



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
Π.Μ.Σ. «Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον και Γεωργική Μηχανική»
Κατεύθυνση «Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ
ΣΤΗ ΖΑΚΥΝΘΟ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS**

Χρήστος Παπαδόπουλος

ΑΘΗΝΑ 2018



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
Π.Μ.Σ. «Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον και Γεωργική Μηχανική»
Κατεύθυνση «Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ
ΣΤΗ ΖΑΚΥΝΘΟ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS**

Χρήστος Παπαδόπουλος

ΑΘΗΝΑ 2018

Ανάπτυξη μοντέλων χωροθέτησης Φωτοβολταϊκού Πάρκου στη Ζάκυνθο σε
περιβάλλον GIS

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Παπαδόπουλος Χρήστος

Επιβλέπων Καθηγητής

Διονύσιος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:
Διονύσιος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής
Παπαδάκης Γεώργιος, Καθηγητής
Σούλης Κωνσταντίνος, ΕΔΙΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, η μη ορθολογική χρήση της και η διασπάθιση των φυσικών πόρων της Γης έχουν δημιουργήσει πλήθος περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών, πολιτικών προβλημάτων και προβλημάτων ολοκληρωμένης ανάπτυξης. Σε αυτό το κρίσιμο ενεργειακό σκηνικό οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), απαλλαγμένες σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο.

Η διείσδυση της ηλιακής ενέργειας, πέρα από τα οφέλη που δύναται να επιφέρει, αποτελεί μία από τις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, η ανεξέλεγκτη και απρογραμματιστη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων, δεν βοηθά στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η παρούσα διπλωματική εργασία, αναδεικνύει και αξιολογεί περιοχές οι οποίες είναι κατάλληλες προς χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά νομοθετικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων. Η επιλογή των Γ.Σ.Π. έγινε γιατί πρόκειται για ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον.

Σε πρώτη φάση η εργασία παρουσιάζει τις περιοχές στις οποίες θεωρείται κατάλληλη η χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια που πηγάζουν κυρίως από τη νομοθεσία καθώς και κριτήρια λειτουργικότητας (Boolean επεξεργασία). Σε δεύτερη φάση και χρησιμοποιώντας τα ανωτέρω κριτήρια, εφαρμόζονται οι μέθοδοι της Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (ΑΗΡ). Παράλληλα γίνεται ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων των δύο παραπάνω μεθόδων για την πληρέστερη και αρτιότερη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Αποτέλεσμα της διπλωματικής εργασίας, είναι η οριοθέτηση των κατάλληλων περιοχών και η παρουσίαση τους σε αντίστοιχους χάρτες και η τελική αξιολόγηση αυτών. Έτσι αναδεικνύονται, σε ένα πιο ολοκληρωμένο αποτέλεσμα, οι κατάλληλες περιοχές για χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο.

ABSTRACT

The continuous increase of energy consumption, its irrational use and the dissipation of natural resources of Earth have created many environmental, social, economic, political problems as well as problems concerning the integrated development. The Renewable Energy Sources (RES) can play an important role in this crucial energy context and at the same time they do not have any negative implications on the environment.

In addition to its advantages, the penetration of solar energy constitutes a priority for the European Union. However, the uncontrollable and unplanned implementation of solar parks complicates the way that solar energy is developed and this does not result to the maximum possible outcomes. This thesis is focused on evaluating the areas which are suitable for solar parks implemented in Zakynthos, using Geographic Information Systems (G.I.S), taking into account economical, technical and environmental criteria. The G.I.S were chosen because they are considered to be very useful tools for the collection, storage, update, management, analysis and display of each form of information that is concerns in the geographic environment.

On the first phase, the thesis presents the areas which are suitable for the implementation of solar parks, taking also into consideration the legislation and functionality criteria (Boolean Algebra). On the second phase and using the above criteria, methods of Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) are applied. Alongside is the combination of the results of these two methods for fuller and more thorough conclusions.

The result of this thesis is the delimitation of the suitable areas and their presentation in corresponding maps and the final evaluation of these. Therefore, these appropriate areas for implementing solar parks in Zakynthos are highlighted in a more complete and correct way.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή - Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	1
1.1	Ανασκόπηση επιπέδου αριστείας.....	2
1.2	Ενεργειακό Πρόβλημα και Πολιτική.....	5
1.2.1	Παγκόσμιο και Εθνικό Ενεργειακό Πρόβλημα.....	5
1.2.2	Ευρωπαϊκοί Στόχοι για τις ΑΠΕ.....	7
1.3	Χωροθέτηση Φ/Β.....	7
1.4	Καθορισμός Προβλήματος και Στόχων της Μελέτης.....	8
2.	Υλικά και μέθοδοι.....	9
2.1	Περιοχή Μελέτης.....	9
2.1.1	Γενικά στοιχεία.....	9
2.1.2	Πληθυσμιακά Στοιχεία.....	10
2.1.3	Μορφολογία.....	11
2.1.4	Υποδομές –Δίκτυα.....	12
2.1.5	Φυσικό Τοπίο – Προστατευόμενες Περιοχές.....	14
2.2	Ενεργειακά Χαρακτηριστικά.....	15
2.3	Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ.....	16
2.3.1	Ηλιακό Δυναμικό.....	16
2.4	Υφιστάμενες Υποδομές.....	18
2.5	Δεδομένα.....	19
2.5.1	Μορφολογία- Κάλυψη Γης.....	20
2.6	Μεθοδολογική Προσέγγιση της Μελέτης και Γενικό Περίγραμμα.....	21
2.7	Λογική της Ασάφειας (Fuzzy Logic).....	23
2.7.1	Ταξινόμηση των δεδομένων και λογική της ασάφειας.....	23
2.7.2	Fuzzy Membership.....	25
2.7.3	Συναρτήσεις Ασαφοποίησης.....	25
2.7.3.1	Η Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy Gaussian.....	26
2.7.3.2	Η Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyLarge.....	27
2.7.3.3	Η Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Large.....	28
2.7.3.4	Η Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyNear.....	28
2.7.3.5	Η Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall.....	29
2.7.3.6	Η Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Small.....	30
2.7.3.7	Η συνάρτηση μετασχηματισμού Linear.....	30
2.8	Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP).....	31
2.8.1	Μεθοδολογία.....	31
2.8.2	Ιεραρχία.....	32
2.8.3	Συγκρίσεις κατά ζεύγη.....	33
2.8.4	Κλίμακα.....	34
2.8.5	Υπολογισμός Προτεραιοτήτων.....	34
2.8.6	Υπολογισμός του διανύσματος βαρών w'	36
2.8.7	Συνέπεια.....	36
3.	Αποτελέσματα.....	37
3.1	Επιλογή κριτηρίων.....	37
3.1.1	Λειτουργικά-Οικονομικά Κριτήρια.....	37
3.1.2	Περιβαλλοντικά Κριτήρια.....	42
3.1.3	Άλλα κριτήρια.....	45

3.2	Εκτίμηση Κατάλληλων Περιοχών με τη Boolean Επεξεργασία	48
3.2.1	Προσδιορισμός Απαιτούμενων Θεματικών Επιπέδων	48
3.2.1.1	Κατηγορίες Κάλυψης Γης	49
3.2.1.2	Αρχαιολογικοί Χώροι	51
3.2.1.3	Ποτάμια	51
3.2.1.4	Σεισμικά Ρήγματα.....	52
3.2.2	Ανάλυση Δεδομένων	53
3.2.3	Δημιουργία Ζωνών Αποκλεισμού	55
3.2.4	Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές	64
3.3	Εκτίμηση Κατάλληλων Περιοχών με το συνδυασμό της Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Fuzzy Logic-AHP)	67
3.4	Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων	79
4.	Συμπεράσματα	82
4.1	Γενικά.....	82
4.2	Προβλήματα, προτάσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις	84
	Βιβλιογραφία	86

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γεωφυσικός χάρτης Ζακύνθου.....	10
Εικόνα 2. : Οδικό δίκτυο Ζακύνθου	13
Εικόνα 3 : Ζώνες Natura 2000.....	15
Εικόνα 4. : Ώρες μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας Ζακύνθου	17
Εικόνα 5 : Μέση ετήσια οριζόντια ακτινοβολία.....	18
Εικόνα 6: Υφιστάμενες ΑΠΕ 2017.....	19
Εικόνα 7 : Αιολικό Πάρκο Ζακύνθου.....	19
Εικόνα 8: Παράδειγμα συμμετοχής τιμής στην κάθε τάξη.....	24
Εικόνα 9 : Συνάρτηση συμμετοχής τριγωνικής μορφής, του ασαφούς συνόλου A. ...	25
Εικόνα 10 : Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής	27
Εικόνα 11: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού Large	27
Εικόνα 12: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού MSLarge	28
Εικόνα 13: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού Near.....	29
Εικόνα 14: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού Small.....	29
Εικόνα 15: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού MSSmall	30
Εικόνα 16: Παραλλαγές της γραμμικής συνάρτησης μετασχηματισμού	31
Εικόνα 17: Ενδεικτική Μορφή Ιεράρχησης.....	32
Εικόνα 18: Χάρτης Κάλυψης γης Ζακύνθου (Corine 2012)	49
Εικόνα 19: Ποτάμια Ζακύνθου.....	52
Εικόνα 20: Ρήγματα Ζακύνθου.....	53
Εικόνα 21: Κατανεμημένες τελικές περιοχές βάσει εμβαδού.....	67
Εικόνα 22: Στατιστικά Χάρτη 1.....	79
Εικόνα 23: Δορυφορική εικόνα τελικών προτεινόμενων περιοχών.....	80
Εικόνα 24: Zonal Statistics.....	81

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.: Μεταβολές πληθυσμού σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας.....	11
Πίνακας 2.: Κατανομή εδαφικών εκτάσεων νήσου Ζακύνθου.....	12
Πίνακας 3 : Κατανομή χρήσεων γης νήσου Ζακύνθου	20
Πίνακας 4: Ενδεικτικός πίνακας σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη	33
Πίνακας 5 : Κλίμακα Saaty και η περιγραφή της	34
Πίνακας 6 : Τιμές δείκτη RCI.....	36
Πίνακας 7 : Λειτουργικά-Οικονομικά Κριτήρια	41
Πίνακας 8: Περιβαλλοντικά Κριτήρια.....	45
Πίνακας 9: Άλλα Κριτήρια	47
Πίνακας 10. : Καθορισμός αρχικών και τελικών θεματικών επιπέδων.....	48
Πίνακας 11. : Ανά δύο συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων μας	76
Πίνακας 12. : Τελικά Ποσοστά Κριτηρίων με βάση την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία.....	77

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 : Γενικό Περίγραμμα Μελέτης.....	22
Διάγραμμα 2: Boolean επεξεργασία	54

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1. : Οδικό Δίκτυο Ζακύνθου	37
Χάρτης 2. : Δίκτυο Μέσης Τάσης Ζακύνθου	38
Χάρτης 3. : Δίκτυο Υψηλής/Υπερυψηλής Τάσης Ζακύνθου	38
Χάρτης 4. : Κλίσεις Ζακύνθου > 10°	39
Χάρτης 5. : Υφιστάμενες ΑΠΕ Ζακύνθου.....	39
Χάρτης 6. : Οικισμοί Ζακύνθου> 2000 Κατοίκων	40
Χάρτης 7. : Οικισμοί Ζακύνθου <2000 Κατοίκων	40
Χάρτης 8. : Αεροδρόμιο Ζακύνθου	42
Χάρτης 9. : Αρχαιολογικοί Χώροι Ζακύνθου.....	43
Χάρτης 10. : Προστατευόμενες Περιοχές Ζακύνθου	44
Χάρτης 11. : Ακτογραμμή Ζακύνθου	44
Χάρτης 12. : Ποτάμια Ζακύνθου	45
Χάρτης 13. : Ρήγματα Ζακύνθου	46
Χάρτης 14. : Πιθανά Ρήγματα Ζακύνθου	46
Χάρτης 15: Ζώνες Αποκλεισμού Οδικού Δικτύου	55
Χάρτης 16: Ζώνες Αποκλεισμού Δικτύου Μέσης Τάσης	56
Χάρτης 17: Ζώνες Αποκλεισμού Δικτύου Υψηλής/Υπερυψηλής Τάσης.....	56
Χάρτης 18: Ζώνες Αποκλεισμού Κλίσεων >10°	57
Χάρτης 19: Ζώνες Αποκλεισμού Υφιστάμενων ΑΠΕ.....	57
Χάρτης 20: Ζώνες Αποκλεισμού Οικισμών> 2000 Κατοίκων	58
Χάρτης 21: Ζώνες Αποκλεισμού Οικισμών< 2000 Κατοίκων	58
Χάρτης 22: Ζώνες Αποκλεισμού Χρήσεων Γης.....	59
Χάρτης 23: Ζώνες Αποκλεισμού Προστατευόμενων Περιοχών	60
Χάρτης 24: Ζώνες Αποκλεισμού Αρχαιολογικών Χώρων	60

Χάρτης 25: Ζώνη Αποκλεισμού Αεροδρομίου.....	61
Χάρτης 26: Ζώνη Αποκλεισμού Ακτογραμμής.....	61
Χάρτης 27: Ζώνες Αποκλεισμού Ποταμών.....	62
Χάρτης 28: Ζώνες Αποκλεισμού Σεισμικών Ρηγμάτων.....	62
Χάρτης 29: Ζώνες Αποκλεισμού Πιθανών Σεισμικών Ρηγμάτων.....	63
Χάρτης 30: Τελικές Ζώνες Αποκλεισμού.....	64
Χάρτης 31: Αρχικές Προτεινόμενες Περιοχές.....	65
Χάρτης 32: Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές.....	66
Χάρτης 33: Συνδυασμός Μεθόδων Ασαφούς Λογικής και Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP).....	78
Χάρτης 34: Σύγκριση μεθόδων Boolean και Fuzzy-AHP.....	79

1. Εισαγωγή - Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα έχει έρθει αντιμέτωπο με μεγάλες προκλήσεις τα τελευταία χρόνια, καθώς καλείται να προσαρμοστεί όχι μόνο στην αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση αλλά και στους ολοένα και πιο απαιτητικούς περιβαλλοντικούς στόχους. Η υπέρμετρη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με την ενίσχυση του ενεργειακού προβλήματος, έχει δημιουργήσει ένα πλήθος από περιβαλλοντικά, κοινωνικά, οικονομικά, πολιτικά και γενικότερα προβλήματα ολοκληρωμένης ανάπτυξης.

Παράλληλα όμως, η ανάγκη των κρατών για ενεργειακή αυτάρκεια και απεξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα, καθώς και η ανάγκη για αποκεντρωμένη ανάπτυξη και τόνωση της τοπικής απασχόλησης ενισχύει τη διάθεση για αλλαγή και κυρίως βελτίωση του σημερινού παγκόσμιου ενεργειακού σκηνικού. Η στροφή λοιπόν, προς την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) μοιάζει περισσότερο επιτακτική από ποτέ, καθώς θα αποτελέσει τον βασικό πυρήνα επίλυσης των προβλημάτων που δημιουργούνται.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βέβαια, δεν αποτελούν πανάκεια στο ενεργειακό πρόβλημα, αφού δε στερούνται κάποιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δεν είναι πάντα άμεσα διαθέσιμες. Όλες ανεξαιρέτως οι ΑΠΕ μπορούν να χρησιμοποιούνται επ' άπειρον αλλά με πολύ συγκεκριμένο ρυθμό. Παρόλα αυτά όμως, μπορούν να παρέχουν την ενεργειακή βάση για τη βιώσιμη κοινωνία του μέλλοντος.

Οι ΑΠΕ είναι ποικίλες, αποκεντρωμένες και χωρικά διάσπαρτες. Συμβάλλουν στην "ελάφρυνση" του πλανήτη, από τους ενεργειακούς πόρους που συνεχώς εξαντλούνται, καθώς δεν ρυπαίνουν ποιοτικά και ποσοτικά όσο οι συμβατικές πηγές. Πρόκειται για εγχώριες πηγές ενέργειας, οι οποίες ανεξαρτητοποιούν την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Δεν επηρεάζονται από το οικονομικό περιβάλλον, γεγονός που δίνει μεγαλύτερη ασφάλεια και σταθερότητα.

Σύμφωνα και με τα πιο πάνω, η προώθηση και εκμετάλλευση των ΑΠΕ παρουσιάζεται ως η πιο συμφέρουσα και αποτελεσματικότερη περιβαλλοντική λύση. Το ζήτημα έγκειται στο σχεδιασμό της «πράσινης» ανάπτυξης και στη χωροθέτηση τέτοιων πηγών ενέργειας. Θα πρέπει σ' αυτό το σημείο να επισημανθεί ότι το ζήτημα της χωροθέτησης των έργων ΑΠΕ αποτελεί ένα σύνθετο θέμα, καθώς συμπυκνώνει πολλαπλά ζητήματα χωρικού, περιβαλλοντικού, κοινωνικού και αναπτυξιακού χαρακτήρα.

Το θέμα που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι αυτό της χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πάρκων στη νήσο Ζάκυνθο, μέσα από πολλά λειτουργικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά και άλλα κριτήρια και της αξιολόγησης των προτεινόμενων περιοχών. Η χωροθέτηση των αντίστοιχων φωτοβολταϊκών έργων στη Ζάκυνθο συνδέεται αδιαμφισβήτητα με τις αναπτυξιακές διαδικασίες, δεδομένου ότι αποτελεί τμήμα του ενεργειακού προβλήματος.

Η δομή της εργασίας αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο γενικό περίγραμμα της μελέτης μας και παρουσιάζονται και αρκετές άλλες εργασίες και μελέτες. Εδώ,

αναπτύχθηκε μια ενδεδειγμένη ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας από επιστημονικές βιβλιοθήκες και από το διαδίκτυο.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει την περιοχή μελέτης παραθέτοντας κάποια γενικά στοιχεία (πληθυσμιακά, γεωμορφολογικά, δικτύων και υποδομών) καθώς και το υφιστάμενο ενεργειακό τοπίο, αναλύοντας τα επιμέρους στάδια που εφαρμόστηκαν για την τελική αξιολόγηση των περιοχών, για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης μας, μέσω μιας περιγραφής της εφαρμογής, με τον καθορισμό των κριτηρίων για την επιλογή των θέσεων που είναι κατάλληλες για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων, ενώ ακολουθεί η τελική αξιολόγηση τους με βάση τη λογική της ασάφειας και την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytic Hierachy Process, AHP).

Τέλος, στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παραθέτονται τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, προβλήματα που παρουσιάστηκαν καθώς και προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση του προβλήματος.

Χρησιμοποιήθηκε υλικό από τις βιβλιοθήκες του Γ.Π.Α., σχετικό με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), τη χωρική ανάλυση και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Επίσης, χρήσιμες αποδείχθηκαν μελέτες φορέων όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, τα αρμόδια Υπουργεία και Υπηρεσίες, το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και η Παγκόσμια και η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Ηλιακής Ενέργειας.

1.1 Ανασκόπηση επιπέδου αριστείας

Η βιβλιογραφία για την εξεύρεση των κατάλληλων θέσεων για χωροθέτηση ΑΠΕ, είναι πλούσια τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και διεθνές. Σημαντικότερη θεωρείται η διπλωματική μελέτη του Jeffrey D. Harrison, με τίτλο On shore Wind Power Systems, που αξιολογεί θέσεις για εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην Ουάσιγκτον και στο Όρεγκον. Όσον αφορά την ελληνική βιβλιογραφία μελετήθηκαν οι μεταπτυχιακές εργασίες της Σαρρή Πηνελόπης (Σαρρή, 2008), της Αγγελικής Γουλιάμου (Γουλιάμου, 2008), για χωροθέτηση αιολικών πάρκων στον νομό Λακωνίας, όπως και του Σόλωνα Νικολάου για την ασάφη χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Κύπρο, καθώς και με τη μέθοδο της σταθμισμένης επικάλυψης, αλλά και με την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) (Νικολάου Σόλων, 2013).

Διάφορες μεθοδολογίες, όπως η πολυκριτηριακή ανάλυση που προαναφέραμε (Λόλος et al, 2001, Μανωλιάδης et al, 2001, Μουρμούρης, 1997), τα έμπειρα συστήματα (Kao-Jehng-Jung et al, 1997) και τα χωρικά μοντέλα (Hung-Yueh Lin, et al, 1999) έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών για την επίλυση ανάλογων προβλημάτων χωροθέτησης όπως π.χ. η χωροθέτηση χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), σε μια προσπάθεια ενσωμάτωσης, πέραν των καθαρά τεχνικών παραμέτρων, τόσο των περιβαλλοντικών όσο και των κοινωνικο-οικονομικών παραγόντων που υπεισέρχονται στα παραπάνω προβλήματα.

Άλλες εργασίες, περιλαμβάνουν τη χρήση συνδυασμού πολυκριτηριακών μεθόδων και λογικής της ασάφειας για την πληρέστερη αξιολόγηση χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή του Ομάν, που όπως φαίνεται από τη συγκεκριμένη μελέτη εξήχθησαν αποτελέσματα με συνδυασμό αρκετά πολύπλοκων κριτηρίων (Charabi, Gastli, 2011) ενώ αξίζει να σημειωθεί και η ανάλυση καταλληλότητας μιας περιοχής με τη χρήση μόνο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP), όπου δημιουργήθηκαν κριτήρια με βάρη, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και παρήγαγαν αποτελεσματικά και γρήγορα την καταλληλότητα μιας περιοχής συνδυάζοντας οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες (Mevlut Uyan, 2013).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη χρήση πολυκριτηριακού μοντέλου για την αξιολόγηση καταλληλότητας μιας περιοχής καθώς απαιτεί καθορισμένες μεταβλητές και βάρη τα οποία θα επηρεάσουν το μοντέλο μας, τα αποτελέσματα και το συνδυασμό χρήσης και άλλων παραγόντων διότι υπάρχει περίπτωση εσφαλμένων αποτελεσμάτων, όπως φαίνεται και στη μελέτη του Jason R. Janke (2010) για την περιοχή του Colorado όπου τα δεδομένα του κατηγοριοποιήθηκαν σε 7 κλάσεις.

Τη σημαντικότητα της πολυκριτηριακής μεθόδου σε συνδυασμό με ένα ΓΣΠ σύστημα καταδεικνύουν στην έρευνά τους και οι Juan M.Sánchez-Lozano, Jerónimo Teruel-Solano, Pedro L.Soto-Elvira και M.Socorro García-Cascales (2013), οι οποίοι παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τη χωροθέτηση ενός Φ/Β Πάρκου στην περιοχή της Μούρθια (Καρθαγένη), στη ΝΑ Ισπανία, χρησιμοποιώντας εκτενή αλφαριθμητικά και χαρτογραφικά δεδομένα από μια βάση σε συνδυασμό με πολυκριτηριακή μέθοδο για την απλοποίηση των αποτελεσμάτων τους.

Επίσης και στη μελέτη του Tangestani (2003) με τίτλο «Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS, Kakan catchment area, Iran» χρησιμοποιήθηκε η ασαφής προσέγγιση συνδυάζοντας πολλαπλούς παράγοντες και δημιουργήθηκαν ασαφείς δείκτες και κριτήρια με βάρη, δίνοντας αποτελέσματα για περιοχές οι οποίες ήταν κοντά στις ήδη γνωστές κατάλληλες περιοχές.

Την ίδια λογική της ασαφούς προσέγγισης χρησιμοποίησαν και οι Kunal Kumar Borah, Souvik Roy και T. Harinarayana (2013) με πολλαπλούς παράγοντες, με τη διαφορά ότι σε αυτή τη μελέτη η περιοχή εξετάστηκε για κάθε παράγοντα ξεχωριστά και στο τέλος πραγματοποιήθηκε συνδυασμός για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την καταλληλότητα της περιοχής.

Κατά τη διερεύνηση υλοποίησης μοντέλων χωροθέτησης με χρήση ασαφούς λογικής κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούμε και στη μελέτη των Pei Zhai και Eric D. Williams (2012), οι οποίοι πέραν των περιβαλλοντικών και οικονομικών παραγόντων, εισήγαγαν στο μοντέλο τους και παράγοντες που αφορούν και τον ιδιοκτήτη-καταναλωτή για την εξαγωγή πληρέστερων συμπερασμάτων και την επιλογή της καταλληλότερης περιοχής για χωροθέτηση Φ/Β Πάρκων.

Συνδυασμός των παραπάνω μελετών έγινε και από τους Hassan Z. Al Garni και Anjali Awasth (2017), όπου σε ιδιαίτερα πολύπλοκα συστήματα με πολλαπλούς παράγοντες και κριτήρια, ο συνδυασμός Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP) και Ασαφούς Λογικής προσέφερε σημαντικά πλεονεκτήματα και βελτιωμένες αναλύσεις. Παρόλαυτα στη μελέτη τους αναφέρετε ότι αξίζει να σημειωθούν οι

διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα μεταξύ των δύο μεθόδων και ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και άλλες πολυκριτηριακές μέθοδοι για αρτιότερη σύγκριση.

Όπως αναφέρεται και στη μελέτη με τίτλο “An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process” ο συνδυασμός της Λογικής της Ασάφειας με Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP), παράγει ένα μοντέλο αυξημένης γνωστικής βάσης η οποία βασίζεται σε εκτενή δεδομένα και παράγει μια αποτελεσματική συγκριτική μέθοδο ενσωματώνοντας κριτήρια με βάρη. Αυτός ο συγκεκριμένος συνδυασμός μπορεί να παράγει χάρτες οι οποίοι να χρησιμοποιηθούν σαν ένα εργαλείο υποστήριξης απόφασης (Decision Support System), όχι μόνο για τη διαχείριση, αλλά και για τη μελέτη χωροθέτησης οποιουδήποτε συστήματος (Gorsevski, et al, 2006).

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ο συνδυασμός αυτός εξάγει όχι και τόσο άρτια αποτελέσματα, αλλά το μεγάλο του πλεονέκτημα να συνδυάζει ετερογενή δεδομένα καθώς και επιλογή συγκεκριμένων κριτηρίων για συγκεκριμένη περιοχή και για συγκεκριμένο πρόβλημα, καθώς και η δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων σεναρίων την καθιστά ένα πολύ καλό εργαλείο υποστήριξης απόφασης (Decision Support System, DSS).

Τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται από τις παραπάνω μεθόδους υπακούουν στη δυαδική λογική (Boolean Logic) και τα όρια των επιλεγμένων περιοχών είναι ευκρινώς καθορισμένα. Ωστόσο, στην πραγματικότητα είναι αδύνατον να προσδιοριστούν με απόλυτη βεβαιότητα τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά «όρια» ενός χώρου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η λογική της ασάφειας σε συνδυασμό με τα Γ.Σ.Π (Χατζηχρήστος, et al, 2001) για την ανάλυση των συνιστωσών που τα διαμορφώνουν, όπως χαρακτηριστικά συμβαίνει και στην περίπτωση της χωροθέτησης αιολικού πάρκου στο νομό Φωκίδας με τη λογική της ασάφειας και Γ.Σ.Π. (Νάκου, 2007).

Μία τέτοιου είδους προσπάθεια έγινε και για τη χωροθέτηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου στο νησί της Λέσβου, με την χρήση Γ.Σ.Π. (Χατζόπουλος κ.α, 2007). Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται η πολυκριτηριακή μέθοδος επικάλυψης, ενώ στην παρούσα εργασία πέραν αυτής της μεθόδου γίνεται ακόμη ανάλυση των κριτηρίων με τη χρήση της σταθμισμένης επικάλυψης. Επίσης έχει γίνει μελέτη χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου 100 KW στο Πεντελικό Όρος με χρήση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων όπου εφαρμόζεται η πολυκριτηριακή μέθοδος (Κουτσόπουλος κ.α, 2013). Ένα ακόμη παράδειγμα αποτελεί η χωροθέτηση αιολικών πάρκων στο Ηνωμένο Βασίλειο με τη χρήση γεωπληροφοριακών συστημάτων, όπου γίνεται εφαρμογή της σταθμισμένης επικάλυψης. (Serwan M.J. Baban and Parry, 2000). Ακόμη, σημαντική είναι και η διπλωματική του Αντρέα Κοντογιάννη για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων με τη χρήση γεωπληροφοριακών συστημάτων και τη χρήση της σταθμισμένης επικάλυψης στο νομό της Άρτας (Κοντογιάννης, 2013).

1.2 Ενεργειακό Πρόβλημα και Πολιτική

1.2.1 Παγκόσμιο και Εθνικό Ενεργειακό Πρόβλημα

Το τελευταίο μισό του περασμένου αιώνα και ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, είναι γεγονός ότι οι ενεργειακοί πόροι του πλανήτη συνδέονται άμεσα με την ομαλή λειτουργία του οικονομικού συστήματος. Οι απαιτήσεις των γραμμών παραγωγής σε ενέργεια, όπως επίσης η αυξανόμενη κατανάλωση αλλά και η μη αποδοτική χρήση της ενέργειας, έχουν οδηγήσει στη μείωση των αποθεμάτων των ενεργειακών πόρων και επομένως στην αύξηση του κόστους εξόρυξης και παραγωγής τους.

Η ανεπάρκεια των φυσικών πόρων και η επίπτωσή τους στην οικονομική ανάπτυξη έχει απασχολήσει ιδιαίτερα τις πλούσιες οικονομικά χώρες. Μάλιστα, εξαιτίας των δυο μεγάλων ενεργειακών κρίσεων, το ενδιαφέρον για την στενότητα των ορυκτών καυσίμων έγινε ακόμα πιο έντονο. Ο προβληματισμός των κρατών, στρεφόταν πάντα γύρω από το πώς θα μπορέσει να συμβαδίσει η ευημερία στην καθημερινή κοινωνία σε συνάρτηση με την συνεχιζόμενη έλλειψη των φυσικών πόρων.

Ο ενεργειακός πόρος που κατέχει σήμερα την πρώτη θέση στην παγκοσμία κατανάλωση ενέργειας είναι το πετρέλαιο και τα προϊόντα του. Στην ίδια λίστα ενεργειακών πόρων και σε δεσπόζουσες θέσεις ακολουθούν, ο άνθρακας, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Δ.Ε.Ο. (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας) η παγκόσμια ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας εμφανίζει ετήσιο ρυθμό αύξησης περίπου 1,8%. Κατά το έτος 2005 η ζήτηση, έφτανε τα 11,4 δις τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Σύμφωνα με προβλέψεις, η συγκεκριμένη ποσότητα πετρελαίου αναμένεται μέχρι και το 2030 να εκτοξευθεί στα 17,7 δις. Παρατηρείται λοιπόν, ότι τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας), συνεχίζουν να είναι η κύρια πηγή πρωτογενούς ενέργειας, κατέχοντας μάλιστα το μεγαλύτερο μερίδιο.

Από την άλλη, αυτή η αύξηση στη χρήση των ορυκτών καυσίμων θα έχει ως συνέπεια την αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 57%, για την περίοδο 2005-2030. Ακόμη, η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα και άλλων επιβλαβών ουσιών, όπως νιτρικά και ανθρακικά οξείδια. Οι ρύποι αυτοί αποτελούν τον κυριότερο λόγο πρόκλησης του φαινομένου του θερμοκηπίου που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης.

Μέχρι το τέλος του αιώνα εκτιμάται ότι η θερμοκρασία θα ανέβει από 2 °C μέχρι και 7 °C σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Η συνεχής υπερθέρμανση του πλανήτη έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αποθεμάτων του νερού, τις καταστροφικές πλημμύρες αλλά και τη μείωση του αριθμού των ειδών. Η ραγδαία κλιματική αλλαγή που στο παρελθόν αμφισβητήθηκε από τους οικονομικά «ασχυρούς» του παγκόσμιου χάρτη είναι πλέον εμφανής, αφού την τελευταία εικοσαετία όλο και πιο συχνά εμφανίζονται ακραία καιρικά φαινόμενα, τα οποία προκαλούν ανυπολόγιστες καταστροφές με τεράστιες πολιτικές και οικονομικές συνέπειες.

Παράλληλα όμως, το πετρέλαιο και τα λοιπά ορυκτά καύσιμα συγκαταλέγονται στους μη ανανεώσιμους πόρους. Επομένως, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης αλλά και

της ταυτόχρονης εξάντλησης αυτών, οι τιμές τους θα αυξάνονται ολοένα και περισσότερο.

Επιπρόσθετα, οι τιμές του άνθρακα, του λιγνίτη και του φυσικού αερίου έχουν αυξηθεί με τον ίδιο ρυθμό σε σχέση με τις τιμές του πετρελαίου. Συνεπακόλουθο αυτού, είναι και οι αρκετά ψηλές τιμές στα είδη πρώτης ανάγκης οι οποίες επηρεάζονται άμεσα από τις υψηλές τιμές του «μαύρου χρυσού».

Μετά λοιπόν, από τα γεγονότα της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης τη δεκαετία του '70 και ιδιαίτερα μετά τη συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων τη δεκαετία του '80, αναπτύχθηκε έντονα το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των ΑΠΕ σε συνδυασμό με τη δημιουργία αξιόπιστων και τεχνοοικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών με στόχο τη μετατροπή των ΑΠΕ σε εκμεταλλεύσιμες μορφές ενέργειας. Είναι πλέον ευρύτερα αποδεκτό, το γεγονός ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κύριος παράγοντας για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, λόγω των διαδικασιών που απαιτούνται για την παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων.

Οι ΑΠΕ για πολλές χώρες θεωρούνται εναλλακτικές εγχώριες πηγές ενέργειας με δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο αντικαθιστώντας σε σημαντικό βαθμό τους ακριβούς εισαγόμενους ορυκτούς πόρους μειώνοντας την εξάρτηση από αυτούς και ενισχύοντας την ασφάλεια για ενεργειακό εφοδιασμό. Επιπλέον, αυξάνεται το επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος, εφόσον η χρήση των ΑΠΕ δεν επιβαρύνει το φυσικό περιβάλλον στον ίδιο βαθμό με τα ορυκτά καύσιμα, διότι δεν υφίσταται η παραγωγή ρύπων ή αερίων που συνδράμουν στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Χαρακτηριστική είναι η προσπάθεια που καταβάλλει η Σουηδία για την πλήρη απεξάρτησή της από το πετρέλαιο μέχρι το 2020.

