



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(για το τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων &
Περιβάλλοντος ΤΕ)

Πτυχιακή Εργασία

**«ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ
ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β
ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΖΑΚΥΝΘΟ»**

Γκετμάνοβα Αναστασία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Δρ Μαρία Κούλη

ΧΑΝΙΑ, 2020

«Πολυκριτηριακή ανάλυση σε περιβαλλον GIS για την επιλογή κατάλληλης θέσης εγκατάστασης Φ/Β πάρκου στη νήσο Ζάκυνθο»

Πτυχιακή Εργασία
Γκετμάνοβα Αναστασία

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : Δρ Μαρία Κούλη

Εξεταστική Επιτροπή
Δρ Ιωάννης Κατσίγιαννης
Δρ Βασίλειος Σάλτας

«Ο κύριος στόχος δεν είναι να ανακαλύψουμε μια λύση αλλά να δημιουργήσουμε ή να κατασκευάσουμε κάτι το οποίο να θεωρείται ικανό να βοηθήσει κάποιον ενδιαφερόμενο να λάβει μέρος στη διαδικασία λήψης της απόφασης, άλλοτε για να διαμορφώσει και άλλοτε για να μεταβάλλει τις προτιμήσεις του ή να αποφασίσει σε συμφωνία με τους τελικούς του στόχους»

Roy, 1994

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης στα Χανιά. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα Κούλη για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας και για την συνεργασία στην εκπόνηση.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω σε όλους μου τους καθηγητές που μου προσέφεραν τις γνώσεις τους, ιδιαίτερα στα μαθήματα Πληροφορικής και Εφαρμογών Διαχείρισης ΑΠΕ, που έγιναν αγαπημένα μου.

Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ από καρδιάς στη μητέρα μου, Βαλεντίνα, και στον σύζυγό μου, Γιώργο, που με στήριξαν στην προσπάθειά μου και με βοήθησαν με κάθε τρόπο.

*..Σε όλα εκείνα τα πρόσωπα
που πίστεψαν σε μένα..*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται η ανάλυση χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου στη Ζάκυνθο. Η επιλογή τοποθεσίας βασίζεται στον συνδυασμό μεθόδων Boolean, Fuzzy Logic και Analytic Hierarchy Process (AHP).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο υποβοήθησης του λήπτη αποφάσεων. Επίσης, διευκολύνει την αναπαράσταση πολυδιάστατων προβλημάτων όπως είναι αυτό της παρούσας μελέτης, και είναι ιδιαίτερα ευέλικτη, επιτρέποντας τη διαφορετική επίδραση των παραγόντων στο τελικό αποτέλεσμα.

Έτσι λοιπόν, στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται λόγος για το ενεργειακό ζήτημα και την ανάγκη στροφής της παγκόσμιας και της εγχώριας οικονομίας στην «πράσινη ανάπτυξη». Αναφέρονται οι Ευρωπαϊκοί και οι Εθνικοί στόχοι για την εγκαθίδρυση των συμβατικών μορφών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς και η περιβαλλοντική πολιτική της Ελλάδας.

Το 2^ο κεφάλαιο περιγράφει την περιοχή μελέτης και παρουσιάζει τις απαραίτητες για αυτήν πληροφορίες. Γενικά, η ενότητα αυτή μιλάει για τα μορφολογικά και τα κλιματικά δεδομένα, που αναδεικνύουν τη Ζάκυνθο ως ενδιαφέρουσα επενδυτική πρόταση.

Ακολουθεί η περιγραφή της μεθοδολογίας και των δεδομένων. Επίσης, αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μεθόδων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων τους. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση στον τρόπο λειτουργίας των μεθόδων Ασαφούς Λογικής και Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας της κάθε μίας χωριστά αλλά και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Επιπλέον, παρατίθενται τα μαθηματικά μοντέλα των συναρτήσεών τους και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης. Εδώ γίνεται η αναλυτική παρουσίαση της επεξεργασίας των δεδομένων για την μετέπειτα χρήση τους στο ArcMap 10.1. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η δημιουργία των κριτηρίων αποκλεισμού, ο συνδυασμός των οποίων δίνει το πρώτο αποτέλεσμα ως μέθοδος Boolean. Παράλληλα, ολοκληρώνεται η διαδικασία της ασαφοποίησης των ζωνών αποκλεισμού. Τέλος, στα ασαφοποιημένα αποτελέσματα αποδίδεται η τιμή του σχετικού τους βάρους. Ως αποτέλεσμα της μελέτης είναι ο ορισμός των κατάλληλων περιοχών που επιλέχτηκαν πρώτα με τη μέθοδο Boolean, βασιζόμενη στο νομοθετικό πλαίσιο. Εξ αυτών διαλέγονται οι πλέον καλύτερες ζώνες, βάσει των βαθμών προτίμησης που τους αποδίδει ο συνδυασμός μεθόδων Fuzzy Logic – AHP, που στοχεύει στον συμβιβασμό μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων κριτηρίων. Παρατίθενται χάρτες των τελικών προτεινόμενων ζωνών.

Κλείνοντας, αναλύονται τα αποτελέσματα και αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΩΝ

	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
	Ευρετήριο διαγραμμάτων	10
	Γραφημάτων	11
	Πινάκων	12
	Μαθηματικών σχέσεων	13
	Εικόνων	14
	Χαρτών	15
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1	Ενεργειακές Ανάγκες	18
1.2	Παγκόσμια και ευρωπαϊκή νομοθεσία – Αειφόρος Ανάπτυξη	19
1.3	Ενεργειακή πολιτική στην Ελλάδα	20
1.3.1	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)	21
1.4	Σχεδιασμός χωροθέτησης Φ/Β συστημάτων	23
1.5	Χρήση ΓΣΠ στον χωροταξικό σχεδιασμό	24
1.6	Ορισμός GIS	25
1.7	Στόχοι μελέτης	25
2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	
2.1	Γενικά στοιχεία	26
2.2	Γεωλογικά, γεωφυσικά, κλιματολογικά χαρακτηριστικά και βλάστηση	26
2.3	Οικονομία	28
2.4	Ενέργεια και υφιστάμενες ΑΠΕ	30
2.5	Ηλιακό δυναμικό	30

3	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
3.1	Δεδομένα	33
3.2	Μεθοδολογική προσέγγιση	34
3.3	Λογική της Ασάφειας (Fuzzy Logic)	35
3.4	Ταξινόμηση των δεδομένων και Λογική της Ασάφειας	36
3.5	Fuzzy Membership	38
3.6	Τύποι συναρτήσεων ασαφοποίησης – Fuzzification Algorithms	39
3.6.1	Fuzzy Gaussian	39
3.6.2	Fuzzy Near	40
3.6.3	Fuzzy Large και Fuzzy MS Large	40
3.6.4	Fuzzy Small και Fuzzy MS Small	41
3.6.5	Fuzzy Linear	42
3.7	Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP)	43
3.8	Βασική δομή της AHP	44
3.8.1	Ιεραρχία	44
3.8.2	Μέτρηση και σχετικές συγκρίσεις	46
3.8.2.1	Κλίμακα Saaty	47
3.8.3	Υπολογισμός προτεραιοτήτων	47
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
4.1	Κριτήρια	50
4.1.1	Χωροταξικά – λειτουργικά κριτήρια	51
4.1.2	Γεωλογικά – μορφολογικά κριτήρια	56
4.1.3	Περιβαλλοντικά κριτήρια	58
4.2	Δημιουργία ζωνών αποκλεισμού	59
4.2.1	Ζώνες αποκλεισμού	62
4.3	Ανάδειξη κατάλληλων περιοχών με τη μέθοδο Boolean	71
4.4	Αξιολόγηση κατάλληλων περιοχών με συνδυασμό μεθόδων Λογικής της Ασάφειας και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας	73

4.4.1	Fuzzy Logic	73
4.4.1.1	Χάρτες ασαφοποίησης	75
4.4.2	AHP	83
4.5	Συνδυασμός μεθόδων FL – AHP & Boolean	87
4.5.1	Τοποθεσία περιοχών	90
4.5.2	Ανάλυση προσανατολισμού	93
4.6	Ανάλυση αποτελεσμάτων	103
4.7	Συμπεράσματα	104
Βιβλιογραφία		105
Διαδικτυακές Αναφορές		107

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (μη καύσιμη), Ελλάδα 1990-2018	20
Διάγραμμα 1.2 : Πηγές ενέργειας – αργός άνθρακας και ΑΠΕ - στο σχέδιο Αειφόρου ανάπτυξης, 2000-2030	22
Διάγραμμα 3.1 : Διάγραμμα ροής της μελέτης	35
Διάγραμμα 3.2 : Τριγωνική συνάρτηση Ασαφούς Λογικής	38
Διάγραμμα 3.3 : Γραφική παράσταση συνάρτησης Fuzzy Gaussian	39
Διάγραμμα 3.4 : Γραφική παράσταση συνάρτησης Fuzzy Near	40
Διάγραμμα 3.5 : Γραφική παράσταση συναρτήσεων Fuzzy Large & Fuzzy Small	42
Διάγραμμα 3.6 : Γραφική παράσταση συνάρτησης Fuzzy Linear	43
Διάγραμμα 3.7 : Ιεραρχία των επιπέδων και ροή συγκρίσεων	45
Διάγραμμα 4.1 : Σύνοψη Αποτελεσμάτων ΑHP	85
Διάγραμμα 4.2 : Ιστόγραμμα τιμών τελικού χάρτη Fuzzy Logic & AHP)	86
Διαγράμματα 4.3 – 4.21 : Κατάταξη Προσανατολισμού των τελικών περιοχών	93 - 102

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 2.1 : Κλιματικά δεδομένα Ζακύνθου	27
Γράφημα 2.2 : Κατανομή εκτάσεων ανά Χρήση Γης	28
Γράφημα 2.3 : Κατανομή εκτάσεων καλλιεργειών και αγρανάπαυσης	29

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Μηνιαία και ετήσια μέση τιμή ωρών ηλιοφάνειας , Μηνιαία και ετήσια μέση θερμοκρασία	32
Πίνακας 2 : Συγκρίσεις της AHP, πίνακας Saaty	46
Πίνακας 3 : Πίνακας συγκρίσεων Saaty	47
Πίνακας 4 : Κλίμακα Saaty)	47
Πίνακας 5 : Υπολογισμός των σχετικών βαρών	48
Πίνακας 6 : Τιμές δείκτη RCI	49
Πίνακας 7 : Κατανομή κριτηρίων	50
Πίνακας 8 : Χρήσεις γης που Ζακύνθου, CORINE 2018, Copernicus	60
Πίνακας 9 : Διαχωρισμός κριτηρίων ως προς την κλίση συνάρτησης Fuzzy Linear	74
Πίνακας 10 : Πίνακας Προτιμήσεων, Συγκρίσεις ανά δύο, AHP	83
Πίνακας 11 : Βάρη Κριτηρίων, AHP	84
Πίνακας 12 : Προτεινόμενες Περιοχές Boolean & Fuzzy Logic – AHP	87
Πίνακας 13 : Κατανομή Τελικών Περιοχών και των τοποθεσιών τους, Boolean & Fuzzy Logic - AHP	89

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ

Σχέση (1) : Fuzzy membership	38
Σχέση (2) : Πεδίο ορισμού ασαφών συνόλων	38
Σχέση (3) : Fuzzy Gaussian	39
Σχέση (4) : Fuzzy Near	40
Σχέση (5) : Fuzzy Large	41
Σχέση (6) : Fuzzy MS Large	41
Σχέση (7) : Fuzzy Small	41
Σχέση (8) : Fuzzy MS Small	42
Σχέση (9) : Fuzzy Linear (θετική κλίση)	42
Σχέση (10): Fuzzy Linear (αρνητική κλίση)	43
Σχέση (11) : Δείκτης συνέπειας, Consistency Index (CI)	48
Σχέση (12) : Λόγος συνέπειας, Consistency Ratio (CR)	49

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 : Ποσοστιαία κατάταξη μορφών εδάφους στη Ζάκυνθο	27
Εικόνα 2.2 : Ολική ηλιακή ακτινοβολία στη Ζάκυνθο	31
Εικόνα 3.1 : Παράδειγμα της εφαρμογής Ασαφούς Λογικής	37
Εικόνα 4.1 : Buffer Tool	59
Εικόνα 4.2 : Erase Tool	60
Εικόνα 4.3 : Στατιστικά στοιχεία περιοχών της μεθόδου Boolean	72
Εικόνα 4.4 : Προτεινόμενες Περιοχές, ΒΔ Ζάκυνθος	90
Εικόνα 4.5 : Προτεινόμενες Περιοχές, ΝΔ Ζάκυνθος	90
Εικόνα 4.6 : Προτεινόμενες Περιοχές, ΝΑ Ζάκυνθος	91
Εικόνα 4.7 : Προτεινόμενες Περιοχές, ΒΑ Ζάκυνθος	91
Εικόνα 4.8 : Προτεινόμενες Περιοχές, ΒΑ Ζάκυνθος	92
Εικόνα 4.9 : Προτεινόμενες Περιοχές, ΝΑ Ζάκυνθος	92

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1 : Οδικό δίκτυο	51
Χάρτης 2 : Διαχωρισμός των εκτάσεων σε κατάλληλες και μη για Φ/Β εγκατάσταση βάσει κωδικών CORINE 2018, Copernicus	51
Χάρτης 3 : Δίκτυο υψηλής τάσης	52
Χάρτης 4 : Δίκτυο χαμηλής τάσης	52
Χάρτης 5 : Οικισμοί με πληθυσμό κάτω των 2 χιλ. κατ	53
Χάρτης 6 : Οικισμοί με πληθυσμό άνω των 2 χιλ. κατ.	53
Χάρτης 7 : Τοποθεσίες μνημείων, αξιοθέατων και αρχαιοτήτων	54
Χάρτης 8 : Υφιστάμενες ΑΠΕ – Αιολικό πάρκο Ζακύνθου	54
Χάρτης 9 : Ακτογραμμή	55
Χάρτης 10 : Αεροδρόμιο Ζακύνθου	55
Χάρτης 11 : Κλίσεις εδάφους μεγαλύτερες των 10 ⁰	56
Χάρτης 12 : Ποταμοί	56
Χάρτης 13 : Ενεργά ρήγματα	57
Χάρτης 14 Πιθανά ρήγματα	57
Χάρτης 15 : Προστατευόμενες περιοχές δικτύου NATURA 2000	58
Χάρτης 16 : Καταφύγιο Άγριας Ζωής Βραχίονα	58
Χάρτης 17 : Χρήσεις γης Ζακύνθου, CORINE 2018, Copernicus	61
Χάρτης 18 : Ακατάλληλες βάσει CORINE 2018 περιοχές	62
Χάρτης 19 : Ζώνη αποκλεισμού 100 m του οδικού δικτύου	63
Χάρτης 20 : Ζώνη αποκλεισμού 200 m του αεροδρομίου	63
Χάρτης 21 : Ζώνη αποκλεισμού 1000 m του δικτύου υψηλής τάσης	64
Χάρτης 22 : Ζώνη αποκλεισμού 100 m του δικτύου μέσης τάσης	64
Χάρτης 23 : Ζώνη αποκλεισμού 250 m για τους οικισμούς <2000 κατ.	65
Χάρτης 24 : Ζώνη αποκλεισμού 500 m για τους οικισμούς >2000 κατ.	65
Χάρτης 25 : Ζώνη αποκλεισμού 500 m για τα αξιοθέατα-αρχαιότητες	66
Χάρτης 26 : Ζώνη αποκλεισμού 300 m της ακτογραμμής	66
Χάρτης 27 : Ζώνη αποκλεισμού 1500 m του αιολικού πάρκου Ζακύνθου	67
Χάρτης 28 : Ζώνη αποκλεισμού 150 m των ποταμών	67

Χάρτης 29 : Ζώνη αποκλεισμού 500 m των ενεργών ρηγμάτων	68
Χάρτης 30 : Ζώνη αποκλεισμού 250 m των πιθανών ρηγμάτων	68
Χάρτης 31 : Ζώνη αποκλεισμού των 200 m δικτύου NATURA 2000	69
Χάρτης 32 : Ζώνη αποκλεισμού 200 m του Καταφύγιου Άγριας Ζωής Βραχίονα	69
Χάρτης 33 : Πλήρης αποκλεισμός εκτάσεων με κλίση > 10 ⁰ 70	
Χάρτης 34 : Τελικές Ζώνες Αποκλεισμού, Boolean	71
Χάρτης 35 : Αρχικές Προτεινόμενες Ζώνες, Boolean	72
Χάρτης 36 : Τελικές Προτεινόμενες Ζώνες, Boolean	73
Χάρτης 37 : Ασαφοποίηση οδικού δικτύου	75
Χάρτης 38 : Ασαφοποίηση κλίσεων	75
Χάρτης 39 : Ασαφοποίηση δικτύου μέσης τάσης	76
Χάρτης 40 : Ασαφοποίηση δικτύου υψηλής τάσης	76
Χάρτης 41 : Ασαφοποίηση οικισμών με πληθυσμό άνω των 2 χιλ. κατ	77
Χάρτης 42 : Ασαφοποίηση οικισμών με πληθυσμό κάτω των 2 χιλ. κατ	77
Χάρτης 43 : Ασαφοποίηση αεροδρομίου	78
Χάρτης 44 : Ασαφοποίηση ακτογραμμής	78
Χάρτης 45 : Ασαφοποίηση ενεργών ρηγμάτων	79
Χάρτης 46 : Ασαφοποίηση πιθανών ρηγμάτων	79
Χάρτης 47 : Ασαφοποίηση μνημείων – αρχαιοτήτων	80
Χάρτης 48 : Ασαφοποίηση ποταμών	80
Χάρτης 49 : Ασαφοποίηση δικτύου NATURA 2000	81
Χάρτης 50 : Ασαφοποίηση Καταφυγίου Άγριας Ζωής Βραχίονα	81
Χάρτης 51 : Ασαφοποίηση υφιστάμενης ΑΠΕ – Αιολικού πάρκου	82
Χάρτης 52 : Κατανομή καταλληλότητας εκτάσεων Ζακύνθου για εγκατάσταση Φ/Β πάρκου	86
Χάρτης 53 : Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές, Boolean & Fuzzy Logic – ΑΗΡ	88
Χάρτης 54 : Οι τελικές προτεινόμενες περιοχές μετά τον αποκλεισμό των ζωνών με Β προσανατολισμό	103

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Οι ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη, ιδίως μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, αυξάνονται ολοένα και περισσότερο. Ως εκ τούτου οι τελευταίες δεκαετίες που διανύει η ανθρωπότητα χαρακτηρίζονται από έντονη τεχνολογική εξέλιξη, η οποία επιδιώκει την εύρεση αποδοτικότερης πηγής ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές, αφού οι φυσικοί πόροι αντλούνται αδιάκοπα στον βωμό της παγκόσμιας οικονομίας. Παράλληλα με την πρόοδο της οικονομίας σημειώνεται και η αύξηση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου, πράγμα που επιφέρει μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες, συνεπώς και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Για αιώνες ολόκληρους η ανθρωπότητα εκμεταλλεύεται τους φυσικούς πόρους, αφήνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα όλο και πιο βαθιά χαραγμένο στην ιστορία του πλανήτη. Από τον 18^ο-19^ο αιώνα η υπέρμετρη εξόρυξη του άνθρακα κατά την Βιομηχανική Επανάσταση, η αλόγιστη χρήση των εντομοκτόνων DDT και οι ρίψεις ατομικών βομβών τη δεκαετία του 1940, οι τεράστιες οικολογικές καταστροφές που προκλήθηκαν από ατυχήματα, όπως αυτό στο Τσέρνομπιλ το 1986 και την υπερμεγέθη πετρελαιοκηλίδα Exxon-Valdez που κάλυψε 28 χιλ. τετραγωνικά χιλιόμετρα το 1989. Η σύγχρονη ιστορία δυστυχώς καταγράφει πολλές οικολογικές καταστροφές, ανθρωπογενείς ή μη, όπως οι πυρκαγιές στο Κουβέιτ το 1991 κατά τον πόλεμο του Κόλπου, η πυρκαγιά της πετρελαιοπηγής Μακόντο στον κόλπο του Μεξικού το 2010, η έκρηξη στον πυρηνικό σταθμό Φουκουσίμα της Ιαπωνίας το 2011, οι ολέθριες πυρκαγιές στην Καλιφόρνια το 2018, στον Αμαζόνιο και την Αυστραλία το 2019.

Στον Ελλαδικό χώρο επίσης συνέβησαν ολέθριες οικολογικές καταστροφές, όπως η πυρκαγιά της Πάρνηθας το 2007, η οποία κατέστρεψε το 62% του δρυμού. Συνολικά από το 1980 έως 2016 στην χώρα μας κάηκαν πάνω από 16.5 εκ. στρέμματα δασικών εκτάσεων (*Joint Research Centre – JRC, European Forest Fire Information System – EFFIS*). Μόνο το 2018 η Αττική επλήγη από πυρκαγιές στην Πεντέλη και την Κινέττα, με εκτάσεις πάνω από 73 χιλ. στρέμματα να έχουν καεί ολοσχερώς. Κατά τη φονική πυρκαγιά στο Μάτι 102 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους.

Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στις ισορροπίες της φύσης ως αποτέλεσμα έχουν την κλιματική αλλαγή, η οποία δημιουργεί έδαφος για περαιτέρω και ακόμα σοβαρότερες καταστροφές. Παράλληλα, η παγκόσμια οικονομική κρίση, όπου όλες οι δυνάμεις έχουν στραφεί στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, καθιστά την ενέργεια ως πολυτιμότερο πόρο.

Έτσι, η σημερινή πραγματικότητα οφείλει να στρέψει την ανάπτυξη στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας και σταδιακά να μειώσει την χρήση των φυσικών πόρων ως κύριων, εν μέσω νομοθετικών πλαισίων που προστατεύουν το περιβάλλον και ενισχύουν την «πράσινη οικονομία».

Η πολιτική αυτή για πρώτη φορά αναφέρθηκε ως *Αειφόρος Ανάπτυξη* στην Διακυβερνητική Διάσκεψη το 1996 στο Τορίνο της Ιταλίας, ενώ το 1997 θεσμοθετείται ως στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τη Συνθήκη του Άμστερνταμ.

Η Αειφόρος Ανάπτυξη αναφέρεται στην οικονομική ανάπτυξη που ως προτεραιότητα έχει την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα, καθώς στηρίζεται στην ιδέα της ισότητας μεταξύ των γενεών. Η Αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες των σημερινών γενεών χωρίς να στερεί τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες (*Brundtland, Our Common Future, 1987*).

1.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Για πρώτη φορά ο όρος «αειφόρος» αναφέρθηκε από τον Σοφοκλή και αφορούσε μια συγκεκριμένη ακολουθία διαχείρισης στον κλάδο της δασοπονίας, σύμφωνα με την οποία «*όταν αφαιρείται από το δάσος όγκος ξύλου ίσος ή και λιγότερος με αυτόν που έχει παραχθεί κατά το θεωρούμενο διάστημα, τότε λέμε ότι το δάσος αειφορεί*» (*Αγγελίδης κ.α., 2004*).

Η αειφορική διαχείριση σήμερα αποτελεί μείζον θέμα, ένα στοιχείο που καλείται να κερδίσει η ανθρωπότητα όχι μόνο μέσω της ευαισθητοποίησης του πληθυσμού αλλά και της θέσπισης νομοθετικού πλαισίου που διέπει την οικονομική και κοινωνική ευημερία, όντας παράλληλα ασπίδα του περιβάλλοντος.

Το Διεθνές Περιβαλλοντικό Δίκαιο υπήρξε αναγκαίο μέτρο στη ρύθμιση της ανθρωπογενούς δραστηριότητας με τρόπο τέτοιο, που να επιβάλλει την προστασία του περιβάλλοντος και αναπτύχθηκε στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ύστερα από σειρά οικολογικών καταστροφών. Από το 1970 οι χώρες της Ευρώπης και οι ΗΠΑ πρωτοστατούν λαμβάνοντας εθνικά νομοθετικά μέτρα, ενώ δύο χρόνια αργότερα ο ΟΗΕ ιδρύει το πρόγραμμα για το περιβάλλον, UN Environment Programme (UNEP).

Η πολιτική καθιέρωση της εφαρμογής της αειφόρου ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο έγινε με τη συνδιάσκεψη του Ρίο το 1992 σε συνδυασμό με σύναψη πολλών συνθηκών, οι οποίες τηρούνται ακόμα και σήμερα έχοντας προσαρμοστεί στα σύγχρονα δεδομένα. Η μετέπειτα συνδιάσκεψη του Γιοχάνεσμπουργκ το 2002 έθεσε ως θέμα προτεραιότητας τις περιβαλλοντικές δεσμεύσεις που είχαν θεσμοθετηθεί τα τελευταία είκοσι χρόνια.

Το 1997 στην ΕΕ ψηφίζεται η Λευκή Βίβλος, η οποία εξετάζει πως θα μετασχηματιστεί η Ευρώπη μέσα στην επομένη δεκαετία, μελετώντας τις επιρροές που ασκούν η τεχνολογία και η παγκοσμιοποίηση. Έτσι, για πρώτη φορά τίθεται στόχος ο διπλασιασμός των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) σε συνολική κατανάλωση από 6% το 1995, σε 12% το 2010.

Το 2007 στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσιάζεται ένα μακροπρόθεσμο πρόγραμμα που έγκειται στην προώθηση των ΑΠΕ ενώ δεσμεύει τις χώρες της ΕΕ έως το 2020 να είναι σε θέση να καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες σε ποσοστό τουλάχιστον 20% από Ήπιες Μορφές Ενέργειας (ΗΜΕ).

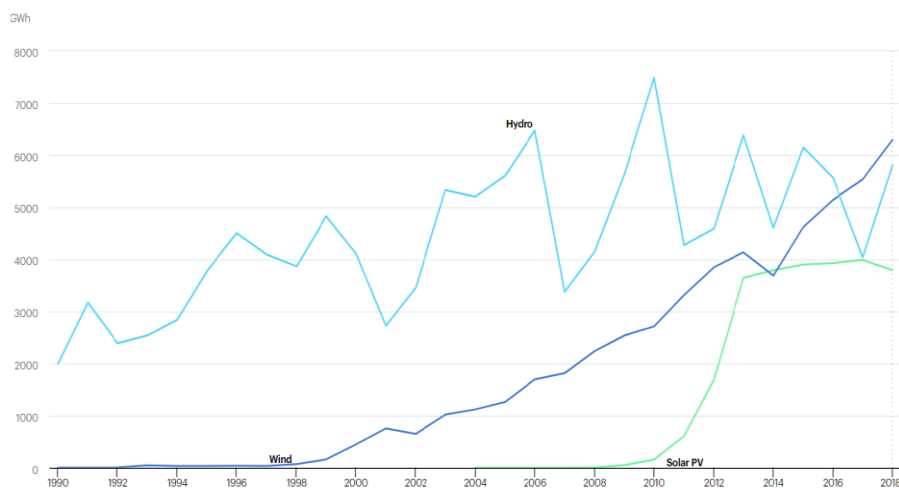
Το 2017 το σύνολο των διαθέσιμων ενεργειακών πηγών στην ΕΕ συνίστατο κυρίως από πέντε διαφορετικές πηγές: πετρελαικά προϊόντα (συμπεριλαμβανομένου του αργού πετρελαίου) (36%), φυσικό αέριο (23%), στερεά ορυκτά καύσιμα (15%), ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (14%) και πυρηνική ενέργεια (12%), όπου οι ΑΠΕ αντιπροσωπεύουν το 17,5 % της ενέργειας που καταναλώθηκε στην ΕΕ, πλησιάζοντας τον στόχο του 20% που έχει τεθεί για το 2020 (Eurostat).

Έως το 2019 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνέχισε να αυξάνεται, αγγίζοντας το ποσοστό των 72% σε σχέση με το 2018 (Eurostat). Σήμερα το νέο βιώσιμο σενάριο ανάπτυξης της ΕΕ που προβλέπει ότι έως το 2040 η αιολική και η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια θα παρέχουν περισσότερο από το ήμισυ της πρόσθετης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστά τις ΑΠΕ σημαντικότατο μέσον επίλυσης των ενεργειακών ζητημάτων, αφού το κόστος εγκατάστασής τους συνεχώς μειώνεται ενώ ο ρυθμός των επενδύσεων σε αυτές τις τεχνολογίες αυξάνεται. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, αναμένεται η παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο να φτάσει τις 8300 TWh και η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια τις 7200 TWh παγκοσμίως (International Energy Agency, Clean Energy Investment Trends Report, 2019).

1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στη χώρα μας τα τελευταία είκοσι χρόνια οι ήπιες μορφές ενέργειας σημειώνουν ανοδική πορεία. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, πρωτοστατούν η υδροηλεκτρική, η αιολική και η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια.

Renewable electricity generation by source (non-combustible), Greece 1990-2018



IEA. All rights reserved.

● Hydro ● Wind ● Solar PV

(Διάγραμμα 1.1, Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (μη καύσιμη), Ελλάδα 1990-2018)

(International Energy Agency, IEA)

Η ποσοστιαία ετήσια αύξηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι 6,5% (EURELECTRIC, Eurprog 2002), επομένως οι ΑΠΕ αποτελούν σημαντική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, καθώς τα πλεονεκτήματα σε εθνικό επίπεδο είναι πολλά (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, ΚΑΠΕ) :

- Αποτελεί αστείρευτη και ανεξάρτητη από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους πηγή ενέργειας
- Συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου ενώ ισοσταθμίζει όχι μόνο τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα αλλά και άλλων όξινων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα, αποτρέποντας καταστροφικά φαινόμενα όπως η όξινη βροχή.
- Καθιστούν την χώρα ενεργειακά ανεξάρτητη καθώς ενισχύουν τόσο τον ενεργειακό όσο και τον οικονομικό τομέα.
- Η δυνατότητα εγκατάστασης ενός σταθμού ΑΠΕ σε οποιαδήποτε σχεδόν τοποθεσία, προσφέρει την ενεργειακή κάλυψη ακόμα και των πιο δύσβατων περιοχών της χώρας. Έτσι επιτυγχάνεται η αποκέντρωση των ενεργειακών εγκαταστάσεων αλλά και μείωση των απωλειών των ενεργειακών πόρων κατά τη μεταφορά της ενέργειας.
- Οι ενεργειακοί πόροι παραγόμενοι από ΑΠΕ μπορούν να αξιοποιηθούν ορθολογικά και ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών. Έτσι η αιολική ενέργεια μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες ηλεκτροδότησης, η ηλιακή ενέργεια να χρησιμοποιείται στη θέρμανση νερού, η γεωθερμία στη θέρμανση των χώρων κτλ.
- Το κόστος παραγωγής και συντήρησης της παραγωγικής μονάδας είναι χαμηλό, καθώς επίσης δεν επηρεάζεται από τους παγκόσμιους οικονομικούς δείκτες, όπως λ.χ. η τιμή του πετρελαίου.
- Οι νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική οικονομία, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και τομείς για επενδύσεις. Ιδιαίτερα για τις υποβαθμισμένες περιοχές το θέμα των εγκαταστάσεων ΑΠΕ αποτελεί μείζον θέμα, καθώς με σωστή διαχείριση δύναται να αναδείξει τον τόπο για περαιτέρω επενδύσεις ευνοώντας ταυτόχρονα την ενεργειακή ανάπτυξη του.

1.3.1 ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ

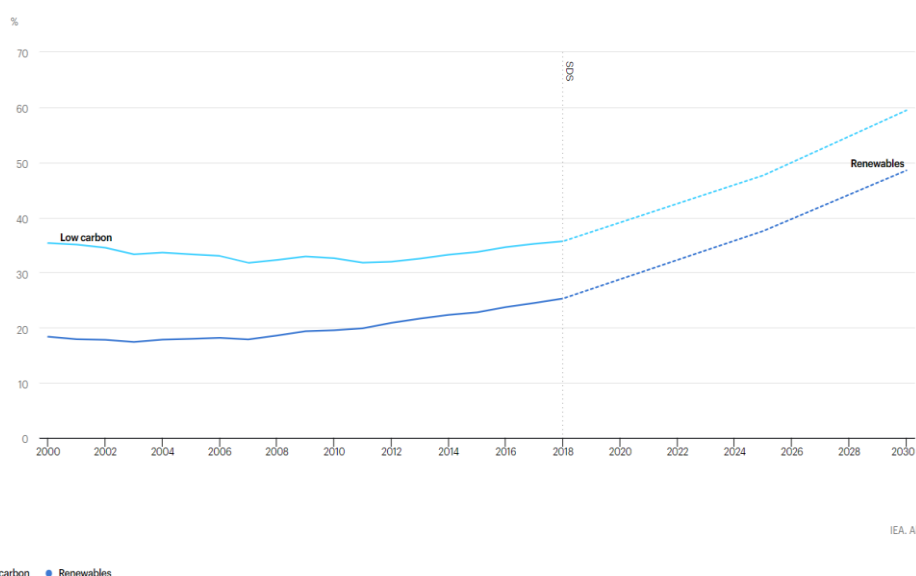
Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση ένα Στρατηγικό Σχέδιο για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας, το οποίο παρουσιάζει ένα αναλυτικό χάρτη για την επίτευξη συγκεκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030. Το ΕΣΕΚ προβάλλει και αναλύει Προτεραιότητες και Μέτρα Πολιτικής σε ένα ευρύ φάσμα αναπτυξιακών και οικονομικών δραστηριοτήτων προς όφελος της Ελληνικής κοινωνίας, καθιστώντας το κείμενο αναφοράς για την επόμενη δεκαετία (ΥΠ.ΕΝ., 2019).

Τα Μη Διασυνδεδεμένα νησιά αποτελούν ξεχωριστό κεφάλαιο του ενεργειακού ζητήματος, καθώς ηλεκτροδοτούνται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά κύριο λόγο από τοπικούς θερμικούς σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο, βαρύ (μαζούτ) ή και ελαφρύ (ντίζελ), και τους σταθμούς ΑΠΕ (αιολικούς και φωτοβολταϊκούς). Τα νησιά αυτά δεν έχουν διασυνδεθεί μέχρι σήμερα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα, λόγω κυρίως τεχνικών και τεχνολογικών δυσκολιών, που υφίσταντο μέχρι πρότινος, αλλά και λόγω οικονομικών δυσκολιών καθώς οι διασυνδέσεις απαιτούν μεγάλο κεφάλαιο (*Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, ΠΑΕ*).

Για τα νησιά που προβλέπεται να παραμείνουν μη διασυνδεδεμένα, τουλάχιστον για αρκετό διάστημα, προωθείται μεγάλη μείωση της χρήσης του πετρελαίου για ηλεκτροπαραγωγή με την εγκατάσταση σύγχρονων μονάδων ΑΠΕ σε συνδυασμό με τεχνολογίες αποθήκευσης. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ (*ΕΣΣΕΚ, 2019*). Φυσικά, ένας από τους βασικότερους εθνικούς στόχους είναι να έχουν συνδεθεί όλα τα νησιά έως το 2030, προκειμένου να ενισχυθεί η εθνική οικονομία αλλά και οι καινοτόμες τεχνολογίες, όπως τα θαλάσσια αιολικά πάρκα. Συν τοις άλλοις, με την διασύνδεση των νησιών επιτυγχάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο, συμβάλλοντας σημαντικά στην υλοποίηση αειφόρου διαχείρισης και στην μετεξέλιξη των νησιών σε «πράσινα» (*ΠΑΕ*).

Τέλος, η απολιγνιτοποίηση φαίνεται για πρώτη να είναι μέρος του κυβερνητικού σχεδίου, αφού αποτελεί εθνικό στόχο για το 2028. Δεδομένου ότι η Ελλάδα είναι η 3^η στην ΕΕ χώρα σε εξόρυξη κοιτασμάτων λιγνίτη, είναι ανάγκη το ενεργειακό ζήτημα να βρει διέξοδο στις μη συμβατικές μορφές ενέργειας.

Ένα ευρύ φάσμα των ΑΠΕ θα συνδράμει στην επίτευξη των στόχων που ορίζονται από το Εθνικό Σχέδιο. Βλέποντας τα στοιχεία των πινάκων που ακολουθούν, γίνεται αντιληπτό πως η αιολική και η φωτοβολταϊκή ενέργεια κατέχουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο.



(Διάγραμμα 1.2, Πηγές ενέργειας – αργός άνθρακας και ΑΠΕ - στο σχέδιο αειφόρου ανάπτυξης, 2000-2030)

(IEA, Tracking Renewable Power Report, May 2019)

1.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (IEA) εκτιμά πως η ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να παρέχει το 11% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας μέχρι το 2050. Για να επιτευχθεί το ποσοστό αυτό καθίσταται αναγκαία η επέκταση των εγκαταστάσεων των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων. Επιπρόσθετα, η χωροθέτησή τους πρέπει να υλοποιείται λαμβάνοντας υπόψη οικονομικά, περιβαλλοντικά ακόμα και κοινωνικά κριτήρια και πάντα με βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου.

Το υφιστάμενο Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ εγκρίθηκε με την υπ' αριθμ. 49828/2008 απόφαση της Επιτροπής Συντονισμού της Κυβερνητικής Πολιτικής στον Τομέα του Χωροταξικού Σχεδιασμού και της Αειφόρου Ανάπτυξης (δημοσιευμένη στο ΦΕΚ Β' 2464 του ίδιου έτους). Το σχέδιο αυτό καθορίζει τα κριτήρια χωροθέτησης Φ/Β Εγκαταστάσεων, αποσκοπώντας στην προστασία του περιβάλλοντος και στην πρόληψη των επιπτώσεων που δύναται αυτές να επιφέρουν.

Αναλυτικά οι κανόνες χωροθέτησης των συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας όπως αναφέρονται στο Άρθρο 17 (ΚΥΑ 49828/2008) ως εξής :

1. 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 όπως αυτές προβλέπονται στα άρθρα 2 παρ. 4, 4, 8 παρ.8, του ν. 3468/2006 και στο άρθρο 2 της υπ' αριθμ. 19500/2004 κοινής υπουργικής απόφασης.

