανάλωση ενέργειας και ιδιαίτερα της ηλεκτρικής. Η εντατική, ωστόσο, χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει σε πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και η ρύπανση του περιβάλλοντος σύμφωνα με τις εκθέσεις αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (*Intergovernmental Panel on Climate Change – I.P.C.C., 2015*).

Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή ηλεκτρισμού από υδρογονάνθρακες αποτελεί την κυριότερη αιτία των προβλημάτων αυτών.

Θεωρείται αναγκαίο, λοιπόν, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες, πιο φιλικές προς το περιβάλλον, πηγές. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια αύξηση στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.), στο σύνολο σχεδόν των χωρών (*International Energy Association, 2014*).

Οι Α.Π.Ε. αποτελούν μια οικολογική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν λάβει σημαντική στήριξη και προώθηση τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια, αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν σημαντικό αριθμό χωρών (*Bloomberg New Energy Finance, 2014*).

Το αυξανόμενο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νομοθετικού πλαισίου με σκοπό τη επιβολή δεσμεύσεων και περιορισμών στην χωροθέτηση εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. (*Εθνικό Τυπογραφείο*). Το νομοθετικό αυτό πλαίσιο θέτει έναν αριθμό κριτηρίων με σκοπό, μεταξύ άλλων, την προστασία των περιοχών περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, των οικισμών, των αρχαιολογικών χώρων και μνημείων καθώς και διάφορων χρήσεων γης (π.χ. αγροτικές εκτάσεις). Οι δεσμεύσεις και οι περιορισμοί αυτοί θεωρήθηκαν απαραίτητοι για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των ανανεώσιμων πόρων και τη μείωση διαφόρων προβλημάτων και δυσκολιών.

Εκτός των δεσμεύσεων και περιορισμών του νομοθετικού πλαισίου, υπάρχει ένας αριθμός προϋποθέσεων που πρέπει να πληροί μια περιοχή για την χωροθέτηση εγκατάστασης Α.Π.Ε.. Οι προϋποθέσεις αυτές αφορούν το αιολικό δυναμικό, το εμβαδόν της περιοχής, τις αποστάσεις από το οδικό δίκτυο, από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και από τους οικισμούς.

Όπως συμπεραίνεται από τα προηγούμενα, η διαδικασία χωροθέτησης εγκατάστασης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας σε μια περιοχή, ανάγεται σε μια διαδικασία λήψης απόφασης, που συμμετέχουν πληθώρα κριτηρίων.

Ο άνεμος, ως Α.Π.Ε., αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, παρέχεται δωρεάν και δεν παράγει ρύπους. Η ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας τα τελευταία χρόνια έχει επιφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη στις χώρες που την εφαρμόζουν (*Global Wind Energy Council, 2015*).

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου στο νομό Ζακύνθου, με τη παρουσίαση ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εύρεση και αξιολόγηση των περιοχών χωροθέτησης. Για την πραγματοποίηση του μεθοδολογικού αυτού πλαισίου χρησιμοποιήθηκε πολυκριτηριακή μέθοδος λήψης απόφασης σε συνδυασμό με τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών.

Όσον αφορά τη δομή της εργασίας, αυτή αποτελείται από επτά κεφάλαια. Για την βιβλιογραφική ανασκόπηση χρησιμοποιήθηκε υλικό από τη βιβλιοθήκη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.), την Ευρωπαϊκή Ένωση, το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, το Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού, τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού και άλλες πηγές του διαδικτύου όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο της βιβλιογραφίας.

Πιο συγκεκριμένα, στο **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται μια εισαγωγή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, περιγράφοντας το σκοπό της και την μεθοδολογική της προσέγγιση.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων ενεργειακού χαρακτήρα, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας παγκοσμίως και στην Ελλάδα. Επιπροσθέτως, αφού περιγράφεται το ελληνικό σύστημα ηλεκτρισμού, δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά της αιολικής ενέργειας. Τέλος, παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στην Ελλάδα και αφορά τη χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφονται τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Γίνεται αναφορά στις δομές δεδομένων καθώς και στις διαδικασίες των συστημάτων αυτών. Τέλος, παρουσιάζονται τα δύο συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψεων αποφάσεων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες των μεθόδων αυτών καθώς και οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί, ευρέως, στον ενεργειακό σχεδιασμό. Τέλος, παρουσιάζεται η πολυκριτηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται η διαδικασία της εύρεσης και ιεράρχησης των περιοχών χωροθέτησης αιολικού πάρκου. Αρχικά, περιγράφεται ο νομός Ζακύνθου, που αποτελεί την περιοχή μελέτης. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται για την εύρεση και ιεράρχηση των περιοχών χωροθέτησης αιολικής εγκατάστασης. Μετέπειτα, αφού καταγράφονται τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται οι υποψήφιες περιοχές για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου μετά την εφαρμογή, μέσω συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών, των περιορισμών και δεσμεύσεων της ελληνικής νομοθεσίας. Τέλος, παρουσιάζονται τα κριτήρια, η μέθοδος και τα αποτελέσματα ιεράρχησης των υποψήφιων αυτών περιοχών, ως προς της καταλληλότητας τους.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται και εξηγούνται τα αποτελέσματα του μεθοδολογικού πλαισίου ως προς την χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου.

Τέλος, στο **έβδομο κεφάλαιο** πραγματοποιείται ο σχολιασμός των συμπερασμάτων της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζοντας το πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε, την προσέγγιση που ακολουθήθηκε καθώς και προτάσεις για την βελτίωση την προσέγγισης αυτής.

1.1. Σκοπός- Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Η εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που ξεκίνησε τον 19^ο αιώνα, αποτελεί την κυριότερη αιτία της κλιματικής αλλαγής και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κοινωνίες. Η ανάγκη λήψης μέτρων περιορισμού των δραστηριοτήτων που επιδεινώνουν τα περιβαλλοντικά αυτά προβλήματα, εξασφαλίζοντας την αειφόρο ανάπτυξη, οδήγησε στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών, όπως ο άνεμος και ο ήλιος μεταξύ άλλων, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χωροθέτηση εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) προϋποθέτει την εξέταση ενός αριθμού κριτηρίων με σκοπό την μεγιστοποίηση των ωφελειών από την εκμετάλλευση της ανανεώσιμης πηγής, προστατεύοντας ταυτόχρονα τα οικοσυστήματα και το ανθρωπογενές περιβάλλον.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου στον νομό της Ζακύνθου. Το μεθοδολογικό πλαίσιο που παρουσιάζεται έχει ως στόχο την εύρεση και την ιεράρχηση των υποψήφιων περιοχών χωροθέτησης. Το πλαίσιο αυτό συνδυάζει συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και πολυκριτηριακή μέθοδο λήψεων αποφάσεων προκειμένου να αναγνωριστούν οι καταλληλότερες περιοχές και να αντιμετωπιστούν οι συγκρούσεις με υφιστάμενες χρήσεις γης. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή χαρτών με σκοπό την οπτική απόδοση της χωροθέτησης (σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο) και της ιεράρχησης με βάση τον βαθμό καταλληλότητας τους (σύμφωνα με την ομάδα κριτηρίων που επιλέχθηκε) των υποψήφιων αυτών περιοχών.

1.2. Μεθοδολογική Προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά την εύρεση και αξιολόγηση των περιοχών χωροθέτησης αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο συνδυασμός συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών με μέθοδο πολυκριτηριακών λήψεων αποφάσεων.

Αρχικά, για την εύρεση των αποδεκτών υποψήφιων περιοχών με βάση το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο, χρησιμοποιείται το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS. Με την βοήθεια αυτού του προγράμματος διαγράφονται από την περιοχή μελέτης οι περιοχές και οι ζώνες αποκλεισμού που θέτει η νομοθεσία, με σκοπό την εύρεση των υποψήφιων περιοχών χωροθέτησης αιολικού πάρκου. Ο ορισμός των περιοχών και ζωνών αυτών, από το νομοθετικό πλαίσιο, έχει ως στόχο την επιλογή των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του ανέμου, ικανοποιώντας συγκεκριμένα κριτήρια. Τα κριτήρια που συμπεριλαμβάνονται στο νομοθετικό πλαίσιο είναι: περιβαλλοντικά, οικιστικά, παραγωγικά, πολιτιστικά και κριτήρια υποδομής.

Μετάπειτα, ακολουθεί η ιεράρχηση των υποψηφίων περιοχών χωροθέτησης χρησιμοποιώντας την μέθοδο πολυκριτηριακής λήψης απόφασης Electre Tri. Η μέθοδος υπεροχής Electre Tri, λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια όπως εμβαδόν περιοχής, απόσταση από οδικό δίκτυο, δίκτυο ηλεκτροδότησης και οικισμούς, ιεραρχεί τις υποψήφιες περιοχές ανάλογα με τον βαθμό καταλληλότητας τους. Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται εντός του περιβάλλοντος QGIS με τη βοήθεια του προσθέτου Electre Tri.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΘΕΩΡΙΑ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση που έλαβε χώρα για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, αναλύονται τα σύγχρονα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα. Στην συνέχεια, αφού ορίζονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δίνονται στατιστικά στοιχεία που αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας παγκοσμίως και στην Ελλάδα. Μετέπειτα, περιγράφεται το ελληνικό σύστημα ηλεκτρισμού και ακολουθεί η περιγραφή των βασικών στοιχείων της αιολικής ενέργειας. Τέλος, παρουσιάζεται το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου.

2.1. Περιβαλλοντικά Προβλήματα Ενεργειακού Χαρακτήρα

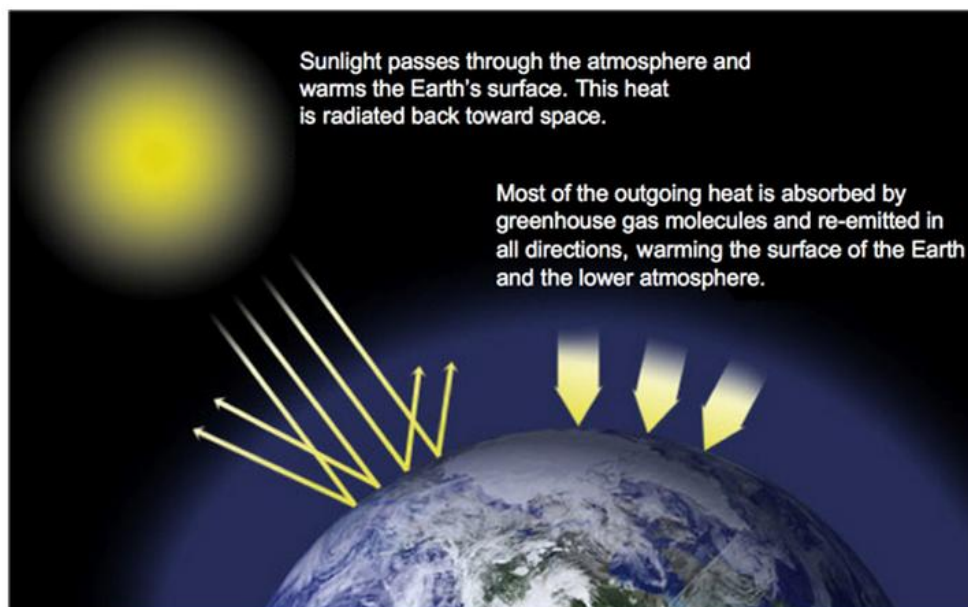
Η ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως έχουν οδηγήσει στην εντεινόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων όπως ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τον 19ο αιώνα με την βιομηχανική επανάσταση, τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) αποτέλεσαν τις πρωτεύουσες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση το επίκεντρο για την παγκόσμια ενεργειακή και οικονομική ανάπτυξη.

Κατά την καύση των υδρογονανθράκων, όπου μετατρέπεται η θερμική ενέργεια σε χημική, παράγεται αιθάλη και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ενώ κατά την καύση του πετρελαίου παράγονται επιπλέον οξειδία του αζώτου, του θείου και επίσης απελευθερώνεται μόλυβδος. Τα αέρια αυτά μαζί με την αιθάλη, σχηματίζουν την αιθαλομίχλη που εγκλωβίζεται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Η ευρεία χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων στην ατμόσφαιρα προκαλώντας την υπερθέρμανση του πλανήτη, το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» (Εικόνα 1).

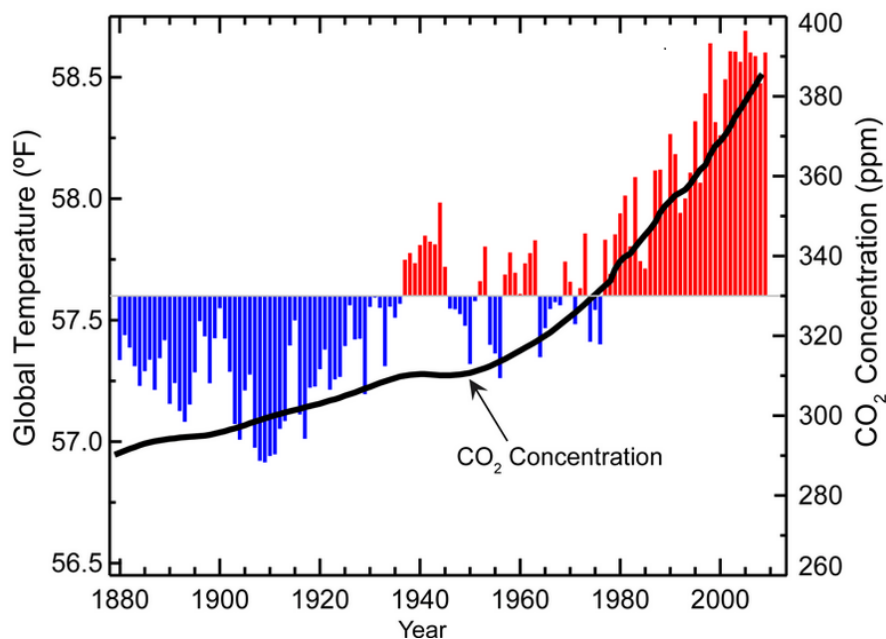
Εικόνα 1: Φαινόμενο του θερμοκηπίου



Πηγή: National Aeronautics and Space Administration (N.A.S.A.)

Στην Εικόνα 2, παρουσιάζεται η μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας της γης και της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, από το 1880 έως το 2012.

Εικόνα 2: Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης CO₂



Πηγή: National Oceanic and Atmospheric Administration (N.O.A.A.)

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Ολλανδική Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης σε συνεργασία με το Κοινό Κέντρο Ερευνών (J.R.C.)

της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 2006, οι παγκόσμιες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν κατά 25% την περίοδο 1990-2004. Συγκεκριμένα, στον τομέα παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας οι εκπομπές των αερίων αυτών αυξήθηκαν κατά 26% για τις χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ε.Κ.Δ.) και κατά 80% στις υπόλοιπες.

Ειδικότερα μόνο το 2004, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν κατά 4%. Κύρια αιτία είναι η αύξηση κατά 5% των εκπομπών CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων και ιδιαίτερα στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (αύξηση 6%).

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κύρια πηγή εκπομπής ρύπων.

Εκτός από το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η απελευθέρωση των οξειδίων του θείου και του αζώτου που περιέχονται μεταξύ άλλων στα καυσαέρια των ορυκτών καυσίμων, έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό, μαζί με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή έχει σοβαρές επιπτώσεις στα φυσικά και οικιστικά οικοσυστήματα. Άλλες επιπτώσεις της καύσης των ορυκτών καυσίμων περιλαμβάνουν την ρύπανση των επιφανειακών υδάτων καθώς επίσης και την μείωση της βιοποικιλότητας.

Όλες αυτές οι επιπτώσεις της χρήσης των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με την δραματική μείωση των αποθεμάτων τους, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για την αντικατάστασή τους και έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη των εναλλακτικών - ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε) κυρίως στον τομέα του ηλεκτρισμού.

2.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται οι εκμεταλλεύσιμες μορφές ενέργειας του περιβάλλοντος όπως άνεμος, ο ήλιος και το νερό μεταξύ άλλων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την οδηγία 2009/28 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (Ε.Κ.) ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρείται η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική, η υδροθερμική και η ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα ελκυσόμενα στους Χ.Υ.Τ.Α.¹ αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιο-αέρια.

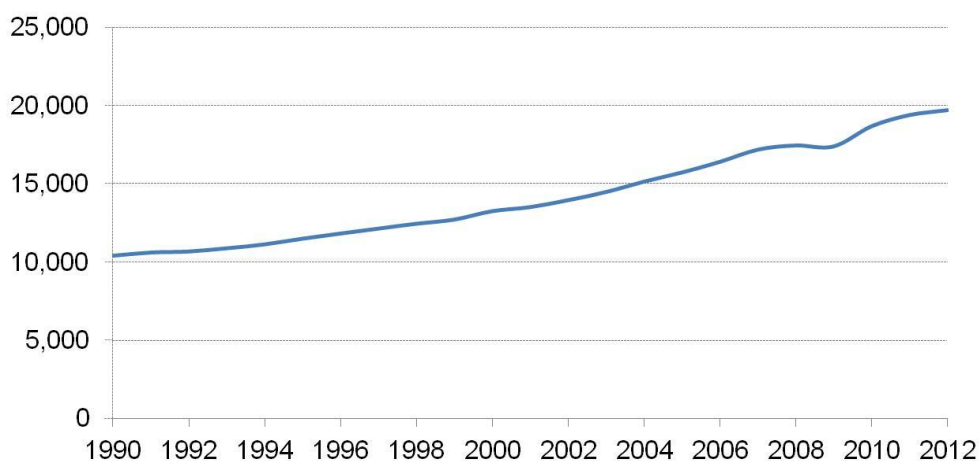
¹ Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

2.3. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.3.1. Ανά μορφή ενέργειας παγκοσμίως

Τα τελευταία 22 χρόνια η παγκόσμια ζήτηση του ηλεκτρισμού παρουσιάζει αύξηση σχεδόν 4% ετησίως (Εικόνα 3). Η άνοδος αυτή οφείλεται στην αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και της μέσης κατανάλωσης ηλεκτρισμού καθώς επίσης και στις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών. Η ίδια τάση αναμένεται να παρουσιαστεί στην παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση στην τρέχουσα και επόμενη δεκαετία (I.E.A.,2014). Προκειμένου, λοιπόν, να καλυφθούν οι ανάγκες της παγκόσμιας ζήτησης, νέες ενεργειακές μονάδες θα πρέπει να προστεθούν. Η επιλογή των μονάδων αυτών θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιβαλλοντικούς και οικονομικούς παράγοντες όπως οι φυσικοί πόροι κάθε χώρας, τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα καθώς επίσης και το νομοθετικό πλαίσιο .

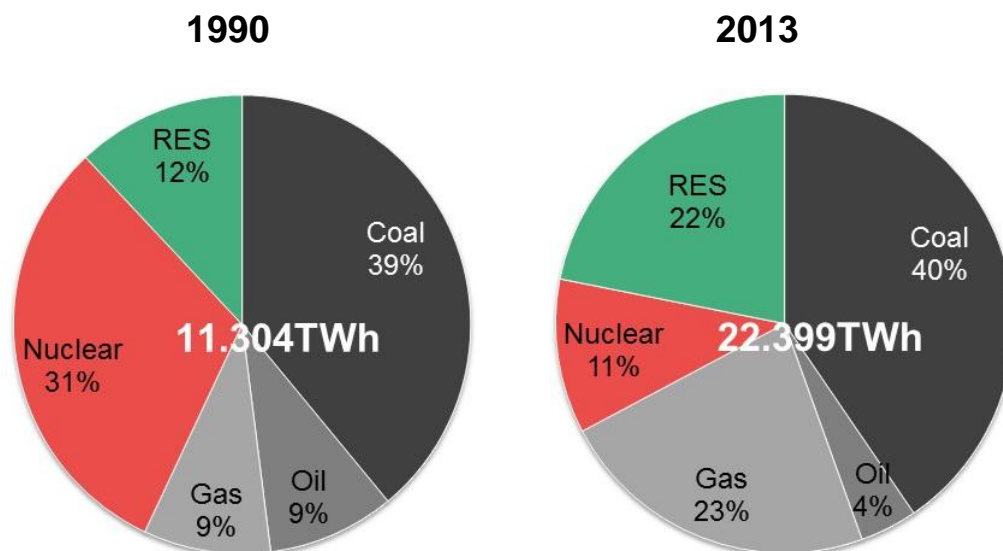
Εικόνα 3: Παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρισμού (TWh), 1990-2012



Πηγή: Energy Information Administration (E.I.A.), 2012

Στην Εικόνα 4 συγκρίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας, παγκοσμίως για τα έτη 1990 και 2013.

Εικόνα 4: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας, παγκοσμίως, 1990 και 2013



Πηγή: International Energy Agency (I.E.A.)

Πηγή: Bloomberg New Energy Finance

Παρατηρείται ότι το ποσοστό της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού έχει μειωθεί περισσότερο από 50%. Αντίθετα, το ποσοστό των Α.Π.Ε. έχει αυξηθεί κατά 10% ενώ το ποσοστό του φυσικού αερίου κατά 12%. Τέλος, το ποσοστό του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρισμού παραμένει σχεδόν σταθερό.

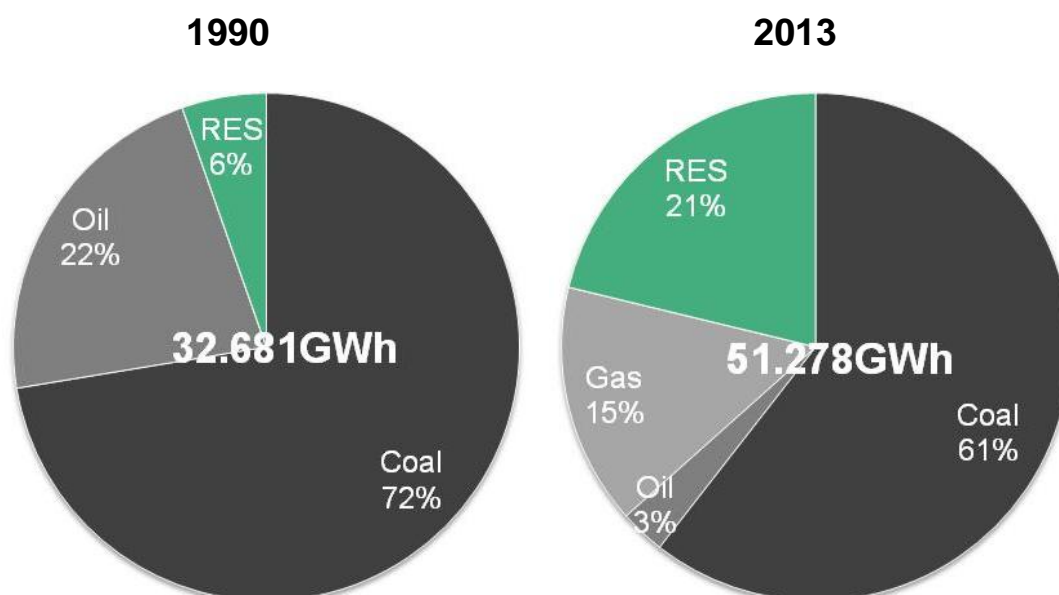
2.3.2. Ανά μορφή ενέργειας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, το 85,7% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα².

Τα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας στην Ελλάδα, για τα έτη 1990 και 2013.

² Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Εικόνα 5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή ενέργειας στην Ελλάδα, 1990 και 2013



Πηγή: Eurostat

Πηγή: Bloomberg New Energy Finance

Σύμφωνα με τα επίσημα αυτά στοιχεία η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία 23 χρόνια έχει αυξηθεί κατά 60%. Από τα διαγράμματα είναι εμφανές ότι αν και οι Α.Π.Ε. έχουν σχεδόν τετραπλασιάσει την συνεισφορά τους στην συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εν τούτοις ο λιγνίτης συνεχίζει να αποτελεί την κύρια μορφή ενέργειας αν και με μειωμένο ποσοστό κατά 11%. Το ποσοστό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πετρέλαιο έχει μειωθεί κατά 19% και είναι πια ελάχιστο ενώ από την άλλη το φυσικό αέριο συμμετέχει ενεργά στο ενεργειακό μείγμα με ποσοστό 15%.

2.4. Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρισμού

Στην Ελλάδα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο λιγνίτης είναι η κύρια πηγή ενέργειας και παραγωγής ηλεκτρισμού. Αυτό οφείλεται στην εκμετάλλευση των εγχώριων λιγνιτικών κοιτασμάτων. Η Ελλάδα βρίσκεται στην δεύτερη θέση στην Ε.Ε. και στην έκτη παγκοσμίως στην παραγωγή λιγνίτη³.

Το ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας, χωρίζεται, σύμφωνα με τον Λειτουργό της Αγοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας (Λ.ΑΓ.Η.Ε.), στο εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα (Ε.Δ.Σ.) και στο νησιωτικό σύστημα.

³ Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.)

Το σύστημα μεταφοράς του Ε.Δ.Σ. αποτελείται⁴ από γραμμές υπερ-υψηλής τάσης (400 kV), υψηλής τάσης (150 kV) και μια υποβρύχια γραμμή τάσης 66 kV που συνδέει την Κέρκυρα με την Ηγουμενίτσα. Οι γραμμές υπερ-υψηλής τάσης μεταφέρουν ηλεκτρισμό από το ενεργειακό κέντρο παραγωγής ηλεκτρισμού της Δυτικής Μακεδονίας, στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας. Οι γραμμές υψηλής τάσης (150 kV) συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το Ε.Δ.Σ. Στην Εικόνα 6 και στο Παράρτημα Β, παρουσιάζεται ο χάρτης του ηλεκτρικού δικτύου της Ελλάδας.