Είναι γεγονός πως τόσο η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας όσο και οι διάφορες εποχιακές διακυμάνσεις αυτής, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, συχνά φέρνει στο όριο του το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας και πόσο μάλλον των ελληνικών νησιών. Η υπερβολική ζήτηση σε συνδυασμό με την άσκοπη και αχρείασθη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν ως αποτέλεσμα το σύστημα παραγωγής να «πέφτει» και οι διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος, να αποτελούν κυρίως ένα συχνό καλοκαιρινό φαινόμενο.

Κλείνοντας και με βάση τα προαναφερόμενα, η κατάσταση που επικρατεί μέχρι σήμερα επιτάσσει άμεσα την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος. Η ελληνική κυβέρνηση και οι αρμόδιοι φορείς, οφείλουν να βρουν λύσεις για χάραξη μιας στρατηγικής γύρω από το όλο θέμα και να δημιουργήσουν ένα υγιές ενεργειακό σύστημα, το οποίο θα βασίζεται περισσότερο στην εκμετάλλευση και χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.2.2 Ευρωπαϊκοί Στόχοι για τις ΑΠΕ

Κινητήρια δύναμη για την κινητοποίηση της Ευρώπης στα θέματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτέλεσαν τα γεγονότα της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης τη δεκαετία του '70 και η συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων τη δεκαετία του '80. Αποτέλεσμα των πρώτων κινητοποιήσεων ήταν η ψήφιση της Λευκής Βίβλου της ΕΕ το 1997, για θέματα που αφορούσαν τις ΑΠΕ. Βασικός και

κεντρικός στόχος της Λευκής Βίβλου ήταν ο διπλασιασμός των ΑΠΕ στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση της ΕΕ από 6% που ήταν το 1995 σε 12% το 2010.

Με τη Βίβλο αυτή αλλά και τις ακόλουθες οδηγίες και πολιτικές η ΕΕ επιδίωξε να πετύχει:

1. Μεγαλύτερη ασφάλεια καυσίμων στην ΕΕ και μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από τις εισαγωγές ενέργειας.
2. Αύξηση της απασχόλησης και βιομηχανικής ανάπτυξης καθώς η εφαρμογή τεχνολογιών ΑΠΕ προϋποθέτει περισσότερη εργασία απ' ό,τι οι τεχνολογίες αξιοποίησης ορυκτών καυσίμων.
3. Αύξηση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας.
4. Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και γενικά προστασία του περιβάλλοντος.

Τον Ιανουάριο του 2007 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τον Χάρτη Πορείας για τις ΑΠΕ θέτοντας μια μακροπρόθεσμη στρατηγική. Οι Ευρωπαίοι ηγέτες υπέγραψαν για ένα δεσμευτικό στόχο, κατά τον οποίο μέχρι το 2020, το 20% των ενεργειακών αναγκών της ΕΕ θα πρέπει να καλύπτεται από τις ΑΠΕ, περιλαμβανομένων της βιομάζας, της υδραυλικής ενέργειας, της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, οι ηγέτες της ΕΕ συμφώνησαν σε μια νέα Οδηγία (Οδηγία 2009/28/ΕΚ) για την προώθηση των ΑΠΕ, και η οποία θέτει στόχους για κάθε Κράτος Μέλος της ΕΕ ξεχωριστά. Στα πλαίσια του πιο πάνω στόχου, οριοθετήθηκε και στόχος για τη χρήση βιοκαυσίμων στα μέσα μεταφοράς που θα πρέπει να αποτελούν το 10% των χρησιμοποιημένων καυσίμων έως το 2020.

1.3 Χωροθέτηση Φ/Β

Το ζήτημα της χωροθέτησης των ΑΠΕ είναι σημαντικό γιατί, αν και τα έργα ΑΠΕ μπορεί να χαρακτηρισθούν κατ' αρχήν ως δραστηριότητες φιλικές προς το περιβάλλον, εν τούτοις έχουν και αυτά τις επιπτώσεις τους.

Οι επιπτώσεις αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος της ΑΠΕ. Για την πρόληψη, την άμβλυνση και την αποτροπή των επιπτώσεων αυτών, είναι ιδιαίτερα σημαντική και άμεση η ανάγκη καθιέρωσης κανόνων και κριτηρίων για τη χωροθέτηση έργων ΑΠΕ, στο σύνολο του εθνικού χώρου. Έτσι, προστατεύεται το περιβάλλον και ενισχύεται η επενδυτική ασφάλεια. Την ανάγκη αυτή υπέδειξε, άλλωστε, και το Συμβούλιο της Επικρατείας σε πρόσφατες αποφάσεις του. Για την ηλιακή ενέργεια και ιδιαίτερα για τα ενεργά συστήματα εκμετάλλευσης, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, υπάρχει το πλεονέκτημα της εύκολης χωροθέτησης, της μεγάλης διάρκειας ζωής και του μικρού κόστους συντήρησης. Τελικά στις 12/11/2008, εγκρίθηκε από την Κυβερνητική Επιτροπή το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ. Στο άρθρο 17, αναφέρονται τα κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Η ΡΑΕ προσδιόρισε τα παρακάτω για την χωροθέτηση Φ/Β σταθμών:

- Ως περιοχές προτεραιότητας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μπορεί ενδεικτικά να θεωρηθούν οι περιοχές που είναι άγονες ή δεν είναι υψηλής παραγωγικότητας και κατά προτίμηση αθέατες από πολυσύχναστους χώρους, και με δυνατότητες διασύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα
- Ειδικότερα για τα νησιά πλην Κρήτης και Εύβοιας είναι επιθυμητή η κατά προτεραιότητα χωροθέτηση μικρών εγκαταστάσεων
- Ζώνες Αποκλεισμού: Διατηρητέα μνημεία, περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης, πυρήνες των Εθνικών Δρυμών, περιοχές NATURA 2000, τα δάση και οι γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας.

1.4 Καθορισμός Προβλήματος και Στόχων της Μελέτης

Ο καθορισμός του προβλήματος, αποτελεί ουσιαστικό και αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας του σχεδιασμού. Σε κάθε μελέτη, γίνεται μια αναλυτική διατύπωση του προβλήματος καθώς αποτελεί τον βασικό άξονα προσανατολισμού της διαδικασίας.

Στην παρούσα διαδικασία μελέτης, ο στόχος που τίθεται είναι η εξεύρεση κατάλληλων τεμαχίων γης για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων, ισχύος μεγαλύτερης των 100 KW. Επιλέγονται φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος μεγαλύτερης των 100 KW, καθώς το συγκεκριμένο δυναμικό θεωρείται το ελάχιστο όριο παραγωγής όπου μπορεί να επιδοτηθεί από κυβερνητικές επιχορηγήσεις, στα πλαίσια του σχεδίου χορηγιών. Με την ηλιοφάνεια που επικρατεί στη Ζάκυνθο και γενικότερα στη χώρα μας, ένα ενεργειακό δυναμικό ισχύς 100 KW μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας δημόσιας υπηρεσίας ή ακόμη κι ενός δημοτικού σχολείου. Η εξεύρεση αλλά και η αξιολόγηση των τεμαχίων, θα γίνει με τη βοήθεια των Γ.Σ.Π όπως επίσης και με βάση τα κριτήρια και τους κανόνες που θέτει το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο.

Μέσα από τη μελέτη κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων γίνεται η ανάδειξη της ηλιακής ενέργειας, ως της πρωτοπόρου ΑΠΕ. Η στροφή λοιπόν στις ΑΠΕ κρίνεται αναγκαία και επιτακτική, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που τέθηκαν σε διεθνές επίπεδο από την Ευρωπαϊκή Ένωση, με την απεξάρτηση από τις συμβατικές μορφές ενέργειας και την εκμετάλλευση ήπιων μορφών ενέργειας όπως η ηλιακή.

Το θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της ηλιακής ενέργειας είναι επίκαιρο, όχι μόνο δεδομένης της ανάγκης προώθησής της, αλλά και λόγω κοινωνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής σκοπιάς. Λόγω επίσης, των κοινοτικών δεσμεύσεων που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι υποδομές για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας αυξάνονται ραγδαία τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκόσμια.

Για την ορθή εφαρμογή ενός Γ.Σ.Π., μετά τον καθορισμό του προβλήματος, θα καθορισθούν τα κριτήρια που πρέπει αυτό να πληροί, τα θεματικά επίπεδα που πρέπει να δημιουργηθούν, τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των στοιχείων, το σύστημα

συντεταγμένων που θα χρησιμοποιηθεί και η οργάνωση του χώρου εργασίας για το συγκεκριμένο Γ.Σ.Π.

Η παρούσα μελέτη έχει ως κεντρικό σκοπό την εξεύρεση και αξιολόγηση των περιοχών οι οποίες είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν τα Γ.Σ.Π. για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, είναι επειδή αποτελούν ιδανικό εργαλείο συλλογής, καταχώρησης, ενημέρωσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά το γεωγραφικό περιβάλλον.

Ιδιαίτεροι στόχοι της μελέτης αποτελούν η εφαρμογή και η σύγκριση μεθοδολογιών ασαφούς λογικής, αναλυτική ιεραρχικής διαδικασίας και Boolean επεξεργασίας, η παρουσίαση των κατάλληλων περιοχών για χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο μέσω οικονομοτεχνικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων, καθώς και η απόρριψη των μη- κατάλληλων βάσει νομοθεσίας και πάντοτε βάσει φυσικά και των μελετών-ερευνών που προαναφέραμε και εξετάσαμε και συγκρίναμε ενδελεχώς.

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Περιοχή Μελέτης

2.1.1 Γενικά στοιχεία

Η Ζάκυνθος βρίσκεται σε απόσταση 8,5 ναυτικών μιλίων από το νοτιότερο ακρωτήριο της Κεφαλονιάς και 9,5 ναυτικών μιλίων από τα ΒΔ παράλια της Πελοποννήσου (ακρωτήριο Τρυπητή της Ηλείας), μεταξύ 37° 38' και 37° 56' βόρειου πλάτους και 20°37' και 21°00' ανατολικού μήκους.

Η Ζάκυνθος είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί του Ιονίου (μετά την Κέρκυρα και την Κεφαλονιά) και έχει έκταση 405,5 km² (ποσοστό 0,303% του Ελληνικού χώρου), από τα οποία τα 178 km² είναι πεδινές εκτάσεις, τα 224 km² ημιορεινές και τα 3,5 km² ορεινές εκτάσεις. Το μήκος των ακτών της είναι περίπου 154 km (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 1997).

Το νησί έχει σχήμα τριγωνικό, όπου η μία κορυφή του προς βορρά καταλήγει στο ακρωτήριο Σχοινάρι. Νοτιοανατολικά σχηματίζεται η χερσόνησος του όρους Σκοπός που απολήγει στο ακρωτήριο Γέρακα. Η τρίτη κορυφή του νοτιοδυτικά, το ακρωτήριο του Μαραθιά, διαμορφώνει τη χερσόνησο του Κερίου. Μεταξύ των ακρωτηρίων Γέρακα και Μαραθιά σχηματίζεται ο μεγάλος κόλπος του Λαγανά, εντός του οποίου βρίσκονται οι νησίδες Πελούζο, Μαραθονήσι και Άγιος Σώστης.

Διοικητικά είναι ένας νομός της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων με πρωτεύουσα την ομώνυμη πόλη. Στο νομό υπάγονται έξι νέοι δήμοι που συστάθηκαν με το σχέδιο Καποδίστριας, με 47 δημοτικά διαμερίσματα, που περιλαμβάνουν 87 οικισμούς (Μπέκα, 2007).

Η Ζάκυνθος έχει λίγους χειμάρρους και ρέματα και άφθονα πηγαία νερά και πηγάδια.

Τα πιο σημαντικά ρέματα, είναι ο Λαγανάς και ο Ρύακας Κατασταρίου, οι κοίτες των οποίων έχουν χάσει τη φυσικότητά τους.

Επίσης, η ιστορία του νησιού και η ζωή των κατοίκων είναι συνυφασμένες με τους σεισμούς. Η περιοχή της νοτιοδυτικής Ελλάδας είναι από τις πλέον σεισμογενείς της χώρας μας. Η Ζάκυνθος αποτελεί τμήμα μικρής πλάκας του φλοιού της γης, που περιλαμβάνει την Κεφαλονιά, την Πελοπόννησο, την Αττικοβοιωτία, την Εύβοια και το Αιγαίο πέλαγος, μαζί με την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα και φτάνει έως και τα παράλια της Μικράς Ασίας. Η πλάκα αυτή βρίσκεται ανάμεσα στην Αφρικανική και την Ευρασιατική πλάκα και δέχεται την πίεση της Αφρικανικής από το Ιόνιο μέχρι το Καρπάθιο πέλαγος. Η μετακίνηση των πλακών αυτών δημιουργεί τους σεισμούς, άλλοτε μικρούς και άλλοτε ισχυρότατους, ανάλογα με την ενέργεια που έχει συσσωρευτεί.



Εικόνα 1: Γεωφυσικός χάρτης Ζακύνθου.

2.1.2 Πληθυσμιακά Στοιχεία

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας στο διάστημα 1971-2011.

ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ					
	1971	1981	1991	2001	2011
Δήμος Ζακύνθου	30187	30014	32557	39015	40759
Δ.Ε. Ζακυνθίων	12149	12762	14064	16457	16810
Δ.Ε. Αλωκών	4174	4123	4313	4796	5203
Δ.Ε.Αρκαδίων	3355	3227	3553	4830	5215
Δ.Ε. Αρτεμισίων	4312	3915	4076	4517	4612
Δ.Ε. Ελατίων	2506	2238	2248	2503	1933
Δ.Ε. Λαγανά	3691	3749	4303	5894	6986

Πίνακας 1.: Μεταβολές πληθυσμού σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας.
Πηγή: Δεδομένα από ΕΛ.ΣΤΑΤ.

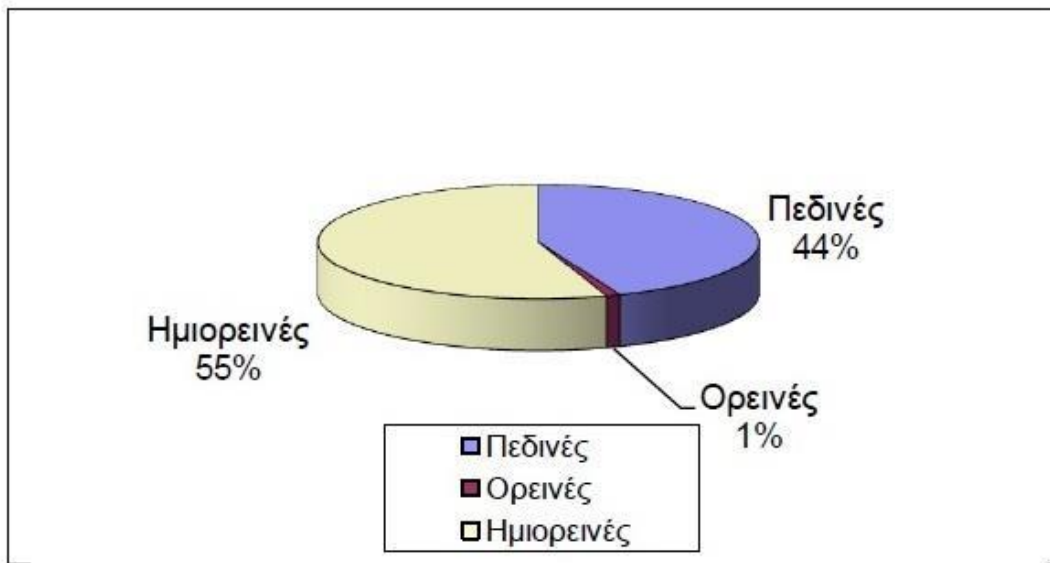
2.1.3 Μορφολογία

Η Ζάκυνθος μπορεί να διακριθεί σε τρεις ενότητες:

- α) Την ορεινή που καταλαμβάνει το δυτικό, βόρειο και νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού,
- β) τη λοφώδη που εκτείνεται στις παρυφές των ορεινών όγκων και
- γ) την πεδινή που εκτείνεται στο κεντροανατολικό τμήμα του νησιού.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από θαλάσσιο - μεσογειακό και υγρό κλιματικό τύπο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 825 mm (σταθμός αεροδρομίου) με 114 ημέρες βροχόπτωση το έτος. Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 17,9 °C.

Από μορφολογική άποψη, το νησί της Ζακύνθου χαρακτηρίζεται στο μεγαλύτερο μέρος του από ημιορεινές και πεδινές εκτάσεις. Εξ ολοκλήρου πεδινές εκτάσεις είναι οι δημοτικές ενότητες Ζακυνθίων και Αρκαδίων, ημιορεινή είναι κυρίως η δημοτική ενότητα Ελατίων, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό ορεινής έκτασης (3,44%) διαθέτει η δημοτική ενότητα Αρτεμισίων.



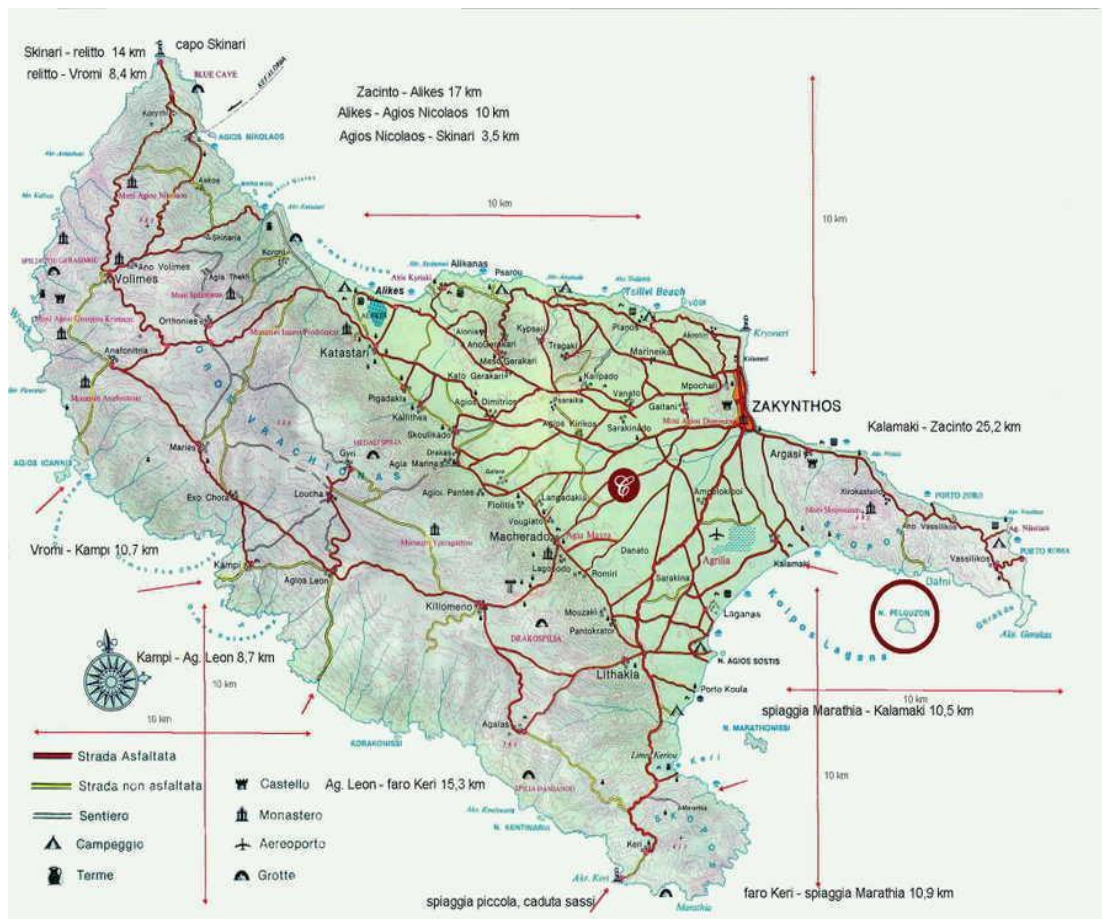
Πίνακας 2: Κατανομή εδαφικών εκτάσεων νήσου Ζακύνθου
 Πηγή: Δεδομένα από ΕΛΣΑΤ

Στη συνολική έκταση της νήσου Ζακύνθου (405.600 στρέμματα), οι πεδινές εκτάσεις είναι 178.300 στρέμματα (44%), οι ορεινές 3.600 στρέμματα (1%) και οι ημιορεινές 223.700 στρέμματα (55%) (Πίνακας 2).

2.1.4 Υποδομές – Δίκτυα

Δεδομένου του νησιωτικού χαρακτήρα της περιοχής μελέτης, η οδική πρόσβαση σε αυτή δεν είναι δυνατή. Η πρόσβαση στην περιοχή γίνεται οδικώς μέχρι το λιμάνι της Κυλλήνης και από εκεί ακτοπλοϊκώς. Το νησί απέχει από την Κυλλήνη 9,5 ναυτικά μίλια.

Το εσωτερικό οδικό δίκτυο που συνδέει τις δημοτικές ενότητες του δήμου Ζακύνθου έχει περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα νησιά. Χαρακτηρίζεται ως δευτερεύον οδικό δίκτυο, με μικρό μήκος εθνικών οδών και μεγαλύτερο μήκος οδών επαρχιακού δικτύου. Στην Εικόνα 2 φαίνεται το οδικό δίκτυο του νησιού.



Εικόνα 2: Οδικό δίκτυο Ζακύνθου

Πηγή: http://www.comoutos.gr/maps_gr.htm

Ο νομός Ζακύνθου διαθέτει επίσης ένα βασικό λιμάνι στο κέντρο της πόλης, το οποίο εξυπηρετεί όλη την επιβατική και εμπορευματική κίνηση με την Κυλλήνη.

Εκτός από το κεντρικό λιμάνι, έχουν επίσης κατασκευαστεί σε επίκαιρες θέσεις του νησιού μικρά λιμενικά έργα για την εξυπηρέτηση κυρίως τοπικών αναγκών, που αφορούν κυρίως στην αλιευτική δραστηριότητα και τα σκάφη αναψυχής.

Το νησί συνδέεται ακτοπλοϊκά με την Κυλλήνη και υπάρχουν αρκετά δρομολόγια καθημερινά από και προς το λιμάνι της. Τα δύο λιμάνια απέχουν μεταξύ τους περίπου 18 ναυτικά μίλια και το ταξίδι διαρκεί περίπου μία ώρα. Η γραμμή λειτουργεί με ικανοποιητική πυκνότητα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Έτσι, κατά τη θερινή περίοδο υπάρχουν πολλαπλά καθημερινά δρομολόγια από τη Ζάκυνθο προς το λιμάνι της Κυλλήνης.

Επίσης η Ζάκυνθος συνδέεται ακτοπλοϊκά με την Κεφαλονιά με τη γραμμή Σκιναρίου (Αγίου Νικολάου) – Πεσσάδας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει και ακτοπλοϊκή σύνδεση της Ζακύνθου με την Ιταλία και τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της μεγάλης τουριστικής ζήτησης από την Ιταλία προς τη Ζάκυνθο.

Το νησί συνδέεται με την Αθήνα και άλλες μεγάλες πόλεις με καθημερινά δρομολόγια του ΚΤΕΛ μέσω Κυλλήνης, τα οποία ακολουθούν το πρόγραμμα αναχωρήσεων των πλοίων.

Από τον αερολιμένα Αθηνών υπάρχουν πτήσεις για τη Ζάκυνθο όλο το χρόνο. Η διάρκεια πτήσεως είναι περίπου 55 λεπτά. Το αεροδρόμιο της Ζακύνθου βρίσκεται σε απόσταση 0.6 χλμ από την πόλη. (Πηγή: http://www.e-zakynthos.com/gr_zante.zakynthos.php)

2.1.5 Φυσικό Τοπίο – Προστατευόμενες Περιοχές

Σύμφωνα με την Εικόνα 3, οι περιοχές Natura 2000 βρίσκονται σε δύο σημεία του νησιού. Η μία είναι στον κόλπο του Λαγανά (από το ακρωτήριο Γέρακα ως το Κερί), καθώς και τα νησιά Μαραθονήσι και Πελούζο και Στροφάδες και η άλλη κατά μήκος των Δυτικών και Βορειοανατολικών ακτών της Ζακύνθου.

Οι περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνονται στο Ευρωπαϊκό δίκτυο προστατευόμενων περιοχών, «Natura 2000» και έχουν κηρυχθεί με απόφαση του Υπουργικού Συμβουλίου ως περιοχές απόλυτης προστασίας της φύσης.

Όσον αφορά το δίκτυο NATURA 2000, είναι ένα ευρύ Ευρωπαϊκό δίκτυο το οποίο αναφέρεται στην προστασία φυσικών περιοχών, χλωρίδας, πανίδας και οικοτόπων, με στόχο την διασφάλιση της επιβίωσης πολύτιμων και απειλούμενων ειδών. Η οδηγία δεν απαγορεύει τις δραστηριότητες εντός των ορίων του, αλλά επιτρέπει μόνο αυτές οι όποιες δεν επηρεάζουν την αρμονία της φύσης.



Εικόνα 3 : Ζώνες Natura 2000
Πηγή: <http://natura2000.eea.europa.eu/#>

2.2 Ενεργειακά Χαρακτηριστικά

Στον 21ο αιώνα η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί τον βασικότερο πυλώνα της ενεργειακής πολιτικής κάθε χώρας. Για τη χώρα μας η εξοικονόμηση ενέργειας έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού ο τομέας της ενέργειας χαρακτηρίζεται από την υψηλή εξάρτηση των εισαγόμενων μορφών ενέργειας, κυρίως πετρελαιοειδών, το κόστος των οποίων είναι δυσβάστακτο και επηρεάζει αρνητικά το ισοζύγιο πληρωμών.

Η ενέργεια αποτελεί τη βασική υποδομή για την ανάπτυξη τόσο στη βιομηχανία και τις μεταφορές, όσο και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου σε οικιακή χρήση, όπως και σε άλλες (ξενοδοχεία, καταστήματα) δραστηριότητες.

Η Ζάκυνθος διαθέτει συμβατική μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας με καύση ορυκτών πόρων (πετρέλαιο).

Σύμφωνα με τη μελέτη του προγράμματος Ήλιος, η Ζάκυνθος θεωρείται η πλέον κατάλληλη περιοχή της Ελλάδας για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ, λόγω της μεγάλης περιόδου ηλιοφάνειας.

Από την άλλη, η συνεισφορά των ΑΠΕ στη τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ζάκυνθο παραμένει μέχρι σήμερα πολύ περιορισμένη. Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ προέρχεται κατά κύριο λόγο από το μοναδικό αιολικό πάρκο στο νησί και τους ηλιακούς θερμοσίφωνες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως στη Ζάκυνθο για την θέρμανση νερού. Η ενέργεια η οποία παράγεται από βιομάζα θεωρείται αμελητέα.

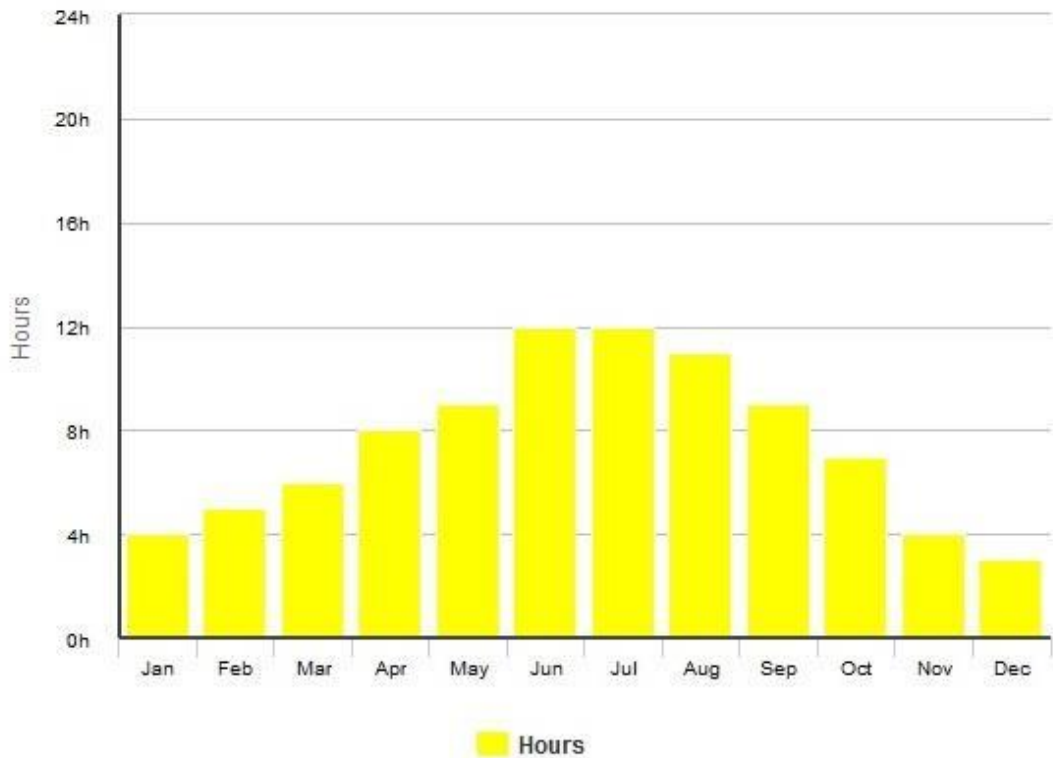
Καταλυτικό λοιπόν παράγοντα στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως πετρελαιοειδή και άνθρακα, μπορούν να διαδραματίσουν οι ΑΠΕ. Αυτό δε, μπορεί να επιφέρει και θετικές επιπτώσεις στην ισορροπία του εμπορίου και της οικονομίας του νησιού.

2.3 Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ

2.3.1 Ηλιακό Δυναμικό

Η Ζάκυνθος διαθέτει ένα πολύ υψηλό ηλιακό δυναμικό, με το μέσο όρο της ημερήσιας ηλιοφάνειας να φτάνει τις 7,5 ώρες, με 296 μέρες το χρόνο ηλιοφάνεια (Πηγή: <http://www.zakynthos.gov.gr/zakynthos-island/genika/klimatika-meteorologika-kai-ydrologika-dedomena.html>). Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στη Ζάκυνθο είναι λοιπόν πολύ υποσχόμενη λόγω του γεγονότος ότι όλο το νησί έχει μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας.

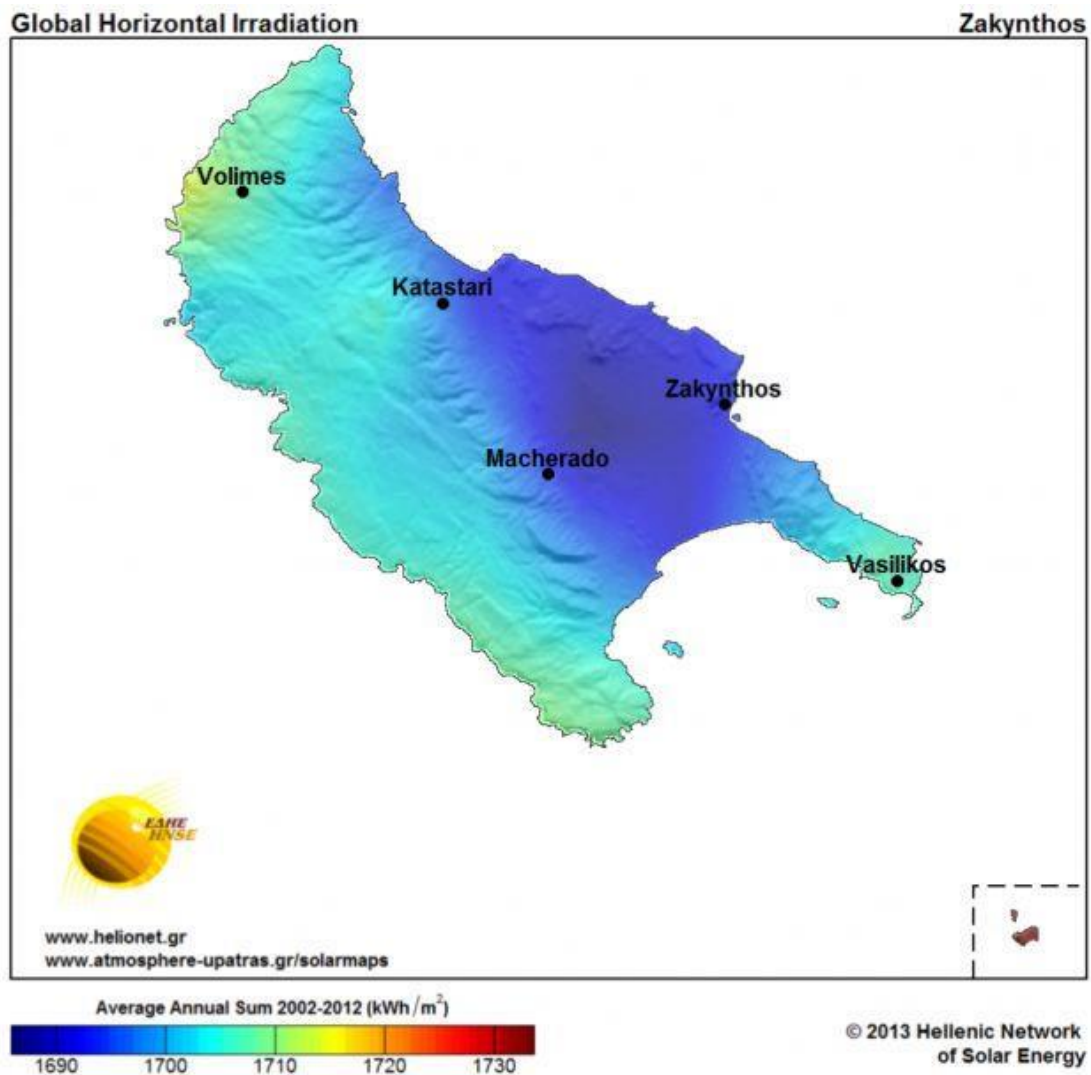
Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ηλιοφάνεια έχει κατά μέσο όρο 11,6 ώρες την ημέρα, ενώ στους μήνες Δεκέμβρη και Γενάρη που επικρατεί μεγάλη νέφωση, η διάρκεια της ηλιοφάνειας ελαττώνεται και φτάνει στις 3,5 ώρες περίπου την ημέρα.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Hours	4	5	6	8	9	12	12	11	9	7	4	3

Εικόνα 4. : Ώρες μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας Ζακύνθου
 Πηγή: <http://www.holiday-weather.com/zakynthos/averages>

Επιπρόσθετα, καταλυτικό παράγοντα όσον αφορά το ηλιακό δυναμικό της Ζακύνθου, έχει και η ηλιακή ακτινοβολία, της οποίας τα ποσοστά είναι πάρα πολύ ψηλά σχεδόν σε όλη την επιφανειακή έκταση του νησιού. Όπως φαίνεται και στην εικόνα πιο κάτω (Εικόνα 3), η μέση οριζόντια ακτινοβολία (η οποία ορίζεται ως το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας), με βάση την περίοδο 2002 έως 2012, έχει καταγράψει ποσοστά που κυμαίνονται από 1685 μέχρι και 1715 κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 5 : Μέση ετήσια οριζόντια ακτινοβολία

Πηγή: <http://www.atmosphere-upatras.gr/solarmaps/Zakynthos/Global-Horizontal-Irradiation>

2.4 Υφιστάμενες Υποδομές

Τα φωτοβολταϊκά, είναι τα πιο ευρέως γνωστά συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή. Αν και παρουσιάζουν υψηλό κόστος και μεγάλο χρόνο απόσβεσης της αρχικής επένδυσης, μακροπρόθεσμα, η εγκατάστασή τους είναι οικονομικά συμφέρουσα λαμβάνοντας υπόψη και τα σχέδια χορηγιών και επιδοτήσεων που δίνονται από το κράτος.