2. Ως ζώνες αποκλεισμού για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή ζώνες στις οποίες πρέπει να αποκλείεται η εγκατάστασή τους, ορίζονται οι εξής κατηγορίες περιοχών:

α. Τα κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς και τα άλλα μνημεία μείζονος σημασίας της παρ. 5 ββ) του άρθρου 50 του ν. 3028/2002, καθώς και οι οριοθετημένες αρχαιολογικές ζώνες προστασίας Α που έχουν καθορισθεί κατά τις διατάξεις του άρθρου 91 του ν. 1892/1991 ή καθορίζονται κατά τις διατάξεις του ν. 3028/2002.

β. Οι περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και του τοπίου που καθορίζονται κατά τις διατάξεις των άρθρων 19 παρ. 1 και 2 και 21 του ν. 1650/1986.

γ. Οι πυρήνες των Εθνικών Δρυμών, τα κηρυγμένα μνημεία της φύσης και τα αισθητικά δάση που δεν περιλαμβάνονται στις περιοχές της προηγούμενης περιπτώσεως β'.

δ. Οι οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της Επικράτειας που έχουν ενταχθεί στον κατάλογο των τόπων κοινοτικής σημασίας του δικτύου ΦΥΣΗ 2000 σύμφωνα με την υπ' αριθμ. 2006/613/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής (ΕΕ L 259 της 21.9.2006, σ. 1).

ε. Τα δάση και οι γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας όπως προβλέπεται από τις διατάξεις του άρθρου 56 του ν. 2637/1998 όπως ισχύουν.

στ. Άλλες περιοχές ή ζώνες που υπάγονται σήμερα σε ειδικό καθεστώς χρήσεων γης, βάσει του οποίου δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας και για όσο χρόνο ισχύουν.

3. Ειδικώς για την εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Σταθμών σε πολυσύχναστους χώρους πρέπει, στο πλαίσιο της σχετικής περιβαλλοντικής αδειοδότησης, να καθορίζονται τα κατά περίπτωση κατάλληλα μέτρα για να μην υπάρχει οπτική όχληση.

4. Οι αποστάσεις των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας από τις ζώνες αποκλεισμού της παραγράφου 2 και οι ειδικότεροι όροι χωροθέτησης των συνοδευτικών τους έργων καθορίζονται, κατά περίπτωση, στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης.

5. Για τα συνοδά έργα των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζονται οι κατευθύνσεις της παραγράφου 2 του άρθρου 6 τα γενικά κριτήρια της νομοθεσίας και οι τυχόν ειδικοί κανονισμοί και πρότυπα που έχουν θεσμοθετηθεί για ορισμένες κατηγορίες συνοδευτικών έργων (π.χ. γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης).

1.5 ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Η αυστηροποίηση των κανόνων για τη ρύπανση του περιβάλλοντος απαιτεί σωστή χωροθέτηση και εκσυγχρονισμό των Φ/Β εγκαταστάσεων, προκειμένου να επιτευχθεί η υψηλότερη αποδοτικότητα συναρτήσει της οποίας ανεβαίνει η τιμή του δείκτη βιωσιμότητας. Επιπλέον, η ανάλυση της τοποθεσίας για την ανέγερση ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί μια αρκετά πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης κατάλληλων θέσεων για τις εν λόγω εγκαταστάσεις που βασίζονται στα GIS, μπορούν να ταξινομηθούν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το αν εφαρμόζονται σε περιφερειακή ή τοπική κλίμακα. Οι μελέτες επιλογής τοποθεσιών διεξάγονται ως επί το πλείστον σε περιφερειακή κλίμακα, ώστε τα αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο στην εγκατάσταση των Φ/Β πάρκων αλλά και στον προσδιορισμό περιβαλλοντικής πολιτικής.

Κατά την εκτίμηση της περιοχής σε περιφερειακό επίπεδο, εξετάζονται διάφοροι παράγοντες όπως οι οικονομικοί, περιβαλλοντικοί, τεχνικοί, κοινωνικοί, παράγοντες κινδύνου που σχετίζονται με την εγκατάσταση και η ηλιακή ακτινοβολία. Πρέπει να εξεταστούν πολλοί άλλοι παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους λειτουργούν ως περιορισμοί και αποκλείουν περιοχές όπου δεν δύναται η εγκατάσταση, κάποια άλλα

κριτήρια χρησιμεύουν στον ποσοτικό προσδιορισμό της καταλληλότητας (Yosoon Choi, Jangwon Suh, Sung-Min Kim, «GIS-Based Solar Radiation Mapping, Site Evaluation, and Potential Assessment», 2019).

Τα εργαλεία ενεργειακού προγραμματισμού βασίζονται σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και μπορούν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της παραγωγής, της διανομής και της κατανομής του δυναμικού της ανανεώσιμης ενέργειας, συσχετίζοντας την ζήτηση και την αστική ανάπτυξη. Η δυνατότητα εισαγωγής πολλών επιπέδων πληροφοριών συμβάλλει στην πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας, οπτικοποιώντας όλους τους παράγοντες της τοποθεσίας που πρέπει να συνυπολογιστούν (IRENA, China National Renewable Energy Center, «Zhangjiakou - Transformation Strategy 2050», 2019).

1.6 ΟΡΙΣΜΟΣ GIS

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ή Geographic Information System, είναι ένα ψηφιακό σύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας χωρικών και περιγραφικών δεδομένων συντονισμένων με τις πραγματικές συντεταγμένες του χώρου. Το εν λόγω σύστημα είναι ικανό να συλλέξει, να αναλύσει, να διαχειριστεί, να αποθηκεύσει και να οπτικοποιήσει την εισαγόμενη πληροφορία. Επίσης, δύναται να συνδυάσει τις υπό μελέτη καταστάσεις με τον χρόνο. Έτσι η δυνατότητές του αυτές καθιστούν ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών το αποτελεσματικότερο εργαλείο στη μελέτη πολλών αλλαγών που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια της Γης (Burrough P.A. 1986, Demers M. 2000, Κοτσόπουλος K. 2002, Longley et. al. 2005).

1.7 ΣΤΟΧΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η ορθή μελέτη χωροθέτησης μιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας και η ανάδειξη της σημασίας της σε νησί, ο βίος του οποίου βασίζεται κυρίως στον πρωτογενή τομέα και τον τουρισμό, με το περιβάλλον να αποτελεί το κύριο μέλημα της ντόπιας κοινωνίας.

Η εγκατάσταση ΑΠΕ εξαρτάται από τα τοπικά και περιφερειακά χαρακτηριστικά και από πολυάριθμα χαρακτηριστικά που πρέπει να εξεταστούν πριν από την έναρξη της κατασκευής του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Με τη χρήση των συστημάτων τηλεπισκόπησης και των GIS, καθώς και με την ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων χωρικών δεδομένων, θα οριστούν οι περιοχές κατάλληλες για την οικοδόμηση του ζητούμενου Φ/Β συστήματος.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται προσπάθεια αξιολόγησης της καταλληλότητας των περιοχών στη νήσο Ζάκυνθο για την χωροθέτηση Φ/Β πάρκου μεγέθους 100 kW. Χρησιμοποιήθηκαν βασισμένες σε GIS μέθοδοι που εξετάζουν την ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων: Fuzzy Logic (Λογική της ασάφειας) και Analytic Hierarchy Process – AHP (Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία), ενώ η αρχική προσέγγιση των κατάλληλων αγροτεμαχίων επιτυγχάνεται με την επεξεργασία Boolean.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μελέτη επικεντρώνεται στη νήσο Ζάκυνθο των Επτανήσων. Η Ζάκυνθος είναι γνωστή στην παγκόσμια βιβλιογραφία και ως Τζάντε ή Fioero di levante, δηλ. Άνθος της Ανατολής, μια ονομασία που προήλθε από τους Βενετσιάνους, αφού το νησί παρέμεινε υπό Βενετική κυριαρχία για σχεδόν 3 αιώνες (1479-1797), ενώ προσαρτήθηκε στην Ελλάδα με τη «Συνθήκη του Λονδίνου» το 1864.

Η Ζάκυνθος βρίσκεται στο Ιόνιο Πέλαγος μεταξύ 37°38' και 37°56' βόρειου πλάτους και 20°37' και 20°59' ανατολικού μήκους και απέχει 9.5 ναυτικά μίλια από την Πελοπόννησο και 300 χιλιόμετρα από την Αθήνα.

Το σχήμα του νησιού είναι τριγωνικό, με βόρεια κορυφή το ακρωτήριο Σχοινάρι, νοτιοδυτική το ακρωτήριο Μαραθίας και νοτιοανατολική το ακρωτήριο Γέρακας.

Η συνολική έκταση της Ζακύνθου είναι 405.9 km², που αντιστοιχεί στο 0,31% της έκτασης της Ελλάδας. Το καταπράσινο νησί μετρά μήκος ακτών 154 km, πράγμα που το καθιστά έναν από τους καλύτερους και διασημότερους τουριστικούς προορισμούς της χώρας μας.

Η πόλη της Ζακύνθου είναι και η πρωτεύουσα του νησιού και μετρά πληθυσμό 9.772 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Το σύνολο των κατοίκων του νησιού ανέρχεται στους 39.737 (ΕΛΣΤΑΤ, 01.01.2019) και είναι δεύτερο σε πληθυσμό στα Ιόνια νησιά.

Σύμφωνα με τον νόμο 3852/2010 της διοικητικής διαίρεσης, ήτοι Πρόγραμμα Καλλικράτης, στη Ζάκυνθο υπάρχει μόνο ένας δήμος, ο Δήμος Ζακύνθου, ενώ περιλαμβάνει 6 Δημοτικές Ενότητες : Ζακυνθίων, Αλυκών, Αρκαδίων, Αρτεμισίων, Ελατίων και Λαγανά.

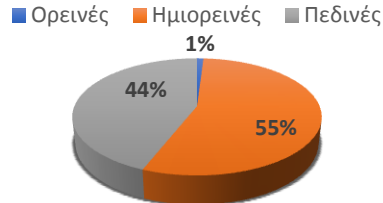
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ, ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης της Ζακύνθου είναι ημιορεινό, δηλ. περίπου το 55%, στο οποίο αντιστοιχούν 223.700 στρέμματα. Ακολουθούν οι πεδινές εκτάσεις με ποσοστό των 44%, δηλ. 178.300 στρέμματα. Τέλος, στο 1%, ήτοι 3.600 στρέμματα, ανήκουν τα εδάφη με ορεινό ανάγλυφο με υψόμετρο άνω των 600 μέτρων (πηγή: *zakynthos.gov.gr*). Επίσης, στο νησί υπάρχουν δύο ορεινοί όγκοι : Το όρος Βραχιώνας με μεγαλύτερο υψόμετρο 758 μέτρα και το όρος Σκοπός με μέγιστο ύψος 492 μέτρα.

Το έντονο ανάγλυφο της Ζακύνθου μαρτυρά την ιδιαίτερη σεισμική της δραστηριότητα. Πράγματι, τα Ιόνια Νησιά είναι η πρώτη σειсмоγενής ζώνη στην

Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Μάλιστα ο τελευταίος σεισμός που προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές έγινε το 1953, ισοπεδώνοντας περίπου το 83% των οικοδομημάτων σε Ζάκυνθο-Κεφαλλονιά-Ιθάκη. Καθημερινά στην περιοχή σημειώνονται δεκάδες σεισμοί μεγέθους έως 3 Ρίχτερ.

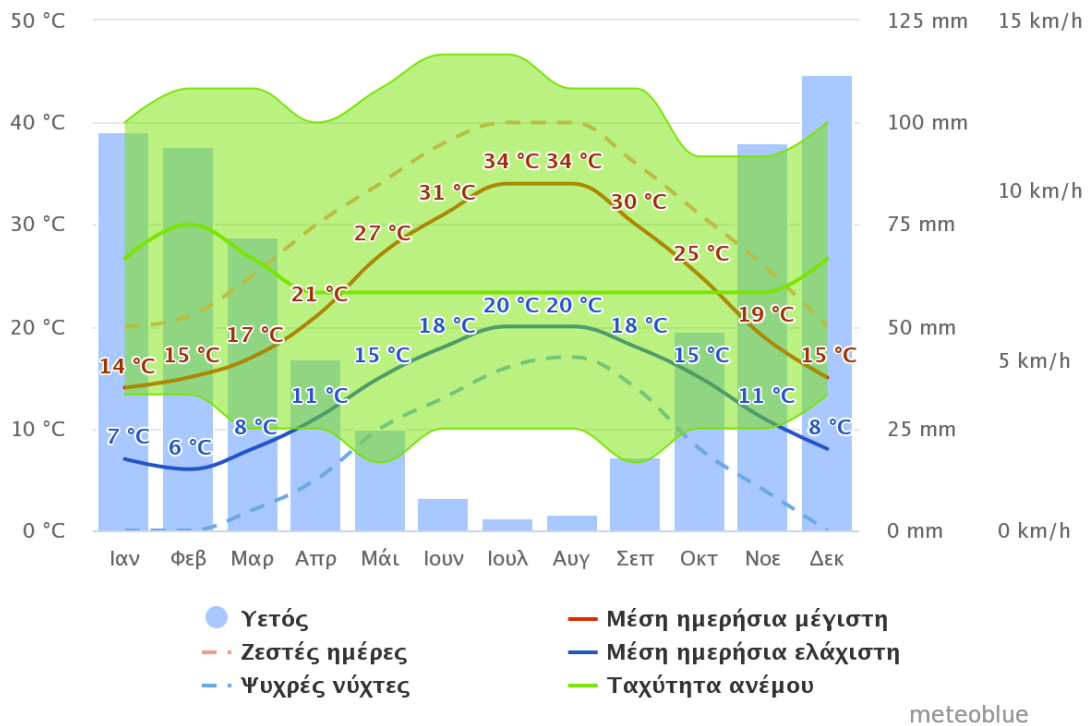
Μορφή Ανάγλυφου του Εδάφους στη νήσο Ζάκυνθο



(Εικόνα 2.1, Ποσοστιαία κατάταξη μορφών εδάφους στη Ζάκυνθο)

Το κλίμα της Ζακύνθου είναι ιδιαίτερα ήπιο. Χαρακτηρίζεται από ήπιο βροχερό χειμώνα και δροσερό καλοκαίρι. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,9 C°.

Δεν παρουσιάζει έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, ούτε σφοδρούς ανέμους. Έχει αρκετά υψηλή υγρασία, με μέση ετήσια σχετική υγρασία πάνω από 70% και μεγάλη ηλιοφάνεια. Ο συνολικός αριθμός ημερών βροχής υπολογίζεται σε 115.

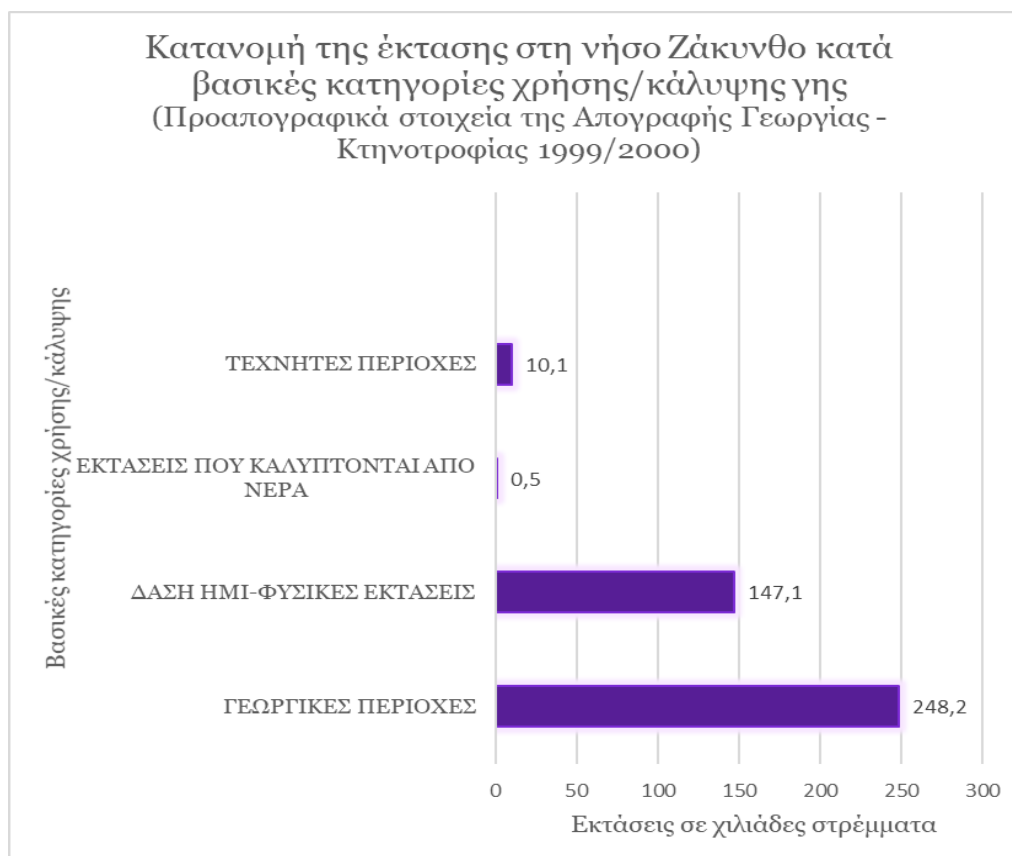


(Γράφημα 2.1, Κλιματικά δεδομένα Ζακύνθου)

(πηγή: www.meteoblue.com)

Η καταπράσινη Ζακύνθος καλύπτεται από 36 χιλιάδες στρέμματα δάση, και πάνω από 110 χιλιάδες στρέμματα θαμνώδεις και ποώδεις βοσκότοπους. Το νησί φιλοξενεί γύρω στα 950 είδη και υποείδη φυτών, πράγμα που επιδεικνύει άλλη μια φορά το πλούσιο φυσικό κάλλος της Ζακύνθου.

Πέραν τούτου, η πλευρά του νησιού κατά μήκος της Δυτικής ακτογραμμής και ο Κόλπος Λαγανά που καταλαμβάνει το Νότιο τμήμα, είναι προστατευόμενες περιοχές NATURA 2000. Το Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο Ζακύνθου σκοπεύει στην προστασία της θαλάσσιας χελώνας *Caretta caretta*, της μεσογειακής φώκιας, της ορνιθοπανίδας και γενικά του παράκτιου οικοσυστήματος. Επίσης, στην προστασία συμβάλλει το Καταφύγιο Άγριας Ζωής στο όρος Βραχίονα με συνολική έκταση 10,2 km².



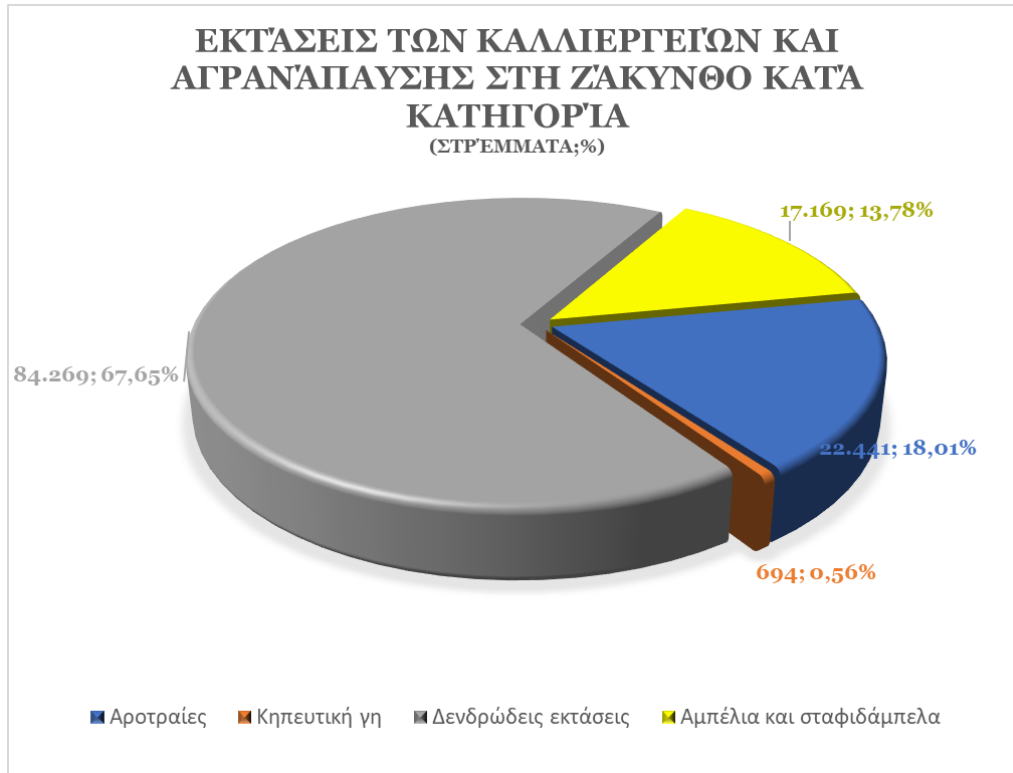
(Γράφημα 2.2, Κατανομή εκτάσεων ανά Χρήση Γης)

(πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2000)

2.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Τα Ιόνια νησιά κατέχουν 5^η θέση στον τουριστικό τομέα στην Ελλάδα με εισπράξεις να αγγίζουν σχεδόν 2 δις ευρώ (*Έρευνα Συνόρων της ΤτΕ, 2018*), ποσό που αντιστοιχεί στο 10.8% του συνόλου των τουριστικών εισπράξεων της χώρας. Η Ζάκυνθος είναι ο 2^{ος} δημοφιλέστερος προορισμός των Ιονίων Νήσων και 5^{ος} στην Ελλάδα. Κάθε καλοκαίρι ο πληθυσμός του νησιού αυξάνεται ραγδαία, φτάνοντας ακόμα και 180 χιλιάδες. Συνεπώς, ο τουρισμός αποτελεί τη βασικότερη πηγή εσόδων της τοπικής οικονομίας. Φυσικά, μεγάλος είναι ο αριθμός των επιχειρήσεων του κλάδου χονδρικού και λιανικού εμπορίου. Γενικά, ο τριτογενής τομέας (πλην του δημοσίου) απασχολεί το 68% του συνόλου (*ΕΛ.ΣΤΑΤ, β' τρίμηνο 2012*).

Ο πρωτογενής τομέας, ιδιαίτερα η γεωργία, είναι εξίσου σημαντικός με τον τουρισμό παράγοντας στο οικονομικό ισοζύγιο του νησιού. Βέβαια, η συνεισφορά του είναι μικρότερη, γεγονός που αποδεικνύεται από τον αριθμό των απασχολούμενων, ο οποίος αντιστοιχεί στο 19.8% του δυναμικού της Ζακύνθου.



(Γράφημα 2.3, Κατανομή εκτάσεων καλλιεργειών και αγρανάπιασης)

(πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2017)

Οι επιχειρήσεις του δευτερογενούς τομέα είναι εκείνες που συμμετέχουν λιγότερο στην οικονομία, απασχολώντας το 12.2% του συνόλου των απασχολούμενων. Ο τουριστικός χαρακτήρας του νησιού δεν αφήνει περιθώρια για την ανάπτυξη της βιομηχανίας, λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απορρέουν από αυτού του είδους δραστηριότητες. Παρόλα αυτά, κάποια προϊόντα της Ζακύνθου, όπως οι ποικιλίες κρασιού Μοσχάτο και Ρομπόλα και οι ντόπιες παραγωγές ελαιόλαδου, γίνονται όλο και πιο περιζήτητα.

Ως προς την συμμετοχή της στην Ελληνική οικονομία η Ζακύνθος δυστυχώς δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ενδιαφέρουσα, καθώς σε περιφερειακό επίπεδο τα Ιόνια Νησιά συνεισφέρουν κατά 1.8% του ΑΕΠ.

2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΕ

Στα πλαίσια της προσπάθειας της ΔΕΗ στη δημιουργία ενός ενιαίου Ηλεκτρικού Συστήματος Παραγωγής - Μεταφοράς και στην κατάργηση των 400 περίπου τοπικών πετρελαϊκών Σταθμών Παραγωγής, διαπιστώθηκε ότι η υποβρύχια διασύνδεση των νησιών είναι τεχνικά εφικτή και οικονομικώς συμφέρουσα. Η απόσβεση μιας τέτοιας επένδυσης αντιστοιχούσε στο κόστος ηλεκτροδότησης του νησιού κατά τα επόμενα 20-25 χρόνια. Έτσι, στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η

Ζάκυνθος διασυνδέθηκε με δίκτυο με το Εθνικό - Ηπειρωτικό Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό Σύστημα.

Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος πραγματοποιείται σε σταθμούς ΑΠΕ που διαθέτει το νησί. Η κύρια μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται είναι η αιολική. Το αιολικό πάρκο στο Κακαβούλι Ζακύνθου (δημοτική ενότητα Ελατίων) έχει εγκατεστημένη ισχύ 2.4MW.

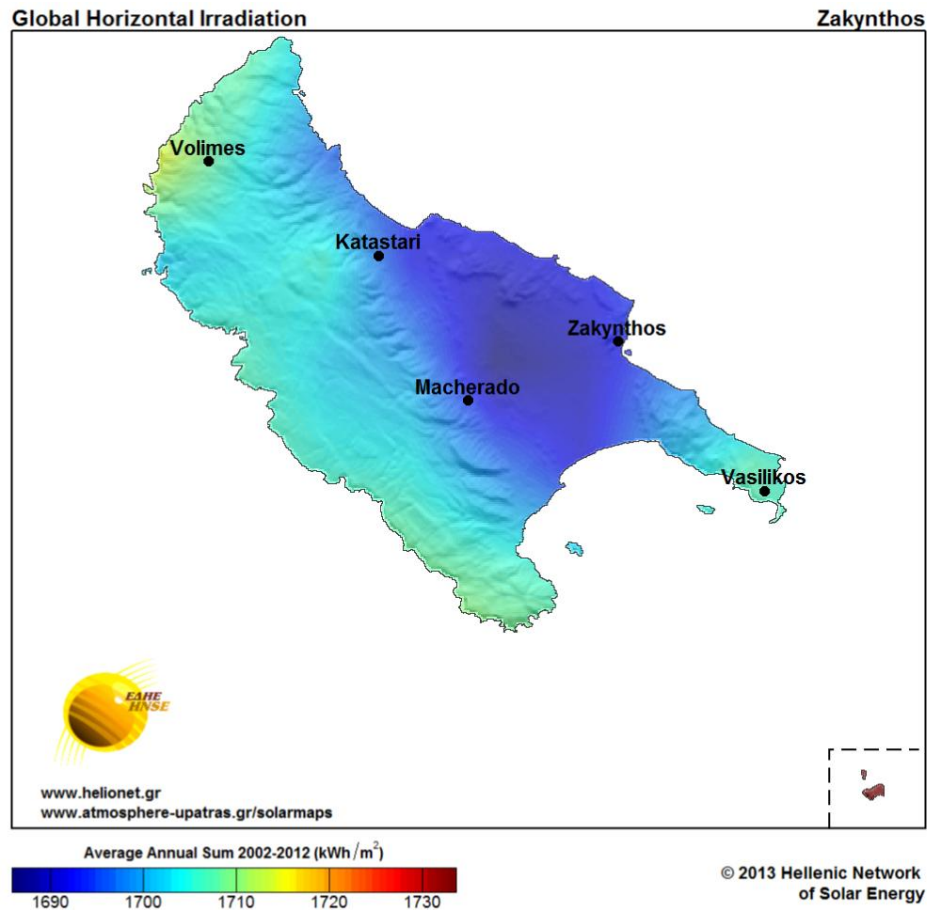
Στη συνέχεια, από τις αρχές του 2013 τέθηκε σε λειτουργία το συγκρότημα φωτοβολταϊκών πάρκων στη νότια πλευρά του νησιού, η συνολική ισχύς των οποίων ανέρχεται στα 2.2MW. Ουσιαστικά πρόκειται για 22 Φ/Β συστήματα ισχύος 100KW το καθένα.

Φυσικά, ευρεία είναι και η χρήση των Φ/Β πάνελ στα νοικοκυριά και στις ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, όπως επίσης και των ηλιακών θερμοσιφώνων για τη θέρμανση νερού.

Στη χώρα μας περίπου το 20% της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από τις ΑΠΕ (HEX S.A., 2018). Το ποσοστό αυτό προφανώς δεν απεικονίζει την κατανομή της ενέργειας στη Ζάκυνθο. Ως εκ τούτου παρουσιάζεται και η ανάγκη για περαιτέρω «πράσινη» ανάπτυξη για την απολιγνιτοποίησή της. Η ραγδαία πτώση του κόστους των φωτοβολταϊκών έχει καταστήσει την ηλιακή ενέργεια ως τη μεγαλύτερη αγορά για νέες επενδύσεις. Στην πραγματικότητα, η μη επιδοτούμενη ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει γίνει πλέον οικονομικά ανταγωνιστική απέναντι στα ορυκτά καύσιμα.

2.5 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Ο όρος «ηλιακό δυναμικό» αναφέρεται στη ενέργεια που προσπίπτει στιγμιαία στη μονάδα επιφάνειας και έχει μονάδα μέτρησης Wm^{-2} (Page, 1986, Allen et al., 2006). Στη Ζάκυνθο η τιμή της μονάδας αυτής κυμαίνεται από 1650 έως 1750 $KWhm^{-2}$.



(Εικ. 2.2, Ολική ηλιακή ακτινοβολία στη Ζάκυνθο)

(Πηγή: Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Πανεπιστημίου Πατρών)

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, ο ετήσιος μέσος όρος ωρών ηλιοφάνειας φτάνει τις 7 ώρες, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι περίπου 11 ώρες ημερησίως. Παράλληλα, οι μέρες με 20% νεφοκάλυψη αγγίζουν τις 121, ενώ με νεφοκάλυψη 20-80% τις 166 ετησίως (πηγή: www.meteoblue.com/el/).

Συμπερασματικά, η υψηλή ηλιοφάνεια σε συνδυασμό με ήπιες καιρικές συνθήκες καθιστούν τα φωτοβολταϊκά ως πρόταση ικανή στην επίλυση του ενεργειακού ζητήματος της νήσου.

Average daily sunshine (hrs)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
4	4	6	8	9	10	11	11	9	7	5	4	7

Average daily max (°C)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
13.7	14.1	16.2	19.4	24.5	28.6	30.7	31.5	27.7	23.8	19.0	15.2	22.0

www.metoffice.gov.uk

(Πίνακας 1, Μηνιαία και ετήσια μέση τιμή ωρών ηλιοφάνειας, Μηνιαία και ετήσια μέση θερμοκρασία)

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Το πιο σημαντικό κομμάτι κάθε μελέτης είναι η συλλογή των δεδομένων. Για την παρούσα εργασία έγινε ανασκόπηση πολλών συγγραμμάτων, ιστοσελίδων των υπηρεσιών παροχής ψηφιακών δεδομένων, ακόμα και τουριστικών χαρτών. Έτσι, κάποια δεδομένα είχαν ψηφιακή μορφή, ενώ κάποια άλλα ήταν διαθέσιμα μόνο σε αναλογική μορφή, επομένως έχρηζαν ψηφιοποίησης, προκειμένου να μπορούν να μετατραπούν τα επίπεδα των πληροφοριών σε περιβάλλον GIS.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης χρήσεων γης της Ζακύνθου (<https://land.copernicus.eu/>). Μέσω του χάρτη αυτού χαρτογραφήθηκε η ακτογραμμή, συνεπώς και η έκταση του νησιού. Έτσι ο χάρτης που προέκυψε ορίστηκε ως χάρτης αναφοράς.

Στη συνέχεια ακολούθησαν η γεωαναφορά και η ψηφιοποίηση των κριτηρίων που επιλέχθηκαν για την πολυκριτηριακή ανάλυση. Η ψηφιοποίηση του Οδικού Δικτύου έγινε μέσω Γεωγραφικού – Τοπογραφικού χάρτη της νήσου Ζακύνθου (*Ε. Λέκκας, 1996 - 1997*). Αντίστοιχα ψηφιοποιήθηκαν το Δίκτυο Μέσης και Υψηλής Τάσης, μέσω αναλογικών χαρτών από τα αρχεία της ΔΕΗ. Με τον ίδιο τρόπο ψηφιοποιήθηκαν οι χάρτες ποταμίων, μνημείων και αξιοθέατων, συμπεριλαμβανομένου και των αρχαίων χώρων και εκκλησιών, και το υφιστάμενο αιολικό πάρκο στο βόρειο τμήμα της νήσου (χρήση δεδομένων Εθνικού κτηματολογίου). Επίσης, μέσω του Γεωλογικού χάρτη (*Ε. Λέκκας, 1993*), δημιουργήθηκαν δεδομένα shapefiles με τους σχηματισμούς των ενεργών και των πιθανών ρηγμάτων. Τα δεδομένα των οικισμών, και γενικά του πληθυσμού, είναι της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (*Δημογραφικά Χαρακτηριστικά/2011*).

Τα δεδομένα των προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000 και του καταφυγίου άγριας ζωής Βραχίονα δημιουργήθηκαν με την ψηφιοποίηση εξίσου, μέσω των χαρτών που διατίθενται στο διαδίκτυο (www.geogreece.gr/natura.php).

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή *Google Earth Pro*, για την δημιουργία ψηφιακού χάρτη κλίσεων εδάφους. Αρχικά δημιουργήθηκε αρχείο υψόμετρου της νήσου, ουσιαστικά πρόκειται για ένα πλέγμα με σημειακή δειγματοληψία υψόμετρου εδάφους. Στη συνέχεια έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές (www.gpsvisualizer.com/elevation) έτσι ώστε να γίνει η οπτικοποίηση του αρχείου στο ArcMap. Με αυτή τη διαδικασία κατέστη δυνατή η δημιουργία αρχείου κλίσεων του εδάφους με τη χρήση μοντέλων δημιουργίας ψηφιακού ανάγλυφου.

Ως επι το πλείστον, η αναζήτηση των πληροφοριών, όσο μάλλον η δημιουργία τους, είναι χρονοβόρα διαδικασία. Η ορθότητά τους είναι τόσο σημαντική, καθώς και απαραίτητη, που αν δεν τηρείται, η έρευνα ενδέχεται να μην αντανακλά την πραγματικότητα ενώ τα αποτελέσματά της να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η παρούσα μελέτη αφορά τη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες υπολογιστικές μεθόδους. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε αποσκοπεί στον προσδιορισμό ακριβούς τοποθεσίας εξασφαλίζοντας βιωσιμότητα στο εν λόγω σύστημα. Έτσι, εκτός των νομοθετικών κριτηρίων, η τήρηση των οποίων είναι απαραίτητη, εφαρμόστηκαν κριτήρια που προωθούν τη βέλτιστη χωροθέτηση ως προς την αιεφορία του νησιού.

Στην πρώτη φάση της μελέτης έγινε ο σαφής προσδιορισμός του ζητήματος. Η επιλογή των Ιόνιων Νήσων προέκυψε λόγω χαμηλού επενδυτικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει η περιφέρεια, σε συνδυασμό με το δυναμικό που διαθέτει. Η Ζάκυνθος παράλληλα αποτελεί έναν από τους δημοφιλέστερους προορισμούς της Ελλάδας, η ανάπτυξη της οποίας οφείλει να στηριχτεί στην «πράσινη» οικονομία.

Στο επόμενο βήμα πραγματοποιήθηκε η επιλογή της μεθόδου που θα εφαρμοστεί στη μελέτη. Το στάδιο αυτό είναι ίσως και το σπουδαιότερο, καθώς σε αυτό γίνεται η διαλογή των κριτηρίων και άλλων παραγόντων. Έτσι, η πρώτη επιλογή τοποθεσιών έγινε με βάση το μοντέλο Boolean και στη συνέχεια εφαρμόστηκαν πιο περίπλοκες μέθοδοι αναπαράστασης πληροφοριών: η Λογική της Ασάφειας, Fuzzy Logic, και η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, Analytic Hierarchy Process (AHP).

Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί το πιο δύσκολο κομμάτι της μελέτης. Η ανεύρεσή τους έγινε σταδιακά, καθώς ένα μεγάλο μέρος τους παράχθηκε με τη διαδικασία της ψηφιοποίησης σε περιβάλλον GIS. Η δε επιλογή των δεδομένων έγινε βασιζόμενη στην υπάρχουσα νομοθεσία περί των εγκαταστάσεων ΑΠΕ. Κατ' αυτόν τον τρόπο ορίστηκαν οι περιοριστικοί παράγοντες της χωροθέτησης της παρούσας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcMap 10.1.

Τα πρώτα αποτελέσματα δόθηκαν από τη μέθοδο Boolean. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα κριτήρια αποκλεισμού, ώστε να αναδείξει τις περιοχές που καταρχήν σίγουρα δεν είναι κατάλληλες για την εγκατάσταση της υπό μελέτη ΑΠΕ. Έτσι, μετά την εισαγωγή των δεδομένων και την επεξεργασία τους σε κριτήρια αποκλεισμού, ακολουθεί ο συνδυασμός τους σε έναν ψηφιακό χάρτη. Ως αποτέλεσμα έχουμε την οπτικοποίηση των ζωνών σε κατάλληλες και ακατάλληλες προς χωροθέτηση Φ/Β συστήματος.

Επειδή η μέθοδος Boolean λαμβάνει υπόψη μόνο τα χωρικά δεδομένα, τα αποτελέσματά της είναι απολύτως σωστά χωροταξικά, εντούτοις δεν υπολογίζει τον κοινωνικοοικονομικό παράγοντα.

Εν συνεχεία εφαρμόζεται η Λογική της Ασάφειας σε όλα τα κριτήρια αποκλεισμού, οπτικοποιώντας τον βαθμό αβεβαιότητας για το κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Στην τελική φάση της διαδικασίας, αποδίδεται η τιμή της βαρύτητας που αντιστοιχεί σε κάθε κριτήριο βάσει οικονομικού, κοινωνικού και λειτουργικού του χαρακτήρα. Με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης πραγματοποιούνται οι συγκρίσεις των κριτηρίων σε ζεύγη. Έτσι, προκύπτουν οι συντελεστές σημαντικότητας έκαστου κριτηρίου.

Ως τελικό αποτέλεσμα έχουμε τη δημιουργία ενός ενιαίου χάρτη που απεικονίζει τις διακυμάνσεις του βαθμού καταλληλότητας που δημιουργήθηκε μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της παρούσας μελέτης.