⁴ Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Α.Δ.Μ.Η.Ε.)

Εικόνα 6: Ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο



Πηγή: Α.Δ.Μ.Η.Ε., 2013

Οι σταθμοί παραγωγής του ηλεκτρικού συστήματος διακρίνονται σε σταθμούς παραγωγής Ε.Δ.Σ. και σε αυτόνομους σταθμούς παραγωγής του νησιωτικού συστήματος.

Όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία επιβεβαιώνουν ότι το υπάρχον ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην καύση του λιγνίτη. Το

γεγονός ότι ο λιγνίτης είναι το πιο ρυπογόνο καύσιμο, έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον με μέγιστη συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να γίνουν προσπάθειες για την εκμετάλλευση των εγχώριων φυσικών πόρων και την ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον.

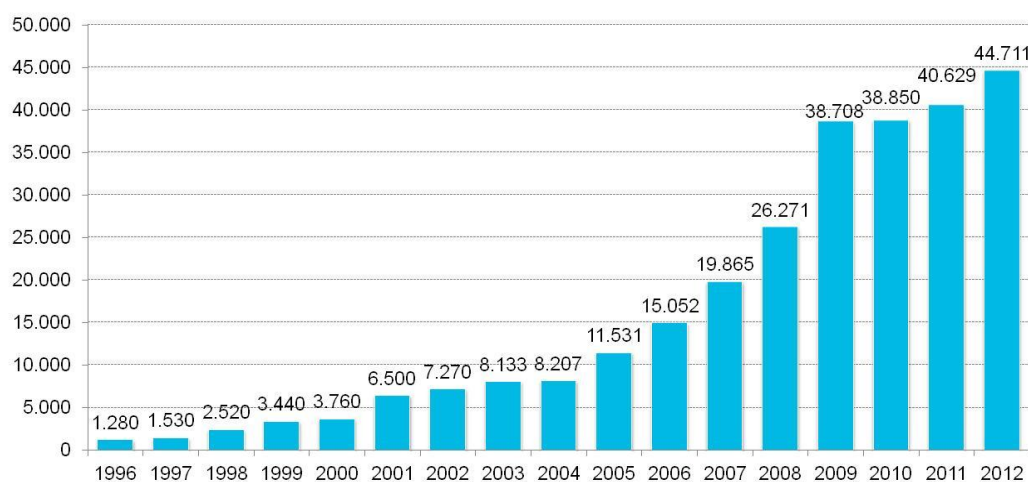
2.5. Αιολική Ενέργεια

2.5.1. Περιγραφή

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά την χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου. Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Καθώς η ενέργεια αυτή δεν εκπέμπει ή δεν παράγει ρύπους, αποτελεί μια καθαρή πηγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια παρουσιάζει πλεονεκτήματα στην παραγωγή ηλεκτρισμού καθώς είναι δωρεάν, άφθονη και παρουσιάζει ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ειδικά σε σχέση με τα παραδοσιακά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μια ραγδαία εξέλιξη της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη ισχύς του ανέμου την περίοδο 1996 με 2012.

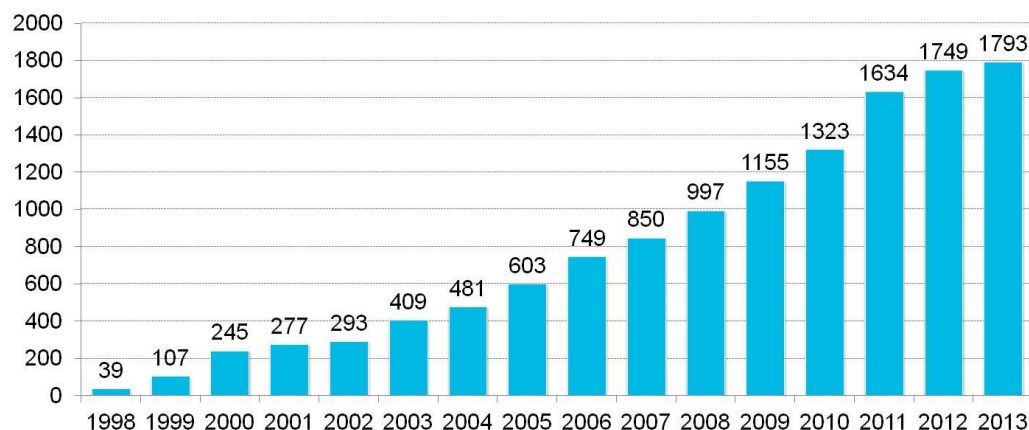
Εικόνα 7: Παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη αιολική ισχύς, 1996-2012



Πηγή: Global Wind Energy Council (G.W.E.C.), 2012

Όσον αφορά την Ελλάδα, σύμφωνα με την Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας, η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς το Μάιο του 2013 ήταν 1793,4 MW. Στο διάγραμμα της Εικόνας 8 απεικονίζεται η αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς της αιολικής ενέργειας από το 1998 μέχρι το 2013.

Εικόνα 8: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (MW) ανά έτος στην Ελλάδα, 1998-2013



Πηγή: Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας, 2013

2.5.2. Ανεμογεννήτριες

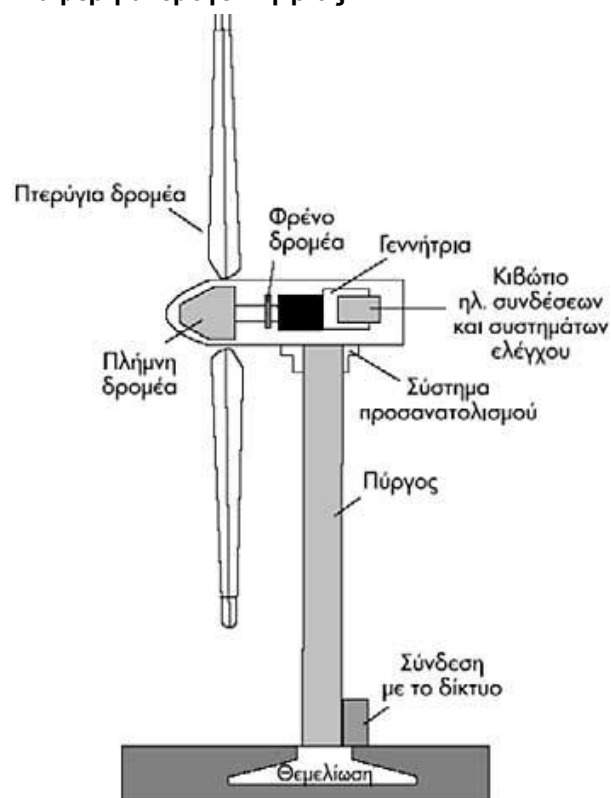
Ανεμογεννήτρια ονομάζεται η μηχανή που μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο στην συνέχεια τροφοδοτείται σε διάφορες περιοχές. Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι τα ακόλουθα (Εικόνα 9) (*Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*):

- ο πύργος, ο οποίος την στηρίζει
- η γεννήτρια, η οποία παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα
- ο ρότορας ή δρομέας, ο οποίος αποτελείται από τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο
- τα πτερύγια που γυρίζουν με την άνωση που δημιουργεί ο άνεμος και προσδένονται πάνω σε μία πλήμνη είτε σταθερά είτε με την δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από τον διαμήκη άξονά τους μεταβάλλοντας το βήμα
- ο άξονας υψηλής ταχύτητας που οδηγεί τη γεννήτρια
- ο άξονας χαμηλής ταχύτητας ο οποίος κινείται από τον ρότορα
- ο ελεγκτής, ο οποίος ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 3,6-7,2 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) και την κλείνει περίπου στα 29 m/s. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα

29 m/s γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν και τα πτερύγιά τους να σπάσουν

- Το κέλυφος, το οποίο περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη του κελύφους
- το ανεμόμετρο που μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή
- το σύστημα μετάδοσης κίνησης, που περιέχει τον κύριο άξονα με τα έδρανά του καθώς και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών
- το σύστημα προσανατολισμού, που διατηρεί τον άξονα περιστροφής του δρομέα παράλληλο με την διεύθυνση του ανέμου
- τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, που είναι τοποθετημένοι στην βάση του πύργου και ελέγχουν τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας
- το φρένο το οποίο είναι ένα δισκόφρενο για να σταματάει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης. Μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά.

Εικόνα 9: Συστατικά μέρη ανεμογεννήτριας



Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας

Η ισχύς μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από:

- τα πτερύγια, καθώς όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια τόσο μεγαλύτερη είναι και η ισχύς.
- την ταχύτητα του ανέμου, όπου, επίσης, αύξηση της ταχύτητας αυτής επιφέρει αύξηση της ισχύς.

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Οριζοντίου άξονα (Εικόνα 10): Ο δρομέας, ο οποίος είναι τύπου έλικα, βρίσκεται παράλληλα με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.
- Κατακόρυφου άξονα (Εικόνα 11): Ο δρομέας είναι κάθετος με την κατεύθυνση του εδάφους.

Εικόνα 10: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα



Πηγή: *Renewable Energy Information Center*

Εικόνα 11: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα



Πηγή: *Mechanical Design Laboratory*

2.5.3. Αιολικά πάρκα

Η τοποθέτηση δεκάδων ανεμογεννητριών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η οποία ικανοποιεί ορισμένες προϋποθέσεις, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός αιολικού πάρκου. Η περιοχή, αυτή, μπορεί να είναι χερσαία ή θαλάσσια.

Η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, που παράγουν ενέργεια εκμεταλλευόμενα ένα «καθαρό» και ανανεώσιμο ενεργειακό πόρο, τον άνεμο, αποτελούν μία ζωτικής σημασίας λύση στις κρίσιμες ενεργειακές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις. Εκτός από την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, εφόσον δεν παράγουν καθόλου ρύπους, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να

διαφοροποιήσει την εγχώρια προσφορά ενέργειας και να μειώσει την ενεργειακή εξάρτηση από τις εισαγωγές, προσφέροντας παράλληλα ηλεκτρισμό σε ανταγωνιστικό κόστος.

Παρόλα αυτά, η δημιουργία ενός αιολικού πάρκου, εάν δεν γίνει υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις, ενδέχεται να επιφέρει κοινωνική όχληση. Η όχληση αυτή οφείλεται αφενός στην αισθητική του τοπίου που εγκαταστάθηκε το πάρκο και αφετέρου στο θόρυβο που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες. Επιπλέον η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου μπορεί να επηρεάσει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς με την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό το έδαφος, η βλάστηση και η βιοποικιλότητα της περιοχής. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα πτερύγια των ανεμογεννητριών μπορεί να τραυματίσουν ή να σκοτώσουν τα πουλιά της περιοχής. Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλιστεί η προστασία του οικοσυστήματος και της κοινωνίας, πριν τη δημιουργία αιολικού πάρκου θα πρέπει να εκπονηθεί μια μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.). Το ελληνικό πλαίσιο χωροθέτησης των ανεμογεννητριών που έχει θεσπιστεί, λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες και αποσκοπεί στην εξεύρεση κατάλληλων θέσεων χωροθέτησης αιολικών πάρκων.

2.6. Νομοθετικό Πλαίσιο Αιολικών Πάρκων

Η ελληνική νομοθεσία περιλαμβάνει ειδικό πλαίσιο για τον χωροταξικό σχεδιασμό και την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμπεριλαμβανομένης της αιολικής. Το πλαίσιο αυτό έχει ως στόχο την επιλογή των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του ανέμου, ικανοποιώντας συγκεκριμένα κριτήρια. Το πλαίσιο αυτό είναι η Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) 49828/2008⁵.

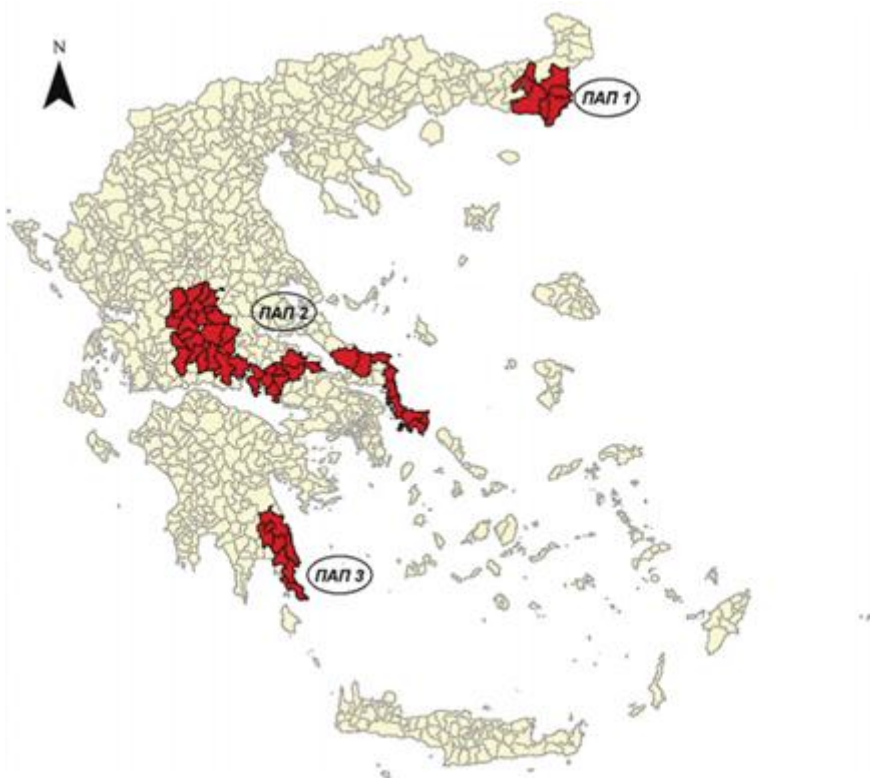
Αρχικά, σύμφωνα με το άρθρο 5, ο εθνικός χώρος διακρίνεται, με βάση το αιολικό δυναμικό και τα ιδιαίτερα χωροταξικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, στις ακόλουθες κατηγορίες:

- την Αττική, η οποία αποτελεί ξεχωριστή κατηγορία λόγω του μητροπολιτικού χαρακτήρα της
- την υπόλοιπη ηπειρωτική χώρα συμπεριλαμβανομένης της Εύβοιας
- τα κατοικημένα νησιά του Ιονίου και Αιγαίου πελάγους συμπεριλαμβανομένης της Κρήτης
- τον υπεράκτιο θαλάσσιο χώρο και στις ακατοίκητες νησίδες

⁵ Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης (Φ.Ε.Κ.) Β 2464 /03.12.2008

Η ηπειρωτική χώρα (εξαιρουμένης της Αττικής) διακρίνεται επιπλέον σε περιοχές αιολικής προτεραιότητας (Π.Α.Π.) και περιοχές αιολικής καταλληλότητας (Π.Α.Κ.). Περιοχές αιολικής προτεραιότητας είναι οι περιοχές που πλεονεκτούν για την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων και προσφέρονται και για την επίτευξη χωροταξικών στόχων. Στις περιοχές αυτές, συναντάται η μέγιστη δυνατότητα χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων. Οι Π.Α.Π. παρουσιάζονται στον χάρτη της Εικόνας 12 και στο Παράρτημα Β.

Εικόνα 12: Περιοχές αιολικής προτεραιότητας



Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

Σύμφωνα με το άρθρο 6, οι περιοχές αποκλεισμού και οι ζώνες ασυμβατότητας για την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων είναι:

- κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της παγκόσμια κληρονομιάς και άλλα μνημεία μείζονος σημασίας
- περιοχές απόλυτου προστασίας της φύσης και προστασίας της φύσης
- όρια των υγροτόπων διεθνούς σημασίας (υγρότοποι Ραμσάρ)
- πυρήνες των εθνικών δρυμών, των κηρυγμένων μνημείων της φύσης και των αισθητικών δασών

- οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της επικράτειας που έχουν ενταχθεί ως τόποι κοινοτικής σημασίας στο δίκτυο Φύση 2000⁶
- περιοχές οργανωμένης ανάπτυξης παραγωγικών δραστηριοτήτων
- άτυπα διαμορφωμένες, στο πλαίσιο του εκτός σχεδίου δόμησης, τουριστικές και οικιστικές περιοχές
- ακτές κολύμβησης που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.)
- τμήματα των λατομικών περιοχών και μεταλλευτικών και εξορυκτικών ζωνών που λειτουργούν επιφανειακά
- άλλες περιοχές ή ζώνες που υπάγονται σε ειδικό καθεστώς χρήσεως γης

2.6.1. Περιβαλλοντικά κριτήρια

Τα περιβαλλοντικά κριτήρια αποσκοπούν στην αποφυγή της περιβαλλοντικής υποβάθμισης κατά την εγκατάσταση και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου. Σύμφωνα, με το άρθρο 6, οι περιοχές αποκλεισμού και οι ζώνες ασυμβατότητας, με σκοπό τη περιβαλλοντική προστασία, είναι:

- περιοχές απόλυτου προστασίας της φύσης και προστασίας της φύσης
- όρια των υγροτόπων διεθνούς σημασίας (υγρότοποι Ραμσάρ)
- πυρήνες των εθνικών δρυμών, των κηρυγμένων μνημείων της φύσης και των αισθητικών δασών
- οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της επικράτειας που έχουν ενταχθεί ως τόποι κοινοτικής σημασίας στο δίκτυο Natura 2000
- ακτές κολύμβησης που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α.

Σύμφωνα με το ίδιο άρθρο, για την εξυπηρέτηση των αιολικών πάρκων ενδείκνυται η χρήση υφιστάμενων οδών, ενώ θα πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλοι βάθους και εκτεταμένες εκσκαφές και το πλάτος των δρόμων πρόσβασης θα πρέπει να περιορίζεται στο αναγκαίο μέτρο. Αναγκαίο είναι επίσης να εκτελούνται όλα τα απαραίτητα αντιπλημμυρικά έργα, να αποκαθίσταται το τοπίο και να περιορίζεται η φθορά της βλάστησης. Τέλος, το δίκτυο ηλεκτροδότησης θα πρέπει να ακολουθεί τις υφιστάμενες οδούς προσπέλασης, ώστε να περιορίζεται η εκχέρσωση εκτάσεων και η γενικότερη περιβαλλοντική υποβάθμιση.

⁶ Natura 2000

Σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙ της Κ.Υ.Α., καθορίζονται οι αποστάσεις των αιολικών εγκαταστάσεων από γεινιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής. Για περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος ισχύουν όσα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος

Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
Περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και προστασίας της φύσης	Σύμφωνα με την εγκεκριμένη ειδική περιβαλλοντική μελέτη (Ε.Π.Μ) ή το σχετικό προεδρικό διάταγμα (π.δ.) (του άρθρου 21 του ν. 1650/86) ή την σχετική Κ.Υ.Α. (ν. 3044/02)
<ul style="list-style-type: none"> - πυρήνες εθνικών δρυμών - κηρυγμένα μνημεία της φύσης - αισθητικά δάση - υγρότοποι Ραμσάρ - οικότοποι προτεραιότητα του δικτύου Natura 2000 	Κρίνεται κατά περίπτωση στο πλαίσιο της έγκρισης περιβαλλοντικών όρων (Ε.Π.Ο.)
Ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α.	1.500 μ
Περιοχές στις ζώνες ειδικής προστασίας (Ζ.Ε.Π.) ορνιθοπανίδας (SPA)	Κρίνεται κατά περίπτωση στο πλαίσιο της Ε.Π.Ο., μετά από ειδική ορνιθολογική μελέτη

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

2.6.2. Κριτήρια Υποδομής

Στην κατηγορία των κριτηρίων υποδομής, συμπεριλαμβάνονται οι αποστάσεις από τα δίκτυα τεχνικής υποδομής, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από δίκτυα τεχνικής υποδομής

Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
<ul style="list-style-type: none"> - κύριοι οδικοί άξονες - οδικό δίκτυο αρμοδιότητας των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.) - σιδηροδρομικές γραμμές 	$1,5 \cdot d^7$ από τα όρια της ζώνης της οδού ή του σιδηροδρομικού δικτύου αντίστοιχα
Γραμμές υψηλής τάσεως (Υ.Τ.)	$1,5 \cdot d$ από τα όρια διέλευσης των γραμμών Υ.Τ.
<ul style="list-style-type: none"> - υποδομές τηλεπικοινωνιών (κεραίες) - radar 	Κατά περίπτωση μετά από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα.
Εγκαταστάσεις ή δραστηριότητες της αεροπλοΐας	Κατά περίπτωση μετά από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα.

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

⁷ d είναι η διάμετρος της φτερωτής (ελίκων) της ανεμογεννήτριας

2.6.3. Οικιστικά Κριτήρια

Η ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου από τις οικιστικές δραστηριότητες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από οικιστικές δραστηριότητες

Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
Πόλεις και οικισμοί με πληθυσμό >2000 κατοίκων ή οικισμοί με πληθυσμό <2000 κατοίκων που χαρακτηρίζονται ως δυναμικοί, τουριστικοί ή αξιόλογοι ⁸	1.000 μ από το όριο του οικισμού ή του σχεδίου πόλης κατά περίπτωση
Παραδοσιακοί οικισμοί	1.500 μ από το όριο του οικισμού ⁹
Λοιποί οικισμοί	500 μ από το όριο του οικισμού
Οργανωμένη δόμηση Α' ή Β' κατοικίας (περιοχές ειδικά ρυθμιζόμενης πολεοδόμησης (Π.Ε.Ρ.Π.Ο.), συνεταιρισμοί κλπ) ή και διαμορφωμένες περιοχές Β' κατοικίας, όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο Μ.Π.Ε. κάθε μεμονωμένης εγκατάστασης αιολικού πάρκου	1.000 μ από τα όρια του σχεδίου ή της διαμορφωμένης περιοχής αντίστοιχα.
Ιερές Μονές	500μ από τα όρια της Μονής
Μεμονωμένη κατοικία (νομίμως υφιστάμενη)	εξασφάλιση ελάχιστου επιπέδου θορύβου μικρότερου των 45 decibels (db)

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

2.6.4. Παραγωγικά Κριτήρια

Η ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης αιολικού πάρκου από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

⁸ Σύμφωνα με την έννοια του άρθρου 2 του π.δ. 24.4/3.5.1985

⁹ κατά παρέκκλιση από τα παραπάνω είναι δυνατή με απόφαση του Γ.Γ. Υ.Π.Ε.Κ.Α. ύστερα από εισήγηση της αρμόδιας Δ/νσης του Υ.Π.Ε.Κ.Α. η μείωση της ως άνω απόστασης μέχρι τα 1000 μ εφόσον ο αριθμός των κατοικιών που συνθέτουν τον οικισμό είναι μικρότερο των είκοσι.

Πίνακας 4: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων

Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
<ul style="list-style-type: none"> – αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας – ζώνες αναδασμού – αρδευόμενες εκτάσεις 	1,5*d
Ιχθυοκαλλιέργειες	απόσταση ασφαλείας 1,5*d
Μονάδες εσταυλισμένης κτηνοτροφίας	απόσταση ασφαλείας 1,5*d
Λατομικές ζώνες και δραστηριότητες	Όπως ορίζεται στην κείμενη νομοθεσία
Λειτουργούσες επιφανειακά μεταλλευτικές και εξορυκτικές ζώνες και δραστηριότητες	500μ
<ul style="list-style-type: none"> – περιοχές ολοκληρωμένης τουριστικής ανάπτυξης (Π.Ο.Τ.Α.) και άλλες Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων και τριτογενούς τομές – τουριστικά πάρκα, τουριστικοί λιμένες και άλλες θεσμοθετημένες ή διαμορφωμένες τουριστικά περιοχές (όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της ΜΠΕ του αιολικού πάρκου για κάθε μεμονωμένη εγκατάσταση) – τουριστικά καταλύματα και ειδικές τουριστικές υποδομές 	1.000 μ από τα όρια της ζώνης/περιοχής

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

2.6.5. Πολιτιστικά κριτήρια

Η τελευταία κατηγορία κριτηρίων είναι τα πολιτιστικά, τα οποία αποσκοπούν στην προστασία των περιοχών και στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Τα πολιτιστικά κριτήρια φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 5: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς

Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
Εγγεγραμμένα στον κατάλογο παγκόσμιας κληρονομιάς και τα άλλα μείζονος σημασίας μνημεία, αρχαιολογικοί χώροι και ιστορικοί τόποι ¹⁰	3.000μ
Ζώνη απολύτου προστασίας (Ζώνη Α) λοιπών αρχαιολογικών χώρων	$A=7*d$, όπου (d) τουλάχιστον 500 μ.
Κηρυγμένα πολιτιστικά μνημεία και ιστορικοί τόποι	$A=7*d$, όπου (d) τουλάχιστον 500 μ.