Με τα σημερινά δεδομένα από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, στη Ζάκυνθο λειτουργεί μόνο ένα αιολικό πάρκο στην περιοχή των Ελατιών, ισχύος 2,4 MW, όπως παρουσιάζεται και στις πιο κάτω εικόνες (Εικόνες 4 και 5).

COMPANY	A M	THESH	KAL DHMOS	KAL DHM EN	KAL PERIF	KAL PERIFE	EPO	POWER MW
ΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ Ε.Ε.	ΑΔ-03332	ΚΑΚΑΒΟΥ	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	ΕΛΑΤΙΩΝ	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	ΝΑΙ	2,4

Εικόνα 6. : Υφιστάμενες ΑΠΕ 2017
 Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας



Εικόνα 7 : Αιολικό Πάρκο Ζακύνθου
 Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

2.5 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος και την επεξεργασία των κριτηρίων, προέρχονται κυρίως από το Εθνικό Κτηματολόγιο, όπως επίσης και από επίσημους ευρωπαϊκούς ιστοχώρους. Το κτηματολόγιο παρέχει δεδομένα της μορφής shapefile για το οδικό δίκτυο, την αστική δόμηση, την ακτογραμμή, τα ποτάμια, τις προστατευόμενες περιοχές (Natura 2000) και χάρτες για τα αρχαιολογικά μνημεία, το αεροδρόμιο και τα σεισμικά ρήγματα οι οποίοι ψηφιοποιήθηκαν και η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας για τις υφιστάμενες ΑΠΕ. Όσον αφορά τα δίκτυα μέσης και υψηλής/υπερηψηλής τάσης, έγινε ψηφιοποίησή τους με βάση τους αντίστοιχους αναλογικούς χάρτες που μας παρέχει ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) Πάτρας. Τέλος για τις κλίσεις εδάφους και τις κατηγορίες κάλυψης γης, βρέθηκαν αρχεία σε μορφή tif,

από το Εθνικό Κτηματολόγιο και την ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) αντίστοιχα.

Για την αποφυγή σφαλμάτων κατά την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε αναγκαίο να μετατραπούν όλα τα αρχικά θεματικά επίπεδα σε ένα κοινό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Συγκεκριμένα το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ΕΓΣΑ '87, ενώ το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία και επεξεργασία των χωρικών επιπέδων πληροφοριών ήταν το ArcGis 10.4.1.

2.5.1 Μορφολογία- Κάλυψη Γης

Η μορφολογία του εδάφους, ο νησιωτικός χαρακτήρας της περιοχής μελέτης και η κυριαρχία της τουριστικής δραστηριότητας έχουν σε γενικές γραμμές προσδιορίσει τις χρήσεις γης στο νησί. Πιο συγκεκριμένα, η κατανομή χρήσεων γης έχει ως ακολούθως (Πίνακας 3):

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	Ποσοστό %
Καλλιεργήσιμη γη	163,9	40,42
Βοσκότοποι	140,4	34,6
Δάση	74,1	18,3
Υδάτινες εκτάσεις	2,7	0,66
Οικισμοί	23,4	5,77
Λοιπές εκτάσεις	1	0,25
Σύνολο	405,5	100

Πίνακας 3.: Κατανομή χρήσεων γης νήσου Ζακύνθου
Πηγή: ΕΛ. ΣΤΑΤ.

Το μεγαλύτερο ποσοστό καλλιεργήσιμης έκτασης έχουν οι δημοτικές ενότητες Αλυκών και Αρκαδίων, οι οποίες ταυτοχρόνως καλύπτονται με ποσοστό 5% περίπου με ιδιωτικά δίκτυα άρδευσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό κτηνοτροφικής γης έχει η δημοτική ενότητα Ελατίων, όπου υπάρχει οργανωμένη κτηνοτροφική ζώνη, ενώ το μικρότερο ποσοστό καταγράφεται στη δημοτική ενότητα Αρκαδίων. Οι δασικές εκτάσεις κατέχουν ένα μικρό ποσοστό (18,64%), ενώ υπάρχουν περιοχές όπως οι δημοτικές ενότητες Αλυκών και Αρκαδίων, που δεν έχουν καθόλου δασικές εκτάσεις. Τέλος, η δημοτική ενότητα Ζακυνθίων έχει το μικρότερο ποσοστό αρδευόμενης γης (2,3%) σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων, ενώ οι σχεδόν μηδενικές κλίσεις και η αργιλώδης σύσταση των εδαφών στο πεδινό τμήμα επιβάλλει τη δημιουργία αποστραγγιστικών έργων, κυρίως στις περιοχές Μαχαιράδο και Σκούρτη Αλυκών.

2.6 Μεθοδολογική Προσέγγιση της Μελέτης και Γενικό Περίγραμμα

Το κύριο θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται στην εξεύρεση περιοχών οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη μια σειρά από απλά και δυναμικά κριτήρια. Η εξεύρεση των καταλληλότερων περιοχών και η αξιολόγηση της καταλληλότητας τους αποτελεί και το στόχο της εφαρμογής.

Προτού αρχίσει η διαδικασία, έγινε ο λεπτομερής καθορισμός του προβλήματος και των κριτηρίων χωροθέτησης, προσαρμοσμένα στο πλαίσιο της εργασίας και στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Στο πρώτο στάδιο της εργασίας στην ουσία, προσδιορίστηκαν τα απαιτούμενα θεματικά επίπεδα και με τη βοήθεια εργαλείων μοντελοποίησης και των αναλυτικών διαδικασιών προέκυψαν οι ζώνες αποκλεισμού για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων και οι κατάλληλες προς χωροθέτηση περιοχές.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στηριζόμενοι στη σημασία της ολοκληρωμένης χωρικής ανάλυσης ως εργαλείου χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πάρκων και την εξεύρεση κατάλληλων χωρικών ενοτήτων. Η συγκεκριμένη διαδικασία μεθοδολογίας, επιτρέπει τη δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων ΑΠΕ, τεχνικά και οικονομικά, παράλληλα με την αρμονική ένταξή τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

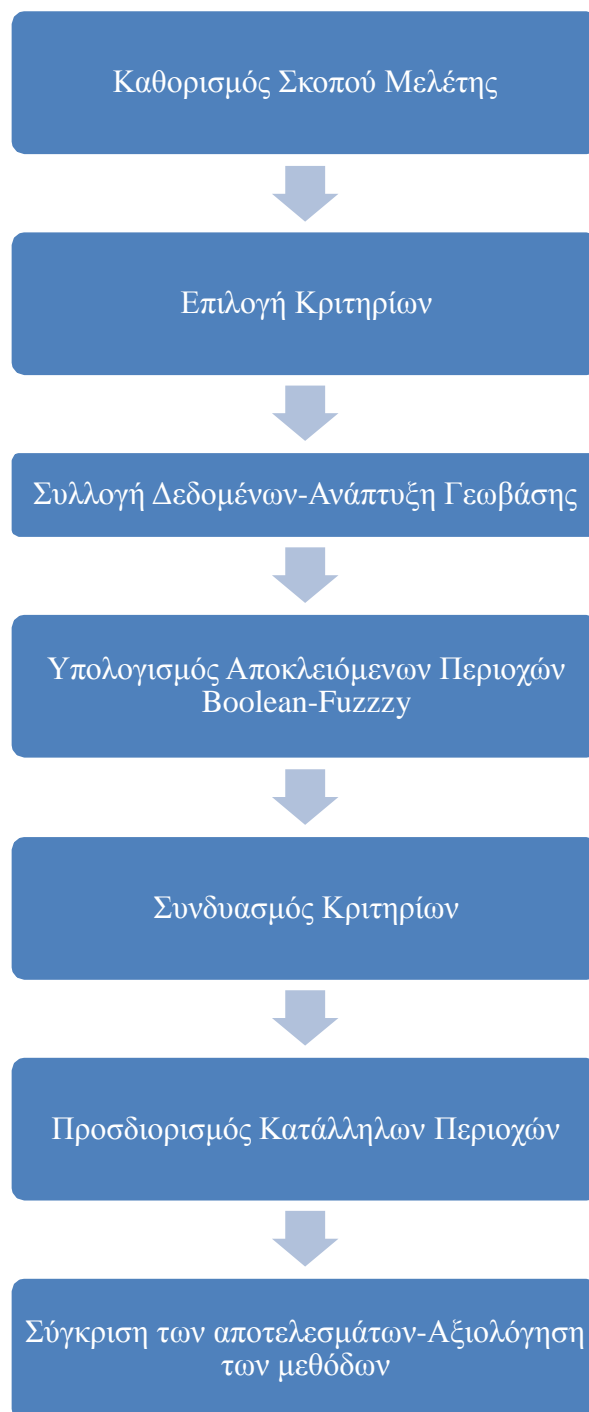
Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας, γίνεται η σύγκριση και η αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών του πρώτου σταδίου. Σε πρώτη φάση ασαφοποιούνται όλοι οι παράγοντες και τα κριτήρια που έλαβαν χώρα για την εκπόνηση της μελέτης μας, ενώ σε δεύτερη φάση συνδυάζονται και αναλόγως της βαρύτητάς τους όλα τα προαναφερθέντα ασαφοποιημένα κριτήρια με την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (ΑΗΡ). Έτσι εξάγεται η τελική αξιολόγηση καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών.

Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας εφαρμογής γίνεται ο καθορισμός των απλών κριτηρίων, τα οποία καθορίζονται βάση της νομοθεσίας και του σκοπού που εξυπηρετεί η μελέτη ώστε να εξευρεθούν οι περιοχές στις οποίες επιτρέπεται η χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων. Έπειτα, στο δεύτερο στάδιο γίνεται η αξιολόγηση των τελικών προτεινόμενων περιοχών του πρώτου σταδίου βάση των κριτηρίων που έχουν οριστεί (Μοντέλο χωροθέτησης 1- Boolean).

Σε πρώτη φάση η λογική της ασάφειας εφαρμόζεται σε όλα τα κριτήρια που λαμβάνουν χώρα στη μελέτη μας, ενώ σε δεύτερη φάση από τα βάρη που έχουν δοθεί στα κριτήριά μας από το 1 (λιγότερο σημαντικό) έως το 9 (περισσότερο σημαντικό), βάσει οικονομικών και λειτουργικών σκοπών, προκύπτουν οι κατά ζεύγη συγκρίσεις μεταξύ τους, βάση της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (ΑΗΡ).

Ο τελικός μας χάρτης προκύπτει από το συνδυασμό των ασαφοποιημένων κριτηρίων μας, βάσει του ποσοστού σημαντικότητας που έχει εξαχθεί για το καθένα από την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (ΑΗΡ) (Μοντέλο χωροθέτησης 2- Fuzzy-AHP).

Το γενικό περίγραμμα της μεθοδολογίας με τα επιμέρους στάδια της διαδικασίας παρουσιάζεται στο πιο κάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 1 : Γενικό Περίγραμμα Μελέτης

2.7 Λογική της Ασάφειας (Fuzzy Logic)

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

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

2.7.1 Ταξινόμηση των δεδομένων και λογική της ασάφειας

Για να περιγραφούν τα φαινόμενα ή για να μουν σε μια λογική σειρά, ταξινομούνται γενικότερα σε κλάσεις. Ο τύπος του εδάφους, οι χρήσεις γης, οι δρόμοι, η βλάστηση είναι όλα παραδείγματα διαφορετικών κλάσεων. Τα όρια των κλάσεων είναι συνήθως πολύ λεπτά, και λόγω των διφορούμενων κανόνων κατηγοριοποίησης είναι πολύ δύσκολο να καθοριστούν ξεκάθαρα.

Για την καλύτερη κατανόηση τίθεται ως παράδειγμα η συσχέτιση των υψών μιας ομάδας ανθρώπων. Αρχικά καθορίζονται τρεις τάξεις ανάλογα με το ανάστημα: χαμηλό, μέτριο, υψηλό. Ακολουθώς ορίζονται τα όρια των τάξεων, με χαμηλό ανάστημα να αντιστοιχούν ύψη χαμηλότερα του 1.5μ. , και υψηλού αναστήματος, ύψη πάνω του 1.8μ. Μέτριου αναστήματος θεωρούνται τα ενδιάμεσα ύψη. Για καλύτερη κατανόηση, μπορεί να δημιουργηθούν περισσότερες από τρεις τάξεις ώστε το πρόβλημα να προσεγγιστεί καλύτερα. Όμως δεν υπάρχει σημασία το πόσες τάξεις θα καθοριστούν αφού ακόμα υπάρχει μια σχετική γενίκευση της σχέσης του ύψους μεταξύ των ανθρώπων. Υπάρχουν κάποια φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν να ταξινομηθούν σε αυστηρά καθορισμένες τάξεις (ESRI, ArcGis Resource Center).

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

Τα μοντέλα ασαφούς λογικής καθορίζουν την αβεβαιότητα στην διαδικασία της ταξινόμησης όπου οι κλάσεις ορίζονται ως σύνολα. Πρέπει να υπάρχει μια κατανόηση για το ποια είναι η ιδανική τιμή για ένταξη στο σύνολο, για παράδειγμα, ποια είναι η ιδανική τιμή της κλίσης του εδάφους σε ένα πρόβλημα χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πάρκων. Όσο οι τιμές μετακινούνται από την ιδανική τιμή, το

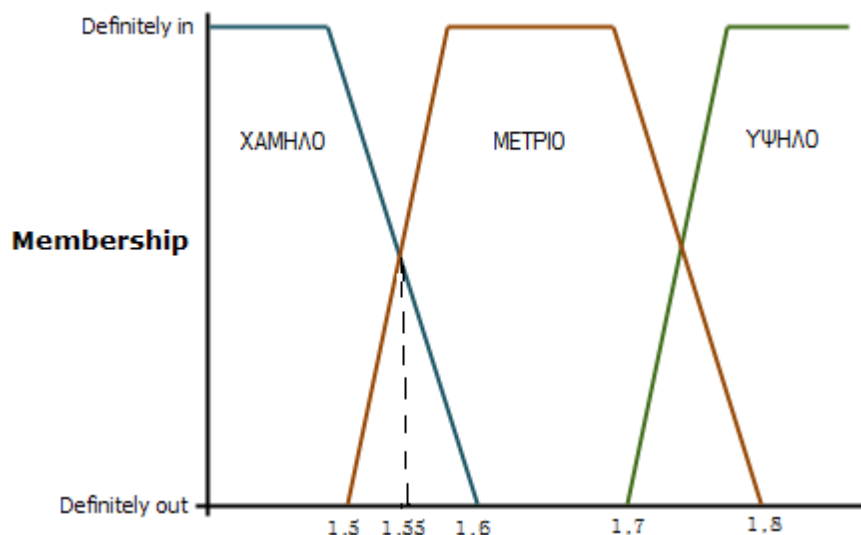
επίπεδο της σαφήνειας μειώνεται έως ένα ορισμένο σημείο που είναι ξεκάθαρο ότι η τιμή δεν αποτελεί μέρος του συνόλου.

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

Πλήρης συμμετοχή σε κάθε κατηγορία:

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

Για την κλάση του χαμηλού αναστήματος οποιαδήποτε τιμή μικρότερη και ίση του 1.5 μ. συμπεριλαμβάνεται στο σύνολο και αποδίδεται με την λογική της ασάφειας στην κλίμακα 0-1 ως 1. Οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του 1.5μ. και μικρότερη των 1.6μ. είναι μεταξύ των κλάσεων χαμηλού και μέτριου αναστήματος. Οποιοδήποτε ύψος μεταξύ 1.5μ. και 1.55μ είναι πιο πιθανό να ενταχθεί στην κατηγορία χαμηλού αναστήματος. Ύψη μεγαλύτερα από 1.55μ. και μικρότερα ή ίσα από 1.6μ. εντάσσονται πιθανώς στην κλάση χαμηλού αναστήματος, αλλά έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ενταχθούν στην κατηγορία του μέτριου αναστήματος. Τιμές από 1.6μ. μέχρι 1.7μ. εντάσσονται πλήρως στην κλάση του μέτριου αναστήματος ενώ ύψη πάνω από 1.8μ. εντάσσονται πλήρως στην κλάση του υψηλού αναστήματος (Εικόνα 8).



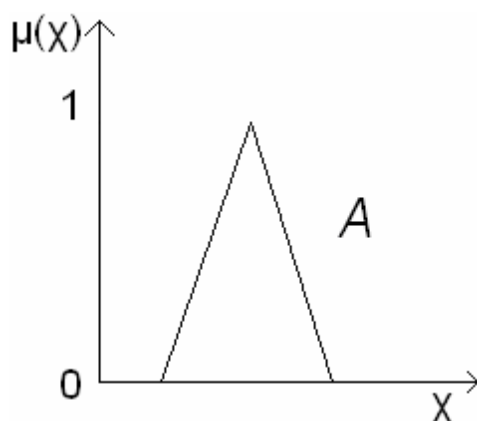
Εικόνα 8: Παράδειγμα συμμετοχής τιμής στην κάθε τάξη
Πηγή: ESRI, ArcGisResourceCenter

2.7.2 Fuzzy Membership

Η βασική έννοια για την κατανόηση των ασαφών συνόλων είναι η συνάρτηση συμμετοχής (membership function). Σύμφωνα με τον Zadeh (1965), έστω U ένα πεδίο σημείων ή αντικειμένων (ή διαφορετικά υπερσύνολο αναφοράς) και x ένα στοιχείο του U . Το ασαφές σύνολο A στο U ορίζεται από το πλήθος των διατεταγμένων ζευγών:

$$A = \{x, \mu_A(x)\} = \mu, x \in U$$

όπου $\mu_A(x)$ είναι η συνάρτηση συμμετοχής, η οποία συσχετίζει κάθε αντικείμενο του U με ένα πραγματικό αριθμό στο διάστημα $[0,1]$ και η τιμή της αντιπροσωπεύει το «βαθμό συμμετοχής του x στο ασαφές σύνολο A ». Κατά συνέπεια, όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή της συνάρτησης συμμετοχής, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμμετοχής του x στο A . Η τιμή της συνάρτησης συμμετοχής καθορίζει το βαθμό στον οποίο το x θεωρείται ότι ανήκει στο A .



Εικόνα 9: Συνάρτηση συμμετοχής τριγωνικής μορφής, του ασαφούς συνόλου A

Τα ασαφή σύνολα είναι σύνολα των οποίων τα στοιχεία έχουν ποικίλους βαθμούς συμμετοχής σε αυτά. Ο ορισμός αυτός, έρχεται σε αντίθεση με τα κλασικά, μη ασαφή σύνολα, των οποίων τα περιεχόμενα στοιχεία έχουν πλήρη και μοναδική συμμετοχή την τιμή 1. Τα στοιχεία ενός ασαφούς συνόλου, λόγω του χαρακτηριστικού τους, δηλαδή της μερικής συμμετοχής τους σε αυτό, δύνανται να αποτελούν στοιχεία και δεύτερου ή και τρίτου ασαφούς συνόλου του ίδιου όμως υπερσυνόλου αναφοράς. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να αποδοθεί ένα ασαφές σύνολο, μέσω μιας συνάρτησης συμμετοχής. Η συνηθέστερη μορφή συνάρτησης συμμετοχής είναι η τριγωνική.

2.7.3 Συναρτήσεις Ασαφοποίησης

Οι συναρτήσεις μετασχηματισμού fuzzy membership χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της μετατροπής των εισερχόμενων τιμών σε νέες τιμές που βασίζονται σε μια συγκεκριμένη λειτουργία. Η διαδικασία της μετατροπής δημιουργεί την ασαφή συσχέτιση για κάθε εισερχόμενη τιμή. Οι μετασχηματισμένες τιμές κυμαίνονται από

0 μέχρι 1, ορίζοντας την δυνατότητα συμμετοχής σε μια συγκεκριμένη τάξη ή σύνολο, με την τιμή 1 να δηλώνει την απόλυτη ένταξη στο σύνολο.

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

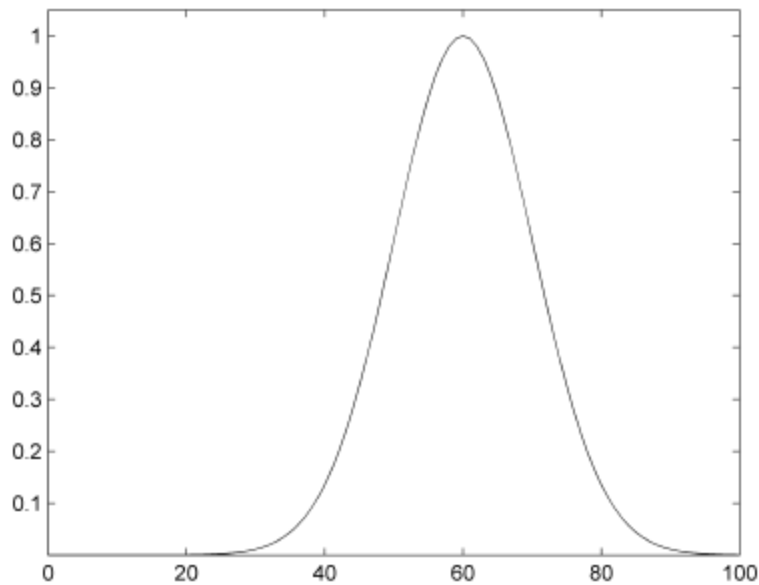
2.7.3.1 Η Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy Gaussian

Η *γκαουσιανή* συνάρτηση συμμετοχής (Gaussian membership function, *gauss_MF*) έχει δύο παραμέτρους $\{m, \sigma\}$ και περιγράφεται από τη συνάρτηση:

$$gauss_MF(x; m, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-m}{\sigma} \right)^2}$$

Η παραπάνω συνάρτηση είναι παρόμοια με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, η οποία προσδιορίζει τις γκαουσιανές πιθανοτικές κατανομές (Gaussian distributions). Η συνάρτηση *gauss_MF* είναι συμμετρική, με κέντρο συμμετρίας το m . Η παράμετρος σ είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής και ελέγχει τη διασπορά, δηλαδή το «εύρος» της συνάρτησης συμμετοχής. Τα σημεία $m \pm \sigma$ είναι *περίπου* τα σημεία καμπής, καθώς $gauss_MF(m \pm \sigma; m, \sigma) = e^{-0.5} = 0,6$

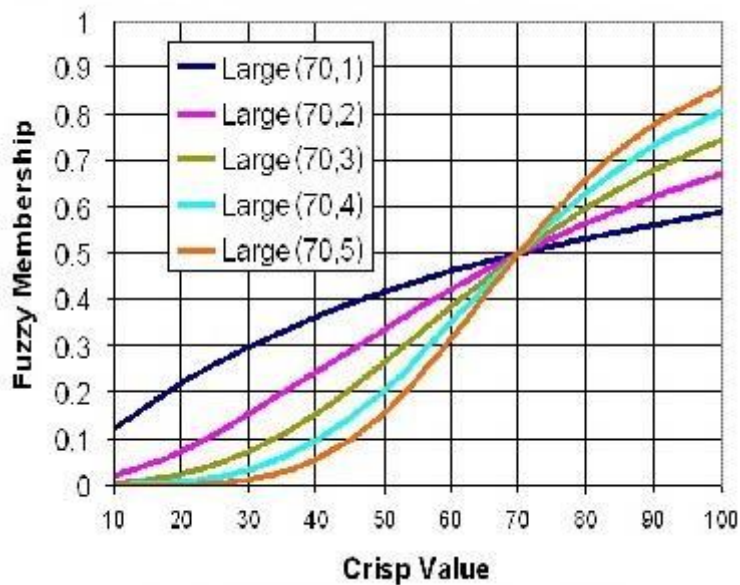
Η γραφική απεικόνισή της δίνεται στην Εικόνα 10, όπου οι παράμετροι λαμβάνουν τις τιμές $\{m, \sigma\} = \{60, 10\}$



Εικόνα 10: Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής.

2.7.3.2 Η Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyLarge

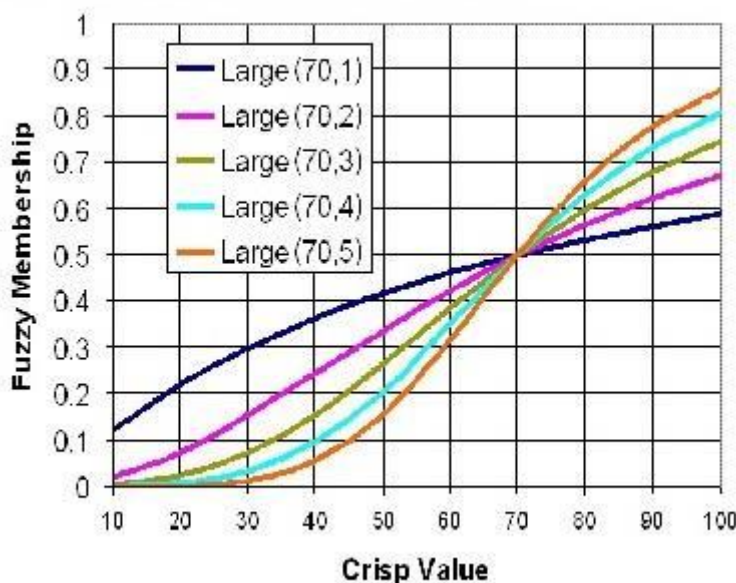
Η συγκεκριμένη συνάρτηση μετασχηματισμού, χρησιμοποιείται όταν οι μεγαλύτερες τιμές είναι πιθανότερο να συμμετέχουν σε ένα σύνολο. Το καθορισμένο μέσο σημείο προσδιορίζει το σημείο διασταύρωσης (0.5), όπου οι τιμές που είναι μεγαλύτερες του μέσου σημείου έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ανήκουν στο σύνολο,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



Εικόνα 11: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού Large

2.7.3.3 Η Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Large

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

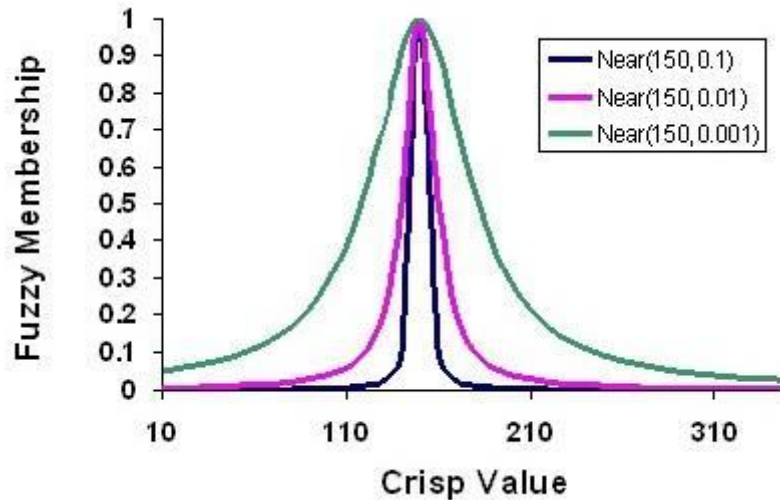


Εικόνα 12: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού MSLarge

2.7.3.4 Η Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyNear

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

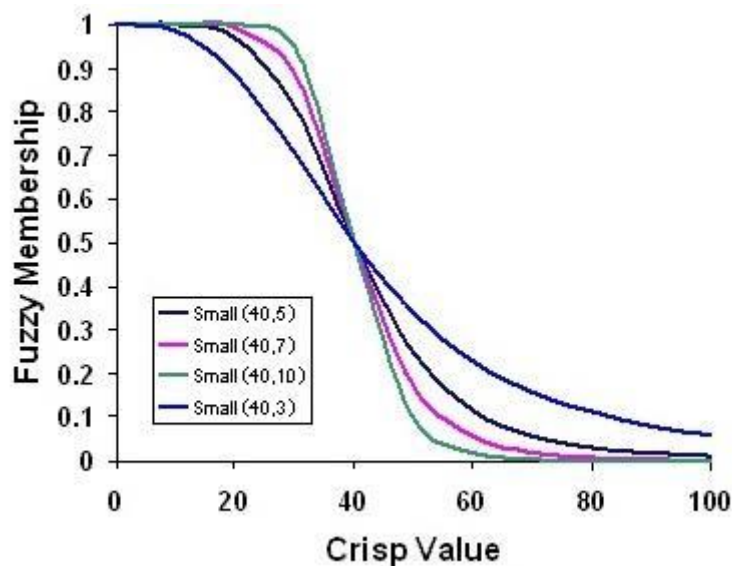
Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι παρόμοια με την συνάρτηση μετασχηματισμού του Gauss, ανάλογα με τις καθοριζόμενες παραμέτρους. Η συνάρτηση FuzzyNear μειώνεται με ταχύτερο ρυθμό, με μια πιο στενή εξάπλωση από τη συνάρτηση μετασχηματισμού του Gauss και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται όταν οι τιμές που βρίσκονται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



Εικόνα 13: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού Near

2.7.3.5 Η Συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall

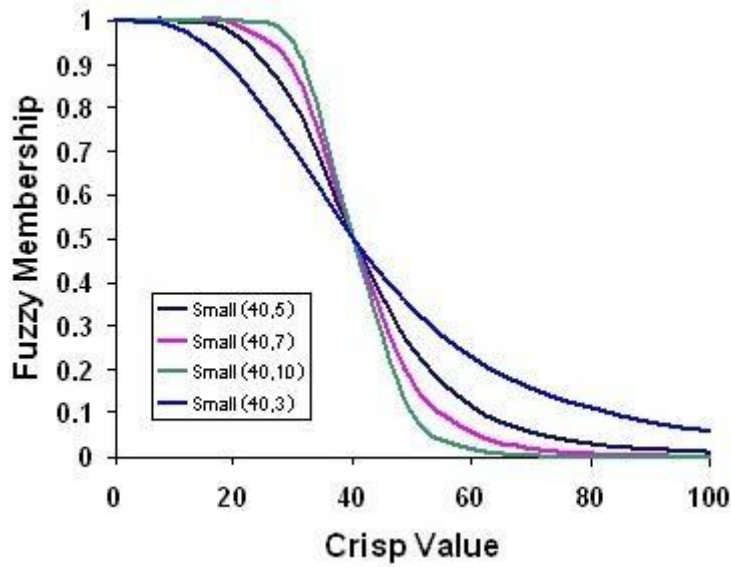
Η συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall, χρησιμοποιείται όταν οι μικρότερες εισερχόμενες τιμές είναι πιθανότερο να συμμετέχουν στο σύνολο. Το καθορισμένο μέσο σημείο προσδιορίζει το σημείο διασταύρωσης (0.5), με τις τιμές που είναι μεγαλύτερες από το μέσο σημείο να έχουν μικρότερη πιθανότητα συμμετοχής,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



Εικόνα 14: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού Small

2.7.3.6 Η Συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Small

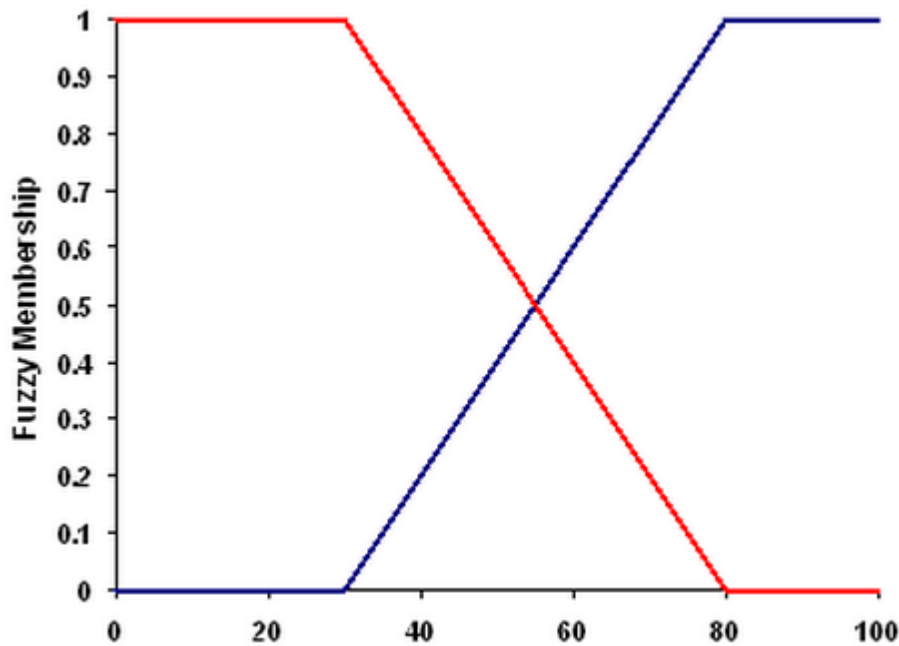
Η συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzyMSSmall έχει παρόμοια λειτουργία με τη συνάρτηση μετασχηματισμού FuzzySmall, εξαιρώντας τον ορισμό της λειτουργίας, ο οποίος καθορίζεται βάσει της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Γενικότερα η διαφορά των δυο αυτών συναρτήσεων είναι ότι η FuzzyMSSmall εφαρμόζεται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



Εικόνα 15: Παραλλαγές της συνάρτησης μετασχηματισμού MSSmall

2.7.3.7 Η συνάρτηση μετασχηματισμού Linear

Η συνάρτηση μετασχηματισμού Linear, που χρησιμοποιήσαμε και στη δική μας μελέτη για την ασαφοποίηση των κριτηρίων μας, εφαρμόζει μια γραμμική συνάρτηση ανάμεσα στην ελάχιστη και μέγιστη τιμή που καθορίζεται από τον χρήστη. Οτιδήποτε κάτω από την ελάχιστη τιμή αποδίδεται με 0 (σίγουρα δε συμμετέχει στο σύνολο) και οτιδήποτε πάνω από τη μέγιστη τιμή αποδίδεται με 1 (εντάσσεται σίγουρα στο σύνολο). Στην εικόνα 15 που ακολουθεί η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει μια θετική γραμμική κλίση μετασχηματισμού, με ελάχιστη τιμή το 30 και μέγιστη το 80. Οποιαδήποτε τιμή μικρότερη του 30 θα αποδίδεται με 0 και οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του 80 θα αποδίδεται με 1. Η κόκκινη γραμμή της εικόνας αποτελεί μια αρνητική γραμμική κλίση μετασχηματισμού, με τις τιμές κάτω από 30 να αποδίδονται με 1 και τις τιμές πάνω από 80 να αποδίδονται με 0. Εκεί που η κλίση της γραμμής αυξάνεται η μειώνεται καθορίζεται η ζώνη μετάβασης (περιοχές μεταξύ 30 και 80).