(Διάγραμμα 3.1, Διάγραμμα ροής της μελέτης)

3.3 ΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ (FUZZY LOGIC)

Η Ασαφής Λογική είναι ένα τμήμα της Πλειότιμης Λογικής η οποία βασίζεται σε μια γενίκευση της κλασικής λογικής και στη θεωρία των ασαφών συνόλων που προτείνει ο μαθηματικός Lotfi Zadeh για την τυποποίηση της ασαφούς γνώσης που χαρακτηρίζεται από γλωσσική αβεβαιότητα. Τα θεμέλια της θεωρίας των ασαφών συνόλων τέθηκαν στο έργο του L. Zadeh "Fuzzy Sets", που δημοσιεύθηκε το 1965 στο περιοδικό "Information and Control" (Zadeh LA Fuzzy Sets. - Information and Control, 1965, τόμος 8, No. 3, pp. 338) –353). Η ασαφής λογική μελετά τις υποθέσεις υπό συνθήκες ασάφειας και αβεβαιότητας. Σήμερα η ασαφής λογική χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα πληροφορικής για διάφορους σκοπούς, καθώς αποδείχθηκε απαραίτητη σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατόν να ληφθούν σαφείς απαντήσεις

στις ερωτήσεις που τίθενται ή όλες οι πιθανές καταστάσεις είναι άγνωστες εκ των προτέρων.

Η Δυαδική Λογική, όπως η Boolean, είναι δίτιμη έχοντας δύο τιμές μόνο, είτε 0 (ψευδής) είτε 1 (αληθής). Συγκεκριμένα, στη Δυαδική Λογική Boolean ένα στοιχείο είναι είτε αληθές είτε ψευδές ή ένα αντικείμενο ανήκει σε ένα σύνολο ή δεν ανήκει. Η Λογική της Ασάφειας είναι πλειότιμη και ασχολείται με τους βαθμούς συμμετοχής ή αλήθειας σε ένα σύνολο. Η συμμετοχή σε ένα Ασαφές σύνολο μπορεί να είναι μερικά αληθή και μερικά λάθος ταυτόχρονα. Επιπλέον, η αρχή της ασαφούς λογικής επιτρέπει τη συλλογιστική της «απόχρωσης».

Σε αντίθεση με τα δυαδικά σύνολα, ένα ασαφές σύνολο δεν έχει αυστηρά καθορισμένα όρια. Η δομή ενός ασαφούς συνόλου επιτρέπει ένα φυσικό τρόπο επεξεργασίας δεδομένων σε προβλήματα των οποίων η πηγή της ανακρίβειας προέρχεται από την έλλειψη ευκρινώς καθορισμένων κανόνων για τη σχέση των μελών ενός συνόλου, προκειμένου να περιγραφούν οι αντίστοιχες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται (Zimmermann, 1988).

Ως ασαφές σύνολο νοείται ένα σύνολο με ασαφή όρια, όπου η μετάβαση των στοιχείων εντός και εκτός συνόλου, δεν είναι σαφώς καθορισμένη. Στην κλασική λογική, ένα στοιχείο x ανήκει ή δεν ανήκει σε κάποιο σύνολο M . Η χαρακτηριστική συνάρτηση στοιχείου ενός συνόλου παίρνει μόνο δύο τιμές: 1 όταν το x ανήκει πραγματικά στο M και 0 όταν το x δεν ανήκει στο M . Για παράδειγμα: κάποιο γεωμετρικό σχήμα ανήκει σε σύνολο τριγώνων ή δεν ανήκει σε αυτό. Αντίθετα, με ασαφή λογική, η κατάσταση είναι διαφορετική. Εδώ, το στοιχείο x ανήκει στο σύνολο A (όπου το A είναι ασαφές σύνολο) με τιμή συμμετοχής, επομένως η συνάρτηση συμμετοχής (membership function, MF) του στοιχείου x μπορεί να λάβει οποιοσδήποτε τιμές στο διάστημα $[0, 1]$ και όχι μόνο τις τιμές 0 ή 1.

Εάν X (universe of discourse) είναι το πεδίο ορισμού που καθορίζονται με τη μεταβλητή x , τότε ένα ασαφές σύνολο A στο X ορίζεται από ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών: $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$ όπου $\mu_A(x)$ είναι η συνάρτηση συμμετοχής για το σύνολο A , με την οποία σε σε κάθε στοιχείο του X προσδίδεται ο βαθμός ή τιμή συμμετοχής μεταξύ του 0 και του 1.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της Λογικής της Ασάφειας είναι η δυνατότητα ανάλυσης πολύπλοκων προβλημάτων και υποθέσεων. Η μέθοδος αυτή είναι κοντινότερη στην ανθρώπινη λογική, πράγμα που την καθιστά τόσο αναγκαία και αποτελεσματική στην επίλυση των σύγχρονων ζητημάτων.

3.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ

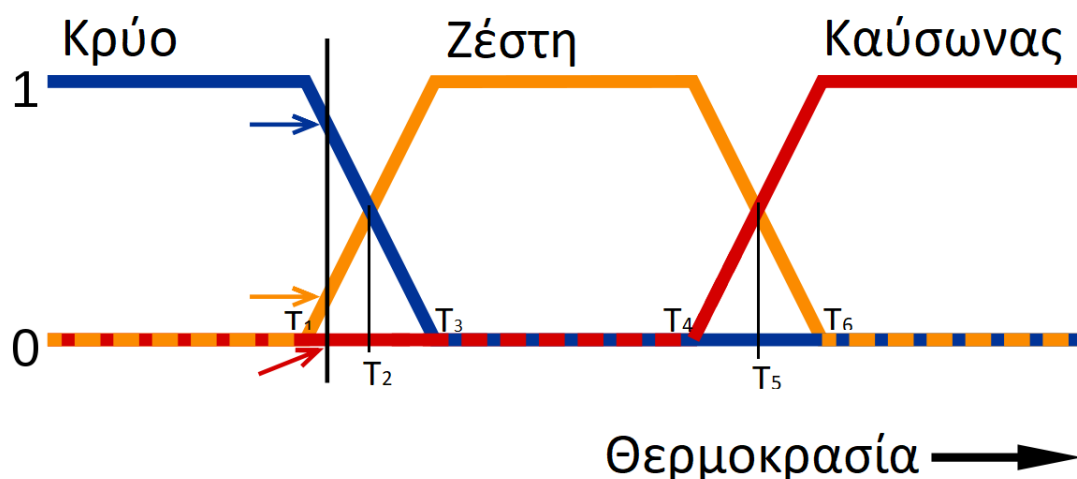
Ένα φαινόμενο ή μια κατάσταση μπορεί να περιγραφεί με την κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών της σε τάξεις. Η κατηγορία χρήσης γης, ο τύπος εδάφους ή βλάστησης είναι παραδείγματα τάξεων. Σε ασαφή σύνολα, η συμμετοχή είναι δυαδική και το φαινόμενο είτε ανήκει στην τάξη είτε όχι. Και ενώ τα όρια των τάξεων είναι σαφή, λόγω υποκειμενικότητας ή ασαφούς προσδιορισμού κανόνων ταξινόμησης των τάξεων, είναι δύσκολο να οριστούν επακριβώς.

Ανεξάρτητα από το πόσες τάξεις προστίθενται σε μια ανάλυση, πάντα υπάρχει μια γενικευμένη σχέση μεταξύ των τάξεων και της υπό μελέτη κατάστασης. Σε πολύπλοκες μελέτες είναι αδύνατη η αυστηρή οριοθέτηση των τάξεων ή η κατάταξη των φαινομένων σε ξεχωριστές τάξεις. Πολλές φορές τα όρια των τάξεων μεταβάλλονται με την μεταβολή του ορισμού του φαινομένου.

Ο ορισμός των τάξεων του φαινομένου υπαγορεύει τον τρόπο αναπαραγωγής του προσομοιωμένου φαινομένου. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων επιδεινώνει περαιτέρω το πρόβλημα ταξινόμησης. Εάν σε μια μέτρηση εμπεριέχεται σφάλμα, τότε αυτό μπορεί να αλλάξει την τάξη στην οποία ανήκει το φαινόμενο.

Η λογική της ασάφειας διαμορφώνει αυτήν την αβεβαιότητα κατά τη διαδικασία ταξινόμησης. Στην ασαφή λογική οι τάξεις ορίζονται ως σύνολα. Έτσι, ορίζεται μια συγκεκριμένη ιδανική τιμή για συμμετοχή σε ένα σύνολο. Καθώς οι τιμές απομακρύνονται από το ιδανικό, το επίπεδο σαφήνειας μειώνεται σε ένα ορισμένο σημείο όπου είναι σαφές ότι η τιμή δεν είναι μέλος του συνόλου (πηγή: www.desktop.arcgis.com/en/).

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1, υπάρχουν 3 τάξεις θερμοκρασιών κάποιου φαινομένου. Στο διάγραμμα διακρίνεται, ότι οι θερμοκρασίες μικρότερες της T_1 ανήκουν στην κατηγορία «Κρύο», οι θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ τιμών T_3 και T_4 ορίζουν την τάξη «Ζέστη», και, τέλος οι τιμές των θερμοκρασιών άνω της T_6 ορίζονται ως «Καύσωνας». Αυτή η κατηγοριοποίηση προκύπτει μέσω των τιμών της συνάρτησης συμμετοχής, καθώς σε αυτές τις θερμοκρασίες έχει την τιμή 1. Επομένως, οι τιμές εντάσσονται πλήρως στις κατηγορίες όπως προαναφέρθηκαν. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι το εύρος τιμών $[T_1, T_2]$ πιθανότερα να χαρακτηριστεί ως «Κρύο», ενώ οι θερμοκρασίες που ανήκουν στο διάστημα $[T_2, T_3]$ μπορεί να ενταχθούν ως «Κρύο», αλλά έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να χαρακτηριστούν ως «Ζέστη». Με την ίδια λογική, οι τιμές του διαστήματος $[T_4, T_5]$ έχουν περισσότερες πιθανότητες να χαρακτηριστούν ως «Ζέστη» παρά ως «Καύσωνας», ενώ το διάστημα $[T_5, T_6]$ πιθανόν να ανήκει στην τάξη «Ζέστη», περισσότερο πιθανόν όμως είναι να κατηγοριοποιηθούν ως «Καύσωνας».



(Εικόνα 3.1, Παράδειγμα της εφαρμογής Ασαφούς Λογικής)

3.5 FUZZY MEMBERSHIP

Το εργαλείο Fuzzy Membership είναι μια συνάρτηση, που μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου αποδίδοντας τις τιμές τους σε κλίμακα από 0 έως 1 με βάση την ικανότητα να είναι μέλος ενός δεδομένου συνόλου. Το 0 αντιστοιχεί σε εκείνα τα κελιά που σίγουρα δεν ανήκουν στο σύνολο, ενώ το 1 σε κελιά που είναι μέλη ενός συγκεκριμένου συνόλου. Αντίστοιχα, ολόκληρο το εύρος πιθανοτήτων από το 0 έως το 1 καταχωρείται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο συμμετοχής (όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα).

Έστω ένα σύνολο αναφοράς X , αποτελούμενο από m στοιχεία, δηλ. $X = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m\}$. Ένα υποσύνολο A του X , που αποτελείται από εκείνα τα στοιχεία του X , που ορίζονται μέσω της χαρακτηριστικής συνάρτησης $I_A : X \rightarrow \{0,1\}$, δηλαδή το σύνολο A ορίζεται ως εξής:

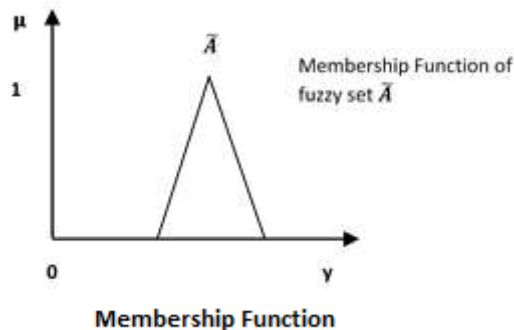
$$I_A(\chi) = \begin{cases} 1, & \text{για } \chi \in A \\ 0, & \text{για } \chi \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Αυτή η προσέγγιση περιγράφει την δίτιμη λογική, με σαφή όρια στην κατάταξη των τιμών του συνόλου. Έτσι, ο ορισμός του συνόλου πρέπει να επεκταθεί σε ασαφές σύνολο (fuzzy set). Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να κατασκευαστεί ένα σύνολο, όπου η μετάβαση των στοιχείων του X ανάμεσα στην τιμή 0, για στοιχεία που δεν ανήκουν στο σύνολο A , και στην τιμή 1, για στοιχεία που ανήκουν στο σύνολο A , δεν είναι σαφής αλλά βαθμιαία ασαφής.

Επομένως, σύμφωνα με την ασαφή θεωρία συνόλων, είναι ένα σύνολο του υπερσυνόλου αναφοράς X . Και ορίζεται ως εξής από την συνάρτηση συμμετοχής μ_A :

$$\mu_A(\chi) : \chi \in X \rightarrow \mu_A(\chi) \in [0,1] \quad (2)$$

Το πεδίο ορισμού X της συνάρτησης $\mu_A(\chi)$ καλείται υπερσύνολο αναφοράς ασαφούς συνόλου \tilde{A} . Ο αριθμός $\mu_A(\chi) \in [0,1]$, δηλώνει τον βαθμό συμμετοχής σύμφωνα με τον οποίον ένα στοιχείο χ ανήκει στο ασαφές σύνολο \tilde{A} του υπερσυνόλου αναφοράς X . Δηλαδή, εάν $\mu_{\tilde{A}}(\chi) = 1$, τότε το στοιχείο χ σαφώς ανήκει στο σύνολο \tilde{A} . Εάν $\mu_{\tilde{A}}(\chi) = 0$, τότε το στοιχείο χ δεν ανήκει στο σύνολο \tilde{A} . Ενώ εάν ισχύει $0 < \mu_{\tilde{A}}(\chi) < 1$, αυτό σημαίνει ότι το στοιχείο χ ανήκει σε κάποιο βαθμό στο σύνολο \tilde{A} (διάγραμμα 3.2).



(Διάγραμμα 3.2, Τριγωνική συνάρτηση Ασαφούς Λογικής)

Κάθε συνάρτηση μέλους ποικίλλει σε εξίσωση και εφαρμογή. Η επιλογή της συνάρτησης εξαρτάται από το ποια καλύπτει με βέλτιστο τρόπο τον μετασχηματισμό των δεδομένων για το προσομοιωμένο φαινόμενο.

3.6 ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗΣ, FAZZIFICATION ALGORITHMS

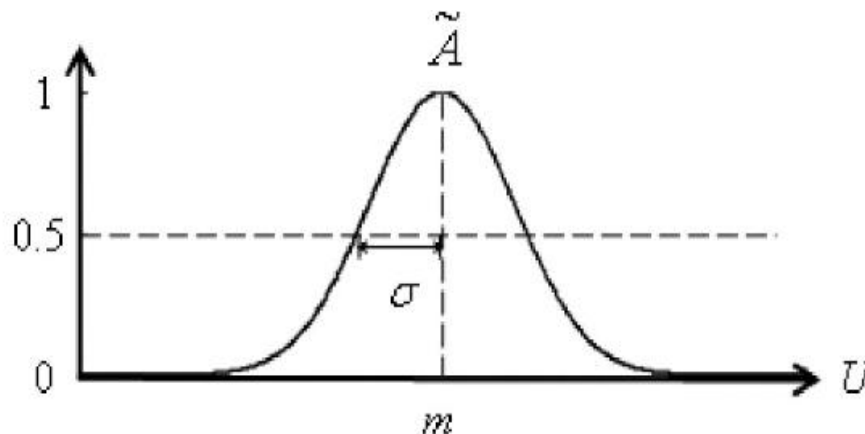
3.6.1 FUZZY GAUSSIAN

Η συνάρτηση Fuzzy Gaussian μετατρέπει τα δεδομένα εισαγωγής σε κανονική ή γκαουσιανή κατανομή. Το κέντρο συμμετρίας της κανονικής κατανομής ορίζει την ιδανική τιμή για τα στοιχεία που ανήκουν στο ασαφές σύνολο, δηλ. έχουν τιμή 1. Οι τιμές εισόδου μειώνονται όσο απομακρύνονται από τη μέση τιμή προς τις θετικές και αρνητικές κατευθύνσεις. Οι τιμές εισόδου στο σύνολο μειώνονται καθώς απομακρύνονται από το κέντρο συμμετρίας μέχρι να φτάσουν πολύ μακριά από τον ιδανικό ορισμό και με πλήρη βεβαιότητα δεν θα βρίσκονται στο σύνολο, τότε τους αποδίδεται η τιμή 0 (διάγραμμα 3.3).

Η συνάρτηση έχει τη μορφή

$$\mu(x) = e^{-s(x-m)^2} \quad (3),$$

όπου s η διασπορά των τιμών, και m είναι το μεσαίο σημείο όπου ισχύει $\mu(x) = 0.5$ (Tsoukalas and Uhrig, 1997).



(Διάγραμμα 3.3, Γραφική παράσταση συνάρτησης Fuzzy Gaussian)

Η συνάρτηση Fuzzy Gaussian χρησιμοποιείται συνήθως όταν είναι αναμενόμενο οι τιμές των στοιχείων του συνόλου να βρίσκονται κοντά στο σημείο συμμετρίας της κατανομής.

3.6.2 FUZZY NEAR

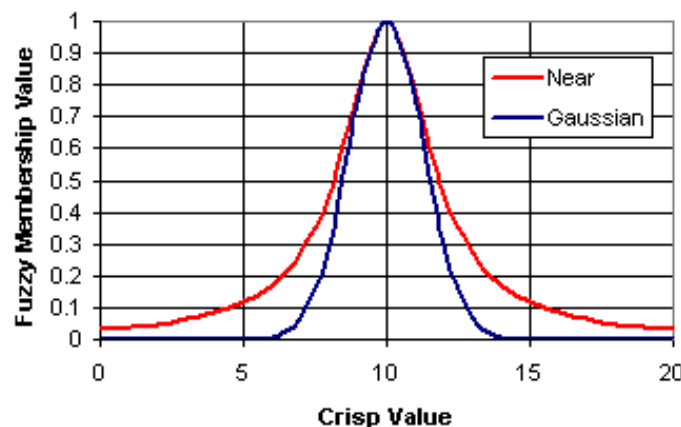
Η συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy Near χρησιμοποιείται εάν η ιδιότητα μέλους καθορίζεται από την εγγύτητα σε μια καθορισμένη τιμή. Η συνάρτηση καθορίζεται από το κεντρικό σημείο, το οποίο ορίζει το κέντρο του συνόλου, προσδιορίζει την ιδιότητα μέλους στο σύνολο, στο οποίο εκχωρείται η τιμή 1. Καθώς οι τιμές μετακινούνται μακριά από το κεντρικό σημείο προς τις θετικές και αρνητικές κατευθύνσεις, η ιδιότητα μέλους μειώνεται έως ότου φτάσει στο 0, που σημαίνει ότι δεν είναι μέλος.

Το Fuzzy Near και το Fuzzy Gaussian μπορεί να είναι παρόμοια, ανάλογα με τις δεδομένες παραμέτρους. Η συνάρτηση Fuzzy Near, κατά κανόνα, μειώνεται πιο γρήγορα, με στενότερη κατανομή από τη συνάρτηση Fuzzy Gaussian (λόγω της τιμής διασποράς, ήτοι spread), και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται όταν οι τιμές που βρίσκονται κοντά στο κεντρικό σημείο, με μεγάλη πιθανότητα, ανήκουν στο σύνολο (διάγραμμα 3.4).

Η συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy Near περιγράφεται από την παρακάτω σχέση :

$$\mu(\chi) = \frac{1}{1+s(x-m)^2} \quad (4),$$

όπου s η διασπορά των τιμών, m το μεσαίο σημείο, και χ η τιμή του παράγοντα.



(Διάγραμμα 3.4, Γραφική παράσταση συνάρτησης Fuzzy Near)

3.6.3 FUZZY LARGE ΚΑΙ FUZZY MS LARGE

Η συνάρτηση Fuzzy Large χρησιμοποιείται εάν οι μεγάλες τιμές εισόδου είναι πιθανό να είναι μέλος του συνόλου. Ένα καθορισμένο μεσαίο σημείο ορίζει το σημείο τομής (0.5), όπου οι τιμές πάνω από το μεσαίο σημείο υποδεικνύουν υψηλότερη

πιθανότητα να ανήκουν στο σύνολο τιμών και οι τιμές κάτω από το μεσαίο σημείο υποδηλώνουν χαμηλή πιθανότητα να ανήκουν στο σύνολο (διάγραμμα 3.5).

Αντίστοιχα η Fuzzy MS Large είναι μια συνάρτηση Fuzzy Large, εκτός του ότι ο ορισμός της συνάρτησης βασίζεται σε μια δεδομένη μέση τιμή και τυπική απόκλιση.

Η Fuzzy Large έχει τη μορφή :

$$\mu(\chi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{m}\right)^{-s}} \quad (5),$$

όπου s η διασπορά των τιμών, m το μεσαίο σημείο, και χ η τιμή του παράγοντα.

Η χρήση Fuzzy Large συνίσταται όταν πρέπει να προσομοιωθούν μεγάλες τιμές, ενώ η Fuzzy MS Large για πολύ μεγάλες τιμές. Η λειτουργία των εν λόγω συναρτήσεων είναι να προσομοιώνει τις μεγάλες τιμές εισόδου ως τιμές που ανήκουν στο σύνολο, ενώ τις μικρές τιμές εισόδου ως εκείνες που είναι εκτός συνόλου, δηλ. τείνουν στην τιμή 0.

Η Fuzzy MS Large συνάρτηση μετασχηματισμού ορίζεται ως :

$$\mu(\chi) = \begin{cases} 1 - \frac{s}{x-m+s}, & x > m \\ 0 & \end{cases} \quad (6),$$

όπου m η μέση τιμή, s η τυπική απόκλιση (*X. Luo, R. Dimitrakopoulos/Computers & Geosciences 29 (2003) 3–13*).

3.6.4 FUZZY SMALL ΚΑΙ FUZZY MS SMALL

Η λειτουργία μετασχηματισμού Fuzzy Small χρησιμοποιείται εάν μικρότερες τιμές εισόδου είναι πιθανό να ανήκουν στο σύνολο. Το δεδομένο κεντρικό σημείο καθορίζει το μεσαίο σημείο (0.5), ενώ οι τιμές μεγαλύτερες από το κεντρικό σημείο έχουν λιγότερες πιθανότητες να γίνουν μέλη του συνόλου και οι τιμές μικρότερες από το κεντρικό σημείο έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα συμμετοχής (διάγραμμα 3.5).

Αντίστοιχα, η συνάρτηση μετασχηματισμού Fuzzy MS Small λειτουργεί όπως η Fuzzy Small, εξαιρώντας τον ορισμό της λειτουργίας, ο οποίος καθορίζεται βάσει της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης.

Η Fuzzy Small έχει τη μορφή

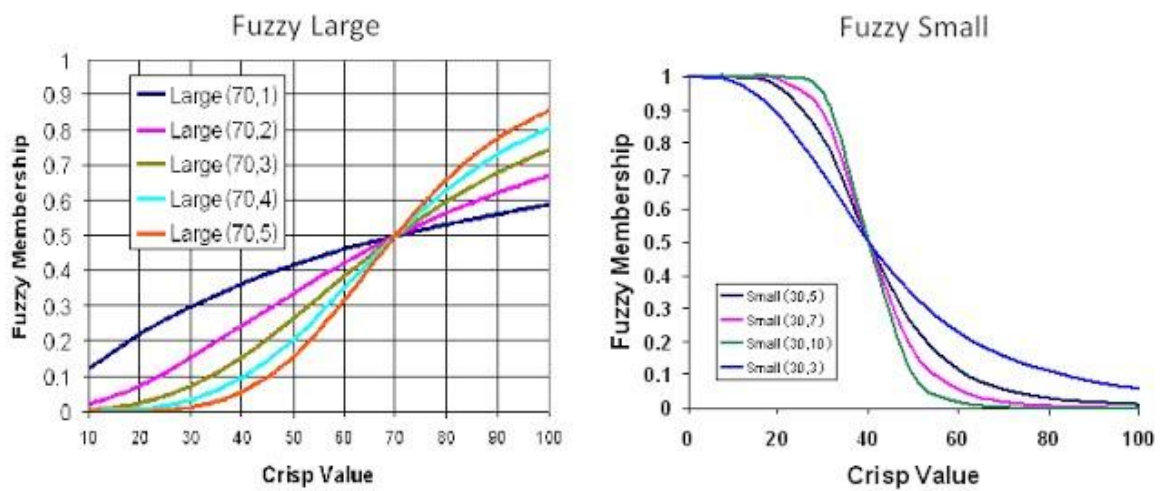
$$\mu(\chi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{m}\right)^s} \quad (7),$$

όπου s η διασπορά των τιμών, m το μεσαίο σημείο, και χ η τιμή του παράγοντα.

Η Fuzzy MS Small συνάρτηση είναι (X. Luo, R. Dimitrakopoulos/Computers & Geosciences 29 (2003) 3–13) :

$$\mu(\chi) = \begin{cases} \frac{bs}{x-am+bs} & \text{για } x > am \\ 0 & \end{cases} \quad (8),$$

όπου m η μέση τιμή, s η τυπική απόκλιση, a ο συντελεστής της μέσης τιμής, b ο συντελεστής της τυπικής απόκλισης.



(Διάγραμμα 3.5, Γραφική παράσταση συναρτήσεων Fuzzy Large & Fuzzy Small)

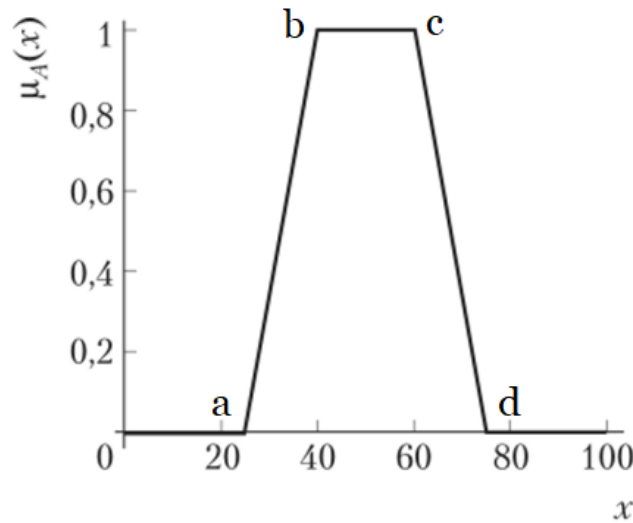
3.6.5 FUZZY LINEAR

Η συνάρτηση Fuzzy Linear εφαρμόζει γραμμική συνάρτηση μεταξύ των ελάχιστων και των μέγιστων τιμών που ορίζονται από το χρήστη. Μικρότερες από το ελάχιστο τιμές θα καταχωρηθούν με την τιμή 0 (σίγουρα δεν ανήκει), ενώ οι τιμές μεγαλύτερες από το μέγιστο καταχωρούνται με την τιμή 1 (ανήκει ακριβώς). Εάν το ελάχιστο είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο, δημιουργείται μια αρνητική γραμμική σχέση (αρνητική κλίση) (διάγραμμα 3.6).

Όταν η κλίση της συνάρτησης είναι θετική, ισχύει η συνάρτηση :

$$\mu(\chi) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a} & , \text{ για } a \leq x \leq b, \\ 1 & , \text{ για } b \leq x \leq c \end{cases} \quad (9),$$

όπου a είναι η ελάχιστη και b η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει το x στο διάστημα αυτό.



(Διάγραμμα 3.6, Γραφική παράσταση συνάρτησης Fuzzy Linear)

Όταν η κλίση της συνάρτησης είναι αρνητική, τότε διαμορφώνεται ως εξής :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x-c}{d-c}, & \text{για } c \leq x \leq d \\ 0, & x \notin [a; d] \end{cases} \quad (10),$$

όπου c είναι η ελάχιστη, d η μέγιστη τιμή που λαμβάνει το x σε αυτήν την συνάρτηση.

3.7 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (AHP)

Πολυκριτήρια ανάλυση ορίζεται ένα σύνολο μεθόδων που βοηθούν στην σύνθεση πολλών κριτηρίων εκτίμησης, ούτως ώστε να καθιστά δυνατή την επιλογή, κατάταξη, ταξινόμηση και περιγραφή ενός συνόλου εναλλακτικών ενεργειών. Βασικός στόχος της ανάλυσης είναι, ο αποφασίζων να συγκεντρώσει τα εργαλεία που θα τον βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων. Ο αποφασίζων πρέπει μέσω των υποβοηθούμενων εργαλείων να εξετάσει έναν αριθμό πολλαπλών και συνάμα αντικρουόμενων κριτηρίων (Zorounidis, 1999).

Η πολυπλοκότητα των ζητημάτων στη σύγχρονη κοινωνία αποτελεί μείζον θέμα για την επίλυσή τους. Έτσι, αναδείχθηκε μια μέθοδος για τη λήψη βέλτιστης απόφασης, καθώς ο αριθμός των παραγόντων που λαμβάνονται υπόψιν συνεχώς αυξάνεται. Η

διαδικασία αυτή ονομάζεται Λήψη πολύ-κριτήριων αποφάσεων, για την οποία επινοήθηκε τη δεκαετία 1970 η μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας ή AHP, από τον Saaty (*Thomas L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation", 1980*). Η μέθοδος AHP εφαρμόζεται ευρέως σήμερα λόγω κυρίως της απλότητάς της. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα αναλύεται σε βάθος μέσω της διαδικασίας σύγκρισης των παραγόντων και απλοποιείται με την ιεραρχική δομή με την οποία κατατάσσονται οι παράγοντες κατόπιν αναλύσεως.

3.8 ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ AHP

Η μέθοδος AHP βασίζεται σε τρία βασικά στάδια: αποσύνθεση, σχετικές συγκρίσεις και σύνθεση των προτεραιοτήτων (*Saaty, 1986*). Καταρχάς το πρόβλημα αναλύεται σε επιμέρους τμήματα, όπου στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η δυαδική σύγκριση των παραγόντων, ώστε να αποδοθεί ο βαθμός σημαντικότητας.

Η μεθοδολογία ακολουθεί τα εξής βήματα για την Λήψη Πολύ-κριτήριας Απόφασης:

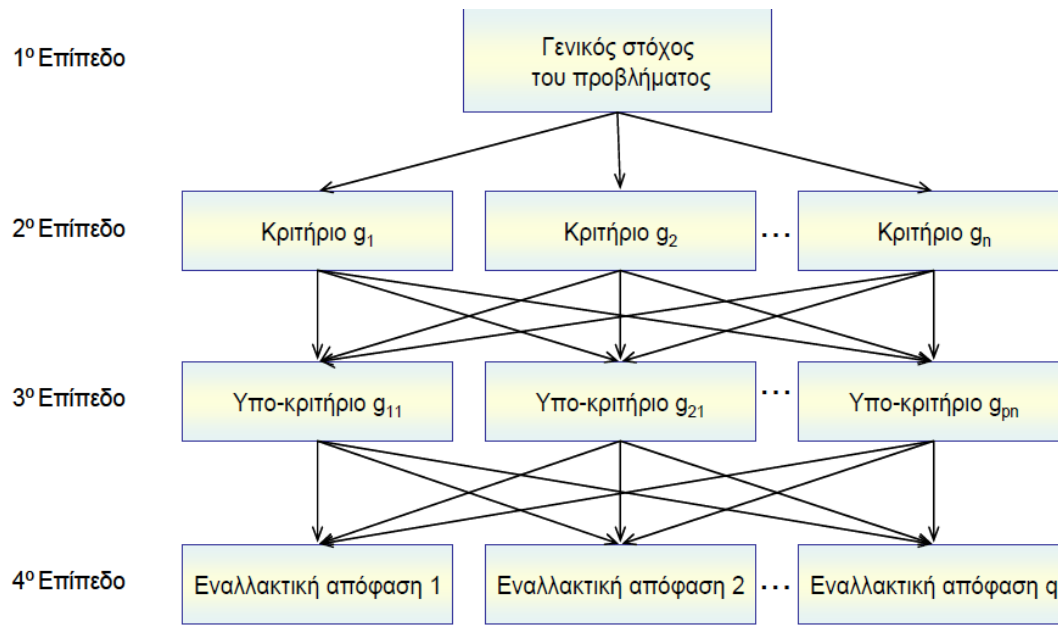
- **Αποσύνθεση** : για να επιλυθεί το πρόβλημα αρχικά κατασκευάζεται μια ιεραρχία. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποσύνθεση του προβλήματος σε επίπεδα, που περιέχουν τα επιμέρους στοιχεία του ζητήματος, δημιουργώντας μορφή δέντρου. Στη βάση του βρίσκεται ο Στόχος της εφαρμογής μεθοδολογίας. Στο αμέσως επόμενο επίπεδο αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν πρωτίστως την λήψη απόφασης, μετέπειτα κατατάσσονται οι αβεβαιότητες και άλλα στοιχεία που επιδρούν στους παράγοντες του προηγούμενου επιπέδου, κ.ο.κ. Με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα αναλύεται σε επίπεδα, με κέντρο βάρους τη βάση του δέντρου, ενώ στο τελευταίο επίπεδό του τοποθετούνται οι εναλλακτικές λύσεις.
- **Συγκρίσεις κατά ζεύγη** : οι συγκρίσεις που πραγματοποιούνται ανάμεσα στα κριτήρια και στα υποκριτήρια που ορίζονται κατά την αποσύνθεση, ποσοτικοποιούν τη σημαντικότητα του έκαστου στοιχείου στη διαδικασία λήψης της απόφασης. Ως αποτέλεσμα των συγκρίσεων έχουμε τη δημιουργία του πίνακα προτιμήσεων, όπου υπολογίζονται οι σχετικοί βαθμοί βαρύτητας των κριτηρίων, των υποκριτηρίων αλλά και των εναλλακτικών λύσεων.
- **Σύνθεση των προτεραιοτήτων** : τα βάρη που υπολογίζονται στους πίνακες προτιμήσεων αναδεικνύουν την κλιμακωτή δόμηση των προτεραιοτήτων, αποτέλεσμα των οποίων είναι η κατασκευή της ιεραρχίας.

Συνεπώς, για να προβεί κανείς στην επίλυση ενός πολυκριτηριακού προβλήματος, πρέπει αρχικά να σχεδιάσει και να αναλύει τις συνιστώσες του, ώστε να βρεθεί ο βαθμός με τον οποίον η καθεμία επιδρά στο αποτέλεσμα.

3.8.1 ΙΕΡΑΡΧΙΑ

Ο γενικός στόχος της ιεραρχίας είναι η εξαγωγή πληροφορίας και γνώσης στα υψηλότερα επίπεδα μέσω των αλληλοεπιδράσεων μεταξύ των επιπέδων, και όχι απευθείας από τα στοιχεία των επιπέδων αυτών. Η ιεραρχία είναι ένα είδος

συστήματος που βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία κάθε επιπέδου είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και μπορούν ομαδικά να επηρεάζουν ένα μόνο επίπεδο και, αντίστοιχα, να επηρεάζονται από ένα μόνο σύνολο στοιχείων κάποιου άλλου επιπέδου. Η σωστή κατάταξη των στοιχείων στα επίπεδα είναι απαραίτητη για να έχει νόημα η σύγκριση κατά ζεύγη των στοιχείων του ίδιου επιπέδου ακολουθεί (Saaty, 1990).



(Διάγραμμα 3.7, Ιεραρχία των επιπέδων και ροή συγκρίσεων)

(πηγή : Γ. Ναθαναήλ, «Διαδικασία πολυκριτήριας ανάλυσης. Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος», 2016)

Τα πλεονεκτήματα των ιεραρχιών είναι τα παρακάτω (Saaty, 1980) :

- Η AHP αναπαριστά με βέλτιστο τρόπο το βαθμό που επηρεάζονται οι προτεραιότητες των χαμηλών επιπέδων από τις μεταβολές των προτεραιοτήτων των υψηλών επιπέδων.
- Παρέχει πλήρη εικόνα για την λειτουργία ενός συστήματος στα χαμηλά επίπεδα και αναπαριστά την δομή του με αναλυτικό τρόπο ξεχωρίζοντας τους περιορισμούς των επιπέδων.
- Τα συστήματα που αναλύονται σε επιμέρους και λαμβάνουν υπόψη την σχέση μεταξύ των οντοτήτων τους, εξελίσσονται αποτελεσματικότερα από τα συστήματα που συντίθεται σαν σύνολο.
- Οι ιεραρχίες είναι συστήματα με σταθερή δομή και ταυτόχρονα είναι ευέλικτα. Σταθερά γιατί οι μικρές αλλαγές επιδρούν ελάχιστα και ευέλικτα γιατί οι προσθήκες δεν διαταράσσουν την απόδοση τους ως σύστημα.

3.8.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Οι συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων ή υποκριτηρίων πραγματοποιούνται αμέσως μετά την κατασκευή ιεραρχίας και αποσκοπούν στην διεξαγωγή ενός μετρήσιμου αποτελέσματος για τη σύνθεση των προτεραιοτήτων του επόμενου βήματος.

Οι δυαδικές συγκρίσεις γίνονται από τον αποφασίζοντα κατά τη διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων ενός επιπέδου, και εκφράζουν τις προτιμήσεις. Η ορθή διαδικασία σύγκρισης λαμβάνει υπόψη πάντα τα στοιχεία του προηγούμενου επιπέδου, και τερματίζεται όταν πλέον έχουν συγκριθεί οι εναλλακτικές ενέργειες του χαμηλότερου επιπέδου με τα στοιχεία του ακριβώς από πάνω επιπέδου. Οι συγκρίσεις είναι σχετικές και δεν αντιπροσωπεύονται από καμία θεμελιώδη κλίμακα, ενώ παράλληλα μέσω αυτών είναι δυνατή η δημιουργία της κλίμακας που αντιστοιχεί στις σχετικές τιμές των προτεραιοτήτων, την κλίμακα του Saaty (1997).

Στον ενδεικτικό πίνακα 2 απεικονίζονται οι σχετικές συγκρίσεις των κριτηρίων κατά ζεύγη. Αρχικά συγκρίνονται οι εναλλακτικές των κατώτερων επιπέδων με γνώμονα την βέλτιστη ικανοποίηση των υποκριτηρίων των ανωτέρων επιπέδων. Στη συνέχεια, συγκρίνονται ανά δύο τα υποκριτήρια ως προς την καλύτερη ικανοποίηση των κριτηρίων από τα οποία πηγάζουν. Τέλος, συγκρίνονται ανά δύο τα κριτήρια ως προς την βέλτιστη ικανοποίηση του στόχου της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.