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

Τα ειδικά κριτήρια χωροθέτησης των αιολικών μονάδων καθώς και τα κριτήρια ένταξής τους στο τοπίο καθορίζονται σύμφωνα με τα άρθρα 7 και 8 καθώς και το παράρτημα IV της Κ.Υ.Α. Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίπτωση ενός, υπό αδειοδότηση, αιολικού πάρκου, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η οπτική παρεμβολή του από τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Τα σημεία αυτά βρίσκονται εντός κύκλου, που ορίζεται με κέντρο την αιολική μονάδα και ακτίνα που διαφοροποιείται ανάλογα με την σημασία και ποιότητα του σημείου καθώς και την κατηγορία του χώρου στον οποίο ανήκει, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

¹⁰ της παρ. 5 εδάφιο ββ του άρθρου 50 του Ν.3028/02

Πίνακας 6: Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από σημεία ενδιαφέροντος

Μέγιστη απόσταση από Α/Π (χλμ)		
Σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος	Εντός Π.Α.Π. Αττικής – θαλάσσιου χώρου	Εντός Π.Α.Κ. – κατοικημένα νησιά
Το πλησιέστερο όριο των εγγεγραμμένων στον κατάλογο παγκόσμιας κληρονομιάς και άλλων μείζονος σημασίας μνημείων, αρχαιολογικών χώρων και ιστορικών τόπων της παρ. 5 εδάφιο ββ) του άρθρου 50 του Ν.3028/02 ¹¹	6	6
Το πλησιέστερο όριο ζώνης απολύτου προστασίας (ζώνη Α΄) λοιπών αρχαιολογικών μνημείων	6	6
Το πλησιέστερο όριο θεσμοθετημένου πυρήνα εθνικού δρυμού, μνημείου της φύσης, αισθητικού δάσους των παρ. 3 και 4 του άρθρου 19 του Ν. 1650/86.	0,8	1
Το πλησιέστερο όριο θεσμοθετημένου παραδοσιακού οικισμού	6	6
Τα πλησιέστερα όρια πόλεων ή οικισμών	2	3
Το πλησιέστερο όριο θεσμοθετημένης ή διαμορφωμένης τουριστικής περιοχής, τουριστικά καταλύματα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, ειδικές τουριστικές υποδομές, τουριστικοί λιμένες	2	3

Πηγή: Φ.Ε.Κ.Β. 2464/03.12.2008

Με σκοπό να ληφθεί υπόψη, η πραγματική απόσταση των ανεμογεννητριών από το σημείο, η κυκλική επιφάνεια χωρίζεται σε τρεις ομόκεντρες ζώνες Α΄, Β΄, Γ΄, σύμφωνα με τον Πίνακα 7.

¹¹ της παρ. 5 εδάφιο ββ του άρθρου 50 του Ν.3028/02

Πίνακας 7: Ομόκεντρες ζώνες σημείων ενδιαφέροντος

Σημείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος	Ακτίνες ζωνών (σε χλμ).					
	εντός Π.Α.Π. Αττικής – θαλάσσιου χώρου			εντός Π.Α.Κ. – κατοικημένα νησιά		
	A	B	Γ	A	B	Γ
Όρια των εγγεγραμμένων στον κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς και άλλων μείζονος σημασίας μνημείων, αρχαιολογικών χώρων και ιστορικών τόπων της παρ. 5 εδάφιο ββ) του άρθρου 50 του Ν.3028/02	3	4,5	6	3	4,5	6
Όρια ζώνης απολύτου προστασίας (ζώνη Α΄) λοιπών αρχαιολογικών μνημείων	0,5	3	6	0,5	3	6
Όρια θεσμοθετημένου πυρήνα Εθνικού Δρυμού, μνημείου της φύσης, αισθητικού δάσους των παρ. 3 και 4 του άρθρου 19 του Ν. 1650/86.	0,2	0,8	-	0,3	1	-
Όρια θεσμοθετημένου παραδοσιακού οικισμού.	1,5	3	6	1,5	3	6
Όρια πόλεων ή οικισμών >2000 κατοίκων και όρια οικισμών <2000 κατοίκων που χαρακτηρίζονται ως τουριστικοί ή αξιόλογοι	1	2	-	1	3	-
Όρια οικισμών <2000 κατοίκων που δεν χαρακτηρίζονται ως τουριστικοί ή αξιόλογοι	0,5	1	2	0,5	1	2
Όρια θεσμοθετημένης ή διαμορφωμένης τουριστικής περιοχής, τουριστικά καταλύματα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, ειδικές τουριστικές υποδομές, τουριστικοί λιμένες	1	1,5	2	1	2	3

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι στο πρόβλημα της χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου υπεισέρχονται διάφορα κριτήρια. Για τον λόγο αυτό, απαραίτητη κρίνεται η εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στα επόμενα δύο κεφάλαια αναλύονται τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και οι μέθοδοι πολυκριτηριακής λήψης απόφασης, εργαλεία απαραίτητα για την εύρεση και την αξιολόγηση των κατάλληλων περιοχών εγκατάστασης αιολικού πάρκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Συγκεκριμένα, αφού δοθεί ο ορισμός τους, ακολουθεί η περιγραφή των δομών δεδομένων τους. Στην συνέχεια, αναλύονται οι διαδικασίες των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών και τέλος, περιγράφονται τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εφαρμογή.

3.1. Γενικά

Για την εύρεση των κατάλληλων περιοχών για την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, χρησιμοποιούνται τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (Σ.Γ.Π., G.I.S.) είναι πακέτα λογισμικού που παρέχουν έναν αριθμό εργαλείων με σκοπό την διαχείριση και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Τα Σ.Γ.Π. διαχειρίζονται σύνθετες πληροφορίες και σχέσεις του χώρου και παρέχουν δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης, ελέγχου, λειτουργίας και επικοινωνίας χρηστών και προγραμμάτων (Κάβουρας Μ., 2007).

3.2. Δομές Δεδομένων

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών χρησιμοποιούν δύο μεθόδους αναπαράστασης των γεωγραφικών δεδομένων: την ψηφιδωτή (raster) και διανυσματική (vector) δομή δεδομένων (Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2010).

3.2.1. Ψηφιδωτή αναπαράσταση

Στην αναπαράσταση αυτή, ο χώρος διαιρείται σε μια διάταξη κελιών, στα οποία αναθέτονται χαρακτηριστικά ή ιδιότητες που εκφράζουν τις γεωγραφικές διακυμάνσεις (Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2010).

3.2.2. Διανυσματική αναπαράσταση

Στην αναπαράσταση αυτή, οι γραμμές αποτυπώνονται ως σημεία, τα οποία συνδέονται με ευθείες γραμμές. Μια επιφάνεια αποτυπώνεται ως μια σειρά σημείων ή κορυφών συνδεδεμένων με ευθείες (Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2010).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των δύο τύπων αναπαραστάσεων.

Πίνακας 8: Σύγκριση μεταξύ raster και vector αναπαράστασης

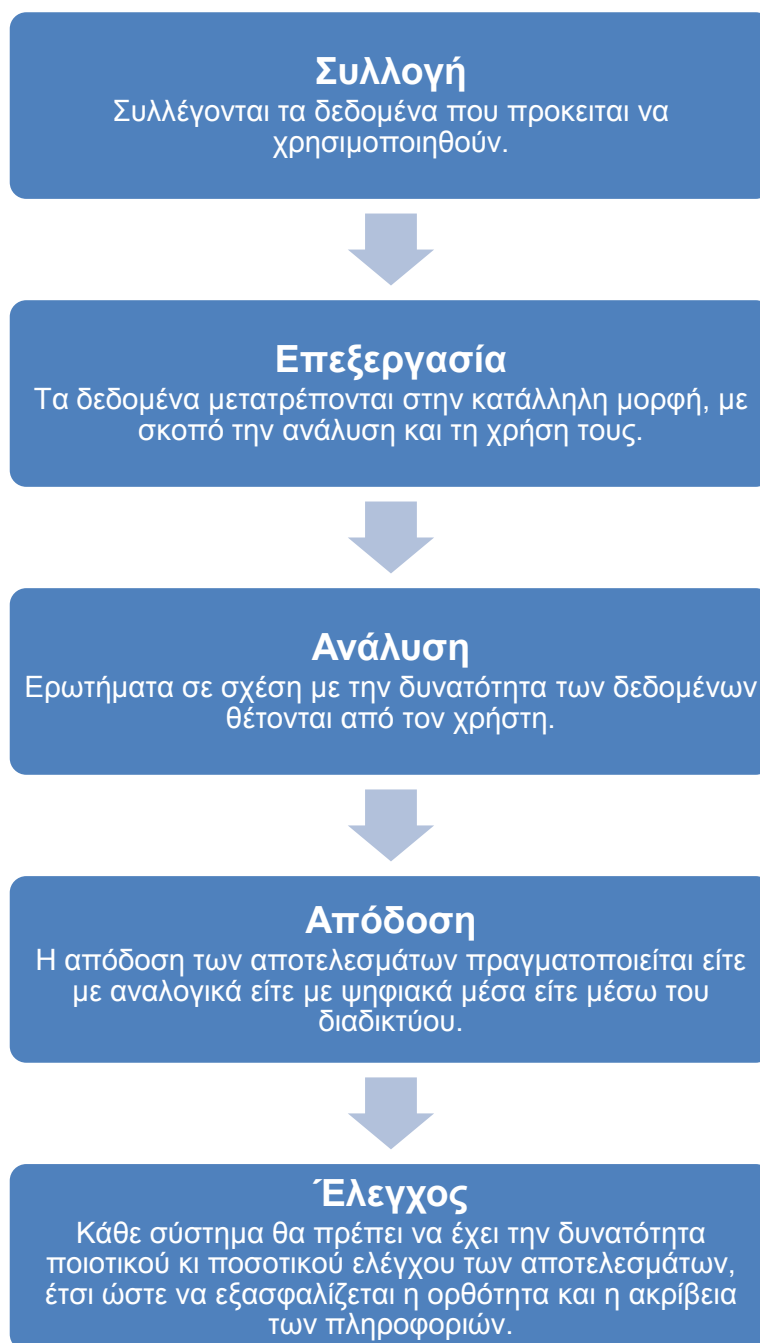
Αναπαράσταση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Raster	<ul style="list-style-type: none"> • Απλή δομή δεδομένων • Συμβατή με τηλεπισκοπικά δεδομένα ή δεδομένα από σάρωση • Απλές διαδικασίες χωρικής ανάλυσης 	<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτεί περισσότερο χώρο αποθήκευσης • Ανάλογα με το μέγεθος του κελιού, το γραφικό προϊόν μπορεί να μην είναι το επιθυμητό • Οι προβολικοί μετασχηματισμοί είναι πιο δύσκολοι • Η αναπαράσταση των τοπολογικών σχέσεων είναι πιο δύσκολη
Vector	<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτεί λιγότερο χώρο αποθήκευσης • Οι τοπολογικές σχέσεις διατηρούνται με ευκολία • Το γραφικό προϊόν μοιάζει περισσότερο με τους αναλογικούς χάρτες 	<ul style="list-style-type: none"> • Περισσότερο πολύπλοκη δομή δεδομένων • Όχι τόσο συμβατή με τηλεπισκοπικά δεδομένα • Το υλικό και το λογισμικό είναι περισσότερο ακριβά • Κάποιες διαδικασίες χωρικής ανάλυσης γίνονται με περισσότερη δυσκολία • Η επίθεση πολλών χαρτών σε διανυσματική μορφή είναι χρονοβόρα

Πηγή: Κάβουρας Μ., 2007

3.3. Διαδικασίες G.I.S.

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών αποτελούνται από τις παρακάτω διαδικασίες: (Κάβουρας Μ., 2007).

Εικόνα 13: Σχηματική μορφή ενός Σ.Γ.Π.



Πηγή: Κάβουρας Μ., 2007

3.4. Προγράμματα G.I.S.

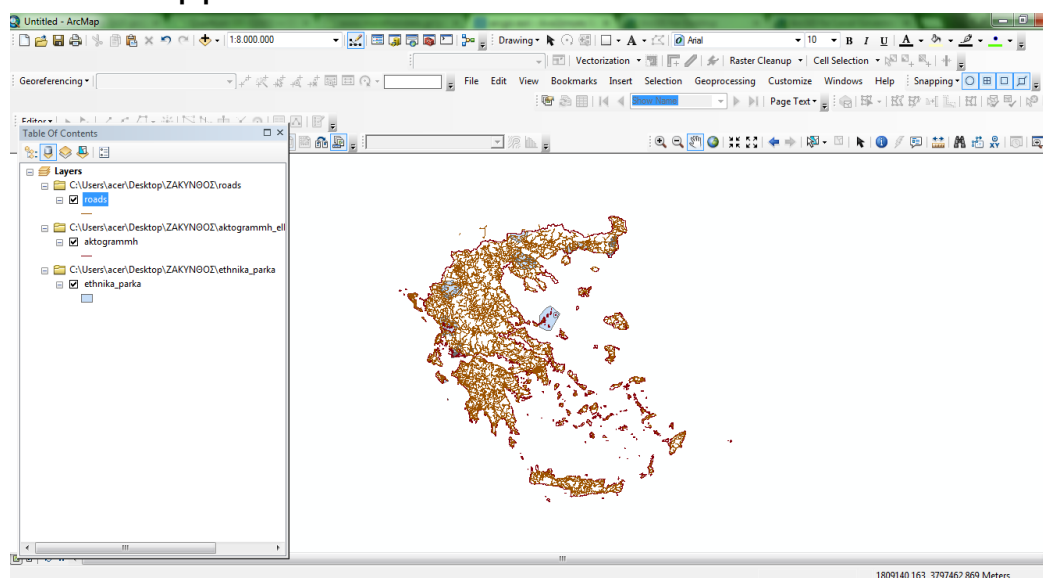
Στην σημερινή εποχή, υπάρχει μια ποικιλία προγραμμάτων G.I.S., από διαφορετικούς προμηθευτές και με διαφορετικές δυνατότητες και λειτουργίες. Τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται παρακάτω:

3.4.1. ArcGIS

Το ArcGIS είναι μια ολοκληρωμένη οικογένεια από προϊόντα GIS, που κατασκευάζεται από την εταιρία ESRI. Το ArcGIS παρέχει μια πλατφόρμα συλλογής και εισαγωγής δεδομένων, επεξεργασίας, μετασχηματισμού, απεικόνισης και ανάλυσης. Αποτελείται από ένα σύνολο επεκτάσεων που αφορούν την τρισδιάστατη ανάλυση, την δικτυακή δρομολόγηση και την γεωστατική και χωρική ανάλυση. Η ευρεία χρήση του έγκειται στο γεγονός ότι αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό δυνατοτήτων, από εργαλεία για διαχείριση και ανάλυση δεδομένων καθώς και από επιλογές προσαρμογής (Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2010).

Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται το περιβάλλον του ArcGIS.

Εικόνα 14: Περιβάλλον ArcGIS



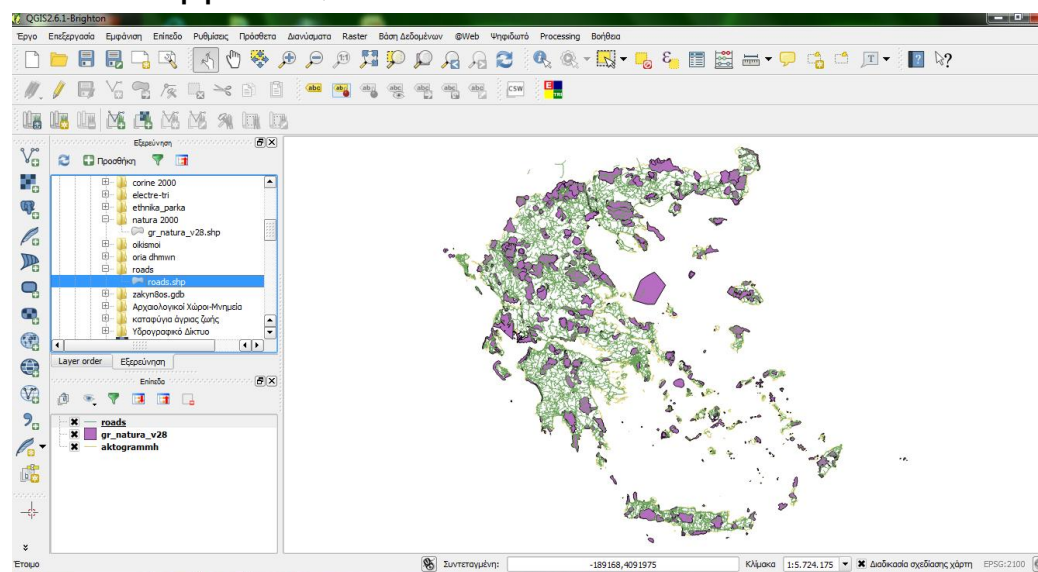
Πηγή: Arc Map 10.1

3.4.2. QGIS

Το Quantum GIS (QGIS) είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που παρέχει δυνατότητες διαχείρισης, επεξεργασίας, ανάλυσης και σύνθεσης χαρτών. Το QGIS έχει πολλαπλές δυνατότητες και λειτουργίες, μεταξύ των οποίων είναι αναγνώριση και επιλογή χαρακτηριστικών, η επεξεργασία και η οπτικοποίηση περιγραφικών χαρακτηριστικών, η αλλαγή του προβολικού συστήματος, οι αλλαγές των συμβόλων και η προσθήκη νέων επιπέδων (Ίδρυμα Open Source Geospatial (O.S.Geo.)).

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται το γραφικό περιβάλλον του QGIS.

Εικόνα 15: Περιβάλλον QGIS



Πηγή: QGIS 2.6.1

Για την επίλυση ενός πολυκριτηριακού προβλήματος ενεργειακού χαρακτήρα απαραίτητος κρίνεται ο συνδυασμός των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών με τις πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης απόφασης. Οι μέθοδοι αυτοί περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Για την επιλογή της κατάλληλης εναλλακτικής, μεταξύ των λύσεων ενός προβλήματος, εμπλέκονται διάφοροι παράγοντες. Η διαδικασία των πολυκριτηριακών λήψεων αποφάσεων (Multiple Criteria Decision Making, M.C.D.M.) έχει ως σκοπό την επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής λαμβάνοντας υπόψη του παράγοντες αυτούς. Για τον λόγο αυτό, το παρόν κεφάλαιο παραθέτει τις κυριότερες κατηγορίες των μεθόδων πολυκριτηριακών λήψεων αποφάσεων. Στην συνέχεια, αφού περιγράφονται οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί στον ενεργειακό σχεδιασμό, αναλύεται η πολυκριτηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εφαρμογή.

4.1. Κατηγορίες Μεθόδων Πολυκριτηριακών Λήψεων Αποφάσεων

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι M.C.D.M., οι οποίοι διαφέρουν στο θεωρητικό υπόβαθρο, στον τύπο των ερωτήσεων που θέτονται και στον τύπο των αποτελεσμάτων που παράγουν. Σύμφωνα με τον Belton V. και Stewart T.J. (2002), οι μέθοδοι αυτοί διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

i. Συστήματα αξιών, Value measurement models

Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος αυτή, μία αξία V δίνεται σε κάθε εναλλακτική λύση. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται μια σειρά προτίμησης για τις εναλλακτικές, όπως π.χ. η εναλλακτική a προτιμάται έναντι της b ($a > b$) μόνο εάν $V(a) > V(b)$. Επιπλέον, δίνονται βάρη, w , στα κριτήρια με σκοπό να τονιστεί η σημαντικότητα κάθε κριτηρίου στο τελικό αποτέλεσμα. Η περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση είναι μια λειτουργία πρόσθετης αξίας, που περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V(\alpha) = \sum_{i=1}^m w_i u_i(\alpha),$$

όπου $u_i(\alpha)$ μια μερική πρόσθετη αξία, η οποία περιγράφει την συμπεριφορά της εναλλακτικής α στο κριτήριο i . Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, υπολογίζεται μια συνολική αξία $V(\alpha)$ για κάθε εναλλακτική α . Τελικά προτιμάται η εναλλακτική με την μεγαλύτερη αξία V (Loken E., 2007).

ii. Μοντέλα στόχου, Goal, aspiration and reference level model

Χρησιμοποιώντας τα μοντέλα αυτά, προτιμώνται οι εναλλακτικές οι οποίες είναι πλησιέστερες στο επιδιωκόμενο στόχο. Συχνά, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στην αρχική φάση μια μεθόδου πολυκριτηριακής λήψης απόφασης, όπου υπάρχει

μεγάλος αριθμός εναλλακτικών. Μαθηματικά, τα μοντέλα αυτά επιδιώκουν την λύση της ανισότητας

$$z_i + \delta_i \geq g_i,$$

όπου z_i είναι η τιμή του χαρακτηριστικού, δ_i η μη μηδενική αποκλίνουσα μεταβλητή και g_i το επιθυμητό επίπεδο απόδοσης για κάθε κριτήριο i . Ο σκοπός είναι η εύρεση της λύσης, η οποία ελαχιστοποιεί το διάνυσμα των μεταβλητών. Η βέλτιστη λύση είναι αυτή που δίνει $\delta_i=0$ για όλα τα i . Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί, επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του σταθμισμένου αθροίσματος των μεταβλητών $\sum_{i=1}^m w_i \delta_i$, όπου w_i είναι το βάρος και δ_i είναι η απόκλιση του κριτηρίου (Loken E., 2007).

Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος αυτής της κατηγορίας είναι η τεχνική προσέγγισης κατά την ομοιότητα με την ιδανική λύση- the technique for order preference by similarity to ideal solution (T.O.P.S.I.S.). Στην προσέγγιση αυτή, οι εναλλακτικές λύσεις συγκρίνονται με την ιδανική και τη μη ιδανική λύση. Τελικά, επιλέγεται η λύση με το μεγαλύτερο βαθμό σχετικής εγγύτητας προς την ιδανική λύση. Η εγγύτητα αυτή είναι ένα ποσοστό της Ευκλείδειας απόστασης με την ιδανική και τη μη ιδανική λύση (Loken E., 2007).

iii. Μέθοδοι σχέσεων υπεροχής, Outranking models

Στις μεθόδους αυτές, οι εναλλακτικές συγκρίνονται κατά ζεύγη και ελέγχεται ποια από αυτές είναι προτιμότερη με βάση κάθε κριτήριο. Αφού συγκεντρωθούν οι πληροφορίες προτίμησης για όλα τα κριτήρια, το μοντέλο αποφασίζει σε ποιο βαθμό μία από τις εναλλακτικές μπορεί να υπερέχει έναντι μιας άλλης. Μία εναλλακτική a υπερέχει έναντι μιας εναλλακτικής b όταν η a είναι το λιγότερο όσο καλή όσο η b , λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια (Loken E., 2007).

Οι μέθοδοι σχέσεων υπεροχής διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Electre
- Promethee

Οι μέθοδοι Electre συμβιβάζουν δύο διαδικασίες: την κατασκευή σχέσεων υπεροχής ακολουθούμενη από μια διαδικασία αξιοποίησης.

Η κατασκευή σχέσεων υπεροχής στοχεύει στην σύγκριση κάθε ζευγαριού ενεργειών. Η διαδικασία αξιοποίησης επεξεργάζεται τις συστάσεις των αποτελεσμάτων της προηγούμενης διαδικασίας. Η φύση των συστάσεων εξαρτάται από την φύση του προβλήματος (Figueira J., 2005).

Στις μεθόδους Promethee, οι εναλλακτικές συγκρίνονται κατά ζεύγη, για να συντεθεί μια προτιμώμενη λειτουργία για κάθε κριτήριο. Με βάση την λειτουργία αυτή, αποφασίζεται ένας δείκτης προτίμησης της μίας εναλλακτικής έναντι της άλλης. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των προτιμήσεων για κάθε ξεχωριστό κριτήριο και χρησιμοποιείται για την κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων (Loken E., 2007).

4.2. Πολυκριτηριακές Λήψεις Αποφάσεων και Ενεργειακός Σχεδιασμός

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακών λήψεων αποφάσεων χρησιμοποιούνται ευρέως στον ενεργειακό σχεδιασμό. Για κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους, παρουσιάζονται οι τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό αυτό.

i. Συστήματα αξιών, Value measurement models

Τα συστήματα αξιών έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στον ενεργειακό σχεδιασμό, ειδικότερα για τη κατάταξη ενεργειακών τεχνολογιών ή στρατηγικών. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι η Ιεραρχική αναλυτική μέθοδος-Analytical hierarchical process (A.H.P.) και η Θεωρία της χρησιμότητας- Multi attribute utility theory (M.A.U.T.) (Loken E., 2007).

Η Θεωρία της χρησιμότητας έχει πλήθος πλεονεκτημάτων στη διαδικασία των πολυκριτηριακών λήψεων αποφάσεων. Η διαδικασία αξιολόγησης των λειτουργιών χρησιμότητας έχει ως αποτέλεσμα την αναγνώριση των σημαντικότερων θεμάτων και την αξιολόγηση των εναλλακτικών. Σύμφωνα με τους Siskos J. και Hubert P. (1983), η θεωρία της χρησιμότητας παρουσιάζει πολλές επιπλοκές στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, ειδικότερα όσον αφορά την εκτίμηση των πιθανοτήτων. Παρόλα αυτά η Θεωρία της χρησιμότητας είναι από τις λίγες μεθόδους που σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για τον χειρισμό αβεβαιοτήτων.