Εικόνα 16: Παραλλαγές της γραμμικής συνάρτησης μετασχηματισμού
 Πηγή: ESRI, ArcGis Resource Center

2.8 Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP)

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

2.8.1 Μεθοδολογία

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

Στο μοντέλο μπορούν επίσης να περιληφθούν στοιχεία αβεβαιότητας και άλλοι σημαντικοί παράγοντες για την απόφαση. Η μέθοδος δίνει επίσης τη δυνατότητα για ένα συστηματικό τρόπο υπολογισμού των προτεραιοτήτων ή των βαρών του κάθε στοιχείου, αντί της αυθαίρετης εισαγωγής τους (Forman – Selly, 2001).

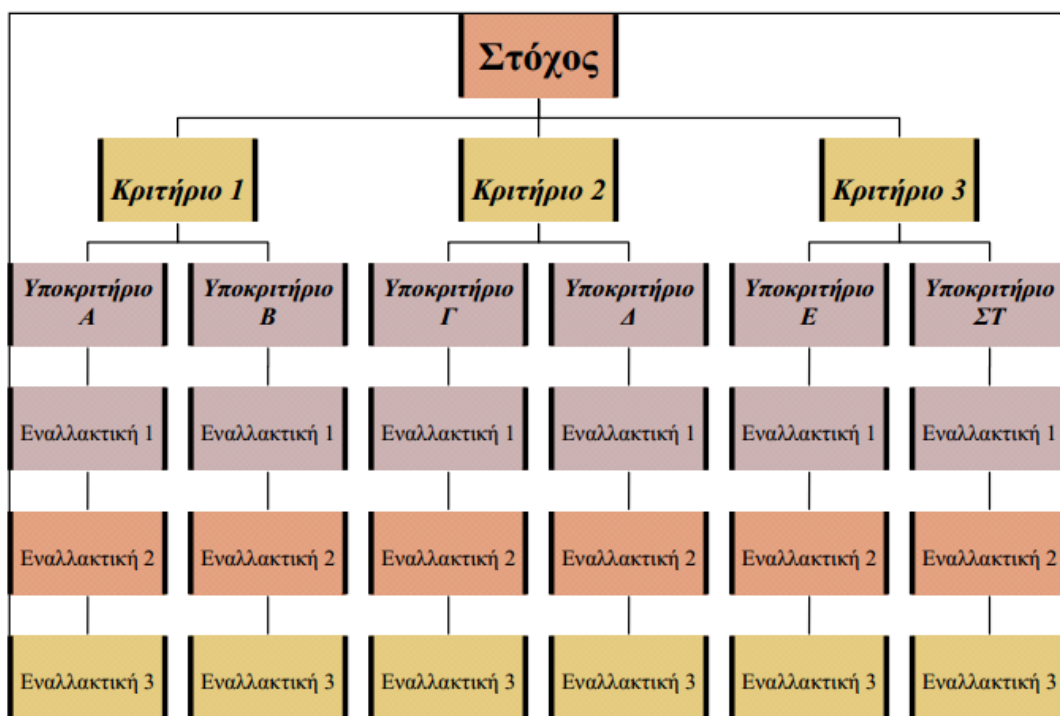
Γενικά, τα βήματα που ακολουθούνται στη μεθοδολογία της διαδικασίας της αναλυτικής ιεράρχησης θα μπορούσαν να συνοψισθούν στα εξής:

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

2.8.2 Ιεραρχία

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

Στην εικόνα 17 παρουσιάζεται μία ενδεικτική μορφή ιεράρχησης. Ο ορθός καταμερισμός των στοιχείων απόφασης στα επίπεδα της ιεραρχίας είναι απαραίτητος ώστε να έχει νόημα η σύγκριση κατά ζεύγη των στοιχείων του ίδιου επίπεδο (Saaty, 1990).



Εικόνα 17: Ενδεικτική Μορφή Ιεράρχησης

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

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

2.8.3 Συγκρίσεις κατά ζεύγη

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

Τα στοιχεία κάθε επιπέδου της ιεραρχίας συγκρίνονται κατά ζεύγη μεταξύ τους ως προς το βαθμό προτίμησης σε σχέση με τα γονικά τους στοιχεία. Για παράδειγμα, οι τρεις εναλλακτικές της ιεράρχησης της Εικόνας 17, συγκρίνονται ανά δύο με γνώμονα την καλύτερη ικανοποίηση των έξι υποκριτηρίων. Στη συνέχεια, τα υποκριτήρια Α και Β συγκρίνονται ως προς την ικανοποίηση του κριτηρίου 1, τα Γ και Δ ως προς την ικανοποίηση του κριτηρίου 2 και τα Ε και ΣΤ ως προς την ικανοποίηση του κριτηρίου 3. Τέλος, τα τρία κριτήρια 1, 2, 3 συγκρίνονται κατά ζεύγη ως προς την σημαντικότητα τους στην ικανοποίηση του συνολικού στόχου.

Δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό πίνακες σύγκρισης ζευγών, τόσοι όσα και τα στοιχεία του προβλήματος, εκτός των εναλλακτικών. Ο πίνακας 4 παρουσιάζει έναν ενδεικτικό πίνακα, όπου συγκρίνονται ανά δύο τα κριτήρια της ιεραρχικής δομής της Εικόνας 17 ως προς την ικανοποίηση του απώτερου στόχου.

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

Πίνακας 4: Ενδεικτικός πίνακας σύγκρισης κριτηρίων ανά ζεύγη

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

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

2.8.4 Κλίμακα

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

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

Στον πίνακα 5 απεικονίζεται η εννιαβάθμια κλίμακα που έχει προταθεί από τον Thomas Saaty:

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

Πίνακας 5 : Κλίμακα Saaty και η περιγραφή της

2.8.5 Υπολογισμός Προτεραιοτήτων

Σε αυτό το στάδιο υπολογίζονται για κάθε κόμβο της ιεραρχικής δομής οι σχετικές προτεραιότητες (w) σε σχέση με το γονικό στοιχείο. Για παράδειγμα, για τον Πίνακα

συγκρίσεων 4, θα υπολογιστούν τα σχετικά βάρη w_1, w_2, w_3 που εκφράζουν τη συμμετοχή κάθε κριτηρίου στην ικανοποίηση του στόχου.

- **Η προσέγγιση του Saaty**

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

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

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

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

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

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

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

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

2.8.6 Υπολογισμός του διανύσματος βαρών w'

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

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

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

2.8.7 Συνέπεια

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

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

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

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

$$CR = (CI / RCI) * 100$$

Οι τιμές του RCI προκύπτουν από τις μέσες τιμές του CI για τυχαίους πίνακες και απεικονίζονται στον πίνακα 6 (*E. Triantafyllou – S.H. Mann, 1994*).

Αριθμός Αντικειμένων (n)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Πίνακας 6 : Τιμές δείκτη RCI

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

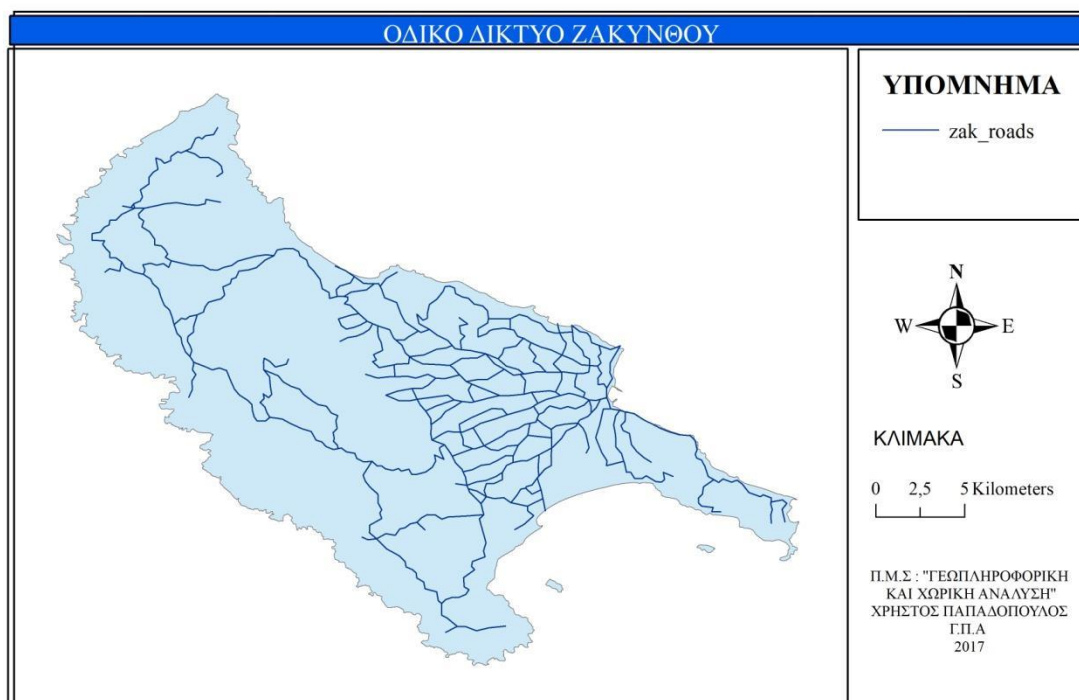
3 Αποτελέσματα

3.1 Επιλογή κριτηρίων

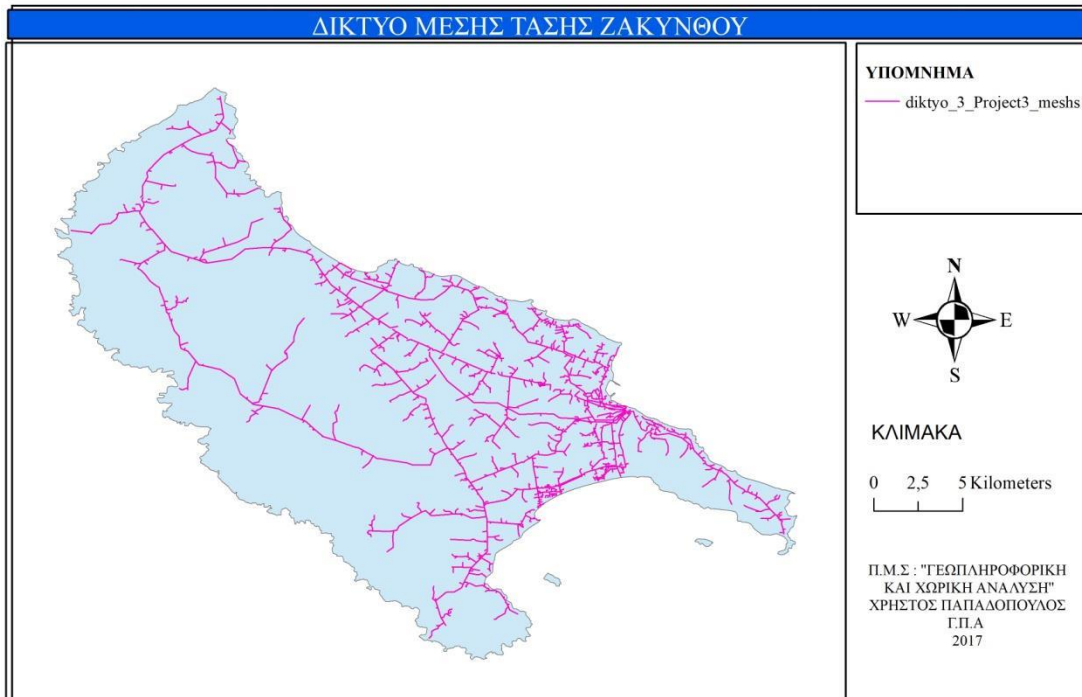
3.1.1 Λειτουργικά-Οικονομικά Κριτήρια

Αρχικά γίνεται ο καθορισμός των απλών κριτηρίων ώστε να εκτιμηθούν οι κατάλληλες περιοχές. Για να απαντηθεί το ερώτημα για το ποιες είναι οι καταλληλότερες θέσεις για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάρκων, διερευνώνται ποιες θέσεις αποκλείονται από τη διαδικασία, με βάση και τη νομοθεσία, είτε για πρακτικούς λόγους είτε για λόγους ασφάλειας.

Στην κατηγορία των λειτουργικών-οικονομικών κριτηρίων, συμπεριελήφθησαν τελικά, εκτός από τα δίκτυα μέσης και υψηλής/υπερυψηλής τάσης, τα οποία είναι και τα πιο σημαντικά στη μελέτη μας, το οδικό δίκτυο, οι υφιστάμενες ΑΠΕ, η κλίση του εδάφους, αλλά και όλοι οι οικισμοί του νησιού, όπως βλέπουμε και στους παρακάτω χάρτες.



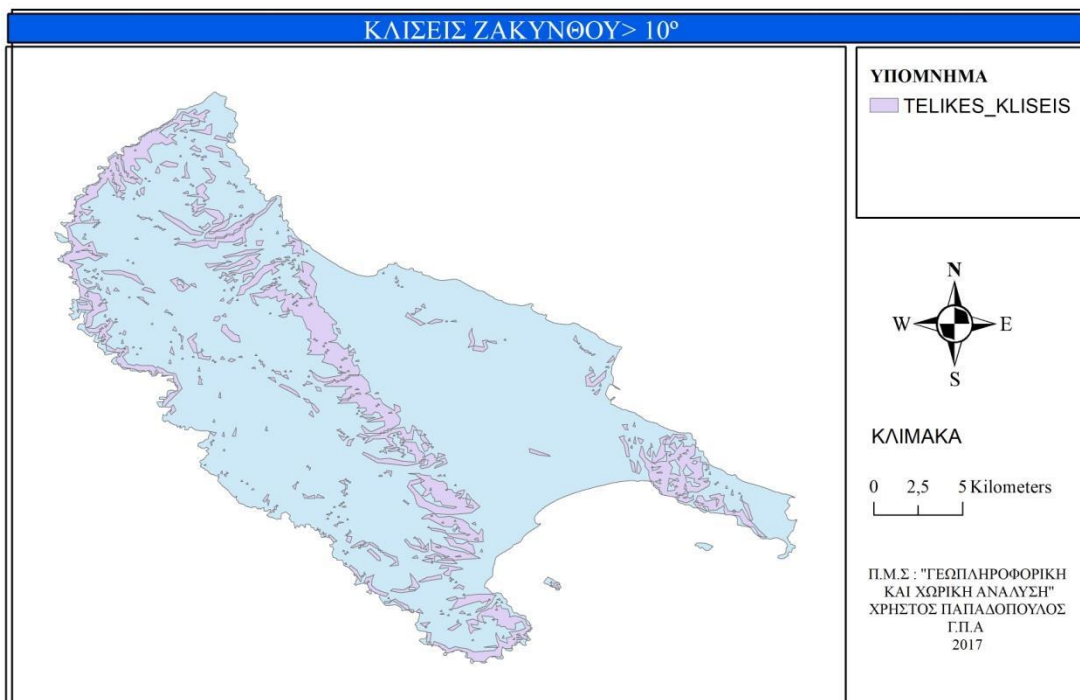
Χάρτης 1. : Οδικό Δίκτυο Ζακύνθου



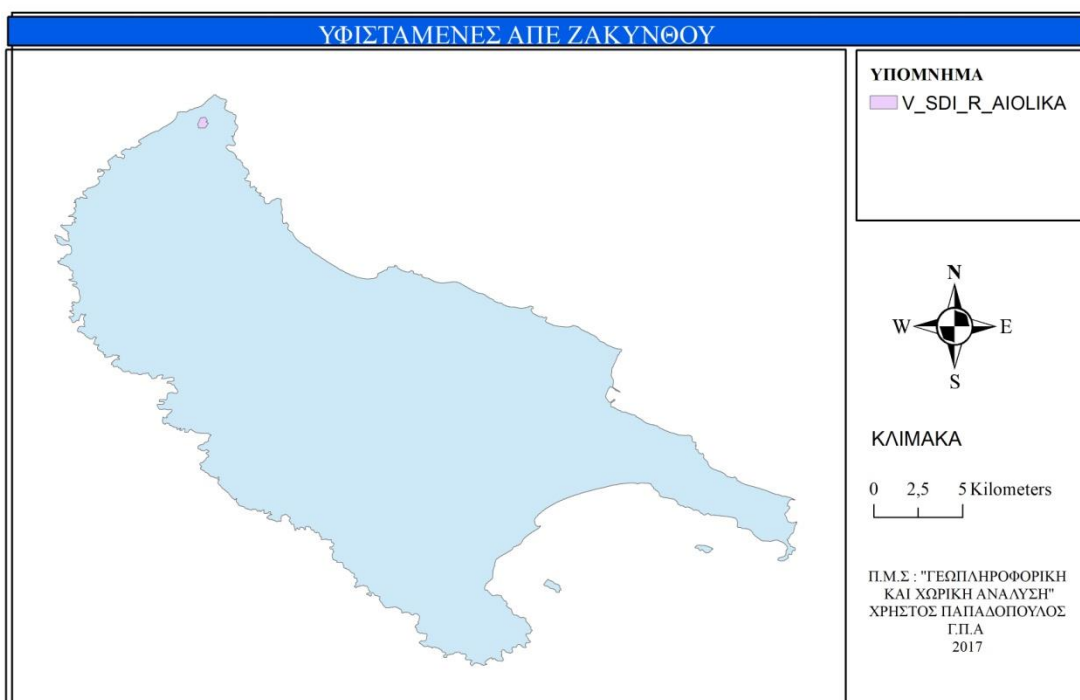
Χάρτης 2. : Δίκτυο Μέσης Τάσης Ζακύνθου



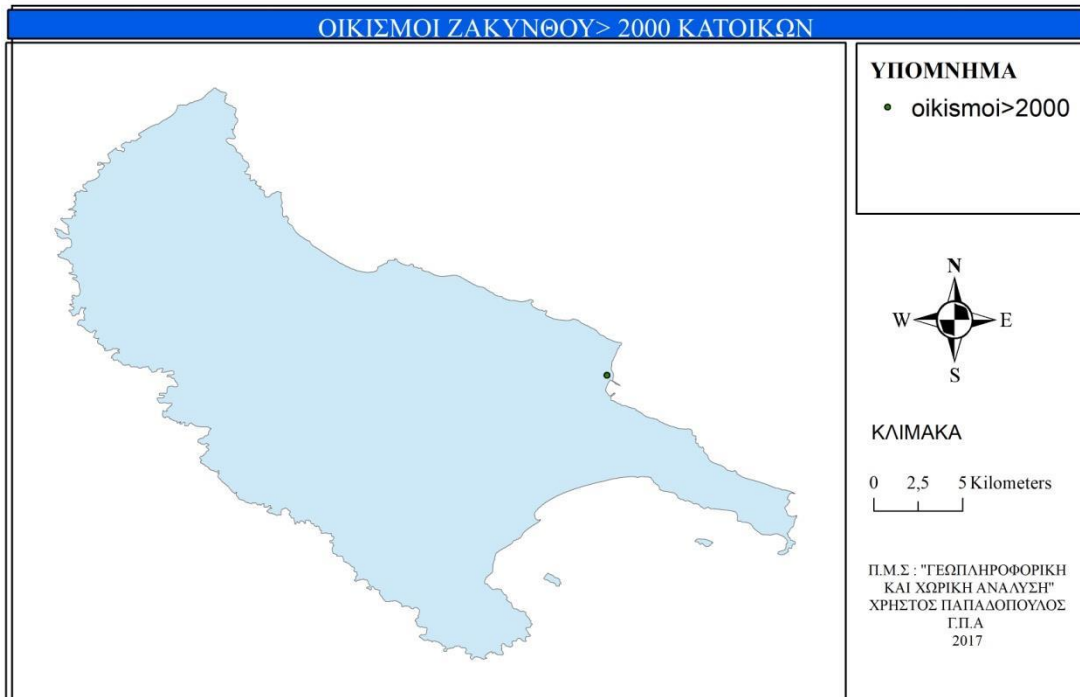
Χάρτης 3. : Δίκτυο Υψηλής/Υπερυψηλής Τάσης Ζακύνθου



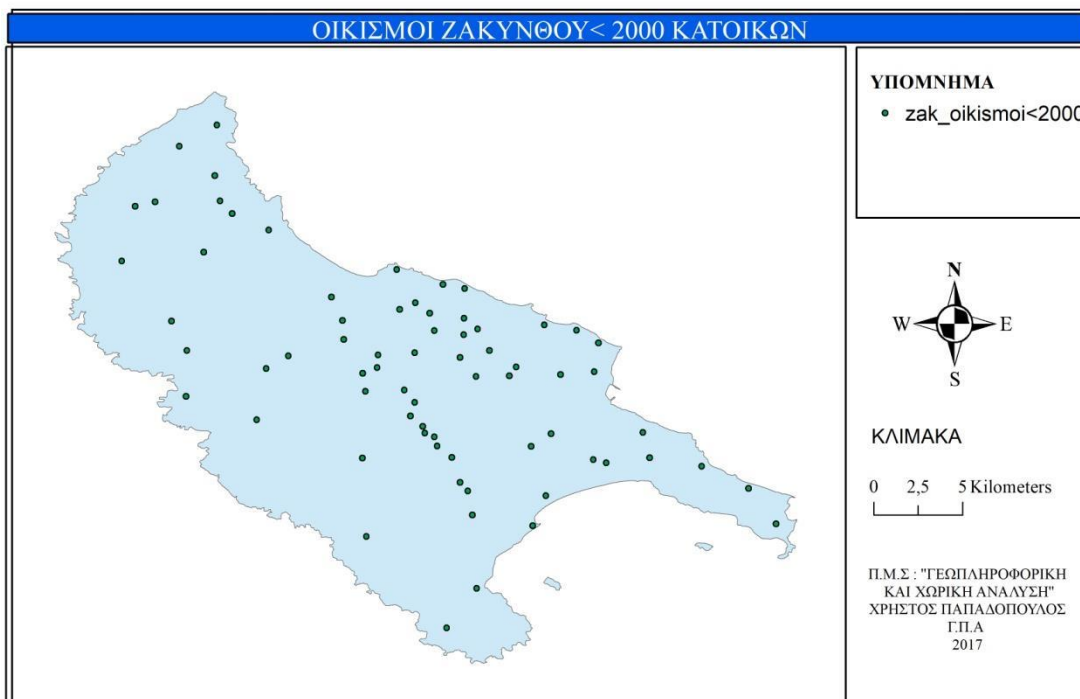
Χάρτης 4. : Κλίσεις Ζακύνθου > 10°



Χάρτης 5. : Υφιστάμενες ΑΠΕ Ζακύνθου



Χάρτης 6. : Οικισμοί Ζακύνθου > 2000 Κατοίκων



Χάρτης 7. : Οικισμοί Ζακύνθου < 2000 Κατοίκων

Δημιουργούνται για αυτόν το λόγο ζώνες αποκλεισμού που εξυπηρετούν κάθε μια από τις παραπάνω ομάδες κριτηρίων.

Όσον αφορά το δίκτυο μέσης τάσης, δημιουργήθηκε μια ζώνη αποκλεισμού γύρω του περί τα 100 μέτρα. Η απόσταση αυτή ορίστηκε θεωρώντας ότι οποιαδήποτε δραστηριότητα πέρα από αυτό το όριο θεωρείται οικονομικά ασύμφορη γιατί θα χρειαστεί κατασκευή δρόμων και τοποθέτηση στύλων της ΔΕΗ για τη διασύνδεση του Φ/Β πάρκου με το δίκτυο μέσης τάσης.

Για το δίκτυο υψηλής τάσης, μία ζώνη αποκλεισμού 1000 μέτρων, αφ' ενός μεν διευκολύνει τη μεταφορά ενέργειας προς το ηλεκτρικό ηπειρωτικό δίκτυο της χώρας κι αφ' ετέρου επιτρέπει τη μελλοντική εγκατάσταση κι ενσωμάτωση και περισσότερων διατάξεων ΑΠΕ άνω φυσικά των 100 KW, με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Για το οδικό δίκτυο που περιλαμβάνει τους κύριους αλλά και τους δευτερεύοντες δρόμους του νησιού της Ζακύνθου, δημιουργήθηκε μια ζώνη προστασίας 100 μέτρων γύρω του. Το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο παρουσιάζει κενά κι έτσι η συγκεκριμένη ζώνη τέθηκε αυθαίρετα, αλλά σύμφωνα με αυτά που ισχύουν για τους οικισμούς, ώστε να αποφεύγονται πιθανόν αντανakλάσεις από την εγκατάσταση προς το οδικό δίκτυο. Επίσης μια τέτοια απόσταση θεωρήθηκε ως ιδανική, ώστε να μην επιβαρύνει το όλο έργο με περαιτέρω οικονομικό κόστος (δημιουργία δρόμων κ.τ.λ.) αλλά και να υπάρχει σχετικά εύκολη προσβασιμότητα στο πάρκο.

Επιπροσθέτως, για να είναι βιώσιμο ένα φωτοβολταϊκό πάρκο χρειάζεται η κλίση εδάφους να μην είναι μεγαλύτερη από 10°. Έτσι επιλέχθηκαν οι περιοχές εκείνες που πληρούν τον συγκεκριμένο περιορισμό.

Για πρακτικούς λόγους αποκλείστηκαν και οι περιοχές που απέχουν έως και 1500 μέτρα γύρω από τα υφιστάμενο αιολικό πάρκο του νησιού.

Για το τέλος των πιο σημαντικών κριτηρίων μας αφήσαμε τους οικισμούς της Ζακύνθου. Έγινε κατηγοριοποίηση των οικισμών ανάλογα με τον πληθυσμό τους, γιατί σύμφωνα με το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο, για οικισμούς όπου ο πληθυσμός τους υπερβαίνει τα 2000 άτομα η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών οριοθετείται σε απόσταση πέρα των 500 m. Για οικισμούς με πληθυσμό μικρότερο των 2000 ατόμων, η κατάλληλη απόσταση είναι πέρα των 250 m από τα όρια. Οι αποστάσεις αυτές, αποσκοπούν στην αποφυγή οχλήσεων από αντανakλάσεις του πάρκου στους οικισμούς.

A/A	ΚΡΙΤΗΡΙΟ
1	ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ
2	ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ
3	ΔΙΚΤΥΟ ΥΨΗΛΗΣ/ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ
4	ΚΛΙΣΕΙΣ
5	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΕ
6	ΟΙΚΙΣΜΟΙ > 2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ
7	ΟΙΚΙΣΜΟΙ < 2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ

Πίνακας 7. : Λειτουργικά-Οικονομικά Κριτήρια

3.1.2 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

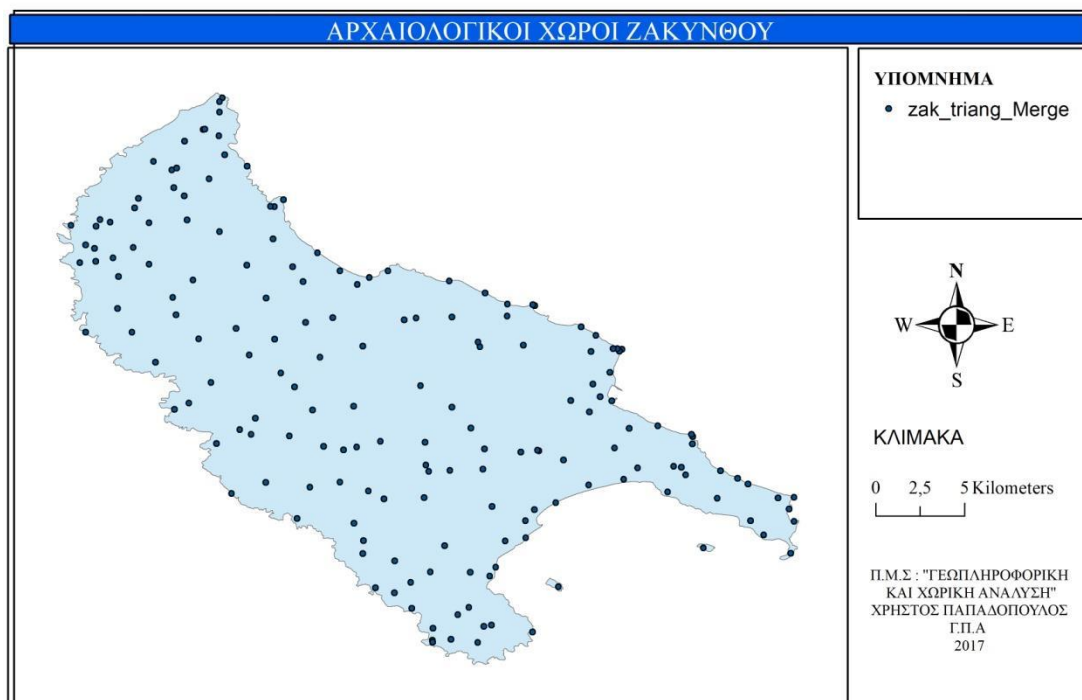
Τα κριτήρια αυτά είναι οι προστατευόμενες περιοχές του νησιού, οι χώροι πολιτιστικής κληρονομιάς (όπως και οι αρχαιολογικοί χώροι, οι εκκλησίες, τα μοναστήρια, οι χώροι αθλοπαιδιών κλπ.), η ακτογραμμή του νησιού και το αεροδρόμιο. Στους παρακάτω χάρτες εμφανίζεται η χωρική κατανομή των χώρων αυτών.

Για το τελευταίο τηρείται μια τυπική απόσταση 200 μέτρων από αυτό. Πολλά Φ/Β πάρκα έχουν εγκατασταθεί, μέσα όμως σε μεγάλα αεροδρόμια (π.χ. Ελευθέριος Βενιζέλος), όπου οι ενεργειακές ανάγκες και απαιτήσεις είναι πολύ μεγαλύτερες. Στη δική μας περίπτωση δε συμβαίνει κάτι τέτοιο μιας και πραγματοποιούνται δρομολόγια μόνο προς και από το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος (με εξαίρεση κάποια charter εξωτερικού). Το αεροδρόμιο σαν κριτήριο θα μπορούσε να έχει σημασία μόνο για τη μείωση των μεταφορικών της ενέργειας, αλλά στην περίπτωση της Ζακύνθου ο ηλεκτροπαραγωγικός εξοπλισμός, σίγουρα δε φτάνει στο νησί αεροπορικώς.



Χάρτης 8. : Αεροδρόμιο Ζακύνθου

Οι αρχαιολογικοί χώροι του νησιού, παρουσιάζουν επίσης πολύ μεγάλο ενδιαφέρον. Προκειμένου να ικανοποιηθεί το παραπάνω κριτήριο, τέθηκε με βάση την νομοθεσία, μια ζώνη προστασίας 500 μέτρων από τις ίδιες τις περιοχές. Πρόκειται για μια μεγάλη σε έκταση ζώνη προστασίας που το επιβάλλουν και οι διεθνείς κανονισμοί.



Χάρτης 9. : Αρχαιολογικοί Χώροι Ζακύνθου

Για τις προστατευόμενες περιοχές, δημιουργήθηκε μια ζώνη αποκλεισμού 200 μέτρων από τα όρια των περιοχών, όπως αυτό ορίζει το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ώστε να μην επιτραπεί η χρήση των συγκεκριμένων ζωνών για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.



Χάρτης 10. : Προστατευόμενες Περιοχές Ζακύνθου

Μια ζώνη αποκλεισμού 300 μέτρων έχει τηρηθεί και γύρω από την ακτογραμμή του νησιού.