$i \downarrow / j \rightarrow$	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_{32}	α_{33}

(Πίνακας 2, Συγκρίσεις της AHP, πίνακας Saaty)

Η γενικευμένη μορφή του πίνακα Saaty απεικονίζεται παραπάνω (πίνακας 2). Η τυπική ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί για τη συμπλήρωση του πίνακα, είναι ποιο από τα κριτήρια i, j είναι σημαντικότερο για την επίτευξη του στόχου, και πόσο σημαντικότερο είναι (Saaty, 1977). Τα στοιχεία α_{ij} εκφράζουν την προτίμηση του κριτηρίου i έναντι του κριτηρίου j , δηλαδή πόσο πιο σημαντικό είναι το ένα από το άλλο κριτήριο.

Η σύγκριση του κριτηρίου με τον εαυτό του αποδίδει μονάδα, ισχύει δηλαδή $\alpha_{ii} = 1$. Επίσης, εάν i κριτήριο είναι σημαντικότερο από το j κριτήριο, προκύπτει $\alpha_{ij} > 1$, σε αντίθετη περίπτωση ισχύει $\alpha_{ij} < 1$. Τέλος, για κάθε $i \neq j$ ισχύει $\alpha_{ij} = \frac{1}{\alpha_{ji}}$ (πίνακας 3).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

(Πίνακας 3, Πίνακας συγκρίσεων Saaty)

3.8.2.1 Η ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ SAATY

Η επινόηση μιας κλίμακας απόλυτων αριθμών, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε πολυκριτηριακό πρόβλημα λήψης αποφάσεων, καθιστά ευκολότερη τη μέτρηση των σχετικών συγκρίσεων και εξασφαλίζει την ορθή διεξαγωγή προτεραιοτήτων. Πρόκειται για την λεγόμενη κλίμακα του Saaty (Fundamentals scale of absolute Number, 1997), που αποτελεί ουσιαστικά ένα σύστημα διακριτών αξιών, από το 1 έως το 9. Έτσι, εκφράζεται η ισοδυναμία των προτιμήσεων: η ασθενής προτίμηση, η ισχυρή προτίμηση, η απόλυτη προτίμηση και οι ενδιάμεσες καταστάσεις όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

<u>Λεκτικός Προσδιορισμός σύγκρισης</u>	<u>Αριθμητική κλίμακα</u>
Απόλυτα προτιμητέο	9
Ισχυρά - απόλυτα προτιμητέο	8
Ισχυρά προτιμητέο	7
Μέτρια - ισχυρά προτιμητέο	6
Μέτρια προτιμητέο	5
Ελαφρά - μέτρια προτιμητέο	4
Ελαφρά προτιμητέο	3
Εξ' ίσου - ελαφρά προτιμητέο	2
Εξ' ίσου προτιμητέο	1

(Πίνακας 4, Κλίμακα Saaty)

3.8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ

Ο υπολογισμός των προτεραιοτήτων είναι καθαρά υπολογιστικό στάδιο και αφορά την εκτίμηση των σχετικών προτεραιοτήτων w (ή σχετικών βαρών) για κάθε κόμβο της ιεραρχίας σε σχέση με το γονικό στοιχείο. Τα βάρη αυτά υπολογίζονται βάσει προτιμήσεων του αποφασίζοντα, όπως διατυπώνονται στον πίνακα προτιμήσεων. Γενικά, ισχύει ότι τα σχετικά βάρη w_i υποδεικνύουν το σχετικό βάρος του κριτηρίου i στην επίτευξη στόχου, δηλαδή στην ικανοποίηση του γονικού του στοιχείου.

Το σκεπτικό που χρησιμοποιήθηκε από τον Saaty (1980) για τον υπολογισμό των σχετικών βαρών από τον πίνακα των δυαδικών συγκρίσεων είναι το εξής: έστω ο αποφασίζων γνωρίζει τα σχετικά βάρη w_1, w_2, \dots, w_n των κόμβων A_1, A_2, \dots, A_n εκ των προτέρων. Επομένως, ο πίνακας των κατά ζεύγη συγκρίσεων και των αντίστοιχων σχετικών βαρών θα είχε την μορφή, όπως απεικονίζεται (πίνακας 5) :

Γ.Σ.	1	2	...	I	Βάρη
1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_i	w_1
2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_i	w_2
...
i	w_i/w_1	w_i/w_2	...	w_i/w_i	w_i

(Πίνακας 5, Υπολογισμός των σχετικών βαρών)

Για έναν τέτοιο πίνακα, έστω A , ισχύει η σχέση $Aw = nw$, όπου το w είναι το διάνυσμα των πραγματικών σχετικών βαρών, και n ο αριθμός των συγκρινόμενων στοιχείων, ο οποίος αποτελεί και τη διάσταση του πίνακα.

Η Γραμμική Άλγεβρα ορίζει τα n και w ως τη μέγιστη ιδιοτιμή και το ιδιοδιάνυσμα του πίνακα A , αντίστοιχα (Saaty, 1980).

Η επαλήθευση των υπολογισμών των συντελεστών βαρύτητας γίνεται με τον υπολογισμό της συνέπειας, της σχέσης δηλαδή που έχουν τα βάρη. Ένας πίνακας $A=(a_{ij})$, όπου $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ για κάθε $i, j = 1, \dots, n$, θεωρείται συνεπής, όταν ισχύει $a_{ik} = a_{jk} \times a_{ij}$ για κάθε $i, j, k = 1, \dots, n$.

Ο δείκτης συνέπειας (*Consistency Index, CI, Saaty, 1980*) ορίζεται από τον τύπο :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11),$$

όπου λ_{max} η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα A , αποτελεί μια εκτίμηση διάστασης του A , δηλ. του n , του πλήθους των συγκρινόμενων στοιχείων.

Ο λόγος συνέπειας CR (*Consistency Ratio, CR*) υπολογίζεται από τη σχέση :

$$CR = \left(\frac{CI}{RCI} \right) \times 100 \quad (12),$$

όπου RCI (*Random Consistency Index*) είναι η μέση τιμή των δεικτών συνέπειας από τυχαίους πίνακες \tilde{A} διαφόρων διαστάσεων, που ακολουθούν την κλίμακα 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9 (πίνακας 6).

Average random consistency index (Saaty and Vargas, 2000).

	<i>n</i>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>RI</i>	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40

(Πίνακας 6, Τιμές δείκτη RCI)

Η εκτίμηση του w γίνεται αποδεκτή εάν $CR < 0.10$, και παρουσιάζει ικανοποιητικό επίπεδο συνέπειας. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν $CR \geq 0.10$, η συνέπεια χρήζει διόρθωσης, και η εκτίμηση του w δεν γίνεται αποδεκτή.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία. Εντούτοις, οι όροι και τα κριτήρια καταλληλότητας και επιλογής θέσεων έχουν θεσπιστεί από την από την νομοθεσία. Έτσι, οι υποψήφιοι χώροι πρέπει να εντάσσονται στο νομικό αυτό πλαίσιο και να πληρούν κάποιες βασικές προδιαγραφές καταλληλότητας.

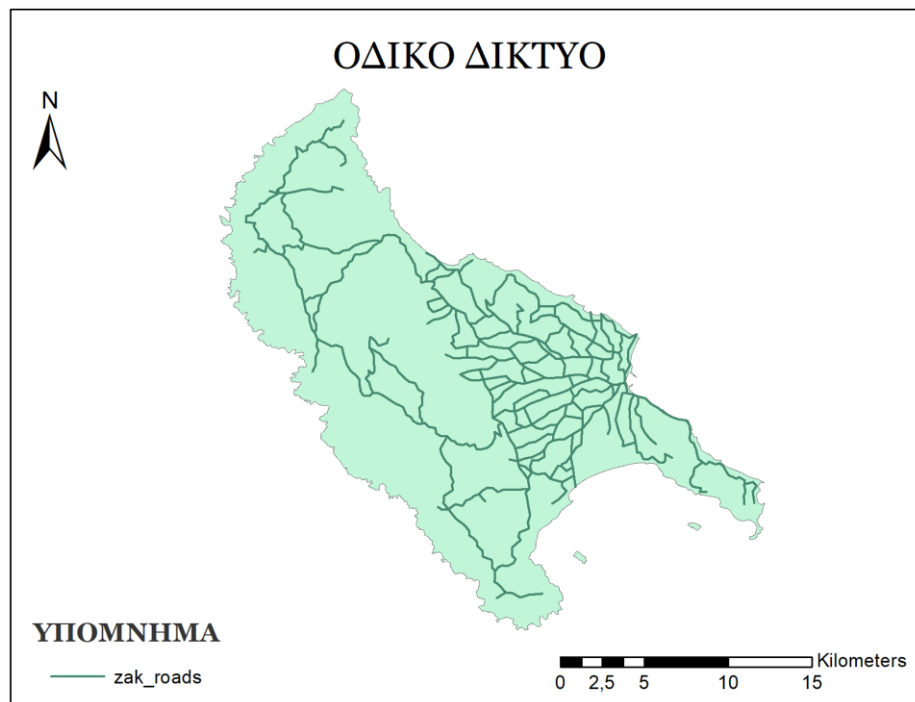
Σε αυτήν τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεκαέξι (16) κριτήρια (πίνακας 7), τα οποία ομαδοποιούνται ως εξής :

- **Χωροταξικά-Λειτουργικά** : κριτήρια που εξετάζουν την ευκολία πρόσβασης στο Φ/Β πάρκο, τη δυνατότητα συντήρησής του, την ύπαρξη των γειτονικών περιοριστικών στοιχείων (π.χ. λίμνες, καλλιέργειες) και γειτνίαση με ευνοϊκούς παράγοντες (λ.χ. ποτάμια, νερό των οποίων μπορεί να χρησιμοποιείται κατά την συντήρηση των πάνελ).
- **Γεωλογικά-Μορφολογικά** : τα κριτήρια που διέπονται από μορφολογία, τεκτονική της περιοχής (π.χ. πιθανά και ενεργά ρήγματα), ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους.
- **Περιβαλλοντικά** : προστατευόμενες περιοχές NATURA 2000, RAMSAR κ.ά., όπου η επίδραση της κατασκευής στο περιβάλλον αποτελεί μείζον κριτήριο.

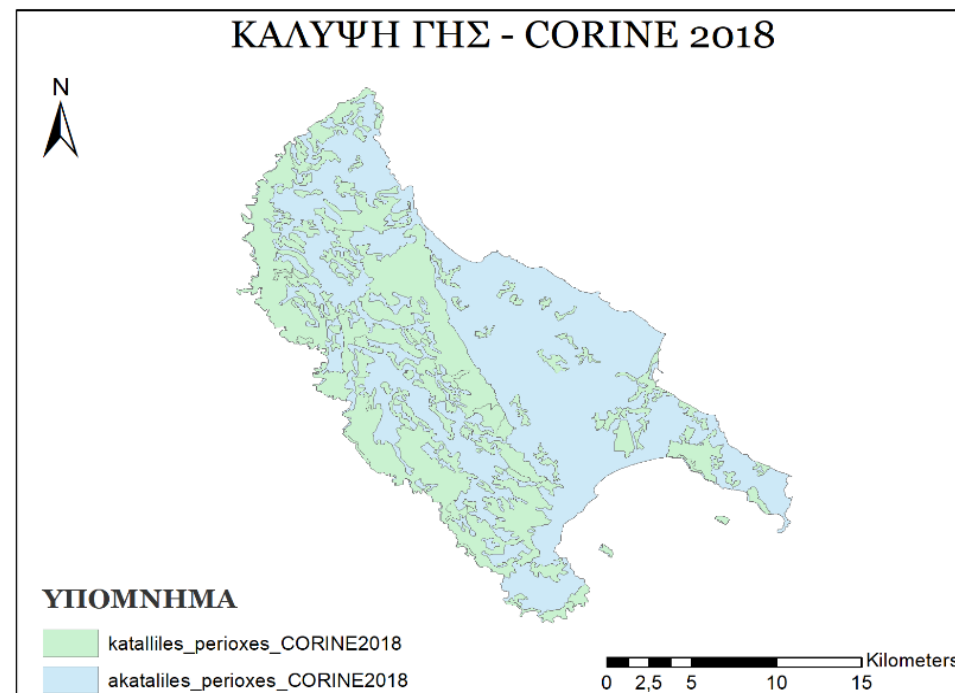
Κριτήρια		Ζώνη Αποκλεισμού -Απόσταση (m)
Χάρτης	Χωροταξικά-Λειτουργικά	
4.1	Οδικό Δίκτυο	100 m
4.2	Δίκτυο Μέσης Τάσης	100 m
4.3	Δίκτυο Υψηλής Τάσης	1000 m
4.4	Οικισμοί άνω των 2000 κατ.	500 m
4.5	Οικισμοί κάτω των 2000 κατ.	250 m
4.6	Αεροδρόμιο	200 m
4.7	Αξιοθέατα-Μνημεία	500 m
4.8	Υφιστάμενες ΑΠΕ	1500 m
4.9	Ακτογραμμή	300 m
4.10	Χρήσεις γης	Εξολοκλήρου αποκλεισμός
	Γεωλογικά-Μορφολογικά	
4.11	Κλίσεις εδάφους	> 10 ⁰
4.12	Ποτάμια	150 m
4.13	Ρήγματα	500 m
4.14	Πιθανά Ρήγματα	250 m
	Περιβαλλοντικά	
4.15	Δίκτυο NATURA 2000	200 m
4.16	Καταφύγιο Άγριας Ζωής Βραχίονα	200 m

(Πίνακας 7, Κατανομή κριτηρίων)

4.1.1 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ-ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ



(Χάρτης 1, Οδικό δίκτυο)



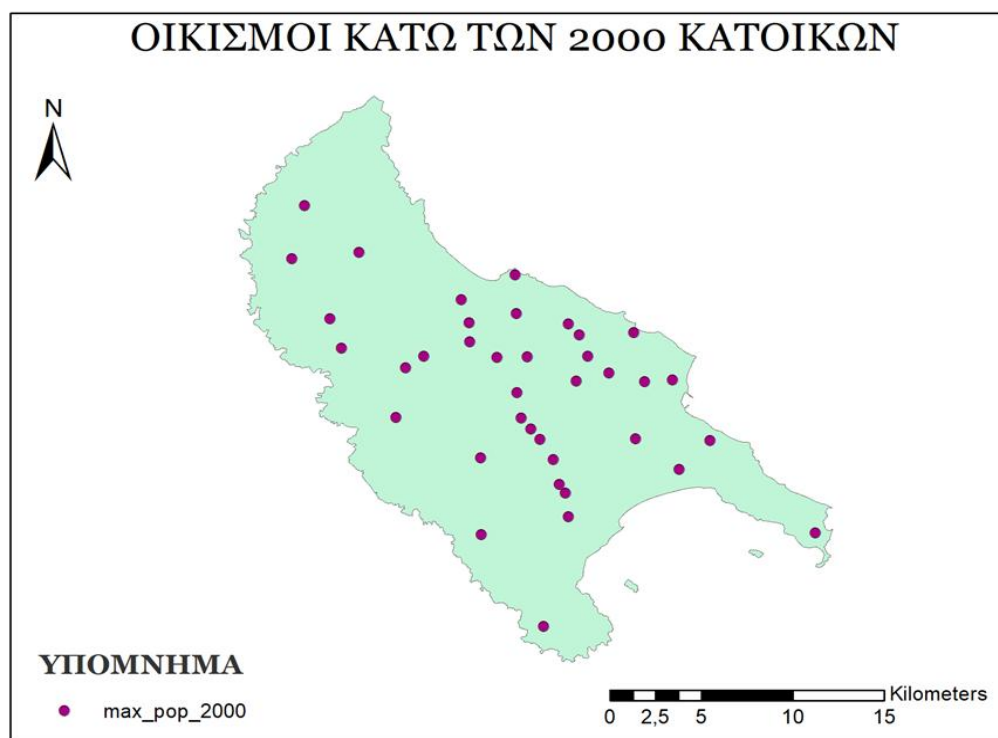
(Χάρτης 2, Διαχωρισμός των εκτάσεων σε κατάλληλες και μη για Φ/Β εγκατάσταση βάσει κωδικών CORINE 2018, Copernicus)



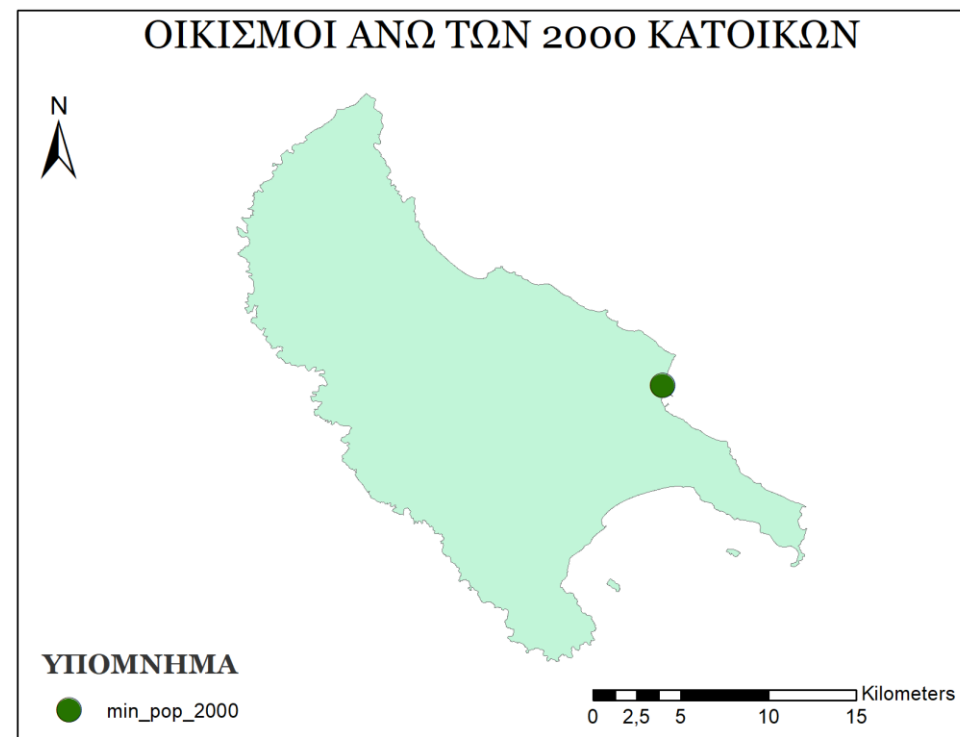
(Χάρτης 3, Δίκτυο υψηλής τάσης)



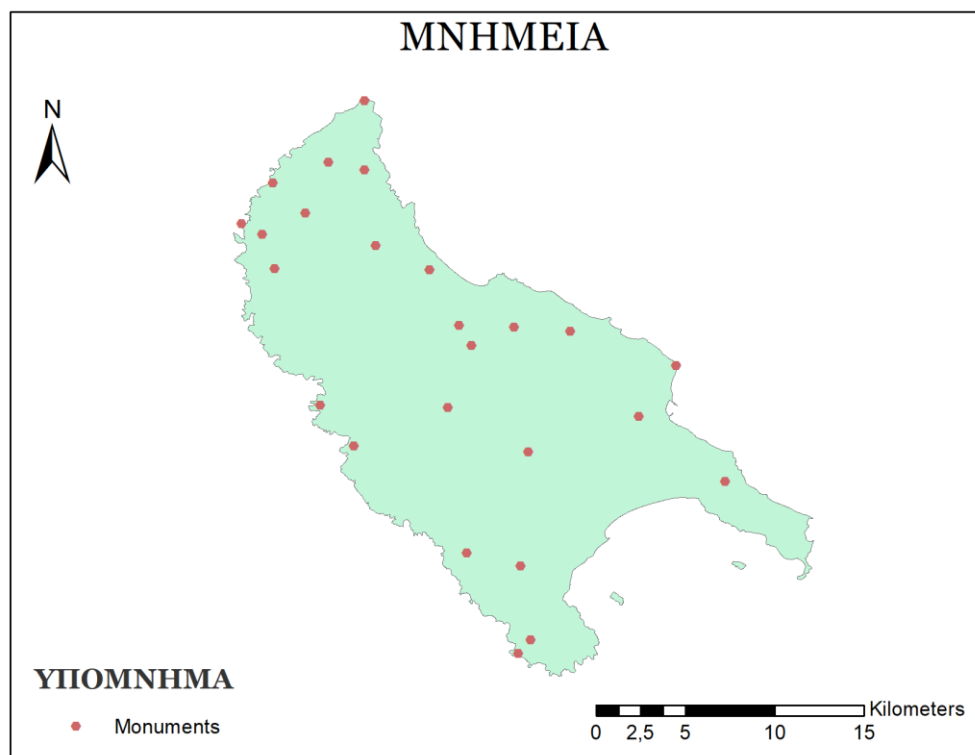
(Χάρτης 4, Δίκτυο μέσης τάσης)



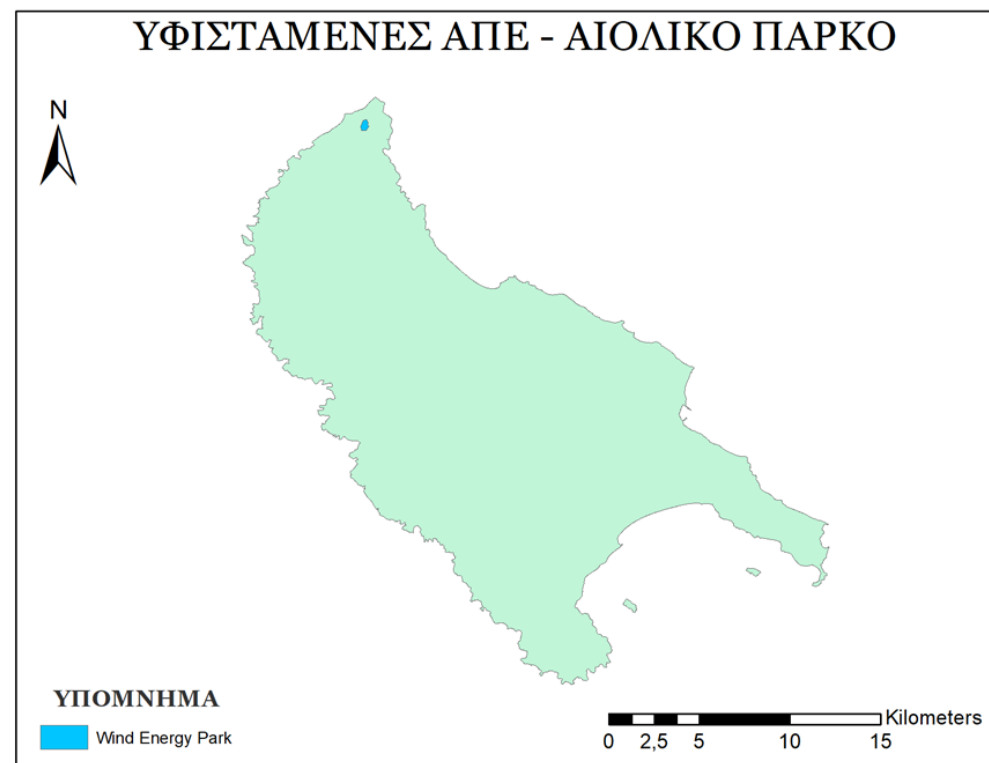
(Χάρτης 5, Οικισμοί με πληθυσμό κάτω των 2 χιλ. κατ.)



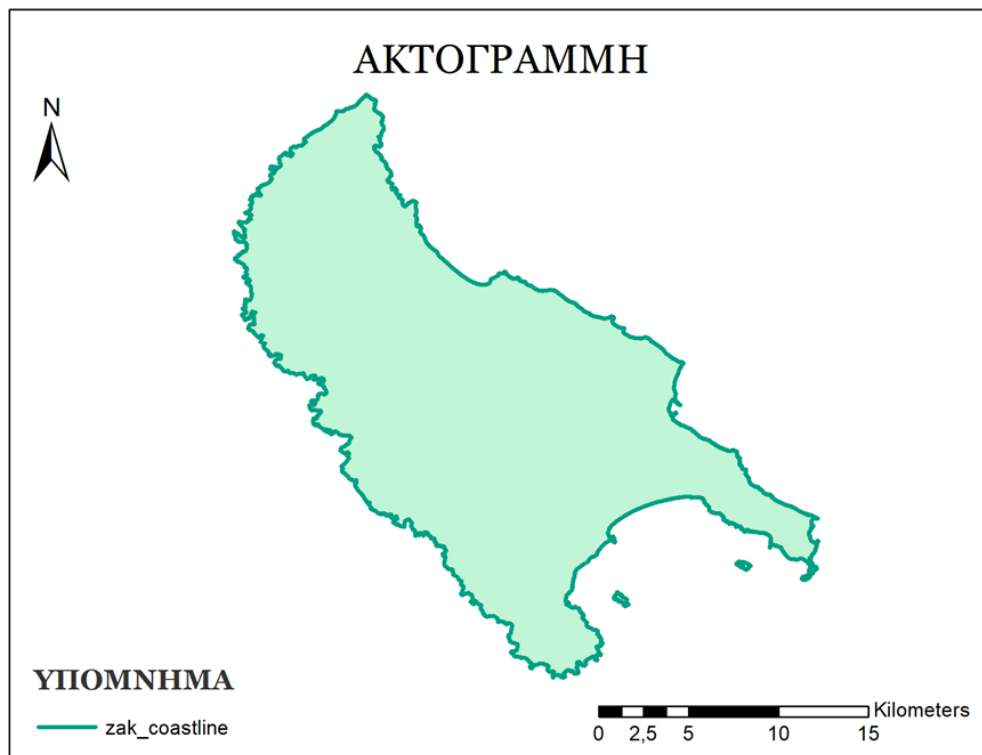
(Χάρτης 6, Οικισμοί με πληθυσμό άνω των 2 χιλ. κατ.)



(Χάρτης 7, Τοποθεσίες μνημείων, αξιοθέατων και αρχαιοτήτων)



(Χάρτης 8, Υφιστάμενες ΑΠΕ – Αιολικό πάρκο Ζακύνθου)

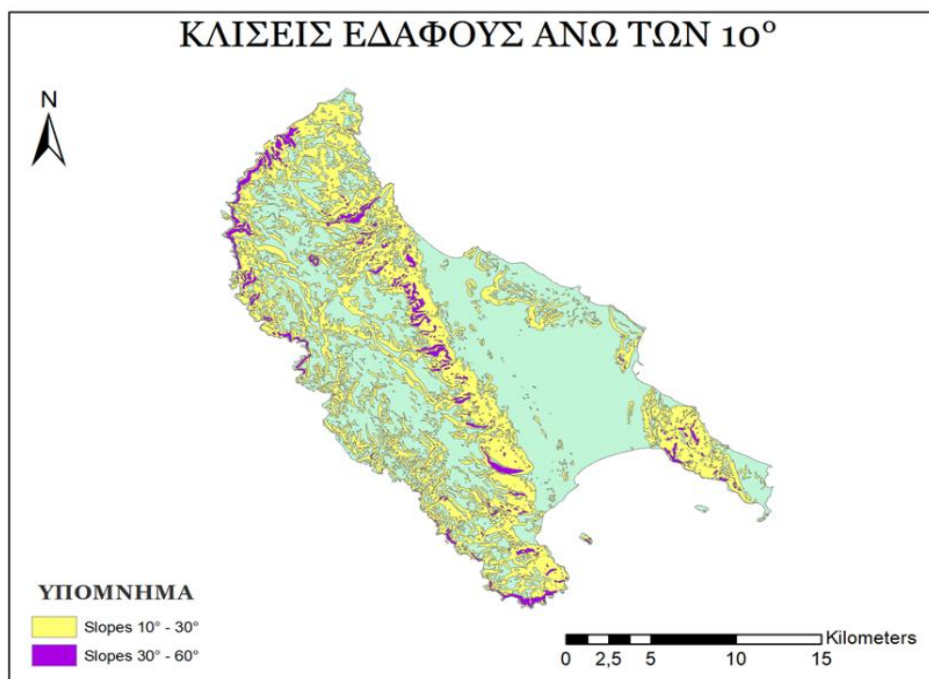


(Χάρτης 9, Ακτογραμμή)

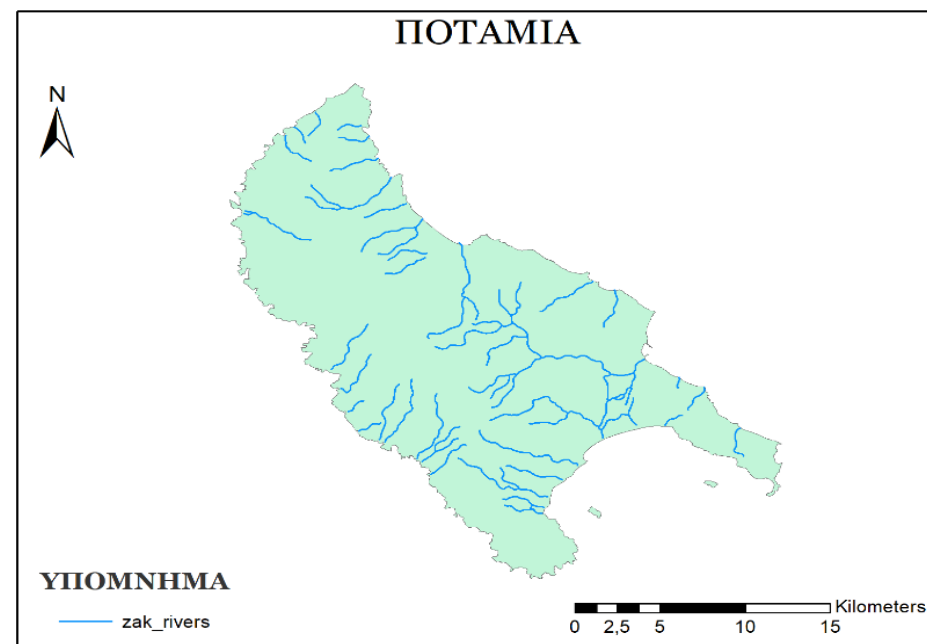


(Χάρτης 10, Αεροδρόμιο Ζακύνθου)

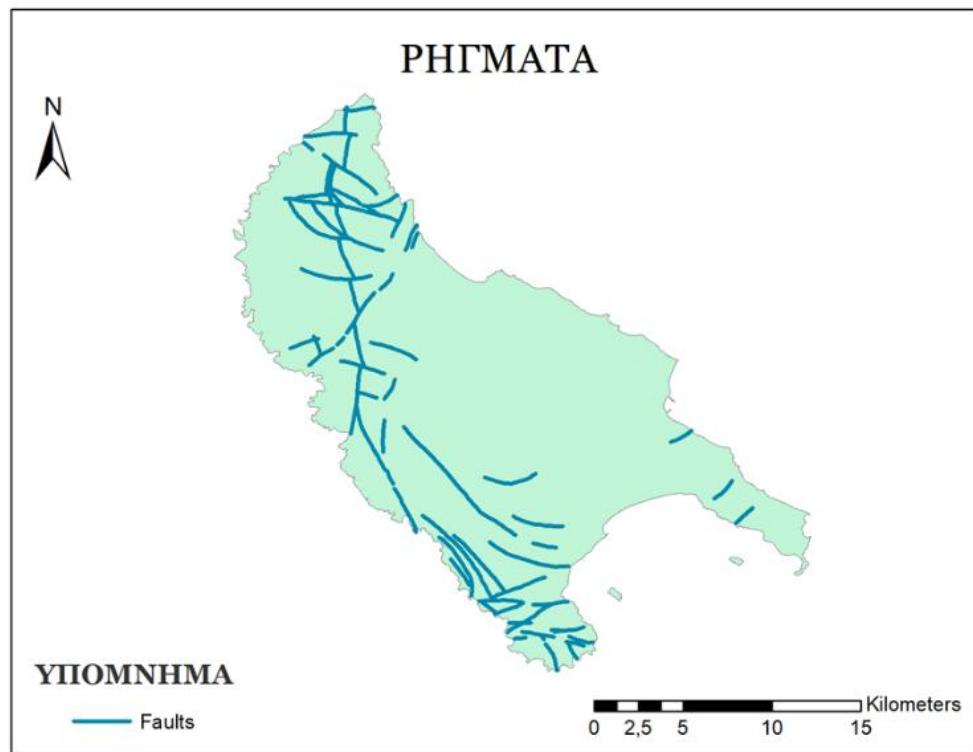
4.1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ



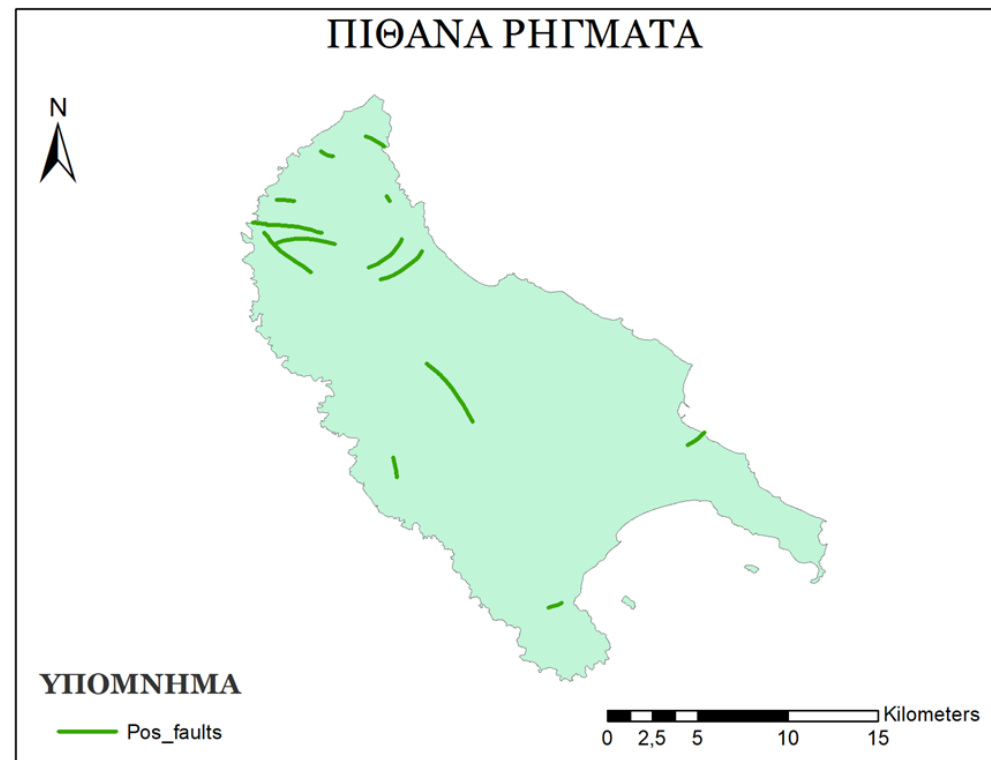
(Χάρτης 11, Κλίσεις εδάφους μεγαλύτερες των 10°)



(Χάρτης 12, Ποταμοί)

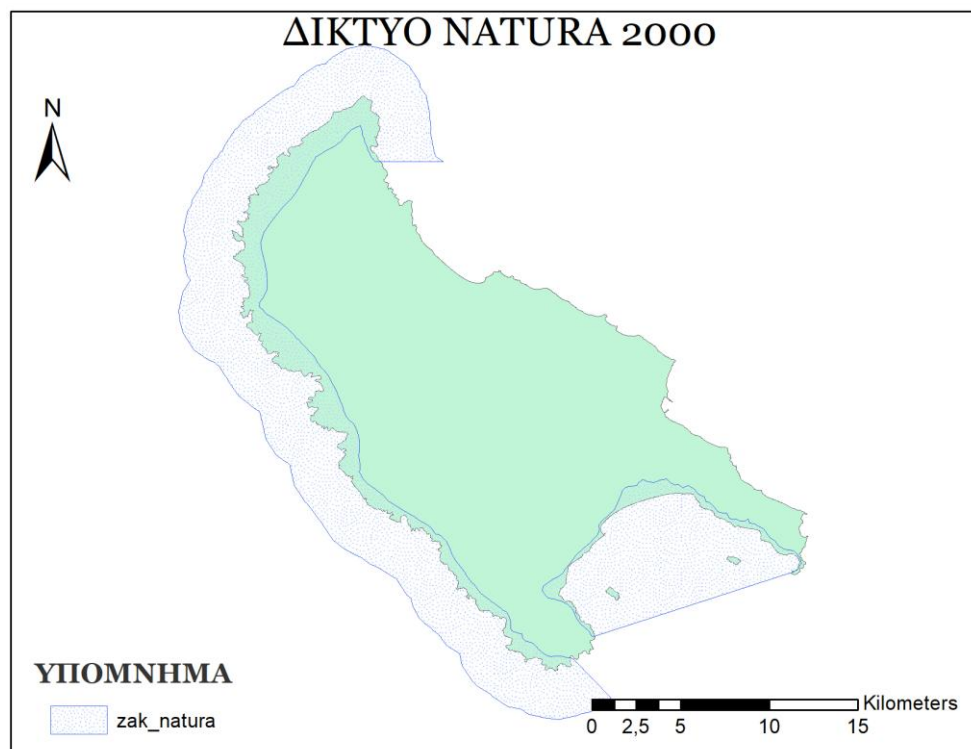


(Χάρτης 13, Ενεργά ρήγματα)

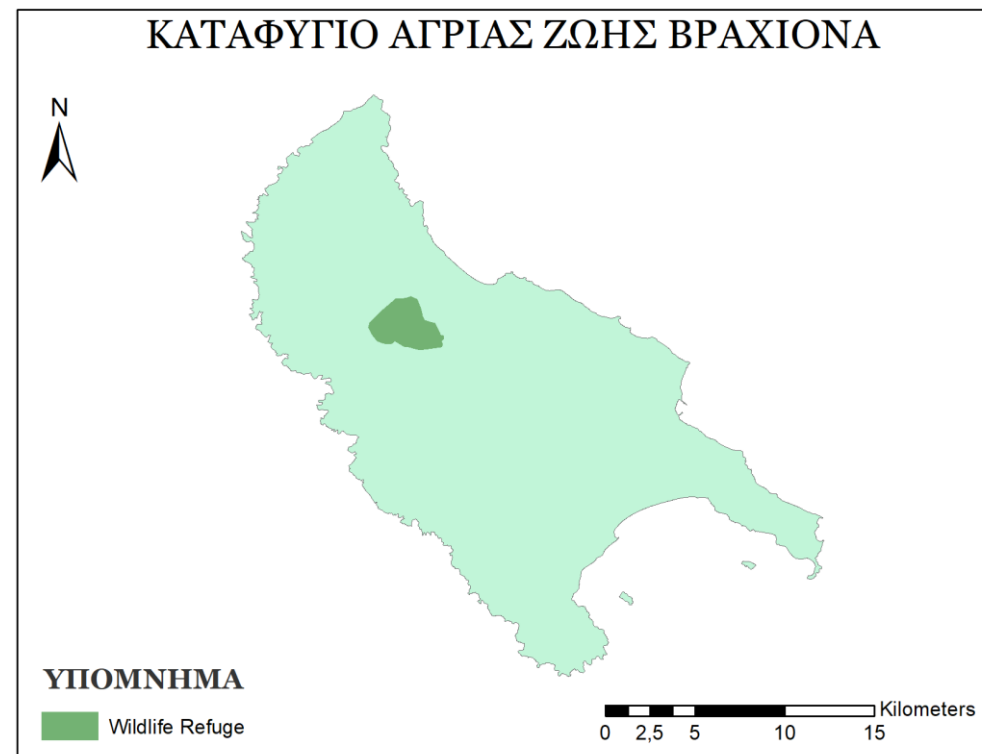


(Χάρτης 14, Πιθανά Ρήγματα)

4.1.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ



(Χάρτης 15, Προστατευόμενες περιοχές δικτύου NATURA 2000)

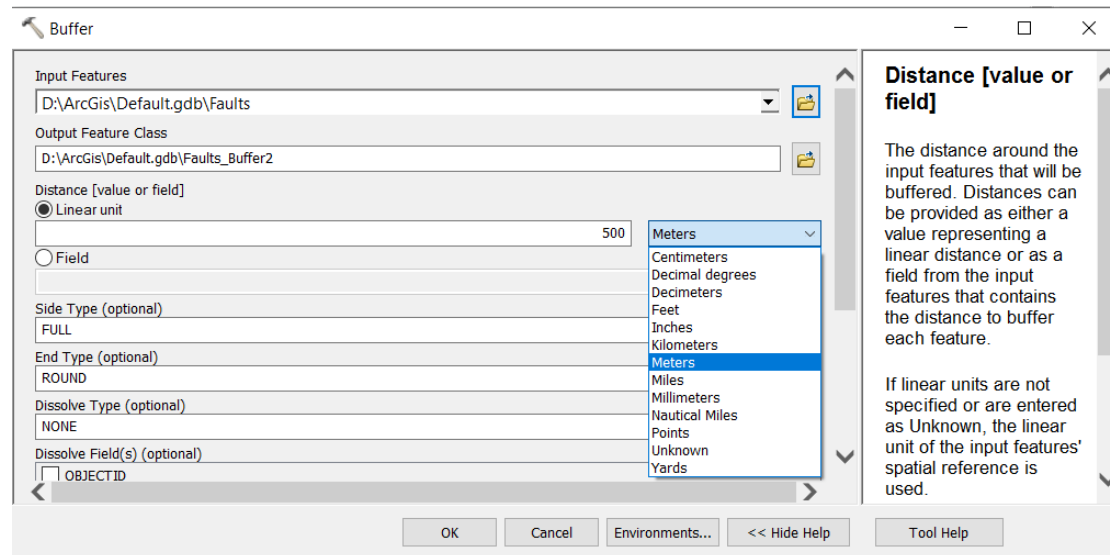


(Χάρτης 16, Καταφύγιο Άγριας Ζωής Βραχίονα)

4.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ

Τα κριτήρια που συμμετέχουν στην παρούσα μελέτη αποτελούν μέσον δημιουργίας του συνόλου υποψήφιας κατάλληλων περιοχών. Είναι προφανές, ότι κάποια εξ αυτών των κριτηρίων λειτουργούν ως δείκτες καταλληλότητας, σε αντίθεση με άλλους που αναδεικνύουν μια περιοχή ακατάλληλη προς ανέγερση Φ/Β πάρκου. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο είναι απαραίτητος ο καθορισμός των ζωνών αποκλεισμού, που προασπίζουν το περιβάλλον και παράλληλα υποδεικνύουν τα πρωταρχικά χρηστικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν μια εγκατάσταση ΑΠΕ.