Ο κύριος λόγος που η ιεραρχική αναλυτική μέθοδος είναι τόσο δημοφιλής, είναι η απλότητα, η ευελιξία και η ικανότητά της να διαχειρίζεται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά κριτήρια. Ωστόσο, η μέθοδος έχει και κάποια μειονεκτήματα, με σημαντικότερο ότι είναι αρκετά χρονοβόρα, κυρίως όταν είναι μεγάλος ο αριθμός των εναλλακτικών λύσεων (Ramanathan R. και Ganesh L.S. , 1995).

ii. Μοντέλα στόχου, Goal, aspiration and reference level model

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι μέθοδοι της κατηγορίας αυτής, για τον ενεργειακό σχεδιασμό είναι (Loken E., 2007):

- Method of the displaced ideals
- Step method
- Η Τεχνική προσέγγισης κατά την ομοιότητα με την ιδανική λύση- the technique for order preference by similarity to ideal solution (T.O.P.S.I.S.)

Τα μοντέλου στόχου είναι λιγότερο υποκειμενικά από ότι την θεωρία αξιών και χρησιμότητας. Επιπλέον, τα μοντέλα στόχου προσφέρουν μια απλή διαδικασία κατά την λήψη απόφασης. Παρόλα αυτά, τα μοντέλα αυτά παρουσιάζουν προβλήματα που αφορούν την ανάθεση βαρών, τον προσδιορισμό των στόχων και την κανονικοποίηση των μεταβλητών. Τέλος, επειδή στα μοντέλα στόχου, κάθε κριτήριο πρέπει να συνδέεται με ένα χαρακτηριστικό που ορίζεται σε μια μετρίσιμη κλίμακα, τα μοντέλα δεν είναι σε θέση να διαχειριστούν μη ποσοτικά κριτήρια. Οπότε, τα μοντέλα στόχου πρέπει να συνδυαστούν και με άλλες τεχνικές, σε περίπτωση που πρέπει να συμπεριληφθούν και ποιοτικά κριτήρια (Loken E., 2007).

Σύμφωνα με τους Pohekar S.D. και Ramachandran M. (2004), η μέθοδος step είναι η μοναδική η οποία επιτρέπει την απευθείας σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Παρόλα αυτά, απαιτεί από τη διαδικασία των πολυκριτηριακών λήψεων αποφάσεων να είναι σε θέση να καθορίσει ακριβώς τους στόχους, σε κάθε επανάληψη.

iii. Μέθοδοι σχέσεων υπεροχής, Outranking models

Οι μέθοδοι σχέσεων υπεροχής χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στον ενεργειακό σχεδιασμό. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές, της κατηγορίας αυτής, είναι: Promethee II και Electre III. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των μεθόδων σχέσεων υπεροχής είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν τις αβεβαιότητες που θα προκύψουν με διάφορους τρόπους καθώς επίσης και ότι η αναπαράσταση των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών είναι ευκολότερο να κατανοηθούν από αποτελέσματα άλλων μεθόδων όπως για παράδειγμα της Θεωρία αξιών (M.A.V.T.) (Loken E., 2007).

iv. Συνδυασμός μεθόδων

Για την επίλυση ενεργειακών προβλημάτων, σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ο συνδυασμός κάποιων από των παραπάνω μεθόδων. Οι δύο δημοφιλέστεροι συνδυασμοί είναι:

- A.H.P. – PROMETHEE II
- A.H.P. – T.O.P.S.I.S.

Ο συνδυασμός δύο μεθόδων είναι πιθανό να διευκολύνει την διαδικασία λήψης απόφασης, καθώς χρησιμοποιούνται οι δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων (Loken E., 2007).

Στον Πίνακα 9 ομαδοποιούνται τα επιστημονικά άρθρα που χρησιμοποιούν τις παραπάνω πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης απόφασης στον ενεργειακό τομέα.

Πίνακας 9: Πολυκριτηριακές μέθοδοι στον ενεργειακό σχεδιασμό

Πολυκριτηριακή Μέθοδος	Επιστημονικά Άρθρα
AHP	<ul style="list-style-type: none"> • Tzeng G.H., Shiau T.A., Lin C.Y.(1992) • Yang H.T., Chen S.L (1989)
MAUT	<ul style="list-style-type: none"> • Buehring W.A., Foell W.K., Keeney R.L. (1978) • Pan J., Teklu Y., Rahman S., de Castro A. (2000)
GP	<ul style="list-style-type: none"> • Hobbs B.F., Meier P.M. (1994) • Mirasgedis S., Diakoulaki D. (1997) • Oliveira C., Antunes C.H. (2004)
STEP	<ul style="list-style-type: none"> • Pokharel S., Chandrashekar M. (1998)
TOPSIS	<ul style="list-style-type: none"> • Yang H.T., Chen S.L. (1989)
PROMETHEE III	<ul style="list-style-type: none"> • Georgopoulou E., Sarafidis Y., Diakoulaki D. (1998) • Haralambopoulos D.A., Polatidis H.,(2002) • Tzeng G.H., Shiau T.A., Lin C.Y.(1992)
ELECTRE III	<ul style="list-style-type: none"> • Beccali M., Cellura M., Ardente D. (1998) • Beccali M., Cellura M., Mistretta M. (2003) • Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L. (1997) • Siskos J., Hubert P. (1983)
AHP-PROMETHEE III	<ul style="list-style-type: none"> • Tzeng G.H., Shiau T.A., Lin C.Y.(1992)
AHP-TOPSIS	<ul style="list-style-type: none"> • Yang H.T., Chen S.L (1989)

4.3. Πολυκριτηριακή Μέθοδος της Παρούσας Εφαρμογής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η πολυκριτηριακή μέθοδος που επιλέχτηκε, είναι η μέθοδος υπεροχής Electre Tri.

Οι μέθοδοι Electre δημιουργήθηκαν ως εναλλακτική λύση των μεθόδων χρησιμότητας και αξίας. Οι μέθοδοι της κατηγορίας αυτής βασίζονται στην δημιουργία μιας σχέσης υπεροχής S , όπου ο τύπος a^*S^*b υποδηλώνει ότι η εναλλακτική a υπερέχει της εναλλακτικής b (η a είναι το λιγότερο όσο καλή όσο η b). Για την κατασκευή των σχέσεων υπεροχής, ακολουθούνται οι εξής βασικές αρχές (Sanchez-Lozano J.M., Antunez C.H., Garcia-Cascales M.S., Dias L.S., 2014):

- Η αρχή της συμφωνίας: Μια σημαντική πλειοψηφία των κριτηρίων πρέπει να συμφωνούν ότι η εναλλακτική a είναι το λιγότερο όσο καλή όσο η b .
- Η αρχή της μη-ασυμφωνίας: Όταν ισχύει η αρχή της συμφωνίας τότε κανένα από τα κριτήρια της μειονότητας δεν έρχεται σε έντονη αντίθεση με τον ισχυρισμό ότι a^*S^*b .

Όσον αφορά τη μέθοδο Electre Tri, χρησιμοποιείται στην ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων ενός προβλήματος. Τα τελευταία δύο χρόνια έχουν εκδοθεί επιστημονικά άρθρα που αφορούν την χρήση της μεθόδου αυτής στον ενεργειακό σχεδιασμό (π.χ. Sanchez-Lozano J.M., Garcia-Cascales M.S., Lamata M.T. (2014), *Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain*).

Οι βασικοί παράμετροι της μεθόδου Electre tri είναι:

- Πρότυπα αναφοράς (b_n): Τα πρότυπα αυτά ορίζουν τα ανώτερα και κατώτερα όρια των κατηγοριών όπου πρόκειται να ταξινομηθούν οι εναλλακτικές.
- Κατώφλια αδιαφορίας (a_j): Το κατώφλι αδιαφορίας είναι μια τιμή κάτω από την οποία είναι αδιάφορη η σύγκριση μεταξύ μιας εναλλακτικής και ενός προτύπου αναφοράς.
- Κατώφλια προτίμησης (p_j): Το κατώφλι προτίμησης είναι μια τιμή πάνω από την οποία μια εναλλακτική προτιμάται ξεκάθαρα έναντι ενός προτύπου αναφοράς.
- Βάρη κριτηρίων (k_j): Το βάρος ενός κριτηρίου καθορίζει την σημασία του κριτηρίου αυτού σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Τα κυριότερα στάδιά της μεθόδου απεικονίζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 16.

Εικόνα 16 : Στάδια της μεθόδου Electre Tri

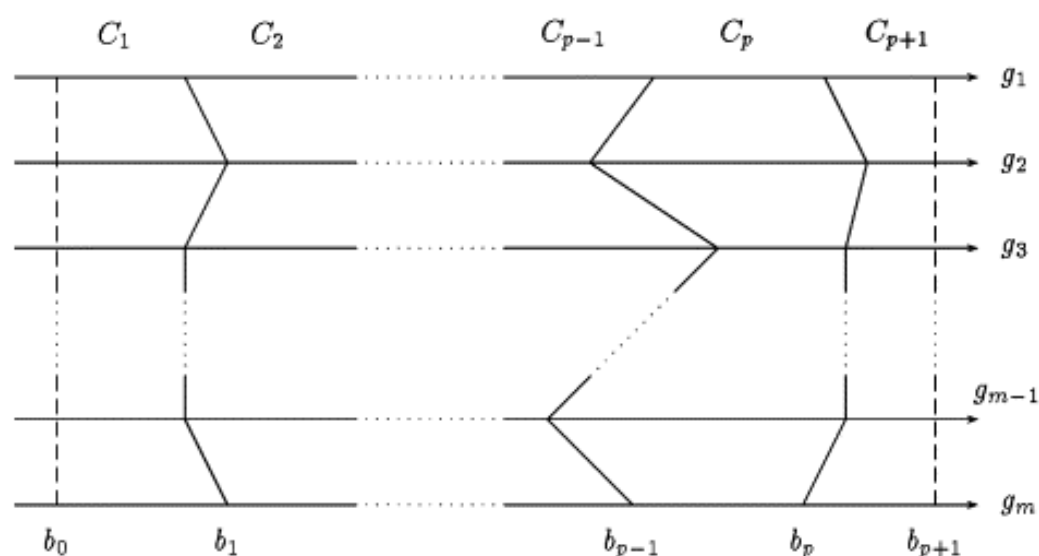


Πηγή: Sanchez-Lozano J.M., Antunez C.H., Garcia-Cascales M.S., Dias L.S., 2014

Τα στάδια περιγράφονται αναλυτικά στην συνέχεια (Sanchez-Lozano J.M., Antunez C.H., Garcia-Cascales M.S., Dias L.S., 2014):

- Η εκχώρηση μιας εναλλακτικής λύσης σε μια συγκεκριμένη κατηγορία πραγματοποιείται εγκαθιδρύοντας μια σχέση υπεροχής μεταξύ της εναλλακτικής και των προτύπων αναφοράς που περιγράφουν τη κατηγορία αυτή. Κάθε πρότυπο αναφοράς b_h είναι το πάνω όριο της κατηγορίας C_h και το κάτω όριο της κατηγορίας C_{h+1} (Εικόνα 17).

Εικόνα 17: Κατηγορίες και πρότυπα αναφοράς



Πηγή: Sanchez-Lozano J.M., Antunez C.H., Garcia-Cascales M.S., Dias L.S., 2014

- Οι δείκτες συμφωνίας με τα κριτήρια δείχνουν το βαθμό με τον οποίο κάθε κριτήριο συμφωνεί με τον ισχυρισμό ότι $a_i * S * b_h$, λαμβάνοντας υπόψη την αδιαφορία (q_j) καθώς και την προτίμηση (p_j) των κατωφλίων, τα οποία χαρακτηρίζουν την αποδοχή της ακρίβειας στην απόφαση. Εάν η απόδοση του a_i σε ένα κριτήριο g_j ($g_j(a_i)$) είναι η ίδια ή καλύτερη με την απόδοση του b_h

$(g_j(b_h))$ στο ίδιο κριτήριο, τότε το κριτήριο αυτό συμφωνεί με τον ισχυρισμό $\alpha_i * S * b_h$. Το κριτήριο αυτό μπορεί να συμφωνεί με τον παραπάνω ισχυρισμό ακόμα και αν η $g_j(g_j(a_i))$ είναι ελάχιστη χειρότερη από τη $(g_j(b_h))$. Αυτό συμβαίνει εάν η διαφορά μεταξύ των επιμέρους επιδόσεων των εναλλακτικών είναι μικρότερη από τη g_j , οπότε οι a_i και b_h θεωρούνται αδιάφορες ως προς το κριτήριο αυτό. Εάν η $g_j(a_i)$ είναι μικρότερη από την $g_j(b_h)$ με μια διαφορά που είναι μεγαλύτερη από την q_j αλλά μικρότερη από την p_j , τότε το κριτήριο g_j συμφωνεί μερικώς με τον ισχυρισμό $\alpha_i * S * b_h$. Η μετάβαση μεταξύ αδιαφορίας και προτίμησης είναι γραμμική.

Ο δείκτης συμφωνίας για ένα δεδομένο κριτήριο $c_j(\alpha_i, b_h)$, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$c_j(\alpha_i, b_h) = 0 \Leftrightarrow p_j \leq g_j(b_h) - g_j(\alpha_i)$$

$$0 < c_j(\alpha_i, b_h) = \frac{g_j(\alpha_i) + p_j - g_j(b_h)}{p_j - q_j} < 1 \Leftrightarrow q_j < g_j(b_h) - g_j(\alpha_i) < p_j$$

$$c_j(\alpha_i, b_h) = 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - g_j(\alpha_i) \leq q_j$$

- Ο γενικός δείκτης συμφωνίας ποσοτικοποιεί την σχετική σημασία της ομάδας των κριτηρίων που συμφωνούν με τον ισχυρισμό $\alpha_i * S * b_h$. Το βάρος που αποδίδεται σε κάθε κριτήριο (k_j) ερμηνεύεται ως δύναμη ψήφου στις παραπάνω ομάδες. Οι γενικοί δείκτες συμφωνίας καθορίζονται σύμφωνα με το δείκτη συμφωνίας για κάθε κριτήριο:

$$C(\alpha_i, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^m k_j * c_j(\alpha_i, b_h)}{\sum_{j=1}^m k_j}$$

- Η σχέση συμφωνίας συμπληρώνεται με μια σχέση ασυμφωνίας που χρησιμοποιεί το βέτο (v_j) και τη προτίμηση (p_j) των κατωφλίων με σκοπό να καθορίσει τον βαθμό με τον οποίο κάθε κριτήριο διαφωνεί με τον ισχυρισμό $\alpha_i * S * b_h$. Ο δείκτης ασυμφωνίας υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$d_j(\alpha_i, b_h) = 0 \Leftrightarrow g_j(\alpha_i) \geq g_j(b_h) - p_j$$

$$0 < d_j(\alpha_i, b_h) = \frac{g_j(b_h) - g_j(\alpha_i) - p_j}{v_j - p_j} < 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - v_j < g_j(\alpha_i) < g_j(b_h) - p_j$$

$$d_j(\alpha_i, b_h) = 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - v_j(b_h) \geq g_j(\alpha_i)$$

- Ο βαθμός αξιοπιστίας είναι ένας δείκτης ο οποίος εξετάζει από κοινού τους συνολικούς δείκτες συμφωνίας $C(\alpha_i, b_h)$ και ασυμφωνίας $d_j(\alpha_i, b_h)$, έτσι ώστε να εκφράσει σε ποιο βαθμό το α υπερέχει του b_h . Η έκφραση που παρατίθεται παρακάτω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του βαθμού αξιοπιστίας.

$$\sigma_S(\alpha_i, b_h) = C(\alpha_i, b_h) * (1 - \max_{j \in \{1, \dots, m\}} d_j(\alpha_i, b_h)).$$

- Η σχέση υπεροχής μεταξύ μιας ενδεχόμενης ενέργειας a και ενός προτύπου αναφοράς b_h βασίζεται στον βαθμό αξιοπιστίας και σε ένα σταθερό επίπεδο κοπής λ , το οποίο αντιστοιχεί στη χαμηλότερη τιμή του βαθμού αξιοπιστίας, από την οποία ο ισχυρισμός ότι το a υπερέχει του b_h είναι έγκυρος. Ο ισχυρισμός αυτός ενισχύεται ($a_i * S * b_h$) μόνο όταν $\sigma_s(a_i, b_h) \geq \lambda$.
- Μόλις γίνει η σύγκριση μιας εναλλακτικής a_i με το πρότυπο αναφοράς b_h , στην μέθοδο Electre Tri, υπάρχουν δύο τρόποι για την κατάταξη μιας εναλλακτικής a_i σε μια κατηγορία. Η σύγκριση της εναλλακτικής λύσης με το πρότυπο αναφοράς μπορεί να ακολουθήσει είτε μια αισιόδοξη είτε μια απαισιόδοξη διαδικασία.
 1. Αισιόδοξη διαδικασία: Στην διαδικασία αυτή πραγματοποιούνται συγκρίσεις της εναλλακτικής a_i διαδοχικά με τα διαφορετικά πρότυπα αναφοράς, ξεκινώντας από το χειρότερο πρότυπο, με σκοπό την εύρεση του προτύπου b_h για το οποίο ισχύει: $a_i * S * b_h$. Αφού βρεθεί το πρότυπο αυτό, η εναλλακτική λύση κατατάσσεται στην κατηγορία C_h .
 2. Απαισιόδοξη διαδικασία: Η αξιολόγηση του ισχυρισμού $a_i * S * b_h$ γίνεται διαδοχικά για τα διαφορετικά πρότυπα αναφοράς, ξεκινώντας από το καλύτερο πρότυπο, με σκοπό την εύρεση του προτύπου b_h , για το οποίο ο ισχυρισμός αυτός επαληθεύεται. Τότε, η εναλλακτική a_i κατατάσσεται στην κατηγορία C_{h+1} .

Η αισιόδοξη διαδικασία χρησιμοποιείται κυρίως στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να δώσει κάποιο πλεονέκτημα σε συγκεκριμένες εναλλακτικές που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Με την ολοκλήρωση της παρουσίασης των απαραίτητων εργαλείων για την εύρεση και αξιολόγηση των περιοχών χωροθέτησης αιολικού πάρκου, στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί η εφαρμογή τους στην περιοχή μελέτης που επιλέχτηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΖΑΚΥΝΘΟΥ

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου για την εύρεση και αξιολόγηση των θέσεων χωροθέτησης χερσαίου αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου.

Αρχικά, περιγράφεται ο νομός Ζακύνθου, που αποτελεί την περιοχή μελέτης. Στην συνέχεια, αναλύεται το προτεινόμενο γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο για την χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου. Μετέπειτα, αφού δίνονται τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιούνται στο μεθοδολογικό πλαίσιο, προσδιορίζονται οι υποψήφιες θέσεις χωροθέτησης με την βοήθεια συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών, σύμφωνα με τα κριτήρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία. Τέλος, γίνεται εφαρμογή της πολυκριτηριακής μεθόδου για την αξιολόγηση και ιεράρχηση των υποψήφιων θέσεων, με βάση μια ομάδα κριτηρίων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή χαρτών.

5.1. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης που επιλέχτηκε για την χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου είναι ο νομός Ζακύνθου, λόγω των ιδιαίτερων φυσικών και πολιτισμικών χαρακτηριστικών του. Αυτά περιλαμβάνουν πολλές περιοχές προστασίας της φύσης, πλούσιους φυσικούς πόρους και πλήθος αρχαιολογικών χώρων.

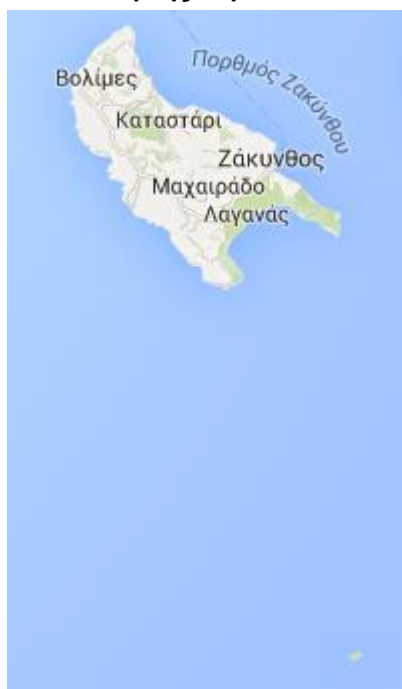
Ο νομός Ζακύνθου, που περιλαμβάνει τη Ζάκυνθο, τις γειτονικές της νησίδες και τις Στροφάδες, ανήκει στην περιφέρεια Ιωνίων Νήσων. Ο μοναδικός δήμος του νησιού είναι αυτός της Ζακύνθου που δημιουργήθηκε από την συνένωση των δήμων Ζακυνθίων, Αλυκών, Ελατίων, Αρτεμισίων, Αρκαδίων και Λαγανά σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης. Η έκταση του νομού είναι 407.58 τ.χλμ και ο πληθυσμός του 40.759 κάτοικοι (απογραφή 2011). Έδρα του δήμου είναι η Ζάκυνθος. Το νησί της Ζακύνθου είναι το ενδέκατο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας, σε έκταση.

Στην Εικόνα 18 και στην Εικόνα 19 απεικονίζεται ο νομός Ζακύνθου καθώς και η θέση του στην χώρα.

Εικόνα 18: Θέση νομού Ζακύνθου στην Ελλάδα Εικόνα 19: Χάρτης νομού Ζακύνθου



Πηγή: Arc Map 10.1



Πηγή: Google Maps

5.1.1. Υποδομές-Δίκτυα

Στον τομέα των υποδομών και δικτύων στη Ζάκυνθο συμπεριλαμβάνεται το οδικό δίκτυο, τα λιμάνια, οι αερολιμένες και οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Οδικό δίκτυο**

Η κυριότερη οδική αρτηρία του νομού της Ζακύνθου είναι η εθνική οδός Ζακύνθου-Κερίου (Ε.Ο. 35), η οποία εκτείνεται νότιο-ανατολικά του νησιού. Έχει μήκος 15 χιλιόμετρα και εκτός από τους δύο αυτούς οικισμούς, συνδέει το αεροδρόμιο του νησιού με τη πόλη της Ζακύνθου. Βόριο-ανατολικά του νησιού εκτείνεται η επαρχιακή οδός Ζακύνθου-Βολιμών. Η επαρχιακή, αυτή, οδός εξυπηρετεί τους κατοίκους των αστικών περιοχών που διασχίζει όπως τις Ορθονιές και το Καταστάρι. Τέλος, μικρότεροι αλλά αρκετά σημαντικοί οδοί που διασχίζουν το νησί είναι η επαρχιακή οδός Ελεούσας, η επαρχιακή οδός Μαχαιράδου-Αναφωνήτριας και η επαρχιακή οδός Λιθακιάς-Αγαλά.

Οι κυριότερες οδικές αρτηρίες του νομού φαίνονται στην Εικόνα 20.

Εικόνα 20: Κυριότεροι οδικοί άξονες νομού Ζακύνθου



Πηγή: mykosmos.gr

- **Λιμάνια**

Το μεγαλύτερο λιμάνι του νομού βρίσκεται στην πόλη της Ζακύνθου. Το λιμάνι αυτό συνδέει το νησί με την Κυλλήνη, την Ηγουμενίτσα καθώς και με το Μπρίντζεζι της Ιταλίας. Το λιμάνι που βρίσκεται στον Άγιο Νικόλαο συνδέει την Ζάκυνθο με την Κεφαλονιά καθώς και τον οικισμό του Αγίου Νικολάου με την παραλία Ναυάγιο. Τέλος, σε όλη την έκταση του νομού υπάρχουν αρκετά λιμάνια (π.χ. στη Σταμφάνη) και μαρίνες, κατάλληλα για χρήση μόνο από ιδιωτικά σκάφη.

- **Αερολιμένες**

Όσον αφορά τις αεροπορικές μεταφορές, στη Ζάκυνθο λειτουργεί ο κρατικός αερολιμένας "Διονύσιος Σολωμός", 4 χλμ νότια της πόλης της Ζακύνθου, κοντά στον οικισμό Αμπελόκηποι. Υπάρχει καθημερινή αεροπορική σύνδεση του νησιού με το αεροδρόμιο "Ελευθέριος Βενιζέλος" της Αθήνας.

- **Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Σύμφωνα με τον Α.Δ.Μ.Η.Ε., το νησί της Ζακύνθου συνδέεται με υποβρύχια καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης (150 kV) με το νησί της Κεφαλονιάς και με το εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα, στην περιοχή της Κυλλήνης. Από το νησί διέρχεται γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας 150 kV (απλού κυκλώματος), η οποία συνδέει τα υποβρύχια καλώδια με τον υποσταθμό 150/20 kV, που βρίσκεται

στην πόλη της Ζακύνθου. Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 21: Σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Ζακύνθου



Πηγή: Α.Δ.Μ.Η.Ε., 2013

5.1.2. Χρήσεις γης

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)¹² το 51,74% της συνολικής έκτασης του νομού, καλύπτεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις και το 9,41% από βοσκοτόπους. Οι εκτάσεις των οικισμών και τα δάση αντιπροσωπεύουν το 2,37% και 32,96% της συνολικής έκτασης αντίστοιχα. Τέλος, το 0,12% του νομού Ζακύνθου καλύπτεται από νερά και το 3,4% από άλλες χρήσεις.