Χάρτης 11. : Ακτογραμμή Ζακύνθου

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ
ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ

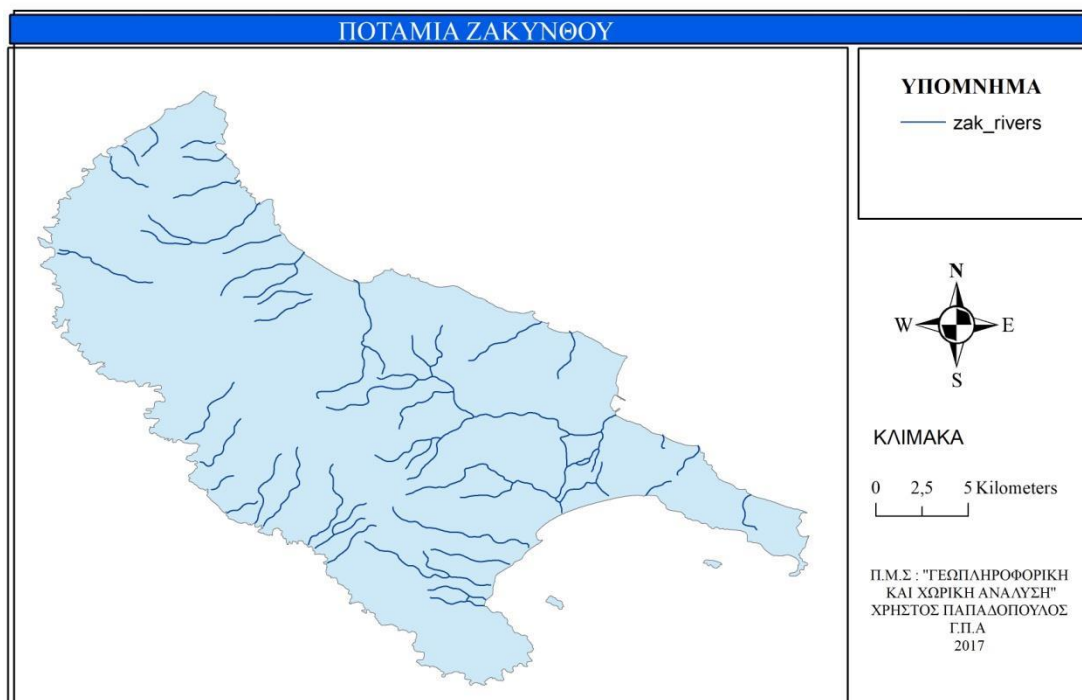
Πίνακας 8: Περιβαλλοντικά Κριτήρια

3.1.3 Άλλα κριτήρια

Στη μελέτη μας έχουμε συμπεριλάβει και τα κριτήρια των ποταμιών και των σεισμικών ρηγμάτων του νησιού.

Για περιβαλλοντικούς σκοπούς και για λόγους ασφαλείας, δημιουργήθηκαν ζώνες αποκλεισμού περί τα 150 μέτρα από ποτάμια, 500 μέτρων από ενεργά ρήγματα και 250 μέτρων από πιθανά ρήγματα αντίστοιχα.

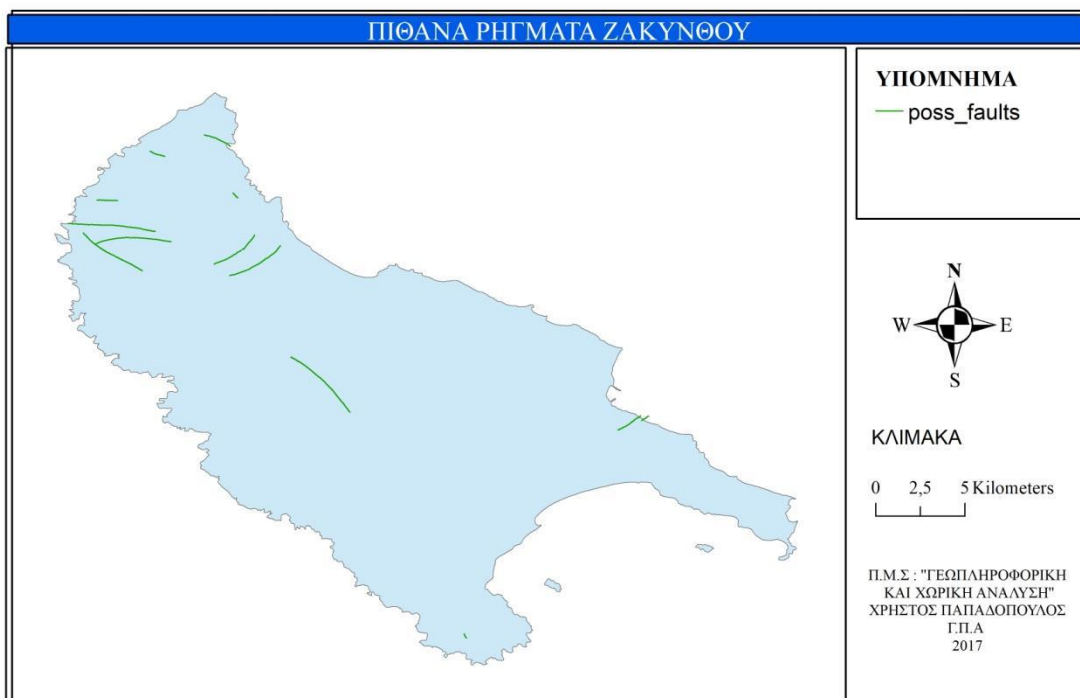
Το κριτήριο των ποταμιών του νησιού αποτελεί σημαντικότατο παράγοντα, όχι μόνο λόγω της συγκέντρωσης πληθυσμού ζώων και πουλιών στην περιοχή τους, αλλά και για πιθανή άντληση νερών από αυτούς για συστήματα καθαρισμού των Φ/Β.



Χάρτης 12. : Ποτάμια Ζακύνθου



Χάρτης 13. : Ρήγματα Ζακύνθου



Χάρτης 14. : Πιθανά Ρήγματα Ζακύνθου

ΆΛΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ
ΠΟΤΑΜΙΑ
ΡΗΓΜΑΤΑ
ΠΙΘΑΝΑ ΡΗΓΜΑΤΑ

Πίνακας 9: Άλλα Κριτήρια

Οι ζώνες αποκλεισμού δημιουργήθηκαν βάση του εργαλείου buffer του ArcMap 10.4.1

Η ένωση των πιο πάνω ζωνών αποκλεισμού που αφορούν το κάθε κριτήριο έγινε με το εργαλείο Union του ArcMap 10.4.1, παράγοντας μια τελική ζώνη αποκλεισμού στις περιοχές που είναι ακατάλληλες για εγκατάσταση Φ/Β πάρκου.

Από την αφαίρεση των ζωνών αποκλεισμού από τις περιοχές όπου η κάλυψη γης είναι επιτρεπτή για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου, εξάγονται οι τελικές προτεινόμενες περιοχές που είναι κατάλληλες για την χωροθέτηση Φ/Β πάρκου. Η αφαίρεση έγινε με το εργαλείο erase του ArcMap 10.4.1.

Τέλος επιλέχθηκαν μόνο οι περιοχές που είναι μεγαλύτερες από 4000 τ.μ. που είναι η ελάχιστη έκταση για να χωροθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο συνολικής ισχύς 100 kW. Η επιλογή των περιοχών που είναι μεγαλύτερες από 4000 τ.μ. έγινε με την εντολή Spatial Statistics Tools - Utilities - Calculate Areas, αφού υπολογίστηκαν αρχικά τα εμβαδά όλων των περιοχών και επιλέχθηκαν τελικά αυτά που πληρούν τον περιορισμό.

Για την οργάνωση των χωρικών στοιχείων σε επίπεδα, δύο είναι οι βασικές συνιστώσες: η μορφή των στοιχείων (σημείο, γραμμή, πολύγωνο) και η θεματολογία τους (Κουτσόπουλος, 2005β). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7) περιγράφονται τα κριτήρια με τη μετατροπή τους σε θεματικά επίπεδα αρχικά και τελικά:

Α/Α	ΑΡΧΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ
1	Ακτογραμμή	Πολυγωνική	Z. Αποκλεισμού 300 μ.	Πολυγωνική
2	Προστ. περιοχές (Natura 2000)	Πολυγωνική	Z. Αποκλεισμού 200μ	Πολυγωνική
3	Ποταμοί	Γραμμική	Z. Αποκλεισμού 150μ	Πολυγωνική
4	Οικισμοί>2000 κατοίκων	Σημειακή	Z. Αποκλεισμού 500μ	Πολυγωνική
5	Οικισμοί<2000 κατοίκων	Σημειακή	Z. Αποκλεισμού 250μ	Πολυγωνική
6	Αρχαιολογικοί χώροι	Σημειακή	Z. Αποκλεισμού 500μ	Πολυγωνική
7	Οδικό δίκτυο	Γραμμική	Z. Αποκλεισμού 100μ	Πολυγωνική
8	Υφιστάμενες ΑΠΕ	Πολυγωνική	Z. Αποκλεισμού 1500μ	Πολυγωνική
9	Κάλυψη Γης	Πολυγωνική	corine2000_κατηγορίες	Πολυγωνική
10	Κλίσεις εδάφους	Πολυγωνική	Z. Αποκλεισμού >10°	Πολυγωνική
11	Δίκτυο μέσης Τάσης	Γραμμική	Z. Αποκλεισμού 100μ	Πολυγωνική
12	Δίκτυο Υψηλής/Υπερ υψηλής Τάσης	Γραμμική	Z. Αποκλεισμού 1000μ	Πολυγωνική
13	Αεροδρόμιο	Πολυγωνική	Z. Αποκλεισμού 200μ	Πολυγωνική
14	Ρήγματα	Γραμμική	Z. Αποκλεισμού 500μ	Πολυγωνική
15	Πιθανά Ρήγματα	Γραμμική	Z. Αποκλεισμού 250μ	Πολυγωνική

Πίνακας 10. : Καθορισμός αρχικών και τελικών θεματικών επιπέδων

3.2 Εκτίμηση Κατάλληλων Περιοχών με τη Boolean Επεξεργασία

3.2.1 Προσδιορισμός Απαιτούμενων Θεματικών Επιπέδων

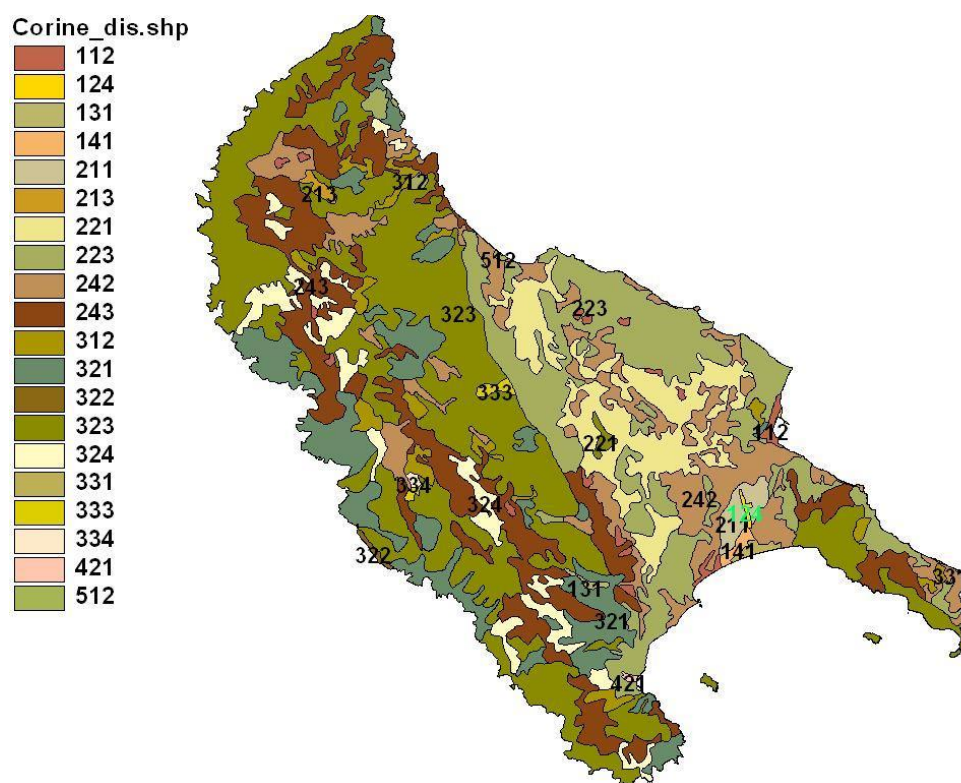
Κάθε κριτήριο πρέπει να μεταφρασθεί σε συγκεκριμένα γεωγραφικά – γεωμετρικά στοιχεία και στα αντίστοιχα θεματικά επίπεδα. Η επιλογή αυτή εξαρτάται από την ανάλυση που είναι αναγκαία στην εκάστοτε μελέτη και τα τελικά προϊόντα που πρέπει να δημιουργηθούν (Κουτσόπουλος, 2005β).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτούνται στοιχεία για τις περιοχές που εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000, για τους αρχαιολογικούς χώρους, για το υδρογραφικό δίκτυο (ποταμοί), τις αστικές περιοχές, το οδικό δίκτυο, τις υφιστάμενες ΑΠΕ, τα δίκτυα μέσης και υψηλής/υπερυψηλής Τάσης, την ακτογραμμή του νησιού, τις κλίσεις εδάφους, το αεροδρόμιο, τα σεισμικά ρήγματα (πιθανά και μη) και τις κατηγορίες κάλυψης γης.

3.2.1.1 Κατηγορίες Κάλυψης Γης

Σύμφωνα πάντως με το πρόγραμμα Corine Land Cover 2012 προκύπτει ότι το νησί γενικά, καλύπτεται από σκληροφυλλική βλάστηση στις ορεινές - λοφώδεις περιοχές και από αμπελώνες- ελαιώνες στις πεδινές, κατά γενική ομολογία.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατηγορίες των χρήσεων γης του νησιού με κωδικοποιημένη διάκριση, για τη διευκόλυνση της μελέτης μας.



Εικόνα 18 : Χάρτης Κάλυψης γης Ζακύνθου (Corine 2012)

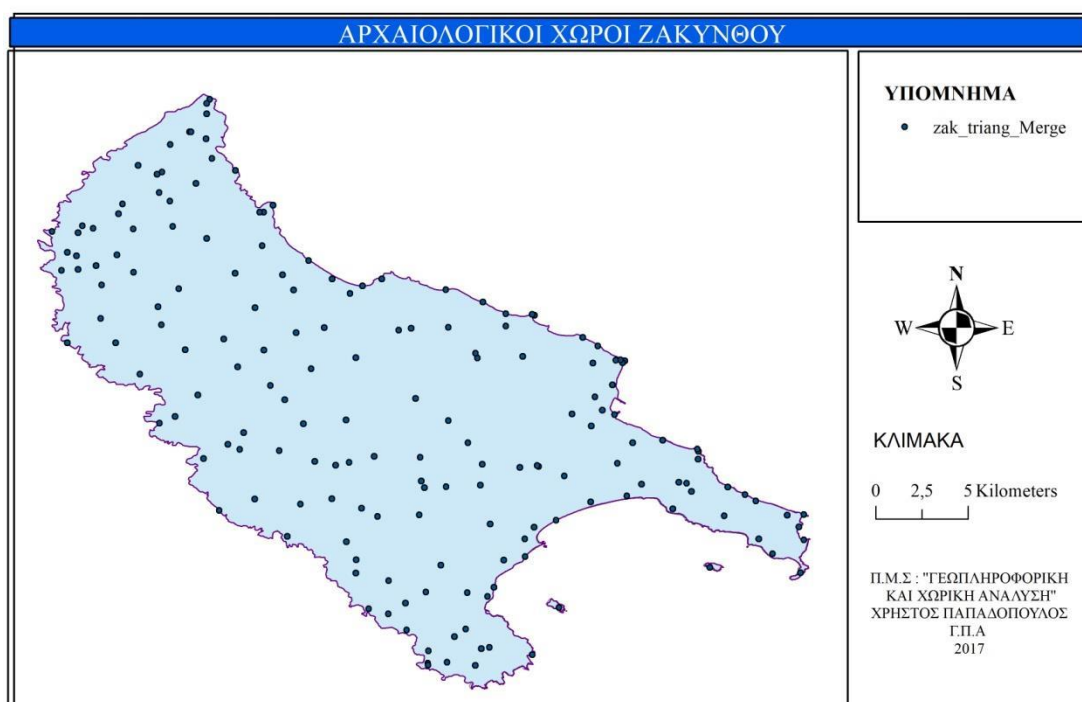
Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Κωδικός- Corine	Χρήσεις Γης
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
124	Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας
131	Χώροι εξόρυξης ορυκτών· απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης
141	Περιοχές αστικού πρασίνου
211	Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη
213	Αρόσιμη γη
221	Μόνιμες καλλιέργειες - αμπελώνες
223	Μόνιμες καλλιέργειες - ελαιώνες
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
243	Κυρίως γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
312	Δάσος κωνοφόρων
321	Φυσικοί βοσκότοποι
322	Θάμνοι και χερσότοποι
323	Σκληροφυλλική βλάστηση
324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις
421	Παραθαλάσσιοι βάλτοι
512	Χερσαία ύδατα - Συλλογές υδάτων

Πίνακας 11: Κωδικοποιημένες χρήσεις γης Ζακύνθου

3.2.1.2 Αρχαιολογικοί Χώροι

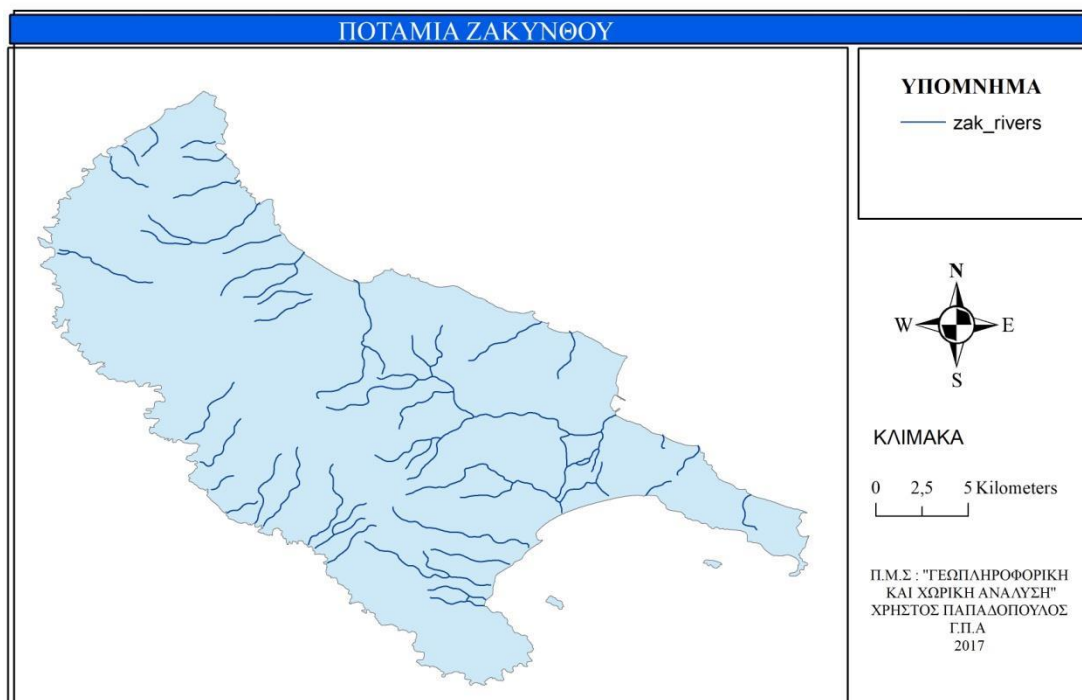
Παρά τη μικρή της έκταση, η Ζάκυνθος, έχει να επιδείξει πλούσια πολιτιστική κληρονομιά. Οι θέσεις των αρχαιολογικών μνημείων και των χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και των διαφόρων εκκλησιών και μοναστηριών, παρουσιάζονται πιο κάτω στην εικόνα 8.



Εικόνα 8 : Χάρτης αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ζακύνθου
Πηγή: Τμήμα Αρχαιοτήτων Ζακύνθου

3.2.1.3 Ποτάμια

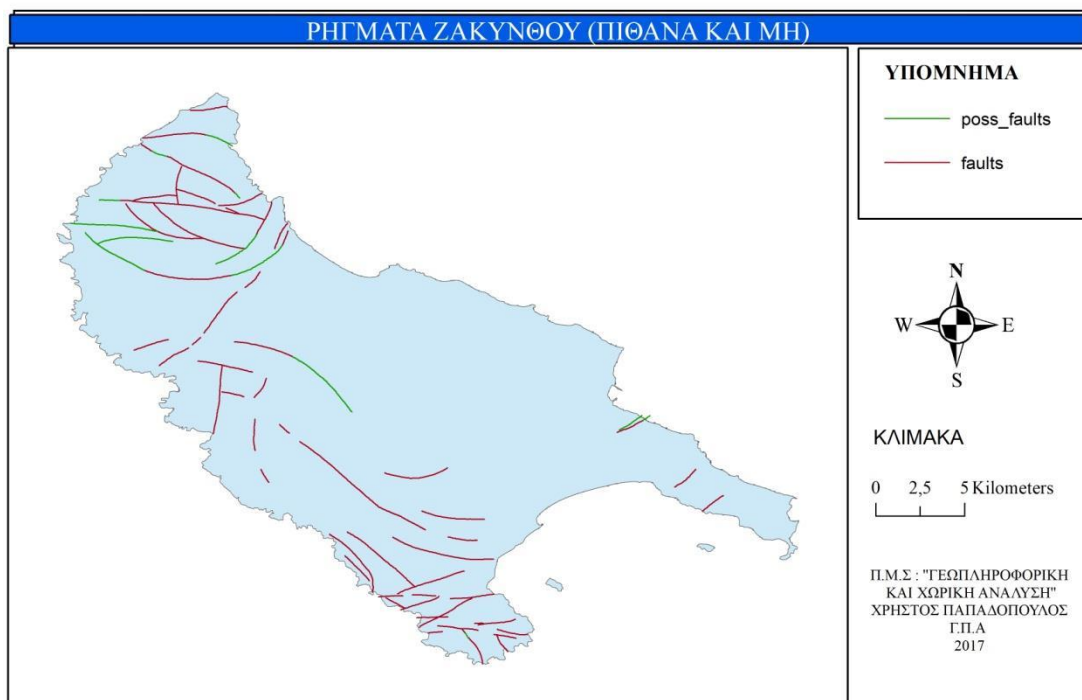
Στην εικόνα 9 απεικονίζονται οι ποταμοί της Ζακύνθου.



Εικόνα 19 : Ποτάμια Ζακύνθου
 Πηγή: Εθνικό Κτηματολόγιο

3.2.1.4 Σεισμικά Ρήγματα

Η παρακάτω εικόνα αποτυπώνει με πράσινο και κόκκινο όλα τα ρήγματα της Ζακύνθου (πιθανά και μη, αντίστοιχα).



Εικόνα 20 : Ρήγματα Ζακύνθου
 Πηγή: Εθνικό Κτηματολόγιο

3.2.2 Ανάλυση Δεδομένων

Μετά τον προσδιορισμό του προβλήματος, τη δημιουργία της βάσης δεδομένων και τον καθορισμό των κριτηρίων, ακολουθεί η χωρική ανάλυση των δεδομένων με τη δημιουργία νέων επιπέδων, τη βοήθεια εργαλείων δημιουργίας ζωνών αποκλεισμού, αλληλεπίδρασης διαφόρων επιπέδων και άλλων αναλυτικών λειτουργιών.

Ακολούθως, παρουσιάζεται το μοντέλο προσδιορισμού των περιοχών που είναι κατάλληλες για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο με τα στοιχεία εισόδου, τις λειτουργίες ανάλυσης, τα νέα επίπεδα και τις παραγόμενες πληροφορίες.

Πιο κάτω παρουσιάζεται η διαδικασία σε διάγραμμα.

3.2.3 Δημιουργία Ζωνών Αποκλεισμού

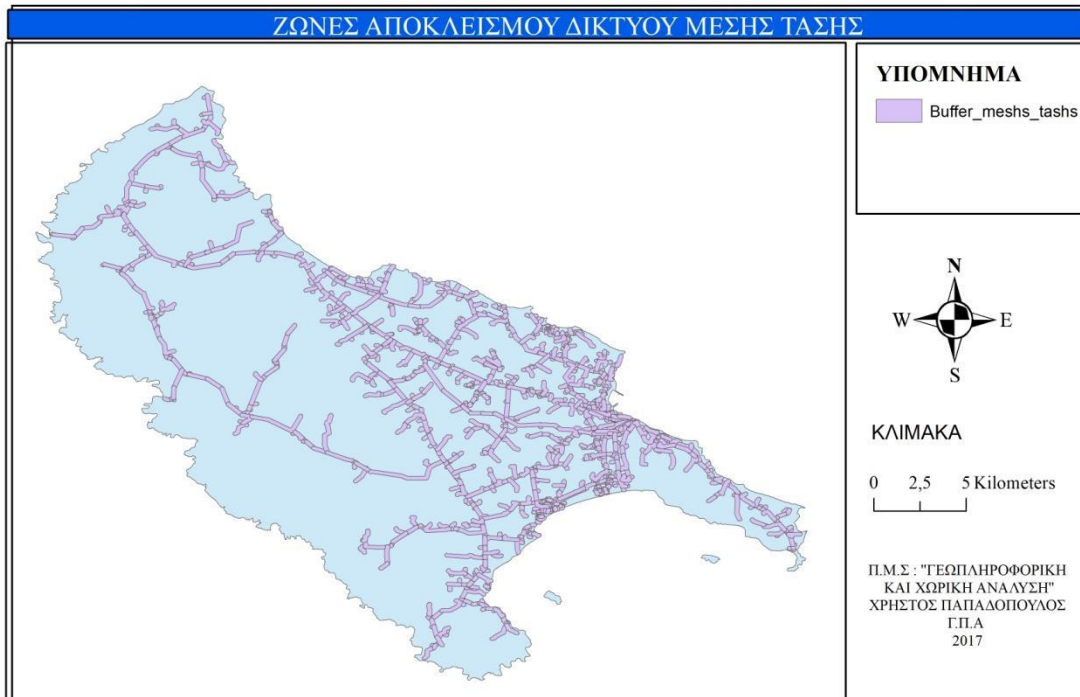
Για τη δημιουργία των Ζωνών Αποκλεισμού χρησιμοποιήθηκε επεξεργασία Buffer από την εντολή Analysis Tools – Proximity του ArcMap 10.4.1. Η επεξεργασία αυτή, έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί ζώνες περιμετρικά των αρχικών θεματικών επιπέδων, αναλόγως της απόστασης που επιλέγεται.

Στους παρακάτω χάρτες, παρουσιάζονται οι ζώνες αποκλεισμού για τα επιμέρους κριτήρια όπως έχουν περιγραφεί στις πιο πάνω παραγράφους, καθώς και η ένωση αυτών (διαδικασία Union), απεικονίζοντας έτσι την τελική ζώνη αποκλεισμού.

- **Λειτουργικά-Οικονομικά Κριτήρια:**



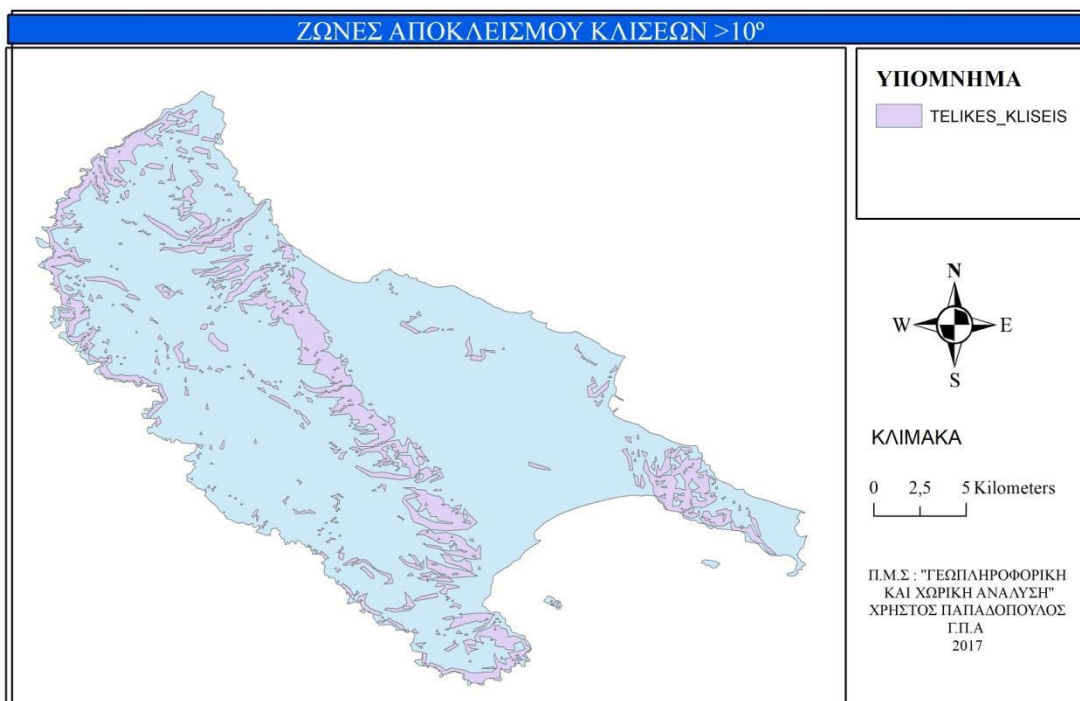
Χάρτης 15: Ζώνες Αποκλεισμού Οδικού Δικτύου



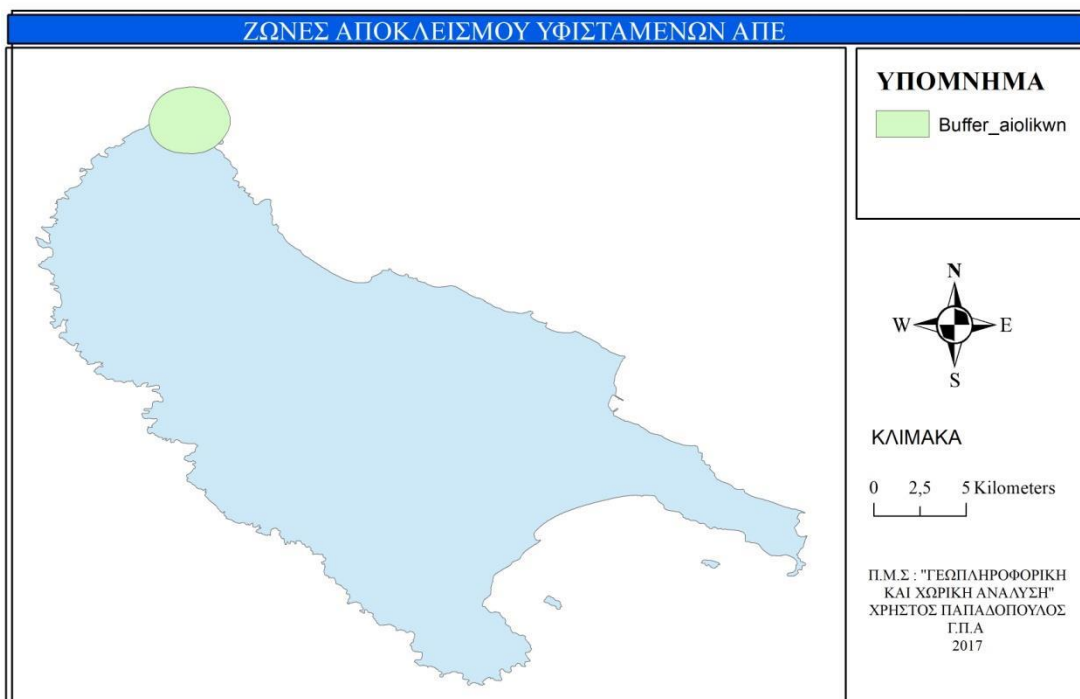
Χάρτης 16: Ζώνες Αποκλεισμού Δικτύου Μέσης Τάσης



Χάρτης 17: Ζώνες Αποκλεισμού Δικτύου Υψηλής/Υπερυψηλής Τάσης



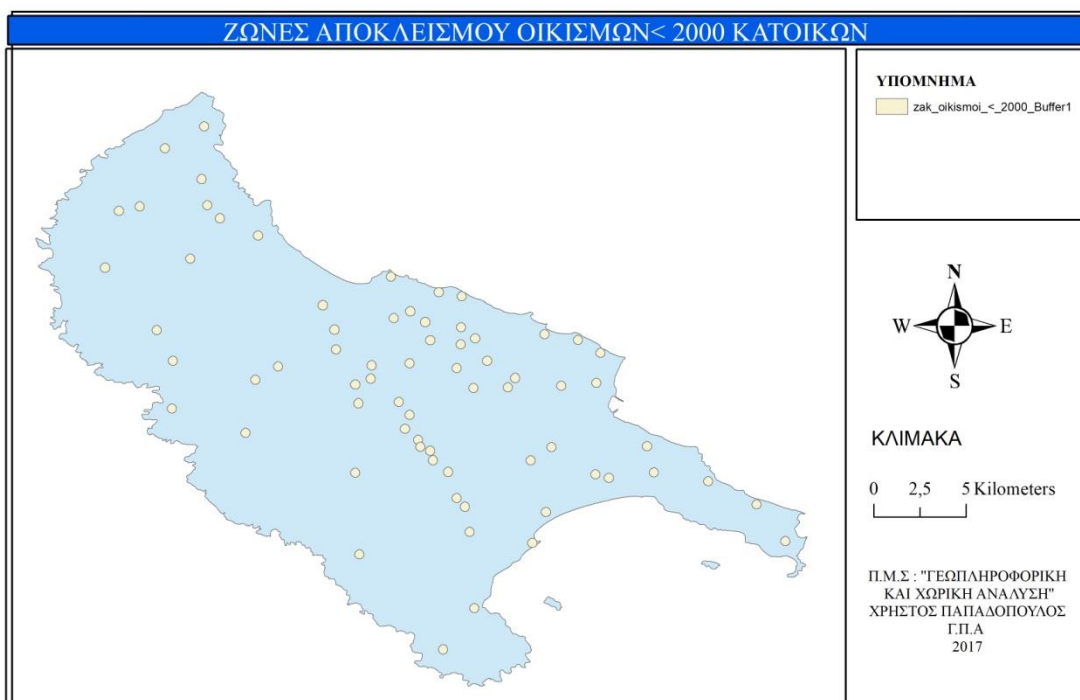
Χάρτης 18: Ζώνες Αποκλεισμού Κλίσεων >10°