Οι ζώνες αποκλεισμού δημιουργήθηκαν με γνώμονα τις οδηγίες της ισχύουσας νομοθεσίας (ΦΕΚ Β' 2464, ΚΥΑ 49828/2008, αρ. 17) αλλά και τη λειτουργικότητα. Η μετατροπή των κριτηρίων σε ζώνες αποκλεισμού, ή αλλιώς *buffer zones*, έγινε με το εργαλείο *Buffer* του ArcToolbox: *Analysis Tools* → *Proximity* → *Buffer*, εισάγοντας στο πεδίο *Distance* την απόσταση που αναγράφεται στη νομοθεσία σε μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιείται (εικόνα 4.1).

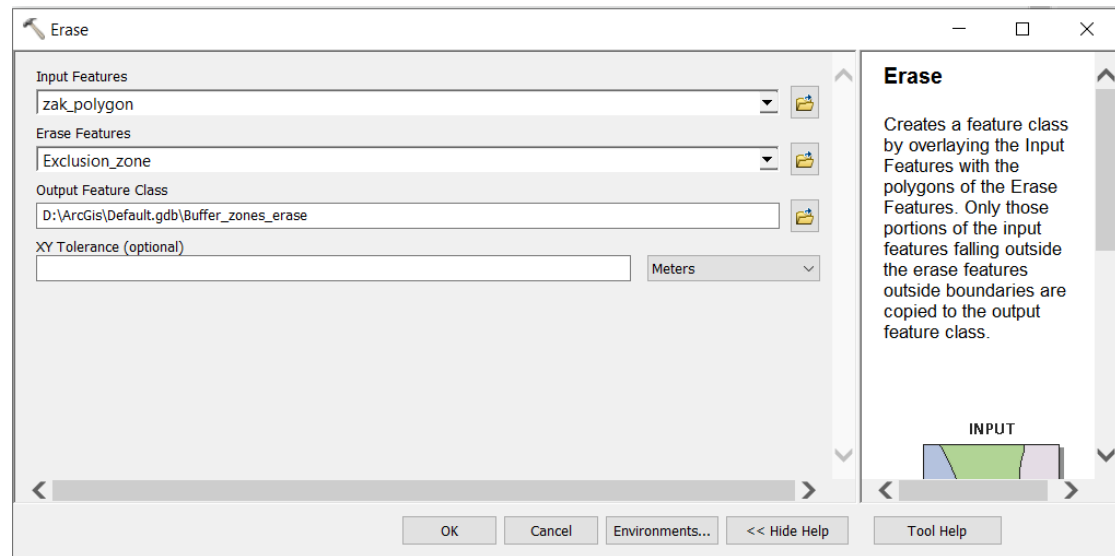


(Εικόνα 4.1, Buffer Tool)

Με το πέρας της διαδικασίας και αφού έχουμε δημιουργήσει όλες τις ζώνες αποκλεισμού, απαιτείται η ένωσή τους σε ένα *shapfile*. Αυτό γίνεται με την εντολή *Union*: *Analysis Tools* → *Overlay* → *Union*, όπου εισάγουμε όλα τα *shapfiles* με τις ζώνες αποκλεισμού. Το αποτέλεσμα της ένωσης των ζωνών είναι η δημιουργία ενιαίου χάρτη, ο οποίος συνδυάζει όλες τις ακατάλληλες ζώνες, αναδεικνύοντας όμως έτσι τις κατάλληλες περιοχές. Ο διαχωρισμός των περιοχών σε κατάλληλες και μη, γίνεται με το εργαλείο *Erase* του ArcMap: *Analysis Tools* → *Overlay* → *Erase*, εισάγοντας πρώτα την επιφάνεια που θα αφαιρεθεί και ύστερα την επιφάνεια που ορίζει το «τί» θα αφαιρεθεί (εικόνα 4.2).

Επίσης, ένας βασικός παράγοντας κατά την δημιουργία των *buffer zones* είναι οι χρήσεις γης, και πρέπει να ληφθεί υπόψιν εξαρχής. Ο διαχωρισμός των περιοχών γίνεται με τη βοήθεια των κωδικών που χαρακτηρίζουν τις περιοχές. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Οργανισμό Παρατήρησης Γης, γνωστό ως Copernicus, στη Ζάκυνθο υπάρχουν εικοσιπέντε (25) είδη καλύψεων γης για το έτος 2018, που είναι και το πιο

πρόσφατο αρχείο CORINE (πίνακας 8, χάρτης 17). Φυσικά, δεν επιτρέπουν όλες οι χρήσεις γης την εγκατάσταση σταθμών ΑΠΕ για παραγωγή ενέργειας.

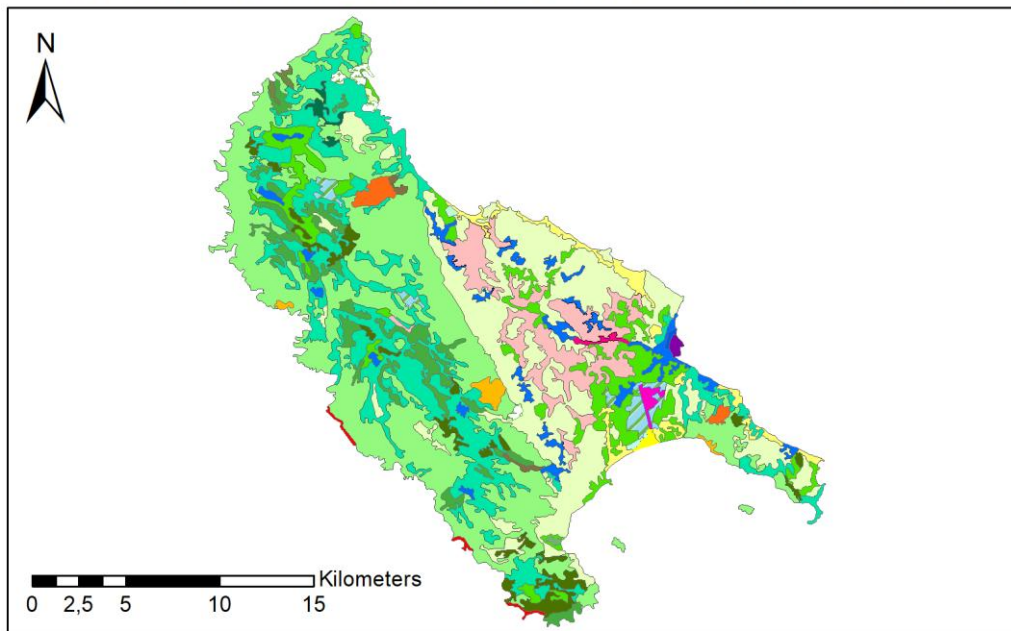


(Εικόνα 4.2, Erase Tool)

111	Συνεχής Αστική Οικοδόμηση	211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	313	Μικτό δάσος
112	Διακεκομμένη Αστική Οικοδόμηση	221	Μόνιμες καλλιέργειες - Αμπελώνες	323	Θαμνώδης σκληρόφυλλη βλάστηση
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες/δημ.εγκαταστάσεις	223	Μόνιμες καλλιέργειες - Ελαιώνες	324	Μεταβατικές δασικές εκτάσεις / θάμνοι
123	Λιμάνι	231	Βοσκότοποι	331	Παραλίες, αμμόλοφοι
124	Αεροδρόμιο	242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	332	Βραχώδεις εκτάσεις/γυμνά βράχια
131	Περιοχές εξόρυξης ορυκτών πόρων	243	Κυρίως καλλιέργειες, με εκτενείς περιοχές φυσικής βλάστησης	333	Περιοχές με αραιή βλάστηση (10-15%)
141	Πράσινες αστικές περιοχές	311	Δάσος πλατύφυλλων	334	Καμένες εκτάσεις
142	Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις	312	Δάσος κωνοφόρων	421	Παράκτιες αλυκές
				422	Περιοχές εξόρυξης ορυκτού αλατιού

(Πίνακας 8, Χρήσεις γης που Ζακύνθου, CORINE 2018, Copernicus)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ - CORINE 2018



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Land Use_Corine 2018

CORINE LAND COVER

- 111 Continuous urban fabric
- 112 Discontinuous urban fabric
- 121 Industrial or commercial units
- 123 Port areas
- 124 Airports
- 131 Mineral extraction sites
- 141 Green urban areas
- 142 Sport and leisure facilities
- 211 Non-irrigated arable land
- 221 Vineyards
- 223 Olive groves
- 231 Pastures
- 242 Complex cultivation patterns
- 243 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation
- 311 Broad-leaved forest
- 312 Coniferous forest
- 313 Mixed forest
- 323 Sclerophyllous vegetation
- 324 Transitional woodland-shrub
- 331 Beaches, dunes, sands
- 332 Bare rocks
- 333 Sparsely vegetated areas
- 334 Burnt areas
- 421 Salt marshes
- 422 Salines

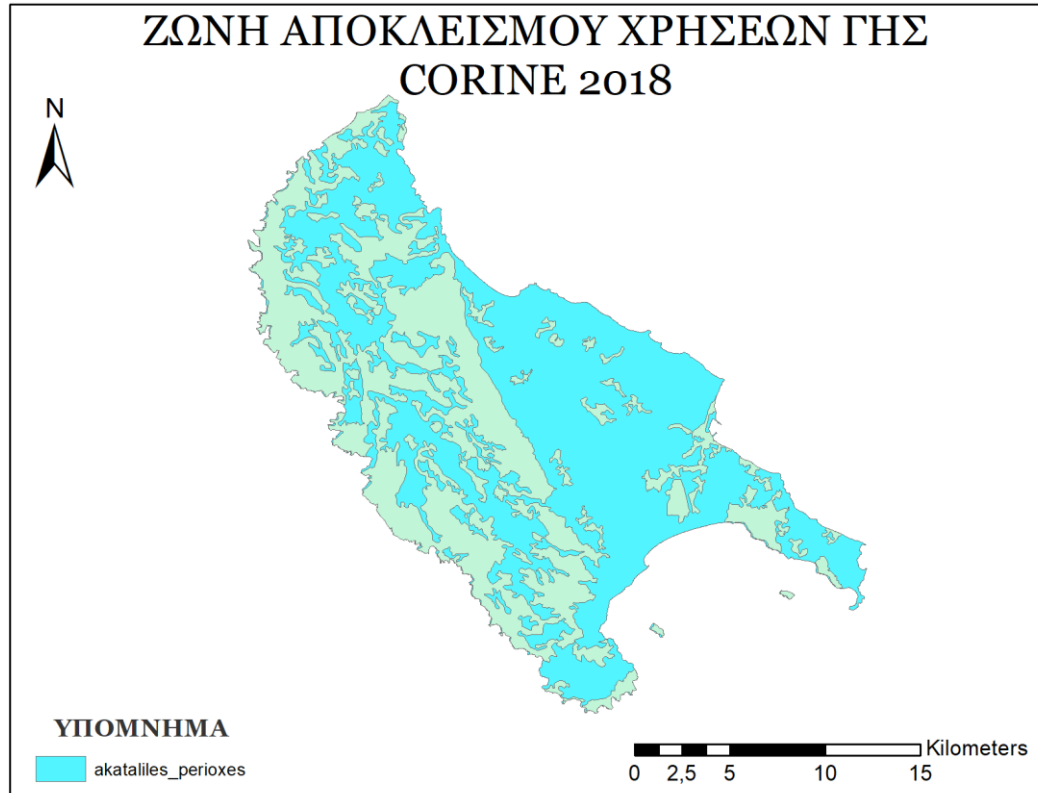
(Χάρτης 17, Χρήσεις γης Ζακύνθου, CORINE 2018, Copernicus)

Κατόπιν αναλύσεως των κωδικών των περιοχών του χάρτη καλύψεων γης (πηγή : <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html>), προέκυψαν οι εξής κατάλληλες κατηγορίες με τους αντίστοιχους κωδικούς :

- 112** – Αραιά κατοικημένες περιοχές
- 211** – Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη, καλλιέργειες με αγρανάπαυση
- 323** – Θαμνώδης σκληρόφυλλη βλάστηση
- 324** - Μεταβατικές δασικές εκτάσεις / θάμνοι
- 332** – Βραχώδεις εκτάσεις / γυμνά βράχια
- 333** – Περιοχές με αραιή βλάστηση (10-15%)

Οι συνολική έκταση των εκτάσεων απεικονίζεται παρακάτω (χάρτης 4.18), όπου γίνεται διαχωρισμός των ζωνών σε κατάλληλες και μη, προς ανέγερση Φ/Π συστήματος.

4.2.1 ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ



(Χάρτης 18, Ακατάλληλες βάσει CORINE 2018 περιοχές)



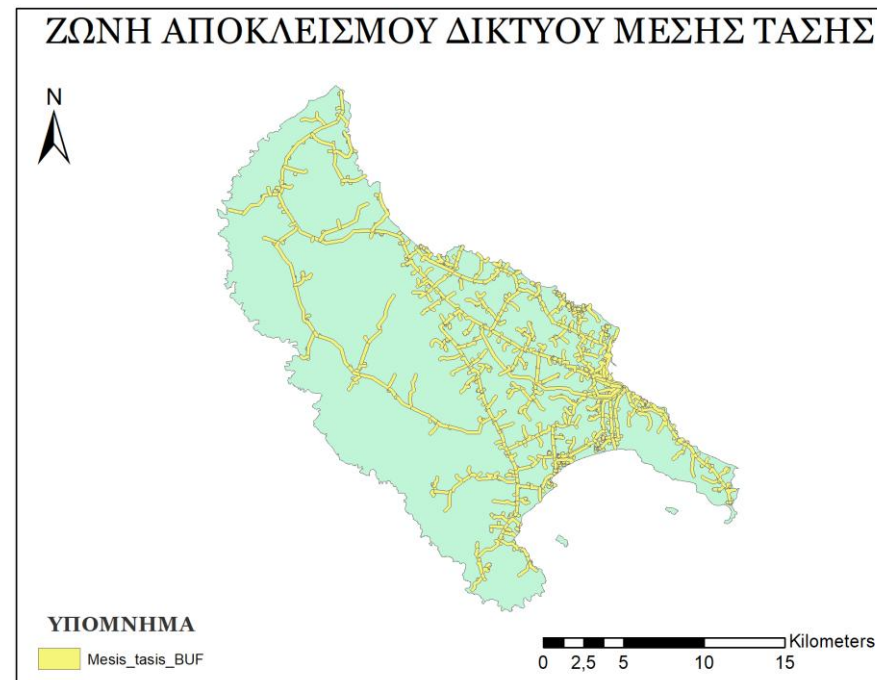
(Χάρτης 19, Ζώνη αποκλεισμού 100 m του οδικού δικτύου)



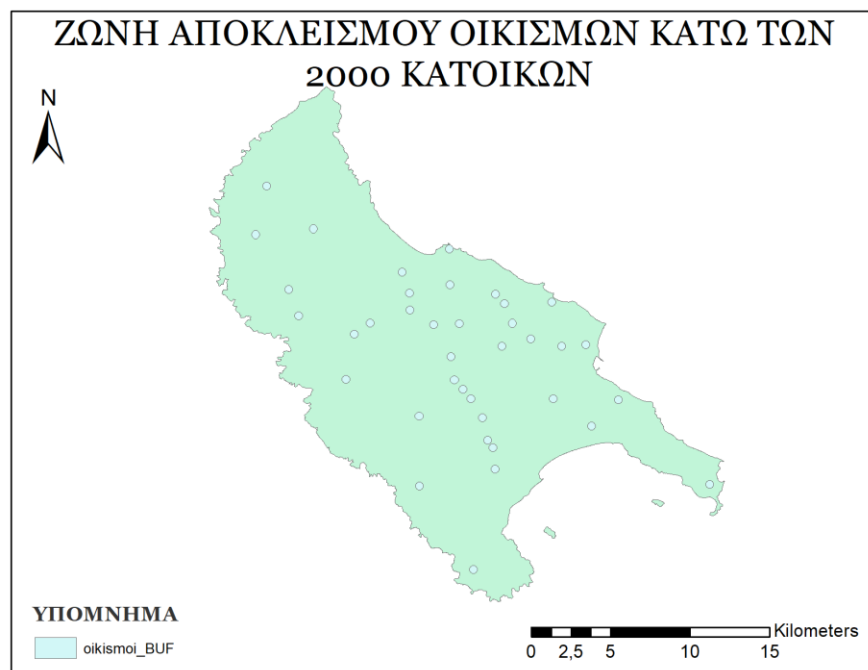
(Χάρτης 20, Ζώνη αποκλεισμού 200 m του αεροδρομίου)



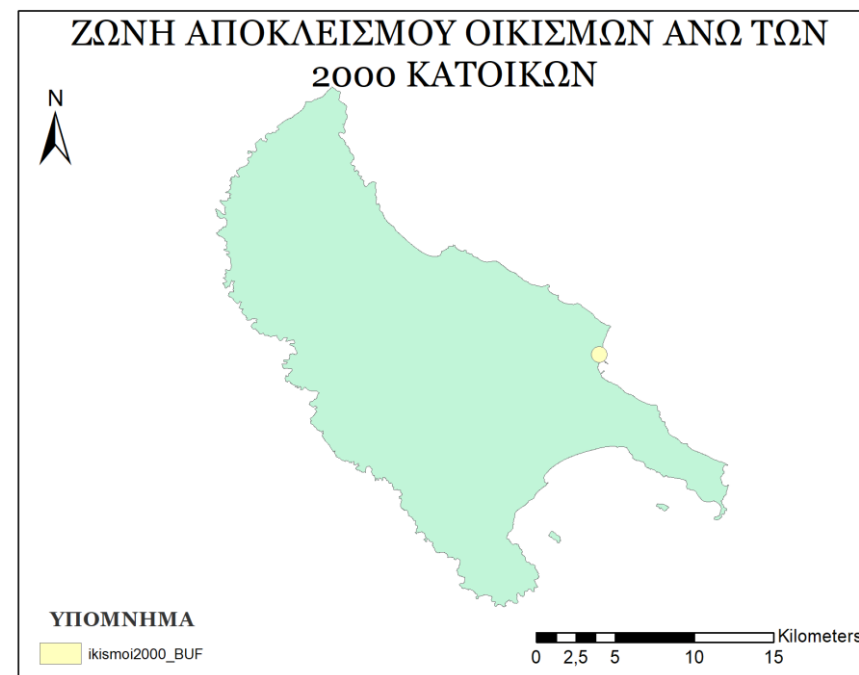
(Χάρτης 21, Ζώνη αποκλεισμού 1000 m του δικτύου υψηλής τάσης)



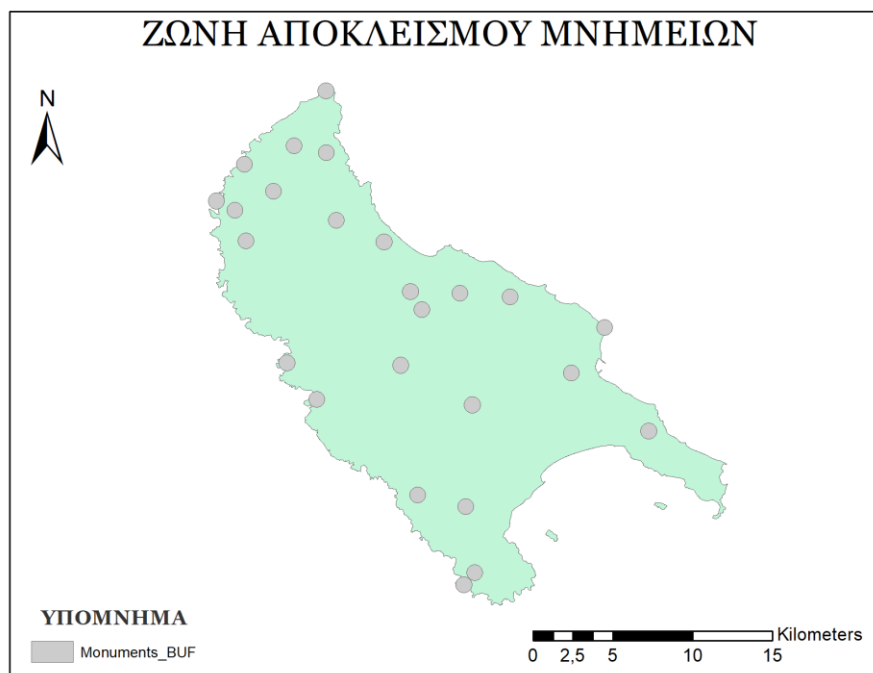
(Χάρτης 22, Ζώνη αποκλεισμού 100 m του δικτύου μέσης τάσης)



(Χάρτης 23, Ζώνη αποκλεισμού 250 m για τους οικισμούς <2000 κατ.)



(Χάρτης 24, Ζώνη αποκλεισμού 500 m για τους οικισμούς >2000 κατ.)



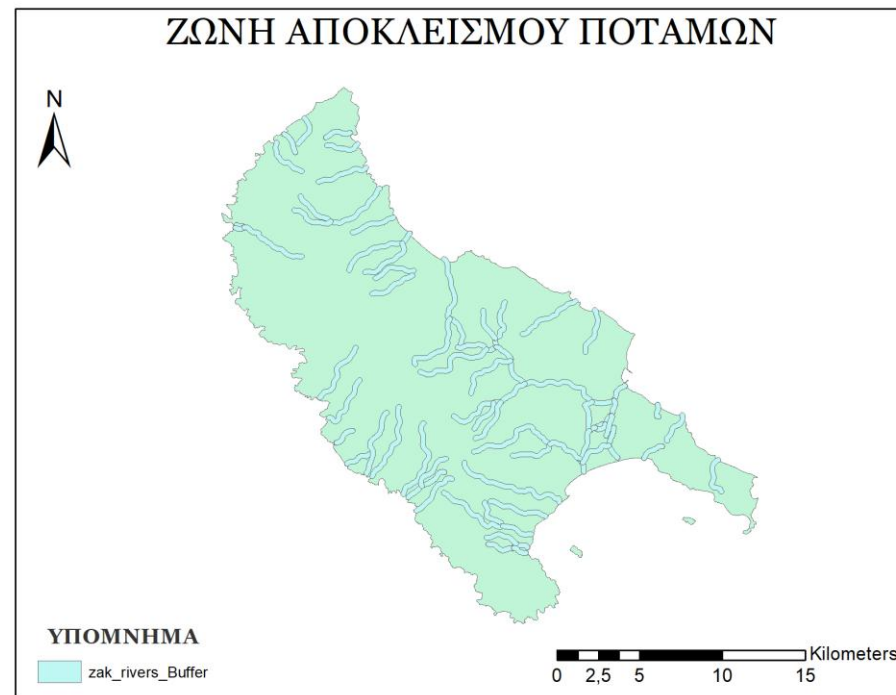
(Χάρτης 25, Ζώνη αποκλεισμού 500 m για τα αξιοθέατα-αρχαιότητες)



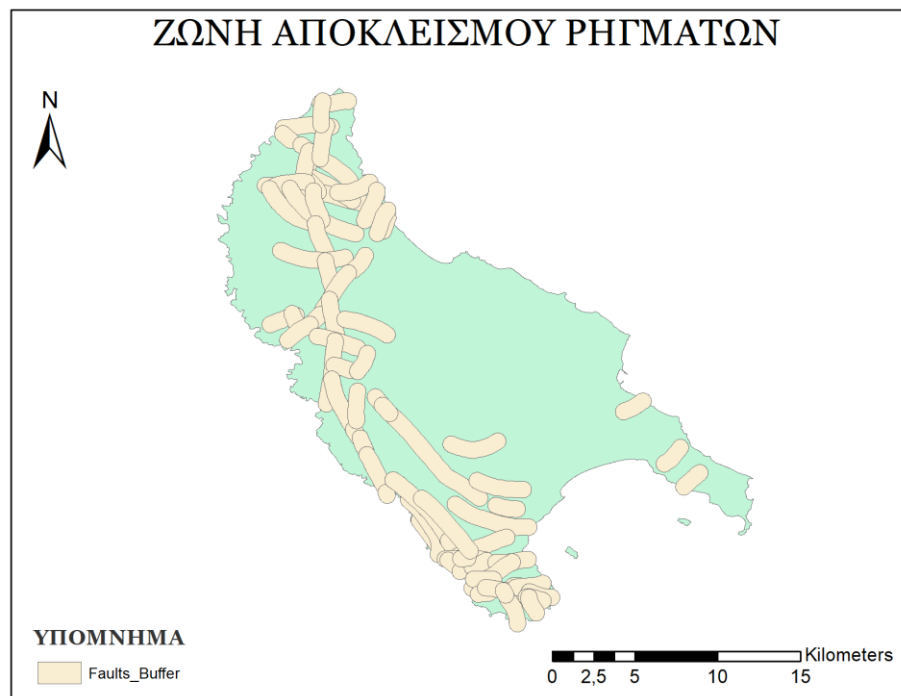
(Χάρτης 26, Ζώνη αποκλεισμού 300 m της ακτογραμμής)



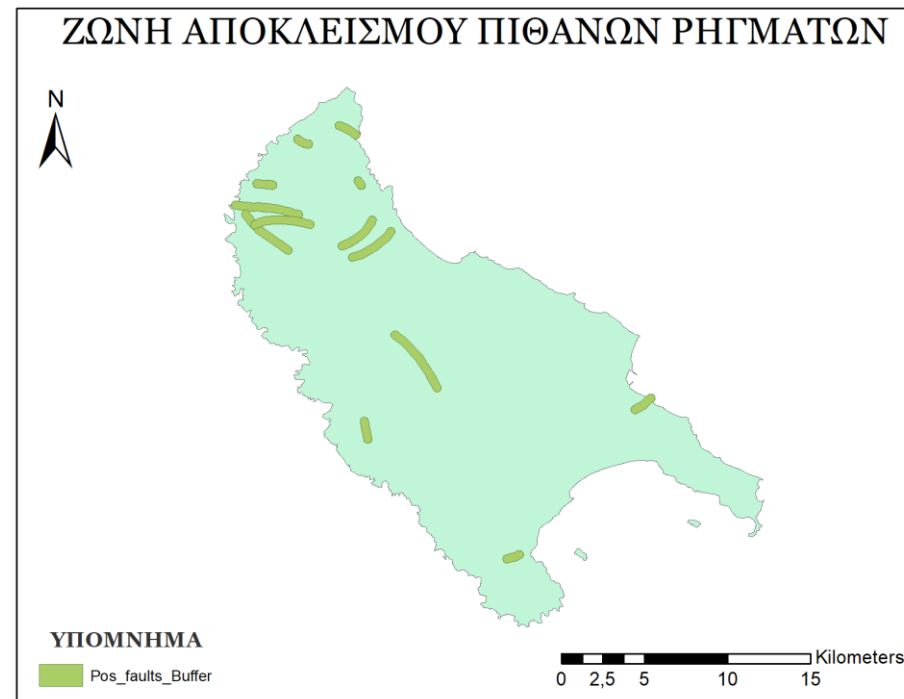
(Χάρτης 27, Ζώνη αποκλεισμού 1500 m του αιολικού πάρκου Ζακύνθου)



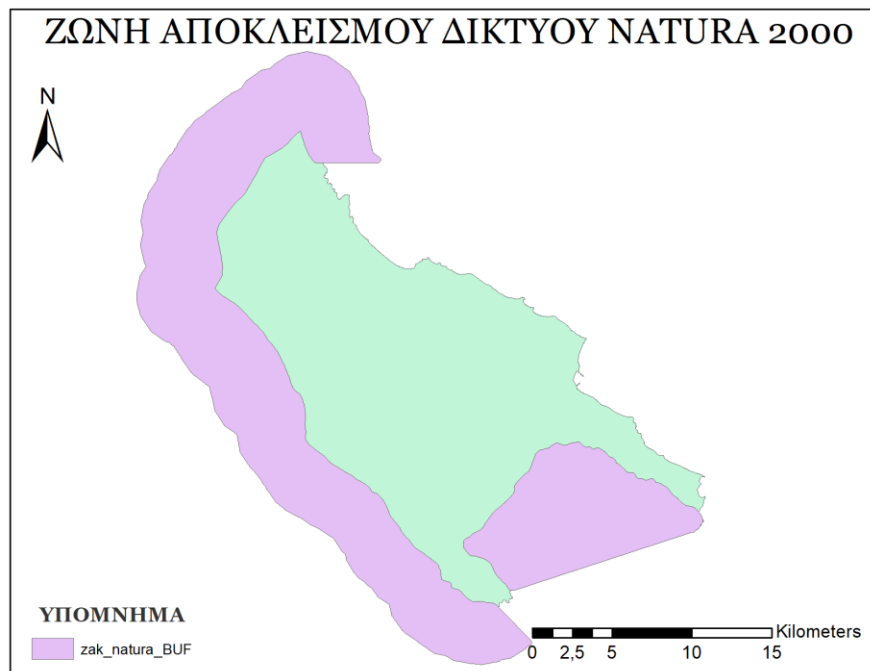
(Χάρτης 28, Ζώνη αποκλεισμού 150 m των ποταμών)



(Χάρτης 29, Ζώνη αποκλεισμού 500 m των ενεργών ρηγμάτων)



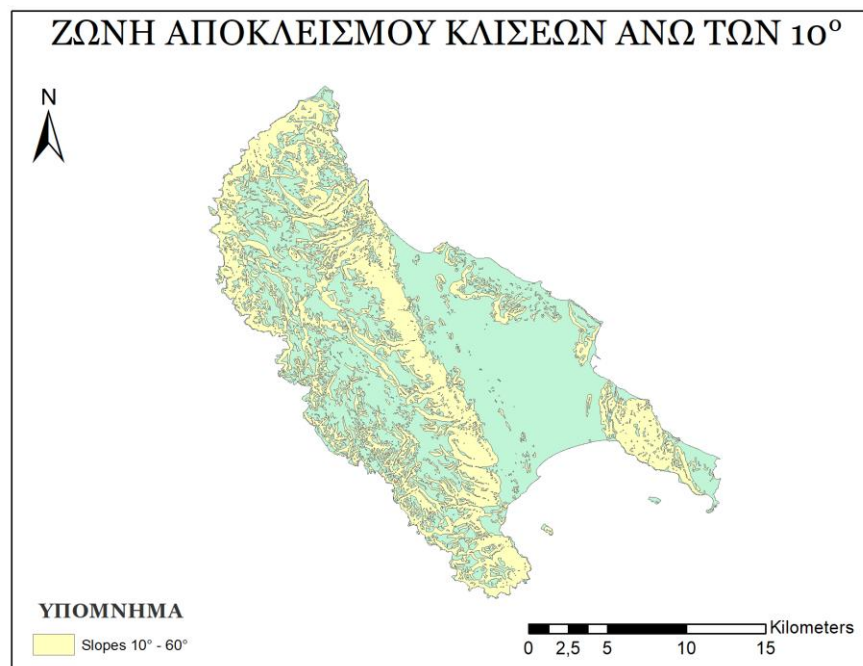
(Χάρτης 30, Ζώνη αποκλεισμού 250 m των πιθανών ρηγμάτων)



(Χάρτης 31, Ζώνη αποκλεισμού των 200 m δικτύου NATURA 2000)



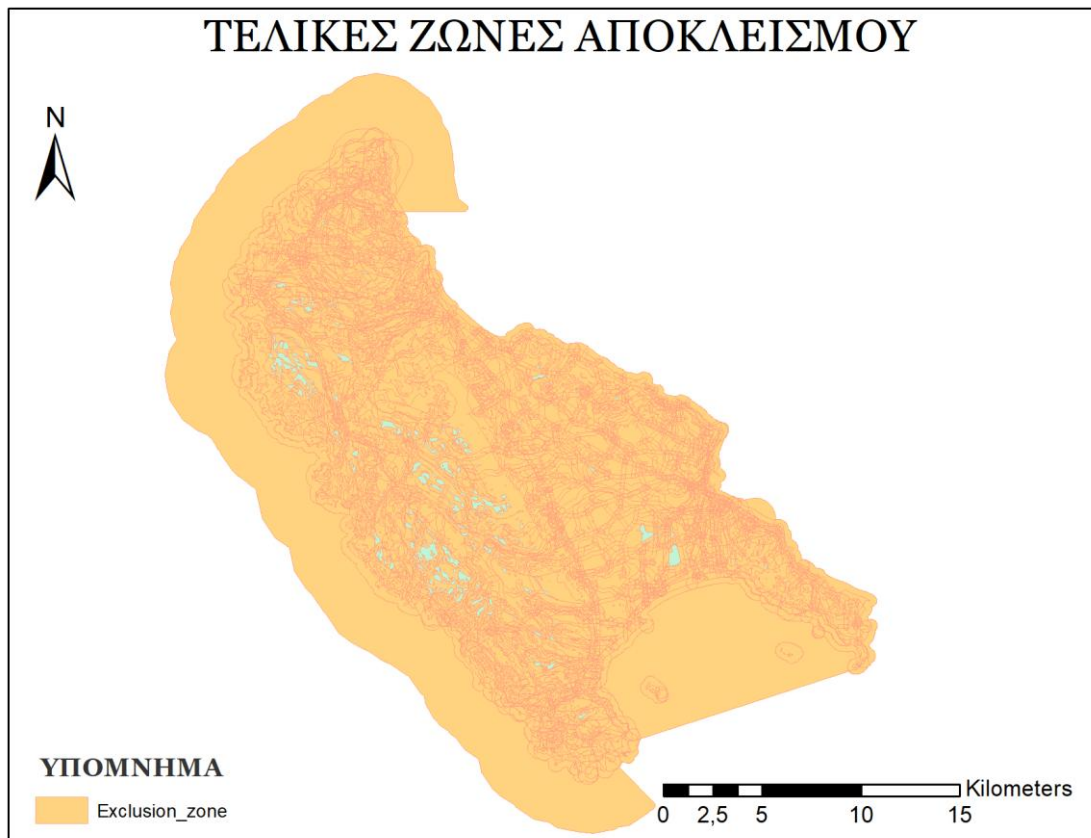
(Χάρτης 32, Ζώνη αποκλεισμού 200 m του Καταφύγιου Αγρίας Ζωής Βραχίονα)



(Χάρτης 33, Πλήρης αποκλεισμός εκτάσεων με κλίση $> 10^{\circ}$)

4.3 ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ BOOLEAN

Η επεξεργασία Boolean είναι το πρώτο βήμα στην ανεύρεση των κατάλληλων περιοχών. Η διαδικασία είναι απλή και γίνεται με την ένωση των ζωνών αποκλεισμού, δηλαδή εκείνων των περιοχών η τιμή των οποίων είναι 0. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο παραγόμενος χάρτης απεικονίζει τόσο τις ακατάλληλες, όσο και τις κατάλληλες περιοχές, στις οποίες αντιστοιχεί η τιμή 1 (χάρτες 34 – 35).