¹² Στοιχεία σε ηλεκτρονική μορφή από geodata.gov.gr (περίοδος 1999-2000)

5.1.3. Προστατευόμενες περιοχές

- **Εθνικά πάρκα**

Το εθνικό θαλάσσιο πάρκο Ζακύνθου έχει έκταση 135.000 στρέμματα¹³ και περιλαμβάνει τον κόλπο του Λαγανά που βρίσκεται στην περιοχή Παντοκράτορα, στις νότιες ακτές του νησιού. Είναι το πρώτο πάρκο που ιδρύθηκε στην Μεσόγειο για την προστασία της χελώνας καρέτα-καρέτα και περιλαμβάνει τις ακόλουθες περιοχές:

- Θαλάσσια έκταση κόλπου Λαγανά
- Νησίδες κόλπου Λαγανά
- Παραλίες ωτοκίας χελώνας καρέτα-καρέτα
- Υγροβιότοπος της λίμνης Κεριού
- Μαραθωνήσι
- Νήσοι Στροφάδες

- **Καταφύγια άγριας ζωής**

Ο νομός Ζακύνθου περιλαμβάνει 3 καταφύγια άγριας ζωής, τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10: Καταφύγια άγριας ζωής νομού Ζακύνθου

Αριθμός	Θέση	Περιφέρεια	Εποπτεύον Δασαρχείο	Κοινότητα
1	Στροφάδες	Ιονίου	Δ/νση δασών Ζακύνθου	Ζακυνθίων
2	Στροφάδες	Ιονίου	Δ/νση δασών Ζακύνθου	Ζακυνθίων
3	Βραχίωνα	Ιονίου	Δ/νση δασών Ζακύνθου	Γυρίου-Μαριών

Πηγή: Geodata, 2010

- **Περιοχές προστασίας της φύσης**

Στον νομό Ζακύνθου υπάρχει επίσης μια περιοχή προστασίας της φύσης, η οποία περιλαμβάνει τις εννέα ζώνες του εθνικού θαλάσσιου πάρκου Ζακύνθου που παρουσιάζονται στον πίνακα.

¹³ Φ.Ε.Κ. 906/Δ/22.12.1999

Πίνακας 11: Περιοχή Προστασίας της Φύσης νομού Ζακύνθου

Περιοχή προστασίας της φύσης	Φ.Ε.Κ.
Ζώνες Α2, Α3, Ια, Ιβ, Π1, Π2, Π3, Υ και Υ' εθνικού θαλάσσιου πάρκου Ζακύνθου	Π.Δ., Φ.Ε.Κ. 906/Δ/22.12.1999

- **Περιοχές απόλυτης προστασίας της φύσης**

Στη Ζάκυνθο εντοπίζεται μια ζώνη του εθνικού θαλάσσιου πάρκου, η οποία ανήκει στις περιοχές απόλυτης προστασίας της φύσης. Η ζώνη αυτή παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12: Περιοχή απόλυτης προστασίας της φύσης νομού Ζακύνθου

Περιοχή απόλυτης προστασίας της φύσης	Φ.Ε.Κ.
Ζώνη Α1 εθνικού θαλάσσιου πάρκου Ζακύνθου	Π.Δ., Φ.Ε.Κ. 906/Δ/22.12.1999

- **Βιογενετικά αποθέματα**

Ο κόλπος Λαγανά έχει χαρακτηριστεί ως βιογενετικό απόθεμα, με σκοπό την διατήρηση της φυσικής αυτής περιοχής.

- **Σημαντικές περιοχές για τα πουλιά**

Σύμφωνα με τη Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία, στην δυτική και βόρεια Ζάκυνθο καθώς και στις νήσους Στροφάδες, έχουν καταγραφεί σημαντικές περιοχές για τα πουλιά, με σκοπό την προστασία των απειλούμενων ειδών.

- **Περιοχές Natura 2000**

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία για την διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας χλωρίδας και πανίδας (92/43/Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (Ε.Ο.Κ.)), απαραίτητη θεωρήθηκε η δημιουργία δικτύου προστατευόμενων περιοχών με την ονομασία Natura 2000. Το δίκτυο Natura διακρίνεται στις ειδικές ζώνες διατήρησης (92/43/Ε.Ο.Κ.) και στις ζώνες ειδικής προστασίας για τα πουλιά (79/409/Ε.Ο.Κ.).

- i. **Ειδικές ζώνες διατήρησης**

Στον νομό της Ζακύνθου εντοπίζονται οι ακόλουθες δύο ειδικές ζώνες διατήρησης (Ε.Ζ.Δ.):

Πίνακας 13: Ειδικές ζώνες διατήρησης νομού Ζακύνθου

Κωδικός	Κατηγορία	Όνομασία Τόπου	Έκταση (στρέμματα)
GR2210002	Ε.Ζ.Δ	Κόλπος Λαγανά Ζακύνθου (Ακρωτήριο Γερακάρι-Κερί) και νησίδες Μαραθωνήσι και Πελούζο	69.577
GR2210003	Ε.Ζ.Δ.	Νήσοι Στροφάδες	5.254,3

Πηγή: Φ.Ε.Κ. 60/Α/31.3.2011

ii. Ζώνες ειδικής προστασίας

Στον νομό της Ζακύνθου βρίσκονται δύο ζώνες ειδικής προστασίας (Ζ.Ε.Π.), που παρατίθενται παρακάτω:

Πίνακας 14: Ζώνες ειδικής προστασίας νομού Ζακύνθου

Κωδικός	Κατηγορία	Όνομασία Περιοχής	Έκταση (στρέμματα)
GR2210001	Ζ.Ε.Π./Ε.Ζ.Δ.	Δυτικές και Βορειοανατολικές ακτές Ζακύνθου	214.192,4
GR2210004	Ζ.Ε.Π.	Νησίδες Σταμφάνη και Άρπυια (Στροφάδες)	1.360,1

Πηγή: Φ.Ε.Κ. 1495/Β/06.09.2010

5.1.4. Πολιτιστικά στοιχεία

Η πολιτισμική κληρονομιά της Ζακύνθου περιλαμβάνει πλήθος αρχαιολογικών χώρων και μνημείων, οι οποίοι φαίνονται στο Παράρτημα C .

5.1.5. Ενεργειακά χαρακτηριστικά νομού Ζακύνθου

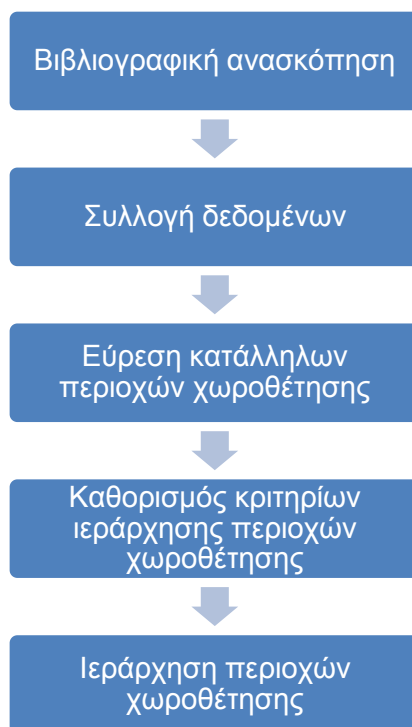
Στον νησί της Ζακύνθου λειτουργεί σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ισχύ 27 MW (Δ.Ε.Η., 2001), στη πρωτεύουσα του νησιού.

Σχετικά με τις ενεργειακές ανάγκες του νομού Ζακύνθου, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι 183.660 kWh (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2012). Η κατανάλωση αυτή του νομού, κατανέμεται σε 51% για εμπορική χρήση, 36,1% για οικιακή χρήση, 5,1% για χρήση από τις δημόσιες και δημοτικές αρχές, 1,9% για βιομηχανική χρήση, 5,5% για φωτισμό των οδών και 0,4% για γεωργική χρήση.

5.2. Μεθοδολογία

Στην συνέχεια, αναλύεται το μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται για την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης χερσαίου αιολικού πάρκου. Τα στάδια του πλαισίου αυτού παρουσιάζονται στην Εικόνα 22.

Εικόνα 22: Διαγραμματική απεικόνιση μεθοδολογίας



- Αρχικά, πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τον σκοπό του μεθοδολογικού πλαισίου. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται η ελληνική νομοθεσία και τα κριτήρια που διέπουν την χωροθέτηση αιολικού πάρκου.
- Στην συνέχεια, συλλέγονται τα δεδομένα που αφορούν την περιοχή μελέτης και σχετίζονται με τους περιορισμούς της νομοθεσίας.
- Η εύρεση των κατάλληλων περιοχών για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου πραγματοποιείται στο περιβάλλον ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών. Οι περιοχές και ζώνες αποκλεισμού που θέτει η νομοθεσία διαγράφονται από την περιοχή μελέτης, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του συστήματος αυτού. Αποτέλεσμα του παρόντος σταδίου είναι η εύρεση των κατάλληλων, σύμφωνα με την νομοθεσία, περιοχών για χωροθέτηση αιολικού πάρκου.
- Στο στάδιο αυτό επιλέγονται τα κριτήρια για την ιεράρχηση των περιοχών χωροθέτησης. Τα κριτήρια αυτά προκύπτουν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του ανανεώσιμου

πόρου, την προστασία του περιβάλλοντος και την αποφυγή συγκρούσεων με τις υφιστάμενες χρήσεις γης.

- Τέλος, ιεραρχούνται οι περιοχές χωροθέτησης με βάση τα παραπάνω κριτήρια. Η ιεράρχηση αυτή πραγματοποιείται με την χρήση πολυκριτηριακής μεθόδου λήψης απόφασης και Σ.Γ.Π. με σκοπό την οπτική απόδοση των αποτελεσμάτων.

5.3. Θεματικά Επίπεδα

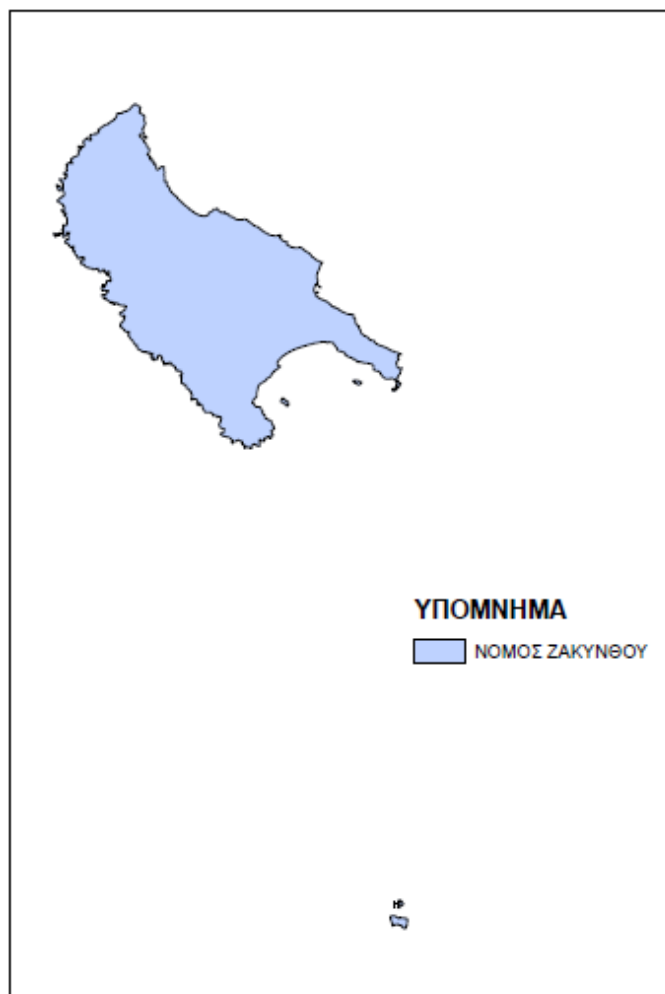
Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, απαραίτητος είναι ο ορισμός των θεματικών επιπέδων που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης. Ως θεματικό επίπεδο ορίζεται το σύνολο των στοιχείων που περιγράφουν το ίδιο αντικείμενο. Τα θεματικά επίπεδα χρησιμοποιούνται για την εξεύρεση των κατάλληλων θέσεων χωροθέτησης αιολικού πάρκου. Τα επίπεδα αυτά, τα οποία εισάγονται σε διανυσματική (σημειακή, γραμμική, πολυγωνική) μορφή σε περιβάλλον ArcGIS, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 15: Θεματικά επίπεδα μεθοδολογίας

Θεματικά Επίπεδα	Μορφής Εισαγωγής στο ArcGIS	Πηγή Δεδομένων
Περιοχή μελέτης	Πολυγωνική	Geodata.gov.gr
Οικισμοί	Σημειακή	Geodata.gov.gr
Αρχαιολογικοί χώροι- μνημεία	Σημειακή	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α.	Σημειακή	Υ.Π.Ε.Κ.Α.
Εθνικό πάρκο	Πολυγωνική	Geodata.gov.gr
Περιοχές Natura 2000	Πολυγωνική	Geodata.gov.gr
Κάλυψη γης Corine 2000	Πολυγωνική	Geodata.gov.gr
Οδικό δίκτυο	Γραμμική	Geodata.gov.gr
Δίκτυο ηλεκτροδότησης	Γραμμική	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

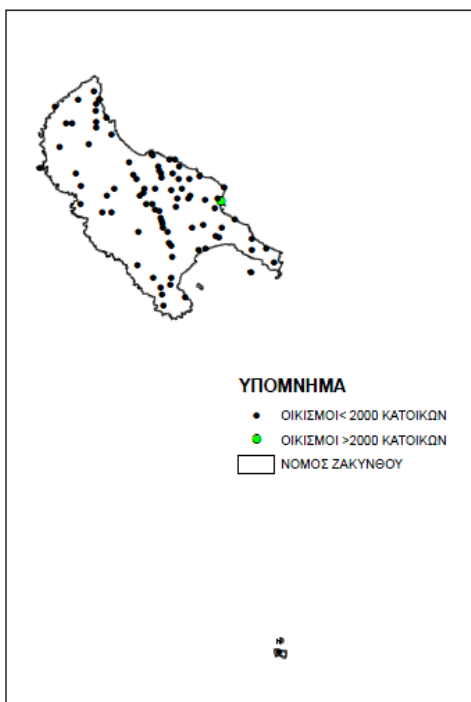
Στους παρακάτω χάρτες, απεικονίζονται τα θεματικά επίπεδα της παρούσας διπλωματικής, σε διανυσματική μορφή.

Εικόνα 23: Περιοχή μελέτης



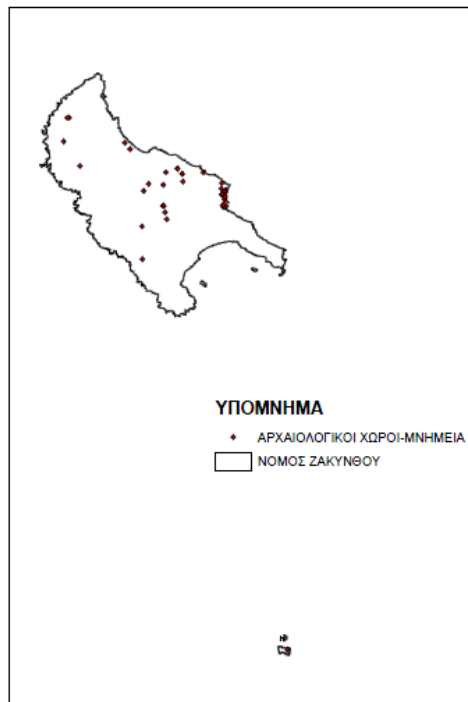
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 24: Οικισμοί



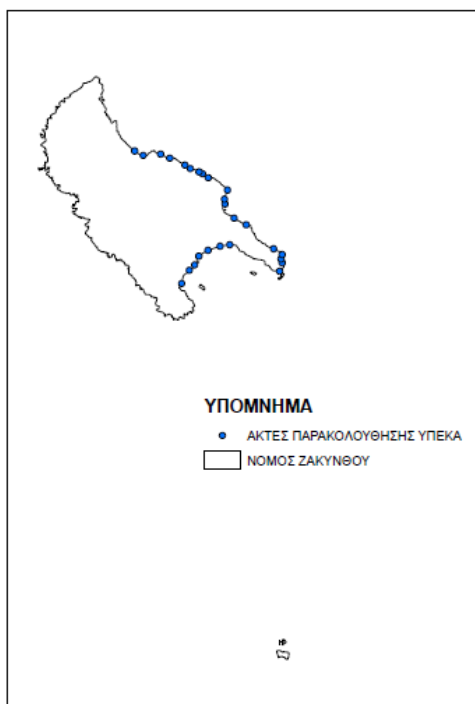
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 25: Αρχαιολογικοί χώροι-μνημεία



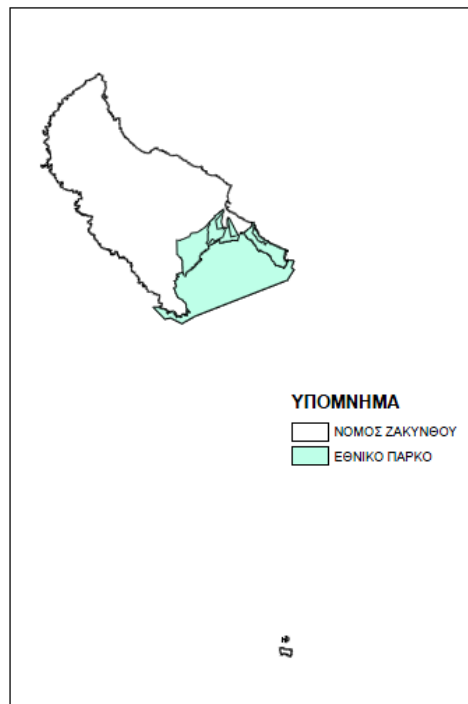
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 26: Ακτές κολύμβησης του προγράμματος του Υ.Π.Ε.Κ.Α



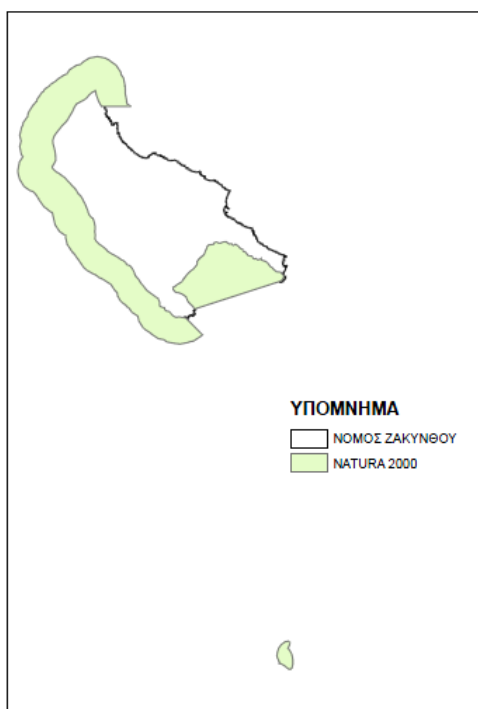
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 27: Εθνικό πάρκο



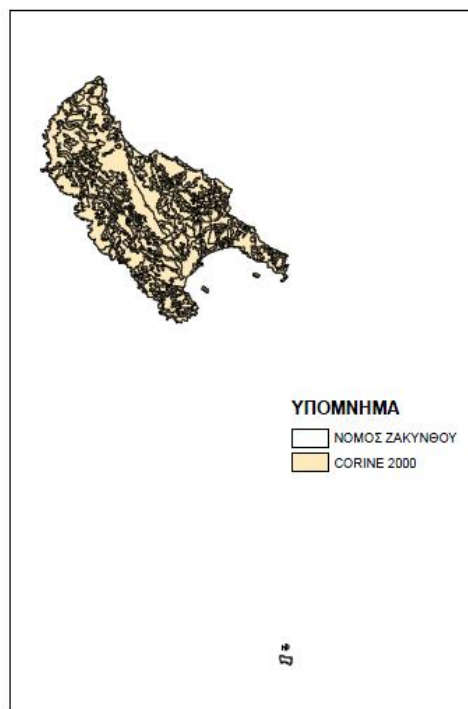
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 28: Περιοχές Natura 2000



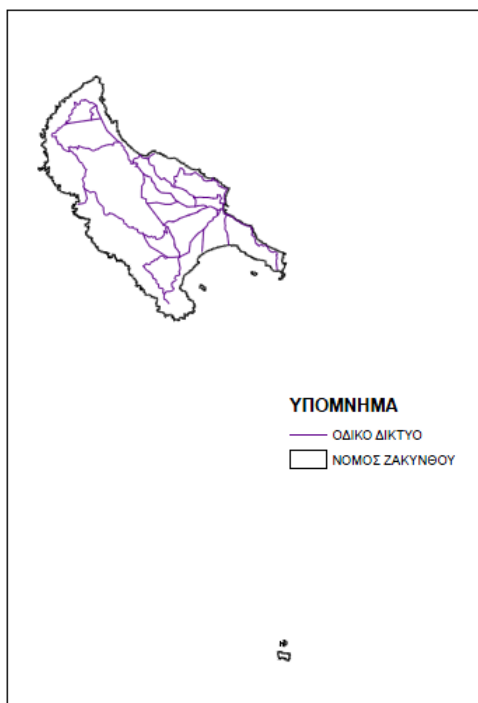
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 29: Κάλυψη γης Corine 2000



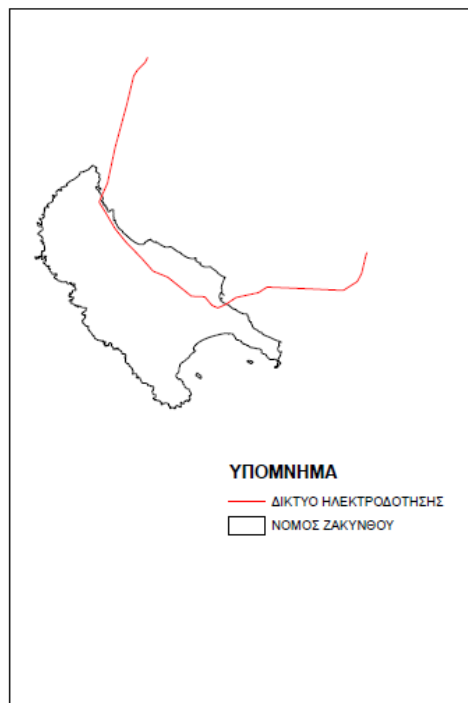
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 30: Οδικό δίκτυο



Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 31: Δίκτυο ηλεκτροδότησης



Πηγή: Arc Map 10.1

5.4. Κατάλληλες Περιοχές για Χωροθέτηση

Το πρώτο στάδιο της πρακτική εφαρμογής είναι η εύρεση των κατάλληλων περιοχών για τη χωροθέτηση του αιολικού πάρκου. Για τον σκοπό αυτό, θα ληφθούν υπόψη τα κριτήρια που αναφέρονται στο πλαίσιο Κ.Υ.Α. 49828/2008. Το πλαίσιο αυτό, αφορά το χωροταξικό σχεδιασμό και τη αειφόρο ανάπτυξη για τις Α.Π.Ε.

5.4.1. Κριτήρια για χωροθέτηση

Έχει ήδη αναφερθεί, ότι το παράρτημα ΙΙ του παραπάνω πλαισίου παραθέτει τις αποστάσεις των αιολικών εγκαταστάσεων από γειτνιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής. Τα κριτήρια που αναφέρονται στο παράρτημα αυτό και σύμφωνα με τα οποία οριοθετούνται οι περιοχές αποκλεισμού, ομαδοποιήθηκαν στις παρακάτω κατηγορίες:

➤ Περιβαλλοντικά κριτήρια

Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά κριτήρια, αυτά σχετίζονται με την μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και την προστασία του φυσικού τοπίου. Σύμφωνα με το πλαίσιο, οι περιοχές Natura 2000 και τα εθνικά πάρκα αποκλείονται από την χωροθέτηση αιολικού πάρκου. Επιπλέον, οι ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α., αποτελούν περιοχές αποκλεισμού με ζώνη επιρροής 1500 μ.

➤ Πολιτιστικά Κριτήρια

Σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά, οι αρχαιολογικοί χώροι και τα μνημεία αποτελούν περιοχές αποκλεισμού με ζώνη επιρροής 500 μ.

➤ Οικιστικά Κριτήρια

Με βάση τα οικιστικά κριτήρια, οι οικισμοί με πληθυσμό μεγαλύτερο των 2000 κατοίκων και οι οικισμοί με πληθυσμό μικρότερο των 2000 κατοίκων αποτελούν περιοχές αποκλεισμού με ζώνη επιρροής 1000 μ. και 500 μ. αντίστοιχα.

➤ Κριτήρια Υποδομής

Με βάση τα κριτήρια υποδομής, η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας εγκατάστασης αιολικού πάρκου από το οδικό δίκτυο και τις γραμμές υψηλής τάσεως είναι 130 μ. (για τυπική ανεμογεννήτρια με διάμετρο της φτερωτής 85μ.). Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις αεροπλοΐας (κωδικός Corine: 124), αποτελούν περιοχές αποκλεισμού για τη χωροθέτηση αιολικού πάρκου.

➤ Παραγωγικά Κριτήρια

Τα παραγωγικά κριτήρια αναφέρουν ότι η αγροτική γη και οι λατομικές-εξορυκτικές ζώνες αποτελούν περιοχές αποκλεισμού με ζώνες επιρροής που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 16: Περιοχές αποκλεισμού και ζώνες επιρροής παραγωγικών κριτηρίων

Χρήση Γης	Κωδικός Corine	Ζώνη επιρροής
Αγροτική γη	211,221, 223,231,242,243	130 μ.
Λατομικές-εξορυκτικές ζώνες	131	500 μ.