Χάρτης 19: Ζώνες Αποκλεισμού Υφιστάμενων ΑΠΕ



Χάρτης 20: Ζώνες Αποκλεισμού Οικισμών > 2000 Κατοίκων

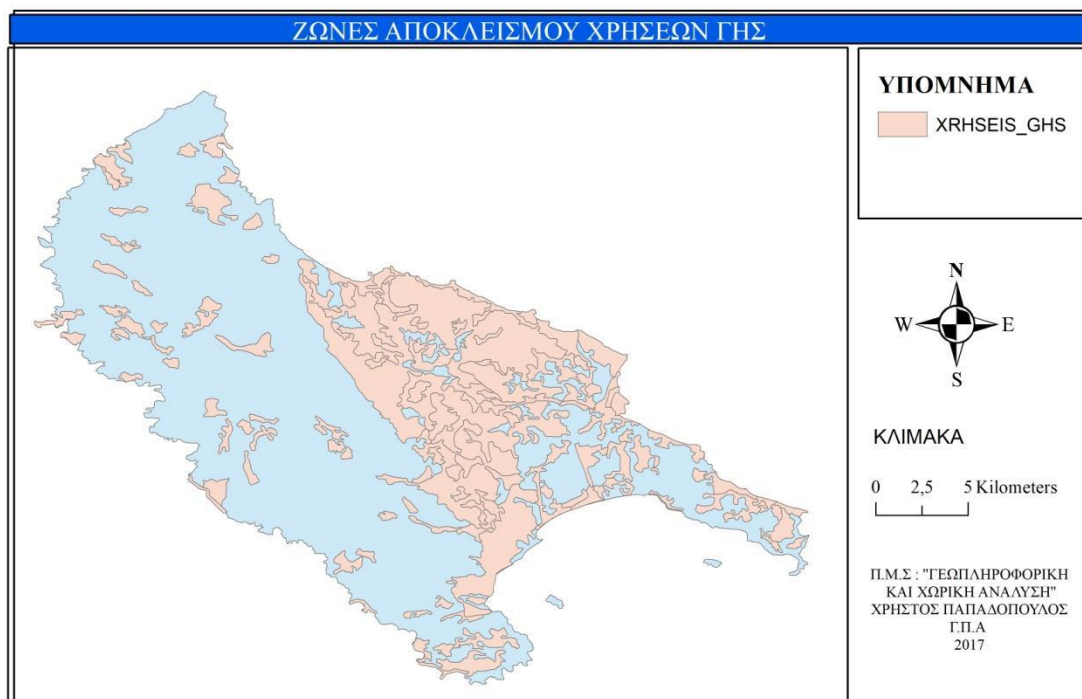


Χάρτης 21: Ζώνες Αποκλεισμού Οικισμών < 2000 Κατοίκων

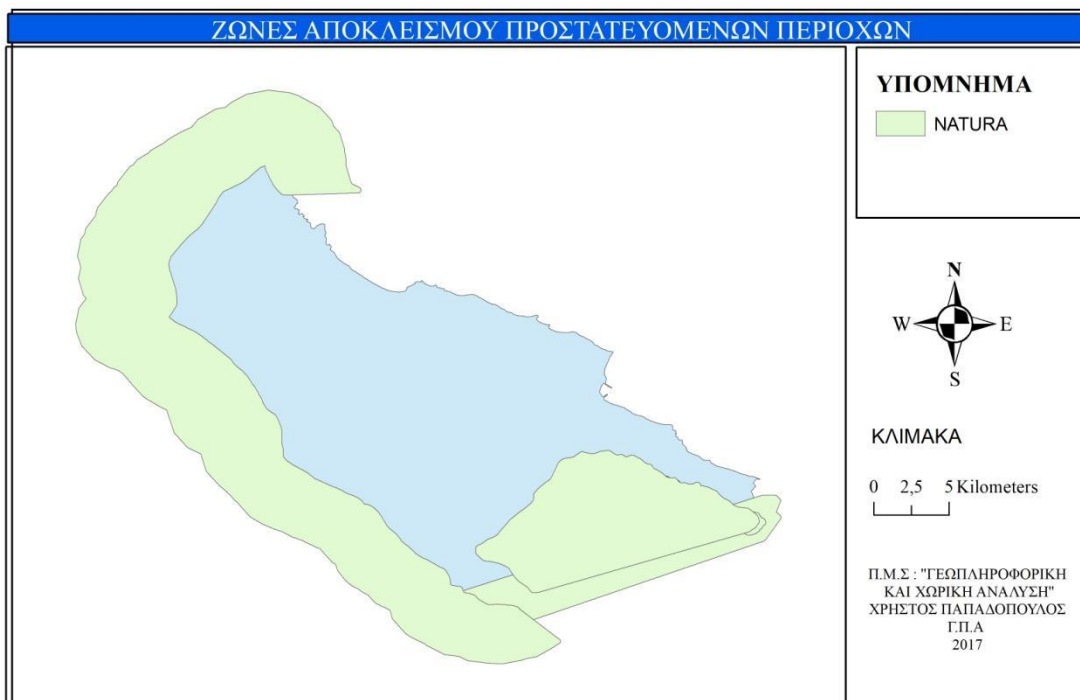
- **Περιβαλλοντικά Κριτήρια:**

Όπως αναφέρεται στα προηγούμενα κεφάλαια, για το κριτήριο των κατηγοριών κάλυψης γης, βρέθηκε το αντίστοιχο Corine Landcover 2012 για τη Ζάκυνθο από μία επίσημη Ευρωπαϊκή ιστοσελίδα (eea.europa.eu). Το συγκεκριμένο Corine ήταν σε μορφή tif και μετατράπηκε (με τη χρήση του εργαλείου Raster to other Format στο λογισμικό ArcMap) σε διανυσματική μορφή (vector) για να μπορεί να συσχετισθεί με τα διανυσματικά αρχεία των άλλων κριτηρίων.

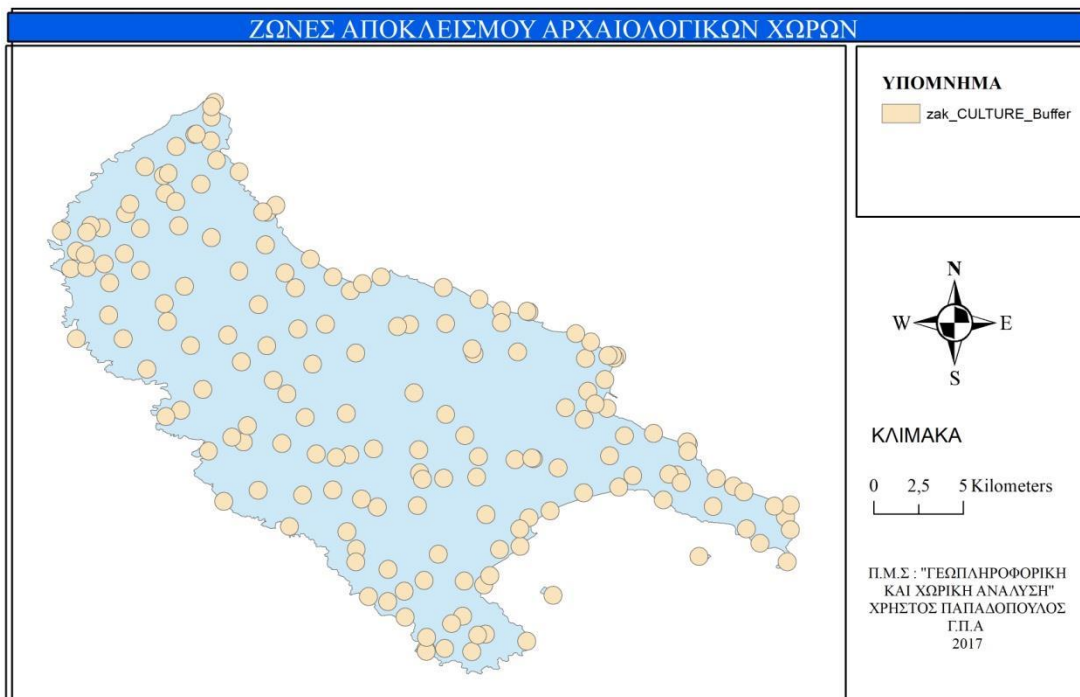
Μαζί με το αρχείο tif, υπήρχε και ένα αρχείο excel, στο οποίο αναγράφονταν όλες οι κατηγορίες κάλυψης γης της Ζακύνθου, κυρίως γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη, θάμνοι και χερσότοποι, σκληροφυλλική βλάστηση και μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις αντίστοιχα. Όλες οι υπόλοιπες περιοχές θεωρήθηκαν, βάση και της νομοθεσίας, ως ζώνες αποκλεισμού.



Χάρτης 22: Ζώνες Αποκλεισμού Χρήσεων Γης



Χάρτης 23: Ζώνες Αποκλεισμού Προστατευόμενων Περιοχών



Χάρτης 24: Ζώνες Αποκλεισμού Αρχαιολογικών Χώρων

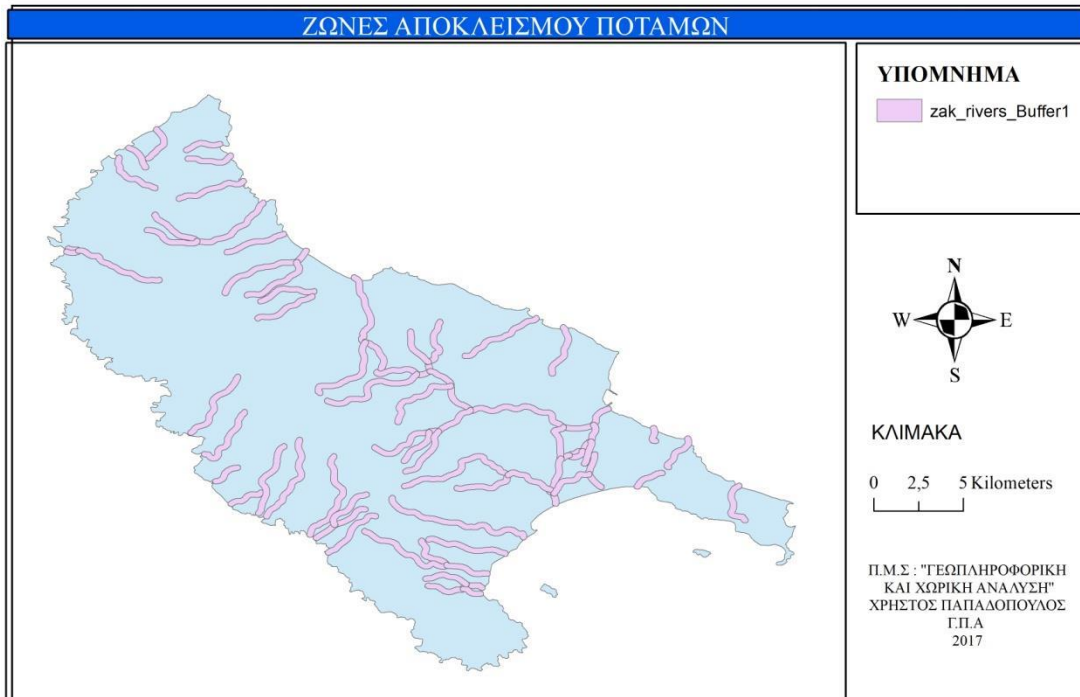


Χάρτης 25: Ζώνη Αποκλεισμού Αεροδρομίου

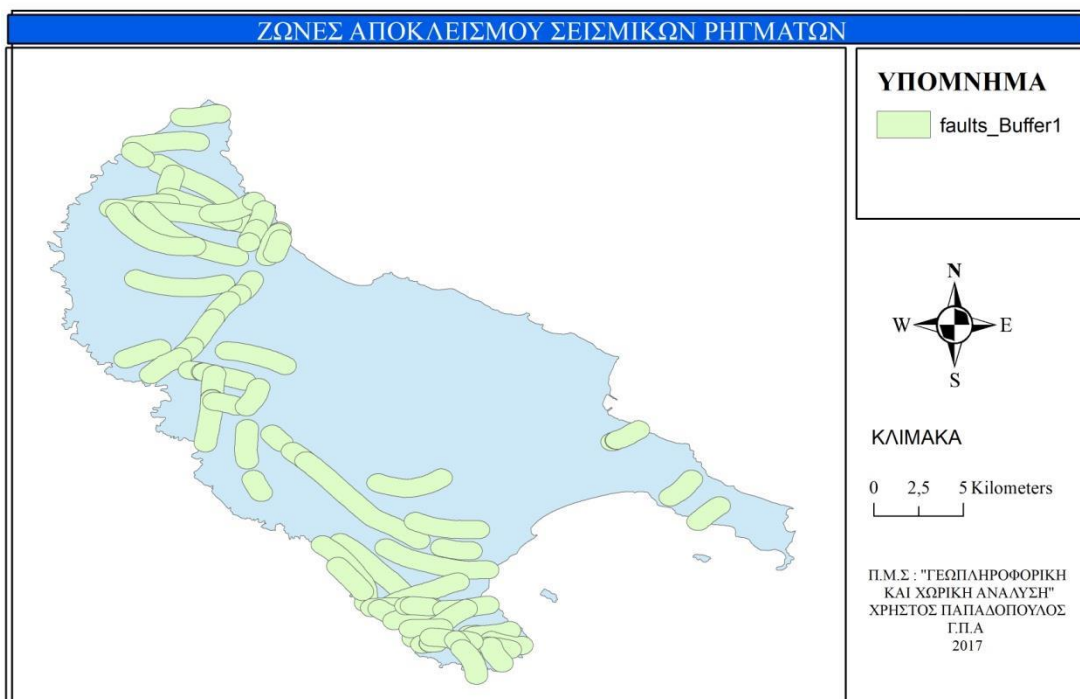


Χάρτης 26: Ζώνη Αποκλεισμού Ακτογραμμής

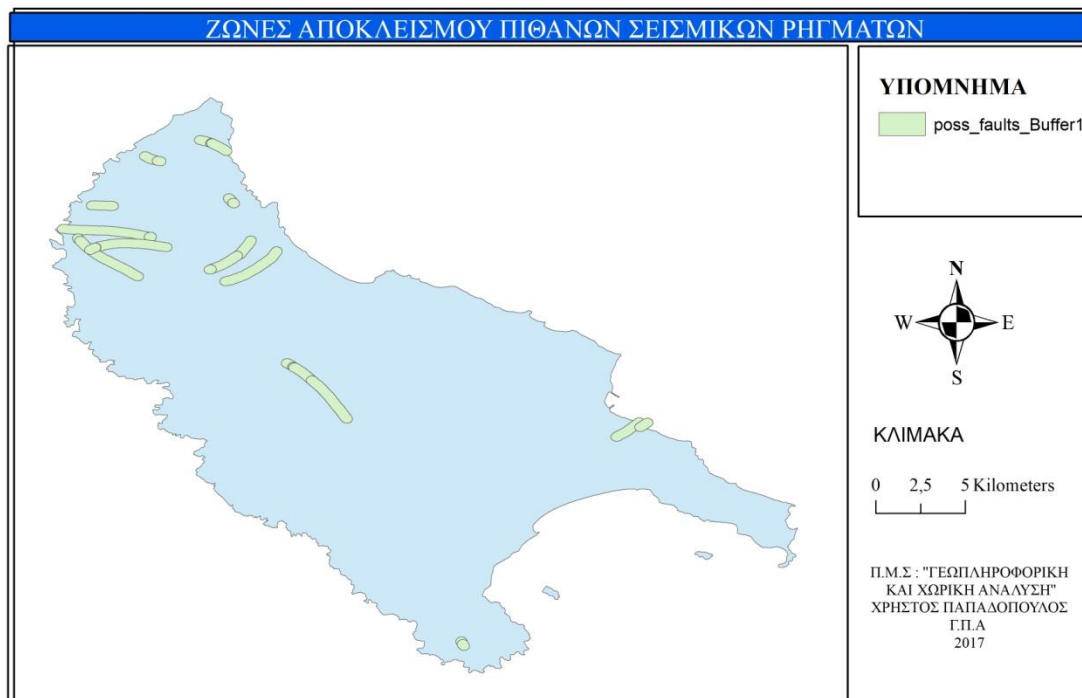
- Άλλα κριτήρια:



Χάρτης 27: Ζώνες Αποκλεισμού Ποταμών



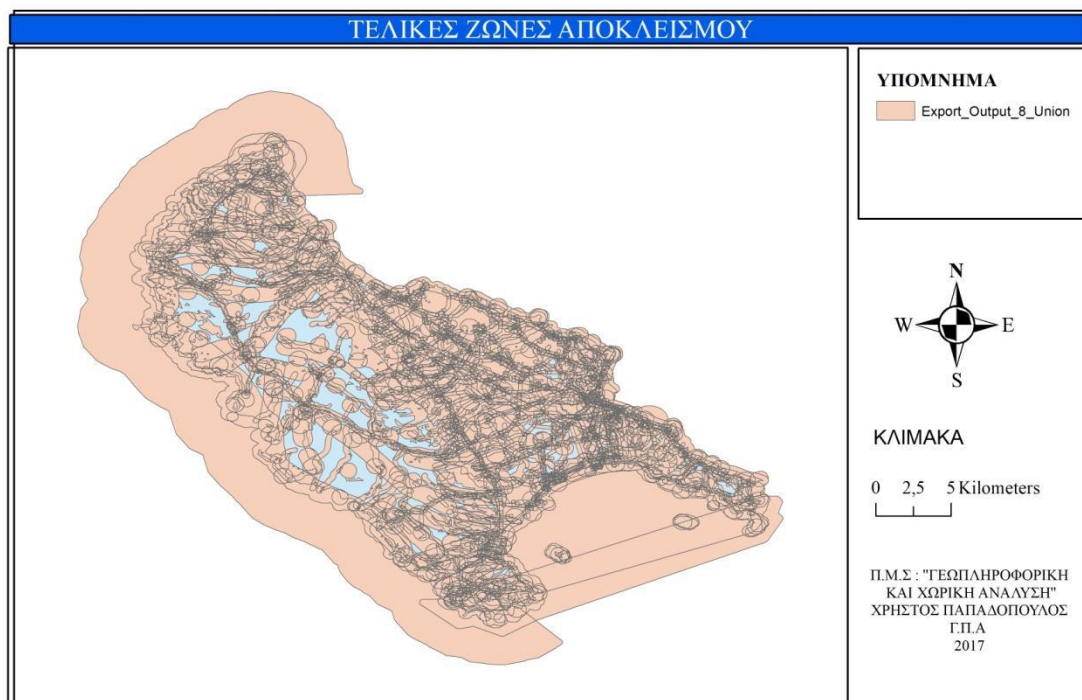
Χάρτης 28: Ζώνες Αποκλεισμού Σεισμικών Ρηγμάτων



Χάρτης 29: Ζώνες Αποκλεισμού Πιθανών Σεισμικών Ρηγμάτων

- **Τελικές Ζώνες Αποκλεισμού:**

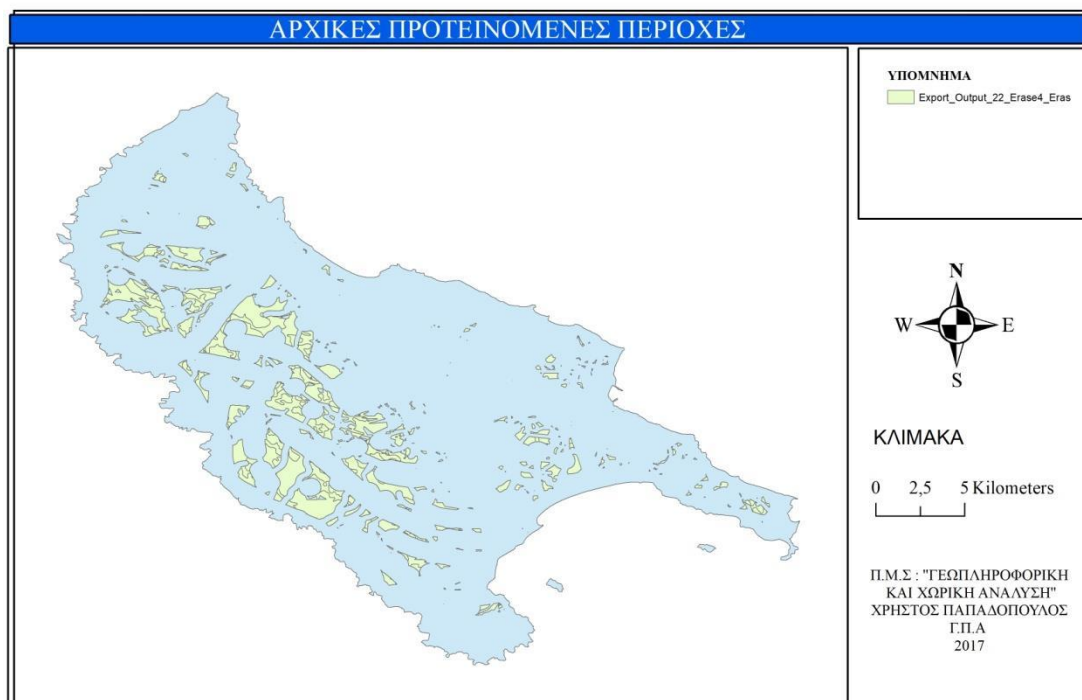
Οι τελικές ζώνες αποκλεισμού εμφανίζονται στον πιο κάτω χάρτη, οι οποίες στην ουσία προέκυψαν από τα 15 πιο πάνω κριτήρια (λειτουργικά-οικονομικά, περιβαλλοντικά και άλλα) και την ένωση αυτών με τη χρήση του εργαλείου Union.



Χάρτης 30: Τελικές Ζώνες Αποκλεισμού

3.2.4 Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές

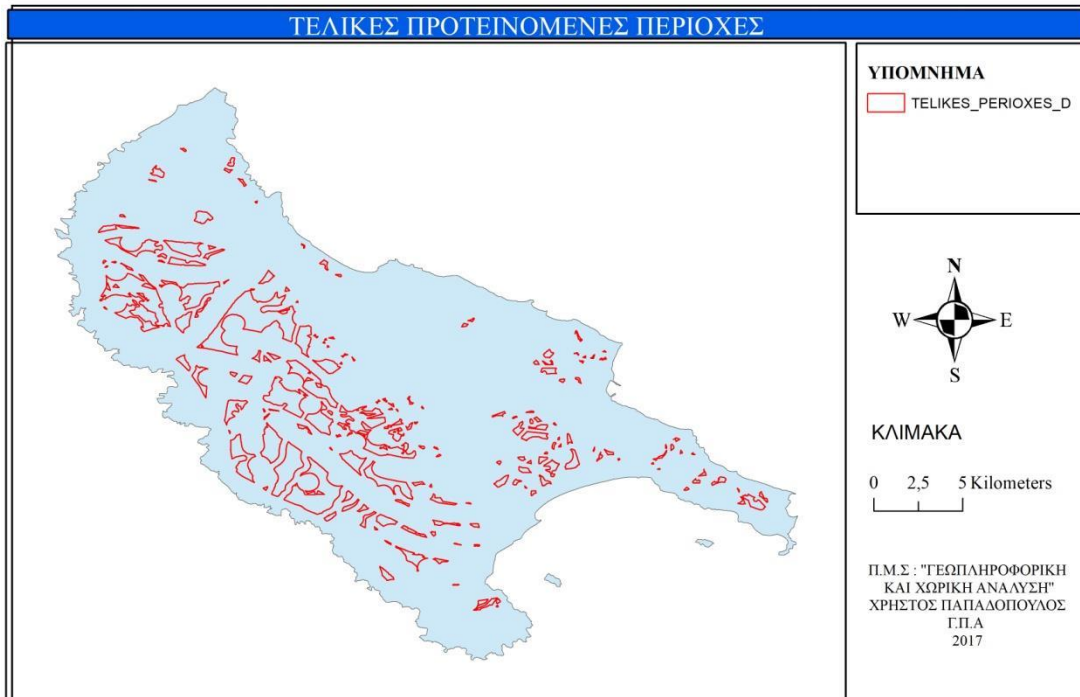
Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας, περιλαμβάνει την αφαίρεση των δυο επιπέδων, των ζωνών αποκλεισμού από τη συνολική έκταση του νησιού. Με τον τρόπο αυτό επιλέγονται οι τελικές περιοχές στις οποίες, επιτρέπεται η χωροθέτηση του φωτοβολταϊκού πάρκου, πληρώντας όλα τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Μέσω της διαδικασίας Analysis Tools – Overlay - Erase, γίνεται η αφαίρεση των ζωνών αποκλεισμού από τη συνολική έκταση του νησιού και προσδιορίζονται έτσι πιο κάτω, οι αρχικές προτεινόμενες περιοχές.



Χάρτης 31: Αρχικές Προτεινόμενες Περιοχές

Όπως διακρίνεται στον παραπάνω χάρτη, από τις αρχικές προτεινόμενες περιοχές υπάρχουν πολλά κατακεραματισμένα πολύγωνα τα οποία καλύπτουν πολύ μικρή έκταση. Οι περιοχές αυτές είναι ακατάλληλες για να χωροθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Οι εκτιμήσεις που αφορούν την κατάλληλη έκταση που πρέπει να έχει μια περιοχή ώστε να τοποθετηθεί ένα τέτοιο πάρκο ποικίλουν. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής, όπου εξετάζονται φωτοβολταϊκά πάρκα με δυναμικό ίσο ή μεγαλύτερο με 100 KW και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το ασφαλές εμβαδόν των τελικών προτεινόμενων περιοχών θα πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 4000 τ.μ.

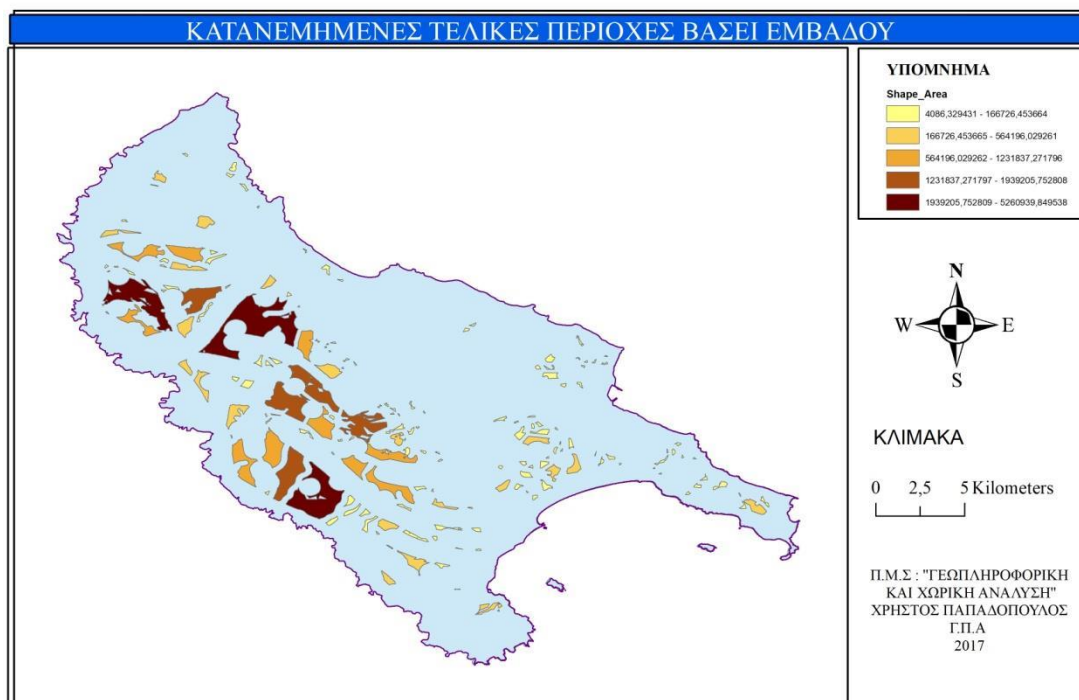
Με τη βοήθεια του ArcMap 10.4.1, γίνεται ο υπολογισμός των εμβαδών των περιοχών που προήλθαν από την αφαίρεση των ζωνών αποκλεισμού από τη συνολική έκταση του νησιού (zak_polygon). Οι τελικές προτεινόμενες περιοχές με εμβαδόν ίσο ή μεγαλύτερο από 4000τ.μ. παρουσιάζονται στον πιο κάτω χάρτη.



Χάρτης 32: Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές

Οι Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές, αποτελούνται από 186 πολύγωνα και έχουν συνολική έκταση περίπου 41,4 km². Καταλαμβάνουν δηλαδή περίπου το 10% της συνολικής έκτασης της Ζακύνθου (405,5 km² όπως έχει προαναφερθεί). Παρατηρούμε επίσης πως αυτές οι περιοχές βρίσκονται κυρίως προς τη Δυτική πλευρά του νησιού (είτε Βόρεια, είτε Νότια) ως προς την κεντρική οροσειρά της Ζακύνθου, κάτι το οποίο κρίνεται αναμενόμενο λόγω του ότι το νησί κατοικείται κυρίως στην Ανατολική του πλευρά.

Πιο αναλυτικά η επικρατέστερη χρήση γης είναι η σκληροφυλλική βλάστηση, με κωδικό 323 όπως έχει προαναφερθεί, συνολικής έκτασης 19,7 km², η οποία καταλαμβάνει περίπου το 47,5 % του συνόλου των επιτρεπόμενων περιοχών και το 4,8% της συνολικής έκτασης του νησιού. Η μικρότερη σε έκταση χρήση γης είναι η μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη (κωδικός 211), η οποία αγγίζει τα 1,2 km², δηλαδή 6,3% του συνόλου των επιτρεπόμενων περιοχών και το 0,3% της συνολικής έκτασης της Ζακύνθου.



Εικόνα 21. : Κατανεμημένες τελικές περιοχές βάσει εμβαδού

Από την επιλογή (select by attributes) που εφαρμόσαμε μέσω του ArcMap 10.4.1, χωρίσαμε τα 186 τελικά μας πολύγωνα σε πέντε κλάσεις αναλόγως της έκτασής τους. Όπως φαίνεται και στον παραπάνω χάρτη, στην πρώτη έχουμε 146 πολύγωνα εμβαδού $4086,3 \text{ m}^2 - 166726,5 \text{ m}^2$, στη 2^η 21 εμβαδού $166726,4 \text{ m}^2 - 564196 \text{ m}^2$, στην 3^η 10 εμβαδού $564196 \text{ m}^2 - 1231837,3 \text{ m}^2$, στην 4^η 5 με εμβαδό $1231837,3 \text{ m}^2 - 1939205,8 \text{ m}^2$ και τέλος στην 5^η 4 με εμβαδό $1939205,8 \text{ m}^2 - 5260939,9 \text{ m}^2$.

Τα μεγαλύτερα πολύγωνα παρατηρούμε ότι βρίσκονται στη νοτιοδυτική πλευρά του νησιού, που είναι και ορεινότερη, ενώ το πλείστο των πολυγώνων της 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} κλάσης βρίσκονται στην ορεινότερη και σχετικά πιο δύσβατη περιοχή του νησιού, σε αντίθεση με τα πολύγωνα των δύο πρώτων κλάσεων που βρίσκονται στην πεδινή και νοτιοανατολική πλευρά, καταλαμβάνοντας και σαφώς μικρότερη έκταση.

3.3 Εκτίμηση Κατάλληλων Περιοχών με το συνδυασμό της Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Fuzzy Logic-AHP)

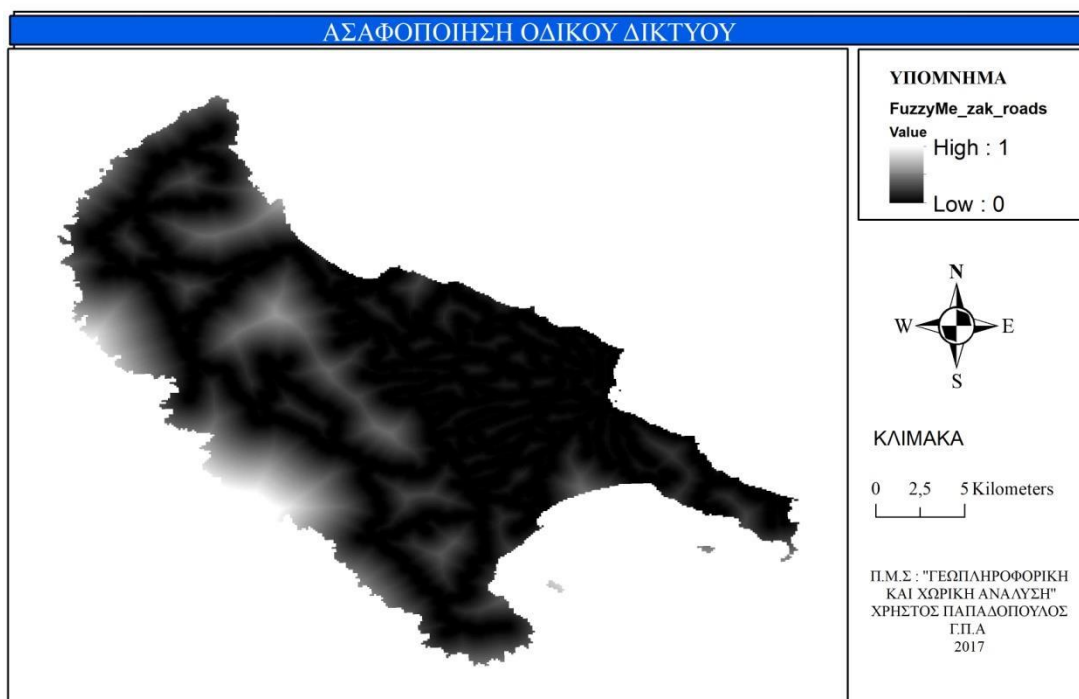
Για την ανάλυση μας χρησιμοποιήσαμε όλα τα κριτήριά μας εκτός από αυτό των χρήσεων γης, μια και η ασαφοποίησή τους κρίνεται εντελώς άστοχη.