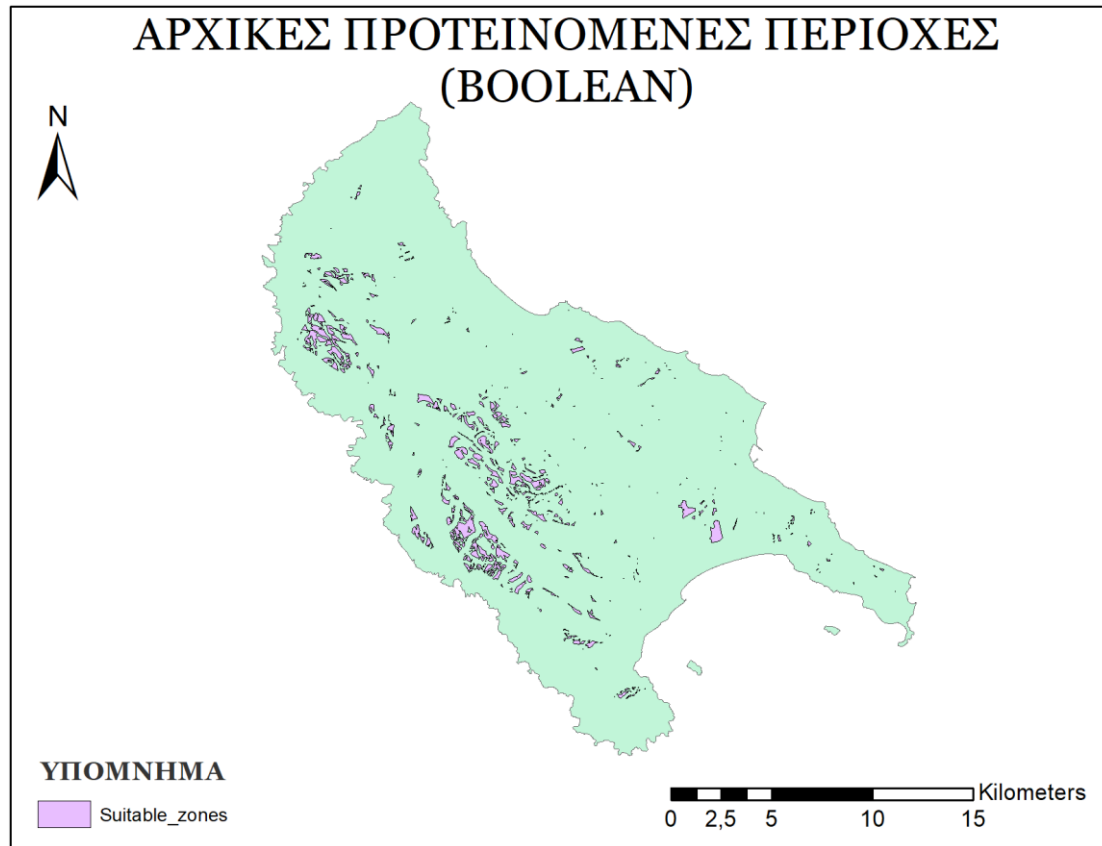


(Χάρτης 34, Τελικές Ζώνες Αποκλεισμού, Boolean)

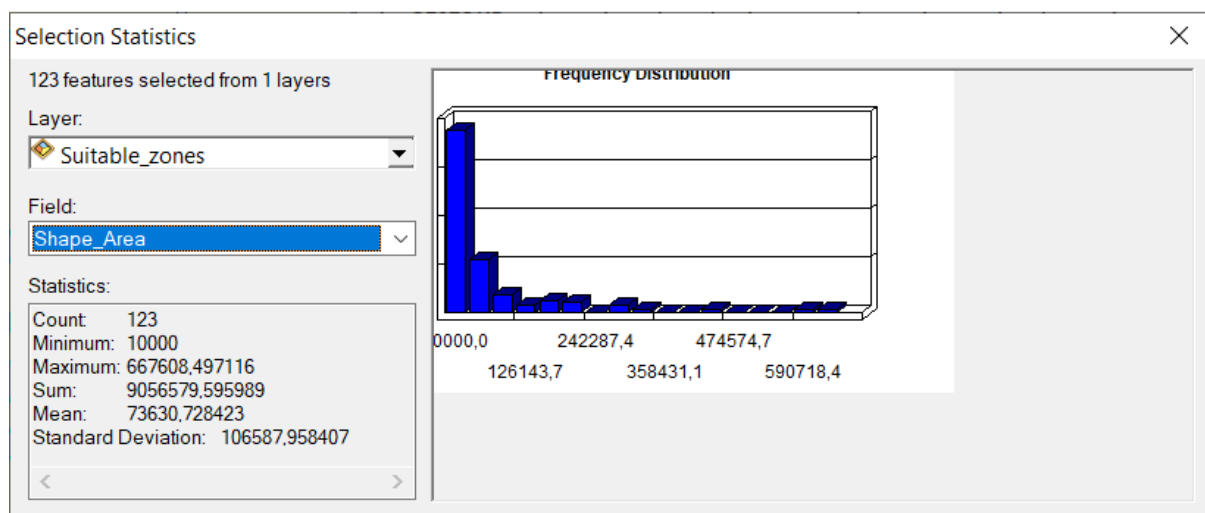
Με τη μέθοδο Boolean ορίστηκαν οι πρώτες προτεινόμενες περιοχές, οι οποίες πληρούν όλα τα νομοθετικά και λειτουργικά κριτήρια (χάρτης 35). Επομένως, σίγουρα είναι όλες τους κατάλληλες για χτίσιμο φωτοβολταϊκού συστήματος.

Συνολικά απαριθμούνται διακόσιες δεκαέξι (216) περιοχές. Δεδομένου ότι απαιτούνται $8 \text{ m}^2 / \text{kW}$ για εγκαταστάσεις σε κεκλιμένο επίπεδο, αποκλείουμε περιοχές μικρότερες από 8000 m^2 λόγω ισχύος υποτιθέμενης Φ/Β εγκατάστασης, η οποία είναι 100 kW . Ο νέος αριθμός των εκτάσεων ανέρχεται στα εκατό είκοσι τρία (123) τεμάχια, καταλαμβάνοντας επιφάνεια $\approx 9.05 \text{ km}^2$ (χάρτης 36), δηλαδή περίπου το 2.2% της συνολικής επιφάνειας του νησιού. Η πλειοψηφία των προτεινόμενων

περιοχών βρίσκεται πλησίον Δυτικής ακτογραμμής καθώς και στο κέντρο της Ζακύνθου.

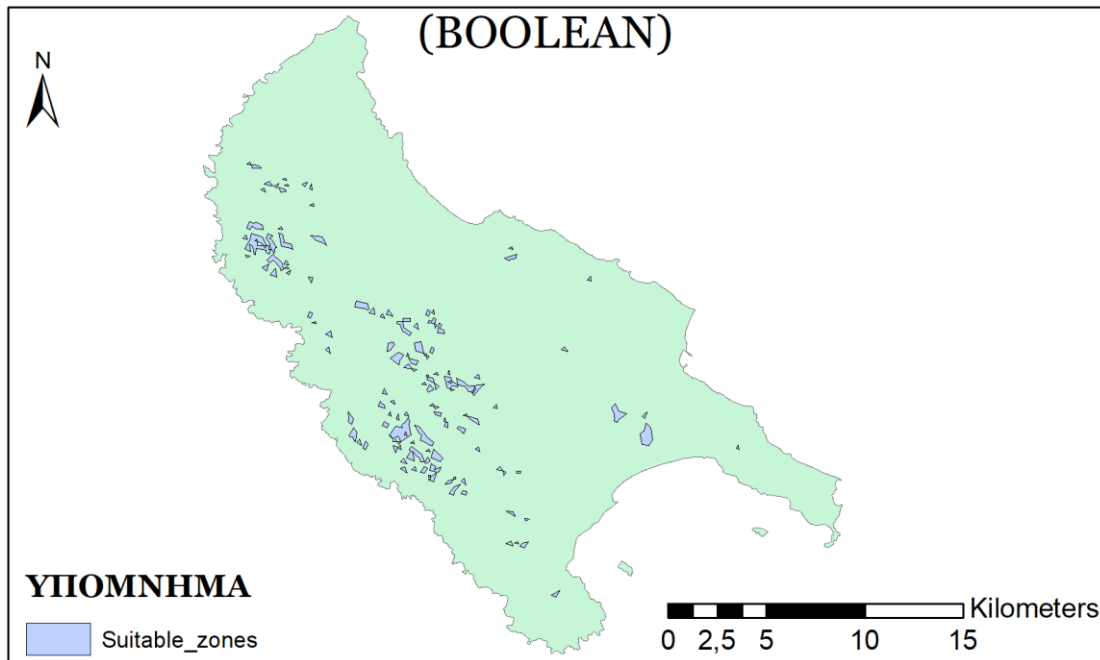


(Χάρτης 35, Αρχικές Προτεινόμενες Ζώνες, Boolean)



(Εικόνα 4.3, Στατιστικά στοιχεία περιοχών της μεθόδου Boolean)

ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (BOOLEAN)



(Χάρτης 36, Τελικές Προτεινόμενες Ζώνες, Boolean)

4.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΛΟΓΙΚΗΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ - ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

4.4.1 FUZZY LOGIC

Η μέθοδος Fuzzy Logic αρχικά ασαφοποιεί τα εισαγόμενα δεδομένα, στα οποία ύστερα προσδίδονται τιμές βαρύτητας. Ύστερα τα στοιχεία υπόκεινται σε Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία όπου πραγματοποιείται ο υπολογισμός του πίνακα προτιμήσεων.

Έτσι λοιπόν, αντιλαμβάνεται κανείς πως τα κριτήρια αξιολόγησης (πλην των καλύψεων γης) εξετάζονται ως προς ένα κοινό στοιχείο, την απόστασή τους από την εγκατάσταση του υπό μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος.

Συνεπώς όλα τα κριτήρια υπέστησαν επεξεργασία, με την οποία αποδόθηκαν τιμές απόστασης. Πρόκειται για το εργαλείο *Euclidean Distance*, δηλ. Ευκλείδεια Απόσταση, που μετράει την απόσταση στον n-διάστατο χώρο για κάθε ψηφίο από το στοιχείο input που μετράται, κάνοντας χρήση Πυθαγόρειου Θεωρήματος.

Η εντολή ανήκει στην εργαλειοθήκη *Spatial Analyst Tools* → *Distance* → *Euclidean Distance*. Κατά την εισαγωγή των κριτηρίων πρέπει να εισάγεται ως *Processing Extent* το shapefile *zak_polygon* (επιλογή *Environments*).

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής είναι η δημιουργία raster χαρτών, που οπτικοποιούν τις αποστάσεις. Όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή ενός σημείου, τόσο πιο μικρή είναι η απόστασή του από το στοιχείο εισαγωγής.

Για να διασφαλιστεί η σωστή εφαρμογή της ασαφούς λογικής, πρέπει να οριστεί η συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί, συνυπολογίζοντας τη σχέση που έχουν τα κριτήρια με την υποψήφια περιοχή.

Επιλέχθηκε καταρχήν η γραμμική συνάρτηση, η *Fuzzy Membership Linear*. Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει αντιληπτό για ποια κριτήρια ισχύει η *Linear* συνάρτηση με θετική και κλίση, και για ποια με αρνητική. Προκύπτει ο διαχωρισμός του πίνακα 9 :

Θετική κλίση	Αρνητική κλίση
Ρήγματα	Δίκτυο Μέσης Τάσης
Πιθανά Ρήγματα	Δίκτυο Υψηλής Τάσης
Ακτογραμμή	Οδικό Δίκτυο
Μνημεία – Αξιοθέατα	Αιολικό Πάρκο
NATURA 2000	Ποταμοί
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	Αεροδρόμιο
Κλίσεις πρανών $> 10^0$	
Οικισμοί < 2000	
Οικισμοί > 2000	

(Πίνακας 9, Διαχωρισμός κριτηρίων ως προς την κλίση συνάρτησης *Fuzzy Linear*)

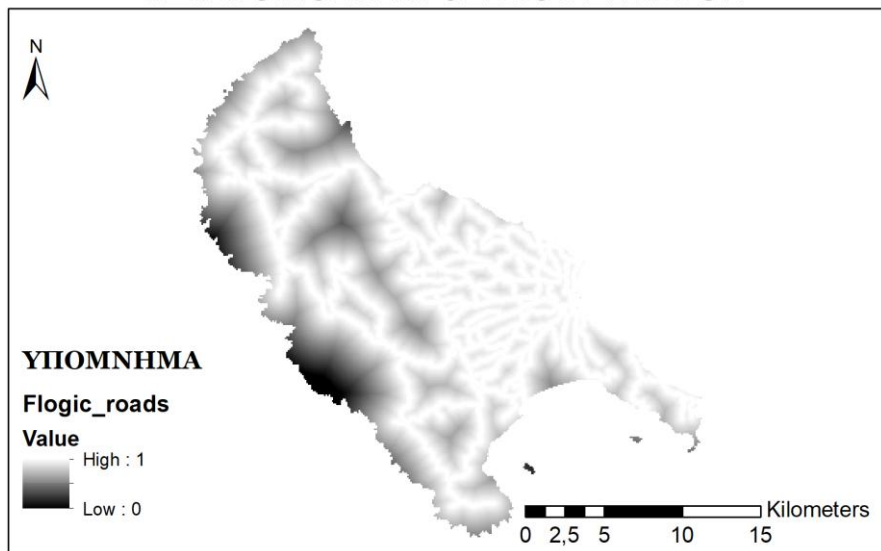
Με την συνάρτηση θετικής κλίσης αποδίδονται ανώτερες τιμές στις περιοχές με μεγαλύτερες αποστάσεις από τον παράγοντα που εισήχθη. Αντίθετα, με την αρνητική κλίση αναδεικνύονται οι περιοχές πλησίον του εισαχθέντος κριτηρίου.

Οι χάρτες που παράγει η *Fuzzy Linear* είναι αρχεία raster με cell size=100, που ορίζεται κατά την εισαγωγή, και αντιστοιχεί στο cell size του zak_polygon όπως ορίστηκε στο προηγούμενο βήμα.

Έτσι, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες Ασαφούς Λογικής, στους οποίους οι τιμές κατατάσσονται στο διάστημα [0, 1]. Οι χαμηλές τιμές χαρακτηρίζουν τις ακατάλληλες περιοχές, ενώ οι υψηλές τιμές υποδεικνύουν τις πλέον κατάλληλες.

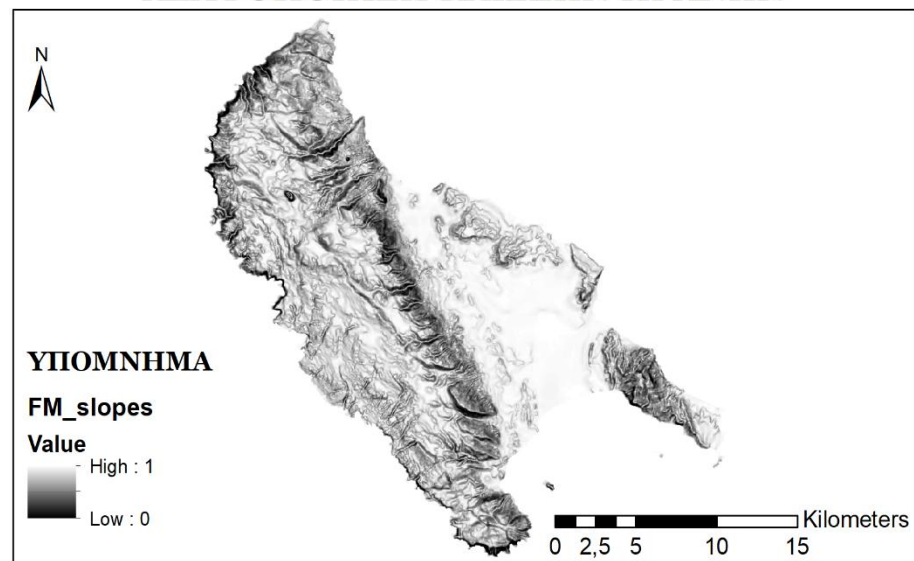
4.4.1.1 ΧΑΡΤΕΣ ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ



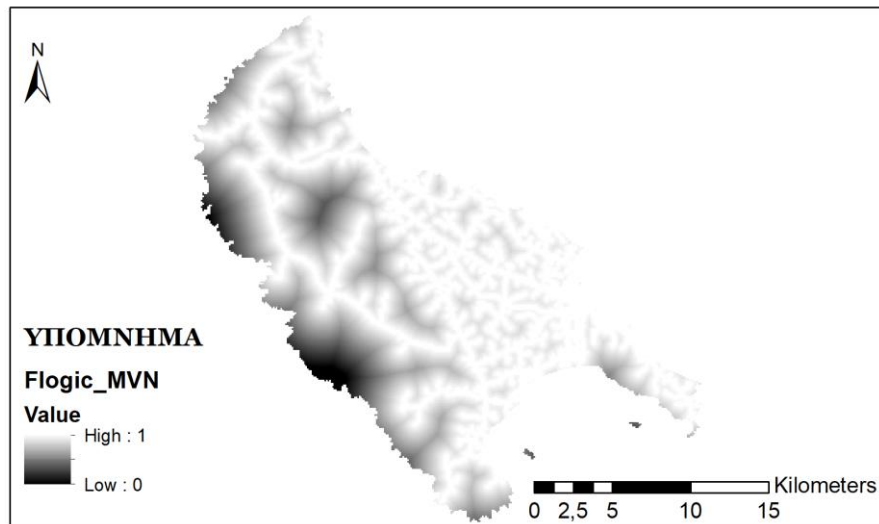
(Χάρτης 37, Ασαφοποίηση οδικού δικτύου)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ ΠΡΑΝΩΝ



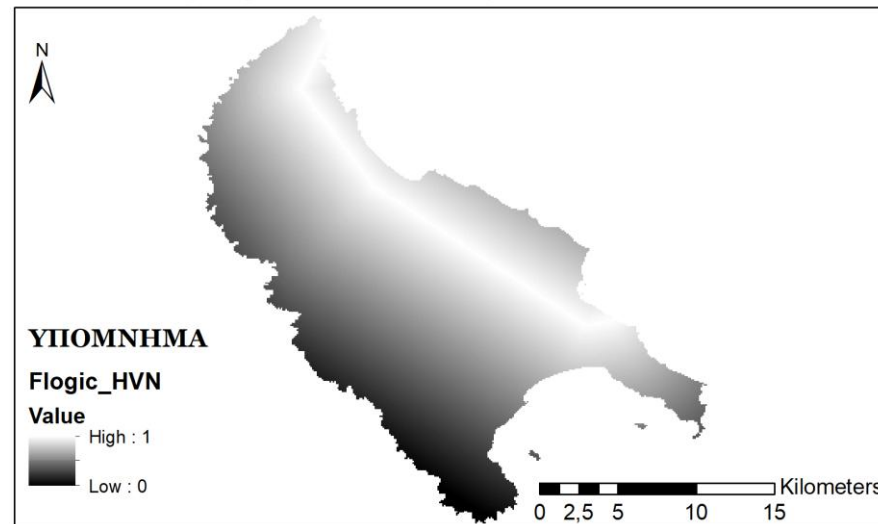
(Χάρτης 38, Ασαφοποίηση κλίσεων)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



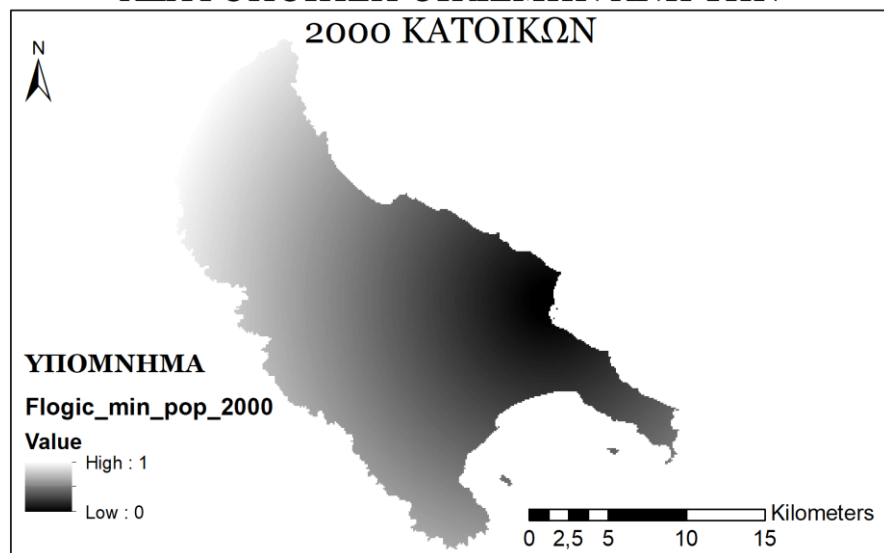
(Χάρτης 39, Ασαφοποίηση δικτύου μέσης τάσης)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ



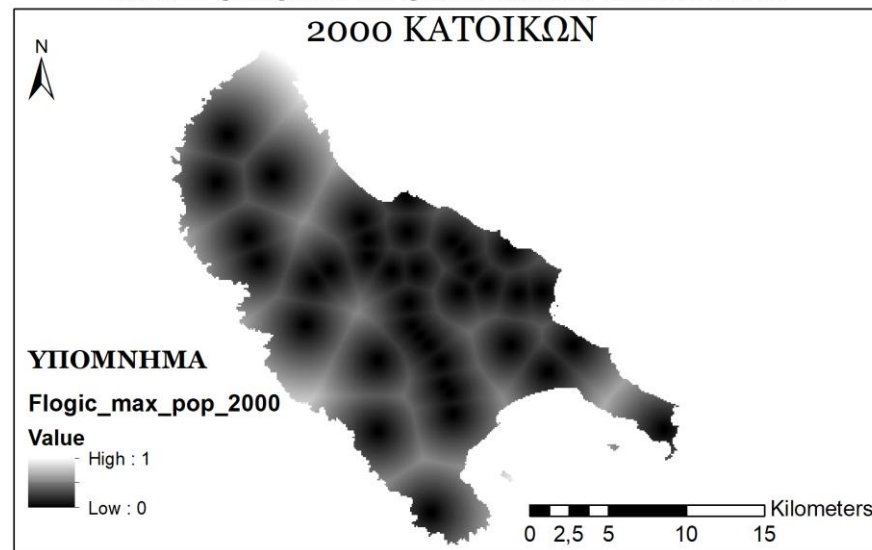
(Χάρτης 40, Ασαφοποίηση δικτύου υψηλής τάσης)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΑΝΩ ΤΩΝ
2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ



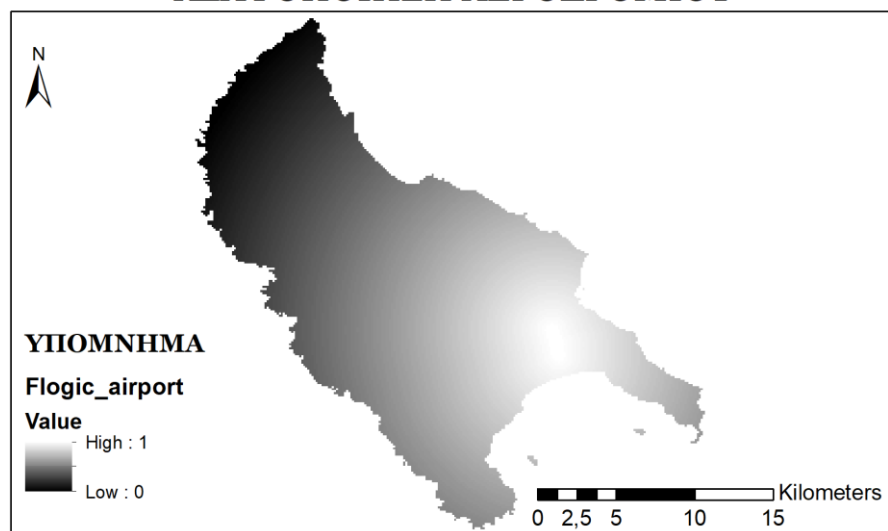
(Χάρτης 41, Ασαφοποίηση οικισμών με πληθυσμό άνω των 2 χιλ. κατ.)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΚΑΤΩ ΤΩΝ
2000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ



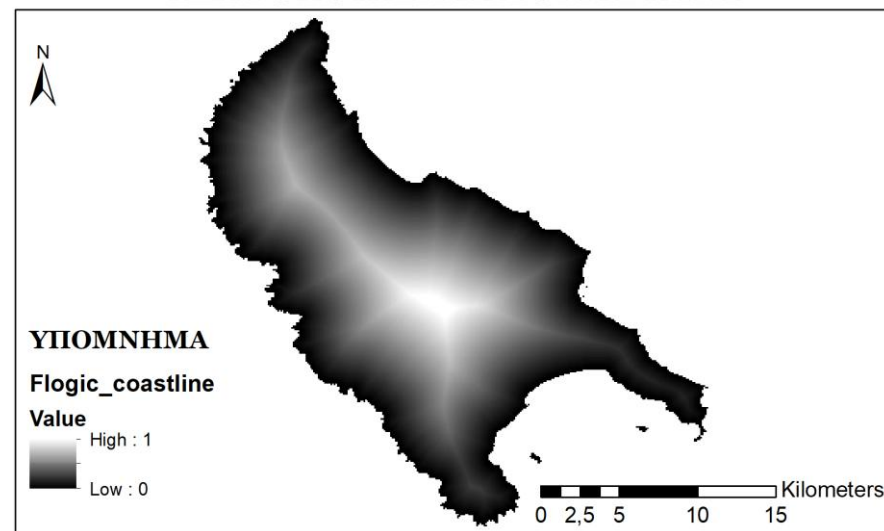
(Χάρτης 42, Ασαφοποίηση οικισμών με πληθυσμό κάτω των 2 χιλ. κατ.)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ



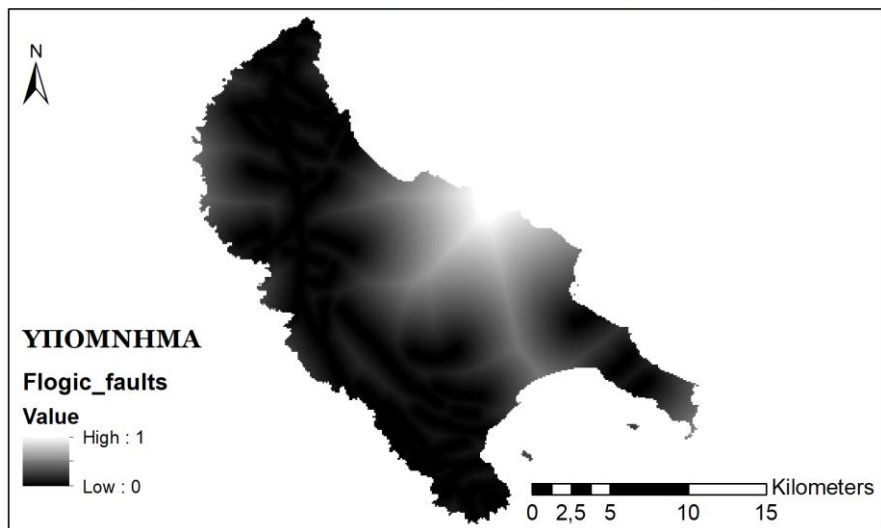
(Χάρτης 43, Ασαφοποίηση αεροδρομίου)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ



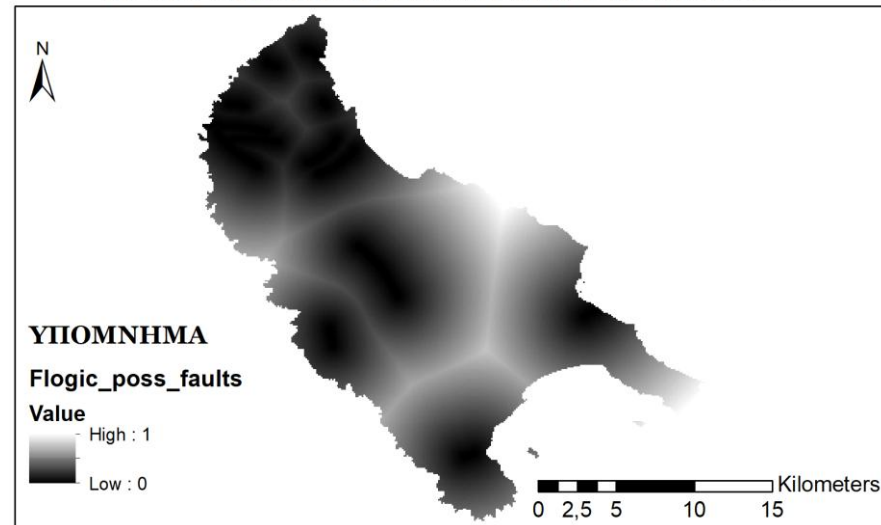
(Χάρτης 44, Ασαφοποίηση ακτογραμμής)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ



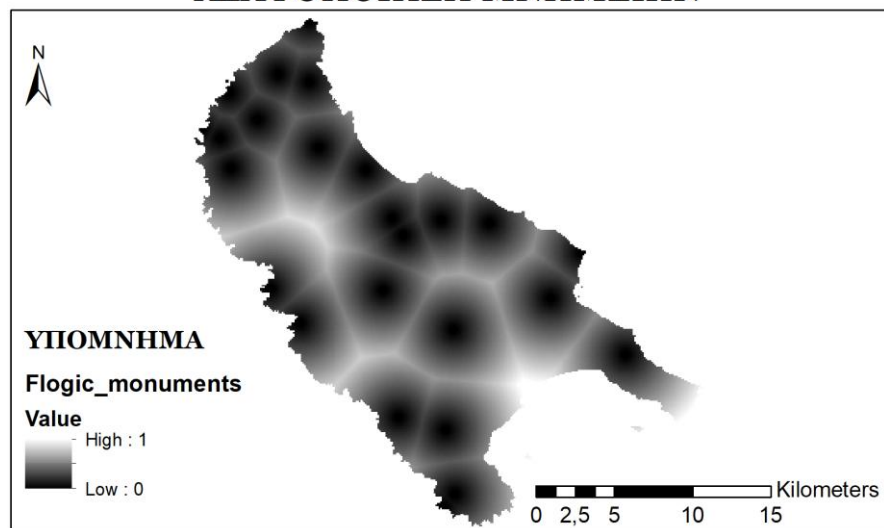
(Χάρτης 45, Ασαφοποίηση ενεργών ρηγμάτων)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ



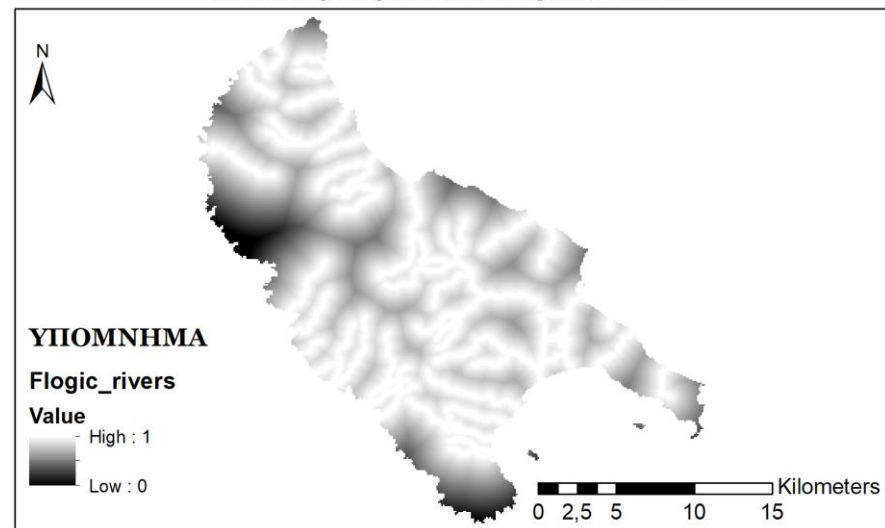
(Χάρτης 46, Ασαφοποίηση πιθανών ρηγμάτων)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ



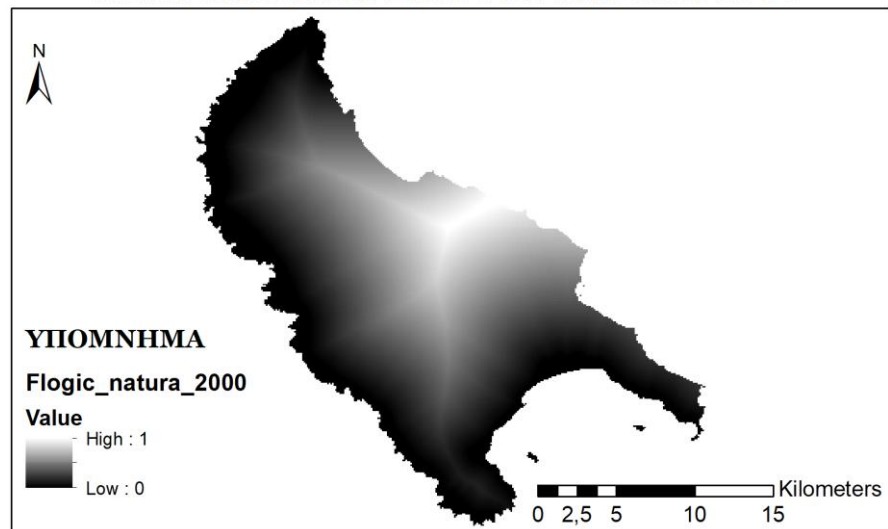
(Χάρτης 47, Ασαφοποίηση μνημείων – αρχαιοτήτων)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΤΑΜΩΝ



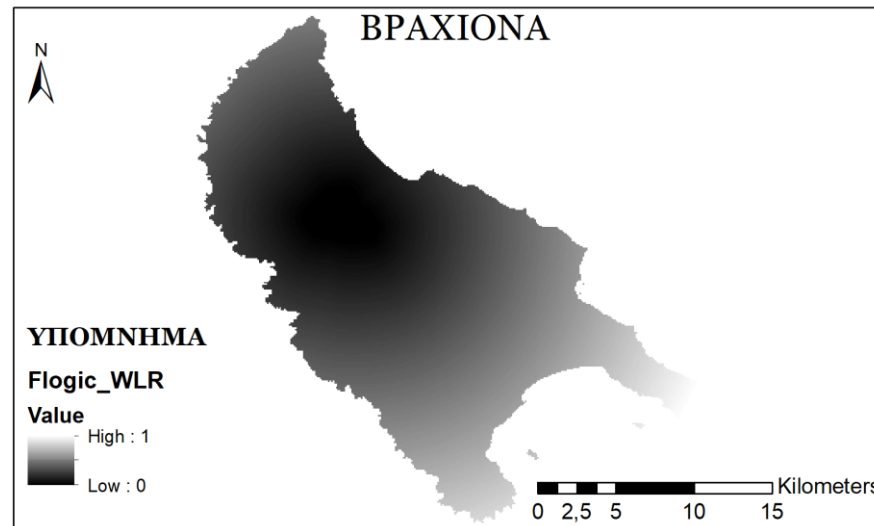
(Χάρτης 48, Ασαφοποίηση ποταμών)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ NATURA 2000



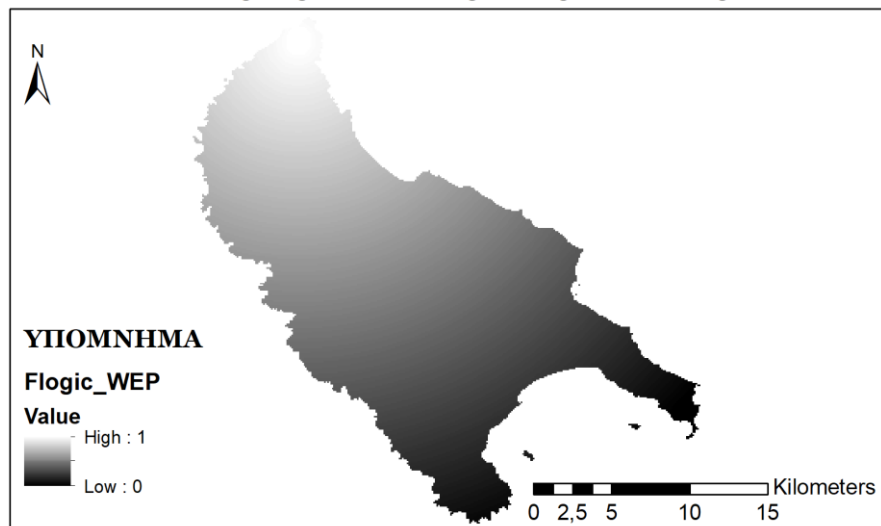
(Χάρτης 49, Ασαφοποίηση δικτύου NATURA 2000)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ
ΒΡΑΧΙΟΝΑ



(Χάρτης 50, Ασαφοποίηση Καταφυγίου Άγριας Ζώης Βραχίονα)

ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ



(Χάρτης 51, Ασαφοποίηση υφιστάμενης ΑΠΕ – Αιολικού πάρκου)

4.4.2 AHP

Ακολουθεί η επεξεργασία AHP, με την οποία πρέπει να αποδοθούν οι σχετικές βαρύτητες, στους παράγοντες. Η διαδικασία αυτή έγινε με τη βοήθεια υπολογιστικής εφαρμογής του διαδικτυακού ιστότοπου *Business Performance Management Singapore* (πηγή : <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>).