Πηγή: Κ.Υ.Α. 49828/2008

5.4.2. Περιγραφή μοντέλου

Για την ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας και με σκοπό την εύρεση των κατάλληλων περιοχών για την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου στο νομό Ζακύνθου χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή model builder του προγράμματος Arc Map 10.1. Ο στόχος του μοντέλου αυτού είναι η εύρεση των υποψήφιων περιοχών για την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, αφού διαγραφούν οι αποκλειόμενες περιοχές και οι ελάχιστες αποστάσεις που θέτει η νομοθεσία. Η περιγραφή του μοντέλου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 32: Περιγραφή μοντέλου χωροθέτησης αιολικού πάρκου

Μοντέλο Χωροθέτησης

Title Μοντέλο Χωροθέτησης

Summary

Το μοντέλο αυτό έχει ως σκοπό την εύρεση των κατάλληλων περιοχών για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 49828/200

Illustration



Usage

Με την εισαγωγή των θεματικών επιπέδων και των ελάχιστων αποστάσεων από τον χρήστη, το μοντέλο ακολουθεί μια διαδικασία με πράξεις επικο που έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση των υποψήφιων περιοχών για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου στον δήμο Ζακύνθου.

Tags

model builder, χωροθέτηση αιολικού πάρκου

Credits

Μιλτιάδης Γιαννακόπουλος

Πηγή: Arc Catalog 10.1

5.4.3. Θεματικά επίπεδα μοντέλου

Στην αρχή της διαδικασίας, ο χρήστης πρέπει να εισάγει στο μοντέλο τα θεματικά επίπεδα της περιοχής μελέτης, σε διανυσματική μορφή, που ανταποκρίνονται στα κριτήρια της νομοθεσίας. Τα θεματικά επίπεδα αυτά είναι:

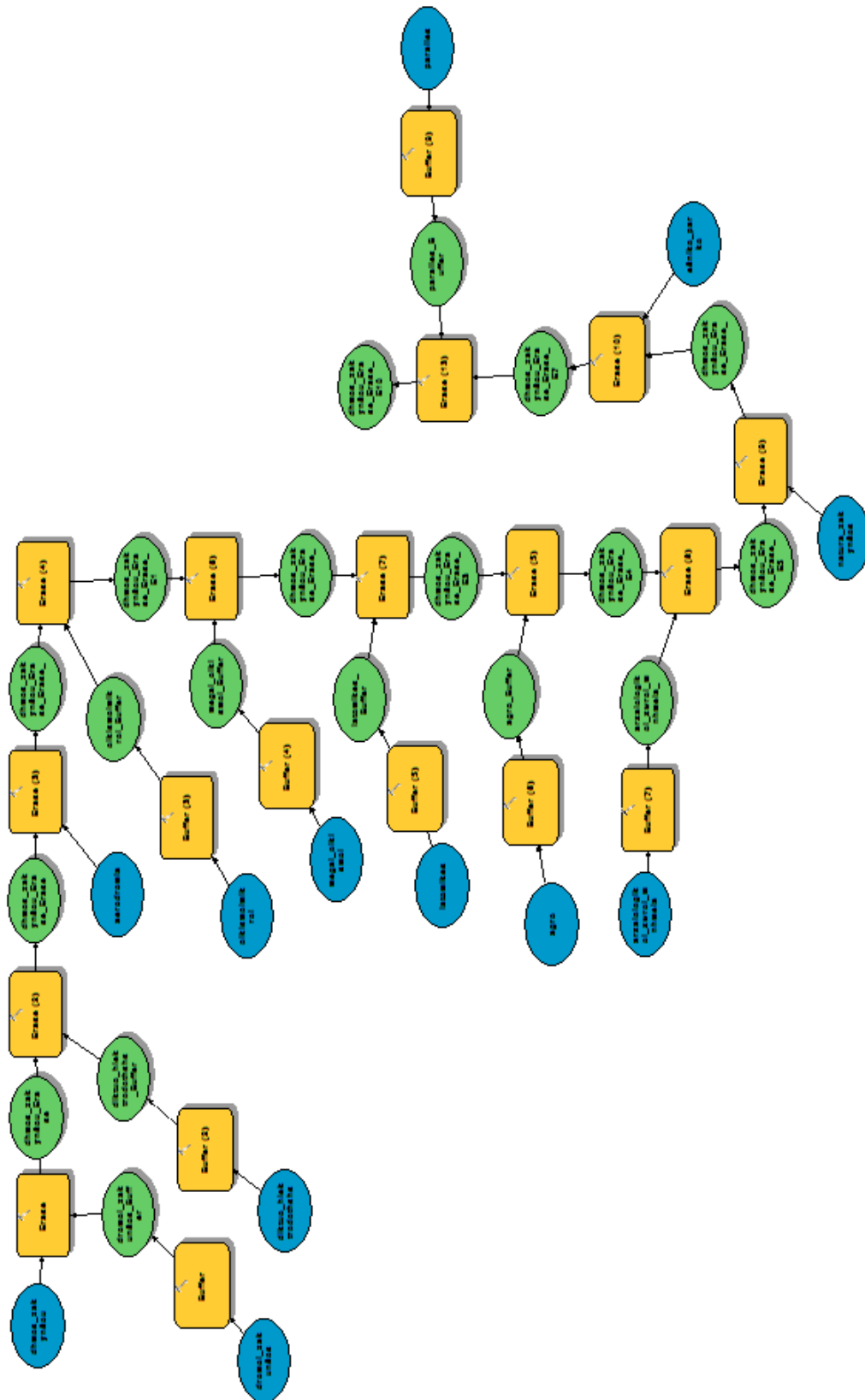
Πίνακας 17: Θεματικά επίπεδα μοντέλου

Θεματικά επίπεδα
Περιοχή μελέτης
Οικισμοί
Εθνικό πάρκο
Ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α.
Αρχαιολογικοί χώροι-μνημεία
Περιοχές Natura 2000
Κάλυψη γης Corine 2000
Οδικό δίκτυο
Δίκτυο ηλεκτροδότησης

5.4.4. Διαδικασία πράξεων επικάλυψης

Αφού εισαχθούν τα θεματικά επίπεδα στο μοντέλο, ξεκινά η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Ο χρήστης εισάγει την πράξη επικάλυψης που είναι απαραίτητη σε κάθε βήμα του μοντέλου καθώς και τις ελάχιστες αποστάσεις που θέτει η νομοθεσία. Το μοντέλο διαγράφει σταδιακά τις αποκλειόμενες περιοχές και μετά από την ολοκλήρωση των πράξεων επικάλυψης, εξάγει τις υποψήφιες περιοχές για χωροθέτηση. Στην Εικόνα 33 φαίνεται το διάγραμμα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Εικόνα 33: Μοντέλο χωροθέτησης



Πηγή: Arc Map 10.1

5.4.5. Περιοχές και ζώνες αποκλεισμού

Οι περιοχές και οι ζώνες αποκλεισμού που δημιουργούνται στο μοντέλο, προκύπτουν από τις ομάδες κριτηρίων που θέτει η νομοθεσία. Τα κριτήρια αυτά αφορούν περιβαλλοντικούς, οικιστικούς, παραγωγικούς και πολιτιστικούς παράγοντες καθώς και παράγοντες υποδομής.

Οι περιοχές και οι ζώνες αποκλεισμού περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

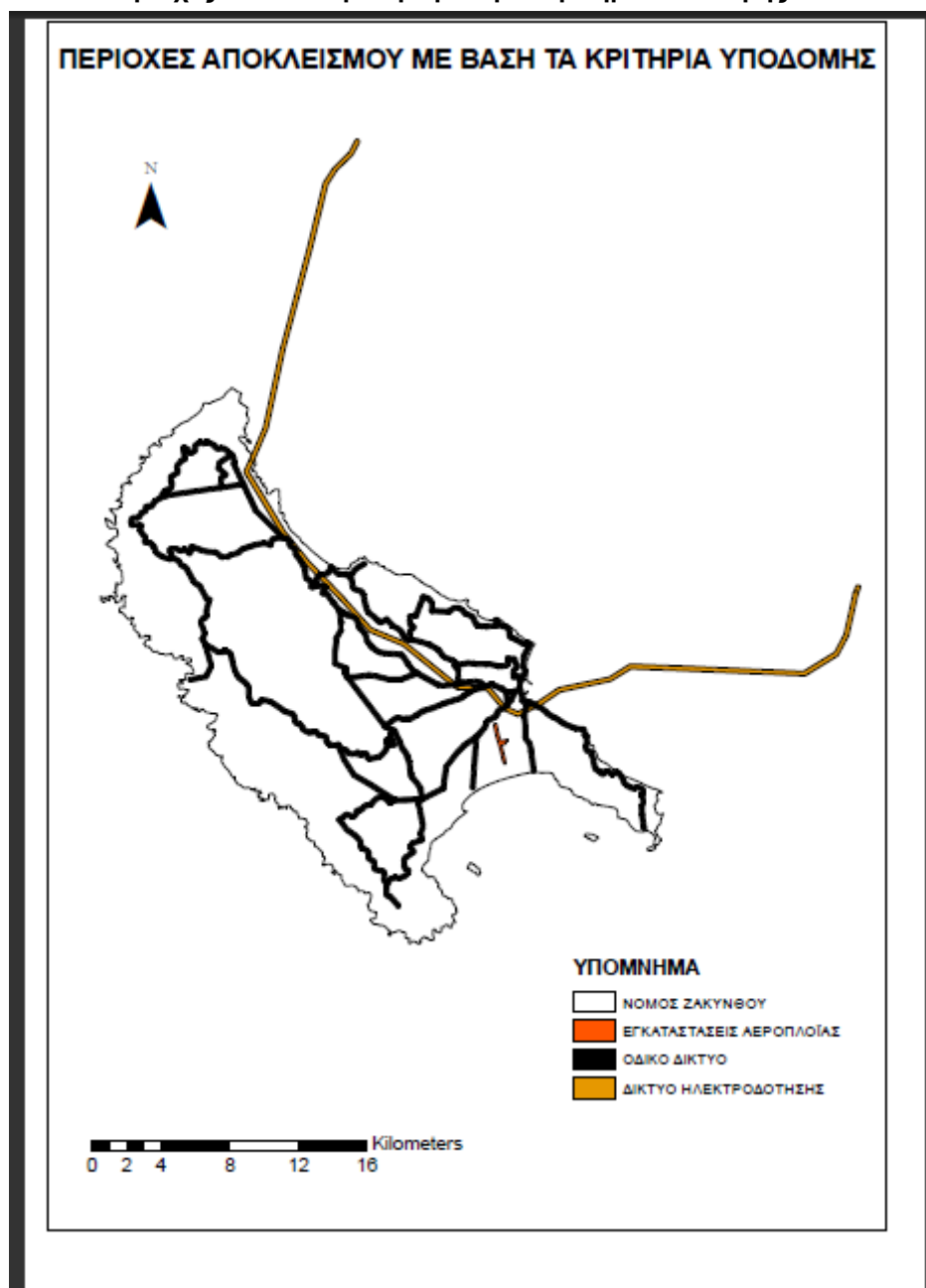
Πίνακας 18: Περιοχές και ζώνες αποκλεισμού

Περιβαλλοντικά Κριτήρια	
Δίκτυο Natura 2000	Περιοχή Αποκλεισμού
Εθνικό πάρκο	Περιοχή Αποκλεισμού
Ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α.	Ζώνη Αποκλεισμού 1500 μ.
Κριτήρια Υποδομής	
Οδικό δίκτυο	Ζώνη Αποκλεισμού 130 μ.
Δίκτυο ηλεκτροδότησης	Ζώνη Αποκλεισμού 130 μ.
Εγκαταστάσεις αεροπλοΐας	Περιοχή Αποκλεισμού
Οικιστικά Κριτήρια	
Οικισμοί άνω των 2000 κατοίκων	Ζώνη Αποκλεισμού 1000 μ.
Οικισμοί κάτω των 2000 κατοίκων	Ζώνη Αποκλεισμού 500 μ.
Παραγωγικά Κριτήρια	
Αγροτική γη	Ζώνη Αποκλεισμού 130 μ.
Λατομικές-εξωρυκτικές ζώνες	Ζώνη Αποκλεισμού 500 μ.
Πολιτιστικά Κριτήρια	
Αρχαιολογικοί χώροι-μνημεία	Ζώνη Αποκλεισμού 500 μ.

Αρχικά, στο μοντέλο δημιουργούνται οι περιοχές και οι ζώνες αποκλεισμού που αφορούν τα κριτήρια υποδομής, τα οικιστικά, τα παραγωγικά και τα πολιτιστικά κριτήρια. Τέλος, δημιουργούνται οι περιοχές και οι ζώνες που αφορούν τα περιβαλλοντικά κριτήρια.

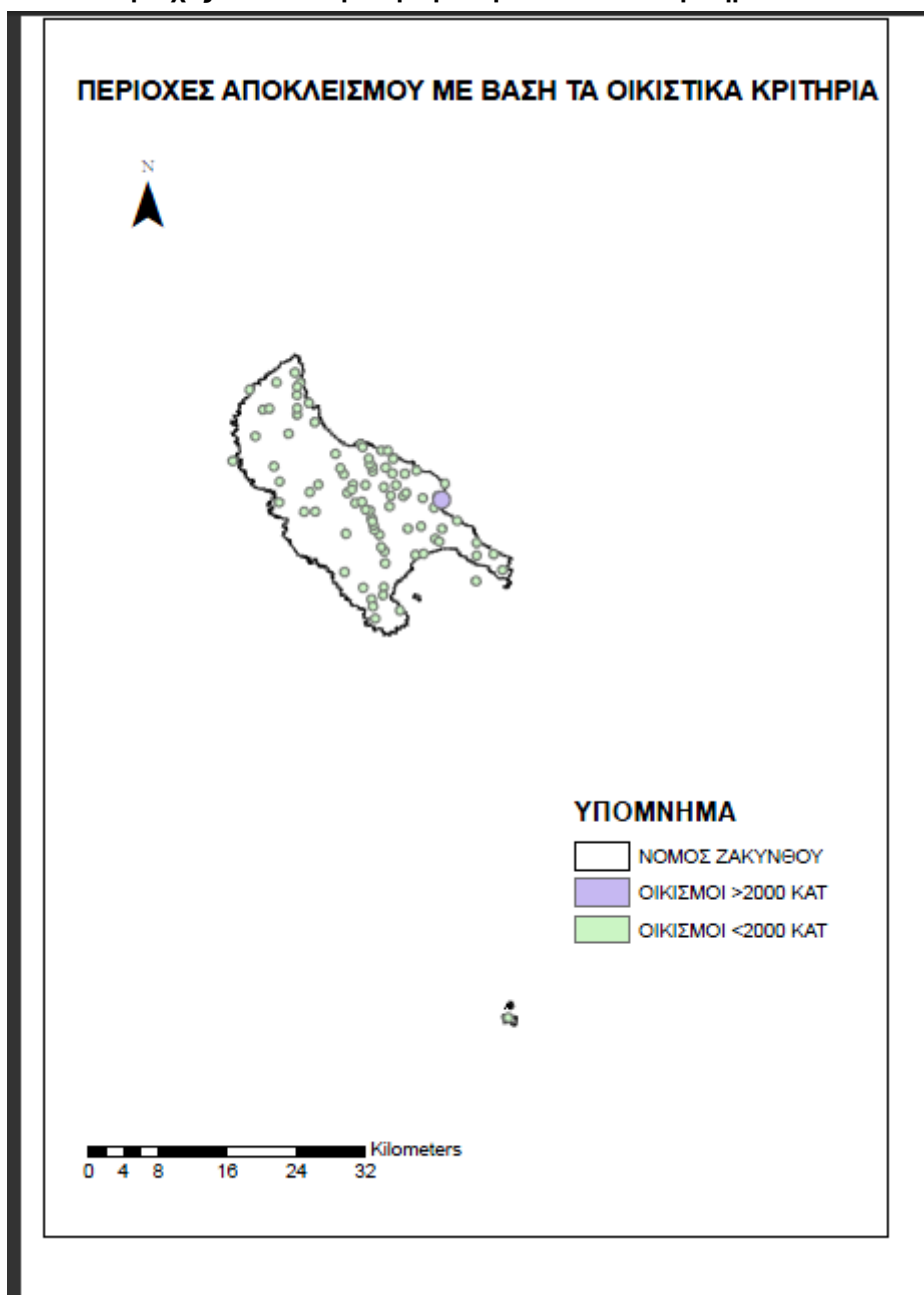
Στους παρακάτω χάρτες παρουσιάζονται οι περιοχές και οι ζώνες αποκλεισμού για τη χωροθέτηση αιολικού πάρκου, για κάθε ομάδα κριτηρίων.

Εικόνα 34: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα κριτήρια υποδομής



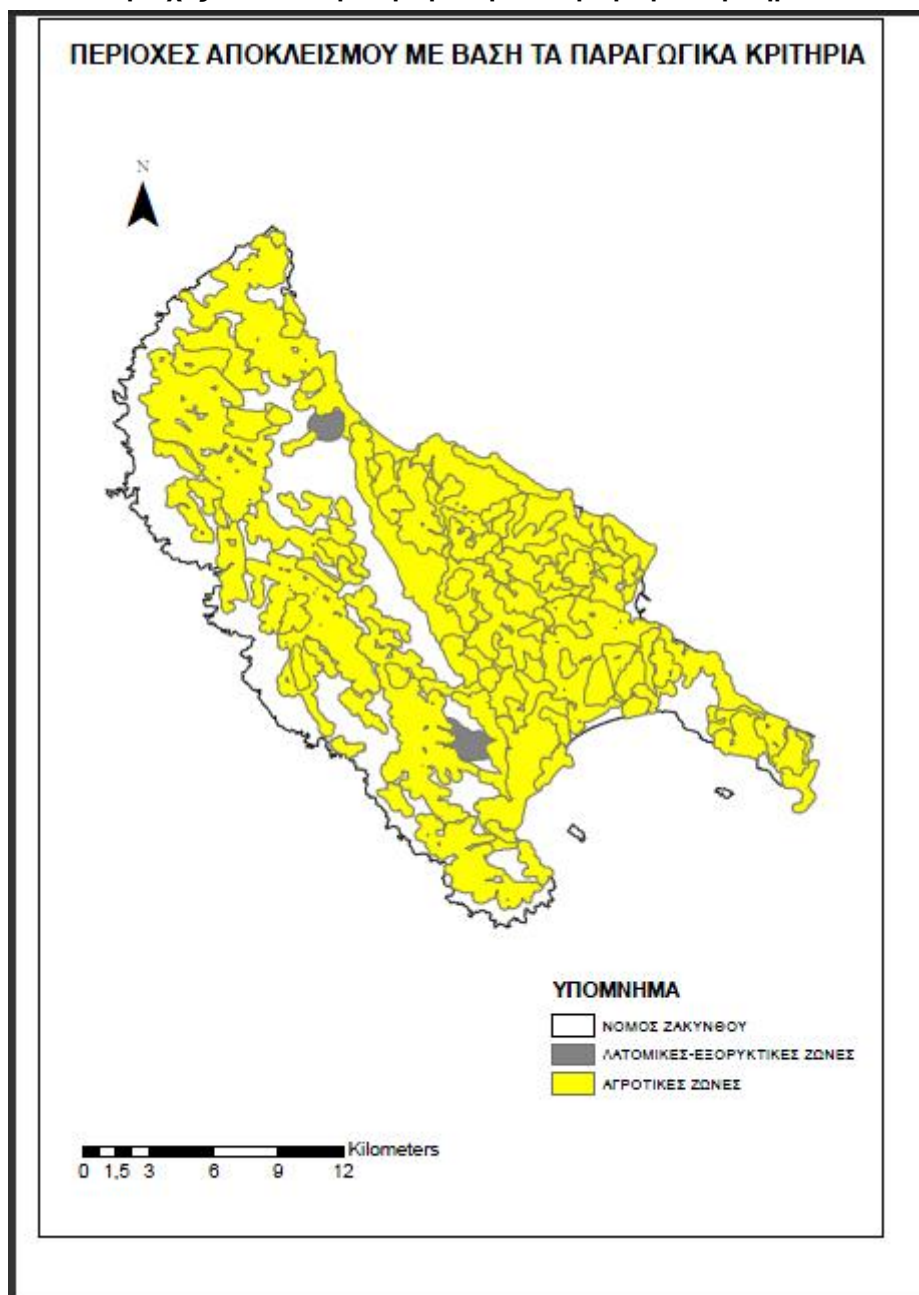
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 35: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα οικιστικά κριτήρια



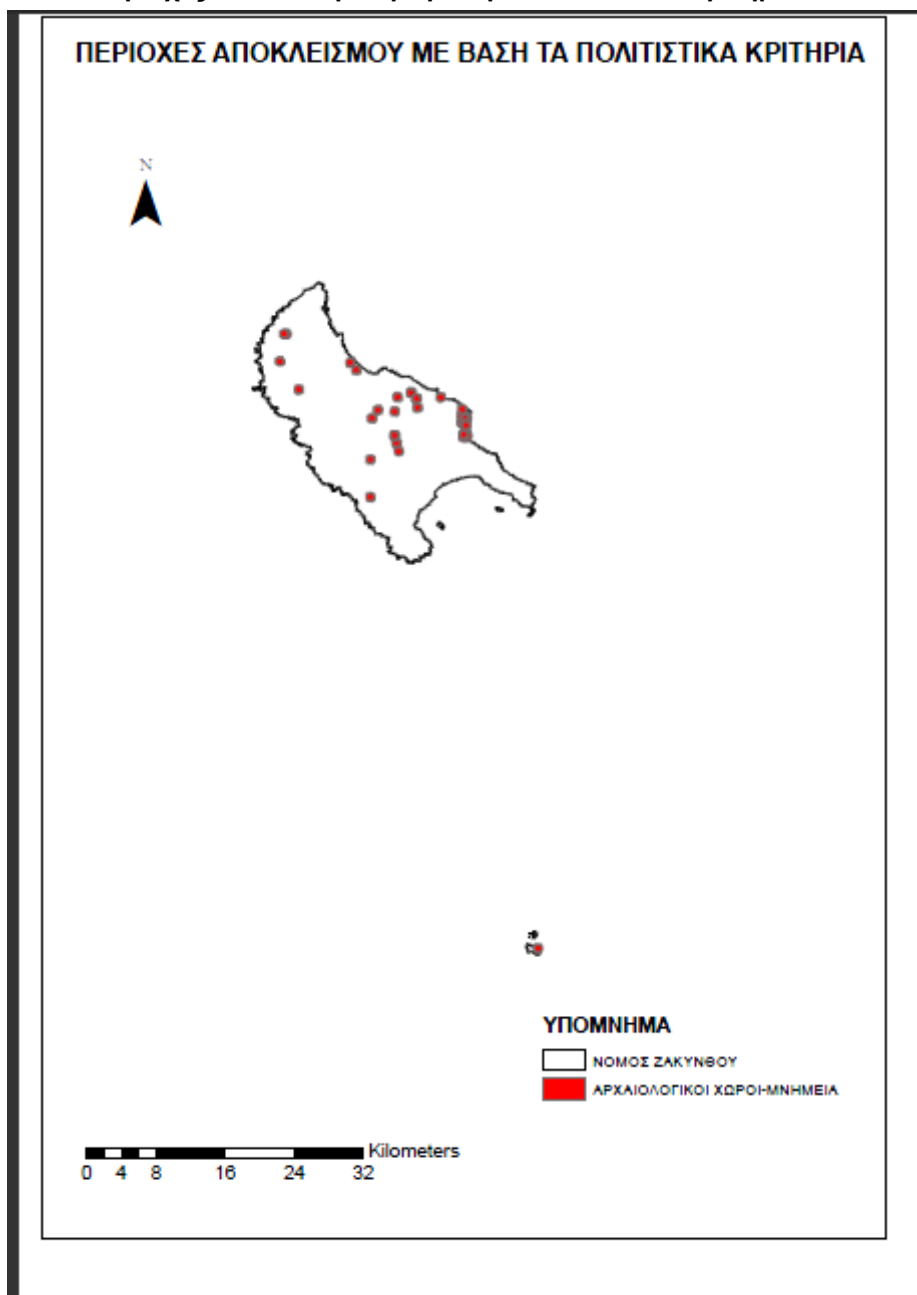
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 36: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα παραγωγικά κριτήρια