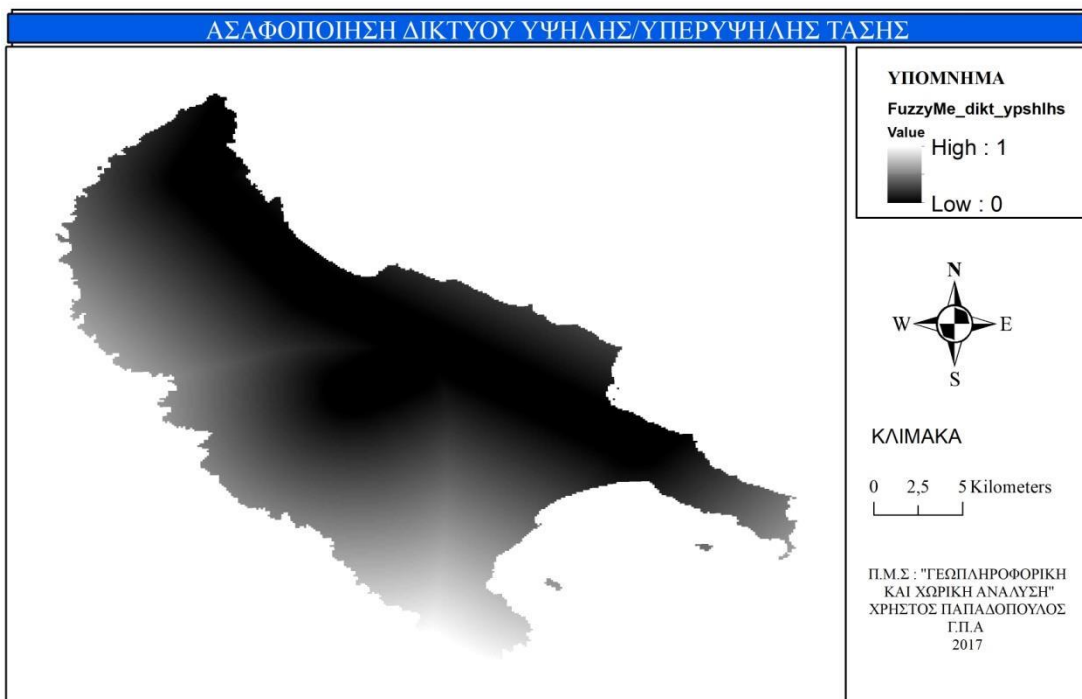
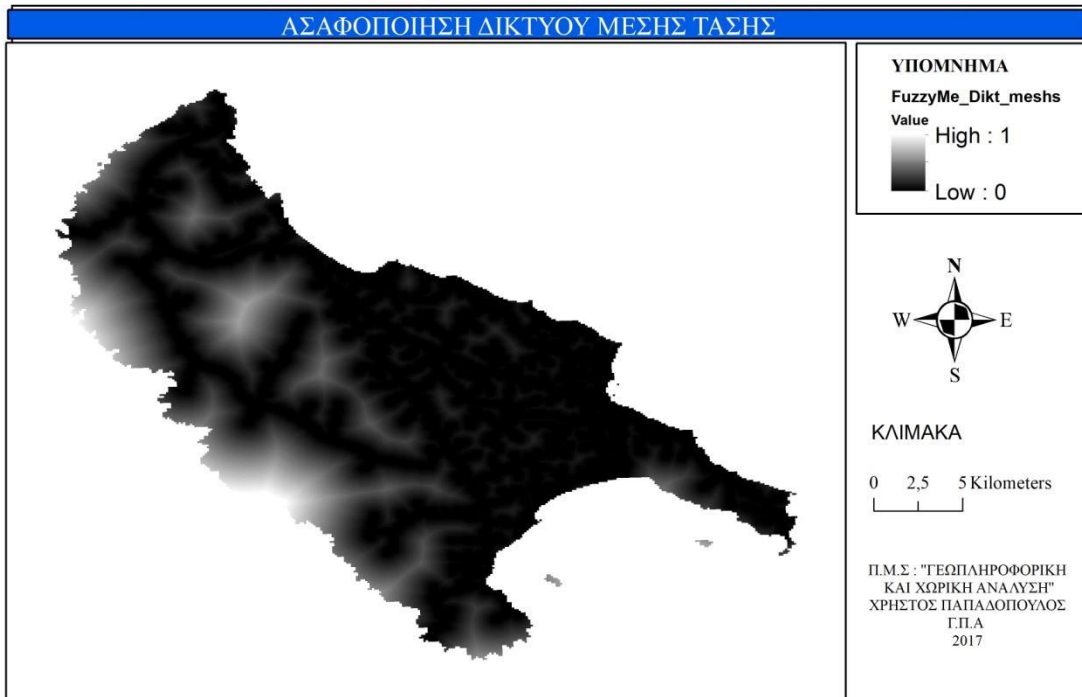
Για τα κριτήρια του Πίνακα 7 εκτός από αυτό των κλίσεων και των χρήσεων γης, χρησιμοποιήσαμε την ευκλείδεια απόσταση και στο υπομενού Environment Settings, στο Processing Extent, επιλέχθηκε το zak_polygon.

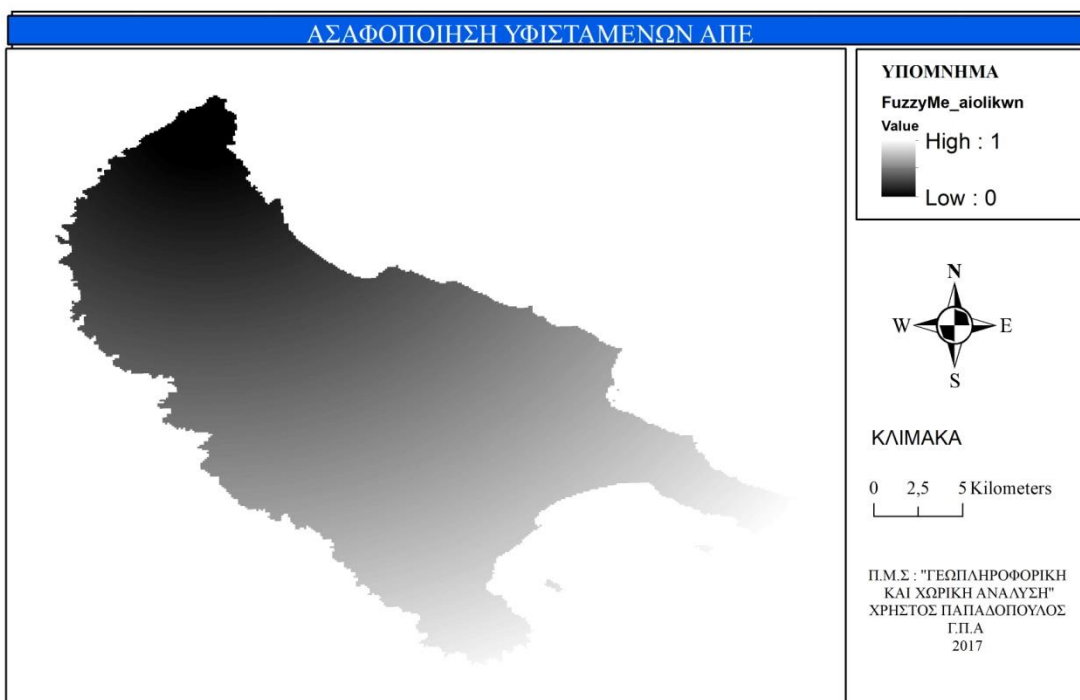
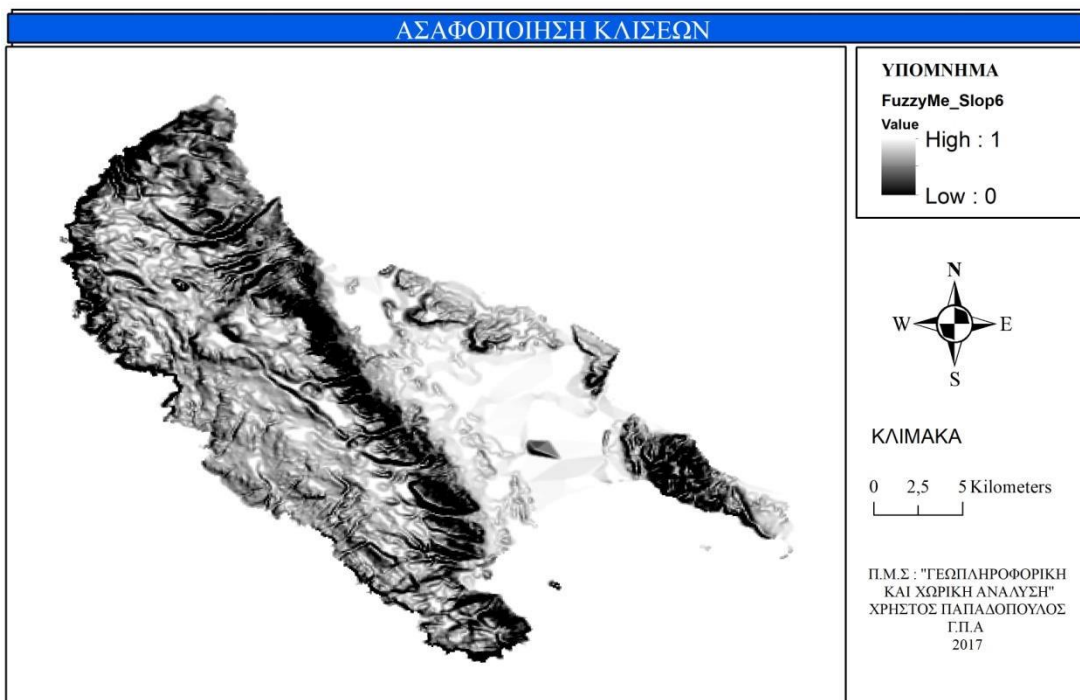
Το αρχείο των κλίσεων εισήχθη απευθείας προς ασαφοποίηση με το εργαλείο fuzzy membership, όντας raster αρχείο.

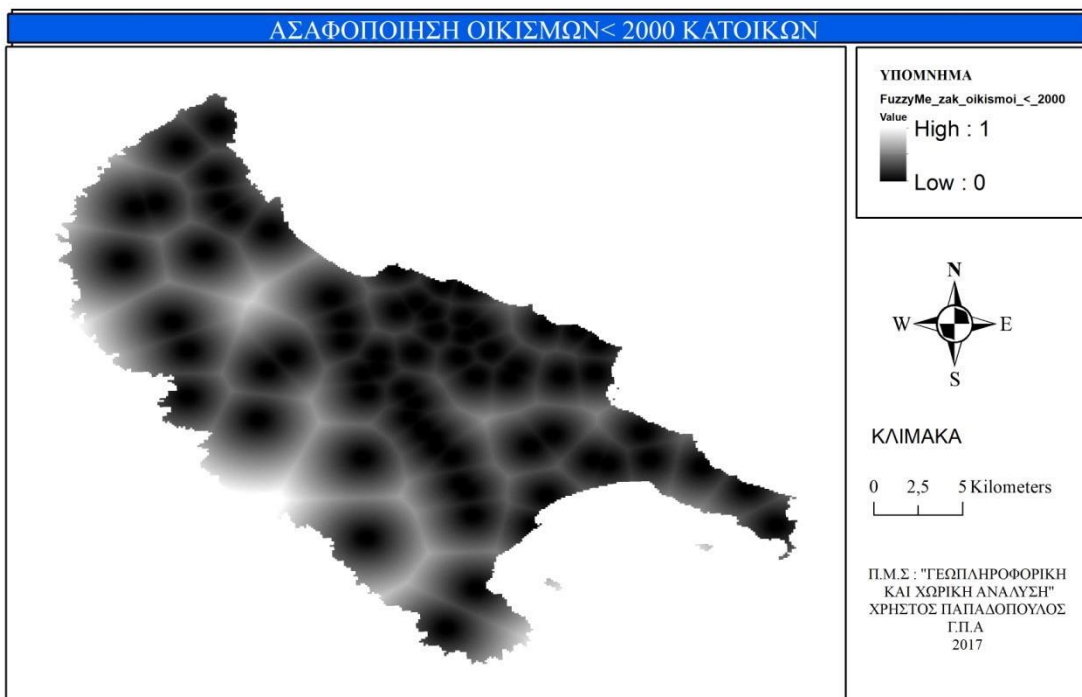
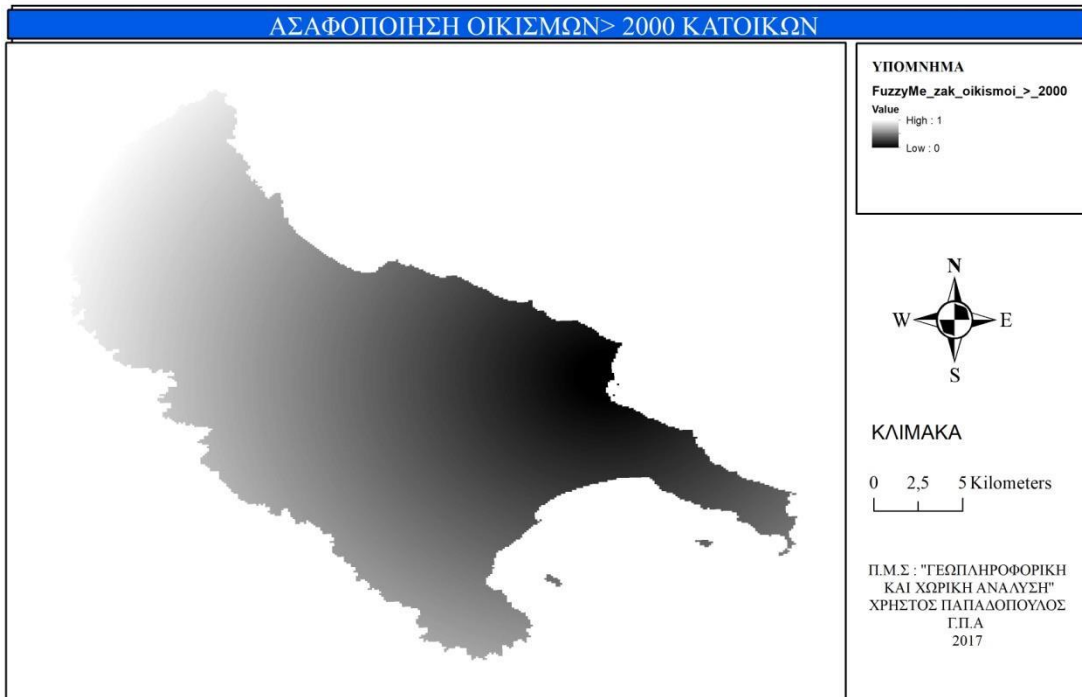
Εν συνεχεία αποκόψαμε τα παραγόμενα ψηφιδωτά αρχεία, στα όρια του πολυγωνικού επιπέδου χρησιμοποιώντας την εντολή extract by mask, αναλόγως φυσικά και με την ευκλείδεια απόσταση τους, που υπολογίσαμε προηγουμένως, θέτοντας ως cell size=100, για να είναι το ίδιο με του zak_polygon που προαναφέραμε ότι εισήχθη σαν Processing Extent.

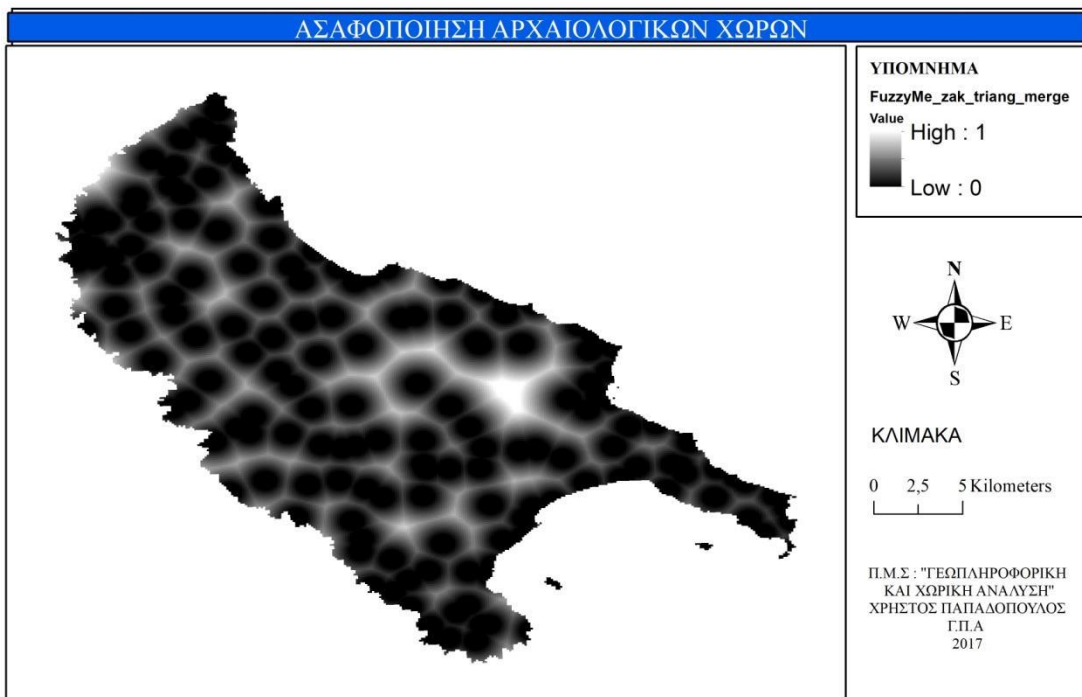
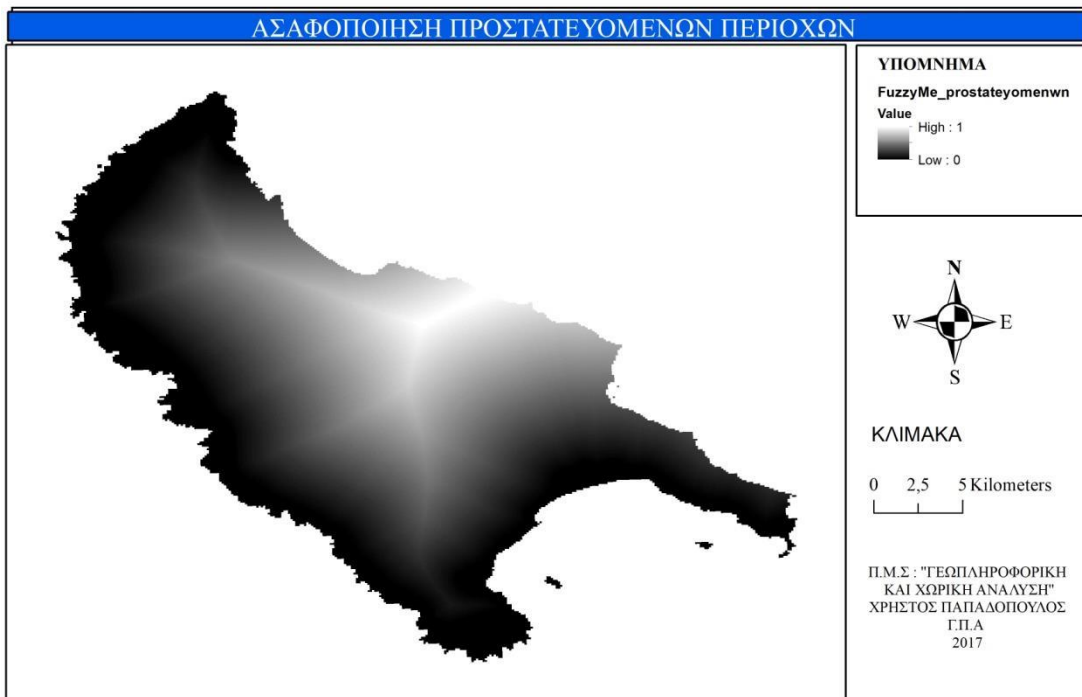
Επιλέγοντας τα παραπάνω κριτήρια καταλληλότητας χρησιμοποιήσαμε την ασαφή ταξινόμηση και ορίσαμε τις απαραίτητες παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα επιλέξαμε γραμμική συνάρτηση (linear, Παρ. 2.3.8.7) για όλα τα κριτήρια (εκτός από τη χρήση γης) διότι θεωρήσαμε πως η καταλληλότητα ή μη, μιας περιοχής, μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την απόστασή της (αυξανόμενη της απόστασης μειώνεται η καταλληλότητα) από το κάθε κριτήριο και για κάθε ένα από αυτά, θέσαμε τον αντίστοιχο περιορισμό του. Τα αποτελέσματα που πήραμε ήταν μια ταξινόμηση των τιμών μας σε διάστημα από μηδέν έως ένα, με το μηδέν να απεικονίζει τη λιγότερη κατάλληλη περιοχή και το ένα την καταλληλότερη.

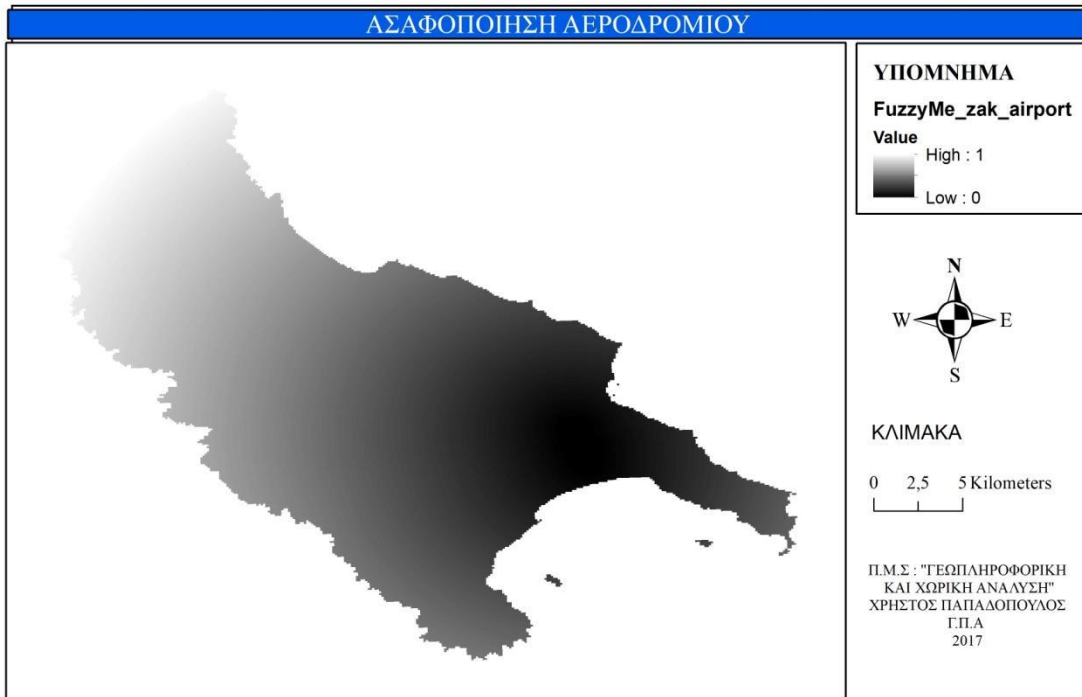


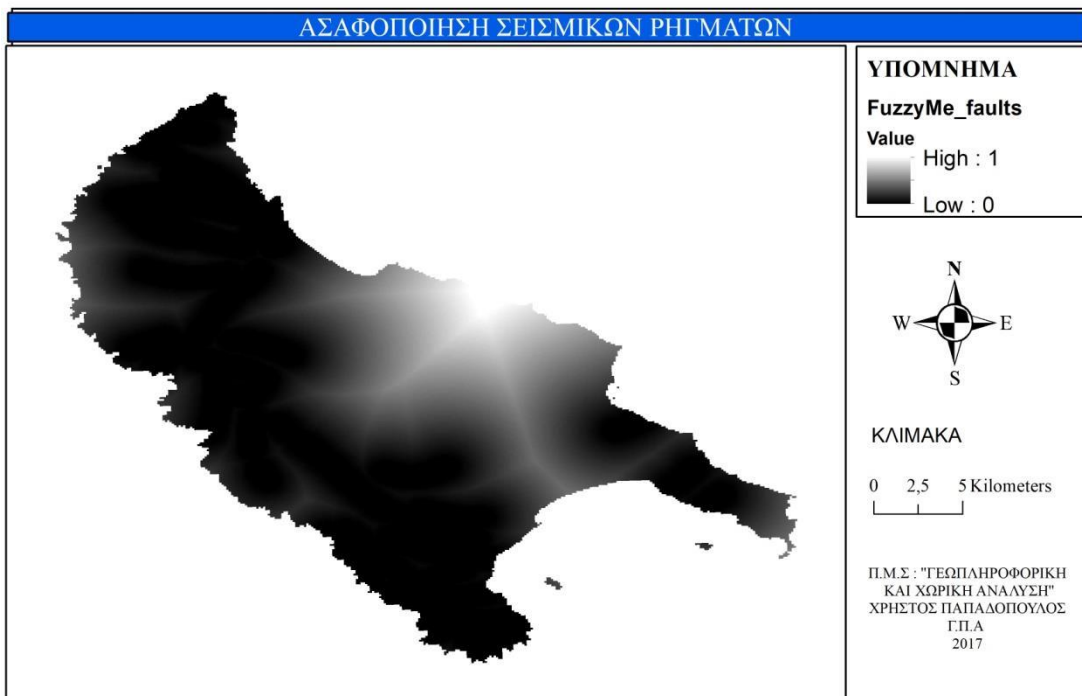
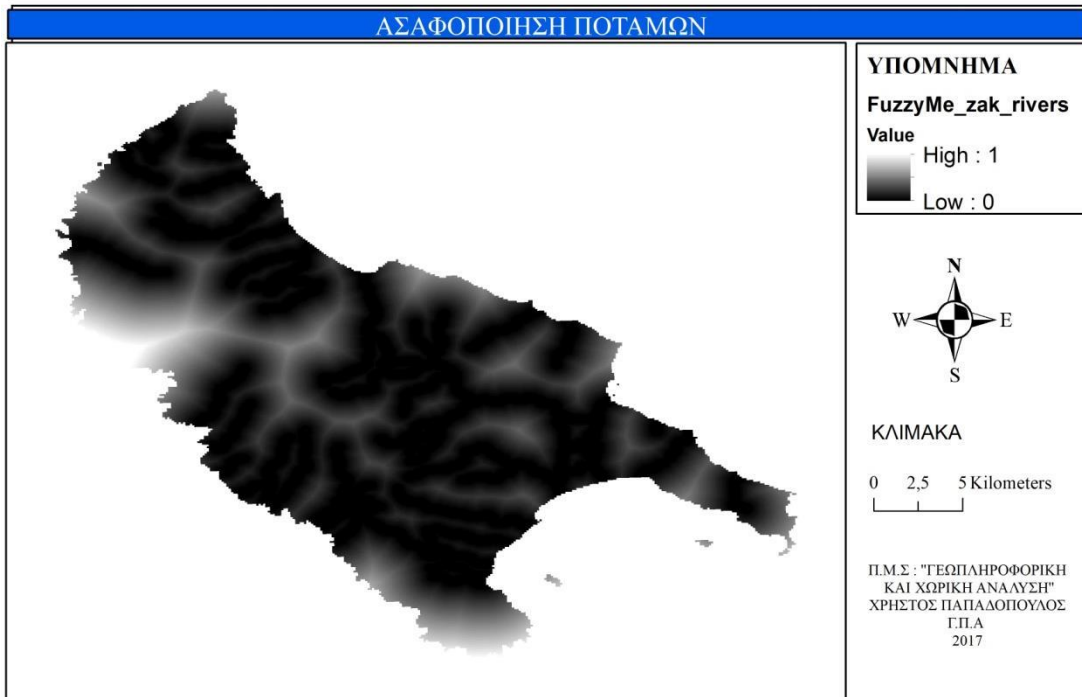


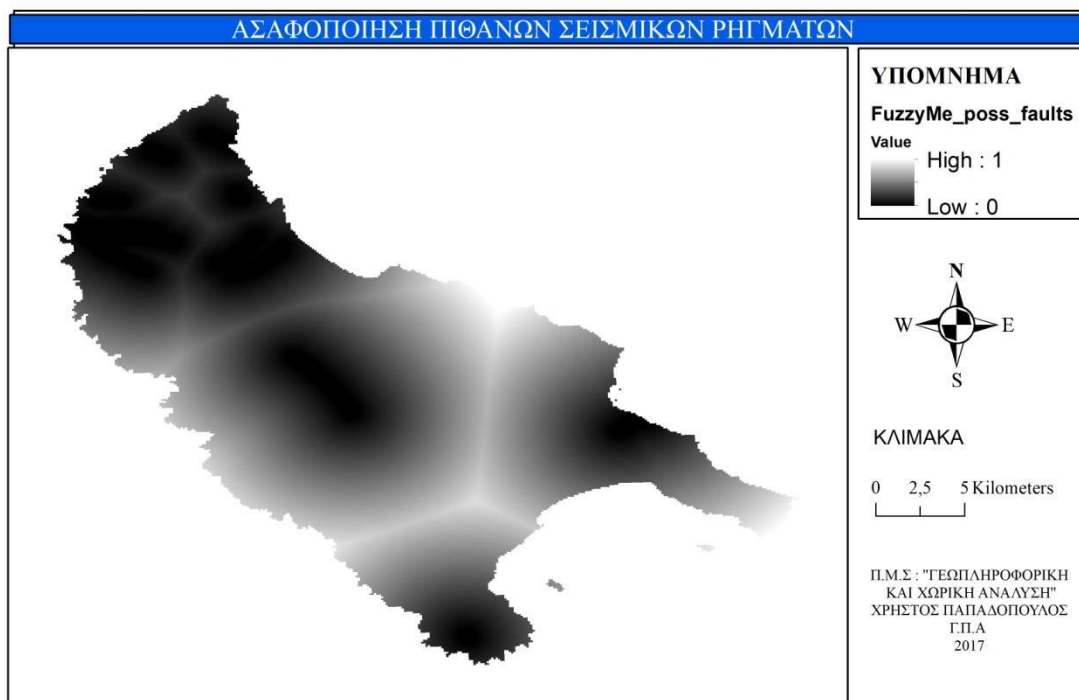












Για τη συνέχεια και για την εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (ΑΗΡ), ενδεικνυόταν τα λειτουργικά – οικονομικά κριτήρια να έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο δίκτυα ηλεκτροδότησης (μέσης και υψηλής/υπερυψηλής τάσης), έλαβαν τη μεγαλύτερη βαρύτητα λόγω του ότι η τοποθέτηση ενός Φ/Β πάρκου μακριά από το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο θα έχει υψηλότερο κόστος, επειδή νέες γραμμές και υποσταθμοί θα χρειάζεται να κατασκευαστούν. Το ίδιο ισχύει και για το οδικό δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη το πολύ υψηλό κόστος κατασκευής και διατήρησης νέων δρόμων. Εξίσου σημαντική είναι και η κλίση των εδαφών, καθώς μικρές κλίσεις εδάφους εγκατάστασης σημαίνει χαμηλότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης, κυρίως λόγω προσβασιμότητας. Οι οικισμοί (και άνω και κάτω των 2000 κατοίκων) θεωρήθηκαν αυξημένης βαρύτητας, γιατί σε πολυσύχναστους χώρους η σκίαση είναι όλο και μεγαλύτερη και το αντίστροφο, ενώ στα ποτάμια δόθηκε επίσης μεγάλο θετικό πρόσημο, κυρίως λόγω συστημάτων καθαρισμού των Φ/Β που είναι δυνατόν να εγκατασταθούν πλησίον τους (για άντληση νερού από αυτούς), αλλά και λόγω όχλησης από ζώα, πουλιά κλπ. Τα περιβαλλοντικά κριτήρια κατατάσσονταν ψηλά, αλλά κάτω από τα λειτουργικά – οικονομικά, ενώ τα υπόλοιπα κριτήρια δε λήφθηκαν και τόσο σοβαρά στα υπόψη. Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει τις ανά δύο συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων μας, εφαρμόζοντας την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (ΑΗΡ). Οι τιμές είναι από την κλίμακα Saaty και αναφέρονται στην υπερίσχυση του ενός κριτηρίου σε σχέση με το άλλο (βλ. 2.8.4 Κλίμακα).

	ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	ΔΙΚΤΥΟ ΥΨΗΛΗΣ/ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	ΚΑΙΣΕΙΣ	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ Σ' ΑΠΕ	ΟΙΚΙΣΜΟΙ >2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ	ΟΙΚΙΣΜΟΙ < 2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ	ΠΟΤΑΜΙΑ	ΡΗΓΜΑΤΑ	ΠΙΘΑΝΑ ΡΗΓΜΑΤΑ
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	4	1	8	4
ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	5	1	9	5
ΔΙΚΤΥΟ ΥΨΗΛΗΣ/ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ														
ΚΑΙΣΕΙΣ	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	6	3
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΕ	0.333	0.333	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	3	1
ΟΙΚΙΣΜΟΙ >2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	6	3
ΟΙΚΙΣΜΟΙ < 2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ	1	1	1	1	2	1	1	2	2	3	1	1	7	3
ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	0.5	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	2	1	4	2
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ	0.5	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	2	1	4	2
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	0.5	0.5	1	1	1	1	0.333	1	1	1	2	1	5	2
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ	0.25	0.2	0.333	0.333	1	0.333	1	0.5	0.5	0.5	1	0.333	2	1
ΠΟΤΑΜΙΑ	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	6	3
ΡΗΓΜΑΤΑ	0.125	0.111	0.142857	0.166666	0.333	0.166667	0.142857	0.25	0.25	0.2	0.5	0.166666	1	0.5
ΠΙΘΑΝΑ ΡΗΓΜΑΤΑ	0.25	0.2	0.333	0.333	1	0.333	0.333	0.5	0.5	0.5	1	0.333	2	1

Πίνακας 11. : Ανά δύο συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων μας

Είναι φανερό στον παραπάνω πίνακα, πως τα ποσοστά των λειτουργικών-οικονομικών κριτηρίων, υπερισχύουν κατά πολύ των περιβαλλοντικών και των υπολοίπων.