Κατά την εισαγωγή των βαθμών, μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στα χωροταξικά και λειτουργικά κριτήρια. Ιδιαίτερα στο Οδικό Δίκτυο, στα Δίκτυα Μέσης και Υψηλής Τάσης, στις κλίσεις εδάφους. Αυτό οφείλεται στην τεράστια οικονομική επιβάρυνση που θα προκύψει, σε περίπτωση επιλογής περιοχής απομακρυσμένης από τους δρόμους ή της γραμμές δικτύου ηλεκτρισμού. Επομένως η προσβασιμότητα και η δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο διανομής ηλ. ενέργειας έχουν μεγαλύτερους βαθμούς προτίμησης. Για λειτουργικούς επίσης λόγους, αποφασίστηκε να δοθεί βαρύτητα σε οικισμούς, καθώς η επέκτασή τους θα δημιουργήσει σκιάσεις, οι οποίες ενδεχομένως να μειώσουν την απόδοση του συστήματος. Οι ποταμοί επίσης εξετάστηκαν ως συνιστώσα ποιότητας λειτουργίας, αφού με κατάλληλο εξοπλισμό μπορεί να αντλείται το νερό τους κατά την συντήρηση και καθαρισμό των πάνελ.

Τα περιβαλλοντικά κριτήρια έλαβαν μικρότερους βαθμούς προτίμησης. Η διαβάθμιση αυτή οφείλεται στον οικονομικό παράγοντα, αν και το φυσικό κάλλος της Ζακύνθου είναι το στοιχείο που προσελκύει τον τουρισμό. Η βέλτιστη λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι η αρμονική συνύπαρξη του Φ/Β πάρκου με το φυσικό περιβάλλον.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2	1.00	1	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	0.50	0.50	1	0.50	0.50	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
4	0.50	0.50	2.00	1	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
5	1.00	0.50	2.00	0.50	1	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00
6	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
7	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1	1.00	2.00	2.00	2.00	0.50	2.00	2.00	2.00
8	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00
9	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00
10	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00
11	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1	0.50	1.00	1.00	1.00
12	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1	2.00	2.00	2.00
13	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.50	1	2.00	2.00
14	0.50	0.50	0.50	0.50	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	1	0.33
15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	3.00	1

(Πίνακας 10 , Πίνακας Προτιμήσεων, Συγκρίσεις ανά δύο, AHP)

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα βάρη (πίνακας 11):

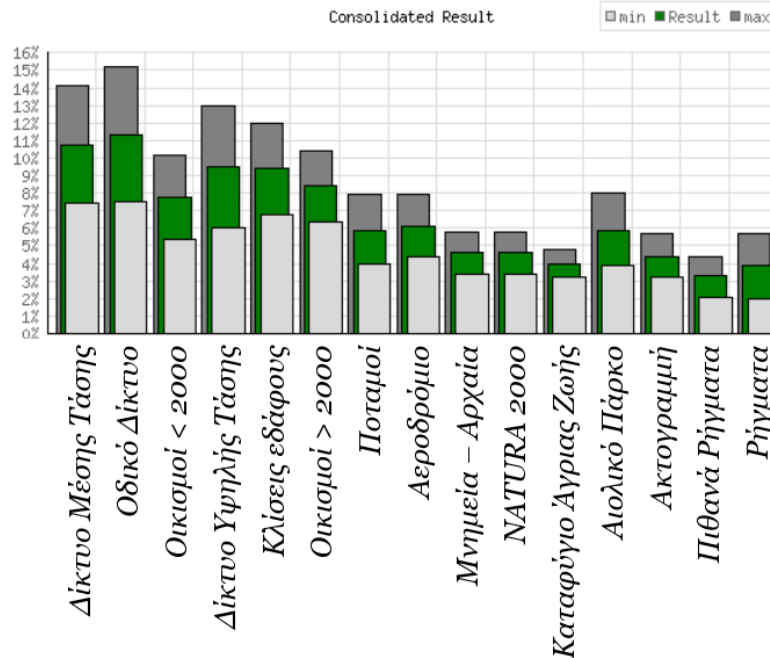
Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Δίκτυο Μέσης Τάσης	10.7%	2	3.4%	3.4%
2	Οδικό Δίκτυο	11.3%	1	3.8%	3.8%
3	Οικισμοί κάτω των 2000 κατ.	7.8%	6	2.4%	2.4%
4	Δίκτυο Υψηλής Τάσης	9.5%	3	3.5%	3.5%
5	Κλίσεις	9.4%	4	2.6%	2.6%
6	Οικισμοί άνω των 2000 κατ.	8.4%	5	2.0%	2.0%
7	Ποταμοί	5.9%	8	1.9%	1.9%
8	Αεροδρόμιο	6.1%	7	1.7%	1.7%
9	Μνημεία - Αρχαιολογικά	4.6%	10	1.2%	1.2%
10	NATURA 2000	4.6%	10	1.2%	1.2%
11	Καταφύγιο Άγριας Ζωής	4.0%	13	0.8%	0.8%
12	Αιολικό Πάρκο	5.9%	9	2.1%	2.1%
13	Ακτογραμμή	4.4%	12	1.3%	1.3%
14	Πιθανά Ρήγματα	3.3%	15	1.2%	1.2%
15	Ρήγματα	3.9%	14	1.8%	1.8%

(Πίνακας 11, Βάρη Κριτηρίων, AHP)

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν εκατό πέντε (105) συγκρίσεις. Ο λόγος συνέπειας CR = 3.1%, που είναι αποδεκτός εφόσον πληροί το όριο αποδοχής των 10%. Παρακάτω παρατίθεται διάγραμμα με ταξινομημένα εύρη λόγων συνέπειας όλων των κριτηρίων (διάγραμμα 4.1).

Number of comparisons = 105
Consistency Ratio CR = 3.1%

Principal eigen value = 15.681
Eigenvector solution: 5 iterations, delta = 2.2E-8



(Διάγραμμα 4.1, Σύνοψη Αποτελεσμάτων AHP)

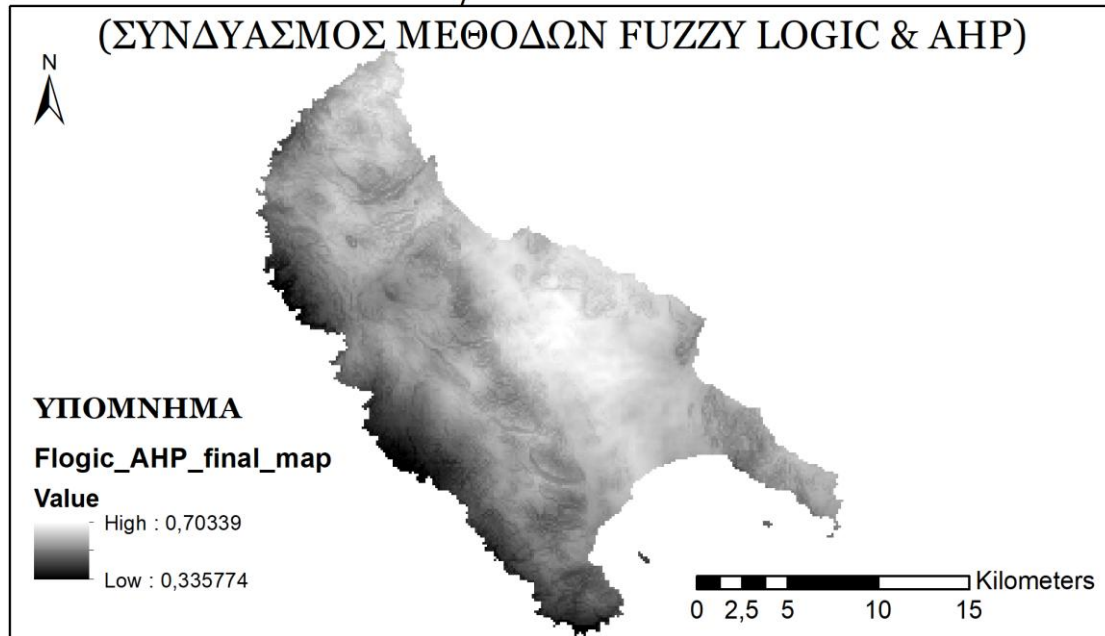
Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας μένει να δημιουργηθεί ο τελικός χάρτης με την κλιμακωτή διαβάθμιση των βαθμών καταλληλότητας της έκτασης του νησιού. Ο υπολογισμός γίνεται με το εργαλείο *Raster Calculator*, πολλαπλασιάζοντας τους ασαφοποιημένους χάρτες με τα αντίστοιχα βάρη και προσθέτοντάς τους.

Η εντολή βρίσκεται στην εργαλειοθήκη ArcToolbox : *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator*. Στο πεδίο εισαγωγής εισάγουμε το άθροισμα :

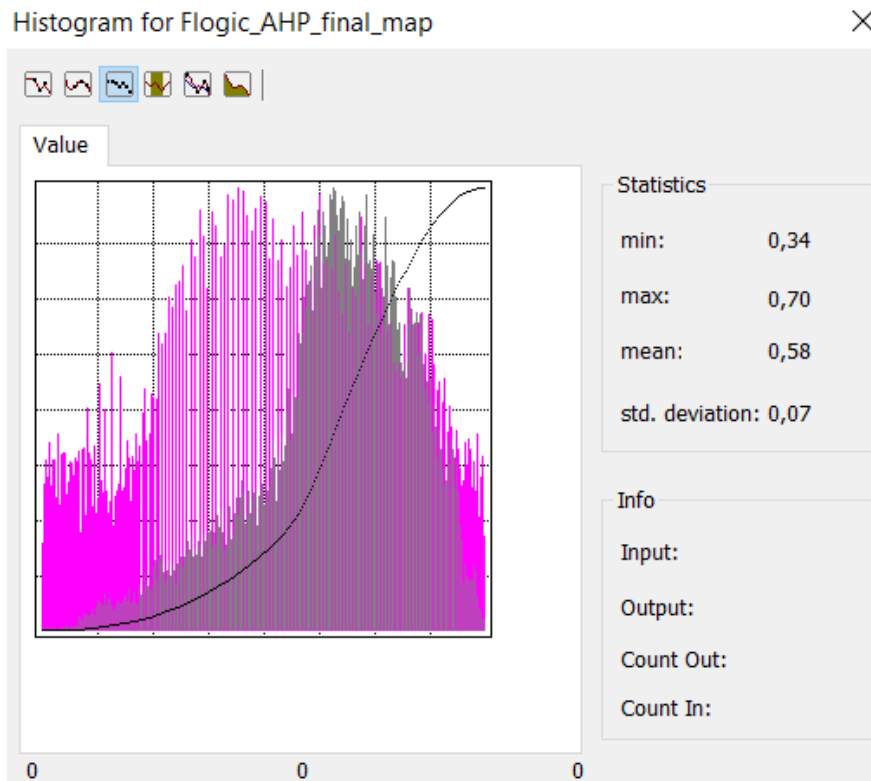
$$\begin{aligned}
 & ("Flogic_roads" * 0.113) + ("Flogic_airport" * 0.061) + ("Flogic_coastline" * 0.044) \\
 & + ("Flogic_faults" * 0.039) + ("Flogic_HVN" * 0.095) + ("Flogic_monuments" * \\
 & 0.046) + ("Flogic_MVN" * 0.107) + ("Flogic_natura_2000" * 0.046) + \\
 & ("Flogic_poss_faults" * 0.033) + ("Flogic_rivers" * 0.059) + ("Flogic_WEP" * \\
 & 0.059) + ("Flogic_WLR" * 0.04) + ("FM_slopes" * 0.094) + \\
 & ("Flogic_min_pop_2000" * 0.084) + ("Flogic_max_pop_2000" * 0.078)
 \end{aligned}$$

Προκύπτει ο τελικός χάρτης-προϊόν συνδυασμού Ασαφούς Λογικής και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας, όπου η έκταση του νησιού κατανέμεται ως προς την καταλληλότητα για ανέγερση Φ/Β πάρκου (χάρτης 52).

**ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 100 kW
(ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΩΝ FUZZY LOGIC & AHP)**



(Χάρτης 52, Κατανομή καταλληλότητας εκτάσεων Ζακύνθου για εγκατάσταση Φ/Β πάρκου)



(Διάγραμμα 4.2, Ιστόγραμμα τιμών τελικού χάρτη Fuzzy Logic & AHP)

Το διάγραμμα με τα στοιχεία της διαβάθμισης δείχνει ότι η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι 0.07, και της μέσης τιμής 0.58. Επομένως γίνονται δεκτά τα αποτελέσματα της μεθόδου AHP.

4.5 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΩΝ BOOLEAN & FUZZY LOGIC – AHP

Στο τελικό στάδιο της μελέτης πραγματοποιείται ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων των μεθόδων που εφαρμόστηκαν.

Αρχικά έγινε ταξινόμηση τιμών καταλληλότητας, έτσι ώστε να είναι αμέσως ορατές οι περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Οι ομάδες που δημιουργήθηκαν αντιστοιχούν στο εύρος τιμών [0.3 , 0.6) και [0.6 , 0.7]. Όριο διαχωρισμού επιλέχτηκε η τιμή 0.6 προκειμένου να επιλεγούν οι περισσότερες κατάλληλες περιοχές. Επομένως οι τιμές τους πρέπει να είναι υψηλότερες από τη μέση τιμή. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με το εργαλείο *Reclassify : Spatial Analyst Tools* → *Reclass* → *Reclassify*.

Εν συνεχεία δημιουργήθηκε ένα ενιαίο *Attribute Table* των στοιχείων του αρχείου κατάλληλων ζωνών της μεθόδου Boolean με τις τιμές τους από τον χάρτη των τιμών της μεθόδου Fuzzy Logic-AHP (*Spatial Analyst Tools* → *Zonal* → *Zonal Statistics as Table*). Τέλος, η μέση τιμή της κάθε περιοχής εφαρμόστηκε ως κριτήριο επιλογής. Ως αποτέλεσμα προέκυψε ο πίνακας με τις προτεινόμενες περιοχές που πληρούν τις προϋποθέσεις τόσο της μεθόδου Boolean, όσο και της Ασαφούς Λογικής-AHP (πίνακας 12), με το άθροισμά τους να ανέρχεται σε δεκαεννέα (19) περιοχές.

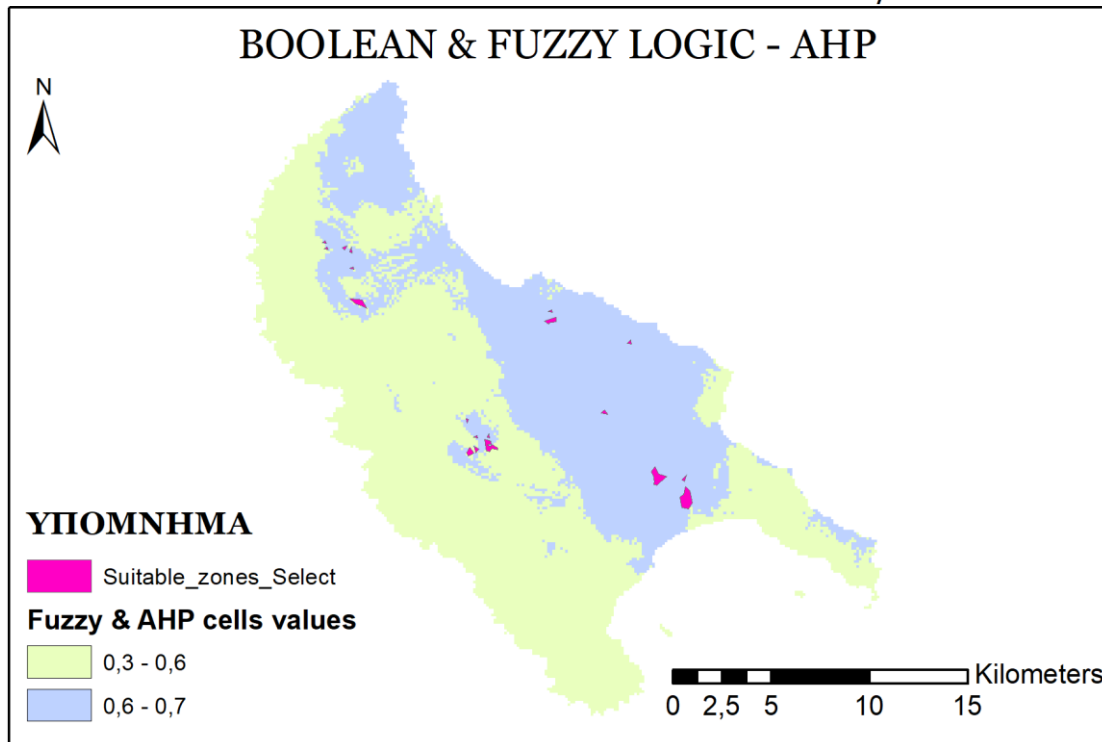
OBJECTID	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
2	7	1	16860.5	0.60597	0.60597	0	0.60597	0	0.60597
4	11	1	16860.5	0.601653	0.601653	0	0.601653	0	0.601653
5	12	1	16860.5	0.636334	0.636334	0	0.636334	0	0.636334
7	14	1	16860.5	0.615151	0.615151	0	0.615151	0	0.615151
10	19	1	16860.5	0.619648	0.619648	0	0.619648	0	0.619648
14	28	9	151744.5	0.598024	0.615197	0.017172	0.606266	0.005864	5.456398
16	31	1	16860.5	0.635505	0.635505	0	0.635505	0	0.635505
20	38	5	84302.52	0.62646	0.64236	0.0159	0.63488	0.006682	3.1744
27	55	2	33721.01	0.645285	0.652666	0.007381	0.648976	0.00369	1.297951
45	87	2	33721.01	0.67206	0.674174	0.002114	0.673117	0.001057	1.346233
50	94	1	16860.5	0.61299	0.61299	0	0.61299	0	0.61299
54	103	1	16860.5	0.604359	0.604359	0	0.604359	0	0.604359
55	104	1	16860.5	0.622819	0.622819	0	0.622819	0	0.622819
60	113	3	50581.51	0.591158	0.607322	0.016164	0.600013	0.006689	1.800039
61	114	11	185465.5	0.589859	0.625414	0.035555	0.609614	0.010628	6.70576
63	118	5	84302.52	0.596946	0.605464	0.008519	0.600944	0.00287	3.004722
75	143	2	33721.01	0.616923	0.618694	0.001771	0.617809	0.000885	1.235618
77	148	18	303489.1	0.608843	0.629014	0.020171	0.618091	0.005238	11.12564
89	168	27	455233.6	0.598133	0.620733	0.0226	0.610763	0.007141	16.49061

(Πίνακας 12, Προτεινόμενες Περιοχές Boolean & Fuzzy Logic – AHP)

Ο διαχωρισμός των περιοχών συνδυασμού μεθόδων από το σύνολό τους γίνεται με το εργαλείο *Select : Analysis Tools → Extract → Select*, ενώ είναι ενεργοποιημένο η εντολή *Select by Attributes*.

Ο συνδυασμός μεθόδων Boolean & Fuzzy Logic – AHP, ολοκληρώνεται με ένωση των προτεινόμενων περιοχών με τον ταξινομημένο χάρτη καταλληλότητας (χάρτης 53).

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΓΙΑ Φ/Β ΠΑΡΚΟ



(Χάρτης 53, Τελικές Προτεινόμενες Περιοχές, Boolean & Fuzzy Logic – AHP)

Παρατηρείται ομαδοποίηση των περιοχών σε διάφορα τμήματα του νησιού, συνολικής επιφάνειας $\approx 1.55 \text{ km}^2$. Βόρεια λοιπόν, είναι έξι (6) περιοχές με συνολική επιφάνεια $\approx 0.24 \text{ km}^2$, με τη μεγαλύτερη να καλύπτει 0.15 km^2 (εικόνα 4.4).

Άλλη μια ομάδα των έξι (6) περιοχών βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού, πλησίον οικισμού Φτερίνι, με συνολικό εμβαδό $\approx 0.36 \text{ km}^2$. Η μεγαλύτερη περιοχή είναι 0.21 km^2 (εικόνα 4.5).

Δυτικά του αεροδρομίου υπάρχει επίσης άλλη μια ομάδα τριών (3) εκτάσεων συνολικού εμβαδού $\approx 0.79 \text{ km}^2$, με τη μεγαλύτερη να καταλαμβάνει 0.46 km^2 (εικόνα 4.6).

Ομάδα δύο (2) περιοχών εκατέρωθεν των Αλωνίων στην Ανατολική πλευρά της Ζακύνθου καλύπτει έκταση $\approx 0.11 \text{ km}^2$, με 0.09 km^2 να καλύπτονται από μια περιοχή (εικόνα 4.7).

Τέλος, δυο (2) μεμονωμένες περιοχές υπάρχουν: η μια πλησίον του χωριού Αγ. Κηρύκου στο ΝΑ κομμάτι και η άλλη στην Ανατολική ακτογραμμή της Ζακύνθου στα Λιμονταίικα. Τα εμβαδά τους είναι 0.03 km^2 και 0.02 km^2 αντίστοιχα (εικόνα 4.8, εικόνα 4.9).

Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες των ομάδων περιοχών. Η απεικόνισή τους έγινε με τη χρήση της εφαρμογής *Google Earth Pro*, στην οποία εισήχθη το *layer* με τις

περιοχές σε μορφή *.kmz*. Για την καλύτερη κατανόηση των τοποθεσιών τους, οι ζώνες πλαισιώθηκαν όπως φαίνεται στον χάρτη της Ζακύνθου. Επιπροσθέτως, οι ακριβείς τοποθεσίες καθώς και οι χρήσεις γης αναφέρονται στον πίνακα 13.

Id At. Table	Τοποθεσία	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	CORINE 2018
7	ΒΔ	37°51'27.33"B	20°39'57.14"A	323
11		37°51'17.63"B	20°40'2.06"A	323 / 242
12		37°51'19.31"B	20°40'38.38"A	323 / 243
14		37°51'14.72"B	20°40'51.76"A	211 / 243
19		37°50'46.69"B	20°40'56.67"A	211
28		37°49'50.24"B	20°41'13.24"A	324 / 223
31	ΒΑ	37°49'46.63"B	20°47'52.83"A	112
38		37°49'31.04"B	20°47'54.31"A	112/223/221
55	ΒΑ	37°49'0.08"B	20°50'38.04"A	112/223
87	ΝΑ	37°47'3.34"B	20°49'50.37"A	112/223
94	ΝΔ	37°46'42.09"B	20°45'6.69"A	324/243
103		37°46'15.78"B	20°45'26.53"A	324
104		37°46'17.06"B	20°45'52.02"A	324/243
113		37°45'54.16"B	20°45'26.84"A	324
114		37°45'57.98"B	20°45'52.73"A	324/323/243
118		37°45'49.82"B	20°45'13.44"A	324/243
143	ΝΑ	37°45'17.66"B	20°52'39.39"A	211/242
148		37°45'17.22"B	20°51'49.39"A	211/242/112
168		37°44'44.89"B	20°52'44.56"A	211

(Πίνακας 13, Κατανομή Τελικών Περιοχών και των τοποθεσιών τους, Boolean & Fuzzy Logic - AHP)

4.5.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ



(Εικόνα 4.6, Προτεινόμενες Περιοχές, ΝΑ Ζάκυνθος)

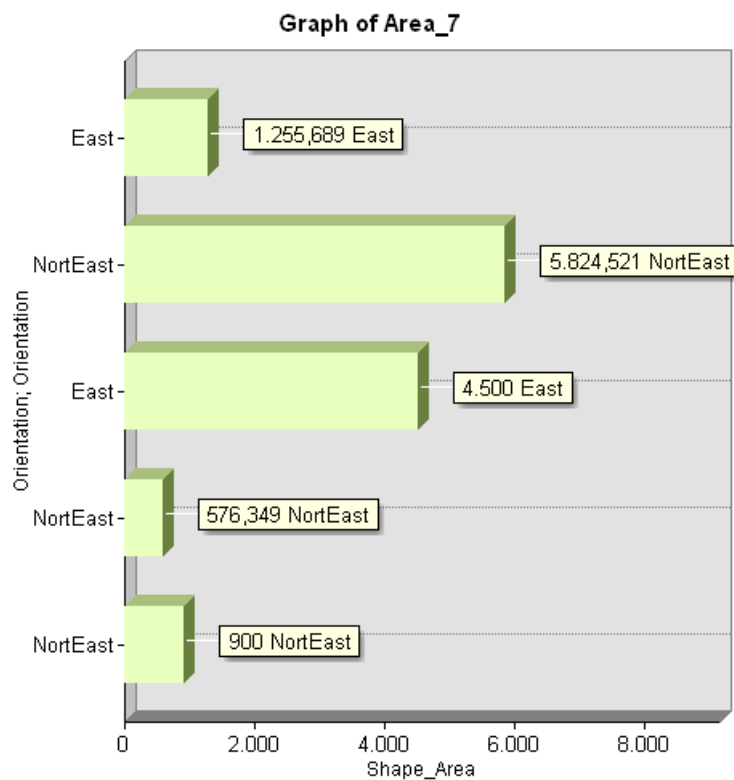


(Εικόνα 4.7, Προτεινόμενες Περιοχές, ΒΑ Ζάκυνθος)

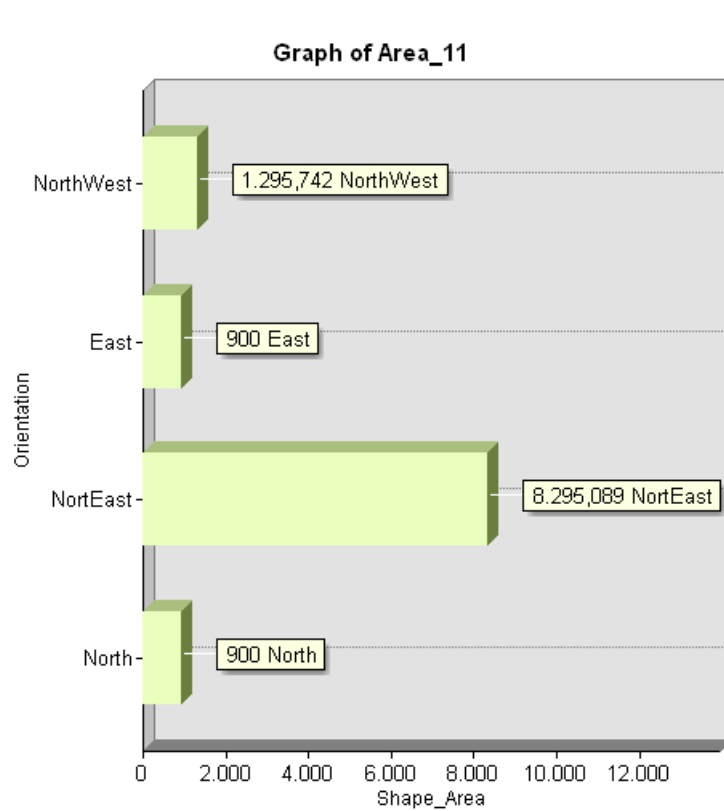
4.5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Η επιλογή χωροθέτησης μιας Φ/Β απαιτεί ανάλυση πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της επιτόπου έρευνας. Στην περίπτωση εδώ η αυτοψία είναι αδύνατη, όμως έγιναν κάποιοι περαιτέρω υπολογισμοί για την βέλτιστη λύση. Πρόκειται για το κριτήριο προσανατολισμού των επιφανειών, ο οποίος όμως δεν ήταν δυνατόν να προστεθεί ως περιοριστικό κριτήριο κατά την εφαρμογή των μεθόδων, λόγω ακρίβειας.

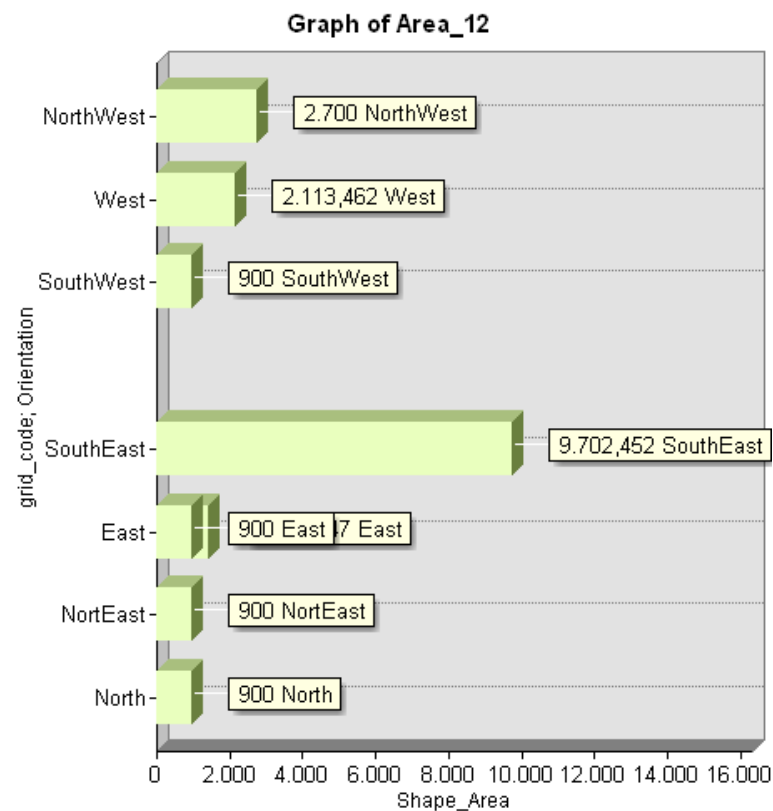
Είναι γνωστό πως η Βόρεια κατεύθυνση είναι ακατάλληλη για χωροθέτηση Φ/Β συστημάτων. Επιδιώκεται για υψηλότερες αποδόσεις, να τοποθετούνται τα πάνελ με διεύθυνση ΒΝ και Νότια κατεύθυνση. Εξίσου αποδεκτές είναι οι κατευθύνσεις ΝΑ, ΝΔ και φυσικά Δυτικά και Ανατολικά, όμως με επιφυλάξεις ως προς τον βαθμό απόδοσης.



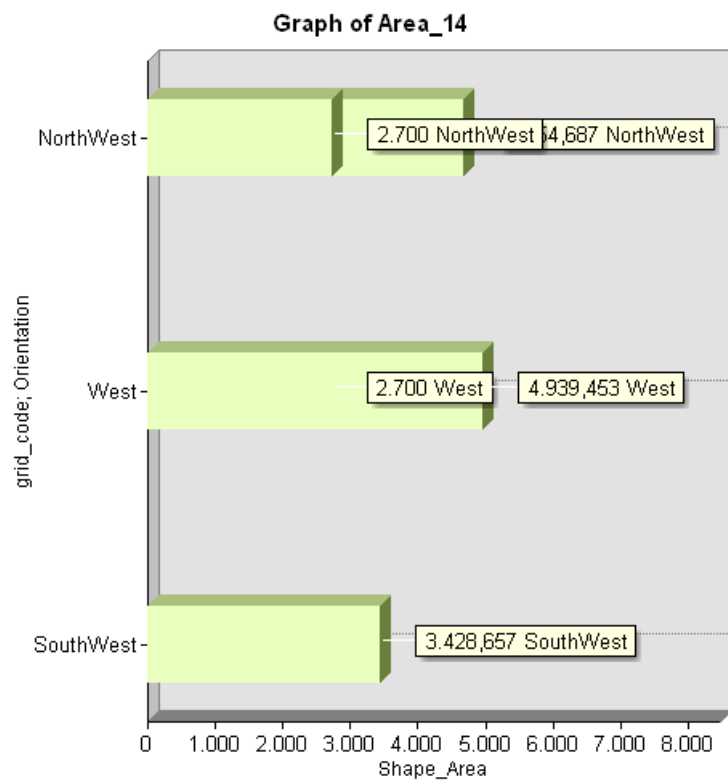
(Διάγραμμα 4.3, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 7)



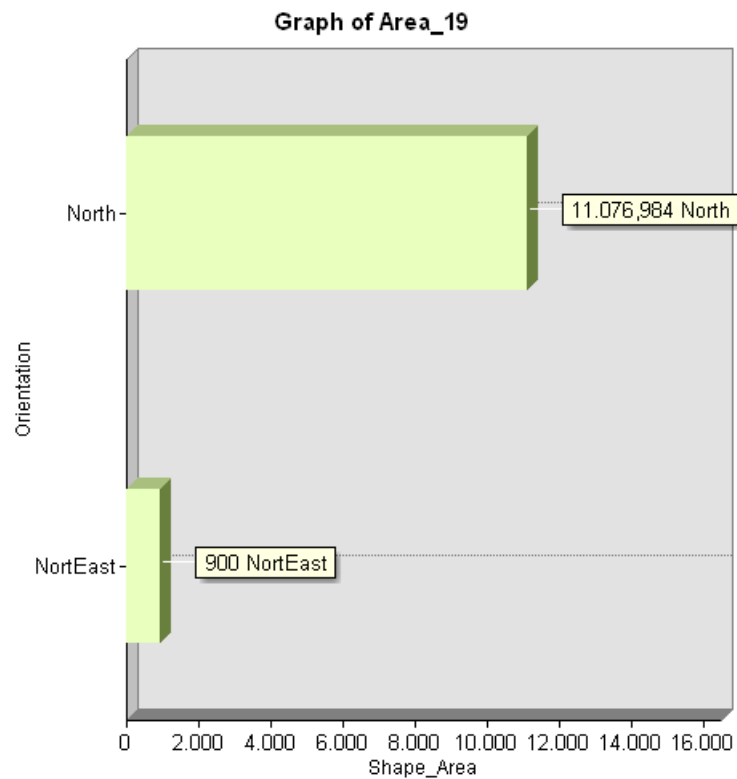
(Διάγραμμα 4.4, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 11)



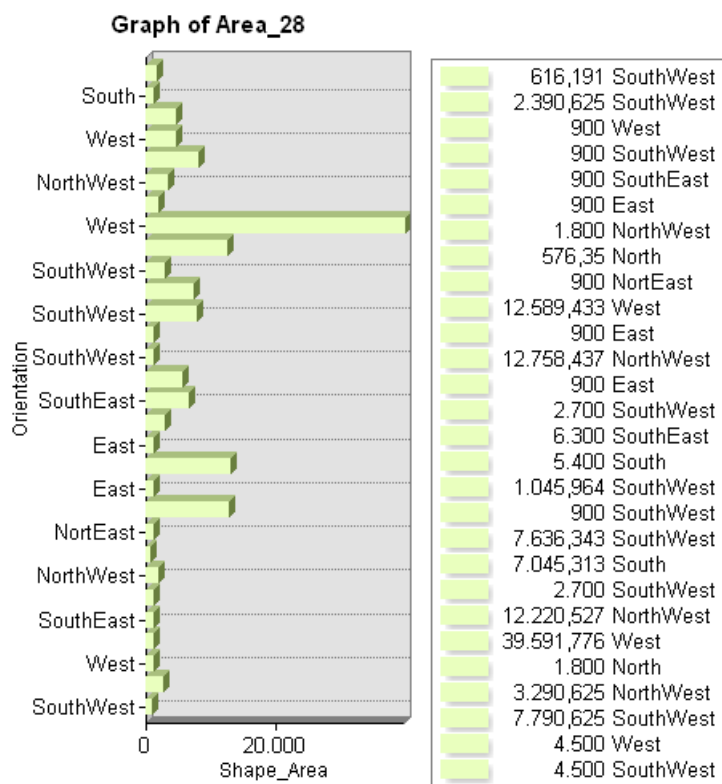
(Διάγραμμα 4.5, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 12)



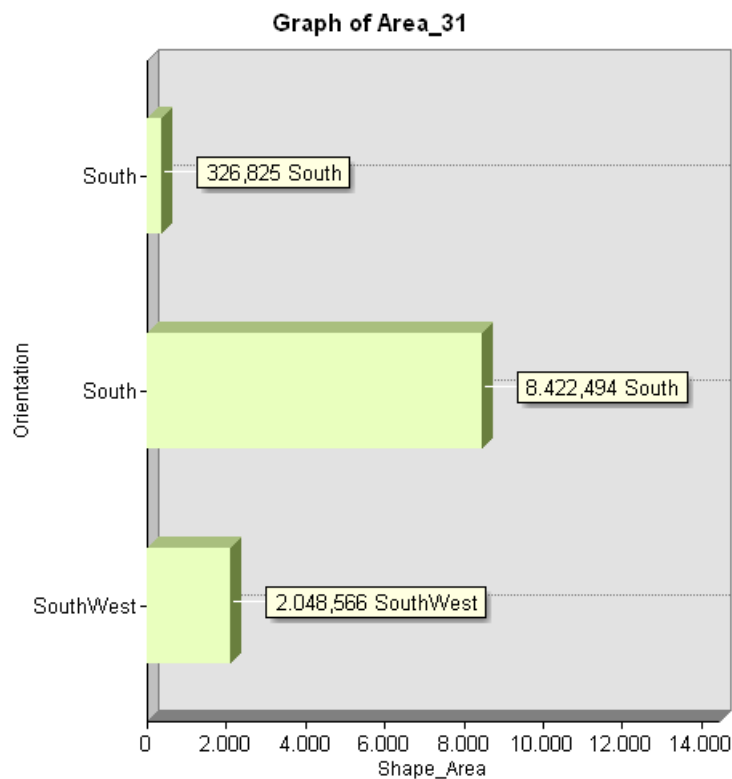
(Διάγραμμα 4.6, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 14)



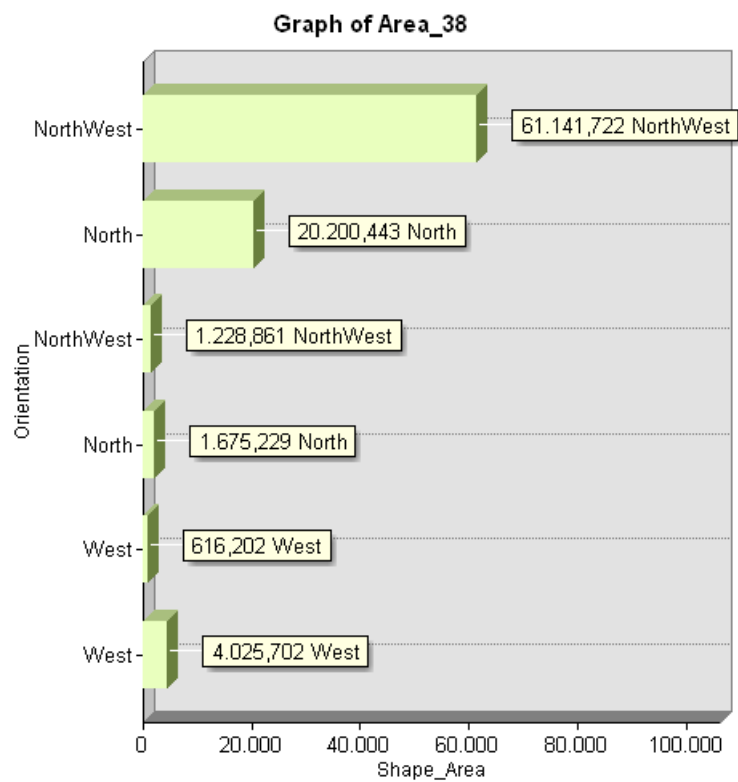
(Διάγραμμα 4.7, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 19)