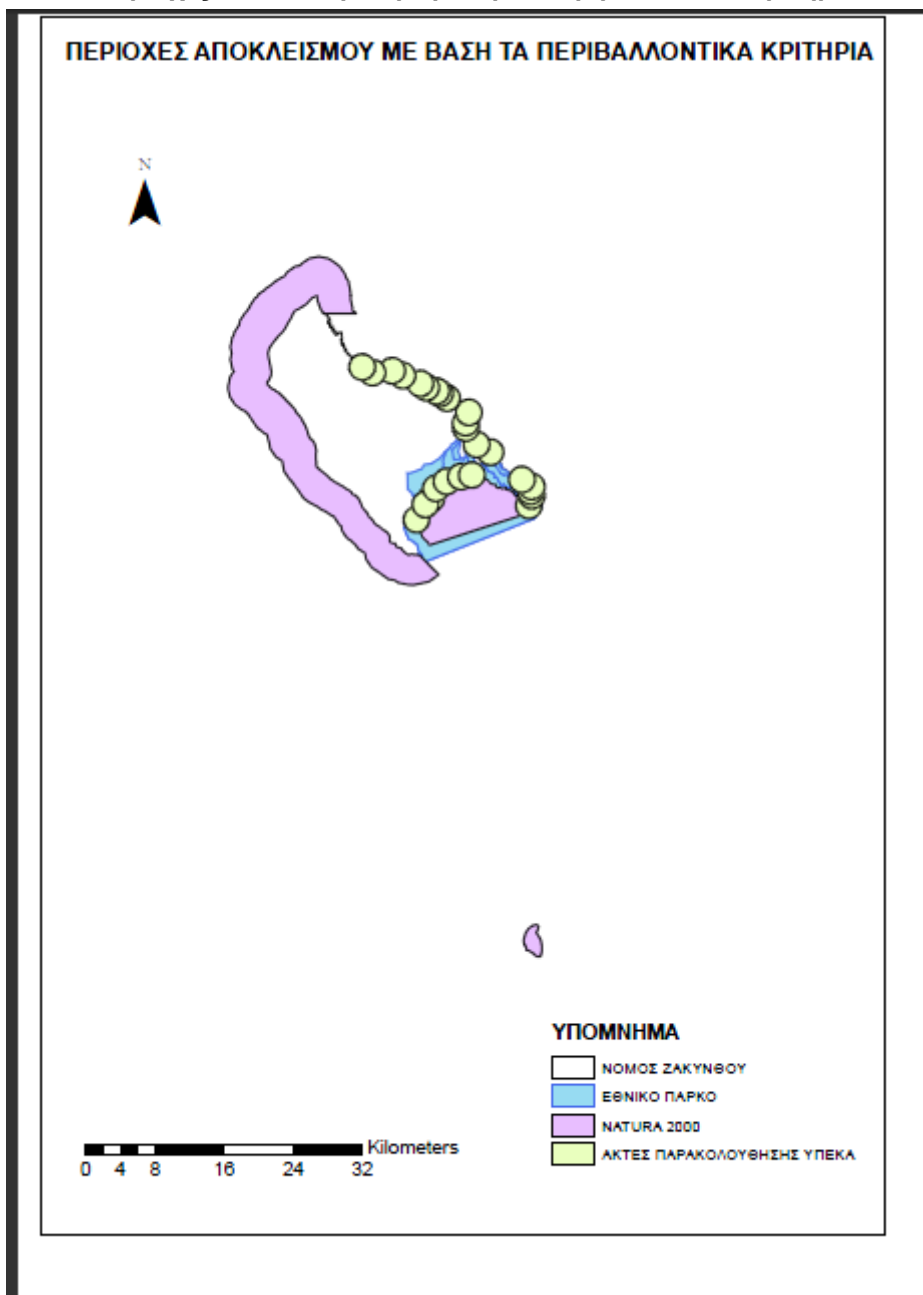
Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 37: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα πολιτιστικά κριτήρια



Πηγή: Arc Map 10.1

Εικόνα 38: Περιοχές αποκλεισμού με βάση τα περιβαλλοντικά κριτήρια



Πηγή: Arc Map 10.1

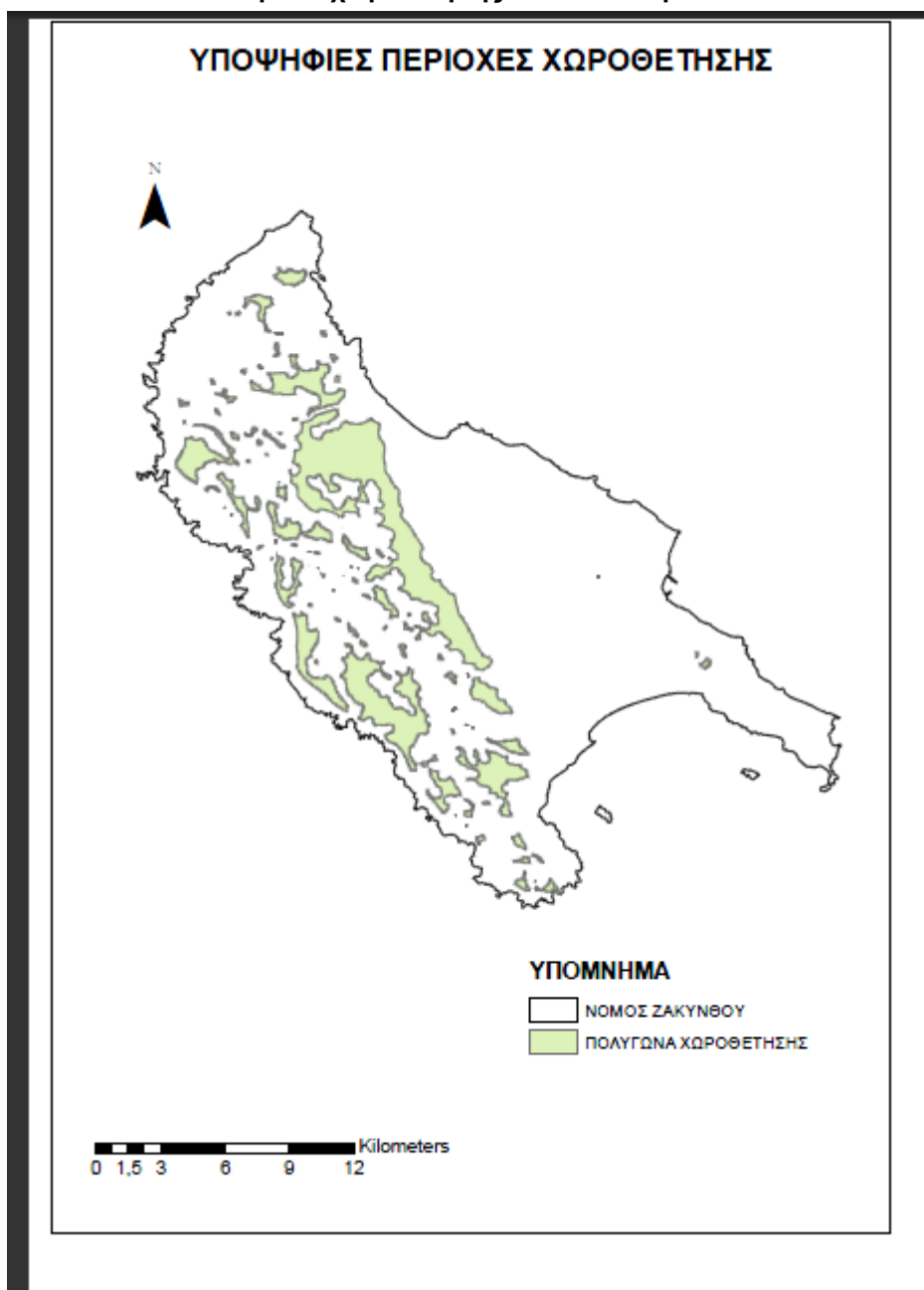
5.4.6. Τελικές περιοχές χωροθέτησης

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια που θέτει η νομοθεσία, διαγράφηκαν, σταδιακά, οι ασύμβατες περιοχές των κριτηρίων υποδομής και των οικιστικών, παραγωγικών, πολιτιστικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων από το νομό. Οι περιοχές αυτές έχουν συνολικό εμβαδόν 347,8 km² δηλαδή αντιπροσωπεύουν το 85,4% της περιοχής μελέτης.

Οι υπόλοιπες περιοχές, είναι οι κατάλληλες για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου, σύμφωνα με τα κριτήρια που θέτει η νομοθεσία. Οι περιοχές αυτές είναι 101 και έχουν συνολικό εμβαδόν 59,5 km², δηλαδή καταλαμβάνουν το 14,6% της συνολικής έκτασης του νομού.

Τα πολύγωνα των περιοχών αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη.

Εικόνα 39: Τελικά πολύγωνα χωροθέτησης αιολικού πάρκου



Πηγή: Arc Map 10.1

5.5. Ιεράρχηση Περιοχών Χωροθέτησης Αιολικού Πάρκου

Η διαδικασία της εύρεσης των κατάλληλων περιοχών χωροθέτησης αιολικού πάρκου, με βάση την ισχύουσα νομοθεσία, ακολουθείται από το στάδιο της ιεράρχησης των θέσεων αυτών σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια.

Η ιεράρχηση των περιοχών χωροθέτησης, ως προς την καταλληλότητα, αποτελεί ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα λήψης απόφασης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού επιλέχτηκε η μέθοδος υπεροχής Electre Tri. Ο σκοπός είναι η δημιουργία χάρτη που θα απεικονίζει την ιεράρχηση των περιοχών αυτών, ως προς την καταλληλότητα, σε τρεις κατηγορίες (C_1 , C_2 και C_3) με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Η πρώτη κατηγορία θα περιέχει τις περιοχές χωροθέτησης με υψηλό βαθμό καταλληλότητας ενώ η τρίτη κατηγορία θα περιέχει τις περιοχές χωροθέτησης με χαμηλό βαθμό καταλληλότητας. Η δεύτερη θα είναι μια ενδιάμεση κατηγορία.

Η μέθοδος Electre Tri είναι φιλική ως προς τον χρήστη, με την έννοια ότι μπορεί να συνδυαστεί με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, με σκοπό την οπτική απόδοση των αποτελεσμάτων.

5.5.1. Κριτήρια αξιολόγησης περιοχών χωροθέτησης

Χρησιμοποιώντας ως αναφορά τις διεθνείς έρευνες που έχουν δημοσιευτεί τα τελευταία χρόνια σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου Electre tri στον ενεργειακό τομέα, επιλέχθηκαν τα ακόλουθα κριτήρια για την ιεράρχηση των υποψηφίων περιοχών χωροθέτησης:

- εμβαδόν πολυγώνου χωροθέτησης (g_1)
- απόσταση από το οδικό δίκτυο (g_2)
- απόσταση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης (g_3)
- απόσταση από τους οικισμούς (g_4)

Το αιολικό δυναμικό των υποψηφίων περιοχών (η ταχύτητα ανέμου είναι μεγαλύτερη ή ίση με 4 m/s (h120)) θεωρείται κατάλληλο για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου και παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις μεταξύ των περιοχών αυτών (μέχρι 5,8 m/s (h120)). Για τον λόγο αυτό δεν λαμβάνεται υπ' όψιν στα παραπάνω κριτήρια.

5.5.2. Εφαρμογή μεθόδου Electre Tri

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος Electre Tri, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα QGIS και συγκεκριμένα το πρόσθετο Electre Tri. Αρχικά, χρησιμοποιώντας σαν βάση ανάλογες διεθνείς έρευνες¹⁴ και προσαρμόζοντάς τες στα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπολογίστηκαν οι παράμετροι της μεθόδου με σκοπό να εισαχθούν στο σύστημα QGIS.

Στην περίπτωση των κριτηρίων g_1 και g_4 , όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν και η απόσταση από τους οικισμούς ενός υποψήφιου πολυγώνου χωροθέτησης τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός καταλληλότητας του ως προς τα κριτήρια αυτά. Αντίθετα, στην περίπτωση των κριτηρίων g_2 και g_3 , όσο μικρότερη είναι απόσταση ενός υποψήφιου πολυγώνου από το οδικό δίκτυο και το δίκτυο ηλεκτροδότησης τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός καταλληλότητας του ως προς τα κριτήρια αυτά. Ο ισχυρισμός αυτός συμβολίζεται στο πρόσθετο Electre Tri του QGIS με την ένδειξη MAX για τα κριτήρια g_1 και g_4 και MIN για τα κριτήρια g_2 και g_3 .

- **Καθορισμός των προτύπων αναφοράς**

Για την εφαρμογή της μεθόδου Electre Tri απαραίτητος είναι ο καθορισμός των προτύπων αναφοράς. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, τα πολύγωνα χωροθέτησης θα ιεραρχηθούν σε τρεις κατηγορίες οπότε ορίζονται δύο πρότυπα αναφοράς (b_1 και b_2). Τα πρότυπα αυτά ορίζουν, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα ανώτερα και κατώτερα όρια των κατηγοριών C_1 , C_2 και C_3 αντίστοιχα. Οι τιμές που προέκυψαν για τα πρότυπα αυτά είναι:

$$b_1 = (1.000.000, 600, 3.000, 1.800)$$

$$b_2 = (100.000, 1.200, 6.000, 1.200)$$

- **Προσδιορισμός των βαρών των κριτηρίων**

Στην συνέχεια, προσδιορίζονται τα βάρη των τεσσάρων κριτηρίων. Το βάρος ενός κριτηρίου καθορίζει την σημασία του κριτηρίου αυτού σε σχέση με τα υπόλοιπα. Στην περίπτωση της παρούσα εφαρμογής, προσδιορίστηκε η σχετική σημασία κάθε κριτηρίου δηλαδή το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων να δίνει ως αποτέλεσμα την μονάδα. Τα βάρη των κριτηρίων δίνονται στον Πίνακα 19.

¹⁴ Sanchez-Lozano J.M., Antunez C.H., Garcia-Cascales M.S., Dias L.S. (2014), *GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for the Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain* και Sanchez-Lozano J.M., Garcia-Cascales M.S., Lamata M.T. (2014), *Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain*

Πίνακας 19: Βάρη κριτηρίων

Κριτήρια (g_j)	Βάρη (k_j)
g_1	0,5
g_2	0,05
g_3	0,3
g_4	0,15

- Προσδιορισμός κατώφλιων αδιαφορίας και προτίμησης

Τέλος, προσδιορίζονται τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης για κάθε κριτήριο. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, το κατώφλι αδιαφορίας a_j , είναι μια τιμή κάτω από την οποία είναι αδιάφορη η σύγκριση μεταξύ μιας εναλλακτικής και ενός προτύπου αναφοράς. Αντίστοιχα, το κατώφλι προτίμησης p_j , είναι μια τιμή πάνω από την οποία μια εναλλακτική προτιμάται ξεκάθαρα έναντι ενός προτύπου αναφοράς. Τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης για κάθε κριτήριο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 20: Κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης

Κριτήρια (g_j)	Κατώφλια αδιαφορίας (a_j)	Κατώφλια προτίμησης (p_j)
g_1	5.000	20.000
g_2	100	500
g_3	500	1.000
g_4	200	500

Στον Πίνακα 21, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι παράμετροι για την εφαρμογή της μεθόδου Electre Tri.¹⁵

Πίνακας 21: Παράμετροι της μεθόδου Electre Tri

Κριτήρια (g_j)	Πρότυπο αναφοράς b_1	Πρότυπο αναφοράς b_2	Βάρη (k_j)	Κατώφλια αδιαφορίας (a_j)	Κατώφλια προτίμησης (p_j)	
g_1	1.000.000	100.000	0,5	5.000	20.000	MAX
g_2	600	1.200	0,05	100	500	MIN
g_3	3.000	6.000	0,3	500	1.000	MIN
g_4	1.800	1.200	0,15	200	500	MAX

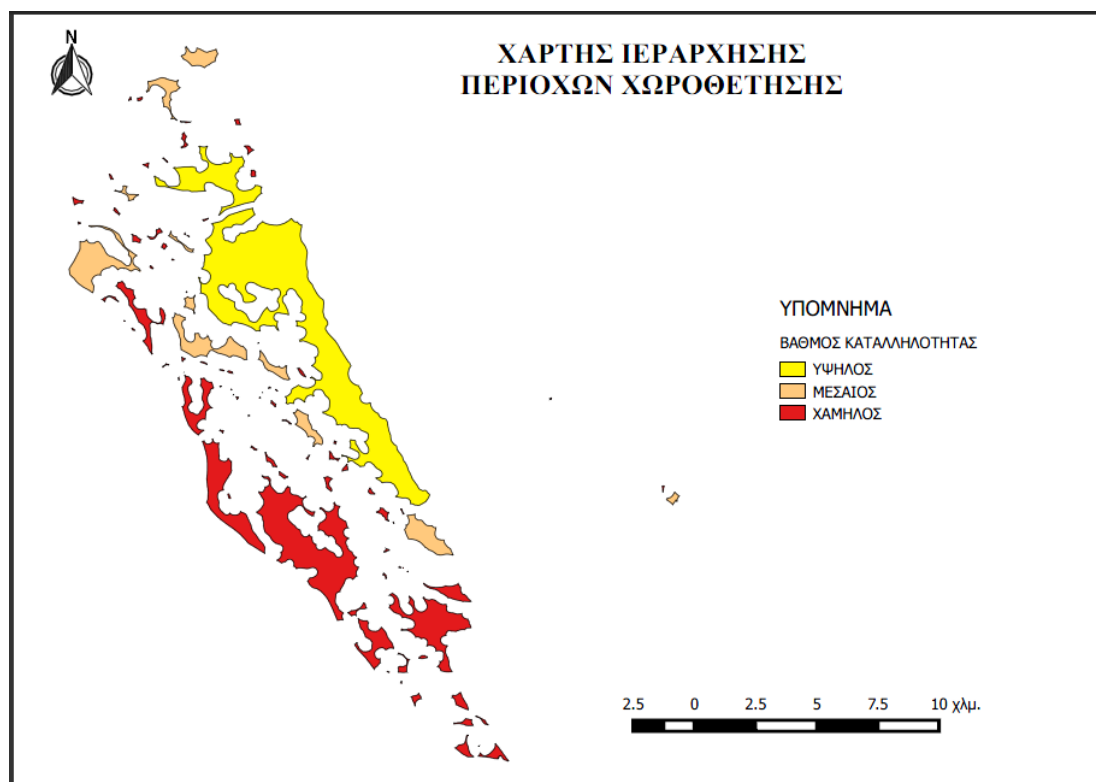
¹⁵ Η τιμή του επιπέδου κοπής λ είναι 0,75.

Τέλος, ακολουθήθηκε η απαισιόδοξη διαδικασία της μεθόδου Electre Tri. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε διότι δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να δοθεί συγκριτικό πλεονέκτημα σε κάποιες από τις εναλλακτικές.

5.5.3. Ιεραρχημένες περιοχές χωροθέτησης

Μετά την εισαγωγή των παραμέτρων στο πρόσθετο Electre Tri του QGIS, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τον παρακάτω χάρτη ιεράρχησης των πολυγώνων χωροθέτησης.

Εικόνα 40: Ιεραρχημένες περιοχές χωροθέτησης



Πηγή: QGIS 2.6.1

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο αριθμός, το συνολικό εμβαδόν των πολυγώνων χωροθέτησης καθώς και το ποσοστό της έκτασης τους ως προς τον νομό Ζακύνθου, για κάθε βαθμό καταλληλότητας.

Πίνακας 22: Αριθμός, συνολικό εμβαδόν και ποσοστό κάλυψης πολυγώνων χωροθέτησης για κάθε βαθμό καταλληλότητας

Βαθμός καταλληλότητας	Αριθμός πολυγώνων	Συνολικό εμβαδόν πολυγώνων (km ²)	Ποσοστό κάλυψης
Υψηλός	2	30	7,4%
Μεσαίος	11	8,7	2,1%
Χαμηλός	88	20,8	5,1%

Στο σημείο αυτό ολοκληρώθηκε το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την εύρεση και αξιολόγηση των περιοχών χωροθέτησης χερσαίου αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου. Στην συνέχεια, ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της παρούσας εφαρμογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει την δυνατότητα ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού στο νομό Ζακύνθου, μέσω της χωροθέτησης αιολικού πάρκου ξηράς. Η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και συνεπώς των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους.

Προκειμένου να αναγνωριστούν και να ιεραρχηθούν οι υποψήφιες περιοχές χωροθέτησης, παρουσιάζεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που συνδυάζει συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και πολυκριτηριακή μέθοδο λήψης απόφασης.

Η πολυκριτηριακή μέθοδος λήψης απόφασης που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος υπεροχής Electre Tri. Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων ενός προβλήματος. Τα τελευταία χρόνια, μελέτες έχουν αποδείξει την χρησιμότητα της μεθόδου στην χωροθέτηση αιολικού πάρκου.

Πρώτο βήμα της ανάλυσης είναι η αφαίρεση των περιοχών και ζωνών αποκλεισμού που θέτει η ελληνική νομοθεσία για την χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου και αφορά περιβαλλοντικά, οικιστικά, παραγωγικά, πολιτιστικά κριτήρια και κριτήρια υποδομής. Στόχος των κριτηρίων αυτών είναι η προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος καθώς επίσης και η αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ των χρήσεων γης.

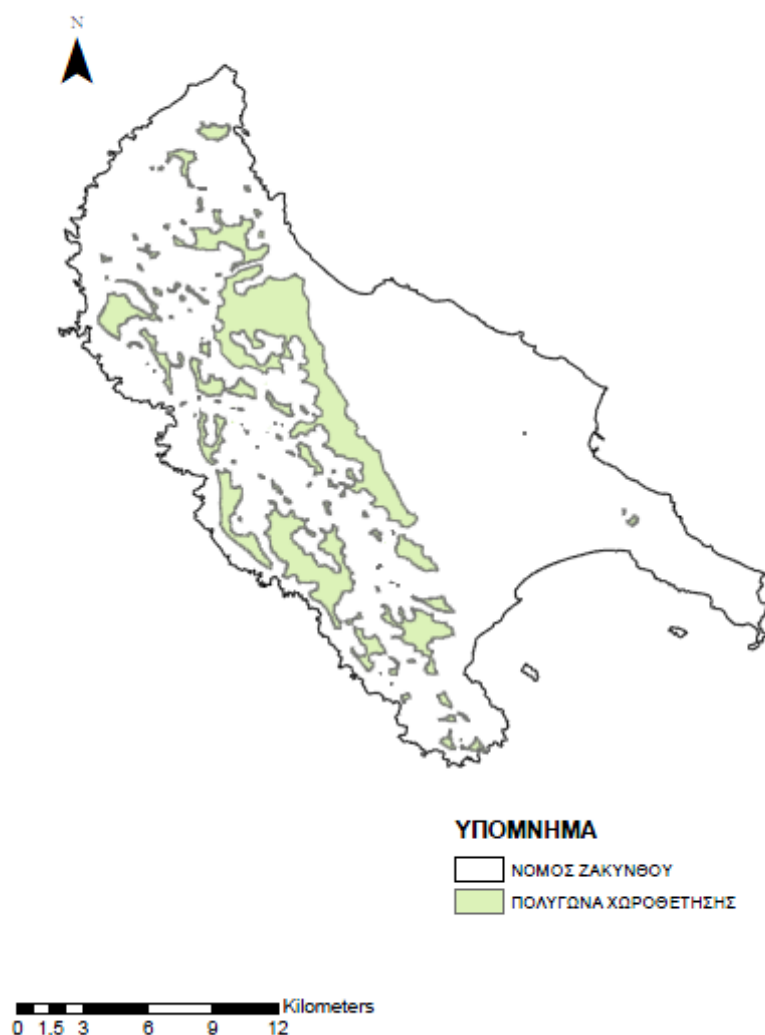
Οι περιοχές και οι ζώνες αποκλεισμού που περιλαμβάνονται στα παραπάνω κριτήρια, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 23: Περιοχές και ζώνες αποκλεισμού

Περιβαλλοντικά Κριτήρια	
Δίκτυο Natura 2000	Περιοχή Αποκλεισμού
Εθνικό πάρκο	Περιοχή Αποκλεισμού
Ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α.	Ζώνη Αποκλεισμού 1500 μ.
Κριτήρια Υποδομής	
Οδικό δίκτυο	Ζώνη Αποκλεισμού 130 μ.
Δίκτυο ηλεκτροδότησης	Ζώνη Αποκλεισμού 130 μ.
Εγκαταστάσεις αεροπλοΐας	Περιοχή Αποκλεισμού
Οικιστικά Κριτήρια	
Οικισμοί άνω των 2000 κατοίκων	Ζώνη Αποκλεισμού 1000 μ.
Οικισμοί κάτω των 2000 κατοίκων	Ζώνη Αποκλεισμού 500 μ.
Παραγωγικά Κριτήρια	
Αγροτική γη	Ζώνη Αποκλεισμού 130 μ.
Λατομικές-εξωρυκτικές ζώνες	Ζώνη Αποκλεισμού 500 μ.
Πολιτιστικά Κριτήρια	
Αρχαιολογικοί χώροι-μνημεία	Ζώνη Αποκλεισμού 500 μ.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, το παρών μεθοδολογικό πλαίσιο προτείνει 101 υποψήφιες περιοχές, οι οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 41.