	Priority	Rank
ΟΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	11%	2
ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	11,6%	1
ΔΙΚΤΥΟ ΥΨΗΛΗΣ/ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	9,7%	4
ΚΛΙΣΕΙΣ	8,7%	5
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΕ	4,5%	11
ΟΙΚΙΣΜΟΙ >2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ	8,7%	5
ΟΙΚΙΣΜΟΙ < 2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ	10,1%	3
ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	6,3%	9
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ	6,3%	9
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	6,6%	8
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ	3,5%	12
ΠΟΤΑΜΙΑ	8,7%	5
ΡΗΓΜΑΤΑ	1,4%	14
ΠΙΘΑΝΑ ΡΗΓΜΑΤΑ	3,1%	13

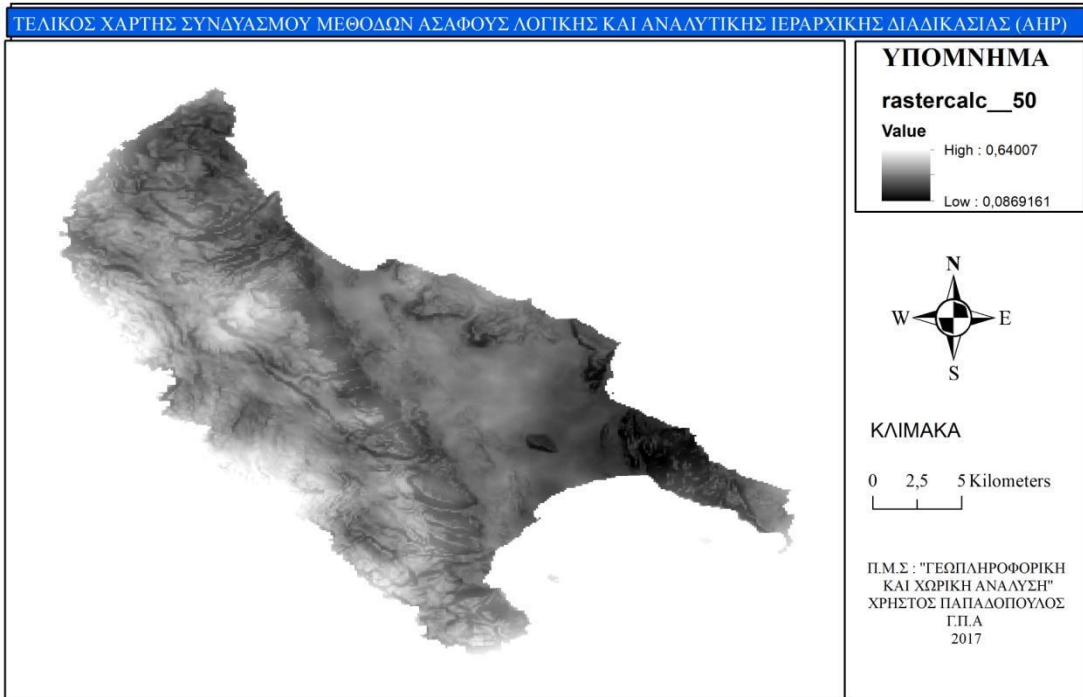
Number of comparisons = 91

Consistency Ratio CR = 1.7%

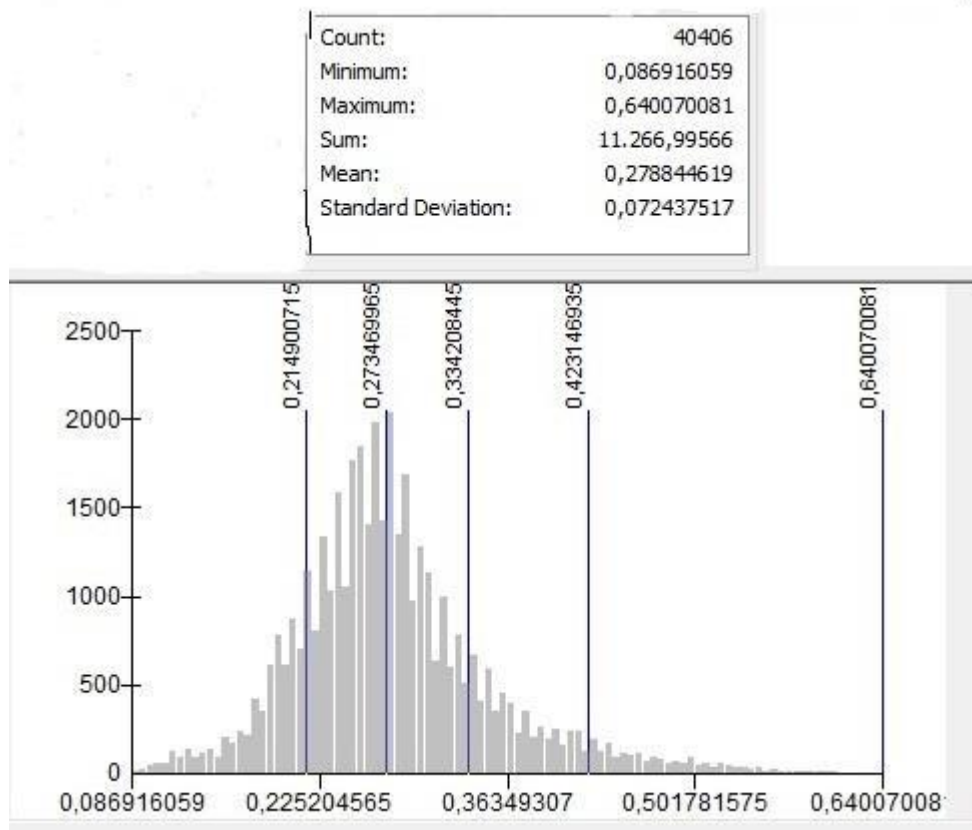
Πίνακας 12.: Τελικά Βάρη Κριτηρίων με βάση την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία

Παρακάτω παραθέτουμε και την εξίσωση παραγωγής του τελικού μας χάρτη μαζί με τις τιμές του (Raster Calculator-ArcMap 10.4.1). Οι περισσότερες σκουρόχρωμες περιοχές κοντά δηλ. στο 0,08 δείχνουν λιγότερο κατάλληλες για την εγκατάσταση του Φ/Β Πάρκου μας, ενώ σε μεγαλύτερες τιμές (έως 0,64 όπως βλέπουμε παρακάτω) οι περιοχές δείχνουν καταλληλότερες:

$$(0.116 * \text{"FuzzyMe_Dikt_meshs"}) + (0.11 * \text{"FuzzyMe_zak_roads"}) + (0.097 * \text{"FuzzyMe_dikt_ypshlhs"}) + (0.087 * \text{"FuzzyMe_Slop6"}) + (0.045 * \text{"FuzzyMe_aiolikwn"}) + (0.087 * \text{"FuzzyMe_zak_oikismo_>_2000"}) + (0.101 * \text{"FuzzyMe_zak_oikismo_<_2000"}) + (0.063 * \text{"FuzzyMe_prostateyomenwn"}) + (0.063 * \text{"FuzzyMe_zak_triang_merge"}) + (0.066 * \text{"FuzzyMe_zak_airport"}) + (0.035 * \text{"Fuzzy_coastline"}) + (0.087 * \text{"FuzzyMe_zak_rivers"}) + (0.014 * \text{"FuzzyMe_faults"}) + (0.031 * \text{"FuzzyMe_poss_faults"})$$



Χάρτης 33. : Συνδυασμός Μεθόδων Ασαφούς Λογικής και Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (ΑΗΡ)



Εικόνα 22 : Στατιστικά Χάρτη 1

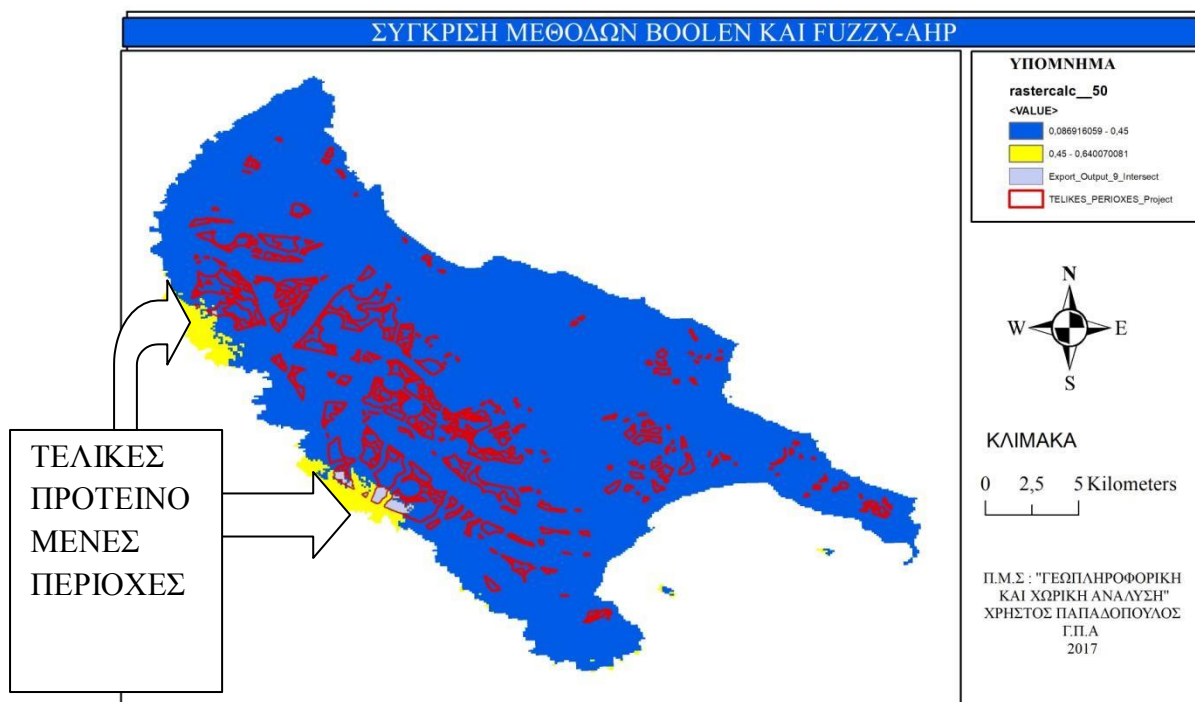
Παρατηρούμε από την παραπάνω εικόνα πως οι τιμές τελικού μας χάρτη (σε raster μορφή) ακολουθούν κανονική κατανομή με πολύ μικρή τυπική απόκλιση (0,07) και η μέση τιμή είναι περίπου 0,28.

3.4 Συνδυασμός των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων

Για την καλύτερη σύγκριση και των δύο μεθόδων αποφασίστηκε να αντιπαραβάλουμε τους δύο χάρτες ώστε να εξετάσουμε καλύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια, τις κοινές κατάλληλες περιοχές που προκύπτουν.

Παρατηρούμε στο Χάρτη 2 πως οι μοναδικές περιοχές για τις οποίες συμπίπτουν οι δύο μας μέθοδοι βρίσκονται και πάλι στα δυτικά του νησιού (είτε βόρεια, είτε νότια) και έχουν τις εξής συντεταγμένες: 37° 81' N και 20° 65' E για τις βόρειες περιοχές και 37° 72' N και 20° 73' E για τις περιοχές που βρίσκονται νοτιότερα.

Ειδικότερα όπως φαίνεται παρακάτω, επιλέξαμε τις περιοχές του τελικού μας χάρτη με τιμές άνω του 0,45, (όσο δηλαδή το δυνατόν καταλληλότερες) σε αντιπαραβολή με τις τελικές περιοχές της Boolean επεξεργασίας.



Χάρτης 34. : Σύγκριση μεθόδων Boolean και Fuzzy-AHP



Εικόνα 23. : Δορυφορική εικόνα τελικών προτεινόμενων περιοχών
 Πηγή: Google Earth

Παρατηρούμε πως οι τελικές προτεινόμενες περιοχές βάσει συνδυασμού και των δύο μεθόδων, βρίσκονται οι μεν βόρειες πλησίον της περιοχής Πόρτο Βρώμη και οι δε νοτιότερες στο δήμο Αρτεμισίων, λίγο βορειότερα της περιοχής του Κορακονησίου. Η κάλυψη γης (βάσει Corine 2012 όπως έχουμε προαναφέρει), τις χαρακτηρίζει σκληροφυλλική βλάστηση και κυρίως γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, παράγοντες οι οποίοι όπως έχουμε δει και πιο πάνω καθιστούν “ιδανική” τη συγκεκριμένη περιοχή για την εγκατάσταση ενός Φ/Β Πάρκου ισχύος 100 KW και άνω.

- Λειτουργίες ζώνης στατιστικής ανάλυσης (*Zonal statistics*)

Με τη λειτουργία *zonal statistics as a table* του ArcMap 10.4.1 πήραμε ως αποτέλεσμα την παρακάτω εικόνα.

OBJECTID *	emvado	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
156	3251976	320	3200000	0,30951	0,532739	0,223229	0,399988	0,045672	127,996091
154	1939205	192	1920000	0,327417	0,53015	0,202733	0,412963	0,045505	79,288919
48	17984	2	20000	0,486744	0,50134	0,014596	0,494042	0,007298	0,988084
148	1213493	122	1220000	0,281178	0,492727	0,211549	0,407104	0,048465	49,666714
6	6114	1	10000	0,481094	0,481094	0	0,481094	0	0,481094
141	699737	65	650000	0,347902	0,464745	0,116843	0,403164	0,027447	26,205683
157	5260939	527	5270000	0,255129	0,436724	0,181594	0,36389	0,038719	191,769968
155	3036984	305	3050000	0,250303	0,424047	0,173744	0,341026	0,03514	104,01294
149	1231837	122	1220000	0,260527	0,417658	0,157131	0,34591	0,039832	42,200973
122	194615	21	210000	0,332289	0,416203	0,083914	0,384912	0,017533	8,083142
9	6400	1	10000	0,400409	0,400409	0	0,400409	0	0,400409
150	1435261	143	1430000	0,279454	0,378711	0,099258	0,34074	0,015299	48,725773
137	478317	47	470000	0,28934	0,378552	0,089213	0,335464	0,027414	15,766785
147	1054685	107	1070000	0,245989	0,376078	0,130089	0,322627	0,033962	34,521065
115	150924	14	140000	0,305628	0,375683	0,070055	0,339085	0,020129	4,747191
104	113571	12	120000	0,326569	0,372887	0,046318	0,354107	0,015085	4,24928
151	1684297	164	1640000	0,238827	0,364643	0,125816	0,302631	0,027683	49,631552
136	460476	47	470000	0,279891	0,359328	0,079437	0,32628	0,017764	15,335179
109	120699	13	130000	0,312454	0,358717	0,046264	0,337595	0,012624	4,388734
103	110926	11	110000	0,319448	0,356996	0,037548	0,339519	0,011767	3,734709
124	218221	22	220000	0,290963	0,355168	0,064205	0,321452	0,018268	7,071938
127	256405	26	260000	0,298669	0,353597	0,054928	0,317456	0,015307	8,253864
95	74387	7	70000	0,271435	0,351769	0,080334	0,321164	0,029089	2,248151
90	64133	5	50000	0,320002	0,34615	0,026147	0,333677	0,010267	1,668385
131	335900	35	350000	0,264871	0,345841	0,08097	0,308437	0,018741	10,795304
128	264854	25	250000	0,263167	0,340367	0,0772	0,297025	0,020807	7,425629
144	884248	91	910000	0,250978	0,338224	0,087247	0,306872	0,019853	27,925341
153	1906363	186	1860000	0,221102	0,336057	0,114955	0,288733	0,020784	53,704365
142	763113	75	750000	0,245311	0,335353	0,090041	0,299458	0,020408	22,459354
143	770626	76	760000	0,273795	0,334908	0,061113	0,305236	0,015153	23,197971
112	130117	11	110000	0,3034	0,334134	0,030734	0,323157	0,008965	3,554726
105	114745	10	100000	0,253118	0,33315	0,080032	0,290848	0,026982	2,908481
138	495595	49	490000	0,238355	0,332321	0,093966	0,305219	0,019882	14,955738
135	390587	42	420000	0,252598	0,332278	0,07968	0,291374	0,024497	12,237708
152	1700423	167	1670000	0,226563	0,330458	0,103894	0,2886	0,019313	48,196221

Εικόνα 24. : Zonal Statistics

Παρατηρούμε πως μόνο έξι από τις τελικές μας περιοχές συμπίπτουν με τον τελικό μας χάρτη (Χάρτης 1), των οποίων μάλιστα οι τιμές δεν ξεπερνούν το 0,54.

- Δυναμικότητα Τελικών Προτεινόμενων Περιοχών

Οι Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές καλύπτουν μία έκταση περίπου 1,18 km².

Βάσει βιβλιογραφίας, για κάθε 100 Watt, αν χρησιμοποιήσουμε τα συνηθισμένα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά του εμπορίου, προσαρμοσμένα σε σταθερές βάσεις, απαιτείται επιφάνεια 1-1,5 m², ενώ ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.400 KWh ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (Φωτοβολταϊκά- Ένας Πρακτικός Οδηγός, <http://www.helarco.gr>).

Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι Περιοχές μας μπορούν να υπερκαλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες ακόμη και ολόκληρου του νησιού, χωρίς πάντα να λαμβάνουμε υπ' όψη μας τον παράγοντα του κόστους.

4 Συμπεράσματα

4.1 Γενικά

Η προσέγγιση της μελέτης για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων ισχύος τουλάχιστον 100 KW, στην ελεύθερη περιοχή της Ζακύνθου, έγινε κυρίως νομοθετικά και περιβαλλοντικά για τον προσδιορισμό της θέσης εγκατάστασης και ενεργειακά για την αξιολόγηση πιθανών μελλοντικών επενδύσεων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επιχειρήθηκε η ανάδειξη κατάλληλων περιοχών προς χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο, με βάση λειτουργικά - οικονομικά, πολιτιστικά, περιβαλλοντικά, οικιστικά όπως και κριτήρια δικτύων και υποδομών, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τίθενται από το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο.

Αρχικά, στο πρώτο στάδιο επιλέχθηκαν οι προτεινόμενες θέσεις βάση των παραπάνω κριτηρίων, δημιουργώντας τις αντίστοιχες ζώνες αποκλεισμού για τις περιοχές που είναι ακατάλληλες. Ακολούθως, στο δεύτερο στάδιο, έγινε η αξιολόγηση της καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών βάσει της Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP). Τέλος, έγινε η σύγκριση των προτεινόμενων περιοχών του πρώτου σταδίου, με την αξιολόγηση των περιοχών μέσω του συνδυασμού των μεθόδων της Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP).

Γενικά με την εφαρμογή της μεθοδολογίας επιτεύχθηκε:

- Η ανάδειξη των περιοχών που είναι κατάλληλες για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων στη Ζάκυνθο, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από κριτήρια τα οποία εξυπηρετούσαν όχι μόνο οικονομοτεχνικούς σκοπούς αλλά και περιβαλλοντικούς.
- Η απόρριψη των περιοχών εκείνων που ήταν ακατάλληλες για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων όπως οριζόταν από την νομοθεσία.
- Η αξιολόγηση της καταλληλότητας των προτεινόμενων περιοχών, εξετάζοντας τα βασικότερα κριτήρια που επηρεάζουν τη χωροθέτηση από οικονομικής – λειτουργικής, αλλά και περιβαλλοντικής άποψης, με το συνδυασμό των μεθόδων της Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP).
- Η σύγκριση των δύο προσεγγίσεων αξιολόγησης.

Μέχρι σήμερα, η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζεται στο πλαίσιο της γενικότερης αδειοδοτικής διαδικασίας τους, γεγονός που οδηγεί στην απρογραμμάτιστη και στην ανεξέλεγκτη διασπορά των εγκαταστάσεων. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει καταλυτικό ρόλο στην εξομάλυνση του σοβαρού ενεργειακού προβλήματος τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο

και σε τοπικό. Συμπερασματικά, η προώθηση και η ανάδειξη των κατάλληλων περιοχών για χωροθέτηση φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων κρίνεται επιτακτική.

Λαμβάνοντας υπ' όψην κι άλλες διδακτορικές και μεταπτυχιακές μελέτες, παρατηρούμε ότι στη διδακτορική διατριβή της Ιωάννας-Λήδας Τέγου (2011), πραγματοποιήθηκε χωροθέτηση με βάση οικονομικούς, περιβαλλοντολογικούς, τεχνικούς και κοινωνικούς παράγοντες όπως αντίστοιχα κάναμε κι εμείς με τη διαφορά όμως ότι εκτός από τη μέθοδο σύγκρισης ανά ζεύγη για την εκτίμηση των συντελεστών βαρύτητας με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP), στη δική μας περίπτωση υιοθετήθηκε επιπλέον και η λογική της ασάφειας (Fuzzy Logic).

Τα ΓΣΠ χρησιμοποιήθηκαν και στη δική μας μελέτη όπως και στις Ιωάννας-Λήδας Τέγου (2011), για τη χωρική επεξεργασία, μοντελοποίηση κριτηρίων και αξιολόγηση αποτελεσμάτων. Το τελικό μέγεθος χωροθέτησης στη μεν διδακτορική διατριβή της καθορίστηκε βάσει νομοθετικών περιορισμών και οπτικής όχλησης, ενώ σ' εμάς έγινε μόνο μέσω νομοθετικών περιορισμών. Η τελική επιλογή των κατάλληλων θέσεων βασίστηκε σε όλα τα κριτήρια κι όχι μόνο στην επιλογή τριών κριτηρίων με βάση την οπτική παρεμβολή (Τέγου, 2011).

Η παρούσα διπλωματική εν αντιθέσει με τη διδακτορική διατριβή της Ιωάννας-Λήδας Τέγου (2011), δε συμπεριέλαβε εναλλακτικά σενάρια καθώς λήφθηκαν υπ' όψην όλα τα κριτήρια και οι παράγοντες για τις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν (Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία και Λογική της Ασάφειας).

Συμπερασματικά δε χρησιμοποιήθηκαν σταθμισμένος μέσος και οπτική παρεμβολή, ούτε εκτελέστηκε ανάλυση ευαισθησίας, ενώ ακολουθήθηκε πλήρως το νομοθετικό πλαίσιο. Όμως χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι όπως έχουμε προαναφέρει (Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία και Λογική της Ασάφειας).

Στο τελικό αποτέλεσμα της Ιωάννας-Λήδας Τέγου (2011), το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης της νήσου της Λέσβου κρίνεται ακατάλληλο για εγκατάσταση ενός αυτόνομου ενεργειακού συστήματος και μόνο ένα μικρό ποσοστό θεωρείται αξιοποιήσιμο. Αυτό συγκλίνει με της δική μας μελέτη η οποία ενσωμάτωσε ταυτόχρονα όλα τα κριτήρια, όπου επίσης μία μικρή έκταση της περιοχής μελέτης (νήσος Ζακύνθου) κρίνεται κατάλληλη για χωροθέτηση ενός Φ/Β Πάρκου ισχύος 100 KW και άνω.

Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι στη διπλωματική εργασία της Ολυμπίας Δασκάλου (2016), το ποσοστό της διαθέσιμης γης για εγκατάσταση Φ/Β και Αιολικών Πάρκων στην περιοχή της Θεσσαλίας, είναι σαφώς μεγαλύτερο κι από τα δικά μας αποτελέσματα, αλλά και από της Ιωάννας-Λήδας Τέγου (2011). Γι' αυτό ευθύνεται το γεγονός ότι εκτελέστηκαν δύο διαφορετικά σενάρια με δύο διαφορετικά κριτήρια, εν αντιθέσει με την παρούσα μελέτη όπου ενσωματώθηκαν όλα τα κριτήρια, όπως προαναφέραμε. Σημαντικά κριτήρια όπως οικισμοί, τουριστικοί και αρχαιολογικοί χώροι, ζώνες προστασίας κλπ., δε λήφθηκαν υπ' όψη στη μελέτη της, στην οποία "κυρίαρχο" ρόλο έπαιξε η ανάλυση ευαισθησίας χωρίς να εφαρμοστεί και κάποια επιπλέον μέθοδος (όπως κι έγινε στη δική μας περίπτωση με την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία και τη Λογική της Ασάφειας).

Τέλος το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον η απόσταση στη δική μας μελέτη ως παράγοντας χωροθέτησης, καταδεικνύει τη διαφοροποίηση αυτή με άλλες παρόμοιες προσεγγίσεις και σε περίπτωση που θέλαμε να συμπεριλάβουμε και την οπτική παρεμβολή σαν κριτήριο (με χρήση του κατάλληλου εργαλείου από το ARcMap 10.4.1), πιθανόν να είχαμε διαφορετικά αποτελέσματα.

4.2 Προβλήματα, προτάσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις

Η πληρότητα των κριτηρίων που ενσωματώνονται στην ανάλυση ενός προβλήματος με πολλές αλληλοεπηρεαζόμενες παραμέτρους, επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την απόδοσή του. Επομένως, για να αποτελέσει αυτή η εργασία βάση για περαιτέρω ανάλυση, προτείνεται ο εμπλουτισμός των κριτηρίων, τόσο με αυτά που δε χρησιμοποιήθηκαν λόγω αδυναμίας στην παρούσα μελέτη όσο και με πρόσθετα τεχνολογικά, ενδεχομένως σε μια μικρότερη κλίμακα, πραγματοποιώντας μια σημειακή χωροθέτηση φωτοβολταϊκών σταθμών.

Αναλυτικότερα, κριτήρια που αφορούν τις τηλεπικοινωνίες, τις διάσπαρτες τουριστικές μονάδες του νησιού, τις μεμονωμένες κατοικίες, καθώς και αισθητικά κριτήρια όπως ο θόρυβος και η οπτική όχληση, επίσης δε λήφθηκαν υπόψη. Επιπρόσθετα για την μεγαλύτερη βιωσιμότητα των έργων προτείνεται ένας πιο ολοκληρωμένος και σαφής καθορισμός των τεχνολογικών δεδομένων των ηλιακών συστημάτων, ενώ δε μελετήθηκαν τα τεχνικά στοιχεία και το κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ. Πέραν από τις κατηγορίες κάλυψης γης, τυχόν εμπόδια και ανώμαλες εξάρσεις του εδάφους ήταν αδύνατο να εντοπιστούν μέσω της μεθοδολογίας γι' αυτό και δε λαμβάνονται υπ' όψη.

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

Εν κατακλείδι, μια άλλη προοπτική προς εξέταση μπορεί να είναι η τροφοδότηση ενός οικισμού με ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πάρκο που πρόκειται να χωροθετηθεί. Η παρούσα διπλωματική δεν εξέτασε αυτή την προοπτική, για το λόγο ότι τα υφιστάμενα φωτοβολταϊκά πάρκα εντάσσονται κατευθείαν στο Δίκτυο Μέσης Τάσης και δε λειτουργούν αυτόνομα. Έτσι εάν το μελλοντικό φωτοβολταϊκό πάρκο έχει την δυνατότητα να λειτουργεί αυτόνομα, μπορεί να εξεταστεί η χωροθέτηση του κοντά σε έναν οικισμό, τον οποίο να τροφοδοτεί είτε εξολοκλήρου είτε ένα ποσοστό των συνολικών ενεργειακών του αναγκών. Σε αυτήν την περίπτωση μεγάλη βαρύτητα θα πρέπει να έχουν οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες του οικισμού καθώς και η

απόσταση της προτεινόμενης περιοχής από αυτόν, ώστε να μην αυξάνεται το κόστος για μεγάλες γραμμές μεταφοράς.

Βιβλιογραφία

Γιαλελή Α. (2006), Ο χωροταξικός σχεδιασμός αιολικών πάρκων στην Ελλάδα: Η περίπτωση του νομού Λακωνίας, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης

Γουλιάμου Αγγελική, ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΩΝ ΟΙΚΟΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ, Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΕΜΠ, 2008

Δασκάλου Ολυμπία, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ & ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS), Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2016

Ελληνική Δημοκρατία Υ.ΠΕ.Χ5 Διεύθυνση Χωροταξίας. (2007). Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Ν. 2742/1999). Αθήνα

Καψάσκη Ευγενία-Ειρήνη, Βιώσιμη Τουριστική Ανάπτυξη Νήσου Ζακύνθου, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2013

Κοντογιάννης Ανδρέας, ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟΜΟΣ ΑΡΤΑΣ, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ. 2013

Βαλτοπούλου Ελένη, Μελέτη Χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου 100 KW στο Πεντελικό Όρος με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα, 2013

Λώλος Γ., Τσομπανίδης, Λώλος Θ. και Πασχάλη Κ., A new approach to multi-criteria decision making for the landfill site selection, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Italy, 2001

Μανωλιάδης Ο. και Σαχαζής Κ., Geotechnical Aspects of a Landfill Site Selection Study in North Evia – Greece, 2001

Μουρμούρης Ι., Πολυκριτηριακή Μεθοδολογία Αξιολόγησης και Χωροθέτησης Συστημάτων Διαχείρισης Απορριμμάτων σε Μητροπολιτικές Περιοχές: Η Περίπτωση της Αν. Αττικής, 11ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΕΕ: Διαχείριση Πόρων και Συστημάτων για Βιώσιμη Ανάπτυξη, 22-24 Μαΐου 1997, 1997

Μπέκα Ε., Η ερημοποίηση στη Ζάκυνθο, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αργίριο, 2007

ΝΑΚΟΥ ΕΥΤΥΧΙΑ, ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΦΩΚΙΔΑΣ ΜΕ ΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΝΑΚΟΥ ΕΥΤΥΧΙΑ, Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΕΜΠ, 2007

Νικολάου Σόλων, ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS : Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, 2013

Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2001 «Για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας». (ΕΕ L 283/33 της 27.10.2001)

Παπαδόπουλος Αντώνιος Βασίλειος, Ανάπτυξη χωρικού συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη χωρικά καθορισμένη διαχείριση καλλιεργειών, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, 2009

Σαρρή Εκάτη-Πηνελόπη, ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΛΑΚΩΝΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ, Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΕΜΠ, 2008

Τέγου Ιωάννα-Λήδα, Η Χωρική Διάσταση της Κατανεμημένης Παραγωγής με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε ένα Αυτόνομο Ενεργειακό Σύστημα, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2011

Χατζηπαναγιώτου Μ., Οικονομίδης Δ. και Βουδούρης Κ., ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Χ.Υ.Τ.Υ. ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ G.I.S.: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΖΑΚΥΝΘΟ, Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 2015

Χατζηχρήστος Θ., Τα ΓΣΠ και η Λογική της Ασάφειας στην Ανάλυση του Χώρου, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2001

Χατζόπουλος Ν. , Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου στο νησί της Λέσβου, με τη χρήση Σ.Γ.Π. , εργασία εξαμήνου μαθήματος "Περιβαλλοντικές Εφαρμογές ΣΓΠ " , ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ & ΓΣΠ, 2007

Charabi, Gastli, PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation, Renewable Energy, Volume 36, Issue 9, September 2011, Pages 2554-2561

Forman E. - Selly M.A, Decision by Objectives: How to convince others that you are right», World Scientific Publishing, 2001

Hassan Z. Al Garni, Anjali Awasth, A Fuzzy AHP and GIS-based Approach to Prioritize Utility-Scale Solar PV Sites in Saudi Arabia, 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Banff Center, Banff, Canada, October 5-8, 2017

Hung-Yueh Lin και Jehng-Jung Kao, Enhanced spatial model for landfill sitting analysis, Journal of environmental engineering, J. Environ. Eng. ,1999,125:845-851

Jason R. Janke, Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado, Renewable Energy 35, 2010, 2228-2234

Jeffrey D. Harrison, On shore Wind Power Systems, AGIS-Based, A Thesis Presented to the FACULTY OF THE USC GRADUATE SCHOOL UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA, 2012

Jehng – Jung Kao, Wie-Yea Chen, Hung – Yueh Lin, Show Jyi Guo, Network expert Geographic Information Systems for Landfill sitting, Journal of Environmental Engineering, J. Comput. Civ. Eng, 1996,10:307-317

Juan M.Sánchez-Lozano, JerónimoTeruel-Solano, PedroL.Soto-Elvira, M.SocorroGarcía-Cascales, Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain, Renewable and Sustainable Energy Reviews 24, 2013, 544–556

Kunal Kumar Borah, Souvnik Roy, T. Harinarayana, Open Journal of Optimization Vol.02, No.04, 2013

Lukasiewicz Jan, Three–valued logic, Philosophical movement 5: 170-171, 1920

Majid H. Tangestani, Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS, Kakan catchment area, Iran, Disaster Management, Map India, 2003

Mevlut Uyan, GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28, 2013, 11–17

Pece V. Gorsevski, Piotr Jankowski, Paul E. Gessler, An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, Control and Cybernetics, vol. 35, 2006, No. 1

Pei Zhai, Eric D. Williams, Analyzing consumer acceptance of photovoltaics (PV) using fuzzy logic model, Renewable Energy 41, 2012, 350-357

Rustom Mamlook, Bilal A. Akash, Salem Nijmeh, Fuzzy sets programming to perform evaluation of solar systems in Jordan, Energy conversion and Management 42, 2001, 1717-1726

Saaty, T.L., A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology 15, 1977

Saaty, T.L., How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, European Journal of Operational Research, 48, 1990, 9-26

Scholten, H.J and Stillwell, J.C.H, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Delft, 3-14, 1990.

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. and Gekas, V. (2002). Environmental Impacts from the Solar Energy Technologies, Examples of the technologies and techniques to alleviate them in a sustainable perspective, Energy Policy, Volume 33, Issue 3, February 2005, Pages 289-296

Serwan M.J Baban and Tim Parry, Developing and applying a G.I.S – assisted approach to locating wind farms in the U.K, Renewable Energy, vol.24, issue 1, pp 59-71, 2001

Zadeh L. A., Fuzzy logic and approximate reasoning, Journal Synthese, Springer Netherlands, September 1975, Volume 30, Issue 3–4, pp 407–428

Διαδικτυακές Αναφορές

Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency), <http://www.iea.org>

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, <http://www.rae.gr>

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, <http://www.cres.gr/kape/index.htm>

<http://www.zakynthos.gov.gr/zakynthos-island/genika/klimatika-meteorologika-kai-ydrologika-dedomena.html>

Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr/>

<http://www.holiday-weather.com/zakynthos/averages>

<http://www.atmosphere-upatras.gr/solarmaps/Zakynthos/Global-Horizontal-Irradiation>

Εθνικό Κτηματολόγιο, <http://www.ktimatologio.gr/>

<http://natura2000.eea.europa.eu/#>

http://www.comoutos.gr/maps_gr.htm

ESRI, ArcGIS Resource Center, Λογική της Ασάφειας (fuzzy logic), http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Applying_fuzzy_logic_to_overlay_rasters/009z000000rv000000/

http://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php

Φωτοβολταϊκά- Ένας Πρακτικός Οδηγός, <http://www.helapco.gr>

Τουριστικός Οδηγός Ζακύνθου, http://www.e-zakynthos.com/gr_zante.zakynthos.php