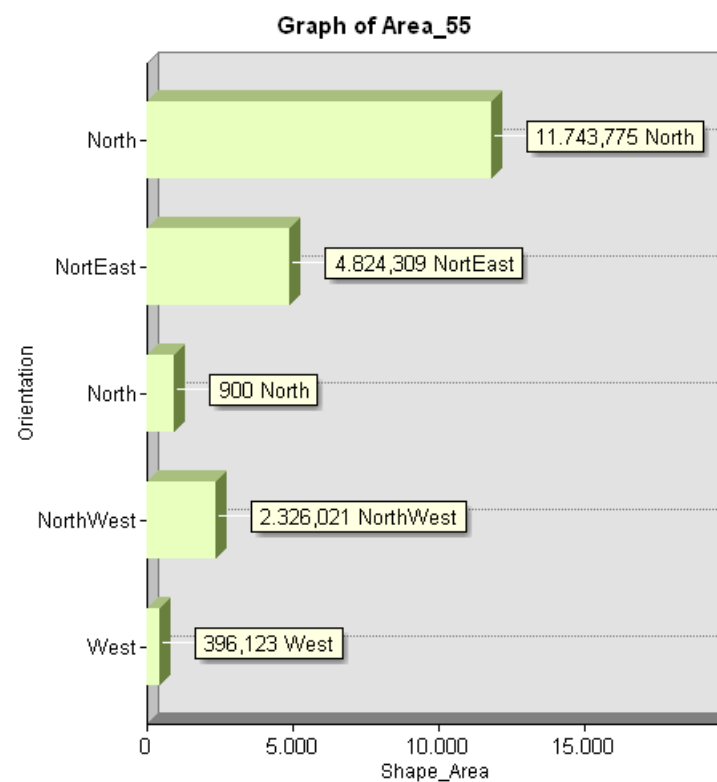
(Διάγραμμα 4.8, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 28)



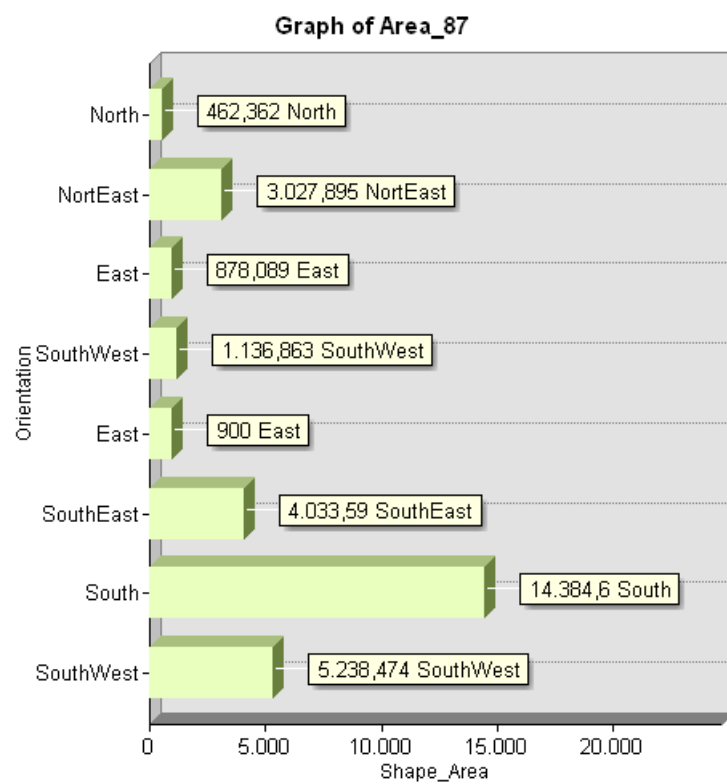
(Διάγραμμα 4.9, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 31)



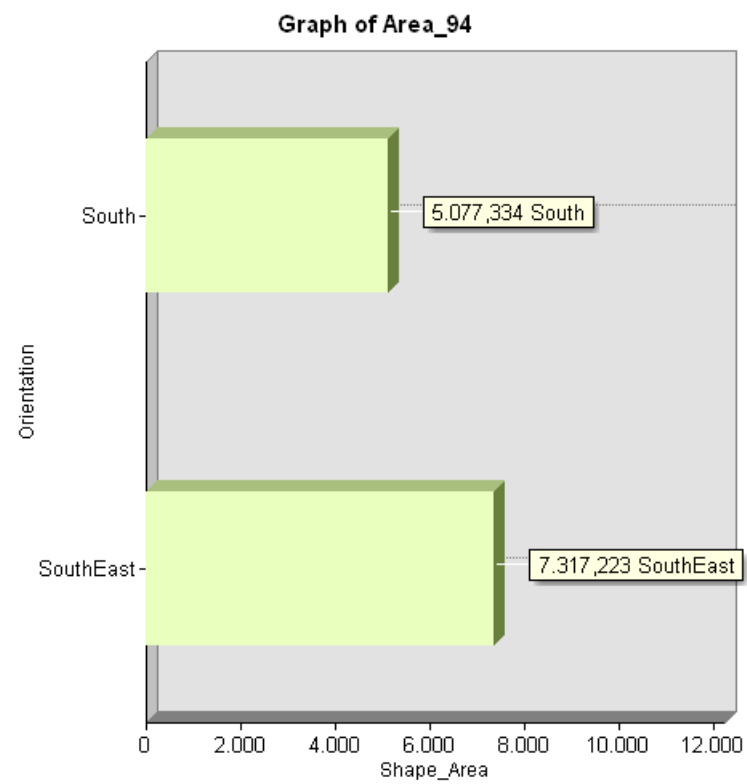
(Διάγραμμα 4.10, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 38)



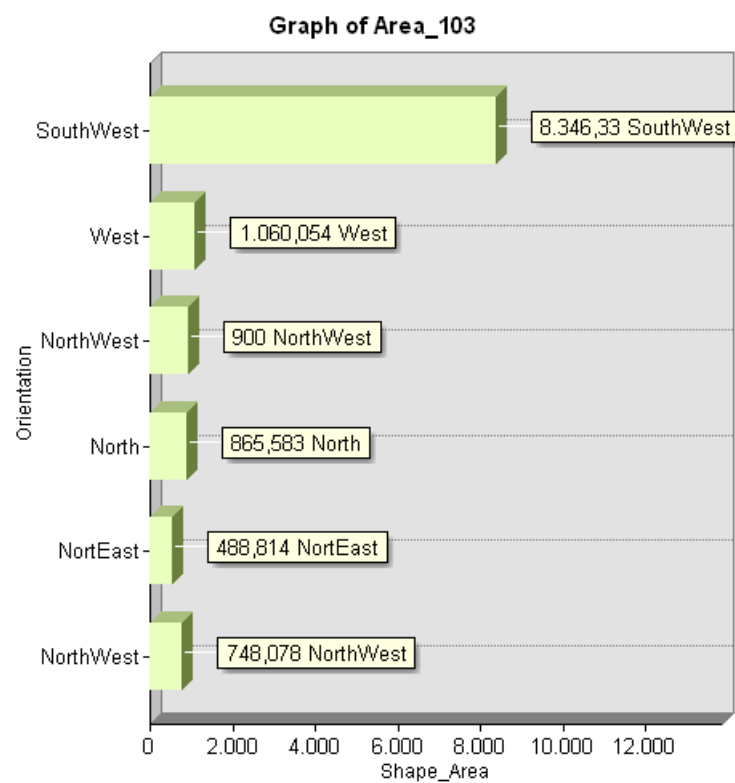
(Διάγραμμα 4.11, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 55)



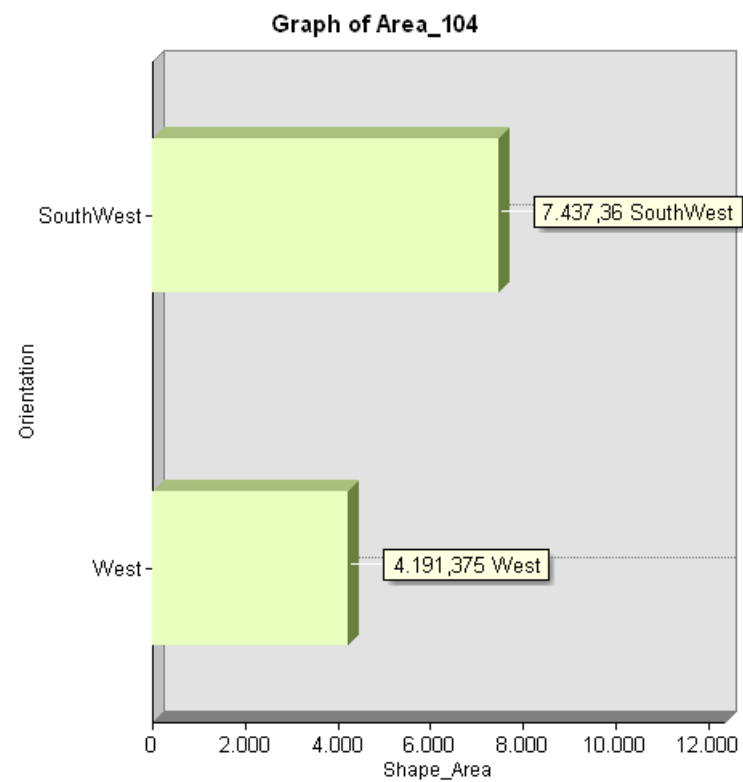
(Διάγραμμα 4.12, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 87)



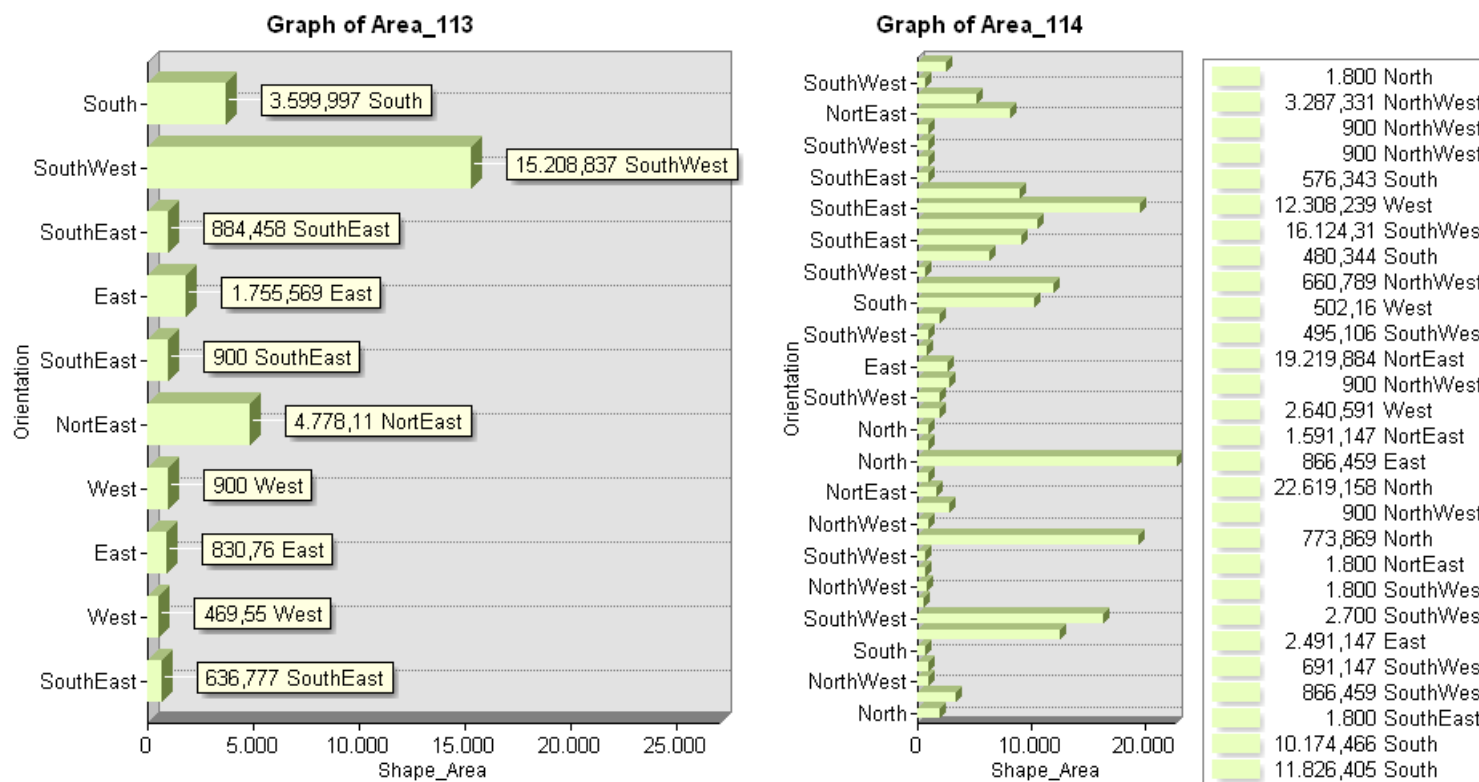
(Διάγραμμα 4.13, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 94)



(Διάγραμμα 4.14, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 103)

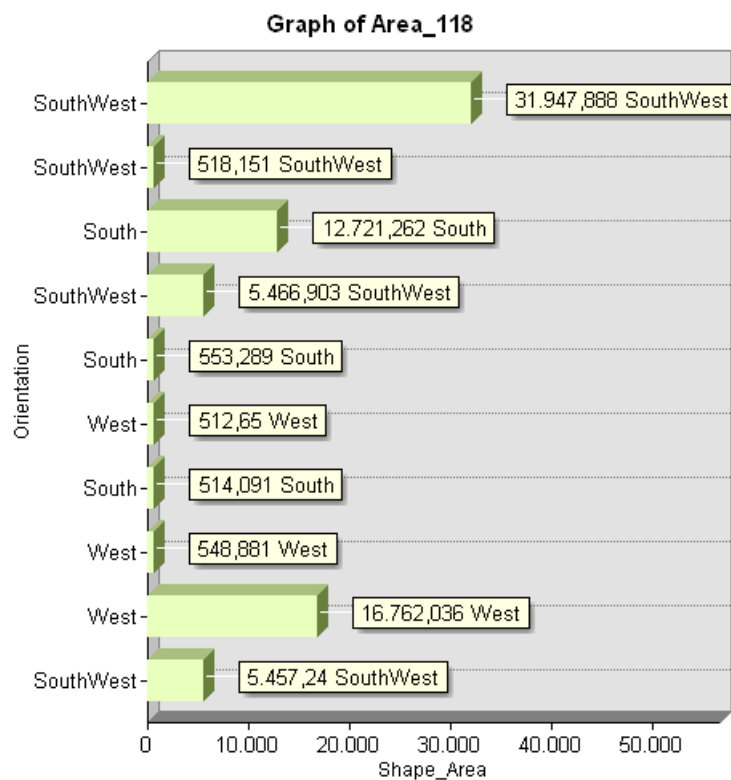


(Διάγραμμα 4.15, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 104)

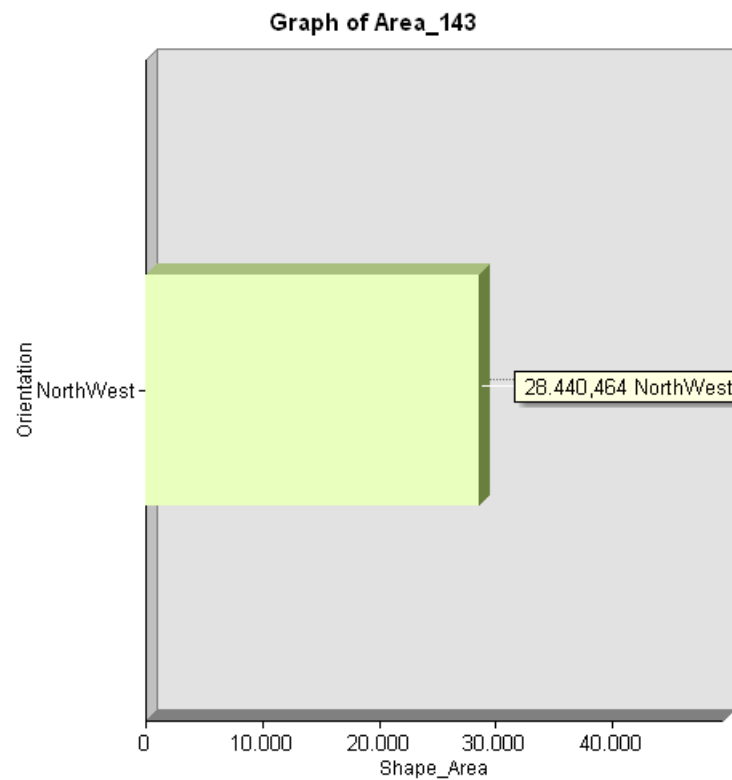


(Διάγραμμα 4.16, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 113)

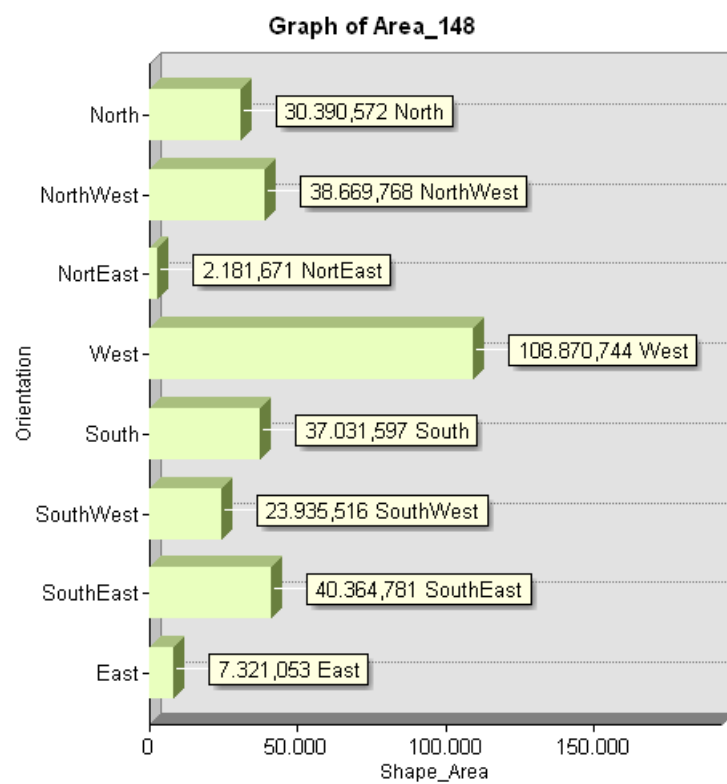
(Διάγραμμα 4.17, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 114)



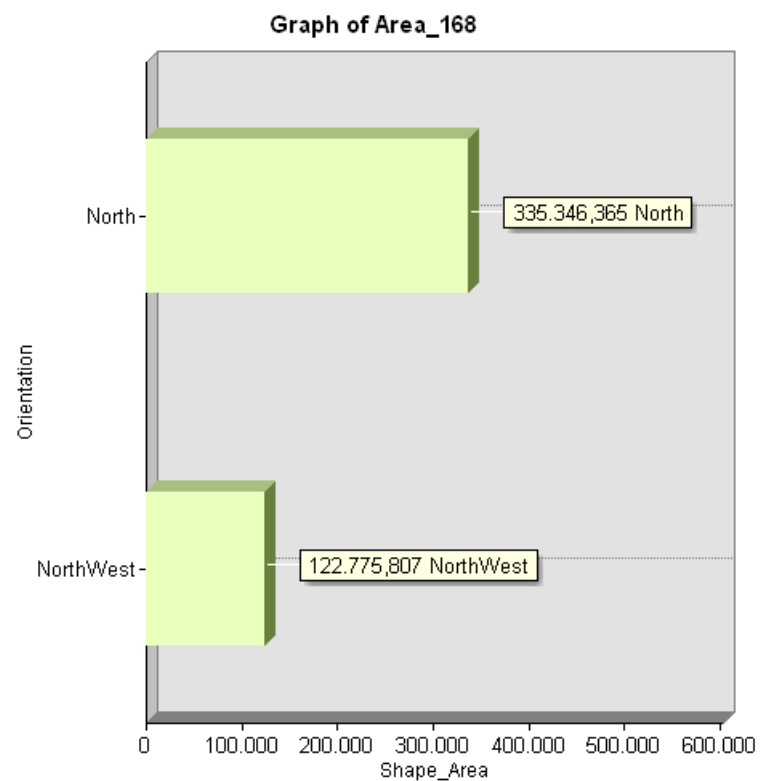
(Διάγραμμα 4.18, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 118)



(Διάγραμμα 4.19, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 143)



(Διάγραμμα 4.20, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 148)



(Διάγραμμα 4.21, Κατάταξη Προσανατολισμού των επιφανειών της περιοχής 168)

4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

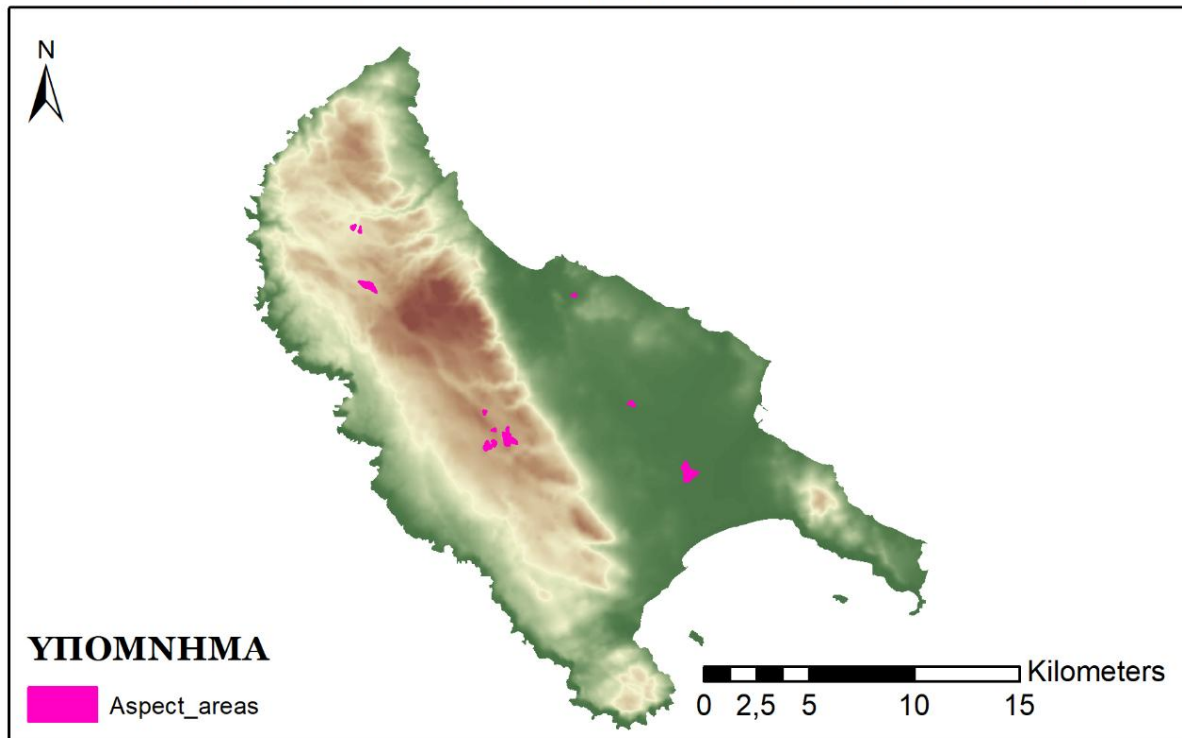
Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι η οριοθέτηση των δεκαεννέα υποψηφίων (19) ζωνών, κατάλληλων να στεγάσουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Να σημειωθεί, ότι δεν εξετάστηκε ο παράγοντας του κόστους της υποκείμενης εγκατάστασης.

Βάσει των οδηγιών των κατασκευαστών των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, απαιτείται περίπου 8-10 m² για κάθε 100 Watt, και Ν, ΝΑ, ΝΔ καθώς και Δ και Α κατευθύνσεις. Αφού έγινε η μελέτη, παρατηρήθηκε ότι όλες οι περιοχές πληρούν την προϋπόθεση του χώρου. Όμως, δεν έχουν όλες τους τον σωστό προσανατολισμό. Εν μέσω της ανάλυσης των επιφανειών ως προς τις κατευθύνσεις τους, απορρίφθηκαν επτά (7) περιοχές : 7, 11, 19, 38, 55, 143, 168. Το τελικό σύνολο των προτεινόμενων ζωνών απεικονίζεται στον χάρτη 54.

Το συνολικό εμβαδόν των τελικών δώδεκα (12) προτεινόμενων περιοχών είναι $\approx 0.82 \text{ km}^2$ ή 820000 m², που είναι υπεραρκετό για ανέγερση ενός ή και περισσότερων Φ/Β πάρκων. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό, το εμβαδόν αυτό αναλογεί σε 100 φωτοβολταϊκά πάρκα ονομαστικής ισχύος 100 kW, που αντιστοιχεί σε παραγωγή kWh, ή 15706600 kWh ή 15.7 GWh ετησίως (!).

Φυσικά, δεν συνίσταται η απερισκεπτη χωροθέτηση σε όλες τις περιοχές, όμως η εκμετάλλευση μερικών εξ αυτών θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο κατανάλωσης – παραγωγής της Ζακύνθου.

ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ



(Χάρτης 54, Οι τελικές προτεινόμενες περιοχές μετά τον αποκλεισμό των ζωνών με Β προσανατολισμό)

4.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας αποτελούν μέλλον στο ενεργειακό ζήτημα. Οι εγκαταστάσεις ΑΠΕ στην Ελλάδα, και ιδιαίτερα οι φωτοβολταϊκές λόγω ηλιοφάνειας, παρουσιάζουν επενδυτικό ενδιαφέρον. Έτσι, επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θέμα της εργασίας. Η μελέτη έγινε με το πλέον σύγχρονο τρόπο, διερευνώντας τις πτυχές του προβλήματος στηριζόμενη στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Πρόκειται για ένα αξιόπιστο σύστημα, ικανό να διαχειριστεί μεγάλους όγκους πληροφοριών διάφορων ειδών.

Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια εύρεσης κατάλληλων περιοχών στη νήσο Ζάκυνθο, για την κατασκευή Φωτοβολταϊκού Συστήματος ισχύος 100kW. Εξετάζοντας το θέμα υπό το πρίσμα του νομοθετικού ισχύοντος πλαισίου, ορίστηκαν τα αντίστοιχα κριτήρια επιλογής. Επιπλέον, προστέθηκαν κριτήρια λειτουργικού χαρακτήρα, βάσει των οδηγιών που δίνουν οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές Φ/Β εγκαταστάσεων.

Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν κρίθηκαν ως οι πλέον κατάλληλες, καθώς πρόκειται για πολυκριτηριακή ανάλυση. Μολονότι η μέθοδος Boolean απέδωσε ολόσωστα αποτελέσματα, δεν είναι όμως κατάλληλη για σύνθετες αναλύσεις. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο στάδιο της μελέτης. Στη συνέχεια, ήταν απαραίτητο να ξεχωρίσουν οι πιο ικανοποιητικές προτάσεις χωροθέτησης. Η Λογική της Ασάφειας σε συνδυασμό με την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία ολοκλήρωσαν λοιπόν τον διαχωρισμό των κατάλληλων ζωνών, δίνοντας πλήρη εικόνα της διαβάθμισης των πιθανοτήτων καταλληλότητας των ήδη επιλεγμένων περιοχών.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της πτυχιακής αυτής εργασίας, είναι παραπάνω από ικανοποιητικές. Πρώτα απ' όλα, τα εμβαδά όλων των πεδίων πληρούν τις χωρικές προδιαγραφές. Θα μπορούσε κανείς να προτρέψει σε έρευνα φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μεγαλύτερης από 100 kW ισχύος. Δεύτερον, οι περιοχές που προτάσσονται βρίσκονται σε διάσπαρτες τοποθεσίες. Επομένως υπάρχει εύρος επιλογών, που ενδεχομένως να χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης, βάσει κάποιων άλλων επιπλέον κριτηρίων (λ.χ. οικονομικός παράγοντας, αισθητική ή και ηθική αξία του τόπου, κάποια φυσική καταστροφή). Είναι σημαντικό το γεγονός αυτό, καθώς συχνά οι κοινωνίες με φυσικό πλούτο και τουρισμό, τάσσονται κατά των εγκαταστάσεων ΑΠΕ. Εδώ, συμπεραίνει κανείς ότι υπάρχει αρκετός αριθμός εναλλακτικών λύσεων, οι οποίες όλες αποσκοπούν στον αρμονικό συνδυασμό «πράσινης οικονομίας» και σεβασμού προς το φυσικό περιβάλλον.

Όπως όλες οι έρευνες, έτσι και αυτή εδώ, περιέχει δεδομένα μειωμένης ακρίβειας ή με σημαντικό σφάλμα. Φυσικά, έγιναν όλες οι ενέργειες βελτιστοποίησης και οι απαραίτητες διορθώσεις. Και παρά τη δυσκολία, βρέθηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα, ώστε να καταστεί δυνατή η εφαρμογή των κριτηρίων. Το πρόγραμμα ArcMap 10.1 της ESRI προσφέρει πλήθος υπολογιστικών εργαλείων για την αναπαράσταση χωρικών πληροφοριών, ένωση επιπέδων πληροφοριών σε ενιαίο σύνολο, διεξαγωγή στατιστικών στοιχείων των υπό μελέτη επιπέδων με απόλυτη ακρίβεια, μοντελοποίηση εδάφους. Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι χρονοβόρες και σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατον να εκτελεστούν από τον άνθρωπο λόγω της πολυπλοκότητάς τους. Όμως, κανένας υπολογισμός ή μοντελοποίηση δεν είναι τόσο ακριβής όσο η επί τόπου αυτοψία και έρευνα, η οποία δεν πρέπει να παραλείπεται όταν πρόκειται για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης ΑΠΕ.

Βιβλιογραφία

- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κ. Μακεδονίας, Μωυσής Δαμιανίδης Η.Μ., Γεώργιος Κατσαρός Δρ Η.Μ., Ματθαίος Τόλης Μ.Μ., Φώτιος Στεργιόπουλος Η.Μ., «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων», Θεσσαλονίκη, 2011
- Τσούλος, Λ., Ψηφιακή Χαρτογραφία. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 2018
- Λύσανδρος Τσούλος, Ανδριανή Σκοπελίτη, Λήδα Στάμου, «Χαρτογραφική Σύνθεση & Απόδοση σε Ψηφιακό Περιβάλλον», 2015
- ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, β' τεύχος, Αρ. Φύλλου 97, 31 Ιανουαρίου 2012
- ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, Τεύχος Αναγκαστικών Απαλλοτριώσεων Και Πολεοδομικών Θεμάτων, Αρ. Φύλλου 376, 6 Σεπτεμβρίου 2010
- ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, β' τεύχος, Αρ. Φύλλου 1556, 22 Σεπτεμβρίου 2010
- Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, Σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (αναδιτύπωση), Βρυξέλλες, 23.2.2017
- Χ. Χαλκιάς, Γκούσια Μ., σύγγραμμα «Γεωγραφική ανάλυση με την αξιοποίηση της γεωπληροφορικής», 2015
- Δρ Χαρίσιος Αχιλλας, Δρ Γεώργιος Μπανιάς, παρουσίαση «Επισκόπηση Χρήσης Μεθόδων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης ως εργαλείου ποβοήθησης του λήπτη απόφασης»
- Παναγιώτα Ζαχαροπούλου, πτυχιακή εργασία «Βέλτιστη χωροθέτηση Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διαχείρισης Απορριμμάτων με χρήση GIS, πολυκριτηριακής ανάλυσης και ασαφούς λογικής», ΕΜΠ, 2019
- Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, «Ο ΣΕΦ προτείνει ριζικές θεσμικές αλλαγές για τα φωτοβολταϊκά», Αθήνα, 25.2.2019
- Πολυτεχνείο Κρήτης, Θεοχάρης Τσούτσος, Δήμος Κοκολόγος, Ιωάννα Τσίτουρα, Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης, Αριάδνη Βασιλομιχελάκη, Μωυσής Μυλωνάς, Πέτρος Λυμπεράκης, «Έρευνα Χωροθέτησης Για Τη Βιώσιμη Εγκατάσταση Μεγάλων Μονάδων Φ/Β & Ηλιοθερμικών Ισχύος Στην Περιφέρεια Κρήτης», 19/03/2013
- Βαλτοπούλου Ελένη, Παπακωνσταντίνου Δημήτρης, Κασσιός Κώστας, «Μελέτη χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου 100 kW στο Πεντελικό όρος με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών», Αθήνα, 2013
- Τέγου, Ιωάννα – Λήδα, διδακτορική διατριβή «Η χωρική διάσταση της κατανεμημένης παραγωγής με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε ένα αυτόνομο ενεργειακό σύστημα», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2011
- Καλογεράκης Γεώργιος, διπλωματική εργασία, «Μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 80kW», Σχολή Μηχανικών Παραγωγής Και Διοίκησης, Χανιά, 2013
- Χ. Παπαδόπουλος, Μεταπτυχιακή διατριβή, «Ανάπτυξη μοντέλων χωροθέτησης ΦΒ πάρκου στη Ζάκυνθο σε περιβάλλον GIS», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Αγροτικής Παραγωγής, Υποδομών και Περιβάλλοντος, 2018
- Δίγκας Κωνσταντίνος, διπλωματική εργασία «Μελέτη Χωροθέτησης ΧΥΤΥ Στη Νήσο Άνδρο με Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας Και Εφαρμοσμένων Οικονομικών, Αθήνα, 2017

- Τατάκης Άγγελος, διπλωματική εργασία, «Πολυκριτηριακή ανάλυση με Χρήση GIS στην χωροθέτηση καλλιεργήσιμης έκτασης στην ευρύτερη περιοχή της Σάμου», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2018
- Στρεπελιάς Ηλίας, μεταπτυχιακή διατριβή, «Πολυκριτηριακή ανάλυση στη λήψη αποφάσεων για τον προσδιορισμό χρήσης γης στον αστικό ιστό», Πανεπιστήμιο Πατρών, 2018
- Αγγελόπουλος Παναγιώτης, «Εφαρμογή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης για την οριοθέτηση περιοχών φυσικής και τεχνητής αναγέννησης στο δάσος Ταΰγετου»
- Γεώργιος Σταυρίδης, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Έργασία, «Χωροθέτηση ΧΥΤΥ με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης και GIS. Μελέτη περίπτωσης για την περιοχή της Νήσου Ζακύνθου», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2018
- Χρυσάνθη Η. Τσιμπιδά, μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, «Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP). Μέθοδοι εύρεσης βαρών κριτηρίων και εναλλακτικών», ΑΠΘ, 2009
- Μπρες Κωνσταντίνος, πτυχιακή εργασία «Εφαρμογή της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου στον επιχειρηματικό σχεδιασμό», ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, 2019
- The International Encyclopedia of Geography. Edited by Douglas Richardson, Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu, and Richard A. Marston, © 2017 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2017 by John Wiley & Sons, Ltd.
- Meryem Tahri, Mustapha Hakdaoui, Mohamed Maanan, « The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco», *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51 (2015) 1354–1362, 2015
- Dimitrios D. Alexakis, Apostolos Sarris, « Integrated GIS and remote sensing analysis for landfill siting in Western Crete, Greece», Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- Saaty, T.L. & Vargas, L.G. (1987). Uncertainty and Rank Order in the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 32(1):107-117.
- Saaty, T.L. (1996). *Multicriteria Decision Making, The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource, Allocation.* RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T.L. (1978). Modeling Unstructured Decision Problems-The Theory of Analytical Hierarchies, *Mathematics and Computers in Simulation*, XX:147- 158.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process.* New York: McGraw Hill.
- Saaty, T. (1987). The Analytic Hierarchy Process: What it is and how it is used. *Math Modelling*, 9:161-176
- Dagdeviren, M., & I.Yuksel. (2008). Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. *Information Sciences*, 6(178):1717-1733.

Διαδικτυακές Αναφορές

- Ελληνικό Κτηματολόγιο <https://www.ktimatologio.gr/>
- Ελληνική Στατιστική Αρχή <https://www.statistics.gr/>
- Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main>
- Ιστοσελίδα Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου <https://www.europarl.europa.eu/portal/el>
- Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών <https://helapco.gr/>
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας <http://www.rae.gr/>
- Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης <https://diavgeia.gov.gr/>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας <http://www.ypeka.gr/el-gr/>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων <http://www.opengov.gr/minenv/>
- Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας <https://www.irena.org/>
- Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας <https://www.iea.org/>
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
- ΔΕΗ Ανανεώσιμες <https://www.ppcr.gr/el/>
- Εθνική υπηρεσία καιρού Ηνωμένου Βασιλείου <https://www.metoffice.gov.uk/>
- Ιστοσελίδα του Δήμου Ζακύνθου <https://www.zakynthos.gov.gr/>
- Ιστοσελίδα Περιφέρειας Ιονίων Νήσων <https://pin.gov.gr/home>
- Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Παρατήρησης της Γης <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Οδηγός Εργαλειοθήκης Arc Toolbox <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>
- WWF Hellas, <https://www.wwf.gr/>
- Geothermal and solar skills-Vocational education and training <http://elearning.gss-vet.eu/>
- Online υπολογισμοί της ΑΗΡ <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>
- Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια <https://energypress.gr/>
- Portal για την Ενέργεια και το Περιβάλλον <https://www.energia.gr/>
- Ιστοσελίδα κατασκευαστή Φ/Β συσ/των HELIOSYSTEMS <https://selasenergy.gr/index.php>
- Ιστότοπος 'ΠΑΤΡΙΔΟΓΝΩΣΙΑ' <https://www.geogreece.gr/natura.php>