**Εικόνα 41: Τελικά πολύγωνα χωροθέτησης αιολικού πάρκου
ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ**



Πηγή: Arc Map 10.1

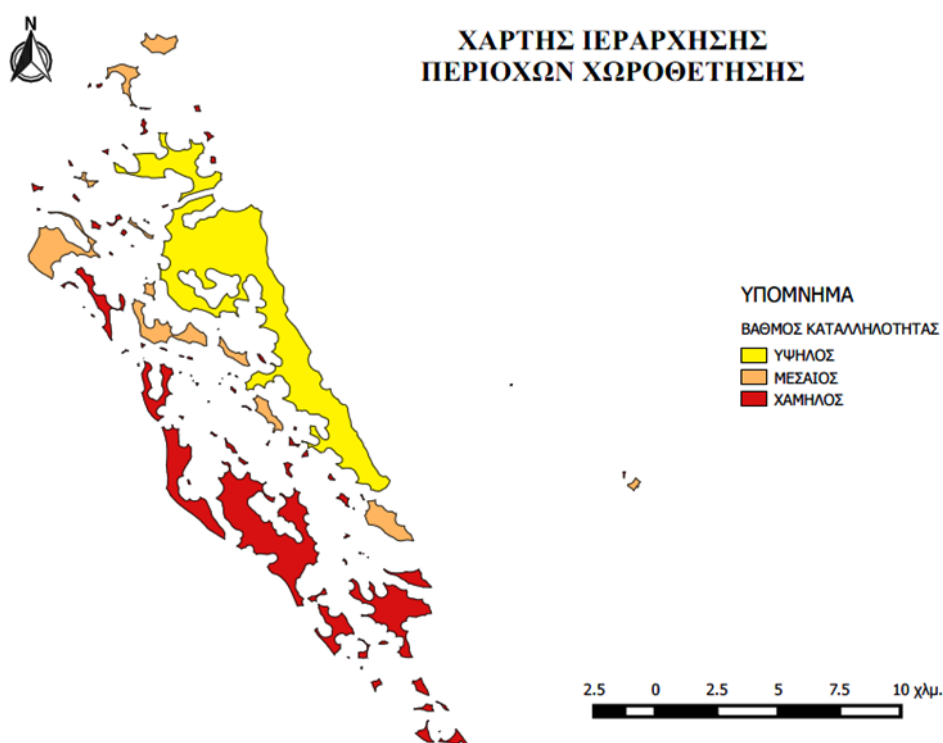
Οι κατάλληλες περιοχές για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου ξηράς βρίσκονται αποκλειστικά στο νησί της Ζακύνθου και το μεγαλύτερο τμήμα τους συναντιέται στα δυτικά και νοτιοδυτικά του νησιού. Το συνολικό εμβαδόν των περιοχών αυτών είναι 59,5 km² και καταλαμβάνουν το 14,6% του νομού. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στο ανατολικό τμήμα του νησιού βρίσκονται οι περισσότεροι οικισμοί (μεταξύ των οποίων και η πόλη της Ζακύνθου), καθώς επίσης και οι περισσότερες αγροτικές ζώνες και όλες οι ακτές παρακολούθησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α., που αποτελούν περιοχές αποκλεισμού.

Στην συνέχεια, το μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησε τις υποψήφιες αυτές περιοχές, ως προς τον βαθμό καταλληλότητας τους για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιήθηκε με βάση την παρακάτω ομάδα κριτηρίων:

- εμβαδόν πολυγώνου χωροθέτησης
- απόσταση από το οδικό δίκτυο
- απόσταση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης
- απόσταση από τους οικισμούς

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με βάση τη μέθοδο υπεροχής Electre Tri και τα πολύγωνα χωροθέτησης ιεραρχήθηκαν σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα πολύγωνα με υψηλό βαθμό καταλληλότητας, στην δεύτερη κατηγορία αυτά με μεσαίο βαθμό καταλληλότητας και στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα πολύγωνα με χαμηλό βαθμό καταλληλότητας. Τα αποτελέσματα της ιεράρχησης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 42: Ιεραρχημένες περιοχές χωροθέτησης



Πηγή: QGIS 2.6.1

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου, στην κατηγορία υψηλής καταλληλότητας ανήκουν 2 πολύγωνα με συνολικό εμβαδόν 30 km², που καταλαμβάνουν το 7,4% της συνολικής έκτασης του νομού. Αντίστοιχα, στην κατηγορία μεσαίας καταλληλότητας

ανήκουν 11 πολύγωνα με συνολικό εμβαδόν 8,7 km², που καταλαμβάνουν το 2,1% της συνολικής έκτασης του νομού. Τέλος, στη κατηγορία χαμηλής καταλληλότητας ανήκουν 88 πολύγωνα με συνολικό εμβαδόν 20,8 km², που καταλαμβάνουν το 5,1% της συνολικής έκτασης του νομού. Στην κατηγορία με τον υψηλό βαθμό καταλληλότητας, ανήκουν τα δύο πολύγωνα με το μεγαλύτερο εμβαδόν, από αυτά που βρίσκονται πολύ κοντά στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Αντίστοιχα, στην κατηγορία με τον χαμηλό βαθμό καταλληλότητας ανήκουν τα πολύγωνα με το μικρότερο εμβαδόν και αυτά που απέχουν τη μεγαλύτερη απόσταση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Εν κατακλείδι, η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία προσφέρει την δυνατότητα ολοκληρωμένης θεώρησης και συνυπολογισμού ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, σχετικά με την χωροθέτηση αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου. Παρά τους νομοθετικούς περιορισμούς, ένα σημαντικό τμήμα του νομού θεωρείται κατάλληλο για την εγκατάσταση χερσαίου αιολικού πάρκου. Παρόλο που τα περισσότερα πολύγωνα χωροθέτησης χαρακτηρίζονται ως χαμηλού βαθμού καταλληλότητας, εντούτοις τα υψηλού βαθμού καταλληλότητας πολύγωνα καταλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης του νομού. Άρα, ένα μεγάλο τμήμα του νησιού χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό καταλληλότητας για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πληθώρας περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί το κλειδί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Η χωροθέτηση εγκατάστασης Α.Π.Ε. απαιτεί την εξέταση πληθώρας κριτηρίων με σκοπό την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του ανανεώσιμου πόρου, την προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος και τέλος την αποφυγή συγκρούσεων χρήσεων γης.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση ενός μεθοδολογικού πλαισίου με σκοπό την χωροθέτηση χερσαίου αιολικού πάρκου στον νομό Ζακύνθου. Το μεθοδολογικό αυτό πλαίσιο προτείνει την χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών σε συνδυασμό με πολυκριτηριακή μέθοδο λήψης απόφασης.

Αρχικά, εντοπίζονται οι κατάλληλες περιοχές για την χωροθέτηση αιολικού πάρκου με βάση τα κριτήρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία. Τα κριτήρια αυτά είναι περιβαλλοντικά, οικιστικά, παραγωγικά, πολιτιστικά και κριτήρια υποδομής. Ο εντοπισμός των περιοχών αυτών πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS, με βάση τις περιοχές και τις ζώνες αποκλεισμού που θέτει η κάθε ομάδα κριτηρίων.

Στην συνέχεια, το μεθοδολογικό πλαίσιο προτείνει την αξιολόγηση των περιοχών αυτών με βάση μια ομάδα κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά είναι:

- εμβαδόν πολυγώνου χωροθέτησης
- απόσταση από το οδικό δίκτυο
- απόσταση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης
- απόσταση από τους οικισμούς

Η εκτίμηση του βαθμού καταλληλότητας των περιοχών χωροθέτησης πραγματοποιείται με συνδυασμό συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών και πολυκριτηριακής μεθόδου λήψης απόφασης. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος υπεροχής Electre Tri σε περιβάλλον QGIS.

Η οικογένεια μεθόδων Electre έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της εναλλακτικής η οποία είναι σχετικά «καλή» σύμφωνα με την πλειοψηφία των κριτηρίων, χωρίς να είναι πολύ «κακή» σύμφωνα με τα υπόλοιπα κριτήρια. Όσον αφορά την μέθοδο Electre Tri, τα τελευταία δύο χρόνια έχουν εκδοθεί επιστημονικά άρθρα που αφορούν την χρήση της μεθόδου αυτής στον ενεργειακό σχεδιασμό. Η ιδιαιτερότητα της σε

σχέση με άλλες πολυκριτηριακές μεθόδους (π.χ. A.H.P.) έγκειται στο ότι οι εναλλακτικές δεν συγκρίνονται μεταξύ τους αλλά κάθε εναλλακτική εξετάζεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι εναλλακτικές συγκρίνονται με τα πρότυπα αναφοράς και όχι μεταξύ τους, με σκοπό να ταξινομηθούν σε κατηγορίες. Η μέθοδος αυτή θεωρείται πιο πολύπλοκη σε σχέση με την πλειονότητα των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης απόφασης λόγω του μεγάλου αριθμού των παραμέτρων που διαθέτει. Όμως, ταυτοχρόνως, προσφέρει πιο λεπτομερή ανάλυση κάθε εναλλακτικής ξεχωριστά.

Το παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην χωροθέτηση οποιασδήποτε εγκατάστασης Α.Π.Ε., ανεξάρτητα από την περιοχή μελέτης, καθώς επίσης και σε οποιοδήποτε πολυκριτηριακό πρόβλημα ενεργειακού χαρακτήρα.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν δυνατότητες βελτίωσης που αφορούν το μεθοδολογικό αυτό πλαίσιο. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν τα κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογήθηκαν οι περιοχές χωροθέτησης. Η κλίση και γενικά η μορφολογία του εδάφους θα μπορούσε να προστεθεί στα κριτήρια αυτά. Επιπλέον, θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη η περεταίρω προστασία του περιβάλλοντος, προσθέτοντας κριτήρια που δεν περιλαμβάνονται στην ελληνική νομοθεσία π.χ. απόσταση από καταφύγια αγρίων ζώων και υδρολογικό δίκτυο. Τέλος, χρήσιμη θα ήταν η συμπερίληψη οικονομικών κριτηρίων όπως των τιμών ζώνης που χαρακτηρίζουν τις περιοχές χωροθέτησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Belton V., Stewart T.J., 2002, *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers
- Figueira J., Salvatore G., Matthias E., 2005, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, , New York, Springer
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W, 2010, *Συστήματα και Επιστήμη Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)*, Αθήνα, Εκδόσεις Κλειδάριθμος

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Κάβουρας Μ., 2007, *Αρχές γεωπληροφορικής και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών*, Αθήνα

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- Κ.Υ.Α. 49828/2008 «Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού.»
- Φ.Ε.Κ. 87/A/07.06.2010 «Νέα Αρχιτεκτονική της αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης-Πρόγραμμα Καλλικράτης.»
- Φ.Ε.Κ. 1292/B/11.08.2010 «Πρωτοβάθμιοι και Δευτεροβάθμιοι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Χώρας με το Ν.3852/2010, ο οποίος δεν είναι δυνατόν να κατανεμηθεί, λόγω ελλείπων στοιχείων τύπου εγκατάστασης.»
- Φ.Ε.Κ. 906/Δ/22.12.1999 «Χαρακτηρισμός χερσαίων και θαλασσίων περιοχών του κόλπου Λαγανά και των νήσων Στροφάδων ως Εθνικό θαλάσσιο Πάρκο και χαρακτηρισμός ως περιφερειακής ζώνης του Εθνικού θαλάσσιου Πάρκου της χερσαίας έκτασης του δήμου Ζακύνθου (τέως δήμος Ζακυνθίων και κοινότητες Βασιλικού, Αμπελοκήπων και Αργασίου) και του δήμου Λαγανά (τέως κοινότητες Καλαμακίου, Μουζακίου, Κερίου, Παντοκράτορα και Λοθακιάς) Ν. Ζακύνθου.»
- Φ.Ε.Κ. 1495/B/06.09.2010 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για τη διατήρηση της άγριας ορνιθοπανίδας και των οικοτόπων/ενδιαιτημάτων της, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ , «Περί

διατηρήσεως των άγριων πτηνών», του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 2^{ας} Απριλίου 1979, όπως κωδικοποιήθηκε με την οδηγία 2009/147/ΕΚ.»

- Φ.Ε.Κ. 60/Α/31.3.2011 «Διατήρηση της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις.»

ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

- Οδηγία 2009/28/Ε.Κ. «Σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και την συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/Ε.Κ. και 2003/30/Ε.Κ.», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Απριλίου 2009
- Οδηγία 92/43/Ε.Ο.Κ. «Για την διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας χλωρίδας και πανίδας.», του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1992
- Οδηγία 79/409/Ε.Ο.Κ. «Περί της διατηρήσεων των άγριων πτηνών.», του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 2^{ας} Απριλίου 1979

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ

- Beccali M., Cellura M., Ardente D. (1998), Decision making in energy planning: the Electre multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology, Energy Conversion and Management, 39(16–18), p.p. 1869–1881
- Beccali M., Cellura M., Mistretta M. (2003), Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology, Renewable Energy, 28, p.p. 2063–2087
- Buehring W.A., Foell W.K., Keeney R.L. (1978), Examining energy/environment policy using decision analysis, Energy System Policy, 2(3), p.p. 341–367
- Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L. (1997), A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option, European Journal of Operational Research, 103, p.p. 38–54
- Georgopoulou E., Sarafidis Y., Diakoulaki D. (1998), Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies

- exploitation, *European Journal of Operational Research*, 109, p.p. 483–500
- Haralambopoulos D.A., Polatidis H., (2003), Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework, *Renewable Energy*, 28, p.p.961–973
 - Hobbs B.F., Meier P.M. (1994), Multicriteria methods for resource planning: an experimental comparison, *IEEE Transactions Power Systems*, 9(4), p.p. 1811–1817
 - Loken E. (2007), *Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, p.p. 1585-1595
 - Mirasgedis S., Diakoulaki D. (1997), Multicriteria analysis vs. externalities assessment for the comparative evaluation of electricity generation systems *European Journal of Operational Research*, 102, p.p. 364–379
 - Oliveira C., Antunes C.H. (2004), A multiple objective model to deal with economy–energy–environment interactions, *European Journal of Operational Research*, 153, p.p. 370–385
 - Pan J., Teklu Y., Rahman S., de Castro A. (2000), *An interval-based MADM approach to the identification of candidate alternatives in strategic resource planning*, *IEEE Transactions Power Systems*, 15(4), p.p. 1441–1446
 - Pohekar S.D., Ramachandran M. (2004), *Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning- A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, p.p. 365-381
 - Pokharel S., Chandrashekar M. (1998), *A multiobjective approach to rural energy policy analysis*, *Energy*, 23(4), p.p. 325–336
 - Ramanathan R, Ganesh L.S. (1995), *Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: An integrated model using goal programming and AHP*, *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(3), p.p. 197–218
 - Sanchez-Lozano J.M., Antunez C.H., Garcia-Cascales M.S., Dias L.S. (2014), *GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for the Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain*, *Renewable Energy*, 66, p.p. 478-494

- Sanchez-Lozano J.M., García-Cascales M.S., Lamata M.T. (2014), *Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain*, Energy, 73, p.p. 311-324
- Siskos J., Hubert P. (1983), *Multi- criteria analysis of the impacts of energy alternatives: a survey and a new comparative approach*, European Journal of Operational Research, 13, p.p. 278-299
- Tzeng G.H., Shiau T.A., Lin C.Y.(1992), Application of multicriteria decision making to the evaluation of new energy system development in Taiwan, Energy, 17(10), p.p. 983–992
- Yang H.T., Chen S.L (1989), Incorporating a multi-criteria decision procedure into the combined dynamic programming/ production simulation algorithm for generation expansion planning, IEEE Transactions Power Systems, 4(1), p.p. 165–175

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

- <http://www.anemogennitria.gr/>
- <http://www.mykosmos.gr/>
- <http://www.zakynthos-net.gr/>
- Bloomberg New Energy Finance
<http://about.bnef.com/>
- BP
<http://www.bp.com/>
- Energy Information Administration
<http://www.eia.gov/>
- Eurostat
<http://ec.europa.eu/eurostat>
- Global Wind Energy Council
<http://www.gwec.net/>
- Google Maps
<https://www.google.gr/maps>
- Intergovernmental Panel on Climate Change
<http://www.ipcc.ch/>
- International Energy Agency
<http://www.iea.org/>
- Mechanical Design Laboratory

- <http://medilab.pme.duth.gr/>
- National Aeronautics and Space Administration
<http://climate.nasa.gov/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration
<http://www.noaa.gov/>
- OSGeo
<http://live.osgeo.org/>
- The European Wind Energy Association
<http://www.ewea.org/>
- Α.Δ.Μ.Η.Ε.
<http://www.admie.gr/>
- Βιβλιοθήκη Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
<http://dspace.lib.ntua.gr/>
- Δ.Ε.Η.
<https://www.dei.gr/>
- Δημόσια-Ανοιχτά δεδομένα
<http://geodata.gov.gr/>
- Διαρκής κατάλογος των κηρυγμένων αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ελλάδος
<http://listedmonuments.culture.gr/>
- Εθνικό Τυπογραφείο
<http://www.et.gr/>
- Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας
<http://eletaen.gr.5-9-113-240.linux17.papaki.gr/>
- Ελληνική Εταιρία Περιβάλλοντος και Πολιτισμού
<http://www.ellet.gr/>
- Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία
<http://www.ornithologiki.gr/>
- Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων- Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.)
<http://www.ekby.gr/>
- ΕΛ.ΣΤΑΤ.
<http://www.statistics.gr/>
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή
<http://ec.europa.eu/>
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
<http://www.cres.gr/kape/index.htm>

- Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς
<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/>
- Κοινό Κέντρο Ερευνών
<https://ec.europa.eu/jrc/>
- Λ.ΑΓ.Η.Ε.
<http://www.lagie.gr/>
- Ολλανδική Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης
<http://www.pbl.nl/>
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
<http://www.rae.gr/>
- Υπουργείο Ενέργειας Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής
<http://www.ypeka.gr/>
- Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού
<http://www.culture.gr/>

Παράρτηματα

Παράρτημα Α Ελληνικό σύστημα ηλεκτρισμού



Παράρτημα Β Περιοχές αιολικής προτεραιότητας

Περιοχή 1	
Νομός Έβρου	Νομός Ροδόπης
Δήμος Φερών	Δήμος Αρριανών
Δήμος Τραϊανούπολης	Κ. Κέχρου
Δήμος Αλεξανδρούπολης	
Δήμος Σουφλίου	
Δήμος Τυχερού	
Περιοχή 2	
Νομός Ευβοίας	Νομός Αιτωλοακαρνανίας
Δήμος Αυλώνος	Δήμος Αποδοτίας
Δήμος Δυστίων	Δήμος Πλατάνου
Δήμος Καρύστου	Δήμος Θέρμου
Δήμος Μαρμαρίου	Νομός Φθιώτιδας
Δήμος Μεσσαπίων	Δήμος Αγ. Γεωργίου Τυμφρήστου
Δήμος Στυραίων	Δήμος Σπερχειάδος
Δήμος Καφηρέως	Δήμος Υπάτης
Δήμος Διρφύων	Δήμος Αταλάντης
Δήμος Κύμης	Δήμος Μακρακώμης
	Δήμος Οπουντίων
Νομός Ευρυτανίας	Νομός Φωκίδας
Δήμος Αγράφων	Δήμος Βαρδουσίων
Δήμος Βίνιανης	Δήμος Λιδωρικού
Δήμος Δομνίστας	Δήμος Δεσφίνης
Δήμος Καρπενησίου	Δήμος Αμφίσσης
Δήμος Κτημενίων	Δήμος Καλλιέων
Δήμος Ποταμιάς	
Νομός Ευρυτανίας (συν.)	Νομός Καρδίτσας
Δήμος Προυσού	Δήμος Καλλιφώνου
Δήμος Φουρνά	Δήμος Μενελαΐδας
Δήμος Φραγκίστας	Δήμος Ρεντίνης

Νομός Βοιωτίας	Δήμος Ιτάμου
Δήμος Δαύλειας	
Δήμος Διστόμου	
Δήμος Λεβαδέων	
Δήμος Ορχομενού	
Δήμος Χαιρώνειας	
Δήμος Αραχώβης	
Κ. Κυριακίου	
Περιοχή 3	
Νομός Λακωνίας	Νομός Αρκαδίας
Δήμος Βοϊών	Δήμος Λεωνιδίου
Δήμος Γερονθρών	Κ. Κοσμά
Δήμος Ζάρακα	
Δήμος Μολάων	
Δήμος Μονεμβασίας	
Δήμος Νιάτων	

Πηγή: Φ.Ε.Κ. Β 2464/03.12.2008

**Παράρτημα C
Ζακύνθου**

Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία νομού

Όνομασία Μνημείου	Δήμος	Διαμέρισμα	Οικισμός	Θέση	Είδος μνημείου
I. Μονή Αγίου Ιωάννου Προδρόμου	Ζακύνθου	Αλυκών	Χαρτάτα	Στο δρόμο προς τις Βολίμες, 20 χλμ. από το Καταστάρι	Μοναστηριακά συγκροτήματα, θρησκευτικοί Χώροι
I. Ναός Ευαγγελιστριάς	Ζακύνθου	Αλυκών	Κάτω Γερακάρι		Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί Χώροι
I. Ναός Παναγίας Αναφωνήτριας	Ζακύνθου	Αλυκών	Σκουληκάδο		Κωδωνοστάσια, θρησκευτικοί Χώροι
Πυργίσκος Κυψέλης	Ζακύνθου	Αρκαδίων			Αμυντικά συγκροτήματα, πύργοι
Ναός Παναγίας Κυψέλης	Ζακύνθου	Αρκαδίων	Κυψέλη		Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Πυργίσκος Πλάνου	Ζακύνθου	Αρκαδίων	Πλάνος		Αμυντικά συγκροτήματα, πύργοι
Πυργίσκος Τραγακίου	Ζακύνθου	Αρκαδίων	Τραγάκι		Αμυντικά συγκροτήματα, πύργοι
I. Ναός Παναγίας Δερματούσας	Ζακύνθου	Αρκαδίων	Τραγάκι	Στο Β. μέρος του χωριού Τραγάκι	Μοναστηριακά συγκροτήματα, ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι

Πύργος Αμπελοράβδη	Ζακύνθου	Αρκαδίων	Καλιπάδο		Οικιστικά σύνολα, τμήματα κτιρίου, αστικά κτίρια
Ι. Ναός Αγίου Ιωάννου Θεολόγου	Ζακύνθου	Αρτεμισίων			Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Μονή Υπεραγάθου (Μετόχι Σινά)	Ζακύνθου	Αρτεμισίων		Υπεράγαθος	Μοναστηριακά συγκροτήματα, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίας Μαρίας	Ζακύνθου	Αρτεμισίων	Αγία Μαρίνα		Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Κοιμήσεως Θεοτόκου	Ζακύνθου	Αρτεμισίων	Βουγιάτο		Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίου Νικολάου	Ζακύνθου	Αρτεμισίων	Κοιλιωμένος		Κωδωνοστάσια, θρησκευτικοί χώροι
Ιερός Ναός Αγίου Ανδρέου	Ζακύνθου	Αρτεμισίων	Λαγκαδάκια		Κωδωνοστάσια, ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ιερός Ναός Αγίου Γεωργίου	Ζακύνθου	Αρτεμισίων	Λαγκαδάκια		Κωδωνοστάσια, ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ιερός Ναός Αγίων Τιμοθέου και	Ζακύνθου	Αρτεμισίων	Μαχαιράδο		Ιεροί ναοί χριστιανικοί

Μαύρας					
Μονή Αναφωνήτριας	Ζακύνθου	Ελατιών	Αναφωνήτρια		Μοναστηριακά συγκροτήματα, θρησκευτικοί χώροι
Μονή Αγίου Γεωργίου των Κρημνών	Ζακύνθου	Ελατιών	Βολίμες	Κρημνοί	Μοναστηριακά συγκροτήματα, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίου Ανδρέα	Ζακύνθου	Ελατιών	Βολίμες	Μεσοβούνι	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Μονή Σπηλαιωτίσσης	Ζακύνθου	Ελατιών	Μαριές		Μοναστηριακά συγκροτήματα, θρησκευτικοί χώροι
Ναός Αγίου Δημητρίου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος		Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Κόκκινος Βράχος	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος		Φάροι, φυσικοί χώροι, αμυντικά συγκροτήματα, ιστορικοί τόποι, πύργοι, λιμενικές εγκαταστάσεις, ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Αγγλικό νεκροταφείο	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος		Νεκρικοί χώροι και μνημεία
Ι. Ναός Αγίου Διονυσίου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Άμμος. Κοντά στο ποτάμι,	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί

				στην παραλία, στο νότιο τμήμα της πόλης	χώροι
Καθολικό Μονής Αγίου Γεωργίου Καλογραιών	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Στις πρόποδες του λόφου του κάστρου	Μοναστηριακά συγκροτήματα, ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίου Νικολάου Μώλου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Επί της Πλατείας Σολωμού	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίας Βαρβάρας	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Κήποι	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίου Αθανασίου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Κήποι	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Επισκοπιανής	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Κοντά στο ποτάμι	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Κτίριο Ιεροσπουδασ τηρίου των Ιησουϊτών	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Οδός Αλεξάνδρου Ρώμα	Αστικά κτίρια, κτίσματα κοινής ωφελείας
Ι. Ναός Παντοκράτορα	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Πλατεία Αγίου Μάρκου	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Ι. Ναός Αγίου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Ποτάμι	Ιεροί ναοί χριστιανικοί,

Χαραλάμπους					θρησκευτικοί χώροι
I. Ναός Εσταυρωμένου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Προς Κρουονέρι	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
I. Ναός Αγίας Τριάδος	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Συνοικία Αγία Τριάδας στο Β. άκρο της πόλης	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί Χώροι
I. Ναός Αγίου Δημητρίου του Κόλλα	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Ζάκυνθος	Ψήλωμα οδός Φιλικών	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Μονή Σωτήρος	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Μονή Στροφάδων	Επί του νησιού Σταμφάνη των Στροφάδων	Μοναστηριακά συγκροτήματα, θρησκευτικοί χώροι
Φρούριο Ζακύνθου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Μπόχαλη		Αμυντικά συγκροτήματα, κάστρα / φρούρια
I. Ναός (Παναγίας) Χρυσοπηγής	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Μπόχαλη	Κοντά στο φρούριο	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Λόφος Στράνη	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Μπόχαλη	Σταυρός	Φυσικοί χώροι, ιστορικοί τόποι
I. Ναός Προδρόμου	Ζακύνθου	Ζακυνθίων	Μπόχαλη	Φρούριο Ζακύνθου	Ιεροί ναοί χριστιανικοί, θρησκευτικοί χώροι
Κτίριο του	Ζακύνθου	Λαγανά	Αγαλάς		Αστικά κτίρια

Μουσείου Αγαλά Ζακύνθου.					
---	--	--	--	--	--

Πηγή: Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού