

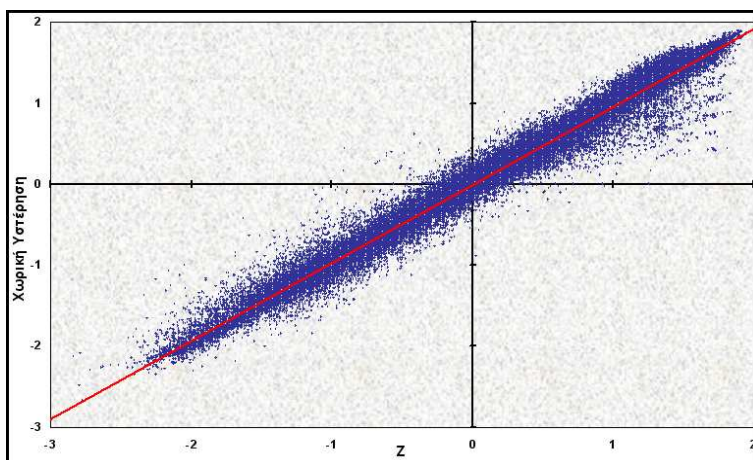
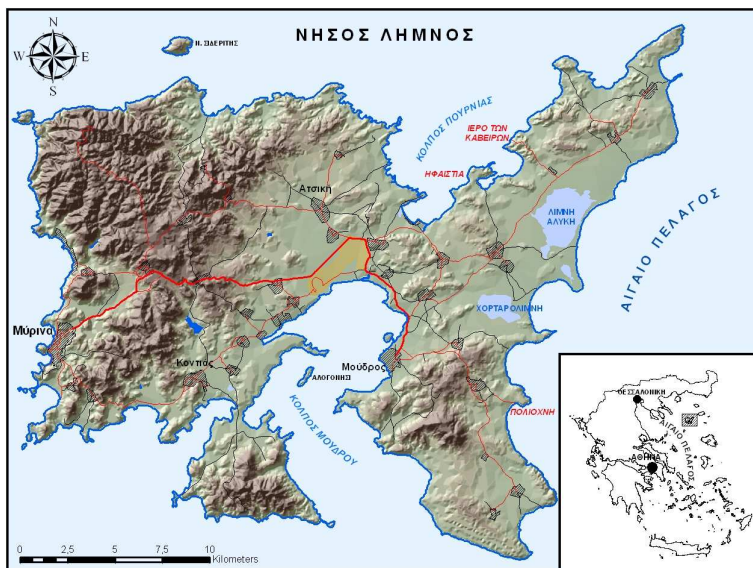


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΙΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΛΗΨΗΣ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ ΚΟΝΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Κ.Π. ΧΑΛΒΑΔΑΚΗΣ



ΜΥΤΙΛΗΝΗ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ασχολείται με την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Περίπτωση εφαρμογής, είναι η εκτίμηση της καταλληλότητας της νήσου Λήμνου για τη χωροθέτηση μιας *Μονάδας Εδαφικής Διάθεσης Απορριμμάτων*. Στόχος της είναι η διερεύνηση, η ανάπτυξη και η εφαρμογή σύγχρονων μεθοδολογικών εργαλείων που προσφέρει η *Γεωπληροφορική*, η *Πολυκριτηριακή Ανάλυση* και η *Ασαφής Λογική*. Παράλληλα αναπτύχθηκε ένα *Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων*, το οποίο χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το πρώτο στάδιο είναι η συλλογή και οργάνωση των απαραίτητων χωρικών και μη χωρικών δεδομένων. Παράλληλα, γίνεται ο καθορισμός της ιεραρχικής δομής του πολυκριτηριακού προβλήματος. Επιλέχθηκε προσέγγιση ιεραρχικής δομής πέντε επιπέδων σύμφωνα με την οποία στο πρώτο επίπεδο βρίσκεται ο τελικός στόχος, στο δεύτερο επίπεδο βρίσκονται τα κριτήρια απόφασης, στο τρίτο επίπεδο βρίσκονται τα κριτήρια αξιολόγησης, στο τέταρτο επίπεδο βρίσκονται τα υποκριτήρια αξιολόγησης και στο πέμπτο επίπεδο βρίσκονται οι χωρικές και μη χωρικές ιδιότητες των παραμέτρων. Για τη στάθμιση των παραμέτρων χρησιμοποιείται η *Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης*, η οποία έχει ως κύριο χαρακτηριστικό τον μειωμένο βαθμό του υποκειμενικού παράγοντα. Για τη βαθμολόγηση των περιοχών, χρησιμοποιείται η μέθοδος της *Υποκειμενικής Αξιολόγησης* για τις διακριτές παραμέτρους και η θεωρία των *Ασαφών Συνόλων* για τις συνεχείς παραμέτρους. Για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι *Σταθμισμένος Μέσος*, *Σταθμισμένο Γινόμενο*, *TOPSIS* και *Συμβιβαστικός Προγραμματισμός*. Στη συνέχεια, γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων και η ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Εκτελούνται διάφορα επίπεδα επεξεργασίας του δείκτη καταλληλότητας με την εφαρμογή μεθόδων *Χωρικής Αυτοσυσχέτισης*, *Χωρικής Εντροπίας* και *Χωρικής Ομαδοποίησης*. Οι ευρύτερα κατάλληλες περιοχές, προκύπτουν από την εφαρμογή λογικών κανόνων. Το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης διαδικασίας ανέδειξε 28 διακριτές περιοχές, οι οποίες έχουν τιμές του *δείκτη καταλληλότητας* οι οποίες κυμαίνονται από 0.7936 έως 0.8673 και καλύπτουν το 9.7% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου. Τέλος, εκτελείται ανάλυση ευαισθησίας τόσο στα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας όσο και σε κάποια κρίσιμα σημεία της.

Λέξεις Κλειδιά: Χωροθέτηση Οχλουσών Δραστηριοτήτων, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης, Ασαφής Λογική, Γεωπληροφορική, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Χωρικά Συστήματα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων, Χωρική Ανάλυση, Χωρική Αυτοσυσχέτιση, Χωρική Ομαδοποίηση

ABSTRACT

The present Ph.D. dissertation deals with land suitability assessment for Locally Unacceptable Land Uses (LULUs) siting. The case study was the suitability assessment for landfill siting of Limnos island. The main goal was the research, development and implementation of modern methodological tools that coming from Geoinformatics, Multiple Criteria Analysis and Fuzzy Logic. In the same time, a Spatial Decision Support System was developed for the application of the proposed methodology. Initially, the spatial and non-spatial data were collected and organized. In the same time, the hierarchical structure of the multiple criteria problem was determined. A five levels hierarchical structure was chosen as the appropriate approach, in which the first level is the final goal, the second level is the decision criteria, the third level is the evaluation criteria, the fourth level is the evaluation subcriteria and the fifth level is the spatial and non-spatial attributes of the parameters. The Analytic Hierarchy Process was utilized for parameters' weighting, which is a method of minimized subjectivity. For the spatial determination of parameters, Subjective Assessment was utilized for discrete parameters, while Fuzzy Sets Theory was utilized for continuous parameters. The suitability index was calculated using the methods of Weighted Average, Weighted Product, TOPSIS and Compromise Programming. In the following part of the methodology, the results were analyzed and broader suitable areas were revealed. Several analytical processes were applied, utilizing several methods of Spatial Autocorrelation, Spatial Entropy and Spatial Clustering. The broader suitable areas were revealed by the application of logical rules in the results. The specific process resulted 28 discrete areas that have suitability index values ranging from 0.7936 to 0.8673, covering the 9.7% of the whole island. Finally, sensitivity analysis was performed in the outcomes that resulted from the application of the proposed methodology and also in some critical parts.

Keywords: Landfill Siting, Multiple Criteria Analysis, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Logic, Geoinformatics, Geographic Information Systems, Spatial Decision Support Systems, Spatial Analysis, Spatial Autocorrelation, Spatial Clustering

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί την ολοκλήρωση μιας προσωπικής πορείας, η οποία ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 1994. Η αρχή αυτής της πορείας, ήταν οι προπτυχιακές μου σπουδές στο Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Όταν πρωτοήρθα στην Μυτιλήνη και ξεκίνησα τα μαθήματα, έλεγα μέσα μου ότι θα το φτάσω μέχρι το τέλος και όπου με βγάλει. Ευτύχησα στη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων να γνωρίσω πολύ σημαντικούς ανθρώπους -εντός και εκτός του Πανεπιστημίου-, οι οποίοι με βοήθησαν τόσο στο να αποκτήσω γνώσεις, όσο και στο να διαμορφώσω την προσωπικότητα μου. Στη συνέχεια θέλω να αναφέρω κάποιους ανθρώπους τους οποίους θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα, αλλά ταυτόχρονα θα ήθελα να με συγχωρήσουν όσοι από αμέλεια ή από παράλειψη μου δεν τους αναφέρω.



Θέλω να αναφέρω χαρακτηριστικά τρεις ανθρώπους, οι οποίοι άμεσα ή έμμεσα με βοήθησαν να φτάσω σε αυτό το σημείο και να εκφράσω δημόσια τις ευχαριστίες μου σε αυτούς.

Δεν μπορώ να μην ξεκινήσω από τον αγαπητό μου Δάσκαλο, τον Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος και επιβλέποντα της διδακτορικής μου διατριβής, τον κύριο Κωνσταντίνο Χαλβαδάκη. Δάσκαλε, σε ευχαριστώ για όσα μου έχεις προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια και ιδίως για τις συζητήσεις που έχουμε κάνει επί παντός επιστητού. Σε εσένα οφείλεται το χαρακτηριστικό του ανήσυχου πνεύματος που έχω, ότι δεν αφήνω τίποτα να περάσει και πρέπει να ερευνώ τα πάντα. Παρόλο που θεωρείς ότι δεν μπορούσες να με παρακολουθείς, στα θέματα που ανέπτυσσα στα πλαίσια της διατριβής μου, σε πληροφορώ ότι η καθοδήγηση σου ήταν σημαντικότερη. Δε χρειάζεται να πω περισσότερα για εσένα, καθώς είναι γνωστό σε όλους το πόσο πολύ σε σέβομαι και εκτιμάω ότι έχεις κάνει για εμένα. Ένα τελευταίο που θέλω να σου πω, είναι ότι με κάνει πολύ χαρούμενο η συγκυρία της υποστήριξης της διατριβής μου με την προεδρία σου στο Τμήμα Περιβάλλοντος.

Δεν μπορώ να μην κάνω ιδιαίτερη αναφορά στον αγαπητό μου φίλο, τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας (δυστυχώς δεν έχει βγει το ΦΕΚ να σε αποκαλέσω Αναπληρωτή Καθηγητή) και μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής μου επιτροπής, τον κύριο Νικόλαο Σουλακέλλη. Νικόλα σε εσένα οφείλω πάρα πολλά και νομίζω ότι αν ξεκινήσω να τα λέω θα σε αδικήσω. Ένα πράγμα που θέλω να πω για εσένα και μην το παρεξηγήσεις, είναι ότι

θεωρώ τον αγαπητό μου Δάσκαλο ως τον -εν τη Μυτιλήνη- πατέρα μου, εσένα σε θεωρώ αδερφό μου. Πιστεύω ότι μαζί έχουμε να δώσουμε πολλά πράγματα. Σε ευχαριστώ για όλα.

Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος και μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής μου επιτροπής, τον κύριο Ιωάννη Χατζόπουλο, ο οποίος ήταν αυτός που με πρωτοδίδαξε και με έβαλε στον κόσμο των *Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών* και εν γένει της *Γεωπληροφορικής*.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ανδρέα Τρούμπη Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος και Πρύτανη του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τον κύριο Ιωάννη Σπιλάνη Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τον κύριο Σωτήρη Κουκούλα Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου και την κυρία Δήμητρα Κίτσιου Λέκτορα του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, οι οποίοι μου έκαναν την τιμή να είναι μέλη της επταμελούς εξεταστικής μου επιτροπής.

Θέλω να ευχαριστήσω τους συνάδελφους Περιβαλλοντολόγους και αγαπητούς μου φίλους, κκ Χριστόφορο Μανδουλά και Μάριο Μπαλή, καθώς ήταν εκείνοι οι οποίοι με βοήθησαν στο ξεκίνημα της πορείας μου στο Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του Τμήματος Περιβάλλοντος.

Δεν μπορώ να μην αναφέρω την απέραντη αγάπη και τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, Δημήτρη και Σοφία Κοντού, στους οποίους είναι αφιερωμένη η παρούσα διδακτορική διατριβή, ως ένα ελάχιστο δείγμα της αγάπης και της ευγνωμοσύνης μου σε αυτούς. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καλούς φίλους που είχα τη χαρά να γνωρίσω στα 13 χρόνια της ως τώρα παρουσίας μου στην Μυτιλήνη.

Η Διδακτορική Διατριβή είναι Αφιερωμένη στους Γονείς μου,

Δημήτρη και Σοφία

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|-----------|
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ | 7 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ..... | 10 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ | 14 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 16 |
| 1.1. Χωροθέτηση Οχλουσών Δραστηριοτήτων | 19 |
| 1.1.1. Το Νομικό Πλαίσιο της Χωροθέτησης Μονάδων Εδαφικής Διάθεσης Απορριμμάτων..... | 23 |
| 1.1.2. Η Πολυκριτηριακή Διάσταση του Προβλήματος..... | 25 |
| 1.1.3. Η Χωρική Διάσταση του Προβλήματος και η Συνεισφορά των Χωρικών Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων | 26 |
| 1.2. Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης..... | 28 |
| 1.2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά της Νήσου Λήμνου | 28 |
| 1.2.2. Η Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων της Νήσου Λήμνου | 31 |
| 1.3. Ερευνητικό Ερώτημα, Στόχος, Πρωτοτυπία και Διάρθρωση της Διατριβής..... | 34 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 38 |
| 2.1. Η Σχολή της Δυαδικής Λογικής..... | 39 |
| 2.2. Η Σχολή της Ντετερμινιστικής Λογικής..... | 43 |
| 2.3. Η Σχολή της Ασαφούς Λογικής..... | 47 |
| 2.4. Ερευνητικές Εργασίες που Προέκυψαν από την Παρούσα Διδακτορική Διατριβή | 50 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ | 53 |
| 3.1. Γενικά | 53 |
| 3.2. Καθορισμός της Ιεραρχικής Δομής του Προβλήματος..... | 57 |
| 3.3. Συγκρότηση της Ψηφιακής Βάσης Δεδομένων | 60 |
| 3.3.1. Διοικητικά Όρια ΟΤΑ | 63 |
| 3.3.2. Όρια Επίσημα Οριοθετημένων Οικισμών, Αεροδρόμιο | 65 |
| 3.3.3. Οδικό Δίκτυο..... | 66 |
| 3.3.4. Αρχαιολογικές Περιοχές | 66 |
| 3.3.5. Ειδική Χωροταξική Μελέτη - Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου | 67 |
| 3.3.6. Γεωλογία..... | 69 |
| 3.3.7. Υδρολιθολογική Συμπεριφορά..... | 71 |
| 3.3.8. Σημεία Υδροληψίας | 72 |
| 3.3.9. Υδρογραφικό Δίκτυο..... | 73 |
| 3.3.10. Ταμειυτήρες | 73 |
| 3.3.11. Υγρότοποι..... | 74 |
| 3.3.12. Οικολογικά Ευαίσθητες Περιοχές - NATURA 2000 | 75 |
| 3.3.13. Εδαφολογία | 76 |
| 3.3.14. Βάθος Εδάφους..... | 77 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.15. Διάβρωση Εδάφους | 78 |
| 3.3.16. Εδαφοκάλυψη | 79 |
| 3.3.17. Ευρύτερες Πεδινές Περιοχές | 80 |
| 3.3.18. Αρδευόμενες Περιοχές | 81 |
| 3.3.19. Καταφύγια Θηραμάτων..... | 82 |
| 3.3.20. Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων..... | 83 |
| 3.3.21. Μοντέλο Επιφανείας..... | 84 |
| 3.3.22. Μορφολογία..... | 86 |
| 3.3.23. Προσανατολισμός..... | 87 |
| 3.3.24. Κλίσεις..... | 89 |
| 3.3.25. Ανάλυση Ορατότητας..... | 90 |
| 3.4. Εξαγωγή των Συντελεστών Βαρύτητας..... | 92 |
| 3.4.1. Υποκειμενική Βαθμολόγηση..... | 92 |
| 3.4.2. Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης..... | 93 |
| 3.5. Βαθμολόγηση των Κριτηρίων..... | 96 |
| 3.5.1. Υποκειμενική Αξιολόγηση..... | 96 |
| 3.5.2. Ασαφή Σύνολα..... | 97 |
| 3.6. Συγκρότηση των Κριτηρίων - Υπολογισμός του Δείκτη καταλληλότητας..... | 109 |
| 3.6.1. Μέθοδος του Σταθμισμένου Μέσου..... | 110 |
| 3.6.2. Μέθοδος του Σταθμισμένου Γινομένου..... | 112 |
| 3.6.3. TOPSIS..... | 112 |
| 3.6.4. Μέθοδος του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού..... | 114 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΡΟΣ Ι – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ..... | 116 |
| 4.1. Κριτήριο Απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό”..... | 117 |
| 4.1.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Υδροπερατότητα”..... | 118 |
| 4.1.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Σημεία Υδροληψίας”..... | 119 |
| 4.1.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Επιφανειακά Ύδατα”..... | 124 |
| 4.1.3.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υγρότοποι”..... | 125 |
| 4.1.3.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ταμιευτήρες”..... | 127 |
| 4.1.3.3. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υδρογραφικό Δίκτυο”..... | 130 |
| 4.1.3.4. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Επιφανειακά Ύδατα”..... | 132 |
| 4.1.4. Κριτήριο Αξιολόγησης “Ρήγματα”..... | 134 |
| 4.1.5. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό”..... | 135 |
| 4.2. Κριτήριο Απόφασης “Περιβαλλοντικό”..... | 136 |
| 4.2.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”..... | 136 |
| 4.2.1.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ζώνες NATURA 2000”..... | 138 |
| 4.2.1.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υγρότοποι”..... | 140 |
| 4.2.1.3. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ταμιευτήρες”..... | 141 |
| 4.2.1.4. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Καταφύγια Θηραμάτων”..... | 142 |
| 4.2.1.5. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”..... | 144 |
| 4.2.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Εδαφοκάλυψη”..... | 145 |
| 4.2.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Παράκτιες Περιοχές”..... | 146 |
| 4.2.4. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Περιβαλλοντικό”..... | 147 |
| 4.3. Κριτήριο Απόφασης “Κοινωνικό”..... | 149 |
| 4.3.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”..... | 150 |
| 4.3.1.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Οικιστικές Περιοχές”..... | 150 |
| 4.3.1.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Αεροδρόμιο”..... | 153 |
| 4.3.1.3. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”..... | 155 |
| 4.3.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Αρχαιολογικές Περιοχές”..... | 155 |
| 4.3.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία”..... | 157 |
| 4.3.3.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Οικιστικές Περιοχές”..... | 158 |

| | |
|---|------------|
| 4.3.3.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Οδικό Δίκτυο” | 160 |
| 4.3.3.3. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία” | 163 |
| 4.3.4. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Κοινωνικό” | 163 |
| 4.4. Κριτήριο Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό” | 165 |
| 4.4.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα” | 166 |
| 4.4.1.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Οδικό Δίκτυο” | 166 |
| 4.4.1.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα” | 168 |
| 4.4.1.3. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα” | 171 |
| 4.4.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Μορφολογία” | 171 |
| 4.4.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Εκθεση σε Ανέμους” | 173 |
| 4.4.4. Κριτήριο Αξιολόγησης “Χρήσεις Γης” | 176 |
| 4.4.5. Κριτήριο Αξιολόγησης “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης” | 177 |
| 4.4.6. Κριτήριο Αξιολόγησης “Διάβρωση” | 179 |
| 4.4.7. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό” | 180 |
| | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΡΟΣ II – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 182 |
| | |
| 5.1. Υπολογισμός του Δείκτη καταλληλότητας | 183 |
| 5.1.1. Εφαρμογή της Μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου | 184 |
| 5.1.2. Εφαρμογή της Μεθόδου του Σταθμισμένου Γινομένου | 185 |
| 5.1.3. Εφαρμογή της Μεθόδου TOPSIS | 186 |
| 5.1.4. Εφαρμογή της Μεθόδου του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού | 188 |
| 5.1.5. Σύγκριση των Αποτελεσμάτων από την Εφαρμογή των Μεθόδων | 189 |
| | |
| 5.2. Χωρική Αυτοσυσχέτιση | 195 |
| 5.2.1. Συνολική Χωρική αυτοσυσχέτιση | 198 |
| 5.2.1.1. Δείκτης C του Geary | 198 |
| 5.2.1.2. Δείκτης I του Moran | 199 |
| 5.2.1.3. Στατιστική Σημαντικότητα των Δεικτών Συνολικής Χωρικής Αυτοσυσχέτισης | 199 |
| 5.2.2. Τοπική Χωρική αυτοσυσχέτιση | 201 |
| 5.2.2.1. Διάγραμμα Διασποράς του Moran | 202 |
| 5.2.2.2. Τοπικός Δείκτης C _i του Geary | 204 |
| 5.2.2.3. Τοπικός Δείκτης I _i του Moran | 205 |
| 5.2.2.4. Στατιστικό G _i | 206 |
| 5.2.2.5. Χωρική Εντροπία | 210 |
| | |
| 5.3. Χωρική Ομαδοποίηση | 214 |
| 5.3.1. Επαναληπτικός Αυτοπροσδιοριζόμενος Αλγόριθμος Ομαδοποίησης | 214 |
| 5.3.2. Fuzzy C-Means | 219 |
| | |
| 5.4. Εύρεση των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών | 222 |
| | |
| 5.5. Ανάλυση Ευαισθησίας | 225 |
| 5.5.1. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη καταλληλότητας | 225 |
| 5.5.2. Ανάλυση Ευαισθησίας των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών | 230 |
| | |
| 5.6. Συμπεράσματα από την Ανάλυση των Αποτελεσμάτων | 236 |
| | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ | 239 |
| | |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ελληνική): | 246 |
| | |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ξενόγλωσση): | 250 |

| | |
|--|-----|
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Στοιχεία των Οριοθετημένων Οικισμών της νήσου Λήμνου..... | 261 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Στοιχεία των Σημείων Υδροληψίας..... | 263 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Στοιχεία των Χώρων Διάθεσης Απορριμμάτων..... | 265 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Τρόποι Επίλυσης της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης | 266 |
| D.1. Μέθοδος του <i>Ιδιοδιανύσματος</i> (Eigenvector Method)..... | 266 |
| D.2. Τυπική <i>MAI</i> - Επιμεριστική Μέθοδος (Distributive mode <i>AHP</i>) | 267 |
| D.3. Αναθεωρημένη - Ιδανική <i>MAI</i> (Revised - Ideal mode <i>AHP</i>) | 268 |
| D.4. Μέθοδος Γεωμετρικού Μέσου - Πολλαπλασιαστική <i>MAI</i> (Multiplicative <i>AHP</i>)..... | 269 |
| D.5. Μέθοδος της <i>Expert Choise</i> | 269 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Χωρική Αυτοσυσχέτιση..... | 271 |
| E.1. Συνολική Χωρική Αυτοσυσχέτιση | 271 |
| E.2. Τοπική Χωρική Αυτοσυσχέτιση..... | 273 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Φ: Χωρική Ομαδοποίηση..... | 278 |
| F.1. Επαναληπτικός Αυτοπροσδιοριζόμενος Αλγόριθμος Ομαδοποίησης..... | 278 |
| F.2. Fuzzy C-Means | 282 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Ανάλυση Ευαισθησίας..... | 285 |
| G.1. Ανάλυση Ευαισθησίας του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> | 285 |
| G.2. Ανάλυση Ευαισθησίας των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών..... | 295 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η: Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά | 298 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

| | |
|---|-----|
| Χάρτης 1.1: Η Νήσος Λήμνος..... | 29 |
| Χάρτης 3.1: Διοικητικά Όρια ΟΤΑ..... | 64 |
| Χάρτης 3.2: Όρια Επίσημα Οριοθετημένων Οικισμών, Αεροδρόμιο και Οδικό Δίκτυο..... | 65 |
| Χάρτης 3.3: Αρχαιολογικές Περιοχές..... | 67 |
| Χάρτης 3.4: Ειδική Χωροταξική Μελέτη - Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου..... | 68 |
| Χάρτης 3.5: Γεωλογία..... | 70 |
| Χάρτης 3.6: Υδρολιθολογική Συμπεριφορά..... | 72 |
| Χάρτης 3.7: Υδρογραφικό Δίκτυο, Λιμνοδεξαμενές/Φράγματα και Υγρότοποι..... | 74 |
| Χάρτης 3.8: Οικολογικά Ευαίσθητες Περιοχές - NATURA 2000..... | 75 |
| Χάρτης 3.9: Εδαφολογία..... | 76 |
| Χάρτης 3.10: Βάθος Εδάφους..... | 77 |
| Χάρτης 3.11: Διάβρωση Εδάφους..... | 78 |
| Χάρτης 3.12: Εδαφοκάλυψη..... | 80 |
| Χάρτης 3.13: Ευρύτερες Πεδινές Περιοχές και Αρδευόμενες Περιοχές..... | 81 |
| Χάρτης 3.14: Καταφύγια Θηραμάτων..... | 82 |
| Χάρτης 3.15: Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων..... | 84 |
| Χάρτης 3.16: Μορφολογία..... | 87 |
| Χάρτης 3.17: Προσανατολισμός..... | 88 |
| Χάρτης 3.18: Κλίσεις..... | 90 |
| Χάρτης 4.1: Κριτήριο Αξιολόγησης Υδροπερατότητα..... | 119 |
| Χάρτης 4.2: Κριτήριο Αξιολόγησης Σημεία Υδροληψίας..... | 123 |
| Χάρτης 4.3: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Υγρότοποι..... | 127 |
| Χάρτης 4.4: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Ταμειυτήρες..... | 129 |
| Χάρτης 4.5: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Υδρογραφικό Δίκτυο..... | 132 |
| Χάρτης 4.6: Κριτήριο Αξιολόγησης Επιφανειακά Ύδατα..... | 133 |
| Χάρτης 4.7: Κριτήριο Αξιολόγησης Ρήγματα..... | 133 |
| Χάρτης 4.8: Κριτήριο Απόφασης Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό..... | 135 |
| Χάρτης 4.9: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Ζώνες NATURA 2000..... | 139 |
| Χάρτης 4.10: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Υγρότοποι..... | 139 |
| Χάρτης 4.11: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Ταμειυτήρες..... | 143 |
| Χάρτης 4.12: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Καταφύγια Θηραμάτων..... | 143 |
| Χάρτης 4.13: Κριτήριο Αξιολόγησης Ευαίσθητα Οικοσυστήματα..... | 144 |
| Χάρτης 4.14: Κριτήριο Αξιολόγησης Εδαφοκάλυψη..... | 145 |
| Χάρτης 4.15: Κριτήριο Αξιολόγησης Παράκτιες Περιοχές..... | 147 |
| Χάρτης 4.16: Κριτήριο Απόφασης Περιβαλλοντικό..... | 148 |
| Χάρτης 4.17: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Οικιστικές Περιοχές..... | 152 |
| Χάρτης 4.18: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Αεροδρόμιο..... | 154 |
| Χάρτης 4.19: Κριτήριο Αξιολόγησης Αστικές Περιοχές..... | 155 |

| | |
|---|-----|
| Χάρτης 4.20: Κριτήριο Αξιολόγησης Αρχαιολογικές Περιοχές | 157 |
| Χάρτης 4.21: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Θέαση από Οικιστικές Περιοχές..... | 160 |
| Χάρτης 4.22: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Θέαση από Οδικό Δίκτυο..... | 162 |
| Χάρτης 4.23: Κριτήριο Αξιολόγησης Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία | 163 |
| Χάρτης 4.24: Κριτήριο Απόφασης Κοινωνικό | 164 |
| Χάρτης 4.25: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Οδικό Δίκτυο | 167 |
| Χάρτης 4.26: Υποκριτήριο Αξιολόγησης Κεντροβαρικότητα | 170 |
| Χάρτης 4.27: Κριτήριο Αξιολόγησης Κεντροβαρικότητα | 171 |
| Χάρτης 4.28: Κριτήριο Αξιολόγησης Μορφολογία | 173 |
| Χάρτης 4.29: Κριτήριο Αξιολόγησης Έκθεση σε Ανέμους | 175 |
| Χάρτης 4.30: Κριτήριο Αξιολόγησης Χρήσεις Γης..... | 177 |
| Χάρτης 4.31: Κριτήριο Αξιολόγησης Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης | 178 |
| Χάρτης 4.32: Κριτήριο Αξιολόγησης Διάβρωση..... | 179 |
| Χάρτης 4.33: Κριτήριο Απόφασης Τεχνικοοικονομικό | 181 |
| Χάρτης 5.1: Δείκτης Καταλληλότητας με τη Μέθοδο του Σταθμισμένου Μέσου | 184 |
| Χάρτης 5.2: Δείκτης Καταλληλότητας με τη Μέθοδο του Σταθμισμένου Γινομένου..... | 186 |
| Χάρτης 5.3: Δείκτης Ομοιότητας με τη Μέθοδο TOPSIS | 187 |
| Χάρτης 5.4: Μετρική Απόσταση με τη Μέθοδο του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού..... | 188 |
| Χάρτης 5.5: Τοπικός Δείκτης C_i του Geary..... | 205 |
| Χάρτης 5.6: Τοπικός Δείκτης I_i του Moran | 206 |
| Χάρτης 5.7: Τοπικός Δείκτης G_i | 209 |
| Χάρτης 5.8: Τοπικός Δείκτης G_i^* | 209 |
| Χάρτης 5.9: Χωρική Εντροπία σε Γειτονιά ενός Κελιού | 211 |
| Χάρτης 5.10: Χωρική Εντροπία σε Γειτονιά δύο Κελιών..... | 212 |
| Χάρτης 5.11: Χωρική Εντροπία σε Γειτονιά τριών Κελιών | 212 |
| Χάρτης 5.12: Χωρική Ομαδοποίηση δέκα Ομάδων με τη Μέθοδο ISOCA..... | 217 |
| Χάρτης 5.13: Χωρική Ομαδοποίηση δέκα Ομάδων με τη Μέθοδο Fuzzy C-Means | 221 |
| Χάρτης 5.14: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές | 224 |
| Χάρτης G.1.1: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 2 | 285 |
| Χάρτης G.1.2: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 3 | 285 |
| Χάρτης G.1.3: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 4 | 286 |
| Χάρτης G.1.4: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 5 | 286 |
| Χάρτης G.1.5: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με G-Statistics του Σεναρίου 2 | 289 |
| Χάρτης G.1.6: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με G-Statistics του Σεναρίου 3 | 289 |
| Χάρτης G.1.7: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με G-Statistics του Σεναρίου 4 | 290 |
| Χάρτης G.1.8: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με G-Statistics του Σεναρίου 5 | 290 |
| Χάρτης G.1.9: Χωρική Ομαδοποίηση με Fuzzy C-Means του Σεναρίου 2 | 291 |
| Χάρτης G.1.10: Χωρική Ομαδοποίηση με Fuzzy C-Means του Σεναρίου 3 | 291 |
| Χάρτης G.1.11: Χωρική Ομαδοποίηση με Fuzzy C-Means του Σεναρίου 4 | 292 |

| | |
|---|-----|
| Χάρτης G.1.12: Χωρική Ομαδοποίηση με <i>Fuzzy C-Means</i> του Σεναρίου 5 | 292 |
| Χάρτης G.1.13: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 2..... | 293 |
| Χάρτης G.1.14: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 3..... | 293 |
| Χάρτης G.1.15: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 4..... | 294 |
| Χάρτης G.1.16: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 5..... | 294 |
| Χάρτης G.2.1: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 6..... | 295 |
| Χάρτης G.2.2: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 7..... | 295 |
| Χάρτης G.2.3: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 8..... | 296 |
| Χάρτης G.2.4: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 9..... | 296 |
| Χάρτης G.2.5: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 10..... | 297 |
| Χάρτης G.2.6: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 11..... | 297 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 1.1: Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων..... | 17 |
| Σχήμα 2.1: Παράδειγμα Καταλληλότητας βάσει της Δυαδικής Λογικής | 39 |
| Σχήμα 2.2: Παράδειγμα Χωρικών Πράξεων βάσει της Δυαδικής Λογικής (α) Χωρική Τομή και (β) Χωρική Ένωση | 40 |
| Σχήμα 2.3: Παράδειγμα Καταλληλότητας βάσει της Ντετερμινιστικής Λογικής | 43 |
| Σχήμα 2.4: Παράδειγμα Χωρικών Πράξεων βάσει της Ντετερμινιστικής Λογικής (α) Κανόνας Ελάχιστης Τιμής και (β)) Κανόνας Μέγιστης Τιμής | 44 |
| Σχήμα 2.5: Παράδειγμα Καταλληλότητας βάσει της Ασαφούς Λογικής | 47 |
| Σχήμα 2.6: Παράδειγμα Χωρικών Πράξεων βάσει της Ασαφούς Λογικής (α) Κανόνας Ασαφούς Ένωσης και (β)) Κανόνας Ασαφούς Τομής..... | 48 |
| Σχήμα 3.1: Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Χωροθέτησης ΜΕΔΑ | 53 |
| Σχήμα 3.2: Προτεινόμενη Μεθοδολογία Αξιολόγησης της Καταλληλότητας Γης για τη Χωροθέτηση ΜΕΔΑ..... | 55 |
| Σχήμα 3.3: Το Κύριο Παράθυρο Διαλόγου του ΧΣΥΛΑ που Δημιουργήθηκε | 56 |
| Σχήμα 3.4: Ιεραρχική Δομή Πολυκριτηριακού Προβλήματος..... | 57 |
| Σχήμα 3.5: Η Ιεραρχική Δομή του Πολυκριτηριακού Προβλήματος της Αξιολόγησης της Καταλληλότητας Γης για τη Χωροθέτηση ΜΕΔΑ | 59 |
| Σχήμα 3.6: Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων | 85 |
| Σχήμα 3.7: Το Παράθυρο Διαλόγου Προσδιορισμού του Προσανατολισμού | 88 |
| Σχήμα 3.8: Το Παράθυρο Διαλόγου Προσδιορισμού των Κλίσεων..... | 89 |
| Σχήμα 3.9: Το Παράθυρο Διαλόγου της Ανάλυσης Ορατότητας | 91 |
| Σχήμα 3.10: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της MAI..... | 95 |
| Σχήμα 3.11: Γραμμική Αύξουσα..... | 98 |
| Σχήμα 3.12: Γραμμική Φθίνουσα | 98 |
| Σχήμα 3.13: Τριγωνική..... | 98 |
| Σχήμα 3.14: Τραπεζοειδής | 98 |
| Σχήμα 3.15: Αύξουσα Τραπεζοειδής | 99 |
| Σχήμα 3.16: Φθίνουσα Τραπεζοειδής..... | 99 |
| Σχήμα 3.17: Θετική Gauss..... | 100 |
| Σχήμα 3.18: Αρνητική Gauss | 100 |
| Σχήμα 3.19: Θετική Εκθετική | 101 |
| Σχήμα 3.20: Αρνητική Εκθετική..... | 101 |
| Σχήμα 3.21: Αύξουσα S-Shape (S^+) | 102 |
| Σχήμα 3.22: Φθίνουσα S-Shape (S^-) | 102 |
| Σχήμα 3.23: Αύξουσα Σιγμοειδής | 103 |
| Σχήμα 3.24: Φθίνουσα Σιγμοειδής..... | 103 |
| Σχήμα 3.25: Γενικευμένη Καμπανοειδής..... | 104 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 3.26: Αύξουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής..... | 104 |
| Σχήμα 3.27: Φθίνουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής | 105 |
| Σχήμα 3.28: Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου Ι..... | 105 |
| Σχήμα 3.29: Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου Ι | 106 |
| Σχήμα 3.30: Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου ΙΙ..... | 106 |
| Σχήμα 3.31: Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου ΙΙ | 106 |
| Σχήμα 3.32: Χωρικές Διαδικασίες, <i>Ευκλείδεια Απόσταση</i> και <i>Ευκλείδειος Καταμερισμός</i> | 107 |
| Σχήμα 3.33: Το Παράθυρο Διαλόγου για τη Βαθμονόμηση των Κριτηρίων με τη Βοήθεια των <i>Ασαφών Συνόλων</i> | 108 |
| Σχήμα 3.34: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> | 109 |
| Σχήμα 4.1: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό..... | 117 |
| Σχήμα 4.2: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Σημεία Υδροληψίας..... | 121 |
| Σχήμα 4.3: Το Παράθυρο Διαλόγου του ΧΣΥΛΑ για τον Χωρικό Καθορισμό της Παραμέτρου Απόσταση από Σημεία Υδροληψίας | 121 |
| Σχήμα 4.4: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Κατεύθυνση Τροφοδοσίας..... | 122 |
| Σχήμα 4.5: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Υγράτοπους | 125 |
| Σχήμα 4.6: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Λεκάνες Απορροής Υγροτόπων | 126 |
| Σχήμα 4.7: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Ταμιευτήρες..... | 128 |
| Σχήμα 4.8: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Λεκάνες Απορροής Ταμιευτήρων..... | 128 |
| Σχήμα 4.9: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Ρέματα | 130 |
| Σχήμα 4.10: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Ευρύτερες Λεκάνες Απορροής | 131 |
| Σχήμα 4.11: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Ρήγματα | 134 |
| Σχήμα 4.12: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης Περιβαλλοντικό..... | 136 |
| Σχήμα 4.13: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Ζώνες NATURA 2000 | 138 |
| Σχήμα 4.14: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Υγράτοπους | 140 |
| Σχήμα 4.15: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Ταμιευτήρες..... | 141 |
| Σχήμα 4.16: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Καταφύγια Θηραμάτων | 142 |
| Σχήμα 4.17: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Ακτογραμμή | 146 |
| Σχήμα 4.18: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης Κοινωνικό | 149 |
| Σχήμα 4.19: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Οικισμούς..... | 151 |
| Σχήμα 4.20: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Πληθυσμός | 151 |
| Σχήμα 4.21: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Αεροδρόμιο | 154 |
| Σχήμα 4.22: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Οικισμούς . | 158 |
| Σχήμα 4.23: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Οικισμούς..... | 159 |
| Σχήμα 4.24: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Δρόμους ... | 161 |
| Σχήμα 4.25: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Δρόμους..... | 161 |
| Σχήμα 4.26: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης Τεχνικοοικονομικό | 165 |
| Σχήμα 4.27: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από Δρόμους..... | 167 |
| Σχήμα 4.28: Διάγραμμα Ροής Εργασιών για τον Υπολογισμό της Κεντροβαρικότητας..... | 169 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 4.29: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Ζώνες Κεντροβαρικότητας..... | 170 |
| Σχήμα 4.30: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Κλίσεις..... | 172 |
| Σχήμα 4.31: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Προσανατολισμός..... | 175 |
| Σχήμα 5.1: Διάγραμμα Ροής Εργασιών για την Ανάλυση των Αποτελεσμάτων | 182 |
| Σχήμα 5.2: Ιστόγραμμα των Τιμών του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> με τη Μέθοδο του <i>Σταθμισμένου Μέσου</i> | 185 |
| Σχήμα 5.3: Ιστόγραμμα των Τιμών του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> με τη Μέθοδο του <i>Σταθμισμένου</i> <i>Γινομένου</i> | 185 |
| Σχήμα 5.4: Ιστόγραμμα των Τιμών του <i>Δείκτη Ομοιότητας</i> με τη Μέθοδο <i>TOPSIS</i> | 187 |
| Σχήμα 5.5: Ιστόγραμμα των Τιμών της <i>Μετρικής Απόστασης</i> με τη Μέθοδο του <i>Συμβιβαστικού</i> <i>Προγραμματισμού</i> | 189 |
| Σχήμα 5.6: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της <i>Χωρικής Συσχέτισης</i> | 190 |
| Σχήμα 5.7: <i>Πίνακας Διαγραμμάτων Διασποράς</i> από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού..... | 192 |
| Σχήμα 5.8: <i>Πίνακας Διαγραμμάτων Διασποράς</i> από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού στις Μασκαρισμένες Περιοχές | 194 |
| Σχήμα 5.9: Τύποι Χωρικής Γειτνίασης α) <i>Rook</i> , β) <i>Bishop</i> και γ) <i>Queen</i> | 195 |
| Σχήμα 5.10: <i>Πίνακες Χωρικών Βαρών</i> για τις Περιπτώσεις Γειτνίασης α) <i>Rook</i> , β) <i>Bishop</i> και γ) <i>Queen</i> | 196 |
| Σχήμα 5.11: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της <i>Χωρικής Αυτοσυσχέτισης</i> | 197 |
| Σχήμα 5.12: <i>Διάγραμμα Διασποράς του Moran</i> για τον <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> | 203 |
| Σχήμα 5.13: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της <i>Χωρικής Εντροπίας</i> | 210 |
| Σχήμα 5.14: Το Παράθυρο Διαλόγου για τη <i>Χωρική Ομαδοποίηση</i> με τη Μέθοδο <i>ISOCA</i> | 218 |
| Σχήμα 5.15: Το Παράθυρο Διαλόγου για τη Δημιουργία Σεναρίων..... | 222 |
| Σχήμα 5.16: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 1 | 223 |
| Σχήμα 5.17: <i>Πίνακας Διαγραμμάτων Διασποράς</i> από την Εφαρμογή των Εναλλακτικών Σεναρίων Υπολογισμού του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> | 227 |
| Σχήμα 5.18: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 6 | 232 |
| Σχήμα 5.19: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 7 | 232 |
| Σχήμα 5.20: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 8 | 233 |
| Σχήμα 5.21: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 9 | 233 |
| Σχήμα 5.22: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 10 | 234 |
| Σχήμα 5.23: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 11 | 235 |
| Σχήμα Ε.1: Περιοχή 3×3 | 271 |
| Σχήμα Ε.2: Υπολογισμός του Δείκτη Γ α) Ο Πίνακας Β Περιγράφει τη Σχέση της Μεταβλητής X και β) Ο Πίνακας Γ Βοηθάει στον Υπολογισμό του Δείκτη Γ | 271 |
| Σχήμα Ε.3: <i>Διάγραμμα Διασποράς του Moran</i> για την Περίπτωση Χωρικής Γειτνίασης <i>Rook</i> | 273 |
| Σχήμα Ε.4: <i>Διάγραμμα Διασποράς του Moran</i> για την Περίπτωση Χωρικής Γειτνίασης <i>Bishop</i> | 274 |
| Σχήμα Ε.5: <i>Διάγραμμα Διασποράς του Moran</i> για την Περίπτωση Χωρικής Γειτνίασης <i>Queen</i> | 274 |
| Σχήμα Ε.6: Παράδειγμα Υπολογισμού των Δεικτών $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$ για μια Περιοχή 6×6 | 276 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα F.1: Παράδειγμα Εφαρμογής του Αλγόριθμου <i>ISOCA</i> σε μια Περιοχή 7×7, α) Παράμετρος 1, β) Παράμετρος 2 | 278 |
| Σχήμα F.2: Διαγραμματική Αναπαράσταση του Αλγόριθμου <i>ISOCA</i> , α) Προβολή των Κεντροιδών, β) Προβολή των Σημείων, γ) Εύρεση Ελαχίστης Ευκλείδειας Απόστασης από τα Κεντροϊδή, δ) Καταγραφή της Ομάδας που Ανήκει το Σημείο..... | 279 |
| Σχήμα F.3: Αποτελέσματα της Εκτέλεσης του Αλγόριθμου <i>ISOCA</i> , α) t = 1, β) t =2, γ) t = 3, δ) t = 4 και 5..... | 280 |
| Σχήμα F.4: Το Αποτέλεσμα της Εφαρμογής του Αλγόριθμου <i>ISOCA</i> για την Ομαδοποίηση 2 Παραμέτρων σε 4 Ομάδες | 281 |
| Σχήμα F.5: Παράδειγμα Εφαρμογής της Μεθόδου <i>Fuzzy C-Means</i> σε μια Περιοχή 7×7 | 282 |
| Σχήμα F.6: Το Αποτέλεσμα της Εφαρμογής της Μεθόδου <i>Fuzzy C-Means</i> για τη Δημιουργία 3 Ομάδων με m = 2 | 284 |
| Σχήμα G.1.1: Διάγραμμα Διασποράς του <i>Moran</i> για το Σενάριο 2..... | 287 |
| Σχήμα G.1.2: Διάγραμμα Διασποράς του <i>Moran</i> για το Σενάριο 3..... | 287 |
| Σχήμα G.1.3: Διάγραμμα Διασποράς του <i>Moran</i> για το Σενάριο 4..... | 288 |
| Σχήμα G.1.4: Διάγραμμα Διασποράς του <i>Moran</i> για το Σενάριο 5..... | 288 |

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 3.1: Οι ΟΤΑ της νήσου Λήμνου..... | 63 |
| Πίνακας 3.2: Γεωλογικοί Σχηματισμοί της νήσου Λήμνου | 69 |
| Πίνακας 3.3 : Στοιχεία Ταμιευτήρων | 73 |
| Πίνακας 3.4 : Τύποι Εδαφοκάλυψης..... | 79 |
| Πίνακας 3.5: Ευρύτερες Πεδινές Περιοχές..... | 80 |
| Πίνακας 3.6: Αρδευόμενες Περιοχές | 81 |
| Πίνακας 3.7: Καταφύγια Θηραμάτων | 82 |
| Πίνακας 3.8: Κατηγοριοποίηση Κατευθύνσεων..... | 89 |
| Πίνακας 3.9: Βαθμοί Σημαντικότητας των Συγκρίσεων ανά Ζεύγη στην <i>ΜΑΙ</i> | 94 |
| Πίνακας 4.1: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης Υδροπερατότητα | 119 |
| Πίνακας 4.2: ΠΣΖ του Κριτηρίου Αξιολόγησης Επιφανειακά Ύδατα..... | 132 |
| Πίνακας 4.3: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης Υδρολογικό/ Υδρογεωλογικό | 135 |
| Πίνακας 4.4: ΠΣΖ του Κριτηρίου Αξιολόγησης Ευαίσθητα Οικοσυστήματα..... | 144 |
| Πίνακας 4.5: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης Εδαφοκάλυψη | 145 |
| Πίνακας 4.6: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης Περιβαλλοντικό..... | 147 |
| Πίνακας 4.7: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης Αρχαιολογικές Περιοχές..... | 156 |
| Πίνακας 4.8: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης Κοινωνικό | 164 |
| Πίνακας 4.9: Συχνότητα Εμφάνισης Επικρατούντων Ανέμων | 174 |
| Πίνακας 4.10: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης Χρήσεις Γης | 176 |
| Πίνακας 4.11: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης | 178 |
| Πίνακας 4.12: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης Διάβρωση..... | 180 |
| Πίνακας 4.13: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης Τεχνικοοικονομικό | 180 |
| Πίνακας 5.1: ΠΣΖ των Κριτηρίων Απόφασης για τον Υπολογισμό του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> | 183 |
| Πίνακας 5.2: Πίνακας <i>Συσχετίσεων/Διακύμανσης/Συνδιακύμανσης</i> από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού | 190 |
| Πίνακας 5.3: Πίνακας <i>Συσχετίσεων/Διακύμανσης/Συνδιακύμανσης</i> από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού στις Μασκαρισμένες Περιοχές..... | 193 |
| Πίνακας 5.4: Τιμές Κεντροιδών από την Εφαρμογή της Μεθόδου <i>ISOCA</i> | 218 |
| Πίνακας 5.5: Συντελεστές Βαρύτητας των Εναλλακτικών Σεναρίων που Χρησιμοποιήθηκαν στην <i>Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη Καταλληλότητας</i> | 225 |
| Πίνακας 5.6: Πίνακας <i>Συσχετίσεων/Διακύμανσης/Συνδιακύμανσης</i> από τον Υπολογισμό του <i>Δείκτη Καταλληλότητας</i> των Σεναρίων | 228 |
| Πίνακας 5.7: Συνολική <i>Χωρική Αυτοσυσχέτιση</i> των Εναλλακτικών Σεναρίων..... | 228 |
| Πίνακας 5.8: Σύγκριση των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών που Προκύπτουν από τα Εναλλακτικά Σεναρία | 229 |
| Πίνακας 5.9: Οι Λογικοί Κανόνες που Χρησιμοποιούνται για τη Δημιουργία Σεναρίων..... | 231 |
| Πίνακας Ε.1: Έλεγχος της Υπόθεσης H_0 , ότι δεν Υπάρχει <i>Χωρική Αυτοσυσχέτιση</i> | 272 |

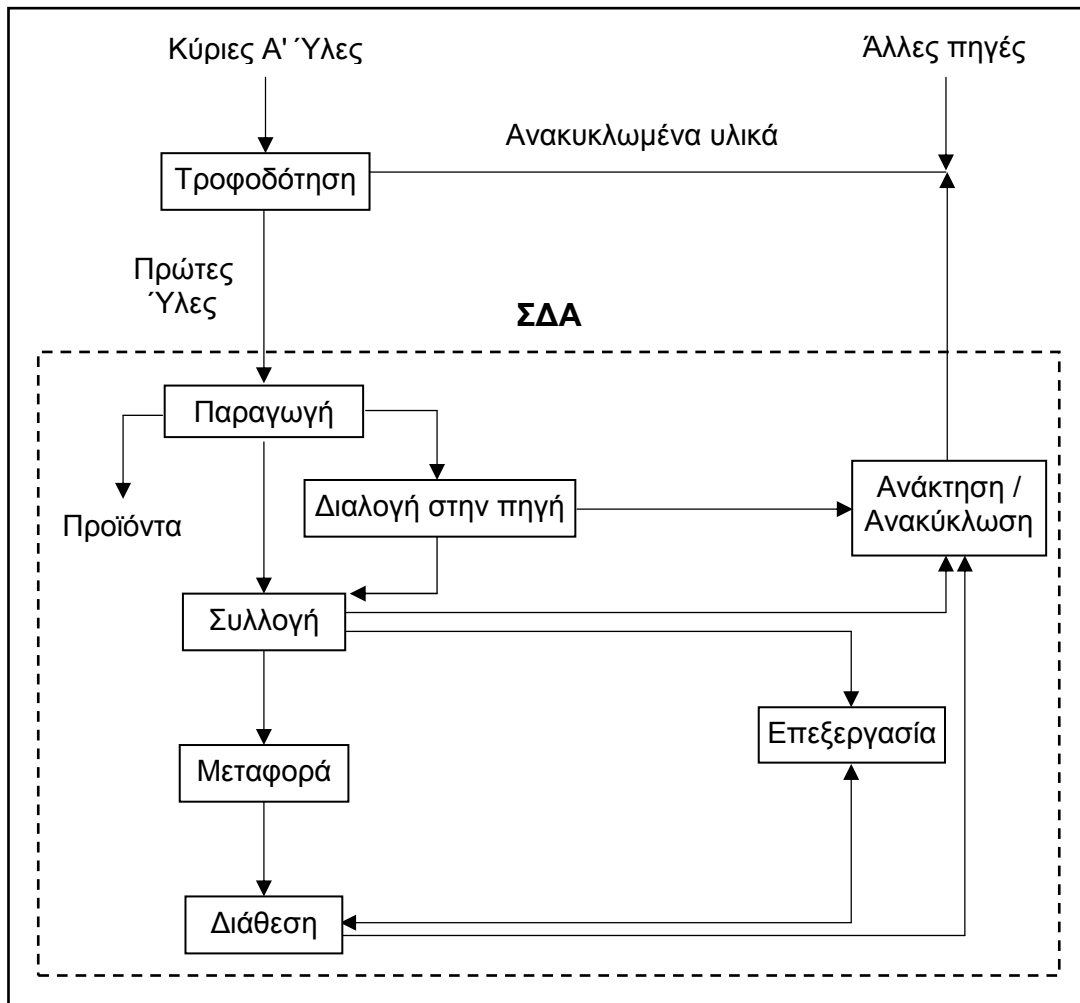
| | |
|---|-----|
| Πίνακας E.2: Συγκεντρωτικές Τιμές των Τυποποιημένων Μεταβλητών z και των <i>Χωρικών Υστερήσεων</i> για όλες τις Περιπτώσεις Χωρικής Γειτνίασης ($\mu = 6.4444$ και $\sigma^2 = 9.8025$)..... | 273 |
| Πίνακας E.3: Οι Τιμές του Δείκτη C_i του Geary για Όλες τις Περιπτώσεις Χωρικής Γειτνίασης ($\mu = 6.4444$ και $\sigma^2 = 9.8025$) | 275 |
| Πίνακας E.4: Οι Τιμές του Δείκτη I_i του Moran για Όλες τις Περιπτώσεις Χωρικής Γειτνίασης ($\mu = 6.4444$ και $\sigma^2 = 9.8025$) | 275 |
| Πίνακας E.5: Οι Τιμές των Δεικτών $G_i(d)$ και $G^*_i(d)$ για τον Τύπο Γειτνίασης <i>Queen</i> στην Περιοχή 6×6 | 276 |
| Πίνακας F.1: Οι Αρχικές Τιμές των Κεντροϊδών ($t = 0$)..... | 279 |
| Πίνακας F.2: Οι Τιμές των Κεντροϊδών για Όλες τις Επαναλήψεις που Εκτελέστηκαν | 280 |
| Πίνακας F.3: Οι Τιμές των Κεντροϊδών για τις Επαναλήψεις που Εκτελέστηκαν | 283 |
| Πίνακας F.4: Οι Βαθμοί Συμμετοχής των Κελιών σε Κάθε Ομάδα και η Ομάδα που Τελικά Ανήκει το Κάθε Κελί..... | 283 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ασχολείται με την αξιολόγηση της καταλληλότητας της γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Η περίπτωση εφαρμογής είναι η αξιολόγηση της καταλληλότητας για τη χωροθέτηση μιας *Μονάδας Εδαφικής Διάθεσης Απορριμμάτων (ΜΕΔΑ)* στην νήσο Λήμνο. Με τον όρο *χωροθέτηση* εννοείται η διαδικασία της εύρεσης κατάλληλου χώρου για τη δημιουργία κάποιας δραστηριότητας. Η συγκεκριμένη διαδικασία, βασιζόμενη σε κριτήρια που έχουν καθοριστεί είτε από το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο ή από επιστημονικές πρακτικές, προσπαθεί να εντοπίσει εκείνες τις περιοχές που εμφανίζουν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά. Ως βέλτιστα χαρακτηριστικά των περιοχών θεωρούνται εκείνα τα οποία μεγιστοποιούν τις παραμέτρους που έχουν οφέλη από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει σε μια σειρά παραγόντων.

Στερεά απόβλητα ονομάζονται τα στερεά και ημιστερεά υλικά που ο ιδιοκτήτης τους τα θεωρεί άχρηστα και τα πετάει. Οι πηγές τους σχετίζονται με διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και χρήσεις γης. Τα στερεά απόβλητα διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την πηγή τους σε οικιακά, αστικά, εμπορικά, βιομηχανικά, γεωργοκτηνοτροφικά κλπ. Στην Ελλάδα η κύρια πηγή στερεών αποβλήτων είναι τα απόβλητα των κατοικημένων περιοχών, τα οποία ονομάζονται αστικά απορρίμματα (σκουπίδια) και περιλαμβάνουν όλα τα άχρηστα υλικά που παράγονται και αποβάλλονται από τους χρήστες τους, εντός των ορίων κάποιας αστικής ή ημιαστικής περιοχής (Χαλβαδάκης 1998).

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα τόσο σε κλίμακα Ελλάδος όσο και παγκοσμίως. Η δυσκολία αντιμετώπισης της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων οφείλεται στο πολυδιάστατο χαρακτήρα της διαχείρισης τους και τα προβλήματα που πρέπει να εξεταστούν και να επιλυθούν. Τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων ξεκινάνε από τη συλλογή και μεταφορά των απορριμμάτων και καταλήγουν στην επιλογή της μεθόδου της τελικής διάθεσης τους. Για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων απαιτείται η δημιουργία ενός *Συστήματος Διαχείρισης Αποβλήτων (ΣΔΑ)*, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο λειτουργικά συνδεδεμένων διεργασιών που στοχεύει στη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και τελική διάθεση των παραγόμενων αποβλήτων. Ένα ΣΔΑ όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1, αποτελεί πρότυπο συστήματος για την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων, κάτι το οποίο μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή δεν εφαρμόζεται σε κανένα μέρος της Ελλάδας.



Σχήμα 1.1: Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων (Χαλβαδάκης 1998)

Η διεθνής πρακτική στα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων έχει δείξει πως ένας χώρος τελικής διάθεσης είναι απαραίτητος ως τελικός αποδέκτης των αποβλήτων, ανεξάρτητα από τις εφαρμοζόμενες πολιτικές μείωσης ή επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων, τα προγράμματα ανακύκλωσης και τις τεχνικές θερμικής ή βιολογικής επεξεργασίας (Tchobanoglous et al 1993). Ως μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων, έχουν εφαρμοστεί η ελεγχόμενη καύση, η πυρόλυση, η παραγωγή εδαφοβελτιωτικού και σχετικά πρόσφατα η ανακύκλωση. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι οι προαναφερόμενες μέθοδοι δεν αποτελούν αυτόνομες λύσεις διαχείρισης απορριμμάτων, καθώς υπάρχει μη αξιοποιήσιμο κλάσμα απορριμμάτων το οποίο θα πρέπει να απορριφθεί σε κάποιον χώρο εδαφικής διάθεσης. Οπότε, γίνεται σαφές ότι ακόμα και στα πιο οργανωμένα ΣΔΑ είναι απαραίτητη η λειτουργία μιας ΜΕΔΑ (Χαλβαδάκης 1998). Φαινόμενα υπερπληθυσμού, υπερκατανάλωσης και αστικοποίησης έχουν οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγή αποβλήτων, με συνέπεια την μείωση του χρόνου ζωής των υφιστάμενων χώρων διάθεσης αποβλήτων. Επίσης, η μεταβολή στις πρακτικές της καθημερινής ζωής, έχει αυξήσει την παραγωγή απορριμμάτων που είναι δύσκολο να αφομοιωθούν ή να αποδομηθούν όταν αυτά καταλήγουν στο περιβάλλον, με την εναπόθεση

τους σε κάποιον *Χώρο Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΔΑ)*. Σε συνδυασμό με την περιορισμένη διαθεσιμότητα γης αλλά και το φαινόμενο *NIMBY* που παρατηρείται έντονα στην Ελλάδα, η διαδικασία εύρεσης χώρων για τη δημιουργία νέων *Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)* έχει γίνει πολύ δύσκολη. Το φαινόμενο *NIMBY (Not in My Back Yard)*, είναι το φαινόμενο που παρατηρείται όταν οι κάτοικοι μιας περιοχής αντιτίθενται στη εγκατάσταση μιας οχλούσας δραστηριότητας στην περιοχή τους, ανεξάρτητα από τις υπηρεσίες και τα οφέλη που προσφέρει η συγκεκριμένη εγκατάσταση (Burkart 1994, Lee and Jones-Lee 1994, Kuhn and Ballard 1998, Al-Yaqout et al 2002).

Σε ότι αφορά τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα, με την πάροδο του χρόνου πληθαίνουν οι προσπάθειες για τη βελτίωση των υφιστάμενων *ΣΔΑ*. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων πραγματοποιείται τόσο σε τοπική κλίμακα σε επίπεδο δήμου, όσο και σε περιφερειακή κλίμακα σε επίπεδο νομαρχιών και περιφερειών. Μόλις τα τελευταία χρόνια η Ελληνική νομοθεσία απαιτεί την δημιουργία στρατηγικού σχεδιασμού για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, με χρονική κλίμακα δεκαπενταετίας, σε επίπεδο νομαρχίας ή περιφέρειας. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλει τόσο η *ΚΥΑ 114218/97* που καθορίζει το «Πλαίσιο Προδιαγραφών» για την διαχείριση απορριμμάτων αλλά και η *ΚΥΑ 50910/2727/03* που ενσωματώνει την *ΚΟ 1991/156/ΕΟΚ* που καθορίζει την διαδικασία «Κατάρτισης Σχεδιασμού» και εφαρμογής των *ΣΔΑ*.

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90 υπήρχαν 4850 χώροι διάθεσης αποβλήτων, εκ των οποίων το 70% ήταν ανεξέλεγκτοι και δέχονταν το 35% της συνολικής παραγωγής των αστικών απορριμμάτων (Maniopoulos 2000). Επίσης υπήρχαν 1420 αδειοδοτημένοι ημιελεγχόμενοι χώροι διάθεσης οι οποίοι δέχονταν το 65% της συνολικής παραγωγής των αστικών απορριμμάτων, εκ των οποίων κανένας *ΧΥΤΑ*. Σύμφωνα με έκθεση του *ΥΠ.ΕΘ.Ο.* (2000), η παραγωγή των αστικών απορριμμάτων αναμένεται να αυξάνει κατά 0.7% κάθε χρόνο. Δεδομένου ότι η αύξηση του πληθυσμού είναι περίπου 0.4% ανά έτος, αναμένεται ότι η *Μέση Παραγωγή Απορριμμάτων (ΜΠΑ)* ανά κάτοικο θα είναι 1.13 kg/d, ενώ το 1997 ήταν 0.97 kg/d. Σε ότι αφορά τη σύσταση των αστικών απορριμμάτων το 47% είναι ζυμώσιμα, το 20% είναι χαρτί, το 8.5% είναι πλαστικά, το 4.5% είναι μέταλλα, το 4.5% είναι γυαλί και το υπόλοιπο 15.5% είναι διάφορα άλλα υλικά. Τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή βάσει των πλέον πρόσφατων στοιχείων του *Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.* (2005), υπάρχουν συνολικά 2626 ανεξέλεγκτοι χώροι, εκ των οποίων οι 1453 είναι ενεργοί και οι υπόλοιποι 1173 είναι ανενεργοί. Επιπρόσθετα έχουν κατασκευαστεί και βρίσκονται σε λειτουργία 45 *ΧΥΤΑ* οι οποίοι εξυπηρετούν 318 *ΟΤΑ*, ενώ υπάρχουν ακόμα 56 οι οποίοι βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού ή της κατασκευής και προβλέπεται ότι θα εξυπηρετούν συνολικά 670 *ΟΤΑ*.

1.1. Χωροθέτηση Οχλουσών Δραστηριοτήτων

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί για την χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους σε θέματα απλότητας, ευχρηστίας, ακρίβειας και γενίκευσης. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '80, η πιο κοινή πρακτική ήταν η εκτίμηση και η αξιολόγηση κάποιων συγκεκριμένων περιοχών, οι οποίες δυνητικά ήταν σε θέση να υποδεχτούν μια οχλούσα δραστηριότητα. Αυτές οι περιοχές προέκυπταν είτε μετά από υπόδειξη των τοπικών αρχών και κατοίκων ή χρησιμοποιώντας σε αρκετά μεγάλη κλίμακα κάποια γενικά κριτήρια που απλά αφαιρούσαν εκτάσεις από την περιοχή μελέτης. Μετά από παρατηρήσεις πεδίου προέκυπτε μια λίστα θέσεων που καταρχήν θεωρούνταν ικανοποιητικές, οι οποίες αξιολογούνταν και τελικά ιεραρχούνταν βάσει των τοπικών τους χαρακτηριστικών. Στη συνέχεια περιγράφονται εν συντομία οι κυριότερες κατηγορίες μεθοδολογιών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (McBean et al 1995).

- **Μέθοδος Ad hoc**, οι οποία συγκρίνει τις εναλλακτικές περιοχές με λεκτικούς όρους, χωρίς να χρησιμοποιεί κάποια συγκεκριμένη μέθοδο που να επεξηγεί την προτίμηση σε κάποιες από αυτές. Βασίζεται στην κρίση των ειδικών που συμμετέχουν στη διαδικασία και εξηγεί τις επιπτώσεις φραστικά, χωρίς να χρησιμοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια, κατάταξη βάσει βαθμού προτίμησης κλπ.

Για παράδειγμα, η θέση Α είναι καλύτερη από τη θέση Β γιατί έχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα χώρου, αλλά η θέση Α είναι πιθανό να αυξήσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η θέση Β είναι ορατή από τον γειτονικό δρόμο, ενώ η θέση Γ βρίσκεται σε αγροτική έκταση υψηλή παραγωγικότητας, όμως έχει μικρότερο κόστος επένδυσης. Όπως φαίνεται από το παραπάνω παράδειγμα, προκύπτουν αρκετά προβλήματα με τη συγκεκριμένη μέθοδο γιατί δεν υπάρχει σαφής επιστημονική δομή, δεν είναι σίγουρο ότι λαμβάνονται υπόψη οι συνολικές διαστάσεις του προβλήματος, δεν χρησιμοποιούνται κριτήρια αξιολόγησης και είναι δύσκολο για το κοινό να καταλάβει τη λογική της απόφασης από τους ειδικούς. Η συγκεκριμένη μέθοδος σήμερα θεωρείται ξεπερασμένη, όμως αναφέρεται για να φανεί η ανάγκη δημιουργίας μιας μεθοδολογίας η οποία πρέπει να είναι ευκολονόητη και να βασίζεται σε σαφή επιστημονικά μεθοδολογικά εργαλεία.

- **Μέθοδοι Καταλόγων (Checklist Methods)**, οι οποίες αξιολογούν και συγκρίνουν τις εναλλακτικές περιοχές βάσει μιας ομάδας κριτηρίων, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα της αντιστάθμισης. Οι μέθοδοι των καταλόγων ποικίλουν σε χαρακτηριστικά και βαθμό

πολυπλοκότητας. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες μεθόδων, οι Κατάλογοι Αξιολόγησης και οι Κατάλογοι Προσδιορισμού Επιπτώσεων.

Κατάλογοι Αξιολόγησης

- *Μη σταθμισμένοι κατάλογοι κριτηρίων/επιπτώσεων*, με τους οποίους τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται θεωρούνται ίδιας σημαντικότητας και η αξιολόγηση βασίζεται στην «υπερέχουσα εναλλακτική περιοχή». Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο η θέση Α θεωρείται καλύτερη από τη θέση Β, όταν είναι καλύτερη από την θέση Β σε τουλάχιστον ένα κριτήριο ενώ ταυτόχρονα δεν είναι χειρότερη σε κανένα κριτήριο. Ως αποτέλεσμα η θέση Β μπορεί να αφαιρεθεί από τον κατάλογο και να συνεχιστεί η αξιολόγηση στις υπόλοιπες εναλλακτικές θέσεις.
- *Σταθμισμένοι Κατάλογοι*, οι οποίοι είναι μια επέκταση της προηγούμενης μεθόδου. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο τα κριτήρια έχουν διαφορετική σημαντικότητα, που φαίνεται από τον συντελεστή βαρύτητας του κάθε κριτηρίου και επιπρόσθετα κάθε εναλλακτική περιοχή βαθμολογείται σε κάθε κριτήριο. Οι κλίμακες των συντελεστών βαρύτητας και της βαθμολόγησης ποικίλουν, ενώ οι τιμές τους προκύπτουν είτε στοχαστικά ή ντετερμινιστικά. Χρησιμοποιώντας *δείκτες καταλληλότητας* που προσφέρουν οι μέθοδοι *πολυκριτηριακής ανάλυσης*, μπορεί να φανεί ποιες περιοχές υπερισχύουν σε σχέση με τις υπόλοιπες.
- *Κατάλογοι Προϋποθέσεων*, με τους οποίους καθορίζονται συγκεκριμένες συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται από μια εναλλακτική περιοχή, ώστε να θεωρείται αποδεκτή. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αποτελεσματική για την απόρριψη των μη αποδεκτών περιοχών.

Κατάλογοι Προσδιορισμού Επιπτώσεων

- *Απλοί Κατάλογοι*, οι οποίοι αποτελούνται από μια σειρά παραμέτρων ίδιας σημαντικότητας όπως περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και τεχνικών και μπορούν να ανιχνεύσουν τις πιθανές επιπτώσεις, ώστε να μην αγνοηθούν από την περαιτέρω αξιολόγηση.
- *Ερωτηματολόγια*, τα οποία εξετάζουν μια σειρά ερωτημάτων που σχετίζονται με τις επιπτώσεις της δραστηριότητας στην συγκεκριμένη περιοχή.

- **Μέθοδος της Οικονομικής Αξιολόγησης (Economic Evaluation Method)**, η οποία προσπαθεί να παρουσιάσει με οικονομικούς όρους, όλες τις διαστάσεις του προβλήματος της χωροθέτησης κάποιας δραστηριότητας. Τα κόστη και τα οφέλη, εκφράζονται σε όρους «πρόθεση να πληρώσω» (willingness to pay, το συνολικό ποσό που προτίθενται να προσφέρουν οι πολίτες για τα οφέλη που θα έχουν από τη δημιουργία της συγκεκριμένης δραστηριότητας) και «πρόθεση να δεχτώ» (willingness to accept, το συνολικό ποσό που προτίθενται οι πολίτες να δεχτούν για τη δημιουργία της συγκεκριμένης δραστηριότητας, ανεξάρτητα από τις επιπτώσεις του έργου). Από τη φύση τους οι επιπτώσεις των οχλουσών δραστηριοτήτων είναι δύσκολο να παρουσιαστούν με οικονομικούς όρους. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά δύσχρηστη και είναι δύσκολη η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της στο κοινό.
- **Χαρτογραφικές Μέθοδοι**, οι οποίες συγκρίνουν και εκτιμούν τις διάφορες περιοχές, χρησιμοποιώντας θεματικούς χάρτες. Εφαρμόζονται κυρίως στα αρχικά στάδια της χωροθέτησης, δηλαδή στο στάδιο της εύρεσης και ανάδειξης πιθανών περιοχών. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι, η Χαρτογράφηση Περιοριστικών Περιοχών και η Αλληλοεπικάλυψη Χαρτών.

 - Η *Χαρτογράφηση Περιοριστικών Περιοχών (Constraint Mapping)* είναι μια απλή μέθοδος χωροθέτησης, όπου με τη βοήθεια κριτηρίων καθορίζονται τα χαρακτηριστικά των περιοχών που δεν είναι επιθυμητά και συστηματικά αφαιρούνται από την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Αρχικά, καθορίζονται τα χωρικά χαρακτηριστικά που πρέπει να παρουσιάζουν οι κατάλληλες περιοχές. Στη συνέχεια, δημιουργούνται θεματικοί χάρτες όπου καταγράφεται η γεωγραφική θέση των εκείνων των περιοχών που έχουν ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά. Τέλος, όλοι οι θεματικοί χάρτες συνενώνονται με την τεχνική της αλληλοεπικάλυψης, οπότε προκύπτουν οι περιοχές που πληρούν τις προϋποθέσεις. Ένα βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι οι περιοχές που προκύπτουν θεωρούνται ίδιας σημαντικότητας, χωρίς να γίνεται αξιολόγηση και κατάταξη τους ώστε να είναι ορατά τα συγκριτικά πλεονεκτήματα κάποιων περιοχών έναντι κάποιων άλλων.
 - Η *Αλληλοεπικάλυψη Χαρτών (Overlay Mapping)* είναι μια μέθοδος παρόμοια με την *Χαρτογράφηση Περιοριστικών Περιοχών*, με την προσθήκη όμως μιας στάθμης σημαντικότητας των επιμέρους παραμέτρων που εξετάζονται. Με τον υπολογισμό κάποιου *δείκτη καταλληλότητας*, μπορεί να γίνει αξιολόγηση και ιεράρχηση των κατάλληλων περιοχών.

- **Μέθοδος των Συγκρίσεων ανά Ζεύγη (Pairwise Comparison Method)**, με την οποία δημιουργούνται όλα τα πιθανά ζεύγη των εναλλακτικών περιοχών και συγκρίνονται μεταξύ τους, οπότε εκτιμάται η σχετική σημαντικότητα τους. Στην πιο απλή μορφή της μεθόδου, εξετάζονται τα ζεύγη των περιοχών σε μια σειρά κριτηρίων που συνδέονται με τις πιθανές επιπτώσεις της δραστηριότητας και μετριέται η συχνότητα που η μια περιοχή είναι καλύτερη σε σχέση με την άλλη, υπολογίζοντας τον *δείκτη ανωτερότητας (superiority indicator)*. Ο *δείκτης ανωτερότητας* είναι μια πολύ απλουστευμένη μορφή αξιολόγησης εναλλακτικών περιοχών. Στην περίπτωση που πρέπει να εξεταστεί σχετικά μεγάλο πλήθος παραμέτρων και εναλλακτικών περιοχών, η συνολική διαδικασία των συγκρίσεων ανά ζεύγη γίνεται ιδιαίτερα δύσχρηστη, καθώς απαιτεί αρκετό χρόνο.
- **Μέθοδος της Θολής Λογικής (Fuzzy Logic Method)**, η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μέθοδος που ανήκει στην κατηγορία των *Συγκρίσεων ανά Ζεύγη*, αλλά λόγω της ιδιαιτερότητας της εξετάζεται αυτόνομα. Η θεωρία της *Θολής Λογικής*, βασίζεται σε κάποιο βαθμό στις υποκειμενικές κρίσεις των ατόμων που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία και προσπαθεί να ανιχνεύσει τις περιοχές που κρίνονται ως μη ικανοποιητικές. Στην πιο απλή μορφή που μπορεί να συναντηθεί, αξιολογώντας τις εναλλακτικές περιοχές σε μια σειρά παραγόντων, μπορεί να βρεθεί εάν κάποια περιοχή δεν είναι ικανοποιητική. Η καλύτερη εναλλακτική περιοχή επιλέγεται από την *έκταση επικράτησης* της (*dominance extent*) σε σχέση με τις υπόλοιπες. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά δύσκολη στην κατανόηση της, ενώ χρειάζεται ομάδα ειδικών για την εκτίμηση της σημαντικότητας των επιμέρους παραγόντων, για τη δημιουργία των *συναρτήσεων συμμετοχής (membership functions)* κλπ.
- **Μέθοδος Πινάκων (Matrix Methods)**, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος από όσες έχουν αναφερθεί, λόγω της ευκολίας κατανόησης και εφαρμογής της. Στην πιο απλή μορφή της μεθόδου, δημιουργείται ένας *πίνακας αποφάσεων (decision matrix)*, όπου στις γραμμές του καταγράφονται οι πιθανές εναλλακτικές περιοχές, ενώ στις στήλες του φαίνονται τα κριτήρια αξιολόγησης. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες στη λήψη της απόφασης, αξιολογούν όλες τις εναλλακτικές περιοχές στα κριτήρια, βαθμολογώντας τις σε μια κλίμακα που διαφέρει ανάλογα με τη τεχνική που χρησιμοποιείται. Επίσης, με συγκεκριμένες τεχνικές που μπορεί να είναι είτε στοχαστικές ή ντετερμινιστικές, καταγράφεται η σημαντικότητα του κάθε κριτηρίου σε σχέση με το σύνολο αυτών, εισάγοντας έναν συντελεστή βαρύτητας για κάθε κριτήριο. Συνήθως οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων κανονικοποιούνται, έτσι ώστε το άθροισμά τους να είναι η μονάδα. Τέλος, με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων που στην πλειονότητα τους είναι

αθροιστικά, υπολογίζεται ο δείκτης καταλληλότητας της κάθε εναλλακτικής περιοχής. Με τη συγκεκριμένη διαδικασία, προκύπτει ως αποτέλεσμα η κατάταξη των περιοχών που εξετάζονται, σε μια κλίμακα χειρίστο-βέλτιστο, οπότε εύκολα μπορούν να ανιχνευτούν ποιες περιοχές θεωρούνται καλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες.

1.1.1. Το Νομικό Πλαίσιο της Χωροθέτησης Μονάδων Εδαφικής Διάθεσης Απορριμμάτων

Το νομικό πλαίσιο της Ελλάδας που αφορά τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, εμφανίζεται αρκετά πλούσιο. Στα θέματα της χωροθέτησης *Μονάδων Εδαφικής Διάθεσης Αποβλήτων*, υπάρχουν κάποιες αναφορές στην νομοθεσία που αφορούν τα κριτήρια εξαίρεσης και αξιολόγησης. Οι συγκεκριμένες αναφορές όμως περιορίζονται σε γενικεύσεις και κατευθυντήριες γραμμές, κάτι το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους επιστήμονες που εμπλέκονται στη διαδικασία της χωροθέτησης να έχουν την ευχέρεια να χρησιμοποιήσουν επιπλέον κριτήρια και μεθοδολογίες επίλυσης. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι κυριότερες αναφορές της νομοθεσίας που αφορούν τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

Η πρώτη νομοθετική διάταξη για τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα, ήταν η υγειονομική διάταξη της ΚΥΑ ΕΙβ/301/64 «Περί Συλλογής, Αποκομιδής και Διάθεσης Απορριμμάτων», η οποία καθορίζει τις προδιαγραφές της διαχείρισης των απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές για τη συλλογή αλλά και τη διάθεση αυτών. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ΚΥΑ, δίνεται η δυνατότητα για παρέκκλιση από τα άρθρα της ρύθμισης με μια απλή απόφαση νομάρχη.

Αρκετά χρόνια αργότερα ψηφίστηκε ο Ν. 1650/86 «Για την Προστασία του Περιβάλλοντος», ο οποίος θέτει το γενικό πλαίσιο, τους στόχους και τα μέσα για την προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τον συγκεκριμένο νόμο, ορίζονται οι *Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ)* ως αρμόδιοι φορείς για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να μην διαχειρίζονται απόβλητα που λόγω της σύστασής τους δεν μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά απορρίμματα. Σε αυτή την περίπτωση, αρμόδιοι για τη διαχείριση τους είναι τα φυσικά ή τα νομικά πρόσωπα, από τις δραστηριότητες των οποίων παράγονται τα συγκεκριμένα απόβλητα.

Η πρώτη προσπάθεια εναρμόνισης της Ελληνικής νομοθεσίας με την αντίστοιχη Κοινοτική, έγινε με την ΚΥΑ 49541/1424/86 «Στερεά Απόβλητα σε Συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ». Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ΚΥΑ, διατυπώνονται οι βασικές αρχές που πρέπει να διέπουν τη διαχείριση των απορριμμάτων, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο άμεσα ή έμμεσα η δημόσια υγεία και να μην δημιουργούνται βλάβες στο περιβάλλον. Επίσης,

περιγράφεται για πρώτη φορά η αναγκαιότητα σύνταξης σχεδίων διαχείρισης, καθώς και οι διαδικασίες που πρέπει να τηρούνται. Επιπρόσθετα, δίνεται ο ορισμός των βασικών εννοιών, ορίζονται οι φορείς διαχείρισης των απορριμμάτων, καθορίζονται οι φάσεις του σχεδιασμού διαχείρισης και ρυθμίζεται το θέμα των αδειών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων που χορηγούνται σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα πέρα των ΟΤΑ.

Στις αρχές της δεκαετίας του 90, κάτω από τις αυξανόμενες πιέσεις για χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής, την ευαισθητοποίηση του κοινού, αλλά και τις πιέσεις για νομοθετικές ρυθμίσεις και ενσωμάτωση των Ευρωπαϊκών οδηγιών στην Ελληνική νομοθεσία, ξεκίνησε μια προσπάθεια αναβάθμισης της ελληνικής νομοθεσίας και αναθεώρησης της περιβαλλοντικής πολιτικής. Με την ΚΥΑ 69269/5387/90 «Περί Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων», ορίζονται οι διαδικασίες και προδιαγράφονται τα περιεχόμενα των μελετών που πρέπει κατά περίπτωση να εκπονηθούν, ώστε να προληφθούν ή να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις από προγραμματιζόμενα ιδιωτικά και δημόσια έργα ή δραστηριότητες. Με τη συγκεκριμένη ΚΥΑ, ορίζονται οι διαδικασίες προέγκρισης χωροθέτησης και έγκρισης *Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ)* για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

Το 1996 εκδίδεται η ΚΥΑ 69728/824/96 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων», η οποία αντικατέστησε την ΚΥΑ 49541/1424/86 και πλέον έχει καταργηθεί. Η συγκεκριμένη ΚΥΑ εκτός από τις γενικές κατευθύνσεις και την κατάρτιση πλαισίου τεχνικών προδιαγραφών, δίνει ιδιαίτερη σημασία στη σύνταξη σχεδίων διαχείρισης των αποβλήτων και ορίζει τους αρμόδιους φορείς τόσο για τον σχεδιασμό όσο και για την εφαρμογή τους. Η διαχείριση γίνεται σε επίπεδο νομού, με την αρμοδιότητα να ανήκει στη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, ενώ σε περίπτωση αδυναμίας της μεταφέρεται στην οικεία Περιφέρεια. Επίσης, δίνει ιδιαίτερη σημασία στην εξυγίανση των ΧΔΑ μετά το τέλος της λειτουργίας τους και στην αποκατάσταση των ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης. Τέλος, προσαρτώνται σ' αυτήν ως παραρτήματα οι *Ευρωπαϊκοί Κατάλογοι Αποβλήτων (ΕΚΑ)*, όπως καταγράφονται στην απόφαση 94/3/ΕΚ.

Ένα χρόνο αργότερα, ολοκληρώνεται και εξειδικεύεται το νομοθετικό πλαίσιο για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων, με την έκδοση της ΚΥΑ 113944/97 «Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Γενικές Κατευθύνσεις της Πολιτικής Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων)» η οποία έχει καταργηθεί και της ΚΥΑ 114218/97 «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων».

Το 2003 δημοσιεύτηκε η ΚΥΑ 50910/2727/03 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» για την πλήρη συμμόρφωση με τις διατάξεις της κοινοτικής οδηγίας 91/156/ΕΟΚ. Με τη συγκεκριμένη ΚΥΑ καθορίζονται οι στόχοι και οι αρχές της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, καθώς και οι προδιαγραφές του εθνικού σχεδίου (ΕΣΔΑ) αλλά και των περιφερειακών σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων. Επιπλέον καθορίζονται οι υπόχρεοι φορείς για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων (ΦοΣΔΑ) καθώς και μέτρα για την αποκατάσταση και αξιοποίηση των χώρων διάθεσης. Τέλος, η πιο πρόσφατη νομοθετική ρύθμιση αναφορικά με τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι η ΚΥΑ 4641/232/06 «Καθορισμός Τεχνικών Προδιαγραφών Μικρών Χώρων Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων σε Νησιά και Απομονωμένους Οικισμούς, Κατ' Εφαρμογή του Άρθρου 3 (παρ. 4) σε Συνδυασμό με το Άρθρο 20 (Παράρτημα Ι) της υπ' αριθμ. 29407/3508/2002 Κοινή Υπουργική Απόφαση «Μέτρα και Όροι για την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων» (Β' 1572)». Με τη συγκεκριμένη ΚΥΑ, θεσπίζονται εξειδικευμένες τεχνικές προδιαγραφές για τους μικρούς χώρους υγειονομικής ταφής σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς. Πιο συγκεκριμένα, έχει ως στόχο να επιτύχει την πρόληψη ή την μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ειδικότερα, αναφέρεται στη ρύπανση των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και οποιουδήποτε κινδύνου προκύπτει για την υγεία του ανθρώπου από την υγειονομική ταφή των αποβλήτων καθ' όλο τον κύκλο ζωής του εν λόγω χώρου υγειονομικής ταφής.

1.1.2. Η Πολυκριτηριακή Διάσταση του Προβλήματος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ασχολείται με την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Το συγκεκριμένο πρόβλημα, λόγω του πολυδιάστατου χαρακτήρα του προσεγγίζεται και τελικά επιλύεται με τη βοήθεια της *πολυκριτηριακής ανάλυσης*. *Πολυκριτηριακή ανάλυση* είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με εκείνα τα προβλήματα τα οποία για να καταλήξουν σε κάποιο αποτέλεσμα θα πρέπει να λάβουν υπόψη μια σειρά από παραμέτρους.

Για να δομηθεί το πολυκριτηριακό πρόβλημα της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης, αρχικά γίνεται προσπάθεια κατανόησης και καταγραφής όλων των πιθανών διαστάσεων της διαδικασίας της χωροθέτησης, θίγοντας όλα τα σύνθετα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την καταλληλότητα ή μη μιας περιοχής. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να αφορούν περιβαλλοντικές, κοινωνικές, χωροταξικές και τεχνικοοικονομικές παραμέτρους, η ανάλυση των οποίων οδηγεί στην ανάπτυξη των κριτηρίων. Ως κριτήρια θεωρούνται τα ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, τα οποία προβλέπουν τη μεταβολή ή το μέγεθος των επιπτώσεων που

προκαλούν ένας ή περισσότεροι παράγοντες, σε κάποια από τις παραμέτρους που εξετάζονται. Το κάθε σύνθετο χαρακτηριστικό αναλύεται στα επιμέρους στοιχεία του, τα οποία μπορούν να εκφραστούν με τις επιπτώσεις ή τα οφέλη που μπορεί να προκαλέσει μια δραστηριότητα σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Η ίδια ανάλυση που αφορά κάποια παράμετρο και τα επιμέρους στοιχεία που την αποτελούν, μπορεί να γίνει σε πολλά επίπεδα, έτσι ώστε τελικά να δημιουργηθεί ένα δενδρόγραμμα που ονομάζεται *διάγραμμα ιεραρχικής δομής* του πολυκριτηριακού προβλήματος και οδηγεί στην επίλυση του. Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι η δημιουργία του διαγράμματος της ιεραρχικής δομής δεν είναι μοναδικό, υπό την έννοια ότι μπορεί να υπάρξει μια διαφορετική προσέγγιση σε ότι αφορά τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη, αλλά και τα χαρακτηριστικά που τις αποτελούν. Η ιεραρχική δομή του πολυκριτηριακού προβλήματος θα πρέπει να αλλάξει όταν εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία σε κάποια άλλη περιοχή. Για παράδειγμα, όταν εφαρμοστεί στην νήσο Λέσβο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το Απολιθωμένο Δάσος το οποίο έχει κηρυχτεί ως μνημείο της φύσης και καλύπτει σχεδόν ολόκληρη τη δυτική χερσόνησο της νήσου. Σε κάποια άλλη περιοχή της ηπειρωτικής Ελλάδας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως εθνικοί δρυμοί, σιδηροδρομικό δίκτυο κλπ. Οπότε, γίνεται κατανοητό ότι το πολυκριτηριακό πρόβλημα και η ανάλυση του συνδέεται άμεσα με την περιοχή η οποία εξετάζεται. Τέλος, η προσέγγιση της δημιουργίας του *διαγράμματος ιεραρχικής δομής* για την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος, δίνει πολύ μεγάλη ευελιξία στα εξής:

- Μπορούν εύκολα να αλλάξουν οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στο δενδρόγραμμα,
- Μπορεί να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα της οχλούσας δραστηριότητας, χρησιμοποιώντας το ίδιο δενδρόγραμμα,
- Εφαρμόζοντας την ίδια λογική του δενδρογράμματος και της προτεινόμενης μεθοδολογίας, μπορεί να γίνει αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οποιασδήποτε οχλούσας δραστηριότητας.

1.1.3. Η Χωρική Διάσταση του Προβλήματος και η Συνεισφορά των Χωρικών Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων

Το πρόβλημα της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας είναι καθαρά χωρικό. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό, γιατί το πρόβλημα αφορά καταλληλότητα της γης δηλαδή καταλληλότητα του χώρου. Επίσης, τελικός στόχος είναι η χωροθέτηση κάποιας δραστηριότητας, δηλαδή η εύρεση κατάλληλου χώρου για τη δημιουργία και εγκατάσταση της δραστηριότητας.

Όλες οι παράμετροι και τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη αποτυπώνονται χωρικά. Ακόμα και παράμετροι οι οποίες δεν έχουν χωρική υπόσταση, πρέπει άμεσα ή έμμεσα να αποτυπωθούν χωρικά. Για παράδειγμα, η αντίδραση της τοπικής κοινωνίας, η οποία είναι το σημαντικότερο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί σε κάθε διαδικασία χωροθέτησης κάποιας οχλούσας δραστηριότητας και συνήθως καθορίζει την τελική απόφαση, δύσκολα αποτυπώνεται χωρικά. Επειδή η συμπεριφορά της τοπικής κοινωνίας δύσκολα μπορεί να αντιμετωπιστεί στη διαδικασία της χωροθέτησης, αυτό που γίνεται είναι να χρησιμοποιούνται χωρικά κριτήρια που προσομοιώνουν και ελαχιστοποιούν τις αντιδράσεις. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται αποστάσεις από τους οικισμούς, θέαση από οικισμούς και δρόμους κλπ.

Επειδή το πρόβλημα της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης είναι καθαρά χωρικό, στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής επιλέχθηκε η χρήση των τεχνολογικών και μεθοδολογικών εργαλείων της *Γεωπληροφορικής*. Σύμφωνα με τον Goodchild (2004), *Γεωπληροφορική (Geoinformatics)* ή *Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας (Geographic Information Science)* είναι η επιστήμη η οποία είναι αφιερωμένη στην κατανόηση των γεωγραφικών διαδικασιών και των χωρικών σχέσεων με τη βοήθεια εξελιγμένων θεωριών, μεθόδων, τεχνολογιών και δεδομένων. Ο Malczewski (2006) έχει κάνει μια σημαντική ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας που αφορά την εφαρμογή της *Γεωπληροφορικής* σε πολυκριτηριακά προβλήματα.

Η συνεχής ανάπτυξη των εργαλείων της *Γεωπληροφορικής*, καθώς και η ολοένα μεγαλύτερη εφαρμογή τους σε θέματα διαχείρισης του χώρου και χάραξης πολιτικής, οδήγησε στη δημιουργία των *Χωρικών Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (ΧΣΥΛΑ)*. *Χωρικά Συστήματα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (Spatial Decision Support Systems – SDSS)*, ονομάζονται τα υπολογιστικά συστήματα τα οποία είναι σχεδιασμένα ώστε να υποστηρίζουν έναν χρήστη ή μια ομάδα χρηστών, με σκοπό την μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων σε ημιδομημένα ή κακώς δομημένα χωρικά προβλήματα (Sprague and Carlson 1982). Σύμφωνα με τον Malczewski (1999), τα ΧΣΥΛΑ αποτελούνται από τρία επιμέρους λειτουργικά συστατικά. Το πρώτο συστατικό είναι οι μεθοδολογίες και τα μοντέλα *πολυκριτηριακής ανάλυσης*. Το δεύτερο συστατικό, αναφέρεται στην διαχείριση και ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων με τη βοήθεια *Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)*, συστήματος διαχείρισης σχεσιακών ή μη βάσεων δεδομένων, μοντέλα προσομοίωσης και στατιστικής ανάλυσης. Το τρίτο συστατικό, είναι η ύπαρξη κατάλληλου περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης των δύο προαναφερθέντων λειτουργικών συστατικών.

1.2. Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης

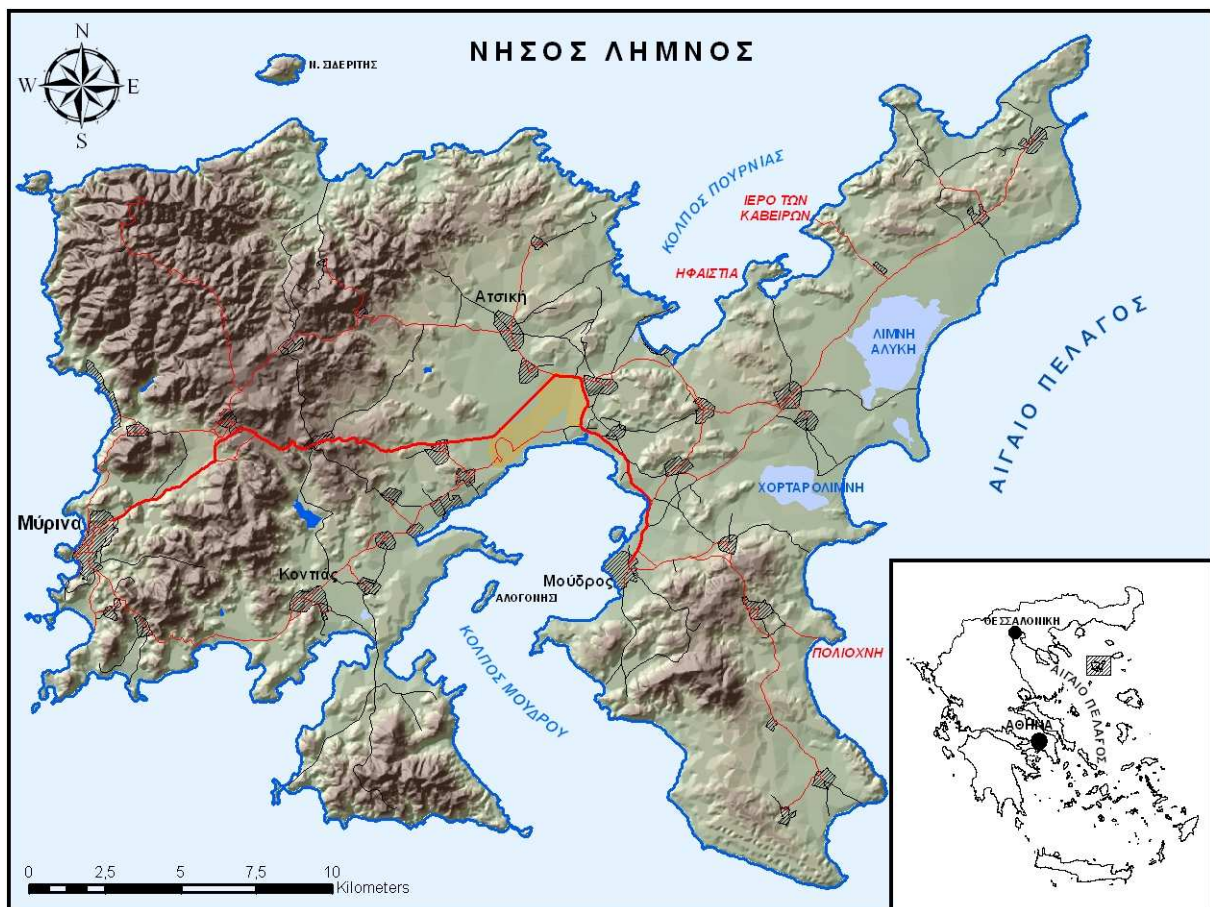
Η περιοχή μελέτης που εφαρμόστηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι η νήσος Λήμνος. Η επιλογή της νήσου Λήμνου έγινε για τον λόγο ότι έχει μελετηθεί πάρα πολύ από το Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, οπότε υπάρχουν πάρα πολλά στοιχεία που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης, η συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή αποτελεί συνέχεια της πτυχιακής εργασίας που εκπονήθηκε κατά τις προπτυχιακές μου σπουδές, η οποία είχε ως αποτέλεσμα αφενός την απαρχή της ενασχόλησης μου με τα θέματα της χωροθέτησης δραστηριοτήτων με τη βοήθεια των σύγχρονων εργαλείων της *Γεωπληροφορικής*, αφετέρου τη δημιουργία μιας ψηφιακής βάσης δεδομένων υψηλού βαθμού επάρκειας και ακρίβειας (Κοντός 1998).

1.2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά της Νήσου Λήμνου

Η νήσος Λήμνος, όπως φαίνεται και στον χάρτη 1.1, βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του Αιγαίου Πελάγους και γεωγραφικά εκτείνεται από γεωγραφικό μήκος 25° έως $25^{\circ} 26'$ και γεωγραφικό πλάτος από $39^{\circ} 46'$ έως $40^{\circ} 03'$. Η Λήμνος με έκταση 478 km^2 αποτελεί το όγδοο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδος. Διοικητικά ανήκει στον Νομό Λέσβου μαζί με τις νήσους Λέσβο και Άγιο Ευστράτιο, ενώ αποτελεί Επαρχία μαζί με την κοινότητα του Αγίου Ευστρατίου. Σύμφωνα με το πρόγραμμα «Ι. Καποδίστριας» του ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α. (Ν. 2539/1997) αποτελείται από τους Δήμους Μύρινας, Μούδρου, Νέας Κούταλης και Ατσικής. Ο συνολικός πληθυσμός της σύμφωνα με την απογραφή του 2001 είναι 18104 κάτοικοι, εμφανίζοντας μια μικρή αύξηση κατά 2.81% σε σχέση με την απογραφή του 1991. Πρωτεύουσα του νησιού και κύριο λιμάνι είναι η Μύρινα η οποία βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της νήσου και έχει 5100 κατοίκους. Η Μύρινα απέχει 85 ναυτικά μίλια από τη Μυτιλήνη, 180 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά και 135 ναυτικά μίλια από την Θεσσαλονίκη. Χαρακτηριστικό είναι το κάστρο που δεσπόζει σε ένα λόφο μέσα στην πόλη, το οποίο είναι κτισμένο πάνω σε παλαιό πελασγικό τείχος. Το ιδιαίτερο στοιχείο του εκτός από την χαρακτηριστική ομορφιά του, είναι ότι ζει ένας πληθυσμός από περίπου εκατό ελάφια.

Η Λήμνος είναι καθαρά ηφαιστειογενές νησί με χαρακτηριστικούς μικρούς λόφους και έλλειψη βλάστησης. Μορφολογικά, εμφανίζεται έντονα λοφώδης σχεδόν σε ολόκληρο το δυτικό τμήμα της, συναντώντας την υψηλότερη κορυφή στη θέση Βίγλα που βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο της νήσου, με υψόμετρο 430 μέτρα. Το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις. Χαρακτηριστικοί είναι οι δύο κόλποι του

νησιού, ο Μούδρος στα νότια και ο Πουρνιάς στα βόρεια. Στην περιοχή Θέρμα, που βρίσκεται νότια του χωριού Κορνός σε απόσταση περίπου 5 χιλιομέτρων από την Μύρινα, υπάρχουν επισκέψιμα ιαματικά λουτρά που έχουν θερμοκρασία ύδατος 37°C. Σε ότι αφορά τα κλιματικά της χαρακτηριστικά, σύμφωνα με στοιχεία της τελευταίας τριακονταετίας από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, εμφανίζει μέση ετήσια θερμοκρασία 15.9°C και μέση ετήσια σχετική υγρασία 70.8%. Ο Όμηρος αποκαλούσε τη Λήμνο ως «Ανεμόεσσα», καθώς είναι εκτεθειμένη σε σφοδρούς ανέμους κυρίως βορειοανατολικής κατεύθυνσης, που πνέουν σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Από αρχαιολογικής άποψης, έχει ευρήματα σημαντικής αρχαιολογικής αξίας. Θεωρείται το νησί του θεού Ήφαιστου, καθώς σύμφωνα με την μυθολογία οι ιερείς των Καβείρων τον περιέθαλψαν μετά από έναν διαπληκτισμό που είχε με τον Δία, του γιάτρεψαν το πόδι και εκείνος ως ανταπόδοση τους δίδαξε την μεταλλουργία. Επίσης στην περιοχή Πολιόχνη που βρίσκεται κοντά στα Καμίνια, έχει ανακαλυφθεί νεολιθικός οικισμός που χρονολογείται από το 4000 π.Χ. και θεωρείται από πολλούς ως η αρχαιότερη πόλη της Ευρώπης.



Χάρτης 1.1: Η Νήσος Λήμνος

Το φυσικό περιβάλλον της νήσου Λήμνου, μπορεί να μην εμφανίζει έντονα χαρακτηριστικά όπως κάποιες άλλες περιοχές της Ελλάδας, παρόλα αυτά υπάρχουν κάποια φυσικά χαρακτηριστικά που δίνουν ιδιαίτερο χαρακτήρα στη νήσο. Στα ανατολικά του νησιού, κοντά στο χωριό Κοντοπούλι, εκτείνονται οι λιμνοθάλασσες Αλυκή, Χορταρολίμνη και Ασπρολίμνη οι οποίες εντάσσονται στο δίκτυο NATURA 2000 και είναι βιότοποι εξαιρετικής σημασίας όπου συχνάζουν κατά περιόδους σπάνια πουλιά. Υγρότοποι μικρότερης οικολογικής σημασίας υπάρχουν και στην περιοχή Διαπόρι νοτιοανατολικά του χωριού Κοντιά και στην περιοχή Κότσινας που βρίσκεται βορειοδυτικά του χωριού Ρεπανίδι. Ένα άλλο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό είναι οι αμμοθίνες οι οποίες εντοπίζονται σε διάφορα μέρη της νήσου. Τέλος, οι φρυγανικές εκτάσεις και οι γεωργικές καλλιέργειες που υπάρχουν αποτελούν φυσικά οικοσυστήματα στα οποία αναπτύσσονται σημαντικοί πληθυσμοί από πέρδικες, λαγούς και αγριοκούνελα.

Σε ότι αφορά τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της Λήμνου, ένα εντυπωσιακό δημογραφικό στοιχείο είναι ότι αν και εμφανίζεται μια αύξηση της τάξης του 2.81% στον πληθυσμό της νήσου, το ισοζύγιο της φυσικής κίνησης του πληθυσμού δείχνει μια υστέρηση των γεννήσεων κατά 40% έναντι των θανάτων. Το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού μπορεί να χαρακτηριστεί γενικά ως χαμηλό, καθώς το 9.6% του πληθυσμού είναι αγράμματοι ή δεν έχουν τελειώσει το δημοτικό, το 41.1% έχει τελειώσει το δημοτικό, το 40.5% είναι απόφοιτοι δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ενώ το 8.7% είναι απόφοιτοι τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Στις παραγωγικές δραστηριότητες του πληθυσμού, την τελευταία εικοσαετία παρατηρείται μια μετακίνηση από τον πρωτογενή στον τριτογενή τομέα, ενώ ο δευτερογενής τομέας εμφανίζεται ποσοτικά στάσιμος με μια μεταστροφή της μεταποίησης από οικοτεχνικές δραστηριότητες σε βιομηχανοποιημένες μορφές. Την παρούσα χρονική περίοδο, ο πρωτογενής τομέας φαίνεται να απασχολεί το 20%, ο δευτερογενής τομέας το 19.85% και ο τριτογενής τομέας το 60.15% του πληθυσμού. Σε ότι αφορά τον πρωτογενή τομέα, η Λήμνος παρά το βραχύδες έδαφος της είναι αρκετά εύφορο νησί με εξαιρετικής ποιότητας προϊόντα όπως σιτηρά, όσπρια, σύκα, σταφίδες, αμύγδαλα και θυμαρίσιο μέλι. Επίσης, φημίζεται για το εξαιρετικής ποιότητας κρασί της, ενώ περιζήτητα είναι και τα γαλακτοκομικά της προϊόντα. Σε ότι αφορά τον δευτερογενή τομέα, ο κυριότερος κλάδος δραστηριότητας είναι η βιομηχανία τροφίμων και ποτών. Τέλος, σε ότι αφορά τον τριτογενή τομέα, σημαντικό μέρος του πληθυσμού ασχολείται με τις κατασκευές, το εμπόριο και γενικά δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών. Στον τουριστικό κλάδο, παρόλο που έγιναν σημαντικές επενδύσεις από επιχειρηματίες με τη δημιουργία ξενοδοχειακών μονάδων υψηλών προδιαγραφών, η έλλειψη κρατικής ενίσχυσης υπό την μορφή δημόσιων επενδύσεων οδήγησε τη Λήμνο σε έναν προορισμό χαμηλού ενδιαφέροντος από άποψης τουριστικής συγκέντρωσης.

1.2.2. Η Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων της Νήσου Λήμνου

Σύμφωνα με τον εθνικό σχεδιασμό για τη διαχείριση των απορριμμάτων (ΚΥΑ 50910/2727/03), προωθείται η εφαρμογή συγκεντρωτικών *Συστημάτων Διαχείρισης Αποβλήτων* (ΣΔΑ). Η πρακτική της συγκεντρωτικής διαχείρισης των απορριμμάτων, εφαρμόζεται στη νήσο Λήμνο από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Το 1988 είχε εκπονηθεί ερευνητικό πρόγραμμα από το Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΔΑ) του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, που τεκμηρίωνε την ανάγκη της από κοινού διαχείρισης των απορριμμάτων και προδιέγραφε το απαιτούμενο ΣΔΑ (Χαλβαδάκης κ.α. 1989). Στα πλαίσια των κατευθύνσεων του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος, ακολούθησαν επιπλέον ερευνητικά προγράμματα και μελέτες εφαρμογής του ΣΔΑ και πραγματοποιήθηκαν τα προβλεπόμενα έργα και προμήθειες εξοπλισμού (Χαλβαδάκης κ.α. 1990α και 1990β).

Κατά την περίοδο πριν από το 1988 και την εφαρμογή του συγκεντρωτικού συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων, κάθε ΟΤΑ λειτουργούσε αυτόνομα τόσο ως προς την αποκομιδή όσο και ως προς την διάθεση των απορριμμάτων σε επιμέρους μικρούς σκουπιδότοπους. Η υλοποίηση του συγκεντρωτικού συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων ήταν αποτέλεσμα επιτυχημένης λειτουργίας του φορέα συντονισμού των ΟΤΑ της Επαρχίας Λήμνου, που διαχρονικά έλαβε την μορφή «Αναπτυξιακού Συνδέσμου» (1988-1995), συνέχισε ως «Συμβούλιο Περιοχής 11^{ης} Εδαφικής Περιφέρειας Ν. Λέσβου» (1996-1997), «Σύνδεσμο 11^{ης} Εδαφικής Περιφέρειας Ν. Λέσβου» (1998) και στην παρούσα φάση ο φορέας διαχείρισης είναι η «Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Απορριμμάτων και Περιβάλλοντος». Η αποδοχή και στήριξη του εν λόγω φορέα από το σύνολο των ΟΤΑ της Λήμνου, καθώς και η στάση του τοπικού πληθυσμού, οδήγησαν διαχρονικά σε επιτυχημένη διαχείριση του απορριμμάτων από τους εν λόγω φορείς.

Την αποκομιδή των απορριμμάτων από το εσωτερικό των οικισμών και τη μεταφορά τους στους σκουπιδότοπους, ανέθεταν οι ΟΤΑ σε ιδιώτες με τη διαδικασία ετήσιας εργολαβίας. Μόνο ο Δήμος Μύρινας διέθετε υπηρεσία καθαριότητας, προσωπικό και απορριμματοφόρα και πραγματοποιούσε με αυτεπιστασία την αποκομιδή και μεταφορά απορριμμάτων. Όπως έχει διαπιστωθεί από επίτοπιες επισκέψεις αλλά και από κοινή ομολογία των ΟΤΑ, υπάρχει ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης των πολιτών. Από τη σύγκριση αποκεντρωτικού - συγκεντρωτικού συστήματος, είναι σαφές ότι έχει βελτιωθεί το σύστημα αποκομιδής από απόψεως οικονομικής, αισθητικής και υγιεινής των πολιτών, ενώ διευκολύνεται και η γενικότερη διαχείριση από την πλευρά του φορέα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διάθεση των απορριμμάτων κατά το παρελθόν γινόταν σε ανεξάρτητους χώρους (σκουπιδότοπους) για κάθε ΟΤΑ, όπου μέχρι το 1988 είχαν καταμετρηθεί 31 ΧΔΑ . Η πρακτική διαχείρισης των απορριμμάτων στους χώρους αυτούς χαρακτηρίζεται από απλή απόθεση, χωρίς τακτική χωματοκάλυψη. Συχνά γινόταν σκόπιμη καύση των απορριμμάτων για να επιτευχθεί μείωση του όγκου τους, ενώ σε κάποιους ΧΔΑ εφαρμόζονταν χωματοκάλυψη των υπολειμμάτων της καύσης, μία ή δύο φορές ετησίως. Το συγκεντρωτικό σύστημα βάσει του σχεδιασμού του, προέβλεπε τη λειτουργία ενός κεντρικού Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), ο οποίος θα εξυπηρετούσε τις ανάγκες όλης της Λήμνου. Ο συγκεκριμένος ΧΥΤΑ κατασκευάστηκε στη θέση Βίγλα που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου. Από την οριστική μελέτη που προδιέγραφε τα έργα υποδομής και τη διαχρονική ανάπτυξη του ΧΥΤΑ, είχε εκτιμηθεί ότι η διάρκεια λειτουργίας, θα ήταν της τάξης των 12 ετών. Η αύξηση του ρυθμού παραγωγής των απορριμμάτων και η τεχνική διάστρωσης που ακολουθήθηκε, είχαν ως αποτέλεσμα την ταχύτερη πλήρωση του χώρου και την εξάντληση των αποθεμάτων χώματος. Τα έργα υποδομής που είχαν προδιαγραφεί από την οριστική μελέτη του ΧΥΤΑ κρίθηκαν ικανοποιητικά, με εξαίρεση τη λίμνη συλλογής εκχυλισμάτων. Δεν κατασκευάστηκε όπως έπρεπε το ανάχωμα του φράγματος διαμόρφωσης της λίμνης με αποτέλεσμα τη διαρροή εκχυλισμάτων μέσα από αυτό και την υποχώρησή του. Οι προδιαγραφές λειτουργίας παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από αυτές που είχαν προδιαγραφεί από την οριστική μελέτη. Τα βασικά στοιχεία απόκλισης από τις προδιαγραφές, ήταν η μέθοδος διευθέτησης και χωματοκάλυψης των απορριμμάτων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αναβαθμίδων (ταμπανιών) και η παράληψη κατασκευής δικτύου εκχυλισμάτων και βιοαερίου.

Με την έναρξη λειτουργίας του ΧΥΤΑ τον Ιούνιο του 1992, έπαψε η χρήση των μικρών κατά τόπους ΧΔΑ . Για λόγους περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς, ήταν επιβεβλημένη η άμεση αποκατάσταση των χώρων αυτών. Για κάποιο χρονικό διάστημα και μετά τη διακοπή της απόθεσης των απορριμμάτων, εξακολουθεί η επίδραση των επιπτώσεων που έχουν οι ΧΔΑ τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο. Για παράδειγμα, παρατηρούνται φαινόμενα ανεξέλεγκτης απόρριψης ογκωδών απορριμμάτων, μπαζών, ακόμη και οικιακών απορριμμάτων στους χώρους αυτούς, παρατείνοντας την υποβάθμιση της περιοχής. Έχει εκπονηθεί μελέτη στην οποία επισημαίνονται οι κρίσιμες παράμετροι ως προς τις επιπτώσεις των επιμέρους ΧΔΑ και προτείνονται τα έργα αποκατάστασής τους. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπου λόγω μικρού όγκου απορριμμάτων και όπου οι ιδιαιτερότητες του χώρου το επιβάλουν, προδιαγράφεται η μεταφορά των απορριμμάτων του ΧΔΑ σε γειτονικούς ΧΔΑ (Μανδουλός κ.α. 1998).

Στην παρούσα χρονική στιγμή, η διάθεση των απορριμμάτων όλης της νήσου γίνεται στον συγκεκριμένο ΧΥΤΑ, ο οποίος σύμφωνα με τις εκτιμήσεις ειδικών έχει χρόνο ζωής μέχρι το 2010. Ταυτόχρονα, βρίσκεται στο στάδιο της κατασκευής ο καινούργιος κεντρικός ΧΥΤΑ που προτάθηκε από ερευνητικό πρόγραμμα που εκπόνησε το ΕΔΑ, ο οποίος θα είναι σε θέση να λειτουργήσει το 2009 (Μπαλής κ.α. 1998). Σύμφωνα με το συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα, η θέση που προτάθηκε βρίσκεται κοντά στον υφιστάμενο ΧΥΤΑ στη θέση Βίγλα και προβλέπεται ότι θα εξυπηρετεί τη νήσο με χρονικό ορίζοντα εικοσαετίας. Βάσει των στοιχείων του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος, θεωρώντας ως μέσο πληθυσμό εικοσαετίας τους 23.100 κατοίκους, θα απαιτηθεί έκταση 63 στρεμμάτων, η οποία μαζί με τους βοηθητικούς χώρους θα ανέλθει στα 76 στρέμματα περίπου. Για την κάλυψη των αναγκών σε χώμα και με την υπόθεση ότι δεν θα γίνεται εισαγωγή αδρανών υλικών (μπάζα, προϊόντα εκσκαφής κλπ.) στον ΧΥΤΑ, απαιτείται εκσκαφή μέσου βάθους 2.5 μέτρων για τις ανάγκες ενδιάμεσης και τελικής χωματοκάλυψης. Όσον αφορά την ποσότητα των απορριμμάτων που θα διατεθούν στον ΧΥΤΑ, έγινε η παραδοχή ότι το σύνολο των παραγόμενων απορριμμάτων θα οδηγείται προς απόθεση.

1.3. Ερευνητικό Ερώτημα, Στόχος, Πρωτοτυπία και Διάρθρωση της Διατριβής

Το ερευνητικό ερώτημα στο οποίο βασίστηκε η παρούσα διδακτορική διατριβή, θα μπορούσε να διατυπωθεί υπό την μορφή διπλού ερωτήματος ως εξής:

«Υπάρχει κάποιο κενό στις υπάρχουσες μεθοδολογίες αξιολόγησης της καταλληλότητας της γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων;»

«Ποια είναι η συνεισφορά της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην εξέλιξη των μεθοδολογιών αξιολόγησης της καταλληλότητας γης;»

Σε ότι αφορά το πρώτο σκέλος του ερευνητικού ερωτήματος, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι δεν υπάρχει η ανάγκη να υπάρξει μια επιπλέον μεθοδολογία αξιολόγησης της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Αυτό θα μπορούσε να βασιστεί στο σκεπτικό ότι με τις υπάρχουσες μεθοδολογίες, μπορεί εύκολα να αξιολογηθεί κάποια περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας απλές διαδικασίες. Αυτή η διαπίστωση ισχύει σε μεγάλο βαθμό, όμως οι απλές διαδικασίες που αναφέρθηκαν, πρακτικά σημαίνουν μεγάλο χρόνο (δηλαδή κόστος) που πρέπει να απαιτηθεί για την έρευνα πεδίου, γενικεύσεις, απλουστεύσεις και ελάχιστη διάρθρωση του πολυκριτηριακού προβλήματος χρησιμοποιώντας απλά κριτήρια που βασίζονται στην νομοθεσία. Βάσει της βιβλιογραφίας, η επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος συνήθως χρησιμοποιεί την εμπειρία και την γνώση όσων συμμετέχουν στη διαδικασία, χωρίς να βασίζεται στο ολοκληρωμένο θεωρητικό πλαίσιο κάποιας μεθοδολογίας *πολυκριτηριακής ανάλυσης*, το οποίο οδηγεί σε πολύ μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή των υπάρχουσών μεθοδολογιών, είναι ευρύτερες περιοχές η καταλληλότητα των οποίων είτε είναι ενιαία η ίδια ή ελαφρώς διαβαθμισμένη. Επίσης, δεν υπάρχει κάποια περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων σε ότι αφορά την ακρίβεια τους, ενώ σπάνια εκτελείται *ανάλυση ευαισθησίας*.

Τα κενά που θα προσπαθήσει να καλύψει η παρούσα διδακτορική διατριβή, τα οποία ταυτόχρονα είναι η απάντηση του δεύτερου σκέλους του ερευνητικού ερωτήματος για τη συνεισφορά της προτεινόμενης μεθοδολογίας, μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Πολύ καλή δόμηση του πολυκριτηριακού προβλήματος, με τη δημιουργία πολυεπίπεδου διαγράμματος ιεραρχικής δομής,
- Αντικειμενικοποίηση του πολυκριτηριακού προβλήματος, κυρίως με την ελαχιστοποίηση του υποκειμενικού παράγοντα,
 - Εφαρμογή της *Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης*, της πλέον αποδεκτής μεθόδου στάθμισης των συντελεστών βαρύτητας,
 - Χρήση των *Ασαφών Συνόλων*, της πλέον σύγχρονης θεωρίας βαθμολόγησης των περιοχών,
- Εφαρμογή διάφορων μεθόδων *πολυκριτηριακής ανάλυσης* και σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους,
- Χρήση των μεθοδολογικών εργαλείων της *Γεωπληροφορικής*, για την καλύτερη δυνατή επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων,
 - Εφαρμογή μεθόδων *Χωρικής Αυτοσυσχέτισης*, για τον έλεγχο της σχέσης που έχουν οι περιοχές μεταξύ τους,
 - Εφαρμογή μεθόδων *Χωρικής Ομαδοποίησης*, για τη δημιουργία ομάδων καταλληλότητας στην περιοχή μελέτης,
- Ανάλυση ευαισθησίας, τόσο στο επίπεδο των τελικών αποτελεσμάτων όσο και στα βασικά σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η διερεύνηση, η ανάπτυξη και η εφαρμογή σύγχρονων μεθοδολογικών εργαλείων που προσφέρει η *Γεωπληροφορική*, σε θέματα αξιολόγησης της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι σκοπός της διατριβής είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας και όχι η χωροθέτηση της. Ταυτόχρονα με τη συνεισφορά της προτεινόμενης μεθοδολογίας, όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως, για την κάλυψη των κενών που υπάρχουν από τις υπάρχουσες μεθοδολογίες, στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός *ΧΣΥΛΑ* που χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το εργαλείο που δημιουργήθηκε, βασίστηκε στη θεωρία όπως αναπτύχθηκε από τον Malczewski (1999) και αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σε θέση να συνεισφέρει τόσο στην αξιολόγηση της καταλληλότητας γης

για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων, όσο και στην εκτίμηση της επικινδυνότητας από την ύπαρξη τους.

Η πρωτοτυπία της παρούσας διδακτορικής διατριβής μπορεί να διαφανεί σε διάφορα σημεία της. Αρχικά, η πολυεπίπεδη διάρθρωση της ιεραρχικής δομής ξεφεύγει κατά πολύ από τις δομές που εμφανίζονται βιβλιογραφικά, οι οποίες συνήθως είναι δύο επιπέδων. Τον μεγαλύτερο βαθμό πρωτοτυπίας, μοιράζονται δύο σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το πρώτο καινοτόμο σημείο, είναι η δημιουργία των χωρικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των κριτηρίων. Πρέπει να τονιστεί ότι στην προτεινόμενη μεθοδολογία, δεν χρησιμοποιούνται μόνο εκείνα τα κριτήρια που καθορίζονται από το υπάρχον νομικό πλαίσιο, το οποίο βέβαια λαμβάνεται υπόψη στη δημιουργία των παραμέτρων. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι καινοτόμα, τόσο στην εν γένει συμμετοχή τους στη διαδικασία της αξιολόγησης, όσο και στον τρόπο του χωρικού καθορισμού τους. Για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων, χρειάστηκε η δημιουργία κατάλληλων αλγορίθμων υπολογισμού τους. Χαρακτηριστικότερα παραδείγματα καινοτόμων παραμέτρων, είναι η κατεύθυνση τροφοδοσίας των σημείων υδροληψίας, η θέαση από πολυσύχναστα σημεία και η κεντροβαρικότητα. Σε ότι αφορά το δεύτερο καινοτόμο σημείο, σημαντικό μέρος της παρούσας διατριβής αφιερώνεται στα μεθοδολογικά εργαλεία που προσφέρονται από την επιστήμη της *Γεωπληροφορικής* και η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να συνεισφέρουν στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Από το αποτέλεσμα της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, φάνηκε ότι η *Γεωπληροφορική* μπορεί και πρέπει να παίξει πολύ σημαντικό ρόλο, στα θέματα της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης. Πρέπει να τονιστεί ότι βάσει της ανασκόπησης της συναφούς βιβλιογραφίας, η μόνη περίπτωση εφαρμογής των εργαλείων της *Γεωπληροφορικής* σε αντίστοιχα θέματα παρουσιάζεται από τον συγγραφέα της παρούσας διατριβής (Κοντός και Χαλβαδάκης 2002, Κοντός κ.α. 2004, Kontos et al 2003, Kontos et al 2005, Kontos and Halvadakis 2007).

Η παρούσα διδακτορική διατριβή, αποτελείται από έξι κεφάλαια και παραρτήματα. Στο παρόν κεφάλαιο, έγινε μια εισαγωγή στα θέματα που ασχολείται η διδακτορική διατριβή και περιγράφηκαν τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Επίσης, διατυπώθηκε το ερευνητικό ερώτημα, τέθηκαν οι στόχοι και αναλύθηκε η πρωτοτυπία της παρούσας διατριβής. Στο δεύτερο κεφάλαιο, υπάρχει η βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνητικών εργασιών που έχουν γίνει σε θέματα αντίστοιχα με την παρούσα διατριβή. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, φαίνεται το ερευνητικό κενό που καλείται να καλύψει η παρούσα διατριβή. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης, ενώ αναλύεται και περιγράφεται η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Επίσης, αναλύονται

οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που επιλέχθηκαν για την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο είναι το πρώτο μέρος της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, περιγράφεται επακριβώς ο τρόπος επίλυσης του πολυκριτηριακού προβλήματος της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης. Στο πέμπτο κεφάλαιο, το οποίο είναι το δεύτερο μέρος της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αναπτύσσονται οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος και η ανάλυση της ευαισθησίας. Στο έκτο κεφάλαιο, υπάρχουν η κριτική και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, καθώς και προτάσεις που θα οδηγούσαν με την περαιτέρω έρευνα, σε εξέλιξη της μεθοδολογίας. Στα Παραρτήματα Α, Β και C, υπάρχουν πρωτογενή στοιχεία που αφορούν αντίστοιχα τους οριοθετημένους οικισμούς, τα σημεία υδροληψίας και τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων της νήσου Λήμνου. Στα Παραρτήματα D, E και F, αναλύονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και με τη βοήθεια παραδειγμάτων, οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής και αφορούν αντίστοιχα τρόπους επίλυσης της *Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης*, μεθόδους *Χωρικής Αυτοσυσχέτισης* και μεθόδους *Χωρικής Ομαδοποίησης*. Τέλος, στο Παράρτημα G υπάρχουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την *ανάλυση ευαισθησίας*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η προτεινόμενη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα εργαλεία που δίνει η *Γεωπληροφορική*, κυρίως με τη βοήθεια των *Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)*. Συνοπτικά, η μεθοδολογία θα μπορούσε να περιγραφεί ως **Μεθοδολογία Χωρικής Πολυκριτηριακής ανάλυσης βασιζόμενη σε Ασαφές ΣΓΠ (Fuzzy GIS-Based Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology)**.

Το θέμα της χωροθέτησης οχλουσών δραστηριοτήτων παρουσιάζει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον, καθώς συνήθως συνοδεύεται από έντονες αντιδράσεις της κοινωνίας. Λάθος πρακτικές επιλογής των περιοχών και κατασκευαστικά λάθη του παρελθόντος, έχουν οδηγήσει σε δυσάρεστες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο, με άμεση συνέπεια την αντίδραση των τοπικών κοινωνιών στην εγκατάσταση κάθε δραστηριότητας την οποία θεωρούν ότι θα τους επηρεάσει αρνητικά. Σκοπός όλων των μεθοδολογιών που έχουν αναπτυχθεί είναι η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων που έχει μια οχλούσα δραστηριότητα στο περιβάλλον, στη δημόσια υγεία και στα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής που επιλέγεται να εγκατασταθεί.

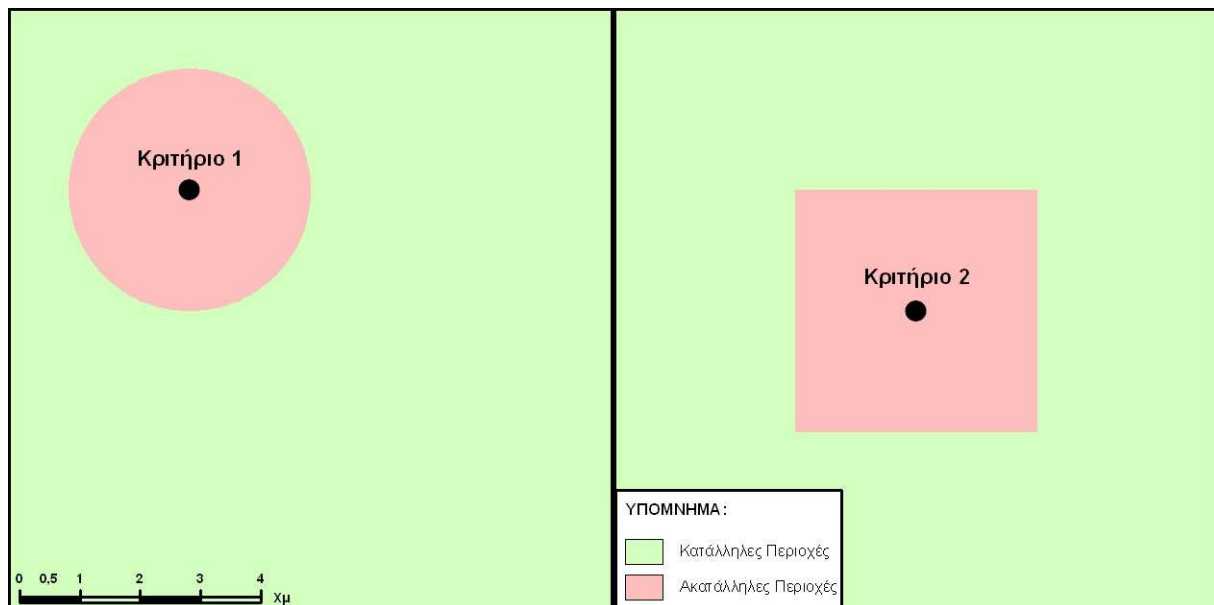
Η ανασκόπηση της συναφούς βιβλιογραφίας εμφανίζεται αρκετά πλούσια, όμως οι περισσότερες εργασίες ασχολούνται με περιπτώσεις εφαρμογής κάποιας από τις κοινές μεθοδολογίες χωροθέτησης, σε μια περιοχή μελέτης. Ενώ το ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζεται αρκετά έντονο, δεν καταβάλλονται ιδιαίτερες προσπάθειες για πρωτογενή έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί οι μεθοδολογίες που υπάρχουν, είναι αρκετά εύκολες στην εφαρμογή τους και πιθανώς να θεωρείται από την επιστημονική κοινότητα ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερος λόγος να καταβληθεί επιπλέον κόπος για την μετεξέλιξη τους. Αυτό βέβαια έρχεται σε αντίθεση με τον ρόλο που πρέπει να έχει η επιστημονική κοινότητα, ο οποίος είναι η συνεχής διερεύνηση και επίλυση των προβλημάτων που υπάρχουν, ώστε με αυτόν τον τρόπο να προάγεται και να εξελίσσεται συνεχώς η επιστήμη.

Συνοπτικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η ανασκόπηση της συναφούς βιβλιογραφίας διακρίνει τρεις σχολές οι οποίες έχουν εξελιχθεί διαχρονικά, τη *Σχολή της Δυαδικής Λογικής*, τη *Σχολή της Ντετερμινιστικής Λογικής* και τη *Σχολή της Ασαφούς Λογικής*. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι συγκεκριμένες μεθοδολογικές σχολές καθώς και η διαχρονική τους εξέλιξη.

2.1. Η Σχολή της Δυαδικής Λογικής

Η μεθοδολογία που βασίζεται στη *Δυαδική Λογική* (*Binary/Boolean Logic*) είναι ιστορικά η πρώτη προσπάθεια που εμφανίστηκε για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων, κάτω από κάποιο συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία, λόγω της απλότητας της, είναι η πιο εύκολη στην εφαρμογή της. Η βασική αρχή της *Δυαδικής Λογικής*, είναι η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κυρίως επιπτώσεων που πιθανώς να υπάρξουν από την εγκατάσταση της οχλούσας δραστηριότητας (Bagchi 1990, Noble 1992).

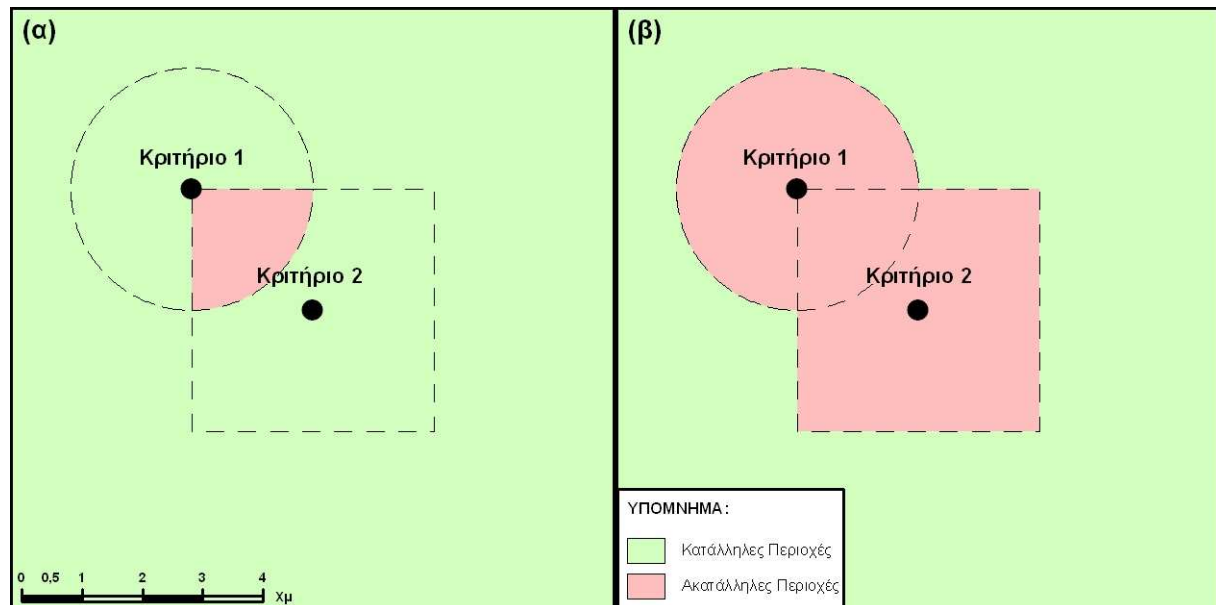
Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της *Δυαδικής Λογικής*, τα ΣΓΠ χρησιμοποιούνται για τη σάρωση της περιοχής μελέτης με σκοπό την εύρεση κατάλληλων περιοχών. Το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι ο σαφής διαχωρισμός σε κατάλληλες και ακατάλληλες περιοχές για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας. Η συγκεκριμένη μεθοδολογική σχολή προσεγγίζει τη λογική των αλγεβρικών συνόλων και μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά με το σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα Καταλληλότητας βάσει της *Δυαδικής Λογικής*

Όπως φαίνεται στα σχήματα 2.2 (α) και (β), η μόνη δυνατότητα χωρικής ανάλυσης που δίνεται από τη συγκεκριμένη μεθοδολογία, είναι η *χωρική τομή* και η *χωρική ένωση*. Συγκεκριμένα, η διαδικασία της *χωρικής τομής* λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με την αλγεβρική τομή δύο συνόλων ($A \cap B$) και σύμφωνα με την οποία μια περιοχή θεωρείται

κατάλληλη όταν σε όλα τα επιμέρους κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη, η συγκεκριμένη περιοχή είναι κατάλληλη. Η διαδικασία της *χωρικής ένωσης* λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με την αλγεβρική ένωση δύο συνόλων ($A \cup B$), δηλαδή οι τελικά κατάλληλες περιοχές προκύπτουν από το άθροισμα των επιμέρους κατάλληλων περιοχών.



Σχήμα 2.2: Παράδειγμα Χωρικών Πράξεων βάσει της *Διαδικής Λογικής* (α) *Χωρική Τομή* και (β) *Χωρική Ένωση*

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται αρκετές εργασίες, οι οποίες χρησιμοποιούν το μεθοδολογικό πλαίσιο της *Διαδικής Λογικής* για την εύρεση κατάλληλων περιοχών για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας. Μια αρκετά καλή ανασκόπηση της συναφούς βιβλιογραφίας, υπάρχει στην εργασία των Lukashev et al (2001). Η πρώτη εργασία που εμφανίζεται να χρησιμοποιεί τα *ΣΓΠ* είναι των Jensen and Christensen (1986). Η συγκεκριμένη εργασία είναι η πρώτη προσπάθεια της ένταξης των σύγχρονων τεχνολογιών στα θέματα της χωροθέτησης οχλουσών δραστηριοτήτων. Με τη βοήθεια των *ΣΓΠ* και χρησιμοποιώντας απλά κριτήρια τα οποία εξαιρούν τις ακατάλληλες περιοχές, εκτελείται η διαδικασία της εύρεσης κατάλληλων χώρων για τη διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων στην νοτιοανατολική περιοχή των ΗΠΑ. Μια αξιολογη προσπάθεια συνεργασίας των *ΣΓΠ* και μοντέλων προσομοίωσης, έκαναν με την εργασία τους οι Gebhardt and Jankowski (1987), οι οποίοι αξιολόγησαν την λειτουργία υπαρχόντων αλλά και καινούργιων χωματερών σε δύο περιοχές του Αϊντάχο των ΗΠΑ. Στη συγκεκριμένη εργασία, η αξιολόγηση βασίστηκε κυρίως στα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά και χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία *DRASTIC* και το μοντέλο εκτίμησης της απόδοσης χωματερών *HELP*.

Στη εργασία των Al-Bakri et al (1988) παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για την εύρεση κατάλληλης θέσης για τη χωροθέτηση κάποιου ΧΔΑ σε βιομηχανική περιοχή του Κουβέιτ. Η συγκεκριμένη εργασία δε λαμβάνει υπόψη τη χωρική διάσταση του προβλήματος και δεν εμφανίζει τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των κατάλληλων περιοχών. Την πρώτη αξιόλογη προσπάθεια για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας έκανε ο Halvadakis (1993). Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιούνται τα ΣΓΠ για την εύρεση των κατάλληλων περιοχών, βάσει κριτηρίων που καθορίζονται κυρίως από το νομικό πλαίσιο της συγκεκριμένης περιόδου. Στη συνέχεια, μετά από έρευνα πεδίου και με τη βοήθεια απλών μεθόδων *πολυκριτηριακής ανάλυσης* αξιολογούνται και ιεραρχούνται οι κατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων. Το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, όπως αυτό εφαρμόστηκε στην νήσο Λέσβο, υπάρχει στην ανακοίνωση των Μπαλής κ.α. (1999), στην εργασία των Kontos et al (2003) και στην μελέτη των Τρούμπης κ.α. (2005).

Στην ανακοίνωση των Ehler et al (1995) παρουσιάζεται η προσπάθεια των συγγραφέων, για την ένταξη του μεθοδολογικού πλαισίου της *Διαδικής Λογικής* σε ένα ΧΣΥΛΑ. Οι συγγραφείς χρησιμοποιώντας ως περιοχή εφαρμογής του συστήματος την περιοχή Savannah River, η οποία βρίσκεται στις ΗΠΑ μεταξύ των πολιτειών Γεωργία και Νότια Καρολίνα, επιδεικνύουν ότι με τα κατάλληλα εργαλεία είναι εύκολο σε κάποιον χρήστη να επιλύσει το γεωαναλυτικό πρόβλημα της χωροθέτησης δραστηριοτήτων. Στην εργασία των Dörhöfer and Siebert (1998) χρησιμοποιούνται τα ΣΓΠ για την εύρεση κατάλληλων περιοχών για μια χωματερή στην περιοχή της Κάτω Σαξονίας στην Γερμανία και διερευνώνται κυρίως τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Μια ενδιαφέρουσα εργασία έχουν κάνει οι Kao et al (1997), στην οποία δίνουν ιδιαίτερη βάση στη δημιουργία ενός πρωτότυπου διαδικτυακού ΣΓΠ, με τη βοήθεια του οποίου κάποιος χρήστης μπορεί με πολύ εύχρηστο τρόπο να εκτελέσει τη διαδικασία της χωροθέτησης κάποιας δραστηριότητας στην περιοχή της κεντρικής Ταϊβάν.

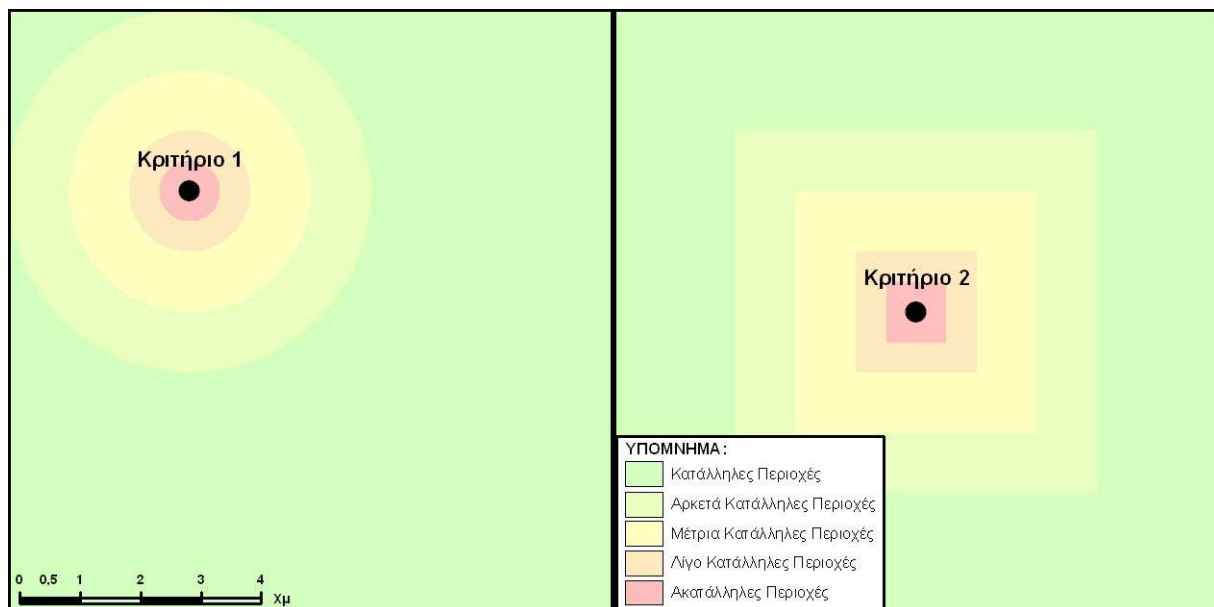
Στην ανακοίνωση των Yagoub and Buyong (1998) υπάρχει μια ενδιαφέρουσα προσπάθεια από την πλευρά των συγγραφέων για την προσαρμογή του περιβάλλοντος εργασίας του ΣΓΠ ArcView 3.0a. Οι συγγραφείς ισχυρίζονται ότι με τα εργαλεία που ανέπτυξαν, μπορεί ακόμα και ένας μη εξειδικευμένος χρήστης των ΣΓΠ να εκτελέσει μέσα σε 10 με 15 λεπτά, τη διαδικασία επιλογής κατάλληλης θέσης για μια μονάδα διάθεσης, στα τουριστικά νησιά της Μαλαισίας Pulau Langkawi. Στην εργασία των Patil et al (2002) χρησιμοποιούνται τα ΣΓΠ μαζί με εργαλεία της *Τηλεπισκόπησης* και τη μεθοδολογία *DRASTIC*, για την εύρεση κατάλληλου χώρου για την δημιουργία μιας μονάδας διάθεσης και επεξεργασίας επικίνδυνων αποβλήτων, στην επαρχία Ratnagiri της Ινδίας.

Τέλος, οι πιο πρόσφατες βιβλιογραφικές αναφορές οι οποίες χρησιμοποιούν την μεθοδολογία της *Διαδικής Λογικής* στη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων, είναι οι εργασίες των Despotakis and Economidou (2007) και Gemitzi et al (2007a). Στην εργασία των Despotakis and Economidou (2007) χρησιμοποιούνται τα ΣΓΠ για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ σε όλη τη νήσο της Κρήτης. Στην εργασία των Gemitzi et al (2007a) χρησιμοποιούνται τα ΣΓΠ για τη χωροθέτηση λιμνών σταθεροποίησης αστικών λυμάτων, σε όλη τη Θράκη.

Η μεθοδολογία της *Διαδικής Λογικής*, ενδείκνυται στις περιπτώσεις που υπάρχει ανάγκη για εύκολη και γρήγορη ανεύρεση ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη στη διαδικασία είναι απλοϊκά σε ότι αφορά τον χωρικό τους καθορισμό και συνήθως προέρχονται από τους περιορισμούς που διατυπώνονται από το νομικό πλαίσιο. Το βασικότερο μειονέκτημα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι ότι το τελικό αποτέλεσμα αποδίδει περιοχές οι οποίες θεωρούνται όλες της ίδιας καταλληλότητας. Η συγκεκριμένη διαπίστωση πρακτικά σημαίνει ότι η έρευνα πεδίου θα πρέπει να εκτελεστεί σε όλες τις περιοχές. Τέλος, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι πλέον η συγκεκριμένη μεθοδολογία θεωρείται ξεπερασμένη.

2.2. Η Σχολή της Ντετερμινιστικής Λογικής

Η μεθοδολογία που βασίζεται στη *Ντετερμινιστική Λογική (Deterministic Logic)*, βάσει της ανασκόπησης της συναφούς βιβλιογραφίας είναι η ευρύτερα εφαρμοζόμενη μεθοδολογία. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι η μετεξέλιξη της μεθοδολογίας της *Διαδικής Λογικής*. Η βασική της αρχή, είναι ότι υπάρχουν διαβαθμίσεις στην καταλληλότητα των περιοχών για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων, οι οποίες προκύπτουν από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των περιοχών σε μια σειρά από παραμέτρους. Με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία συνδυάζονται οι δυνατότητες της χωρικής ανάλυσης που προσφέρονται από τα *ΣΓΠ* με τις αναλυτικές ικανότητες της *Πολυκριτηριακής Ανάλυσης*. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της *Ντετερμινιστικής Λογικής*, τα *ΣΓΠ* χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της περιοχής μελέτης βάσει κριτηρίων, με σκοπό τον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας* των περιοχών. Η συγκεκριμένη μεθοδολογική σχολή μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά με το σχήμα 2.3.

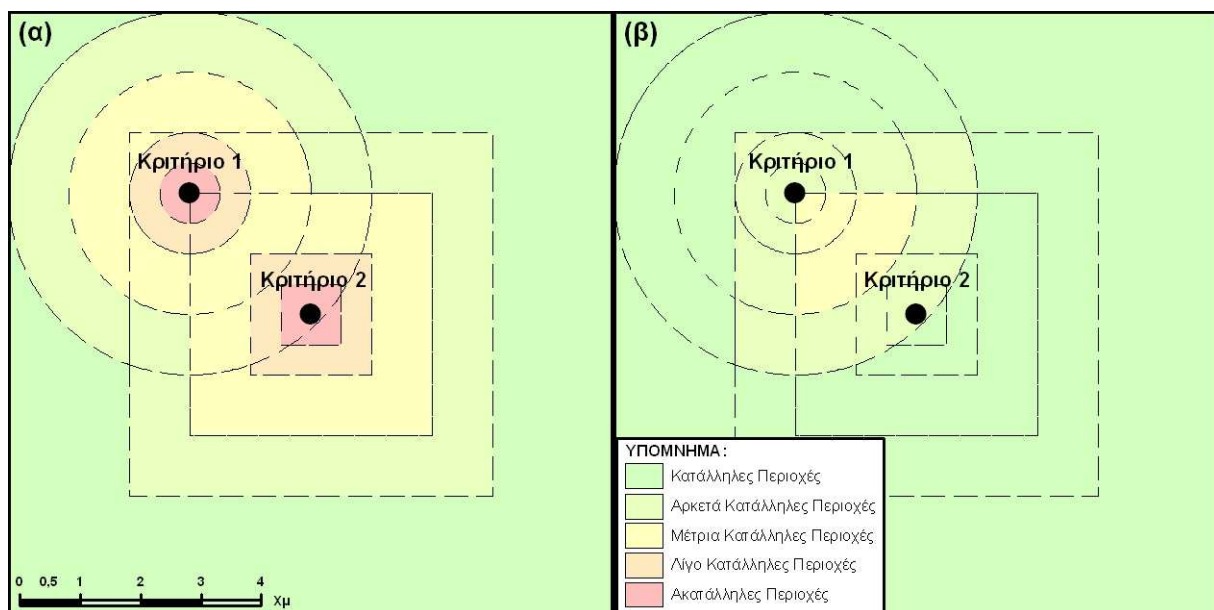


Σχήμα 2.3: Παράδειγμα Καταλληλότητας βάσει της *Ντετερμινιστικής Λογικής*

Για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών χρησιμοποιούνται προκαθορισμένοι κανόνες, οι οποίοι προκύπτουν από την νομοθεσία και κυρίως από την εμπειρία και την γνώση των ατόμων που συμμετέχουν στη διαδικασία της χωροθέτησης. Συγκεκριμένα, οι κανόνες που χρησιμοποιούνται καθορίζουν διάφορες ζώνες καταλληλότητας στην περιοχή μελέτης, οι οποίες συνήθως βρίσκονται σε κάποια κλίμακα είτε ποσοτική είτε ποιοτική. Ποσοτική κλίμακα είναι η απόδοση στην κάθε ζώνη κάποιου βαθμού που αναφέρεται σε κάποια συγκεκριμένη κλίμακα καταλληλότητας π.χ. από 0 έως 1, από 0 έως 10 κλπ. Ποιοτική

κλίμακα είναι η απόδοση στην κάθε ζώνη κάποιου λεκτικού χαρακτηρισμού της καταλληλότητας όπως ακατάλληλη περιοχή, μέτρια κατάλληλη περιοχή, κατάλληλη περιοχή κλπ.

Οι δυνατότητες χωρικής ανάλυσης που δίνονται από τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι περισσότερες σε σχέση με αυτές που δίνονται από τη *Διαδική Λογική*. Συγκεκριμένα, για να συνδυαστούν δύο ή περισσότερα κριτήρια ώστε να καταλήξουν σε κάποιο αποτέλεσμα, θα πρέπει να καθοριστεί κάποιος λογικός ή μαθηματικός κανόνας. Στα σχήματα 2.4 (α) και (β), φαίνονται δύο παραδείγματα εφαρμογής λογικών κανόνων για το συνδυασμό των κριτηρίων του σχήματος 2.3. Στο σχήμα 2.4 (α) εφαρμόστηκε ο κανόνας της ελάχιστης τιμής, δηλαδή στο τελικό αποτέλεσμα αποδίδεται η ελάχιστη τιμή των επιμέρους παραμέτρων. Στο σχήμα 2.4 (β) εφαρμόστηκε ο κανόνας της μέγιστης τιμής, δηλαδή στο τελικό αποτέλεσμα αποδίδεται η μέγιστη τιμή των επιμέρους παραμέτρων. Με τη βοήθεια της *Πολυκριτηριακής ανάλυσης*, ο συνδυασμός των τιμών των επιμέρους παραμέτρων μπορεί να γίνει με πιο αποτελεσματικούς τρόπους, οι οποίοι βασίζονται σε κάποια μεθοδολογικά πλαίσια.



Σχήμα 2.4: Παράδειγμα Χωρικών Πράξεων βάσει της *Ντετερμινιστικής Λογικής* (α) Κανόνας Ελάχιστης Τιμής και (β) Κανόνας Μέγιστης Τιμής

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται αρκετές εργασίες, οι οποίες χρησιμοποιούν το μεθοδολογικό πλαίσιο της *Ντετερμινιστικής Λογικής* για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας. Η πρώτη εργασία που εμφανίζεται να χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι του Frantzis (1993). Στη συγκεκριμένη εργασία, παρόλο που δεν περιγράφεται καθόλου το μεθοδολογικό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση των κατάλληλων περιοχών, εκτελείται αξιολόγηση των

εναλλακτικών θέσεων για την εγκατάσταση ενός ΧΥΤΑ στην περιοχή της Δυτικής Αττικής. Παρόμοιο μεθοδολογικά τρόπο χρησιμοποίησαν οι Briassoulis and Installe (1996) για την εύρεση κατάλληλης θέσης για την εγκατάσταση μονάδας καύσης τοξικών αποβλήτων στην Κεντρική Ελλάδα και οι Saxena et al (1996) για την εύρεση κατάλληλης θέσης κάποιων μονάδας διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων στην περιοχή Ahmedabad στην Ινδία. Οι Or and Akgül (1994) ανέπτυξαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για την επιλογή κατάλληλης περιοχής ενός χώρου διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, στην επαρχία της Κωνσταντινούπολης.

Η πρώτη αξιολογη προσπάθεια της συνεργιστικής χρήσης των ΣΓΠ και της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης έγινε από τους Minor and Jacobs (1994). Στη συγκεκριμένη εργασία εφαρμόστηκε ένα πολυπαραμετρικό μοντέλο βελτιστοποίησης για τη χωροθέτηση ενός χώρου διάθεσης στερεών και επικίνδυνων αποβλήτων, στην επαρχία Orange στην Βόρεια Καρολίνα των ΗΠΑ. Οι συγγραφείς, εκτός της καινοτόμου για τη συγκεκριμένη εποχή μεθοδολογικής προσέγγισης που εφάρμοσαν, ανέπτυξαν μια μεθοδολογία βέλτιστης κατανομής των κατάλληλων περιοχών βάσει της χωρικής συνέχειας (*spatial contiguity*) και της χωρικής πυκνότητας (*spatial compactness*). Παρόμοιο μεθοδολογικά τρόπο χρησιμοποίησε ο Kao (1996) για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ στην επαρχία Yuanli στην κεντρική Ταϊβάν, οι Kao and Lin (1996) και οι Lin and Kao (1998 και 1999) για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ στην επαρχία Orange στην Βόρεια Καρολίνα των ΗΠΑ. Στις συγκεκριμένες εργασίες, οι συγγραφείς ανέπτυξαν μια πιο εξελιγμένη μεθοδολογία εύρεσης των κατάλληλων περιοχών, βάσει της χωρικής τους πυκνότητας.

Ο Banai (1989) για πρώτη φορά διατυπώνει τη θεώρηση της ιεραρχικής δομής του πολυκριτηριακού προβλήματος της εκτίμησης της καταλληλότητας της γης. Επίσης εισάγει την Μέθοδο Αναλυτικής Ιεράρχησης στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Στην εργασία των Siddiqui et al (1996), σημαντική ήταν η καινοτομία της συνεργιστικής χρήσης των ΣΓΠ και της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ στο Κλίβελαντ της Οκλαχόμα. Παρόμοιο μεθοδολογικό πλαίσιο χρησιμοποιούν στην εργασία τους οι Sener et al (2006), για την εύρεση κατάλληλου χώρου για έναν ΧΥΤΑ στην ευρύτερη περιοχή της Άγκυρας στην Τουρκία. Στην ανακοίνωση του Herzog (1999) παρουσιάζεται ένα ΧΣΥΛΑ για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ, ενώ στην εργασία του Jun (2000) παρουσιάζεται η προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ΧΣΥΛΑ στα θέματα της χωροθέτησης δραστηριοτήτων. Στην ανακοίνωση των Allen et al (2002) παρουσιάζεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ σε περιοχές στην Ιρλανδία και την Πορτογαλία. Στη συγκεκριμένη εργασία, σημαντική καινοτομία είναι η χρησιμοποίηση του δείκτη *Kappa* για την ανάλυση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων. Στην ανακοίνωση των Κοντός και Χαλβαδάκης (2002) και στην εργασία των Kontos et al (2005) παρουσιάζεται ένα

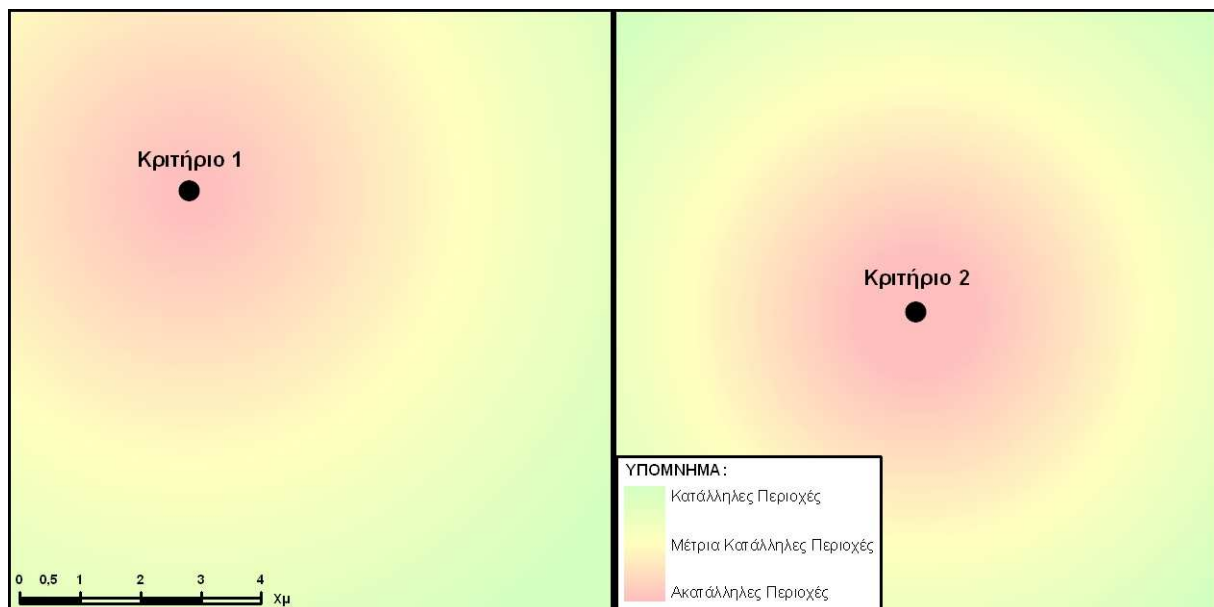
ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο που βασίζεται στην *Ντετερμινιστική Λογική*, το οποίο δε χρησιμοποιεί τα *ΣΓΠ* απλά για την εκτέλεση των απαιτούμενων χωρικών διαδικασιών, αλλά εισάγει τα εργαλεία της *Γεωπληροφορικής* στην αξιολόγηση της καταλληλότητας της γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Στην εργασία του Vasiloglou (2004), παρουσιάζεται ένα *ΧΣΥΛΑ* για τη χωροθέτηση *ΧΥΤΑ* όπως αυτό εφαρμόστηκε στη δυτική Θεσσαλία.

Τέλος, υπάρχουν διάφορες εργασίες που μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία, οι οποίες χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία της *Ντετερμινιστικής Λογικής*. Στην ανακοίνωση του Dugger (1997) χρησιμοποιούνται τα *ΣΓΠ* για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των χώρων διάθεσης αποβλήτων στην βόρεια και την κεντρική Ταϊλάνδη. Στην εργασία των Miranda et al (2000) εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μεθοδολογία για την εύρεση κατάλληλου χώρου για τη χωροθέτηση ενός *ΧΥΤΑ* στην επαρχία Orange στην Βόρεια Καρολίνα των ΗΠΑ. Στην εργασία των Basnet et al (2001) χρησιμοποιούνται τα *ΣΓΠ* για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών και την επιλογή θέσης για την εγκατάσταση μονάδας διάθεσης ζωικών αποβλήτων στο νοτιοανατολικό Κουίνσλαντ στην Αυστραλία. Στην εργασία των Baban and Parry (2001) χρησιμοποιούνται τα *ΣΓΠ* για την εύρεση κατάλληλων περιοχών για τη δημιουργία αιολικού πάρκου στην κεντροδυτική Αγγλία. Οι Vatalis and Manoliadis (2002) δημιούργησαν ένα *Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων* δύο επιπέδων για τη χωροθέτηση ενός *ΧΥΤΑ* στη δυτική Μακεδονία. Στην εργασία των Sadek et al (2006) εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μεθοδολογία για την εύρεση κατάλληλου χώρου για τη χωροθέτηση ενός *ΧΥΤΑ* στον Λίβανο. Οι Tasaki et al (2007) ανέπτυξαν μια πιθανοθεωρητική μεθοδολογία που χρησιμοποιεί τα *ΣΓΠ* για την εύρεση πιθανών περιοχών για παράνομη διάθεση αποβλήτων.

Η μεθοδολογία της *Ντετερμινιστικής Λογικής*, είναι αρκετά αποτελεσματική για την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στους κανόνες που καθορίζονται στη διαδικασία, ώστε να είναι κατά το δυνατόν μικρότερη η υποκειμενικότητα της. Η ευκολία που μπορεί να υπάρχει στην εφαρμογή της εξαρτάται από την μέθοδο της *Πολυκριτηριακής Ανάλυσης* που θα εκτελεστεί, από τα κριτήρια αξιολόγησης που θα χρησιμοποιηθούν και τέλος από τον τρόπο που θα επιλεγεί για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Συμπερασματικά, η συγκεκριμένη μεθοδολογία ενδείκνυται για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων και έγκειται στην εμπειρία και στη γνώση των συμμετεχόντων στη διαδικασία να είναι κατά το δυνατόν αποτελεσματική και αντικειμενική.

2.3. Η Σχολή της Ασαφούς Λογικής

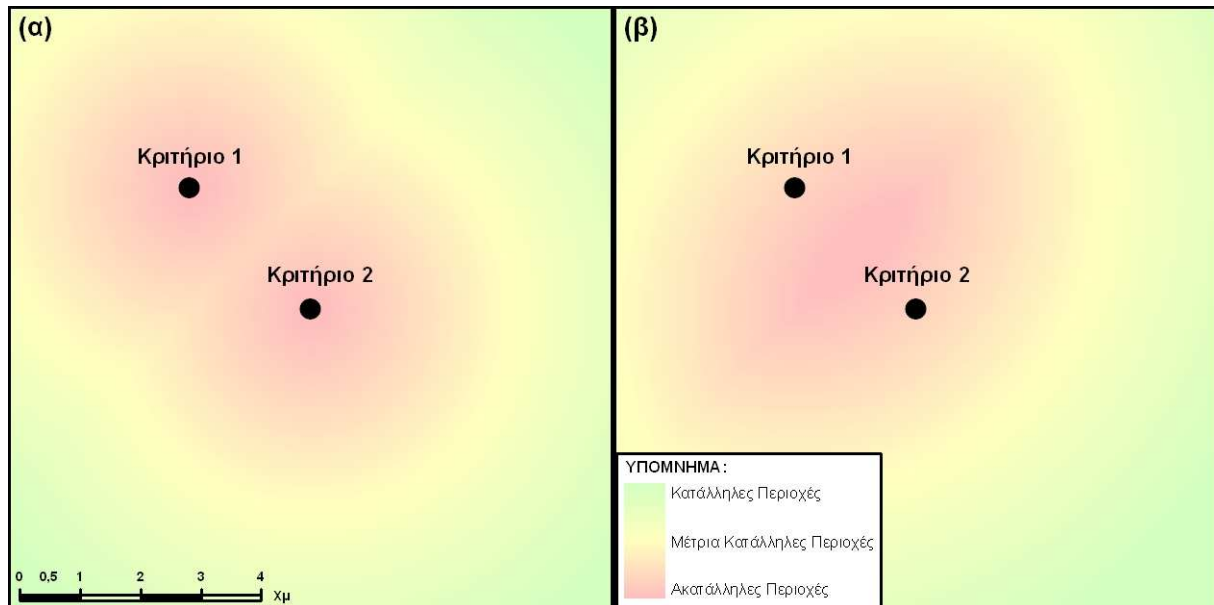
Η μεθοδολογία που βασίζεται στη *Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic)*, είναι η πιο σύγχρονη και εξελιγμένη μεθοδολογία. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι η μετεξέλιξη της μεθοδολογίας της *Ντετερμινιστικής Λογικής*. Η βασική της αρχή, είναι ότι υπάρχουν όλες οι διαθέσιμες διαβαθμίσεις στην καταλληλότητα των περιοχών για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Στην πραγματικότητα, αυτές οι διαβαθμίσεις στην καταλληλότητα των περιοχών που προκύπτουν από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών τους σε μια σειρά από παραμέτρους, προέρχονται από κάποιες συναρτήσεις οι οποίες προσομοιώνουν την καταλληλότητα των περιοχών με έναν τρόπο ο οποίος είναι κατά το δυνατόν μειωμένης υποκειμενικότητας. Με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία συνδυάζονται όλες οι διαθέσιμες δυνατότητες χωρικής ανάλυσης που προσφέρονται από τα ΣΓΠ, οι αναλυτικές ικανότητες της *Πολυκριτηριακής Ανάλυσης* και η θεωρία της *Ασαφούς Λογικής (Zadeh 1965)*. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της *Ασαφούς Λογικής*, τα ΣΓΠ χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της περιοχής μελέτης βάσει κριτηρίων τα οποία δημιουργούνται χρησιμοποιώντας *Ασαφή Σύνολα*, με σκοπό τον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας* των περιοχών. Η συγκεκριμένη μεθοδολογική σχολή μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά με το σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Παράδειγμα Καταλληλότητας βάσει της *Ασαφούς Λογικής*

Οι δυνατότητες χωρικής ανάλυσης που δίνονται από τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι περισσότερες τόσο σε σχέση με τη *Διαδική Λογική* όσο και με την *Ντετερμινιστική Λογική*. Για να συνδυαστούν δύο ή περισσότερα κριτήρια ώστε να καταλήξουν σε κάποιο

αποτέλεσμα, μπορεί να καθοριστεί κάποιος λογικός κανόνας, κάποιος μαθηματικός κανόνας ή κάποιος κανόνας της *Ασαφούς Λογικής*. Στα σχήματα 2.6(α) και (β), φαίνονται δύο παραδείγματα εφαρμογής κανόνων της *Ασαφούς Λογικής* για το συνδυασμό των κριτηρίων του σχήματος 2.5. Στο σχήμα 2.6(α) εφαρμόστηκε ο κανόνας της *Ασαφούς Ένωσης* (*Fuzzy Union*), ενώ στο σχήμα 2.6(β) εφαρμόστηκε ο κανόνας της *Ασαφούς Τομής* (*Fuzzy Intersection*).



Σχήμα 2.6: Παράδειγμα Χωρικών Πράξεων βάσει της *Ασαφούς Λογικής* (α) Κανόνας *Ασαφούς Ένωσης* και (β) Κανόνας *Ασαφούς Τομής*

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται σχετικά λίγες εργασίες οι οποίες χρησιμοποιούν το μεθοδολογικό πλαίσιο της *Ασαφούς Λογικής*, για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών για τη χωροθέτηση κάποιας οχλούσας δραστηριότητας. Η πρώτη εργασία που εμφανίζεται να χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι του Banai (1993). Στη συγκεκριμένη εργασία, για πρώτη φορά εισάγεται η προσέγγιση της *Ασαφούς Λογικής* στα θέματα της εκτίμησης της καταλληλότητας για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων. Σημαντική είναι η εργασία των Charnpratheeep et al (1997), καθώς αναλύεται ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο εφαρμογής της *Ασαφούς Λογικής* για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην Ταϊλάνδη. Στην ανακοίνωση των Karkazi et al (2001) παρουσιάζεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου. Από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, υπάρχουν κάποιες εργασίες οι οποίες χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία για τη χωροθέτηση δραστηριοτήτων (Mahler and De Lima 2003, Calijuri et al 2004, Al-Jarrah and Abu-Qdais 2006, Mahini and

Gholamalifard 2006, Chang et al 2007, Gemitzi et al 2007b). Τέλος, στην ανακοίνωση των Κοντός και Χαλβαδάκης (2005) και στην εργασία των Kontos and Halvadakis (2007), παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, το οποίο χρησιμοποιεί τα ΣΓΠ, την Πολυκριτηριακή ανάλυση, την Ασαφή Λογική και την Γεωπληροφορική για την επίλυση του προβλήματος της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων.

Βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η μεθοδολογία της *Ασαφούς Λογικής* εμφανίζεται να έχει εφαρμοστεί ελάχιστα. Ο κυριότερος λόγος που ισχύει αυτή η διαπίστωση είναι ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι αρκετά καινούργια οπότε δεν είχε επαρκή χρόνο ώστε δοκιμαστεί, ενώ επίσης είναι αρκετά δύσκολη στην εφαρμογή της. Η *Ασαφής Λογική* δίνει πολλές δυνατότητες για τη διερεύνηση και την επίλυση του πολύπλοκου προβλήματος της χωροθέτησης οχλουσών δραστηριοτήτων. Βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για τον καθορισμό των απαραίτητων παραμέτρων. Για τους έμπειρους όμως χρήστες, τα περιθώρια που δίνονται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι ανοικτά σε κάθε προσέγγιση.

2.4. Ερευνητικές Εργασίες που Προέκυψαν από την Παρούσα Διδακτορική Διατριβή

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής και παράλληλα με την εκπόνηση της, εκτελέστηκαν διάφορες εργασίες υπό την μορφή ερευνητικών εργασιών σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά, ανακοινώσεις σε συνέδρια και διπλωματικές εργασίες τόσο σε προπτυχιακό όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο. Ο σκοπός των συγκεκριμένων εργασιών ήταν να κριθεί η πορεία της παρούσας διδακτορικής διατριβής από έγκριτους επιστήμονες, ενώ οι δημοσιεύσεις στα επιστημονικά περιοδικά και οι ανακοινώσεις στα συνέδρια πέρασαν από διαδικασία κρίσης από ανεξάρτητους κριτές (*peer review*). Επίσης, οι συγκεκριμένες εργασίες αναφέρονται σε συγκεκριμένα στάδια της προτεινόμενης μεθοδολογίας, με σκοπό αυτά να γίνουν αποδεκτά από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Οι συγκεκριμένες δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σε συνέδρια, κατά χρονολογική σειρά, είναι οι εξής:

- **Κοντός Θ.**, 1998. *Ανάδειξη Ευρύτερων Περιοχών για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην Νήσο Λήμνο*. Πτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής Κ.Π. Χαλβαδάκης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Μπαλής Μ., Μανδουλάς Χ., **Κοντός Θ.**, Χαλβαδάκης Κ., 1999. *Μεθοδολογία Χωροθέτησης Μονάδων Εδαφικής Διάθεσης Απορριμμάτων (Περίπτωση Νήσου Λέσβου)*. 6^ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας, Πυθαγόρειο, Σάμος, Τόμος Γ, 100-109.
- **Κοντός Θ.** και Χαλβαδάκης Κ., 2002. *Δημιουργία Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την Αξιολόγηση Περιοχών με Σκοπό τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση της Νήσου Λήμνου*. 7^ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας: Νησιωτική Χαρτογραφία της Χαρτογραφικής Επιστημονικής Εταιρείας Ελλάδας, Μυτιλήνη, Οκτώβριος.
- **Kontos Th.**, Komilis D. and Halvadakis C., 2003. Siting MSW Landfills in Lesvos Island with a GIS-based Methodology. *Waste Management and Research*, **21(3)**, 262-277.
- **Κοντός Θ.**, Χαλβαδάκης Κ. και Σουλακέλλης Ν., 2004. *Δημιουργία Ολοκληρωμένου Χωρικού Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση της Νήσου Λήμνου*. 7^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη, Οκτώβριος.

- **Kontos Th.**, Komilis D. and Halvadakis C., 2005. Siting MSW Landfills with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology. *Waste Management*, **25**, 818-832.
- **Kontos Th.** and Halvadakis C., 2007. A Fuzzy Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology for Municipal Solid Waste Landfill Siting, *Journal of Environmental Management* (JEMA-D-07-00352, υπό κρίση).

Οι παραπάνω εργασίες αφορούν σε τρία στάδια της εξέλιξης της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Συγκεκριμένα, οι εργασίες των Μπαλή κ.α. (1999) και των Kontos et al (2003), αναφέρονται στην εισαγωγή στο μεθοδολογικό πλαίσιο αντικειμενικοποιημένων διαδικασιών *πολυκριτηριακής ανάλυσης*, με την εφαρμογή της *Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης*. Οι εργασίες των Κοντός και Χαλβαδάκης (2002) και των Kontos et al (2005), αναφέρονται στην εισαγωγή στο μεθοδολογικό πλαίσιο εργαλείων της *Γεωπληροφορικής* και πιο συγκεκριμένα διαδικασιών *Χωρικής Αυτοσυσχέτισης* για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τέλος, οι εργασίες των Κοντός κ.α. (2004) και των Kontos and Halvadakis (2007), αναφέρονται στην εισαγωγή στο μεθοδολογικό πλαίσιο της λογικής των *Ασαφών Συνόλων* και εν γένει όλων των διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν στην προτεινόμενη μεθοδολογία.

Άξιο αναφοράς, είναι το γεγονός ότι στο άρθρο των Kontos et al (2003), σύμφωνα με την υπηρεσία επιστημονικών αναφορών *Scopus* (www.scopus.com), έχουν γίνει μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή 7 αναφορές από άλλα επιστημονικά άρθρα, ενώ έχει υπάρξει στα 25 περισσότερα διαβασμένα άρθρα του περιοδικού. Στο άρθρο των Kontos et al (2005), σύμφωνα με την ίδια υπηρεσία επιστημονικών αναφορών, έχουν γίνει μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή 4 αναφορές από άλλα επιστημονικά άρθρα, ενώ και το συγκεκριμένο άρθρο έχει υπάρξει στα 25 περισσότερα διαβασμένα άρθρα του περιοδικού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής εκπονήθηκαν διπλωματικές εργασίες σε προπτυχιακό επίπεδο. Οι συγκεκριμένες εργασίες, εκπονήθηκαν υπό την επίβλεψη του συγγραφέα της παρούσας διατριβής και είχαν σκοπό τη διερεύνηση της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε διάφορα μέρη της Ελλάδας και σε διαφορετικές κλίμακες. Οι συγκεκριμένες πτυχιακές εργασίες είναι οι εξής:

- Ζούρος Ε., 2004. *Καθορισμός Κατάλληλων Περιοχών για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ στο Δήμο Πολυχνίτου*. Πτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής Κ.Π. Χαλβαδάκης, Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής Περιβαλλοντική Χαρτογραφία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

- Δημητρίου Γ., 2005. *Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Πολυκριτηριακής ανάλυσης με Σκοπό την Αξιολόγηση Περιοχών για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση του Δήμου Κηρέως, Ν. Ευβοίας*. Πτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Επίκουρος Καθηγητής Ν. Σουλακέλλης, Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής Περιβαλλοντική Χαρτογραφία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Χούσος Ε. και Κυπραίος Κ., 2005. *Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Πολυκριτηριακής ανάλυσης με Σκοπό την Αξιολόγηση Περιοχών για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση του Δήμου Μεγάρων, Ν. Αττικής*. Πτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Επίκουρος Καθηγητής Ν. Σουλακέλλης, Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής Περιβαλλοντική Χαρτογραφία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

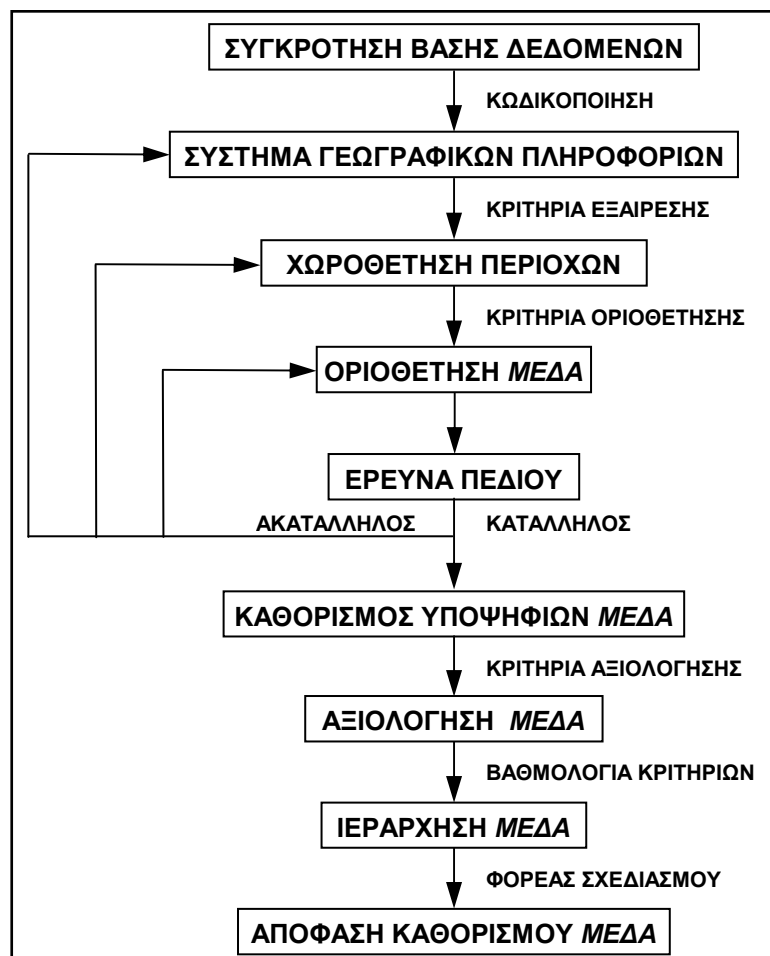
Τέλος, διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε θέματα εκτίμησης επικινδυνότητας οχλουσών δραστηριοτήτων και εκτίμησης της οικολογικής ευαισθησίας. Οι συγκεκριμένες εργασίες, που έγιναν τόσο σε μεταπτυχιακό, όσο και σε προπτυχιακό επίπεδο, είναι οι εξής:

- Κουζούμη Ε., 2002. *Αξιολόγηση Ομαδοποίησης και Χωροθέτησης Ελαιουργείων Λέσβου*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Επιβλέπων Καθηγητής Κ.Π. Χαλβαδάκης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Αλεξίου Ε., 2004. *Εκτίμηση Επικινδυνότητας ΜΕΔΑ της νήσου Λέσβου*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Επιβλέπων Καθηγητής Κ.Π. Χαλβαδάκης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Μαμάσης Δ. και Μαυραγάνης Λ., 2004. *Αποτίμηση Περιβαλλοντικής Κατάστασης και Εκτίμηση Οικολογικής Ευαισθησίας της Λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου - Αιτωλικού και της Ευρύτερης Περιοχής*. Πτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Επίκουρος Καθηγητής Ν. Σουλακέλλης, Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής Περιβαλλοντική Χαρτογραφία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Schaelicke D., 2005. *Μεθοδολογία Εκτίμησης Επικινδυνότητας Ελαιουργικών Επιχειρήσεων της νήσου Λέσβου*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Επιβλέπων Καθηγητής Κ.Π. Χαλβαδάκης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

3.1. Γενικά

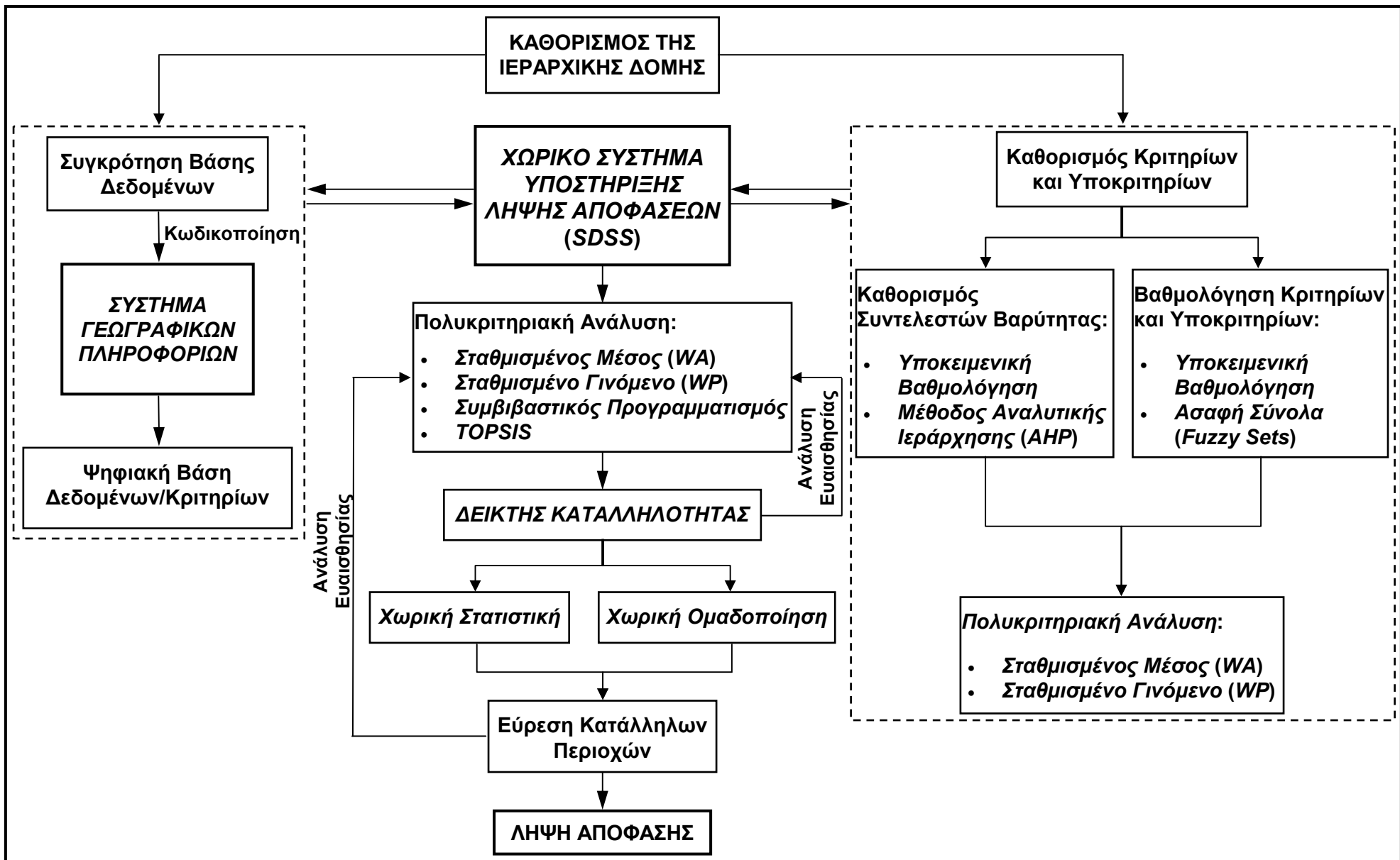
Η μεθοδολογία που προτείνεται από την παρούσα διατριβή συνδυάζει τα εργαλεία χωρικής ανάλυσης που προσφέρονται από τα ΣΓΠ με μεθόδους Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και έχει ως σκοπό την αξιολόγηση της περιοχής μελέτης ως προς την καταλληλότητα της για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Πρέπει να τονιστεί ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν είναι μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία χωροθέτησης, αλλά μεθοδολογία ανάλυσης καταλληλότητας για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Η διαφοροποίηση της από μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία χωροθέτησης, είναι ότι για να θεωρηθεί μια μεθοδολογία ως ολοκληρωμένη, θα πρέπει μετά από αξιολόγηση να καταλήγει στην ιεράρχηση συγκεκριμένων θέσεων για τη χωροθέτηση κάποιας δραστηριότητας. Στο σχήμα 3.1, φαίνεται πως πρέπει να εκτελείται μια ολοκληρωμένη διαδικασία χωροθέτησης οχλουσών δραστηριοτήτων.



Σχήμα 3.1: Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Χωροθέτησης ΜΕΔΑ (Halvadakis 1993)

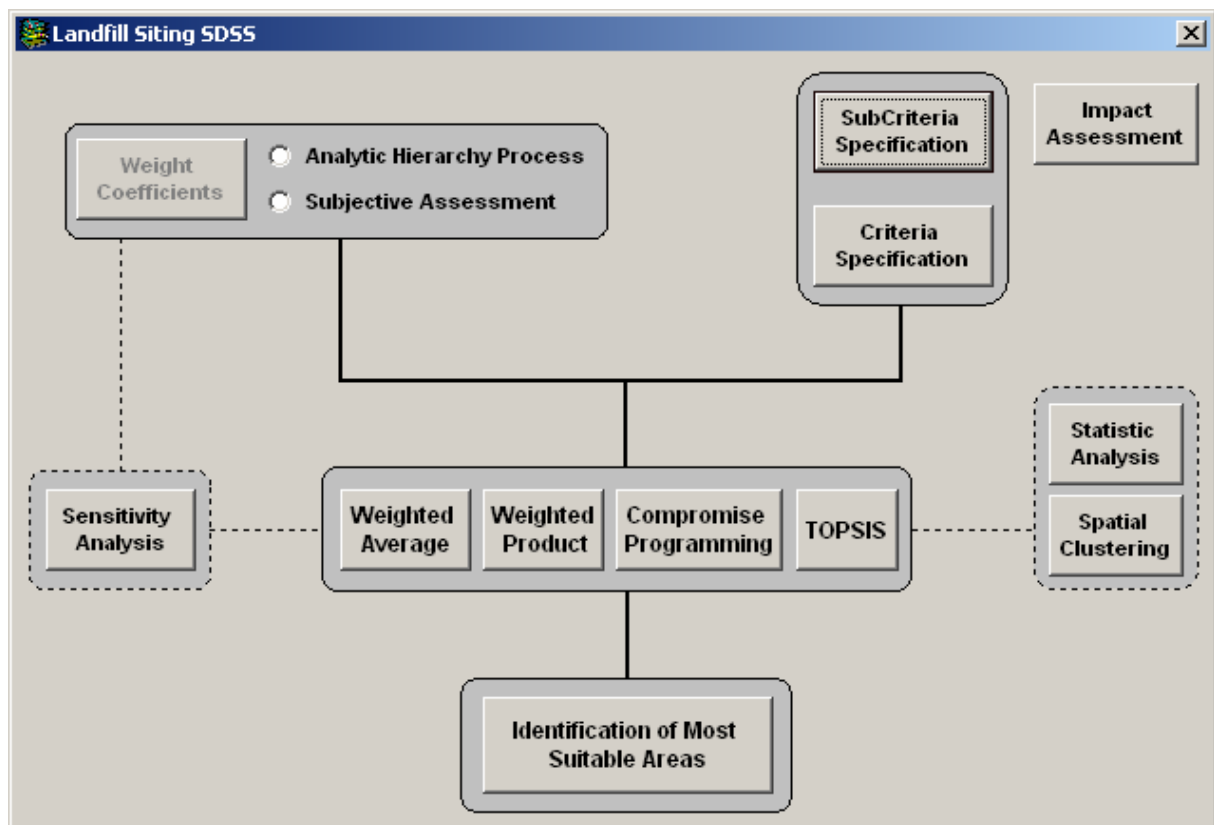
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρούσα διατριβή έχει ως σκοπό την αξιολόγηση κάποιας περιοχής μελέτης ως προς την καταλληλότητα της για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Με τη βοήθεια των ΣΓΠ και μεθόδων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει ενσωματωθεί σε ένα ολοκληρωμένο Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων. Το ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε, έχει σκοπό την εκτέλεση και την αυτοματοποίηση διαδικασιών Χωρικής και Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, οι οποίες δε θα μπορούσαν να εκτελεστούν χωρίς τα εργαλεία που δημιουργήθηκαν. Σύμφωνα με την ταξινόμηση που επικρατεί (Goodchild et al 1993, Feick and Hall 1999, Jun 2000), το ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε ανήκει στην κατηγορία των δυναμικών συστημάτων ολοκληρωτικής ενσωμάτωσης (*full integration dynamic systems*). Τα συστήματα τύπου ολοκληρωτικής ενσωμάτωσης (*full integration*) έχουν μια ολοκληρωμένη αλληλεπίδραση που μπορεί να επιτευχθεί με τη δημιουργία συγκεκριμένων διαδικασιών, με αλγόριθμους που φτιάχνονται σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού. Ως τελικό αποτέλεσμα προκύπτει η ενσωμάτωση του ΧΣΥΛΑ στο συνολικό περιβάλλον εργασίας του ΣΓΠ. Τα συστήματα δυναμικής σύνδεσης (*dynamic integration*) επιτρέπουν την ανακατεύθυνση της πληροφορίας μεταξύ των δύο συστημάτων, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Το συγκεκριμένο είδος ΧΣΥΛΑ είναι πολύ χρήσιμο, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται η αναθεώρηση δεδομένων ή σεναρίων μετά την εξέταση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από μια ενδιάμεση ανάλυση των δεδομένων. Το ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε είναι μια αυτόνομη εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Microsoft® Visual Basic 6.0 και χρησιμοποιεί τις δυνατότητες που προσφέρουν τα ArcObjects του ΣΓΠ ESRI® ArcGIS™ 9.2. Η αρχιτεκτονική του ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε βασίζεται στην προτεινόμενη από την παρούσα διατριβή μεθοδολογία. Η προτεινόμενη μεθοδολογία διαγραμματικά φαίνεται στο σχήμα 3.2 και μπορεί να συνοψιστεί στα εξής βήματα που ακολουθούν.

1. Καθορισμός της ιεραρχικής δομής του πολυκριτηριακού προβλήματος.
2. Συγκρότηση της ψηφιακής βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει την απαραίτητη χωρική ή μη-χωρική πληροφορία.
3. Εφαρμογή της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων/υποκριτηρίων σε κάθε επίπεδο ιεράρχησης.
4. Βαθμολόγηση των κριτηρίων αξιολόγησης χρησιμοποιώντας μεθόδους Ασαφών Συνόλων ή Υποκειμενικής Αξιολόγησης.
5. Υπολογισμός του Δείκτη Καταλληλότητας της περιοχής μελέτης.
6. Εφαρμογή διαδικασιών Χωρικής Στατιστικής και Χωρικής Ομαδοποίησης.
7. Ανάλυση Ευαισθησίας για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων και της μεθοδολογίας.



Σχήμα 3.2: Προτεινόμενη Μεθοδολογία Αξιολόγησης της Καταλληλότητας Γης για τη Χωροθέτηση ΜΕΔΑ

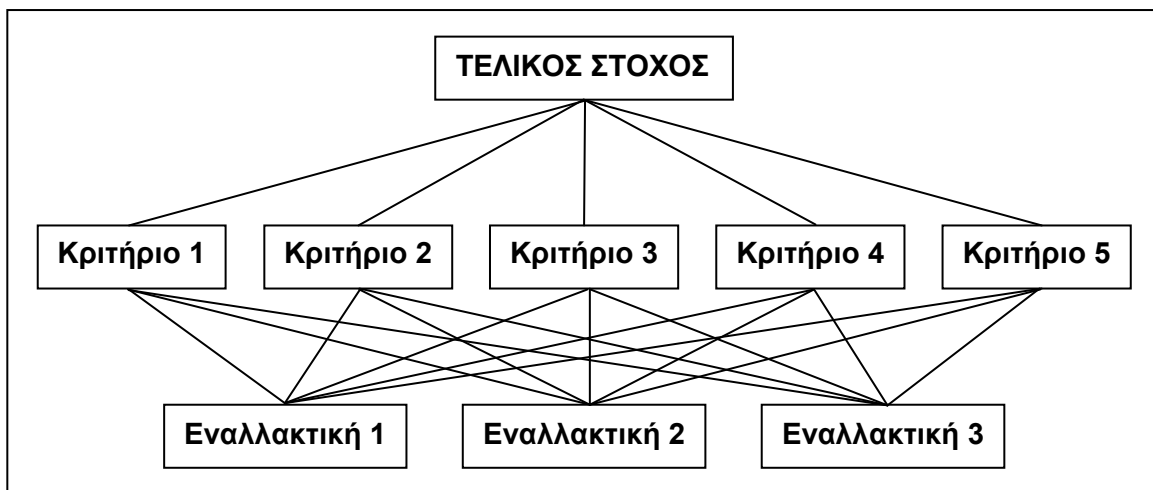
Στο σχήμα 3.3, φαίνεται το κύριο παράθυρο διαλόγου του ΧΣΥΛΑ, το οποίο δημιουργήθηκε με τη λογική της αυτόνομης εφαρμογής. Το ΧΣΥΛΑ ενσωματώνει όλα τα εργαλεία που χρειάζονται για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας του σχήματος 3.2. Το μόνο που απαιτείται για να εκτελεστεί η συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι να είναι εγκατεστημένο το ESRI® ArcGIS™ 9.2 στον υπολογιστή, καθώς χρησιμοποιεί βιβλιοθήκες του συγκεκριμένου ΣΓΠ για την εκτέλεση των πολύπλοκων χωρικών διαδικασιών που χρειάζονται για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας.



Σχήμα 3.3: Το Κύριο Παράθυρο Διαλόγου του ΧΣΥΛΑ που Δημιουργήθηκε

3.2. Καθορισμός της Ιεραρχικής Δομής του Προβλήματος

Ο καθορισμός της ιεραρχικής δομής του προβλήματος, είναι το πρωταρχικό στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Η επιλογή της ιεραρχικής δομής ως τρόπου διάρθρωσης των παραμέτρων είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα της μεθοδολογίας, καθώς βοηθάει σημαντικά στην κατανόηση του πολυκριτηριακού προβλήματος. Στο σχήμα 3.4 φαίνεται η συνήθης σύνθεση ενός πολυκριτηριακού προβλήματος που περιλαμβάνει τρία επίπεδα, τον τελικό στόχο, τα κριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις.



Σχήμα 3.4: Ιεραρχική Δομή Πολυκριτηριακού Προβλήματος

Ο καθορισμός των κριτηρίων και των υποκριτηρίων τους είναι επίσης ένα πολύ σημαντικό στάδιο της μεθοδολογίας, καθώς είναι το σημείο εκείνο στο οποίο η μεθοδολογία εξειδικεύεται στη χωροθέτηση κάποιας συγκεκριμένης δραστηριότητας. Δηλαδή χρησιμοποιούνται διαφορετικά κριτήρια για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ, σε σχέση με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΛ, ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα οποιασδήποτε οχλούσας δραστηριότητας.

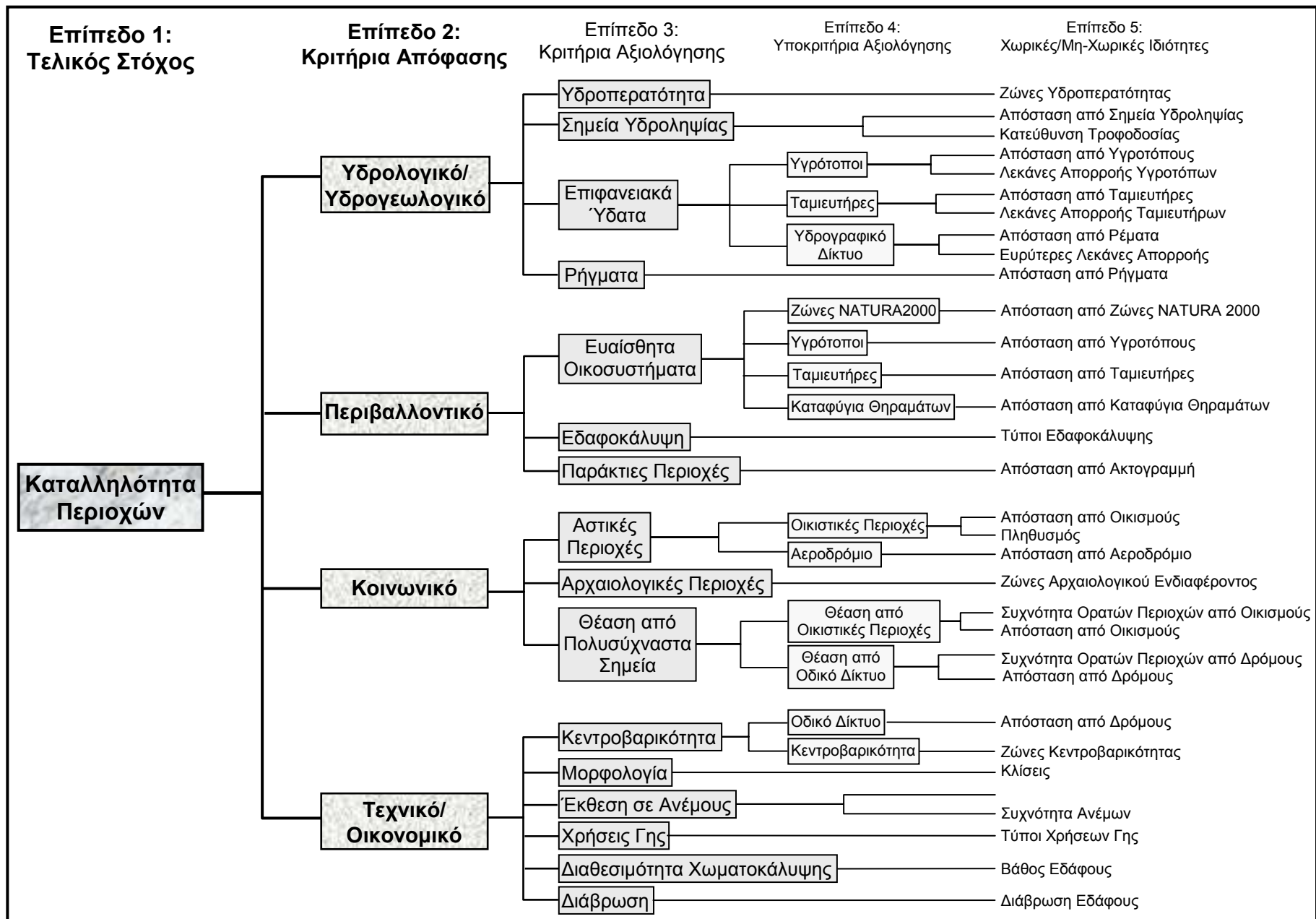
Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή προκύπτουν κυρίως από την Ελληνική ή Ευρωπαϊκή νομοθεσία, αλλά χρησιμοποιούνται και κριτήρια που παρουσιάζονται σε διάφορες επιστημονικές μελέτες στη βιβλιογραφία. Τα κριτήρια εξαίρεσης περιοχών όπως υπαγορεύονται από τη νομοθεσία ή από άλλες πηγές, συνήθως είναι μονοδιάστατα π.χ. «ένας ΧΥΤΑ δεν πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από μεμονωμένες κατοικίες». Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, δεν ακολουθείται η μέθοδος της εξαίρεσης των περιοχών, αλλά η μέθοδος της αξιολόγησης. Οπότε αξιολογούνται οι χωρικές

ιδιότητες της περιοχής μελέτης σε σχέση με το εξεταζόμενο κριτήριο, ώστε να υπάρχει μια ακριβέστερη ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν.

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι άμεσα συνδεδεμένα με την περιοχή μελέτης, δηλαδή είναι πιθανό κάποια από τα κριτήρια που εξετάζονται στην περιοχή Α να μπορούν να εφαρμοστούν στην περιοχή Β. Επίσης ένα κριτήριο που θεωρείται σημαντικό όταν εξετάζουμε την περιοχή Α, στην περιοχή Β να κρίνεται ως μικρής σημαντικότητας. Με την προσέγγιση της *Πολυκριτηριακής Ανάλυσης*, υπάρχει μεγάλη ευελιξία σε ότι αφορά τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται, αλλά και σε ότι αφορά την αξιολόγηση που λαμβάνει χώρα σε όλη τη διαδικασία της μεθοδολογίας.

Η διαφοροποίηση της ιεραρχικής δομής που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μεθοδολογία, έναντι των τυπικών ιεραρχικών δομών που χρησιμοποιούνται συνήθως στη επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων, είναι ότι αφενός έχει επιλεγεί η πολυεπίπεδη διάρθρωση των παραμέτρων και αφετέρου η μη χρησιμοποίηση εναλλακτικών. Το σκεπτικό της δημιουργίας της ιεραρχικής δομής που προτείνεται, βασίστηκε στον *νόμο της φειδωλότητας (Lex Parsimoniae - Law of Parsimony)*, η οποία είναι θεμελιώδης θεωρία σε πολλές επιστήμες. Σύμφωνα με τον *νόμο της φειδωλότητας*, το πολυκριτηριακό πρόβλημα θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν απλούστερο, οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν λιγότερες, θα πρέπει να προτιμώνται τα γραμμικά μοντέλα επίλυσης έναντι των μη-γραμμικών και θα πρέπει να αποφεύγεται η *συγγραμμικότητα* (Thorburn 1918).

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, τελικός σκοπός είναι η αξιολόγηση της καταλληλότητας γης, οπότε όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης θεωρούνται ως εναλλακτικές περιοχές. Συγκεκριμένα, στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκε ιεραρχική δομή πέντε επιπέδων. Το πρώτο επίπεδο είναι ο τελικός σκοπός του προβλήματος, δηλαδή η καταλληλότητα γης για χωροθέτηση ΧΥΤΑ. Το δεύτερο επίπεδο είναι τα κριτήρια απόφασης, δηλαδή γενικές παράμετροι (Υδρολογικές, Περιβαλλοντικές, Κοινωνικές και Τεχνικοοικονομικές) για τις οποίες γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Το τρίτο επίπεδο είναι τα κριτήρια αξιολόγησης, δηλαδή επιμέρους παράμετροι των κριτηρίων απόφασης. Το τέταρτο επίπεδο είναι τα υποκριτήρια αξιολόγησης, δηλαδή επιμέρους παράμετροι των κριτηρίων αξιολόγησης. Τέλος, το πέμπτο επίπεδο είναι οι χωρικές και οι μη χωρικές ιδιότητες που περιγράφουν κάθε κριτήριο ή υποκριτήριο αξιολόγησης. Η ιεράρχηση των κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή, φαίνεται στο σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Η Ιεραρχική Δομή του Πολυκριτηριακού Προβλήματος της Αξιολόγησης της Καταλληλότητας Γης για τη Χωροθέτηση ΜΕΔΑ

3.3. Συγκρότηση της Ψηφιακής Βάσης Δεδομένων

Η συγκρότηση της ψηφιακής βάσης δεδομένων αποτελεί σημαντικό τμήμα σε κάθε εργασία που περιλαμβάνει επεξεργασία και ανάλυση χωρικών δεδομένων. Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας προϋποθέτει την κωδικοποίηση όλων των απαραίτητων πληροφοριών και την μετατροπή τους σε ψηφιακή μορφή. Η κωδικοποίηση των πληροφοριών επιτρέπει την εύκολη προσθήκη, αντικατάσταση ή και αλλαγή τους σε ελάχιστο χρόνο, ώστε η βάση δεδομένων να είναι ευέλικτη και πάντα ενημερωμένη με τις πλέον έγκυρες και πρόσφατες πληροφορίες. Η κωδικοποίηση και η οργάνωση των ψηφιακών δεδομένων, επιλέχθηκε να γίνει με τη βοήθεια των ΣΓΠ, ώστε να επιτευχθεί η πλέον αξιόπιστη και γρήγορη επεξεργασία του συνόλου της βάσης δεδομένων. Τα στάδια, τα οποία πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να συγκροτηθεί η ψηφιακή βάση δεδομένων, συνοψίζονται στα βήματα που ακολουθούν.

1. Συλλογή, αξιολόγηση και οργάνωση του χαρτογραφικού υλικού και των λοιπών στοιχείων.
2. Εισαγωγή της γεωγραφικής πληροφορίας στο ΣΓΠ, για τη δημιουργία της ψηφιακής μορφής των χαρτογραφικών δεδομένων και κωδικοποίηση των λοιπών στοιχείων σε βάσεις δεδομένων υπό τη μορφή πινάκων.
3. Ενημέρωση και έλεγχος της αξιοπιστίας της ψηφιακής βάσης δεδομένων.
4. Δημιουργία τοπολογίας και διόρθωση της ψηφιακής βάσης δεδομένων.
5. Δόμηση, συγκρότηση και έλεγχος της περιγραφικής βάσης δεδομένων.
6. Έλεγχος συνέφειας και συσχέτισης της γεωγραφικής και της περιγραφικής πληροφορίας.

Στα πλαίσια της δημιουργίας της βάσης δεδομένων, απαιτείται η συλλογή και ο έλεγχος αξιοπιστίας των στοιχείων πριν από την κωδικοποίησή τους. Σημαντική πηγή στην συγκρότηση της βάσης δεδομένων για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αποτέλεσε το αρχείο του Εργαστηρίου Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΔΑ) του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει πλούσιο χαρτογραφικό υλικό με εκδόσεις των παρακάτω φορέων:

- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)
- Υπουργείο Γεωργίας (ΥΠ.ΓΕΩ.)
- Εθνικό Ίδρυμα Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.)
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.Ε.)
- Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.)

Περιλαμβάνει επίσης μελέτες και επιστημονικές εργασίες που αφορούν τη Λήμνο και την διαχείριση αποβλήτων γενικότερα (Κοντός 1998, Μανδουλάς κ.α. 1998, Μπαλής κ.α. 1998). Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με τους ανά περίπτωση αρμόδιους υπαλλήλους και τα στελέχη φορέων του Νομού Λέσβου όπως:

- Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων
- Περιφερειακή Διεύθυνση Δασών Λέσβου
- Διεύθυνση Πολεοδομίας και Περιβάλλοντος, Τμήμα Περιβάλλοντος και Τμήμα Πολεοδομίας
- Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λέσβου
- Κ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασσικών Αρχαιοτήτων Μυτιλήνης
- Ε.Σ.Υ.Ε.
- Δ/νση ΠΕ.ΧΩ Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου

Τα χαρτογραφικά και λοιπά στοιχεία που συλλέχθηκαν, είναι τα εξής:

Χαρτογραφικό Υλικό

- Τοπογραφικά Στοιχεία
 - Τοπογραφικοί Χάρτες Λήμνου, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης Γ.Υ.Σ. (1970)
 - Τοπογραφικά Διαγράμματα Λήμνου, κλίμακας 1:5.000, και έκδοσης Γ.Υ.Σ.
- Γεωλογικός Χάρτης Λήμνου, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. (1993)
- Διαγράμματα Ορίων Οικισμών, κλίμακας 1:5.000, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λέσβου
- Χάρτης Διοικητικών Ορίων ΟΤΑ Λήμνου, κλίμακας 1:200.000 και έκδοσης Ε.Σ.Υ.Ε. (1983)
- Τοπογραφικά Διαγράμματα Λεκανών Κατάκλυσης Φραγμάτων, κλίμακας 1:5.000, ΥΠ.ΓΕΩ. (1991)
- Τοπογραφικά Διαγράμματα Αρδευόμενων Εκτάσεων, κλίμακας 1:5.000, Δ/νση Τεχνικών Υπηρεσιών Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λέσβου (1998)
- Χάρτης Ευρύτερων Πεδινών Εκτάσεων, κλίμακας 1:50.000, ΥΠ.ΓΕΩ. (1991)
- Χάρτες Προτεινόμενων Περιοχών NATURA 2000, κλίμακας 1:100.000 και έκδοσης Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1995)
- Χάρτης Εδαφοκάλυψης, κλίμακας 1:200.000, και έκδοσης ΥΠ.ΓΕΩ. (1990)
- Χάρτες Εδαφοκάλυψης, κλίμακας 1:20.000, και έκδοσης ΥΠ.ΓΕΩ. Γενική Γραμματεία Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος (1996)
- Τοπογραφικά Διαγράμματα Περιοχών Μονίμων Καταφυγίων Θηραμάτων και Περιοχών Απαγόρευσης Κυνηγών ορισμένου χρόνου, κλίμακας 1:50.000, Διεύθυνση Δασών Λέσβου
- Χάρτης Αρχαιολογικών Χώρων, κλίμακας 1:50.000, Κ' ΕΠΚΑΜ (1998)
- Χάρτες Ειδικής Χωροταξικής Μελέτης (EXM), κλίμακας 1:25.000, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1995)

- Χάρτες Ειδικής Χωροταξικής Μελέτης, κλίμακας 1:10.000, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1995)
- Χάρτης Υγροτόπων της Ελλάδας, έκδοσης ΕΚΒΥ (1994)

Άλλα Στοιχεία

- Θέσεις και παροχές παραγωγικών γεωτρήσεων/πηγών ύδρευσης/άρδευσης καθώς και στοιχεία για τις λεκάνες κατάκλισης φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών, ΥΕΒ
- Στοιχεία και θέσεις των αρδευτικών εκτάσεων που έχουν κατασκευασθεί ή πρόκειται να κατασκευασθούν, ΔΤΥΝΑ Λέσβου
- Οριοθέτηση αεροδρομίου Λήμνου, Ειδική Χωροταξική Μελέτη
- Νομοθετικά στοιχεία που αφορούν τους κηρυγμένους αρχαιολογικούς χώρους, Κ' ΕΠΚΑΜ
- Στοιχεία που αφορούν τις προτεινόμενες ΖΟΕ, Ειδική Χωροταξική Μελέτη

Αφού συλλεχθούν τα απαραίτητα στοιχεία, το επόμενο στάδιο είναι η εισαγωγή της γεωγραφικής πληροφορίας στο ΣΓΠ. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη μεταφορά των δεδομένων στα υπολογιστικά συστήματα, ιδίως στα χαρτογραφικά δεδομένα που κωδικοποιούνται στο ΣΓΠ, ώστε να υπάρχει υψηλός βαθμός ακρίβειας που τελικά καθορίζει και τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας. Στη συγκεκριμένη φάση γίνονται όλες οι απαραίτητες ενέργειες εντός του ΣΓΠ όπως *ψηφιοποίηση (digitizing)*, *γεωαναφορά (georeferencing)*, *αλληλοεπικάλυψη (overlay)*, *συνένωση (union)*, *αποκοπή (clip)*, *διαγραφή (erase)*, *επιλογή (reselection)*, έτσι ώστε όλα τα γεωγραφικά δεδομένα να έχουν κοινό σημείο αναφοράς την περιοχή μελέτης.

Η κωδικοποίηση των γεωγραφικών δεδομένων, έγινε με τη βοήθεια του ΣΓΠ της ESRI®, ArcGIS™ ArcInfo 9.2. Η γεωαναφορά των γεωγραφικών δεδομένων, έγινε στο σύστημα συντεταγμένων της *Παγκόσμιας Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής (Universal Transverse Mercator - UTM)*. Το *UTM* είναι ένα αρκετά διαδεδομένο προβολικό σύστημα συντεταγμένων, το οποίο χωρίζει την υδρόγειο σε 60 βόρειες και 60 νότιες ζώνες των 6° η κάθε μια. Η αρχή των αξόνων της κάθε ζώνης, είναι ο αντίστοιχος κεντρικός μεσημβρινός της και ο ισημερινός. Για να αποφευχθούν οι αρνητικές τιμές στις συντεταγμένες, το σύστημα *UTM* δίνει ως συντεταγμένες της αρχής των αξόνων το σημείο (500000, 0).

Στην περίπτωση της νήσου Λήμνου, χρησιμοποιήθηκε το προβολικό σύστημα συντεταγμένων *UTM* χρησιμοποιώντας τη ζώνη 35N, που έχει κεντρικό μεσημβρινό εκείνον των 27°. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επεξεργάζεται δεδομένα τύπου *ψηφιδωτού (raster)*. Για τη δημιουργία

των δεδομένων τύπου *raster* ή για τη μετατροπή από δεδομένα τύπου *vector*, χρησιμοποιήθηκε ως όριο της περιοχής μελέτης εκείνο της ακτογραμμής της νήσου Λήμνου και το μέγεθος κελιού ορίστηκε να είναι 100 μέτρα. Οι παράγραφοι που ακολουθούν παρουσιάζουν το χαρτογραφικό υλικό και τις επιμέρους καταγεγραμμένες πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή τη προτεινόμενης μεθοδολογίας.

3.3.1. Διοικητικά Όρια ΟΤΑ

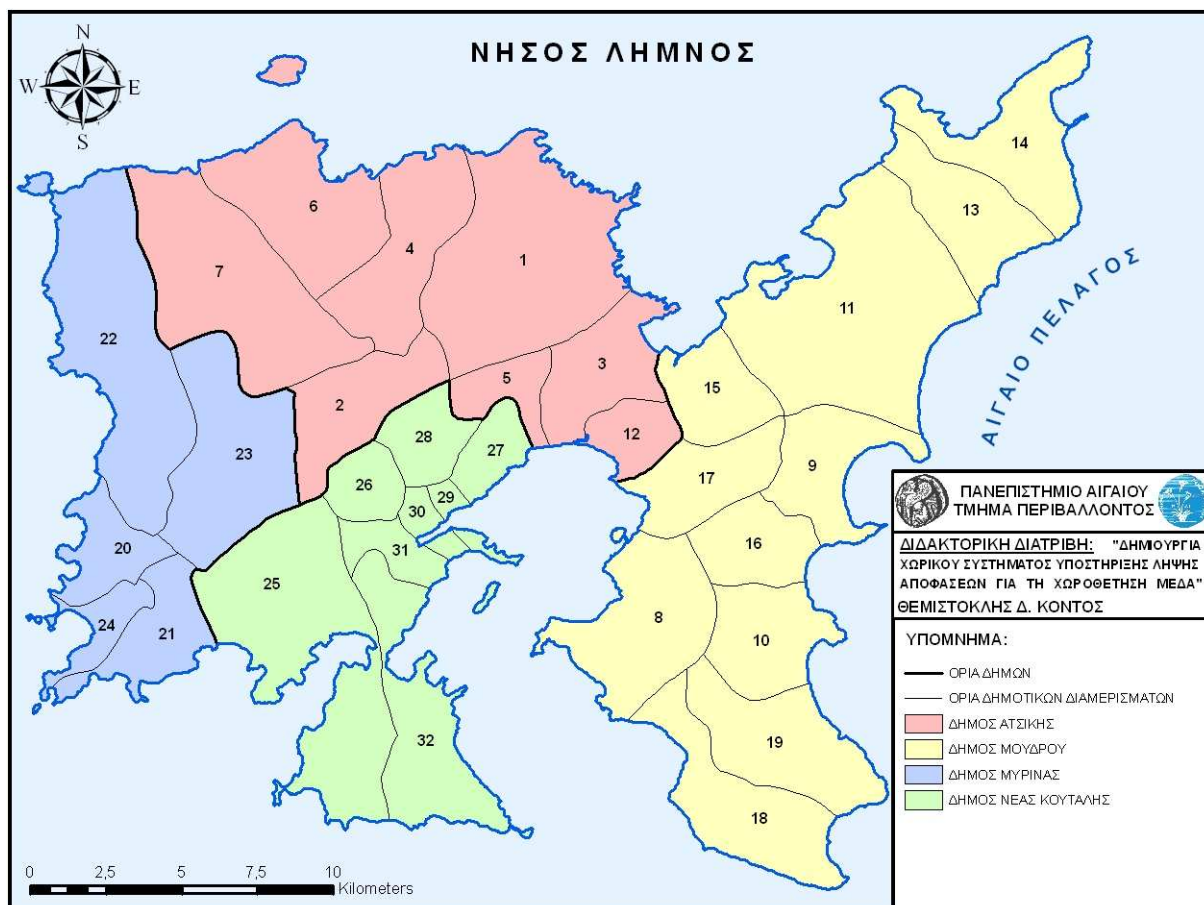
Η νήσος Λήμνος, σύμφωνα με το πρόγραμμα «Ι. Καποδίστριας» του ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α. (Ν. 2539/1997), αποτελείται από 4 δήμους. Σύμφωνα με το άρθρο 1 του συγκεκριμένου νόμου, οι 4 δήμοι αποτελούνται από 32 δημοτικά διαμερίσματα τα οποία ήταν οι πρώην κοινότητες της νήσου. Η Λήμνος υπάγεται διοικητικά στον Νομό Λέσβου, ενώ οι ΟΤΑ της μαζί με την κοινότητα Αγίου Ευστρατίου συγκροτούν την επαρχία Λήμνου και. Τα όρια των ΟΤΑ κωδικοποιήθηκαν από χάρτες της Ε.Σ.Υ.Ε. έκδοσης 1983 και κλίμακας 1:200.000. Στον πίνακα 3.1 φαίνονται οι ΟΤΑ της νήσου, καθώς και τα δημοτικά διαμερίσματα τα οποία τους αποτελούν. Επίσης φαίνονται, ανά δημοτικό διαμέρισμα, τα πληθυσμιακά στοιχεία που έχουν προκύψει από τις απογραφές της Ε.Σ.Υ.Ε., δηλαδή ο γεωγραφικός τους κωδικός, ο μόνιμος και ο πραγματικός πληθυσμός για τις απογραφές των 1991 και 2001.

Πίνακας 3.1: Οι ΟΤΑ της νήσου Λήμνου

| Δήμος | Γεωγραφικός κωδικός | Α/Α | Δημοτικό Διαμέρισμα | Μόνιμος πληθυσμός | | Πραγματικός πληθυσμός | |
|---------|---------------------|-----|---------------------|-------------------|------|-----------------------|------|
| | | | | 2001 | 1991 | 2001 | 1991 |
| ΑΤΣΙΚΗΣ | 83040100 | 1 | Ατσικής | 935 | 1047 | 989 | 1074 |
| | 83040200 | 2 | Αγίου Δημητρίου | 698 | 648 | 733 | 638 |
| | 83040300 | 3 | Βάρους | 378 | 436 | 405 | 439 |
| | 83040400 | 4 | Δάφνης | 174 | 182 | 179 | 190 |
| | 83040500 | 5 | Καρπασίου | 172 | 188 | 168 | 190 |
| | 83040600 | 6 | Καταλάκκου | 101 | 130 | 115 | 127 |
| | 83040700 | 7 | Σαρδών | 269 | 396 | 305 | 401 |
| ΜΟΥΔΡΟΥ | 83120100 | 8 | Μούδρου | 1076 | 1040 | 1039 | 1038 |
| | 83120200 | 9 | Καλλιόπης | 294 | 329 | 334 | 359 |
| | 83120300 | 10 | Καμινίων | 311 | 317 | 347 | 323 |
| | 83120400 | 11 | Κοντοπουλίου | 665 | 634 | 703 | 650 |
| | 83120500 | 12 | Λύχνων | 288 | 294 | 338 | 315 |
| | 83120600 | 13 | Παναγίας | 400 | 429 | 453 | 448 |
| | 83120700 | 14 | Πλάκας | 368 | 349 | 374 | 365 |
| | 83120800 | 15 | Ρεπανιδίου | 254 | 310 | 357 | 302 |
| | 83120900 | 16 | Ρουσσοπουλίου | 147 | 209 | 163 | 215 |
| | 83121000 | 17 | Ρωμανού | 462 | 537 | 457 | 544 |
| | 83121100 | 18 | Σκανδαλίου | 105 | 105 | 124 | 100 |
| | 83121200 | 19 | Φισίνης | 148 | 194 | 153 | 208 |

| | | | | | | | |
|----------------------|----------|----|------------------|------|------|------|------|
| ΜΥΡΙΝΑΣ | 83130100 | 20 | <i>Μυριναίων</i> | 5283 | 4682 | 5107 | 4342 |
| | 83130200 | 21 | Θάνους | 461 | 466 | 459 | 472 |
| | 83130300 | 22 | Κάσπακα | 878 | 916 | 894 | 941 |
| | 83130400 | 23 | Κορνού | 294 | 339 | 355 | 369 |
| | 83130500 | 24 | Πλατέος | 686 | 659 | 673 | 694 |
| ΝΕΑΣ ΚΟΥΤΑΛΗΣ | 83140100 | 25 | <i>Κοντιά</i> | 566 | 548 | 628 | 551 |
| | 83140200 | 26 | Αγκαρυώνων | 136 | 152 | 138 | 153 |
| | 83140300 | 27 | Καλλιθέας | 234 | 219 | 216 | 211 |
| | 83140400 | 28 | Λιβαδοχωρίου | 428 | 606 | 474 | 607 |
| | 83140500 | 29 | Νέας Κούταλης | 454 | 424 | 473 | 438 |
| | 83140600 | 30 | Πεδινού | 308 | 389 | 331 | 398 |
| | 83140700 | 31 | Πορτιανού | 276 | 243 | 306 | 251 |
| | 83140800 | 32 | Τσιμανδρίων | 296 | 295 | 314 | 292 |

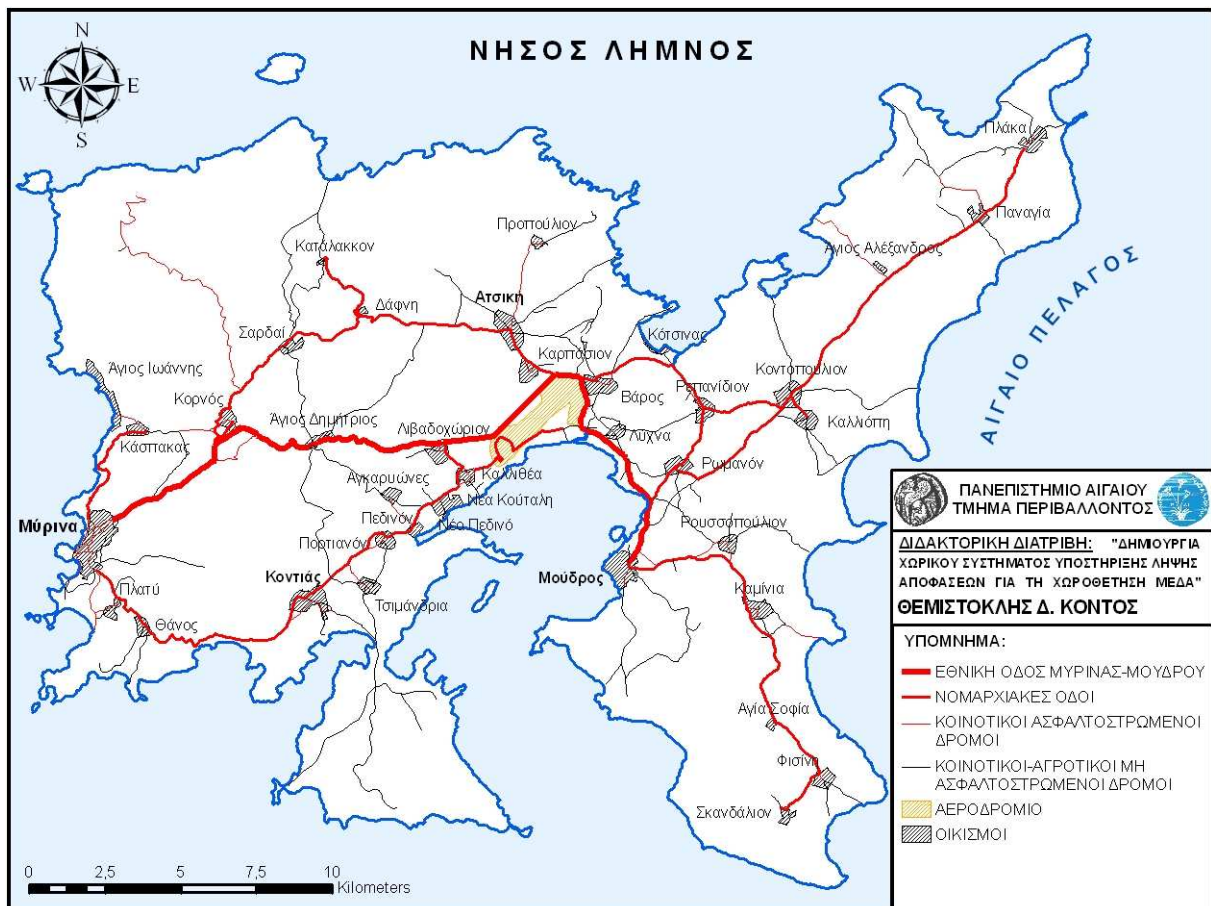
Στον χάρτη 3.1 φαίνονται τα όρια των δήμων της νήσου Λήμνου, καθώς και τα δημοτικά διαμερίσματα που τους αποτελούν, σύμφωνα με την αρίθμηση που φαίνεται στον πίνακα 3.1.



Χάρτης 3.1: Διοικητικά Όρια ΟΤΑ

3.3.2. Όρια Επίσημα Οριοθετημένων Οικισμών, Αεροδρόμιο

Οι οικιστικές περιοχές χαρτογραφήθηκαν βάσει της επίσημης οριοθέτησης του Τμήματος Πολεοδομίας της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λέσβου, σε όσους οικισμούς αυτή είναι διαθέσιμη. Σε σύνολο 47 οικισμών, οι επίσημα οριοθετημένοι είναι 38. Η αποτύπωση των ορίων, έχει γίνει πάνω σε τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000, τα οποία αποτέλεσαν την πρωτογενή πηγή συγκρότησης του χάρτη 3.2. Οι υπόλοιποι 9 οικισμοί που δεν κατέστη εφικτό να οριοθετηθούν, είτε είναι οικισμοί οι οποίοι έχουν πολύ μικρό μέγεθος, είτε αναφέρονται σε στρατόπεδα και για λόγους ασφαλείας δεν είναι δυνατή η αποτύπωση τους. Επισημαίνεται ότι στον χάρτη 3.2 φαίνεται ο Κρατικός Αερολιμένας Λήμνου, ο οποίος προήλθε από την αποτύπωση που υπάρχει στην ΕΧΜ της νήσου Λήμνου. Όλα τα στοιχεία που αφορούν τους επίσημα οριοθετημένους οικισμούς, παρατίθενται στο Παράρτημα Α.



Χάρτης 3.2: Όρια Επίσημα Οριοθετημένων Οικισμών, Αεροδρόμιο και Οδικό Δίκτυο

3.3.3. Οδικό Δίκτυο

Επίπεδο αναφοράς και βασικό υπόβαθρο του οδικού δικτύου αποτέλεσαν οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. Επειδή οι συγκεκριμένοι τοπογραφικοί χάρτες είναι έκδοσης του 1970, χρειάστηκε επιτόπια εξέταση της κατάστασης του οδικού δικτύου, η οποία έγινε από μέλη της ερευνητικής ομάδας του ΕΔΑ. Με την επιτόπια εξέταση ενημερώθηκε το υπόβαθρο, βάσει των έργων οδοποιίας που έχουν πραγματοποιηθεί και αφορούν νέες χαράξεις, ασφαλτοστρώσεις ή και βελτιώσεις υφισταμένων οδών. Έτσι, όπως φαίνεται και στον χάρτη 3.2, διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες

- Εθνική οδός Μύρινας – Μούδρου
- Νομαρχιακές οδοί (ασφαλτοστρωμένες οδοί καλής βατότητας)
- Κοινοτικοί ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι (ασφαλτοστρωμένες οδοί καλής, μέτριας και κακής βατότητας)
- Κοινοτικοί μη ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι (μη ασφαλτοστρωμένες οδοί μέτριας και κακής βατότητας)

3.3.4. Αρχαιολογικές Περιοχές

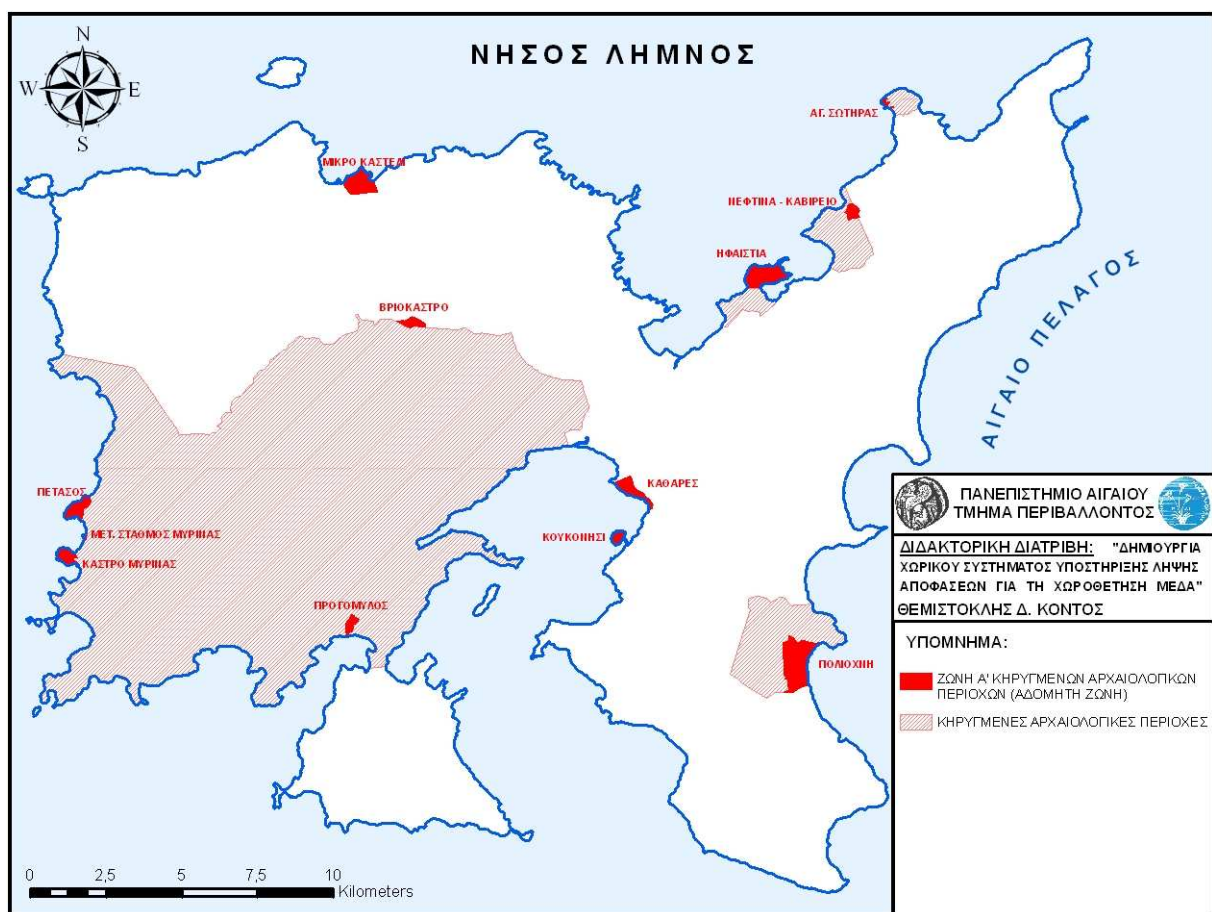
Οι αρχαιολογικές περιοχές της νήσου Λήμνου, υπάγονται στην δικαιοδοσία της Κ' Ε.Π.Κ.Α. Μυτιλήνης του Υπουργείου Πολιτισμού. Από την σύνθεση των επιμέρους χαρτών οριοθέτησης αρχαιολογικών χώρων συντάχθηκε ο χάρτης 3.3, όπου διαβαθμίζονται οι αρχαιολογικές περιοχές σε Ζώνες Α' Κηρυγμένων Αρχαιολογικών Περιοχών (Αδόμητες Ζώνες) και σε Κηρυγμένες Αρχαιολογικές Περιοχές.

Πρέπει να τονιστεί ότι οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως αδόμητες ζώνες (Ζώνες Α') βρίσκονται υπό πολύ αυστηρό καθεστώς, καθώς στις συγκεκριμένες περιοχές επιτρέπονται μόνο η γεωργική εκμετάλλευση με παραδοσιακές τεχνικές και η βόσκηση. Πιο συγκεκριμένα, οι αδόμητες ζώνες (Ζώνες Α) που υπάρχουν στη Λήμνο είναι οι εξής:

- Κάστρο Μύρινας
- Μετεωρολογικός Σταθμός Μύρινας
- Πέτασος
- Βριόκαστρο
- Μικρό Καστέλι
- Προγόμυλος

- Καθαρές
- Κουκονήσι
- Πολιόχνη
- Ηφαιστία
- Νεφτίνα – Καβίρειο
- Άγιος Σωτήρας

Η κωδικοποίηση των αρχαιολογικών περιοχών έγιναν από τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, στους οποίους οριοθετήθηκαν οι αρχαιολογικές περιοχές.



Χάρτης 3.3: Αρχαιολογικές Περιοχές

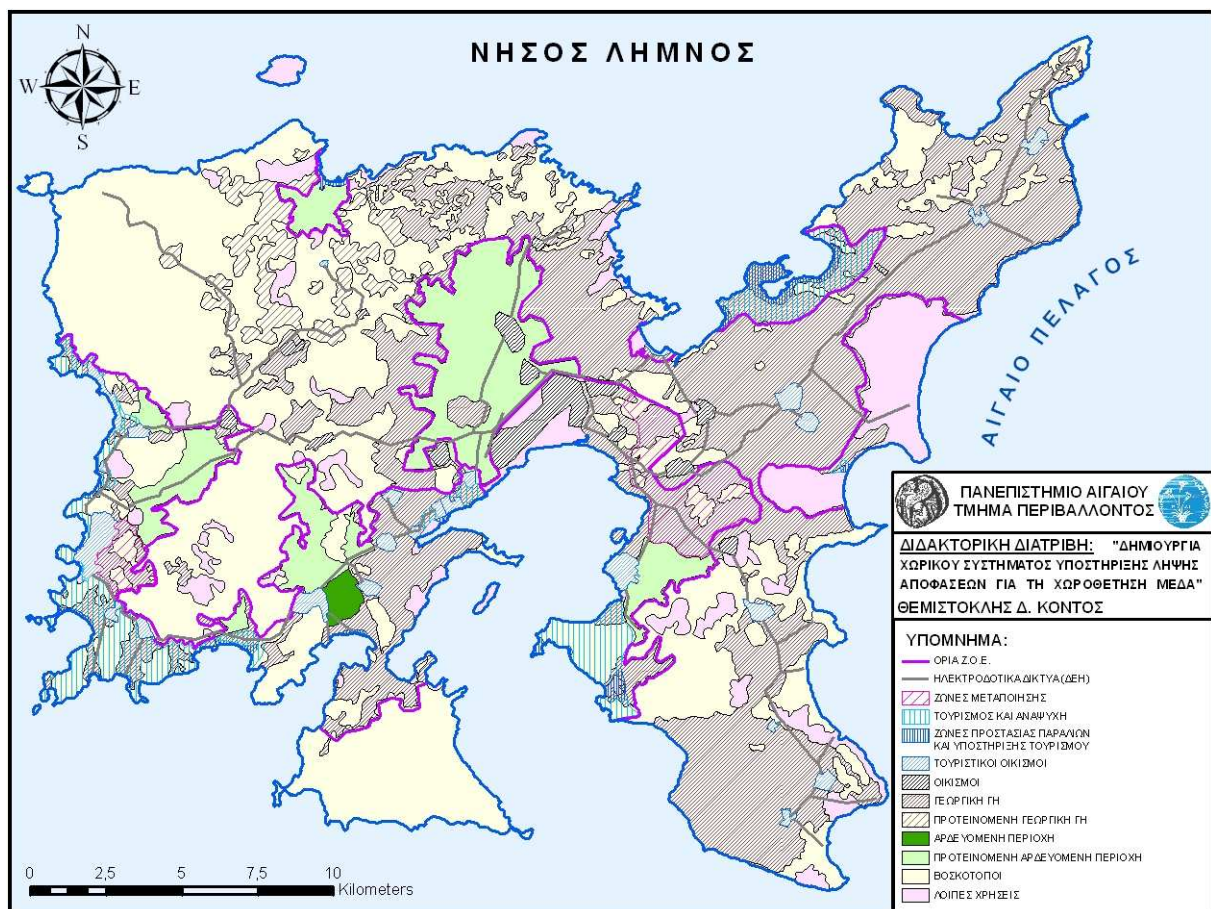
3.3.5. Ειδική Χωροταξική Μελέτη - Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου

Η Ειδική Χωροταξική Μελέτη της Λήμνου δεν περιλαμβάνει το σύνολο του νησιού. Οι περιοχές όμως που εξετάστηκαν από την ΕΧΜ αποτελούν ζώνες ειδικού ενδιαφέροντος και ευαισθησίας, για

τις οποίες, σε αντίθεση με το υπόλοιπο νησί προγραμματίζεται να καθοριστούν συγκεκριμένες χρήσεις γης. Οι περιοχές-ζώνες που εντάσσονται στην ΕΧΜ είναι:

- Ζώνη Μύρινας
- Ζώνη Ηφαιστείας
- Ζώνη Γομάπι - Καστέλι
- Ζώνη Μούδρος - Φαναράκι
- Ζώνη Κότσινα
- Ζώνη Κότσινα - Λιμνών
- Ζώνη Ατσικής

Οι επιμέρους χρήσεις γης όπως καθορίζονται από την ΕΧΜ και οι οποίες διέπονται από συγκεκριμένο καθεστώς φαίνονται αναλυτικά στον χάρτη 3.4. Πηγή για την οριοθέτηση των Ζωνών Οικιστικού Ελέγχου (ΖΟΕ) και των προτεινόμενων χρήσεων γης, αποτέλεσαν οι χάρτες κλίμακας 1:25.000 της ΕΧΜ (Διεύθυνση ΠΕ.ΧΩ., Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου, 1995).



Χάρτης 3.4: Ειδική Χωροταξική Μελέτη - Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου

3.3.6. Γεωλογία

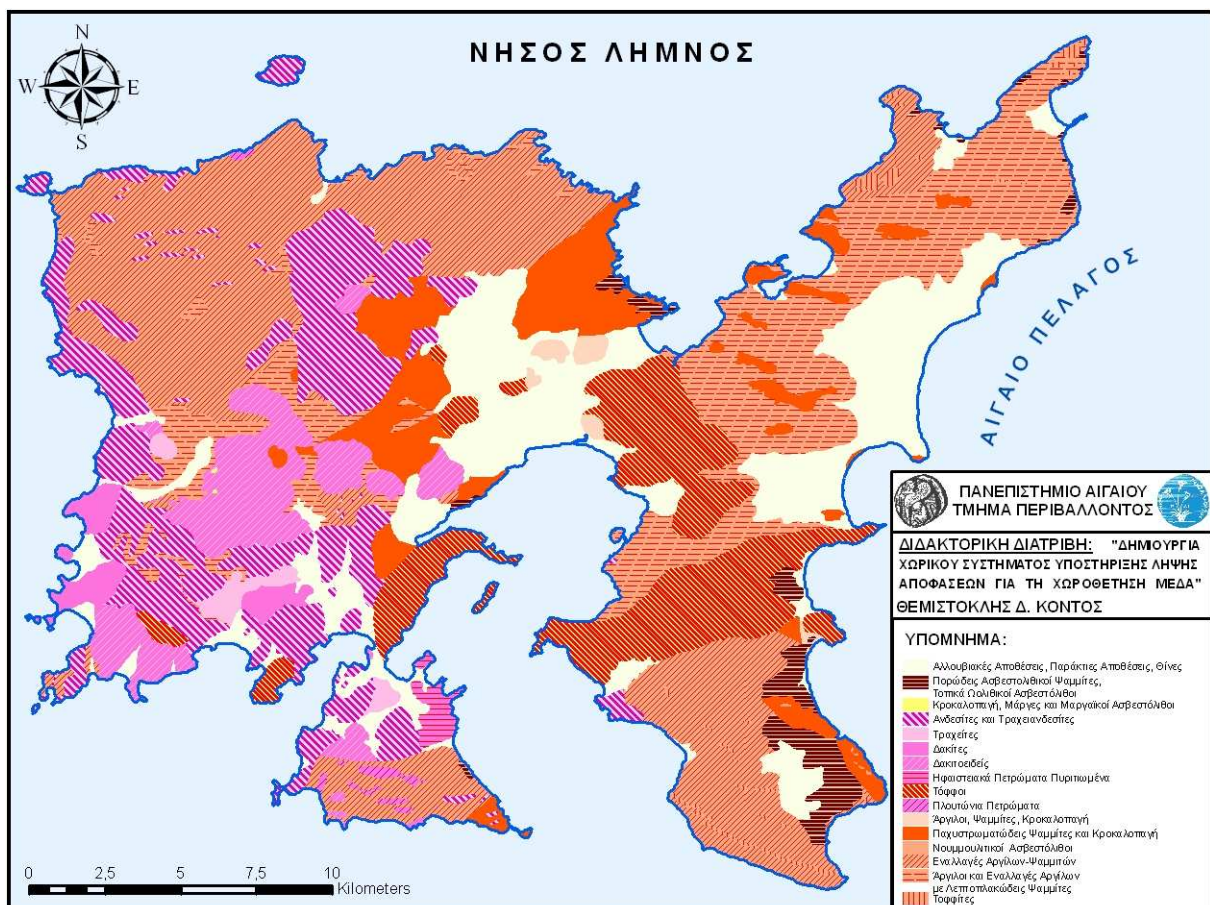
Η νήσος Λήμνος όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.2, καλύπτεται από ιζηματογενείς σχηματισμούς του Ανώτερου Ηωκαίνου και του Κατώτερου Ολιγοκαίνου, σε ποσοστό περίπου 40% της έκτασης της. Οι σχηματισμοί οι οποίοι ανήκουν στην ανώτερη ενότητα, εμφανίζονται κυρίως στο ακρωτήριο Βοροσκόπος στην Παραλία της Πολιόχνης και στις κεντρικές περιοχές μεταξύ Λύχνας και Ατσικής. Τα ιζήματα της κατώτερης ενότητας, αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος των ιζηματογενών πετρωμάτων του νησιού και έχουν αποτεθεί σε πελαγικό περιβάλλον μέσου βάθους. Τα πλουτώνια και υποηφαιστειακά-φλεβικά πετρώματα του Ανώτερου Ολιγοκαίνου και Κατώτερου Μειοκαίνου, απαντώνται σε περιορισμένη έκταση περίπου 0.3%, κυρίως στο ακρωτήριο Φακός και στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου απέναντι από την νησίδα Σιδερίτης. Οι πυροκλαστικοί σχηματισμοί του Κατώτερου Μειοκαίνου, βρίσκονται σε ποσοστό περίπου 10.2% της έκτασης της νήσου, στις περιοχές μεταξύ των χωριών Βάρος, Ρωμανού, Μούδρου και Καμίνια, ενώ κάποιες μικρές εμφανίσεις υπάρχουν στο δυτικό τμήμα της νήσου μαζί με τις λάβες. Τα ηφαιστειακά πετρώματα εμφανίζονται σε ποσοστό της έκτασης περίπου 28% και καλύπτουν μεγάλο μέρος του δυτικού τμήματος της νήσου. Κάποιες σποραδικές εμφανίσεις έκτασης περίπου 0.01% κροκαλοπαγών και μαργών του Τριτογενούς Κατώτερου Μειοκαίνου, βρίσκονται στη θέση Αγία Παρασκευή κοντά στην Μύρινα. Στο κεντρικό και στο ανατολικό τμήμα της νήσου εμφανίζονται ασβεστολιθικοί σχηματισμοί του Τεταρτογενούς Πλειστόκαινου, που καταλαμβάνουν εκτάσεις σε ποσοστό περίπου 2.1 %. Τέλος, αλλουβιακές αποθέσεις, παράκτιες αποθέσεις και θίνες βρίσκονται διάσπαρτες σε όλη τη νήσο, καλύπτοντας το 15.4% της συνολικής της έκτασης

Πίνακας 3.2: Γεωλογικοί Σχηματισμοί της νήσου Λήμνου

| Γεωλογική Ηλικία | Γεωλογικός Σχηματισμός | Ποσοστό Κάλυψης (%) |
|-------------------------------|---|---------------------|
| Τεταρτογενές Ολόκαινο | Αλλουβιακές Αποθέσεις, Παράκτιες Αποθέσεις, Θίνες | 15.39 |
| Τεταρτογενές Πλειστόκαινο | Πορώδεις Ασβεστολιθικοί Ψαμμίτες, Τοπικά Ωολιθικοί Ασβεστόλιθοι | 2.07 |
| Τριτογενές Κατώτερο Μειόκαινο | Κροκαλοπαγή, Μάργες και Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι | 0.01 |
| Κατώτερο Μειόκαινο | Ανδεσίτες και Τραχειανδεσίτες | 13.13 |
| | Τραχείτες | 0.79 |
| | Δακίτες | 1.39 |
| | Δακίτοιδοι | 5.96 |
| | Ηφαιστειακά Πετρώματα Πυριτωμένα | 0.50 |
| | Τόφφοι | 10.16 |

| | | |
|--|--|-------|
| Ανώτερο Ολιγόκαινο και Κατώτερο Μειόκαινο | Πλουτώνια Πετρώματα | 0.30 |
| Ανώτερη Ενότητα Ανώτερου Ηώκαινου και Κατώτερου Ολιγόκαινου | Αργίλοι, Ψαμμίτες, Κροκαλοπαγή | 0.56 |
| Κατώτερη Ενότητα Ανώτερου Ηώκαινου και Κατώτερου Ολιγόκαινου | Παχυστρωματώδεις Ψαμμίτες και Κροκαλοπαγή | 7.78 |
| | Νουμμουλιτικοί Ασβεστόλιθοι | 0.02 |
| | Εναλλαγές Αργίλων-Ψαμμιών | 25.74 |
| | Αργίλοι και Εναλλαγές Αργίλων με Λεπτοπλακώδεις Ψαμμίτες | 15.73 |
| | Τοφφίτες | 0.46 |

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που φαίνονται στον χάρτη 3.5, κωδικοποιήθηκαν από τους γεωολογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης 1993.



Χάρτης 3.5: Γεωλογία

3.3.7. Υδρολιθολογική Συμπεριφορά

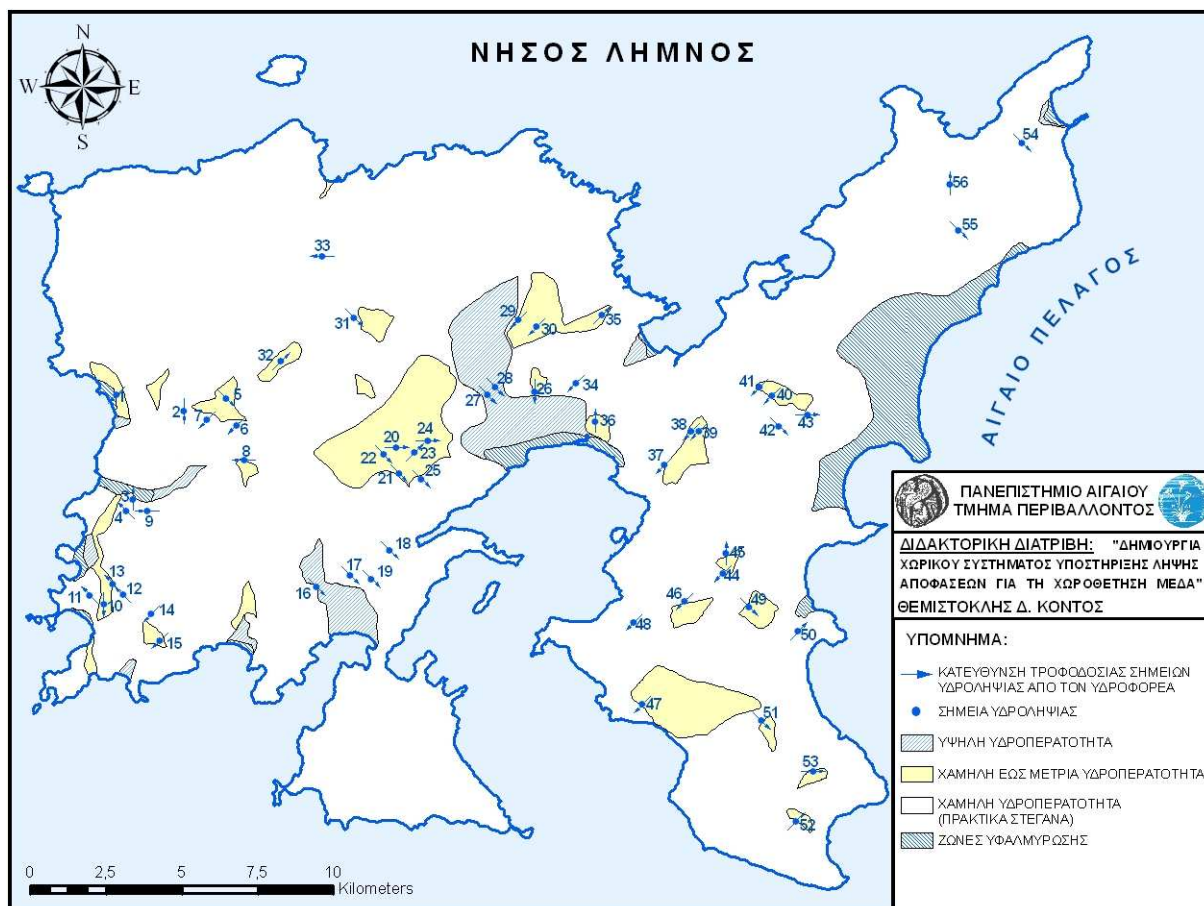
Για τις ανάγκες της προτεινόμενης μεθοδολογίας και δεδομένου ότι δεν έχει εκδοθεί υδρογεωλογικός χάρτης από το Ι.Γ.Μ.Ε., ζητήθηκε η συμβολή ειδικών υδρογεωλόγων από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων της Ν.Α. Λέσβου. Για τη σύνταξη του εν λόγω χάρτη, έγινε κυρίως σύνθεση βιβλιογραφικών δεδομένων που αφορούν τη γεωλογία, τεκτονική, στρωματογραφία και υδρογεωλογία της περιοχής, καθώς επίσης παρατηρήσεων πεδίου και αεροφωτογραφιών.

Η διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών ως προς την περατότητα τους, αφορά τις εξής κατηγορίες:

- χαμηλής περατότητας έως πρακτικά υδατοστεγής
- μέσης περατότητας
- υψηλής περατότητας

Στον υδρολιθολογικό χάρτη, οι ζώνες που απεικονίζονται, αφορούν και τη δημιουργία υδροφορέων εντός των σχηματισμών, οι οποίοι υδρομαστεύονται επιλεκτικά με έργα υδροληψιών. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο διαχωρισμό των υδρολογικών περιοχών που υπόκεινται σε υπαλμύρωση (πλησίαλες, ακατάλληλοι υδροφόροι). Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον χάρτη 3.6, υπάρχει η παρακάτω ταξινόμηση των περιοχών ανάλογα με την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά:

- Περιοχές Υδατοστεγείς - Χαμηλής Υδροπερατότητας, δηλαδή περιοχές οι οποίες είναι πρακτικά στεγανές και έχουν συντελεστή υδροπερατότητας μικρότερο από 10^{-7} m/s.
- Περιοχές Χαμηλής έως Μέτριας Υδροπερατότητας, δηλαδή περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν επιλεκτική υδροφορία βάθους (εκμεταλλεύσιμες για υδροληψία) και έχουν συντελεστή υδροπερατότητας 10^{-5} - 10^{-7} m/s.
- Περιοχές Υψηλής Υδροπερατότητας, δηλαδή περιοχές στις οποίες παρουσιάζεται φρεάσιος υδροφόρος ορίζοντας και υπάρχει έντονη υδροληψία (πηγάδια, γεωτρήσεις) και έχουν συντελεστή υδροπερατότητας 10^{-2} - 10^{-3} m/s.
- Περιοχές Υφάλμυρου Μετώπου, δηλαδή περιοχές οι οποίες είναι πλησίαλες και παρουσιάζουν Υψηλή Υδροπερατότητα.



Χάρτης 3.6: Υδρολιθολογική Συμπεριφορά

3.3.8. Σημεία Υδροληψίας

Στη νήσο Λήμνο απαντάται σημαντικός αριθμός πηγών και γεωτρήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών των κατοίκων του νησιού. Υπάρχουν συνολικά 56 σημεία υδροληψίας, τα οποία φαίνονται στον χάρτη 3.6. Στο Παράρτημα Β καταγράφεται το κάθε σημείο υδροληψίας με τις συντεταγμένες του, το τοπωνύμιο της περιοχής, ο ΟΤΑ, στον οποίο υπάγεται, καθώς επίσης και το αζιμούθιο της κατεύθυνσης τροφοδοσίας των σημείων υδροληψίας από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Στον χάρτη 3.6, εκτός των σημείων υδροληψίας με τους αντίστοιχους αύξοντες αριθμούς που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β, φαίνεται και η γενική κατεύθυνση της ανάντη υδρογεωλογικής λεκάνης κάθε σημείου υδροληψίας. Η κωδικοποίηση των σημείων υδροληψίας έγινε από τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000.

3.3.9. Υδρογραφικό Δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο της Λήμνου, παρουσιάζει αρκετή πυκνότητα και η μορφή του είναι κυρίως δενδριτικής ανάπτυξης, ιδίως στις έντονες υψομετρικές διαβαθμίσεις της νήσου. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, το υδρογραφικό δίκτυο κωδικοποιήθηκε από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000. Επίσης, χρειάστηκε να χαραχθούν οι ευρύτερες λεκάνες απορροής της νήσου, όπως φαίνεται στον χάρτη 3.7.

3.3.10. Ταμιευτήρες

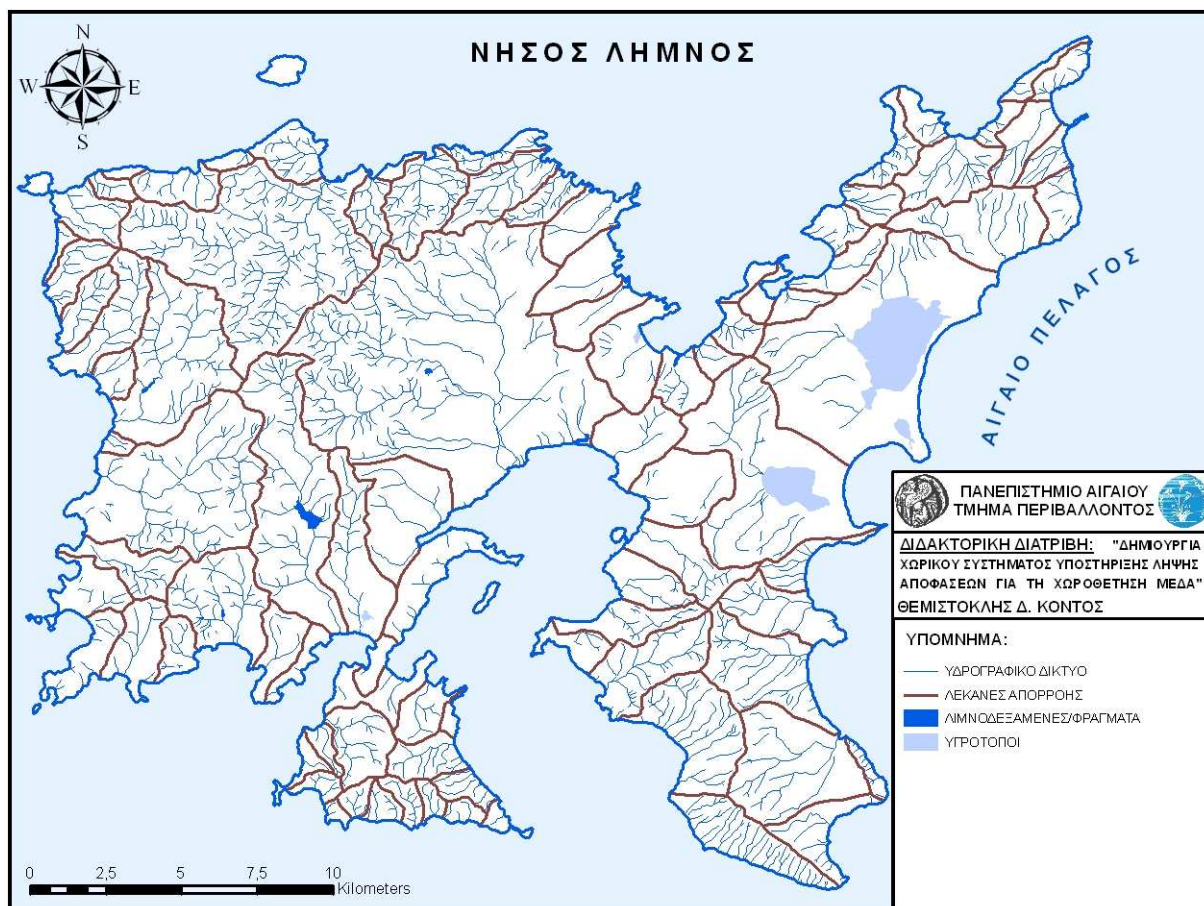
Στην Λήμνο προβλέπεται η κατασκευή τεσσάρων συνολικά ταμιευτήρων. Στον χάρτη 3.7 αποτυπώνεται η τοποθεσία των λεκανών κατάκλισης των υφιστάμενων και των προτεινόμενων λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων, ενώ στον πίνακα 3.3 υπάρχουν στοιχεία που αφορούν τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

Πίνακας 3.3 : Στοιχεία Ταμιευτήρων

| A/A | Ονομασία Ταμιευτήρα | Τύπος | Χείμαρρος | Χωρητικότητα ($\times 1000 \text{ m}^3$) | Χρήση |
|-----|---------------------|-------|-----------|--|-------|
| 1 | Ατσική | ΕΛ | | 200 | A |
| 2 | Θάνος | ΕΛ | | 105 | A |
| 3 | Κάσπακας | ΦΚ | Ραγκαβάς | 470 | A |
| 4 | Κοντιάς * | ΦΚ | Χανδριάς | 2800 | A |

ΕΛ : Εξωποτάμια Λιμνοδεξαμενή
ΦΚ : Φράγμα επί της Κοίτης
A : Αρδευτική Χρήση
* Είναι το μοναδικό υφιστάμενο φράγμα

Η κωδικοποίηση των στοιχείων έγινε από τους τοπογραφικούς χάρτες των θέσεων ταμιευτήρων, κλίμακας 1:5.000 της Αναγνωριστικής Μελέτης Μικρών Λιμνοδεξαμενών νήσου Λήμνου, σε συνεργασία με την Υ.Ε.Β. Λέσβου.



Χάρτης 3.7: Υδρογραφικό Δίκτυο, Λιμνοδεξαμενές/Φράγματα και Υγρότοποι

3.3.11. Υγρότοποι

Στην Λήμνο απαντώνται πέντε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως υγρότοποι, δηλαδή περιοχές που είναι πλημμυρισμένες ή κορεσμένες από επιφανειακά ή υπόγεια νερά και γενικά θεωρούνται αξιόλογα οικοσυστήματα. Οι υγρότοποι, οριοθετήθηκαν από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.) και βρίσκονται στις περιοχές:

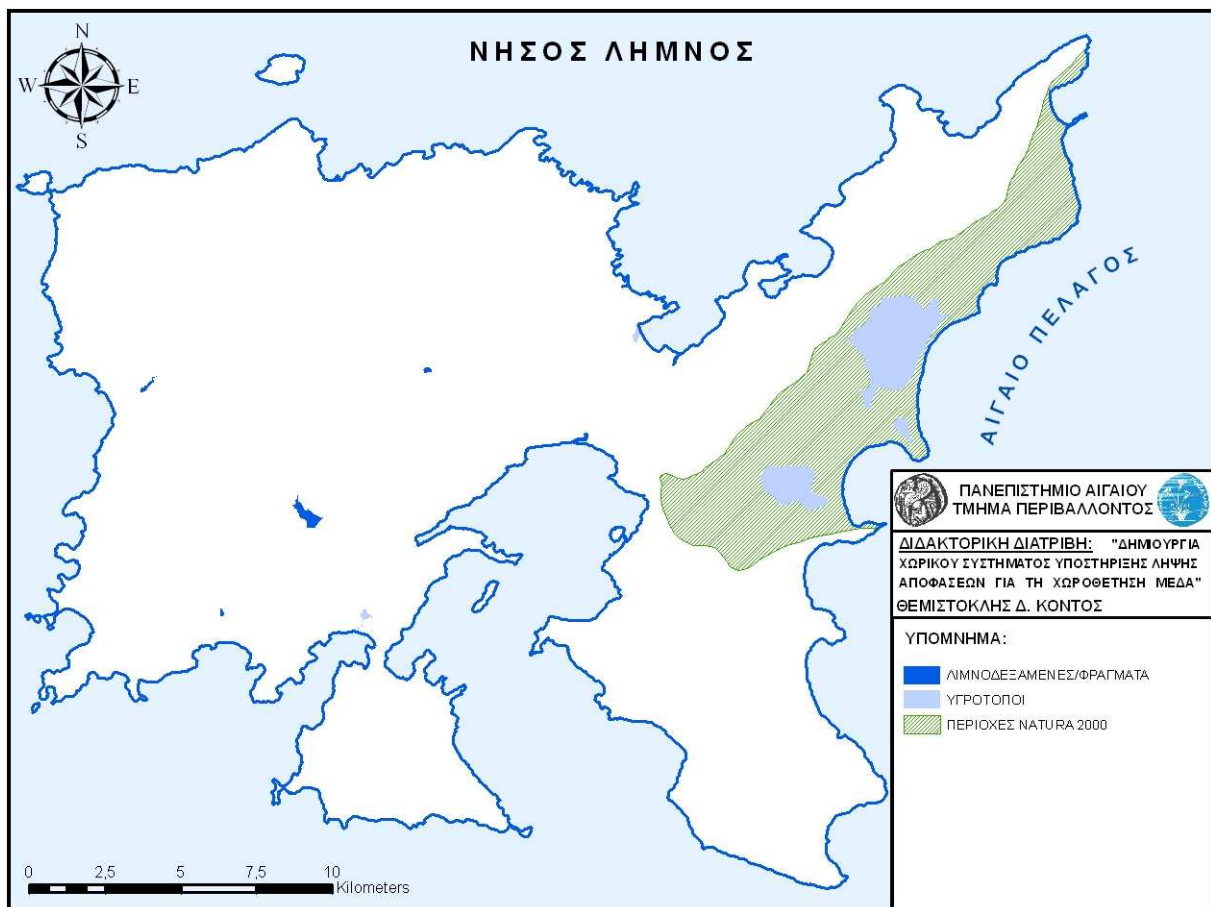
- Λίμνη Αλυκή
- Χορταρολίμνη
- Ασπρόλιμνη
- Υγρότοπος Διαπορίου
- Υγρότοπος Κότσινα

Οι υγρότοποι της νήσου Λήμνου, φαίνονται στους χάρτες 3.7 και 3.8, ενώ πρέπει να τονιστεί ότι στον πίνακα των υγροτόπων του Ε.Κ.Β.Υ. περιλαμβάνεται το φράγμα του Κοντιά.

3.3.12. Οικολογικά Ευαίσθητες Περιοχές - NATURA 2000

Η νήσος Λήμνος περιλαμβάνει μια περιοχή που εντάσσεται στο πρόγραμμα NATURA 2000. Η συγκεκριμένη περιοχή όπως φαίνεται και στον χάρτη 3.8, οριοθετείται ξεκινώντας από το Ακρωτήριο Καβαλλάρη (όρμος Κέρος), ακολουθεί την νομαρχιακή οδό που συνδέει τα χωριά Ρουσσοπούλι, Ρωμανό, Κοντοπούλι, Παναγιά και Πλάκα καταλήγοντας στο Ακρωτήριο Πλάκα και περιλαμβάνει τις λίμνες Αλυκή, Χορταρολίμνη και Ασπρολίμνη (σημαντικοί υδροβιότοποι). Επίσης, στο πρόγραμμα NATURA 2000 περιλαμβάνονται οι ύφαλοι Κέρος (Χάρος), οι οποίοι βρίσκονται ανατολικά του όρμου Κέρος σε απόσταση περίπου 15 χιλιομέτρων από την ακτή. Τα στοιχεία των περιοχών NATURA 2000 κωδικοποιήθηκαν από χάρτες κλίμακας 1:100.000 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι στη νήσο Λήμνο υπάρχουν περιοχές προτεινόμενες ως σημαντικές περιοχές για τα πουλιά (bird areas), οι οποίες περιλαμβάνουν την ευρύτερη περιοχή γύρω από τις λίμνες Αλυκή, Ασπρολίμνη και Χορταρολίμνη.



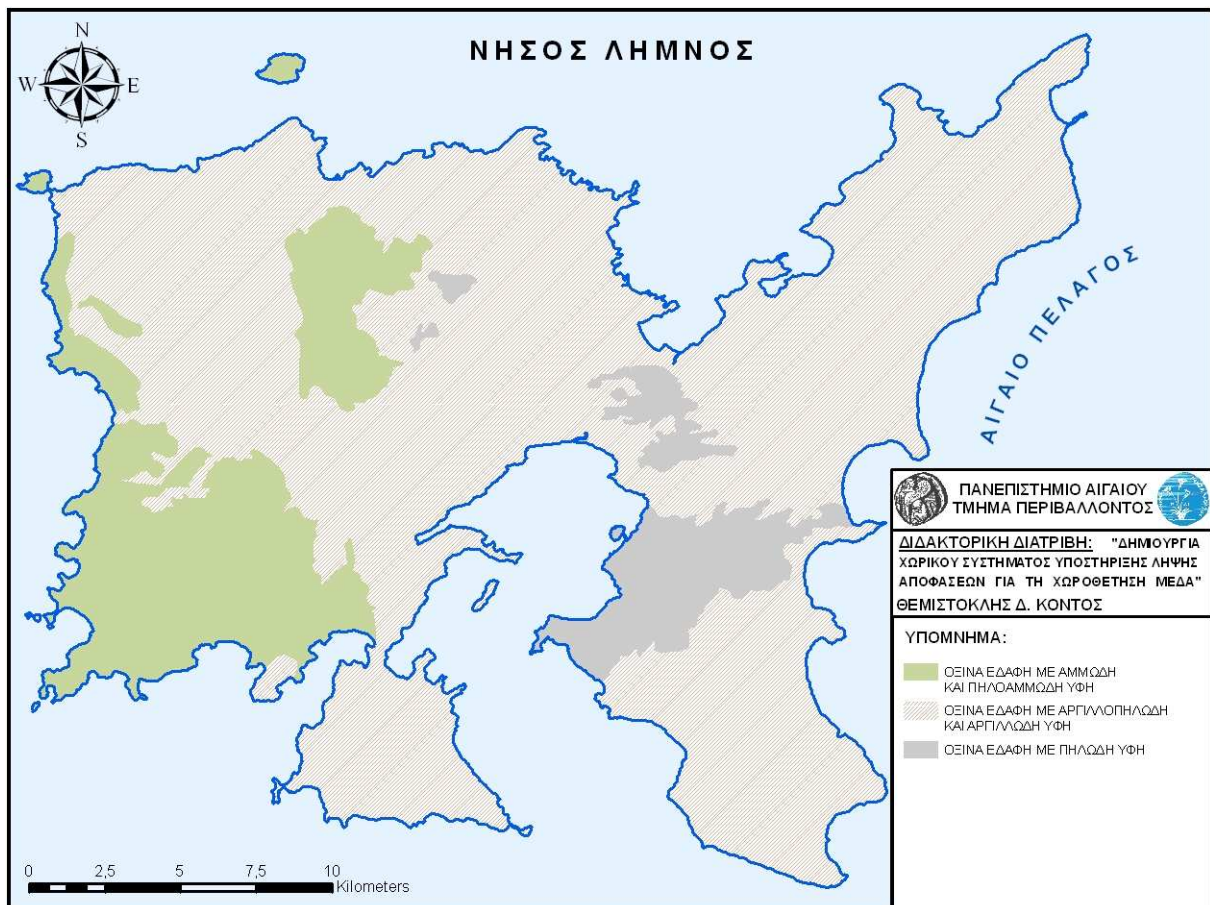
Χάρτης 3.8: Οικολογικά Ευαίσθητες Περιοχές - NATURA 2000

3.3.13. Εδαφολογία

Η ομαδοποίηση των εδαφών που συνθέτουν τη εδαφολογική δομή της νήσου Λήμνου, όπως φαίνεται στον χάρτη 3.9 παρουσιάζει τις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Εδάφη από σκληρούς ασβεστόλιθους, τα οποία είναι συνήθως όξινα με αργιλοπηλώδη - αργιλλώδη υφή (Luvisols) και καλύπτουν το 75.28% της νήσου
- Εδάφη από ηφαιστειακούς τόφους, τα οποία είναι όξινα με πηλώδη υφή (Cambisols/Regosols) και καλύπτουν το 17.73% της νήσου
- Εδάφη από όξινα πυριγενή πετρώματα, τα οποία είναι με αμμώδη - πηλοαμμώδη υφή (Cambisols/Regosols) και καλύπτουν το 6.99% της νήσου

Η βασική πηγή των στοιχείων του Χάρτη 3.9, προέρχεται από το απόσπασμα (τροποποιημένο) του εδαφολογικού χάρτη της Ελλάδος, κλίμακας 1:1.000.000 και έκδοσης Ι.Δ.Ε. Αθηνών.



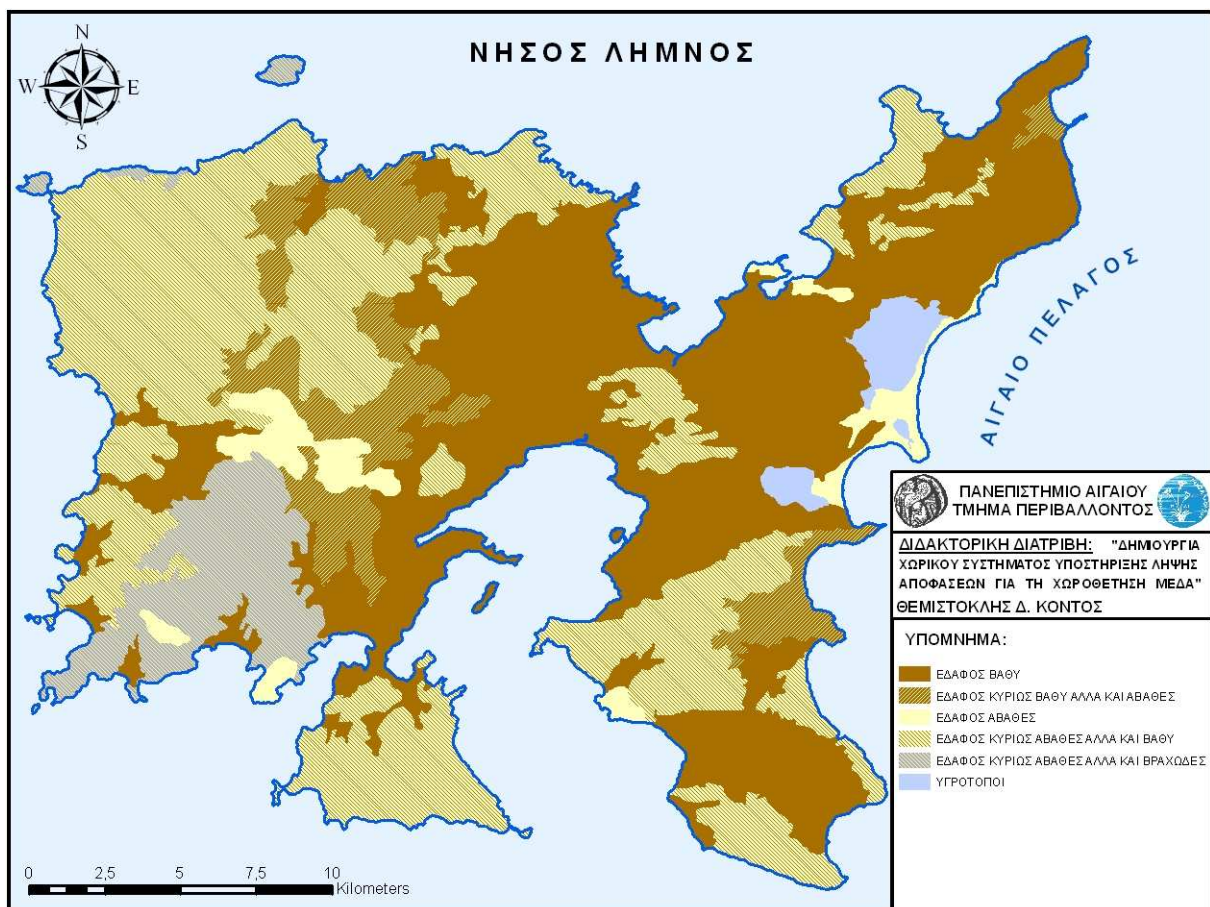
Χάρτης 3.9: Εδαφολογία

3.3.14. Βάθος Εδάφους

Η ομαδοποίηση των εδαφών της νήσου Λήμνου βάσει του βάθους τους, όπως φαίνεται στον χάρτη 3.10 παρουσιάζει τις παρακάτω έξι κατηγορίες:

- Εδάφη βαθιά, τα οποία καλύπτουν το 41.52% της νήσου
- Εδάφη κυρίως βαθιά αλλά και αβαθή, τα οποία καλύπτουν το 9.28% της νήσου
- Εδάφη αβαθή, τα οποία καλύπτουν το 3.91% της νήσου
- Εδάφη κυρίως αβαθή αλλά και βαθιά, τα οποία καλύπτουν το 36.04% της νήσου
- Εδάφη κυρίως αβαθή αλλά και βραχώδη, τα οποία καλύπτουν το 7.46% της νήσου

Η κωδικοποίηση των στοιχείων έγινε από τους χάρτες γαιών της Δασικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Γεωργίας, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης 1993.



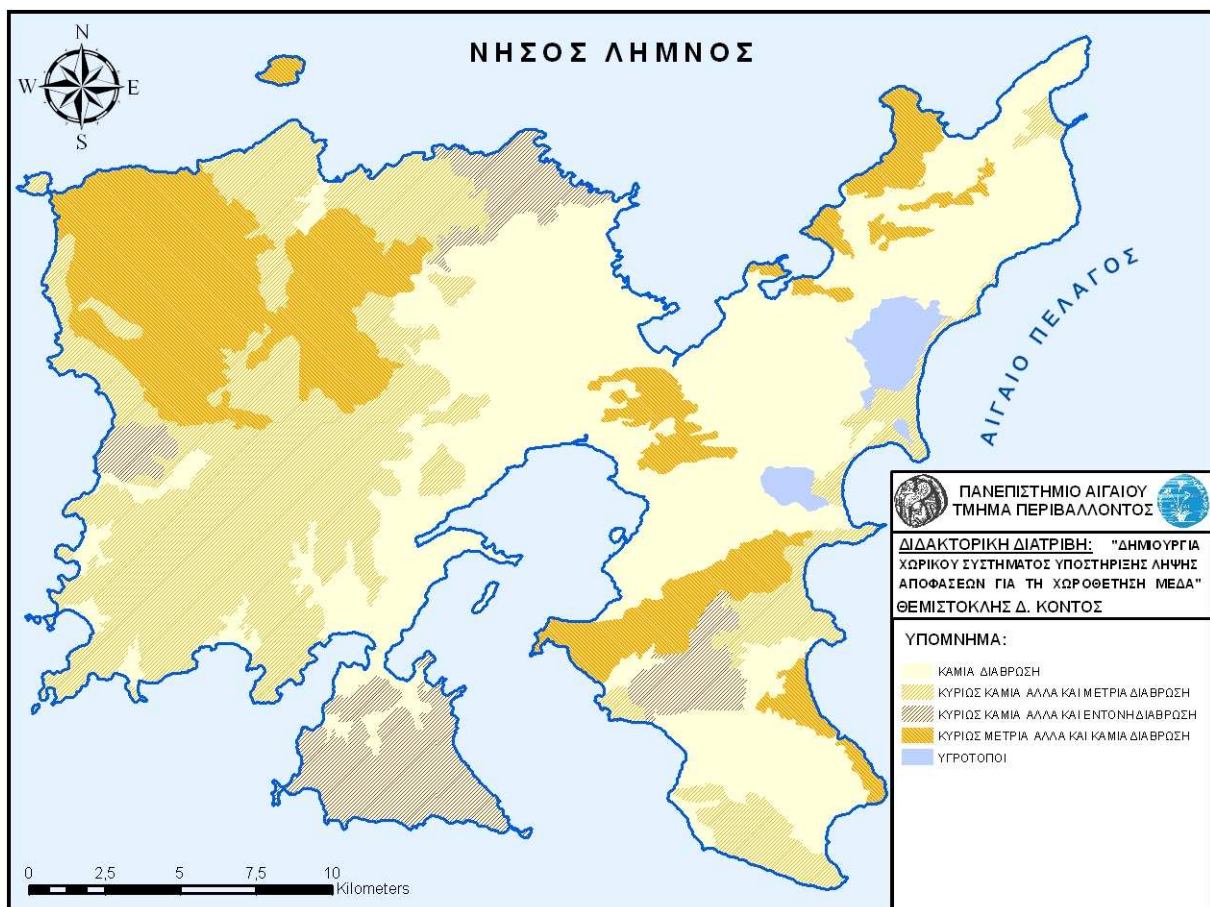
Χάρτης 3.10: Βάθος Εδάφους

3.3.15. Διάβρωση Εδάφους

Η ομαδοποίηση των εδαφών της νήσου Λήμνου βάσει της διάβρωσης τους, όπως φαίνεται στον χάρτη 3.11 παρουσιάζει τις παρακάτω πέντε κατηγορίες:

- Εδάφη χωρίς διάβρωση, τα οποία καλύπτουν το 39.71% της νήσου
- Εδάφη κυρίως χωρίς αλλά και με μέτρια διάβρωση, τα οποία καλύπτουν το 28.81% της νήσου
- Εδάφη κυρίως χωρίς αλλά και με έντονη διάβρωση, τα οποία καλύπτουν το 9.17% της νήσου
- Εδάφη κυρίως με μέτρια αλλά και χωρίς διάβρωση, τα οποία καλύπτουν το 20.5% της νήσου

Η κωδικοποίηση των στοιχείων έγινε από τους χάρτες γαιών της Δασικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Γεωργίας, κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης 1993.



Χάρτης 3.11: Διάβρωση Εδάφους

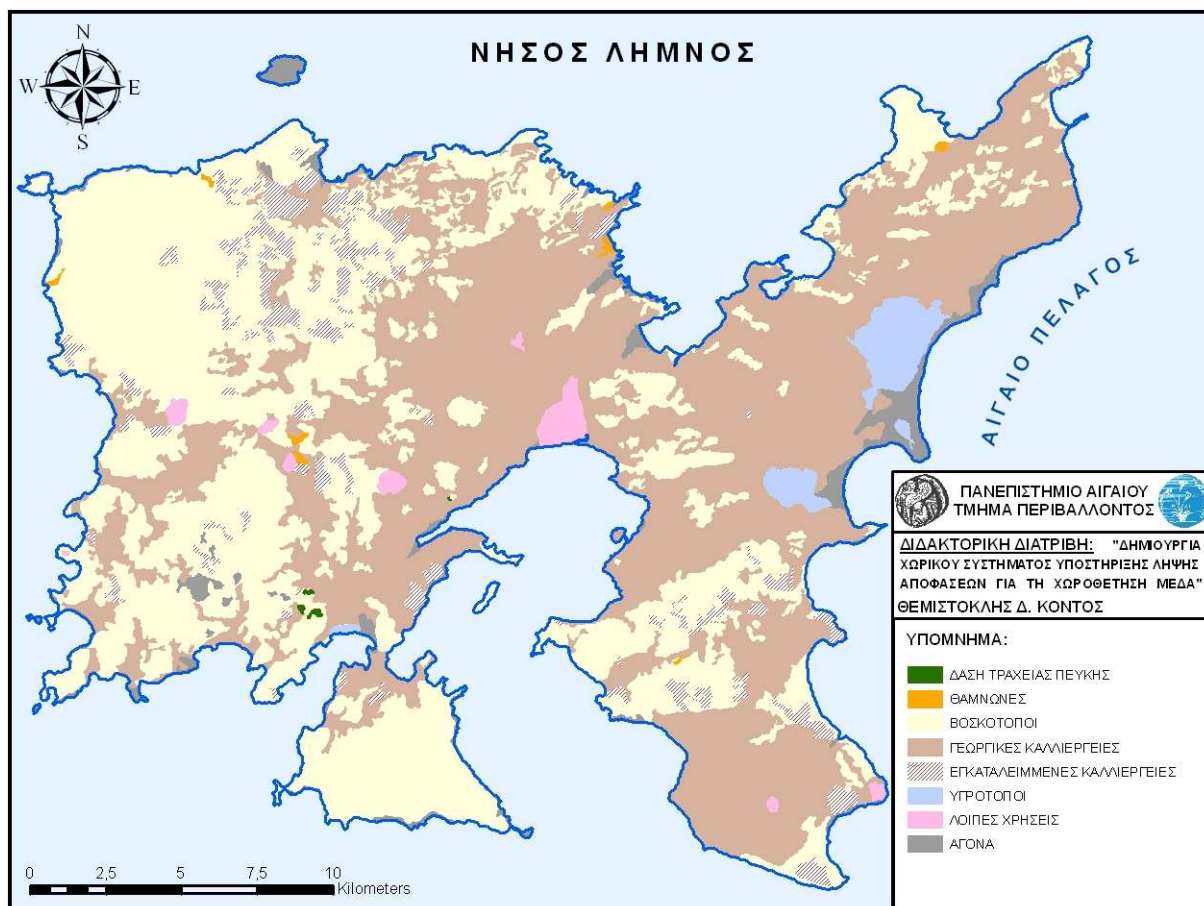
3.3.16. Εδαφοκάλυψη

Ως μονάδα χαρτογράφησης της εδαφοκάλυψης, χρησιμοποιήθηκε ο φυτικός σχηματισμός που ορίζεται ως το σύνολο των φυτικών μονάδων, οι οποίες ως ομάδα, συνθέτουν ένα τοπίο συγκεκριμένης φυσιογνωμίας τα χαρακτηριστικά του οποίου διαμορφώνονται από την μορφή των επί μέρους μονάδων. Το σύνολο «σχηματισμός-τοπίο» αντανακλά τις γενικές οικολογικές συνθήκες (έδαφος, κλίμα, ιστορία, ανθρώπινη επέμβαση κλπ). Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.4 διακρίνονται οκτώ κατηγορίες τύπων εδαφοκάλυψης.

Πίνακας 3.4 : Τύποι Εδαφοκάλυψης

| Τύπος Εδαφοκάλυψης | Γενική Περιγραφή | Ποσοστό Κάλυψης (%) |
|---|---|---------------------|
| Δάση τραχείας πεύκης (αραιά και πυκνά) | <i>Pinus brutia</i> | 0.05 |
| Θαμνώνες αείφυλλων πλατύφυλλων (Μακκία) | <i>Quercion ilicis / Oleo ceratonion</i> | 0.2 |
| Βοσκότοποι – Φρύγανα | <i>Sarcopoterium spinosum</i> | 41.65 |
| Γεωργικές καλλιέργειες | Αροτραίες καλλιέργειες, κηπευτικά, αμπέλια κλπ. | 47.83 |
| Εγκαταλειμμένες καλλιέργειες | Αγριογκορτσιές, αγριελιές, ασφόδελοι, αραιές εκτάσεις δρυός | 4.3 |
| Άγονα | Βραχώδεις Εκτάσεις | 3.15 |
| Λοιπές χρήσεις | Αεροδρόμιο, Στρατόπεδα | 0.95 |
| Υγρότοποι | Λίμνες, Έλη | 1.86 |

Για την κωδικοποίηση των τύπων εδαφοκάλυψης που φαίνονται στον χάρτη 3.12, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες κλίμακας 1:20.000 και έκδοσης 1996 της Γενικής Γραμματείας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος.



Χάρτης 3.12: Εδαφοκάλυψη

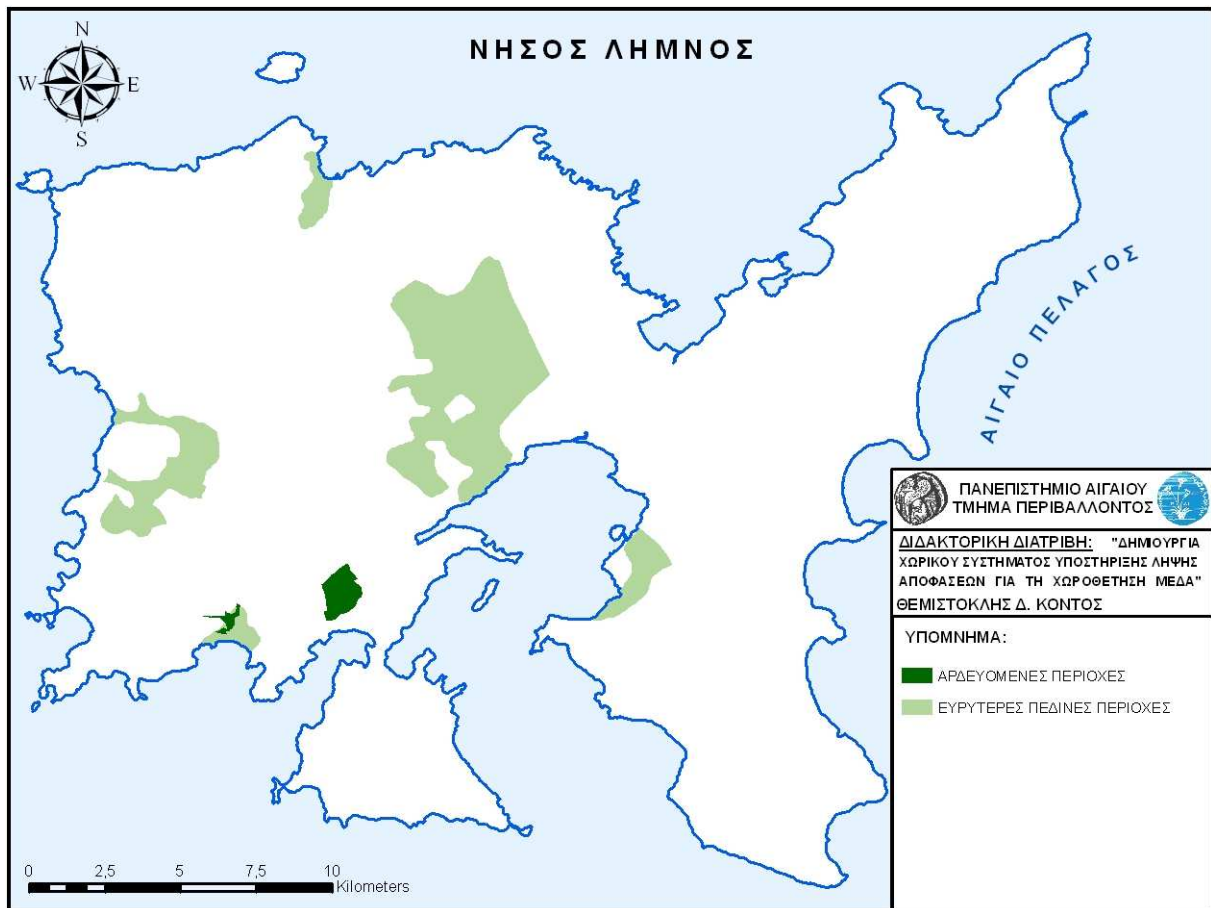
3.3.17. Ευρύτερες Πεδινές Περιοχές

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παραχωρήθηκαν από την Υ.Ε.Β. Λέσβου, οι ευρύτερες πεδινές περιοχές (δυνητικά και κατεξοχήν εύφορες) καθώς και η έκτασή τους είναι αυτές που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Ευρύτερες Πεδινές Περιοχές

| Α/Α | Περιοχή | Έκταση (στρέμματα) |
|-----|---------------------|--------------------|
| 1 | Ατσική – Λιβαδοχώρι | 25000 |
| 2 | Κάσπακας - Κορνός | 6000 |
| 3 | Μούδρος | 3000 |
| 4 | Θάνος - Κοντιάς | 1500 |
| 5 | Κατάλακκο | 1500 |

Η κωδικοποίηση των πεδινών εκτάσεων που φαίνονται στον χάρτη 3.13, έγινε από χάρτη κλίμακας 1:50.000 και έκδοσης 1991 του Υπουργείου Γεωργίας.



Χάρτης 3.13: Ευρύτερες Πεδινές Περιοχές και Αρδευόμενες Περιοχές

3.3.18. Αρδευόμενες Περιοχές

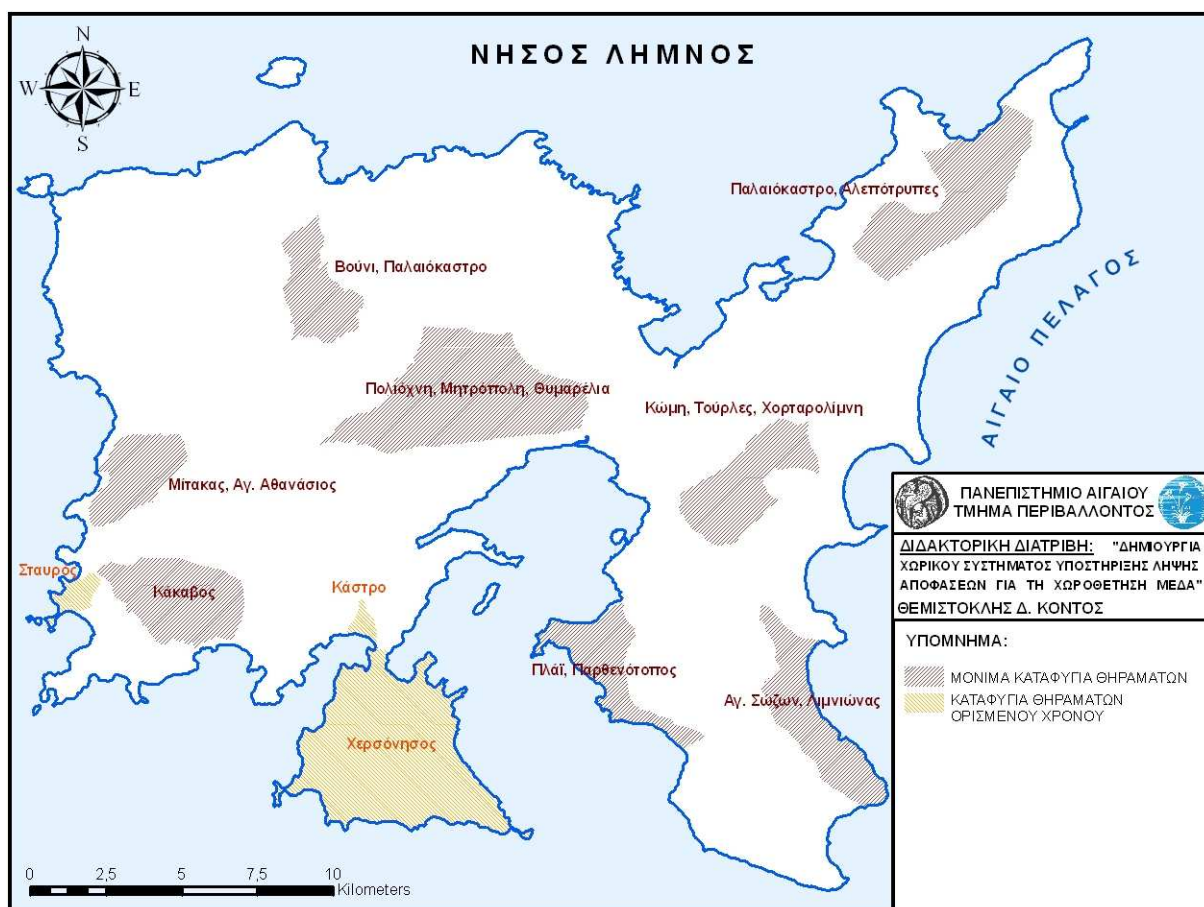
Οι αρδευόμενες περιοχές και τα δίκτυα άρδευσης υπάγονται κατεξοχήν στην αρμοδιότητα του Υπουργείου Γεωργίας. Στην παρούσα εργασία έχουν κωδικοποιηθεί οι δύο αρδευτικές περιοχές, που φαίνονται στον πίνακα 3.6. Οι αρδευόμενες περιοχές κωδικοποιήθηκαν από τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 που δόθηκαν από την Υ.Ε.Β. Λέσβου και αποτυπώνονται στον χάρτη 3.13.

Πίνακας 3.6: Αρδευόμενες Περιοχές

| Α/Α | Ονομασία Περιοχής Αρδευτικού | Στάδιο Εφαρμογής |
|-----|------------------------------|------------------|
| 1 | Κοντιάς | Κατασκευασμένο |
| 2 | Θάνος | Υπό μελέτη |

3.3.19. Καταφύγια Θηραμάτων

Η νήσος Λήμνος, όπως φαίνεται στον χάρτη 3.14, περιλαμβάνει 8 περιοχές συνολικής έκτασης περίπου 85.000 στρεμμάτων, οι οποίες έχουν ιδιαίτερα οικολογικά χαρακτηριστικά και διέπονται από το ειδικό καθεστώς των μόνιμων καταφυγίων θηραμάτων. Επίσης, περιλαμβάνει 3 περιοχές συνολικής έκτασης περίπου 30.000 στρεμμάτων, οι οποίες είναι καταφύγια θηραμάτων ορισμένου χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές των καταφυγίων θηραμάτων που παρατίθενται στον πίνακα 3.7, κωδικοποιήθηκαν από χάρτες κλίμακας 1:50.000 που δόθηκαν από την Διεύθυνση Δασών Λέσβου.



Χάρτης 3.14: Καταφύγια Θηραμάτων

Πίνακας 3.7: Καταφύγια Θηραμάτων

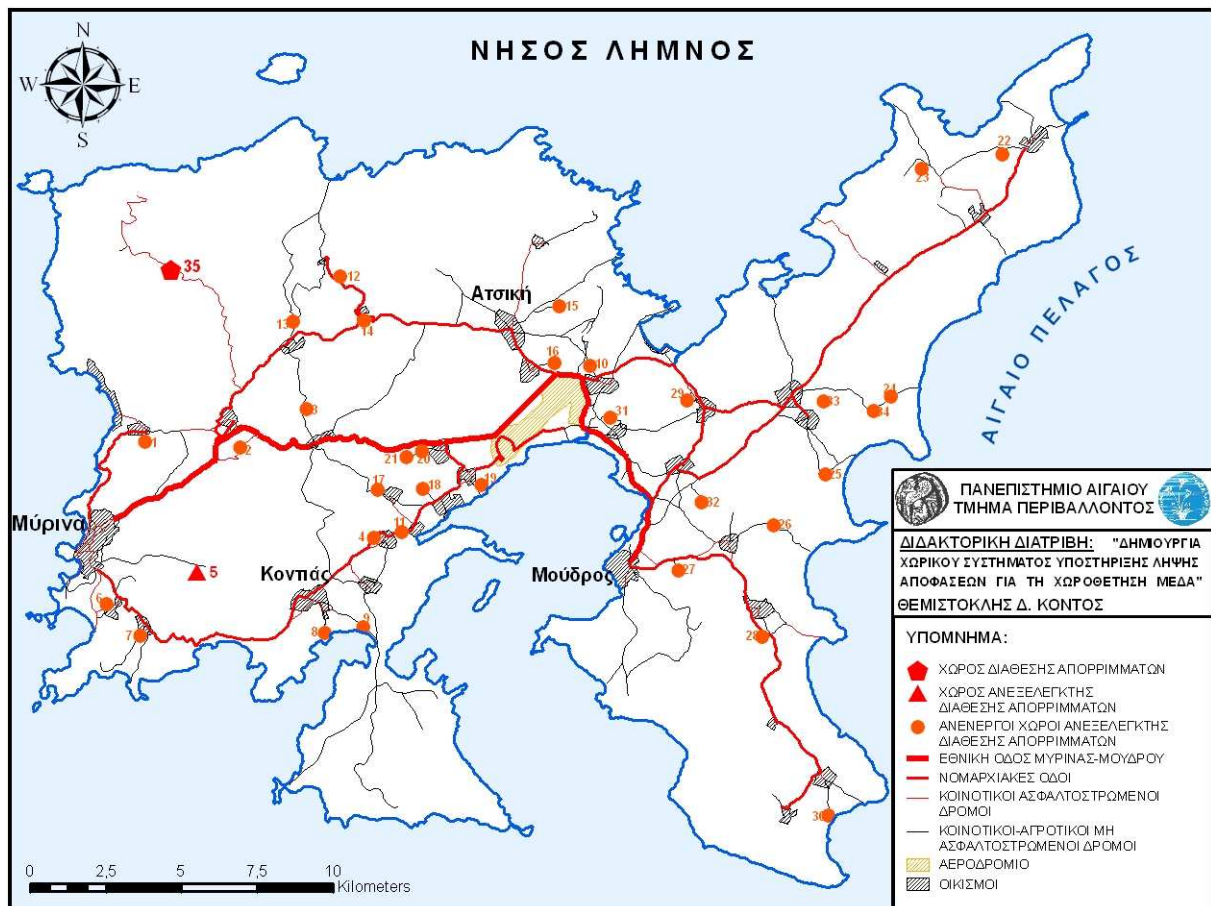
| A/A | Περιοχές Καταφυγίων Θηραμάτων | Δήμος | Έκταση (σε στρέμματα) |
|-----|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | Πολιόχνη, Μητρόπολη, Θυμαρέλια | Αττικής – Νέας Κούταλης | 21000 |
| 2 | Παλαιόκαστρο, Αλεπότρυπες | Μούδρου | 13500 |

| | | | |
|----|-----------------------------|-------------------------|-------|
| 3 | Κώμη, Τούρλες, Χορταρολίμνη | Μούδρου | 9000 |
| 4 | Κάκαβος | Μύρινας – Νέας Κούταλης | 10000 |
| 5 | Αγ. Σώζων, Λιμνιώνας | Μούδρου | 9500 |
| 6 | Μίτακας, Αγ. Αθανάσιος | Μύρινας | 6000 |
| 7 | Πλάϊ, Παρθενότοπος | Μούδρου | 7500 |
| 8 | Βούνι, Παλαιόκαστρο | Ατσικής | 6500 |
| 9 | Σταυρός | Μύρινας | 1500 |
| 10 | Κάστρο | Νέας Κούταλης | 750 |
| 11 | Χερσόνησος | Νέας Κούταλης | 26500 |

3.3.20. Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων

Βάσει των στοιχείων καταγραφής του Εργαστηρίου Διαχείρισης Αποβλήτων από την περίοδο του 1989 μέχρι και σήμερα, έχουν χαρτογραφηθεί οι Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων όλων των ΟΤΑ της νήσου Λήμνου. Η χαρτογράφηση αυτή αποτελεί κυρίως αποτέλεσμα επιτόπιας καταγραφής. Στον χάρτη 3.15 φαίνεται η χωρική διασπορά των ΧΔΑ, με τους αντίστοιχους αύξοντες αριθμούς που παρουσιάζονται στο Παράρτημα C.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο μόνος χώρος που είναι ενεργός την παρούσα χρονική στιγμή, είναι εκείνος στη θέση «Βίγλα», ο οποίος λειτουργεί από το 1992 με προδιαγραφές ενός ΧΥΤΑ και εξυπηρετεί τις ανάγκες της διάθεσης των απορριμμάτων της νήσου Λήμνου. Σε κάποιους από τους ΧΔΑ υπάρχει η διάθεση βοθρολυμάτων από γειτονικά στρατόπεδα και οικισμούς. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί ο ΧΔΑ Μύρινας, αφού είναι ο κύριος χώρος ανεξέλεγκτης διάθεσης βοθρολυμάτων, μπαζών και ογκωδών απορριμμάτων της Μύρινας και της ευρύτερης περιοχής της Κεντροδυτικής Λήμνου. Όλοι οι υπόλοιποι ΧΔΑ είναι παλιοί, ανενεργοί χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων των ΟΤΑ, οι οποίοι δεν δέχονται πλέον οικιακά απορρίμματα. Όμως στην πλειονότητα αυτών, συνεχίζεται η απόρριψη μπαζών και ογκωδών αντικειμένων.

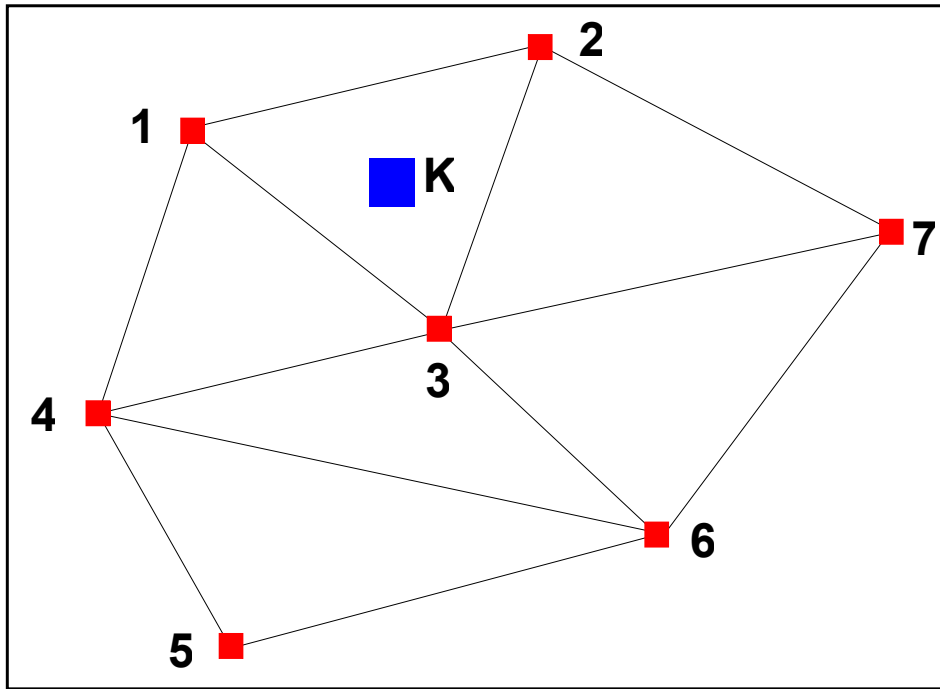


Χάρτης 3.15: Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων

3.3.21. Μοντέλο Επιφανείας

Μοντέλο επιφάνειας (*surface model*), ορίζεται το ψηφιακό αποτέλεσμα μιας διαδοχικής εισαγωγής δεδομένων στα ΣΓΠ, τα οποία πρέπει να περιέχουν σημεία ή διανύσματα που ορίζονται τόσο από τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες όσο και από το υψόμετρο τους. Τα δεδομένα που εισάγονται, μπορεί να είναι είτε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (*Digital Terrain Model - DTM*), δηλαδή ένα αρχείο δεδομένων που περιέχει σημεία με τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα τους σε διάταξη κανάβου, είτε ένα διανυσματικό αρχείο ισοϋψών καμπυλών στο οποίο είναι καταγεγραμμένο το υψόμετρο τους, είτε συνδυασμός διαφόρων ειδών δεδομένων (E.S.R.I. 1992a).

Το αποτέλεσμα της σύνθεσης των δεδομένων είναι ένα μοντέλο επιφάνειας με ακανόνιστη τριγωνική μορφή (*Triangulated Irregular Network - TIN*). Το *TIN* χρησιμοποιεί συναρτήσεις επιπέδου για τον υπολογισμό των υψομέτρων και συνδυάζει τα σημεία ελέγχου (σημεία με γνωστές συντεταγμένες και υψόμετρο) ανά τρία, ώστε να αποτελούν μη επικαλυπτόμενα τρίγωνα, ελάχιστου μήκους για κάθε πλευρά και μέγιστου εμβαδού. Ένα απλό *TIN* φαίνεται στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6: Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων

Για να υπολογιστεί το υψόμετρο του σημείου K το οποίο έχει γνωστές συντεταγμένες (X,Y), μπορεί να εφαρμοστεί η εξίσωση της *υψομετρικής παρεμβολής* (Χατζόπουλος 2006):

$$Z = \frac{A * X_K - B * Y_K + \Delta}{\Gamma}$$

όπου, X_K , η συντεταγμένη x του σημείου K,

Y_K , η συντεταγμένη y του σημείου K,

$$A = Y_1*(Z_3-Z_2) + Y_2*(Z_1-Z_3) + Y_3*(Z_2-Z_1),$$

$$B = X_1*(Z_3-Z_2) + X_2*(Z_1-Z_3) + X_3*(Z_2-Z_1),$$

$$\Gamma = X_1*(Y_2-Y_3) + X_2*(Y_3-Y_1) + X_3*(Y_1-Y_2),$$

$$\Delta = Z_1*(X_2Y_3-X_3Y_2) + Z_2*(X_3Y_1-X_1Y_3) + Z_3*(X_1Y_2-X_2Y_1),$$

X_i , η συντεταγμένη x του κάθε σημείου,

Y_i , η συντεταγμένη y του κάθε σημείου,

Z_i , το υψόμετρο του κάθε σημείου.

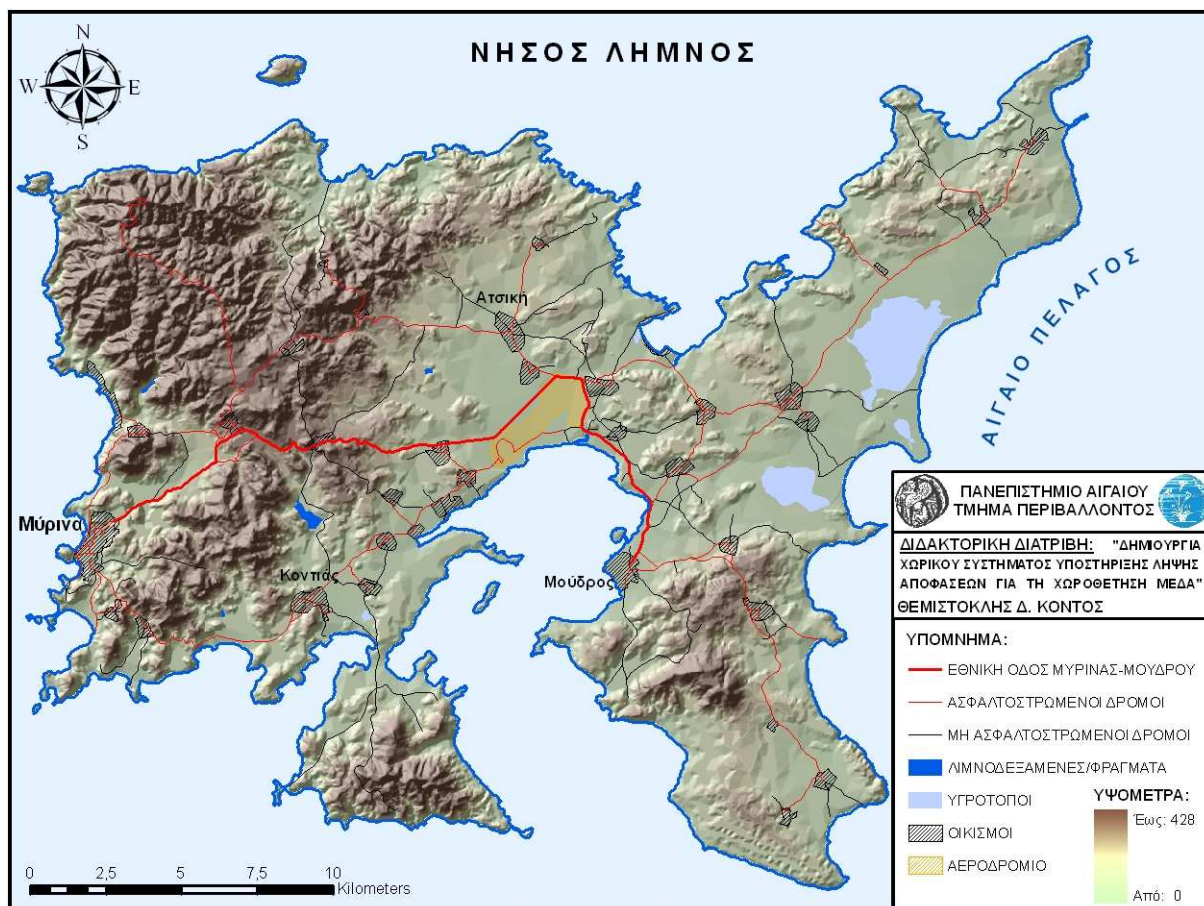
Με τη βοήθεια του *TIN* και των εργαλείων μορφολογικής ανάλυσης των *ΣΓΠ*, μπορούν να δημιουργηθούν κάποια πολύ χρήσιμα δεδομένα, όπως υψομετρικά σημεία, προσανατολισμός, κλίσεις, ισοϋψείς καμπύλες, μηκοτομές, ογκομετρική ανάλυση (*volumentric analysis*), ανάλυση ορατότητας (*visibility analysis*) και φυσικά ανάλυση της μορφολογίας της περιοχής με την εμφάνιση του ανάγλυφου της.

3.3.22. Μορφολογία

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, για τη δημιουργία του *TIN* της νήσου Λήμνου απαιτήθηκε η εισαγωγή δεδομένων τα οποία περιείχαν πληροφορία που αφορούσε υψόμετρα. Για αυτόν το λόγο, θεωρήθηκε απαραίτητη η κωδικοποίηση των ισοϋψών καμπυλών της νήσου, από σαρωμένους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. Οι ισοϋψείς καμπύλες των συγκεκριμένων τοπογραφικών χαρτών έχουν ισοδιάσταση 20 μέτρα, ενώ θεωρήθηκε απαραίτητη η κωδικοποίηση ενδιάμεσων ισοϋψών (ισοδιάστασης 10 μέτρων) όπου ήταν διαθέσιμες. Επίσης, για την πιο λεπτομερή ανάλυση του *μοντέλου επιφανείας*, θεωρήθηκε αναγκαία η κωδικοποίηση περίπου 500 σημείων με γνωστά υψόμετρα, τα οποία αναπαριστούν είτε κορυφές βουνών, είτε σημεία επί ενδιάμεσων ισοϋψών καμπυλών.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που κωδικοποιήθηκαν με τη βοήθεια των εργαλείων μορφολογικής ανάλυσης που παρέχουν τα *ΣΓΠ*, δημιουργήθηκε το *TIN* της νήσου Λήμνου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθεί το *Ψηφιακό Μοντέλο Ανύψωσης (Digital Elevation Model – DEM)*. Ως *DEM* ορίζεται ένα κανονικό πλέγμα σε μορφή κανάβου, κάθε στοιχείο του οποίου εκφράζει το διάστημα μεταξύ των δειγματοληπτικών σημείων που χρησιμοποιούνται. Κάθε στοιχείο του κανάβου έχει ως ιδιότητα το υψόμετρο του συγκεκριμένου σημείου. Συνήθως, το υψόμετρο είναι ένας πραγματικός αριθμός έτσι ώστε να είναι δυνατή η ακριβής καταγραφή μικρών υψομετρικών διαφορών (E.S.R.I. 1992b).

Το *DEM* που δημιουργήθηκε βρίσκεται σε μορφή κανάβου (*lattice*), στο οποίο η επιφάνεια αναπαρίσταται χρησιμοποιώντας σημεία ελέγχου σε οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση ανά 100 μέτρα και σχετίζονται με ένα κοινό υψομετρικό σημείο αναφοράς όπως είναι το επίπεδο της θάλασσας. Στον χάρτη 3.16 φαίνεται το ανάγλυφο της νήσου Λήμνου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις διαδικασίες μορφολογικής ανάλυσης που εφαρμόστηκαν στα πλαίσια της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

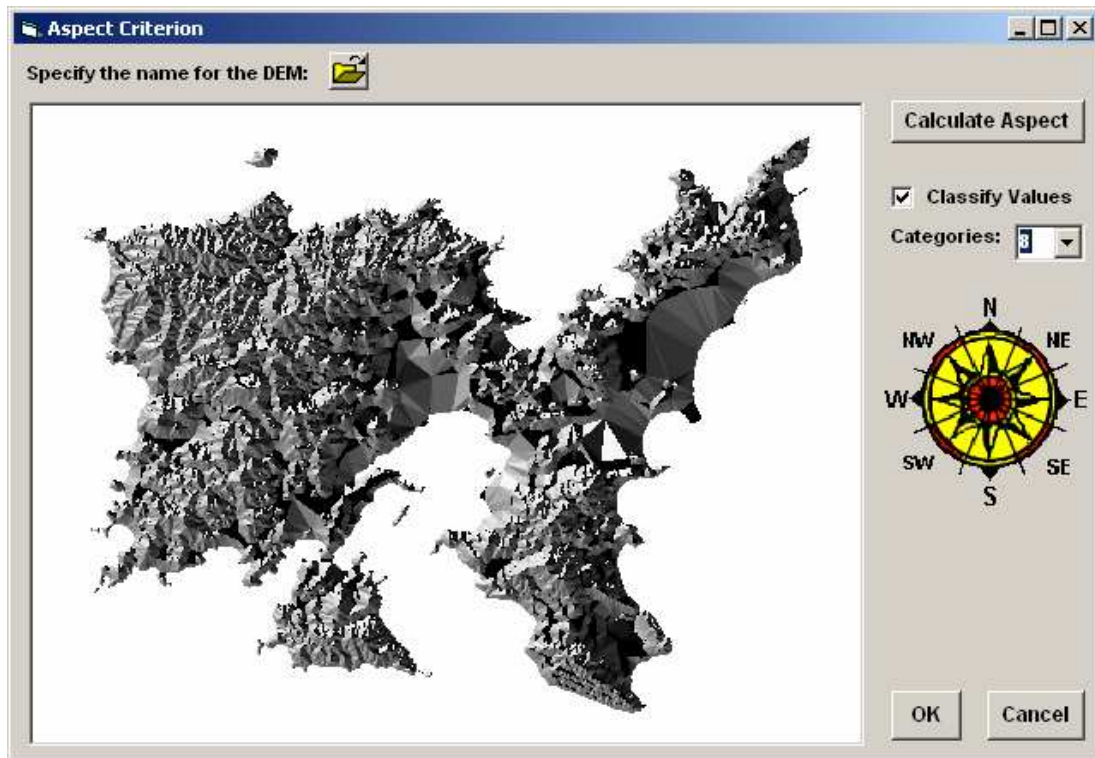


Χάρτης 3.16: Μορφολογία

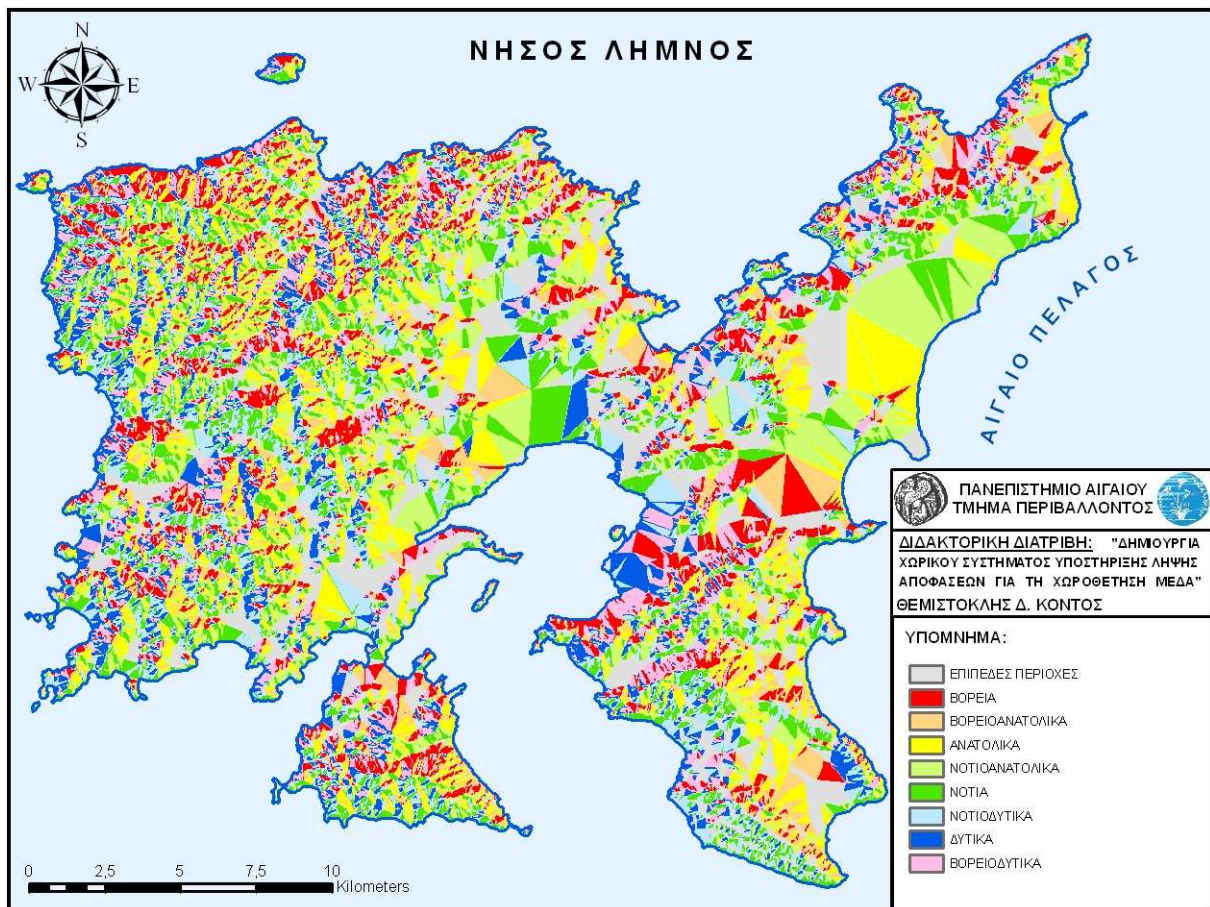
3.3.23. Προσανατολισμός

Με τη βοήθεια των εργαλείων μορφολογικής ανάλυσης που προσφέρουν τα ΣΓΠ, μπορεί να προσδιοριστεί ο προσανατολισμός της κάθε περιοχής. Ως προσανατολισμός (aspect) ορίζεται η κατεύθυνση στον ορίζοντα που βλέπει ένας παρατηρητής από οποιοδήποτε σημείο και εξαρτάται από την μορφολογία της συγκεκριμένης περιοχής (E.S.R.I. 1992b). Για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού, δημιουργήθηκαν στο ΧΣΥΛΑ οι κατάλληλες ρουτίνες για την εκτέλεση των διαδικασιών μορφολογικής ανάλυσης και το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 3.7.

Ο προσανατολισμός της νήσου Λήμνου αποτυπώνεται στον χάρτη 3.17, χρησιμοποιώντας την κατηγοριοποίηση των αζιμούθιων που φαίνεται στον πίνακα 3.8 για τον προσδιορισμό των κατευθύνσεων.



Σχήμα 3.7: Το Παράθυρο Διαλόγου Προσδιορισμού του Προσανατολισμού



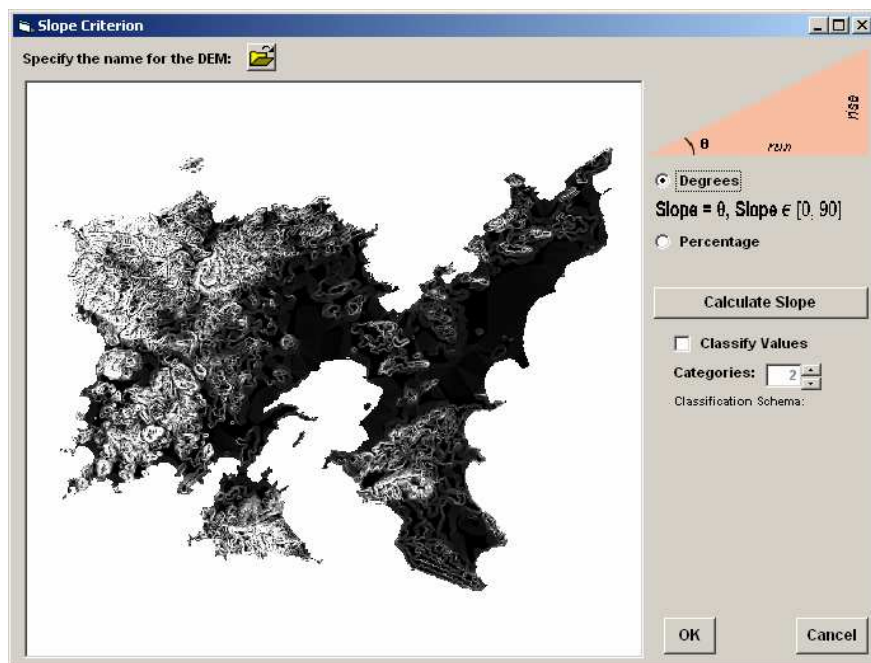
Χάρτης 3.17: Προσανατολισμός

Πίνακας 3.8: Κατηγοριοποίηση Κατευθύνσεων

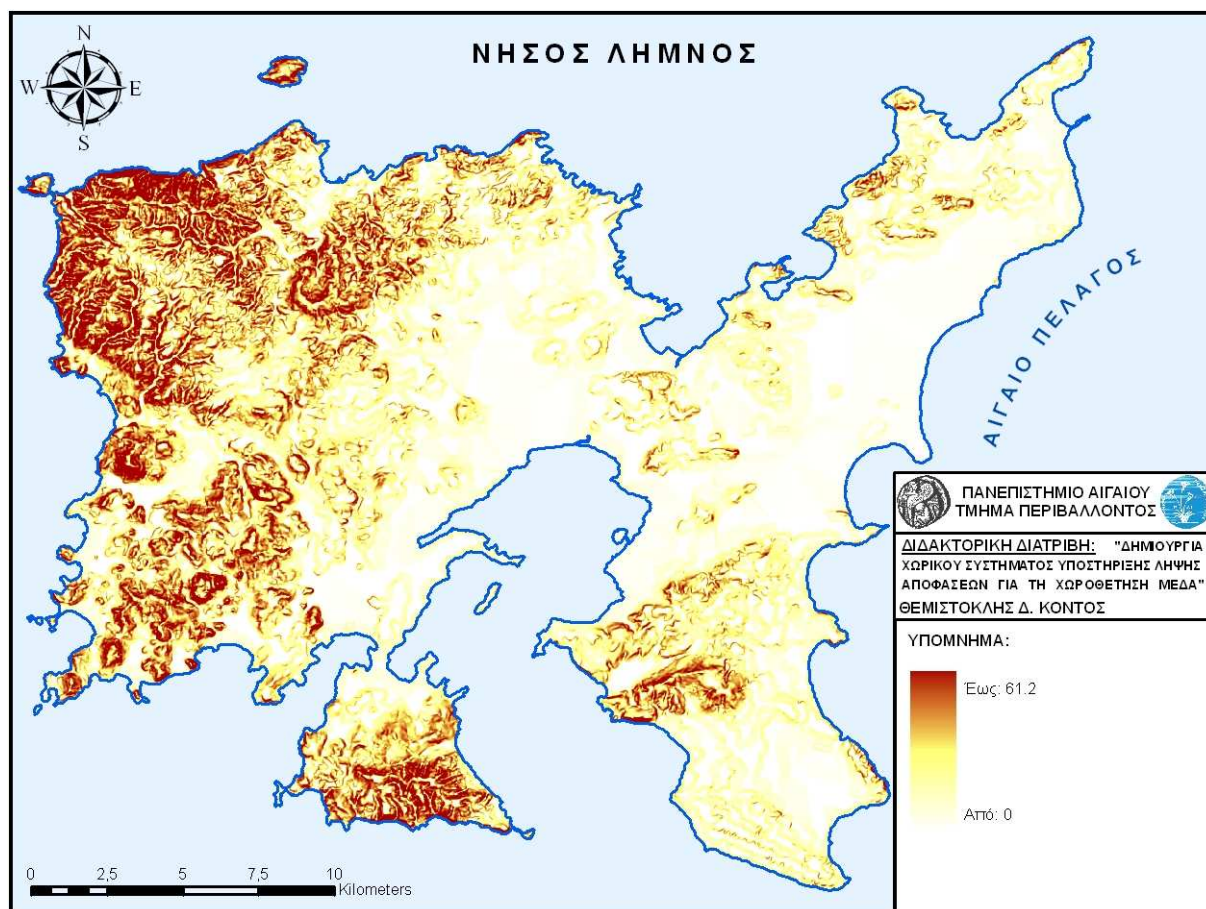
| A/A | Προσανατολισμός | Γωνίες |
|-----|-----------------------|----------------------|
| 1 | Βόρειος (B) | < 22.5° και > 337.5° |
| 2 | Βορειοανατολικός (BA) | 22.5° έως 67.5° |
| 3 | Ανατολικός (A) | 67.5° έως 112.5° |
| 4 | Νοτιοανατολικός (NA) | 112.5° έως 157.5° |
| 5 | Νότιος (N) | 157.5° έως 202.5° |
| 6 | Νοτιοδυτικός (NΔ) | 202.5° έως 247.5° |
| 7 | Δυτικός (Δ) | 247.5° έως 292.5° |
| 8 | Βορειοδυτικός (BΔ) | 292.5° έως 337.5° |

3.3.24. Κλίσεις

Με τη βοήθεια των εργαλείων μορφολογικής ανάλυσης που προσφέρουν τα ΣΓΠ, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των κλίσεων της κάθε περιοχής. Ως κλίση (slope) ορίζεται η μεταβολή του υψομέτρου, όταν διανύεται μια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ δύο σημείων και μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά από την πρώτη παράγωγο της συνάρτησης επιφανείας (E.S.R.I. 1992b). Για τον προσδιορισμό των κλίσεων δημιουργήθηκαν στο ΧΣΥΛΑ οι κατάλληλες ρουτίνες για την εκτέλεση των διαδικασιών μορφολογικής ανάλυσης και το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 3.8. Οι κλίσεις της νήσου Λήμνου που φαίνονται στον χάρτη 3.18, είναι εκφρασμένες σε μοίρες.



Σχήμα 3.8: Το Παράθυρο Διαλόγου Προσδιορισμού των Κλίσεων

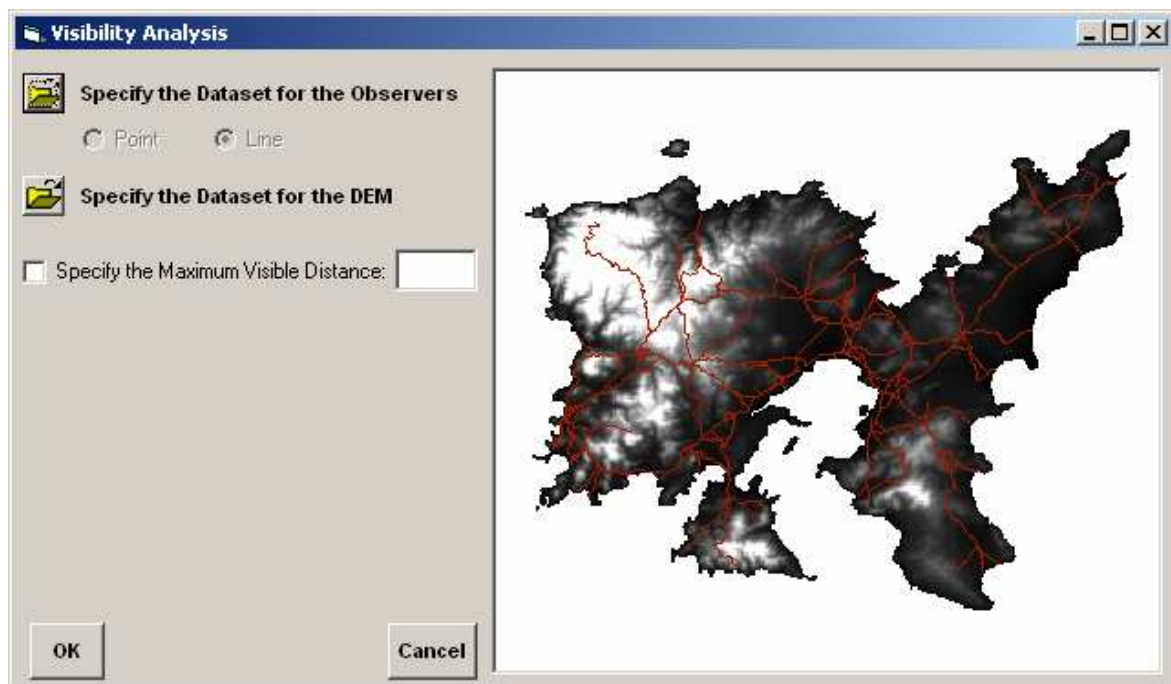


Χάρτης 3.18: Κλίσεις

3.3.25. Ανάλυση Ορατότητας

Με τα εργαλεία μορφολογικής ανάλυσης που προσφέρονται από τα ΣΓΠ, δίνονται πολλές δυνατότητες για την ανάλυση ορατότητας (visibility analysis). Η ανάλυση ορατότητας χρησιμοποιείται είτε για τον καθορισμό του πεδίου θέασης από διάφορα σημεία παρατήρησης (visibility), είτε για τον προσδιορισμό του κατά πόσο δύο ή περισσότερα σημεία είναι δυνατόν να βλέπουν το ένα το άλλο (line-of-sight intervisibility).

Για την ανάλυση ορατότητας πρέπει να καθοριστούν διάφορες χρήσιμες παράμετροι όπως οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες σάρωσης, ελάχιστη και μέγιστη απόσταση πεδίου ενόρασης. Για την εκτέλεση των πολύπλοκων χωρικών διαδικασιών της ανάλυσης ορατότητας, δημιουργήθηκαν στο ΧΣΥΛΑ οι κατάλληλες ρουτίνες και το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9: Το Παράθυρο Διαλόγου της Ανάλυσης Ορατότητας

3.4. Εξαγωγή των Συντελεστών Βαρύτητας

Η στάθμιση της σημαντικότητας των κριτηρίων είναι ένα από τα ζητήματα, στα οποία δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στα πλαίσια της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το μέγεθος της σημαντικότητας εκφράζεται αριθμητικά με μια τιμή η οποία ονομάζεται *συντελεστής βαρύτητας* ή *στάθμη σημαντικότητας* του κριτηρίου. Η τιμή του συντελεστή βαρύτητας έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς στις μεθόδους *πολυκριτηριακής ανάλυσης* παίζει έναν αντισταθμιστικό ρόλο. Για παράδειγμα, η περιοχή Α που αξιολογείται στο κριτήριο K_1 με πολύ μικρή βαθμολογία, έχει συγκριτικό πλεονέκτημα εάν στο κριτήριο K_2 που έχει υψηλότερο συντελεστή βαρύτητας, αξιολογείται με αρκετά υψηλή βαθμολογία.

Η κλίμακα των συντελεστών βαρύτητας, βάσει της θεωρίας των μεθόδων *πολυκριτηριακής ανάλυσης*, θα πρέπει να είναι από 0 έως 1, υπό τη συνθήκη ότι το άθροισμα όλων των συντελεστών βαρύτητας είναι η μονάδα. Η φυσική σημασία του συντελεστή βαρύτητας στα πολυκριτηριακά προβλήματα, είναι το επί τοις εκατό ποσοστό που συνεισφέρει η κάθε παράμετρος στον τελικό στόχο. Στη μεθοδολογία που παρουσιάζεται, προτείνονται δυο διαφορετικοί τρόποι καθορισμού των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων, οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά στην έκταση της υποκειμενικής κρίσης των ατόμων που εμπλέκονται στη συνολική διαδικασία, αλλά και στα σαφή επιστημονικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται.

3.4.1. Υποκειμενική Βαθμολόγηση

Είναι η συνήθης τεχνική που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας, σύμφωνα με την οποία τα άτομα που εμπλέκονται στη συνολική διαδικασία της χωροθέτησης κάποιας οχλούσας δραστηριότητας, δηλαδή οι επιστήμονες που χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία, οι τοπικές ή εθνικές αρχές (υπάλληλοι νομαρχίας, περιφέρειας, υπουργείου), αλλά και οι κάτοικοι της περιοχής, καλούνται να καθορίσουν και να αξιολογήσουν τα κριτήρια σε κλίμακα χειρίστου-βέλτιστου. Στη συγκεκριμένη τεχνική κυριαρχεί το στοιχείο της υποκειμενικότητας και είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα υπάρχουν αλληλοσυγκρουόμενες εκτιμήσεις για την ιεράρχηση των κριτηρίων. Για παράδειγμα, ένας κάτοικος της ευρύτερης περιοχής θα αξιολογήσει τα κριτήρια που αναφέρονται στα κοινωνικά χαρακτηριστικά με υψηλό συντελεστή βαρύτητας, ενώ ένας γεωλόγος τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, ένας οικολόγος τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά κλπ. Βέβαια, δίνεται η δυνατότητα στους επιστήμονες που καλούνται να εφαρμόσουν την μεθοδολογία, να έχουν αυξημένη βαρύτητα σε σχέση με τους υπόλοιπους, καθώς είναι σε θέση να βλέπουν με μια

ευρύτερη οπτική γωνία τις συνολικές διαστάσεις της χωροθέτησης, λόγω των ειδικών γνώσεων επί του θέματος.

Υπάρχουν τεχνικές, με τη βοήθεια των οποίων μπορεί να ληφθούν υπόψη οι κρίσεις όλων των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να καταλήξει σε μια συνολική αξιολόγηση και ιεράρχηση των κριτηρίων. Για παράδειγμα, με την *μέθοδο των Δελφών (Delphi)*, επαναλαμβάνεται η διαδικασία της αξιολόγησης δίνοντας διορθωτικές τιμές των συντελεστών βαρύτητας μέχρι να φτάσει ένα σημείο όπου υπάρχει η καλύτερη δυνατή σύγκλιση των απόψεων. Με το συγκεκριμένο τρόπο είναι δυνατό να ελαχιστοποιηθούν, κατά ένα ποσοστό, τα τοπικά φαινόμενα μη αποδοχής της δραστηριότητας καθώς οι κάτοικοι λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία αξιολόγησης (Merkhofer et al 1997, Lee και Jones-Lee 1994).

3.4.2. Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης

Η *Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης (MAI, Analytic Hierarchy Process - AHP)* είναι μια μέθοδος *πολυκριτηριακής ανάλυσης*, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον καθηγητή Saaty, στα τέλη της δεκαετίας του '70. Η *MAI* κίνησε το ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων από διαφορετικά γνωστικά πεδία όπως μαθηματικοί, οικονομολόγοι, μηχανικοί, γεωεπιστήμονες κ.α., κυρίως λόγω των απλών μαθηματικών ιδιοτήτων της. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της *MAI* που την κάνει να είναι ευρύτατα αποδεκτή, είναι ο μειωμένος βαθμός της υποκειμενικότητας στην *πολυκριτηριακή ανάλυση* του προβλήματος, καθώς και ότι τα απαραίτητα στοιχεία τα οποία πρέπει να υπάρχουν, είναι πολύ εύκολο να δημιουργηθούν.

Τα επιμέρους βήματα της *MAI* όπως προτάθηκαν από τον Saaty (1980), είναι τα εξής:

1. Δημιουργία της ιεραρχικής δομής του προβλήματος
2. Δημιουργία του πίνακα συγκρίσεων ανά ζεύγη
3. Έλεγχος συνάφειας
4. Υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ένα εργαλείο επίλυσης πολύπλοκων προβλημάτων και χρησιμοποιεί μια πολυεπίπεδη ιεραρχική δομή αποτελούμενη από τον στόχο, τα κριτήρια, τα υποκριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις. Χρησιμοποιείται τόσο για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων και των υποκριτηρίων τους, όσο και για τη βαθμολόγηση των εναλλακτικών λύσεων σε κάθε κριτήριο. Η *MIA*, όπως εφαρμόζεται για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων, απαιτεί αρχικά την δημιουργία ενός

αντισυμμετρικού πίνακα συγκρίσεων (*reciprocal pairwise comparison matrix*) όπου συγκρίνονται τα κριτήρια ανά ζεύγη. Οι συγκρίσεις γίνονται με φραστικό τρόπο, χρησιμοποιώντας φράσεις όπως «το κριτήριο A είναι πολύ πιο σημαντικό από το κριτήριο B». Η ποσοτικοποίηση των συγκρίσεων γίνεται με τη βοήθεια της κλίμακας που έχει εισάγει ο Saaty, και φαίνεται στον πίνακα 3.9. Βάσει της συγκεκριμένης κλίμακας, κάθε ακέραη τιμή αντιστοιχεί σε μια φραστική σύγκριση των κριτηρίων.

Πίνακας 3.9: Βαθμοί Σημαντικότητας των Συγκρίσεων ανά Ζεύγη στην MAI (Saaty 1980)

| Βαθμός Σημαντικότητας | Ορισμός | Επεξήγηση |
|-------------------------------|--|---|
| 1 | Ίδιας σημαντικότητας | Τα δύο κριτήρια συνεισφέρουν το ίδιο στον τελικό στόχο |
| 3 | Το κριτήριο A είναι λίγο πιο σημαντικό από το κριτήριο B | Η εμπειρία και η κρίση, ελαφρώς καταδεικνύει το κριτήριο A |
| 5 | Το κριτήριο A είναι αρκετά πιο σημαντικό από το κριτήριο B | Η εμπειρία και η κρίση, υποδεικνύει το κριτήριο A |
| 7 | Το κριτήριο A είναι πολύ πιο σημαντικό από το κριτήριο B | Η εμπειρία και η κρίση, υποδεικνύει το κριτήριο A και η υπεροχή του φαίνεται στην πράξη |
| 9 | Το κριτήριο A είναι απόλυτα πιο σημαντικό από το κριτήριο B | Η υπεροχή του κριτηρίου A βρίσκεται στον υψηλότερο βαθμό βεβαιότητας |
| Ενδιάμεσες τιμές (2,4,6,8) | Ενδιάμεσες τιμές σημαντικότητας μεταξύ των δύο γειτονικών διαβαθμίσεων | Όταν χρειάζεται κάποιος συμβιβασμός μεταξύ δύο διαβαθμίσεων |
| Αντίστροφες τιμές | Όταν το κριτήριο A έχει μια από τις προαναφερθείσες τιμές συγκρινόμενο με το κριτήριο B, τότε το κριτήριο B έχει την αντίστροφη τιμή συγκρινόμενο με το κριτήριο A | |

Ο πίνακας που προκύπτει από τις συγκρίσεις ανά ζεύγη όλων των δυνατών συνδυασμών των κριτηρίων, ονομάζεται *Πίνακας Συγκρίσεων ανά Ζεύγη (ΠΣΖ)*. Ο ΠΣΖ είναι ένας πίνακας

$n \times n$ (όπου n είναι το πλήθος των κριτηρίων) και έχει ως ιδιότητες, $\alpha_{ii} = 1$ και $\alpha_{ji} = 1/\alpha_{ij}$. Οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων, μπορούν να βρεθούν υπολογίζοντας το ιδιοδιάνυσμα της μέγιστης απόλυτης ιδιοτιμής του $\Pi\Sigma Z$. Στη συνέχεια, γίνεται έλεγχος για την ορθότητα των συγκρίσεων. Στην περίπτωση που ικανοποιούνται οι συνθήκες που απαιτούνται από την MAI , οι συντελεστές βαρύτητας προκύπτουν από τα επιμέρους στοιχεία του ιδιοδιανύσματος. Υπάρχουν πέντε προσεγγίσεις για την επίλυση της συγκεκριμένης μεθόδου, οι οποίες διαφέρουν στον βαθμό δυσκολίας ενσωμάτωσης τους στα υπολογιστικά συστήματα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν έχουν πολύ μικρή διαφορά μεταξύ τους, σε σημείο που είναι στην ευχέρεια του επιστήμονα που καλείται να εφαρμόσει την μεθοδολογία, να επιλέξει ποια μέθοδο θα χρησιμοποιήσει.

Στο Παράρτημα D, αναλύονται λεπτομερέστατα οι κυριότερες παραλλαγές της MAI . Στην παρούσα διατριβή έχει χρησιμοποιηθεί η *Πολλαπλασιαστική* μορφή της MAI , ενώ στο σχήμα 3.10, φαίνεται το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου υπολογισμού της, που έχει ενσωματωθεί στο ΧΣΥΛΑ.

The screenshot shows a dialog box titled "AHP PCM" with a table of comparison values for three criteria. Below the table is a "Consistency Check" section with numerical results and a comparison to a 0.1 threshold. There are "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

| | Criterion 1 | Criterion 2 | Criterion 3 | Weight |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Criterion 1 | 1 | 4 | 8 | 0,691 |
| Criterion 2 | 1/4 | 1 | 6 | 0,2491 |
| Criterion 3 | 1/8 | 1/6 | 1 | 0,0599 |

Consistency Check
 RI: 0,58 CI: 0,0678
 CR: 0,1169 > 0.1

Σχήμα 3.10: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της MAI

3.5. Βαθμολόγηση των Κριτηρίων

Η αξιολόγηση και βαθμολόγηση των περιοχών στα επιμέρους κριτήρια είναι ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα στο οποίο δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα. Η *MAI* θα ήταν μια καλή προσέγγιση, αλλά δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί λόγω του πολύ μεγάλου μεγέθους των δεδομένων. Σύμφωνα με τον Saaty, η *MAI* δεν μπορεί να εφαρμοστεί όταν το πλήθος των συγκρινόμενων παραμέτρων (n) υπερβαίνει τις δέκα, καθώς απαιτείται μεγάλος αριθμός συγκρίσεων που μπορεί να βρεθεί από τον τύπο $n(n-1)/2$.

Έχουν καταγραφεί διάφοροι τρόποι επίλυσης των πολυκριτηριακών προβλημάτων, όμως για την προτεινόμενη μεθοδολογία έχουν επιλεγεί οι μέθοδοι εκείνες που μπορούν να προσαρμοστούν κατάλληλα και να ενσωματωθούν στα *ΣΓΠ*, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το ολοκληρωμένο *ΧΣΥΛΑ*. Στο συγκεκριμένο στάδιο της μεθοδολογίας, γίνεται η βαθμολόγηση των περιοχών στα διάφορα κριτήρια που χρησιμοποιούνται. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, οι χωρικές παράμετροι που έχουν δημιουργηθεί σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του σχήματος 3.5, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες δεδομένων τα *συνεχή* και τα *διακριτά*. *Συνεχείς* είναι εκείνες οι παράμετροι που αναφέρονται σε κάποια μετρήσιμη ποσότητα όπως απόσταση, πληθυσμός, γωνία κλπ. *Διακριτές* είναι εκείνες οι παράμετροι που αναφέρονται σε κατηγορικά δεδομένα όπως τύποι εδαφοκάλυψης, υδρολιθολογική συμπεριφορά κ.α. Στην μεθοδολογία που προτείνεται, η βαθμολόγηση των *διακριτών* χωρικών παραμέτρων έγινε με *υποκειμενική αξιολόγηση*. Η βαθμολόγηση των *συνεχών* παραμέτρων έγινε με τη βοήθεια *Ασαφών Συνόλων*. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τρόποι βαθμολόγησης των περιοχών στα διάφορα κριτήρια όπως εφαρμόστηκαν στην προτεινόμενη μεθοδολογία.

3.5.1. Υποκειμενική Αξιολόγηση

Ο συγκεκριμένος τρόπος βαθμολόγησης, είναι μια από τις συνηθέστερες τεχνικές επίλυσης των πολυκριτηριακών προβλημάτων. Σύμφωνα με την *Υποκειμενική Αξιολόγηση*, γίνεται κατηγοριοποίηση των κριτηρίων σε έναν κάποιον αριθμό *τάξεων καταλληλότητας* (*performance classes*), η οποία κλιμακώνεται από την χειρίστη περίπτωση έως τη βέλτιστη και χρησιμοποιεί τις ενδιάμεσες καταστάσεις που αξιολογούνται αναλόγως. Η πιο συνήθης πρακτική, είναι η βαθμολόγηση των κατηγοριών στην κλίμακα 0 (χειρίστη περίπτωση) έως 10 (βέλτιστη περίπτωση), με τις τιμές που παρεμβάλλονται να αντιστοιχούν στις ενδιάμεσες καταστάσεις. Ο συγκεκριμένος τρόπος βαθμολόγησης είναι αυξημένης υποκειμενικότητας. Στα κριτήρια που εφαρμόζεται χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και η αξιολόγηση θα πρέπει να

γίνει από ειδικούς, ώστε να διερευνηθούν όλες οι πιθανές επιπτώσεις του συγκεκριμένου χωρικού χαρακτηριστικού.

3.5.2. Ασαφή Σύνολα

Η *Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic)* παρουσιάστηκε από τον Zadeh το 1965 και είναι μια λογική που επιτρέπει την αντίληψη ελάχιστων διαφοροποιήσεων σε διάφορες καταστάσεις. Διαφέρει σε σχέση με τη *Δυαδική Λογική* στο γεγονός ότι η *Δυαδική Λογική* βασίζεται στην απόλυτη διάκριση μιας κατάστασης βάσει κάποιων ορίων π.χ. σωστό ή λάθος (στην περίπτωση που εφαρμόζεται η παρούσα μεθοδολογία κατάλληλη ή ακατάλληλη περιοχή για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ). Αντίθετα, η *Ασαφής Λογική* θεωρεί αποδεκτές όλες τις ενδιάμεσες καταστάσεις που περιγράφουν το διάστημα σχεδόν σωστό/λάθος έως απόλυτα σωστό/λάθος.

Ένα *Ασαφές Σύνολο (Fuzzy Set) F* μιας κατάστασης X , περιγράφεται από τη *συνάρτηση συμμετοχής (membership function) $\mu_F(x)$* , η οποία αντιστοιχεί το σύνολο X στον χώρο $M \in [0, 1]$. Η *συνάρτηση συμμετοχής* περιγράφει τον βαθμό που ανήκει το x στο F . Όσο η τιμή της $\mu_F(x)$ πλησιάζει στο 1 τόσο περισσότερο το x ανήκει στο F (Zadeh 1965).

Στο ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε, περιλαμβάνονται συνολικά 21 *συναρτήσεις συμμετοχής* που ορίζονται από τις εξισώσεις 3.1 έως 3.21, των οποίων οι γραφικές παραστάσεις φαίνονται στα σχήματα 3.11 έως 3.31 και αναφέρονται στη συναφή βιβλιογραφία (Charnpratheep et al 1997, McBratney and Odeh, 1997, Jiang and Eastman, 2000, Robinson 2003).

Στις συναρτήσεις που αναφέρονται στη συνέχεια, $\mu_{F(x)}$ είναι η *συνάρτηση συμμετοχής* της παραμέτρου x , όπου x είναι μια συνεχής μεταβλητή όπως απόσταση, κλίση, έκταση και πληθυσμός. Το σύμβολο \mathcal{J} , υποδεικνύει ένα *ασαφές υποσύνολο (fuzzy singleton)*, ενώ το σύμβολο U υποδεικνύει την ένωση των *ασαφών υποσυνόλων*.

- Γραμμική Αύξουσα

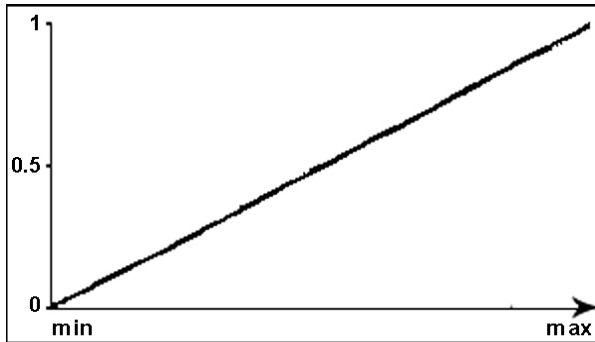
Η Γραμμική Αύξουσα είναι μια απλή γραμμική *συνάρτηση συμμετοχής*, η οποία για να εφαρμοστεί σε κάποια μεταβλητή x , αρκεί να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x .

$$\mu_F(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3.1)$$

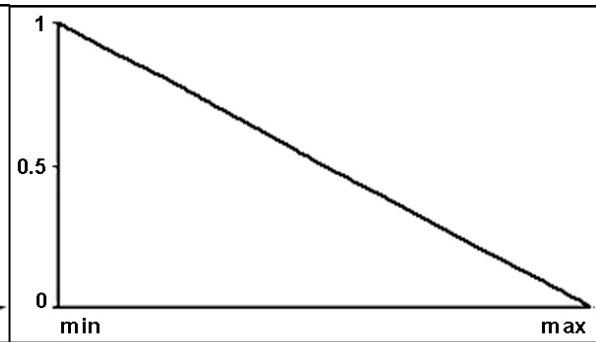
- Γραμμική Φθίνουσα

Η Γραμμική Φθίνουσα είναι μια απλή γραμμική *συνάρτηση συμμετοχής*, η οποία για να εφαρμοστεί σε κάποια μεταβλητή x , αρκεί να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x .

$$\mu_F(x) = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3.2)$$



Σχήμα 3.11: Γραμμική Αύξουσα

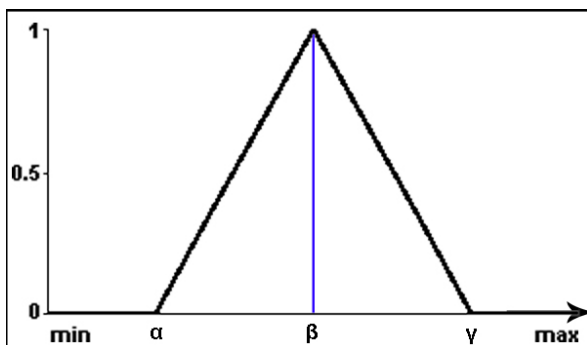


Σχήμα 3.12: Γραμμική Φθίνουσα

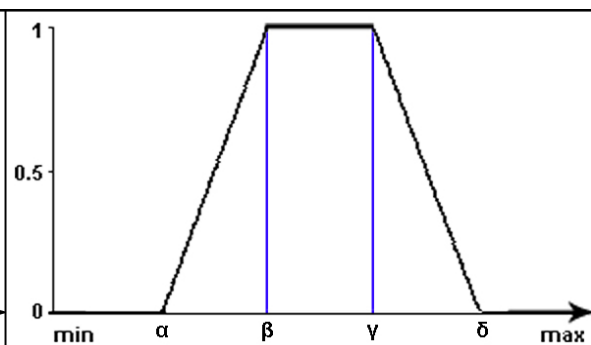
- Τριγωνική

Η Τριγωνική είναι μια σχετικά απλή *συνάρτηση συμμετοχής*, η οποία για να εφαρμοστεί σε κάποια μεταβλητή x , πρέπει να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x . Επίσης, πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β και γ . Η παράμετρος α ορίζει εκείνο το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 0. Η παράμετρος β ορίζει το σημείο το οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να αυξάνει γραμμικά μέχρι να πάρει την τιμή 1. Τέλος, η παράμετρος γ ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να φθίνει γραμμικά μέχρι να πάρει την τιμή 0.

$$\mu_F(x) = \int_{x_{\min}}^{\alpha} 0 \cup \int_{\alpha}^{\beta} \frac{x - \alpha}{\beta - \alpha} \cup \int_{\beta}^{\gamma} \frac{\gamma - x}{\gamma - \beta} \cup \int_{\gamma}^{x_{\max}} 0 \quad (3.3)$$



Σχήμα 3.13: Τριγωνική



Σχήμα 3.14: Τραπεζοειδής

- Τραπεζοειδής

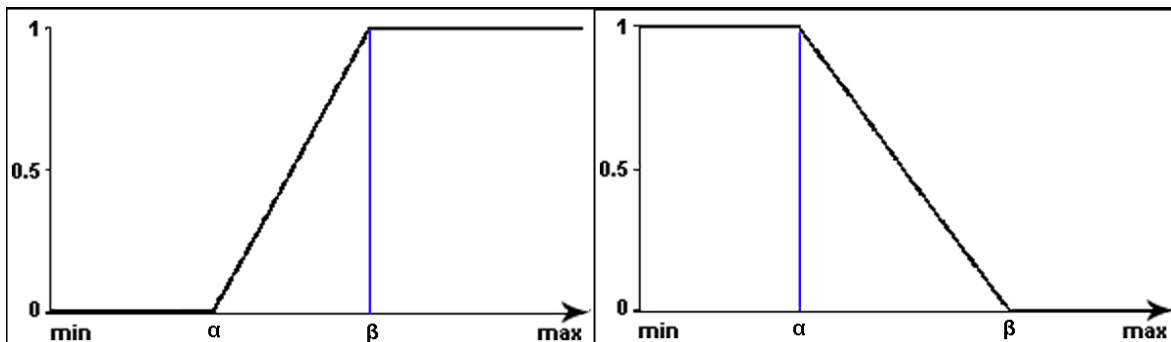
Η Τραπεζοειδής είναι μια σχετικά απλή *συνάρτηση συμμετοχής*, η οποία για να εφαρμοστεί σε κάποια μεταβλητή x , πρέπει να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x . Επίσης, πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β , γ και δ . Η παράμετρος α ορίζει εκείνο το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 0. Η παράμετρος β ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να αυξάνει γραμμικά μέχρι να πάρει την τιμή 1. Η παράμετρος γ ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 1. Τέλος, η παράμετρος δ ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να φθίνει γραμμικά μέχρι να πάρει την τιμή 0.

$$\mu_F(x) = \int_{x_{\min}}^{\alpha} 0 \cup \int_{\alpha}^{\beta} \frac{x - \alpha}{\beta - \alpha} \cup \int_{\beta}^{\gamma} 1 \cup \int_{\gamma}^{\delta} \frac{\delta - x}{\delta - \gamma} \cup \int_{\delta}^{x_{\max}} 0 \quad (3.4)$$

- Αύξουσα Τραπεζοειδής

Η Αύξουσα Τραπεζοειδής είναι μια σχετικά απλή *συνάρτηση συμμετοχής*, η οποία για να εφαρμοστεί σε κάποια μεταβλητή x , πρέπει να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x . Επίσης, πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , και β . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 0. Η παράμετρος β ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να αυξάνει γραμμικά μέχρι να πάρει την τιμή 1.

$$\mu_F(x) = \int_{x_{\min}}^{\alpha} 0 \cup \int_{\alpha}^{\beta} \frac{x - \alpha}{\beta - \alpha} \cup \int_{\beta}^{x_{\max}} 1 \quad (3.5)$$



Σχήμα 3.15: Αύξουσα Τραπεζοειδής

Σχήμα 3.16: Φθίνουσα Τραπεζοειδής

- Φθίνουσα Τραπεζοειδής

Η Φθίνουσα Τραπεζοειδής είναι μια σχετικά απλή *συνάρτηση συμμετοχής*, η οποία για να εφαρμοστεί σε κάποια μεταβλητή x , πρέπει να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x . Επίσης, πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , και β . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 1. Η παράμετρος β ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να φθίνει γραμμικά μέχρι να πάρει την τιμή 0.

$$\mu_F(x) = \int_{x_{\min}}^{\alpha} 1 \cup \int_{\alpha}^{\beta} \frac{\beta - x}{\beta - \alpha} \cup \int_{\beta}^{x_{\max}} 0 \quad (3.6)$$

- Θετική Gauss

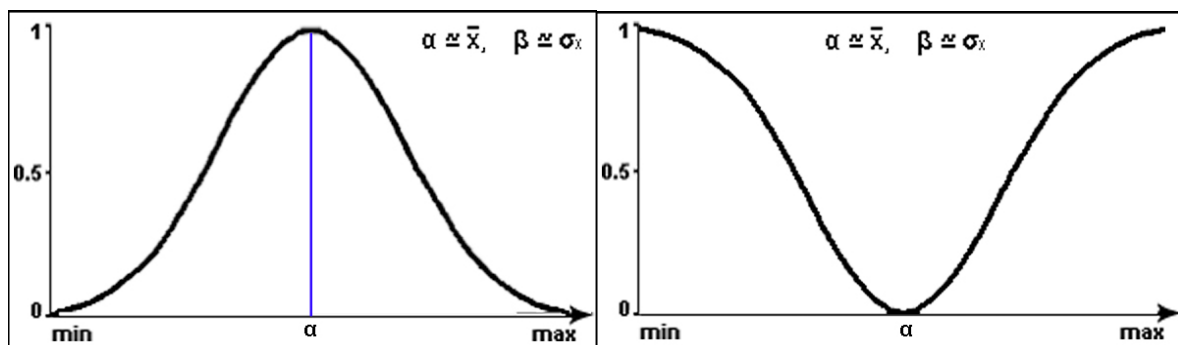
Η Θετική Gauss είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* η οποία προσαρμόζει την μεταβλητή x στην *κανονική κατανομή*. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α και β . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ θα πάρει την τιμή 1. Η παράμετρος β ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης. Τυπικές τιμές των παραμέτρων για να πλησιάσουν την *κανονική κατανομή*, είναι $\alpha \approx \mu_x$ και $\beta \approx \sigma_x$.

$$\mu_F(x) = e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2} \quad (3.7)$$

- Αρνητική Gauss

Η Αρνητική Gauss είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* η οποία προσαρμόζει την μεταβλητή x στην *αντίστροφη κανονική κατανομή*. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , και β με τρόπο ανάλογο με εκείνον της Θετικής Gauss.

$$\mu_F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2} \quad (3.8)$$



Σχήμα 3.17: Θετική Gauss

Σχήμα 3.18: Αρνητική Gauss

- Θετική Εκθετική

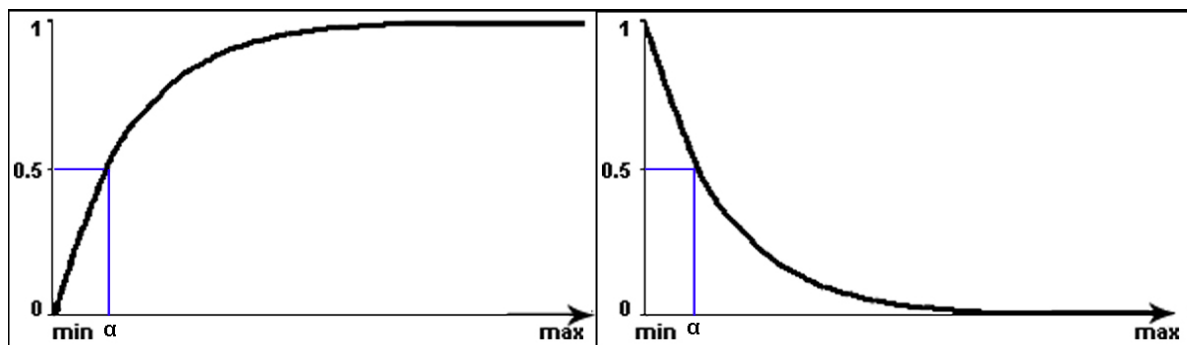
Η Θετική Εκθετική είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* σύμφωνα με την οποία η μεταβλητή x αυξάνει εκθετικά. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή του x και να οριστεί η παράμετρος α , η οποία ορίζει το σημείο στο οποίο η $\mu_F(x)$ θα πάρει την τιμή 0.5 (*crossover point*).

$$\mu_F(x) = 1 - e^{-0.69315 \left(\frac{x - x_{\min}}{\alpha - x_{\min}} \right)} \quad (3.9)$$

- Αρνητική Εκθετική

Η Αρνητική Εκθετική είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* σύμφωνα με την οποία η μεταβλητή x φθίνει εκθετικά. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή του x και να οριστεί η παράμετρος α , η οποία είναι το *crossover point*.

$$\mu_F(x) = e^{-0.69315 \left(\frac{x - x_{\min}}{\alpha - x_{\min}} \right)} \quad (3.10)$$



Σχήμα 3.19: Θετική Εκθετική

Σχήμα 3.20: Αρνητική Εκθετική

- Αύξουσα S-Shape (S^+)

Η Αύξουσα S-Shape είναι μια σύνθετη αύξουσα *συνάρτηση συμμετοχής* δευτέρου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x . Επίσης, πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α και β . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 0. Η παράμετρος β ορίζει το σημείο από το οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να παίρνει την τιμή 1. Το *crossover point*, είναι το σημείο γ το οποίο έχει τιμή $(\alpha + \beta) / 2$.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & , x \in [x_{\min}, \alpha] \\ 2 \left(\frac{x-\alpha}{\beta-\alpha} \right)^2 & , x \in [\alpha, \gamma] \\ 1 - 2 \left(\frac{x-\beta}{\beta-\alpha} \right)^2 & , x \in [\gamma, \beta] \\ 1 & , x \in [\beta, x_{\max}] \end{cases} \quad (3.11)$$

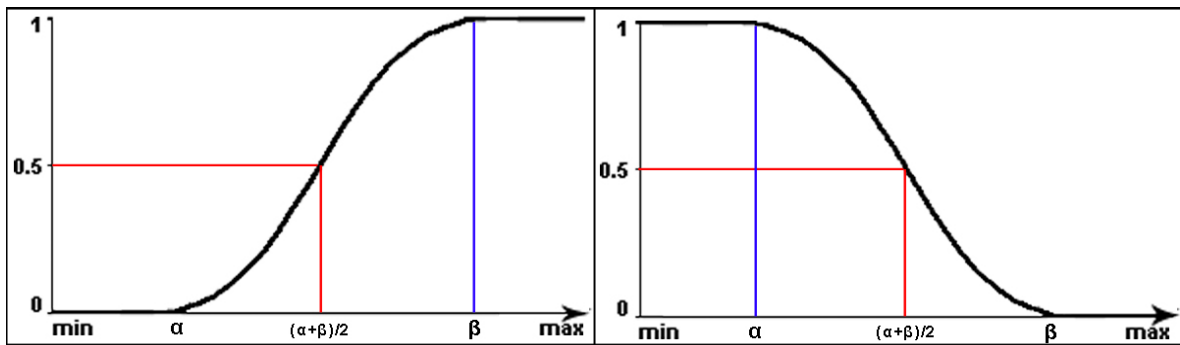
$$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}, \quad x_{\min} \leq \alpha \leq \gamma \leq \beta \leq x_{\max}$$

- Φθίνουσα S-Shape (S^-)

Η Φθίνουσα S-Shape είναι μια σύνθετη φθίνουσα *συνάρτηση συμμετοχής* δευτέρου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να υπολογιστούν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του x . Επίσης, πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α και β . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 1. Η παράμετρος β ορίζει το σημείο από το οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να παίρνει την τιμή 0. Το *crossover point*, είναι το σημείο γ που έχει τιμή $(\alpha + \beta) / 2$.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 1 & , x \in [x_{\min}, \alpha] \\ 1 - 2 \left(\frac{x-\alpha}{\beta-\alpha} \right)^2 & , x \in [\alpha, \gamma] \\ 2 \left(\frac{x-\beta}{\beta-\alpha} \right)^2 & , x \in [\gamma, \beta] \\ 0 & , x \in [\beta, x_{\max}] \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}, \quad x_{\min} \leq \alpha \leq \gamma \leq \beta \leq x_{\max}$$



Σχήμα 3.21: Αύξουσα S-Shape (S^+)

Σχήμα 3.22: Φθίνουσα S-Shape (S^-)

- Αύξουσα Σιγμοειδής

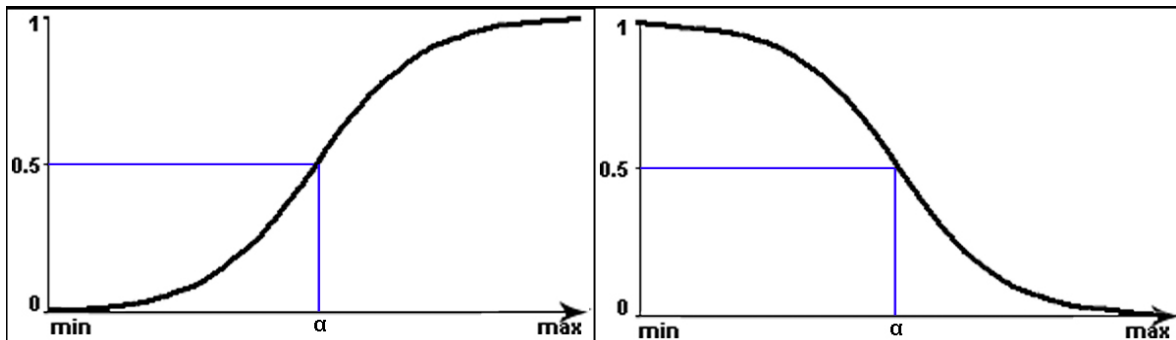
Η Αύξουσα Σιγμοειδής είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* σύμφωνα με την οποία η μεταβλητή x αυξάνει εκθετικά. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστεί η παράμετρος α , η οποία είναι το *crossover point*.

$$\mu_F(x) = \frac{1}{1 + e^{-0.01(x-\alpha)}} \quad (3.13)$$

- Φθίνουσα Σιγμοειδής

Η Φθίνουσα Σιγμοειδής είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* σύμφωνα με την οποία η μεταβλητή x φθίνει εκθετικά. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστεί η παράμετρος α , η οποία είναι το *crossover point*.

$$\mu_F(x) = \frac{1}{1 + e^{0.01(x-\alpha)}} \quad (3.14)$$



Σχήμα 3.23: Αύξουσα Σιγμοειδής

Σχήμα 3.24: Φθίνουσα Σιγμοειδής

- Γενικευμένη Καμπανοειδής

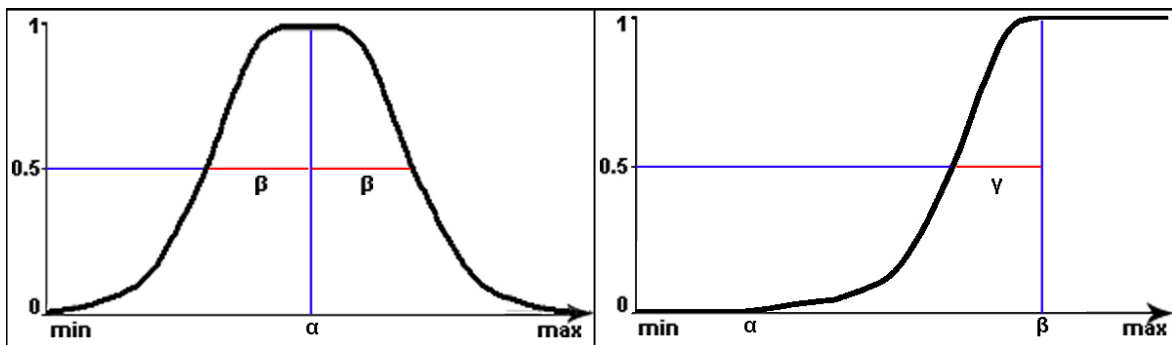
Η Γενικευμένη Καμπανοειδής είναι μια *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β και ρ . Η παράμετρος α είναι το σημείο το οποίο έχει την τιμή 1, η παράμετρος β είναι η απόσταση του *crossover point* από την παράμετρο α και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης.

$$\mu_F(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\rho} \quad (3.15)$$

- Αύξουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής

Η Αύξουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής είναι μια σύνθετη *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β , γ και ρ . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 0, η παράμετρος γ είναι η απόσταση του *crossover point*, η παράμετρος β ορίζει το σημείο από το οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να παίρνει την τιμή 1 και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & , x \in [x_{\min}, \alpha] \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \beta}{\gamma}\right)^\rho} & , x \in (\alpha, \beta] \\ 1 & , x \in (\beta, x_{\max}] \end{cases} \quad (3.16)$$



Σχήμα 3.25: Γενικευμένη Καμπανοειδής

Σχήμα 3.26: Αύξουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής

- Φθίνουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής

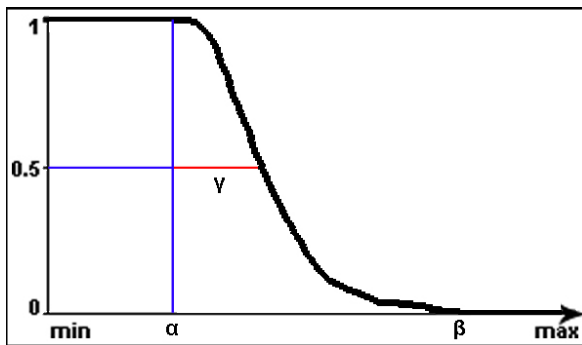
Η Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I είναι μια σύνθετη *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β , γ και ρ . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 1, η παράμετρος γ είναι η απόσταση του *crossover point*, η παράμετρος β ορίζει το σημείο από το οποίο η $\mu_F(x)$ αρχίζει να παίρνει την τιμή 0 και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 1 & , x \in [x_{\min}, \alpha] \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \alpha}{\gamma}\right)^\rho} & , x \in (\alpha, \beta] \\ 0 & , x \in (\beta, x_{\max}] \end{cases} \quad (3.17)$$

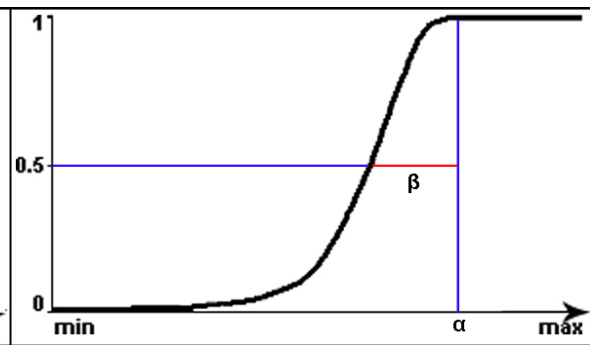
- Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I

Η Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I είναι μια σύνθετη *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β και ρ . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 0, η παράμετρος β είναι η απόσταση του *crossover point* και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \alpha}{\beta}\right)^\rho} & , x \in [x_{\min}, \alpha] \\ 1 & , x \in (\alpha, x_{\max}] \end{cases} \quad (3.18)$$



Σχήμα 3.27: Φθίνουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής



Σχήμα 3.28: Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I

- Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I

Η Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I, είναι μια σύνθετη *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β και ρ . Η παράμετρος α ορίζει το σημείο μέχρι το οποίο η $\mu_F(x)$ έχει την τιμή 1, η παράμετρος β είναι η απόσταση του *crossover point* και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης.

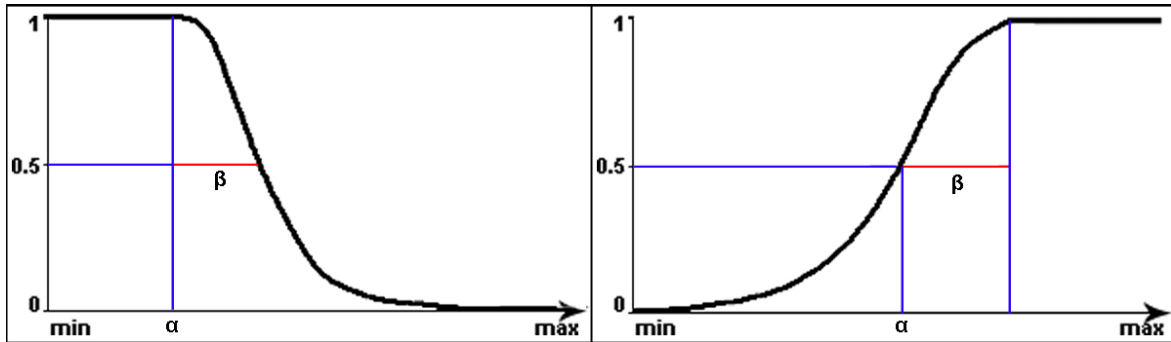
$$\mu_F(x) = \begin{cases} 1 & , x \in [x_{\min}, \alpha] \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \alpha}{\beta}\right)^\rho} & , x \in (\alpha, x_{\max}] \end{cases} \quad (3.19)$$

- Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου II

Η Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου II είναι μια σύνθετη *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β και ρ . Η

παράμετρος α είναι το *crossover point*, η παράμετρος β είναι η απόσταση της παραμέτρου α από το σημείο το οποίο έχει τιμή 1 και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \alpha - \beta}{\beta}\right)^\rho}, & x \in [x_{\min}, (\alpha + \beta)] \\ 1, & x \in ((\alpha + \beta), x_{\max}] \end{cases} \quad (3.20)$$



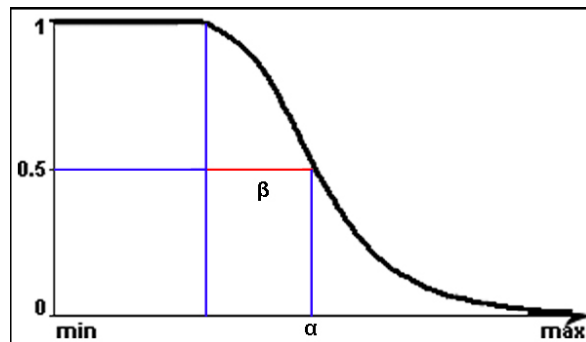
Σχήμα 3.29: Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου I

Σχήμα 3.30: Αύξουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου II

- Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου II

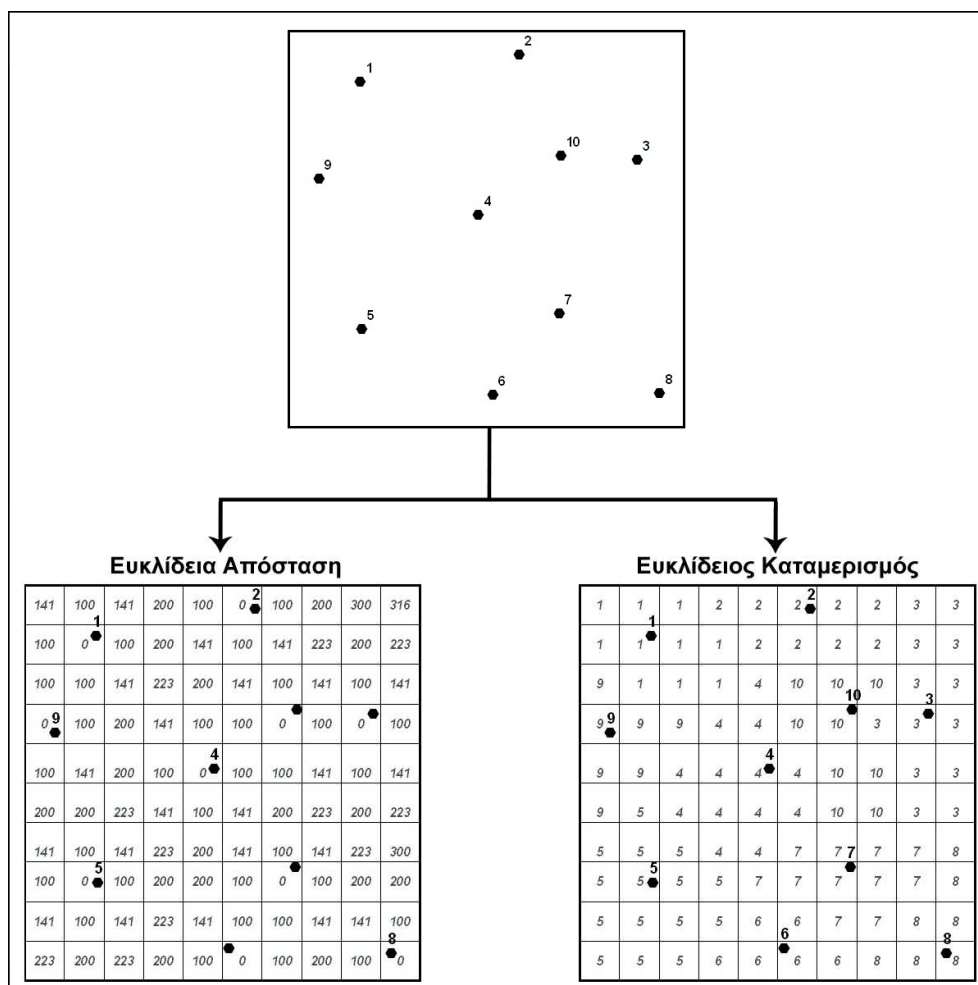
Η Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου II είναι μια σύνθετη *συνάρτηση συμμετοχής* ανώτερου βαθμού. Για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να οριστούν οι παράμετροι α , β και ρ . Η παράμετρος α είναι το *crossover point*, η παράμετρος β είναι η απόσταση της παραμέτρου α από το σημείο το οποίο έχει τιμή 0 και η παράμετρος ρ είναι ένας άρτιος αριθμός ο οποίος ορίζει το άνοιγμα της καμπύλης

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \alpha - \rho}{\beta}\right)^\rho}, & x \in [x_{\min}, (\alpha + \beta)] \\ 1, & x \in ((\alpha + \beta), x_{\max}] \end{cases} \quad (3.21)$$



Σχήμα 3.31: Φθίνουσα Γενικευμένη Καμπανοειδής Τύπου II

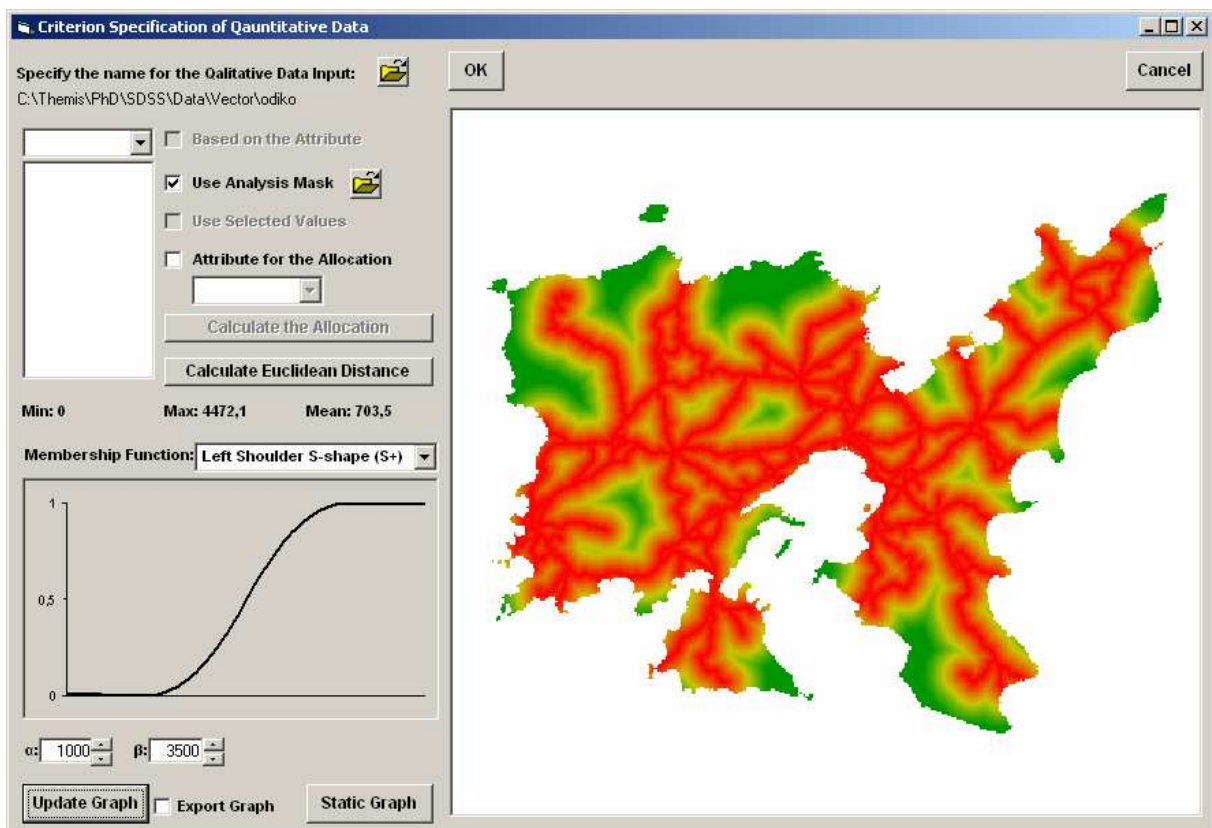
Οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν δεν εφαρμόστηκαν άμεσα στις παραμέτρους που λαμβάνονταν υπόψη, αλλά σε ενδιάμεσες παραμέτρους που προέκυπταν από διάφορες χωρικές διαδικασίες. Στη συνέχεια περιγράφονται οι κυριότερες χωρικές διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν στην προτεινόμενη μεθοδολογία, η *Ευκλείδεια Απόσταση* και ο *Ευκλείδειος Καταμερισμός*. Η θεμελιώδης αρχή που βασίζονται οι συγκεκριμένες χωρικές διαδικασίες, είναι ο υπολογισμός της ευθείας απόστασης δύο σημείων στον *Καρτεσιανό Χώρο*. Οι συγκεκριμένες χωρικές διαδικασίες χωρίζουν την περιοχή μελέτης σε κελιά και στη συνέχεια υπολογίζουν την ελάχιστη απόσταση του κάθε κελιού από όλα τα χωρικά χαρακτηριστικά της παραμέτρου που μελετάται. Η διαφορά των δύο χωρικών διαδικασιών, όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.32, είναι η ιδιότητα που καταγράφεται τελικά στο κάθε κελί. Στην *Ευκλείδεια Απόσταση* καταγράφεται η απόσταση του κελιού από το πλησιέστερο χωρικό χαρακτηριστικό. Στον *Ευκλείδειο Καταμερισμό* καταγράφεται κάποια προκαθορισμένη ιδιότητα του πλησιέστερου χωρικού χαρακτηριστικού.



Σχήμα 3.32: Χωρικές Διαδικασίες, *Ευκλείδεια Απόσταση* και *Ευκλείδειος Καταμερισμός*

Για την εφαρμογή των πολύπλοκων συναρτήσεων συμμετοχής αλλά και την εκτέλεση των χωρικών διαδικασιών της *Ευκλείδειας Απόστασης* και του *Ευκλείδειου Καταμερισμού*, δημιουργήθηκε στο ΧΣΥΛΑ μια ειδική μονάδα για την αυτόματη εκτέλεση των χωρικών διαδικασιών και την εφαρμογή των *συναρτήσεων συμμετοχής*, με τρόπο πολύ εύκολο για τον χρήστη.

Στο σχήμα 3.33, φαίνεται ένα απλό παράδειγμα για την εκτέλεση της *συνάρτησης συμμετοχής* Αύξουσα S-Shape (S^+) στο ένα ενδιάμεσο αρχείο που δημιουργήθηκε από το αποτέλεσμα της χωρικής διαδικασίας της *Ευκλείδειας Απόστασης* από το οδικό δίκτυο, χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους $\alpha = 1000$ και $\beta = 3500$.

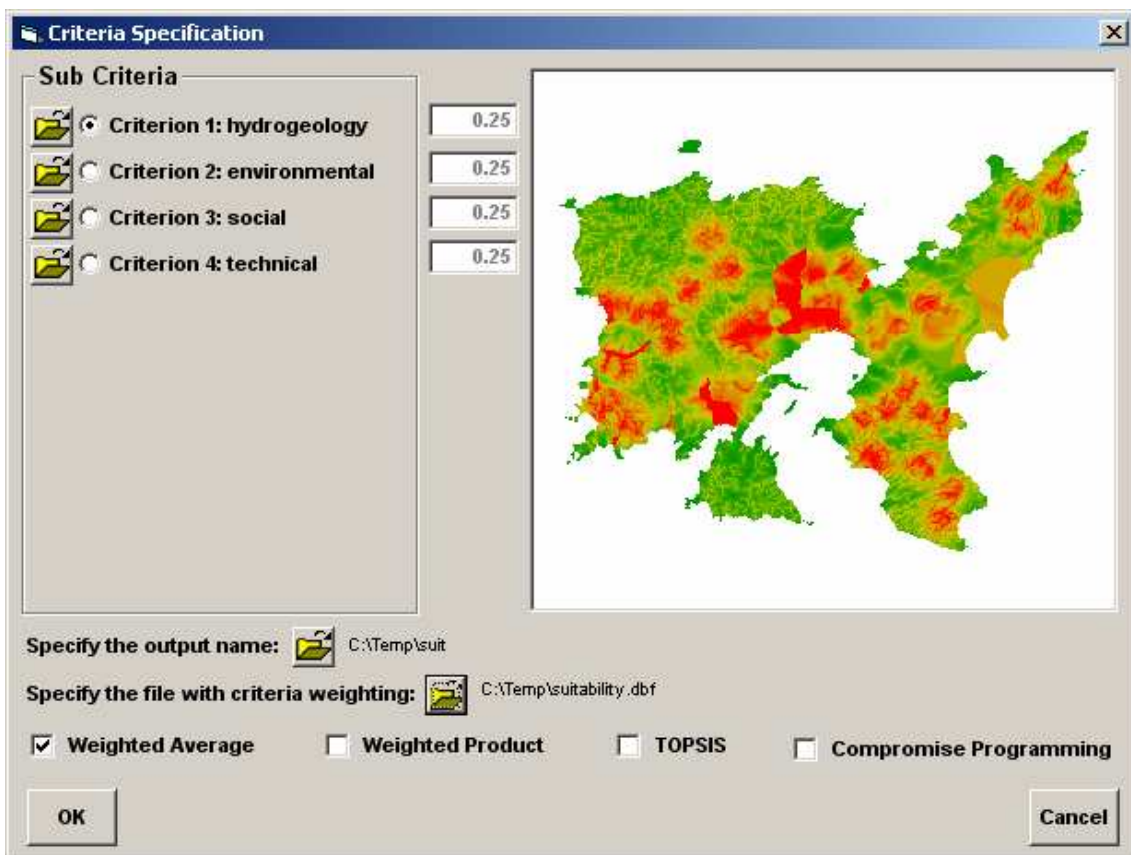


Σχήμα 3.33: Το Παράθυρο Διαλόγου για τη Βαθμολόγηση των Κριτηρίων με τη Βοήθεια των Ασαφών Συνόλων

3.6. Συγκρότηση των Κριτηρίων - Υπολογισμός του Δείκτη καταλληλότητας

Για να επιλυθεί το πολυκριτηριακό πρόβλημα που δημιουργήθηκε βάσει της ιεραρχικής δομής του σχήματος 3.5, θα πρέπει ξεκινώντας από το επίπεδο 5 της ιεραρχικής δομής δηλαδή τις χωρικές και μη-χωρικές παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη, πηγαίνοντας ένα επίπεδο μικρότερο κάθε φορά, τελικά να υπολογιστεί ο δείκτης καταλληλότητας. Για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας θα πρέπει να έχουν προηγηθεί τα προηγούμενα στάδια που περιγράφηκαν, δηλαδή η βαθμολόγηση όλων των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη και ο υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας όλων των κριτηρίων και των υποκριτηρίων τους.

Βασικές προϋποθέσεις για την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος είναι η επιλογή της κλίμακας του δείκτη καταλληλότητας. Στην παρούσα διατριβή, επιλέχθηκε η κλίμακα βαθμολόγησης των κριτηρίων, να ακολουθεί την κλίμακα 0 έως 1 των βαθμών συμμετοχής των ασαφών συνόλων. Με τη συγκεκριμένη κλίμακα, 0 έχουν οι ακατάλληλες περιοχές, ενώ 1 έχουν οι πλέον κατάλληλες περιοχές για τη χωροθέτηση κάποιας δραστηριότητας. Επίσης, οι συντελεστές βαρύτητας, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, έχουν την ίδια κλίμακα, υπό τη συνθήκη ότι το άθροισμα τους είναι η μονάδα.



Σχήμα 3.34: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό του Δείκτη Καταλληλότητας

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία επιλέχθηκαν ως μέθοδοι επίλυσης του πολυκριτηριακού προβλήματος η μέθοδος του *Σταθμισμένου Μέσου*, η μέθοδος του *Σταθμισμένου Γινομένου*, η *TOPSIS* και ο *Συμβιβαστικός Προγραμματισμός*. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν για την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος, ενώ στο σχήμα 3.34 φαίνεται το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου που δημιουργήθηκε στο ΧΣΥΛΑ, για τον υπολογισμό τους.

3.6.1. Μέθοδος του Σταθμισμένου Μέσου

Η μέθοδος του *Σταθμισμένου Μέσου* (*Weighted Mean - Weighted Average*) είναι η πιο γνωστή και διαδεδομένη αθροιστική μέθοδος επίλυσης πολυκριτηριακών προβλημάτων (Yoon and Hwang 1995). Ένας περιορισμός που υπάρχει στην μέθοδο του *Σταθμισμένου Μέσου*, είναι ότι θα πρέπει οι βαθμολογίες των εναλλακτικών περιοχών στις διάφορες παραμέτρους να είναι στην ίδια μετρική κλίμακα. Ο συγκεκριμένος περιορισμός ικανοποιείται στην προτεινόμενη μεθοδολογία, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι βαθμολογίες βρίσκονται στην κλίμακα 0 έως 1 ακολουθώντας την κλίμακα των *βαθμών συμμετοχής των ασαφών συνόλων*. Για τον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας* αθροίζεται η συνεισφορά που έχει η κάθε παράμετρος στον τελικό στόχο, με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.22.

$$\Delta_i = \frac{\sum_{j=1}^{\mu} \beta_{ij} * w_j}{\sum_{j=1}^{\mu} w_j} \quad \sum_{j=1}^{\mu} w_j = 1 \quad \Rightarrow \quad \Delta_i = \sum_{j=1}^{\mu} \beta_{ij} * w_j \quad (3.22)$$

Όπου, Δ_i , ο *δείκτης καταλληλότητας* της εναλλακτικής περιοχής i , $i \in [1, \nu]$,
 β_{ij} , η βαθμολογία της εναλλακτικής περιοχής i στο κριτήριο j , $j \in [1, \mu]$,
 w_j , ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου j ,
 ν , το πλήθος των εναλλακτικών περιοχών,
 μ , το πλήθος των κριτηρίων.

Η γενικευμένη μορφή της μεθόδου μπορεί να αποδοθεί υπό την αλγεβρική της μορφή ως εξής, έστω ότι τα δεδομένα με τις βαθμολογίες της περιοχής μελέτης σε όλες τις παραμέτρους, υπάρχουν σε έναν πίνακα $\mathbf{B}_{\nu \times \mu}$ όπου ν είναι το πλήθος των εναλλακτικών περιοχών και μ είναι το πλήθος των παραμέτρων. Επίσης, έστω ότι οι συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων που λαμβάνονται υπάρχουν σε έναν πίνακα γραμμή $\mathbf{W}_{1 \times \mu}$. Ο

αλγεβρικός υπολογισμός του δείκτη καταλληλότητας, με τη βοήθεια της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου, μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.23.

$$\text{Έστω } \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & . & . & . & \beta_{1\mu} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ \beta_{\nu 1} & . & . & . & \beta_{\nu \mu} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{W}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 \\ . \\ . \\ . \\ \mathbf{w}_\mu \end{bmatrix}, \quad \text{τότε}$$

$$\mathbf{\Delta} = \mathbf{B} * \mathbf{W}^T \Rightarrow \mathbf{\Delta} = \begin{bmatrix} \beta_{11} * \mathbf{w}_1 + \dots + \beta_{1\mu} * \mathbf{w}_\mu \\ . \\ . \\ . \\ \beta_{\nu 1} * \mathbf{w}_\mu + \dots + \beta_{\nu \mu} * \mathbf{w}_\mu \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Όπως φαίνεται από τις εξισώσεις 3.22 και 3.23, οι παράμετροι εκείνες οι οποίες έχουν μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας, συνεισφέρουν περισσότερο στην τιμή του δείκτη καταλληλότητας σε σχέση με εκείνες τις παραμέτρους που έχουν μικρότερο συντελεστή βαρύτητας. Σε περίπτωση που όλοι οι συντελεστές βαρύτητας έχουν την ίδια τιμή, δηλαδή όλες οι παράμετροι συνεισφέρουν το ίδιο, τότε ο Σταθμισμένος Μέσος έχει την ίδια τιμή με τον Αριθμητικό Μέσο.

Μια παραλλαγή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου λαμβάνει υπόψη την κατανομή των τιμών των βαθμολογιών που έχουν οι εναλλακτικές περιοχές στις διάφορες παραμέτρους (Bevington and Robinson 1992). Σε περίπτωση που οι βαθμολογίες προέρχονται από διαφορετικές κατανομές με γνωστή διακύμανση σ_j^2 , τότε ένας τρόπος υπολογισμού του δείκτη καταλληλότητας χωρίς την εκ των προτέρων γνώση των συντελεστών βαρύτητας, μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.24.

$$\Delta_i = \frac{\sum_{j=1}^{\mu} \left(\frac{\beta_{ij}}{\sigma_j^2} \right)}{\sum_{j=1}^{\mu} \left(\frac{1}{\sigma_j^2} \right)} \quad (3.24)$$

3.6.2. Μέθοδος του Σταθμισμένου Γινομένου

Η μέθοδος του Σταθμισμένου Γινομένου (*Weighted Product*) ή μέθοδος του Σταθμισμένου Γεωμετρικού Μέσου (*Weighted Geometric Mean*) είναι μια πολλαπλασιαστική μέθοδος επίλυσης πολυκριτηριακών προβλημάτων (Yoon and Hwang 1995). Το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι δεν προϋποθέτει την ύπαρξη των βαθμολογιών σε κοινή κλίμακα. Ο μοναδικός περιορισμός που υπάρχει, είναι ότι θα πρέπει οι βαθμολογίες των εναλλακτικών περιοχών στις διάφορες παραμέτρους να είναι μεγαλύτερες από την μονάδα. Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος του Σταθμισμένου Γινομένου, οι συντελεστές βαρύτητας γίνονται εκθέτες οι οποίοι έχουν θετικό πρόσημο όταν η παράμετρος επηρεάζει θετικά και αρνητικό πρόσημο όταν η παράμετρος επηρεάζει αρνητικά. Ο υπολογισμός του δείκτη καταλληλότητας με τη μέθοδο του Σταθμισμένου Γινομένου, μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.25.

$$\Delta_i = \sqrt[\sum_{j=1}^{\mu} w_j]{\prod_{j=1}^{\mu} (\beta_{ij}^{w_j})} \quad \sum_{j=1}^{\mu} w_j = 1 \quad \Rightarrow \quad \Delta_i = \prod_{j=1}^{\mu} (\beta_{ij}^{w_j}) \quad (3.25)$$

Η εκθετική μορφή του Σταθμισμένου Γινομένου, μπορεί να δοθεί με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.26.

$$\Delta_i = e^{\left(\frac{\sum_{j=1}^{\mu} w_j \cdot \ln(\beta_{ij})}{\sum_{j=1}^{\mu} w_j} \right)} \quad \sum_{j=1}^{\mu} w_j = 1 \quad \Rightarrow \quad \Delta_i = e^{\sum_{j=1}^{\mu} w_j \cdot \ln(\beta_{ij})} \quad (3.26)$$

3.6.3. TOPSIS

Η Τεχνική της Διάταξης των Προτιμήσεων μέσω της Ομοιότητας προς την Ιδανική Λύση (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS*) αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon στις αρχές της δεκαετίας του '80. Η συγκεκριμένη μέθοδος βρίσκει μεγάλη απήχηση στους επιστήμονες, καθώς αποτελεί πλέον μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές επίλυσης πολυκριτηριακών προβλημάτων (Chen et al 2001, Cheng et al 2003, Olson 2004, Jahanshahloo et al 2006a and 2006b).

Οι Hwang και Yoon ισχυρίζονται ότι κάθε πολυκριτηριακό πρόβλημα μπορεί να ειπωθεί ως ένα γεωμετρικό σύστημα (Hwang and Yoon 1981). Οι n εναλλακτικές λύσεις οι οποίες

αξιολογούνται σε μ παραμέτρους, στην ουσία αποτελούν έναν γεωμετρικό χώρο ο οποίος έχει ν σημεία σε μ διαστάσεις. Οπότε η προτιμότερη εναλλακτική λύση, θα είναι εκείνο το σημείο στον μ -διάστατο χώρο το οποίο θα είναι πλησιέστερο στην ιδανική λύση αλλά ταυτόχρονα θα είναι μακρύτερα από τη χειρίστη λύση. Η *TOPSIS* ορίζει τον δείκτη ομοιότητας (*similarity index*) ή σχετική εγγύτητα (*relative closeness*), ο οποίος συνδυάζει την εγγύτητα ως προς της ιδανική λύση (*positive-ideal solution*) αλλά και την απόσταση από την χειρίστη λύση (*negative-ideal solution*). Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλύεται ακολουθώντας τα βήματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Αρχικά, κανονικοποιούνται οι βαθμολογίες των εναλλακτικών, χρησιμοποιώντας τη διανυσματική κανονικοποίηση που φαίνεται στην εξίσωση 3.27.

$$r_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{\mu} \beta_{ij}^2}} \quad (3.27)$$

Όπου, r_{ij} , η κανονικοποιημένη βαθμολογία της εναλλακτικής περιοχής i στο κριτήριο j , $i \in [1, \nu]$ και $j \in [1, \mu]$,
 β_{ij} , η βαθμολογία της εναλλακτικής περιοχής i στο κριτήριο j ,
 ν , το πλήθος των εναλλακτικών περιοχών,
 μ , το πλήθος των κριτηρίων.

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.28, υπολογίζονται οι σταθμισμένες κανονικοποιημένες βαθμολογίες (v_{ij}) των εναλλακτικών, πολλαπλασιάζοντας τις κανονικοποιημένες βαθμολογίες με τους συντελεστές βαρύτητας των αντίστοιχων παραμέτρων (w_j).

$$v_{ij} = r_{ij} * w_j \quad (3.28)$$

Στο επόμενο βήμα της μεθόδου, προσδιορίζονται η ιδανική λύση (A^*) και η χειρίστη λύση (A^-) για κάθε κριτήριο. Για να προσδιοριστούν τα A^* θα πρέπει για κάθε κριτήριο να προσδιοριστεί το μέγιστο v_{ij} αν η παράμετρος j επηρεάζει θετικά ή να προσδιοριστεί το ελάχιστο v_{ij} αν η παράμετρος j επηρεάζει αρνητικά. Αντίστοιχα, για να προσδιοριστούν τα A^- θα πρέπει για κάθε κριτήριο να προσδιοριστεί το ελάχιστο v_{ij} αν η παράμετρος j επηρεάζει

θετικά ή να προσδιοριστεί το μέγιστο \mathbf{v}_{ij} αν η παράμετρος j επηρεάζει αρνητικά. Στην εξίσωση 3.29, φαίνεται πώς προσδιορίζονται \mathbf{A}^* και \mathbf{A}^- .

$$\mathbf{A}^* = \{\mathbf{v}_1^*, \mathbf{v}_2^*, \dots, \mathbf{v}_\mu^*\} \quad \text{και} \quad \mathbf{A}^- = \{\mathbf{v}_1^-, \mathbf{v}_2^-, \dots, \mathbf{v}_\mu^-\} \quad (3.29)$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αποστάσεις διαχωρισμού (*separation measures*). Οι αποστάσεις διαχωρισμού υπολογίζονται μετρώντας τις Ευκλείδειες αποστάσεις των εναλλακτικών από την ιδανική λύση (\mathbf{S}_i^*) και τη χειρίστη λύση (\mathbf{S}_i^-), στον μ -διάστατο χώρο, με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.30.

$$\mathbf{S}_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{\mu} (\mathbf{v}_{ij} - \mathbf{v}_j^*)^2} \quad \text{και} \quad \mathbf{S}_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{\mu} (\mathbf{v}_{ij} - \mathbf{v}_j^-)^2} \quad (3.30)$$

Τέλος, προσδιορίζονται οι ομοιότητες των εναλλακτικών με τη βέλτιστη λύση υπολογίζοντας τον δείκτη ομοιότητας (\mathbf{C}_i^*), με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.31.

$$\mathbf{C}_i^* = \frac{\mathbf{S}_i^-}{\mathbf{S}_i^* + \mathbf{S}_i^-} \quad (3.31)$$

Ο δείκτης ομοιότητας μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 1, όπου 0 αντιστοιχεί στη χειρίστη λύση, ενώ 1 αντιστοιχεί στη βέλτιστη λύση.

3.6.4. Μέθοδος του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού

Η Μέθοδος του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού (*Compromise Programming*) είναι μια αρκετά γνωστή μέθοδος επίλυσης πολυκριτηριακών προβλημάτων που αναπτύχθηκε από τους Yu και Zeleny, στην αρχή της δεκαετίας του '70 (Yu 1973, Zeleny 1973 και 1974). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα σε προβλήματα χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης, λόγω της ευκολίας εφαρμογής της αλλά και του τελικού αποτελέσματος που δίνει ένα μέτρο απόστασης της κάθε εναλλακτικής περίπτωσης σε σχέση με τη βέλτιστη (Tkach and Simonovic 1997, Chen et al 2001, Cheng et al 2003).

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μια τεχνική μαθηματικού προγραμματισμού, η οποία χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι εναλλακτικές που βρίσκονται πιο κοντά στη βέλτιστη λύση.

Οι συγκεκριμένες περιπτώσεις ονομάζονται *συμβιβαστικές περιπτώσεις* και αποτελούν το *συμβιβαστικό σύνολο*. Ως βέλτιστη περίπτωση, θεωρείται εκείνη που παρουσιάζει την καλύτερη δυνατή τιμή σε όλα τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη.

Το μέγεθος της διαφοράς μεταξύ της κάθε εναλλακτικής περίπτωσης σε σχέση με τη βέλτιστη ονομάζεται *μετρική απόσταση (metric distance)* και είναι μια συνάρτηση της τιμής των εναλλακτικών στα διάφορα κριτήρια, των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων και της σημαντικότητας της μέγιστης απόκλισης από τη βέλτιστη περίπτωση. Η *μετρική απόσταση* της κάθε εναλλακτικής από τη βέλτιστη λύση, μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της εξίσωσης 3.32.

$$L_j = \left[\sum_{i=1}^n w_i^p * \left(\frac{\beta_{\max} - \beta_{ij}}{\beta_{\max} - \beta_{\min}} \right)^p \right]^{1/p} \quad (3.32)$$

- όπου L_i , η μετρική απόσταση της εναλλακτικής i
 β_{ij} , η βαθμολογία της εναλλακτικής i στο κριτήριο j
 β_{\max} , η βέλτιστη τιμή του κριτηρίου j
 β_{\min} , η χειρίστη τιμή του κριτηρίου j
 w_j , ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου j
 p , πραγματικός αριθμός που ισχύει $1 \leq p \leq \infty$

Η παράμετρος p που χρησιμοποιείται στην εξίσωση 3.32, αντιπροσωπεύει τη σημαντικότητα της μέγιστης απόκλισης από τη βέλτιστη περίπτωση. Ο Zeleny αναφέρει ότι οι πιθανές τιμές που μπορεί να πάρει η μεταβλητή είναι 1 όταν όλες οι αποκλίσεις θεωρούνται ίδιας σημαντικότητας, 2 όταν κάθε απόκλιση από τη βέλτιστη τιμή σταθμίζεται σε σχέση με τη σημαντικότητα της και ∞ όταν επιτυγχάνεται το μέγιστο-ελάχιστο κριτήριο (Zeleny 1982).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΡΟΣ Ι – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική περιγραφή των κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του *δείκτη καταλληλότητας*, σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του σχήματος 3.5. Σε γενικές γραμμές, ο τρόπος που ακολουθείται για την επίλυση του συγκεκριμένου πολυκριτηριακού προβλήματος, είναι με φορά από τα δεξιά προς τα αριστερά. Δηλαδή, ξεκινώντας από τη δημιουργία των χωρικών ή μη χωρικών παραμέτρων και πηγαίνοντας ένα βήμα προς τα αριστερά κάθε φορά, τελικά υπολογίζεται ο *δείκτης καταλληλότητας*.

Για τη βαθμολόγηση των παραμέτρων, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει διαφοροποίηση στην προσέγγιση που ακολουθείται. Σε ό,τι αφορά τις *διακριτές* παραμέτρους χρησιμοποιείται η *υποκειμενική βαθμολόγηση*, χρησιμοποιώντας πίνακες αξιολόγησης που βασίζονται στην διεθνή πρακτική και εμπειρία. Η βαθμολόγηση των *συνεχών* παραμέτρων γίνεται με τη βοήθεια των *ασαφών συνόλων*. Η εξαγωγή των συντελεστών βαρύτητας γίνεται με τη βοήθεια της *MAI*, όπου για κάθε επίπεδο δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι *Πίνακες Συγκρίσεων ανά Ζεύγη* και τελικά υπολογίζονται οι συντελεστές βαρύτητας. Ο υπολογισμός των κριτηρίων κάποιου συγκεκριμένου επιπέδου, από τις παραμέτρους που το αποτελούν, μπορεί να γίνει με κάποια από τις μεθόδους που περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.6.

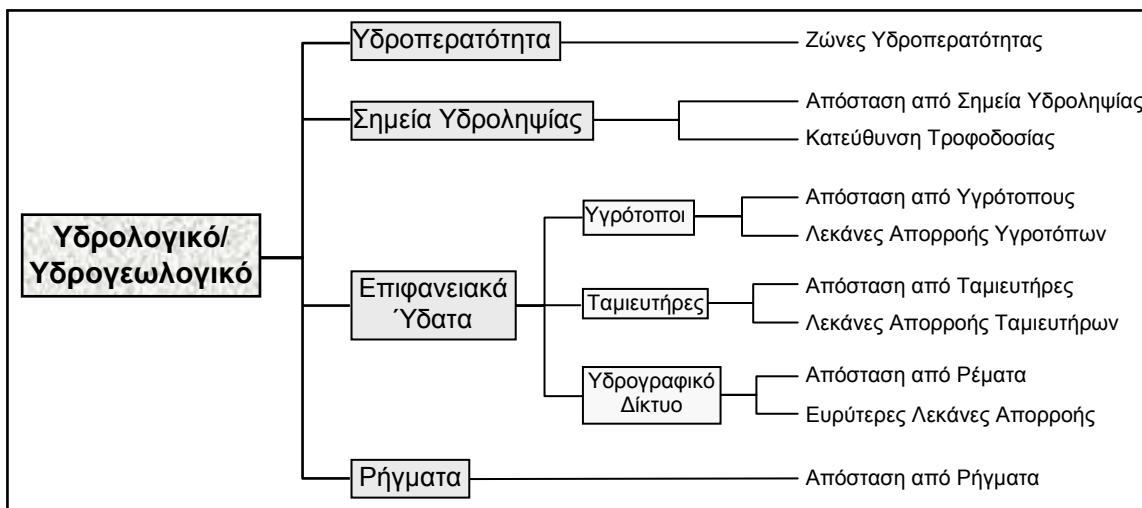
Για τον υπολογισμό των κριτηρίων που ανήκουν στα επίπεδα από 2 έως 5 του σχήματος 3.5, χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος του *Σταθμισμένου Μέσου (ΣΜ)*, ακολουθώντας τον *νόμο της φειδωλότητας* ο οποίος υπαγορεύει να προτιμώνται τα γραμμικά μοντέλα επίλυσης (Thorburn 1918). Σε αρκετές περιπτώσεις όμως, χρησιμοποιείται η μέθοδος του *Σταθμισμένου Γινόμενου (ΣΓ)*. Ο λόγος που χρησιμοποιείται η μέθοδος του *ΣΓ* αντί της *ΣΜ*, είναι για να εξασφαλίζεται η μηδενική βαθμολογία σε συγκεκριμένες περιοχές. Υπάρχουν κάποιες παράμετροι, στις οποίες η νομοθεσία απαγορεύει ρητώς την εγκατάσταση οποιασδήποτε οχλούσας δραστηριότητας εντός κάποιας συγκεκριμένης απόστασης. Για το συγκεκριμένο λόγο, γίνεται προσπάθεια να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη η βαθμολογία στις συγκεκριμένες περιοχές, ώστε να αξιολογούνται ως πλέον ακατάλληλες για τη χωροθέτηση μιας *ΜΕΔΑ*. Αυτό όμως να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επηρεάζει τις υπόλοιπες περιοχές, οι οποίες έχουν διαφορετική επίπτωση στη συγκεκριμένη παράμετρο. Η μέθοδος του *ΣΓ*, λόγω της πολλαπλασιαστικής της μορφής, εξασφαλίζει ότι αν έστω και μία παράμετρος ενός κριτηρίου έχει μηδενική βαθμολογία, τότε εξ ορισμού το αποτέλεσμα της βαθμολογίας του συγκεκριμένου κριτηρίου θα είναι μηδέν. Ταυτόχρονα, στις υπόλοιπες μη

μηδενικές περιοχές, η τιμή της τελικής βαθμολογίας θα προκύπτει από το γεωμετρικό μέσο όρο των επιμέρους βαθμολογιών.

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται αναλυτική περιγραφή όλων των κριτηρίων, από το επίπεδο 2 έως το επίπεδο 5 του σχήματος 3.5. Επίσης, όπου υπάρχει αντίστοιχη αναφορά στη νομοθεσία, καταδεικνύεται το νομικό καθεστώς που αφορά τις παραμέτρους. Σε ότι αφορά το πρώτο επίπεδο, δηλαδή τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας, υπάρχει αναλυτική περιγραφή στο Κεφάλαιο 5.

4.1. Κριτήριο Απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό”

Το κριτήριο απόφασης προστασίας των υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων έχει σκοπό την προστασία των επιφανειακών αλλά και των υπόγειων υδάτων, από την πιθανότητα ρύπανσης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1, το οποίο είναι το τμήμα της ιεραρχικής δομής του σχήματος 3.5 που αφορά τις υδρολογικές και υδρογεωλογικές παραμέτρους, το συγκεκριμένο κριτήριο απόφασης αποτελείται από τέσσερις επιμέρους παραμέτρους. Συγκεκριμένα τα κριτήρια αξιολόγησης είναι η υδροπερατότητα, τα σημεία υδροληψίας, τα επιφανειακά ύδατα και τα ρήγματα.



Σχήμα 4.1: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό”

Η σημαντικότητα του συγκεκριμένου κριτηρίου θεωρείται πολύ μεγάλη, καθώς η προστασία των επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων πρέπει να είναι αυξημένης προτεραιότητας στη διαδικασία της χωροθέτησης κάθε οχλούσας δραστηριότητας. Η πιθανή ρύπανση των

υδάτων έχει δυσμενείς και κάποιες φορές μη αναστρέψιμες συνέπειες στο περιβάλλον αλλά και στον άνθρωπο. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά, όλες οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στο υδρολογικό/υδρογεωλογικό κριτήριο.

4.1.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Υδροπερατότητα”

Η οριοθέτηση περιοχών χαμηλής επικινδυνότητας, όσον αφορά την πιθανότητα ρύπανσης υπόγειων υδατικών πόρων και έργων υδροληψίας, θεωρείται ως μια από τις κρισιμότερες παραμέτρους στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ. Η Ελληνική νομοθεσία είναι ασαφής όσον αφορά την προστασία των υπόγειων υδάτων και των σημείων υδροληψίας, σε ότι αφορά την υγειονομική ταφή των αστικών απορριμμάτων. Συγκεκριμένα, η ΚΥΑ Ε1β/301/64 αναφέρει ότι «η περιοχή διαθέσεως δεν θα ευρίσκεται άνωθεν αγωγών υδραγωγείου και τα αποστραγγιζόμενα εκ βροχής ύδατα δεν θα δύνανται να μολύνουν φρέατα ή ετέρας πηγές ποσίμου ύδατος». Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με την ΚΟ 99/31/ΕΚ, αναφέρει ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη υπόγειων υδάτων και να ικανοποιούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις, εκ φύσεως ή με τεχνικά μέσα, για την αποτροπή ρύπανσης του εδάφους ή των υπόγειων υδάτων.

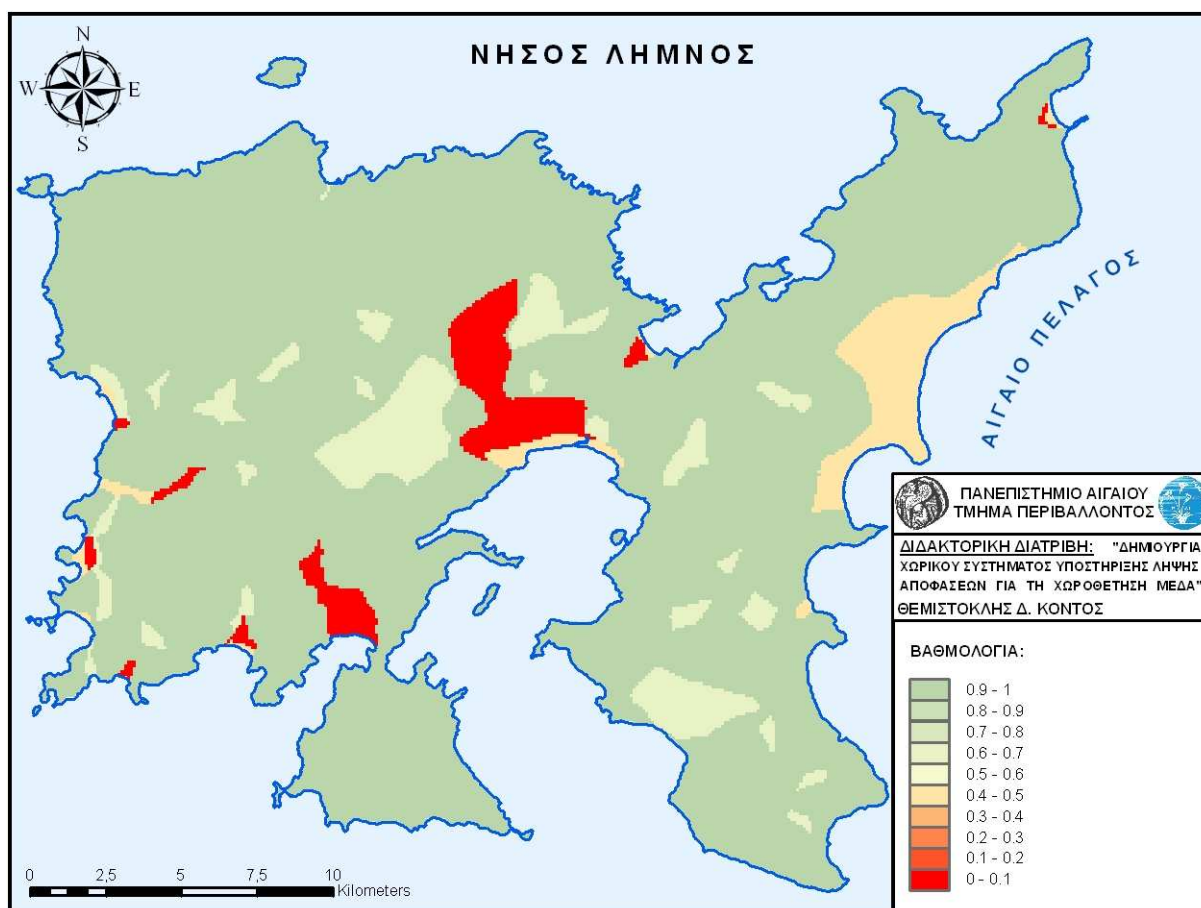
Η πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και των έργων υδροληψίας, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γεωλογία της περιοχής (λιθολογία, στρωματογραφία, τεκτονική, υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφόρου κ.α.), τη θέση των έργων υδροληψίας και τέλος το είδος της υγειονομικής ταφής (ύπαρξη ή όχι αδιαπέραστου υποβάθρου κλπ). Το συγκεκριμένο κριτήριο ποσοτικοποιεί τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού που υπόκειται της ΜΕΔΑ και αποσκοπεί στην προστασία των υπογείων υδάτων από ενδεχόμενη αστοχία της στεγανωτικής στρώσης της ΜΕΔΑ, αλλά και στην επιλογή της μεθόδου στεγάνωσης (άμεση επίπτωση στο κόστος κατασκευής).

Η βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης γίνεται με την αξιολόγηση των υδρογεωλογικών ζωνών που φαίνονται στον χάρτη 3.6. Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση έγινε με τη βοήθεια του *συντελεστή αγωγιμότητας* k (m/sec). Βιβλιογραφικά, μπορούν να βρεθούν κατηγοριοποιήσεις της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς βάσει του συντελεστή k του Darcy (Domenico and Schwartz 1990). Βάσει των υπάρχοντων σχημάτων κατηγοριοποιήσεως της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς, υπολογισμών και επιτόπιων παρατηρήσεων από ειδικούς υδρογεωλόγους της Υ.Ε.Β της Ν.Α. Λέσβου, προέκυψε η αξιολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης. Στον πίνακα 4.1 φαίνονται οι βαθμολογίες που δόθηκαν στις υδρογεωλογικές ζώνες της νήσου Λήμνου κατά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Πίνακας 4.1: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Υδροπερατότητα”

| Υδρογεωλογική Ζώνη | Βαθμολογία |
|---|------------|
| Περιοχές Υδατοστεγείς - Χαμηλής Υδροπερατότητας | 1 |
| Περιοχές Χαμηλής έως Μέτριας Υδροπερατότητας | 0.7 |
| Υφάλμυρες Περιοχές | 0.5 |
| Υψηλή Υδροπερατότητα | 0 |

Στον χάρτη 4.1 φαίνεται το κριτήριο αξιολόγησης “Υδροπερατότητα”, όπως αυτό δημιουργήθηκε μετά την εφαρμογή των βαθμολογιών του πίνακα 4.1.



Χάρτης 4.1: Κριτήριο Αξιολόγησης “Υδροπερατότητα”

4.1.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Σημεία Υδροληψίας”

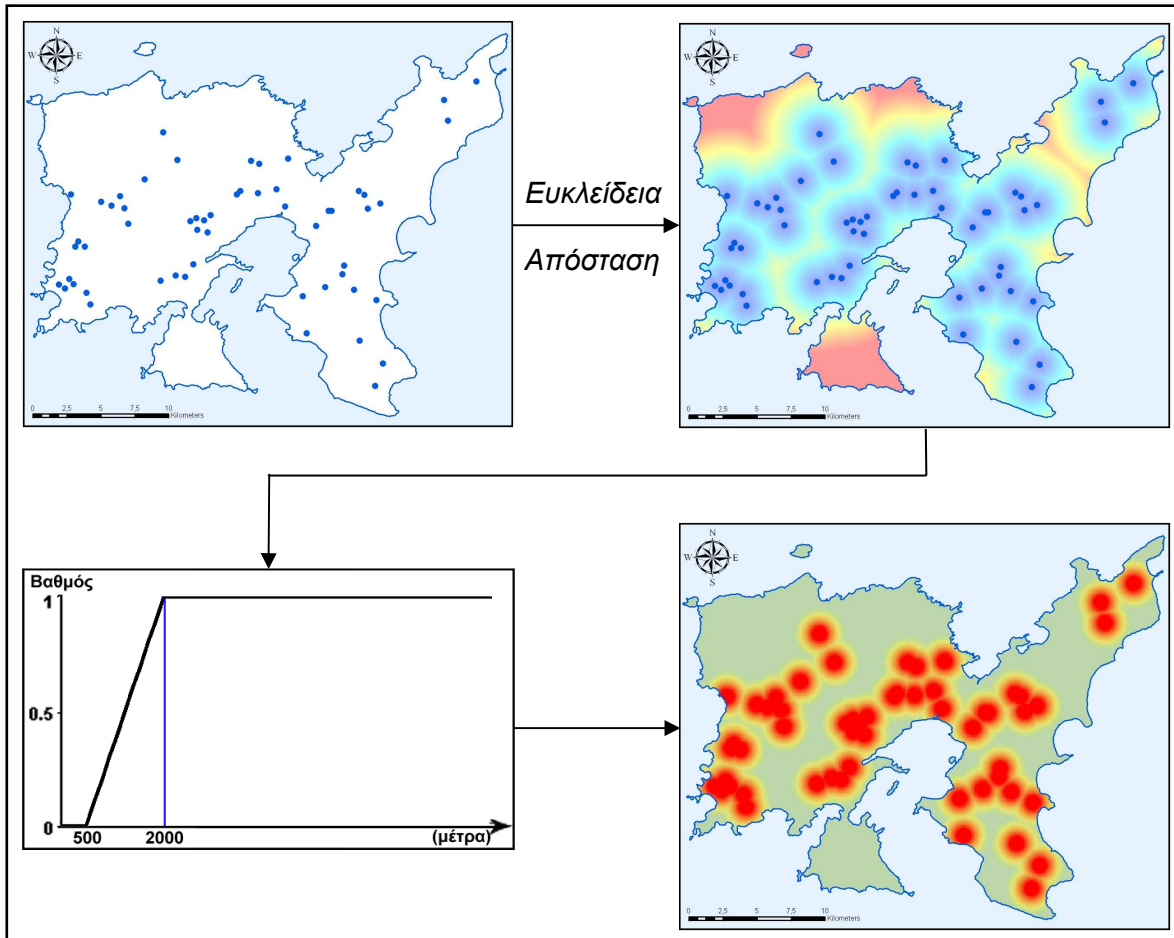
Η διεθνώς εφαρμοζόμενη πρακτική για την αποφυγή ρύπανσης και μόλυνσης των σημείων υδροληψίας, υποδεικνύει τον καθορισμό τριών ζωνών προστασίας στην περίμετρο των

σημείων υδροληψίας σε σχέση με τις χρήσεις γης (πιθανές αιτίες ρύπανσης). Η οριοθέτηση μιας ΜΕΔΑ επιτρέπεται μόνο στην ζώνη III (ευρύτερη ή επιτηρούμενη ζώνη), στην οποία πρέπει να εξασφαλίζεται η προστασία από χημικούς, δύσκολα ή καθόλου διασπώμενους ρύπους. Η ζώνη III εκτείνεται από τα όρια της υδρογεωλογικής λεκάνης τροφοδοσίας του έργου υδροληψίας μέχρι τα εξωτερικά όρια της ζώνης II (ζώνη μικροβιολογικής προστασίας) (Καλλέργης 2001).

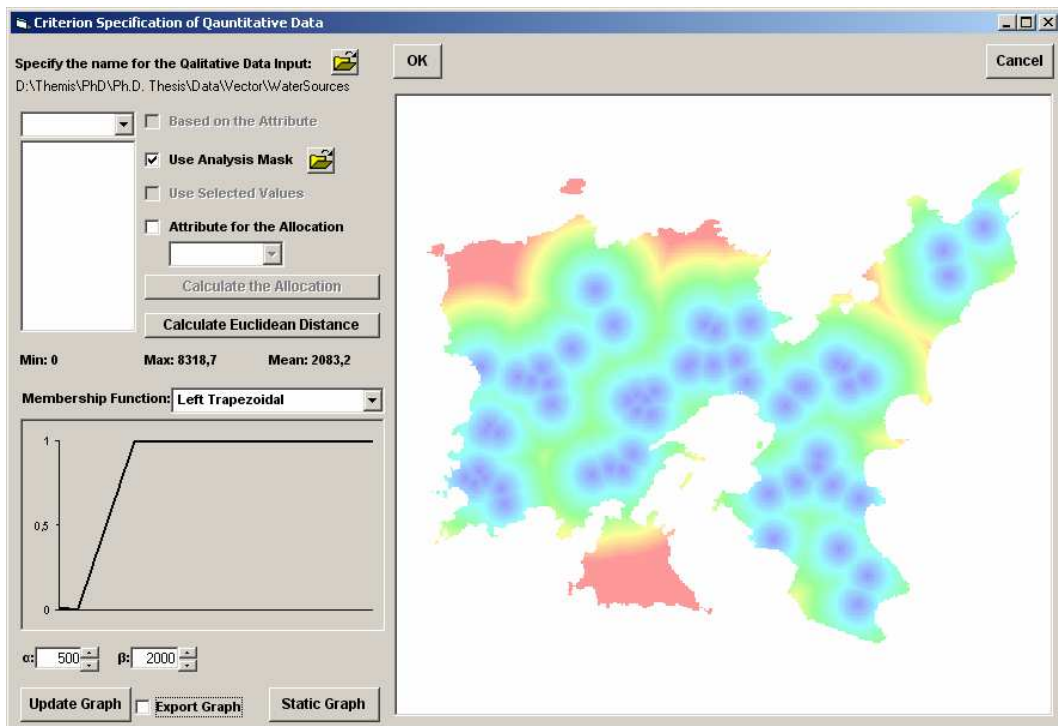
Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες έχουν υιοθετήσει ως μέθοδο καθορισμού της περιμέτρου προστασίας των υδροληπτικών έργων, την απόσταση που διανύει ο ρύπος στο χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρι την αφομοίωση του. Λαμβάνοντας υπόψη ότι χρειάζονται 50 έως 60 ημέρες για την πλήρη αφομοίωση του ρύπου και με τη μέση γραμμική ταχύτητα κατείδυσης του να κυμαίνεται από μερικά εκατοστόμετρα έως 10 μέτρα ανά ημέρα, προκύπτει ότι σε απόσταση μεγαλύτερη των 500 μέτρων από τα σημεία υδροληψίας δεν υπάρχει πρόβλημα για την εγκατάσταση μιας ΜΕΔΑ. Εξάλλου, μια αντίστοιχη νομοθετική διάταξη υπάρχει στον Ν. 26297 (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 2003), που αφορά μια άλλη οχλούσα δραστηριότητα, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υποδεικνύεται η απόσταση των 500 μέτρων για την προστασία των πηγών και γεωτρήσεων ύδρευσης.

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης στην προτεινόμενη μεθοδολογία λήφθηκαν υπόψη δύο παράμετροι, η απόσταση από τα σημεία υδροληψίας και η υδρογεωλογική λεκάνη τους, δηλαδή η κατεύθυνση τροφοδοσίας των σημείων από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Σε ότι αφορά την παράμετρο “Απόσταση από Σημεία Υδροληψίας”, ο χωρικός καθορισμός περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.2. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τα σημεία υδροληψίας εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 500$ και $\beta = 2000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* με τις παραμέτρους που ορίστηκαν, δηλώνει ότι οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 500 μέτρα από οποιοδήποτε σημείο υδροληψίας, λόγω των νομοθετικών περιορισμών και της διεθνώς εφαρμοζόμενης πρακτικής που αναφέρθηκαν προηγουμένως, θα έχουν μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 500 έως 1000 μέτρα, εκτελείται μια γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι τα σημεία υδροληψίας δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας ΜΕΔΑ σε απόσταση μεγαλύτερη από 2000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.



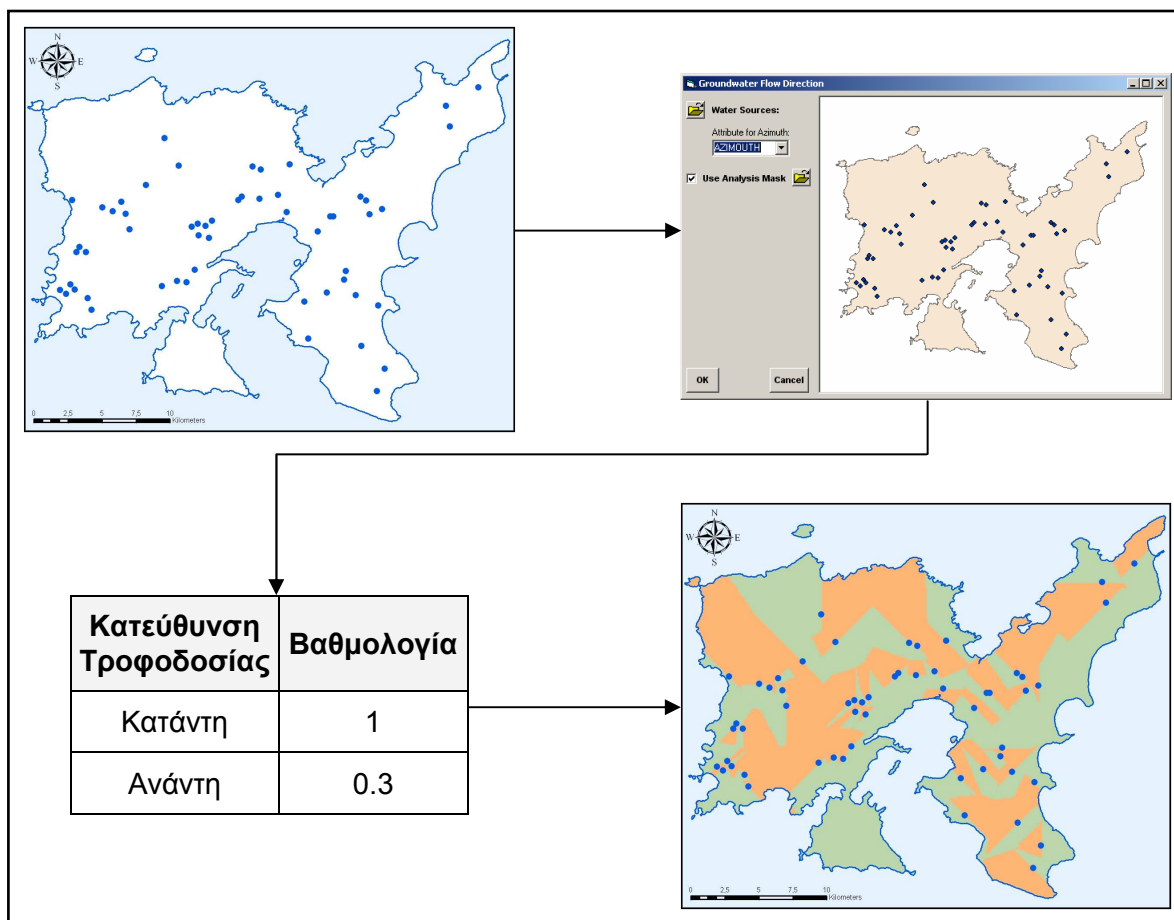
Σχήμα 4.2: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Σημεία Υδροληψίας”



Σχήμα 4.3: Το Παράθυρο Διαλόγου του ΧΣΥΛΑ για τον Χωρικό Καθορισμό της Παραμέτρου “Απόσταση από Σημεία Υδροληψίας”

Για να εφαρμοστεί η διαδικασία που απαιτεί ο χωρικός καθορισμός της συγκεκριμένης παραμέτρου, χρησιμοποιούνται τα εργαλεία που έχουν ενσωματωθεί στο ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε. Τα συγκεκριμένα εργαλεία έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν τις πολύπλοκες διαδικασίες του χωρικού καθορισμού των παραμέτρων με τρόπο εύκολο, γρήγορο και πολύ φιλικό προς τον χρήστη. Η διαδικασία του χωρικού καθορισμού της συγκεκριμένης παραμέτρου με τη βοήθεια των εργαλείων του ΧΣΥΛΑ, φαίνεται στο σχήμα 4.3.

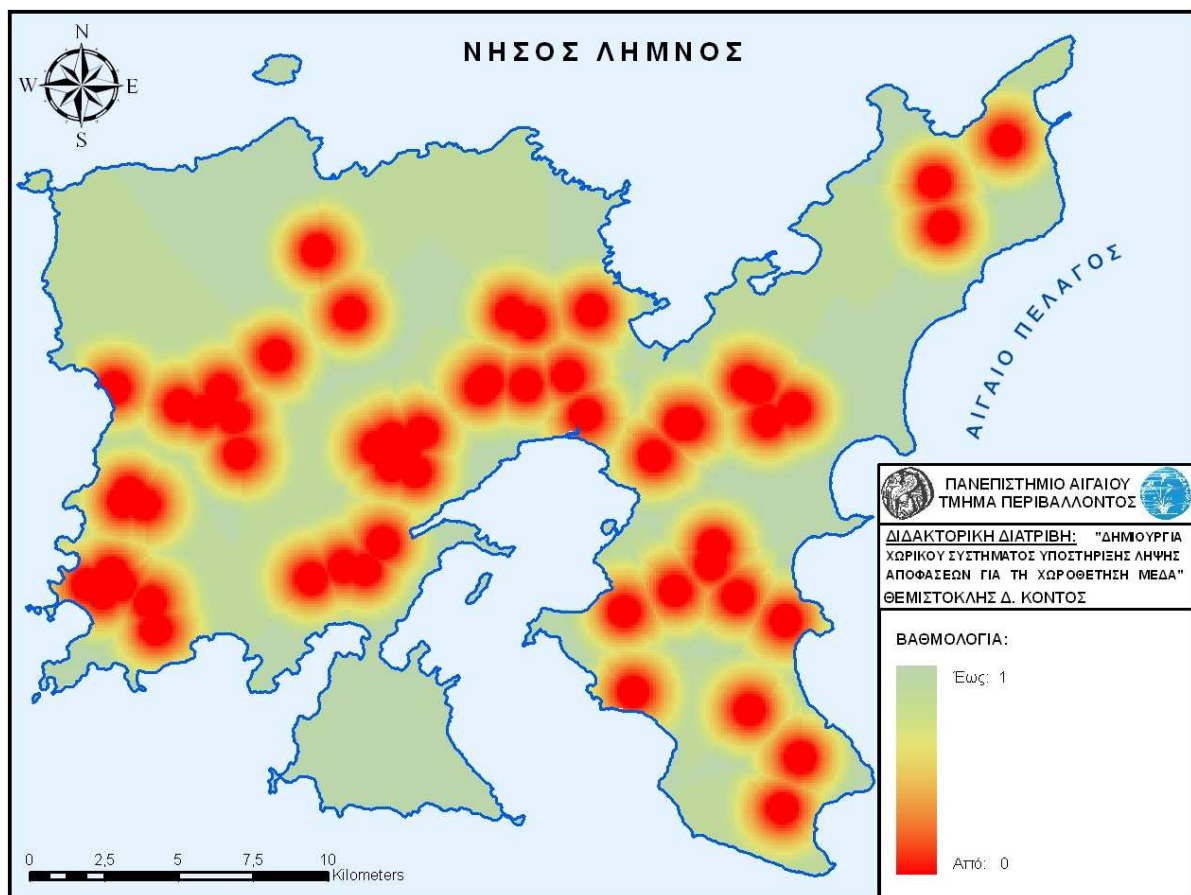
Σε ότι αφορά την κατεύθυνση της υδρογεωλογικής λεκάνης των σημείων υδροληψίας, ο χωρικός καθορισμός της συγκεκριμένης παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.4. Θεωρώντας ότι οι περιοχές που βρίσκονται ανάντη των σημείων υδροληψίας έχουν μικρότερη καταλληλότητα σε σχέση με αυτές που βρίσκονται κατόντη, δίνονται οι βαθμολογίες που φαίνονται στον πίνακα του σχήματος 4.4. Η αξιολόγηση της συγκεκριμένης παραμέτρου, λαμβάνει υπόψη την κατεύθυνση τροφοδοσίας των σημείων υδροληψίας.



Σχήμα 4.4: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Κατεύθυνση Τροφοδοσίας”

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τα σημεία υδροληψίας και με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ, προσδιορίζεται για κάθε σημείο του χώρου, αν βρίσκεται ανάντη ή κατόντη κάποιας υδρογεωλογικής λεκάνης. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, είναι αρκετά πολύπλοκος γιατί λαμβάνει υπόψη τόσο το αζιμούθιο την κατεύθυνσης τροφοδοσίας των σημείων υδροληψίας από τον υδροφόρο ορίζοντα, όσο και τον *Ευκλείδειο Καταμερισμό* του χώρου βάσει των σημείων υδροληψίας.

Αφού εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.2 και 4.4 για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Απόσταση από Σημεία Υδροληψίας” και “Κατεύθυνση Τροφοδοσίας”, μπορεί να δημιουργηθεί το κριτήριο αξιολόγησης “Σημεία Υδροληψίας”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ με συντελεστές βαρύτητας 0.9 και 0.1 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.2.



Χάρτης 4.2: Κριτήριο Αξιολόγησης “Σημεία Υδροληψίας”

4.1.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Επιφανειακά Ύδατα”

Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης υπάρχουν αναφορές τόσο στην Ελληνική όσο και στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Αρχικά, με την ΚΥΑ Ε1β/301/64 καθορίζεται ότι «Απαγορεύεται η απόρριψη απορριμμάτων εις την θάλασσα, λίμνας ή ποταμούς». Ο Ν. 1650/86 δίνει κάποιες γενικές κατευθύνσεις για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η διαχείριση των στερεών αποβλήτων και αναφέρει «α) να μη δημιουργούνται κίνδυνοι για την υγεία και το περιβάλλον από θόρυβο ή δυσοσμίες και β) να μην προκαλείται υποβάθμιση στο φυσικό περιβάλλον και σε χώρους που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό και αισθητικό ενδιαφέρον». Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πρώτη ουσιαστική νομοθετική παρέμβαση για τον καθορισμό κριτηρίων καταλληλότητας και συγκριτικής αξιολόγησης έγινε με την ΚΥΑ 114218/97. Η συγκεκριμένη ΚΥΑ αναφέρει ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «το μέγεθος της λεκάνης απορροής, η επιφανειακή απορροή, οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, η απόσταση και σπουδαιότητα των δυνάμενων να επηρεαστούν ρεμάτων και τελικών αποδεκτών». Επίσης, στην ΚΥΑ 29407/3508/02 γίνεται η αναφορά ότι για τη θέση μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απαιτήσεις που αφορούν «τις αποστάσεις του χώρου από κατοικημένες περιοχές και χώρους αναψυχής, υδατορεύματα, στάσιμα επιφανειακά ύδατα και άλλες γεωργικές ή αστικές περιοχές». Τέλος, νομοθετική διάταξη υπάρχει στον Ν. 26297 (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 2003), ο οποίος καθορίζει ως κριτήριο αποκλεισμού περιοχών «απόσταση 500 μέτρων από σημαντικές επιφανειακές συγκεντρώσεις νερού (λίμνες, υγράτοποι)».

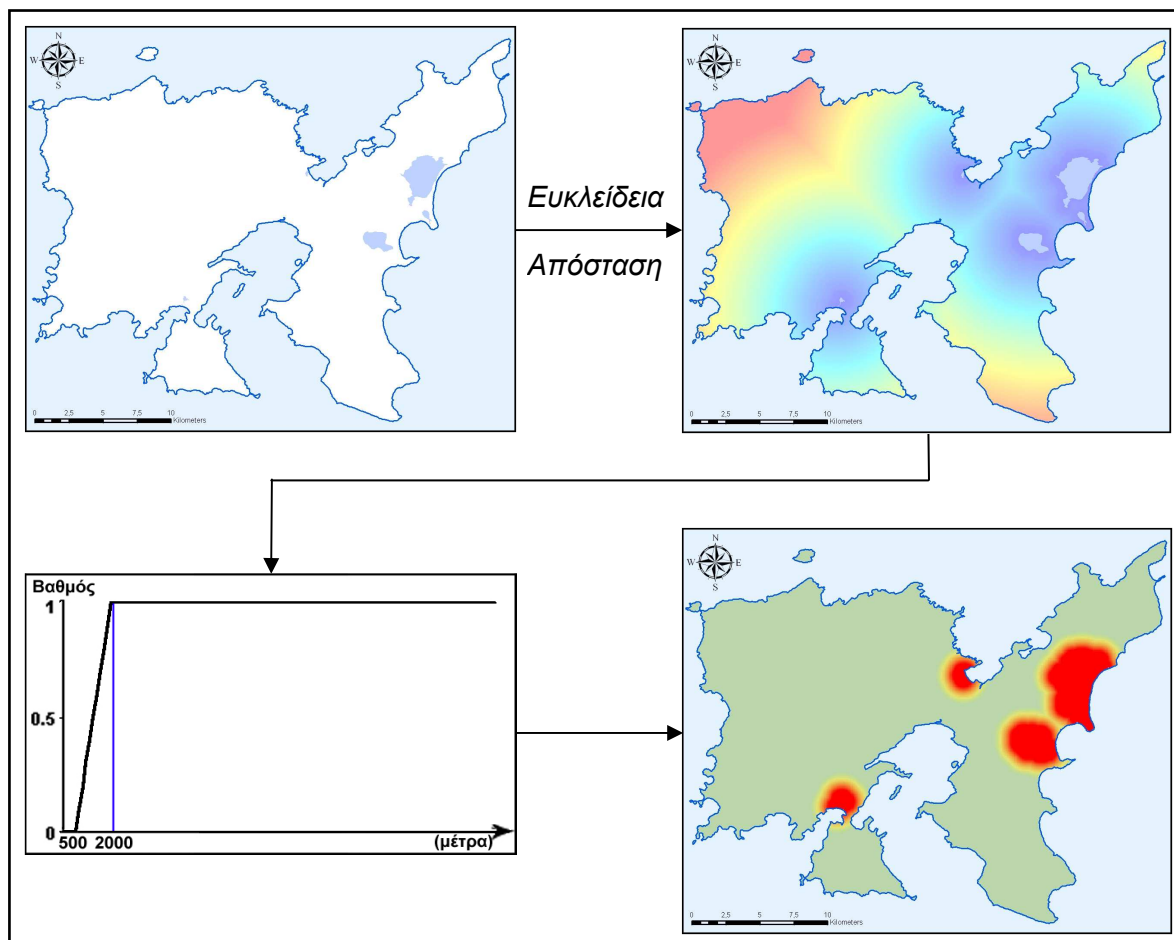
Βάσει της διεθνούς πρακτικής, ορίζεται ζώνη 500 μέτρων γύρω από τα όρια των λεκανών κατάκλυσης των ταμιευτήρων (λιμνοδεξαμενές και φράγματα) που έχουν κατασκευαστεί ή πρόκειται να κατασκευαστούν. Επίσης, ορίζεται ζώνη 500 μέτρων γύρω από τους υγράτοπους, η οποία θεωρείται απαγορευτική για την χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Η ανάπτυξη των απαγορευτικών ζωνών γίνεται για την προστασία τόσο της ποιότητας των υδάτων, όσο και του οικοσυστήματος που αυτά υποστηρίζουν.

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, τα υποκριτήρια αξιολόγησης που λαμβάνονται υπόψη είναι οι “Υγράτοποι”, οι “Ταμιευτήρες” και το “Υδρογραφικό Δίκτυο”. Στις παραγράφους που ακολουθούν, γίνεται η περιγραφή του χωρικού καθορισμού των υποκριτηρίων αξιολόγησης.

4.1.3.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υγρότοποι”

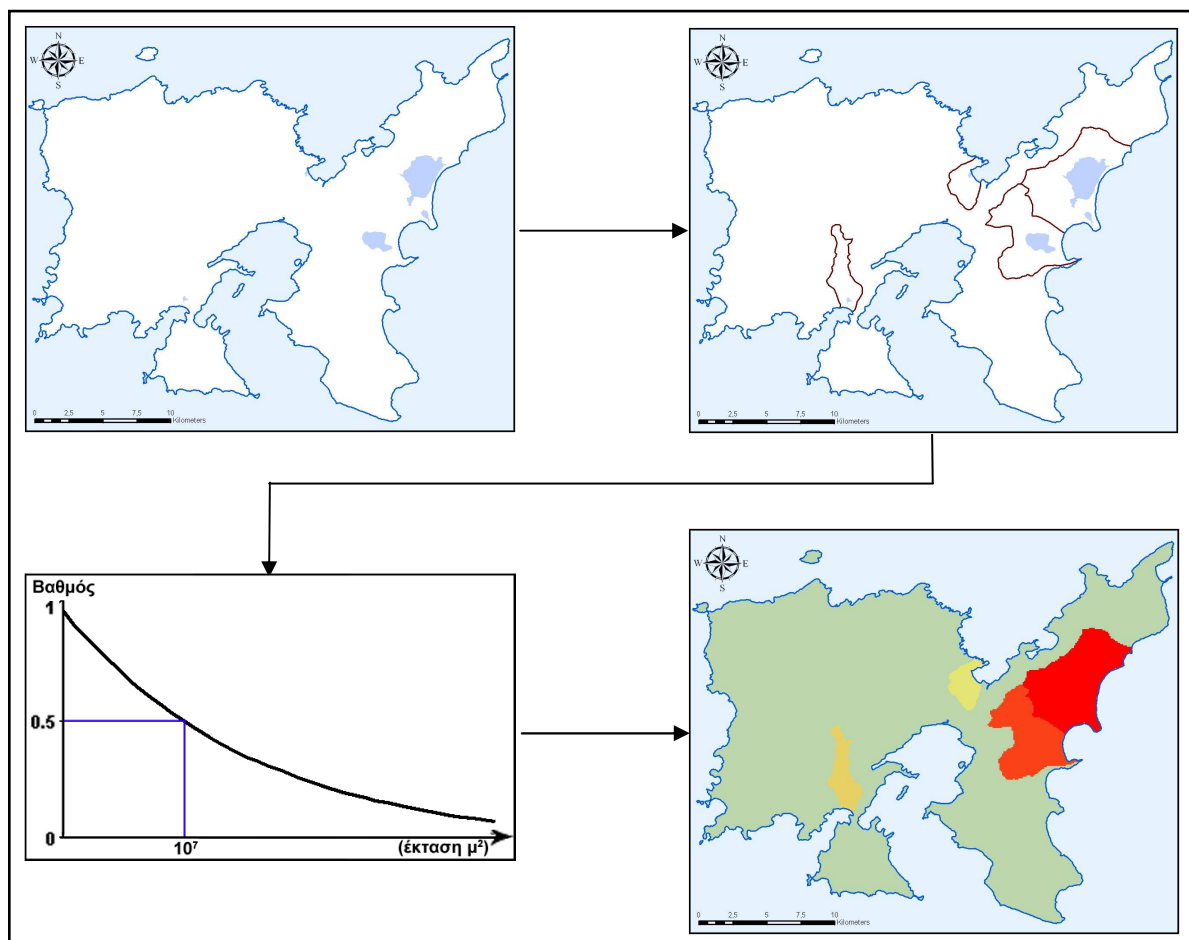
Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης, λαμβάνονται υπόψη η απόσταση από τους υγροτόπους και η εγγύτερη λεκάνη απορροής τους.

Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Υγρότοπους”, περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.5. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους υγροτόπους και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 500$ και $\beta = 2000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 500 μέτρα από οποιονδήποτε υγρότοπο θα έχει μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 500 έως 1000 μέτρα, εκτελείται μια αύξουσα γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι οι υγρότοποι δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας *ΜΕΔΑ* σε απόσταση μεγαλύτερη από 2000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.



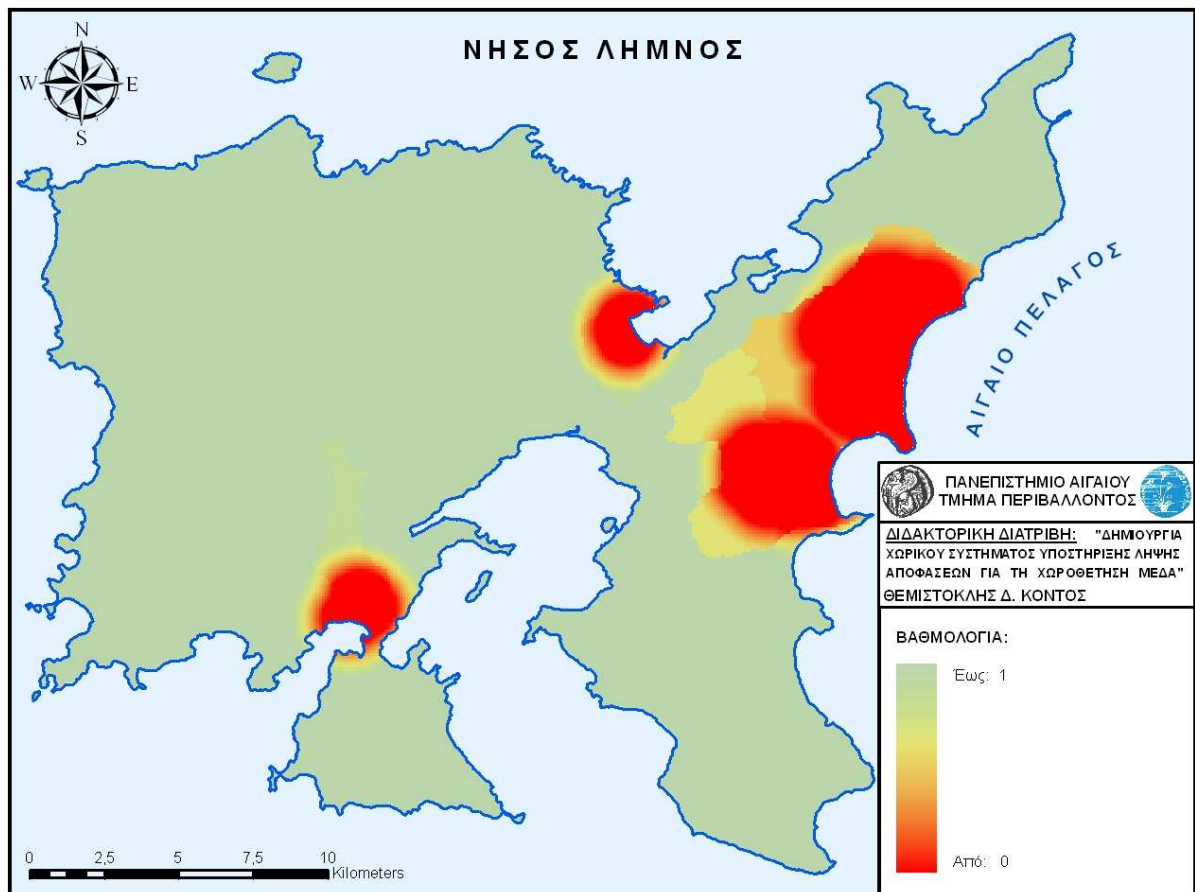
Σχήμα 4.5: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Υγρότοπους”

Σε ότι αφορά την παράμετρο “Λεκάνες Απορροής Υγροτόπων”, ο χωρικός καθορισμός περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.6. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αρνητική Εκθετική*, χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή την έκταση των λεκανών απορροής και $\alpha = 10^7$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές με μικρή έκταση λεκάνης απορροής λαμβάνουν τη βαθμολογία 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι την έκταση των $10^7 \mu^2$ όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές με έκταση μεγαλύτερη των $10^7 \mu^2$ η βαθμολογία συνεχίζει να μειώνεται εκθετικά μέχρι να λάβει την τιμή 0.



Σχήμα 4.6: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Λεκάνες Απορροής Υγροτόπων”

Αφού εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.5 και 4.6, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Απόσταση από Υγρότοπους” και “Λεκάνες Απορροής Υγροτόπων”, δημιουργείται το υποκριτήριο αξιολόγησης “Υγρότοποι”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ με συντελεστές βαρύτητας 0.8333 και 0.1667 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.3.

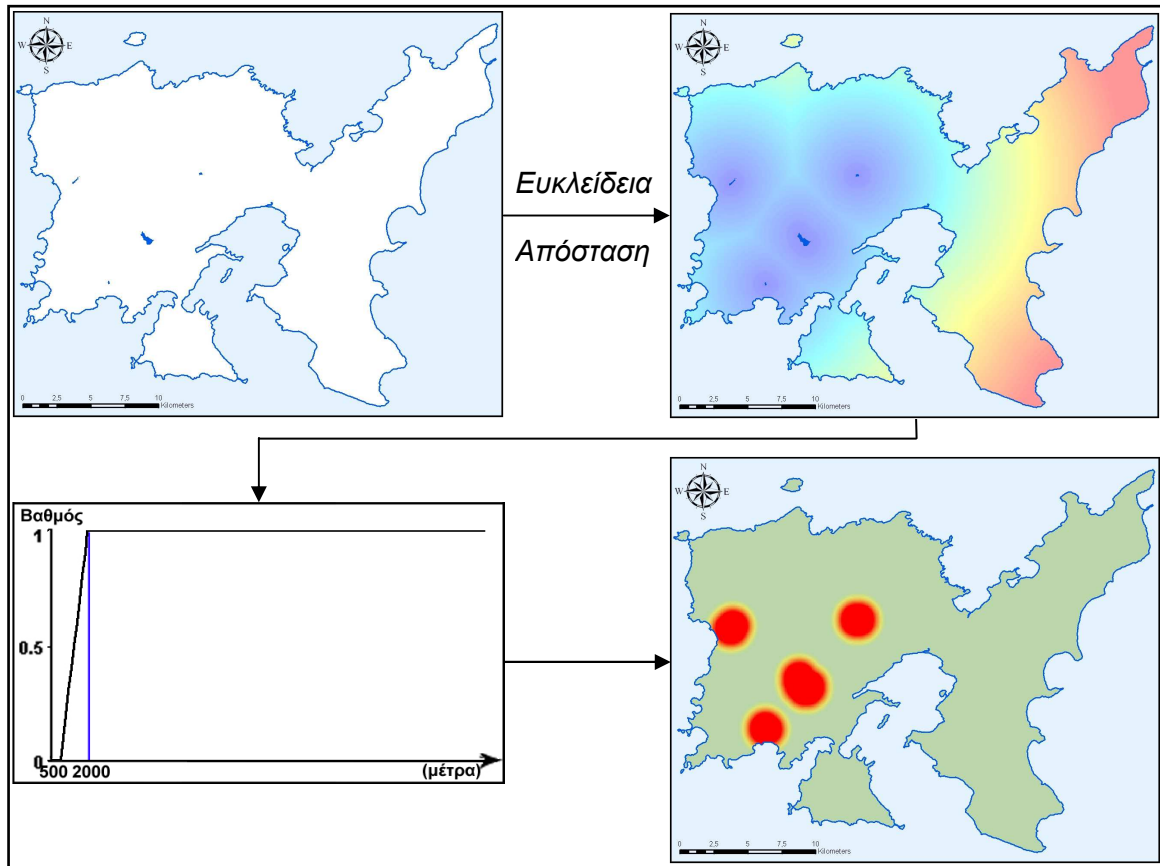


Χάρτης 4.3: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υγρότοποι”

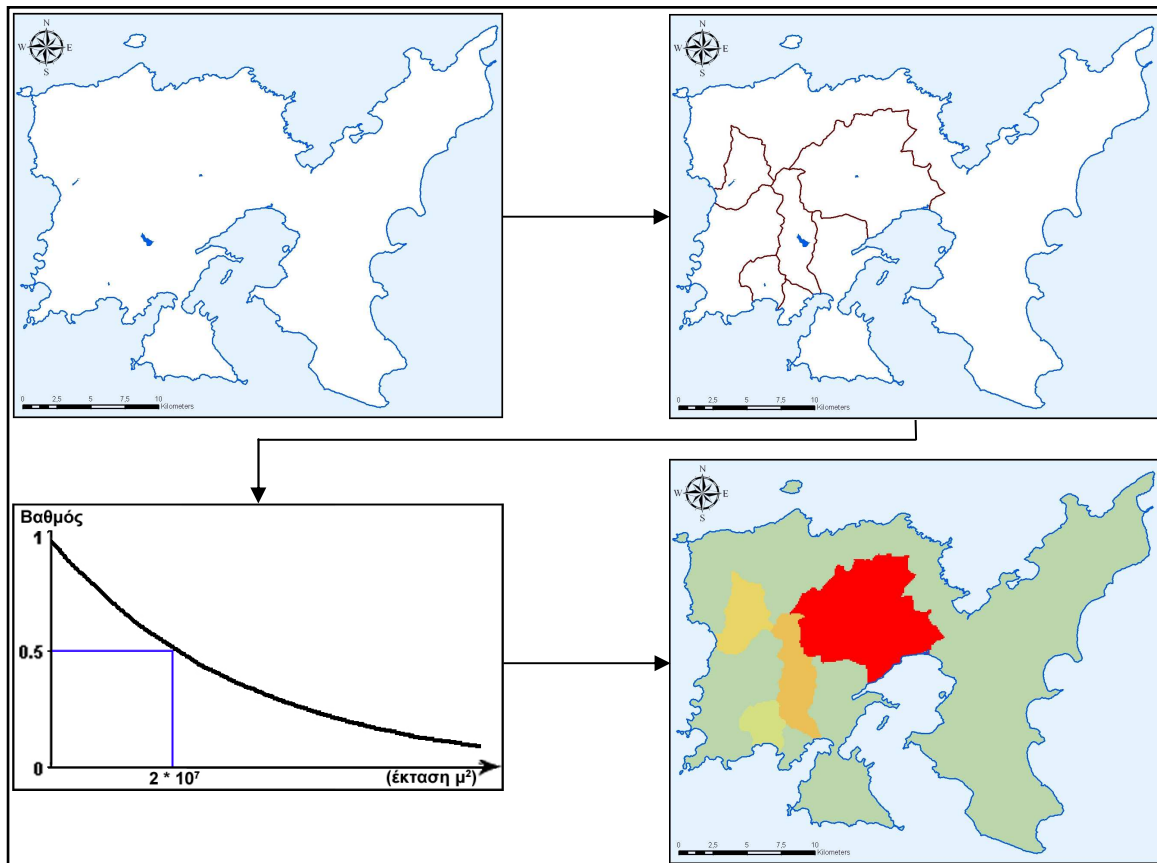
4.1.3.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ταμιευτήρες”

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης λαμβάνονται υπόψη η απόσταση από τους ταμιευτήρες και η εγγύτερη λεκάνη απορροής τους.

Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Ταμιευτήρες”, περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.7. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους ταμιευτήρες και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 500$ και $\beta = 2000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 500 μέτρα από οποιονδήποτε ταμιευτήρα θα έχει μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 500 έως 1000 μέτρα, εκτελείται μια αύξουσα γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι οι ταμιευτήρες δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας ΜΕΔΑ σε απόσταση μεγαλύτερη από 2000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.



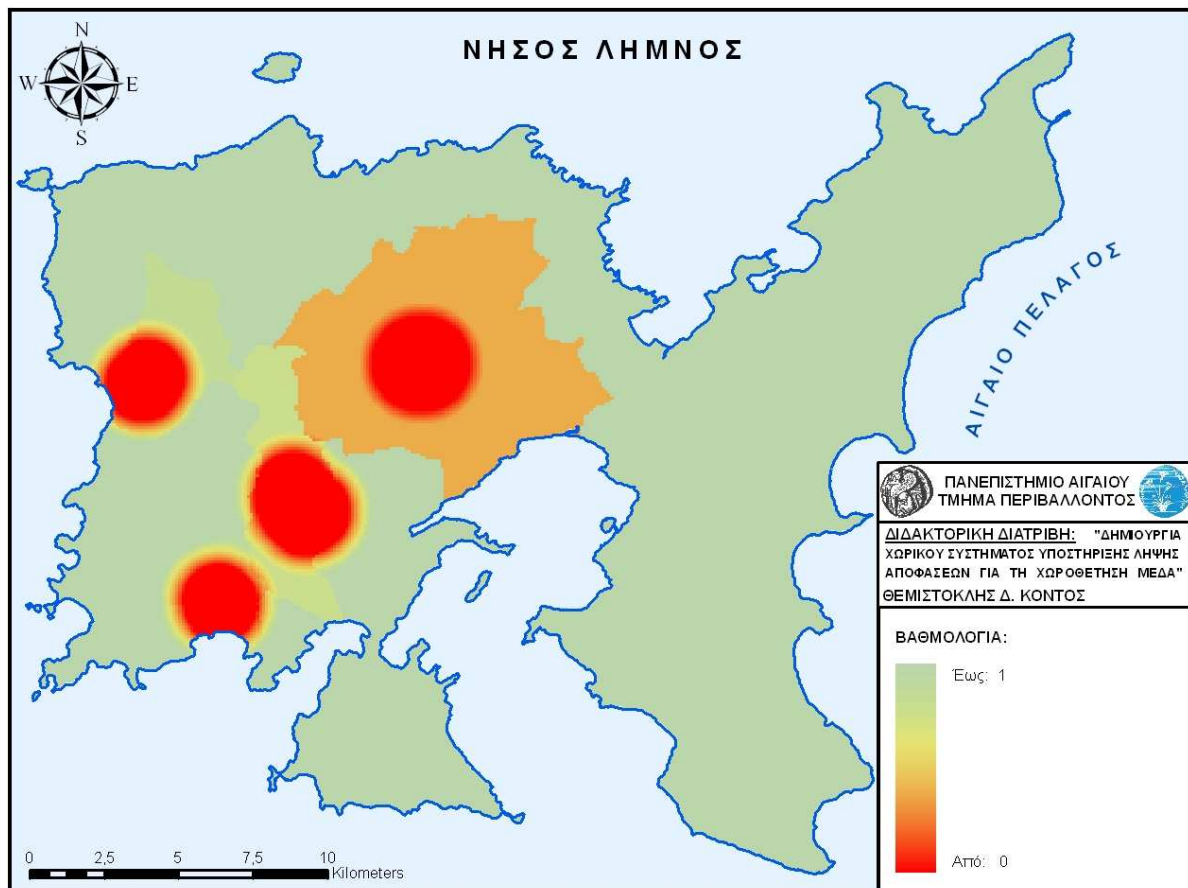
Σχήμα 4.7: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Ταμιευτήρες”



Σχήμα 4.8: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Λεκάνες Απορροής Ταμιευτήρων”

Σε ότι αφορά τις λεκάνες απορροής των ταμιευτήρων, ο χωρικός καθορισμός της συγκεκριμένης παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.8. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αρνητική Εκθετική*, χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή την έκταση των λεκανών απορροής και $\alpha = 2 \times 10^7$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές με μικρή έκταση λεκάνης απορροής λαμβάνουν τη βαθμολογία 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι την έκταση των $2 \times 10^7 \mu^2$ όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές με έκταση μεγαλύτερη των $2 \times 10^7 \mu^2$ η βαθμολογία συνεχίζει να μειώνεται εκθετικά μέχρι να λάβει την τιμή 0.

Αφού έχουν εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.7 και 4.8, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Απόσταση από Ταμιευτήρες” και “Λεκάνες Απορροής Ταμιευτήρων”, δημιουργείται το υποκριτήριο αξιολόγησης “Ταμιευτήρες”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ με συντελεστές βαρύτητας 0.8333 και 0.1667 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.4.

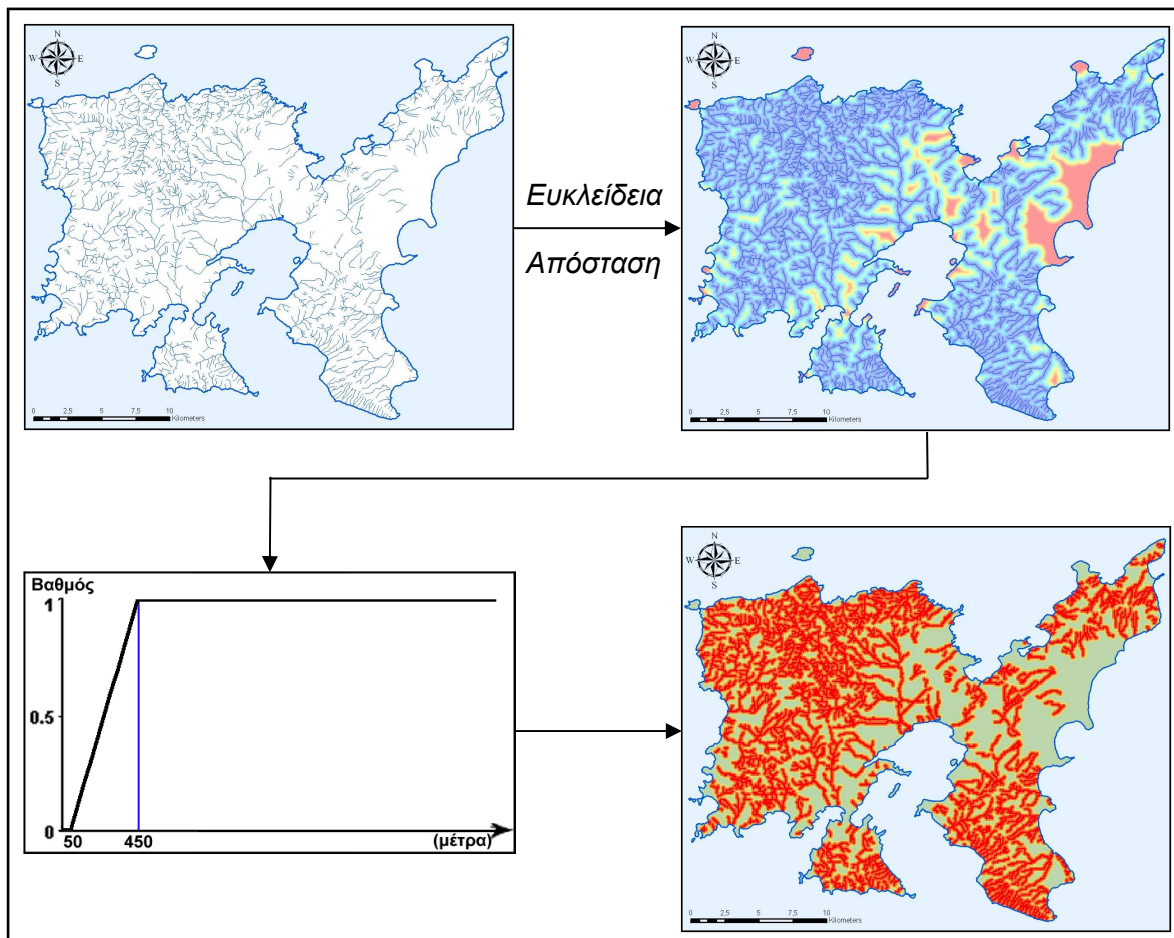


Χάρτης 4.4: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ταμιευτήρες”

4.1.3.3. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υδρογραφικό Δίκτυο”

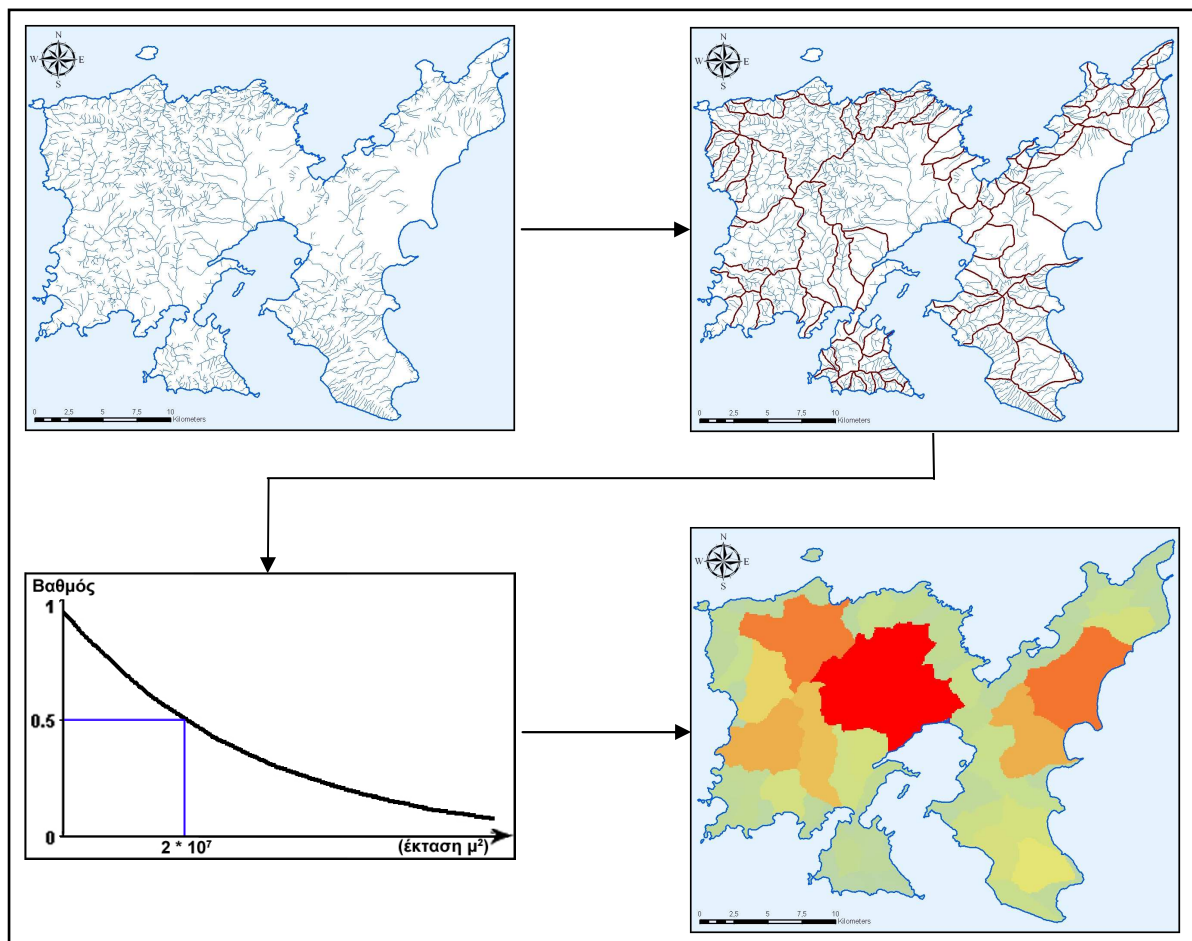
Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης λαμβάνονται υπόψη η απόσταση από τα ρέματα και οι ευρύτερες λεκάνες απορροής.

Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Ρέματα” περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.9. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στα ρέματα και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 50$ και $\beta = 450$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής*, δηλώνει ότι οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 50 μέτρα από οποιοδήποτε ρέμα θα έχουν μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 50 έως 450 μέτρα, εκτελείται μια αύξουσα γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι τα ρέματα δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας ΜΕΔΑ σε απόσταση μεγαλύτερη από 450 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.



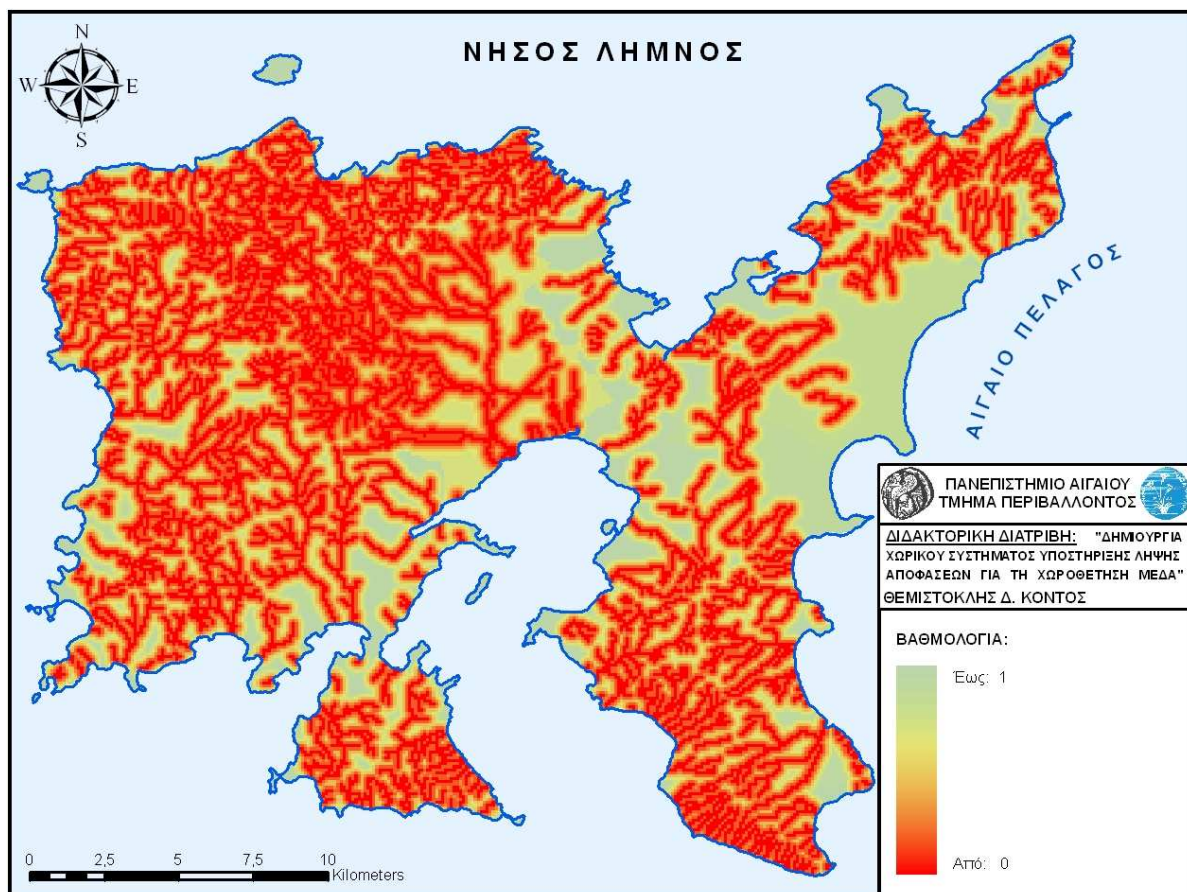
Σχήμα 4.9: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Ρέματα”

Σε ότι αφορά την παράμετρο “Ευρύτερες Λεκάνες Απορροής”, ο χωρικός καθορισμός περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.10. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αρνητική Εκθετική*, ως μεταβλητή την έκταση των λεκανών απορροής και $a = 2 \times 10^7$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές με μικρή έκταση λεκάνης απορροής λαμβάνουν τη βαθμολογία 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι την έκταση των $2 \times 10^7 \mu^2$ όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές με έκταση μεγαλύτερη των $2 \times 10^7 \mu^2$ η βαθμολογία συνεχίζει να μειώνεται εκθετικά μέχρι να λάβει την τιμή 0.



Σχήμα 4.10: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Ευρύτερες Λεκάνες Απορροής”

Αφού εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.9 και 4.10, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Απόσταση από Ρέματα” και “Ευρύτερες Λεκάνες Απορροής”, μπορεί να δημιουργηθεί το υποκριτήριο αξιολόγησης “Υδρογραφικό Δίκτυο”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο $\Sigma\Gamma$ με συντελεστές βαρύτητας 0.8333 και 0.1667 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης, φαίνεται στον χάρτη 4.5.



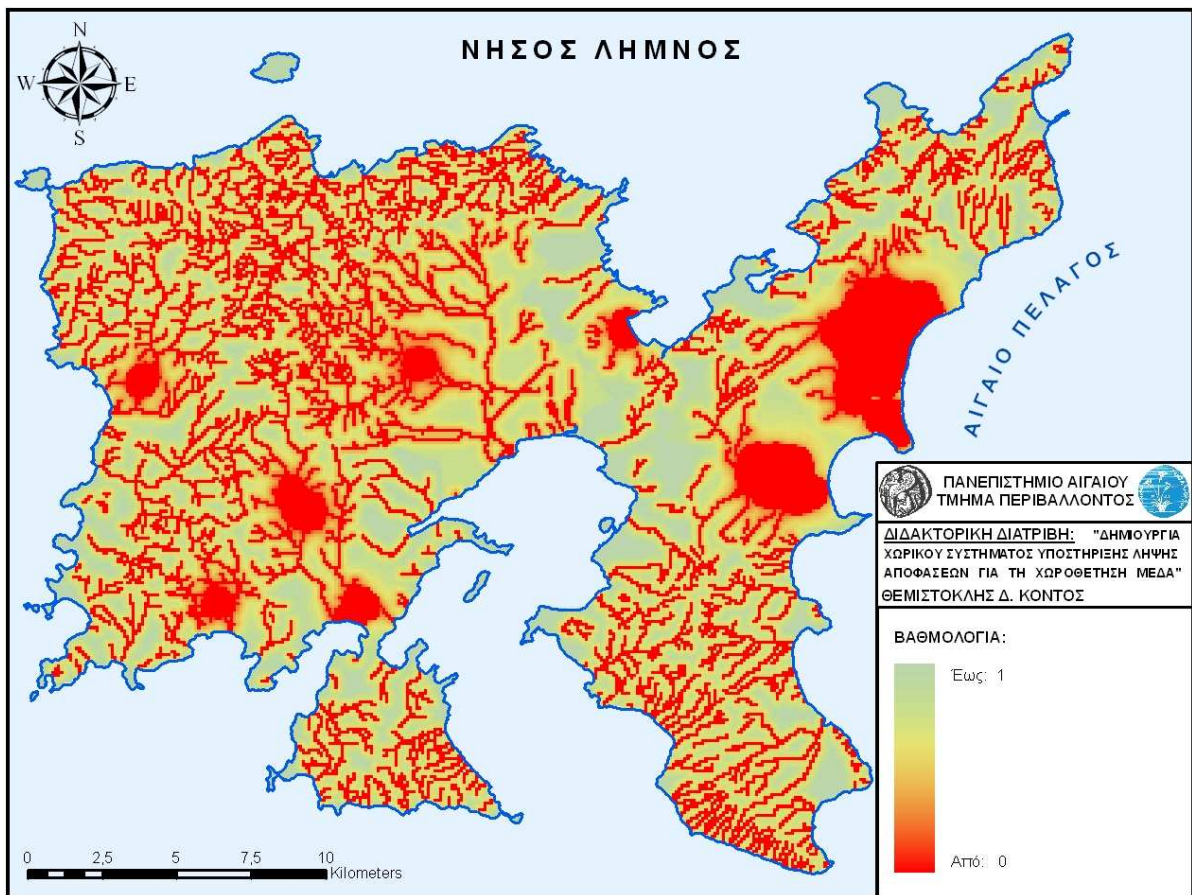
Χάρτης 4.5: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υδρογραφικό Δίκτυο”

4.1.3.4. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Επιφανειακά Ύδατα”

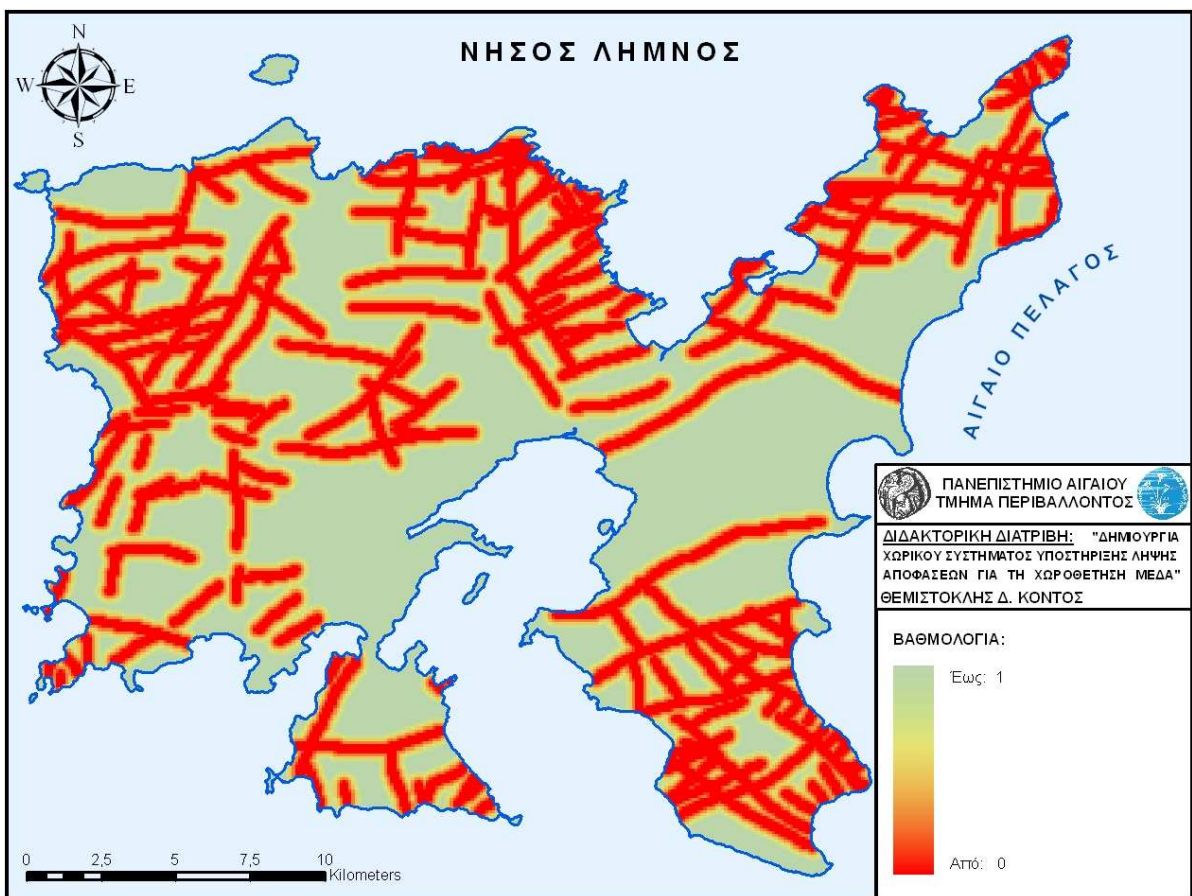
Αφού έχουν δημιουργηθούν τα υποκριτήρια αξιολόγησης “Υγρότοποι”, “Ταμιευτήρες” και “Υδρογραφικό Δίκτυο” που φαίνονται στους χάρτες 4.3, 4.4 και 4.5 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο αξιολόγησης “Επιφανειακά Ύδατα”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ με τους συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 4.2. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.6.

Πίνακας 4.2: ΠΣΖ του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Επιφανειακά Ύδατα”

| | Υγρότοποι | Ταμιευτήρες | Υδρογραφικό Δίκτυο | Συντελεστές Βαρύτητας |
|---------------------------------------|-----------|-------------|--------------------|-----------------------|
| Υγρότοποι | 1 | 1 | 1 | 0.3333 |
| Ταμιευτήρες | 1 | 1 | 1 | 0.3333 |
| Υδρογραφικό Δίκτυο | 1 | 1 | 1 | 0.3333 |
| $RI_3 = 0.58, CI = 0, CR = 0 \ll 0.1$ | | | | |



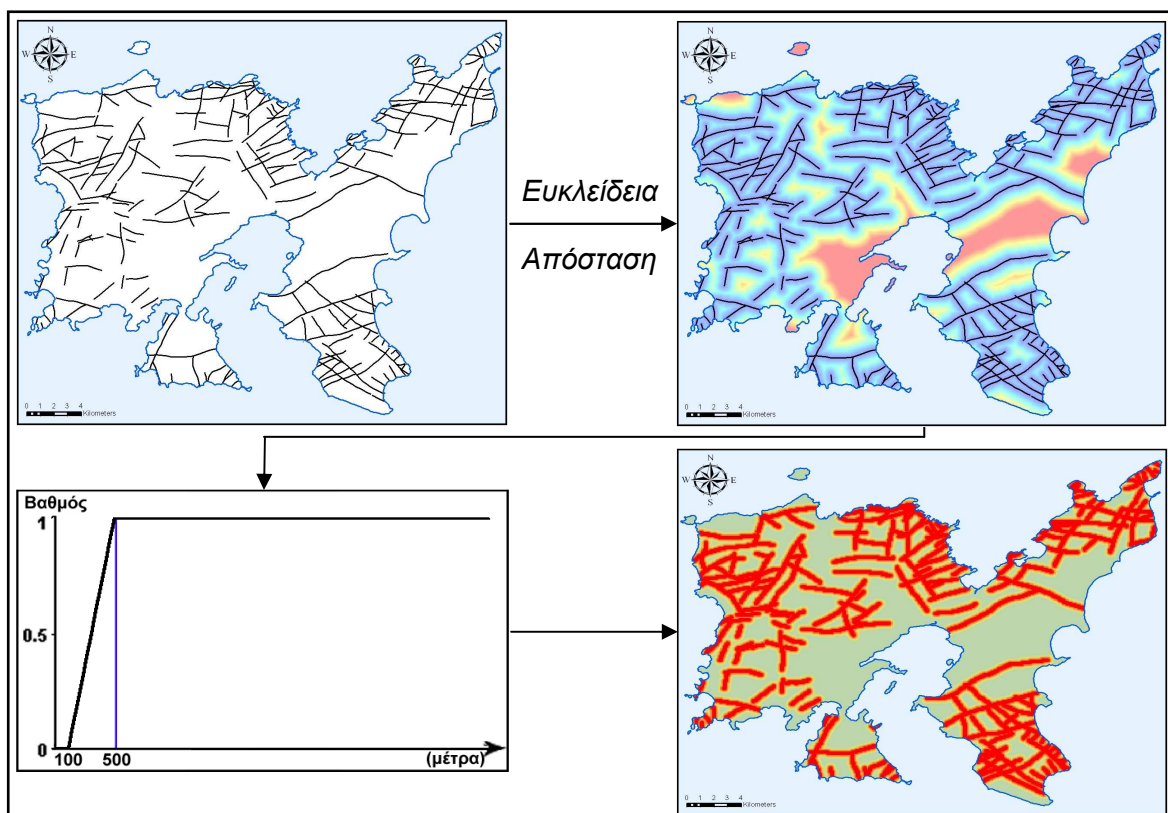
Χάρτης 4.6: Κριτήριο Αξιολόγησης "Επιφανειακά Ύδατα"



Χάρτης 4.7: Κριτήριο Αξιολόγησης "Ρήγματα"

4.1.4. Κριτήριο Αξιολόγησης “Ρήγματα”

Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης υπάρχουν ελάχιστες αναφορές στην σχετική νομοθεσία. Η ΚΥΑ 114218/97, κάνοντας μια γενική αναφορά στα γεωλογικά χαρακτηριστικά των κατάλληλων περιοχών, αναφέρει ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη «τα τεκτονικά χαρακτηριστικά και η σεισμικότητα». Στον Ν. 26297, υπάρχει αναφορά στα ρήγματα και καθορίζει ως κριτήριο αποκλεισμού περιοχών «απόσταση 100 μέτρων από πιθανά ενεργά ρήγματα». Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η απόσταση από τα ρήγματα. Ο χωρικός καθορισμός περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.11. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στα ρήγματα και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 100$ και $\beta = 500$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 100 μέτρα θα έχουν μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 100 έως 500 μέτρα, εκτελείται μια αύξουσα γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι τα ρήγματα επηρεάζουν ελάχιστα μια ΜΕΔΑ σε απόσταση μεγαλύτερη από 500 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1. Το κριτήριο αξιολόγησης “Απόσταση από Ρήγματα” φαίνεται στον χάρτη 4.7.



Σχήμα 4.11: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Ρήγματα”

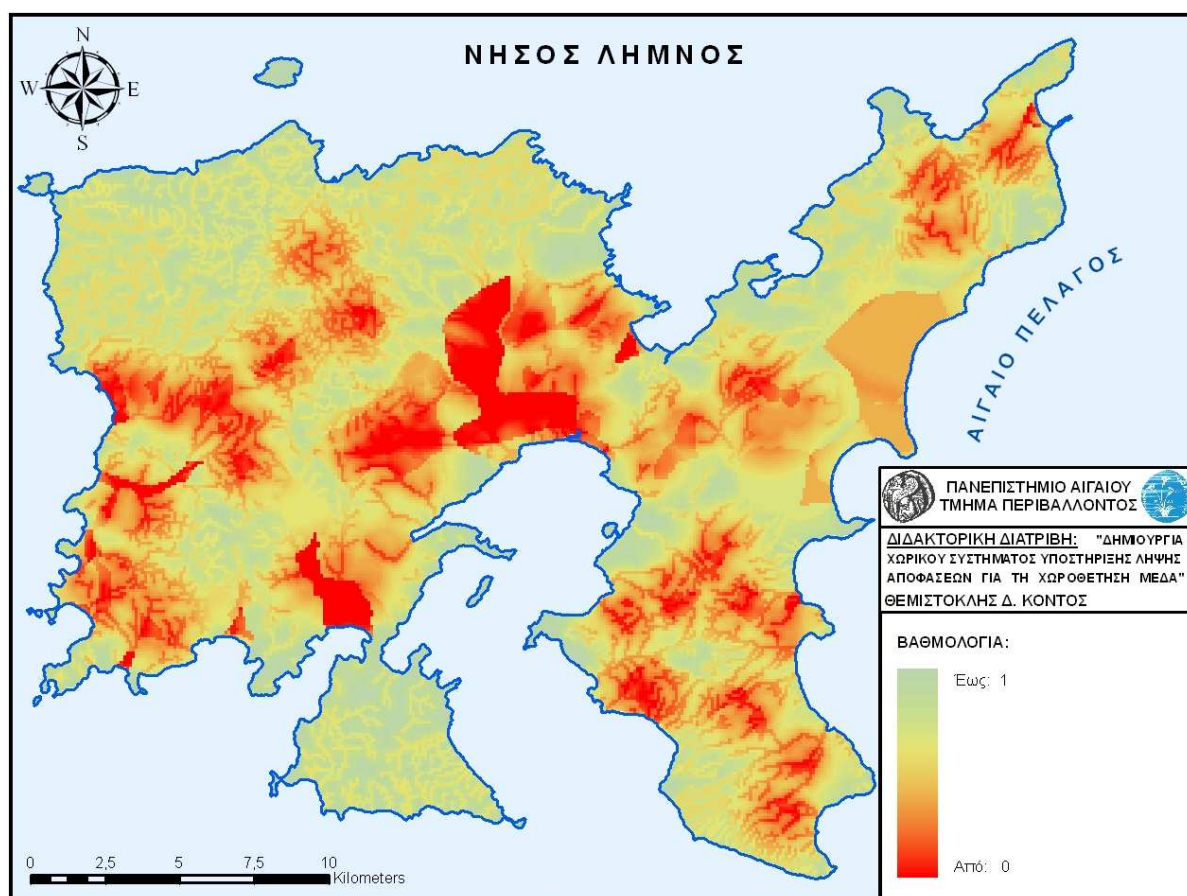
4.1.5. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό”

Αφού δημιουργηθούν τα κριτήρια αξιολόγησης “Υδροπερατότητα”, “Σημεία Υδροληψίας”, “Επιφανειακά Ύδατα” και “Ρήγματα” που φαίνονται στους χάρτες 4.1, 4.2, 4.6 και 4.7 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό” χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΜ, με τους συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 4.3. Το συγκεκριμένο κριτήριο απόφασης φαίνεται στον χάρτη 4.8.

Πίνακας 4.3: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης “Υδρολογικό/ Υδρογεωλογικό”

| | Υδροπερατότητα | Σημεία Υδροληψίας | Επιφανειακά Ύδατα | Ρήγματα | Συντελεστές Βαρύτητας |
|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------|-----------------------|
| Υδροπερατότητα | 1 | 1 | 2 | 7 | 0. 3735 |
| Σημεία Υδροληψίας | 1 | 1 | 2 | 7 | 0. 3735 |
| Επιφανειακά Ύδατα | 1/2 | 1/2 | 1 | 5 | 0. 2042 |
| Ρήγματα | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0. 0488 |

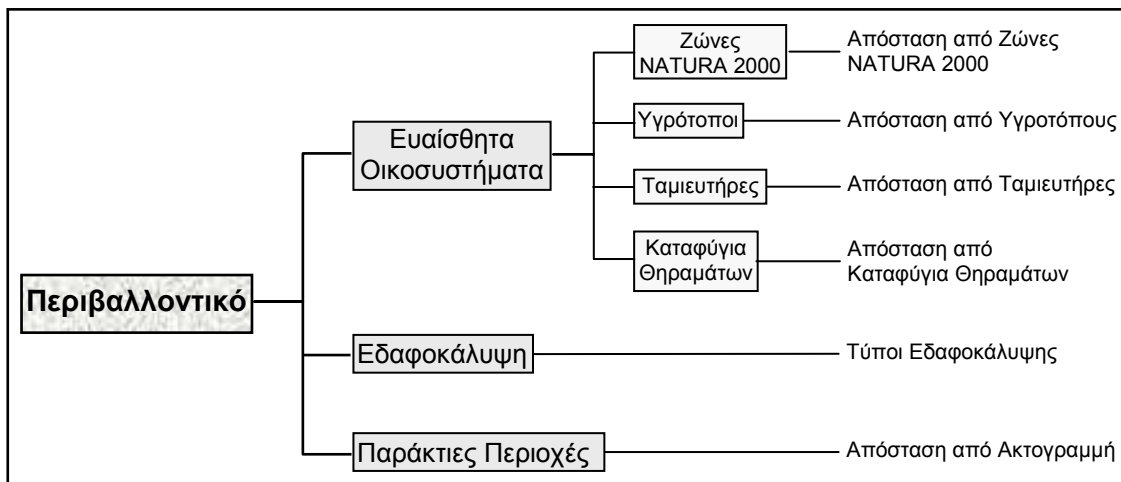
$RI_4 = 0.9$, $CI = 0.0053$, **$CR = 0.0059 \ll 0.1$**



Χάρτης 4.8: Κριτήριο Απόφασης “Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό”

4.2. Κριτήριο Απόφασης “Περιβαλλοντικό”

Το κριτήριο απόφασης προστασίας των περιβαλλοντικών παραμέτρων έχει σκοπό την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων από πιθανή ρύπανση τους. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12, το οποίο είναι το τμήμα της ιεραρχικής δομής του σχήματος 3.5 που αφορά τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, το συγκεκριμένο κριτήριο απόφασης αποτελείται από τρεις επιμέρους παραμέτρους. Συγκεκριμένα τα κριτήρια αξιολόγησης είναι τα ευαίσθητα οικοσυστήματα, η εδαφοκάλυψη και οι παράκτιες περιοχές.



Σχήμα 4.12: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης “Περιβαλλοντικό”

Η σημαντικότητα του συγκεκριμένου κριτηρίου θεωρείται μεγάλη, καθώς η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος πρέπει να είναι αυξημένης προτεραιότητας στη διαδικασία της χωροθέτησης κάθε οχλούσας δραστηριότητας. Η πιθανή ρύπανση του περιβάλλοντος έχει δυσμενείς και κάποιες φορές μη αναστρέψιμες συνέπειες. Εξάλλου, τα τελευταία χρόνια, λόγω της έντονης κινητοποίησης του περιβαλλοντικού κινήματος παγκοσμίως, έχει θεσπιστεί η αντίστοιχη νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία σε αρκετά σημεία της αναφέρεται στη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά όλες οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στο περιβαλλοντικό κριτήριο.

4.2.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”

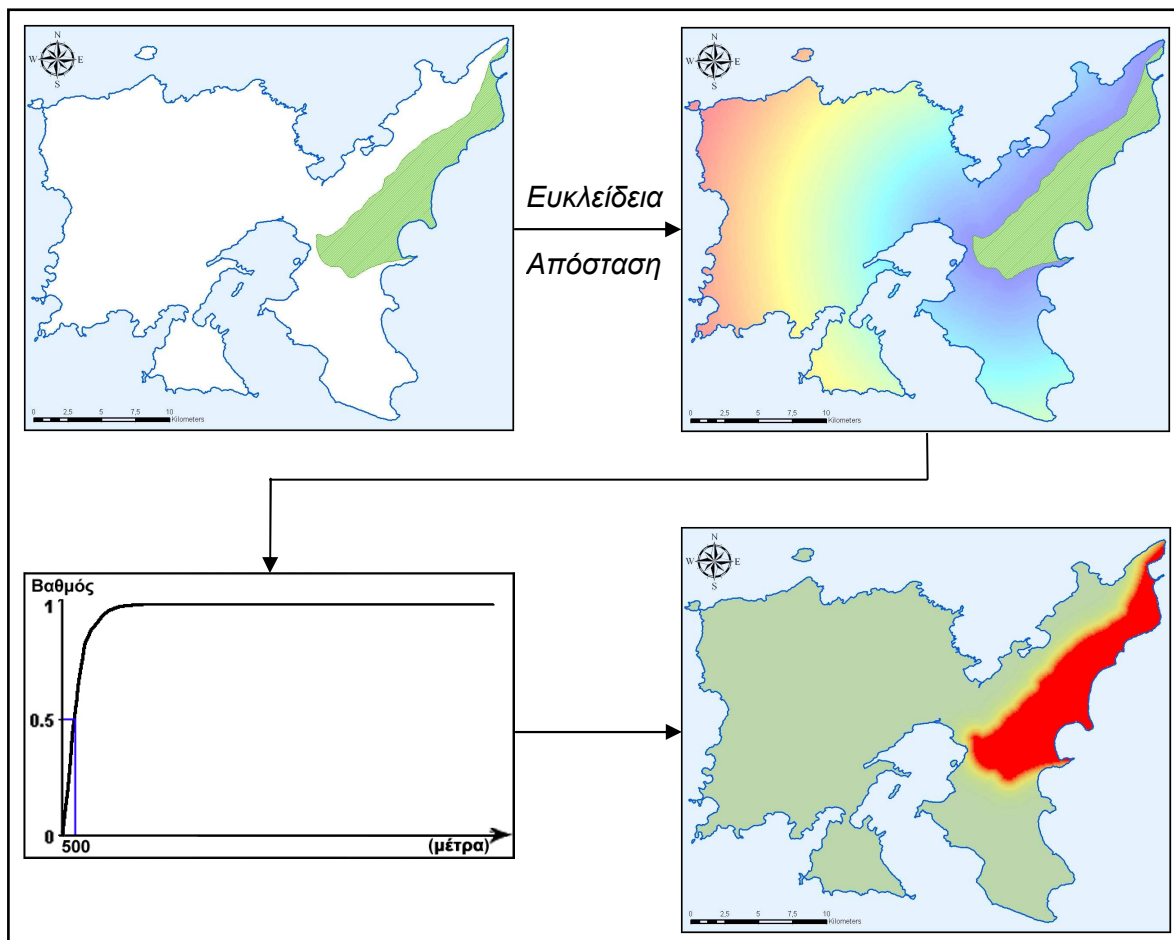
Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης υπάρχουν αρκετές αναφορές τόσο στη, Ελληνική, όσο και στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Αρχικά, με την ΚΥΑ Ε1β/301/64 καθορίζεται ότι «Απαγορεύεται η απόρριψις απορριμμάτων εις την θάλασσα, λίμνας ή ποταμούς». Ο Ν. 1650/86, δίνει κάποιες γενικές κατευθύνσεις για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η διαχείριση των στερεών αποβλήτων και αναφέρει «να μην προκαλείται υποβάθμιση στο

φυσικό περιβάλλον και σε χώρους που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό και αισθητικό ενδιαφέρον». Η ΚΥΑ 114218/97 αναφέρει ότι «απαγορεύεται η εγκατάσταση ΧΥΤΑ, εντός θεσμοθετημένων περιοχών προστασίας και μεμονωμένων στοιχείων της φύσης και του τοπίου (όπως αυτά ορίζονται από τις διατάξεις των αρ. 18, 19 και 21 του Ν. 1650/86 και τις διατάξεις του Ν.Δ. 996/71), εκτός εάν η συγκεκριμένη χρήση έχει προβλεφθεί από άλλο διαχειριστικό σχέδιο ή άλλη νομοθετική ρύθμιση». Επίσης, στην ΚΥΑ 29407/3508/02 γίνεται η αναφορά ότι για τη θέση μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απαιτήσεις που αφορούν «τις αποστάσεις του χώρου από κατοικημένες περιοχές και χώρους αναψυχής, υδατορεύματα, στάσιμα επιφανειακά ύδατα και άλλες γεωργικές ή αστικές περιοχές». Σε κάποιο άλλο σημείο, αναφέρεται ότι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απαιτήσεις που αφορούν «την προστασία της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς της περιοχής». Νομοθετική διάταξη υπάρχει στον Ν. 26297, ο οποίος καθορίζει ως κριτήριο αποκλεισμού περιοχών «απόσταση τουλάχιστον 500 μέτρων από περιοχές προστασίας της φύσης και του τοπίου (NATURA, βιότοποι CORINE, περιοχές σημαντικές για τα πουλιά, καταφύγια άγριας ζωής, υγρότοποι, περιοχές και τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους κλπ.) ή μη θεσμοθετημένες αλλά ευαίσθητες περιβαλλοντικά περιοχές». Τέλος, η γενική κατεύθυνση της ΕΕ σε ότι αφορά τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για τη διάθεση των αποβλήτων, υποδεικνύει ότι πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο που δεν ενδέχεται να βλάψει το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η ΚΟ 06/12/ΕΚ αναφέρει ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται διαδικασίες ή μέθοδοι διάθεσης των αποβλήτων «χωρίς να δημιουργείται κίνδυνος για το νερό, τον αέρα ή το έδαφος, ούτε για την πανίδα και τη χλωρίδα», ενώ σε κάποιο άλλο σημείο της αναφέρεται «χωρίς να βλάπτονται οι τοποθεσίες και τα τοπία που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον».

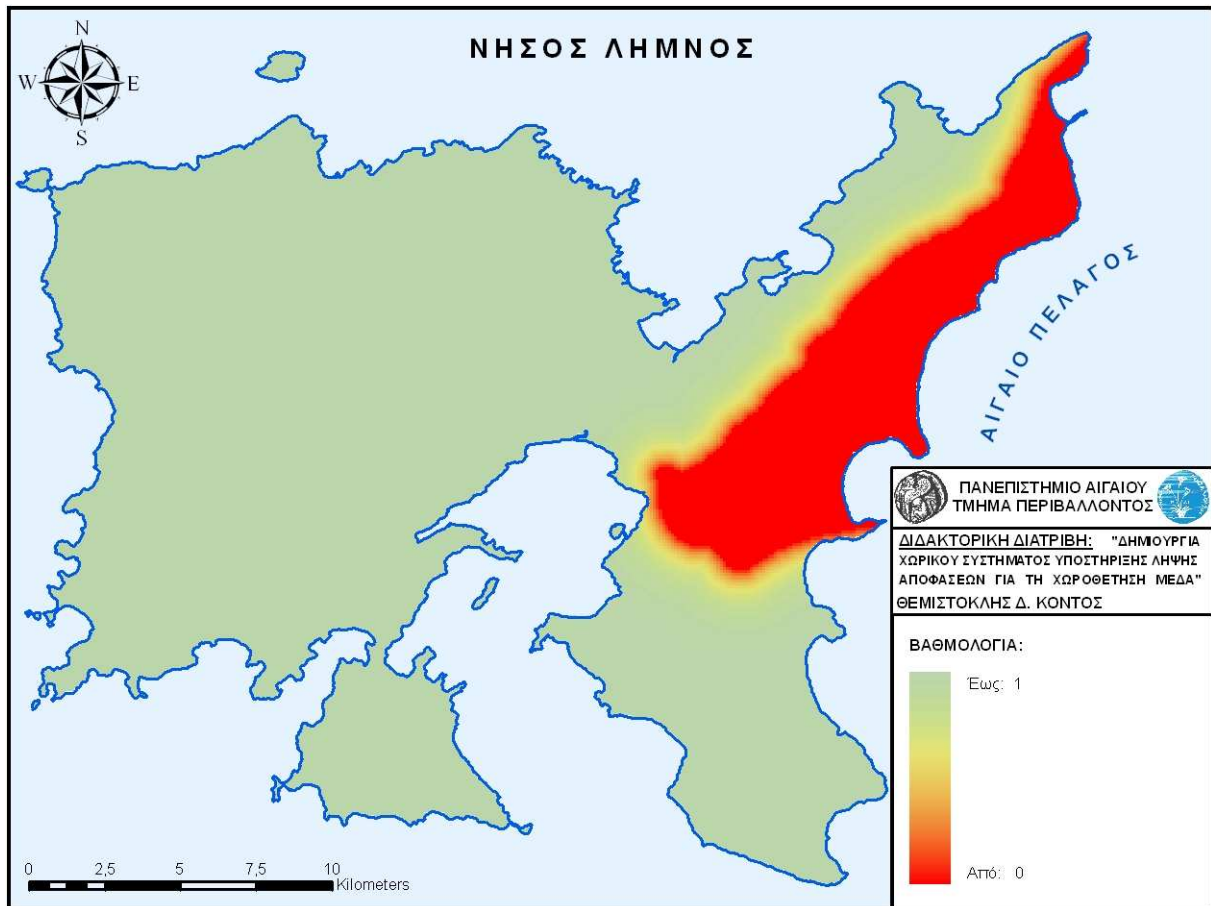
Οι οικολογικά ευαίσθητες περιοχές της Λήμνου οριοθετούνται από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Βιοτόπων NATURA 2000. Τα κριτήρια αξιολόγησης του οικολογικού πλούτου που εφαρμόζει το NATURA 2000, βασίζονται στην ΚΟ 79/409/ΕΟΚ για την άγρια ορνιθοπανίδα και σε Διεθνείς συμβάσεις τις οποίες υποχρεούται να εφαρμόζει η Ελλάδα. Στην παρούσα φάση, τα όρια των περιοχών αυτών αποτελούν πρόταση οριοθέτησης των βιότοπων. Δεν έχουν οριστικοποιηθεί τα ακριβή όρια, τυχόν ζώνες ειδικής προστασίας και οι όροι προστασίας σε κάθε ζώνη. Επίσης, οι υγρότοποι αποτελούν ένα από τα κυριότερα στοιχεία οικολογικής ποικιλότητας της νήσου, καθώς υποστηρίζουν σημαντικά οικοσυστήματα. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία τα υποκριτήρια αξιολόγησης που λαμβάνονται υπόψη είναι οι “Ζώνες NATURA 2000”, οι “Υγρότοποι”, οι “Ταμειυτήρες” και τα “Καταφύγια Θηραμάτων”. Στις παραγράφους που ακολουθούν, γίνεται η περιγραφή του χωρικού καθορισμού των υποκριτηρίων αξιολόγησης.

4.2.1.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ζώνες NATURA 2000”

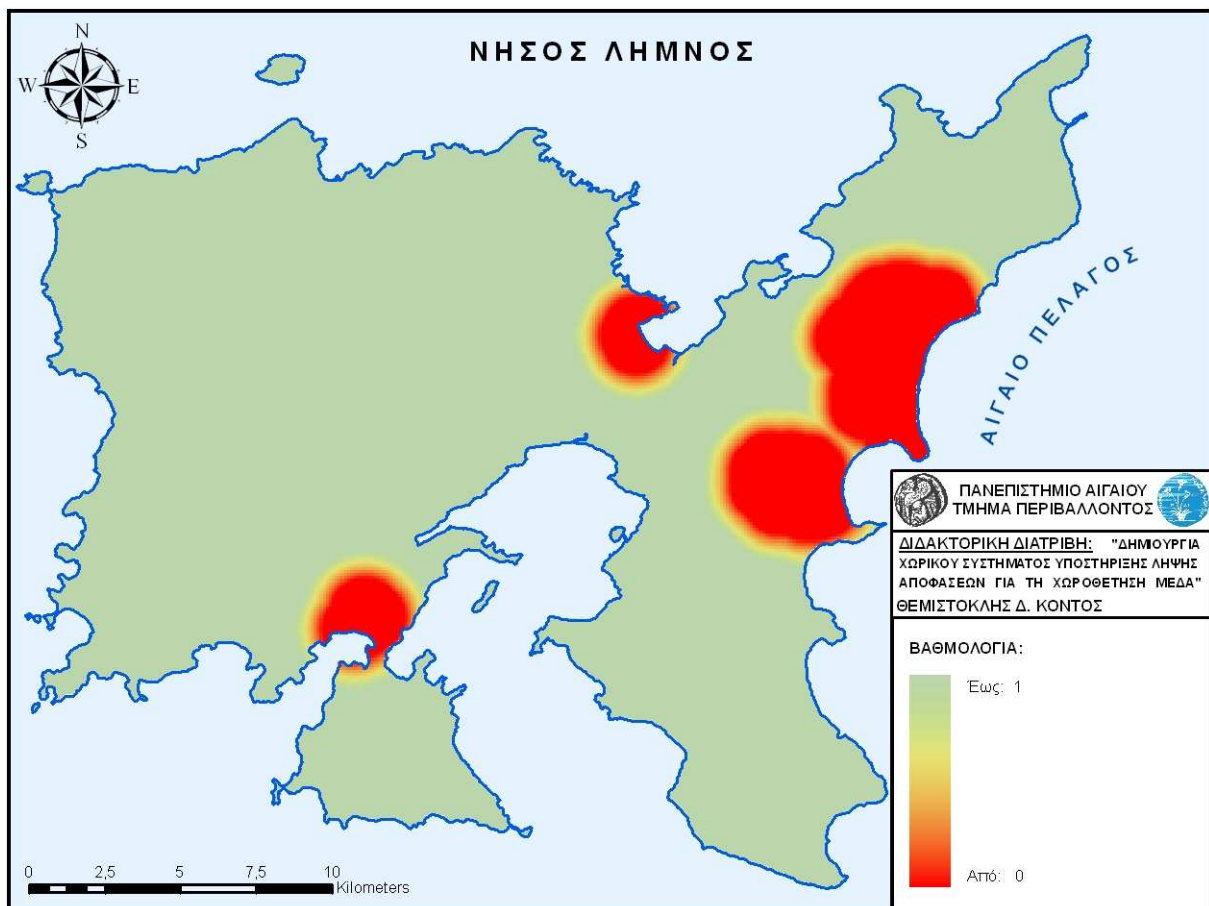
Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η απόσταση από τις ζώνες NATURA 2000. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.13 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.9. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στις ζώνες NATURA 2000 και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Θετική Εκθετική*, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 500$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές σε μικρή απόσταση από τις ζώνες NATURA 2000 λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 0. Στις υπόλοιπες περιοχές η βαθμολογία αυξάνεται εκθετικά μέχρι την απόσταση των 500 μέτρων όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές σε απόσταση μεγαλύτερη των 500 μέτρων από ζώνες NATURA 2000, η βαθμολογία συνεχίζει να αυξάνεται εκθετικά μέχρι να λάβει την τιμή 1.



Σχήμα 4.13: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Ζώνες NATURA 2000”



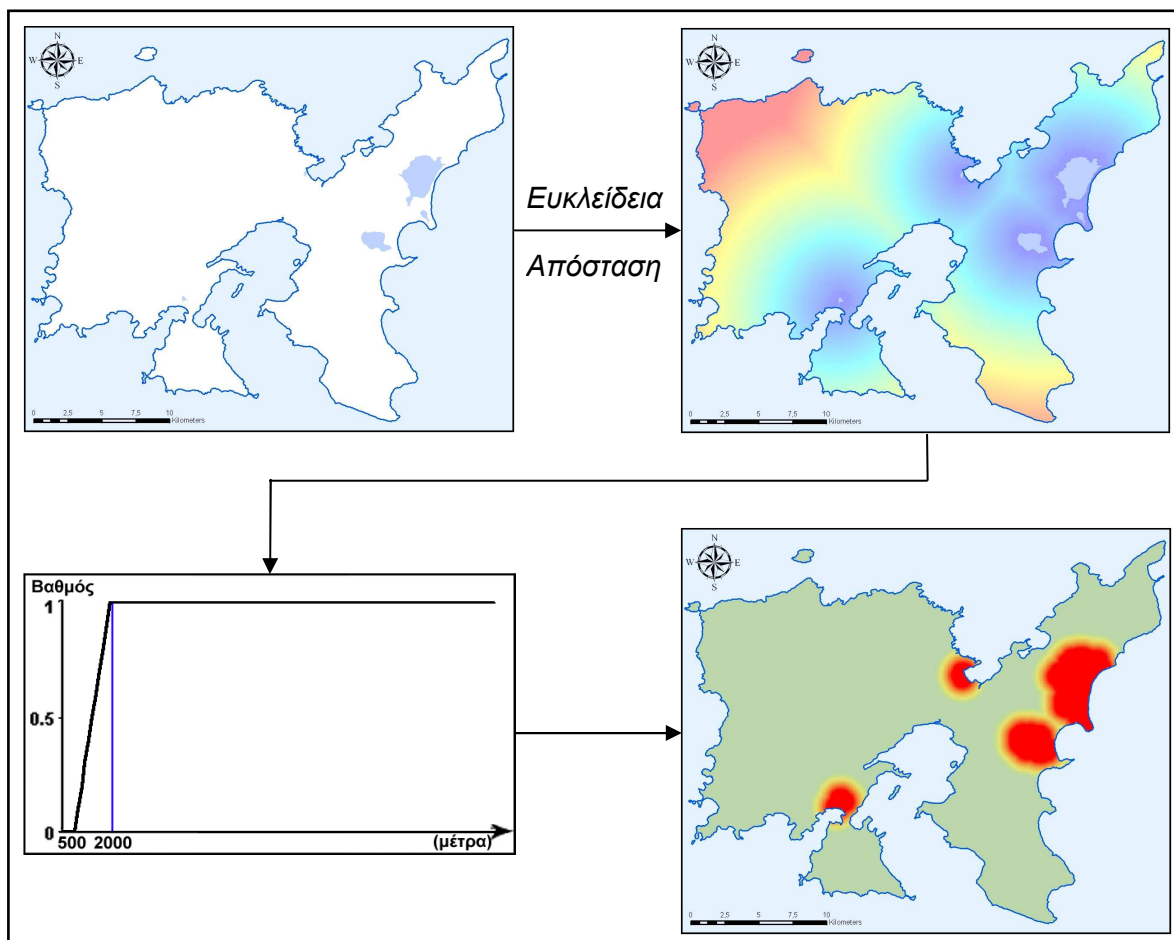
Χάρτης 4.9: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ζώνες NATURA 2000”



Χάρτης 4.10: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υγρότοποι”

4.2.1.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Υγρότοποι”

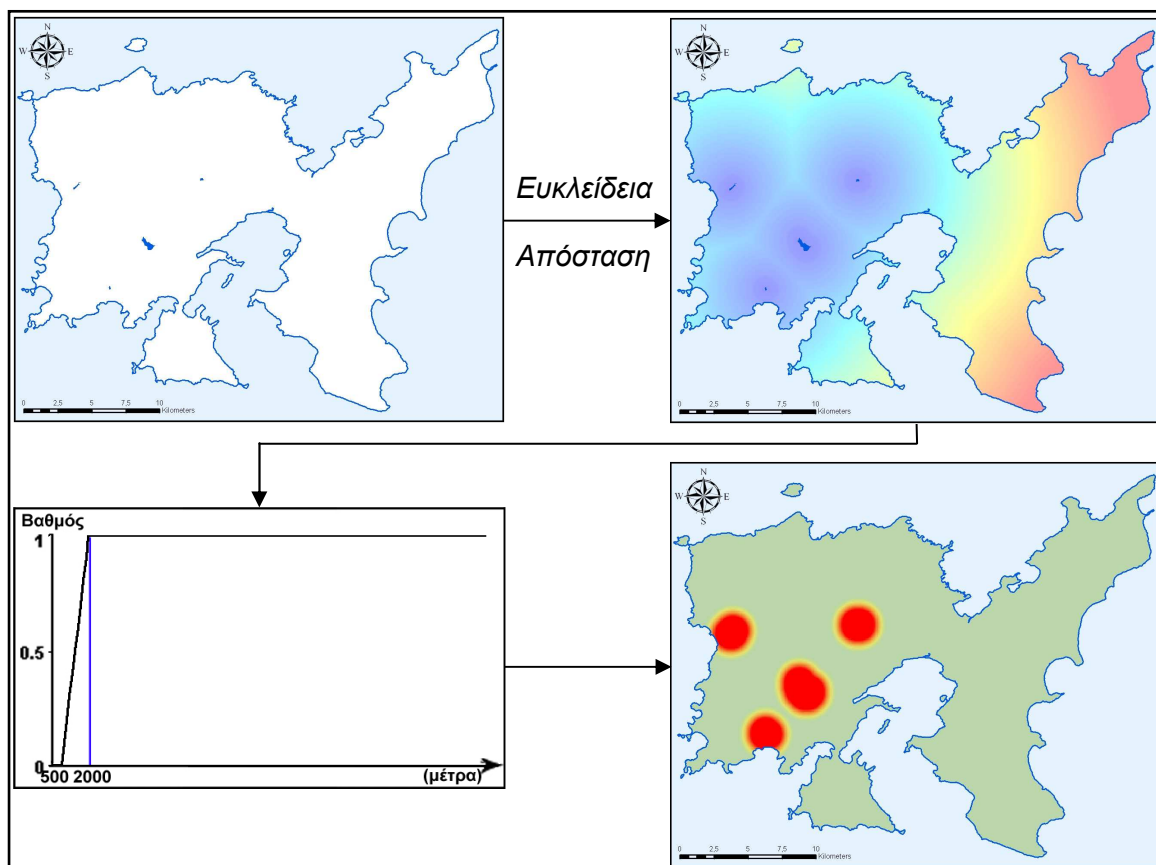
Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η απόσταση από τους υγρότοπους. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.14 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.10. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους υγροτόπους και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 500$ και $\beta = 2000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 500 μέτρα από οποιονδήποτε υγρότοπο θα έχει μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 500 έως 1000 μέτρα, εκτελείται μια αύξουσα γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι οι υγρότοποι δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας *ΜΕΔΑ* σε απόσταση μεγαλύτερη από 2000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.



Σχήμα 4.14: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Υγρότοπους”

4.2.1.3. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Ταμιευτήρες”

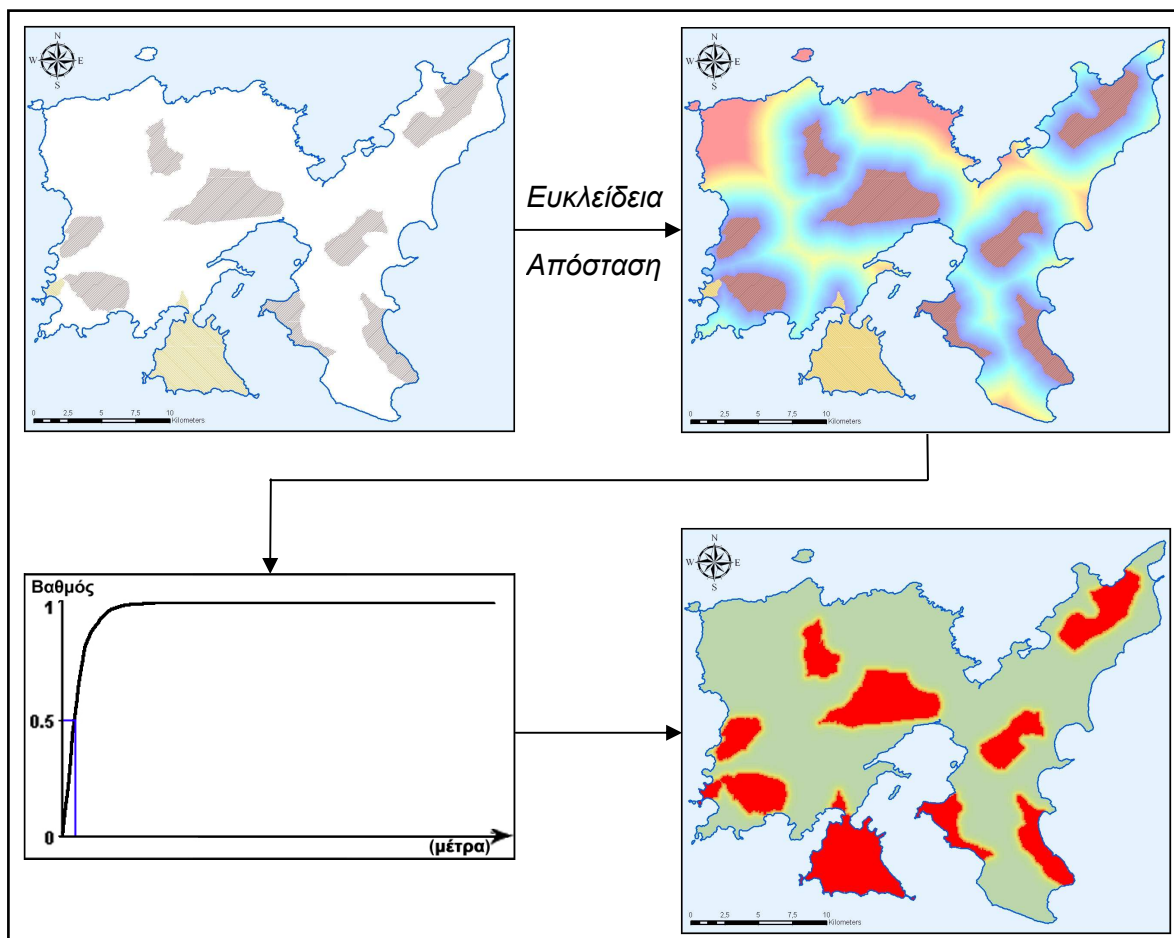
Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η απόσταση από τους ταμιευτήρες. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.15 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.11. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους ταμιευτήρες και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Τραπεζοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 500$ και $\beta = 2000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 500 μέτρα από οποιονδήποτε ταμιευτήρα έχει μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 500 έως 1000 μέτρα, εκτελείται μια αύξουσα γραμμική συνάρτηση για τον καθορισμό της βαθμολογίας. Τέλος, θεωρείται ότι οι ταμιευτήρες δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας *ΜΕΔΑ* σε απόσταση μεγαλύτερη από 2000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.



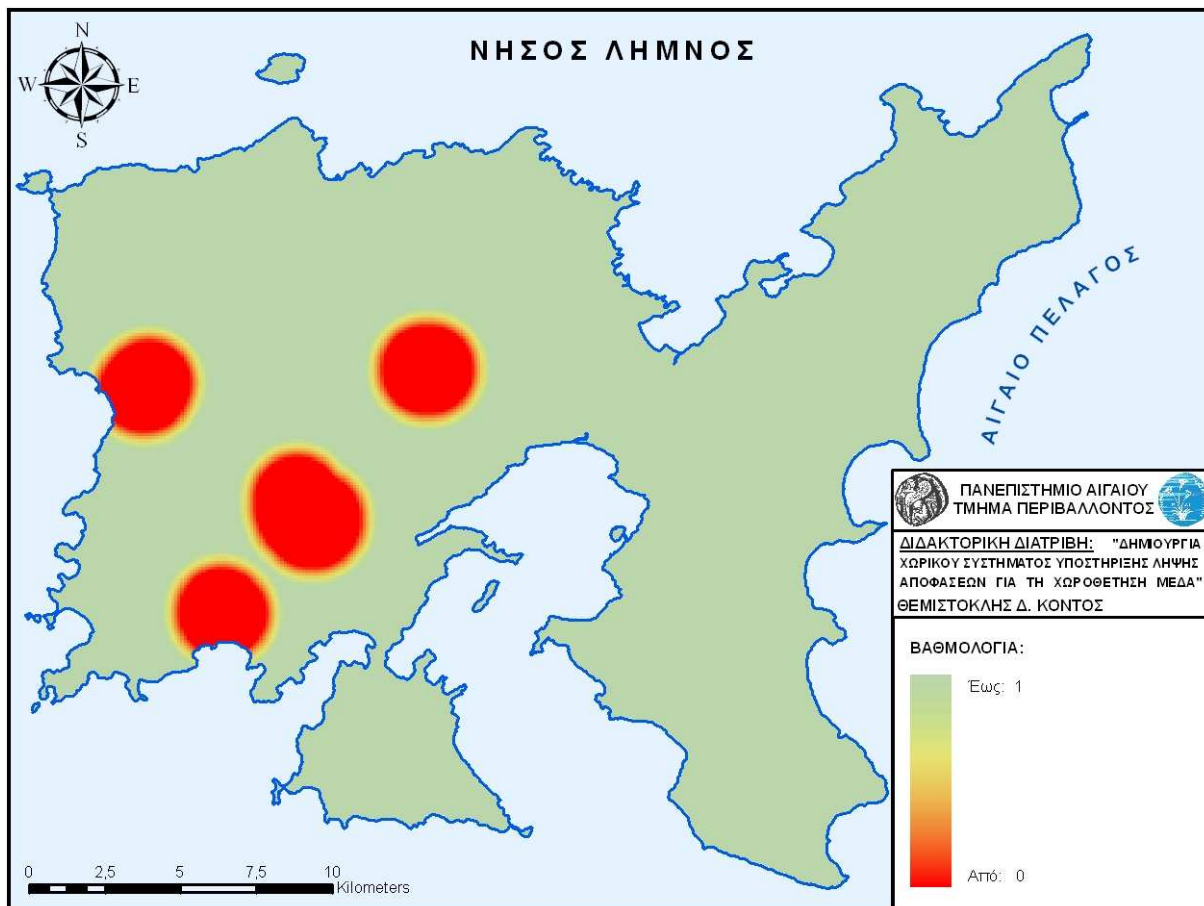
Σχήμα 4.15: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Ταμιευτήρες”

4.2.1.4. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Καταφύγια Θηραμάτων”

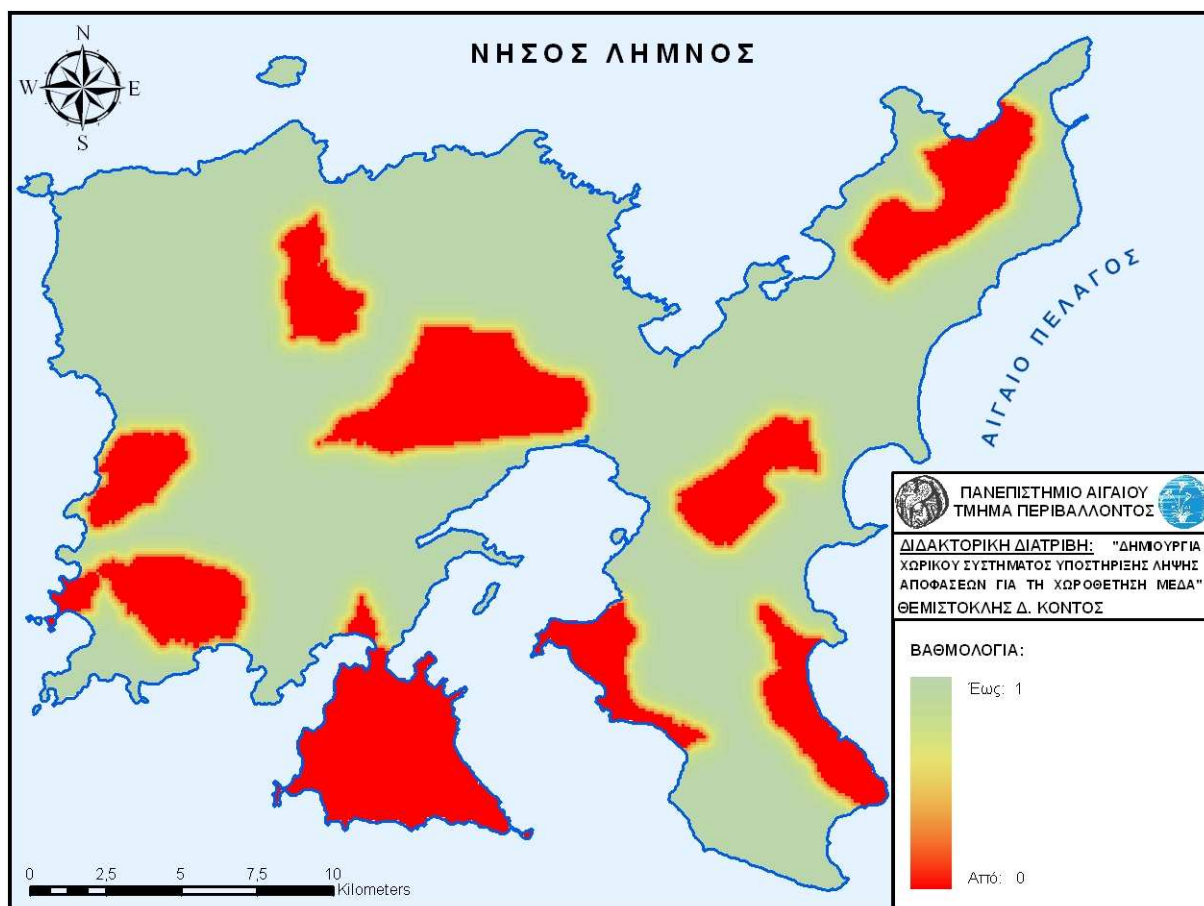
Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η απόσταση από τα καταφύγια θηραμάτων. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.16 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.12. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στα καταφύγια θηραμάτων και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Θετική Εκθετική*, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 200$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές σε μικρή απόσταση από τα καταφύγια θηραμάτων λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 0. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία αυξάνεται εκθετικά μέχρι την απόσταση των 200 μέτρων όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές σε απόσταση μεγαλύτερη των 200 μέτρων από καταφύγια θηραμάτων, η βαθμολογία συνεχίζει να αυξάνεται εκθετικά μέχρι να λάβει την τιμή 1.



Σχήμα 4.16: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου Απόσταση από “Καταφύγια Θηραμάτων”



Χάρτης 4.11: Υποκριτήριο Αξιολόγησης "Ταμιευτήρες"



Χάρτης 4.12: Υποκριτήριο Αξιολόγησης "Καταφύγια Θηραμάτων"

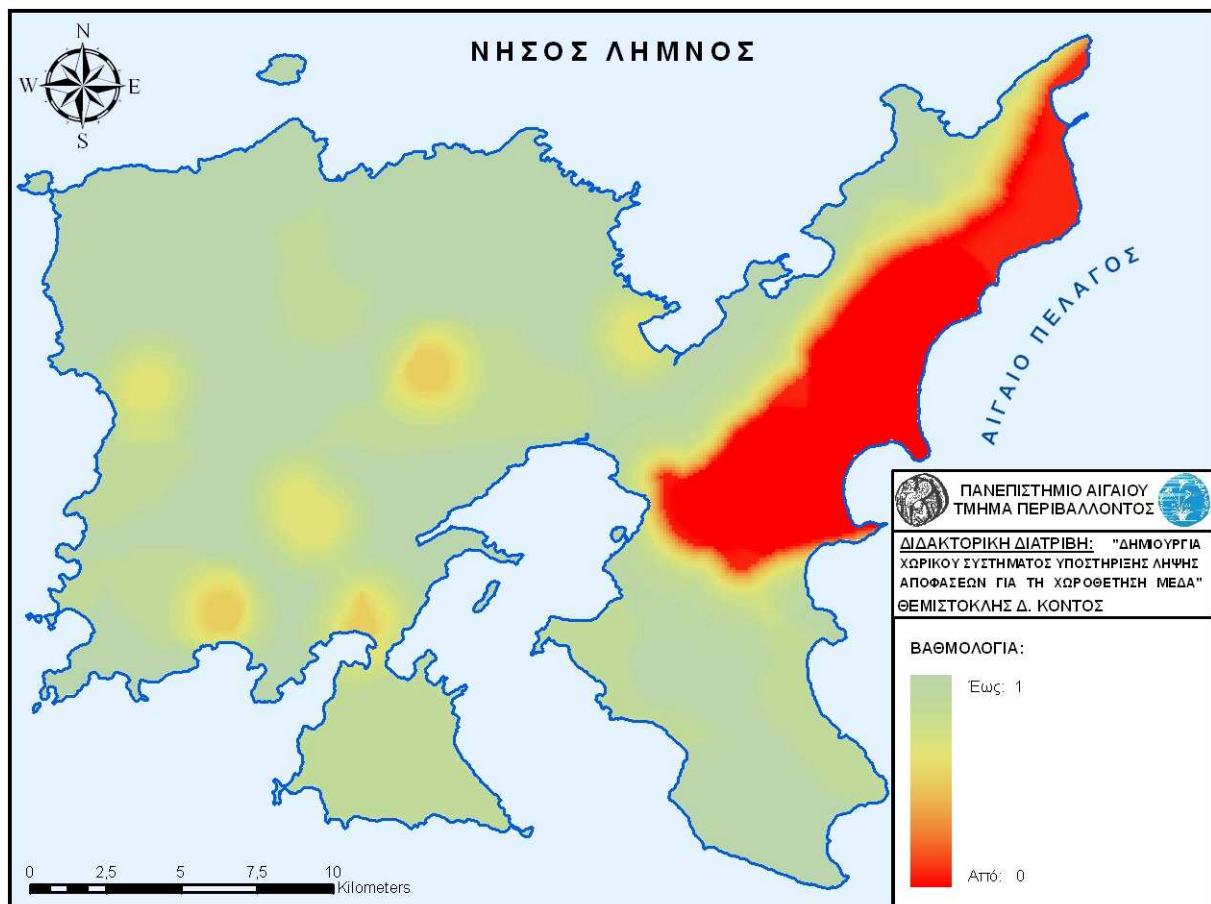
4.2.1.5. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”

Αφού δημιουργηθούν τα υποκριτήρια αξιολόγησης “Ζώνες NATURA 2000”, “Υγρότοποι”, “Ταμιευτήρες” και “Καταφύγια Θηραμάτων” που φαίνονται στους χάρτες 4.9, 4.10, 4.11, και 4.12 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα” χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ με τους συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 4.4. Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.13.

Πίνακας 4.4: ΠΣΖ του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”

| | Ζώνες NATURA 2000 | Υγρότοποι | Ταμιευτήρες | Καταφύγια Θηραμάτων | Συντελεστές Βαρύτητας |
|----------------------------|-------------------|-----------|-------------|---------------------|-----------------------|
| Ζώνες NATURA 2000 | 1 | 3 | 3 | 5 | 0.5205 |
| Υγρότοποι | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 0.2010 |
| Ταμιευτήρες | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 0.2010 |
| Καταφύγια Θηραμάτων | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 0.0775 |

$Rl_4 = 0.9$, $CI = 0.0145$, **$CR = 0.0161 \ll 0.1$**



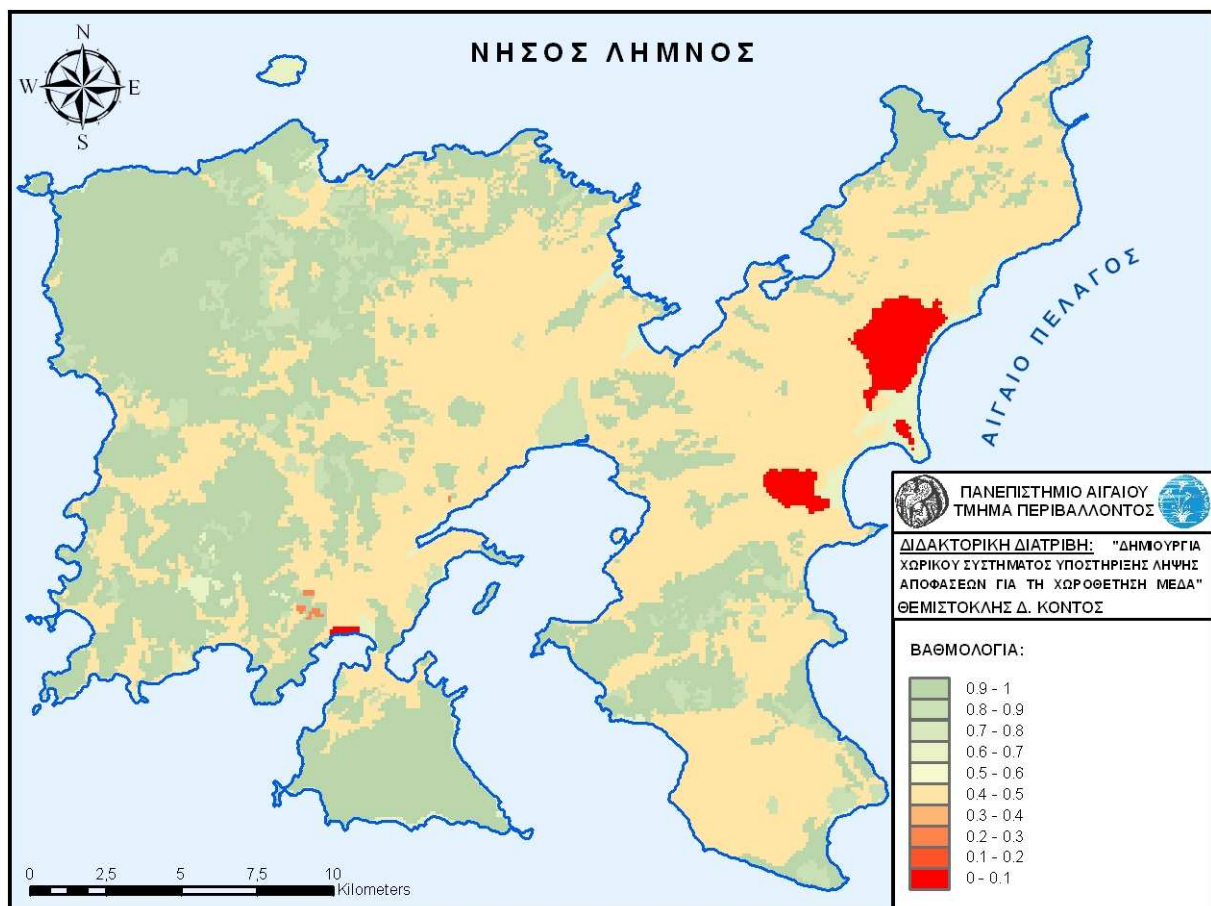
Χάρτης 4.13: Κριτήριο Αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”

4.2.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Εδαφοκάλυψη”

Το συγκεκριμένο κριτήριο δεν υπόκειται σε κάποιον θεσμικό περιορισμό. Η αξιολόγηση των επιμέρους φυτικών σχηματισμών βασίζεται στην μορφή της βλάστησης που θα αποψιλωθεί, τόσο ως την ποικιλότητα, όσο και ως προς την αφθονία. Η ιεράρχηση των φυτικών σχηματισμών είναι συνάρτηση της γεωγραφικής τους εξάπλωσης και της μοναδικότητας της φυσιογνωμίας τους στη περιοχή μελέτης. Η βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης, γίνεται βάσει της σπουδαιότητας των τύπων εδαφοκάλυψης του χάρτη 3.12. Στον πίνακα 4.5 φαίνονται οι βαθμολογίες που δίνονται στους διάφορους τύπους εδαφοκάλυψης της νήσου Λήμνου. Το κριτήριο αξιολόγησης “Εδαφοκάλυψη” φαίνεται στον χάρτη 4.14.

Πίνακας 4.5: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Εδαφοκάλυψη”

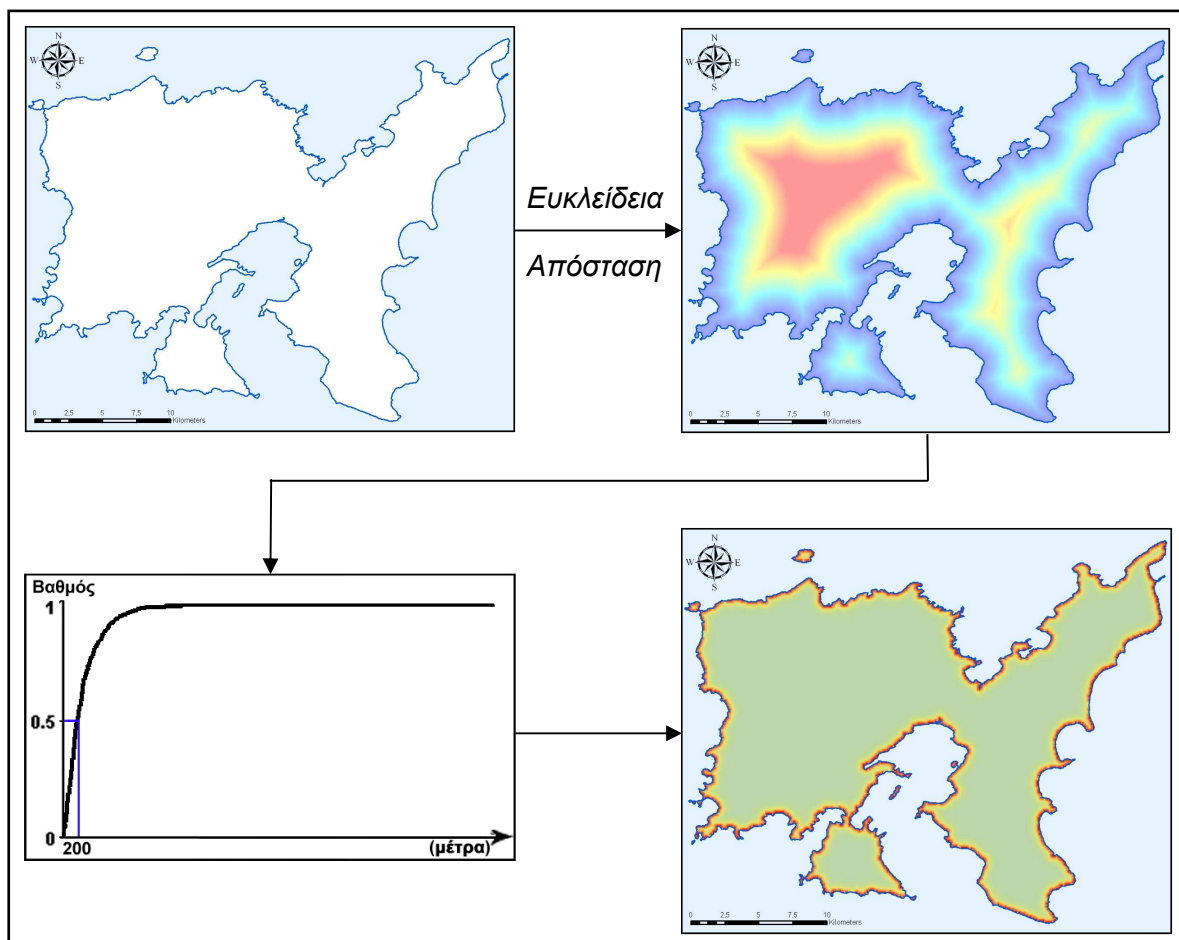
| Τύπος Εδαφοκάλυψης | Βαθμολογία | Τύπος Εδαφοκάλυψης | Βαθμολογία |
|------------------------------|------------|------------------------|------------|
| Βοσκότοποι | 1 | Γεωργικές Καλλιέργειες | 0.5 |
| Εγκαταλειμμένες Καλλιέργειες | 0.9 | Θαμνώνες | 0.4 |
| Λοιπές Χρήσεις | 0.8 | Δάση Τραχείας Πεύκης | 0.2 |
| Άγονα | 0.7 | Υγρότοποι | 0 |



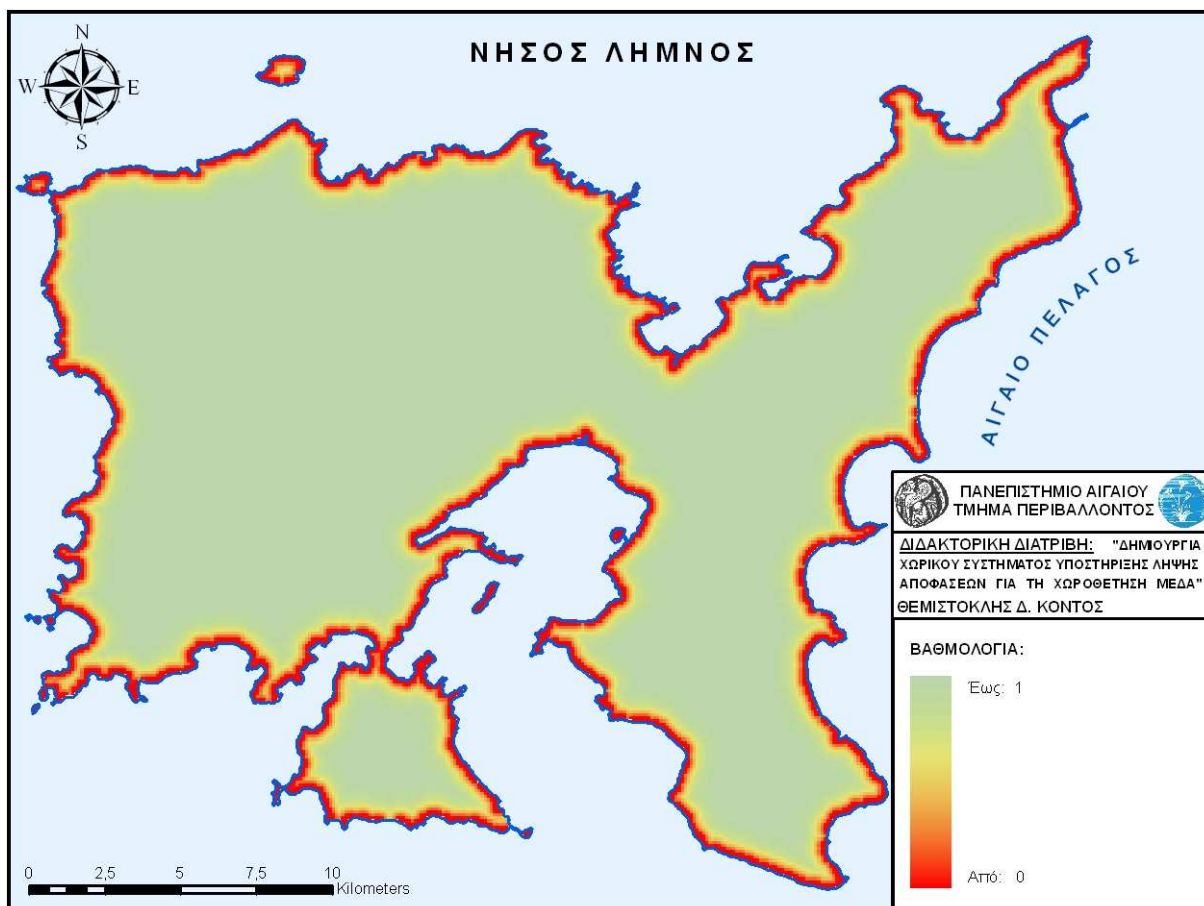
Χάρτης 4.14: Κριτήριο Αξιολόγησης “Εδαφοκάλυψη”

4.2.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Παράκτιες Περιοχές”

Το συγκεκριμένο κριτήριο δεν υπόκειται σε κάποιον θεσμικό περιορισμό. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η απόσταση από την ακτογραμμή. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.17 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.15. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στην ακτογραμμή και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Θετική Εκθετική*, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 200$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές σε μικρή απόσταση από την ακτογραμμή λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 0. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία αυξάνεται εκθετικά μέχρι την απόσταση των 200 μέτρων όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές σε απόσταση μεγαλύτερη των 200 μέτρων από την ακτογραμμή, η βαθμολογία συνεχίζει να αυξάνεται εκθετικά μέχρι να λάβει την τιμή 1.



Σχήμα 4.17: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Ακτογραμμή”



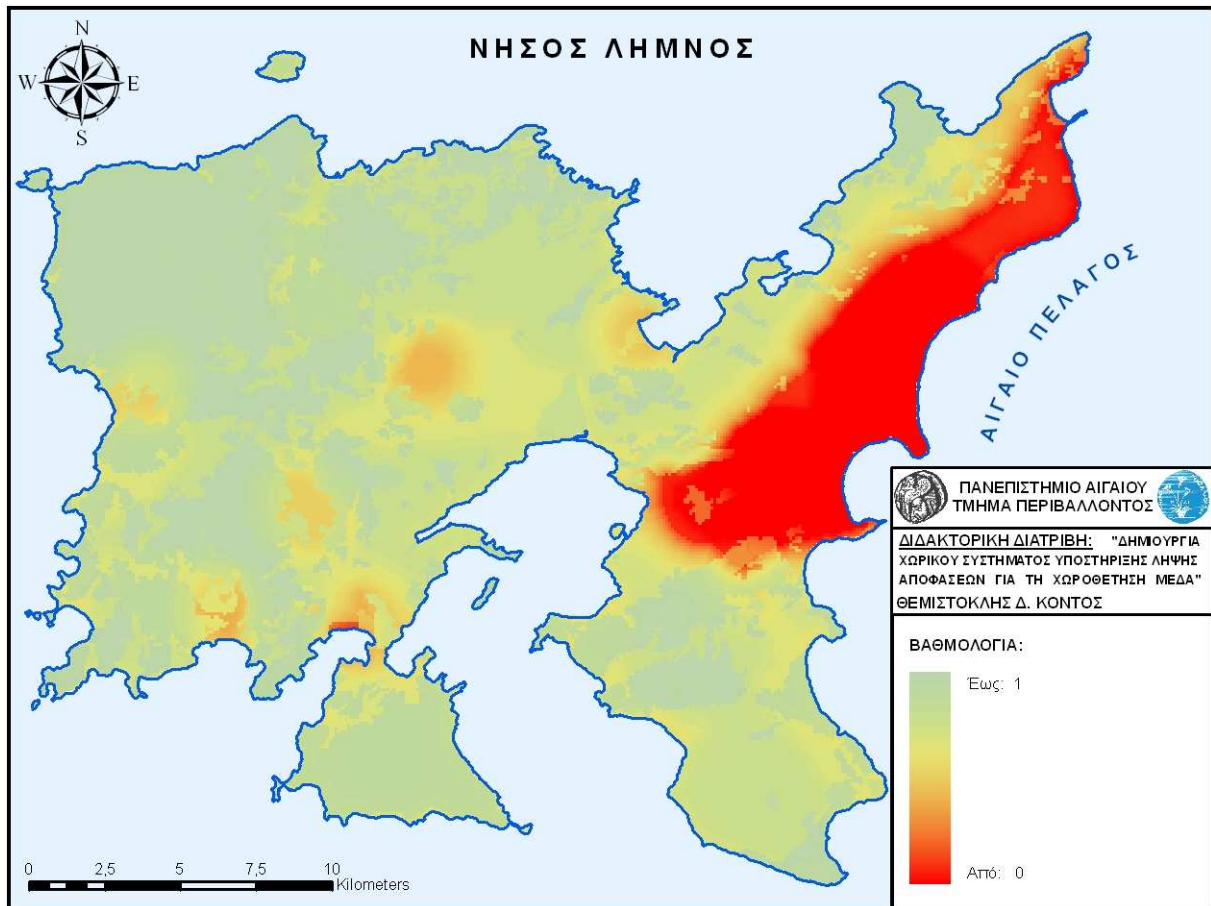
Χάρτης 4.15: Κριτήριο Αξιολόγησης “Παράκτιες Περιοχές”

4.2.4. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Περιβαλλοντικό”

Αφού δημιουργηθούν τα κριτήρια αξιολόγησης “Ευαίσθητα Οικοσυστήματα”, “Εδαφοκάλυψη” και “Παράκτιες Περιοχές” που φαίνονται στους χάρτες 4.13, 4.14, και 4.15 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο απόφασης “Περιβαλλοντικό”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΜ με τους συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 4.6. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου απόφασης φαίνεται στον χάρτη 4.16.

Πίνακας 4.6: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης “Περιβαλλοντικό”

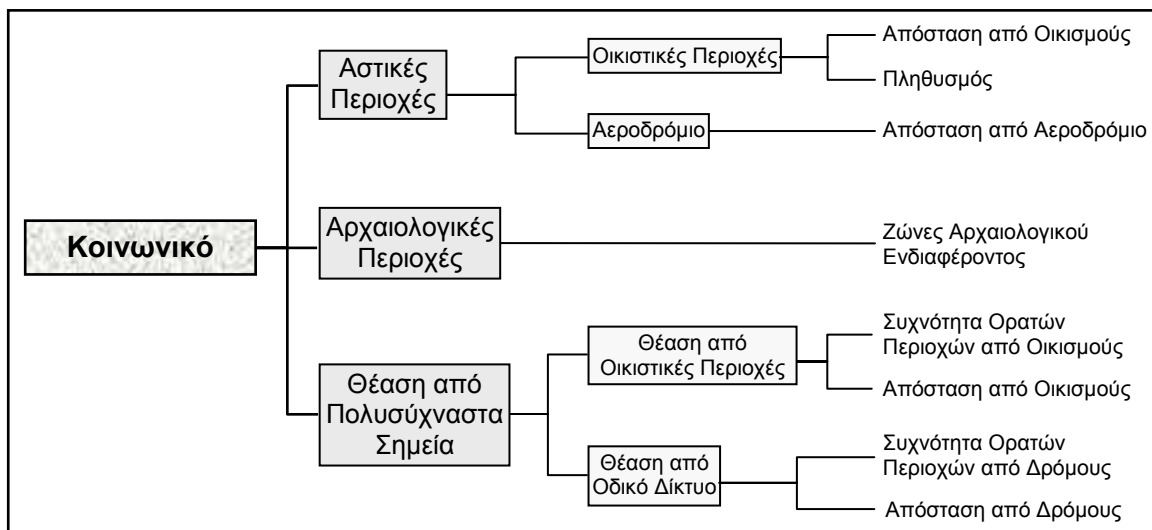
| | Ευαίσθητα Οικοσυστήματα | Εδαφοκάλυψη | Παράκτιες Περιοχές | Συντελεστές Βαρύτητας |
|--|-------------------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| Ευαίσθητα Οικοσυστήματα | 1 | 4 | 9 | 0.7085 |
| Εδαφοκάλυψη | 1/4 | 1 | 5 | 0.2311 |
| Παράκτιες Περιοχές | 1/9 | 1/5 | 1 | 0.0603 |
| RI ₃ = 0.58, CI = 0.0356, CR = 0.0614 << 0.1 | | | | |



Χάρτης 4.16: Κριτήριο Απόφασης “Περιβαλλοντικό”

4.3. Κριτήριο Απόφασης “Κοινωνικό”

Το κριτήριο απόφασης προστασίας των κοινωνικών παραμέτρων έχει σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας, της πολιτιστικής κληρονομιάς και της αισθητικής. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.18, το οποίο είναι το τμήμα της ιεραρχικής δομής του σχήματος 3.5 που αφορά τις κοινωνικές παραμέτρους, το συγκεκριμένο κριτήριο απόφασης αποτελείται από τρεις επιμέρους παραμέτρους. Συγκεκριμένα τα κριτήρια αξιολόγησης είναι οι “Αστικές Περιοχές”, οι “Αρχαιολογικές Περιοχές” και η “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία”.



Σχήμα 4.18: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης “Κοινωνικό”

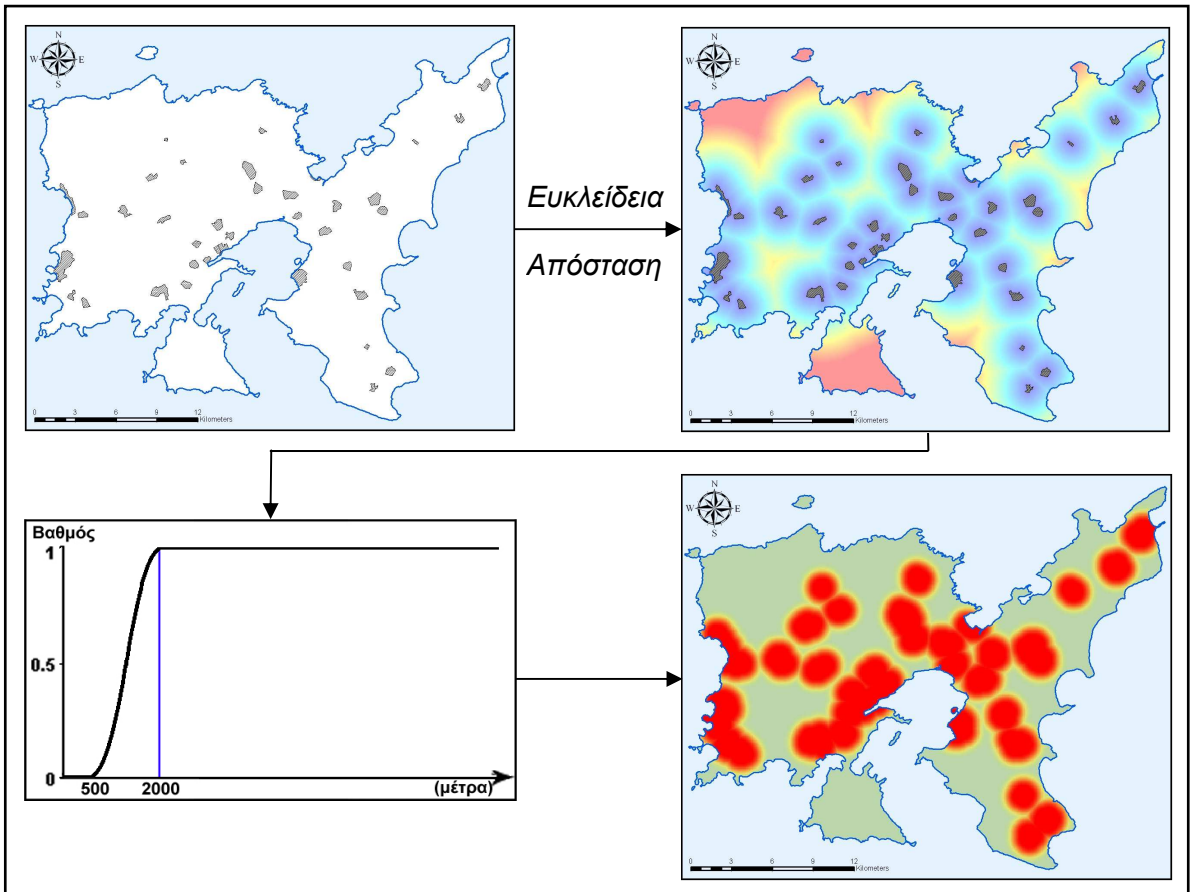
Η σημαντικότητα του συγκεκριμένου κριτηρίου είναι αρκετά μεγάλη, καθώς σε κάθε διαδικασία χωροθέτησης κάποιας οχλούσας δραστηριότητας, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην προστασία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Η σημασία των κοινωνικών παραμέτρων έχει να κάνει με την προστασία της δημόσιας υγείας, ενώ πολύ μεγάλο ρόλο παίζει η πιθανή αντίδραση της τοπικής κοινωνίας στην εγκατάσταση μιας οχλούσας δραστηριότητας. Είναι γνωστά τα φαινόμενα αντιδράσεων και κινητοποιήσεων των τοπικών κοινωνιών στην εγκατάσταση οχλουσών δραστηριοτήτων. Οι αντιδράσεις αυτές συνοδεύονται από το φαινόμενο *NIMBY (Not in my Back Yard)*, σύμφωνα με το οποίο τις τοπικές κοινωνίες δεν απασχολούν τα οφέλη που θα αποκομίσουν από τη δημιουργία έργων υποδομής (όπως θα ΠΡΕΠΕΙ να θεωρείται μια *ΜΕΔΑ*), τους αρκεί να μη γίνει μέσα στα διοικητικά τους όρια. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά όλες οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στο κοινωνικό κριτήριο απόφασης.

4.3.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”

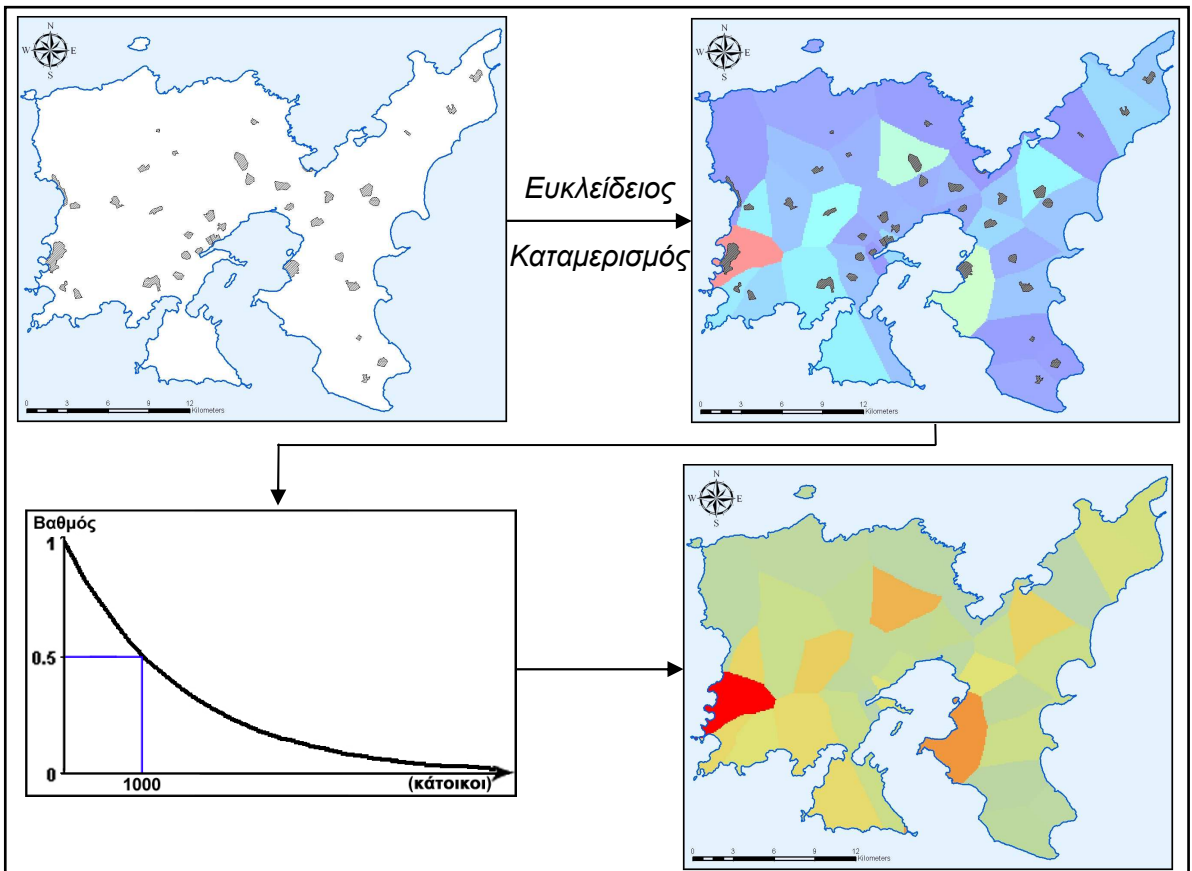
Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης υπάρχουν αρκετές αναφορές στην Ελληνική νομοθεσία. Αρχικά, με την ΚΥΑ Ε1β/301/64 καθορίζεται ότι «Η περιοχή διαθέσεως θα κείται εις θέσιν τοιαύτην ώστε τα όρια αυτής να απέχουν τουλάχιστον 500 μ από των πλησιέστερων κατοικιών.». Στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι «απαγορεύεται η εγκατάσταση ΧΥΤΑ εντός α) παραδοσιακών οικισμών, β) περιοχών εντός σχεδίου πόλης και εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό κάτω των 2.000 κατοίκων γ) περιοχών εντός ορίων Οικοδομικών Συνεταιρισμών Α ή Β κατοικίας και δ) περιοχών ιδιωτικής πολεοδόμησης του Ν. 1947/91 για οικιστική χρήση». Επίσης, στην ΚΥΑ 29407/3508/02, γίνεται η αναφορά ότι για τη θέση μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απαιτήσεις που αφορούν «τις αποστάσεις του χώρου από κατοικημένες περιοχές και χώρους αναψυχής, υδατορεύματα, στάσιμα επιφανειακά ύδατα και άλλες γεωργικές ή αστικές περιοχές». Τέλος, υπάρχει μια σχετική διάταξη στον Ν. 26297 (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 2003) που καθορίζει ως κριτήριο αποκλεισμού περιοχών «απόσταση τουλάχιστον 1000 μέτρων από οικισμούς». Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, τα υποκριτήρια αξιολόγησης που λαμβάνονται υπόψη είναι οι “Οικιστικές Περιοχές” και το “Αεροδρόμιο”. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται η περιγραφή του χωρικού καθορισμού των υποκριτηρίων αξιολόγησης.

4.3.1.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Οικιστικές Περιοχές”

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης, λαμβάνονται υπόψη η απόσταση από τους οικισμούς και ο πληθυσμός τους. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Οικισμούς” περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.19. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους οικισμούς και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα S-Shape* (S^+), χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 500$ και $\beta = 2000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 500 μέτρα από οποιονδήποτε οικισμό θα έχει μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 500 έως 2000 μέτρα, για τον καθορισμό της βαθμολογίας εκτελείται μια αύξουσα συνάρτηση δευτέρου βαθμού η οποία στην απόσταση των 1250 μέτρων δίνει την τιμή 0.5. Τέλος, θεωρείται ότι οι οικισμοί δεν επηρεάζονται καθόλου από την ύπαρξη μιας ΜΕΔΑ σε απόσταση μεγαλύτερη από 2000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1.

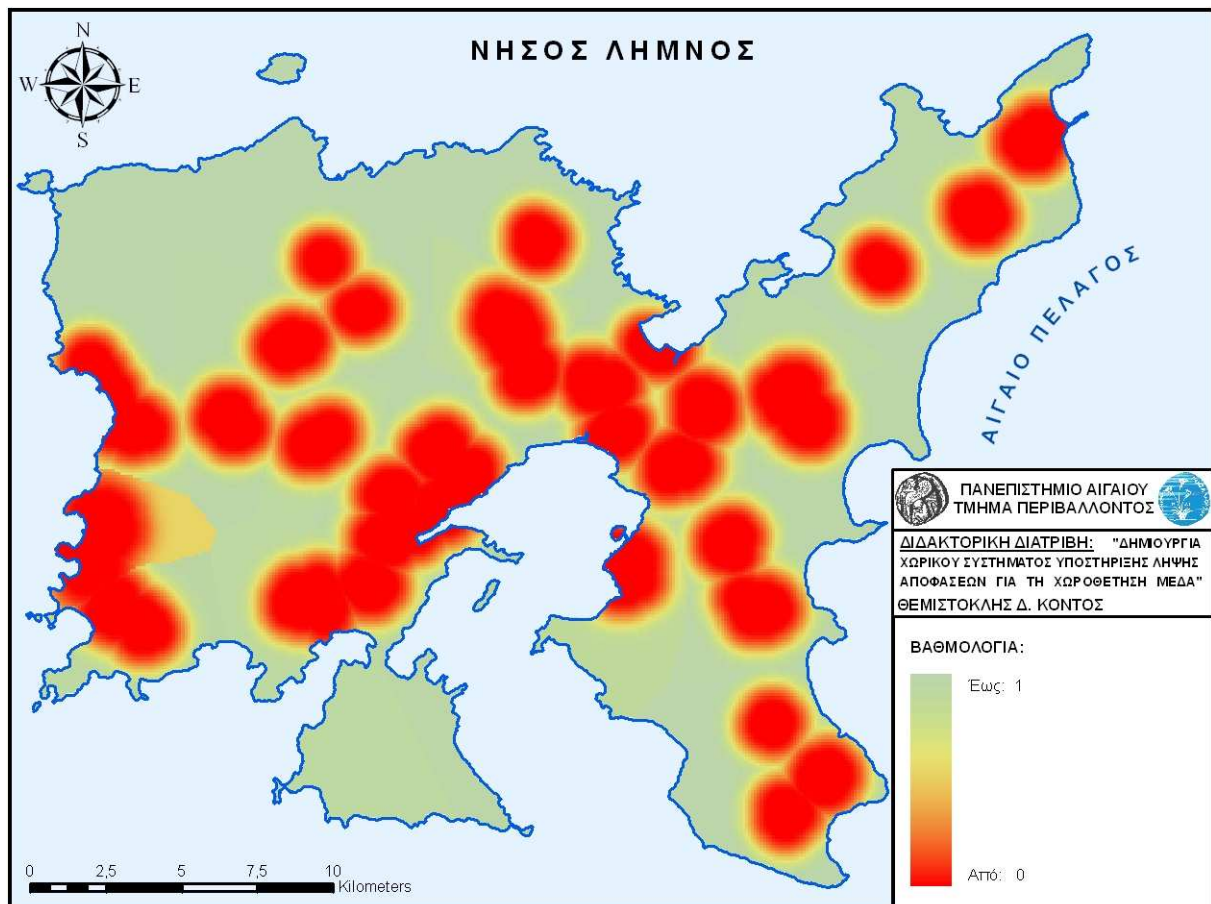


Σχήμα 4.19: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Οικισμούς”



Σχήμα 4.20: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Πληθυσμός”

Σε ότι αφορά τον πληθυσμό των οικισμών, ο χωρικός καθορισμός της συγκεκριμένης παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.20. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία του *Ευκλείδειου Καταμερισμού* στους οικισμούς χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή τον πληθυσμό. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αρνητική Εκθετική*, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 1000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα σε οικισμούς με μικρό πληθυσμό λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι να βρεθούν οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται πλησιέστερα σε οικισμούς με 1000 κατοίκους, όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα σε οικισμούς με πληθυσμό περισσότερο από 1000 κατοίκους, η βαθμολογία συνεχίζει να μειώνεται εκθετικά μέχρι να μηδενιστεί. Αφού εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.18 και 4.19, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Απόσταση από Οικισμούς” και “Πληθυσμός”, δημιουργείται το υποκριτήριο αξιολόγησης “Οικιστικές Περιοχές”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ με συντελεστές βαρύτητας 0.8333 και 0.1667 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.17.

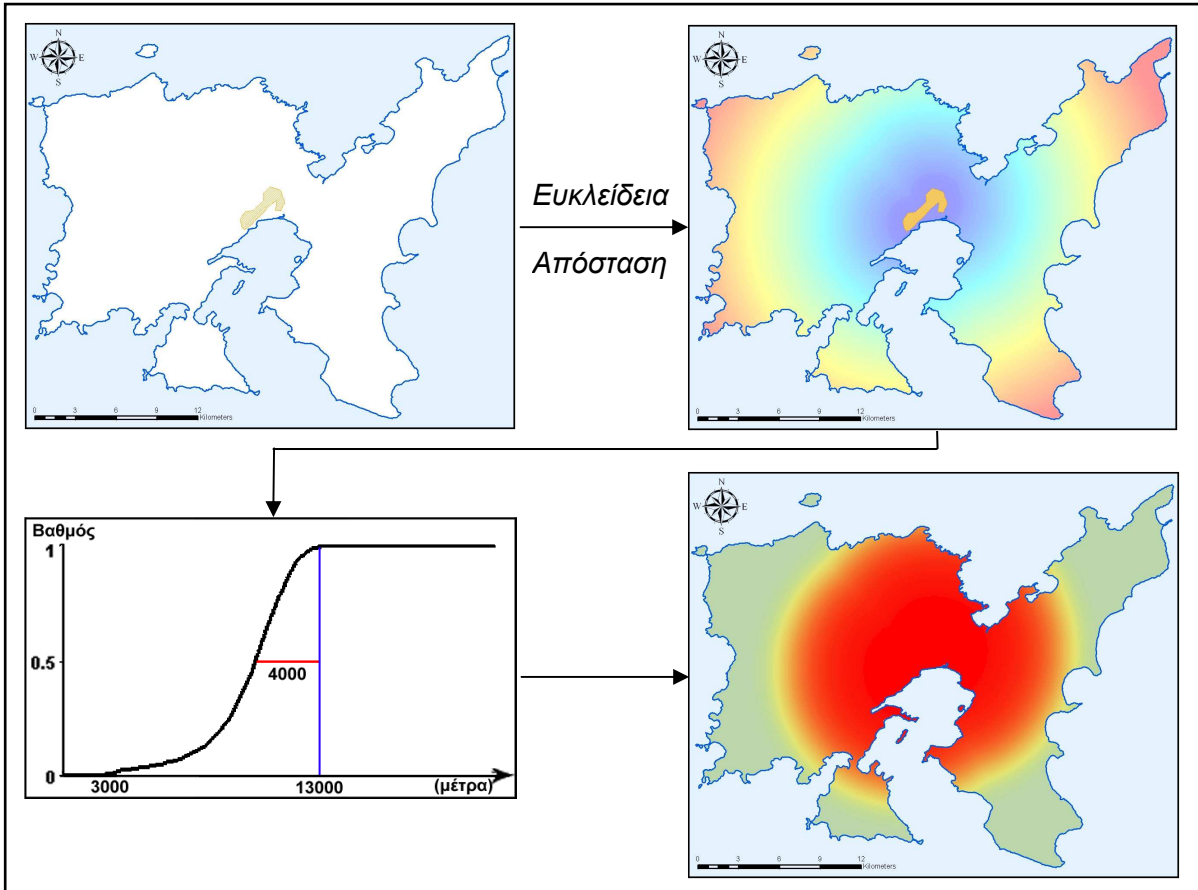


Χάρτης 4.17: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Οικιστικές Περιοχές”

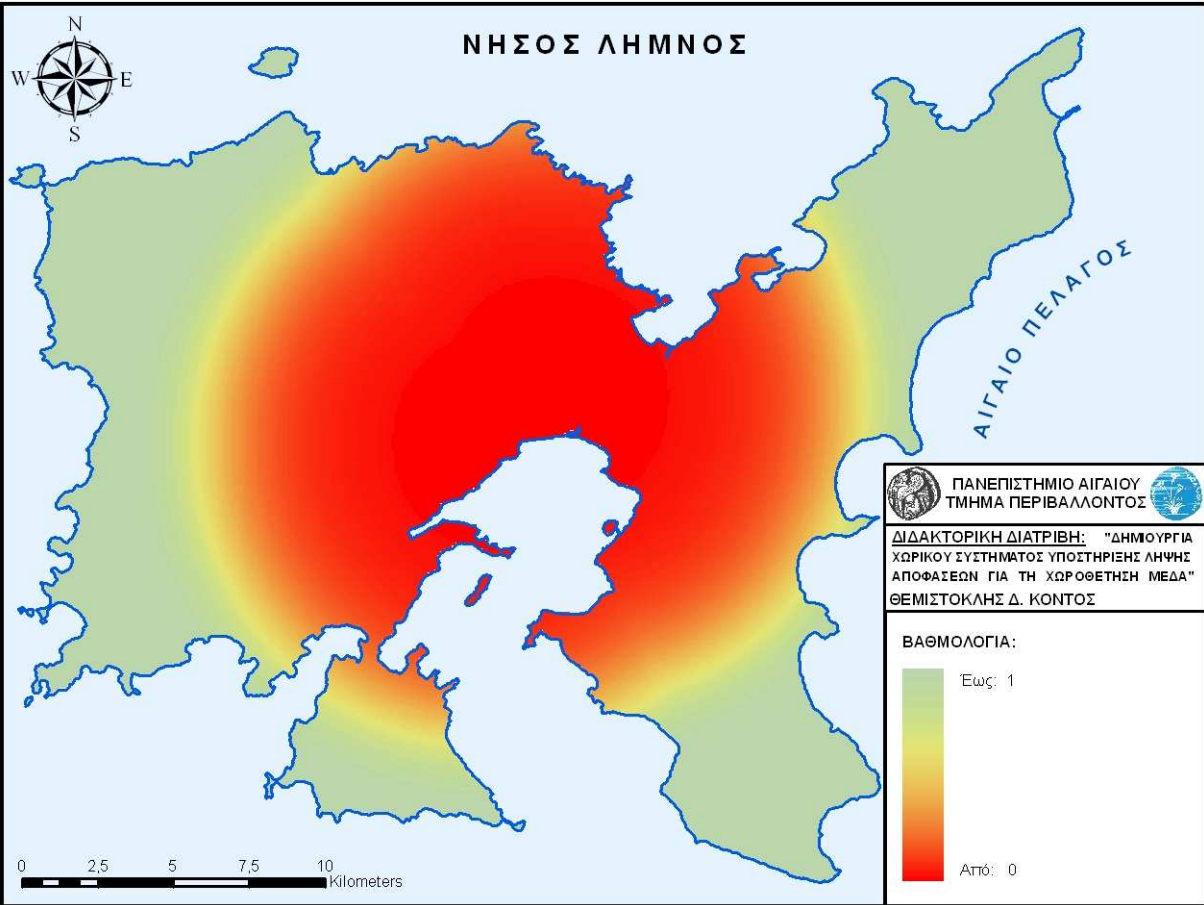
4.3.1.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Αεροδρόμιο”

Η ανάγκη επιβολής ζώνης προστασίας από τα αεροδρόμια προκύπτει από τον κίνδυνο για την ασφάλεια των πτήσεων που εγκυμονεί η μεγάλη συγκέντρωση πουλιών η οποία συχνά παρατηρείται πάνω από τους ΧΔΑ (Tchobanoglous et al 1993). Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης υπάρχουν ελάχιστες αναφορές στην σχετική νομοθεσία. Στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι κατά τη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη χαρακτηριστικά των περιοχών που αφορούν «απόσταση από αεροδρόμια». Σύμφωνα με κανονισμό της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α. 2006), «απαγορεύεται η δραστηριότητα χώρων εναπόθεσης απορριμμάτων, υγειονομικής ταφής και/ή ανακύκλωσης απορριμμάτων, σε ακτίνα (13) χιλιομέτρων από το σημείο αναφοράς του αεροδρομίου». Σε κάποιο άλλο σημείο αναφέρεται «με αποφάσεις του Διοικητή της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, μετά από εισήγηση της Διεύθυνσης Αερολιμένων, μπορεί να απαγορεύονται σε ακτίνα τριών χιλιάδων διακοσίων (3.200) μέτρων από το σημείο αναφοράς του αεροδρομίου, οι δραστηριότητες που προσελκύουν πτηνά». Η αντίστοιχη αμερικάνικη υπηρεσία Federal Aviation Administration καθορίζει ως ελάχιστη απόσταση τα έξι μίλια (FAA 2006).

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η απόσταση από το αεροδρόμιο. Η εφαρμογή του κανονισμού της ΥΠΑ στην Λήμνο, θα οδηγούσε σε απόρριψη του 84% επί της συνολικής εκτάσεως της νήσου. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε ως βέλτιστη λύση η συνδυαστική χρήση των αποστάσεων που καθορίζονται από τους εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Αεροδρόμιο” περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.21. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στο αεροδρόμιο και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αύξουσα Μετατοπισμένη Γενικευμένη Καμπανοειδής*, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους $\alpha = 3000$, $\beta = 13000$ και $\gamma = 4000$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 3000 μέτρα από το αεροδρόμιο θα έχουν μηδενική τιμή. Στις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση από 3000 έως 13000 μέτρα, για τον καθορισμό της βαθμολογίας εκτελείται μια αύξουσα συνάρτηση ανωτέρου βαθμού. Οι περιοχές που απέχουν 9000 μέτρα από το αεροδρόμιο λαμβάνουν βαθμολογία 0.5. Τέλος, θεωρείται ότι το αεροδρόμιο δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη μιας ΜΕΔΑ σε απόσταση μεγαλύτερη από 13000 μέτρα, οπότε οι συγκεκριμένες περιοχές λαμβάνουν τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1. Το υποκριτήριο αξιολόγησης που προκύπτει φαίνεται στον χάρτη 4.18



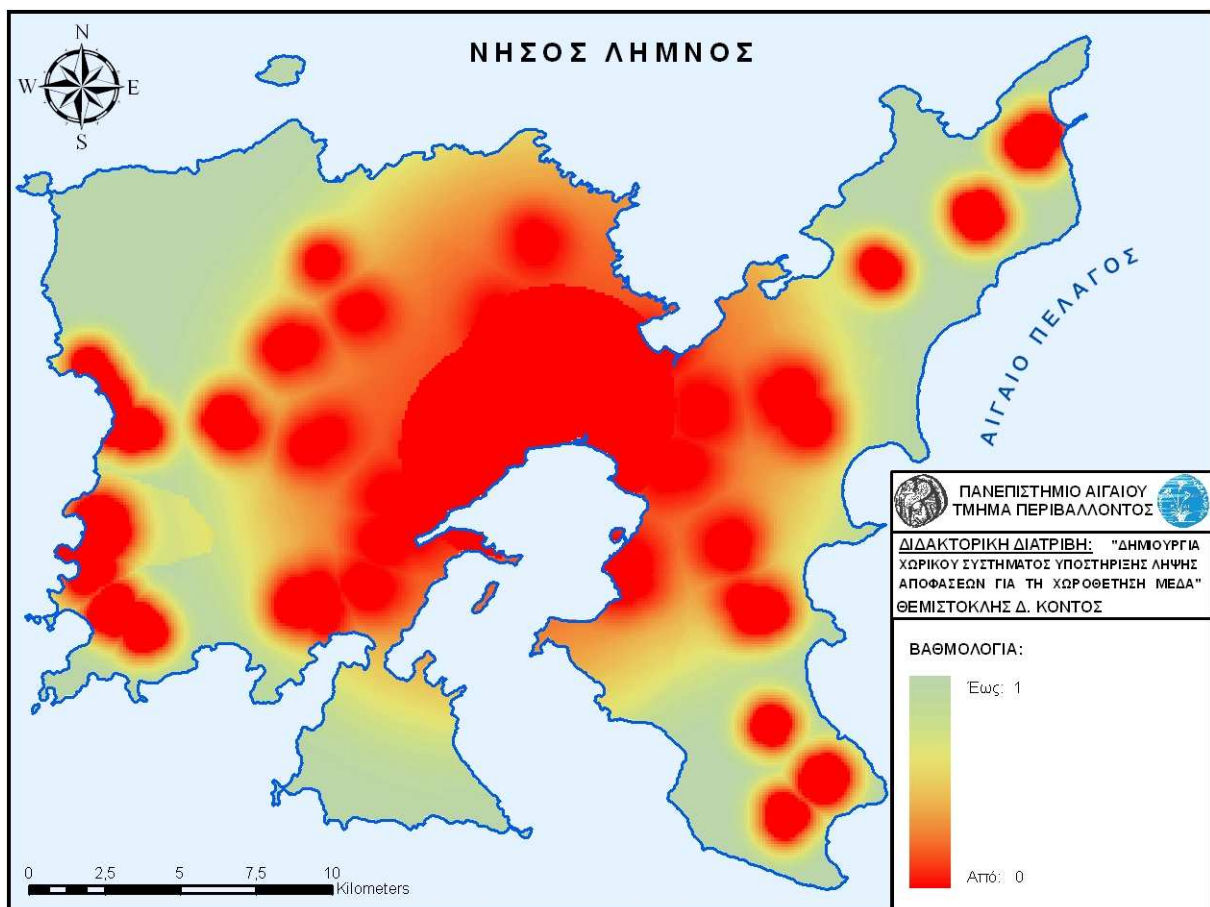
Σχήμα 4.21: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Αεροδρόμιο”



Χάρτης 4.18: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Αεροδρόμιο”

4.3.1.3. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”

Αφού δημιουργηθούν τα υποκριτήρια αξιολόγησης “Οικιστικές Περιοχές” και “Αεροδρόμιο” που φαίνονται στους χάρτες 4.17 και 4.18 αντίστοιχα, μπορεί να προσδιοριστεί το κριτήριο αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ και θεωρώντας ότι τα δύο υποκριτήρια αξιολόγησης έχουν την ίδια σημαντικότητα, δηλαδή έχουν συντελεστή βαρύτητας 0.5. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.19.



Χάρτης 4.19: Κριτήριο Αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”

4.3.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Αρχαιολογικές Περιοχές”

Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης είναι από τα σημαντικότερα, λόγω της πλούσιας πολιτιστικής κληρονομιάς της Ελλάδας. Επίσης, είναι γνωστό ότι η Αρχαιολογική Υπηρεσία είναι από τις πιο δυσκίνητες δημόσιες υπηρεσίες, οπότε εκτός των θεσμικών περιορισμών

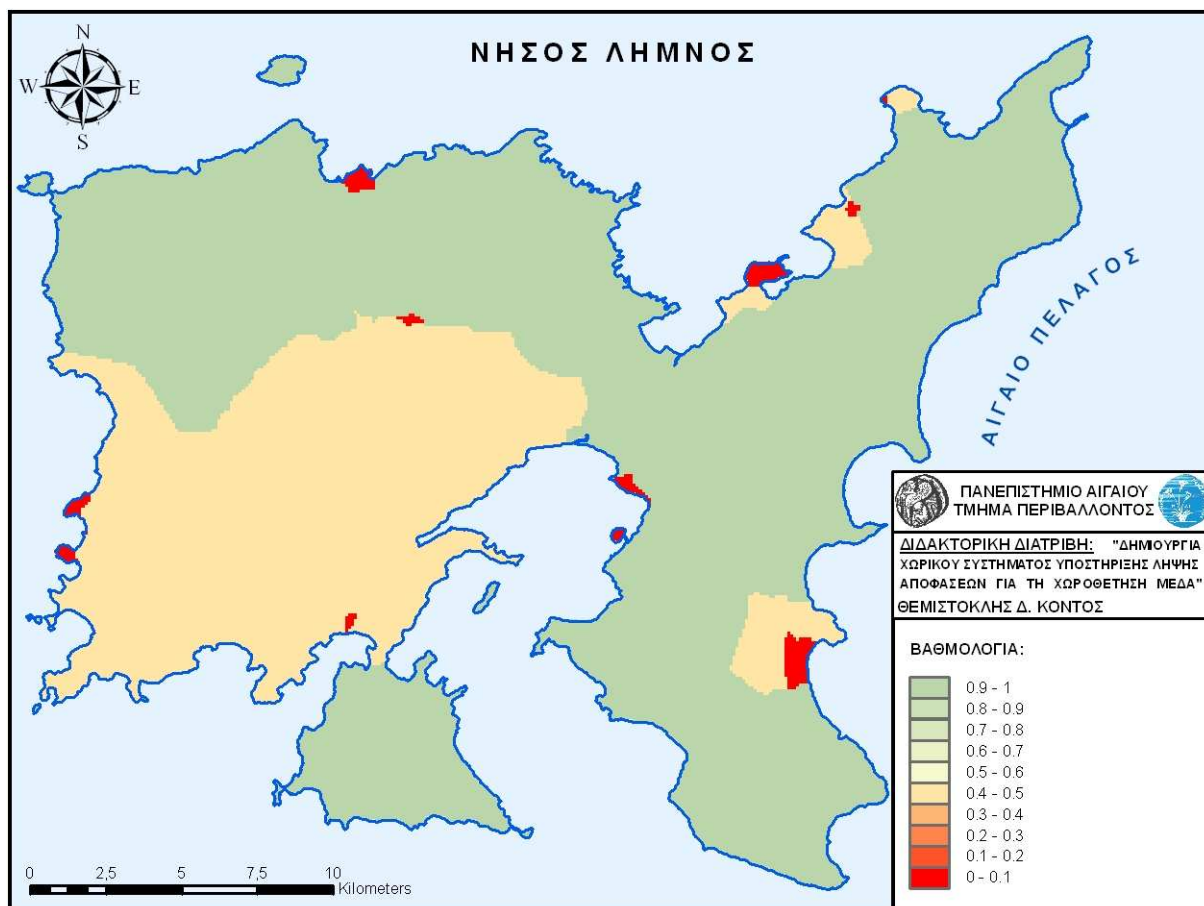
που αναφέρονται στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια να μην υπάρχουν επιπλέον καθυστερήσεις που οφείλονται στην έγκριση της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας. Στην εθνική νομοθεσία υπάρχουν κάποιες αναφορές που αφορούν τις αρχαιολογικές περιοχές και πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ. Ο Ν. 1650/86 δίνει κάποιες γενικές κατευθύνσεις για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η διαχείριση των στερεών αποβλήτων και αναφέρεται ότι «να μην προκαλείται υποβάθμιση στο φυσικό περιβάλλον και σε χώρους που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό και αισθητικό ενδιαφέρον». Στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι «απαγορεύεται η εγκατάσταση ΧΥΤΑ, εντός περιοχών αρχαιολογικού-πολιτιστικού ενδιαφέροντος, δηλαδή κηρυγμένοι αρχαιολογικοί χώροι (Ζώνη Α')». Τέλος, στην ΚΥΑ 29407/3508/02 γίνεται η αναφορά ότι για τη θέση μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απαιτήσεις που αφορούν «την προστασία της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς της περιοχής».

Η βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης, γίνεται βάσει της σπουδαιότητας των περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που φαίνονται στον χάρτη 3.3. Στον πίνακα 4.7 φαίνονται οι βαθμολογίες που δίνονται στις διάφορες περιοχές της νήσου Λήμνου, κατά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Όπως φαίνεται στο συγκεκριμένο πίνακα, οι περιοχές οι οποίες έχουν κηρυχθεί ως αρχαιολογικές δε θεωρούνται ως ακατάλληλες για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Αυτό ισχύει γιατί αφενός δεν υπάρχει κάποιος νομικός περιορισμός σύμφωνα με την ΚΥΑ 114218/97 και αφετέρου κρίθηκε ότι η νοτιοδυτική Λήμνος, η οποία κηρύχτηκε ως αρχαιολογική περιοχή με την ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/47043/2916 (ΥΠ.ΠΟ. 1997), είναι αρκετά εκτενής ώστε να θεωρείται όλη απαγορευτική για την χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ.

Πίνακας 4.7: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Αρχαιολογικές Περιοχές”

| Περιοχή Αρχαιολογικού Ενδιαφέροντος | Βαθμολογία |
|---|------------|
| Μη Αρχαιολογική Περιοχή | 1 |
| Εντός Περιοχών Κηρυγμένων ως Αρχαιολογικές Περιοχές | 0.5 |
| Εντός ζώνης Α' Κηρυγμένων Αρχαιολογικών Περιοχών | 0 |

Στον χάρτη 4.20 φαίνεται το κριτήριο αξιολόγησης των αρχαιολογικών περιοχών όπως προκύπτει από την εφαρμογή των βαθμολογιών του πίνακα 4.7.



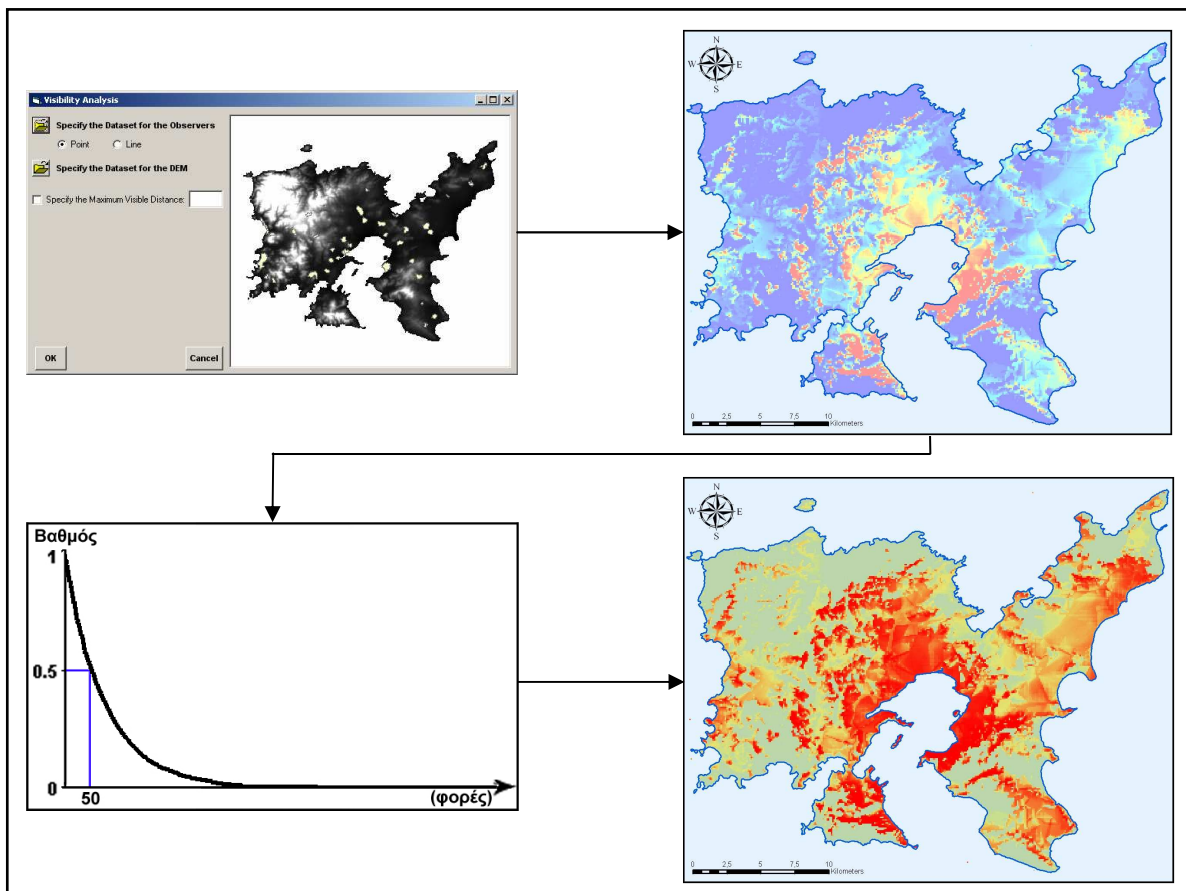
Χάρτης 4.20: Κριτήριο Αξιολόγησης “Αρχαιολογικές Περιοχές”

4.3.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία”

Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης υπάρχουν ελάχιστες αναφορές στην εθνική νομοθεσία. Στην ΚΥΑ Ε1β/301/64 αναφέρεται ότι «η περιοχή διαθέσεως θα κείται εις θέσιν απομονωμένην και αποκεκριμένην από κατωκημένας περιοχάς, συγκοινωνιακάς αρτηρίας και εν γένει πολυσύχναστους χώρους». Επίσης, στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι κατά τη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη χαρακτηριστικά των περιοχών που αφορούν «απόσταση από θέσεις οπτικής επαφής του χώρου με το εθνικό και επαρχιακό οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, σε συνδυασμό με το προβαλλόμενο μέρος του απορριμματικού ανάγλυφου». Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, τα υποκριτήρια αξιολόγησης που λαμβάνονται υπόψη είναι η “Θέαση από Οικιστικές Περιοχές” και η “Θέαση από Οδικό Δίκτυο”. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται εκτενής περιγραφή του χωρικού καθορισμού των υποκριτηρίων αξιολόγησης.

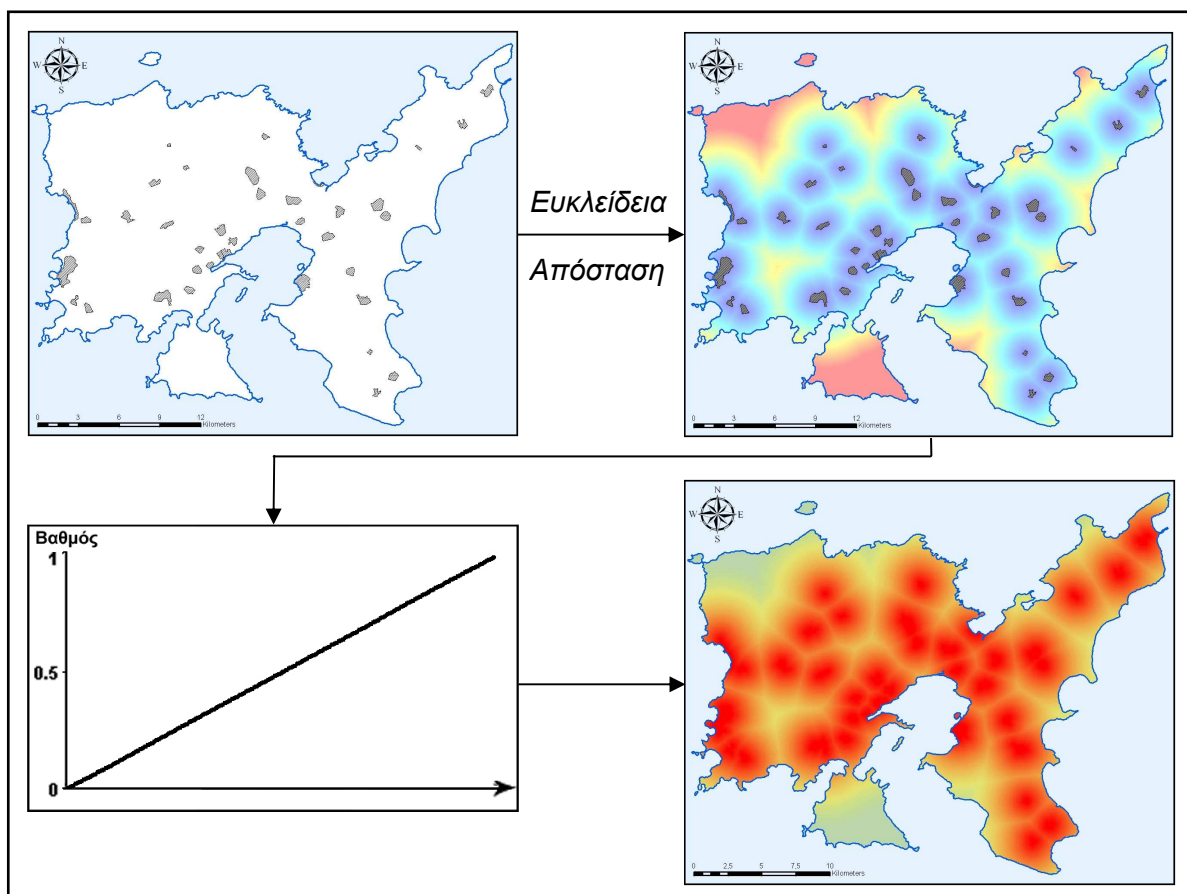
4.3.3.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Οικιστικές Περιοχές”

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης λήφθηκαν υπόψη η συχνότητα των ορατών περιοχών από τους οικισμούς και η απόσταση από τους οικισμούς. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Οικισμούς” περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.22. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια των εργαλείων *Ανάλυσης Ορατότητας* που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ, υπολογίζεται η συχνότητα των ορατών περιοχών από τους οικισμούς. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Φθίνουσα Εκθετική*, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 50$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές οι οποίες είναι αποκρυμμένες λόγω φυσικού αναγλύψου ή είναι ελάχιστες φορές ορατές από κάποιο σημείο ενός οικισμού, λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι τις περιοχές οι οποίες φαίνονται έως 50 φορές από κάποιο σημείο οικισμού, όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές οι οποίες φαίνονται περισσότερες από 50 φορές, η βαθμολογία συνεχίζει να φθίνει εκθετικά μέχρι να μηδενιστεί.



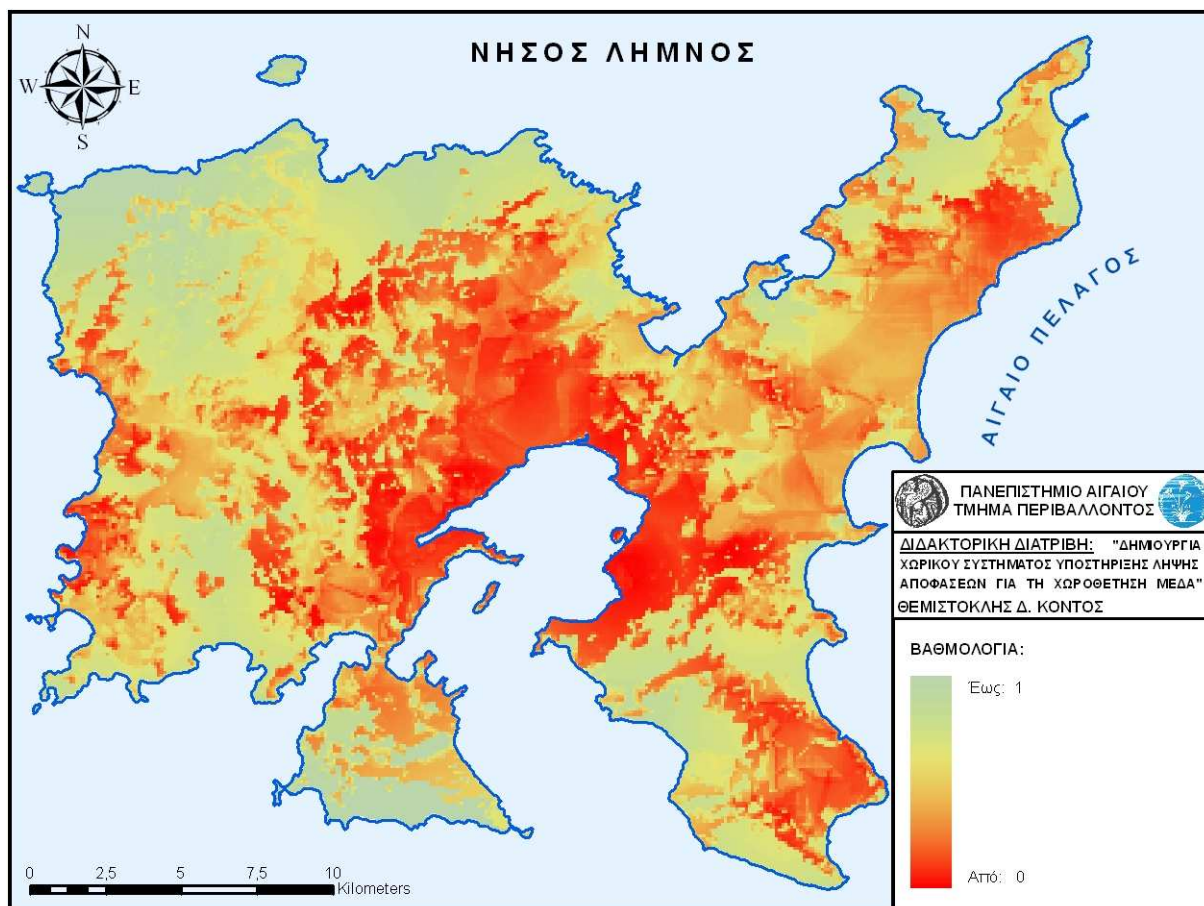
Σχήμα 4.22: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Οικισμούς”

Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Οικισμούς” περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.23. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους οικισμούς και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Γραμμική Αύξουσα*. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται πλησίον οικισμού θα έχει τιμή κοντά στο μηδέν. Η βαθμολογία αυξάνει γραμμικά όσο μεγαλώνει η απόσταση από τους οικισμούς, μέχρι να λάβει την τιμή 1 στις περιοχές οι οποίες βρίσκονται στην μεγαλύτερη απόσταση από τους οικισμούς.



Σχήμα 4.23: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Οικισμούς”

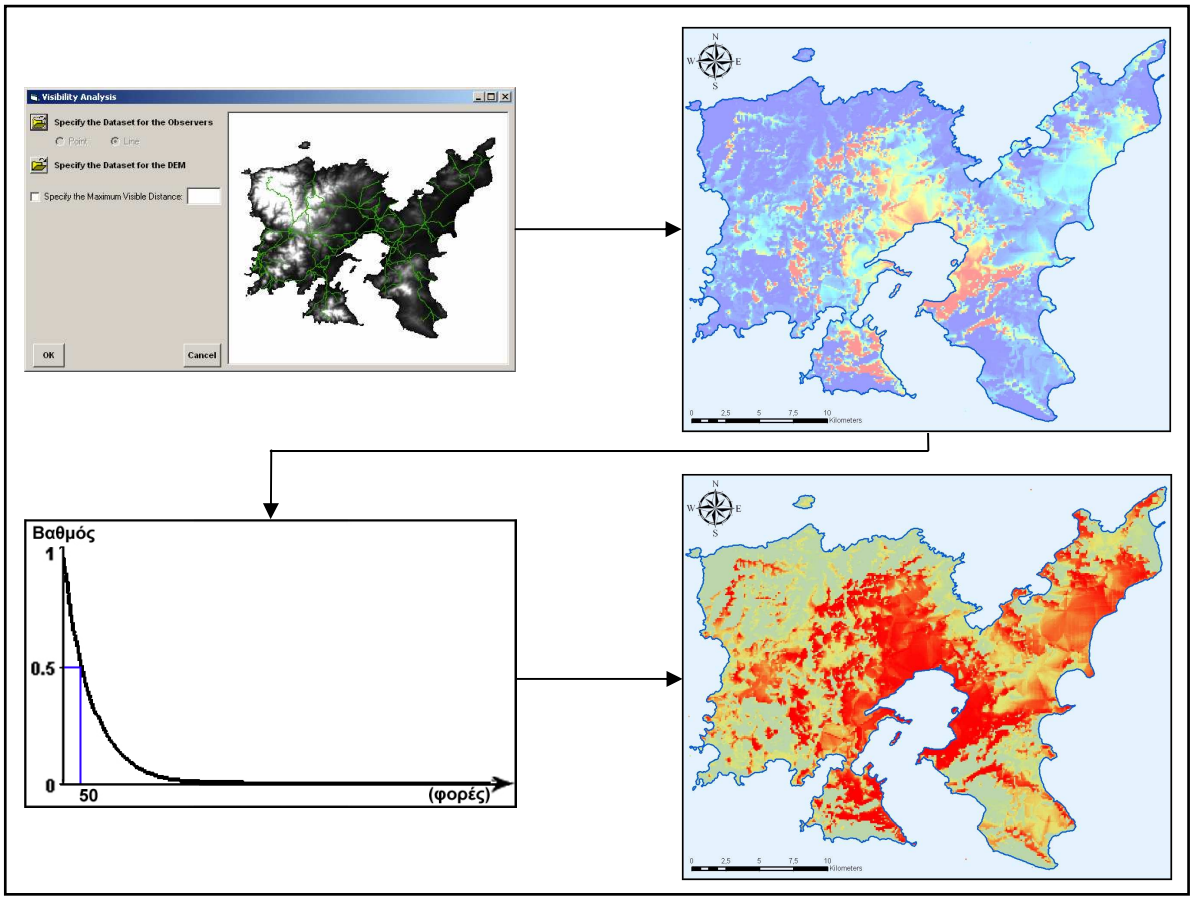
Αφού εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.22 και 4.23, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Οικισμούς” και “Απόσταση από Οικισμούς”, δημιουργείται το υποκριτήριο αξιολόγησης “Θέαση από Οικιστικές Περιοχές”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο *SM* και θεωρώντας ότι οι δύο παράμετροι έχουν την ίδια σημαντικότητα, δηλαδή έχουν συντελεστή βαρύτητας 0.5. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.21.



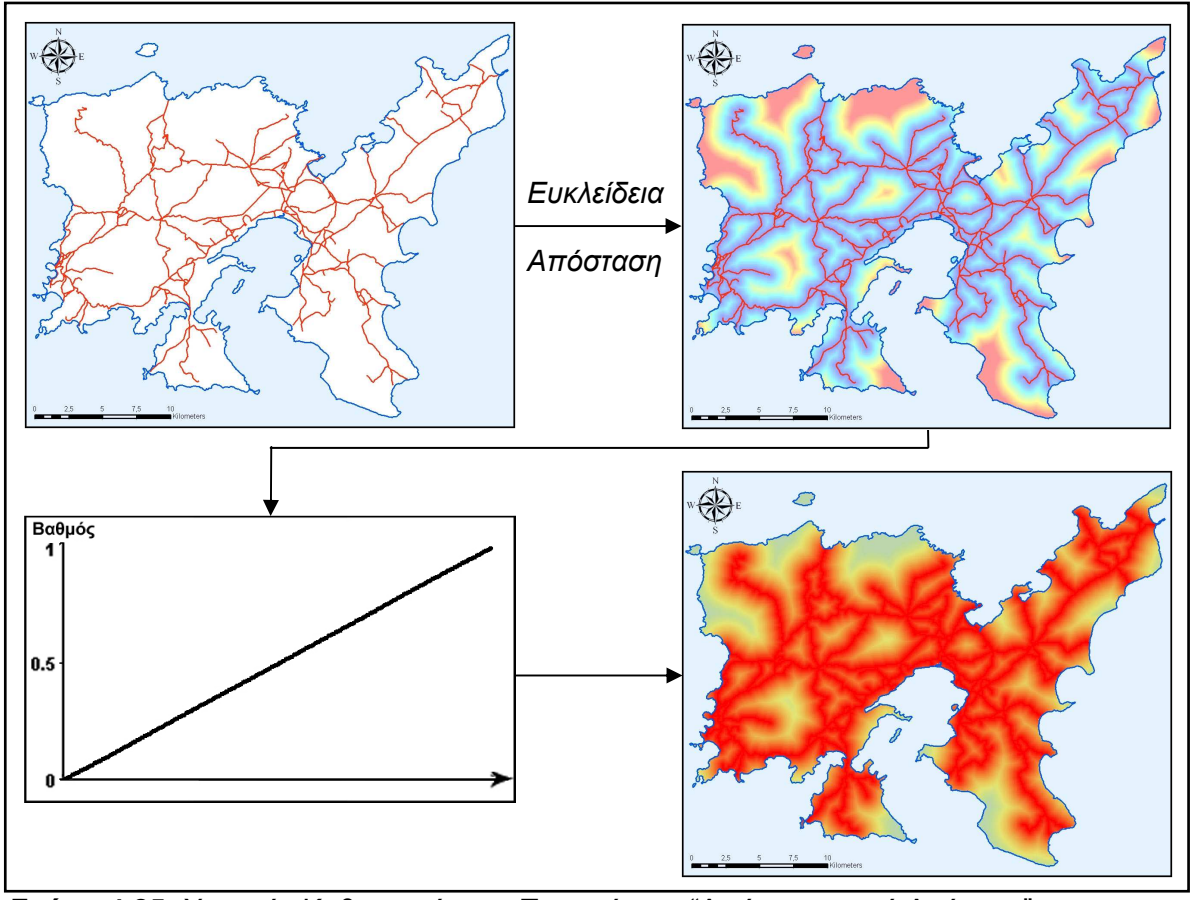
Χάρτης 4.21: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Οικιστικές Περιοχές”

4.3.3.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Οδικό Δίκτυο”

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης λήφθηκαν υπόψη η συχνότητα των ορατών περιοχών από τους δρόμους και η απόσταση από τους δρόμους. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Δρόμους”, περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.24. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια των εργαλείων *Ανάλυσης Ορατότητας* που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ, υπολογίζεται η συχνότητα των ορατών περιοχών από τους δρόμους. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Φθίνουσα Εκθετική*, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 50$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι οι περιοχές οι οποίες είναι αποκρυμμένες λόγω φυσικού αναγλύψου ή είναι ελάχιστες φορές ορατές από κάποιο σημείο δρόμου, λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι τις περιοχές οι οποίες φαίνονται έως 50 φορές από κάποιο σημείο δρόμου, όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές οι οποίες φαίνονται περισσότερες από 50 φορές, η βαθμολογία συνεχίζει να φθίνει εκθετικά μέχρι να μηδενιστεί.



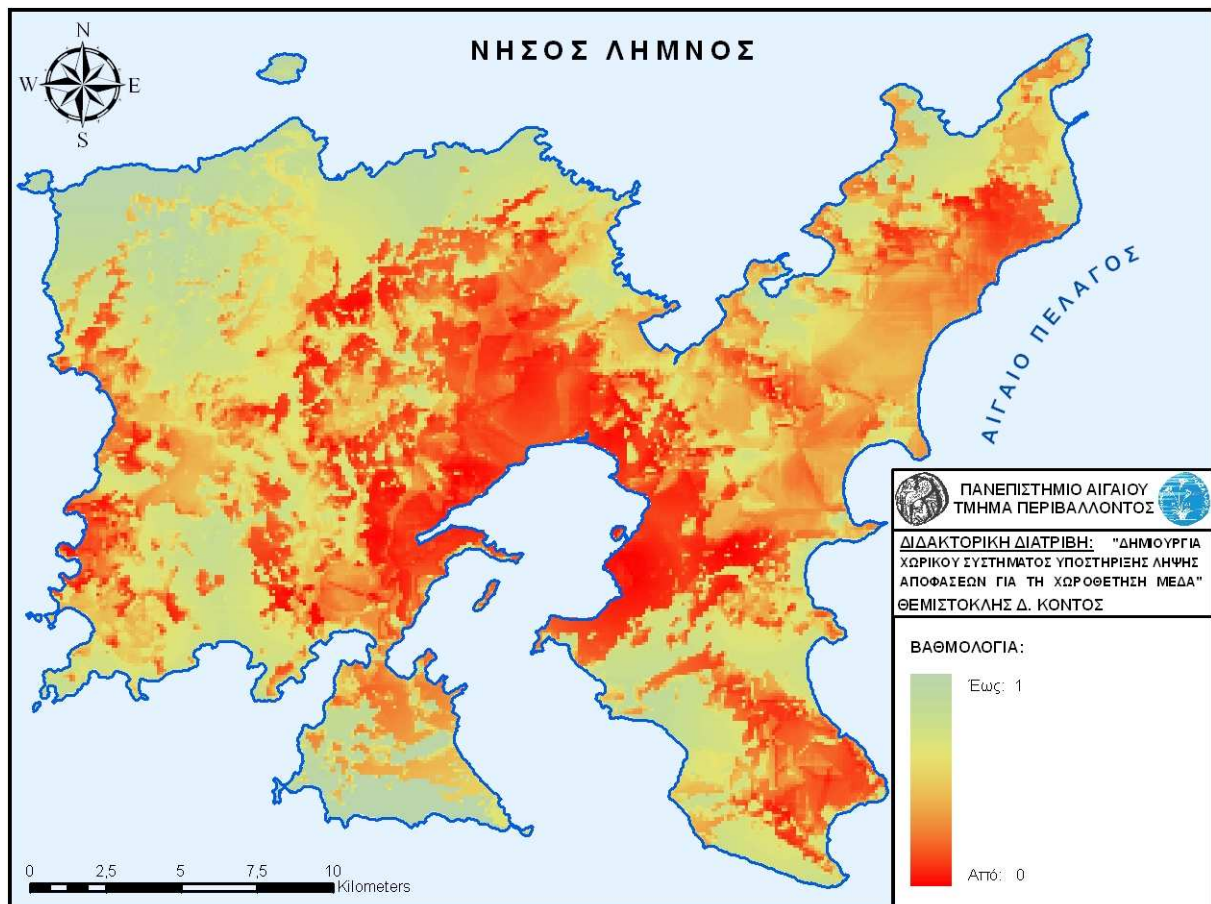
Σχήμα 4.24: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Δρόμους”



Σχήμα 4.25: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Δρόμους”

Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου “Απόσταση από Δρόμους” περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.25. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους δρόμους και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Γραμμική Αύξουσα*. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται πλησίον δρόμου θα έχει τιμή κοντά στο μηδέν. Η βαθμολογία αυξάνει γραμμικά όσο μεγαλώνει η απόσταση από τους δρόμους, μέχρι να λάβει την τιμή 1 στις περιοχές οι οποίες βρίσκονται στην μεγαλύτερη απόσταση από τους δρόμους.

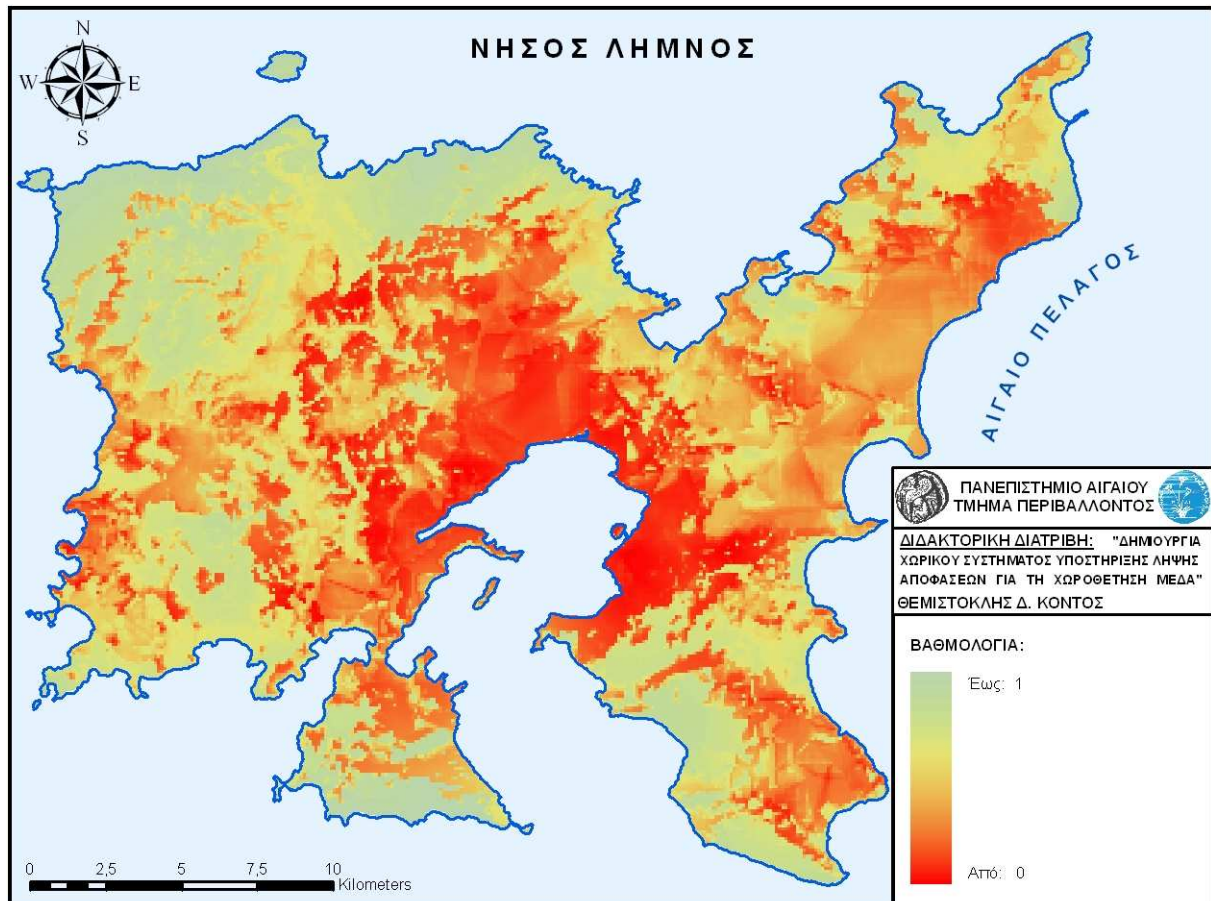
Αφού εκτελεστούν οι διαδικασίες των σχημάτων 4.24 και 4.25, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων “Συχνότητα Ορατών Περιοχών από Δρόμους” και “Απόσταση από Δρόμους”, δημιουργείται το υποκριτήριο αξιολόγησης “Θέαση από Οδικό Δίκτυο”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο *ΣΜ* και θεωρώντας ότι οι δύο παράμετροι έχουν την ίδια σημαντικότητα, δηλαδή έχουν συντελεστή βαρύτητας 0.5. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.22.



Χάρτης 4.22: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Οδικό Δίκτυο”

4.3.3.3. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία”

Αφού δημιουργηθούν τα υποκριτήρια αξιολόγησης “Θέαση από Οικιστικές Περιοχές” και “Θέαση από Οδικό Δίκτυο” που φαίνονται στους χάρτες 4.21 και 4.22 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο αξιολόγησης “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία” χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΜ, με συντελεστές βαρύτητας 0.667 και 0.3333 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης, φαίνεται στον χάρτη 4.23.



Χάρτης 4.23: Κριτήριο Αξιολόγησης “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία”

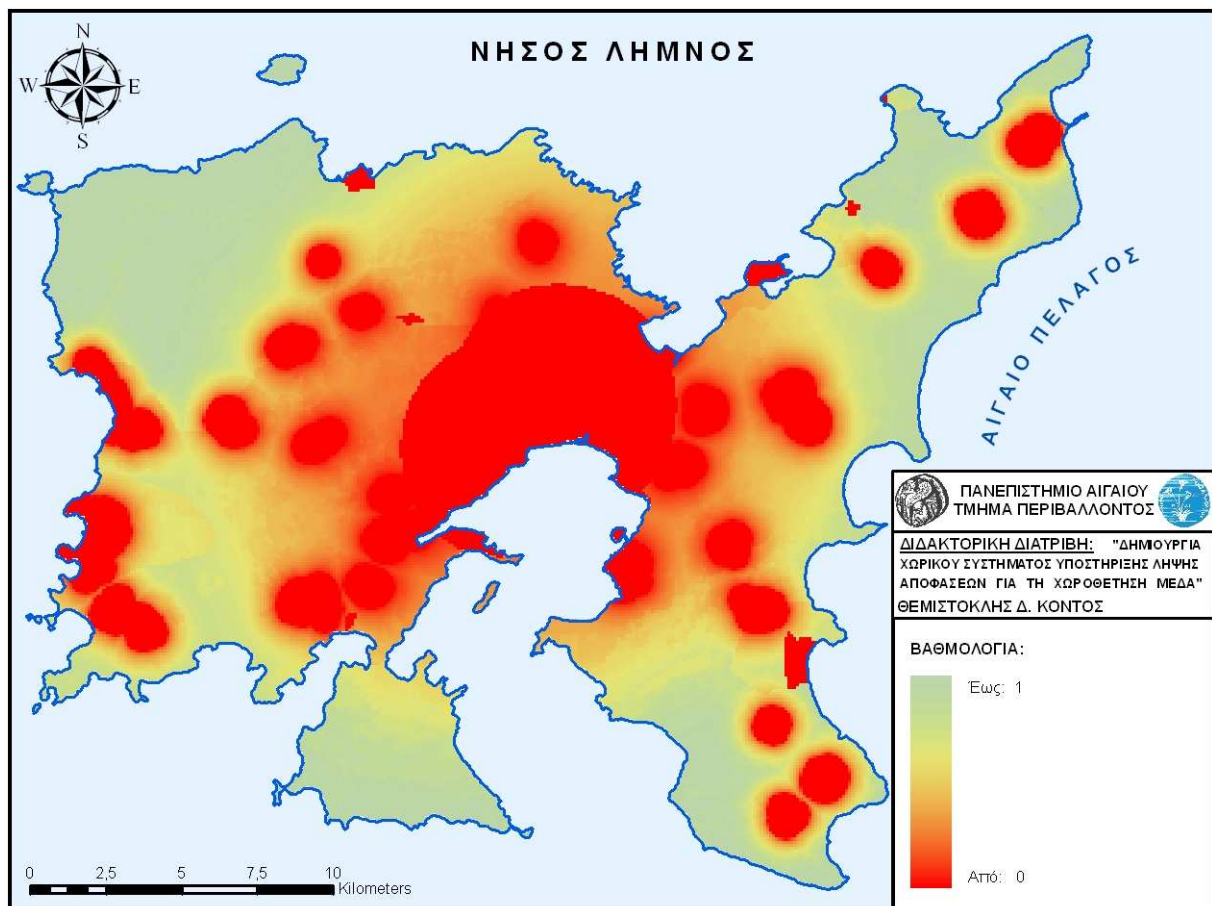
4.3.4. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Κοινωνικό”

Αφού δημιουργηθούν τα κριτήρια αξιολόγησης “Αστικές Περιοχές”, “Αρχαιολογικές Περιοχές” και “Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία” που φαίνονται στους χάρτες 4.19, 4.20 και 4.23 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο απόφασης “Κοινωνικό” χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΓ και τους συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 4.8. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου απόφασης φαίνεται στον χάρτη 4.24.

Πίνακας 4.8: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης “Κοινωνικό”

| | Αστικές Περιοχές | Αρχαιολογικές Περιοχές | Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία | Συντελεστές Βαρύτητας |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Αστικές Περιοχές | 1 | 3 | 7 | 0.6491 |
| Αρχαιολογικές Περιοχές | 1/3 | 1 | 5 | 0.2790 |
| Θέαση από Πολυσύχναστα Σημεία | 1/7 | 1/5 | 1 | 0.0719 |

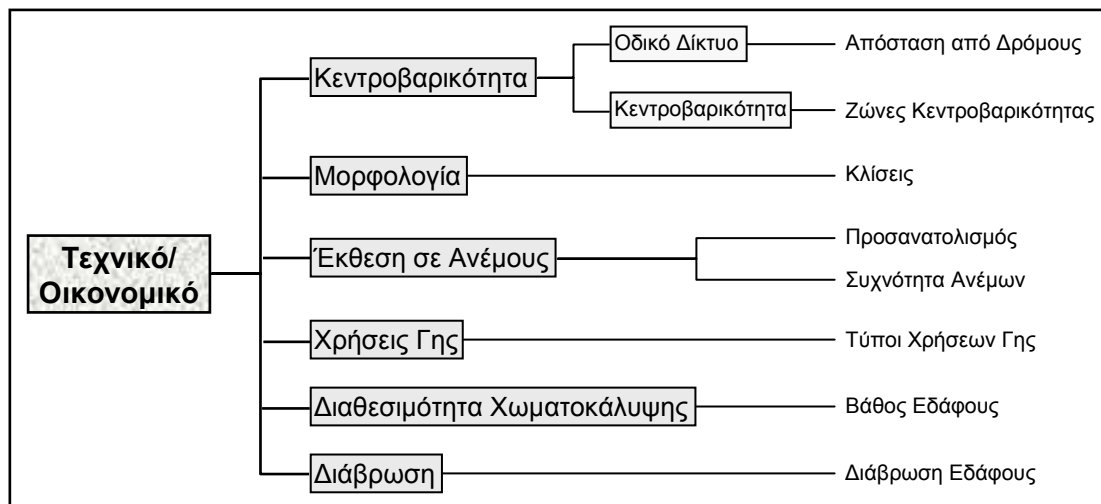
$RI_3 = 0.58$, $CI = 0.0324$, $CR = 0.0559 < 0.1$



Χάρτης 4.24: Κριτήριο Απόφασης “Κοινωνικό”

4.4. Κριτήριο Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό”

Το κριτήριο απόφασης των τεχνικοοικονομικών παραμέτρων, λαμβάνει υπόψη διάφορες παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν την κατασκευή και τη λειτουργία μιας ΜΕΔΑ. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.26, το οποίο είναι το τμήμα της ιεραρχικής δομής του σχήματος 3.5 που αφορά τις τεχνικοοικονομικές παραμέτρους, το συγκεκριμένο κριτήριο απόφασης αποτελείται από έξι επιμέρους παραμέτρους. Συγκεκριμένα τα κριτήρια αξιολόγησης είναι η “Κεντροβαρικότητα”, η “Μορφολογία”, η “Έκθεση σε Ανέμους”, οι “Χρήσεις Γης”, η “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης” και η “Διάβρωση”.



Σχήμα 4.26: Η Ιεραρχική Δομή του Κριτηρίου Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό”

Το συγκεκριμένο κριτήριο δε βασίζεται σε νομοθετικούς περιορισμούς καθώς υπάρχουν ελάχιστες αναφορές, κυρίως σε θέματα που αφορούν τη συγκριτική αξιολόγηση των υποψηφίων περιοχών. Όμως, η σημαντικότητα του συγκεκριμένου κριτηρίου θεωρείται αρκετά μεγάλη καθώς οι παράμετροι οι οποίες το αποτελούν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κατασκευή και τη λειτουργία μιας ΜΕΔΑ, οπότε πρέπει να ληφθούν υπόψη στη διαδικασία της χωροθέτησης. Επίσης, αν αγνοηθούν ή υποεκτιμηθούν οι συγκεκριμένες παράμετροι, θα αυξηθεί σημαντικά το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της ΜΕΔΑ. Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά οι παράμετροι που αποτελούν το τεχνικοοικονομικό κριτήριο.

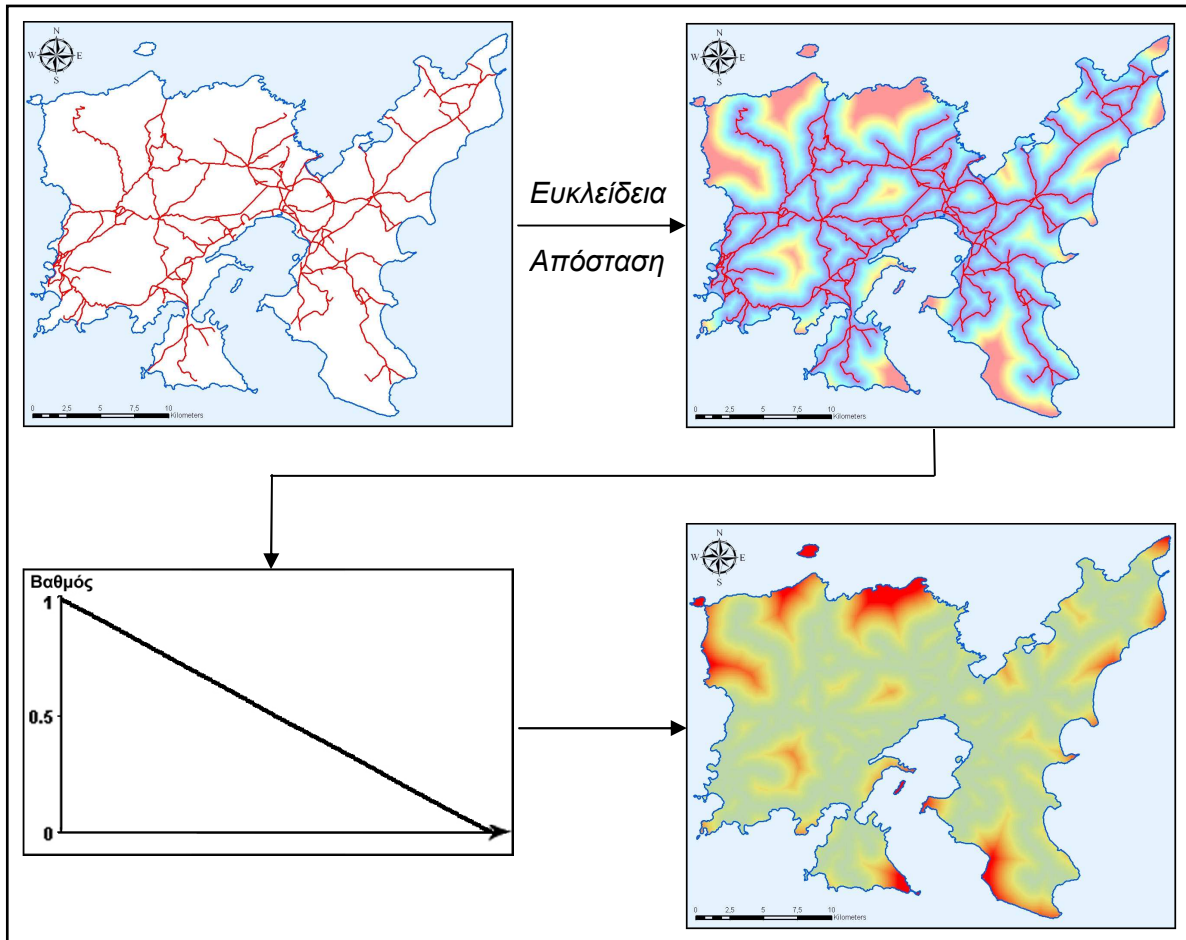
4.4.1. Κριτήριο Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”

Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης θεωρείται από τα σημαντικότερα κριτήρια στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ. Η σχετική θέση μιας ΜΕΔΑ ως προς το κέντρο βάρους των πηγών παραγωγής απορριμμάτων, έχει άμεση σχέση με τον περιορισμό του επενδυτικού και λειτουργικού κόστους, σε ότι αφορά το σύστημα συλλογής και μεταφοράς των απορριμμάτων. Με τον όρο *κεντροβαρικότητα* ορίζεται το μέγεθος εκείνο το οποίο ποσοτικοποιεί την σταθμισμένη απόσταση των οδικών κόμβων από τα κέντρα παραγωγής απορριμμάτων. Είναι ένα αρκετά σύνθετο κριτήριο, το οποίο παρουσιάζεται πρώτη φορά στη σχετική βιβλιογραφία. Για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης, χρειάστηκε να δημιουργηθούν αρκετά πολύπλοκοι αλγόριθμοι στο ΧΣΥΛΑ, οι οποίοι χρησιμοποιούν χωρικές διαδικασίες εύρεσης βέλτιστων διαδρομών (*routing*).

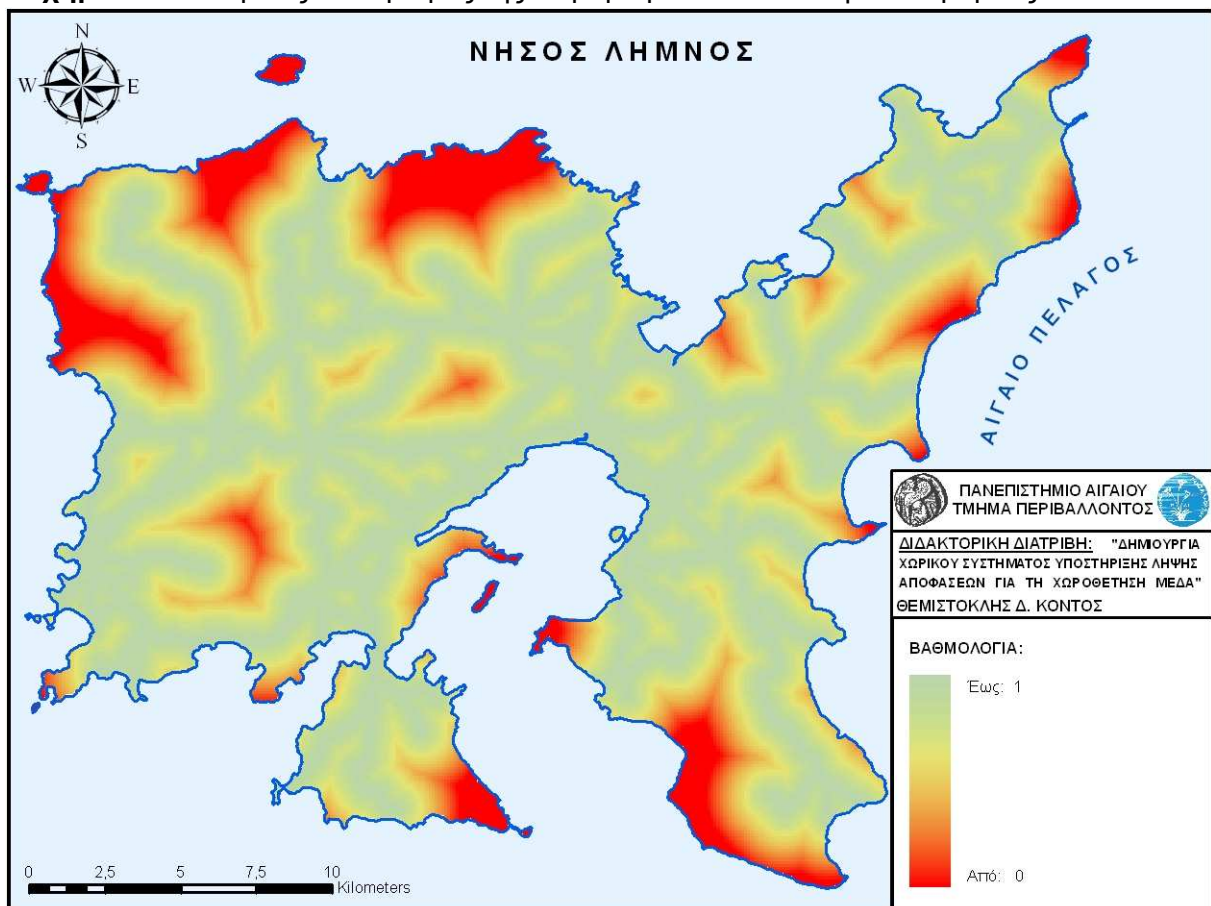
Σε ότι αφορά τη νομοθεσία, η παράμετρος της κεντροβαρικότητας δε εμπίπτει σε κάποιον νομικό περιορισμό. Σύμφωνα με τις νομοθετικές αναφορές που ακολουθούν, η κεντροβαρικότητα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ. Στην ΚΥΑ Ε1β/301/64 αναφέρεται ότι επιτρέπεται η διάθεση των απορριμμάτων εφόσον η περιοχή διαθέσεως «θα είναι ευχερώς προσπελάσιμος δι’ οδού επαρκούς εύρους μετά οδοστρώματος ανθεκτικού εις τα οχήματα απορριμμάτων καθ’όλην την διάρκεια του έτους». Στην ΚΥΑ 114218/97 όπου γίνεται μια γενική αναφορά στα χαρακτηριστικά των κατάλληλων περιοχών, αναφέρεται ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «η οδική ή σιδηροδρομική απόσταση του χώρου από το κέντρο βάρους της εξυπηρετούμενης περιοχής». Στην προτεινόμενη μεθοδολογία τα υποκριτήρια αξιολόγησης που λαμβάνονται υπόψη είναι το “Οδικό Δίκτυο” και η “Κεντροβαρικότητα”. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται η περιγραφή του χωρικού καθορισμού των υποκριτηρίων αξιολόγησης.

4.4.1.1. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Οδικό Δίκτυο”

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιείται η απόσταση από το οδικό δίκτυο. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.27 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.25. Εκτελείται η χωρική διαδικασία της *Ευκλείδειας Απόστασης* στους δρόμους και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Γραμμική Φθίνουσα*. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής*, δηλώνει ότι κάθε περιοχή που βρίσκεται πλησιέστερα σε δρόμο έχει τιμή κοντά στο 1, ενώ η βαθμολογία των περιοχών φθίνει γραμμικά όσο μεγαλώνει η απόσταση από τους δρόμους, μέχρι να μηδενιστεί.



Σχήμα 4.27: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Απόσταση από Δρόμους”



Χάρτης 4.25: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Οδικό Δίκτυο”

4.4.1.2. Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”

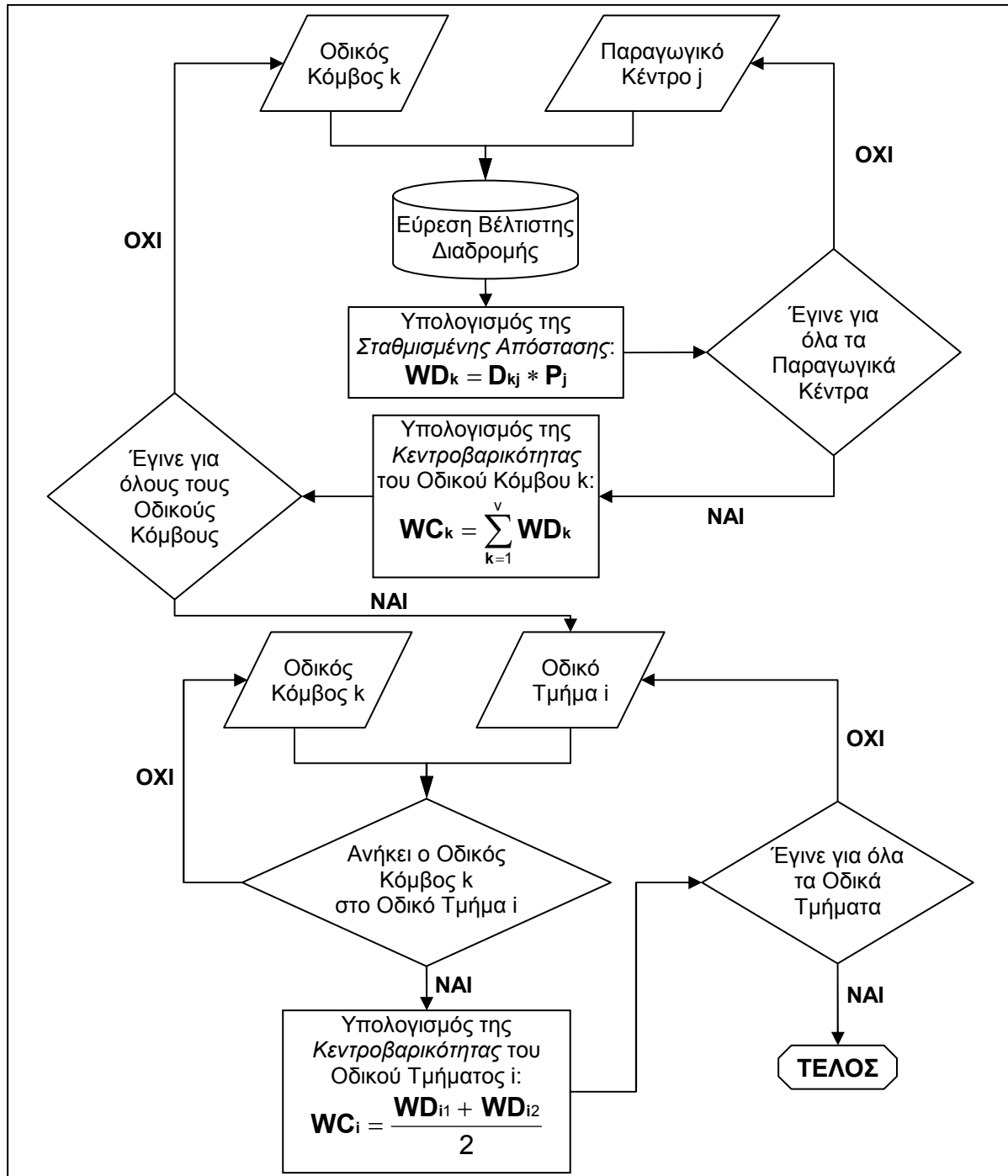
Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιούνται οι ζώνες κεντροβαρικότητας του οδικού δικτύου. Στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ δημιουργήθηκαν οι απαραίτητοι αλγόριθμοι για την εύρεση των ζωνών κεντροβαρικότητας, οι οποίοι συνδυάζουν εργαλεία μαθηματικής και χωρικής βελτιστοποίησης διαδρομών σε δίκτυα. Συνοπτικά, ο αλγόριθμος υπολογισμού της *κεντροβαρικότητας* μπορεί να περιγραφεί από τα επιμέρους βήματα που ακολουθούν.

1. Εύρεση της βέλτιστης διαδρομής του οδικού κόμβου k με το παραγωγικό κέντρο j .
2. Υπολογισμός της *Σταθμισμένης Απόστασης* του οδικού κόμβου k (WD_k) με το παραγωγικό κέντρο j . *Σταθμισμένη Απόσταση*, ορίζεται το γινόμενο $D_{kj} * P_j$, όπου D_{kj} (σε km) είναι η δικτυακή απόσταση του οδικού κόμβου k από το παραγωγικό κέντρο j και P_j (σε tn/d) είναι η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων του παραγωγικού κέντρου j .
3. Επανάληψη των βημάτων 1 και 2 για όλα τα παραγωγικά κέντρα.
4. Υπολογισμός της *κεντροβαρικότητας* του οδικού κόμβου k (WC_k), αθροίζοντας όλες τις *σταθμισμένες αποστάσεις* από τα παραγωγικά κέντρα.
5. Επανάληψη των βημάτων 1, 2, 3 και 4, για όλους τους οδικούς κόμβους.
6. Καθορισμός της *κεντροβαρικότητας* του οδικού τμήματος i (WC_i), υπολογίζοντας τον μέσο όρο των τιμών κεντροβαρικότητας των οδικών κόμβων οι οποίοι το αποτελούν (WC_{ik}).

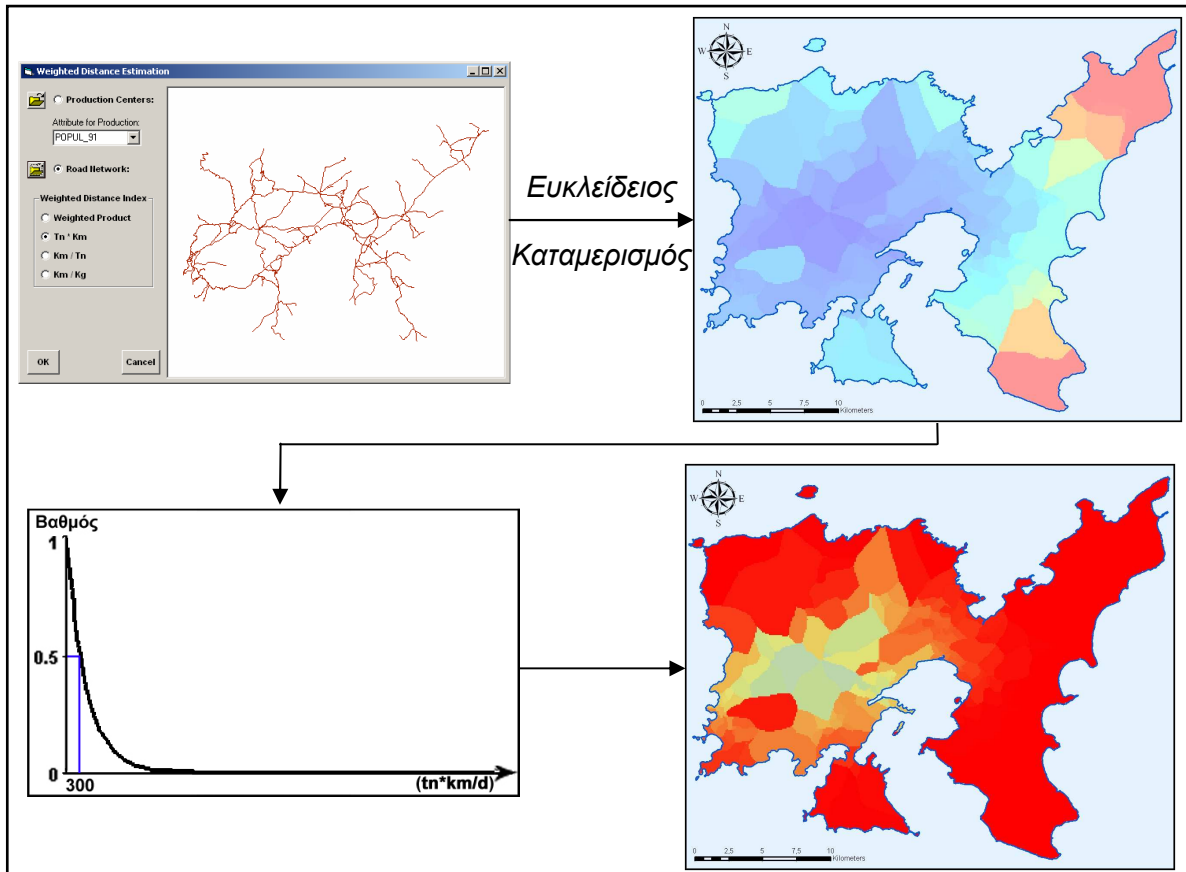
Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο του οδικού δικτύου και των παραγωγικών κέντρων της νήσου Λήμνου, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της κεντροβαρικότητας κάποιου οδικού τμήματος τόσο πιο κεντροβαρικό είναι. Η εύρεση των βέλτιστων διαδρομών βασίζεται στο κριτήριο της ελάχιστης δικτυακής απόστασης. Ως κέντρα παραγωγής απορριμμάτων θεωρούνται οι οικισμοί της Λήμνου. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 50910/2727/03 η *Μέση Παραγωγή Απορριμμάτων (ΜΠΑ)* είναι 1.14 kg/d, οπότε αν πολλαπλασιαστεί η *ΜΠΑ* με τον πληθυσμό των οικισμών προκύπτει η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων για κάθε οικισμό. Η κεντροβαρικότητα του οδικού δικτύου, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ροής εργασιών που φαίνεται στο σχήμα 4.28.

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου υποκριτηρίου αξιολόγησης, ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.29 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.26. Πιο συγκεκριμένα, εκτελείται η χωρική διαδικασία του *Ευκλείδειου Καταμερισμού* στο οδικό δίκτυο χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή την τιμή της κεντροβαρικότητας και στη συνέχεια εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Αρνητική*

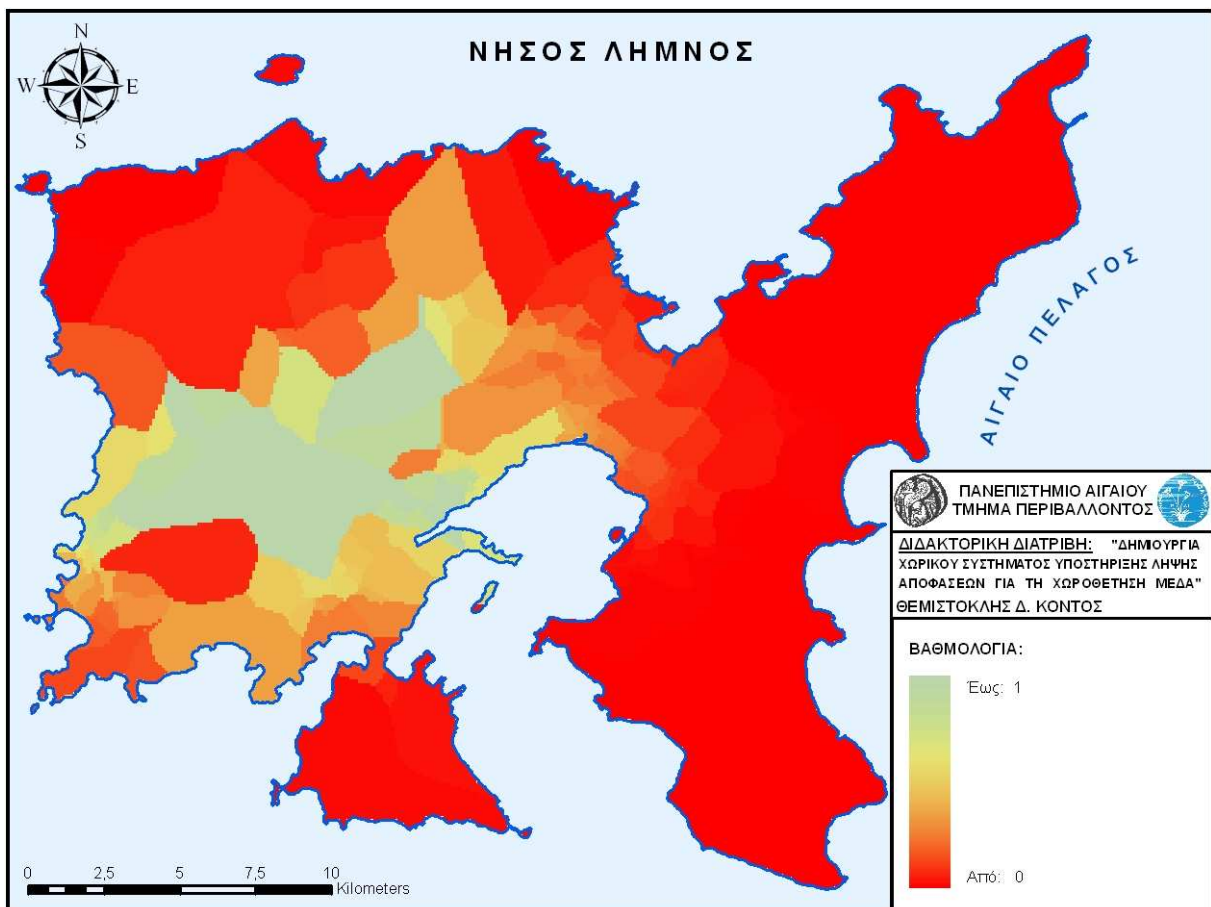
Εκθετική, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $\alpha = 300$. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης συνάρτησης συμμετοχής δηλώνει ότι οι περιοχές εκείνες οι οποίες βρίσκονται πλησιέστερα σε οδικά τμήματα με μικρή τιμή κεντροβαρικότητας, λαμβάνουν βαθμολογία κοντά στο 1. Στις υπόλοιπες περιοχές, η βαθμολογία μειώνεται εκθετικά μέχρι να βρεθούν οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά σε οδικά τμήματα με τιμή κεντροβαρικότητας $300 \text{ t} \cdot \text{km}/\text{d}$, όπου δίνεται η βαθμολογία 0.5. Τέλος, στις περιοχές που βρίσκονται κοντά σε οδικά τμήματα με τιμή κεντροβαρικότητας μεγαλύτερη από $300 \text{ t} \cdot \text{km}/\text{d}$, η βαθμολογία συνεχίζει να μειώνεται εκθετικά μέχρι να μηδενιστεί.



Σχήμα 4.28: Διάγραμμα Ροής Εργασιών για τον Υπολογισμό της Κεντροβαρικότητας



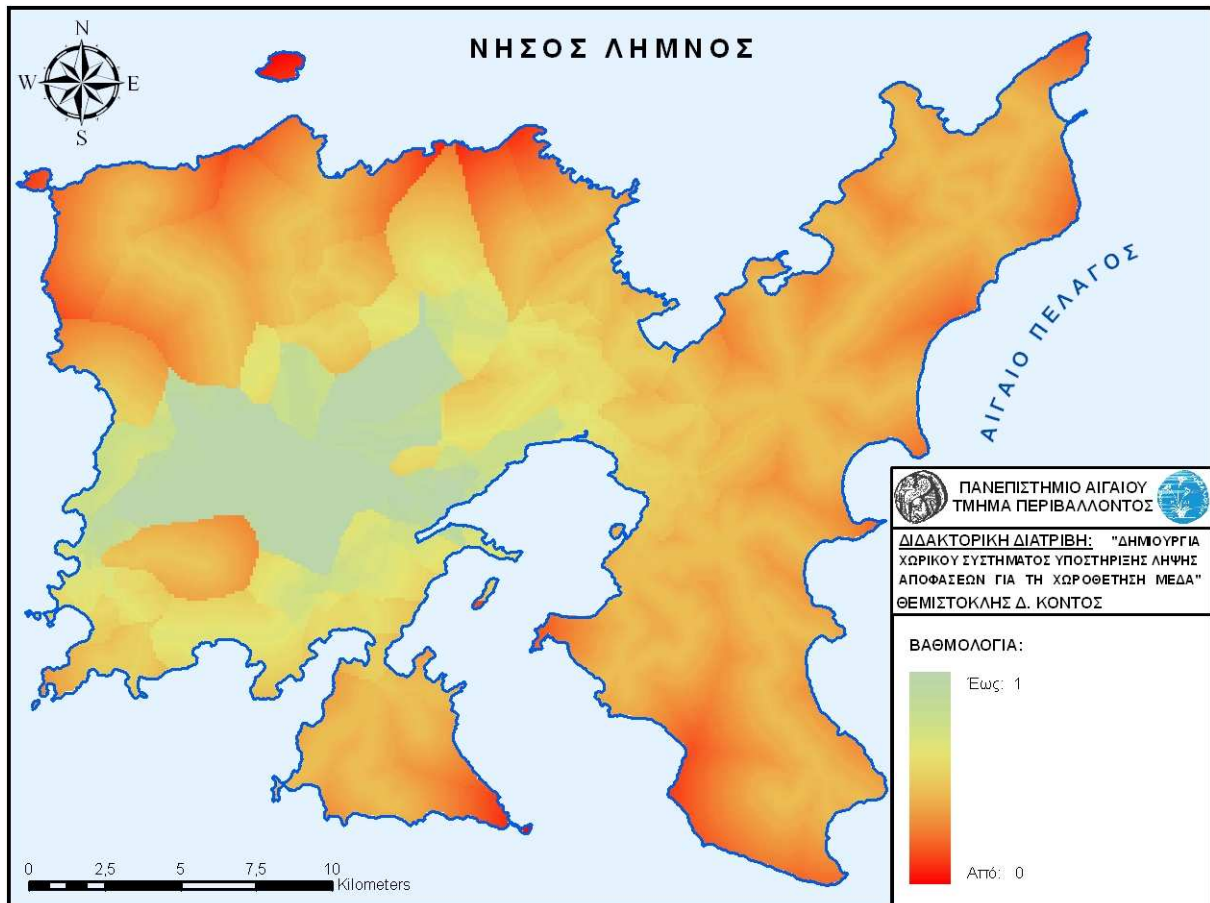
Σχήμα 4.29: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Ζώνες Κεντροβαρικότητας”



Χάρτης 4.26: Υποκριτήριο Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”

4.4.1.3. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”

Αφού δημιουργηθούν τα υποκριτήρια αξιολόγησης “Οδικό Δίκτυο” και “Κεντροβαρικότητα” που φαίνονται στους χάρτες 4.25 και 4.26 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΜ με συντελεστές βαρύτητας 0.25 και 0.75 αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης φαίνεται στον χάρτη 4.27.



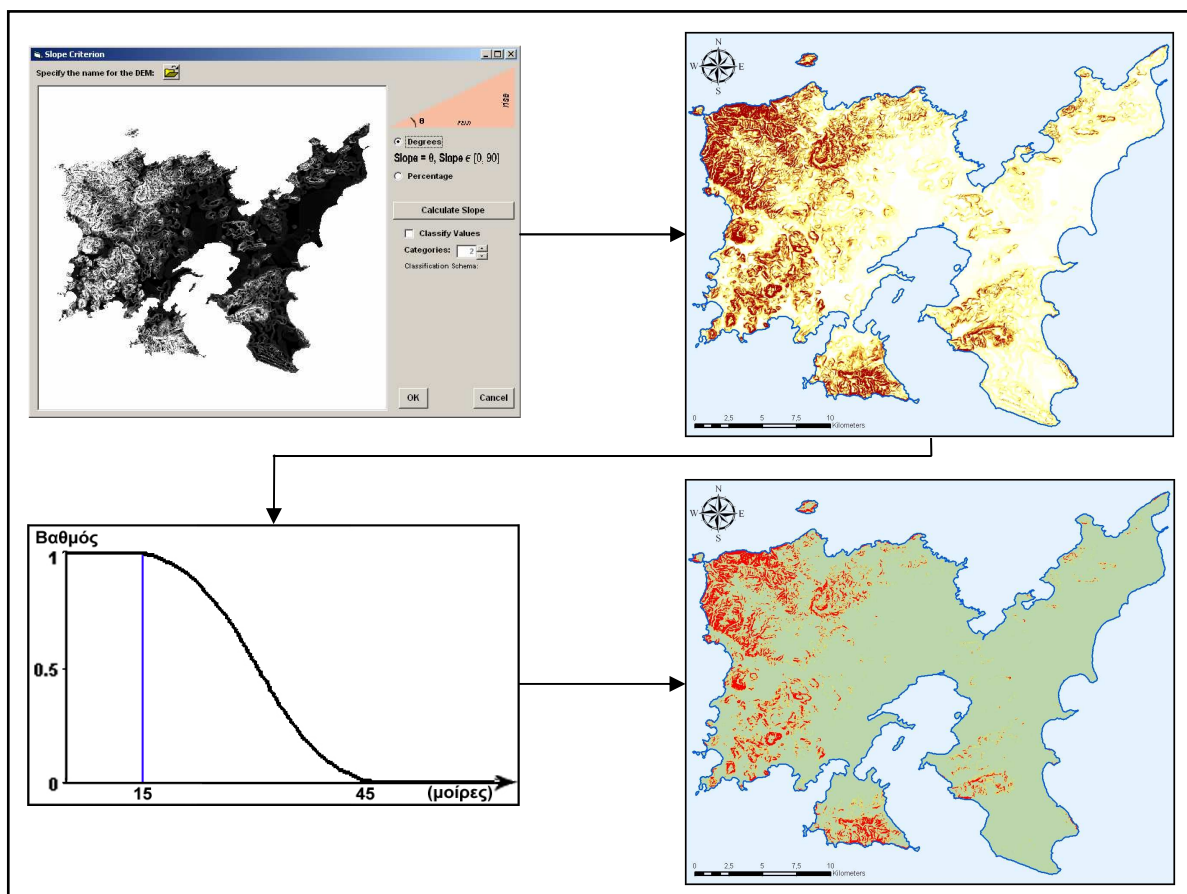
Χάρτης 4.27: Κριτήριο Αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”

4.4.2. Κριτήριο Αξιολόγησης “Μορφολογία”

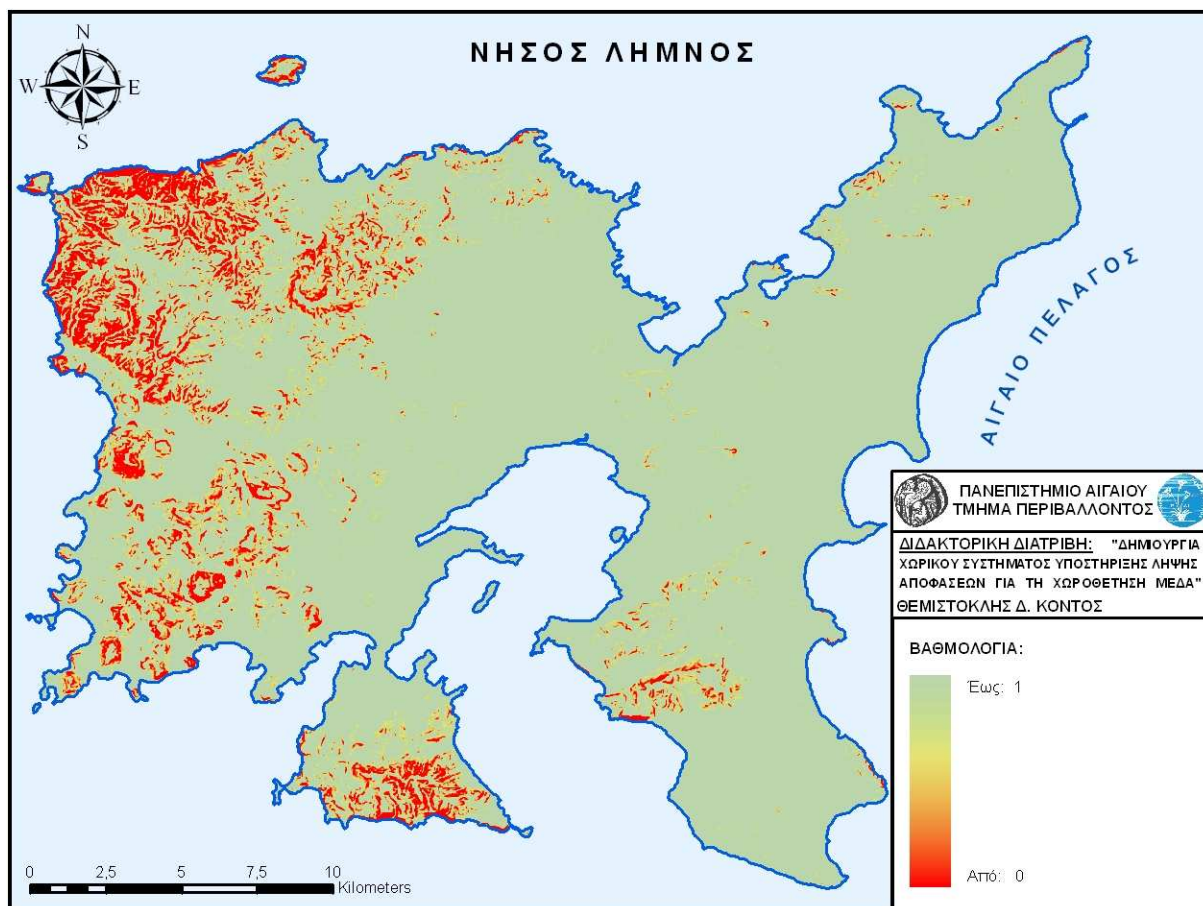
Η μορφολογία είναι μια βασική τεχνική παράμετρος που αφορά τη δυνατότητα ανάπτυξης μιας ΜΕΔΑ, η οποία έχει άμεση σχέση με την κλίση και τη γεωμετρία της λεκάνης στην οποία πρόκειται να διατεθούν τα απορρίμματα. Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης δε βασίζεται σε κάποιον νομικό περιορισμό, καθώς μόνο στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «η εδαφομορφολογία του χώρου». Για την αξιολόγηση της μορφολογίας του εδάφους, χρησιμοποιείται η κλίση του εδάφους, η οποία εκφράζεται σε μοίρες και βασίζεται στο

σκεπτικό ότι όσο πιο ομαλή είναι μια περιοχή τόσο πιο κατάλληλη είναι για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Αυτό δε σημαίνει ότι μια ΜΕΔΑ δεν μπορεί να δημιουργηθεί ακόμα και σε κάποια απότομη περιοχή, με τις κατάλληλες τεχνικές

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ως παράμετρος του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η μορφολογική κλίση του εδάφους. Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.30 και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 4.28. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η *συνάρτηση συμμετοχής Φθίνουσα S-Shape (S)*, με παραμέτρους $\alpha = 10^\circ$ και $\beta = 45^\circ$, χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή την μορφολογική κλίση του εδάφους. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης *συνάρτησης συμμετοχής* δηλώνει ότι κάθε περιοχή που έχει κλίση μέχρι 10° , θα έχει τη βέλτιστη βαθμολογία με τιμή 1. Στις περιοχές που έχουν κλίσεις από 10° έως 45° , εκτελείται μια φθίνουσα συνάρτηση δευτέρου βαθμού για τον καθορισμό της βαθμολογίας, η οποία στην κλίση των 27.5° δίνει την τιμή 0.5. Τέλος, θεωρείται ότι οι περιοχές με κλίση μεγαλύτερη των 45° , δεν ενδείκνυνται για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ, οπότε λαμβάνουν μηδενική βαθμολογία.



Σχήμα 4.30: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου "Κλίσεις"



Χάρτης 4.28: Κριτήριο Αξιολόγησης “Μορφολογία”

4.4.3. Κριτήριο Αξιολόγησης “Έκθεση σε Ανέμους”

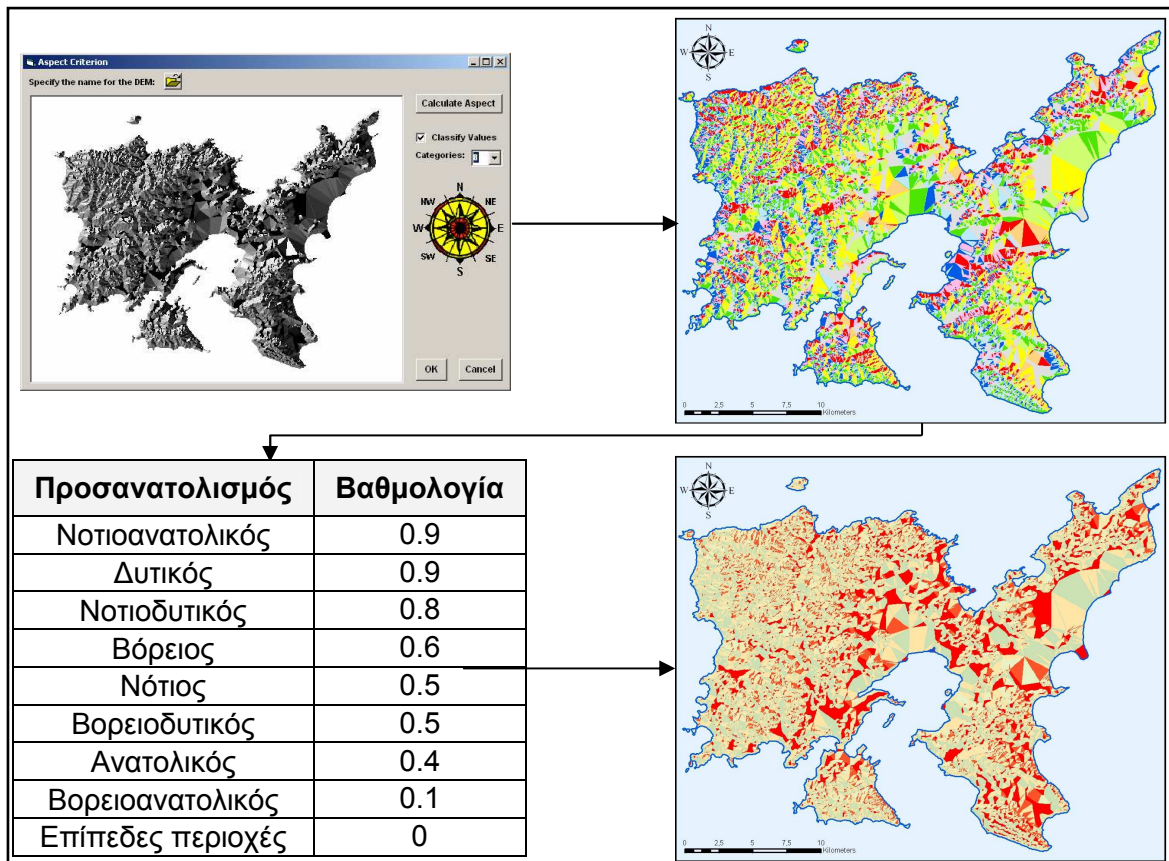
Η έκθεση των περιοχών σε ανέμους είναι μια τεχνική παράμετρος, η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ. Η σημασία του κριτηρίου αυτού έγκειται στην εξασφάλιση βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας της ΜΕΔΑ, καθώς οι ισχυροί άνεμοι δυσχεραίνουν τις εργασίες εκφόρτωσης και διάστρωσης των απορριμμάτων, ενώ σημειώνεται έντονη διασπορά ελαφρών αντικειμένων. Η έκθεση μιας ΜΕΔΑ σε ανέμους, σχετίζεται με την μεταφορά αέριων ρύπων και δυσάρεστων οσμών προς τους γειτονικούς οικισμούς. Επίσης, ο προσανατολισμός σχετίζεται με την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και την αποκατάσταση της βλάστησης. Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης δε βασίζεται σε κάποιον νομικό περιορισμό. Στην ΚΥΑ Ε1β/301/64 αναφέρεται ότι επιτρέπεται η διάθεση των απορριμμάτων εφόσον η περιοχή διαθέσεως «δεν είναι εκτεθειμένη εις ισχυρούς ανέμους». Στην ΚΥΑ 114218/97 γίνεται μια γενική αναφορά στα χαρακτηριστικά των κατάλληλων περιοχών και αναφέρεται ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «η έκθεση του χώρου σε επικρατούντες ανέμους».

Για την αξιολόγηση της έκθεσης σε ανέμους χρησιμοποιείται η παράμετρος του μορφολογικού προσανατολισμού, ο οποίος εκφράζεται σε αζιμουθιακές μοίρες. Μια άλλη παράμετρος η οποία λαμβάνεται υπόψη, είναι η συχνότητα των επικρατούντων ανέμων. Η αξιολόγηση της συγκεκριμένης παραμέτρου βασίζεται στο σκεπτικό ότι όσο πιο μικρή είναι η συχνότητα εμφάνισης ανέμων από κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, τόσο πιο κατάλληλη είναι η περιοχή για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Πηγή δεδομένων για τους επικρατούντες ανέμους στην νήσο Λήμνο, είναι ο μετεωρολογικός σταθμός της νήσου. Η κατανομή των επικρατούντων ανέμων στις διάφορες διευθύνσεις, βάσει των στοιχείων που παραχωρήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, φαίνεται στον πίνακα 4.9.

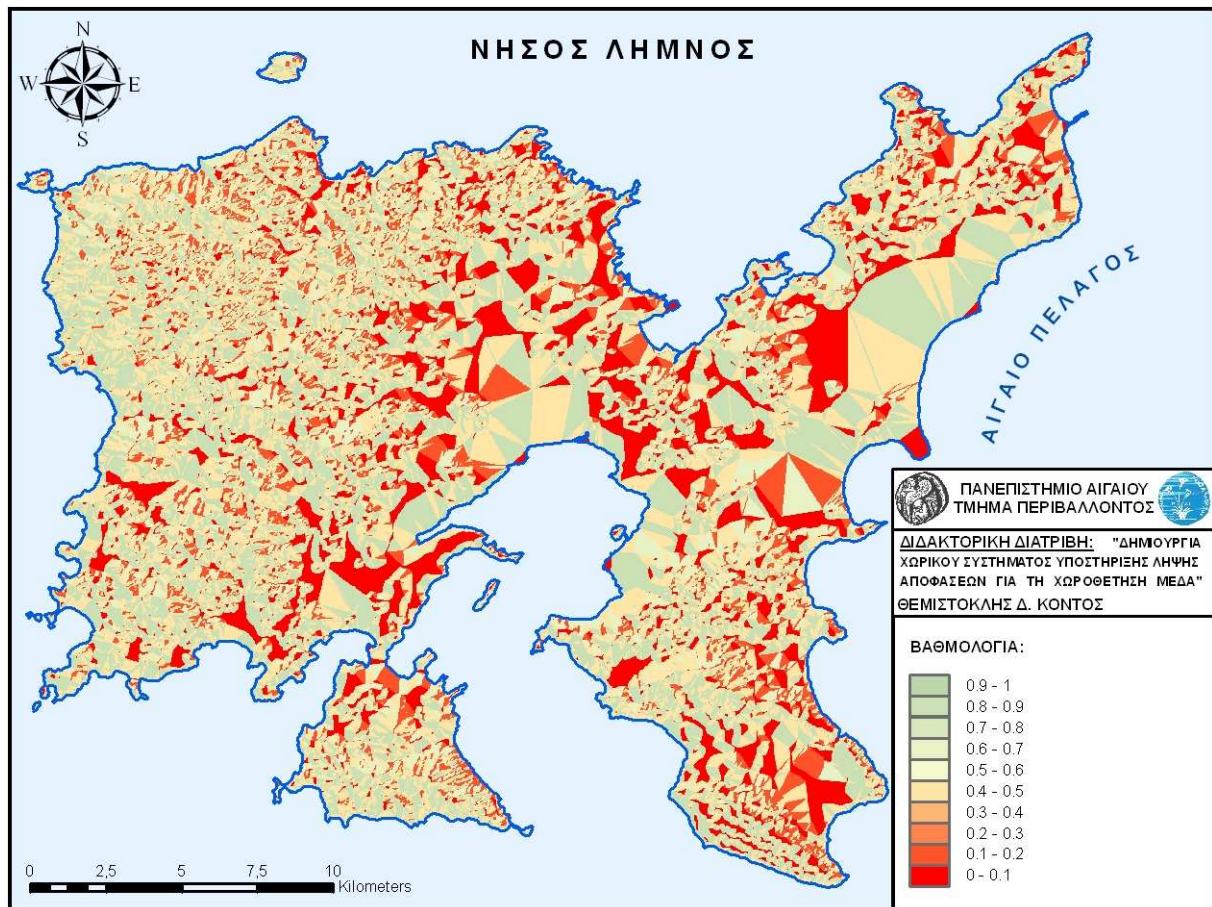
Πίνακας 4.9: Συχνότητα Εμφάνισης Επικρατούντων Ανέμων

| Κατεύθυνση | Αζιμούθιο | Συχνότητα (%) | Κανονικοποιημένη Συχνότητα (%) |
|----------------------|----------------------|---------------|--------------------------------|
| Βόρεια - Β | < 22.5° και > 337.5° | 9.3 | 10.4 |
| Βορειοανατολική - ΒΑ | 22.5° έως 67.5° | 24.6 | 27.5 |
| Ανατολική - Α | 67.5° έως 112.5° | 12.6 | 14.1 |
| Νοτιοανατολική – ΝΑ | 112.5° έως 157.5° | 6.6 | 7.4 |
| Νότια – Ν | 157.5° έως 202.5° | 10.6 | 11.8 |
| Νοτιοδυτική – ΝΔ | 202.5° έως 247.5° | 8.6 | 9.6 |
| Δυτική – Δ | 247.5° έως 292.5° | 6.6 | 7.4 |
| Βορειοδυτική - ΒΔ | 292.5° έως 337.5° | 10.6 | 11.8 |
| Νηνεμία | - | 10.5 | - |

Ο χωρικός καθορισμός της παραμέτρου περιλαμβάνει τη διαδικασία που απεικονίζεται στο σχήμα 4.31. Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα εργαλεία μορφολογικής ανάλυσης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί ο μορφολογικός προσανατολισμός των περιοχών. Στη συνέχεια, βάσει των συχνοτήτων εμφάνισης των ανέμων που φαίνονται στον πίνακα 4.9, αξιολογούνται οι περιοχές ανάλογα με τον μορφολογικό προσανατολισμό τους. Το κριτήριο αξιολόγησης “Έκθεση σε Ανέμους” φαίνεται στον χάρτη 4.29.



Σχήμα 4.31: Χωρικός Καθορισμός της Παραμέτρου “Προσανατολισμός”



Χάρτης 4.29: Κριτήριο Αξιολόγησης “Έκθεση σε Ανέμους”

4.4.4. Κριτήριο Αξιολόγησης “Χρήσεις Γης”

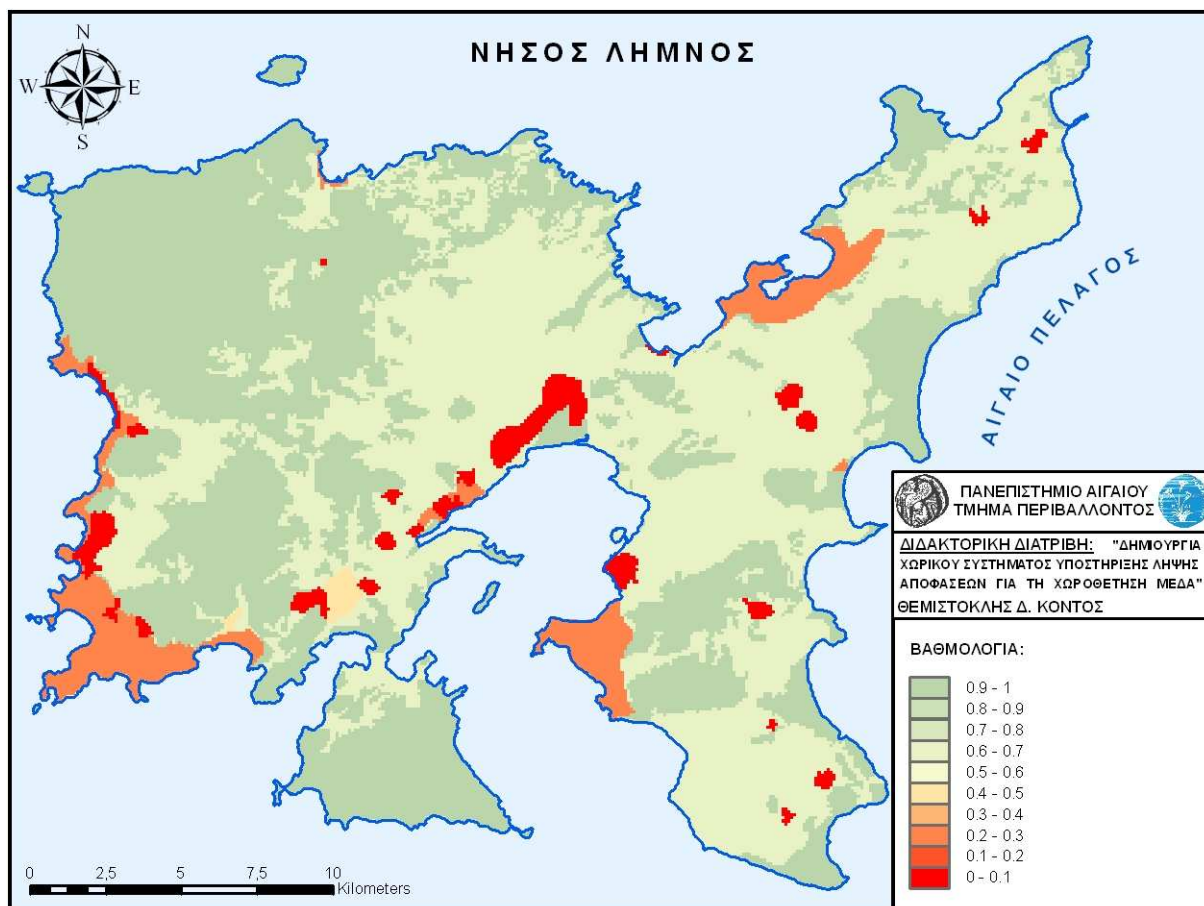
Οι χρήσεις γης καθορίζουν τα οικονομικά χαρακτηριστικά και τις παραγωγικές δραστηριότητες μιας περιοχής. Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης δε βασίζεται σε κάποιον θεσμικό περιορισμό, καθώς η Ελληνική νομοθεσία είναι ασαφής, σε ότι αφορά τα οικονομικά χαρακτηριστικά του χώρου σε σχέση με την εγκατάσταση μιας ΜΕΔΑ. Στην ΚΥΑ 114218/97 γίνεται μια γενική αναφορά στα χαρακτηριστικά των κατάλληλων περιοχών και αναφέρεται ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «η απόσταση σε συνδυασμό με τα στοιχεία φυσικής προκάλυψης του ΧΥΤΑ από χώρους με μόνιμη ή εποχιακής παρουσία μεγάλου αριθμού ατόμων, βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις.».

Για τη χωρική αποτύπωση των χρήσεων γης, χρησιμοποιήθηκαν οι προτάσεις που περιλαμβάνονται στην Ειδική Χωροταξική Μελέτη (1995) για την νήσο Λήμνο. Η βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης, γίνεται με την αξιολόγηση των τύπων χρήσεων γης του χάρτη 3.4. Το βασικό σκεπτικό της αξιολόγησης, είναι η αποφυγή της ενδεχόμενης όχλησης των οικονομικών και παραγωγικών δραστηριοτήτων του νησιού, από την παρουσία μιας ΜΕΔΑ η οποία θα βρίσκονται στην άμεση ζώνη επιρροής της. Στον πίνακα 4.10 φαίνονται οι βαθμολογίες που δίνονται στους διάφορους τύπους χρήσεων γης της νήσου Λήμνου, κατά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Πίνακας 4.10: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Χρήσεις Γης”

| Τύπος Χρήσεων Γης | Βαθμολογία |
|------------------------------------|------------|
| Λοιπές Χρήσεις Γης | 1 |
| Ζώνες Μεταποίησης | 0.7 |
| Πεδινές Περιοχές – Προτεινόμενη Γη | 0.6 |
| Γεωργικές Καλλιέργειες | 0.6 |
| Αρδευόμενες Περιοχές | 0.4 |
| Τουριστικές Περιοχές | 0.2 |
| Οικισμοί - Αεροδρόμιο | 0 |

Στον χάρτη 4.30 φαίνεται το κριτήριο αξιολόγησης “Χρήσεων Γης”, όπως προκύπτει από την εφαρμογή των βαθμολογιών του πίνακα 4.10.



Χάρτης 4.30: Κριτήριο Αξιολόγησης “Χρήσεις Γης”

4.4.5. Κριτήριο Αξιολόγησης “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης”

Η διαθεσιμότητα του υλικού χωματοκάλυψης θεωρείται από τα σημαντικότερα κριτήρια στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ, καθώς επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό το λειτουργικό της κόστος. Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης δε βασίζεται σε κάποιον θεσμικό περιορισμό, όμως υπάρχουν κάποιες γενικές αναφορές. Στην ΚΥΑ Ε1β/301/64 αναφέρεται ότι επιτρέπεται η διάθεση των απορριμμάτων εφόσον «εξασφαλίζεται η δυνατότης λήψεως ή προσκομίσεως καταλλήλου συστάσεως χώματος δια την επικάλυψιν των στρώσεων των απορριμμάτων». Επίσης, στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «η διαθεσιμότητα υλικού επικάλυψης».

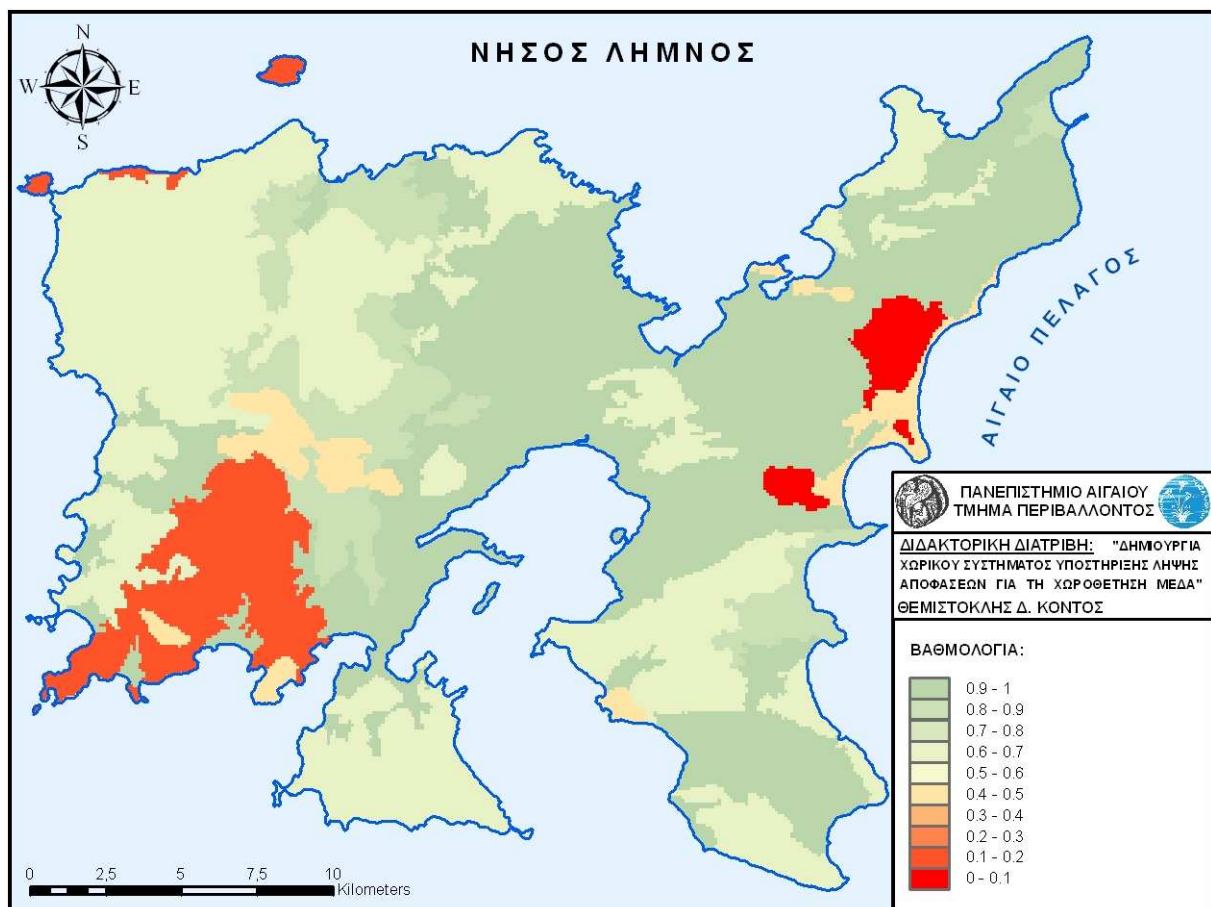
Η βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης, γίνεται με την αξιολόγηση των τύπων βάθους του εδάφους που φαίνονται στον χάρτη 3.10. Το βασικό σκεπτικό της αξιολόγησης, είναι η δυνατότητα εκσκαφής τόσο ως προς το βάθος, όσο και ως προς τη δυσκολία εκσκαφής των σχηματισμών που αναπτύσσονται στα όρια της ΜΕΔΑ. Στον πίνακα

4.11 φαίνονται οι βαθμολογίες που δίνονται στους διάφορους τύπους βάθους εδάφους, κατά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Πίνακας 4.11: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης”

| Τύπος Βάθους Εδάφους | Βαθμολογία |
|-------------------------------------|------------|
| Εδάφη Βαθιά | 1 |
| Εδάφη κυρίως Βαθιά αλλά και Αβαθή | 0.8 |
| Εδάφη κυρίως Αβαθή αλλά και Βαθιά | 0.6 |
| Εδάφη Αβαθή | 0.4 |
| Εδάφη κυρίως Αβαθή αλλά και Βραχώδη | 0.1 |
| Υγρότοποι | 0 |

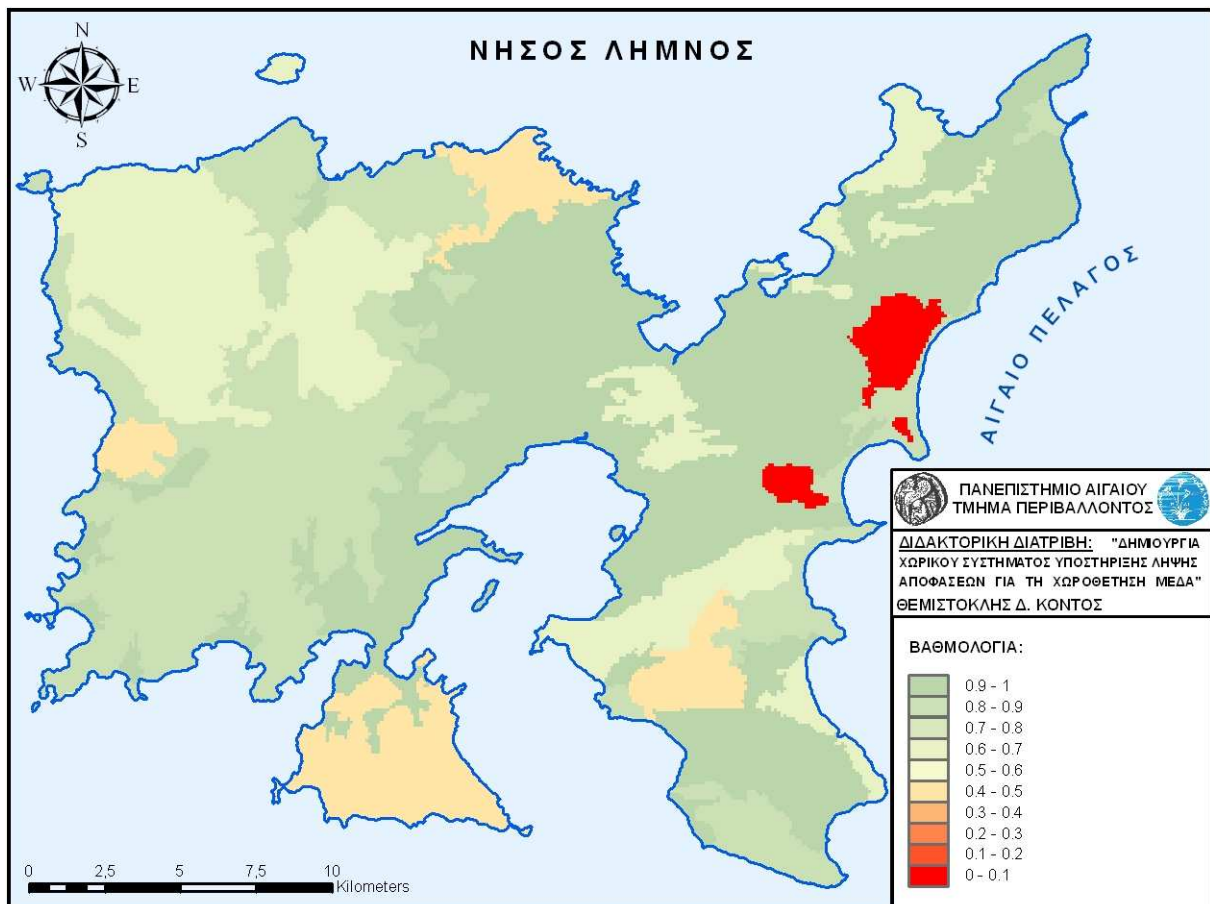
Στον χάρτη 4.31 φαίνεται το κριτήριο αξιολόγησης “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης”, όπως προκύπτει από την εφαρμογή των βαθμολογιών του πίνακα 4.11.



Χάρτης 4.31: Κριτήριο Αξιολόγησης “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης”

4.4.6. Κριτήριο Αξιολόγησης “Διάβρωση”

Η διάβρωση είναι μια παράμετρος η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ, έχοντας σα σκοπό να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος της κατάρρευσης της λόγω διαβρωμένου εδάφους ή καθιζήσεων. Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης δε βασίζεται σε κάποιον θεσμικό περιορισμό, όμως υπάρχουν κάποιες σχετικές αναφορές. Στην ΚΥΑ 114218/97 αναφέρεται ότι στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη «η διάβρωση». Επίσης, στην ΚΥΑ 29407/3508/02 γίνεται η αναφορά ότι για τη θέση μιας ΜΕΔΑ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απαιτήσεις που αφορούν «τον κίνδυνο καθιζήσεων και κατολισθήσεων στον ΧΥΤΑ». Η βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου αξιολόγησης γίνεται με την αξιολόγηση των τύπων διάβρωσης του εδάφους που φαίνονται στον χάρτη 3.11. Το βασικό σκεπτικό της αξιολόγησης, είναι η ελαχιστοποίηση του κινδύνου της κατάρρευσης της ΜΕΔΑ λόγω διαβρωμένου εδάφους ή καθιζήσεων. Στον χάρτη 4.32 φαίνεται το κριτήριο αξιολόγησης “Διάβρωση”, όπως αυτό προκύπτει από την εφαρμογή των βαθμολογιών του πίνακα 4.12.



Χάρτης 4.32: Κριτήριο Αξιολόγησης “Διάβρωση”

Πίνακας 4.12: Βαθμολόγηση του Κριτηρίου Αξιολόγησης “Διάβρωση”

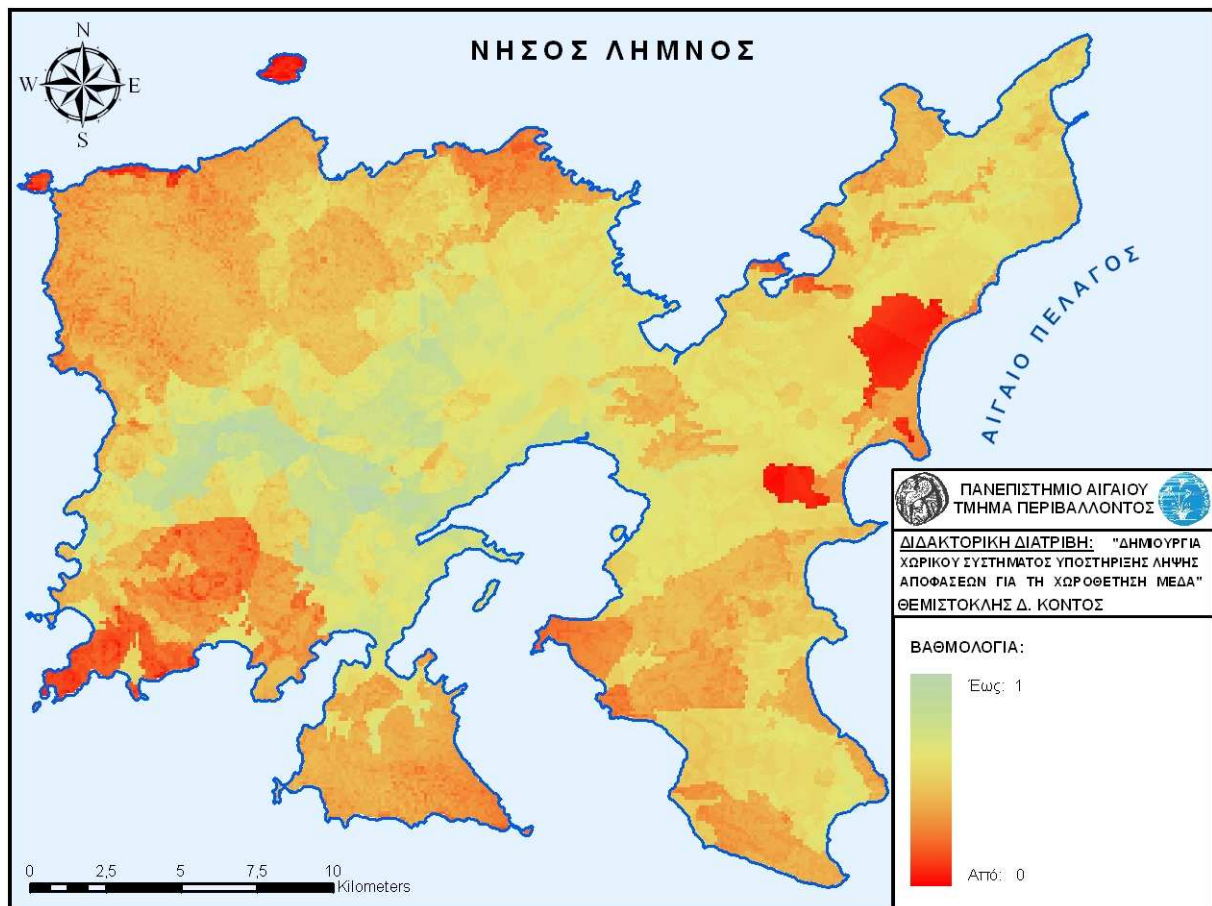
| Τύπος Διάβρωσης | Βαθμολογία |
|---|------------|
| Εδάφη Χωρίς Διάβρωση | 1 |
| Εδάφη Χωρίς αλλά και με Μέτρια Διάβρωση | 0.8 |
| Εδάφη με Μέτρια αλλά και Χωρίς Διάβρωση | 0.6 |
| Εδάφη Χωρίς αλλά και με Έντονη Διάβρωση | 0.4 |
| Υγρότοποι | 0 |

4.4.7. Προσδιορισμός του Κριτηρίου Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό”

Αφού δημιουργηθούν τα κριτήρια αξιολόγησης “Κεντροβαρικότητα”, “Μορφολογία”, “Έκθεση σε Ανέμους”, “Χρήσεις Γης”, “Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης” και “Διάβρωση” που φαίνονται στους χάρτες 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 και 4.32 αντίστοιχα, προσδιορίζεται το κριτήριο απόφασης “Τεχνικοοικονομικό”, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΣΜ και τους συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 4.13. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κριτηρίου απόφασης φαίνεται στον χάρτη 4.33.

Πίνακας 4.13: ΠΣΖ του Κριτηρίου Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό”

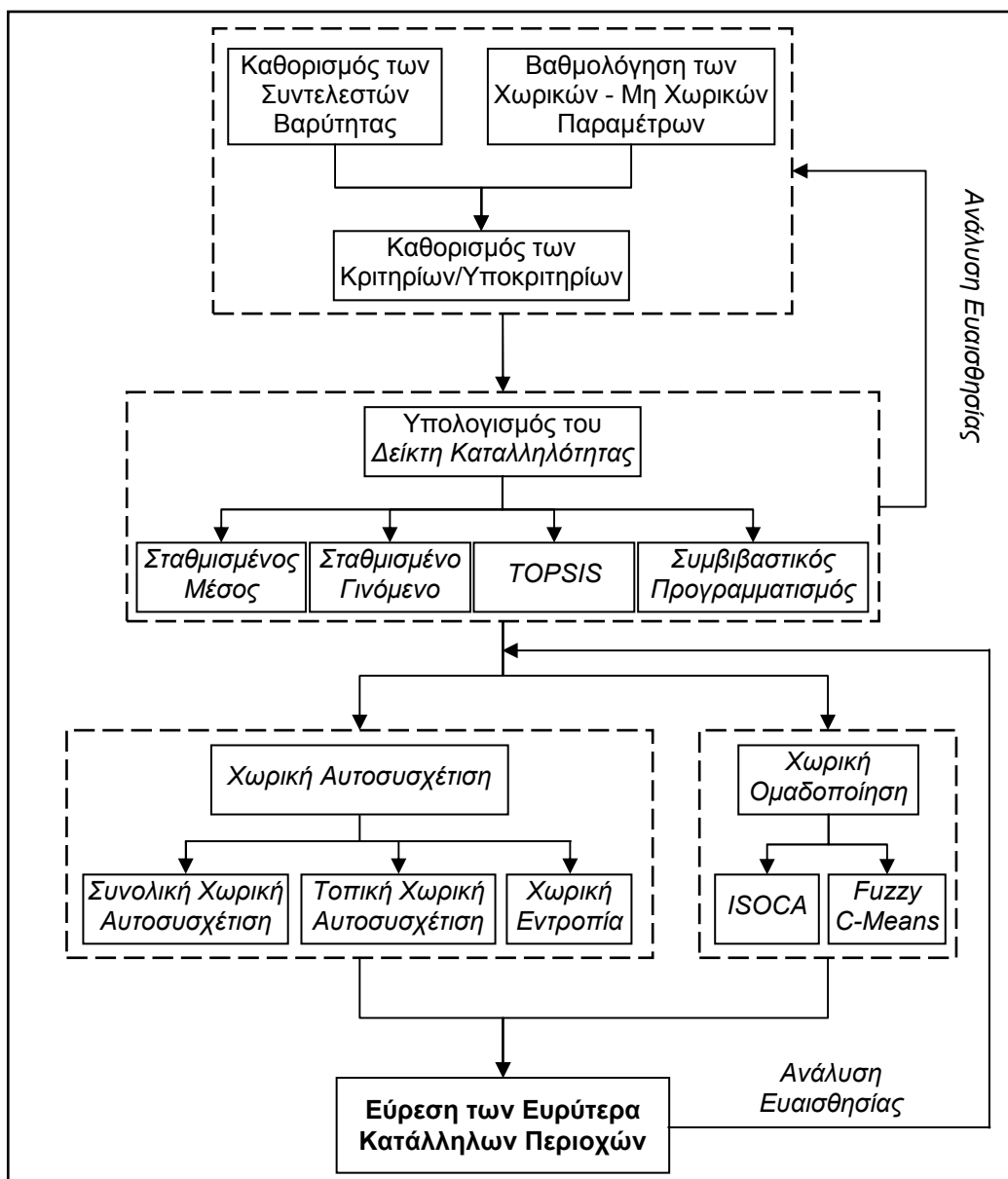
| | Κεντροβαρικότητα | Μορφολογία | Έκθεση σε Ανέμους | Χρήσεις Γης | Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης | Διάβρωση Εδάφους | Συντελεστές Βαρύτητας |
|---|------------------|------------|-------------------|-------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|
| Κεντροβαρικότητα | 1 | 5 | 7 | 5 | 3 | 5 | 0.4522 |
| Μορφολογία | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.0931 |
| Έκθεση σε Ανέμους | 1/7 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 0.0389 |
| Χρήσεις Γης | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.0931 |
| Διαθεσιμότητα Χωματοκάλυψης | 1/3 | 3 | 5 | 3 | 1 | 3 | 0.2296 |
| Διάβρωση Εδάφους | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.0931 |
| RI₆ = 1.24, CI = 0.0247, CR = 0.0199 << 0.1 | | | | | | | |



Χάρτης 4.33: Κριτήριο Απόφασης “Τεχνικοοικονομικό”

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΡΟΣ II – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος, με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Συνοπτικά, ο τρόπος που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των αποτελεσμάτων φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα 5.1 και γίνεται με τον συνδυασμό πολλών μεθόδων χωρικής και στατιστικής ανάλυσης.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα Ροής Εργασιών για την Ανάλυση των Αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1, για την ανάλυση των αποτελεσμάτων αρχικά υπολογίζεται ο δείκτης καταλληλότητας της νήσου Λήμνου, ο οποίος υπολογίζεται με τη βοήθεια του διαγράμματος ιεραρχικής δομής που φαίνεται στο σχήμα 3.5. Ο δείκτης καταλληλότητας υπολογίζεται με τις τέσσερις μεθόδους που περιγράφονται στην παράγραφο 3.6. Αφού υπολογιστεί ο δείκτης καταλληλότητας, εφαρμόζονται μέθοδοι χωρικής στατιστικής και χωρικής ομαδοποίησης για την εύρεση των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Τέλος, εκτελείται ανάλυση ευαισθησίας στα κυριότερα στάδια της μεθοδολογίας ώστε να διερευνηθεί αν οι περιοχές που προτείνονται ως οι πλέον κατάλληλες, μπορούν να επηρεαστούν από ενδεχόμενες αλλαγές των κρίσιμων παραμέτρων. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται αναλυτική περιγραφή όλων των επιμέρους μεθόδων που εφαρμόστηκαν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, ενώ στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

5.1. Υπολογισμός του Δείκτη καταλληλότητας

Για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας της νήσου Λήμνου, εφαρμόζονται τέσσερις διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού, θεωρώντας ότι τα τέσσερα κριτήρια απόφασης του σχήματος 3.5 έχουν την ίδια σημαντικότητα. Ίδια σημαντικότητα σημαίνει ότι τα τέσσερα κριτήρια απόφασης συνεισφέρουν το ίδιο σε ότι αφορά την εκτίμηση της καταλληλότητας των περιοχών για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Ο Πίνακας Συγκρίσεων ανά Ζεύγη καθώς και οι συντελεστές βαρύτητας που προκύπτουν από την εφαρμογή της MAI φαίνονται στον πίνακα 5.1.

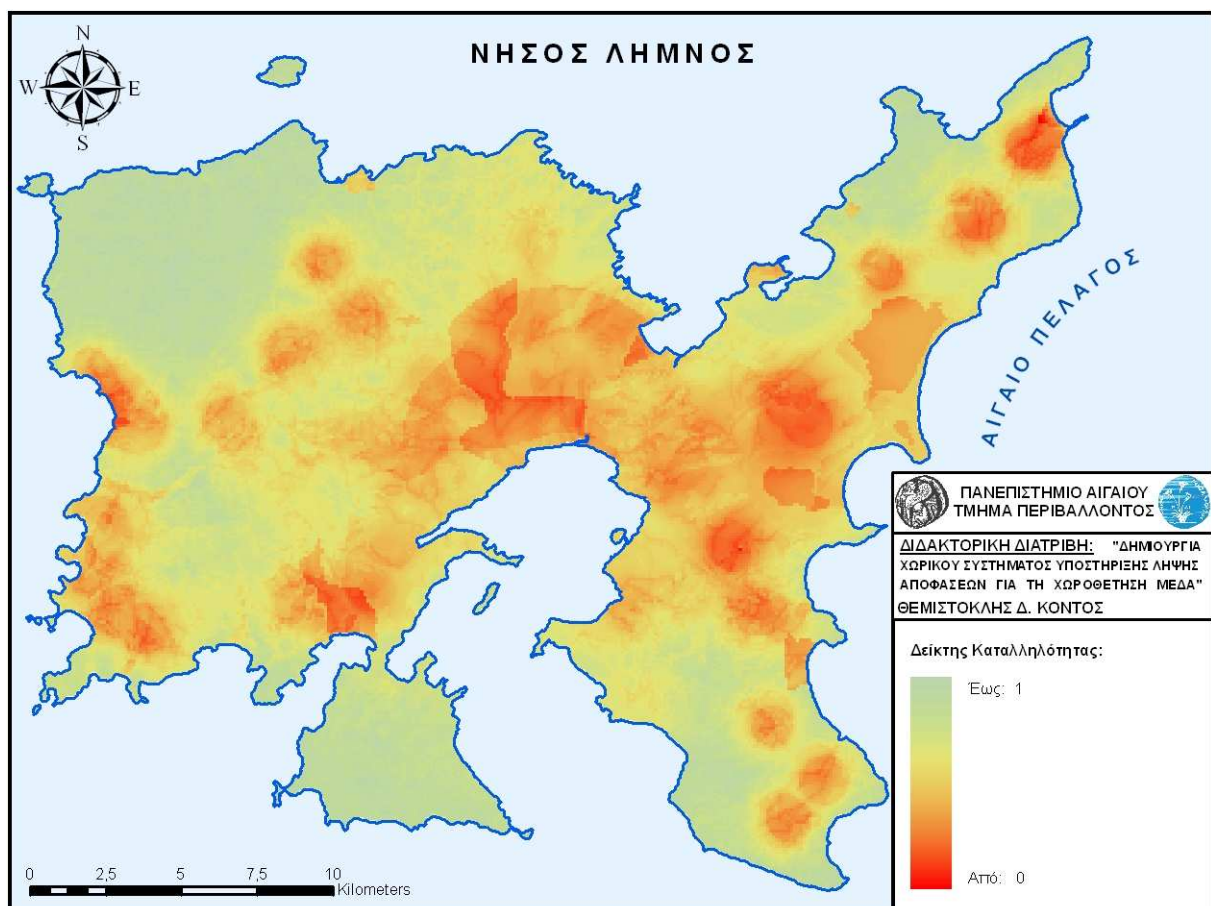
Πίνακας 5.1: ΠΣΖ των Κριτηρίων Απόφασης για τον Υπολογισμό του Δείκτη Καταλληλότητας

| | Υδρολογικό/ Υδρογεωλογικό | Περιβαλλοντικό | Κοινωνικό | Τεχνικο- οικονομικό | Συντελεστές Βαρύτητας |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------------------------|
| Υδρολογικό/ Υδρογεωλογικό | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.25 |
| Περιβαλλοντικό | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.25 |
| Κοινωνικό | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.25 |
| Τεχνικο- οικονομικό | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.25 |
| $RI_4 = 0.9, CI = 0, CR = 0 \ll 0.1$ | | | | | |

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα αποτελέσματα του δείκτη καταλληλότητας της νήσου Λήμνου που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων μεθόδων υπολογισμού, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαρύτητας του πίνακα 5.1.

5.1.1. Εφαρμογή της Μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου

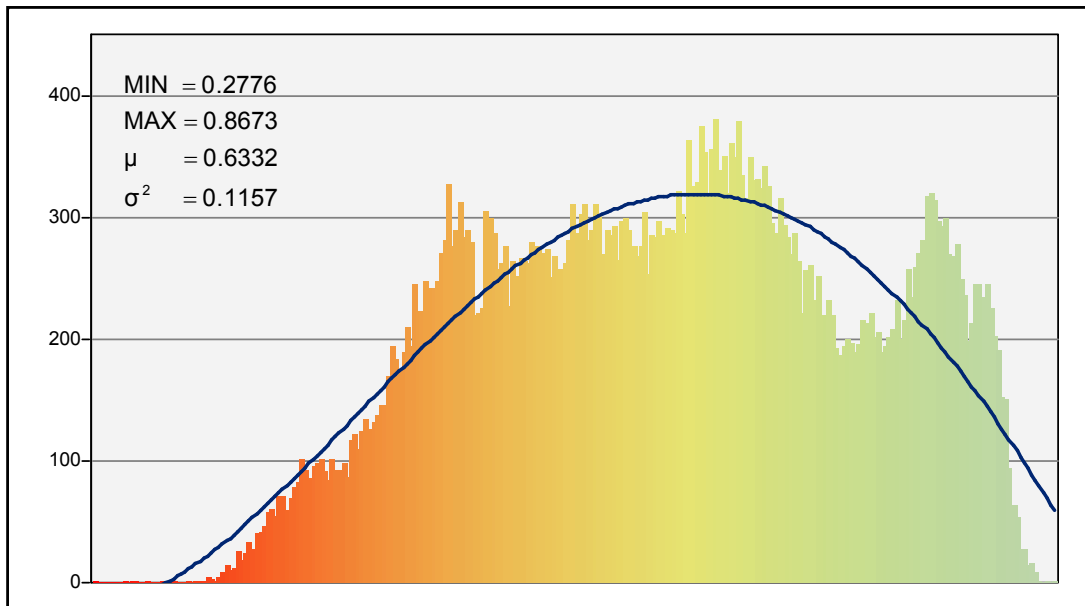
Από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας, προκύπτει το αποτέλεσμα που φαίνεται στον χάρτη 5.1, ενώ στο σχήμα 5.2 φαίνεται το ιστόγραμμα των τιμών μαζί με τα κύρια περιγραφικά στατιστικά.



Χάρτης 5.1: Δείκτης Καταλληλότητας με τη Μέθοδο του Σταθμισμένου Μέσου

Στην περίπτωση που όλοι οι συντελεστές βαρύτητας έχουν την ίδια τιμή, ο Σταθμισμένος Μέσος έχει την ίδια τιμή με τον Αριθμητικό Μέσο. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1, τα επιμέρους κριτήρια απόφασης έχουν τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας, δηλαδή θεωρείται ότι έχουν την ίδια σημαντικότητα. Οπότε, το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου του

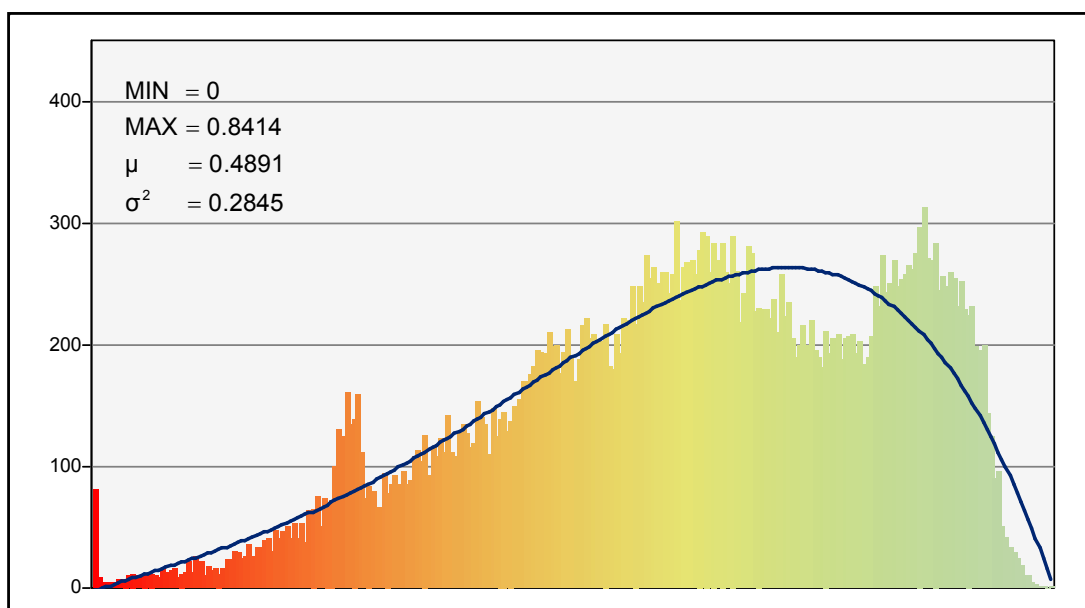
Σταθμισμένου Μέσου, που φαίνεται στον χάρτη 5.1, είναι ουσιαστικά ο μέσος όρος των τιμών των επιμέρους κριτηρίων απόφασης.



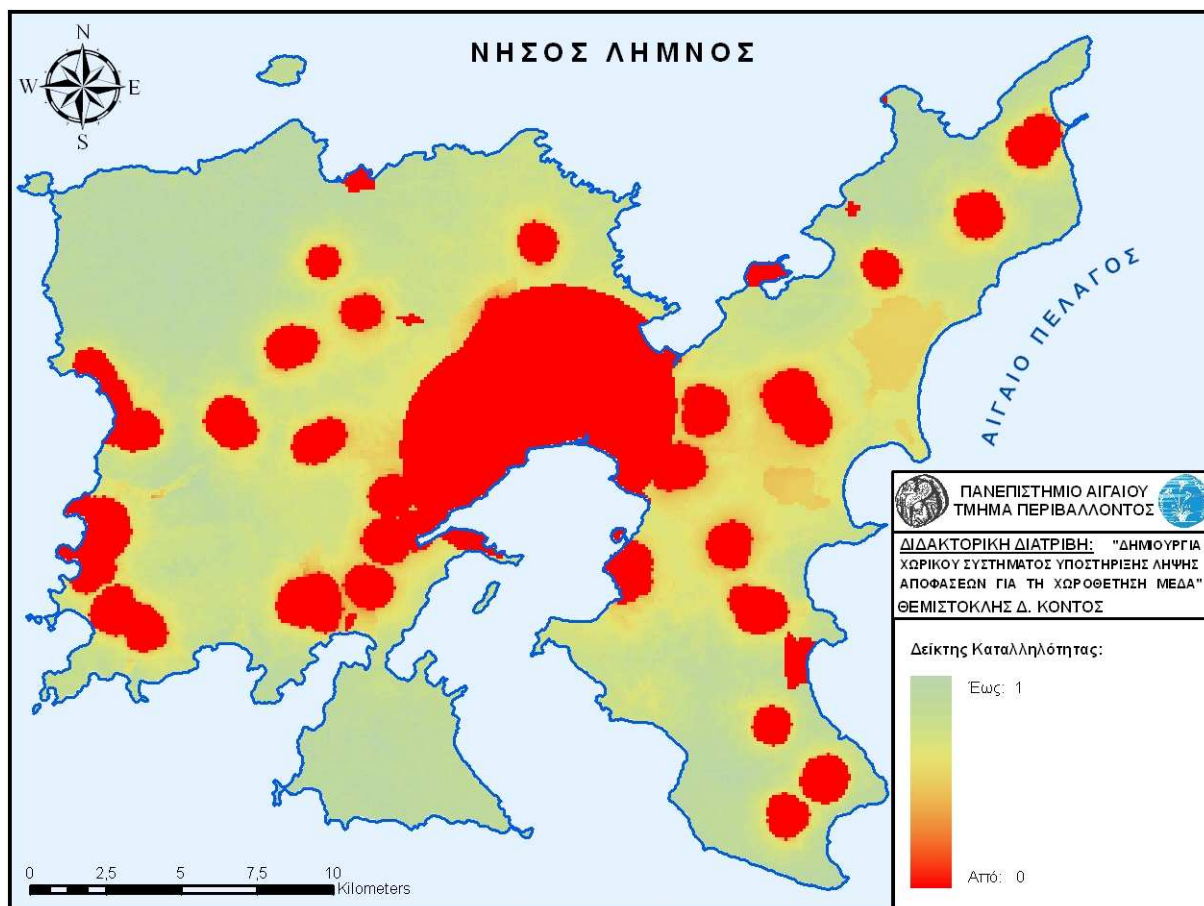
Σχήμα 5.2: Ιστόγραμμα των Τιμών του Δείκτη Καταλληλότητας με τη Μέθοδο του Σταθμισμένου Μέσου

5.1.2. Εφαρμογή της Μεθόδου του Σταθμισμένου Γινομένου

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Γινομένου για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας, προκύπτει το αποτέλεσμα που φαίνεται στον χάρτη 5.2, ενώ στο σχήμα 5.3 φαίνεται το ιστόγραμμα των τιμών μαζί με τα κύρια περιγραφικά στατιστικά.



Σχήμα 5.3: Ιστόγραμμα των Τιμών του Δείκτη Καταλληλότητας με τη Μέθοδο του Σταθμισμένου Γινομένου

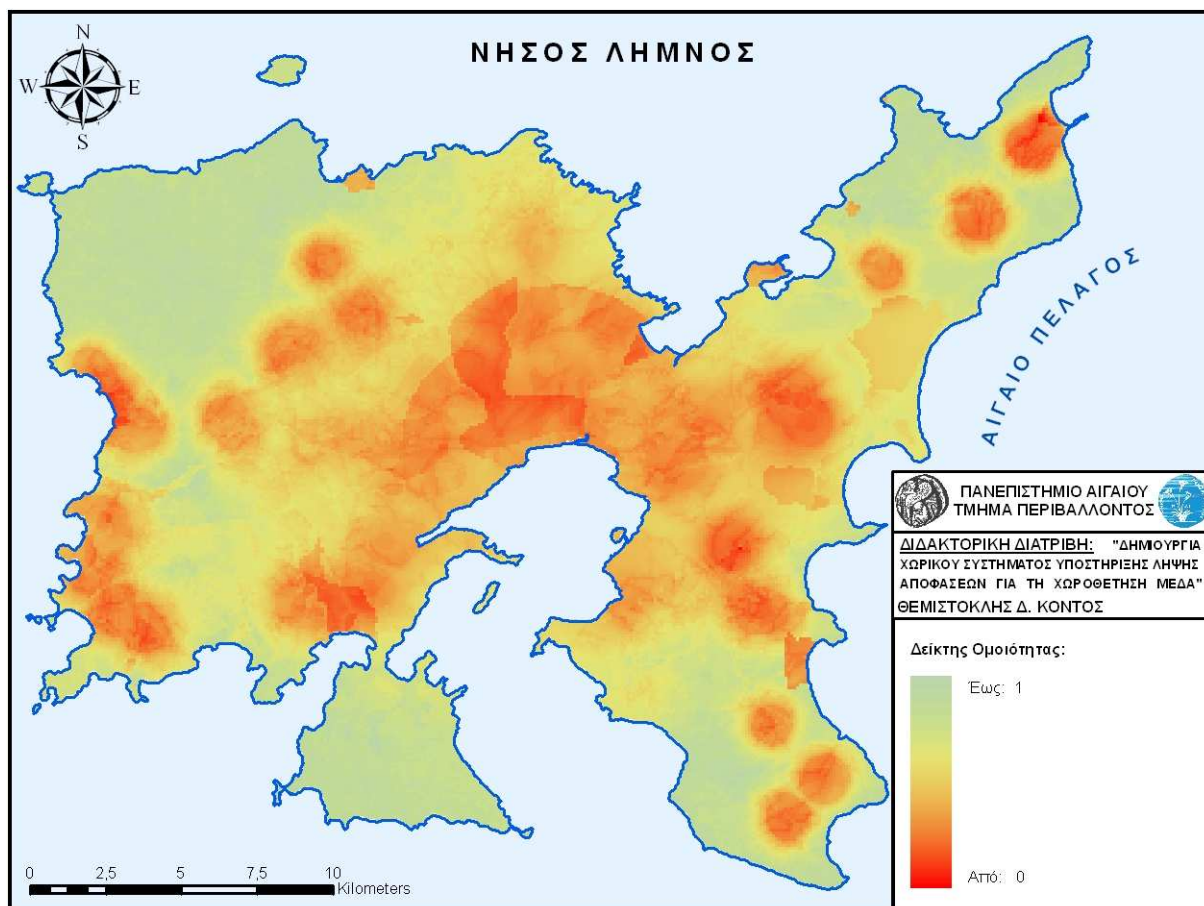


Χάρτης 5.2: Δείκτης Καταλληλότητας με τη Μέθοδο του Σταθμισμένου Γινομένου

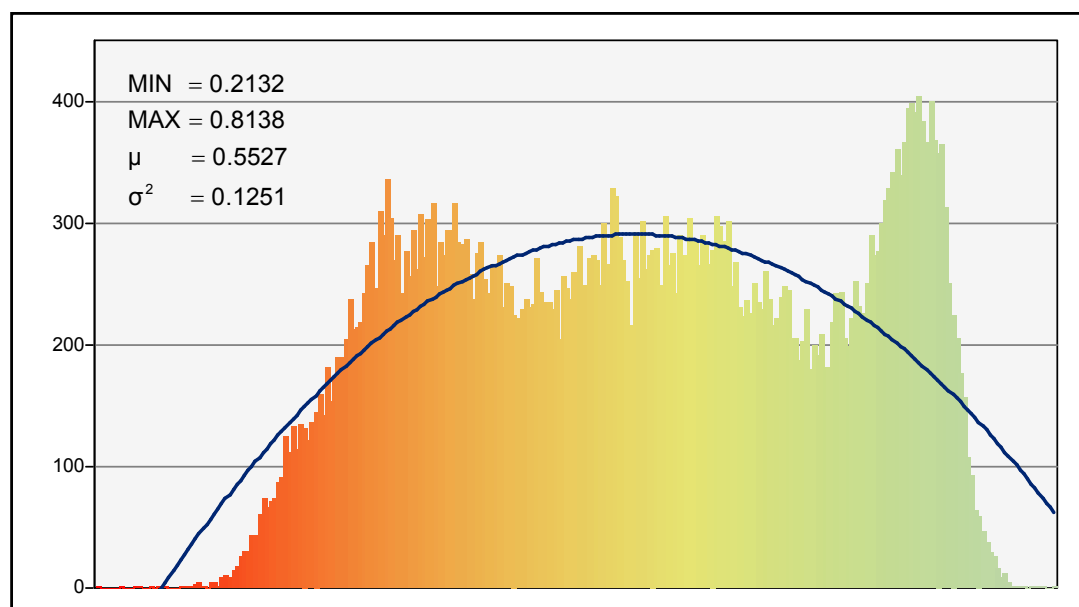
Η μέθοδος του Σταθμισμένου Γινομένου ενδείκνυται στις περιπτώσεις που είναι επιθυμητό να μηδενιστεί η τιμή του δείκτη καταλληλότητας, στις περιοχές εκείνες όπου τουλάχιστον σε ένα από τα κριτήρια απόφασης έχουν μηδενική τιμή. Ουσιαστικά, προτείνεται η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου όταν ο δείκτης καταλληλότητας πρέπει να έχει μηδενική τιμή στις περιοχές, οι οποίες είτε λόγω νομοθετικών περιορισμών ή λόγω αντικειμενικών δυσκολιών, η βαθμολόγηση των παραμέτρων έχει δώσει μηδενικές τιμές.

5.1.3. Εφαρμογή της Μεθόδου TOPSIS

Από την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS για τον υπολογισμό του δείκτη ομοιότητας, προκύπτει το αποτέλεσμα που φαίνεται στον χάρτη 5.3, ενώ στο σχήμα 5.4 φαίνεται το ιστόγραμμα των τιμών μαζί με τα κύρια περιγραφικά στατιστικά.



Χάρτης 5.3: Δείκτης Ομοιότητας με τη Μέθοδο TOPSIS

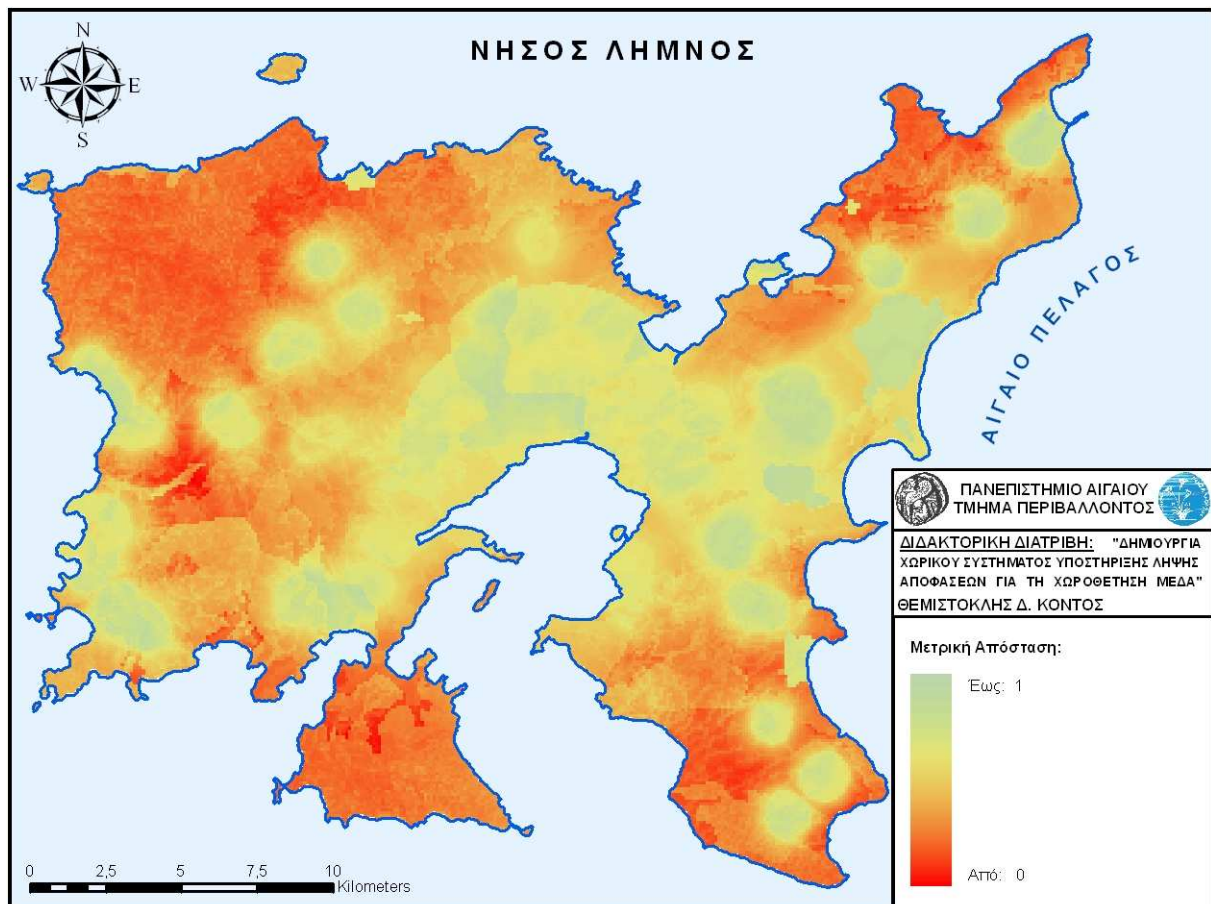


Σχήμα 5.4: Ιστόγραμμα των Τιμών του Δείκτη Ομοιότητας με τη Μέθοδο TOPSIS

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μέθοδος *TOPSIS* υπολογίζει τον δείκτη ομοιότητας, ο οποίος έχει σα χαρακτηριστικά την εγγύτητα ως προς της ιδανική λύση (*positive-ideal solution*) αλλά και την απόσταση από την χειρίστη λύση (*negative-ideal solution*). Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου στην προτεινόμενη μεθοδολογία, υπολογίζεται για κάθε περιοχή της νήσου Λήμνου ο δείκτης ομοιότητας, λαμβάνοντας υπόψη τον Ευκλείδειο χώρο τεσσάρων διαστάσεων. Οι τιμές του δείκτη που είναι κοντά στο 1, δείχνουν περιοχές που είναι κοντά στη βέλτιστη λύση και μακριά από τη χειρίστη. Αντίστοιχα τιμές του δείκτη που είναι κοντά στο 0, δείχνουν περιοχές που είναι μακριά από τη βέλτιστη λύση και κοντά στη χειρίστη.

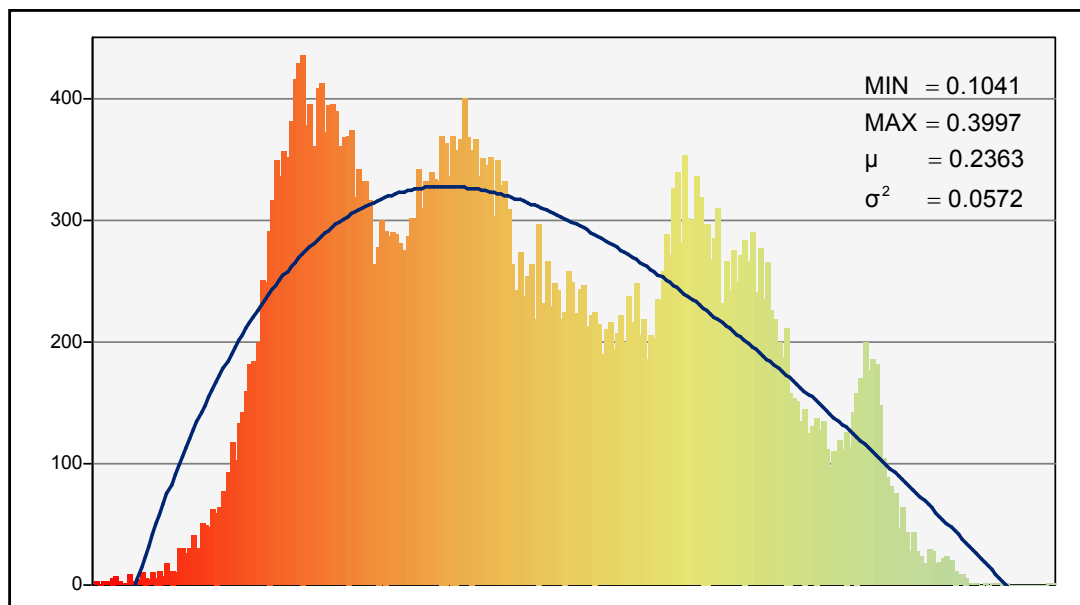
5.1.4. Εφαρμογή της Μεθόδου του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού

Από την εφαρμογή της μεθόδου του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού για τον υπολογισμό της μετρικής απόστασης, προκύπτει το αποτέλεσμα που φαίνεται στον χάρτη 5.4, ενώ στο σχήμα 5.5 φαίνεται το ιστόγραμμα των τιμών μαζί με τα κύρια περιγραφικά στατιστικά.



Χάρτης 5.4: Μετρική Απόσταση με τη Μέθοδο του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού

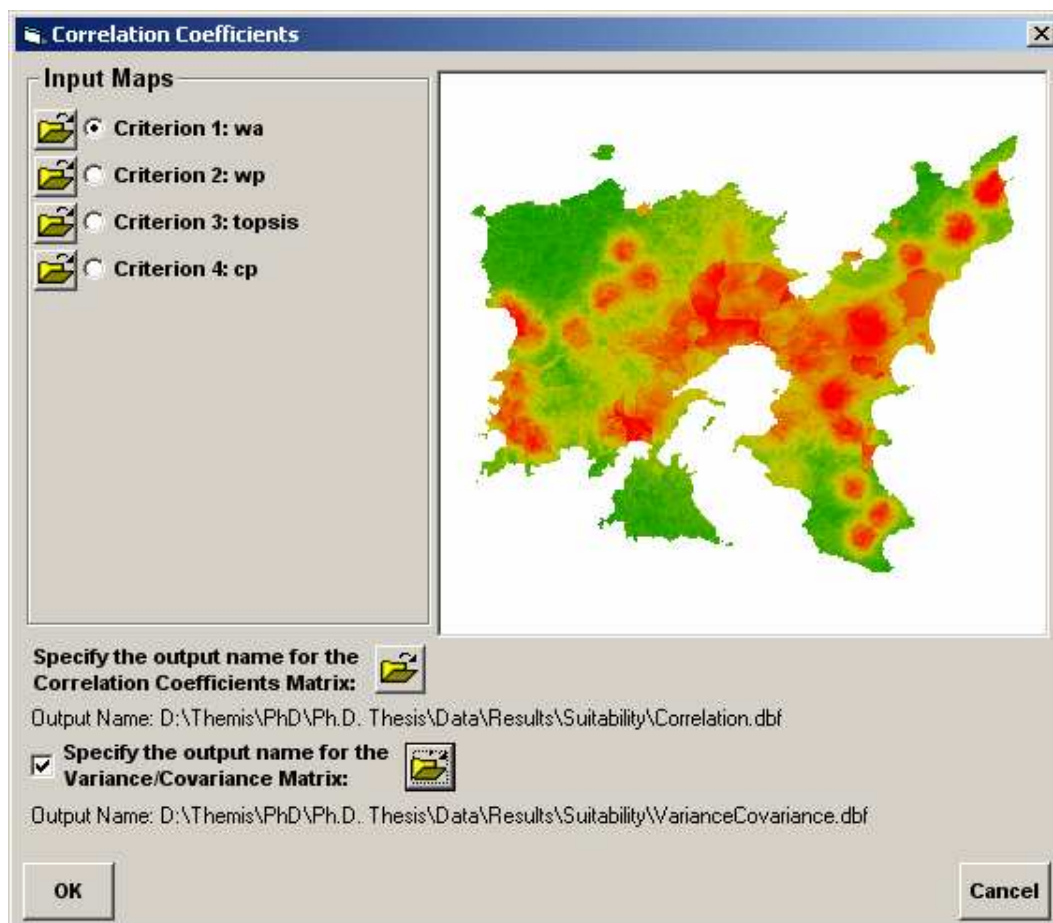
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μέθοδος του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού υπολογίζει την μετρική απόσταση, η οποία δείχνει την απόσταση που έχουν οι περιοχές σε σχέση με την ιδανική λύση. Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, χρησιμοποιώντας την τιμή 2 για την παράμετρο ρ , προκύπτει το αποτέλεσμα της μετρικής απόστασης που φαίνεται στον χάρτη 5.4. Η συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου ρ , σημαίνει ότι όλες οι αποκλίσεις θεωρούνται ίδιας σημαντικότητας. Οι τιμές της μετρικής απόστασης που είναι κοντά στο 0 δείχνουν περιοχές που είναι κοντά στην ιδανική λύση, ενώ αντίστοιχα τιμές που είναι κοντά στο 1 δείχνουν περιοχές που είναι μακριά από την ιδανική λύση.



Σχήμα 5.5: Ιστόγραμμα των Τιμών της Μετρικής Απόστασης με τη Μέθοδο του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού

5.1.5. Σύγκριση των Αποτελεσμάτων από την Εφαρμογή των Μεθόδων

Στην παρούσα παράγραφο περιγράφονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των τεσσάρων μεθόδων υπολογισμού που φαίνονται στους χάρτες 5.1, 5.2, 5.3 και 5.4. Ο τρόπος που επιλέχθηκε για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, είναι με τη βοήθεια του συντελεστή συσχέτισης (*correlation coefficient*). Για να επιτευχθεί ο υπολογισμός της συσχέτισης των αποτελεσμάτων, κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στο σχήμα 5.6. Το συγκεκριμένο παράθυρο διαλόγου υπολογίζει τον πίνακα συσχετίσεων (*correlation matrix*) και τον πίνακα διακύμανσης/συνδιακύμανσης (*Variance/covariance matrix*) για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς.



Σχήμα 5.6: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της Χωρικής Συσχέτισης

Στον πίνακα 5.2 φαίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τη συσχέτιση, τη διακύμανση και τη συνδιακύμανση. Τα στοιχεία της κυρίας διαγωνίου του πίνακα 5.2 δείχνουν τη διακύμανση των τιμών της κάθε μεθόδου υπολογισμού. Τα στοιχεία που βρίσκονται κάτω από την κύρια διαγώνιο δείχνουν τη συνδιακύμανση των τιμών μεταξύ των μεθόδων. Τέλος, τα στοιχεία του πίνακα που βρίσκονται πάνω από την κύρια διαγώνιο δείχνουν τους συντελεστές συσχέτισης των διαφόρων μεθόδων υπολογισμού.

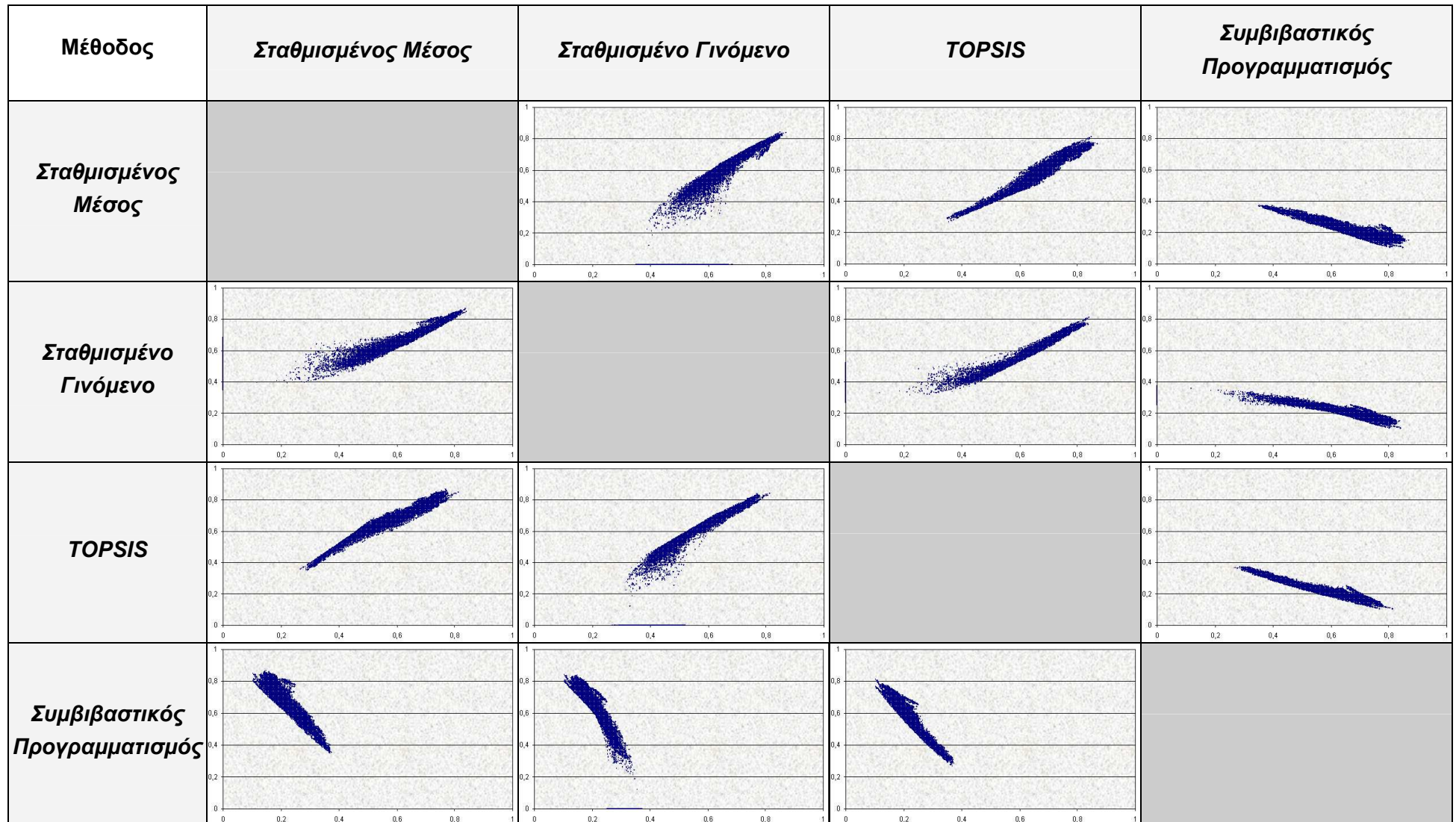
Πίνακας 5.2: Πίνακας Συσχετίσεων/Διακύμανσης/Συνδιακύμανσης από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού

| Μέθοδος | Σταθμισμένος Μέσος | Σταθμισμένο Γινόμενο | TOPSIS | Συμβιβαστικός Προγραμματισμός |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|----------|-------------------------------|
| Σταθμισμένος Μέσος | 0.01338 | 0.83600 | 0.96145 | -0.95544 |
| Σταθμισμένο Γινόμενο | 0.02751 | 0.08095 | 0.87683 | -0.86754 |
| TOPSIS | 0.01391 | 0.03121 | 0.01565 | -0.93437 |
| Συμβιβαστικός Προγραμματισμός | -0.00632 | -0.01412 | -0.00669 | 0.00327 |

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 5.2, υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή των τεσσάρων μεθόδων. Σε ότι αφορά τη σύγκριση της μεθόδου *Σταθμισμένος Μέσος* με τις υπόλοιπες μεθόδους, φαίνεται ότι υπάρχει θετική συσχέτιση με τα αποτελέσματα της μεθόδου *Σταθμισμένο Γινόμενο*, πολύ μεγάλη θετική συσχέτιση με τα αποτελέσματα της μεθόδου *TOPSIS* και πολύ μεγάλη αρνητική συσχέτιση με τα αποτελέσματα της μεθόδου *Συμβιβαστικός Προγραμματισμός*. Η μέθοδος του *Σταθμισμένου Γινομένου*, έχει αρκετά μεγάλη θετική συσχέτιση με τη μέθοδο *TOPSIS* και αρκετά μεγάλη αρνητική συσχέτιση με την μέθοδο του *Συμβιβαστικού Προγραμματισμού*. Τέλος, η μέθοδος *TOPSIS* έχει πολύ μεγάλη αρνητική συσχέτιση με τη μέθοδο του *Συμβιβαστικού Προγραμματισμού*. Στο σχήμα 5.7 φαίνεται ο *Πίνακας των Διαγραμμάτων Διασποράς (Scatterplot Matrix)* όλων των μεθόδων υπολογισμού.

Κάποια σημεία που πρέπει να σχολιαστούν σε ότι αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την στατιστική σύγκριση των μεθόδων υπολογισμού, είναι η μικρότερη συσχέτιση της μεθόδου *Σταθμισμένο Γινόμενο* έναντι των άλλων μεθόδων και η αρνητική συσχέτιση της μεθόδου *Συμβιβαστικός Προγραμματισμός* με τις άλλες μεθόδους. Σε ότι αφορά την μέθοδο του *Σταθμισμένου Γινομένου*, λόγω της πολλαπλασιαστικής μορφής του δείκτη, είναι αναμενόμενη η διαφοροποίηση των τιμών και η εμφάνιση πολλών περιοχών με μηδενική τιμή. Εξάλλου, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρησιμότητα του συγκεκριμένου δείκτη είναι ο μηδενισμός των τιμών σε εκείνες τις περιοχές οι οποίες έχουν μηδενική τιμή σε τουλάχιστον ένα από τα κριτήρια απόφασης. Επίσης, όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια, αν γίνει ένα πείραμα και εκτελεστεί η ίδια διαδικασία της στατιστικής σύγκρισης των αποτελεσμάτων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι περιοχές που έχουν μηδενική τιμή, τότε οι συσχετίσεις μεταξύ των μεθόδων αυξάνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Σε ότι αφορά την αρνητική συσχέτιση της μεθόδου του *Συμβιβαστικού Προγραμματισμού* σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της διαφορετικής φοράς της κλίμακας σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Οι μέθοδοι του *Σταθμισμένου Μέσου* και *Σταθμισμένου Γινομένου* υπολογίζουν τον *δείκτη καταλληλότητας*, στην κλίμακα αναφοράς των δεδομένων 0 έως 1, δηλαδή σε κλίμακα από ακατάλληλο έως κατάλληλο αντίστοιχα. Η μέθοδος *TOPSIS* υπολογίζει τον *δείκτη ομοιότητας*, ο οποίος βρίσκεται και αυτός στην κλίμακα 0 έως 1, με τρόπο ανάλογο με εκείνον του *δείκτη καταλληλότητας*. Η τιμή της *μετρικής απόστασης* που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου του *Συμβιβαστικού Προγραμματισμού*, έχει κλίμακα από 0 έως 1, δηλαδή σε κλίμακα από κατάλληλο έως ακατάλληλο αντίστοιχα. Άρα αυτό που πρέπει να προκύπτει από την στατιστική ανάλυση, είναι η έστω και αρνητική, αλλά έντονη συσχέτιση της μεθόδου του *Συμβιβαστικού Προγραμματισμού* με τα αποτελέσματα των άλλων μεθόδων.

Σχήμα 5.7: Πίνακας Διαγραμμάτων Διασποράς από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού



Στη συνέχεια, γίνεται ένα πείραμα για τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθόδων υπολογισμού. Εκτελείται η ίδια διαδικασία με αυτή που περιγράφηκε προηγουμένως για τη στατιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων, με τη διαφορά ότι αφαιρούνται από την ανάλυση οι περιοχές οι οποίες έχουν μηδενική τιμή. Ουσιαστικά, η στατιστική ανάλυση εκτελείται στις περιοχές που προκύπτουν μετά τον αποκλεισμό των μηδενικών τιμών. Στον πίνακα 5.3 φαίνονται τα αποτελέσματα σε ότι αφορά τη *συσχέτιση*, τη *διακύμανση* και τη *συνδιακύμανση*.

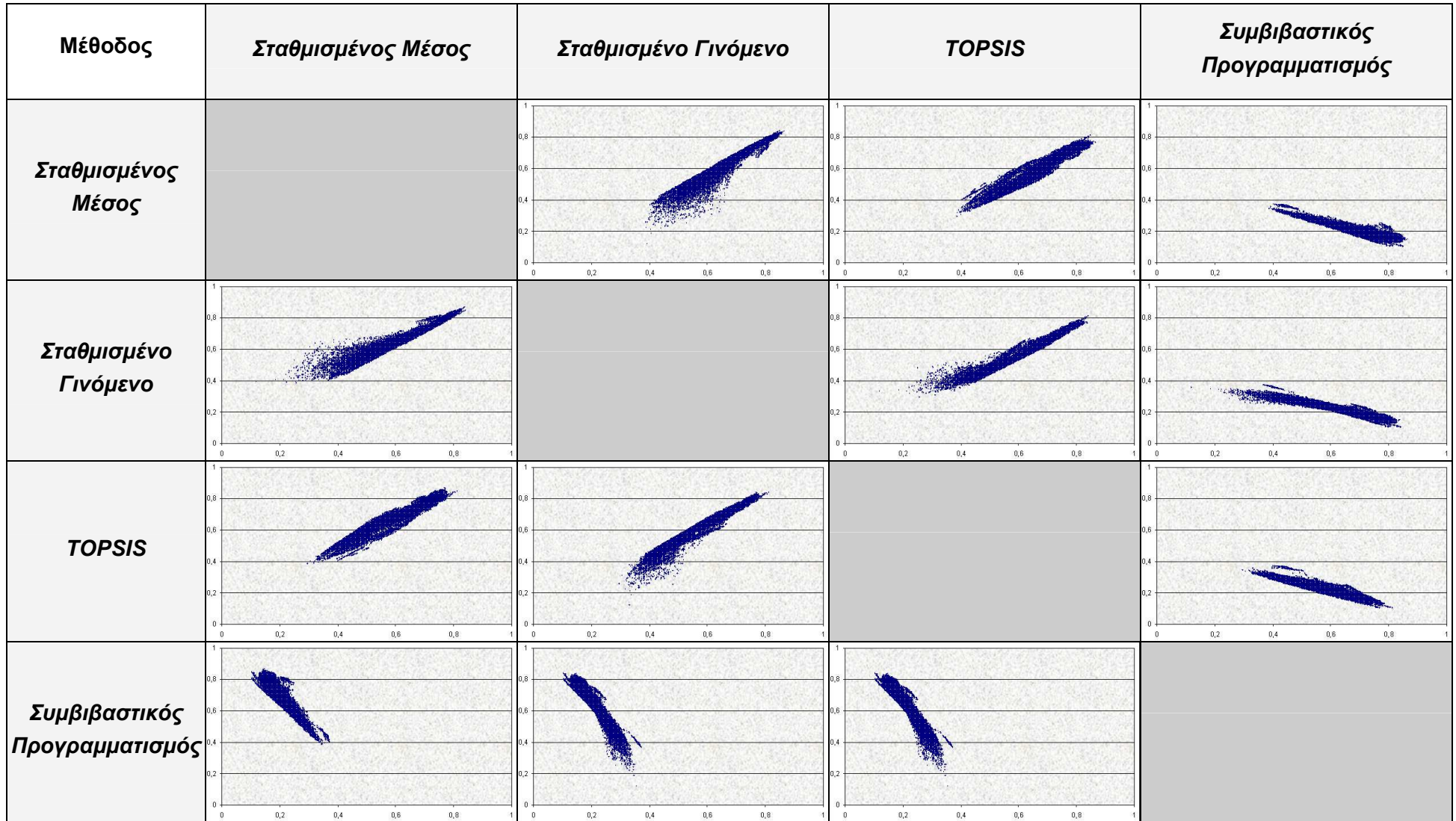
Πίνακας 5.3: Πίνακας *Συσχετίσεων/Διακύμανσης/Συνδιακύμανσης* από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού στις Μασκαρισμένες Περιοχές

| Μέθοδος | Σταθμισμένος Μέσος | Σταθμισμένο Γινόμενο | TOPSIS | Συμβιβαστικός Προγραμματισμός |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|--------------------------------------|
| Σταθμισμένος Μέσος | 0.00947 | 0.96916 | 0.93772 | -0.92625 |
| Σταθμισμένο Γινόμενο | 0.01057 | 0.01257 | 0.95911 | -0.93832 |
| TOPSIS | 0.00924 | 0.01089 | 0.01025 | -0.87377 |
| Συμβιβαστικός Προγραμματισμός | -0.00416 | -0.00486 | -0.00409 | 0.00213 |

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 5.3, η στατιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την μέθοδο του *Σταθμισμένου Γινομένου* με τα αποτελέσματα των άλλων μεθόδων, δείχνει ότι η συσχέτιση των αποτελεσμάτων μεγάλωσε πάρα πολύ. Παράλληλα, οι συσχετίσεις των υπόλοιπων μεθόδων παραμένουν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Επίσης, τόσο οι *διακυμάνσεις* των τιμών σε κάθε μέθοδο, όσο και οι *συνδιακυμάνσεις* των τιμών ανάμεσα στις μεθόδους, μειώθηκαν πάρα πολύ σε σχέση με τις αρχικές τιμές, οι οποίες ήταν ήδη πολύ μικρές. Στο σχήμα 5.8 φαίνεται ο *Πίνακας των Διαγραμμάτων Διασποράς* όλων των μεθόδων υπολογισμού στις μασκαρισμένες περιοχές.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα των συγκρίσεων των διαφόρων μεθόδων υποδεικνύουν ότι υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όποια τις τέσσερις μεθόδους επιλεγεί για τον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας*, θα είναι αντικειμενική, καθώς η στατιστική σύγκριση κατέδειξε πως τα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων υπολογισμού του *δείκτη καταλληλότητας* σχεδόν ταυτίζονται.

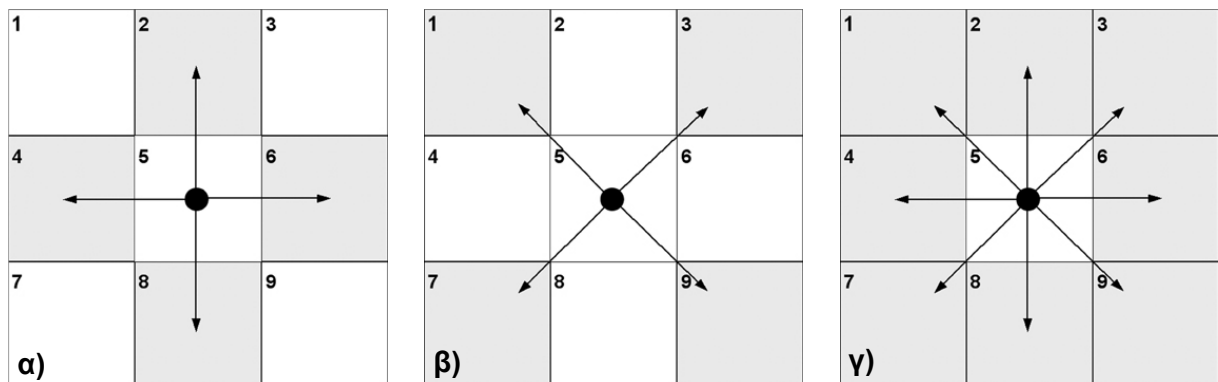
Σχήμα 5.8: Πίνακας Διαγραμμάτων Διασποράς από την Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού στις Μασκαρισμένες Περιοχές



5.2. Χωρική Αυτοσυσχέτιση

Χωρική αυτοσυσχέτιση (*spatial autocorrelation*) είναι το χωρικό φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο υπάρχει έντονη συσχέτιση μεταξύ γειτονικών περιοχών. Ουσιαστικά, είναι η ποσοτικοποίηση του πρώτου νόμου της γεωγραφίας (Tobler 1970) που αναφέρει πως «οτιδήποτε έχει σχέση με οποιοδήποτε άλλο, αλλά τα κοντινά πράγματα έχουν μεγαλύτερη σχέση από ότι τα μακρινά». Πιο συγκεκριμένα, αν υπάρχει σχέση μεταξύ των τιμών κάποιας μεταβλητής X , για κάθε ζεύγος περιοχών i και j , τότε τα δεδομένα είναι χωρικά αυτοσυσχετισμένα. Η *χωρική αυτοσυσχέτιση* εξαρτάται από δύο παραμέτρους. Η πρώτη παράμετρος είναι η χωρική σχέση γειννίαςης που υπάρχει σε ένα σύνολο n περιοχών, ενώ η δεύτερη παράμετρος είναι η σχέση των τιμών της μεταβλητής X που περιγράφει την περιοχή. Η *χωρική αυτοσυσχέτιση* ορίζεται ως *θετική* όταν οι τιμές της μεταβλητής X παρουσιάζονται συγκεντρωμένες στον χώρο. *Αρνητική αυτοσυσχέτιση* υπάρχει όταν γειννιάζουν περιοχές που έχουν υψηλή τιμή με περιοχές που έχουν χαμηλή τιμή στην μεταβλητή X ή το αντίστροφο. Τέλος, τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα όταν η χωρική κατανομή της μεταβλητής X είναι τυχαία.

Η χωρική σχέση ενός συνόλου n περιοχών μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας μια από τις σχέσεις γειννίαςης που ονομάζονται *Rook*, *Bishop* και *Queen* και φαίνονται στο σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9: Τύποι Χωρικής Γειννίαςης α) *Rook*, β) *Bishop* και γ) *Queen*

Η περίπτωση *Rook* θεωρεί γειτονικά τα τέσσερα κελιά που γειννιάζουν άμεσα με το κάθε κελί. Η περίπτωση *Bishop* θεωρεί γειτονικά τα τέσσερα κελιά που βρίσκονται διαγώνια στο κάθε κελί (έμμεση γειννίαση). Τέλος, η περίπτωση *Queen* θεωρεί γειτονικά και τα οκτώ κελιά που γειννιάζουν άμεσα ή έμμεσα με το κάθε κελί.

Η χωρική σχέση γειτνίασης καταγράφεται σε έναν πίνακα, ο οποίος ονομάζεται *πίνακας χωρικών βαρών* (*spatial weights matrix*). Ο *πίνακας χωρικών βαρών* W , είναι ένας συμμετρικός πίνακας διαστάσεων $n \times n$ (n είναι το πλήθος των κελιών) ο οποίος έχει τις εξής ιδιότητες:

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{αν το κελί } i \text{ δε γειτνιάζει με το κελί } j \\ 1, & \text{αν το κελί } i \text{ γειτνιάζει με το κελί } j \end{cases}$$

$w_{ii} = 0$ και $w_{ij} = w_{ji}$

Στο παράδειγμα του σχήματος 5.9, οι *πίνακες χωρικών βαρών* που προκύπτουν για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις γειτνίασης φαίνονται στο σχήμα 5.10.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| α) | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table> | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | β) | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | γ) | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table> | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

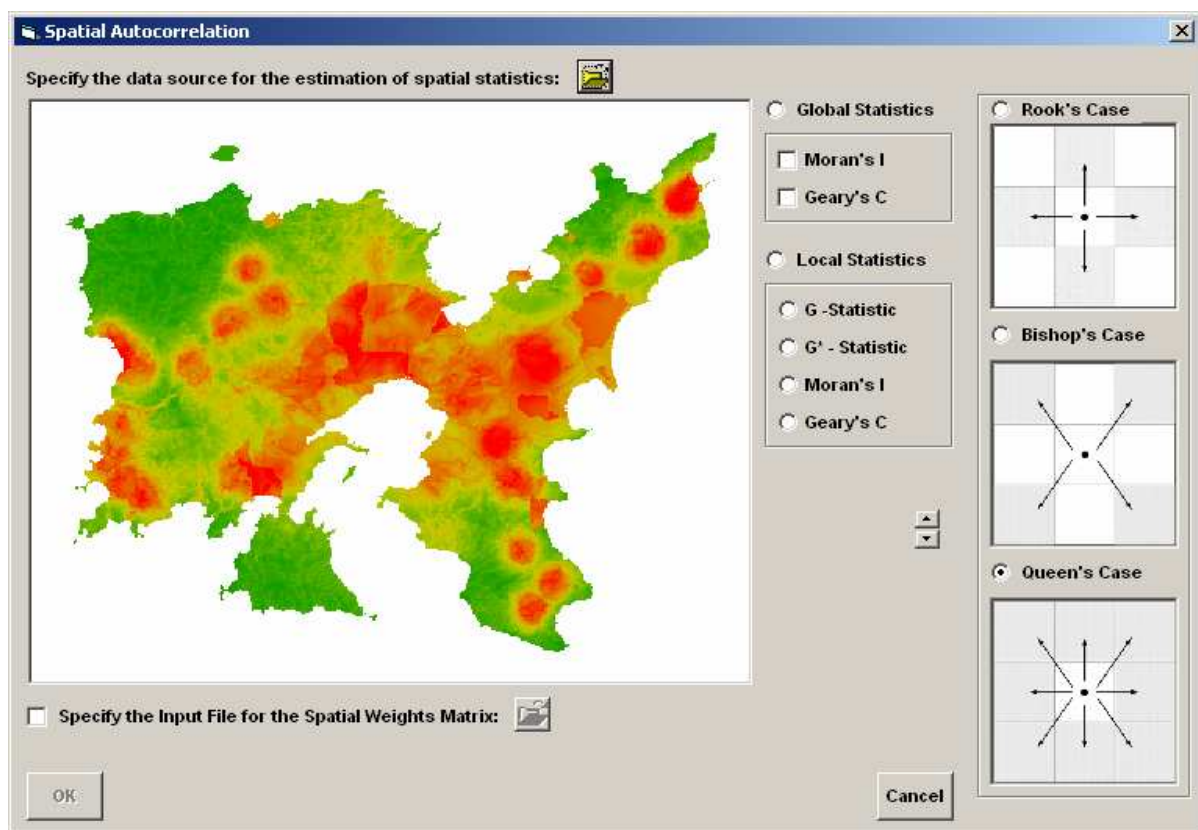
Σχήμα 5.10: Πίνακες Χωρικών Βαρών για τις Περιπτώσεις Γειτνίασης α) Rook, β) Bishop και γ) Queen

Ο Mantel (1967) πρότεινε το υπολογισμό του δείκτη Γ , ως τον τρόπο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της χωρικής συσχέτισης δεδομένων. Ο δείκτης Γ περιγράφεται από την εξίσωση 5.1 και προκύπτει από το γινόμενο δυο πινάκων $A_{n \times n}$ και $B_{n \times n}$. Στην περίπτωση υπολογισμού της *χωρικής αυτοσυσχέτισης*, ο πίνακας A είναι ο *πίνακας χωρικών βαρών* και ο πίνακας B είναι ένας πίνακας που περιγράφει τη σχέση κάποιας μεταβλητής X για κάθε ζεύγος περιοχών i και j .

$$\Gamma = \mathbf{A} \times \mathbf{B} \quad \text{ή} \quad \Gamma = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} * \beta_{ij} \quad (5.1)$$

Παρόλο που ο δείκτης G αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια υπολογισμού της χωρικής αυτοσυσχέτισης, το αποτέλεσμα δεν έχει κάποια φυσική έννοια. Το συγκεκριμένο γεγονός οφείλεται στον πίνακα B , ο οποίος δείχνει τη σχέση της μεταβλητής X που περιγράφει τα δεδομένα. Όπως αναφέρει ο Anselin (1995), αν θεωρηθεί ότι $\beta_{ij} = x_i * x_j$ τότε ο δείκτης G μοιάζει με τον δείκτη I του Moran, ενώ αν θεωρηθεί ότι $\beta_{ij} = (x_i - x_j)^2$ τότε ο δείκτης G προσεγγίζει το δείκτη C του Geary.

Για την εφαρμογή των μεθόδων της χωρικής αυτοσυσχέτισης, τόσο σε συνολικό όσο και σε τοπικό επίπεδο, κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθούν όλα τα απαραίτητα εργαλεία στο πλαίσιο του ΧΣΥΛΑ και το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 5.11.



Σχήμα 5.11: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της Χωρικής Αυτοσυσχέτισης

Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφονται οι μέθοδοι συνολικής και τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης που έχουν ενσωματωθεί στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ και εφαρμόζονται στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Οι συγκεκριμένες διαδικασίες της χωρικής αυτοσυσχέτισης, χρησιμοποιούν ως χωρική μεταβλητή, τον δείκτη καταλληλότητας που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου. Επίσης, στο Παράρτημα Ε υπάρχουν αναλυτικά παραδείγματα υπολογισμού της Χωρικής Αυτοσυσχέτισης τόσο σε συνολικό, όσο και σε τοπικό επίπεδο.

5.2.1. Συνολική Χωρική αυτοσυσχέτιση

Οι δείκτες *συνολικής χωρικής αυτοσυσχέτισης (global spatial autocorrelation)*, αξιολογώντας το σύνολο της περιοχής, προσπαθούν να περιγράψουν με τη βοήθεια κάποιας τιμής κατά πόσο τα δεδομένα που υπάρχουν είναι *χωρικά αυτοσυσχετισμένα*. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μια πρώτη προσπάθεια για τον υπολογισμό της *χωρικής αυτοσυσχέτισης* σε συνολικό επίπεδο έγινε με τη βοήθεια του δείκτη G που πρότεινε ο Mantel (1967). Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφονται οι δείκτες C του Geary και I του Moran, οι οποίοι προτείνονται από τη βιβλιογραφία ως οι βέλτιστοι δείκτες για τον υπολογισμό της *συνολικής χωρικής αυτοσυσχέτισης* (Moran 1950, Goodchild 1986, Bonham-Carter 1994).

5.2.1.1. Δείκτης C του Geary

Ο συνολικός δείκτης *χωρικής αυτοσυσχέτισης* C του Geary περιγράφεται από την εξίσωση 5.2.

$$C = \frac{(n-1) \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} (x_i - x_j)^2) \right]}{2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

Όπου: C , η τιμή του δείκτη C του Geary

x_i , η τιμή του κελιού i

x_j , η τιμή του γείτονα j του κελιού i

\bar{x} , η μέση τιμή όλων των κελιών

w_{ij} , η τιμή του πίνακα *χωρικών βαρών* για το ζεύγος των κελιών i και j

n , το πλήθος όλων των κελιών

Η τιμή του δείκτη C είναι πάντα θετική. Όταν $0 \leq C < 1$ σημαίνει ότι υπάρχει *θετική χωρική αυτοσυσχέτιση* (που μεγαλώνει όσο το $C \rightarrow 0$), όταν $C > 1$ σημαίνει ότι υπάρχει *αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση* και τέλος όταν $C \approx 1$ σημαίνει ότι τα δεδομένα είναι *χωρικά ασυσχέτιστα* (Goodchild 1986).

5.2.1.2. Δείκτης I του Moran

Ο συνολικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης I του Moran περιγράφεται από την εξίσωση 5.3.

$$I = \frac{n \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})^2)} \quad (5.3)$$

Όπου: I , η τιμή του δείκτη I του Moran

x_i , η τιμή του κελιού i

x_j , η τιμή του γείτονα j του κελιού i

\bar{x} , η μέση τιμή όλων των κελιών

w_{ij} , η τιμή του πίνακα χωρικών βαρών για το ζεύγος των κελιών i και j

n , το πλήθος όλων των κελιών

Σύμφωνα με τον Goodchild (1986), όταν η τιμή του δείκτη I είναι θετική σημαίνει ότι υπάρχει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση (που μεγαλώνει όσο αυξάνει η τιμή του I), όταν είναι αρνητική σημαίνει ότι υπάρχει αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση και όταν $I \approx 0$ τα δεδομένα είναι χωρικά ασυσχέτιστα.

5.2.1.3. Στατιστική Σημαντικότητα των Δεικτών Συνολικής Χωρικής Αυτοσυσχέτισης

Με τη βοήθεια της επαγωγικής στατιστικής, μπορεί να γίνει έλεγχος υποθέσεων για την ύπαρξη ή μη χωρικής αυτοσυσχέτισης (Bonham-Carter 1994). Αρχικά ορίζεται, η μηδενική υπόθεση H_0 ότι τα δεδομένα είναι τυχαία κατανομημένα στον χώρο, οπότε δεν υπάρχει χωρική αυτοσυσχέτιση. Έχει αποδειχθεί ότι η θεωρητικές κατανομές των C και I προσεγγίζουν την κανονική κατανομή, με αναμενόμενες τιμές για τους δείκτες C και I που υπολογίζονται από τις εξισώσεις 5.4 και 5.5.

$$E(C) = 1 \quad (5.4)$$

$$E(I) = -\frac{1}{(n-1)} \quad (5.5)$$

Για να ελεγχθεί αν οι τιμές των δεικτών C και I διαφέρουν σημαντικά από τις αναμενόμενες μέσες τιμές τους, υπολογίζεται η διακύμανση, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 5.6 και 5.7.

$$\text{Var}(C) = \frac{(2W_1 + W_2)(n-1) - 4W_0^2}{2(n+1)W_0^2} \quad (5.6)$$

$$\text{Var}(I) = \frac{(n^2W_1 - nW_2 + 3W_0^2)}{W_0^2(n^2 - 1)} - E(I)^2 \quad (5.7)$$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις 5.6 και 5.7, ορίζονται ως εξής:

$$W_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}, \quad W_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{(w_{ij} + w_{ji})^2}{2} \right), \quad W_2 = \sum_{i=1}^n (w_{i\cdot} + w_{\cdot i})^2$$

Όπου: n , το πλήθος όλων των κελιών

w_{ij} , η τιμή του πίνακα χωρικών βαρών για το ζεύγος των κελιών i και j

$w_{i\cdot}$, το άθροισμα της i γραμμής του πίνακα χωρικών βαρών

$w_{\cdot i}$, το άθροισμα της i στήλης του πίνακα χωρικών βαρών

Για τον έλεγχο της υπόθεσης H_0 , υπολογίζεται η τιμή Z η οποία ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή $N(0, 1)$, σύμφωνα με τις εξισώσεις 5.8 και 5.9. Τέλος, με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.10, υπολογίζεται η πιθανότητα α που δίνεται από την καμπύλη του Gauss.

$$z_c = \frac{C - E(C)}{\text{Var}(C)} \quad (5.8)$$

$$z_i = \frac{I - E(I)}{\text{Var}(I)} \quad (5.9)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{z^2}{2}\right)} \quad (5.10)$$

Όσο πιο μικρή είναι η τιμή α_1 ή α_c ($\alpha \rightarrow 0$), τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης της μηδενικής υπόθεσης H_0 , οπότε μπορεί να απορριφθεί. Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης H_0 σημαίνει ότι τα δεδομένα είναι χωρικά αυτοσυσχετισμένα. Πρακτικά για τιμές $z < -3.5$ και $z > 3.5$ η πιθανότητα α είναι μηδενική, οπότε η H_0 απορρίπτεται.

Κατά την εφαρμογή των διαδικασιών συνολικής χωρικής αυτοσυσχέτισης, υπολογίζονται οι δείκτες I του Moran και C του Geary. Συγκεκριμένα, ο δείκτης C του Geary έχει τιμή 0.0243, αναμενόμενη μέση τιμή $E(C) = 1$, διακύμανση $Var(C) = 0.00000568$ και μηδενική πιθανότητα μη ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης. Επίσης, ο δείκτης I του Moran έχει τιμή 0.9768, αναμενόμενη μέση τιμή $E(I) = -0.000021$, διακύμανση $Var(I) = 0.00000535$ και μηδενική πιθανότητα μη ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης. Τόσο οι τιμές των συγκεκριμένων δεικτών, όσο και ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας τους, υποδεικνύουν ότι ο δείκτης καταλληλότητας της νήσου Λήμνου, ο οποίος προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου, εμφανίζει έντονη χωρική αυτοσυσχέτιση.

5.2.2. Τοπική Χωρική αυτοσυσχέτιση

Οι δείκτες που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους αφορούν ολόκληρη την περιοχή μελέτης, δηλώνοντας κατά πόσο υπάρχει χωρική αυτοσυσχέτιση των δεδομένων, ανάλογα με τις τιμές των δεικτών του Geary και του Moran. Από τις αρχές της δεκαετίας του '90 υπήρξε έντονη συζήτηση πάνω στην ιδέα των Getis and Ord (1992), ότι η συνολική χωρική αυτοσυσχέτιση αποτελείται από τις τοπικές χωρικές αυτοσυσχετίσεις (*local spatial autocorrelation*) των επιμέρους δεδομένων (Aldstadt and Getis 2002, Anselin 1995, Ord and Getis 1995, Bao 1998, Ord and Getis 2001).

Οι τοπικοί δείκτες χωρικής αυτοσυσχέτισης αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως *LISA* (*Local Indicator of Spatial Association*) και σύμφωνα με τον ορισμό που έδωσε ο Anselin (1995) *LISA* είναι οποιοδήποτε στατιστικό μέγεθος το οποίο ικανοποιεί τις εξής προϋποθέσεις:

- α) Ο δείκτης δίνει μια ένδειξη έντονης χωρικής ομαδοποίησης παραπλήσιων τιμών οι οποίες συσσωρεύονται γύρω από κάθε σημείο.
- β) Το άθροισμα των τιμών του τοπικού δείκτη για όλα τα σημεία είναι ανάλογο του συνολικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης.

Η ανάγκη διερεύνησης της τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης, βασίζεται στο γεγονός ότι η συνολική χωρική αυτοσυσχέτιση δείχνει μακροσκοπικά κατά πόσο τα δεδομένα είναι χωρικά αυτοσυσχετισμένα, όμως υπάρχει πιθανότητα θετικές και αρνητικές τοπικές αυτοσυσχετίσεις να αλληλοεξουδετερώνονται, δίνοντας λανθασμένη εκτίμηση της χωρικής αυτοσυσχέτισης. Οι δείκτες τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης δείχνουν ποια είναι η σχέση της τιμής κάποιας μεταβλητής X ενός κελιού με τα γειτονικά του κελιά. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της τοπικής αυτοσυσχέτισης, μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την ύπαρξη χωρικών ομαδοποιήσεων (*spatial clusters*) ή παράτυπων σημείων (*outliers*).

5.2.2.1. Διάγραμμα Διασποράς του Moran

Ο Anselin (1993) πρότεινε ένα εργαλείο *Διερευνητικής Ανάλυσης Χωρικών Δεδομένων (Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA)*, το οποίο ονομάζεται *Διάγραμμα Διασποράς του Moran (Moran Scatterplot)*. Ο Anselin υποστηρίζει ότι ο συνολικός δείκτης I του Moran, προκύπτει από την κλίση της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης η οποία έχει ως ανεξάρτητη μεταβλητή την z και εξαρτημένη μεταβλητή την $\mathbf{W} * z$. Η ανεξάρτητη μεταβλητή z είναι οι τυποποιημένες τιμές της μεταβλητής X που προκύπτουν από την εξίσωση 5.11. Η εξαρτημένη μεταβλητή $\mathbf{W} * z$ η οποία ονομάζεται *χωρική υστέρηση (spatial lag)*, προκύπτει από το γινόμενο των πινάκων $\mathbf{W}_{v \times v}$ και $\mathbf{Z}_{v \times 1}$, όπου ο \mathbf{Z} είναι ο πίνακας των τυποποιημένων τιμών της μεταβλητής X και ο \mathbf{W} είναι ο *τυποποιημένος κατά γραμμές πίνακας χωρικών βαρών (row-standardized spatial weights matrix)* που προκύπτει από την εξίσωση 5.12. Το διάγραμμα το οποίο έχει στον άξονα των x τις τιμές της z και στον άξονα των y τις τιμές $\mathbf{W} * z$ ονομάζεται *Διάγραμμα Διασποράς του Moran* και μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την ύπαρξη παράτυπων σημείων.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5.11)$$

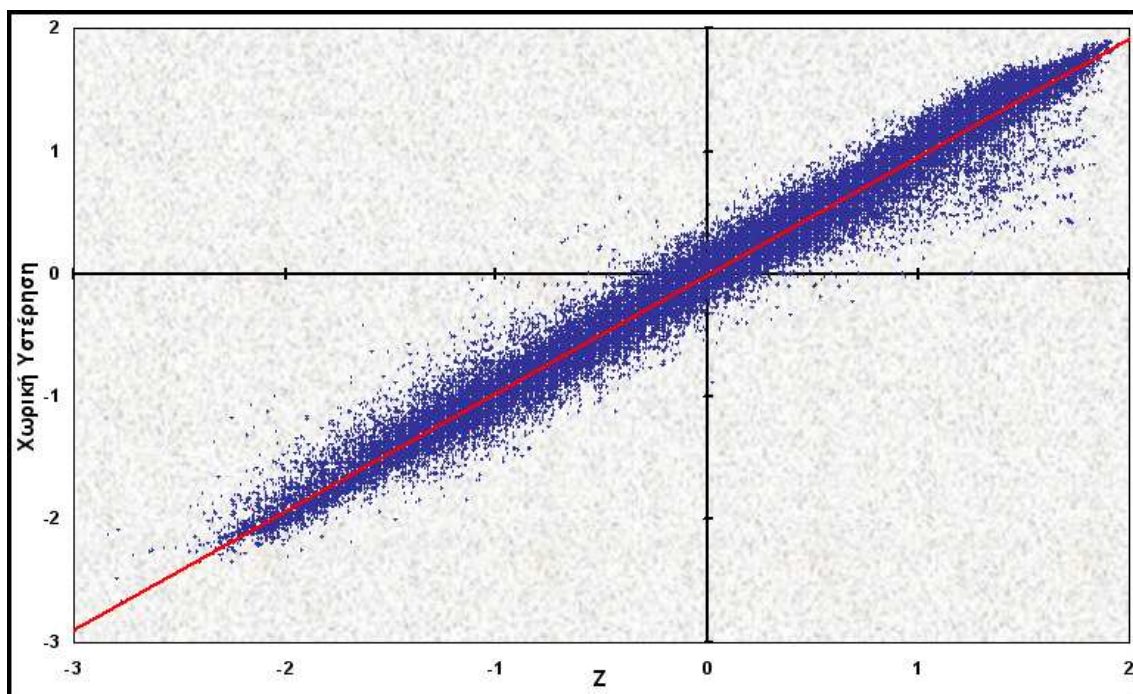
$$\mathbf{W} = \frac{w_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (5.12)$$

Τα σημεία που βρίσκονται στο πρώτο τεταρτημόριο του *Διαγράμματος Διασποράς του Moran*, αντιστοιχούν σε $z > 0$ και $\mathbf{W} * z > 0$. Αυτό σημαίνει ότι κελιά με υψηλές τιμές της μεταβλητής X γειτνιάζουν με κελιά τα οποία έχουν επίσης υψηλές τιμές στην μεταβλητή X . Αντίστοιχα, για τα σημεία που ανήκουν στο τρίτο τεταρτημόριο τα οποία έχουν $z < 0$ και $\mathbf{W} * z < 0$, ισχύει ότι κελιά με χαμηλές τιμές της μεταβλητής X γειτνιάζουν με κελιά τα οποία έχουν χαμηλές τιμές. Για τα σημεία που ανήκουν στο δεύτερο τεταρτημόριο τα οποία έχουν $z < 0$ και $\mathbf{W} * z > 0$, ισχύει ότι κελιά με χαμηλές τιμές περιβάλλονται από κελιά με υψηλές τιμές. Τέλος, για τα σημεία που ανήκουν στο τέταρτο τεταρτημόριο τα οποία έχουν $z > 0$ και $\mathbf{W} * z < 0$, ισχύει ότι κελιά με υψηλές τιμές περιβάλλονται από κελιά με χαμηλές τιμές.

Συμπερασματικά, το *Διάγραμμα Διασποράς του Moran*, δείχνει τα σημεία που εμφανίζουν *θετική χωρική αυτοσυσχέτιση* και είναι εκείνα τα οποία βρίσκονται στο πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο. Επίσης, τα σημεία που εμφανίζουν *αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση* βρίσκονται στο δεύτερο και τέταρτο τεταρτημόριο και μπορούν να χαρακτηριστούν ως παράτυπα

σημεία, ιδίως όσο αυξάνεται ή μειώνεται (ανάλογα με το τεταρτημόριο) η τιμή του $\mathbf{W} * z$. Τα σημεία στα οποία ισχύει ότι $z \rightarrow 0$ και $\mathbf{W} * z \rightarrow 0$, τείνουν να είναι κατανομημένα τυχαία στον χώρο και χαρακτηρίζονται ως *χωρικά ασυσχέτιστα*. Τέλος, με τη βοήθεια του *Διαγράμματος Διασποράς του Moran*, μπορεί να υπολογιστεί ο *συνολικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης I* του Moran, ο οποίος προκύπτει από την κλίση της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης που έχει ως ανεξάρτητη μεταβλητή την z και εξαρτημένη μεταβλητή την $\mathbf{W} * z$.

Από την εφαρμογή της συγκεκριμένης διαδικασίας τοπικής *χωρικής αυτοσυσχέτισης* στην προτεινόμενη μεθοδολογία, προκύπτει το *διάγραμμα διασποράς του Moran* που φαίνεται στο σχήμα 5.12.



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για τον Δείκτη Καταλληλότητας

Από το *Διάγραμμα Διασποράς του Moran* του σχήματος 5.12, φαίνεται η έντονη *χωρική αυτοσυσχέτιση* που υπάρχει στο αποτέλεσμα του *δείκτη καταλληλότητας*, όπως αυτός υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου του *Σταθμισμένου Μέσου*. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα σημεία που βρίσκονται στο 1^ο και το 3^ο τεταρτημόριο του διαγράμματος, χαρακτηρίζονται από *θετική χωρική αυτοσυσχέτιση*. Πιο συγκεκριμένα, στο 1^ο τεταρτημόριο εντοπίζεται το 49.6% επί του συνόλου των σημείων, βρίσκονται τα σημεία τα οποία έχουν υψηλή τιμή *δείκτη καταλληλότητας* και περιβάλλονται στην άμεση γειτονιά τους από σημεία με επίσης υψηλή τιμή του δείκτη. Στο 3^ο τεταρτημόριο, εντοπίζεται το 47.2% επί του συνόλου

των σημείων, βρίσκονται τα σημεία τα οποία έχουν χαμηλή τιμή *δείκτη καταλληλότητας* και περιβάλλονται στην άμεση γειτονιά τους από σημεία με επίσης χαμηλή τιμή του δείκτη. Αντίθετα, τα σημεία που βρίσκονται στο 2^ο και το 4^ο τεταρτημόριο του διαγράμματος χαρακτηρίζονται από *αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση*. Πιο συγκεκριμένα, στο 2^ο τεταρτημόριο εντοπίζεται το 1.7% επί του συνόλου των σημείων, βρίσκονται τα σημεία τα οποία έχουν χαμηλή τιμή *δείκτη καταλληλότητας* και περιβάλλονται στην άμεση γειτονιά τους από σημεία με υψηλή τιμή του δείκτη. Τέλος, στο 4^ο τεταρτημόριο εντοπίζεται το 1.5% επί του συνόλου των σημείων, βρίσκονται τα σημεία τα οποία έχουν υψηλή τιμή στον *δείκτη καταλληλότητας* και περιβάλλονται στην άμεση γειτονιά τους από σημεία με χαμηλή τιμή του δείκτη.

5.2.2.2. Τοπικός Δείκτης C_i του Geary

Ο *τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης* C_i του Geary περιγράφεται από την εξίσωση 5.13.

$$C_i = \sum_{j=1}^n (w_{ij} (z_i - z_j)^2) \quad (5.13)$$

Όπου: C_i , η τιμή του τοπικού δείκτη C του Geary για το κελί i

z_i , η τυποποιημένη τιμή του κελιού i (εξίσωση 5.11)

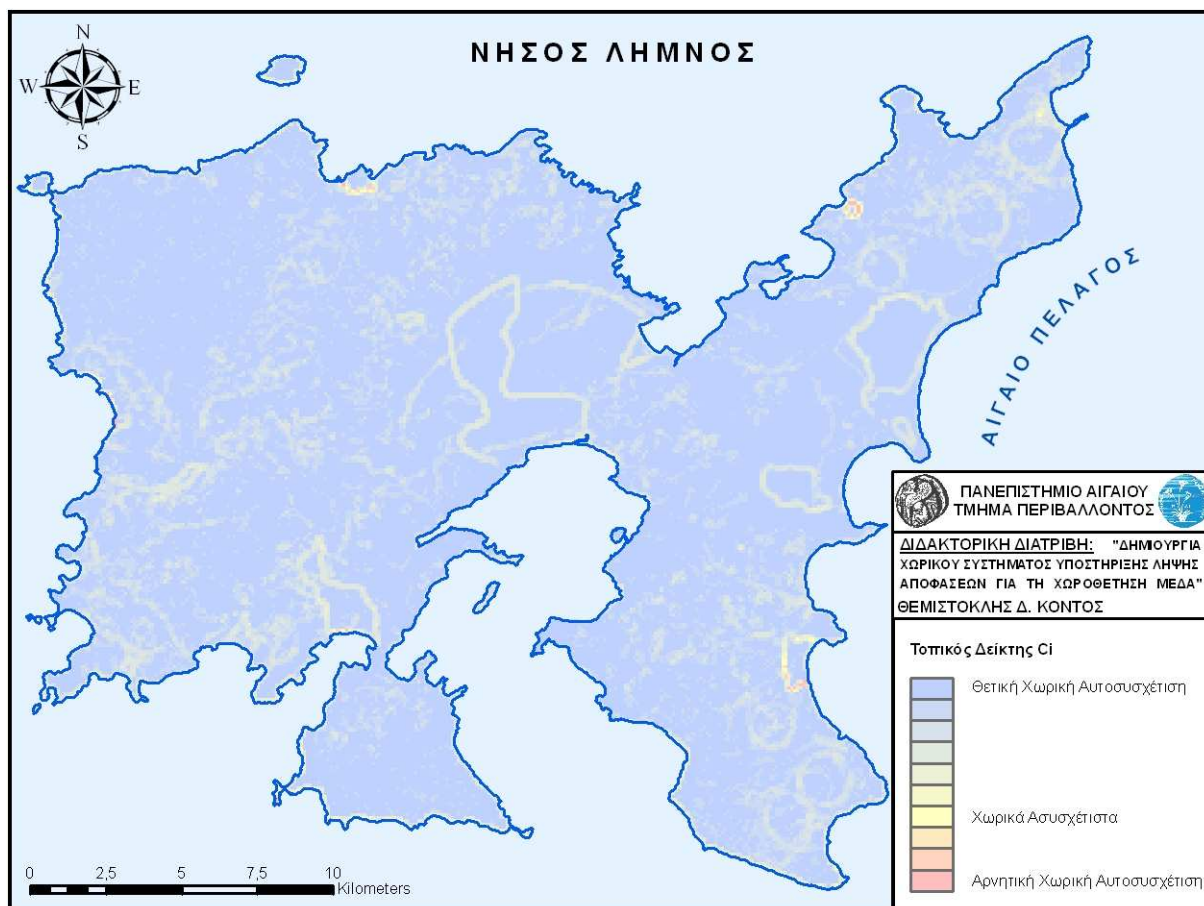
z_j , η τυποποιημένη τιμή του γείτονα j του κελιού i (εξίσωση 5.11)

w_{ij} , η τιμή του τυποποιημένου κατά γραμμές πίνακα *χωρικών βαρών*, για το ζεύγος των κελιών i και j (εξίσωση 5.12)

n , το πλήθος όλων των κελιών

Σύμφωνα με τον Anselin (1995), η τιμή του τοπικού δείκτη C_i ακολουθεί τους ίδιους κανόνες με τον συνολικό δείκτη C , δηλαδή $0 < C_i < 1$ σημαίνει ότι υπάρχει *θετική αυτοσυσχέτιση*, $C_i > 1$ σημαίνει ότι υπάρχει *αρνητική αυτοσυσχέτιση* και $C_i \approx 1$ σημαίνει ότι υπάρχει *δεν υπάρχει χωρική αυτοσυσχέτιση*.

Στον χάρτη 5.5 φαίνεται το αποτέλεσμα που προκύπτει από τον υπολογισμό του τοπικού δείκτη *χωρικής αυτοσυσχέτισης* C_i του Geary, στον *δείκτη καταλληλότητας* ο οποίος υπολογίζεται από την εφαρμογή της μεθόδου του *Σταθμισμένου Μέσου*.



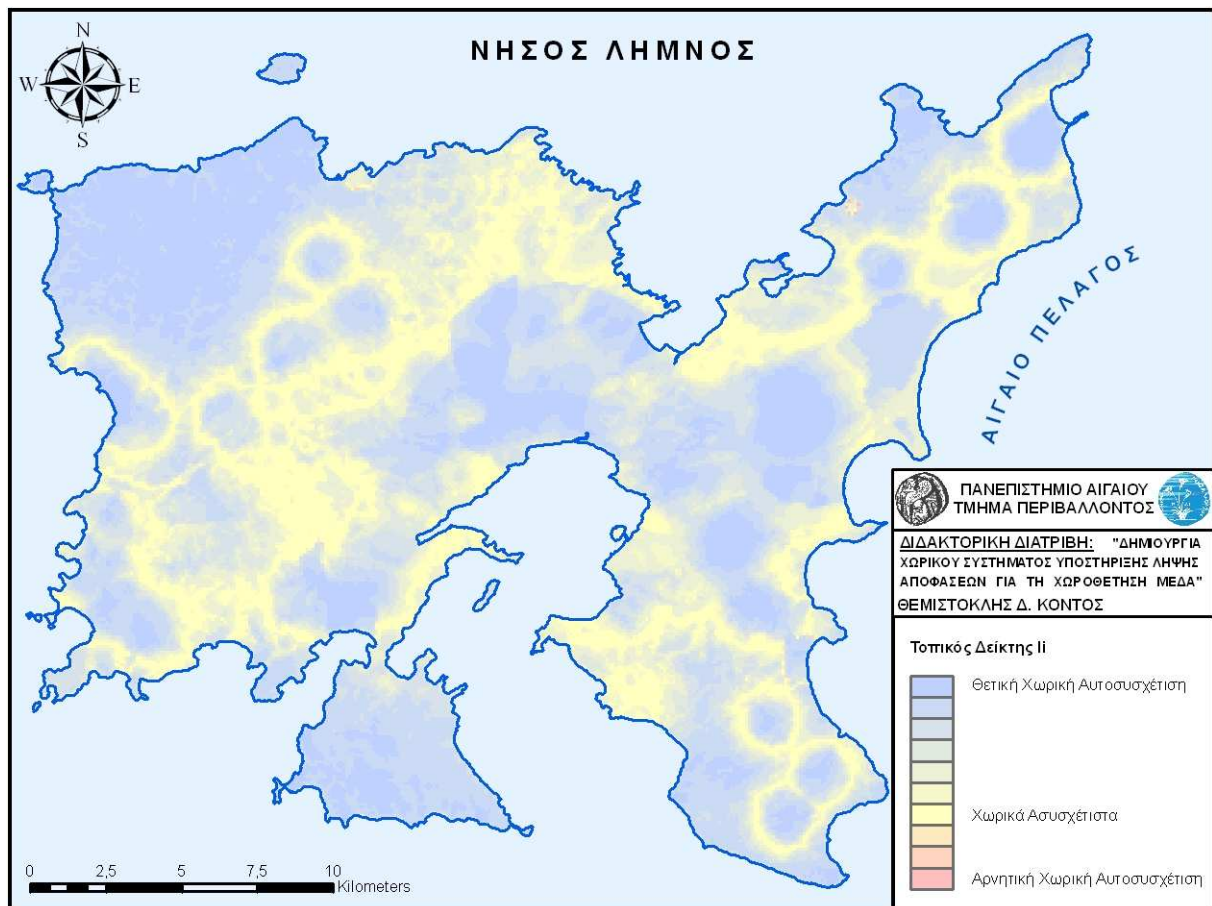
Χάρτης 5.5: Τοπικός Δείκτης C_i του Geary

5.2.2.3. Τοπικός Δείκτης I_i του Moran

Ο τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης I_i του Moran περιγράφεται από την εξίσωση 5.14, ενώ οι διάφορες επιμέρους παράμετροι είναι οι ίδιες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του τοπικού δείκτη C_i του Geary.

$$I_i = Z_i * \sum_{j=1}^n (w_{ij} Z_j) \quad (5.14)$$

Σύμφωνα με τον Anselin (1995), η τιμή του τοπικού δείκτη I_i ακολουθεί τους ίδιους κανόνες με τον συνολικό δείκτη I , $I_i > 0$ σημαίνει ότι υπάρχει θετική αυτοσυσχέτιση, $I_i < 0$ σημαίνει ότι υπάρχει αρνητική αυτοσυσχέτιση και $I_i = 0$ σημαίνει ότι δεν υπάρχει χωρική αυτοσυσχέτιση. Στον χάρτη 5.6, φαίνεται το αποτέλεσμα που προκύπτει από τον υπολογισμό του τοπικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης I_i του Moran, στον δείκτη καταλληλότητας ο οποίος υπολογίζεται από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου.



Χάρτης 5.6: Τοπικός Δείκτης I_i του Moran

5.2.2.4. Στατιστικό G_i

Ο τοπικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης G_i όπως προτάθηκε από τους Getis και Ord (1992) περιγράφεται από την εξίσωση 5.15 και ανήκει στην οικογένεια των τοπικών δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης *G-Statistics* οι οποίοι έχουν πολύ σημαντικές ιδιότητες. Το πρώτο χαρακτηριστικό του δείκτη G_i που τον κάνει να διαφέρει από τους δείκτες που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, είναι ότι ο πίνακας χωρικών βαρών που δημιουργείται, υπολογίζεται με τη χρήση κάποιας συγκεκριμένης απόστασης που ορίζει τους γείτονες που λαμβάνονται υπόψη.

$$G_i(d) = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^n (w_{ij} x_j)}{\sum_{j=1, i \neq j}^n x_j} \quad (5.15)$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{αν } d(i, j) > d \\ 1, & \text{αν } d(i, j) < d \end{cases}$$

$w_{ii} = 0$ και $w_{ij} = w_{ji}$

Όπου: $G_i(d)$, η τιμή του τοπικού δείκτη G_i για το κελί i
 x_i , η τιμή του κελιού i
 w_{ij} , η τιμή του πίνακα χωρικών βαρών για το ζεύγος των κελιών i και j
 d , η απόσταση που χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι πλησιέστεροι γείτονες
 $d(i,j)$, η απόσταση των κελιών i και j
 n , το πλήθος όλων των κελιών

Οι Ord και Getis (1995) πρότειναν, αντί της αρχικής μορφής, τη χρήση της τυποποιημένης τιμής του δείκτη G_i που περιγράφεται από την εξίσωση 5.16. Η τυποποιημένη μορφή του δείκτη G_i έχει επικρατήσει στη βιβλιογραφία και στη συνέχεια όταν αναφέρεται ο δείκτης G_i εννοείται η τυποποιημένη του μορφή.

$$G_i(d) = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^n (w_{ij} x_j) - W_i \bar{x}_i}{\sigma_i \sqrt{\frac{(n-1)S_{1i} - W_i^2}{n-2}}} \quad (5.16)$$

Πρέπει να τονιστεί ότι στους υπολογισμούς της εξίσωσης 5.16, δε συμπεριλαμβάνεται η τιμή του κελιού i , ενώ οι επιμέρους παράμετροι που χρησιμοποιούνται ορίζονται ως εξής:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^n x_j}{n-1}, \quad \sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^n x_j^2}{n-1} - \bar{x}_i^2$$

$$W_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}, \quad S_{1i} = \sum_{j=1}^n w_{ij}^2$$

Μια άλλη μορφή του δείκτη $G_i(d)$, είναι ο δείκτης $G_i^*(d)$ ο οποίος περιγράφεται από την εξίσωση 5.17 και η διαφορά του από τον δείκτη $G_i(d)$ είναι ότι λαμβάνει υπόψη στους υπολογισμούς την τιμή του κελιού i ($w_{ii} = 1$).

$$G_i(d) = \frac{\sum_{j=1}^n (w_{ij} x_j) - W_i^* \bar{x}}{\sigma \sqrt{\frac{nS_{i1}^* - W_i^{*2}}{n-1}}} \quad (5.17)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{x}^2$$

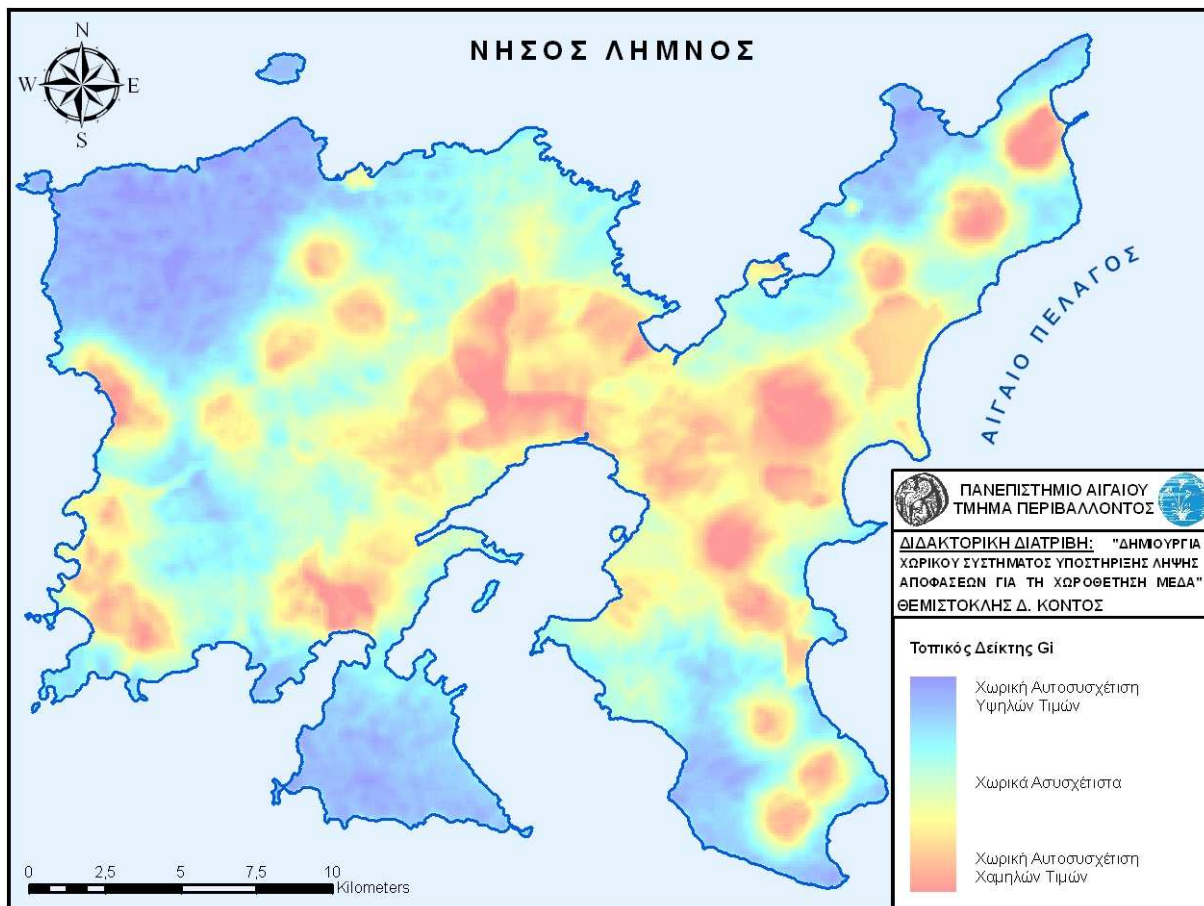
$$W_i^* = W_i + w_{ii}, \quad S_{i1}^* = S_{i1} + w_{ii}^2$$

Το αποτέλεσμα που προκύπτει για τους δείκτες, κάνει σαφή διαχωρισμό της *θετικής αυτοσυσχέτισης* υψηλών τιμών ($G_i > 0$), της *θετικής αυτοσυσχέτισης* χαμηλών τιμών ($G_i < 0$) και της μη ύπαρξης *αυτοσυσχέτισης* ($G_i \approx 0$). Η συγκεκριμένη ιδιότητα του δείκτη G_i είναι πολύ χρήσιμη γιατί δείχνει *ομαδοποιήσεις (clusters)* δεδομένων, η οποία λαμβάνει υπόψη την τιμή της μεταβλητής (υψηλή-χαμηλή τιμή).

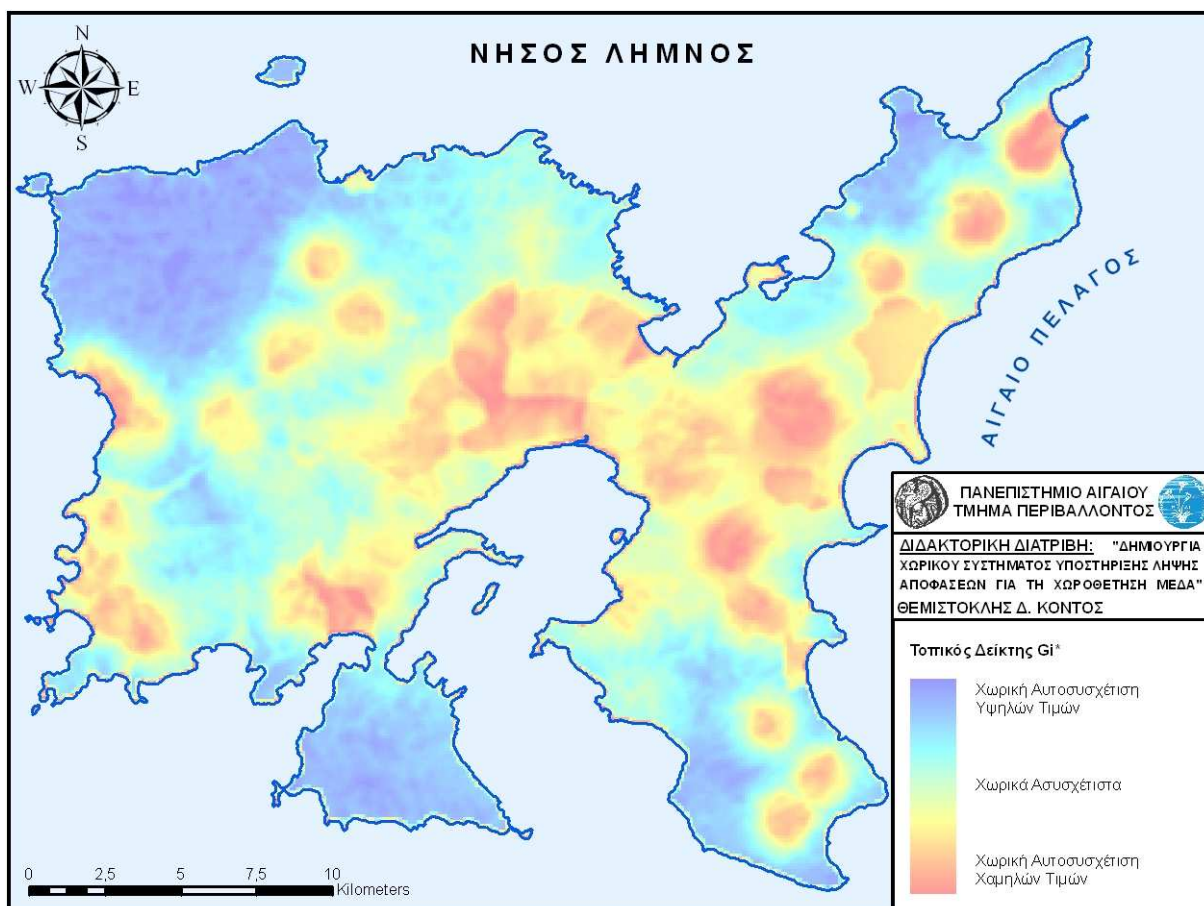
Η χρήση απόστασης δύο ή περισσότερων κελιών, για τον καθορισμό της χωρικής γειτονιάς, οδηγεί σε γενίκευση των αποτελεσμάτων και θέλει ιδιαίτερη προσοχή στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τους εξής λόγους:

- Στην περίπτωση που υπάρχει έντονη *χωρική αυτοσυσχέτιση* (υψηλών τιμών, $G_i(d) > 0$ ή χαμηλών τιμών, $G_i(d) < 0$), το αποτέλεσμα της χρήσης απόστασης δύο ή περισσότερων κελιών, οδηγεί σε ακόμα μεγαλύτερες θετικές ή μικρότερες αρνητικές τιμές για τον δείκτη $G_i(d)$. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό υποδεικνύει έντονη *χωρική αυτοσυσχέτιση* που οδηγεί σε *χωρική ομαδοποίηση (spatial clusters)*.
- Στην περίπτωση που δεν υπάρχει *χωρική αυτοσυσχέτιση* ($G_i(d) \approx 0$), το αποτέλεσμα της χρήσης απόστασης δύο ή περισσότερων κελιών, μπορεί να οδηγήσει σε τιμές πλησιέστερες στο 0 ή ακόμα και αναστροφή της τιμής του δείκτη $G_i(d)$ (από θετική σε αρνητική και αντίστροφα). Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό υποδεικνύει ότι οι συγκεκριμένες περιοχές εμφανίζονται ως τυχαία κατανεμημένες στον χώρο και άρα θεωρούνται *παράτυπες περιοχές (spatial outliers)*.

Στους χάρτες 5.7 και 5.8, φαίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τους τοπικούς δείκτες *χωρικής αυτοσυσχέτισης των G-Statistics* G_i και G_i^* , χρησιμοποιώντας απόσταση ενός κελιού για τον καθορισμό της γειτονιάς.



Χάρτης 5.7: Τοπικός Δείκτης G_i



Χάρτης 5.8: Τοπικός Δείκτης G_i^*

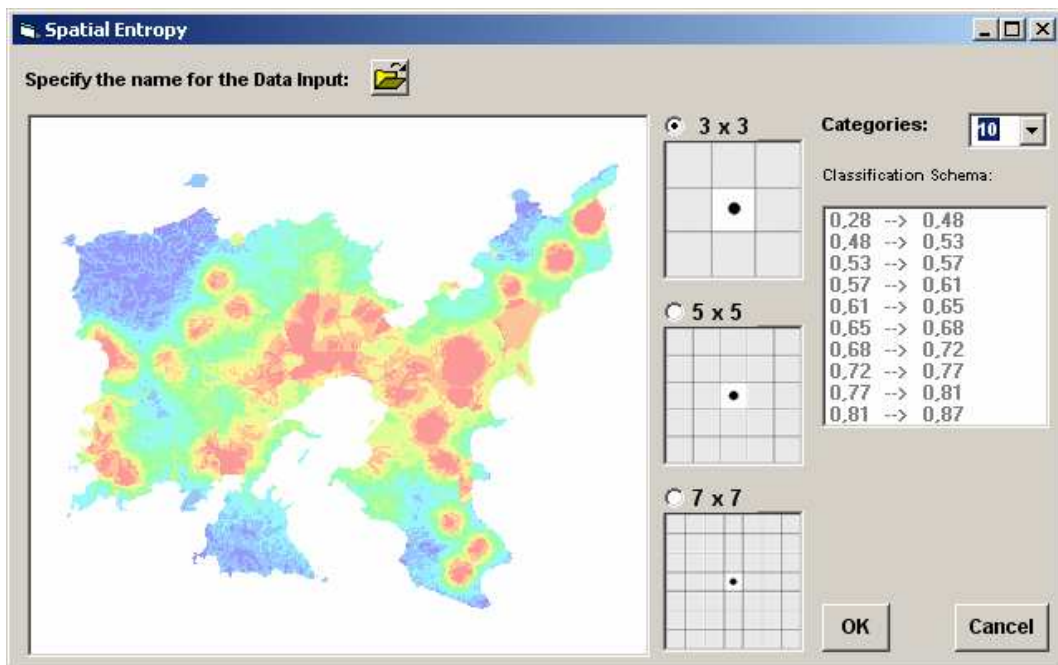
5.2.2.5. Χωρική Εντροπία

Η *εντροπία* είναι ένα γνωστό φαινόμενο στις φυσικές επιστήμες, η οποία ορίζεται ως το μέτρο της αταξίας σε ένα σύστημα. Στη *θεωρία της πληροφορίας (information theory)*, ορίζεται η *πληροφοριακή εντροπία* ως το μέτρο της αβεβαιότητας μιας διακριτής τυχαίας μεταβλητής, σύμφωνα με την εξίσωση 5.18 (Shannon 1948).

$$E = -\sum_{i=1}^n (p_i * \log_2(p_i)) \quad (5.18)$$

Όπου: E, η τιμή της εντροπίας του συστήματος
p_i, η πιθανότητα του κελιού i
n, το πλήθος όλων των κελιών

Στην παρούσα διατριβή, εισάγεται η έννοια της *χωρικής εντροπίας (spatial entropy)* ως ένα μέτρο *τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης*. Η *χωρική εντροπία* διερευνά τη χωρική αταξία κάποιας περιοχής μελέτης, σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η σχέση της τιμής του κάθε κελιού με την χωρική γειτονιά του. Στο σχήμα 5.13, φαίνεται το παράθυρο διαλόγου που δημιουργήθηκε στο ΧΣΥΛΑ, για τον υπολογισμό της *χωρικής εντροπίας*.

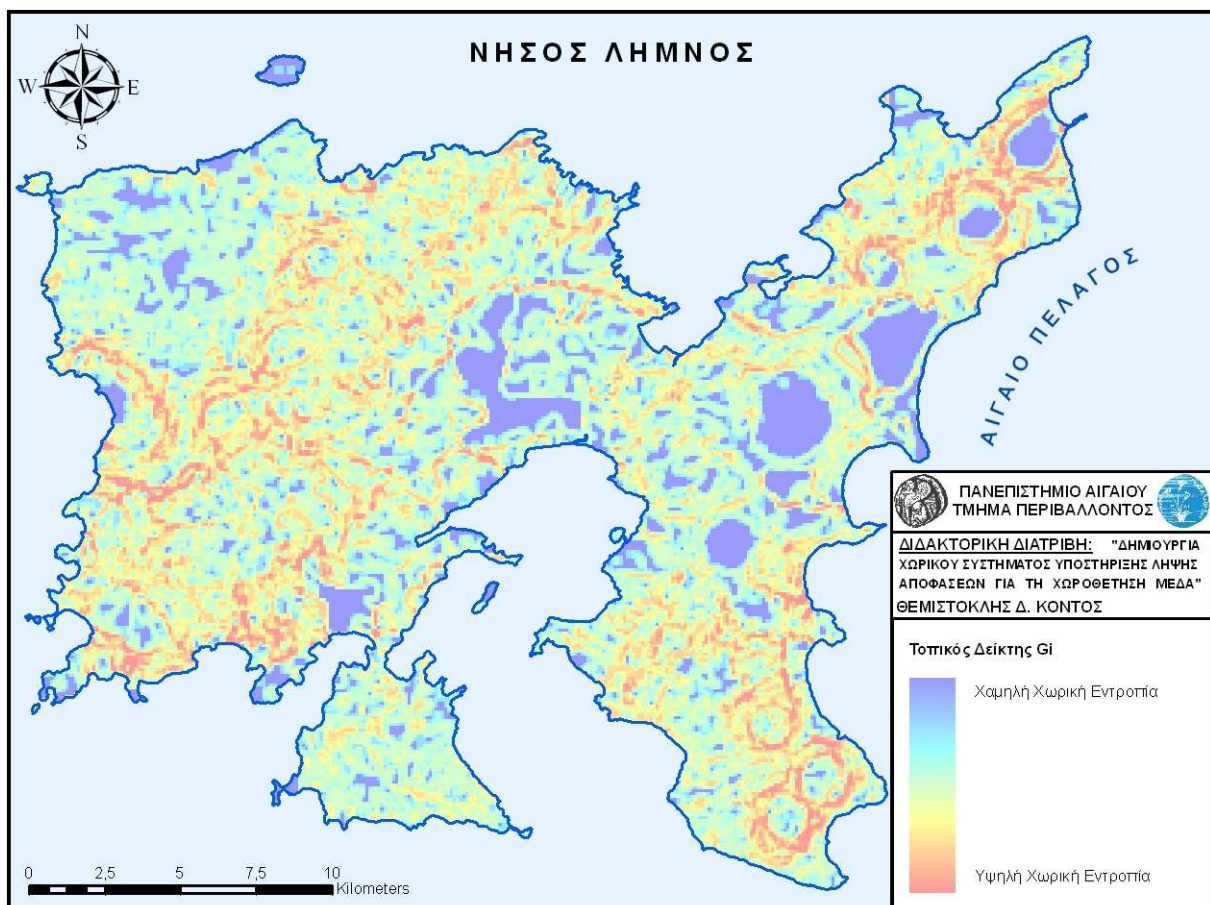


Σχήμα 5.13: Το Παράθυρο Διαλόγου για τον Υπολογισμό της Χωρικής Εντροπίας

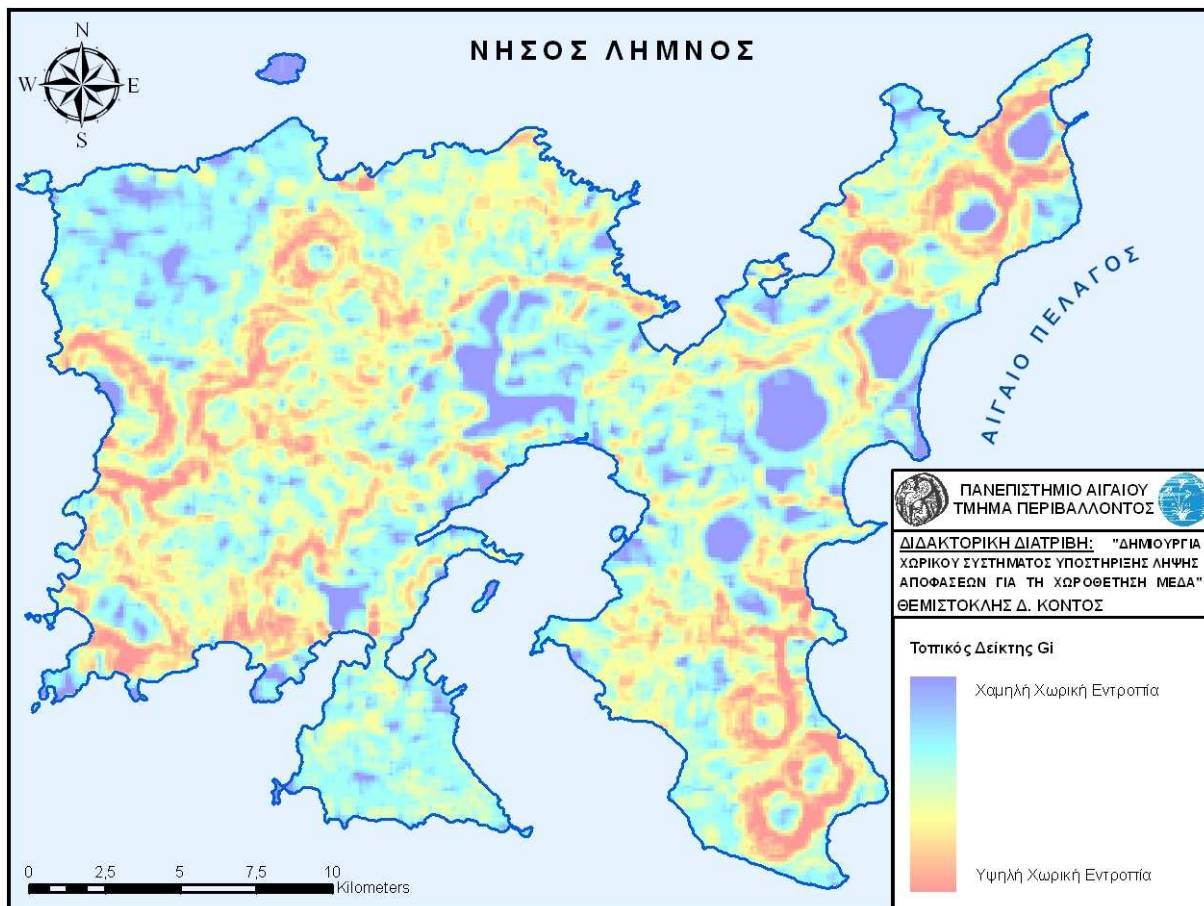
Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της *χωρικής εντροπίας* ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Εκτελείται *ποσοτική ταξινόμηση* όλων των τιμών σε κάποιο συγκεκριμένο πλήθος κλάσεων, όπου η κάθε κλάση περιλαμβάνει τον ίδιο αριθμό κελιών.
2. Για κάθε κελί, βρίσκονται τα κελιά που ορίζουν τη χωρική γειτονιά του, σύμφωνα με την σχέση χωρικής γειτνίασης *Queen*.
3. Καταγράφεται το πλήθος των κελιών στην κάθε κλάση της ταξινόμησης. Ορίζεται ως πιθανότητα εμφάνισης της κλάσης, ο λόγος του πλήθους των κελιών στη συγκεκριμένη κλάση προς το σύνολο των κελιών της γειτονιάς.
4. Υπολογίζεται η τιμή της *χωρικής εντροπίας* σύμφωνα με την εξίσωση 5.18, όπου p_i είναι η τιμή της πιθανότητας εμφάνισης της κλάσης και n το πλήθος των κλάσεων.

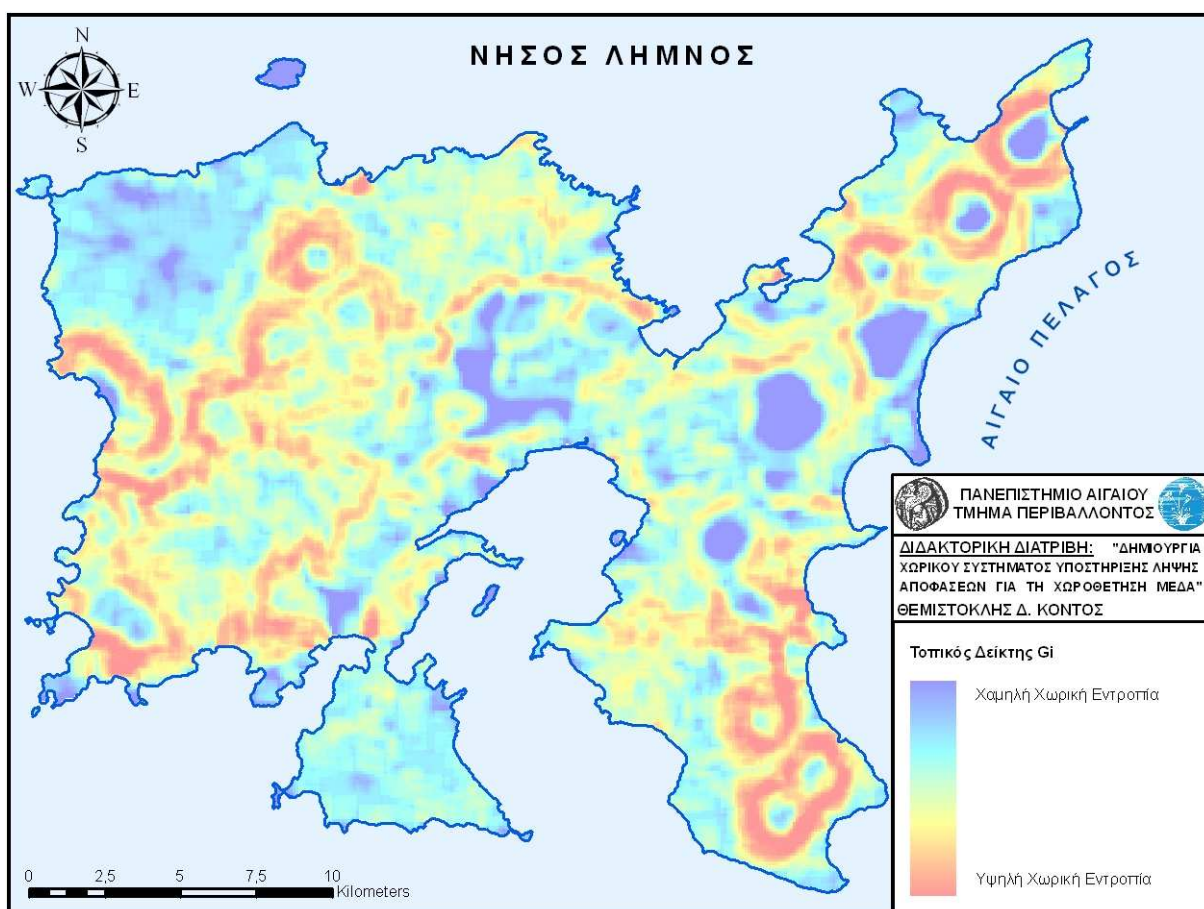
Η *χωρική εντροπία* λαμβάνει μηδενική τιμή όταν όλα τα κελιά της χωρικής γειτονιάς ανήκουν στην ίδια κλάση τιμών. Επίσης, λαμβάνει την τιμή $\log_2(1/n)$ όταν το κάθε κελί ανήκει σε κάποια από τις n κλάσεις των τιμών. Συμπερασματικά, όσο η τιμή της *χωρικής εντροπίας* πλησιάζει στο μηδέν, τα γειτονικά κελιά τείνουν να ανήκουν στην ίδια κλάση τιμών. Αντίστοιχα, όσο μεγαλώνει η τιμή της *χωρικής εντροπίας* τόσο μεγαλώνει η αταξία στη χωρική γειτονιά του κελιού, δηλαδή τα γειτονικά κελιά τείνουν να ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις τιμών.



Χάρτης 5.9: Χωρική Εντροπία σε Γειτονιά ενός Κελιού



Χάρτης 5.10: Χωρική Εντροπία σε Γειτονιά δύο Κελιών



Χάρτης 5.11: Χωρική Εντροπία σε Γειτονιά τριών Κελιών

Στους χάρτες 5.9, 5.10 και 5.11 φαίνεται η *χωρική εντροπία* που έχει υπολογιστεί, εφαρμόζοντας *ποσοτική ταξινόμηση* δέκα κλάσεων και χωρική γειτονιά ενός, δύο και τριών κελιών αντίστοιχα. Οι περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλή τιμή *χωρικής εντροπίας*, τείνουν να παρουσιάζουν τιμές που ανήκουν στην ίδια κλάση τιμών του *δείκτη καταλληλότητας*. Αντίστοιχα, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή *χωρικής εντροπίας*, τείνουν να παρουσιάζουν τιμές που ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις τιμών του *δείκτη καταλληλότητας*.

5.3. Χωρική Ομαδοποίηση

Χωρική ομαδοποίηση (spatial clustering) είναι η διαδικασία της εύρεσης και δημιουργίας ομάδων δεδομένων που έχουν συγγενή χαρακτηριστικά. Στη βιβλιογραφία συναντώνται αρκετές μέθοδοι ομαδοποίησης δεδομένων όπως η *K-Means* (MacQueen 1967), η *DBSCAN* (Ester et al 1996), η *STING* (Wang et al 1997). Το σκεπτικό στο οποίο βασίζονται οι περισσότερες μέθοδοι, είναι η ελαχιστοποίηση της απόστασης του κάθε σημείου από τα κέντρα των ομάδων. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι μέθοδοι *χωρικής ομαδοποίησης* που χρησιμοποιούνται στο ΧΣΥΛΑ που δημιουργήθηκε. Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται *ISOCA* και εκτελεί ομαδοποίηση στον πολυπαραμετρικό χώρο R^u . Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται *Fuzzy C-Means* και εκτελεί ομαδοποίηση με τη βοήθεια ασαφών συνόλων σε μια συγκεκριμένη θεματική επιφάνεια.

5.3.1. Επαναληπτικός Αυτοπροσδιοριζόμενος Αλγόριθμος Ομαδοποίησης

Ο *Επαναληπτικός Αυτοπροσδιοριζόμενος Αλγόριθμος Ομαδοποίησης (Iterative Self-Organizing Clustering Algorithm – ISOCA)*, ο οποίος εισάγεται από την παρούσα διατριβή, αποτελεί μια μέθοδο *χωρικής ομαδοποίησης* στον πολυπαραμετρικό χώρο R^u . Η μέθοδος *ISOCA* ανήκει στην ίδια κατηγορία μεθόδων ομαδοποίησης δεδομένων όπως ο αλγόριθμος των *μετακινούμενων K μέσων τιμών (K-means, MacQueen 1967)* και *ISODATA* (Ball και Hall 1965), οι οποίες χρησιμοποιούνται από την *Τηλεπισκόπηση* στις διαδικασίες *μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης (unsupervised classification)*. Η συγκεκριμένη κατηγορία μεθόδων ομαδοποίησης δεδομένων βασίζεται στο σκεπτικό της ελαχιστοποίησης της απόστασης του κάθε σημείου από τα κέντρα των ομάδων.

Η μέθοδος *ISOCA* δημιουργεί ομάδες δεδομένων στον πολυπαραμετρικό χώρο, ελαχιστοποιώντας την Ευκλείδεια απόσταση του κάθε σημείου $X \in R^u$ από τα κεντροειδή των ομάδων. Ο αλγόριθμος έχει την ικανότητα να προσδιορίζει τη βέλτιστη κατανομή των ομάδων στον πολυπαραμετρικό χώρο, ελαχιστοποιώντας τη διακύμανση εσωτερικά των ομάδων. Η συνάρτηση βελτιστοποίησης των ομάδων και ελαχιστοποίησης του σφάλματος περιγράφεται από την εξίσωση 5.19. Ο αλγόριθμος λειτουργεί επαναληπτικά και τερματίζει όταν επαληθευτεί κάποιο από τα κριτήρια τερματισμού που περιγράφονται στη συνέχεια.

$$SSE = \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^u (X_{ij} - C_K(X_{ij}))^2 \quad (5.19)$$

Όπου: SSE, η συνολική διακύμανση (*sum of squared errors*)

x_{ij} , η τιμή του κελιού i στην παράμετρο j

$C_k(x_{ij})$, η τιμή του κεντροϊδούς της ομάδας k της παραμέτρου j που ανήκει το κελί i
 $i = 1, 2, \dots, v, j = 1, 2, \dots, \mu$ και $k = 1, 2, \dots, c$

c , το πλήθος των ομάδων, $c > 2$

μ , το πλήθος των παραμέτρων

v , το πλήθος των κελιών

Τα βήματα που εκτελούνται στον αλγόριθμο *ISOCA* για την εύρεση k βέλτιστων ομάδων, σε μ παραμέτρους που αποτελούνται από v επιμέρους παρατηρήσεις (κελιά), συνοπτικά περιγράφονται ως εξής:

1. Δημιουργία k κλάσεων στην ευθεία που ορίζεται από το σύνολο των τιμών x_i της κάθε παραμέτρου. Οι τιμές μπορούν να κανονικοποιηθούν όπως απαιτείται από τους αλγόριθμους *K-Means* και *ISODATA* ώστε τα δεδομένα να έχουν το ίδιο εύρος τιμών, ωστόσο στον αλγόριθμο *ISOCA* δεν είναι απαραίτητο.
2. Εύρεση των αρχικών κεντροϊδών της κάθε κλάσης $C_{k(\mu)}$ χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.20.

$$C_{kj}^{(0)} = x_{\min} + \frac{(2k-1)x_{\max} - (2k-1)x_{\min}}{2v} \quad (5.20)$$

Όπου: $C_{kj}^{(0)}$, η τιμή του κεντροϊδούς της ομάδας k της παραμέτρου j

x_{\min} , η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου j

x_{\max} , η μέγιστη τιμή της παραμέτρου j

3. Επανάληψη των βημάτων (1) και (2) για τις μ παραμέτρους.
4. Προβολή των v κελιών στον πολυπαραμετρικό χώρο R^μ .
5. Εύρεση της Ευκλείδειας απόστασης του κάθε κελιού από το κάθε κεντροϊδές, σύμφωνα με την εξίσωση 5.21.

$$EA_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^{\mu} (x_{ij} - C_{kj}^{(t)})^2} \quad (5.21)$$

Όπου: EA_{iz} , η Ευκλείδεια απόσταση του κελιού x_i από το κεντροϊδές της ομάδας k
 $C_{zj}^{(t)}$, η τιμή του κεντροϊδούς της ομάδας k της παραμέτρου j

6. Καθορισμός της ομάδας που ανήκει το κελί x_i ανάλογα με την ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση από τα k κεντροϊδή, $C(x_i) = k \rightarrow \min(EA_{ik})$.
7. Υπολογισμός των καινούργιων κεντροϊδών $C_{kj}^{(t+1)}$ της κάθε παραμέτρου βάσει της εξίσωσης 5.22, τα οποία προκύπτουν από τον μέσον όρο των τιμών των σημείων που ανήκουν στην κάθε ομάδα.

$$C_{kj}^{(t+1)} = \frac{\sum_{z=1}^s x_{zjk}}{s} \quad (5.22)$$

Όπου: $C_{kj}^{(t+1)}$, η τιμή του καινούργιου κεντροϊδούς της ομάδας k της παραμέτρου j
 x_{zjk} , η τιμή του κελιού z στην παράμετρο j , που ανήκει στην ομάδα k ,
 $z = 1, 2, \dots, s$
 s , το πλήθος των κελιών που ανήκουν στην ομάδα k

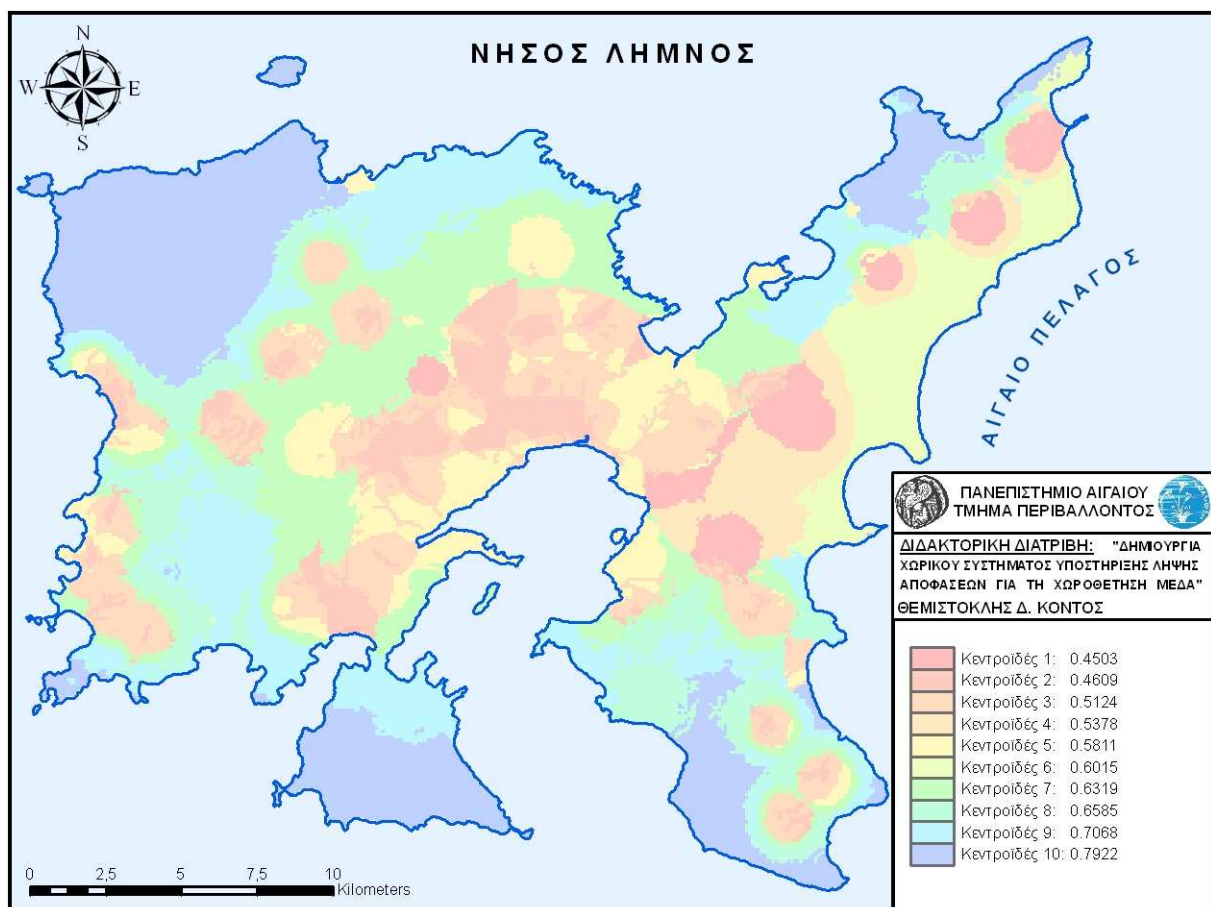
8. Έλεγχος του κριτηρίου τερματισμού. Αν το κριτήριο τερματισμού επαληθεύεται, τότε ο αλγόριθμος τερματίζει και η ομαδοποίηση των δεδομένων έχει ολοκληρωθεί. Αν το κριτήριο τερματισμού δεν επαληθεύεται, τότε επαναλαμβάνονται τα βήματα (5), (6) και (7). Ως κριτήρια τερματισμού προσφέρονται τρεις εναλλακτικές επιλογές, ο καθορισμός συγκεκριμένου αριθμού επαναλήψεων του αλγόριθμου, ο έλεγχος του συνολικού ποσοστού των κελιών που αλλάζουν κλάση σε δυο διαδοχικές επαναλήψεις (συνολικό ποσοστό $\leq 1\%$) και ο δείκτης απόκλισης E ο οποίος περιγράφεται από την εξίσωση 5.23 και επαληθεύεται όταν $\max(E_{kj}) \leq 0.01$, $\forall k \in [1, c]$ και $j \in [1, \mu]$.

$$E_{kj} = \frac{|C_{kj}^{(t+1)} - C_{kj}^{(t)}|}{C_{kj}^{(t)}} \quad (5.23)$$

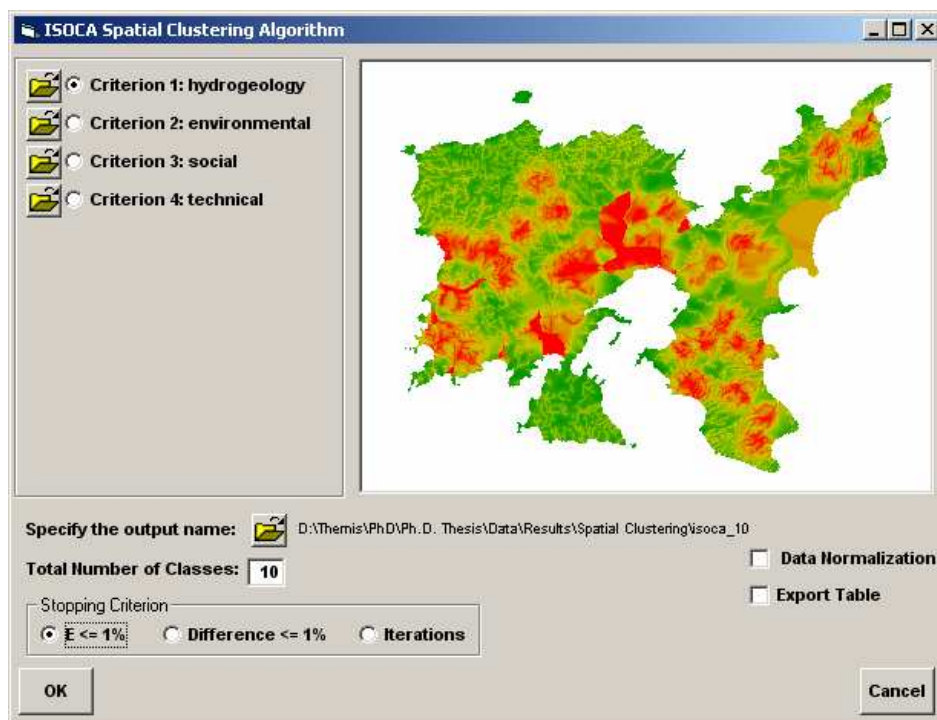
Όπου: E_{kj} , ο δείκτης απόκλισης της ομάδας k στην παράμετρο j σε δυο διαδοχικές επαναλήψεις
 $C_{kj}^{(t+1)}$, η τιμή του κεντροϊδούς k στην παράμετρο j στην επανάληψη $(t + 1)$
 $C_{kj}^{(t)}$, η τιμή του κεντροϊδούς k στην παράμετρο j στην επανάληψη t

Συνοπτικά, η μέθοδος *ISOCA* είναι ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος για την ομαδοποίηση δεδομένων σε κάποιες ομάδες, το πλήθος των οποίων δηλώνεται εκ των προτέρων. Η ομαδοποίηση εκτελείται στον πολυπαραμετρικό χώρο R^m , το οποίο σημαίνει ότι ένα συγκεκριμένο σημείο έχει m ιδιότητες. Ο στόχος της μεθόδου, είναι η ελαχιστοποίηση της απόσταση του κάθε σημείου από το κεντροϊδές της ομάδας που ανήκει. Ο αλγόριθμος λειτουργεί επαναληπτικά και έχει την ικανότητα να επαναπροσδιορίζει τα βέλτιστα κεντροϊδή των ομάδων και τερματίζει όταν επαληθευτεί κάποιο από τα κριτήρια για την εύρεση των βέλτιστων ομάδων.

Για την εκτέλεση της συγκεκριμένης μεθόδου *χωρικής ομαδοποίησης*, χρειάστηκε να δημιουργηθούν οι απαραίτητοι αλγόριθμοι στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ και το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 5.14. Στον χάρτη 5.12 φαίνεται το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκτέλεση της μεθόδου *ISOCA*, για τη δημιουργία 10 ομάδων χωρικών δεδομένων και χρησιμοποιώντας τον πολυπαραμετρικό χώρο R^4 των κριτηρίων απόφασης.



Χάρτης 5.12: Χωρική Ομαδοποίηση δέκα Ομάδων με τη Μέθοδο *ISOCA*



Σχήμα 5.14: Το Παράθυρο Διαλόγου για τη Χωρική Ομαδοποίηση με τη μέθοδο ISOCA

Στον πίνακα 5.4 φαίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την μέθοδο ISOCA, στον δείκτη καταλληλότητας ο οποίος υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα προκύπτουν μετά από 18 επαναλήψεις του αλγορίθμου, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τερματισμού τον δείκτη απόκλισης ($E < 1\%$). Τέλος, στο Παράρτημα F.1 υπάρχει αναλυτικό παραδείγματα υπολογισμού της μεθόδου ISOCA.

Πίνακας 5.4: Τιμές των Κεντροϊδών από την Εφαρμογή της Μεθόδου ISOCA

| | Υδρολογικό/ Υδρογεωλογικό | Περιβαλλοντικό | Κοινωνικό | Τεχνικο- οικονομικό | Μέση Τιμή Κεντροϊδούς | Ποσοστό (%) |
|---------------|------------------------------|----------------|-----------|------------------------|--------------------------|----------------|
| Κεντροϊδές 1 | 0.6138 | 0.5327 | 0.0589 | 0.5959 | 0.4503 | 4.1 |
| Κεντροϊδές 2 | 0.3097 | 0.8427 | 0.0518 | 0.6393 | 0.4609 | 6.2 |
| Κεντροϊδές 3 | 0.5512 | 0.8770 | 0.0371 | 0.5843 | 0.5124 | 12.8 |
| Κεντροϊδές 4 | 0.7517 | 0.4280 | 0.4049 | 0.5667 | 0.5378 | 4.4 |
| Κεντροϊδές 5 | 0.7975 | 0.8760 | 0.0348 | 0.6160 | 0.5811 | 8.2 |
| Κεντροϊδές 6 | 0.7195 | 0.3999 | 0.7961 | 0.4905 | 0.6015 | 6.2 |
| Κεντροϊδές 7 | 0.7279 | 0.8905 | 0.3199 | 0.5892 | 0.6319 | 15.2 |
| Κεντροϊδές 8 | 0.5520 | 0.8925 | 0.6400 | 0.5495 | 0.6585 | 8.8 |
| Κεντροϊδές 9 | 0.8275 | 0.9068 | 0.5989 | 0.4938 | 0.7068 | 14.3 |
| Κεντροϊδές 10 | 0.8257 | 0.9419 | 0.9175 | 0.4837 | 0.7922 | 19.7 |

5.3.2. Fuzzy C-Means

Η μέθοδος *Fuzzy C-Means (FCM)*, όπως παρουσιάστηκε από τον Bezdek (1981), είναι ένας επαναληπτικός αλγόριθμος ομαδοποίησης δεδομένων με τη βοήθεια *ασαφών συνόλων*. Η βέλτιστη δημιουργία των ομάδων βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της απόστασης του κάθε σημείου από τα κεντροϊδή, σύμφωνα με την εξίσωση 5.24.

$$J_m(U, C) = \sum_{i=1}^v \sum_{k=1}^c \mu_{ik}^m (x_i - C_k)^2 \quad (5.24)$$

Όπου: x_i , η τιμή του κελιού i

C_k , η τιμή του κεντροϊδούς της ομάδας k

μ_{ik} , ο βαθμός συμμετοχής του κελιού i στην ομάδα k , $\sum_{k=1}^c \mu_{ik} = 1$

c , το πλήθος των ομάδων, $c > 2$

v , το πλήθος των κελιών

m , παράμετρος βαρύτητας ($1 \leq m \leq \infty$), όταν $m = 1$ τότε η μέθοδος *FCM* συμπίπτει με τον αλγόριθμο *ISODATA*, ενώ όταν $m \rightarrow \infty$ τότε $\mu_{ik} \rightarrow 1/c$

Η διαφορά της μεθόδου *FCM* από τις άλλες μεθόδους ομαδοποίησης δεδομένων είναι ότι το κάθε σημείο δεν ανήκει αποκλειστικά σε μια ομάδα. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδίδει σε όλα τα σημεία, τον βαθμό συμμετοχής τους στην κάθε ομάδα, σύμφωνα με την λογική των *ασαφών συνόλων* (Bezdek et al 1984). Ο αλγόριθμος της μεθόδου *FCM* λειτουργεί επαναληπτικά μέχρι την εκπλήρωση ενός κριτηρίου τερματισμού. Τα επιμέρους βήματα του αλγόριθμου είναι τα εξής:

1. Ορίζονται οι διάφορες παράμετροι που απαιτούνται από την μέθοδο όπως η παράμετρος βαρύτητας, το πλήθος των ομάδων και τα αρχικά κεντροϊδή των ομάδων. Η παράμετρος m ελέγχει τον βαθμό της ασάφειας της μεθόδου. Όταν το m πλησιάζει την μονάδα, τότε η μέθοδος παύει να έχει τον χαρακτήρα των *ασαφών συνόλων* και πλησιάζει στα *δυσδικά σύνολα*. Δεν υπάρχει ένας γενικός κανόνας για την επιλογή της παραμέτρου m καθώς εξαρτάται άμεσα από τα δεδομένα που υπάρχουν. Η αρχικοποίηση των κεντροϊδών δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα του αλγόριθμου. Επομένως, η επιλογή των αρχικών κεντροϊδών μπορεί να είναι τυχαία ή μπορεί να υπολογιστούν από οποιαδήποτε μέθοδο ταξινόμησης δεδομένων. Ένας εύκολος τρόπος αρχικοποίησης των κεντροϊδών είναι η εξίσωση 5.20, που αναφέρθηκε στην μέθοδο *ISOCA*.

2. Εύρεση του βαθμού συμμετοχής του σημείου i στην ομάδα κ χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.25.

$$\mu_{ik} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{|x_i - C_k^{(t)}|}{|x_i - C_j^{(t)}|} \right)^{2/(m-1)} \right]^{-1} \quad (5.25)$$

3. Επανάληψη του βήματος (2) για την εύρεση του βαθμού συμμετοχής του σημείου i στις c ομάδες.
4. Επανάληψη των βημάτων (2) και (3) για όλα τα σημεία.
5. Υπολογισμός των καινούργιων κεντροειδών $C_k^{(t+1)}$, που προκύπτουν βάσει του σταθμισμένου μέσου όρου των τιμών όλων των σημείων, χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.26. Ο σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών, υπολογίζεται βάσει του βαθμού συμμετοχής του κάθε σημείου στη συγκεκριμένη ομάδα

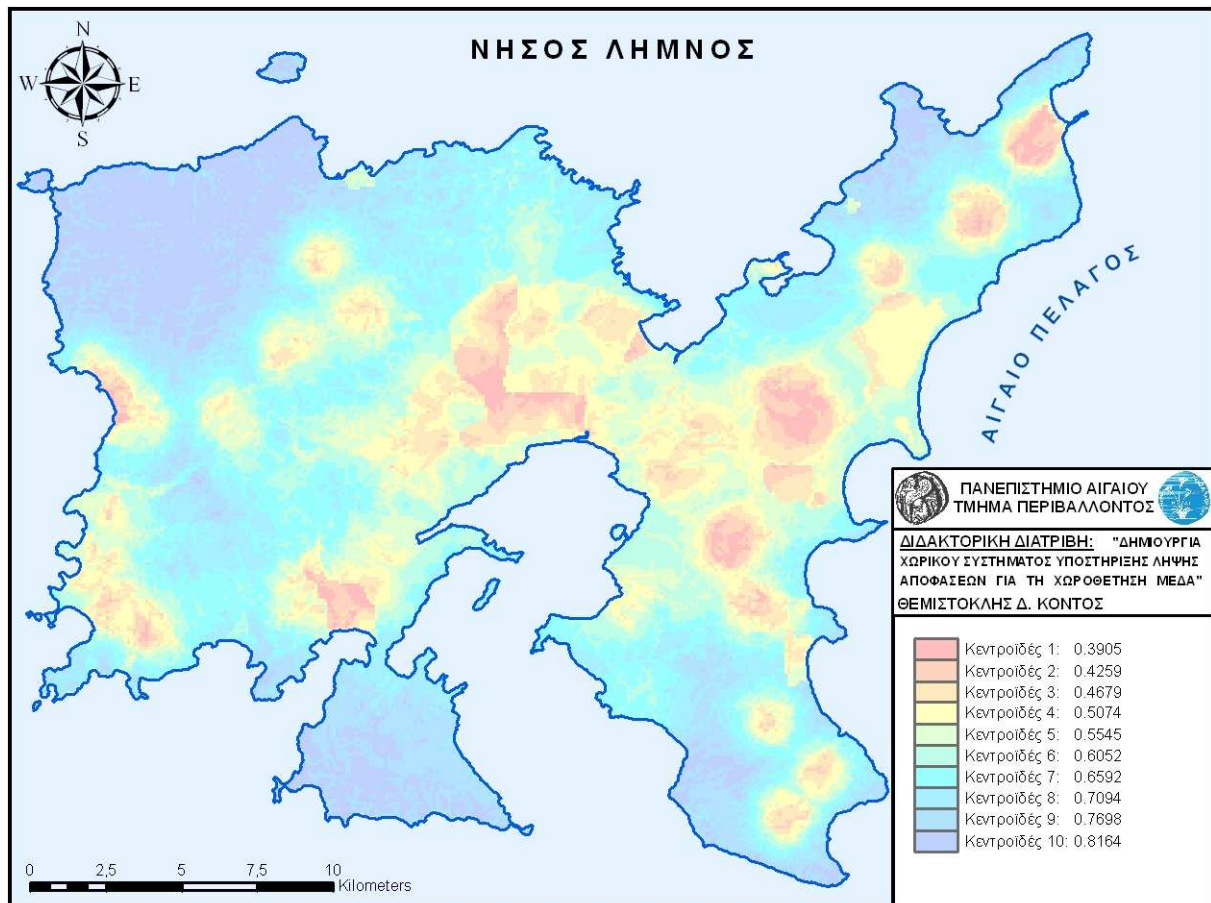
$$C_k^{(t+1)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik}^m * x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{ik}^m} \quad (5.26)$$

6. Έλεγχος του κριτηρίου τερματισμού. Αν το κριτήριο τερματισμού επαληθεύεται, τότε ο αλγόριθμος τερματίζει και η ομαδοποίηση των δεδομένων έχει ολοκληρωθεί. Αν το κριτήριο τερματισμού δεν επαληθεύεται, τότε επαναλαμβάνονται τα βήματα (2), (3), (4) και (5). Ως κριτήριο τερματισμού χρησιμοποιείται ο δείκτης απόκλισης E , ο οποίος περιγράφεται από την εξίσωση 5.27 και επαληθεύεται όταν $\max(E_k) \leq 0.01, \forall \kappa \in [1, c]$.

$$E_k = |C_k^{(t+1)} - C_k^{(t)}| \quad (5.27)$$

Όπου: E_k , ο δείκτης απόκλισης της ομάδας κ σε δυο διαδοχικές επαναλήψεις
 $C_k^{(t+1)}$, η τιμή του κεντροειδούς κ στην επανάληψη $(t + 1)$
 $C_k^{(t)}$, η τιμή του κεντροειδούς κ στην επανάληψη t

Στον χάρτη 5.13 φαίνεται το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκτέλεση της μεθόδου *Fuzzy C-Means*, για τη βέλτιστη δημιουργία 10 ομάδων χωρικών δεδομένων, χρησιμοποιώντας τον δείκτη καταλληλότητας που υπολογίζεται από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου.

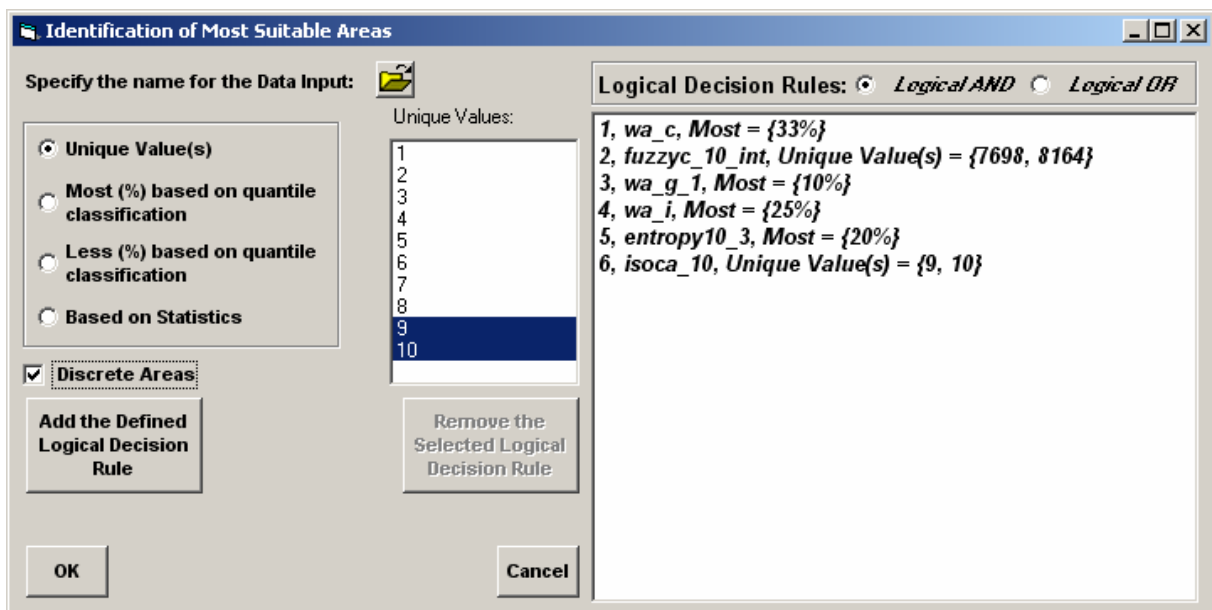


Χάρτης 5.13: Χωρική Ομαδοποίηση δέκα Ομάδων με τη Μέθοδο *Fuzzy C-Means*

5.4. Εύρεση των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών

Η προτεινόμενη μεθοδολογία, σύμφωνα με την ανάλυση που έχει περιγραφεί στις προηγούμενες παραγράφους, καταλήγει σε μια σειρά αποτελεσμάτων που αφορούν δύο διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας του δείκτη καταλληλότητας. Στο πρώτο επίπεδο, επεξεργασίας εκτελούνται μέθοδοι χωρικής αυτοσυσχέτισης, ώστε να μπορούν να εντοπιστούν οι συσχετίσεις των γειτονικών περιοχών. Στο δεύτερο επίπεδο επεξεργασίας, εκτελούνται μέθοδοι χωρικής ομαδοποίησης, ώστε να γίνει δυνατή η βέλτιστη ομαδοποίηση των περιοχών σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους.

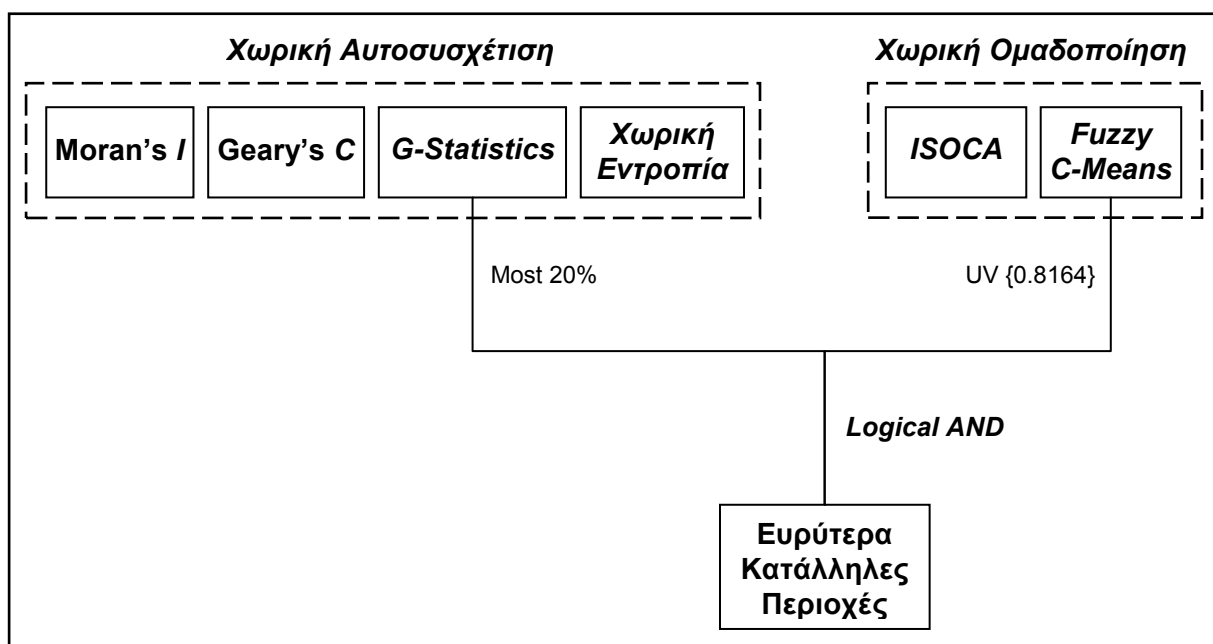
Σε αυτό το σημείο της προτεινόμενης μεθοδολογίας, γίνεται προσπάθεια για τον εντοπισμό των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών, οι οποίες θα πρέπει να εμφανίζουν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά από όλα επίπεδα επεξεργασίας. Στα πλαίσια του ΧΣΥΛΑ κρίθηκε σκόπιμη η ενσωμάτωση εφαρμογής για τη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων, η οποία φαίνεται στο σχήμα 5.15.



Σχήμα 5.15: Το Παράθυρο Διαλόγου για τη Δημιουργία Σεναρίων

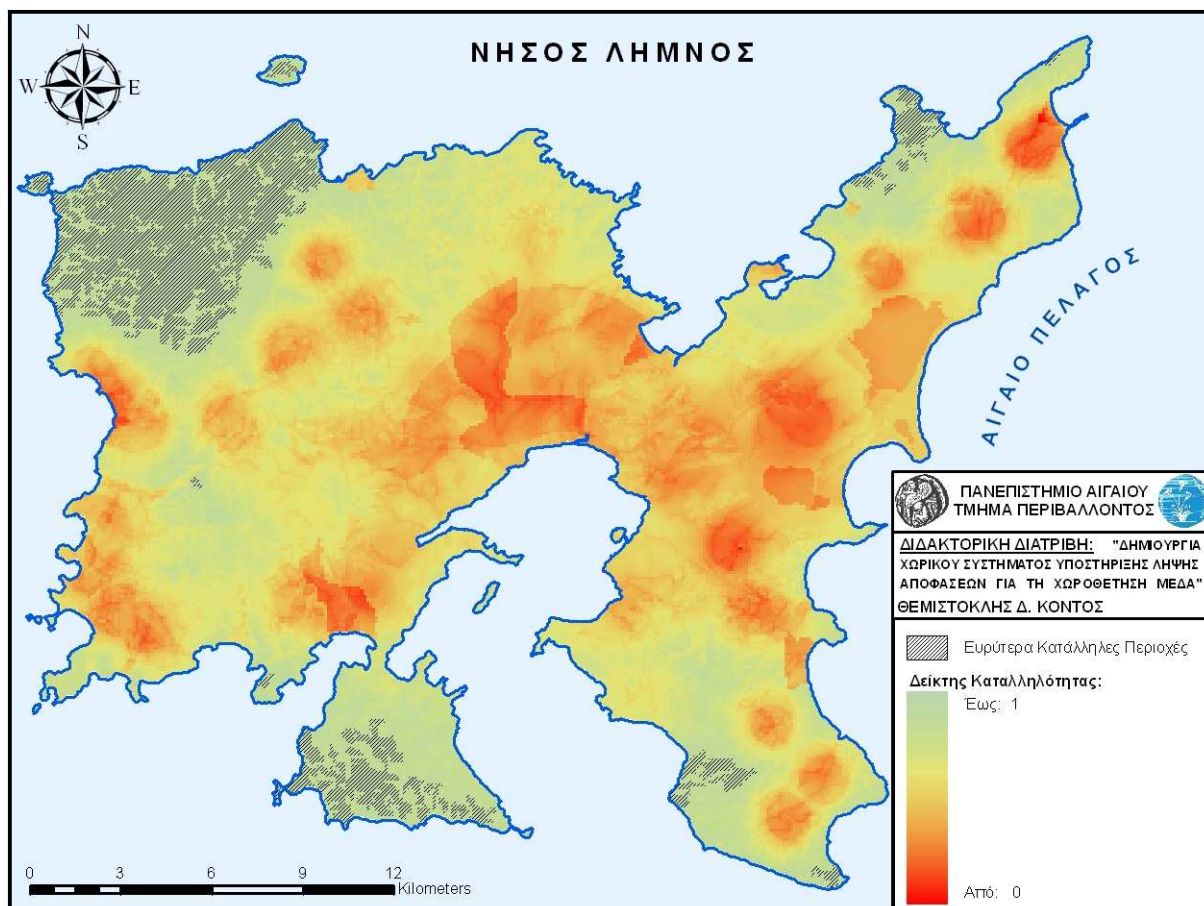
Με τη βοήθεια της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι δυνατή η δημιουργία σεναρίων, τα οποία υπολογίζουν το αποτέλεσμα που προκύπτει από το συνδυασμό λογικών κανόνων. Πιο συγκεκριμένα, ως λογικοί κανόνες χρησιμοποιούνται οι μοναδικές τιμές (unique values), το ποσοστό των υψηλότερων (most %) ή των χαμηλότερων τιμών (less %) των αθροιστικών συχνοτήτων των τιμών και τα κύρια στατιστικά μεγέθη. Όλοι οι λογικοί κανόνες συνδέονται με τη βοήθεια των λογικών πράξεων της ένωσης και της τομής των λογικών συνόλων.

Η θεώρηση που γίνεται για τον εντοπισμό των πλέον κατάλληλων περιοχών, χρησιμοποιεί δύο λογικούς κανόνες οι οποίοι συνδέονται με *λογική τομή*. Ο πρώτος λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται, καθορίζει ότι οι πλέον κατάλληλες περιοχές είναι εκείνες οι οποίες ανήκουν στην ομάδα 10 της *χωρικής ομαδοποίησης* που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου *Fuzzy C-Means*, με τιμή κεντροϊδούς 0.8164. Ο δεύτερος λογικός κανόνας, καθορίζει ότι οι πλέον κατάλληλες περιοχές είναι εκείνες οι οποίες ανήκουν στο 20% των υψηλότερων τιμών του αποτελέσματος της *χωρικής αυτοσυσχέτισης* που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου *G-Statistics*. Στο σχήμα 5.16 φαίνεται το λογικό διάγραμμα για τη δημιουργία του συγκεκριμένου σεναρίου.



Σχήμα 5.16: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 1

Η εφαρμογή του λογικού διαγράμματος του σχήματος 5.16 αναδεικνύει 158 διακριτές περιοχές. Για την εγκατάσταση και τις υποδομές της *ΜΕΔΑ* απαιτείται κάποια ελάχιστη έκταση, η οποία σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αφορούν την επόμενη 20ετία θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 76 στρέμματα (Μπαλής κ.α. 1998). Από την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 28 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη 5.14, οι οποίες έχουν τιμές του *δείκτη καταλληλότητας* που κυμαίνεται από 0.7936 έως 0.8673 και καλύπτουν το 9.7% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.



Χάρτης 5.14: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές

5.5. Ανάλυση Ευαισθησίας

Η *ανάλυση ευαισθησίας* των αποτελεσμάτων είναι το τελικό στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας και αποσκοπεί στη διερεύνηση του κατά πόσο μπορούν να αλλάξουν σημαντικά τα αποτελέσματα, με την αλλαγή κάποιων κρίσιμων παραμέτρων. Για την *ανάλυση ευαισθησίας*, επιλέχθηκε η σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων. Πρέπει να τονιστεί ότι η διαδικασία της *ανάλυσης ευαισθησίας* επιλέχθηκε να εκτελεστεί στα τελικά βήματα της μεθοδολογίας, δηλαδή στον *δείκτη καταλληλότητας* και στη διαδικασία εύρεσης των πλέον κατάλληλων περιοχών.

5.5.1. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη καταλληλότητας

Για την *ανάλυση ευαισθησίας* του *δείκτη καταλληλότητας*, επιλέχθηκε η προσέγγιση της δημιουργίας σεναρίων που χρησιμοποιούν ακραίες τιμές και σύγκρισης αυτών με τον *δείκτη καταλληλότητας* που υπολογίζεται από την προτεινόμενη μεθοδολογία. Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση των ακραίων σεναρίων γίνεται με τον *δείκτη καταλληλότητας* που φαίνεται στον χάρτη 5.1. Ο *δείκτης καταλληλότητας* υπολογίζεται από την εφαρμογή της μεθόδου του *Σταθμισμένου Μέσου*, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαρύτητας που προκύπτουν θεωρώντας ότι τα τέσσερα κριτήρια απόφασης έχουν την ίδια σημαντικότητα. Τα ακραία σεναρία, υπολογίζονται από την εφαρμογή της μεθόδου του *Σταθμισμένου Μέσου*, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαρύτητας που προκύπτουν, θεωρώντας ότι σε κάθε σενάριο κάποιο από τα τέσσερα κριτήρια απόφασης έχει διπλάσια σημαντικότητα από τα υπόλοιπα τρία. Χρησιμοποιώντας τις υποθέσεις που αναφέρθηκαν, προκύπτουν οι συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται στον πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Συντελεστές Βαρύτητας των Εναλλακτικών Σεναρίων που Χρησιμοποιήθηκαν στην *Ανάλυση Ευαισθησίας* του *Δείκτη Καταλληλότητας*

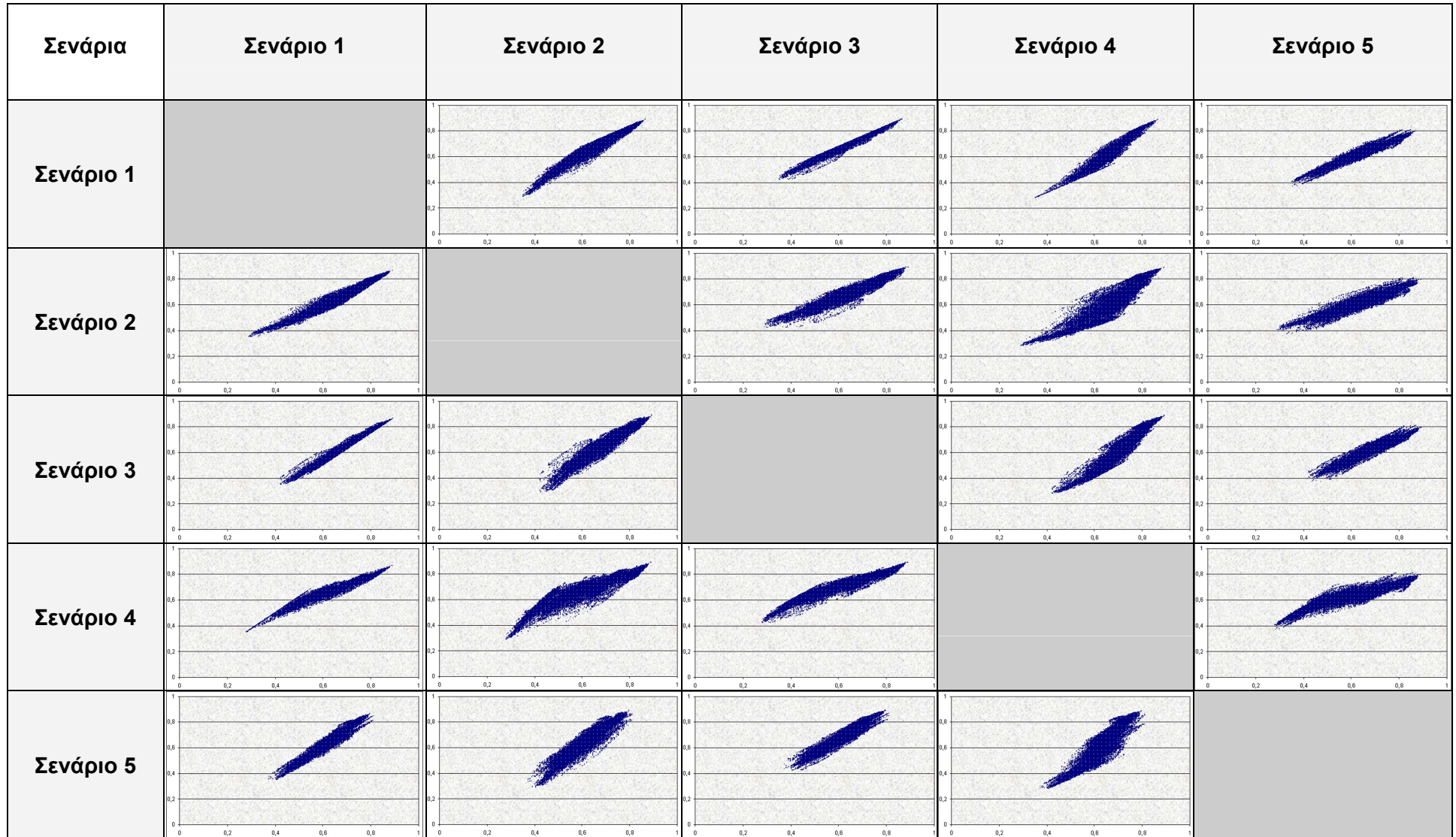
| Κριτήριο Απόφασης | Συντελεστές Βαρύτητας | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Σενάριο 1 | Σενάριο 2 | Σενάριο 3 | Σενάριο 4 | Σενάριο 5 |
| Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό | 0.25 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Περιβαλλοντικό | 0.25 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 |
| Κοινωνικό | 0.25 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 |
| Τεχνικοοικονομικό | 0.25 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |

Χρησιμοποιώντας τις τιμές των συντελεστών βαρύτητας του πίνακα 5.5, υπολογίζονται οι αντίστοιχοι δείκτες καταλληλότητας. Το σενάριο 1 που φαίνεται στον χάρτη 5.1, είναι το αποτέλεσμα που υπολογίζεται από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το σενάριο 2 δίνει βαρύτητα στο υδρολογικό/υδρογεωλογικό κριτήριο απόφασης, το οποίο θεωρεί ότι έχει διπλάσια σημαντικότητα από τα υπόλοιπα τρία κριτήρια απόφασης. Το σενάριο 3 δίνει βαρύτητα στο περιβαλλοντικό κριτήριο απόφασης, το οποίο θεωρεί ότι έχει διπλάσια σημαντικότητα από τα υπόλοιπα τρία κριτήρια απόφασης. Το σενάριο 4 δίνει βαρύτητα στο κοινωνικό κριτήριο απόφασης, το οποίο θεωρεί ότι έχει διπλάσια σημαντικότητα από τα υπόλοιπα τρία κριτήρια απόφασης. Το σενάριο 5 δίνει βαρύτητα στο τεχνικοοικονομικό κριτήριο απόφασης, το οποίο θεωρεί ότι έχει διπλάσια σημαντικότητα από τα υπόλοιπα τρία κριτήρια απόφασης.

Για την ανάλυση ευαισθησίας του δείκτη καταλληλότητας, συγκρίνεται το αποτέλεσμα του σεναρίου 1 με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα υπόλοιπα τέσσερα σενάρια. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται η σύγκριση του δείκτη καταλληλότητας και σε δεύτερο επίπεδο γίνεται η σύγκριση των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών που προκύπτουν από όλα τα σενάρια, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.4.

Σε ότι αφορά το πρώτο επίπεδο σύγκρισης των σεναρίων, υπολογίζονται οι δείκτες καταλληλότητας που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου και χρησιμοποιώντας τα εναλλακτικά σενάρια των συντελεστών βαρύτητας του πίνακα 5.5. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους χάρτες G.1.1 έως G.1.4 του Παραρτήματος G. Στη συνέχεια, εκτελείται στατιστική ανάλυση σε όλα τα κελιά (*cell-by-cell*) των σεναρίων και υπολογίζονται τα στατιστικά τους. Στον πίνακα 5.6 φαίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε ότι αφορά τη συσχέτιση, τη διακύμανση και τη συνδιακύμανση. Τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου δείχνουν τη διακύμανση των τιμών του κάθε σεναρίου. Τα στοιχεία που βρίσκονται κάτω από την κύρια διαγώνιο δείχνουν τη συνδιακύμανση των τιμών μεταξύ των σεναρίων. Τέλος, τα στοιχεία του πίνακα που βρίσκονται πάνω από την κύρια διαγώνιο δείχνουν τους συντελεστές συσχέτισης των σεναρίων. Στο σχήμα 5.17 φαίνεται ο Πίνακας των Διαγραμμάτων Διασποράς (*Scatterplot Matrix*) όλων των σεναρίων.

Σχήμα 5.17: Πίνακας Διαγραμμάτων Διασποράς από την Εφαρμογή των Εναλλακτικών Σεναρίων Υπολογισμού του Δείκτη Καταλληλότητας



Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.17 και τον πίνακα 5.6, υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη σύγκριση του δείκτη καταλληλότητας που υπολογίζεται από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, με τα αποτελέσματα των σεναρίων 2 έως 5. Επίσης, μπορεί να διακριθεί ότι υπάρχει πάρα πολύ μεγάλη συσχέτιση και μεταξύ όλων των υπολοίπων σεναρίων.

Πίνακας 5.6: Πίνακας Συσχετίσεων/Διακύμανσης/Συνδιακύμανσης από τον Υπολογισμό του Δείκτη Καταλληλότητας των Εναλλακτικών Σεναρίων

| | Σενάριο 1 | Σενάριο 2 | Σενάριο 3 | Σενάριο 4 | Σενάριο 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Σενάριο 1 | 0.01338 | 0.97750 | 0.95879 | 0.95879 | 0.97785 |
| Σενάριο 2 | 0.01347 | 0.01420 | 0.91568 | 0.93165 | 0.95055 |
| Σενάριο 3 | 0.01264 | 0.01243 | 0.01298 | 0.88209 | 0.94435 |
| Σενάριο 4 | 0.01733 | 0.01717 | 0.01554 | 0.02392 | 0.92119 |
| Σενάριο 5 | 0.01007 | 0.01009 | 0.00958 | 0.01269 | 0.00793 |

Στο δεύτερο επίπεδο σύγκρισης των σεναρίων υπολογίζονται οι ευρύτερα κατάλληλες περιοχές που προκύπτουν από την εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.4, χρησιμοποιώντας τα εναλλακτικά σενάρια υπολογισμού του δείκτη καταλληλότητας. Αρχικά, εκτελούνται οι διαδικασίες χωρικής αυτοσυσχετίσης για να διαπιστωθεί αν τα εναλλακτικά σενάρια είναι χωρικά αυτοσυσχετισμένα. Στον πίνακα 5.7 φαίνονται τα αποτελέσματα της συνολικής χωρικής αυτοσυσχετίσης, όπου για όλα τα σενάρια ισχύει ότι $E(I) = -2.1 * 10^{-5}$, $Var(I) = 5.35 * 10^{-6}$, $E(C) = 1$ και $Var(C) = 5.68 * 10^{-6}$.

Πίνακας 5.7: Συνολική Χωρική Αυτοσυσχετίση των Εναλλακτικών Σεναρίων

| | Moran's I | Z(I) | P(I) | Geary's C | Z(C) | P(C) |
|-----------|-----------|--------|------|-----------|---------|------|
| Σενάριο 1 | 0.9768 | 422.51 | 0 | 0.0243 | -409.46 | 0 |
| Σενάριο 2 | 0.9633 | 416.68 | 0 | 0.0351 | -404.92 | 0 |
| Σενάριο 3 | 0.9804 | 424.08 | 0 | 0.0236 | -409.76 | 0 |
| Σενάριο 4 | 0.9854 | 426.22 | 0 | 0.0138 | -413.86 | 0 |
| Σενάριο 5 | 0.9638 | 416.89 | 0 | 0.0393 | -403.19 | 0 |

Από τον πίνακα 5.7 φαίνεται η έντονη χωρική αυτοσυσχέτιση που χαρακτηρίζει τα αποτελέσματα των δεικτών καταλληλότητας των εναλλακτικών σεναρίων. Η έντονη χωρική αυτοσυσχέτιση μπορεί να φανεί και από τα Διαγράμματα Διασποράς του Moran των δεικτών καταλληλότητας, που φαίνονται στα σχήματα G.1.1 έως G.1.4 του Παραρτήματος G.

Αφού έχει εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα των εναλλακτικών σεναρίων είναι χωρικά αυτοσυσχετισμένα, εκτελείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.4 για την ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Υπολογίζονται, η τοπική χωρική αυτοσυσχέτιση εφαρμόζοντας τη μέθοδο *G-Statistics* και η χωρική ομαδοποίηση εφαρμόζοντας τη μέθοδο *Fuzzy C-Means*. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται στους χάρτες G.1.5 έως G.1.12 του Παραρτήματος G. Για την ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών εφαρμόζεται το λογικό διάγραμμα του σχήματος 5.16 για όλα τα εναλλακτικά σεναρία και προκύπτουν οι ευρύτερα κατάλληλες περιοχές που φαίνονται στους χάρτες G.1.13 έως G.1.16 του Παραρτήματος G. Στον πίνακα 5.8 φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της σύγκρισης των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών που προκύπτουν από τα εναλλακτικά σεναρία υπολογισμού του δείκτη καταλληλότητας.

Πίνακας 5.8: Σύγκριση των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών που Προκύπτουν από τα Εναλλακτικά Σεναρία

| | Αρχικά Κατάλληλες Περιοχές | Τελικά Κατάλληλες Περιοχές | Ποσοστό Κάλυψης (%) |
|------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| Σενάριο 1 | 158 | 28 | 9.7 |
| Σενάριο 2 | 186 | 42 | 8.9 |
| Σενάριο 3 | 107 | 27 | 10.4 |
| Σενάριο 4 | 93 | 17 | 10.8 |
| Σενάριο 5 | 214 | 43 | 7.9 |

Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης των εναλλακτικών σεναρίων υπολογισμού του δείκτη καταλληλότητας, φαίνεται ότι δε διαφέρουν σημαντικά οι ευρύτερα κατάλληλες περιοχές που προκύπτουν. Ένα στοιχείο το οποίο είναι άξιο αναφοράς, είναι ότι τα σεναρία 1, 2 και 5 δίνουν μεγαλύτερο κατακερματισμό των περιοχών, ενώ τα σεναρία 3 και 4 αποδίδουν περισσότερο εκτεταμένες περιοχές.

5.5.2. Ανάλυση Ευαισθησίας των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών

Στο τελευταίο στάδιο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων, εκτελείται *ανάλυση ευαισθησίας* της διαδικασίας που ακολουθείται για την εύρεση των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Η *ανάλυση ευαισθησίας*, έχει σα στόχο να εκμεταλλευτεί όλη την πληροφορία που παρέχουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Επίσης, σκοπός της συγκεκριμένης ανάλυσης είναι να διαπιστώσει κατά πόσο οι περιοχές που εμφανίζονται στον χάρτη 5.14 διαφέρουν σημαντικά, αν χρησιμοποιηθούν κάποιοι άλλοι λογικοί κανόνες.

Για την *ανάλυση ευαισθησίας* της συγκεκριμένης διαδικασίας, δημιουργείται μια μήτρα λογικών κανόνων που μπορούν να αποδώσουν ευρύτερα κατάλληλες περιοχές, η οποία εμφανίζεται στον πίνακα 5.9. Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι οι τιμές που εμφανίζονται στον πίνακα 5.9, επιλέγονται με τέτοιον τρόπο, ώστε να αποδίδουν τελικά αποδεκτές περιοχές σύμφωνα με τους κανόνες που διέπουν το κάθε ένα από τα αποτελέσματα των επιπέδων επεξεργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, ο λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται στο αποτέλεσμα του δείκτη *τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης I* του Moran, είναι το ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας των υψηλότερων τιμών του δείκτη. Τα κατώφλια που χρησιμοποιούνται για το επί τοις εκατό ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας είναι 10%, 20%, 25% και 33%, τα οποία αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη 2.416, 1.826, 1.568 και 1.209 αντίστοιχα. Σε ότι αφορά τον δείκτη *τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης C* του Geary, ο λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται είναι το ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας των χαμηλότερων τιμών του δείκτη. Τα κατώφλια που χρησιμοποιούνται για το επί τοις εκατό ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας είναι 25%, 33%, 50% και 75%, τα οποία αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη 0.013, 0.018, 0.030 και 0.062 αντίστοιχα. Για τον δείκτη *τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης των G-Statistics*, ο λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται είναι το ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας των υψηλότερων τιμών του δείκτη. Τα κατώφλια που χρησιμοποιούνται για το επί τοις εκατό ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας είναι 10%, 20% και 25%, τα οποία αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη 3.919, 2.705 και 2.078 αντίστοιχα. Σε ότι αφορά τη *χωρική εντροπία*, ο λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται είναι το ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας των χαμηλότερων τιμών του δείκτη. Τα κατώφλια που χρησιμοποιούνται για το επί τοις εκατό ποσοστό της αθροιστικής συχνότητας είναι 10%, 20%, 25% και 33%, τα οποία αντιστοιχούν σε τιμές 0, 0.650, 0.721 και 0.865 αντίστοιχα.

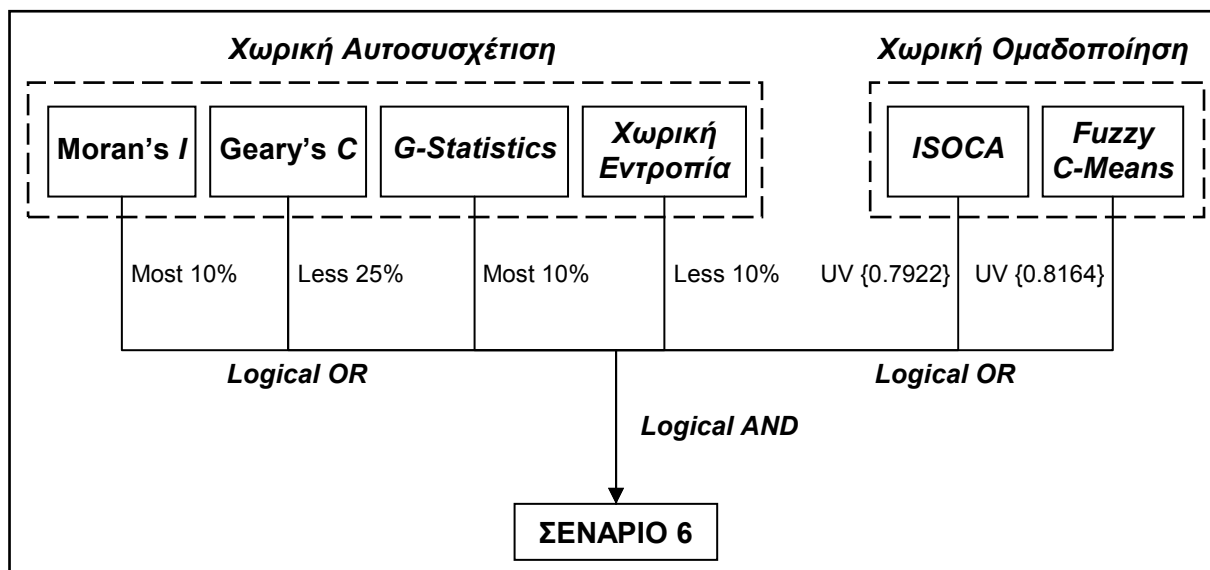
Ο λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται στο αποτέλεσμα της χωρικής ομαδοποίησης που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου *ISOCA*, είναι η επιλογή συγκεκριμένων ομάδων βάσει της τιμής του κεντροϊδούς. Οι ομάδες που θεωρούνται ως αποδεκτές είναι εκείνες με τιμές κεντροϊδούς 0.7922 και 0.7068. Επίσης, σε ότι αφορά τη μέθοδο χωρικής ομαδοποίησης *Fuzzy C-Means*, ο λογικός κανόνας που χρησιμοποιείται είναι η επιλογή συγκεκριμένων ομάδων βάσει της τιμής του κεντροϊδούς. Οι ομάδες που θεωρούνται ως αποδεκτές είναι εκείνες με τιμές κεντροϊδούς 0.8164 και 0.7968.

Πίνακας 5.9: Οι Λογικοί Κανόνες που Χρησιμοποιούνται για τη Δημιουργία Σεναρίων

| | Δείκτης I του Moran | Δείκτης C του Geary | G-Statistics | Χωρική Εντροπία | ISOCA | Fuzzy C-Means |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Λογικός Κανόνας 1 | Καθόλου | Καθόλου | Καθόλου | Καθόλου | Καθόλου | Καθόλου |
| Λογικός Κανόνας 2 | Most {10%} | Less {25%} | Most {10%} | Most {10%} | UV {0.7922} | UV {0.8164} |
| Λογικός Κανόνας 3 | Most {20%} | Less {33%} | Most {20%} | Most {20%} | UVs {0.7922, 0.7068} | UVs {0.8164, 0.7968} |
| Λογικός Κανόνας 4 | Most {25%} | Less {50%} | Most {25%} | Most {25%} | - | - |
| Λογικός Κανόνας 5 | Most {33%} | Less {75%} | - | Most {33%} | - | - |

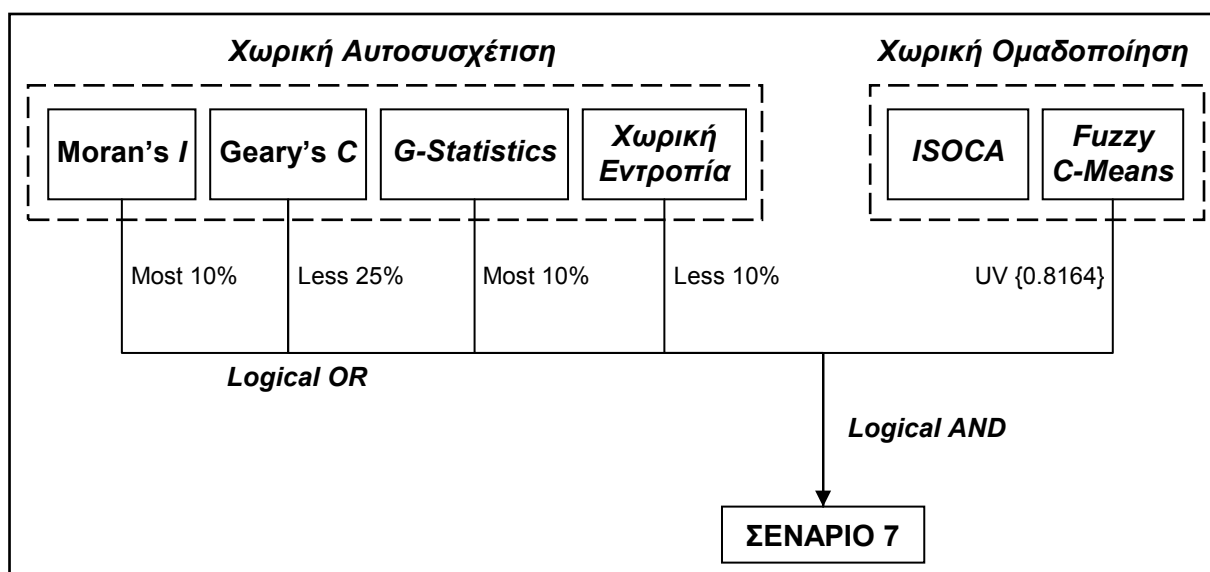
Στη συνέχεια, δημιουργούνται έξι σενάρια τα οποία χρησιμοποιούν κάποιους από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των λογικών κανόνων του πίνακα 5.9. Τα συγκεκριμένα σενάρια, επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύουν ακραίες καταστάσεις. Για τη δημιουργία των σεναρίων χρησιμοποιούνται τα λογικά διαγράμματα που εμφανίζονται στα σχήματα 5.18 έως 5.23 και ως αποτέλεσμα προκύπτουν οι ευρύτερα κατάλληλες περιοχές που εμφανίζονται στους χάρτες G.2.1 έως G.2.6 του Παραρτήματος G.

Για τη δημιουργία του Σεναρίου 6 χρησιμοποιείται το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 5.18. Το συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιεί όλη τη διαθέσιμη πληροφορία που προκύπτει από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται ως οι πλέον αυστηρές. Το Σενάριο 6 αναδεικνύει αρχικά 186 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 37 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη G.2.1 του Παραρτήματος G. Οι περιοχές που προκύπτουν από το Σενάριο 6, έχουν δείκτη καταλληλότητας που κυμαίνεται από 0.7184 έως 0.8673 και καλύπτουν το 11.2% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.



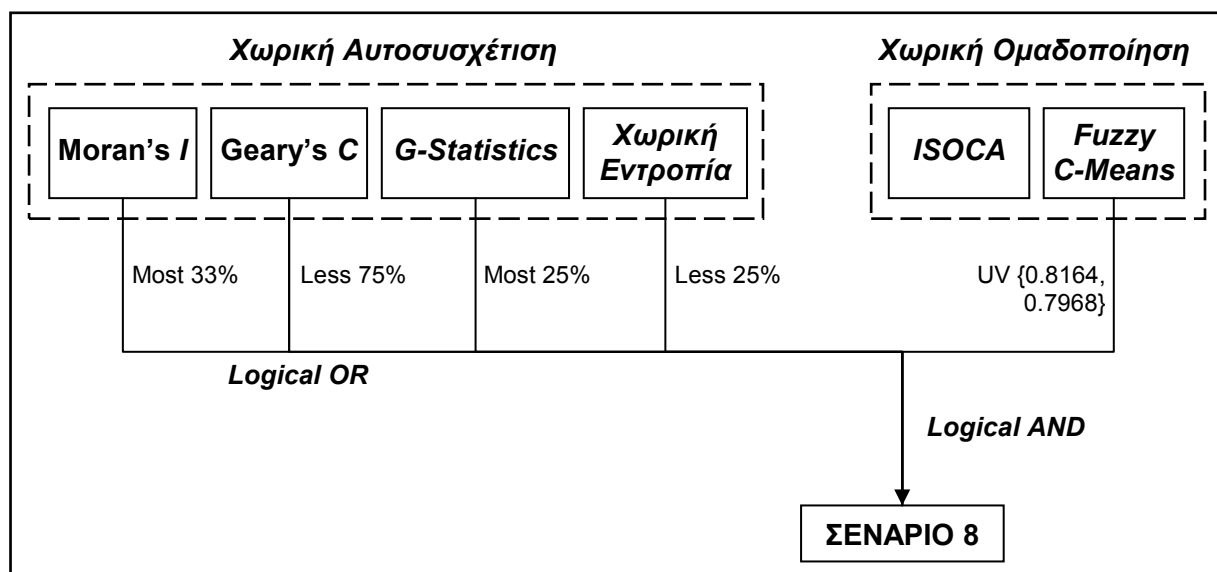
Σχήμα 5.18: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 6

Για τη δημιουργία του Σεναρίου 7 χρησιμοποιείται το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 5.19. Το συγκεκριμένο σενάριο δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη *χωρική αυτοσυσχέτιση*. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται ως οι πλέον αυστηρές. Το Σενάριο 7 αναδεικνύει αρχικά 87 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 21 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη G.2.2 του Παραρτήματος G. Οι περιοχές που προκύπτουν από το Σενάριο 7, έχουν *δείκτη καταλληλότητας* που κυμαίνεται από 0.7936 έως 0.8673 και καλύπτουν το 8.5% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.

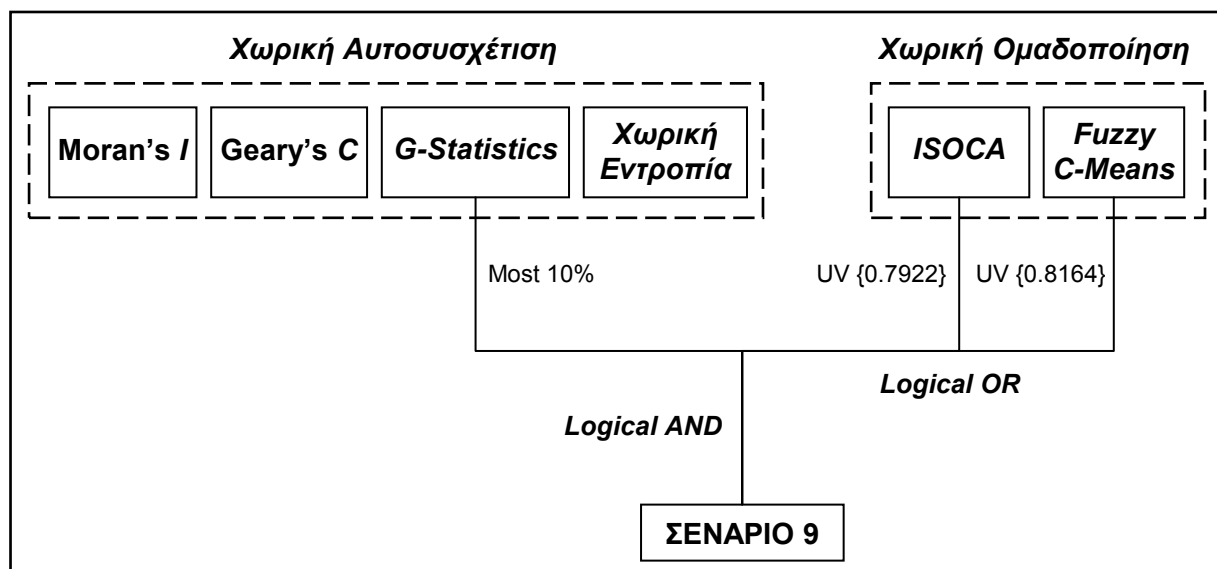


Σχήμα 5.19: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 7

Για τη δημιουργία του Σεναρίου 8 χρησιμοποιείται το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 5.20. Το συγκεκριμένο σενάριο δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη *χωρική αυτοσυσχέτιση*. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται ως οι πλέον χαλαρές. Το Σενάριο 8 αναδεικνύει αρχικά 132 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 30 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη G.2.3 του Παραρτήματος G. Οι περιοχές που προκύπτουν από το Σενάριο 8, έχουν *δείκτη καταλληλότητας* που κυμαίνεται από 0.7402 έως 0.8673 και καλύπτουν το 20.8% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.



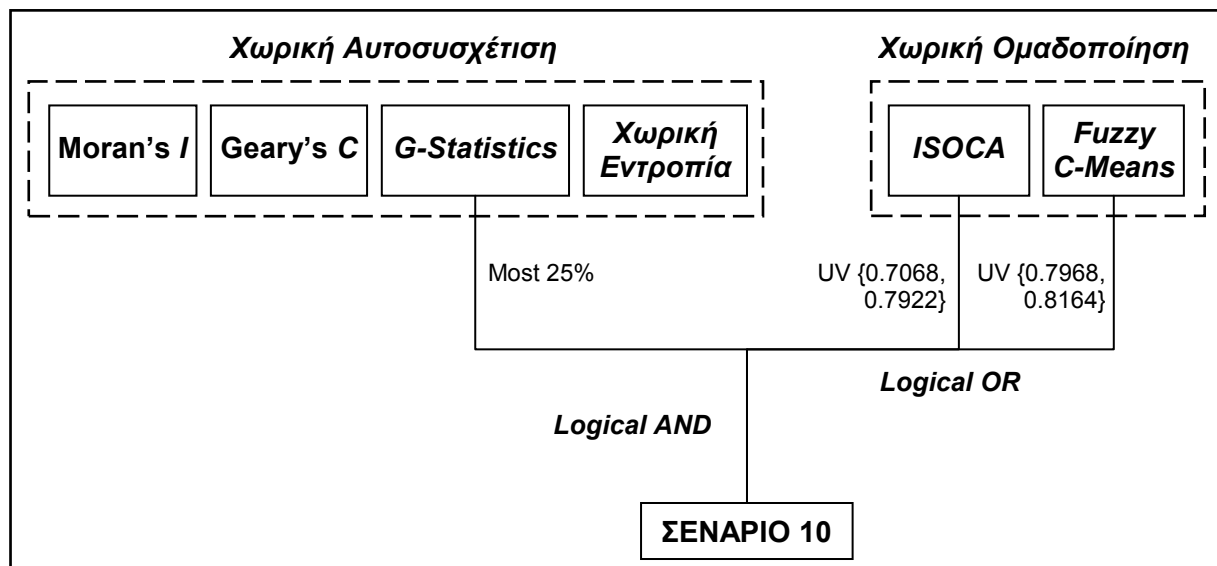
Σχήμα 5.20: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 8



Σχήμα 5.21: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 9

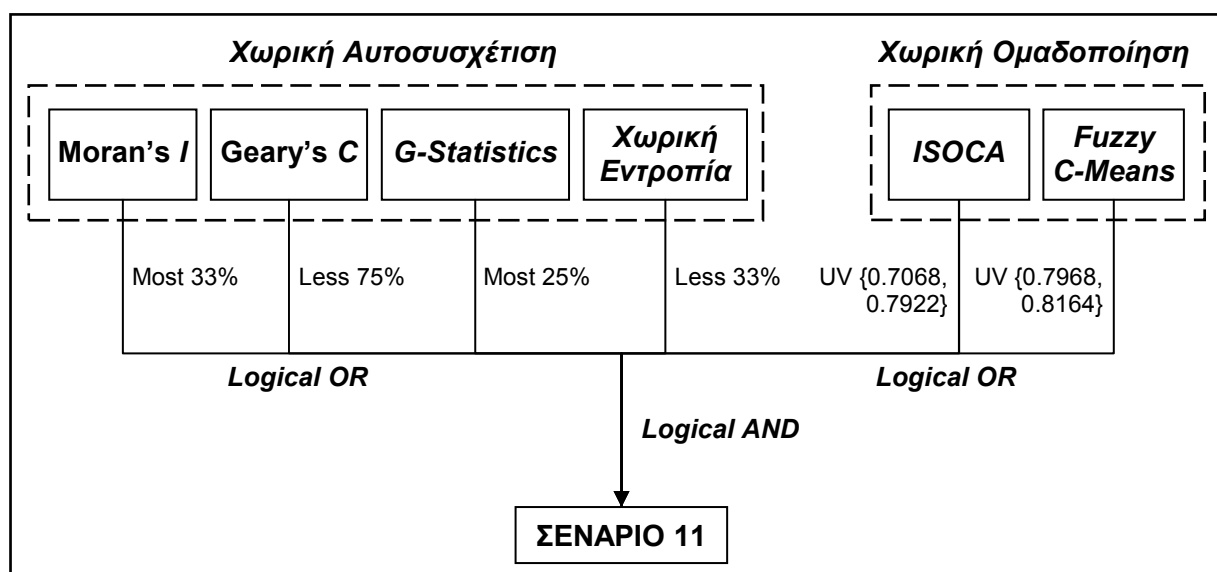
Για τη δημιουργία του Σεναρίου 9 χρησιμοποιείται το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 5.21. Το συγκεκριμένο σενάριο δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χωρική ομαδοποίηση. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουν επιλεγεί με τέτοιον τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται ως οι πλέον αυστηρές. Το Σενάριο 9 αναδεικνύει αρχικά 31 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 17 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη G.2.4 του Παραρτήματος G. Οι περιοχές που προκύπτουν από το Σενάριο 9, έχουν δείκτη καταλληλότητας που κυμαίνεται από 0.7531 έως 0.8673 και καλύπτουν το 9.9% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.

Για τη δημιουργία του Σεναρίου 10 χρησιμοποιείται το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 5.22. Το συγκεκριμένο σενάριο δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χωρική ομαδοποίηση. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουν επιλεγεί με τέτοιον τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται ως οι πλέον χαλαρές. Το Σενάριο 10 αναδεικνύει αρχικά 64 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 29 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη G.2.5 του Παραρτήματος G. Οι περιοχές που προκύπτουν από το Σενάριο 10, έχουν δείκτη καταλληλότητας που κυμαίνεται από 0.6750 έως 0.8673 και καλύπτουν το 23.9% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.



Σχήμα 5.22: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 10

Για τη δημιουργία του Σεναρίου 11 χρησιμοποιείται το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 5.23. Το συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιεί όλη τη διαθέσιμη πληροφορία που προκύπτει από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται ως οι πλέον χαλαρές. Το Σενάριο 11 αναδεικνύει αρχικά 174 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 43 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον G.2.6 του Παραρτήματος G. Οι περιοχές που προκύπτουν από το Σενάριο 11, έχουν *δείκτη καταλληλότητας* που κυμαίνεται από 0.6002 έως 0.8673 και καλύπτουν το 31.3% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου.



Σχήμα 5.23: Το Λογικό Διάγραμμα για τη Δημιουργία του Σεναρίου 11

Η συγκεκριμένη διαδικασία που ακολουθήθηκε, απέδειξε ότι το 85% των περιοχών που φαίνονται στον χάρτη 5.14, προκύπτουν και στα υπόλοιπα έξι σενάρια. Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι ικανή για τον χαρακτηρισμό των συγκεκριμένων περιοχών, ως τις πλέον κατάλληλες για τη χωροθέτηση μίας ΜΕΔΑ.

5.6. Συμπεράσματα από την Ανάλυση των Αποτελεσμάτων

Η διαδικασία που ακολουθείται από την προτεινόμενη μεθοδολογία για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, αποδείχτηκε ότι ήταν επαρκής. Αρχικά, αξιολογείται η καταλληλότητα της νήσου Λήμνου για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ, εφαρμόζοντας τέσσερις μεθόδους Πολυκριτηριακής Ανάλυσης για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας. Η στατιστική σύγκριση των τεσσάρων μεθόδων δείχνει ότι υπάρχει πάρα πολύ μεγάλη συσχέτιση των αποτελεσμάτων, το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αρκεί να εφαρμοστεί μία από τις μεθόδους υπολογισμού για τον δείκτη καταλληλότητας. Συγκεκριμένα, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης καταλληλότητας που υπολογίζεται από την εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Μέσου και έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη 5.1.

Ο δείκτης καταλληλότητας αναλύεται από διάφορα επίπεδα επεξεργασίας, ώστε να αναδειχθούν οι πλέον κατάλληλες περιοχές. Χρησιμοποιούνται μέθοδοι Χωρικής Αυτοσυσχέτισης για τον εντοπισμό της συσχέτισης των γειτονικών περιοχών. Τα αποτελέσματα της χωρικής αυτοσυσχέτισης, τόσο σε συνολικό όσο και σε τοπικό επίπεδο, δείχνουν ότι το αποτέλεσμα του δείκτη καταλληλότητας είναι έντονα χωρικά αυτοσυσχετισμένο. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι περιοχές της νήσου Λήμνου, τείνουν να έχουν τιμές του δείκτη καταλληλότητας παρόμοιες με αυτές της χωρικής γειτονιάς τους. Επίσης, χρησιμοποιούνται μέθοδοι Χωρικής Ομαδοποίησης για τον εντοπισμό ομάδων δεδομένων που εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά.

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται διαδικασία για τον εντοπισμό των πλέον κατάλληλων περιοχών, η οποία βασίζεται σε παραδοχές και αφορούν τα βέλτιστα χωρικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να εμφανίζουν οι περιοχές, για τη χωροθέτηση μιας ΜΕΔΑ. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι οι πλέον κατάλληλες περιοχές, είναι εκείνες οι οποίες προκύπτουν από τη χωρική τομή των περιοχών που ανήκουν στο 20% της αθροιστικής συχνότητας των υψηλότερων τιμών των *G-Statistics* και των περιοχών που ανήκουν στην ομάδα με κεντροειδές 0.8164 της μεθόδου *Fuzzy C-Means*. Η συγκεκριμένη διαδικασία αναδεικνύει αρχικά 158 διακριτές περιοχές, ενώ μετά την εφαρμογή του κριτηρίου ελάχιστης έκτασης προκύπτουν οι 28 διακριτές περιοχές που φαίνονται στον χάρτη 5.14. Οι συγκεκριμένες περιοχές, έχουν τιμές του δείκτη καταλληλότητας από 0.7936 έως 0.8673 και καλύπτουν το 9.7% επί του συνόλου της έκτασης της νήσου. Οι περιοχές που φαίνονται στον χάρτη 5.14 αξιολογούνται από την προτεινόμενη μεθοδολογία ως οι πλέον κατάλληλες. Μετά από επιτόπια έρευνα στις συγκεκριμένες περιοχές, θα εντοπιστούν και θα οριοθετηθούν οι κατάλληλες θέσεις για τη χωροθέτηση της ΜΕΔΑ.

Το τελευταίο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η *ανάλυση ευαισθησίας*, ώστε να διερευνηθεί αν κάποια πιθανή αλλαγή των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα. Λόγω της πολυπλοκότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας, επιλέγεται η *ανάλυση ευαισθησίας* να περιοριστεί στους *δείκτες καταλληλότητας* και στις ευρύτερα κατάλληλες περιοχές, δηλαδή στα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Τέλος, επιλέγεται η *ανάλυση ευαισθησίας*, να εκτελεστεί με τη βοήθεια ακραίων εναλλακτικών σεναρίων.

Αρχικά, δημιουργούνται εναλλακτικά σενάρια υπολογισμού του *δείκτη καταλληλότητας*, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του *Σταθμισμένου Μέσου*. Οι συντελεστές βαρύτητας που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των εναλλακτικών σεναρίων, διαφέρουν κατά 60% από εκείνους που χρησιμοποιούνται στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Στον πίνακα 5.6, φαίνονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των εναλλακτικών σεναρίων και είναι φανερό ότι υπάρχει πάρα πολύ μεγάλη συσχέτιση, σε τέτοιο βαθμό που να υποδεικνύει ότι τα εναλλακτικά σενάρια ουσιαστικά ταυτίζονται. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται μέθοδοι *χωρικής αυτοσυσχέτισης* και *χωρικής ομαδοποίησης*, για την ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Στον πίνακα 5.8, φαίνονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών που προκύπτουν από την εφαρμογή των εναλλακτικών σεναρίων, όπου είναι φανερό ότι υπάρχουν ελάχιστες διαφοροποιήσεις των περιοχών σε σχέση με την ποσοστιαία αλλαγή που έγινε στους συντελεστές βαρύτητας.

Τέλος, εκτελείται *ανάλυση ευαισθησίας* στη διαδικασία ανάδειξης των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Στη συγκεκριμένη διαδικασία, δημιουργούνται ακραία σενάρια καθορισμού των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών, τα οποία χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθόδων *χωρικής αυτοσυσχέτισης* και *χωρικής ομαδοποίησης*. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των εναλλακτικών σεναρίων δείχνουν ότι το 85% των περιοχών που προτείνονται από την παρούσα διατριβή ως οι πλέον κατάλληλες περιοχές για τη χωροθέτηση μιας *ΜΕΔΑ*, βρίσκονται σε όλα τα εναλλακτικά σενάρια.

Η διαδικασία που ακολουθείται από την προτεινόμενη μεθοδολογία, για την ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών, μπορεί να χαρακτηριστεί ως αρκετά πολύπλοκη και πρακτικά ανεφάρμοστη από κάποιον ο οποίος δεν είναι αρκετά εξοικειωμένος με τα θέματα *πολυκριτηριακής* και *χωρικής ανάλυσης*. Τα αποτελέσματα της *ανάλυσης ευαισθησίας*, υποδεικνύουν ότι η χρήση πολλών μεθόδων για τον υπολογισμό κάποιου συγκεκριμένου χωρικού χαρακτηριστικού είναι πλεονασμός, καθώς τα αποτελέσματα διαφέρουν ελάχιστα. Συμπερασματικά, η διαδικασία που προτείνεται από την παρούσα διατριβή, υπολογίζει τον *δείκτη καταλληλότητας* με την εφαρμογή της μεθόδου του *Σταθμισμένου Μέσου* και

θεωρώντας ότι τα τέσσερα κριτήρια απόφασης έχουν την ίδια σημαντικότητα. Επίσης, για την ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών υπολογίζει την *χωρική αυτοσυσχέτιση* του δείκτη *καταλληλότητας* με την εφαρμογή της μεθόδου των *G-Statistics* και τη *χωρική ομαδοποίηση* των περιοχών με την εφαρμογή της μεθόδου *Fuzzy C-Means*. Οι ευρύτερα κατάλληλες περιοχές για τη χωροθέτηση μιας *ΜΕΔΑ*, προκύπτουν από τη *χωρική τομή* των περιοχών οι οποίες ανήκουν στο 20% της αθροιστικής συχνότητας των υψηλότερων τιμών των *G-Statistics* και των περιοχών οι οποίες ανήκουν στην ομάδα με την υψηλότερη τιμή κεντροϊδούς της μεθόδου *Fuzzy C-Means*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, παρουσιάζονται τα μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο *Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων* που δημιουργήθηκε, το οποίο έχει σκοπό την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Το μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται συνδυάζει εργαλεία, μεθόδους και τεχνικές τόσο από την *Γεωπληροφορική* όσο και από την *Πολυκριτηριακή ανάλυση*. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση μιας *ΜΕΔΑ* στην νήσο Λήμνο, υποδεικνύουν ότι περίπου το 9.7% του νησιού θεωρείται ως το πλέον κατάλληλο για τη χωροθέτηση μιας τέτοιας δραστηριότητας. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αναδεικνύει τις πλέον κατάλληλες περιοχές. Οι τελικές προτεινόμενες θέσεις, θα προκύψουν μετά από έρευνα πεδίου και εξέταση όλων των επιμέρους παραμέτρων σε τοπική κλίμακα.

Οι στόχοι που τέθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι σαφείς και θεωρείται ότι τελικά επιτεύχθηκαν. Αρχικά υπάρχει διερεύνηση των υπαρχουσών μεθοδολογιών, με σκοπό την ανεύρεση κενών ή παραλείψεων τους. Στόχος της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικών και αναλυτικών εργαλείων που θα μπορούν να καλύψουν τα κενά των υπαρχουσών μεθοδολογιών. Από την ανασκόπηση της συναφούς βιβλιογραφίας, γίνεται φανερό ότι το αντικείμενο της χωροθέτησης δραστηριοτήτων δεν παρουσιάζει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον, για την ανάπτυξη σύγχρονων μεθοδολογικών εργαλείων. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί οι μεθοδολογίες που εφαρμόζονται, δηλαδή η *Δυαδική Λογική* και η *Ντετερμινιστική Λογική*, είναι αρκετά εύκολες στην εφαρμογή τους. Η προτεινόμενη μεθοδολογία, βασισμένη στα σύγχρονα εργαλεία της *Πολυκριτηριακής ανάλυσης*, αναλύει το πολυσύνθετο πρόβλημα της αξιολόγησης της καταλληλότητας της γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων και τελικά δημιουργεί ένα διάγραμμα ιεραρχικής δομής πέντε επιπέδων. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των εργαλείων της *Γεωπληροφορικής*, σε συνδυασμό με την *Πολυκριτηριακή ανάλυση* και την *Ασαφή Λογική*, υπολογίζεται η καταλληλότητα της περιοχής μελέτης και αναλύεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Για τον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας* της νήσου Λήμνου, δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στα εξής σημεία:

1. Εφαρμογή της *Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης*, για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας σε κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής, με σκοπό την κατά το δυνατόν μικρότερη υποκειμενικότητα των αποφάσεων.
2. Χρήση της θεωρίας των *Ασαφών Συνόλων*, για τη βαθμολόγηση των περιοχών στις χωρικές παραμέτρους.
3. Δημιουργία των χωρικών ή μη-χωρικών παραμέτρων, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένους και πολύπλοκους αλγόριθμους για τον χωρικό καθορισμό τους.
4. Υπολογισμός του *δείκτη καταλληλότητας* με την εφαρμογή των μεθόδων *Σταθμισμένος Μέσος*, *Σταθμισμένο Γινόμενο*, *TOPSIS* και *Συμβιβαστικός Προγραμματισμός*.

Συγκρίνοντας τα σημεία που δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα με αντίστοιχες εφαρμογές που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, μπορούν να γίνουν οι διαπιστώσεις που ακολουθούν. Σε ότι αφορά την ιεραρχική δομή του πολυκριτηριακού προβλήματος, βιβλιογραφικά έχει εφαρμοστεί δομή μέχρι τρία επίπεδα, ενώ στην προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται δομή πέντε επιπέδων. Η *MAI* συνήθως εφαρμόζεται μόνο στο τελικό επίπεδο της ιεραρχικής δομής, αυτό του υπολογισμού του *δείκτη καταλληλότητας*, ενώ στην προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται σε κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής.

Σε ότι αφορά τη χρήση των *Ασαφών Συνόλων* για τη βαθμολόγηση των περιοχών στις χωρικές παραμέτρους, συνήθως εφαρμόζονται κάποιες κοινές γραμμικές *Συναρτήσεις Συμμετοχής*, ενώ στα πλαίσια της προτεινόμενης μεθοδολογίας διερευνήθηκαν και αναπτύχθηκαν πάρα πολλές γραμμικές και μη-γραμμικές *Συναρτήσεις Συμμετοχής*. Συνήθως οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της καταλληλότητας γης, είναι κάποιες κοινές παράμετροι που προέρχονται κυρίως από τους νομικούς περιορισμούς που υπάρχουν. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, για τον χωρικό καθορισμό των παραμέτρων αναπτύχθηκαν εργαλεία με ιδιαίτερες ικανότητες *χωρικής ανάλυσης*. Τέλος, για τον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας*, συνήθως εφαρμόζεται κάποια από τις γνωστές μεθόδους που δίνονται από την *Πολυκριτηριακή ανάλυση*. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκαν τέσσερις μέθοδοι υπολογισμού του *δείκτη καταλληλότητας*, των οποίων τα αποτελέσματα ουσιαστικά ταυτίζονταν.

Επίσης, πολύ μεγάλη βαρύτητα δίνεται στη *χωρική ανάλυση* των αποτελεσμάτων και στην *ανάλυση ευαισθησίας* της μεθοδολογίας. Για το λόγο αυτό, διερευνούνται διάφορες θεωρίες που προέρχονται από την επιστήμη της *Γεωπληροφορικής*. Πρέπει να τονιστεί ότι η

βιβλιογραφική ανασκόπηση σε θέματα αξιολόγησης της καταλληλότητας γης, αναδεικνύει την παντελή έλλειψη ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Οπότε, για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται μέθοδοι *Χωρικής Ανάλυσης* για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα διερευνούνται μέθοδοι *Χωρικής Αυτοσυσχέτισης* και *Χωρικής Ομαδοποίησης*. Βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, φαίνεται ότι τόσο η θεωρία της *Χωρικής Αυτοσυσχέτισης*, όσο και η θεωρία της *Χωρικής Ομαδοποίησης*, δίνουν σημαντικά εργαλεία στη διαδικασία της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης. Πρέπει να τονιστεί ότι, στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι της *Χωρικής Εντροπίας* και ο *Επαναληπτικός Αυτοπροσδιοριζόμενος Αλγόριθμος Ομαδοποίησης*. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι, φαίνεται να δίνουν σημαντικά εργαλεία στη *Χωρική Ανάλυση*, αλλά πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω σε ότι αφορά την αξιοπιστία τους και να κριθούν από την επιστημονική κοινότητα μέσω κάποιου άρθρου σε επιστημονικό περιοδικό.

Βάσει του *δείκτη καταλληλότητας* που υπολογίζεται, αλλά και από τα περαιτέρω επίπεδα επεξεργασίας και ανάλυσης του, εφαρμόζεται μια διαδικασία η οποία βασίζεται στον καθορισμό λογικών κανόνων, για την εύρεση των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών για τη χωροθέτηση μιας *ΜΕΔΑ*. Σε αυτές τις περιοχές που προτείνονται από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, θα πρέπει να υπάρξει έρευνα πεδίου και να εκτελεστεί αξιολόγηση και ιεράρχηση των εναλλακτικών θέσεων, βάσει των τοπικών τους χαρακτηριστικών.

Το τελικό στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η *ανάλυση ευαισθησίας*. Πρέπει να τονιστεί ότι, η *ανάλυση ευαισθησίας* πρέπει να εκτελείται πάντα σε οποιοδήποτε πολυκριτηριακό πρόβλημα. Αυτό γίνεται ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι διάφορες υποκειμενικές κρίσεις που έχουν εισέλθει σε όλα τα στάδια της επίλυσης, δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα. Η ανασκόπηση της συναφούς βιβλιογραφίας, αναδεικνύει ότι σπάνια εκτελείται *ανάλυση ευαισθησίας*, καθώς ελάχιστες εργασίες την έχουν χρησιμοποιήσει στο τελικό στάδιο του *δείκτη καταλληλότητας*.

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, εκτελείται *ανάλυση ευαισθησίας* σε τρία επίπεδα. Στον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας*, όπου η εφαρμογή τεσσάρων μεθόδων *Πολυκριτηριακής Ανάλυσης* υπολογίζει πανομοιότυπα αποτελέσματα. Επίσης, διερευνάται η επίδραση των συντελεστών βαρύτητας στον υπολογισμό του *δείκτη καταλληλότητας*. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά, καθώς η δημιουργία τεσσάρων εναλλακτικών σεναρίων, με μέση μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας κατά 60%, αποδίδει σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα. Τέλος, διερευνάται η ευαισθησία της τεχνικής που εφαρμόζεται για την ανάδειξη των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών. Η διαδικασία που ακολουθείται, δείχνει ότι το

85% των περιοχών που θεωρούνται από την προτεινόμενη μεθοδολογία ως οι πλέον κατάλληλες, προκύπτουν και στα έξι εναλλακτικά σενάρια. Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι ικανή για τον χαρακτηρισμό των περιοχών του χάρτη 5.14, ως τις πλέον κατάλληλες για τη χωροθέτηση μίας ΜΕΔΑ.

Σε κάθε ερευνητική εργασία, ακόμα και σε αυτήν που εκτελείται στα πλαίσια μιας διδακτορικής διατριβής, δεν μπορεί να υποστηριχθεί ότι η έρευνα τελειώνει με την ολοκλήρωση της. Για το λόγο αυτό, στις παραγράφους που ακολουθούν διατυπώνονται αφενός κάποιες παρατηρήσεις που αφορούν την μεθοδολογία που αναπτύσσεται στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής και αφετέρου κάποιες προτάσεις για την εξέλιξη της.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες παρατηρήσεις οι οποίες αφορούν την μεθοδολογία αναπτύχθηκε και έχουν να κάνουν με θέματα τόσο μεθοδολογικής όσο και τεχνολογικής φύσης.

1. Αν χρειαστεί να εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία επιχειρησιακά, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ακρίβεια των δεδομένων. Αυτό είναι εύκολα κατανοητό, καθώς στο μεγαλύτερο τμήμα της είναι χωρική και γνωστό το φαινόμενο *GIGO (Garbage In Garbage Out)*, δηλαδή το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα μεταφέρει σωρευτικά τα σφάλματα των δεδομένων.
2. Για την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος που χρησιμοποιεί την ιεραρχική δομή του σχήματος 3.5, θα πρέπει να γίνει καλύτερη οργάνωση τόσο των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, όσο και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.
3. Θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί το προβολικό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων *ΕΓΣΑ '87* αντί του *UTM 35N* το οποίο χρησιμοποιήθηκε, ώστε τα δεδομένα και τα αποτελέσματα να βρίσκονται στο σύστημα αναφοράς που έχει επικρατήσει στην Ελλάδα.
4. Η χρήση των *Ασαφών Συνόλων* πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Αυτό αφορά τόσο τις *συναρτήσεις συμμετοχής* που χρησιμοποιούνται, όσο και τις παραμέτρους τους που πρέπει να οριστούν. Κατά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, ο καθορισμός των *συναρτήσεων συμμετοχής* και των παραμέτρους τους βασίζεται κυρίως στη νομοθεσία, στη βιβλιογραφία και στην εμπειρία του συγγραφέα της παρούσας διατριβής. Κατά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε ερευνητικό επίπεδο μέσω

άρθρων και διπλωματικών εργασιών, εκτελέστηκε *ανάλυση ευαισθησίας* στη χρήση των *Ασαφών Συνόλων*. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι το τελικό αποτέλεσμα του *δείκτη καταλληλότητας* ελάχιστα επηρεάζεται από κάποια αλλαγή στη *συνάρτηση συμμετοχής* ή στις παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται. Όμως για να θεωρηθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία ολοκληρωμένη, πρέπει να εκτελεστεί *ανάλυση ευαισθησίας* στον καθορισμό όλων των χωρικών παραμέτρων.

5. Μια βασική παρατήρηση που αφορά το μεθοδολογικό πλαίσιο, είναι η στατιστική σημαντικότητα. Πιο συγκεκριμένα, στη διαδικασία της *ανάλυσης ευαισθησίας*, για τον έλεγχο της συνάφειας των εναλλακτικών σεναρίων χρησιμοποιείται ο *Συντελεστής Συσχέτισης*. Παρόλο που τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου δείκτη είναι εντυπωσιακά, δεν υπάρχει κάποιο μέτρο που να δείχνει τη σχέση μεταξύ της μεταβολής που υπάρχει στα αρχικά δεδομένα και την αντίστοιχη μεταβολή των αποτελεσμάτων. Οπότε, για να εξασφαλιστεί η συνάφεια των εναλλακτικών σεναρίων, πρέπει να δημιουργηθούν πάρα πολλά εναλλακτικά σενάρια και στη συνέχεια υπολογισμός του *Συντελεστή Συσχέτισης* τους. Η προσέγγιση που επιλέγεται στην προτεινόμενη μεθοδολογία, είναι η σύγκριση με σενάρια ακραίων τιμών.
6. Στην τεχνική που εφαρμόζεται για την εύρεση των ευρύτερα κατάλληλων περιοχών, χρησιμοποιούνται κάποιες τιμές-κατώφλια για τον χαρακτηρισμό των κατάλληλων περιοχών, οι οποίες προέρχονται από *ποσοτική ταξινόμηση*. Αυτό δεν επηρεάζει την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αλλά πρέπει να εφαρμοστεί σε κάποια άλλα δεδομένα, τα κατώφλια θα πρέπει είναι διαφορετικά. Για το λόγο αυτό, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως κατώφλι κάποιο στατιστικό μέγεθος όπως η διασπορά των τιμών, ώστε να εξασφαλιστεί η γενίκευση των κανόνων.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες προτάσεις για την εξέλιξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

1. Πρέπει να διερευνηθεί η χρήση αντικειμενοστραφών βάσεων γεωγραφικών δεδομένων (*Geodatabase*), για την καλύτερη οργάνωση και διαχείριση των χωρικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.
2. Θα μπορούσε εντός των πλαισίων του ΧΣΥΛΑ, να δημιουργηθεί μια διαδραστική εφαρμογή για τον καθορισμό της ιεραρχικής δομής του προβλήματος και την επίλυση του.

3. Για την επίτευξη των προηγούμενων δύο προτάσεων, μπορεί να αναπτυχθεί μοντέλο στην *Ενοποιημένη Γλώσσα Μοντελοποίησης (Unified Modeling Language - UML)*.
4. Ο χωρικός καθορισμός των παραμέτρων οι οποίες χρησιμοποιούνται, θα μπορούσε να έχει καλύτερη χωρική ακρίβεια και καλύτερη προσομοίωση των συνθηκών. Για παράδειγμα, στον χωρικό καθορισμό της παραμέτρου “Πληθυσμός” που δημιουργείται βάσει του σχήματος 4.20, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η πληθυσμιακή πυκνότητα των οικισμών αντί της απόλυτης τιμής του πληθυσμού, ενώ ως επίπεδο χωρικής αναφοράς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων. Επίσης, στον χωρικό καθορισμό της παραμέτρου “Απόσταση από Αεροδρόμιο” που δημιουργείται βάσει του σχήματος 4.21, θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη η απόσταση από τον αεροδιάδρομο αντί της ευθείας απόστασης από το αεροδρόμιο. Επίσης, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν επιπλέον κριτήρια τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη διαδικασία της αξιολόγησης της καταλληλότητας γης για τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η απόσταση από το δίκτυο των ηλεκτροφόρων γραμμών μπορεί να μειώσει αρκετά το κόστος κατασκευής μιας ΜΕΔΑ, ενώ το πλήθος των διελεύσεων των απορριμματοφόρων από τα χωριά μπορεί να ενισχύσει τις αντιδράσεις των τοπικών κοινωνιών.
5. Θα μπορούσαν να διερευνηθούν και να εφαρμοστούν και άλλες μέθοδοι *Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και Ασαφούς Λογικής*.
7. Μια πρόταση που αφορά τη χρήση των *Ασαφών Συνόλων*, έχει να κάνει με τη γενίκευση της. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε διάφορα σημεία της παρούσας διατριβής, η προτεινόμενη μεθοδολογία εξαρτάται από την περιοχή μελέτης που εφαρμόζεται (*case sensitive*). Οπότε, όταν πρέπει να εφαρμοστεί σε κάποια άλλη περιοχή μελέτης ή για κάποια άλλη οχλούσα δραστηριότητα, οι παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν δε θα είναι οι ίδιες. Μια πρόταση για τη γενίκευση της μεθοδολογίας, είναι να μην καθορίζονται άμεσα οι τιμές των παραμέτρων των *συναρτήσεων συμμετοχής* (εκτός αν προκύπτουν από τη νομοθεσία), αλλά οι τιμές-κατώφλια να προκύπτουν έμμεσα από κάποιο στατιστικό μέγεθος όπως η μέση τιμή, η διασπορά των τιμών κλπ.
6. Πρέπει να εκτελεστεί *ανάλυση της χωρικής ευαισθησίας* της μεθοδολογίας, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της χωρικής κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα, αντί των 100 μέτρων που έχει χρησιμοποιηθεί ως μέγεθος κελιού, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν άλλα μεγέθη μεγαλύτερα και μικρότερα, ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο μεταβάλλονται τα τελικά αποτελέσματα.

7. Πρέπει να εκτελεστεί *ανάλυση ευαισθησίας*, σε κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής του πολυκριτηριακού προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση τόσο των *συναρτήσεων συμμετοχής* και των παραμέτρων τους, όσο και των συντελεστών βαρύτητας.
8. Το ΧΣΥΛΑ έχει αναπτυχθεί ως αυτόνομη εφαρμογή στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Visual Basic 6, αλλά για να μπορέσει να λειτουργήσει χρειάζεται να είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή το ΣΓΠ ArcGIS 9.2. Για τον λόγο αυτό, θα μπορούσε να διερευνηθεί η ανάπτυξη του ΧΣΥΛΑ σε κάποιο άλλο προγραμματιστικό περιβάλλον όπως αυτό της C++ ή της Java, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιήσουν ΣΓΠ ανοικτού κώδικα (open source).

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι απλά ένα εργαλείο στα χέρια των συμμετεχόντων στη διαδικασία της χωροθέτησης μιας οχλούσας δραστηριότητας. Η τελική απόφαση για την επιλογή του χώρου είναι πολιτική και επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις τοπικές κοινωνίες, ωστόσο τα επιστημονικά αποτελέσματα που προκύπτουν θα πρέπει να επηρεάσουν την τελική απόφαση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ελληνική):

Ανδρεαδάκης Σ., 1982. *Γραμμική Άλγεβρα*. Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, Κοινοτική Οδηγία 79/409/ΕΟΚ, ΕΕ L 103/25-04-1979/1-26, 1979.
Περί της Διατηρήσεως των Αγρίων Πτηνών.

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, Κοινοτική Οδηγία 91/156/ΕΟΚ, ΕΕ L 078/26-03-1991/0032-0037,
1991. *Περί των Στερεών Αποβλήτων.*

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, Κοινοτική Οδηγία 99/31/ΕΚ, ΕΕ L 182/16-07-1999/0001-0019, 1999.
Περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων.

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, Κοινοτική Οδηγία 06/12/ΕΚ, ΕΕ L 114/27-04-2006/0009-0021, 2006.
Περί των Στερεών Αποβλήτων.

Καλλέργης Γ.Α., 2001. *Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία*. Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., 2^η Έκδοση, Αθήνα.

Κοινή Υπουργική Απόφαση Ε1β/301/64, ΦΕΚ 63/Β/14-02-1964, 1964. *Περί Συλλογής, Αποκομιδής και Διαθέσεως Απορριμμάτων.*

Κοινή Υπουργική Απόφαση 49541/1424/86, ΦΕΚ 444/Β/09-08-1986, 1986. *Στερεά Απόβλητα σε Συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15^{ης} Ιουλίου 1975*. Αντικαταστάθηκε από την ΚΥΑ 69728/96.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 69269/5387/90, ΦΕΚ 678/Β/25-10-1990, 1990. *Κατάταξη Έργων και Δραστηριοτήτων σε Κατηγορίες, Περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), Καθορισμός Περιεχομένου Ειδικών Περιβαλλοντικών Μελετών (ΕΠΜ) και Λοιπές Συναφείς Διατάξεις, Σύμφωνα με το Ν. 1650/1986.*

Κοινή Υπουργική Απόφαση 69728/824/96, ΦΕΚ 358/Β/17-05-1996, 1996. *Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων*. Καταργήθηκε.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/97, ΦΕΚ 1016/Β/17-11-1997, 1997. *Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων.*

Κοινή Υπουργική Απόφαση 113944/97, ΦΕΚ 1016/Β/17-11-1997, 1997. *Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Γενικές Κατευθύνσεις της Πολιτικής Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων)*. Καταργήθηκε.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 29407/3508/02, ΦΕΚ 1572/Β/16-12-2002, 2002. *Μέτρα και Όροι για την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων*.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 50910/2727/03, ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003, 2003. *Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης*.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 4641/232/06, ΦΕΚ 168/Β/13-02-2006, 2006. *Καθορισμός Τεχνικών Προδιαγραφών Μικρών Χώρων Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων σε Νησιά και Απομονωμένους Οικισμούς, Κατ' Εφαρμογή του Άρθρου 3 (παρ. 4) σε Συνδυασμό με το Άρθρο 20 (Παράρτημα Ι) της υπ' αριθμ. 29407/3508/2002 Κοινή Υπουργική Απόφαση «Μέτρα και Όροι για την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων» (Β' 1572)*.

Κοντός Θ., 1998. *Ανάδειξη Ευρύτερων Περιοχών για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ στην Νήσο Λήμνο*. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Κοντός Θ. και Χαλβαδάκης Κ., 2002. *Δημιουργία Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την Αξιολόγηση Περιοχών με Σκοπό τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση της Νήσου Λήμνου*. 7^ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας: Νησιωτική Χαρτογραφία της Χαρτογραφικής Επιστημονικής Εταιρείας Ελλάδας, Μυτιλήνη, Οκτώβριος.

Κοντός Θ., Χαλβαδάκης Κ. και Σουλακέλλης Ν., 2004. *Δημιουργία Ολοκληρωμένου Χωρικού Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση της Νήσου Λήμνου*. 7^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη, Οκτώβριος.

Μανδουλός Χ.Ν., Χατζηαντωνίου Α., Μπαλής Μ., Κοντός Θ., Ακριώτης Δ. και Χαλβαδάκης Κ.Π., 1998. *Αποκατάσταση Ανεξέλεγκτων Χώρων Διάθεσης Απορριμμάτων Ν. Λήμνου*. Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων, Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου / Σύνδεσμος 11ης Εδαφικής Περιφέρειας Λέσβου (ν. Λήμνου), Μυτιλήνη, Νοέμβριος.

- Μπαλής Μ., Μανδουλάς Χ., Κοντός Θ. και Χαλβαδάκης Κ.Π., 1998. *Καθορισμός Κατάλληλων Χώρων Υγειονομικής Ταφής Στερεών Αποβλήτων στην Νήσο Λήμνο*. Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων, Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου / Σύνδεσμος 11ης Εδαφικής Περιφέρειας Λέσβου (ν. Λήμνου), Μυτιλήνη, Δεκέμβριος.
- Μπαλής Μ., Μανδουλάς Χ., Κοντός Θ., Χαλβαδάκης Κ., 1999. *Μεθοδολογία Χωροθέτησης Μονάδων Εδαφικής Διάθεσης Απορριμμάτων (Περίπτωση Νήσου Λέσβου)*. 6^ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας, Πυθαγόρειο, Σάμος, Τόμος Γ, 100-109.
- Μπόζης Γ., 1974. *Γενικά Μαθηματικά Ι*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Προεδρικό Διάταγμα 1650/86, ΦΕΚ 160/Α/16-10-1986, 1986. *Για την Προστασία του Περιβάλλοντος*.
- Στεφάνου Π., 1988. *Ποσοτικές Μέθοδοι Ι*. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Τρούμπης Α., Μπαλής Μ, Βάσιος Γ. και Κοντός Θ., 2005. *Προσδιορισμός Κριτηρίων Συγκριτικής Αξιολόγησης των Θέσεων Χωροθέτησης της Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ΔΕΗ Λέσβου*. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου / Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λέσβου, Μυτιλήνη, Λέσβος, Σεπτέμβριος.
- Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.), Δ3/Β/26901/6554, 2006. *Κανονισμός για τη Μείωση της Απειλής Προσκρούσεων Πτηνών και Ζώων σε Αεροσκάφη Πολιτικής Αεροπορίας*.
- Υπουργείο Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης (ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α.), Ν. 2539/1997, ΦΕΚ 244/Α/4-12-1997, 1997. *Πρόγραμμα «Ι. Καποδίστριας» - Συγκρότηση της Πρωτοβάθμιας Αυτοδιοίκησης*.
- Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας (ΥΠ.ΕΘ.Ο.), 2000. *Έκθεση για την Παρούσα Κατάσταση της Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα*. Αθήνα.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.), Ν. 26297/2003, ΦΕΚ 1473/Β/9-10-2003, 2003. *Έγκριση Περιφερειακού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου*.

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.), 2005. *Προώθηση Έργων Αποκατάστασης στους Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων*. Τελική Έκθεσης της Ομάδας Εργασίας, Αθήνα.

Υπουργείο Πολιτισμού (ΥΠ.ΠΟ.), ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/47043/2916, ΦΕΚ 1070/Β/4-12-1997, 1997. *Κήρυξη της περιοχής Διαπορίου-Τροχαλιάς-Κάστρου-Αλεξόπουργου-Πολιόχνης Λιβαδοχωρίου-Κορνού Αγ. Δημητρίου-Παλαιόκαστρου, Λήμνου, ως αρχαιολογικού χώρου*.

Χατζόπουλος Ι.Ν., 2006. *Τοπογραφία*. Β. Γκιούρδας Εκδοτική, Αθήνα.

Χαλβαδάκης Κ.Π., Αλιβάνης Κ., Ιατρέλης Ι., Καλδέλλης Α., Μαζιώτης Β. και Μάντζαρης Δ., 1989. *Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων Νήσου Λήμνου: 1989-2008 - Πρώτη Φάση*. Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου και ΒΙΟΣΦΑΙΡΙΚΗ Ο.Ε. / Νομαρχία Λέσβου, Μυτιλήνη, Αύγουστος.

Χαλβαδάκης Κ.Π., Μαστρογιάννης Α., Καλδέλλης Α., Μαζιώτης Β., Βαμβουρέλλης Γ. και Μάντζαρης Δ., 1990α. *Χώρος Υγειονομικής Ταφής "ΒΙΓΛΑ" Νήσου Λήμνου - Οριστική Μελέτη*. Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου και ΒΙΟΣΦΑΙΡΙΚΗ Ο.Ε. / Νομαρχία Λέσβου, Μυτιλήνη, Αύγουστος.

Χαλβαδάκης Κ.Π., Μαστρογιάννης Α., Καλδέλλης Α., Μάντζαρης Δ. και Μπαλής Μ., 1990β. *Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Νήσου Λήμνου - Συλλογή / Μεταφορά - Οριστική Μελέτη*. Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου και ΒΙΟΣΦΑΙΡΙΚΗ Ο.Ε. / Νομαρχία Λέσβου, Μυτιλήνη, Δεκέμβρης.

Χαλβαδάκης Κ.Π., 1998. *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*. Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής και Επιστήμης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ξενόγλωσση):

- Al-Bakri D., Shublaq W., Kittaneh W. and Al-Sheikh Z., 1988. Site Selection of a Waste Disposal Facility in Kuwait, Arabian Gulf. *Waste Management and Research*, **6**, 363-377.
- Al-Jarrah O. and Abu-Qdais H., 2006. Municipal Solid Waste Landfill Siting Using Intelligent System. *Waste Management*, **26**, 299-306.
- Al-Yaqout A.F., Koushki P.A. and Hamoda M.F., 2002. Public Opinion and Siting Solid Waste Landfills in Kuwait. *Resources, Conservation and Recycling*, **35**, 215-227.
- Allen A., Brito G., Caetano P., Costa C., Cummins V., Donnelly J., Fernades C., Koukoulas S., O'Donnell V., Robalo C. and Vendas D., 2002. *Procedure for the Location of Landfill Sites using a GIS Model*. 9th Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, Durban, South Africa.
- Aldstadt J. and Getis A., 2002. *Point Pattern Analysis in an ArcGIS Environment*. Proceedings of the Center for Spatially Integrated Social Sciences (CSISS): "New Tools for Spatial Data Analysis", Santa Barbara, California, USA.
- Alexiou E., Kontos Th. and Halvadakis C., 2005. *Fuzzy GIS-Based Multiple Criteria Analysis Methodology for MSW Landfill Risk Assessment*. Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology, GNEST, Rhodes, Greece, September.
- Alexiou E., Kontos Th. and Halvadakis C., 2005. *Risk Assessment of MSW Landfill with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology*. Proceedings of the IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development, IASME Transactions, 3(2), 464–469, Athens, July.
- Alexiou E., Kontos Th. and Halvadakis C., 2005. *Risk Assessment of MSW Landfill using a Fuzzy GIS-Based Decision Support System*. Proceedings of the 12th International Symposium on Toxicity Assessment, Skiathos, June.

- Anselin L., 1993. *The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability and Spatial Association*. Paper presented at the GISDATA Specialist Meeting on GIS and Spatial Analysis, Amsterdam, The Netherlands (West Virginia University, Regional Research Institute, Research Paper 9330).
- Anselin L., 1995. Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis*, **27(2)**, 93-115.
- Baban S.M.J and Parry T., 2001. Developing and Applying a GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms in the UK. *Renewable Energy*, **24**, 59-71.
- Bagchi A., 1990. *Design, Construction and Monitoring of Sanitary Landfill*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Ball G.H. and Hall D.J., 1967. *A Novel Method of Data Analysis and Pattern Classification*. Stanford Research Institute, Menlo Park, CA, USA.
- Banai R., 1989. A New Method for Site Suitability Analysis: The Analytic Hierarchy Process. *Environmental Management*, **13(6)**, 685-693.
- Banai R., 1993. Fuzziness in Geographic Information Systems: Contributions from the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Geographical Information Systems*, **7**, 315-329.
- Bao S., 1998. *Exploratory Spatial Data Analysis with Multilayer Information*. Presented at the Workshop: Community based GIS Education Project, Center for Environmental Information Technology and Application, East Michigan University, USA.
- Basnet B.B., Apan A.A. and Raine S.R., 2001. Selecting Suitable Sites for Animal Waste Application Using a Raster GIS. *Environmental Management*, **28(4)**, 519-531.
- Bevington P. and Robinson D.K., 1992. *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. McGraw-Hill, New York.
- Bezdek J.C., 1981. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, NY, USA.

- Bezdek J.C., Ehrlich R. and Full W., 1984. FCM: The Fuzzy C-Means Clustering Algorithm. *Computers and Geosciences*, **10**, 191-203.
- Bezdek J.C., 1992. *Fuzzy Models for Pattern Recognition*. IEEE Press.
- Bonham-Carter G.F., 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists*. Pergamon (Elsevier Science Ltd.), USA.
- Briassoulis H. and Installe M., 1996. An Integrated, Multistage, Multicriteria Methodology for Siting Hazardous Waste Management Facilities: Theoretical Framework and Illustrative Application. *Journal of Resource Management and Technology*, **23(3)**, 155-172.
- Burkart R., 1994. Consensus Oriented Public Relations as a Solution to the Landfill Conflict. *Waste Management and Research*, **12**, 223-232.
- Calijuri M.L., Marques E.T., Lorentz J.F., Azevedo R.F. and Carvalho C.A.B., 2004. Multicriteria Analysis for the Identification of Waste Disposal Areas. *Geotechnical and Geological Engineering*, **22**, 299-312.
- Chang NB., Parvathinathan G. and Breeden J.B., 2007. Combining GIS with Fuzzy Multicriteria Decision-Making for Landfill Siting in a Fast-Growth Urban Region. *Journal of Environmental Management* (article in press, DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.01.011).
- Charnpratheep K., Zhou Q. and Garner B., 1997. Preliminary Landfill Site Screening using Fuzzy Geographical Information Systems. *Waste Management and Research*, **15**, 197-215.
- Chen K., Blong R. and Jacobson C., 2001. MCE-RISK: Integrating Multicriteria Evaluation and GIS for Risk Decision-Making in Natural Hazards. *Environmental Modelling & Software*, **16(4)**, 387-397.
- Cheng S., Chan W. and Huang G.H., 2003. An Integrated Multi-Criteria Decision Analysis and Inexact Mixed Integer Linear Programming Approach for Solid Waste Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **16(5-6)**, 543-554.

- Despotakis V.K. and Economopoulos A.P., 2007. A GIS Model for Landfill Siting. *Global NEST Journal*, **9(1)**, 29-34.
- Domenico P.A. and Schwartz F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Dörhöfer G. and Siebert H. 1998. The Search for Landfill Sites – Requirements and Implementation in Lower Saxony, Germany. *Environmental Geology*, **35(1)**, 55-65.
- Dugger B., 1997. *Utilizing Geographic Information Systems for Assessment of Environmental Impacts of Solid Waste Disposal Sites in Northern and Central Thailand*. 1997 ESRI International User Conference.
- Ehler G., Cowen D. and Mackey H., 1995. *Design and Implementation of a Spatial Decision Support System for Site Selection*. 1995 ESRI International User Conference.
- E.S.R.I., 1990. *Understanding GIS*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California.
- E.S.R.I., 1992a. *Surface Analysis with TIN*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California.
- E.S.R.I., 1992b. *Cell-based Modeling with GRID*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California.
- Ester M., Kriegel H.P., Sander J. and Xu X., 1996. *A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise*. Presented at the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '96), Menlo Park, CA, USA, pp. 226-231, AAAI Press.
- Expert Choise™, 1990. Version 9.0. *Decision Support Software, Tutorial*. Expert Choise Inc. 4922 Ellsworth Ave, Pittsburgh, PA.
- Federal Aviation Administration (FAA), 150/5200-34A/26-12-2006, 2006. *Construction or Establishment of Landfills near Public Airports*.

- Feick R. and Hall B., 1999. Consensus-Building in a Multi-Participant Spatial Decision Support System. *Urban and Regional Information Systems Association (URISA) Journal*, **11(2)**, 17-23.
- Frantzis I., 1993. Methodology for Municipal Landfill Sites Selection. *Waste Management and Research*, **11**, 441-451.
- Gebhardt K. and Jankowski J., 1987. Preliminary Landfill Siting and Related Analysis Using Simple Modelling Techniques. *Engineering Geology*, **23**, 291-306.
- Gemitzi A., Tsihrintzis V.A., Christou O. and Petalas C., 2007a. Use of GIS in Siting Stabilization Pond Facilities for Domestic Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Management*, **82**, 155-166.
- Gemitzi A., Tsihrintzis V.A., Voudrias E., Petalas C. and Stavrodimos G., 2007b. Combining Geographic Information System, Multicriteria Evaluation Techniques and Fuzzy Logic in Siting MSW Landfills. *Environmental Geology*, **51**, 797-811.
- Getis A. and Ord J.K., 1992. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, **24(3)**, 189-206.
- Goodchild M.F., 1986. *Spatial Autocorrelation*. Norwich, UK, GeoBooks.
- Goodchild M., Parks B., Steyaert L., 1993. *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press, New York.
- Goodchild M.F., 2004. GIScience, Geography, Form, and Process. *Annals of the Association of American Geographers*, **94(4)**, 709-714.
- Halvadakis C., 1993. Municipal Solid Waste Landfill Siting in Greece - The Case of the Greater Hania Region, Greece. *Ekistics*, **358-359**, 45-52.
- Herzog M., 1999. *Suitability Analysis Decision Support System for Landfill Siting (and other purposes)*. 1999 ESRI International User Conference.

- Hwang C.L. and Yoon K., 1981. *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer, Berlin.
- Jahanshahloo G.R., Hosseinzadeh F. and Izadikhah M., 2006(a). An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval. *Applied Mathematics and Computation*, **175(2)**, 1375-1384.
- Jahanshahloo G.R., Hosseinzadeh F. and Izadikhah M., 2006(b). Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data. *Applied Mathematics and Computation*, **181(2)**, 1544-1551.
- Jensen J.R. and Christensen E.J., 1986. Solid and Hazardous Waste Disposal Site Selection Using Digital Geographic Information System Techniques. *The Science of the Total Environment*, **56**, 265-276.
- Jiang H. and Eastman J.R., 2000. Application of Fuzzy Measures in Multicriteria Evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, **14(2)**, 173-184.
- Jun C., 2000. Design of an Intelligent Geographic Information System for Multi-Criteria Site Analysis. *Urban and Regional Information Systems Association (URISA) Journal*, **13(3)**.
- Kao J.J., 1996. A Raster Based C Program for Siting a Landfill with Optimal Compactness. *Computers and Geosciences*, **22(8)**, 837-847.
- Kao J.J. and Lin H.Y., 1996. Multifactor Spatial Analysis for Landfill Siting. *Journal of Environmental Engineering*, **122(10)**, 902-908.
- Kao J.J., Lin H.Y. and Chen W.Y., 1997. Network Geographic Information System for Landfill Siting. *Waste Management and Research*, **15**, 239-253.
- Karkazi A., Hatzichristos T., Mavropoulos A., Emmanouilidou B., Elseoud A., 2001. *Landfill Siting using GIS and Fuzzy Logic*. 8th International Landfill Symposium, Sardinia, Italy.
- Kontos Th., Komilis D. and Halvadakis C., 2003. Siting MSW Landfills in Lesvos Island with a GIS-based Methodology. *Waste Management and Research*, **21(3)**, 262-277.

- Kontos Th., Komilis D. and Halvadakis C., 2005. Siting MSW Landfills with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology. *Waste Management*, **25**, 818-832.
- Kontos Th. and Halvadakis C., 2007. A Fuzzy Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology for Municipal Solid Waste Landfill Siting, *Journal of Environmental Management* (JEMA-D-07-00352, under review).
- Kloppenborg S.Ch., Brandt U.K., Gulis G. and Ejstrud B. Risk of congenital anomalies in the vicinity of waste landfills in Denmark; an epidemiological study using GIS. *Central European Journal of Public Health*. **13 (3)**, 137-143.
- Kuhn R.G. and Ballard K.R., 1998. Canadian Innovations in Siting Hazardous Waste Management Facilities. *Environmental Management*, **22(4)**, 533-545.
- Lee G. and Jones-Lee A., 1994. Addressing Justifiable NIMBY: A Prescription for MSW Management. *Environmental Management Review*, US Government Institutes, Rockville No 31, First Quarter, 115-138.
- Lin HY. and Kao JJ., 1998. A Vector Based Spatial Model for Landfill Siting. *Journal of Hazardous Materials*, **58**, 3-14.
- Lin HY. and Kao JJ., 1999. Enhanced Spatial Model for Landfill Siting Analysis. *Journal of Environmental Engineering*, **125(9)**, 845-851.
- Lukasheh A.F., Droste R.L. and Warith M.A., 2001. Review of Expert System (ES), Geographic Information System (GIS), Decision Support System (DSS) and their Applications in Landfill Design and Management. *Waste Management and Research*. **19**, 177-185.
- MacQueen J.B., 1967. *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations*. Presented at the 5th Berkley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume I: Statistics, pp. 281-297.
- Mahini A.S. and Gholamalifard, 2006. Siting MSW Landfills with a Weighted Linear Combination Methodology in a GIS Environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **3(4)**, 435-445.

- Mahler C.F. and De Lima G.S.A., 2003. Applying Value Analysis and Fuzzy Logic to Select Areas for Installing Waste Fills. *Environmental Monitoring and Assessment*, **84**, 129-140.
- Mantel N., 1967. The Detection of Disease Clustering and a Generalized Regression Approach. *Cancer Research*, **27**, 209-229.
- Malczewski J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Malczewski J., 2006. GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature. *International Journal of Geographical Information Science*, **20(7)**, 703-726.
- Mavropoulos A., 2000. Large Steps Forward. *ISWA Times*, **3**, 20-23.
- McBean E., Rovers F. and Farquhar G., 1995. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.
- McBratney A. and Odeh I., 1997. Application of Fuzzy Sets in Soil Science: Fuzzy Logic, Fuzzy Measurements and Fuzzy Decisions. *Geoderma*, **77**, 85-113.
- Merkhofer M., Conway R. and Anderson R., 1997. Multiattribute Utility Analysis as a Framework for Public Participation in Siting a Hazardous Waste Management Facility. *Environmental Management*, **21(6)**, 831-839.
- Minor S.D. and Jacobs T.L., 1994. Optimal Land Allocation for Solid and Hazardous Waste Landfill Siting. *Journal of Environmental Engineering*, **120(5)**, 1095-1108.
- Miranda M.L., Miller J.N. and Jacobs T.L., 2000. Talking Trash about Landfills: Using Quantitative Scoring Schemes in Landfill Siting Processes. *Journal of Policy Analysis and Management*, **19(1)**, 3-22.
- Moran P., 1950. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, **37(1)**, 17-23.
- Noble G., 1992. *Siting Landfills and Other LULU's*. Technomic Publishing Co: Lancaster.

- Olson D.L., 2004. Comparison of weights in TOPSIS models. *Mathematical and Computer Modelling*, **40(7-8)**, 721-727.
- Or I. and Akgül M., 1994. An Optimization Approach for Locating a Hazardous Waste Disposal Facility in Istanbul Province. *Waste Management and Research*, **12**, 495-506.
- Ord J.K. and Getis A., 1995. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, **27(4)**, 286-306.
- Ord J.K. and Getis A., 2001. Testing for Local Spatial Autocorrelation in the Presence of Global Autocorrelation. *Journal of Regional Science*, **41(3)**, 411-432.
- Patil M.P., Subramani T., Patil S.A. and Chakrabarti T., 2002. Multi-Level Screening of a Proposed Hazardous Waste Treatment and Disposal Facility Site – A Case Study. *Environmental Monitoring and Assessment*, **76**, 299-309.
- Robinson V.B., 2003. A Perspective on the Fundamentals of Fuzzy Sets and their Use in Geographic Information Systems. *Transactions in GIS*, **7(1)**, 3-30.
- Saaty T., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Sadek S., El-Fadel M. and Freiha F., 2006. Compliance Factors within a GIS-Based Framework for Landfill Siting. *International Journal of Environmental Studies*, **63(1)**, 71-86.
- Saxena A.K., Gupta Y. and Priyesh B.D., 1996. Environmental Impact Assessment Study for the Selection of Sites for Developing a Hazardous Waste Disposal Facility – A Case Study. *Journal of Resource Management and Technology*, **23(3)**, 149-154.
- Sener B., Süzen M.L. and Doyuran V., 2006. Landfill Site Selection by Using Geographic Information Systems. *Environmental Geology*, **49**, 376-388.
- Shannon C.E., 1948. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423.

- Siddiqui M., Everett J. and Vieux B., 1996. Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration. *Journal of Environmental Engineering*, **122(6)**, 515-523.
- Sprague R.H. and Carlson E.D., 1982. *Building Effective Decision Support Systems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey.
- Tasaki T., Kawahata T., Osako M., Matsui Y., Takagishi S., Morita A. and Akishima S., 2007. A GIS-Based Zoning of Illegal Dumping Potential for Efficient Surveillance. *Waste Management*, **27**, 256-267.
- Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S.A., 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, New York.
- Thorburn W.M., 1918. The Myth of Occam's Razor. *Mind*, **27(107)**, 345-353.
- Tkach R. and Simonovic S., 1997. A New Approach to Multi-Criteria Decision Making in Water Resources. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, **1(1)**, 25-43.
- Tobler W.R., 1970. A computer model simulation of urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, **46(2)**, 234-240.
- Triantaphyllou E. and Mann S, 1994. A Computational Evaluation of the Original and Revised Analytic Hierarchy Process. *Computers and Industrial Engineering*, **26(3)**, 609-618.
- Triantaphyllou E. and Mann S., 1995. Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, **2(1)**, 35-44.
- Vatalis K. and Manoliadis O., 2002. A Two-Level Multicriteria DSS for Landfill Site Selection Using GIS: Case Study in Western Macedonia, Greece. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, **6(1)**, 49-56.
- Vasiloglou V.C., 2004. New Tool for Landfill Location. *Waste Management and Research*, **22**, 427-439.

- Wang W., Yang J. and Muntz R., 1997. *STING: A Statistical Information Grid Approach to Spatial Data Mining*. Presented at the 23rd International Conference on Very Large Data Bases. Athens, Greece, pp. 186-195, Morgan Kaufmann Publishers.
- Yagoub M. and Buyong T., 1998. *GIS Applications for Dumping Site Selection*. 1998 ESRI International User Conference.
- Yoon K. and Hwang C.L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Sage Publications Inc., London.
- Yu P.L., 1973. A Class of Solutions for Group Decision Problems. *Management Science*, **19**, 936–946.
- Zadeh L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, **8**, 338-353.
- Zeleny M., 1973. *Compromise Programming, Multiple Criteria Decision Making*. University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina.
- Zeleny, M., 1974. A Concept of Compromise Solutions and the Method of the Displaced Ideal. *Computers and Operations Research*, **1**, 479–496.
- Zeleny M., 1982. *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Στοιχεία των Οριοθετημένων Οικισμών της νήσου Λήμνου

| Α/Α | Οικισμός | Γεωγραφικός κωδικός | Μόνιμος πληθυσμός | | Πραγματικός πληθυσμός | | Α.Π. | Ημερομηνία | ΦΕΚ | Αρτιότητα μ ² | Κατάταξη |
|-----|------------------|---------------------|-------------------|------|-----------------------|------|------|------------|--------------|--------------------------|--|
| | | | 2001 | 1991 | 2001 | 1991 | | | | | |
| 1 | Ατσική | 83040101 | 884 | 976 | 918 | 1000 | 4624 | 8/7/1987 | ----- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός |
| 2 | Προπούλι | 83040102 | 51 | 71 | 71 | 74 | 3435 | 8/5/1986 | --- | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Φθίνων |
| 3 | Άγιος Δημήτριος | 83040201 | 698 | 648 | 733 | 638 | 3447 | 8/5/1986 | ---- | 500 | Αδιάφορος, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 4 | Βάρος | 83040301 | 216 | 224 | 235 | 211 | 746 | 4/2/1988 | ----- | 500 | Ενδιαφέρων, Φθίνων, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 5 | Δάφνη | 83040401 | 174 | 182 | 179 | 190 | 3931 | 21/5/1986 | 339Δ/29-4-87 | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Φθίνων |
| 6 | Καρπάσι | 83040501 | 172 | 188 | 168 | 190 | 3958 | 17/6/1987 | ---- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 7 | Κατάλακκο | 83040601 | 101 | 130 | 115 | 127 | 4626 | 8/7/1987 | ---- | 300 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μικρός |
| 8 | Σαρδαί | 83040701 | 269 | 396 | 305 | 401 | 3934 | 21/5/1986 | 339Δ/29-4-87 | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Μεσαίος |
| 9 | Μούδρος | 83120101 | 1076 | 1040 | 1039 | 1038 | | | | | ΓΠΣ |
| 10 | Καλλιόπη | 83120201 | 294 | 329 | 334 | 359 | 3954 | 17/6/1987 | ---- | 500 | Αδιάφορος, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 11 | Καμίνια | 83120301 | 288 | 315 | 319 | 321 | 748 | 4/2/1988 | ---- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 12 | Κοντοπούλι | 83120401 | 635 | 589 | 661 | 605 | 4622 | 8/7/1987 | ---- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 13 | Άγιος Αλέξανδρος | 83120402 | 13 | 5 | 13 | 5 | 3956 | 17/6/1987 | ---- | 500 | Αδιάφορος, Συνεκτικός, Μικρός, Φθίνων |
| 14 | Λύχνα | 83120501 | 74 | 118 | 132 | 137 | 3960 | 17/6/1987 | ---- | 500 | Αδιάφορος, Συνεκτικός, Φθίνων, Μικρός |
| 15 | Παναγία | 83120601 | 394 | 427 | 447 | 446 | 3932 | 21/5/1986 | 339Δ/24-4-87 | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Μεσαίος |
| 16 | Πλάκα | 83120701 | 368 | 349 | 374 | 365 | 3450 | 8/5/1986 | 354Δ/30-4-87 | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Μεσαίος |
| 17 | Ρεπανίδι | 83120801 | 252 | 308 | 354 | 300 | 3935 | 21/5/1986 | 346Δ/30-4-87 | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Μεσαίος |
| 18 | Κότσινας | 83120802 | 2 | 2 | 3 | 2 | 5728 | 1/8/1988 | 614Δ/24-8-88 | 1000 | Ενδιαφέρων, Παραλιακός, Διάσπαρτος, Στάσιμος |
| 19 | Ρουσοπούλι | 83120901 | 147 | 209 | 163 | 215 | 3957 | 17/6/1987 | 684Δ/22-7-87 | 500 | Αδιάφορος, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 20 | Ρωμανόν | 83121001 | 462 | 537 | 457 | 544 | 4625 | 8/7/1987 | --- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεγάλος |
| 21 | Σκανδάλι | 83121101 | 105 | 105 | 124 | 100 | 3449 | 8/5/1986 | 339Δ/29-4-87 | 500 | Στάσιμος, Ενδιαφέρων, Μικρός |
| 22 | Φισίνη | 83121201 | 87 | 122 | 84 | 128 | 3955 | 17/6/1987 | --- | 500 | Αδιάφορος, Συνεκτικός, Φθίνων, Μικρός |
| 23 | Αγία Σοφία | 83121202 | 61 | 72 | 69 | 80 | 3451 | 8/5/1986 | 346Δ/30-4-87 | 300 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Φθίνων |
| 24 | Μύρινα | 83130101 | 5283 | 4682 | 5107 | 4342 | ---- | ---- | 32Δ/13-2-86 | | ΓΠΣ |
| 25 | Θάνος | 83130201 | 456 | 466 | 454 | 472 | 4623 | 8/7/1987 | ---- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|----------|-----|-----|-----|-----|------|-----------|--------------|------|--|
| 26 | Κάσπακας | 83130301 | 620 | 625 | 630 | 612 | 747 | 4/2/1988 | ---- | 500 | Αξιόλογος, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 27 | Άγιος Ιωάννης | 83130302 | 88 | 126 | 92 | 157 | 4727 | 16/6/1989 | ---- | 1500 | Παραλιακός, Αδιάφορος, Δυναμικός, Διάσπαρτος, Μικρός |
| 28 | Κορνός | 83130401 | 264 | 268 | 331 | 298 | 4655 | 8/7/1987 | ---- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 29 | Πλατύ | 83130501 | 587 | 659 | 579 | 694 | 750 | 4/2/1987 | --- | 800 | Ενδιαφέρων, Τουριστικός, Δυναμικός, Μεσαίος |
| 30 | Κοντιάς | 83140101 | 566 | 548 | 628 | 551 | 3220 | 11/5/1989 | ---- | 500 | Αξιόλογος, Φθίνων, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 31 | Αγκαρυώνες | 83140201 | 136 | 152 | 138 | 153 | 3953 | 17/6/1987 | 684Δ/22-7-87 | 500 | Αδιάφορος, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 32 | Καλλιθέα | 83140301 | 234 | 219 | 216 | 211 | 3933 | 21/5/1986 | 339Δ/24-4-87 | 500 | Στάσιμος, Αδιάφορος, Μικρός |
| 33 | Λιβαδοχώρι | 83140401 | 156 | 155 | 210 | 155 | 3448 | 8/5/1986 | 346Δ/30-4-87 | 500 | Στάσιμος, Ενδιαφέρων, Μεσαίος |
| 34 | Νέα Κούταλη | 83140501 | 454 | 424 | 473 | 438 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 35 | Πεδινό | 83140601 | 5 | 9 | 5 | 14 | ---- | ---- | ---- | ---- | Εγκαταλειμμένος |
| 36 | Νέο Πεδινό | 83140604 | 104 | 100 | 108 | 104 | 749 | 4/2/1988 | --- | 500 | Παραλιακός, Αδιάφορος, Στάσιμος, Συνεκτικός |
| 37 | Πορτιανό | 83140701 | 276 | 243 | 306 | 251 | 3952 | 17/6/1987 | --- | 500 | Ενδιαφέρων, Στάσιμος, Συνεκτικός, Μεσαίος |
| 38 | Τσιμάνδρια | 83140801 | 296 | 295 | 314 | 292 | 3959 | 17/6/1987 | --- | 500 | Ενδιαφέρων, Συνεκτικός, Φθίνων, Μικρός |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Στοιχεία των Σημείων Υδροληψίας

| Α/Α | Δήμος | Δημοτικό Διαμέρισμα | Γεωγραφικό Μήκος (DD) | Γεωγραφικό Πλάτος (DD) | Αξιμούθιο |
|-----|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| 1 | ΜΥΡΙΝΑΣ | Κάσπακα | 25.07493 | 39.92374 | 45 |
| 2 | | | 25.10093 | 39.91919 | 0 |
| 3 | | | 25.08195 | 39.89268 | 180 |
| 4 | | | 25.07936 | 39.88917 | 135 |
| 5 | | Κορνού | 25.11710 | 39.92320 | 315 |
| 6 | | | 25.12133 | 39.91528 | 45 |
| 7 | | | 25.11001 | 39.91678 | 45 |
| 8 | | | 25.12460 | 39.90497 | 90 |
| 9 | | Κάσπακα | 25.08762 | 39.88919 | 90 |
| 10 | | Πλατέος | 25.07154 | 39.86114 | 0 |
| 11 | | Μυριναίων | 25.06616 | 39.86381 | 135 |
| 12 | | Πλατέος | 25.07889 | 39.86412 | 135 |
| 13 | | Μυριναίων | 25.07498 | 39.86746 | 135 |
| 14 | | Θάνους | 25.09003 | 39.85873 | 45 |
| 15 | | | 25.09358 | 39.85090 | 45 |
| 16 | ΝΕΑΣ ΚΟΥΤΑΛΗΣ | Κοντιά | 25.15356 | 39.86765 | 315 |
| 17 | | Πορτιανού | 25.16648 | 39.87129 | 315 |
| 18 | | | 25.18146 | 39.87902 | 315 |
| 19 | | Τσιμανδρίων | 25.17470 | 39.87047 | 315 |
| 20 | | Λιβαδοχωρίου | 25.18330 | 39.90974 | 270 |
| 21 | | Αγκαρυώνων | 25.18433 | 39.90199 | 315 |
| 22 | | | 25.17826 | 39.90749 | 315 |
| 23 | | Λιβαδοχωρίου | 25.19013 | 39.90822 | 225 |
| 24 | | | 25.19533 | 39.91197 | 270 |
| 25 | | | 25.19316 | 39.90043 | 315 |
| 26 | ΑΤΣΙΚΗΣ | Καρπασίου | 25.23603 | 39.92711 | 0 |
| 27 | | | 25.21799 | 39.92582 | 315 |
| 28 | | | 25.22083 | 39.92815 | 315 |
| 29 | | Ατσικής | 25.22938 | 39.94849 | 45 |
| 30 | | | 25.23656 | 39.94642 | 45 |
| 31 | | Δάφνης | 25.16594 | 39.94791 | 315 |
| 32 | | Σαρδών | 25.13797 | 39.93455 | 225 |
| 33 | | Καταλάκκου | 25.15313 | 39.96612 | 90 |
| 34 | | Βάρους | 25.25199 | 39.92985 | 45 |
| 35 | | Ατσικής | 25.26148 | 39.95027 | 225 |
| 36 | | Λύχνων | 25.25975 | 39.91861 | 180 |
| 37 | | ΜΟΥΔΡΟΥ | Ρωμανού | 25.28666 | 39.90596 |
| 38 | Ρεπανιδίου | | 25.29708 | 39.91616 | 45 |
| 39 | | | 25.29990 | 39.91637 | 45 |
| 40 | | | 25.32784 | 39.92732 | 45 |
| 41 | | | 25.32290 | 39.92974 | 45 |
| 42 | | | Ρωμανού | 25.33079 | 39.91816 |
| 43 | Καλλιόπης | | 25.34168 | 39.92187 | 270 |
| 44 | Ρουσσοπουλίου | | 25.31018 | 39.87425 | 45 |
| 45 | | | 25.31137 | 39.88010 | 180 |

| | | | | | |
|----|--|------------|----------|----------|-----|
| 46 | | Μούδρου | 25.29556 | 39.86564 | 45 |
| 47 | | | 25.28014 | 39.83476 | 45 |
| 48 | | | 25.27628 | 39.85920 | 45 |
| 49 | | Καμινίων | 25.32038 | 39.86435 | 315 |
| 50 | | | 25.33975 | 39.85753 | 225 |
| 51 | | Φισίνης | 25.32612 | 39.83051 | 315 |
| 52 | | Σκανδαλίου | 25.34022 | 39.80085 | 225 |
| 53 | | Φισίνης | 25.34636 | 39.81583 | 270 |
| 54 | | Πλάκας | 25.42264 | 40.00386 | 315 |
| 55 | | Παναγίας | 25.39876 | 39.97748 | 315 |
| 56 | | | 25.39506 | 39.99119 | 180 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C: Στοιχεία των Χώρων Διάθεσης Απορριμμάτων

| A/A | Όνομα ΧΔΑ | ΔΗΜΟΣ | Γεωγραφικό Μήκος (DD) | Γεωγραφικό Πλάτος (DD) |
|------------|------------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Κάσπακα | ΜΥΡΙΝΑΣ | 25.08616 | 39.90915 |
| 2 | Κορνού | | 25.12297 | 39.90805 |
| 3 | Αγ. Δημητρίου | ΑΤΣΙΚΗΣ | 25.14843 | 40 |
| 4 | Πορτιανού | ΝΕΑΣ ΚΟΥΤΑΛΗΣ | 25.17546 | 39.88208 |
| 5 | Δ. Μύρινας | | 25.10761 | 39.87086 |
| 6 | Πλατέως | ΜΥΡΙΝΑΣ | 25.07299 | 39.86077 |
| 7 | Θάνου | | 25.08599 | 39.8515 |
| 8 | Κοντιά | ΝΕΑΣ ΚΟΥΤΑΛΗΣ | 25.15739 | 39.85348 |
| 9 | Τσιμανδρίων | | 25.17198 | 39.85553 |
| 10 | Βάρους | ΑΤΣΙΚΗΣ | 25.2575 | 39.93463 |
| 11 | Πεδινού | ΝΕΑΣ ΚΟΥΤΑΛΗΣ | 25.18627 | 39.88387 |
| 12 | Κατάλακκου | ΑΤΣΙΚΗΣ | 25.1605 | 39.95956 |
| 13 | Σαρδών | | 25.14242 | 39.94589 |
| 14 | Δάφνης | | 25.17004 | 39.94674 |
| 15 | Ατσικής | | 25.2452 | 39.95209 |
| 16 | Καρπασίου | | 25.24388 | 39.93503 |
| 17 | Αγκαρυώνων | | ΝΕΑΣ ΚΟΥΤΑΛΗΣ | 25.17648 |
| 18 | Νέας Κούταλης | 25.19398 | | 39.89699 |
| 19 | Καλλιθέας | 25.21638 | | 39.89857 |
| 20 | Λιβαδοχωρίου | 25.19338 | | 39.90817 |
| 21 | Χ.Δ.Α. Στρατού | 25.1872 | | 39.90623 |
| 22 | Πλάκας | ΜΟΥΔΡΟΥ | 25.41522 | 39.99966 |
| 23 | Παναγίας | | 25.38426 | 39.99481 |
| 24 | Κοντοπουλίου (1) | | 25.3738 | 39.92708 |
| 25 | Καλλιόπης | | 25.34907 | 39.90351 |
| 26 | Ρουσσοπουλίου | | 25.32951 | 39.88804 |
| 27 | Μούδρου | | 25.29304 | 39.87404 |
| 28 | Καμινίων | | 25.32606 | 39.85487 |
| 29 | Ρεπανιδίου | | 25.29509 | 39.92469 |
| 30 | Φισίνης | | 25.35291 | 39.80223 |
| 31 | Λύχνας | | ΑΤΣΙΚΗΣ | 25.2657 |
| 32 | Ρωμανού | ΜΟΥΔΡΟΥ | 25.30141 | 39.8946 |
| 33 | Κοντοπουλίου (2) | | 25.34787 | 39.92527 |
| 34 | Κοντοπουλίου (3) | | 25.36741 | 39.92258 |
| 35 | ΧΥΤΑ Βίγλας | ΑΤΣΙΚΗΣ | 25.09493 | 39.96054 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D: Τρόποι Επίλυσης της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης

D.1. Μέθοδος του Ιδιοδιανύσματος (Eigenvector Method)

Από τα Μαθηματικά είναι γνωστό ότι για κάθε τετραγωνικό πίνακα $A_{n \times n}$ υπάρχει αριθμός $\lambda \in \mathbb{R}$ ο οποίος ονομάζεται *ιδιοτιμή*, τέτοιος που να ικανοποιεί τη συνθήκη $A \cdot W = \lambda \cdot W$ (1) (Μπόζης 1974).

Από την εξίσωση 1, προκύπτει ότι $(A - \lambda I_n) \cdot W = 0$ (2), το οποίο σημαίνει ότι $W = 0$ ή $A - \lambda I_n = 0$. Αν θεωρηθεί ότι $|A - \lambda I_n| = 0$ (3), τότε μπορούν να βρεθούν οι n *ιδιοτιμές* του πίνακα A . Η *ΜΑΙ* θεωρεί ότι οι συντελεστές βαρύτητας προκύπτουν από το *ιδιοδιάνυσμα* της μέγιστης απόλυτης *ιδιοτιμής* του πίνακα A (Saaty 1980). Υπολογίζοντας τη μέγιστη απόλυτη *ιδιοτιμή* από την εξίσωση (3) και εφαρμόζοντας την εξίσωση (2), προκύπτει ο πίνακας στήλη $W_{n \times 1}$ ο οποίος ονομάζεται *ιδιοδιάνυσμα* του πίνακα A (Ανδρεαδάκης 1982, Στεφάνου 1988).

Έστω ότι πρέπει να βρεθούν οι συντελεστές βαρύτητας τριών κριτηρίων και ο Πίνακας των Συγκρίσεων ανά Ζεύγη των κριτηρίων, φαίνεται στον αντισυμμετρικό πίνακα A που ακολουθεί:

| | Κριτήριο ₁ | Κριτήριο ₂ | Κριτήριο ₃ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Κριτήριο ₁ | 1 | 4 | 8 |
| Κριτήριο ₂ | 1/4 | 1 | 6 |
| Κριτήριο ₃ | 1/8 | 1/6 | 1 |

Η μέγιστη απόλυτη *ιδιοτιμή* του πίνακα A προκύπτει από την επίλυση της εξίσωσης (3), δηλαδή:

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 8 \\ 1/4 & 1 & 6 \\ 1/8 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} - \lambda * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 0 \Rightarrow \begin{vmatrix} 1-\lambda & 4 & 8 \\ 1/4 & 1-\lambda & 6 \\ 1/8 & 1/6 & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

Το αποτέλεσμα της επίλυσης δίνει ότι $\lambda_{\max} \approx 3.14$. Εφαρμόζοντας την εξίσωση (1) με τη δεδομένη τιμή λ_{\max} , ισχύει ότι:

$$\begin{bmatrix} -2.14 & 4 & 8 \\ 1/4 & -2.14 & 6 \\ 1/8 & 1/6 & -2.14 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = 0 \Rightarrow \begin{aligned} -2.14w_1 + 4w_2 + 8w_3 &= 0 \\ 0.25w_1 - 2.14w_2 + 6w_3 &= 0 \\ 0.125w_1 + 0.167w_2 - 2.14w_3 &= 0 \end{aligned}$$

Από την επίλυση του συστήματος προκύπτουν οι τιμές $w_1 \approx 0.68$, $w_2 \approx 0.26$ και $w_3 \approx 0.06$, οι οποίες αντιστοιχούν στους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων. Το τελευταίο τμήμα της *MAI*, απαιτεί τον έλεγχο της ορθότητας των τιμών που πρέπει να πληρούν τη συνθήκη $CR \leq 0.1$. Η τιμή CR ονομάζεται λόγος ορθότητας (*consistency ratio*) και υπολογίζεται από την εξίσωση $CR = CI/RI$, όπου η τιμή του CI (*consistency index*) υπολογίζεται από την εξίσωση $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ και η τιμή του RI (*random index*) προκύπτει από τον πίνακα:

| | | | | | | | | |
|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| v | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| RI | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | |
| v | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| RI | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.59 |

Για τον έλεγχο της ορθότητας και λαμβάνοντας υπόψη ότι $\lambda_{\max} \approx 3.14$ και $n = 3$, προκύπτει ότι $CI = 0.07$, $RI = 0.58$ και $CR = 0.12 > 0.10$, το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να επαναληφθούν οι συγκρίσεις ανά ζεύγη.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω παράδειγμα, η συγκεκριμένη μέθοδος επίλυσης της *MAI* για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων, είναι αρκετά πολύπλοκη και δύσκολη στην ενσωμάτωση της στα υπολογιστικά συστήματα με τη βοήθεια του προγραμματισμού, οπότε η ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθόδου ξεφεύγει από τον στόχο της προτεινόμενης διατριβής. Στη βιβλιογραφία δεν έχει εφαρμοστεί η συγκεκριμένη μέθοδος, ενώ όπως θα φανεί στη συνέχεια οι τελικές τιμές των συντελεστών βαρύτητας δεν διαφέρουν σημαντικά.

D.2. Τυπική *MAI* - Επιμεριστική Μέθοδος (*Distributive mode AHP*)

Η συγκεκριμένη μέθοδος, όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφία, είναι η συνηθέστερη μέθοδος επίλυσης των προβλημάτων που προσεγγίζονται με την *MAI* (Saaty 1980). Σύμφωνα με την τυπική *MAI* έχοντας ως δεδομένο Πίνακα Συγκρίσεων ανά Ζεύγη, πρέπει αρχικά να δημιουργηθεί ένας άλλος πίνακας του οποίου οι τιμές των στηλών είναι κανονικοποιημένες, έτσι ώστε το άθροισμα των στοιχείων τους να δίνει την μονάδα. Αυτό μπορεί να γίνει διαιρώντας το κάθε στοιχείο του πίνακα με το άθροισμα της αντίστοιχης στήλης. Οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίζονται από τον απλό μέσο όρο της κάθε γραμμής, ενώ πρέπει να γίνει ο έλεγχος ορθότητας των συγκρίσεων όπως φαίνεται παρακάτω.

| | Κριτήριο ₁ | Κριτήριο ₂ | Κριτήριο ₃ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Κριτήριο ₁ | 1 | 4 | 8 |
| Κριτήριο ₂ | 1/4 | 1 | 6 |
| Κριτήριο ₃ | 1/8 | 1/6 | 1 |
| Αθροισμα | 1.375 | 5.167 | 15 |

| | Κριτήριο ₁ | Κριτήριο ₂ | Κριτήριο ₃ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Κριτήριο ₁ | 0.727 | 0.774 | 0.533 |
| Κριτήριο ₂ | 0.182 | 0.194 | 0.400 |
| Κριτήριο ₃ | 0.091 | 0.032 | 0.067 |

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο της κάθε γραμμής ισχύει ότι $w_1 = 0.678$, $w_2 = 0.259$ και $w_3 = 0.063$. Ο έλεγχος της ορθότητας των συγκρίσεων προϋποθέτει τον υπολογισμό του λ_{\max} , το οποίο μπορεί να βρεθεί αλγεβρικά με τη διαδικασία που ακολουθεί. Αρχικά, υπολογίζεται το γινόμενο του πίνακα A επί τον πίνακα των συντελεστών βαρύτητας. Ο πίνακας που προκύπτει ονομάζεται *Weighted Sum Vector (WSV)*. Στη συνέχεια, διαιρείται το κάθε στοιχείο του πίνακα WSV δια την αντίστοιχη τιμή του συντελεστή βαρύτητας. Ο πίνακας που προκύπτει ονομάζεται *Consistency Vector (CV)*. Η μέση τιμή των στοιχείων του πίνακα CV δίνει προσεγγιστικά την μέγιστη απόλυτη *ιδιοτιμή* του πίνακα A.

$$WSV = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 8 \\ 1/4 & 1 & 6 \\ 1/8 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.678 \\ 0.259 \\ 0.063 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.218 \\ 0.807 \\ 0.191 \end{bmatrix}, CV = \begin{bmatrix} 2.218/0.678 \\ 0.807/0.259 \\ 0.191/0.063 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.271 \\ 3.116 \\ 3.032 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 3.14$$

Όπως φαίνεται, η μέγιστη απόλυτη *ιδιοτιμή* έχει την τιμή που έχει υπολογιστεί από την προηγούμενη μέθοδο, το οποίο σημαίνει ότι ο έλεγχος ορθότητας δεν ικανοποιεί τη συνθήκη $CR \leq 0.1$.

D.3. Αναθεωρημένη - Ιδανική MAI (Revised - Ideal mode AHP)

Στη βιβλιογραφία έχουν εμφανιστεί αρκετές παραλλαγές της MAI, βασιζόμενες σε διάφορα ζητήματα που έχουν να κάνουν με τον έλεγχο τη ορθότητας της μεθόδου και γενικότερα τη βελτίωση της. Η πιο σημαντική παραλλαγή της μεθόδου η οποία έχει ονομαστεί από τον καθηγητή Saaty ως *ιδανική MAI*, καθορίζει ότι οι τιμές του ενδιαμέσου πίνακα αντί να κανονικοποιούνται ως προς την μονάδα, πρέπει να προκύπτουν από το πηλίκο της κανονικοποιημένης τιμής δια την μέγιστη τιμή της αντίστοιχης στήλης (Triantaphyllou and Mann 1994 και 1995). Στη συνέχεια η διαδικασία της επίλυσης είναι η ίδια όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

| | Κριτήριο ₁ | Κριτήριο ₂ | Κριτήριο ₃ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Κριτήριο ₁ | 0.727 | 0.774 | 0.533 |
| Κριτήριο ₂ | 0.182 | 0.194 | 0.400 |
| Κριτήριο ₃ | 0.091 | 0.032 | 0.067 |

| | Κριτήριο ₁ | Κριτήριο ₂ | Κριτήριο ₃ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Κριτήριο ₁ | 1 | 1 | 1 |
| Κριτήριο ₂ | 0.25 | 0.25 | 0.75 |
| Κριτήριο ₃ | 0.125 | 0.042 | 0.125 |

Από τον συγκεκριμένο πίνακα φαίνεται ότι πρέπει να υπάρχει λανθασμένη εκτίμηση στη σύγκριση των κριτηρίων 2 και 3. Οι συντελεστές βαρύτητας προκύπτουν από τις κανονικοποιημένες τιμές του αθροίσματος όλων των γραμμών. Από τα δεδομένα που υπάρχουν, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί ότι: $w_1 = 0.661$, $w_2 = 0.275$ και $w_3 = 0.064$. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο (δηλαδή υπολογισμός των WSV και CV), προκύπτει ότι $\lambda_{\max} = 3.15$.

D.4. Μέθοδος Γεωμετρικού Μέσου - Πολλαπλασιαστική MAI (Multiplicative AHP)

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ο τρόπος υπολογισμού των συντελεστών βαρύτητας όπως έχει προταθεί από τον Saaty (1980). Οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων προκύπτουν από την κανονικοποίηση των γεωμετρικών μέσων των γραμμών του ΠΣΖ.

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \alpha_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \alpha_{ij}} \right)}$$

όπου: n , είναι το πλήθος των κριτηρίων

i, j , είναι οι δείκτες των αντίστοιχων γραμμών και στηλών του πίνακα,

α_{ij} , είναι η τιμή του στοιχείου της i γραμμής και της j στήλης του πίνακα,

w_i , είναι ο συντελεστής βαρύτητας του i κριτηρίου.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω εξίσωση στα δεδομένα του παραδείγματος, προκύπτει ότι: $w_1 = 0.691$, $w_2 = 0.249$, $w_3 = 0.060$ και $\lambda_{\max} = 3.14$.

D.5. Μέθοδος της Expert Choise

Η *Expert Choise* είναι μια εταιρία ανάπτυξης εφαρμογών, η οποία ειδικεύεται στα εργαλεία της πολυκριτηριακής ανάλυσης, κυρίως της επίλυσης των προβλημάτων με την μεθοδολογία της MAI. Το λογισμικό που έχει αναπτύξει για τη MIA, είναι αρκετά διαδεδομένο και η μέθοδος που χρησιμοποιεί αν και είναι αρκετά πολύπλοκη, ωστόσο έχει κωδικοποιηθεί και περιλαμβάνεται στα εργαλεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Expert Choise 1990). Η συγκεκριμένη μέθοδος επίλυσης, υψώνει στο τετράγωνο τον ΠΣΖ και υπολογίζει τους συντελεστές βαρύτητας χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha'_{ij}}{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \alpha'_{ij} \right)},$$

όπου: n , είναι το πλήθος των κριτηρίων

i, j , είναι οι δείκτες των αντίστοιχων γραμμών και στηλών του πίνακα,

a'_{ij} , είναι η τιμή του στοιχείου της i γραμμής και της j στήλης του πίνακα $A' = A^2$,

w_i , είναι ο συντελεστής βαρύτητας του i κριτηρίου.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η διαφορά των συντελεστών βαρύτητας μεταξύ δύο συνεχόμενων επαναλήψεων, να είναι της τάξης του τέταρτου δεκαδικού ψηφίου.

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|--|
| | | Κρ₁ | Κρ₂ | Κρ₃ | | | | | | | |
| A = | Κρ₁ | 1 | 4 | 8 | A' = | Κρ₁ | 3 | 9.33 | 40 | w₁ = 0.7005 | |
| | Κρ₂ | 0.25 | 1 | 6 | | Κρ₂ | 1.25 | 3 | 14 | w₂ = 0.2443 | |
| | Κρ₃ | 0.125 | 0.1667 | 1 | | Κρ₃ | 0.29 | 0.83 | 3 | w₃ = 0.0552 | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | Κρ₁ | Κρ₂ | Κρ₃ | | | Κρ₁ | Κρ₂ | Κρ₃ | | |
| A = | Κρ₁ | 3 | 9.33 | 40 | A' = | Κρ₁ | 32.33 | 89.33 | 370.67 | w₁ = 0.6904 | |
| | Κρ₂ | 1.25 | 3 | 14 | | Κρ₂ | 11.58 | 32.33 | 134 | w₂ = 0.2495 | |
| | Κρ₃ | 0.29 | 0.83 | 3 | | Κρ₃ | 2.79 | 7.72 | 32.33 | w₃ = 0.0601 | |

Η μέση διαφορά των συντελεστών βαρύτητας είναι $\Delta w = 0.0067$, οπότε θα ήταν προτιμότερο να επαναληφθεί η διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί $\Delta w \leq 0.001$.

| | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------|--------|--------|-------------------------------|
| | | Κρ₁ | Κρ₂ | Κρ₃ | | | | | | |
| A = | Κρ₁ | 32.33 | 89.33 | 370.67 | A' = | Κρ₁ | 316.78 | 878.67 | 3656 | w₁ = 0.6910 |
| | Κρ₂ | 11.58 | 32.33 | 134 | | Κρ₂ | 114.25 | 316.78 | 1318 | w₂ = 0.2491 |
| | Κρ₃ | 2.79 | 7.72 | 32.33 | | Κρ₃ | 27.46 | 76.17 | 316.78 | w₃ = 0.0599 |

Η μέση διαφορά των συντελεστών βαρύτητας είναι $\Delta w = 0.0004$ που βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων. Εάν επαναληφθεί η διαδικασία άλλη μια φορά, όπως φαίνεται από τους παρακάτω πίνακες οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας δεν μεταβάλλονται οπότε $\Delta w = 0$.

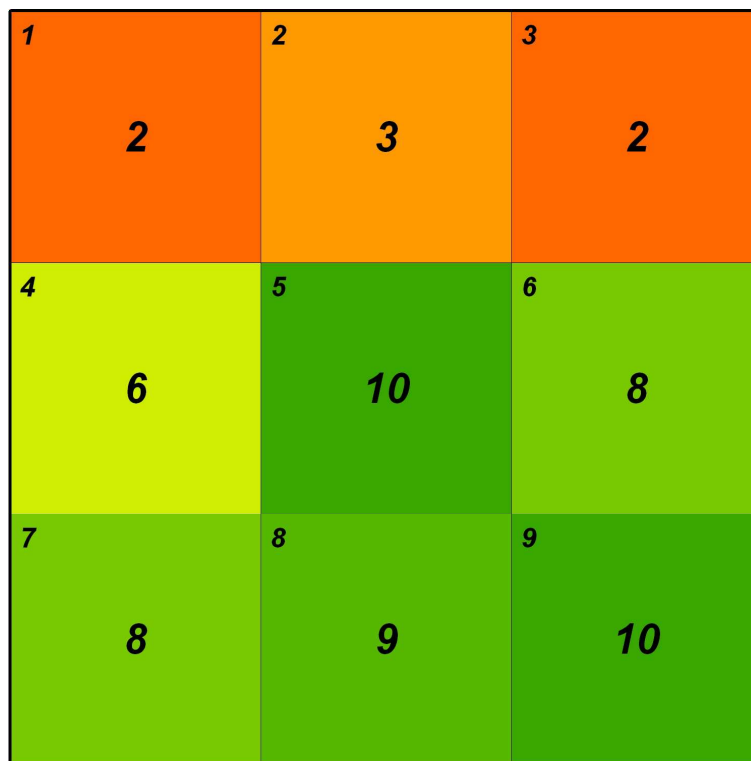
| | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| | | Κρ₁ | Κρ₂ | Κρ₃ | | | | | | |
| A = | Κρ₁ | 316.78 | 878.67 | 3656 | A' = | Κρ₁ | 3115 | 8639.26 | 35940.4 | w₁ = 0.6910 |
| | Κρ₂ | 114.25 | 316.78 | 1318 | | Κρ₂ | 1123.14 | 3115 | 12958.4 | w₂ = 0.2491 |
| | Κρ₃ | 27.46 | 76.17 | 316.78 | | Κρ₃ | 269.98 | 748.76 | 3115 | w₃ = 0.0599 |

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του παραδείγματος και υπολογίζοντας τους πίνακες WSV και CV , προκύπτει ότι $\lambda_{max} = 3.14$, το οποίο σημαίνει ότι ο έλεγχος ορθότητας δεν πληροί τις προϋποθέσεις και πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία των συγκρίσεων ανά ζεύγη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Χωρική Αυτοσυσχέτιση

Ε.1. Συνολική Χωρική Αυτοσυσχέτιση

Έστω ότι υπάρχει μια περιοχή 3×3 , η οποία έχει ως τιμές σε μια μεταβλητή X , αυτές που φαίνονται στο σχήμα Ε.1 (με πλάγια γράμματα ο αύξων αριθμός του κελιού i , ενώ με έντονα γράμματα η τιμή του x_i).



Σχήμα Ε.1: Περιοχή 3×3

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|
| α) Β = | 1 | 0 | 1 | 0 | 16 | 64 | 36 | 36 | 49 | 64 | β) Γ = | 1 | 0 | 1 | 0 | 16 | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 1 | 0 | 1 | 9 | 49 | 25 | 25 | 36 | 49 | | 2 | 1 | 0 | 1 | 9 | 49 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 1 | 0 | 16 | 64 | 36 | 36 | 49 | 64 | | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 64 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 16 | 9 | 16 | 0 | 16 | 4 | 4 | 9 | 16 | | 4 | 16 | 9 | 0 | 0 | 16 | 0 | 4 | 9 | 0 |
| | 5 | 64 | 49 | 64 | 16 | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 | | 5 | 64 | 49 | 64 | 16 | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 |
| | 6 | 36 | 25 | 36 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 4 | | 6 | 0 | 25 | 36 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| | 7 | 36 | 25 | 36 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 4 | | 7 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 8 | 49 | 36 | 49 | 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 8 | 0 | 0 | 0 | 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | 9 | 64 | 49 | 64 | 16 | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 | | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 |

Σχήμα Ε.2: Υπολογισμός του Δείκτη Γ α) Ο Πίνακας Β Περιγράφει τη Σχέση της Μεταβλητής X και β) Ο Πίνακας Γ Βοηθάει στον Υπολογισμό του Δείκτη Γ

Αν υποτεθεί ότι η σχέση που περιγράφει την μεταβλητή X είναι $(x_i - x_j)^2$, τότε προκύπτει ο πίνακας B που φαίνεται στο σχήμα E.2α. Χρησιμοποιώντας τη σχέση γειννιάσης *Queen*, το αποτέλεσμα του πίνακα Γ που προκύπτει εφαρμόζοντας την εξίσωση 5.1, φαίνεται στο σχήμα E.2β. Ο δείκτης I , προκύπτει από το άθροισμα όλων των τιμών του πίνακα Γ και στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει τιμή 620.

Για το παράδειγμα της περιοχής 3×3 , με τις τιμές της μεταβλητής X που φαίνονται στο σχήμα E.1, οι τιμές του δείκτη C του Geary για τις διάφορες περιπτώσεις χωρικής γειννιάσης είναι $C_{Rooks} = 0.5063$, $C_{Bishop} = 0.9975$ και $C_{Queen} = 0.7028$. Οι τιμές του δείκτη I του Moran είναι $I_{Rooks} = 0.3772$, $I_{Bishop} = -0.1839$ και $I_{Queen} = 0.0371$.

Σε ότι αφορά τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των δεικτών της *συνολικής χωρικής αυτοσυσχέτισης*, γίνεται ο έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης H_0 ότι δεν υπάρχει *χωρική αυτοσυσχέτιση* και τα αποτελέσματα των στατιστικών μεγεθών για όλες τις περιπτώσεις γειννιάσης παρουσιάζονται στον πίνακα E.1.

Πίνακας E.1: Έλεγχος της Υπόθεσης H_0 , ότι δεν Υπάρχει *Χωρική Αυτοσυσχέτιση*

| | <i>Rook</i> | <i>Bishop</i> | <i>Queen</i> |
|------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| Geary, C | 0.5063 | 0.9975 | 0.7028 |
| E(C) | 1 | 1 | 1 |
| Var(C) | 0.0556 | 0.125 | 0.04 |
| z_c | -2.0946 | -0.0071 | -1.4862 |
| α_c | 0.0445 | 0.3989 | 0.1322 |
| Moran, I | 0.3772 | -0.1839 | 0.1528 |
| E(I) | -0.125 | -0.125 | -0.125 |
| Var(I) | 0.0531 | 0.0851 | 0.0163 |
| z_i | 2.1789 | -0.2018 | 2.1790 |
| α_i | 0.03715 | 0.3909 | 0.0371 |

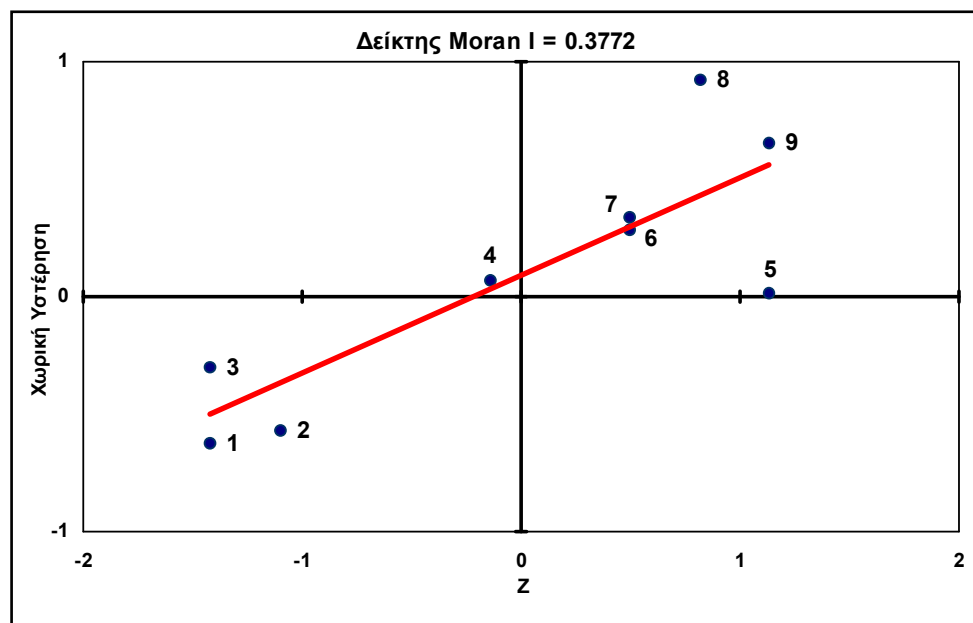
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα E.1, χρησιμοποιώντας τους τύπους χωρικής γειννιάσης *Rook* και *Queen*, τα δεδομένα εμφανίζονται ως *θετικά αυτοσυσχετισμένα*, καθώς $C < 1$ ($z_c < 0$) και $I > 0$ ($z_i > 0$). Επίσης, ο έλεγχος της υπόθεσης H_0 για την μη ύπαρξη *χωρικής αυτοσυσχέτισης* δίνει πολύ μικρή πιθανότητα. Η περίπτωση *Bishop* δείχνει ότι τα δεδομένα δεν είναι *χωρικά αυτοσυσχετισμένα*, καθώς $C \approx 1$ ($z_c \approx 0$) και $I < 0$ ($z_i < 0$). Ο έλεγχος της υπόθεσης H_0 για την μη ύπαρξη *χωρικής αυτοσυσχέτισης*, δίνει 40% πιθανότητα αποδοχής της H_0 , η οποία είναι αρκετά μεγάλη πιθανότητα ώστε να απορριφθεί.

E.2. Τοπική Χωρική Αυτοσυσχέτιση

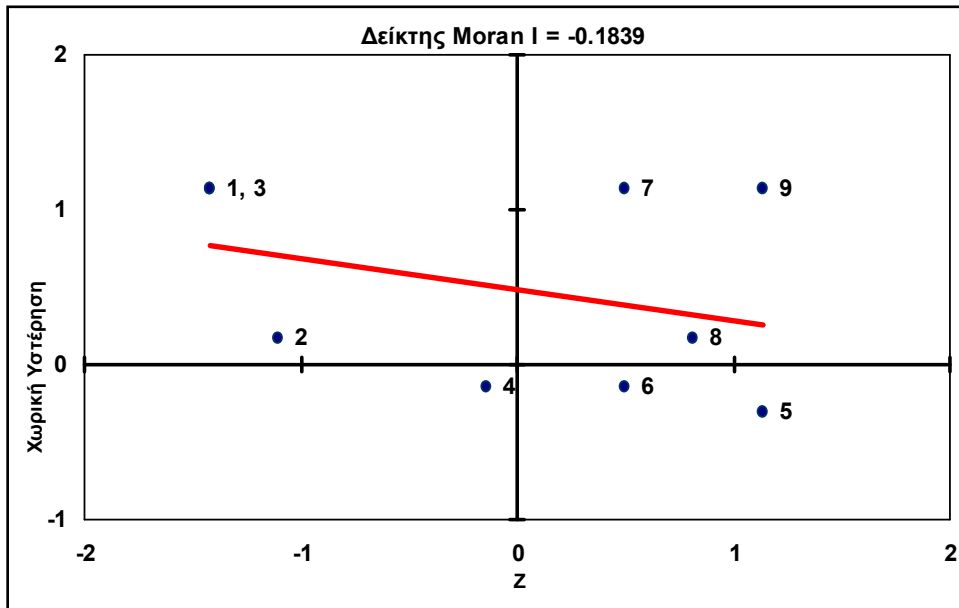
Στον πίνακα E.2 παρουσιάζονται οι τιμές των τυποποιημένων μεταβλητών z και οι τιμές της χωρικής υστέρησης, για το παράδειγμα της περιοχής 3×3 του σχήματος E.1. Στα σχήματα E.3, E.4 και E.5 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα διασποράς του Moran.

Πίνακας E.2: Συγκεντρωτικές Τιμές των Τυποποιημένων Μεταβλητών z και των Χωρικών Υστερήσεων για όλες τις Περιπτώσεις Χωρικής Γειτνίασης ($\mu = 6.4444$ και $\sigma^2 = 9.8025$)

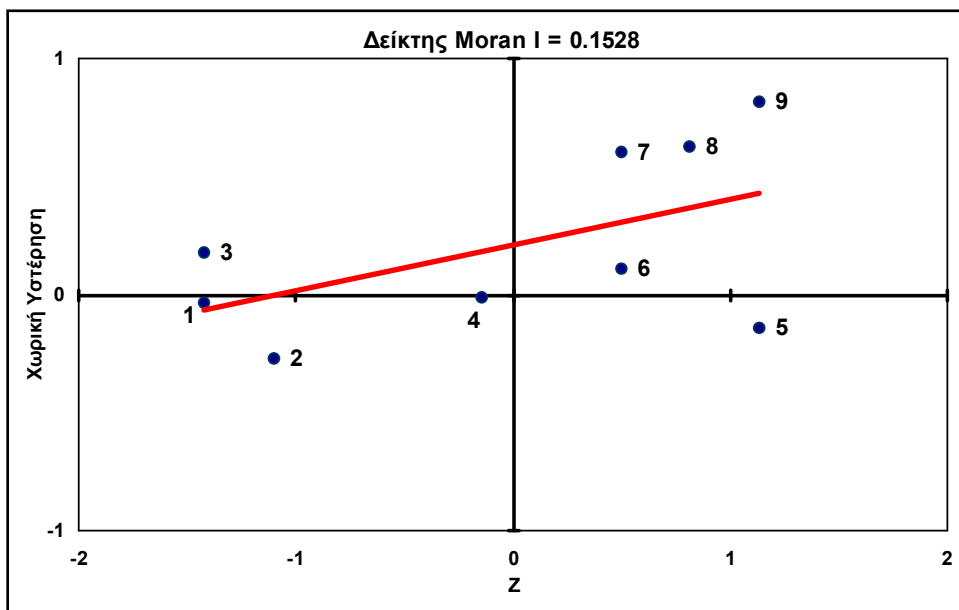
| Κελί | X | Z | Rook | | Bishop | | Queen | |
|------|----|---------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| | | | Γείτονες | Χωρική Υστέρηση | Γείτονες | Χωρική Υστέρηση | Γείτονες | Χωρική Υστέρηση |
| 1 | 2 | -1.4196 | 2, 4 | -0.6211 | 5 | 1.1356 | 2, 4, 5 | -0.0355 |
| 2 | 3 | -1.1002 | 1, 3, 5 | -0.5678 | 4, 6 | 0.1774 | 1, 3, 4, 5, 6 | -0.2697 |
| 3 | 2 | -1.4196 | 2, 6 | -0.3017 | 5 | 1.1356 | 2, 5, 6 | 0.1774 |
| 4 | 6 | -0.1420 | 1, 5, 7 | 0.0710 | 2, 8 | -0.1420 | 1, 2, 5, 7, 8 | -0.0142 |
| 5 | 10 | 1.1356 | 2, 4, 6, 8 | 0.0177 | 1, 3, 7, 9 | -0.3017 | 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 | -0.1420 |
| 6 | 8 | 0.4968 | 3, 5, 9 | 0.2839 | 2, 8 | -0.1420 | 2, 3, 5, 8, 9 | 0.1136 |
| 7 | 8 | 0.4968 | 4, 8 | 0.3371 | 5 | 1.1356 | 4, 5, 8 | 0.6033 |
| 8 | 9 | 0.8162 | 5, 7, 9 | 0.9227 | 4, 6 | 0.1774 | 4, 5, 6, 7, 9 | 0.6246 |
| 9 | 10 | 1.1356 | 6, 8 | 0.6566 | 5 | 1.1356 | 5, 6, 8 | 0.8162 |



Σχήμα E.3: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για την Περίπτωση Χωρικής Γειτνίασης Rook



Σχήμα Ε.4: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για την Περίπτωση Χωρικής Γειτνίασης Bishop



Σχήμα Ε.5: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για την Περίπτωση Χωρικής Γειτνίασης Queen

Σε ότι αφορά τον τοπικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης C_i του Geary, για τις διάφορες περιπτώσεις χωρικής γειτνίασης, οι τιμές του δείκτη φαίνονται στον πίνακα Ε.3.

Πίνακας Ε.3: Οι Τιμές του Δείκτη C_i του Geary για Όλες τις Περιπτώσεις Χωρικής Γειτνίασης ($\mu = 6.4444$ και $\sigma^2 = 9.8025$)

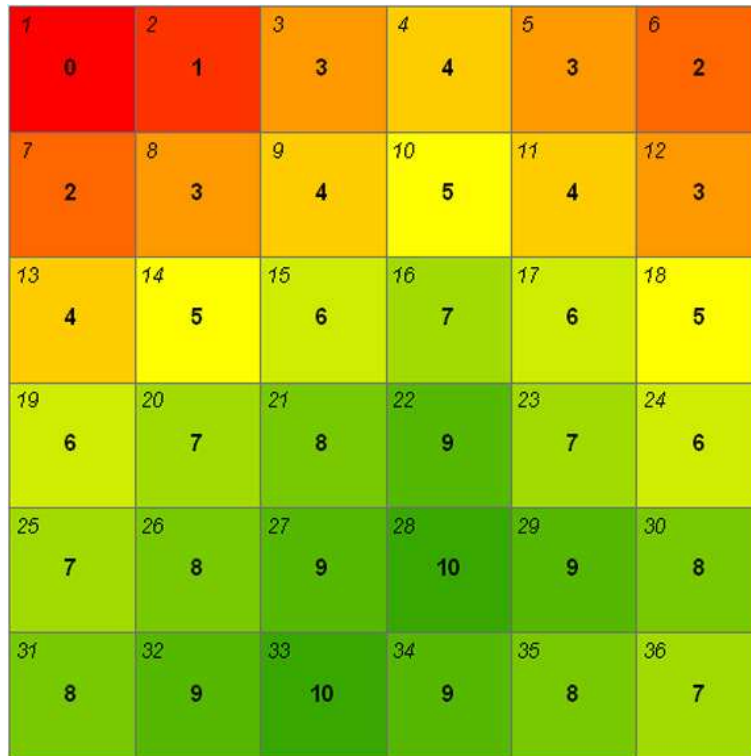
| Κελί | X_i | Z_i | $C_i - Rook$ | $C_i - Bishop$ | $C_i - Queen$ |
|------|-------|---------|--------------|----------------|---------------|
| 1 | 2 | -1.4196 | 0.8671 | 6.5290 | 2.7544 |
| 2 | 3 | -1.1002 | 1.7343 | 1.7343 | 1.7343 |
| 3 | 2 | -1.4196 | 1.8873 | 6.5290 | 3.4351 |
| 4 | 6 | -0.1420 | 1.2242 | 0.9181 | 1.1018 |
| 5 | 10 | 1.1356 | 1.7853 | 3.3665 | 2.5759 |
| 6 | 8 | 0.4968 | 1.4962 | 1.3262 | 1.4282 |
| 7 | 8 | 0.4968 | 0.2550 | 0.4081 | 0.3060 |
| 8 | 9 | 0.8162 | 0.1020 | 0.5101 | 0.2652 |
| 9 | 10 | 1.1356 | 0.2550 | 0 | 0.1700 |

Σε ότι αφορά τον τοπικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης I_i του Moran για τις διάφορες περιπτώσεις χωρικής γειτνίασης, οι τιμές του δείκτη φαίνονται στον πίνακα Ε.4.

Πίνακας Ε.4: Οι Τιμές του Δείκτη I_i του Moran για Όλες τις Περιπτώσεις Χωρικής Γειτνίασης ($\mu = 6.4444$ και $\sigma^2 = 9.8025$)

| Κελί | X_i | Z_i | $I_i - Rook$ | $I_i - Bishop$ | $I_i - Queen$ |
|------|-------|---------|--------------|----------------|---------------|
| 1 | 2 | -1.4196 | 0.8816 | -1.6121 | 0.0504 |
| 2 | 3 | -1.1002 | 0.6247 | -0.1952 | 0.2967 |
| 3 | 2 | -1.4196 | 0.4282 | -1.6121 | -0.2519 |
| 4 | 6 | -0.1420 | -0.0101 | 0.0202 | 0.0020 |
| 5 | 10 | 1.1356 | 0.0201 | -0.3457 | -0.1612 |
| 6 | 8 | 0.4968 | 0.1411 | -0.0705 | 0.0564 |
| 7 | 8 | 0.4968 | 0.1675 | 0.5642 | 0.2998 |
| 8 | 9 | 0.8162 | 0.7531 | 0.1448 | 0.5098 |
| 9 | 10 | 1.1356 | 0.7456 | 1.2897 | 0.9270 |

Στη συνέχεια, δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$ στην περίπτωση μίας περιοχής 6×6 , χρησιμοποιώντας αποστάσεις 1 και 2 σημείων για την εύρεση των πλησιέστερων γειτόνων. Στο σχήμα Ε.6 φαίνεται η περιοχή που μελετάται (με πλάγια γράμματα ο αύξων αριθμός του κελιού i , ενώ με έντονα γράμματα η τιμή του x_i). Τα αποτελέσματα για τους δείκτες $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$, χρησιμοποιώντας τον τύπο γειτνίασης *Queen* και για αποστάσεις πλησιέστερου γείτονα 1 και 2 κελιά φαίνονται στον πίνακα Ε.5.



Σχήμα Ε.6: Παράδειγμα Υπολογισμού των Δεικτών $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$ για μια Περιοχή 6×6

Πίνακας Ε.5: Οι Τιμές των Δεικτών $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$ για τον Τύπο Γεινίασης *Queen* στην Περιοχή 6×6

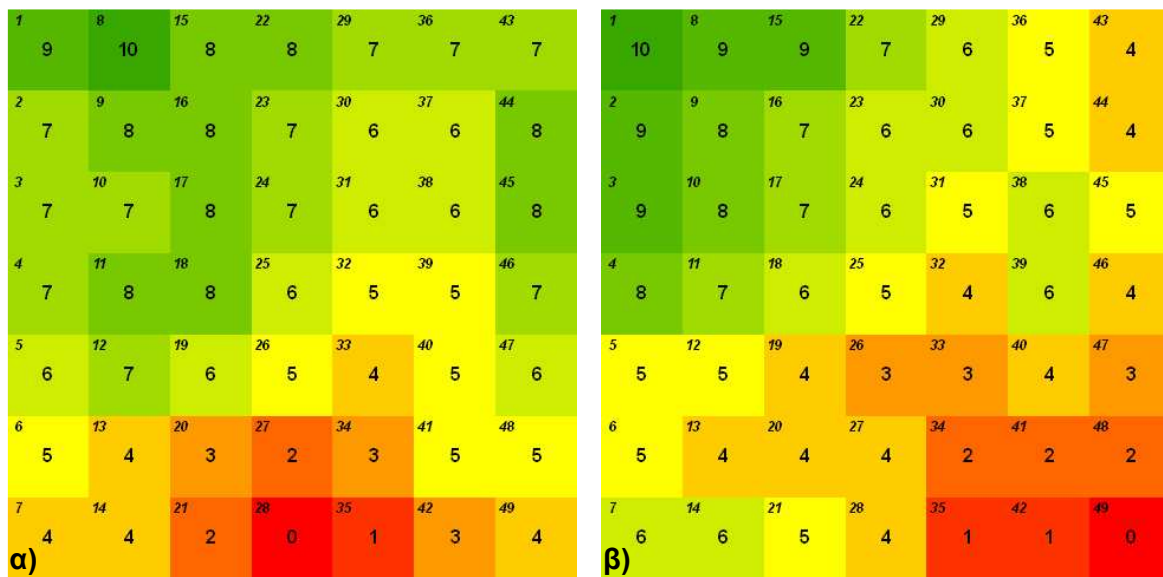
| Κελί | X_i | d = 1 κελί | | d = 2 κελιά | |
|------|-------|------------|------------|-------------|------------|
| | | $G_i(1)$ | $G_i^*(1)$ | $G_i(2)$ | $G_i^*(2)$ |
| 1 | 0 | -2.9275 | -3.4867 | -3.2711 | -3.6036 |
| 2 | 1 | -3.4005 | -3.7404 | -3.2807 | -3.5308 |
| 3 | 3 | -2.3284 | -2.5680 | -3.8028 | -3.9669 |
| 4 | 4 | -1.9209 | -2.0656 | -3.3322 | -3.4605 |
| 5 | 3 | -2.1473 | -2.4006 | -2.2686 | -2.4716 |
| 6 | 2 | -1.8396 | -2.2950 | -1.6816 | -2.0180 |
| 7 | 2 | -3.1242 | -3.4054 | -2.6215 | -2.8688 |
| 8 | 3 | -3.4305 | -3.6036 | -2.3593 | -2.5401 |
| 9 | 4 | -2.0197 | -2.1622 | -2.8458 | -2.9867 |
| 10 | 5 | -1.5294 | -1.5856 | -2.3920 | -2.4843 |
| 11 | 4 | -1.8706 | -2.0180 | -1.4013 | -1.5352 |
| 12 | 3 | -1.7851 | -2.0656 | -1.0450 | -1.2799 |
| 13 | 4 | -1.2037 | -1.3957 | -1.8060 | -1.9413 |
| 14 | 5 | -1.0845 | -1.1532 | -1.1572 | -1.2282 |
| 15 | 6 | 0.1353 | 0.1441 | -1.3391 | -1.3851 |
| 16 | 7 | 0.3180 | 0.4324 | -0.7292 | -0.7076 |
| 17 | 6 | -0.1607 | -0.1441 | 0.0211 | 0.0279 |
| 18 | 5 | -0.6366 | -0.7258 | 0.0253 | -0.0422 |
| 19 | 6 | 0.2797 | 0.2791 | 0.9595 | 0.9706 |
| 20 | 7 | 0.9117 | 1.0090 | 2.1893 | 2.2889 |
| 21 | 8 | 2.1473 | 2.3063 | 2.9140 | 3.0864 |
| 22 | 9 | 2.3568 | 2.5946 | 3.1711 | 3.3574 |
| 23 | 7 | 1.9506 | 2.0180 | 2.6837 | 2.7913 |
| 24 | 6 | 0.9915 | 0.9491 | 1.8432 | 1.8569 |
| 25 | 7 | 1.5547 | 1.6190 | 2.0857 | 2.1626 |
| 26 | 8 | 2.5955 | 2.7387 | 3.3479 | 3.4892 |
| 27 | 9 | 3.5654 | 3.7478 | 4.1266 | 4.2987 |
| 28 | 10 | 3.5036 | 3.7478 | 4.2615 | 4.4243 |
| 29 | 9 | 2.6590 | 2.8829 | 3.5672 | 3.7404 |
| 30 | 8 | 1.4113 | 1.6190 | 2.5467 | 2.6922 |
| 31 | 8 | 1.4641 | 1.6771 | 2.5955 | 2.7387 |
| 32 | 9 | 2.3610 | 2.6239 | 3.7087 | 3.8839 |
| 33 | 10 | 2.9784 | 3.2938 | 4.3454 | 4.5155 |
| 34 | 9 | 3.0875 | 3.2938 | 4.3548 | 4.5155 |
| 35 | 8 | 2.4890 | 2.6239 | 3.7603 | 3.8839 |
| 36 | 7 | 1.6584 | 1.6771 | 2.8410 | 2.8829 |

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεικτών $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$ που φαίνονται στον πίνακα Ε.5, υποδεικνύουν της περιοχές εκείνες που εμφανίζονται να είναι *χωρικά αυτοσυσχετισμένες*. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχει διάκριση της *χωρικής αυτοσυσχέτισης*, των περιοχών που έχουν υψηλές τιμή στην μεταβλητή X , για τις οποίες ισχύει ότι $G_i(1) > 0$ (ή $G_i^*(1) > 0$). Όσο αυξάνεται η τιμή του δείκτη, τόσο πιο έντονη είναι η *χωρική αυτοσυσχέτιση* των δεδομένων (π.χ. τα κελιά 27, 28, 33, 34). Επίσης διακρίνονται οι περιοχές που έχουν χαμηλές τιμές στην μεταβλητή X και είναι *χωρικά αυτοσυσχετισμένες*, για τις οποίες ισχύει ότι $G_i(1) < 0$ (ή $G_i^*(1) < 0$). Όσο μειώνεται η τιμή του δείκτη, τόσο εντονότερη η *χωρική αυτοσυσχέτιση* των δεδομένων (π.χ. τα κελιά 1, 2, 7, 8). Οι περιοχές που εμφανίζονται ως *χωρικά ασυσχέτιστες* είναι εκείνες για τις οποίες ισχύει ότι $G_i(1) \approx 0$ (π.χ. τα κελιά 15, 17). Επίσης, στον πίνακα Ε.5, φαίνονται τα αποτελέσματα των δεικτών $G_i(d)$ και $G_i^*(d)$, χρησιμοποιώντας απόσταση 2 κελιών για την εύρεση των γειτόνων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F: Χωρική Ομαδοποίηση

F.1. Επαναληπτικός Αυτοπροσδιοριζόμενος Αλγόριθμος Ομαδοποίησης

Στο παράδειγμα που ακολουθεί, θα εφαρμοστεί η μέθοδος *ISOCA* για τη βέλτιστη εύρεση τεσσάρων ομάδων δεδομένων. Έστω ότι υπάρχει μια περιοχή 7×7, η οποία έχει ως τιμές σε δύο παραμέτρους, αυτές που εμφανίζονται στο σχήμα F.1.

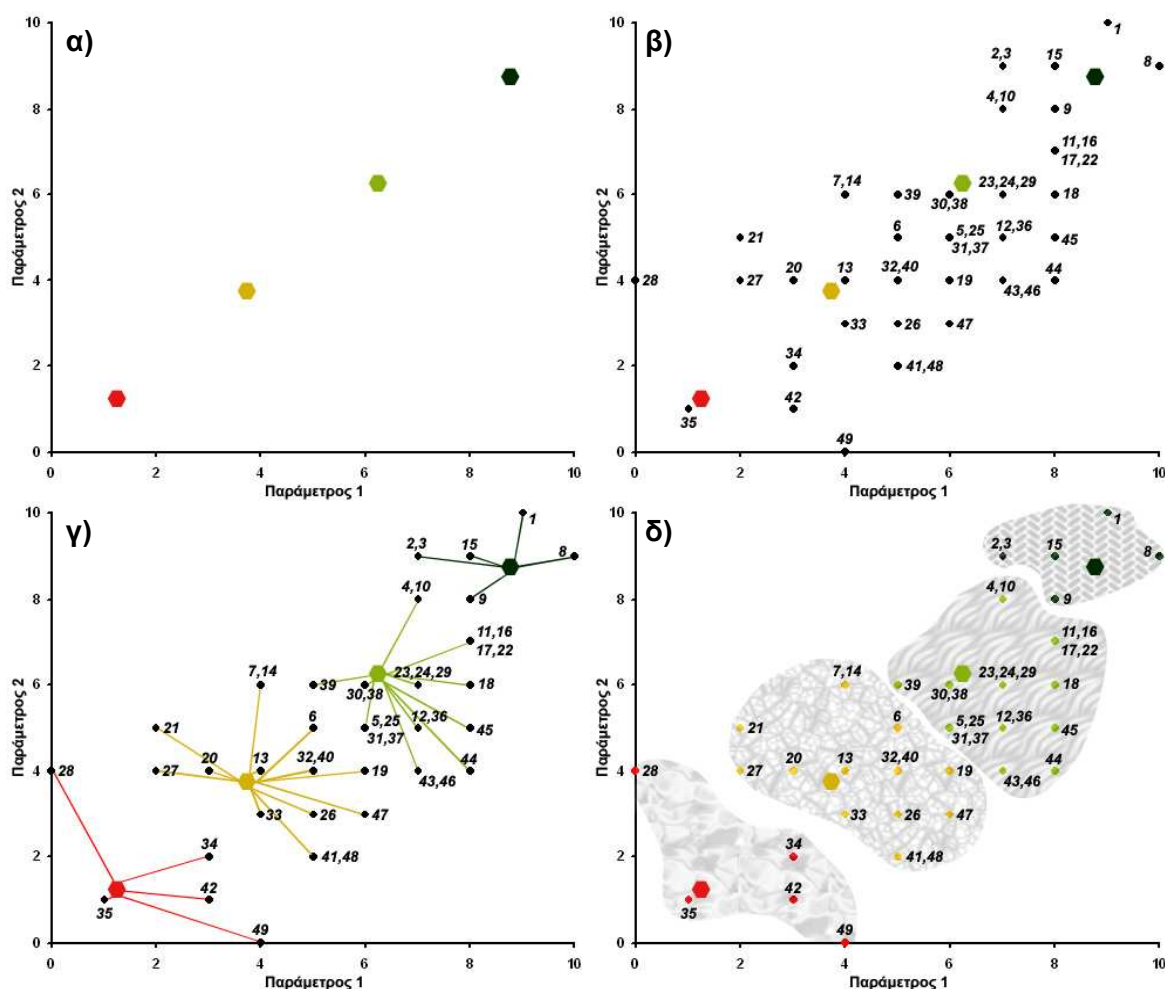


Σχήμα F.1: Παράδειγμα Εφαρμογής του Αλγόριθμου *ISOCA* σε μια Περιοχή 7×7, α) Παράμετρος 1, β) Παράμετρος 2

Σύμφωνα με τα βήματα του αλγόριθμου *ISOCA* που περιγράφονται στην παράγραφο 5.3.1, ορίζεται το πλήθος των ομάδων και υπολογίζονται τα αρχικά κεντροϊδή για την κάθε παράμετρο, χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.20. Τα αρχικά κεντροϊδή που προκύπτουν για τέσσερις ομάδες δεδομένων, φαίνονται στον πίνακα F.1. Τα κεντροϊδή που υπολογίζονται, προβάλλονται στο διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα F.2α, όπου στον άξονα των x υπάρχουν οι τιμές της παραμέτρου 1 και στον άξονα των y υπάρχουν οι τιμές της παραμέτρου 2. Στη συνέχεια, προβάλλονται όλα τα σημεία με βάση τις τιμές των παραμέτρων, οπότε δημιουργείται το διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα F.2β. Υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση του κάθε σημείου από το κάθε κεντροϊδές χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.21 και καταγράφεται η ομάδα στην οποία εμφανίζεται η μικρότερη απόσταση, όπως φαίνεται στο σχήμα F.2γ. Τέλος, καταγράφεται στο κάθε σημείο, η ομάδα στην οποία ανήκει βάσει της ελάχιστης Ευκλείδειας απόστασης που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα. Οι κατανομή των ομάδων φαίνεται στο σχήμα F.2δ.

Πίνακας F.1: Οι Αρχικές Τιμές των Κεντροϊδών ($t = 0$)

| | Παράμετρος 1 | Παράμετρος 2 |
|--------------|--------------|--------------|
| Κεντροϊδές 1 | 1.25 | 1.25 |
| Κεντροϊδές 2 | 3.75 | 3.75 |
| Κεντροϊδές 3 | 6.25 | 6.25 |
| Κεντροϊδές 4 | 8.75 | 8.75 |



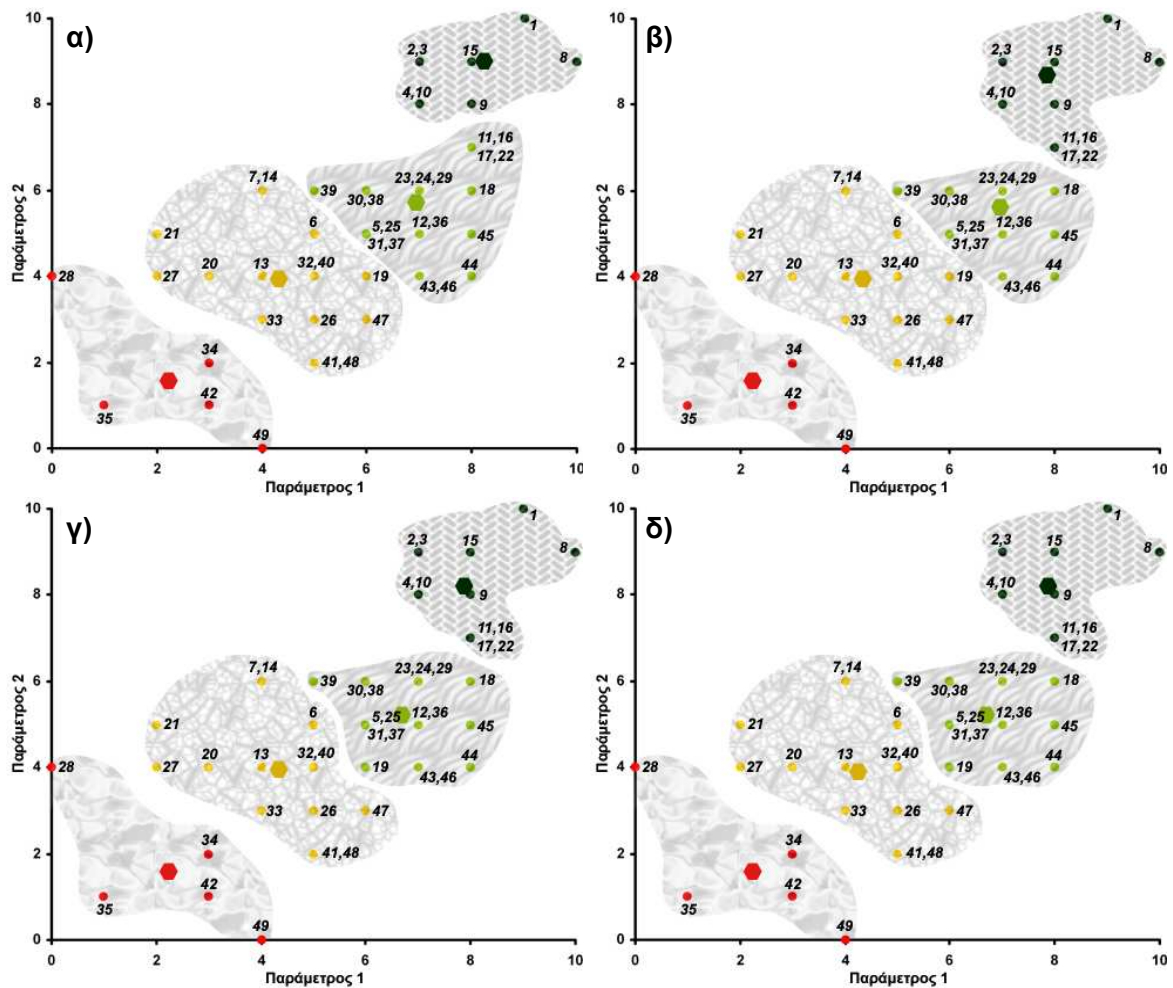
Σχήμα F.2: Διαγραμματική Αναπαράσταση του Αλγόριθμου *ISOCA*, α) Προβολή των Κεντροϊδών, β) Προβολή των Σημείων, γ) Εύρεση Ελαχίστης Ευκλείδειας Απόστασης από τα Κεντροϊδή, δ) Καταγραφή της Ομάδας που Ανήκει το Σημείο

Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος υπολογίζει τα καινούργια κεντροϊδή των ομάδων χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.22. Τα καινούργια κεντροϊδή που προκύπτουν, υπολογίζονται βάσει του μέσου όρου των τιμών, των σημείων που ανήκουν στην κάθε ομάδα. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται μέχρι να επαληθευτεί το κριτήριο τερματισμού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, εκτελέστηκε ο αλγόριθμος χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τερματισμού τον δείκτη απόκλισης E , δηλαδή ότι μεταξύ δυο διαδοχικών επαναλήψεων δεν πρέπει να υπάρχει διαφορά στις τιμές των κεντροϊδών μεγαλύτερη από

1%. Ο αλγόριθμος τερματίστηκε μετά από 5 επαναλήψεις. Η πέμπτη επανάληψη δεν έδωσε καμία μεταβολή στις τιμές των κεντροϊδών ($E = 0$). Στον πίνακα F.2, εμφανίζονται οι τιμές των κεντροϊδών που προκύπτουν σε κάθε επανάληψη, οι τιμές του δείκτη απόκλισης και το συνολικό ποσοστό των κελιών που αλλάζουν κλάση. Στο σχήμα F.3, φαίνονται τα διαγράμματα και οι ομαδοποιήσεις που προκύπτουν από την κάθε επανάληψη.

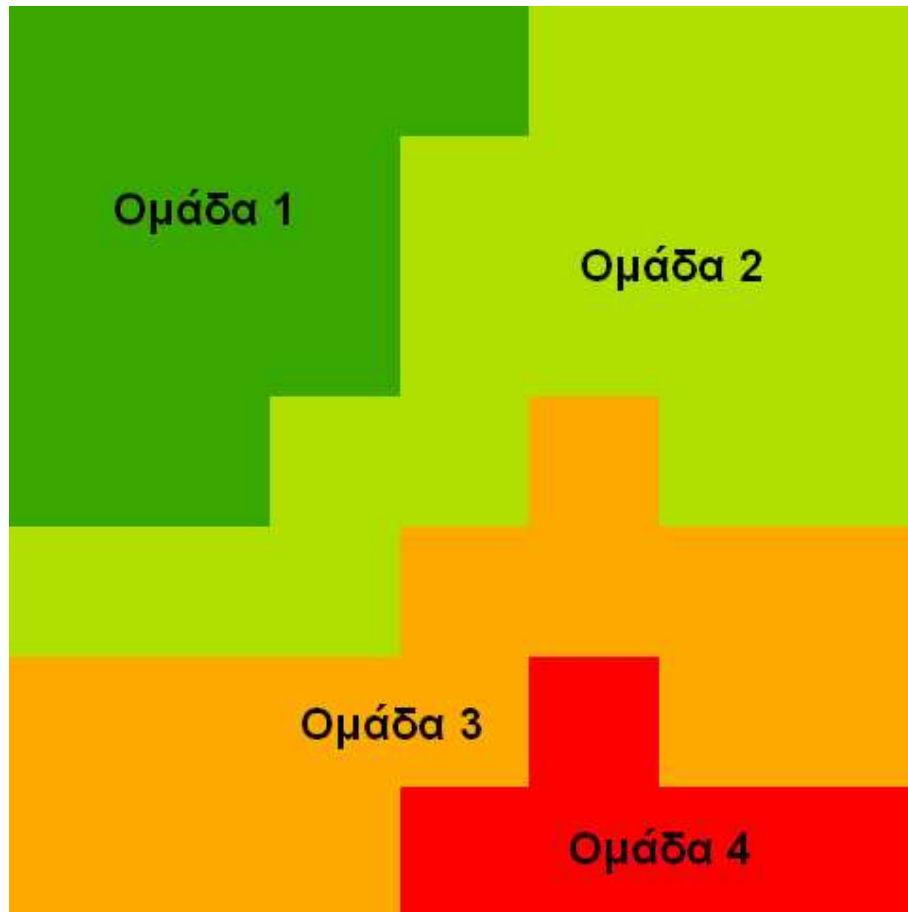
Πίνακας F.2: Οι Τιμές των Κεντροϊδών για Όλες τις Επαναλήψεις που Εκτελέστηκαν

| | t = 1, E = 76% Μεταβολή 4.1% | | t = 2, E = 3.7% Μεταβολή 8.2% | | t = 3, E = 6.7% Μεταβολή 2% | | t = 4, E = 2.7% Μεταβολή 0% | | t = 5, E = 0% Μεταβολή 0% | |
|---------------------|------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|---------------------------------|------|
| | Π1 | Π2 | Π1 | Π2 | Π1 | Π2 | Π1 | Π2 | Π1 | Π2 |
| | Κεντροϊδές 1 | 2.20 | 1.60 | 2.20 | 1.60 | 2.20 | 1.60 | 2.20 | 1.60 | 2.20 |
| Κεντροϊδές 2 | 4.33 | 3.93 | 4.33 | 3.93 | 4.33 | 3.93 | 4.21 | 3.93 | 4.21 | 3.93 |
| Κεντροϊδές 3 | 6.96 | 5.78 | 6.96 | 5.57 | 6.71 | 5.24 | 6.67 | 5.17 | 6.67 | 5.17 |
| Κεντροϊδές 4 | 8.17 | 9.00 | 7.88 | 8.75 | 7.92 | 8.17 | 7.92 | 8.17 | 7.92 | 8.17 |



Σχήμα F.3: Αποτελέσματα της Εκτέλεσης του Αλγόριθμου *ISOCA*, α) t = 1, β) t = 2, γ) t = 3, δ) t = 4 και 5

Το τελικό αποτέλεσμα της ομαδοποίησης της περιοχής 7×7 του συγκεκριμένου παραδείγματος φαίνεται στο σχήμα F.4.



Σχήμα F.4: Το Αποτέλεσμα της Εφαρμογής του Αλγόριθμου *ISOCA* για την Ομαδοποίηση 2 Παραμέτρων σε 4 Ομάδες

F.2. Fuzzy C-Means

Έστω ότι υπάρχει μια περιοχή 7×7, η οποία έχει τιμές σε κάποια μεταβλητή, αυτές που εμφανίζονται στο σχήμα F.5. Θα εφαρμοστεί η μέθοδος *Fuzzy C-Means* για τη βέλτιστη εύρεση τριών ομάδων δεδομένων.

| | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 8 | 15 | 22 | 29 | 36 | 43 |
| 10 | 9 | 9 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| 2 | 9 | 16 | 23 | 30 | 37 | 44 |
| 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 4 |
| 3 | 10 | 17 | 24 | 31 | 38 | 45 |
| 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| 4 | 11 | 18 | 25 | 32 | 39 | 46 |
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 6 | 4 |
| 5 | 12 | 19 | 26 | 33 | 40 | 47 |
| 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| 6 | 13 | 20 | 27 | 34 | 41 | 48 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 |
| 6 | 6 | 5 | 4 | 1 | 1 | 0 |

Σχήμα F.5: Παράδειγμα Εφαρμογής της Μεθόδου *Fuzzy C-Means* σε μια Περιοχή 7×7

Σύμφωνα με τα βήματα της μεθόδου *Fuzzy C-Means* που περιγράφονται στην παράγραφο 5.3.2, ορίζεται το πλήθος των ομάδων και η παράμετρος βαρύτητας. Αν καθοριστεί ότι πρέπει να βρεθούν τρεις ομάδες, τότε οι τιμές των αρχικών κεντροιδών που υπολογίζονται από την εξίσωση 5.20, φαίνονται στην πρώτη γραμμή του πίνακα F.3. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.25 και ορίζοντας την παράμετρο βαρύτητας $m = 2$, υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής των σημείων στην κάθε ομάδα. Τέλος, με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.26 υπολογίζονται οι τιμές των καινούργιων κεντροιδών και γίνεται ο έλεγχος του κριτηρίου τερματισμού. Στο παράδειγμα του σχήματος F.5, ο αλγόριθμος τερματίστηκε μετά από έξι επαναλήψεις. Οι τιμές των κεντροιδών που υπολογίζονται σε κάθε επανάληψη καθώς και οι αντίστοιχοι δείκτες απόκλισης μεταξύ δύο επαναλήψεων, φαίνονται στον πίνακα F.3.

Πίνακας F.3: Οι Τιμές των Κεντροιδών για τις Επαναλήψεις που Εκτελέστηκαν

| Επανάληψη | Κεντροιδές 1 | Κεντροιδές 2 | Κεντροιδές 3 | Δείκτης Απόκλισης E |
|-----------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| 0 | 1.66667 | 5 | 8.33333 | - |
| 1 | 1.78891 | 4.97851 | 8.31639 | 0.16068 |
| 2 | 1.83964 | 4.97819 | 8.30454 | 0.06290 |
| 3 | 1.86400 | 4.98203 | 8.29961 | 0.03313 |
| 4 | 1.87714 | 4.98613 | 8.29864 | 0.01820 |
| 5 | 1.88493 | 4.98962 | 8.29940 | 0.01205 |
| 6 | 1.88993 | 4.99243 | 8.30075 | 0.00915 |

Στον πίνακα F.4 φαίνονται οι βαθμοί συμμετοχής του κάθε κελιού στην κάθε ομάδα, καθώς και την ομάδα στην οποία ανήκει (η ομάδα που εμφανίζει τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής).

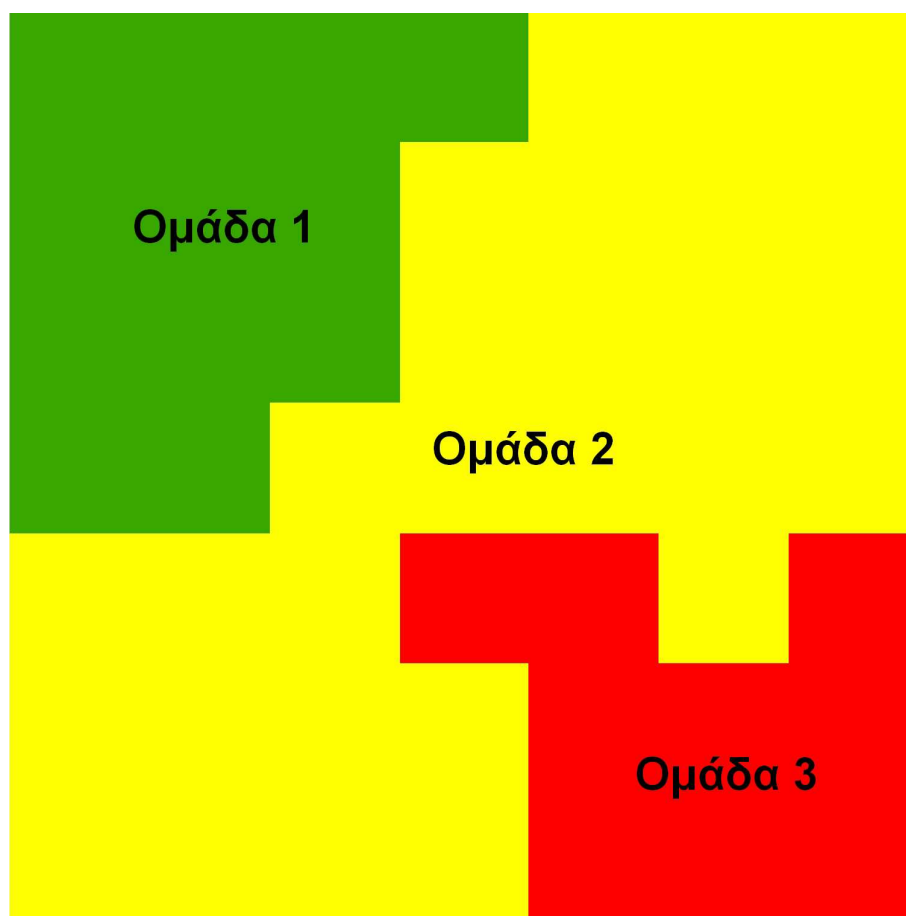
Πίνακας F.4: Οι Βαθμοί Συμμετοχής (BΣ) των Κελιών σε Κάθε Ομάδα και η Ομάδα που Τελικά Ανήκει το Κάθε Κελί

| Κελί | BΣ 1 | BΣ 2 | BΣ 3 | Ομάδα |
|------|---------|---------|---------|-------|
| 1 | 0.03789 | 0.09939 | 0.86272 | 3 |
| 2 | 0.00932 | 0.02934 | 0.96134 | 3 |
| 3 | 0.00932 | 0.02934 | 0.96134 | 3 |
| 4 | 0.00237 | 0.00977 | 0.98786 | 3 |
| 5 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 6 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 7 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 8 | 0.00932 | 0.02934 | 0.96134 | 3 |
| 9 | 0.00237 | 0.00977 | 0.98786 | 3 |
| 10 | 0.00237 | 0.00977 | 0.98786 | 3 |
| 11 | 0.04354 | 0.28184 | 0.67463 | 3 |
| 12 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 13 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 14 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 15 | 0.00932 | 0.02934 | 0.96134 | 3 |
| 16 | 0.04354 | 0.28184 | 0.67463 | 3 |
| 26 | 0.73618 | 0.23123 | 0.03259 | 1 |
| 27 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 28 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 29 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 30 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 31 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 32 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 33 | 0.73618 | 0.23123 | 0.03259 | 1 |
| 34 | 0.99819 | 0.00148 | 0.00033 | 1 |
| 35 | 0.93994 | 0.04624 | 0.01381 | 1 |
| 36 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 37 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 38 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 39 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 40 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 41 | 0.99819 | 0.00148 | 0.00033 | 1 |

| | | | | |
|----|---------|---------|---------|---|
| 17 | 0.04354 | 0.28184 | 0.67463 | 3 |
| 18 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 19 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 20 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 21 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 22 | 0.04354 | 0.28184 | 0.67463 | 3 |
| 23 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 24 | 0.04810 | 0.79785 | 0.15405 | 2 |
| 25 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |

| | | | | |
|----|---------|---------|---------|---|
| 42 | 0.93994 | 0.04624 | 0.01381 | 1 |
| 43 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 44 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 45 | 0.00001 | 0.99998 | 0.00001 | 2 |
| 46 | 0.17212 | 0.78622 | 0.04166 | 2 |
| 47 | 0.73618 | 0.23123 | 0.03259 | 1 |
| 48 | 0.99819 | 0.00148 | 0.00033 | 1 |
| 49 | 0.83732 | 0.11949 | 0.04319 | 1 |

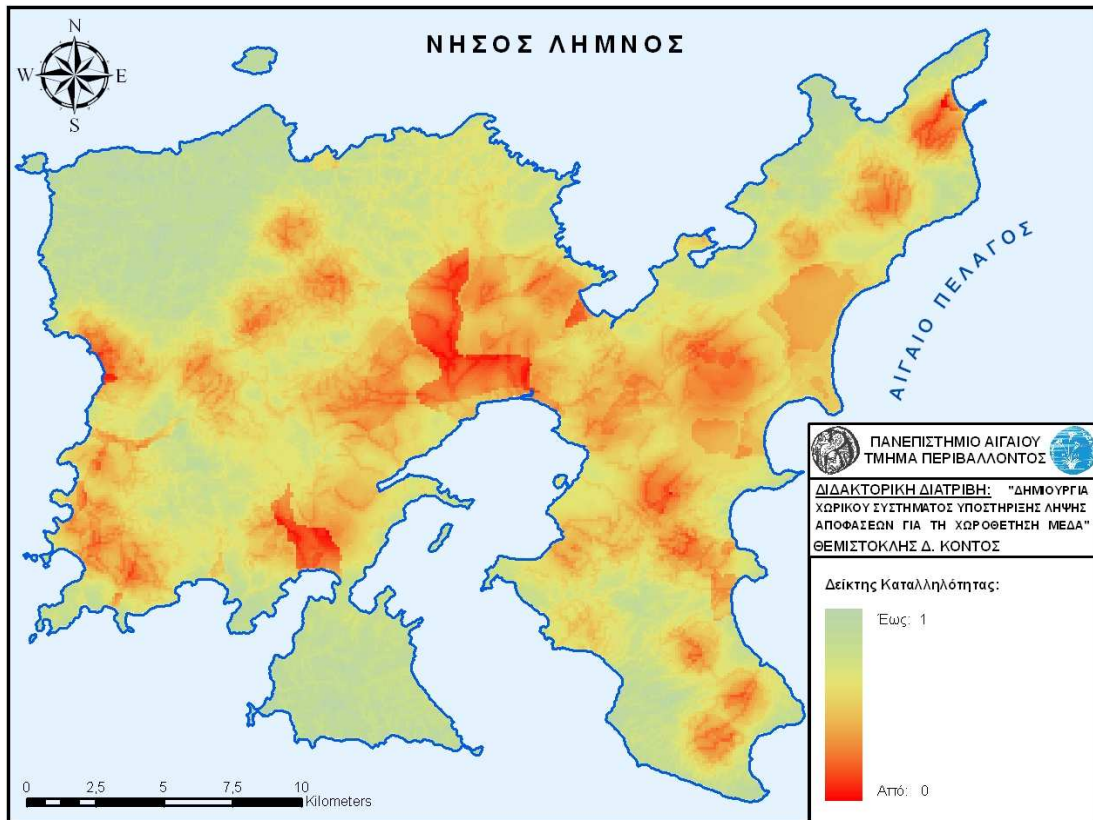
Τέλος, στο σχήμα F.6 φαίνεται το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης της περιοχής 7×7 του σχήματος F.5, όπως αυτό προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου *Fuzzy C-Means* για τρεις ομάδες και χρησιμοποιώντας την τιμή 2 για την παράμετρο βαρύτητας m .



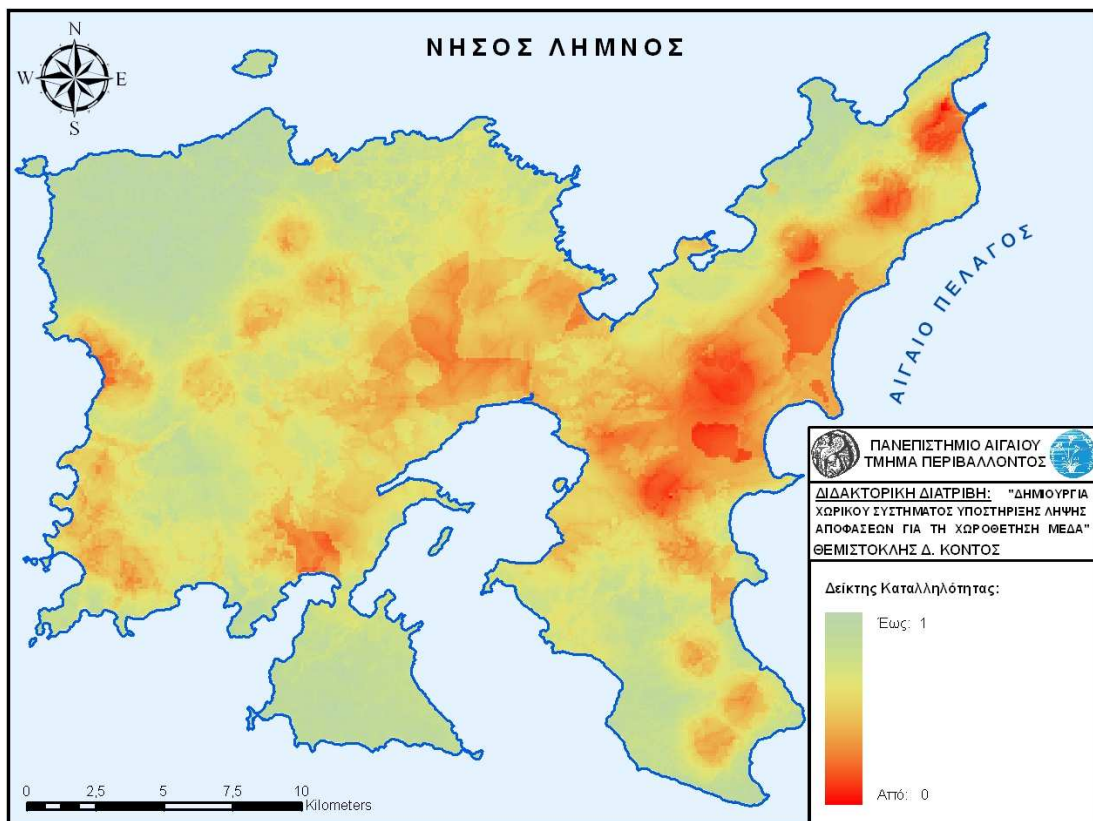
Σχήμα F.6: Το Αποτέλεσμα της Εφαρμογής της Μεθόδου *Fuzzy C-Means* για τη Δημιουργία 3 Ομάδων με $m = 2$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ G: Ανάλυση Ευαισθησίας

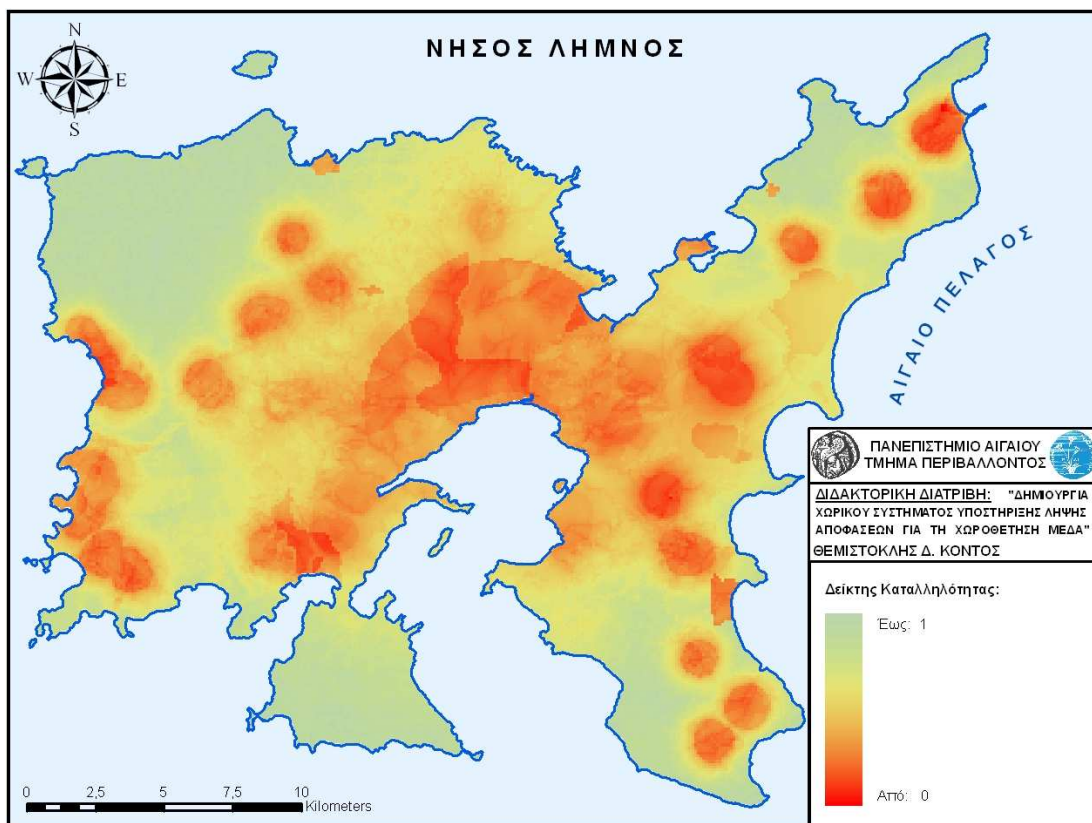
G.1. Ανάλυση Ευαισθησίας του Δείκτη Καταλληλότητας



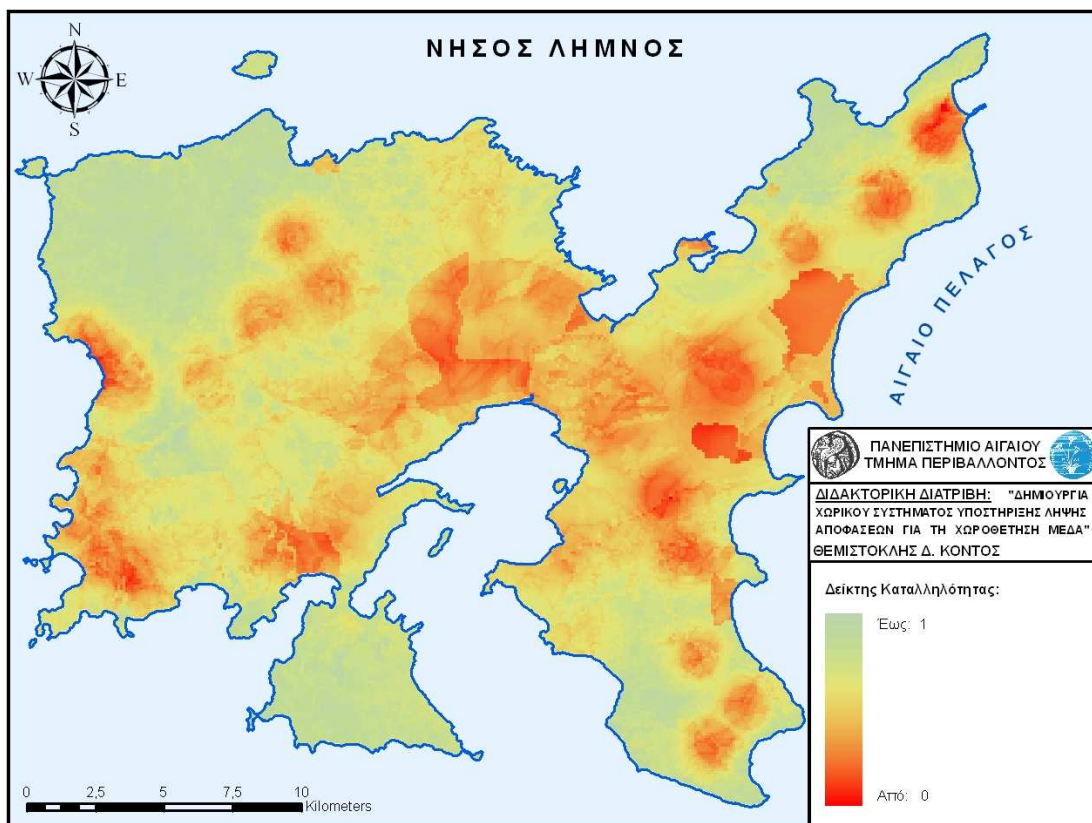
Χάρτης G.1.1: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 2



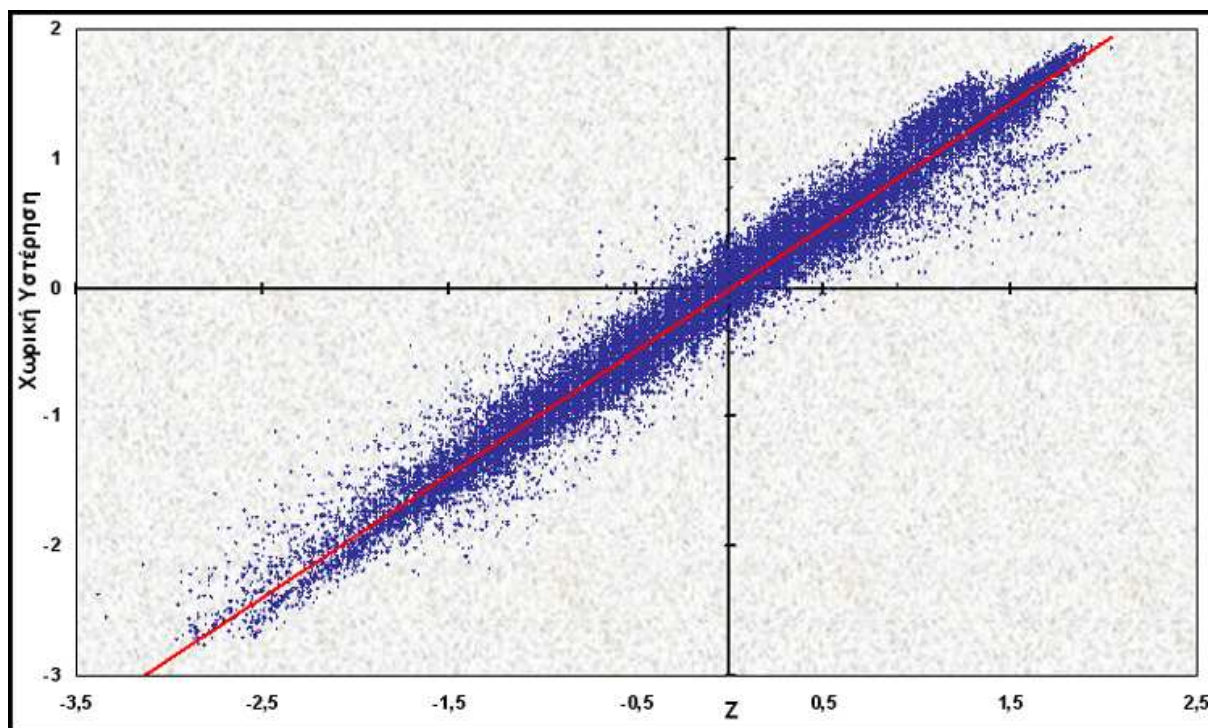
Χάρτης G.1.2: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 3



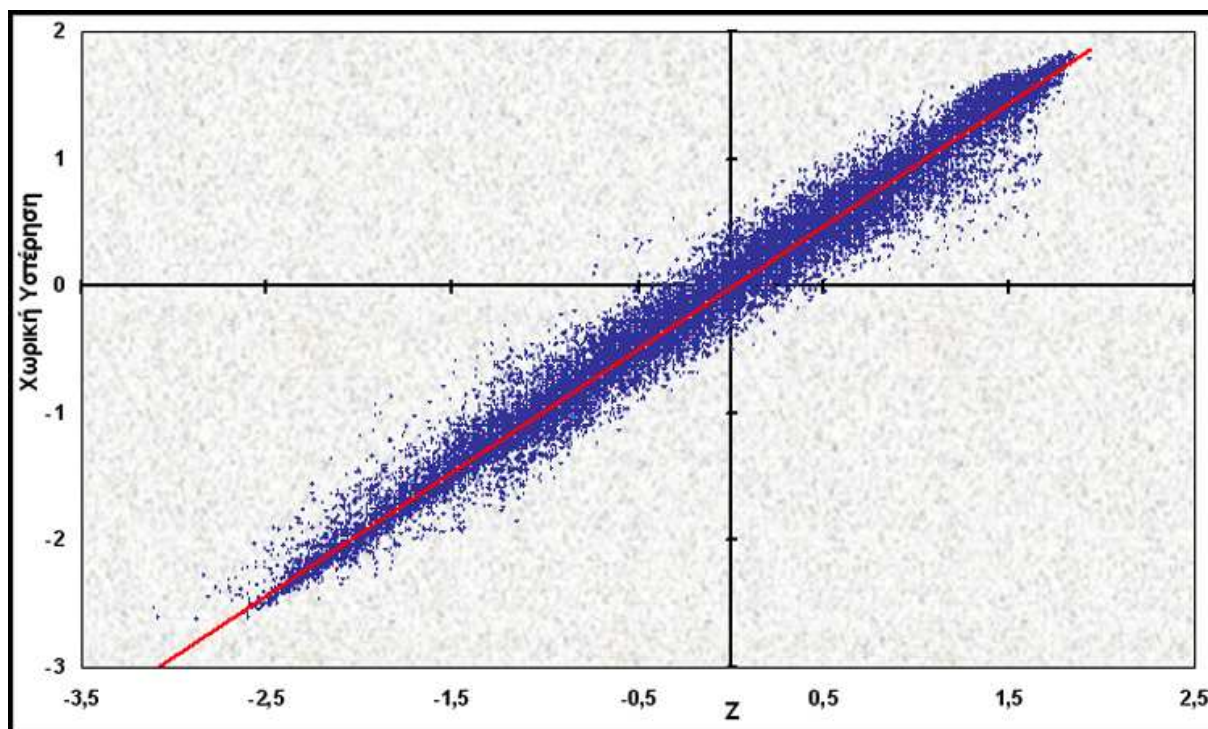
Χάρτης G.1.3: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 4



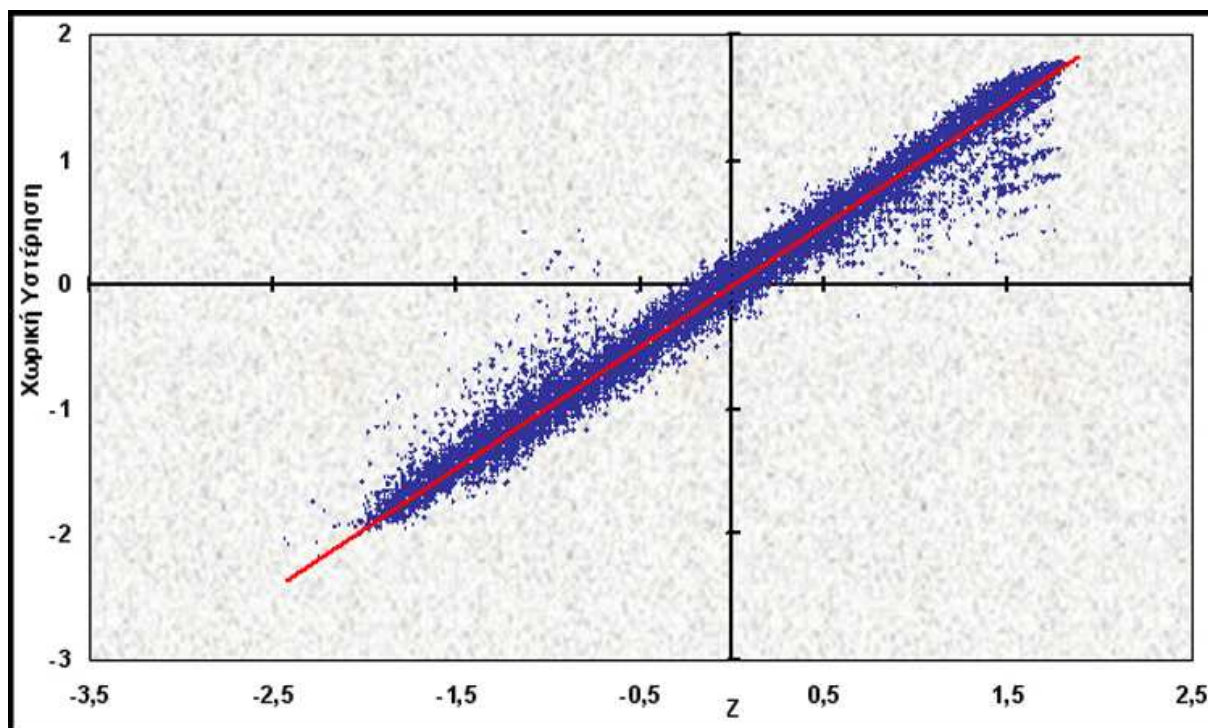
Χάρτης G.1.4: Ο Δείκτης Καταλληλότητας που Προκύπτει από το Σενάριο 5



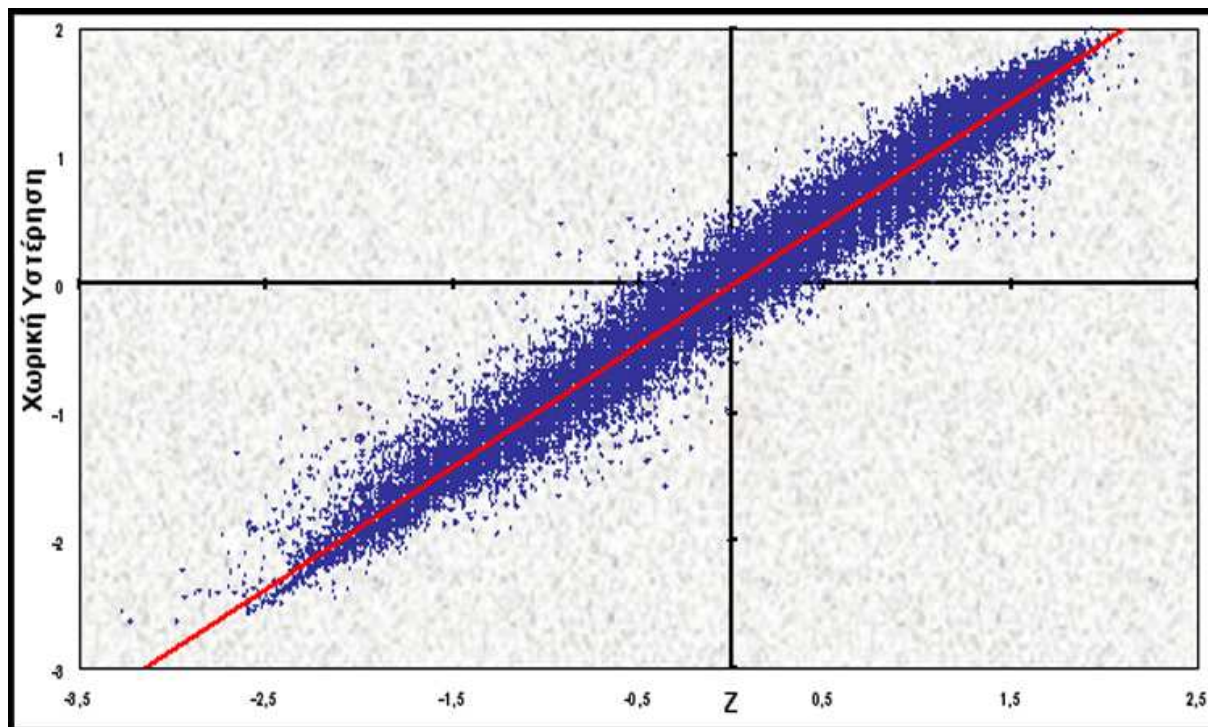
Σχήμα G.1.1: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για το Σενάριο 2



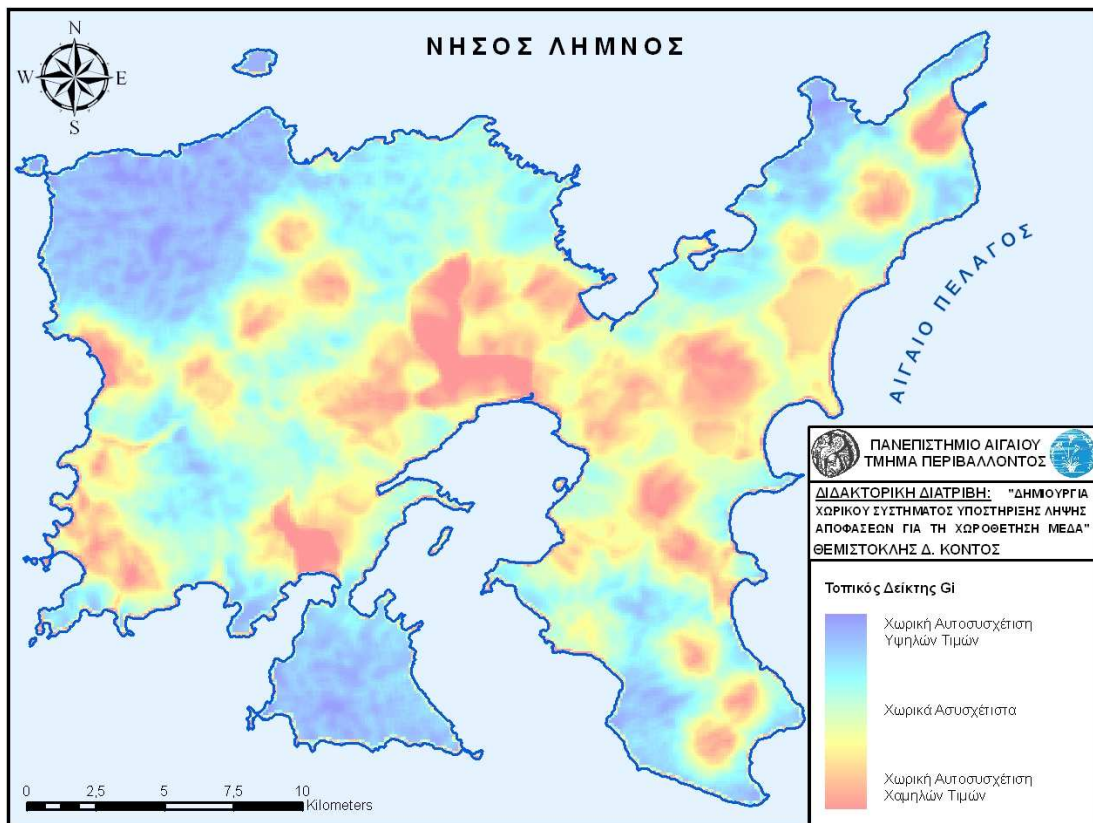
Σχήμα G.1.2: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για το Σενάριο 3



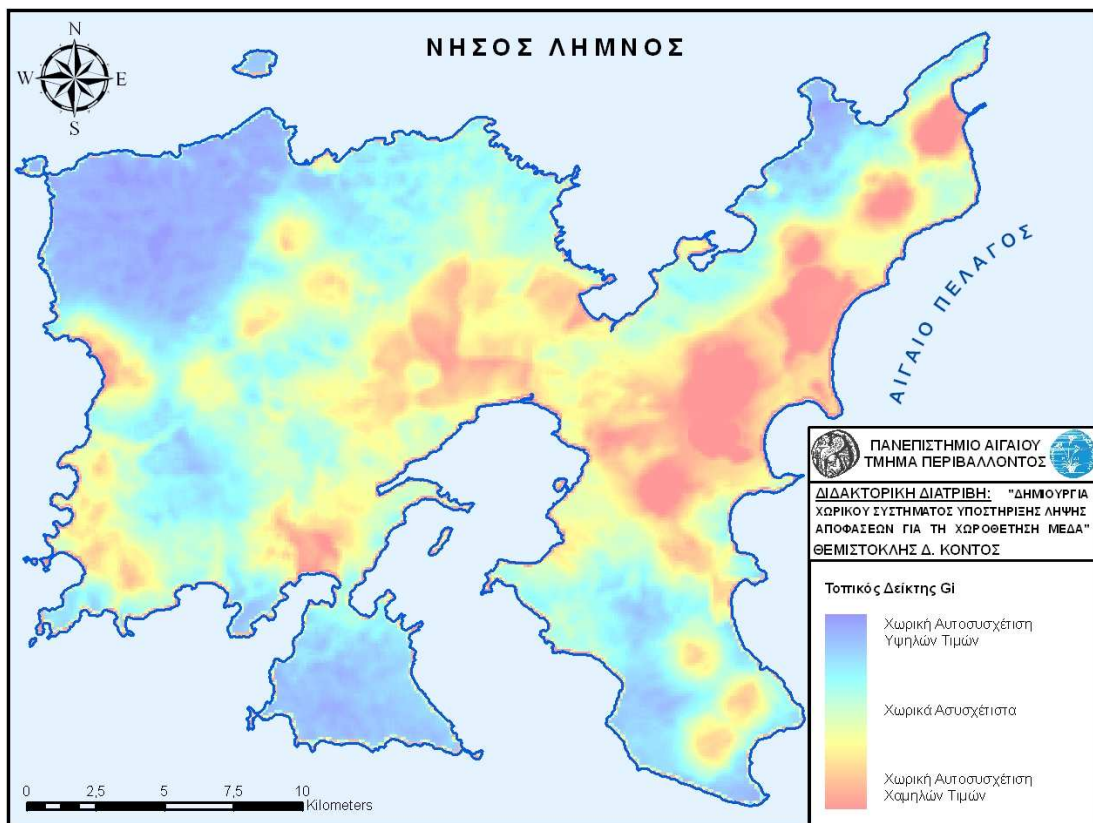
Σχήμα G.1.3: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για το Σενάριο 4



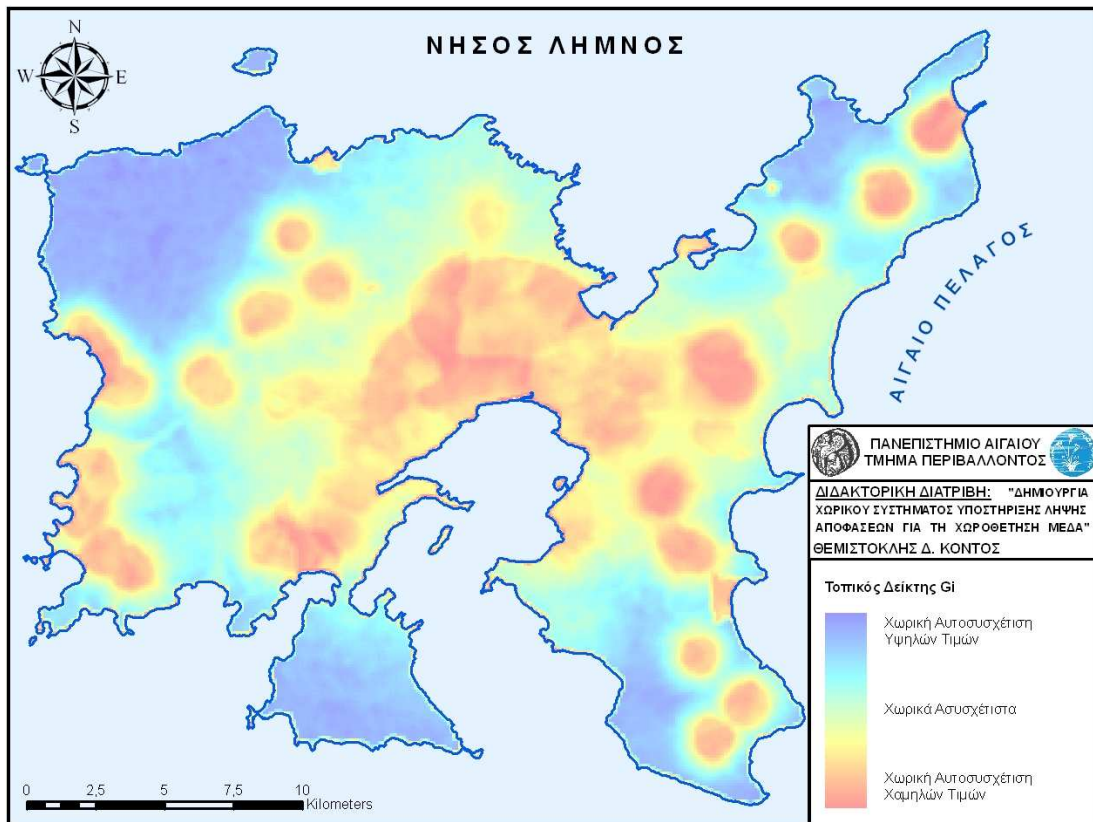
Σχήμα G.1.4: Διάγραμμα Διασποράς του Moran για το Σενάριο 5



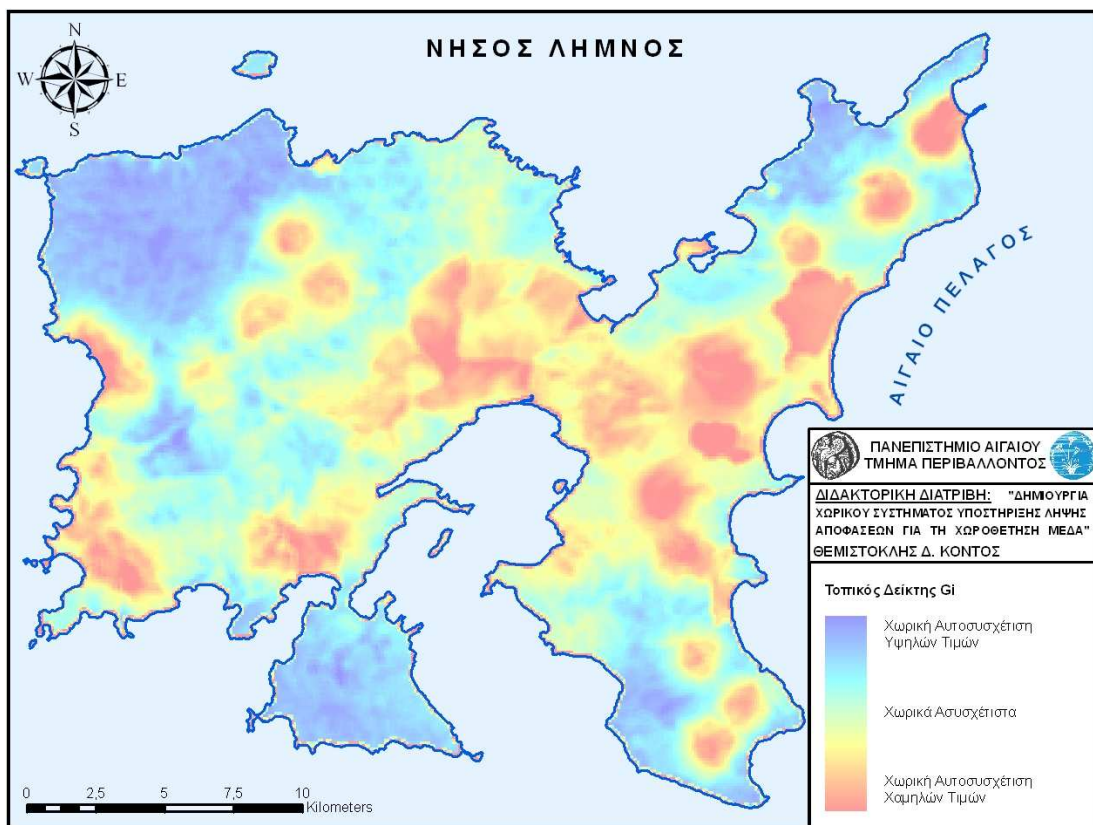
Χάρτης G.1.5: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με *G-Statistics* του Σεναρίου 2



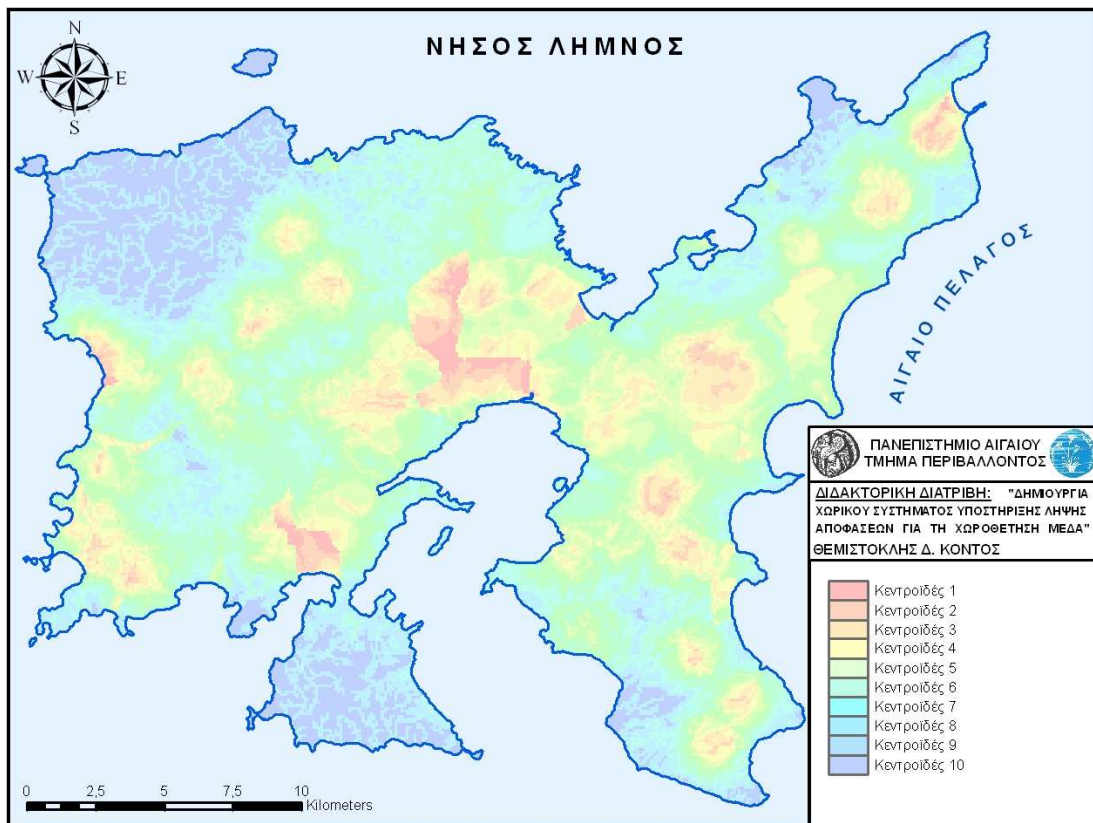
Χάρτης G.1.6: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με *G-Statistics* του Σεναρίου 3



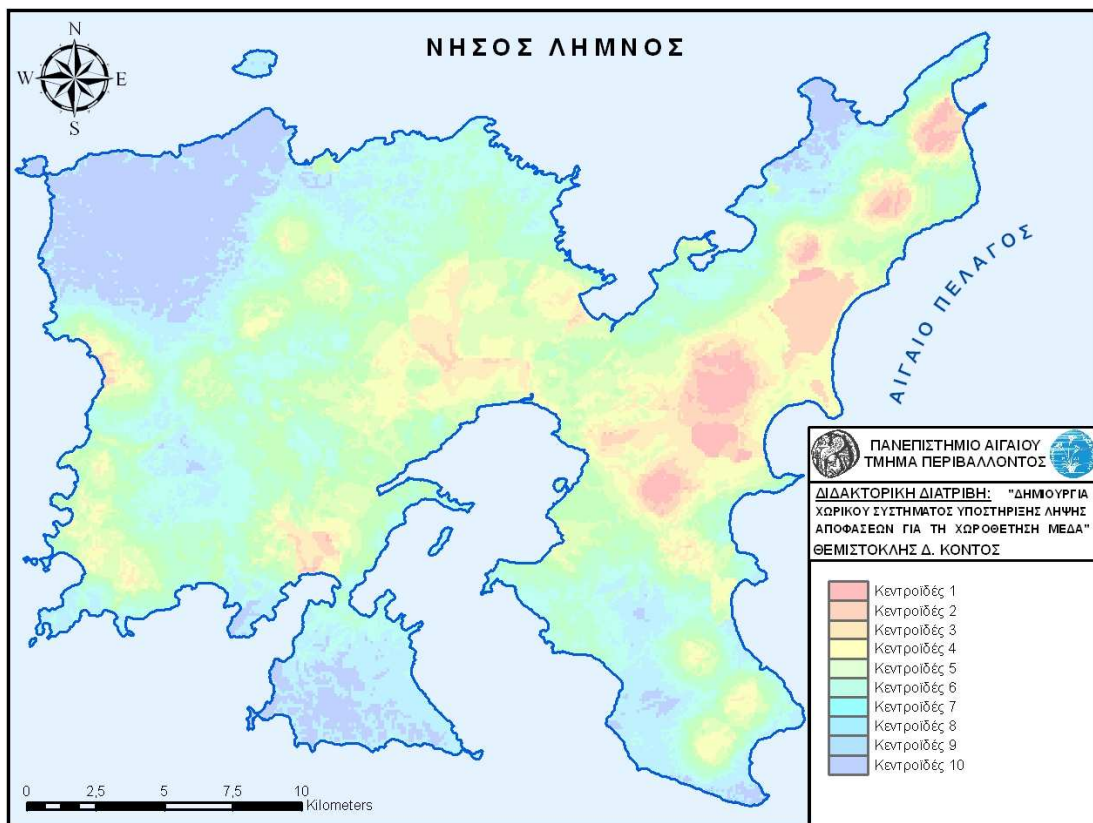
Χάρτης G.1.7: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με G-Statistics του Σεναρίου 4



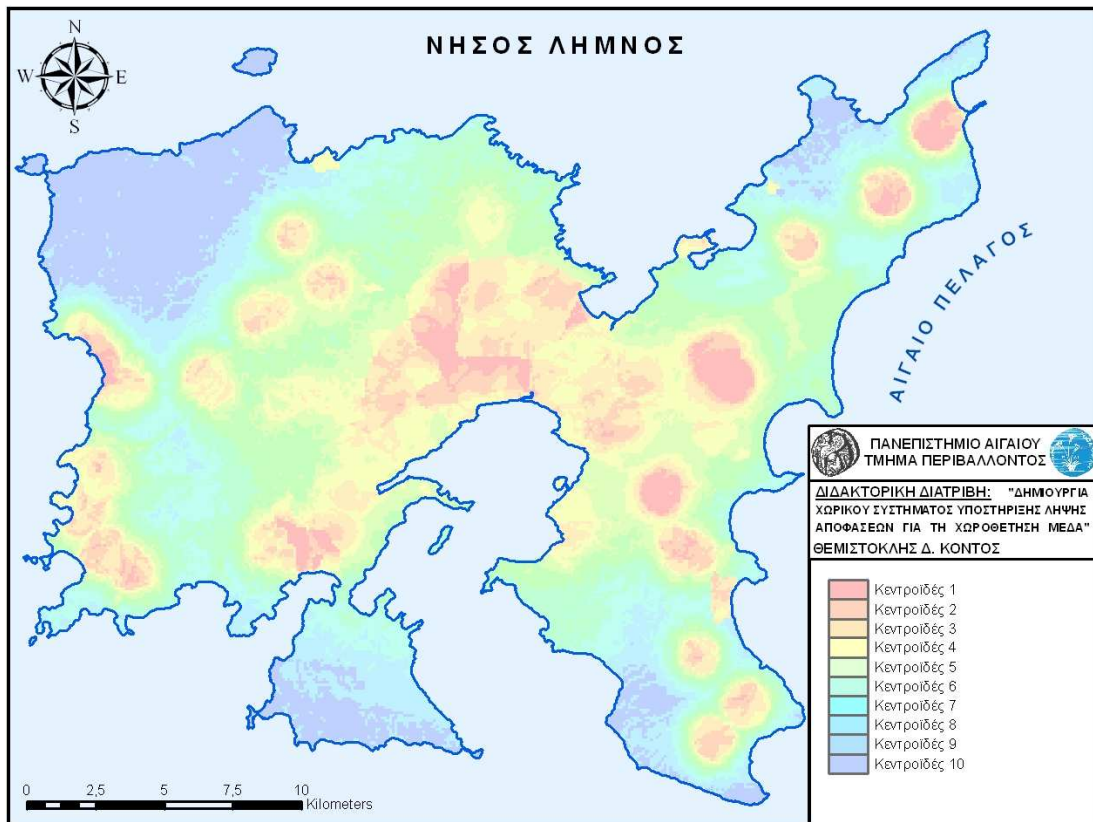
Χάρτης G.1.8: Χωρική Αυτοσυσχέτιση με G-Statistics του Σεναρίου 5



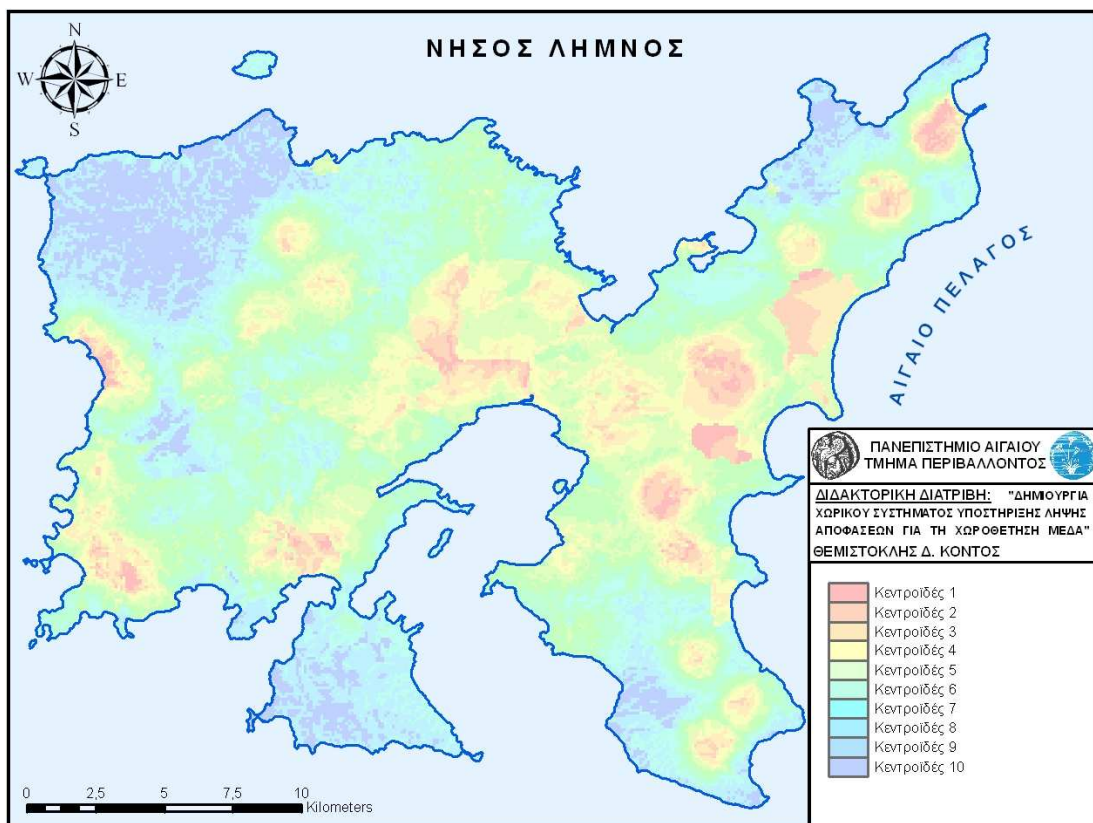
Χάρτης G.1.9: Χωρική Ομαδοποίηση με Fuzzy C-Means του Σεναρίου 2



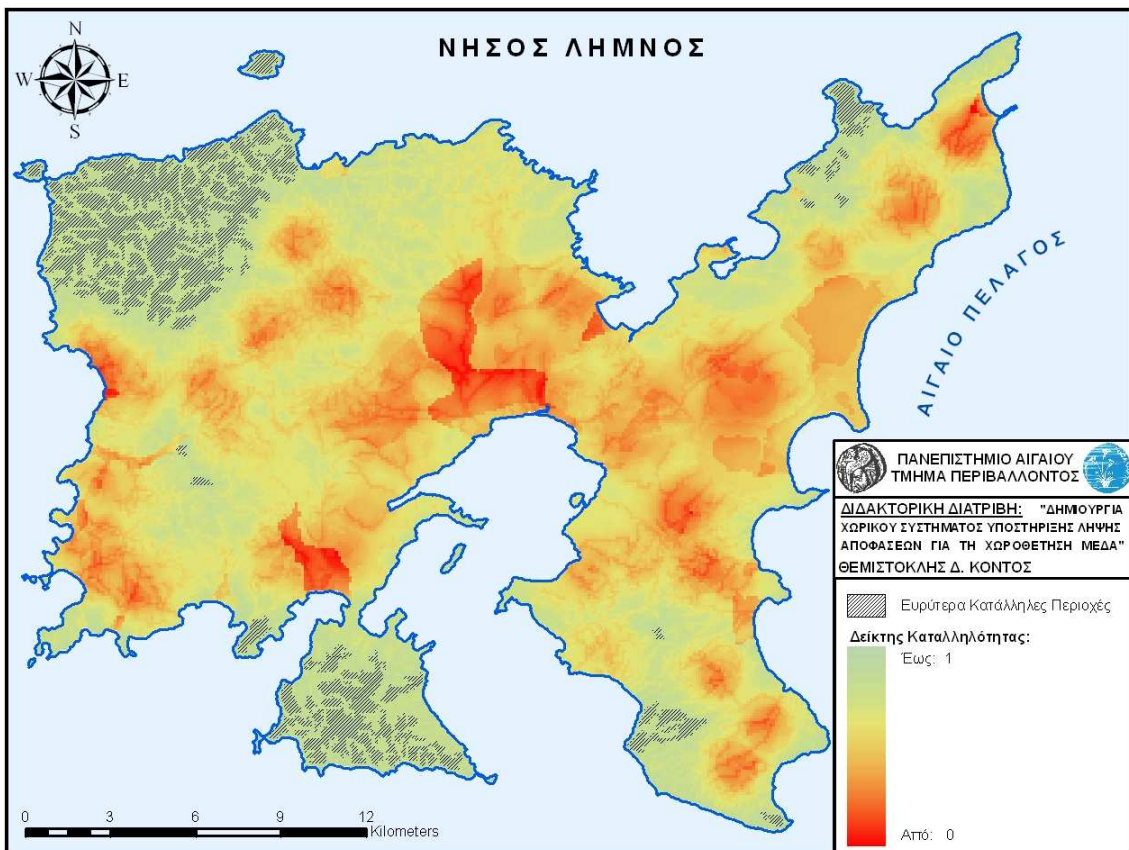
Χάρτης G.1.10: Χωρική Ομαδοποίηση με Fuzzy C-Means του Σεναρίου 3



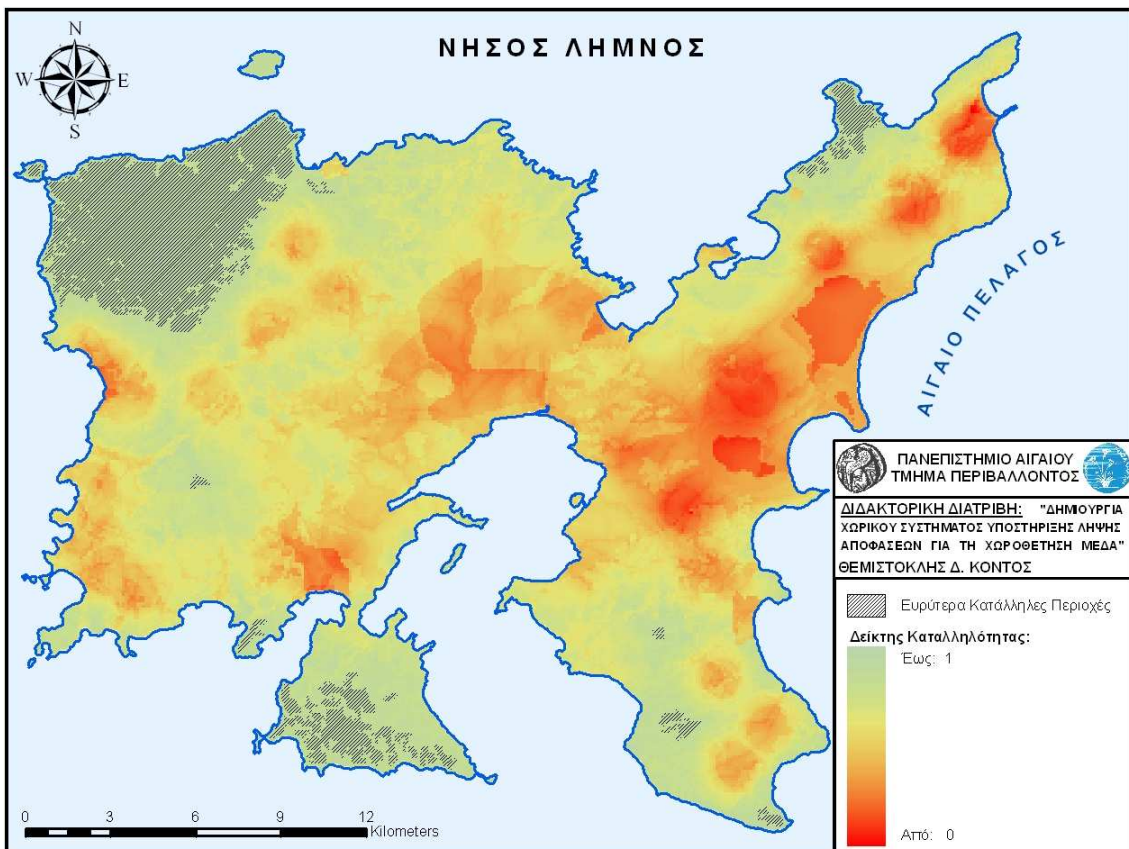
Χάρτης G.1.11: Χωρική Ομαδοποίηση με *Fuzzy C-Means* του Σεναρίου 4



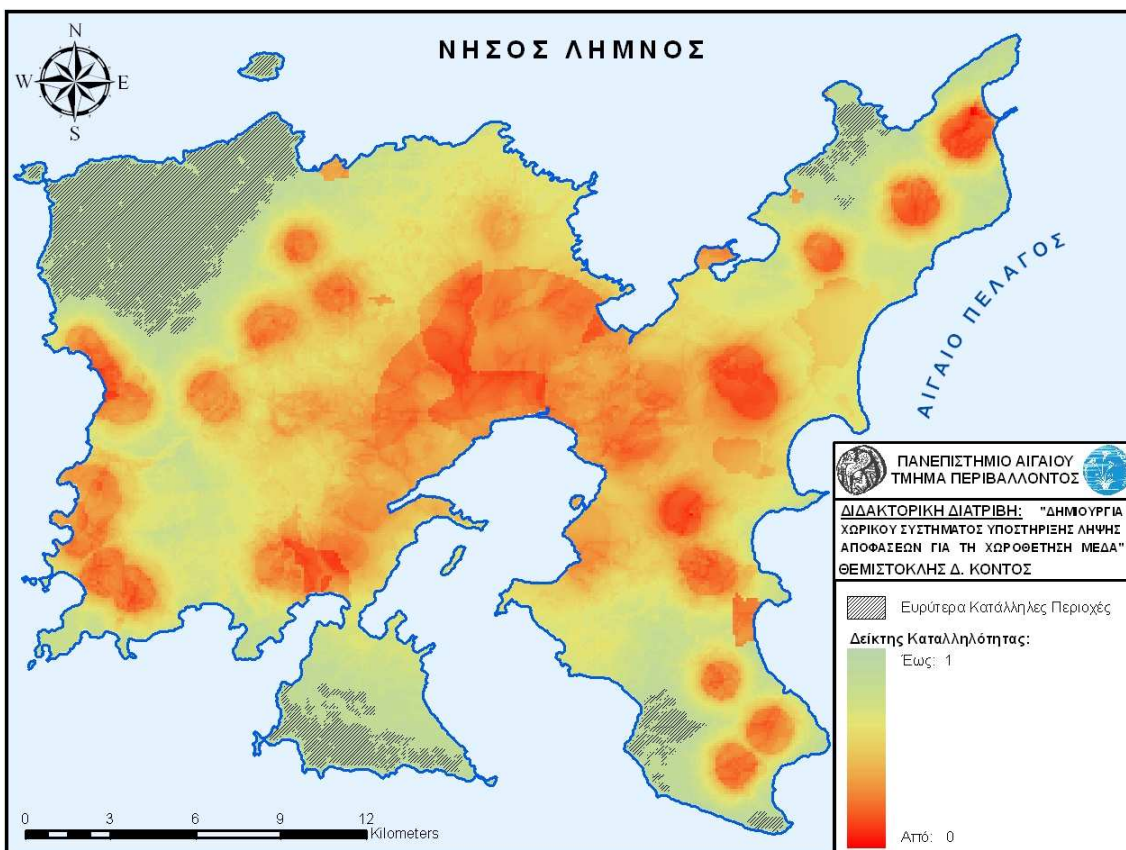
Χάρτης G.1.12: Χωρική Ομαδοποίηση με *Fuzzy C-Means* του Σεναρίου 5



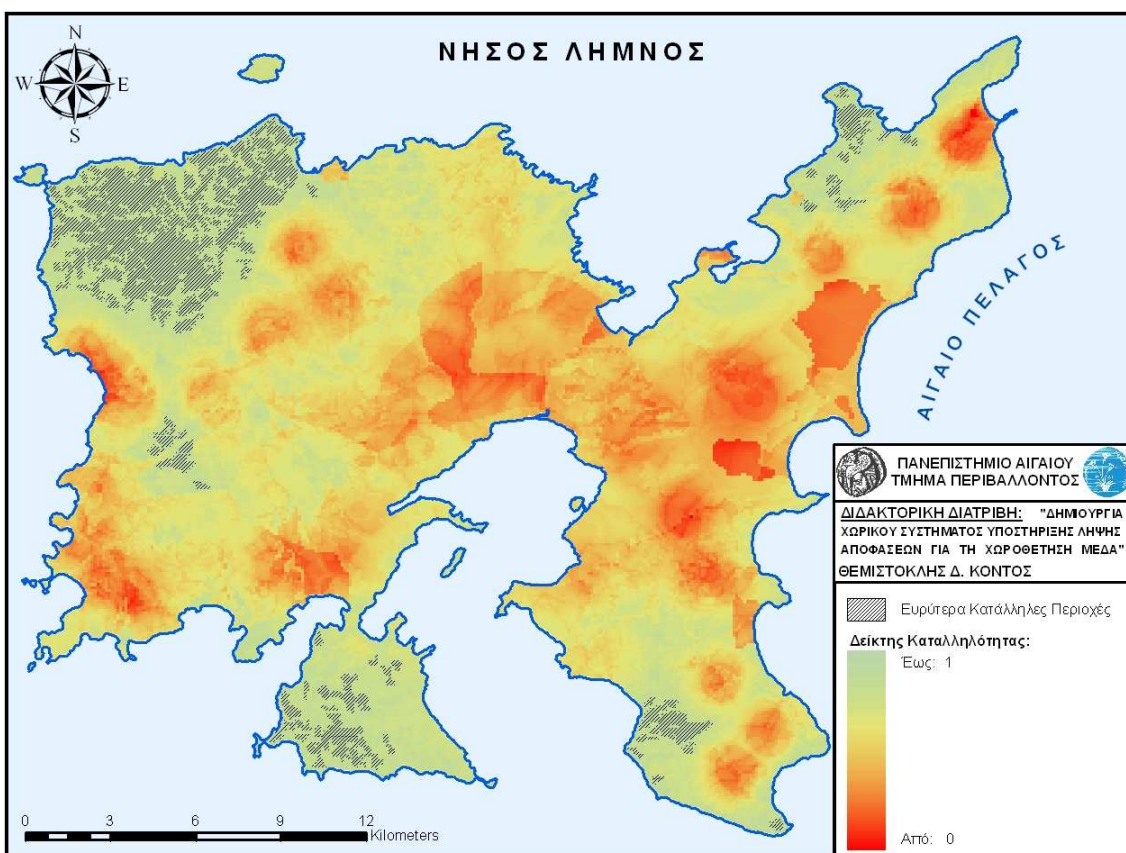
Χάρτης G.1.13: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 2



Χάρτης G.1.14: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 3

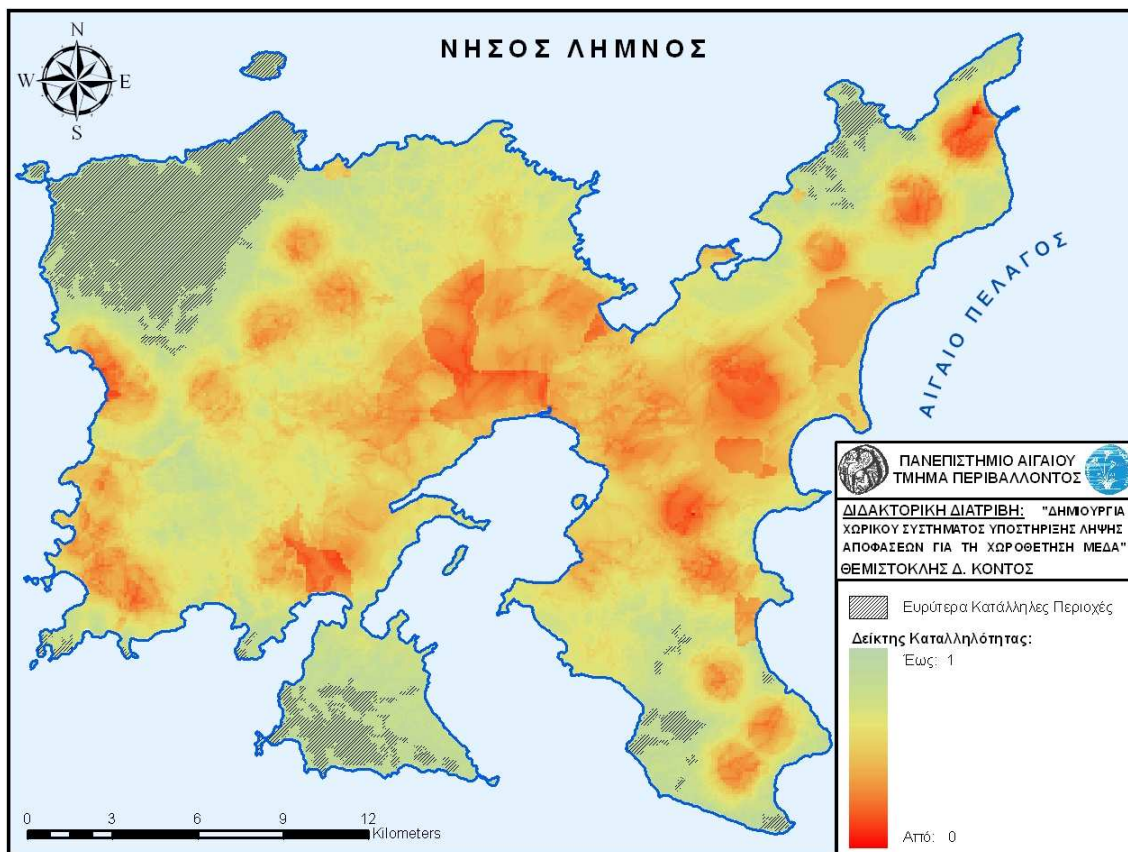


Χάρτης G.1.15: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 4

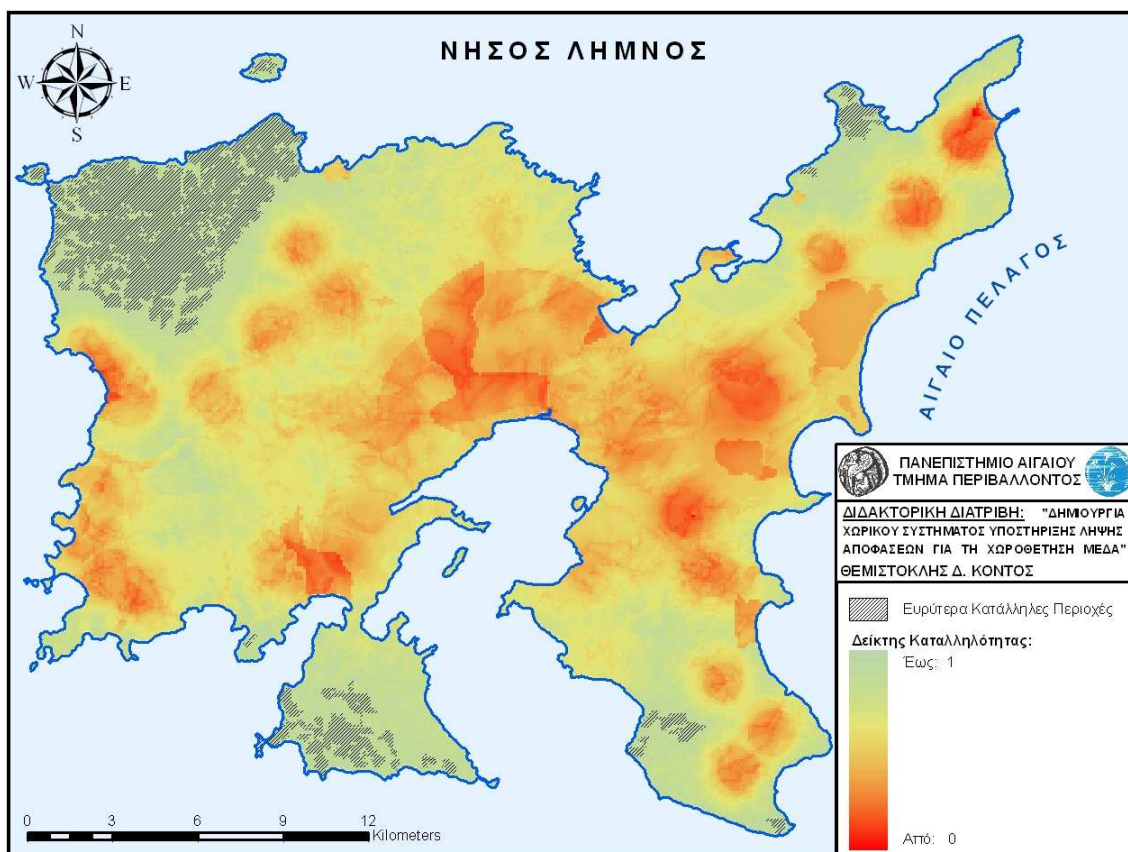


Χάρτης G.1.16: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 5

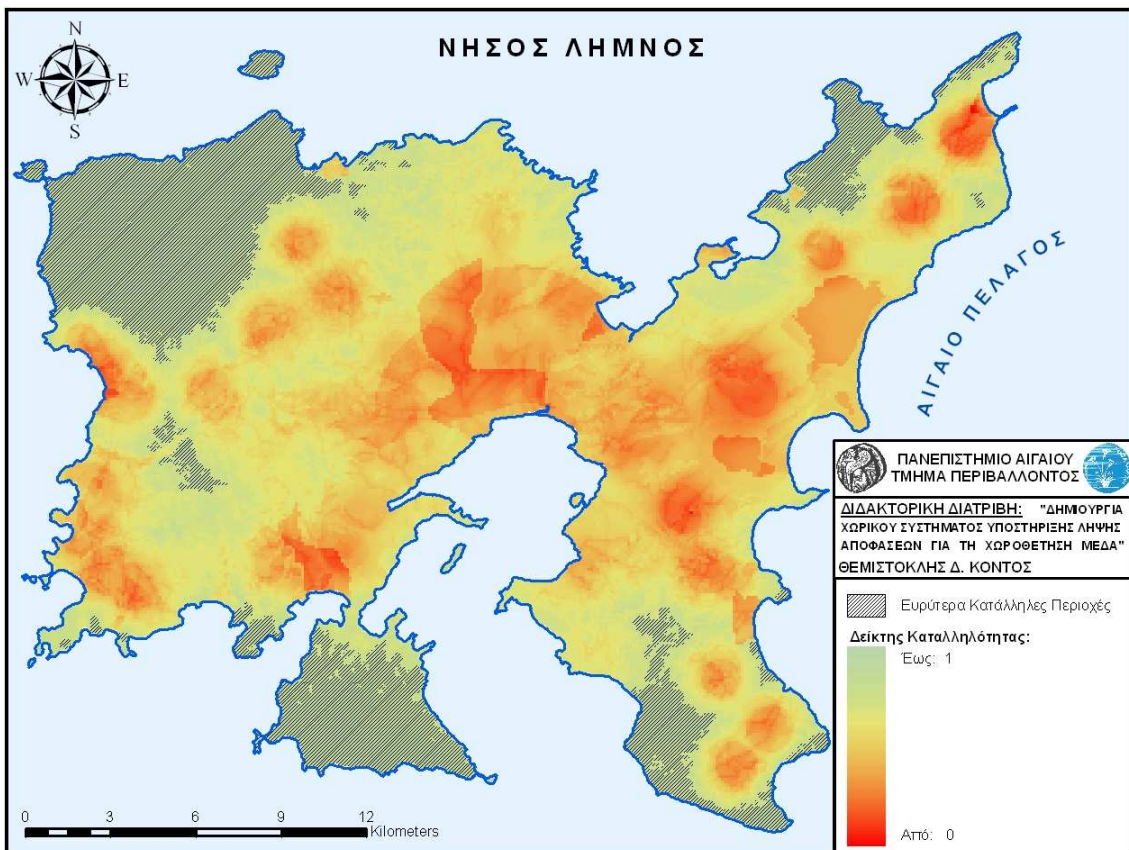
G.2. Ανάλυση Ευαισθησίας των Ευρύτερα Κατάλληλων Περιοχών



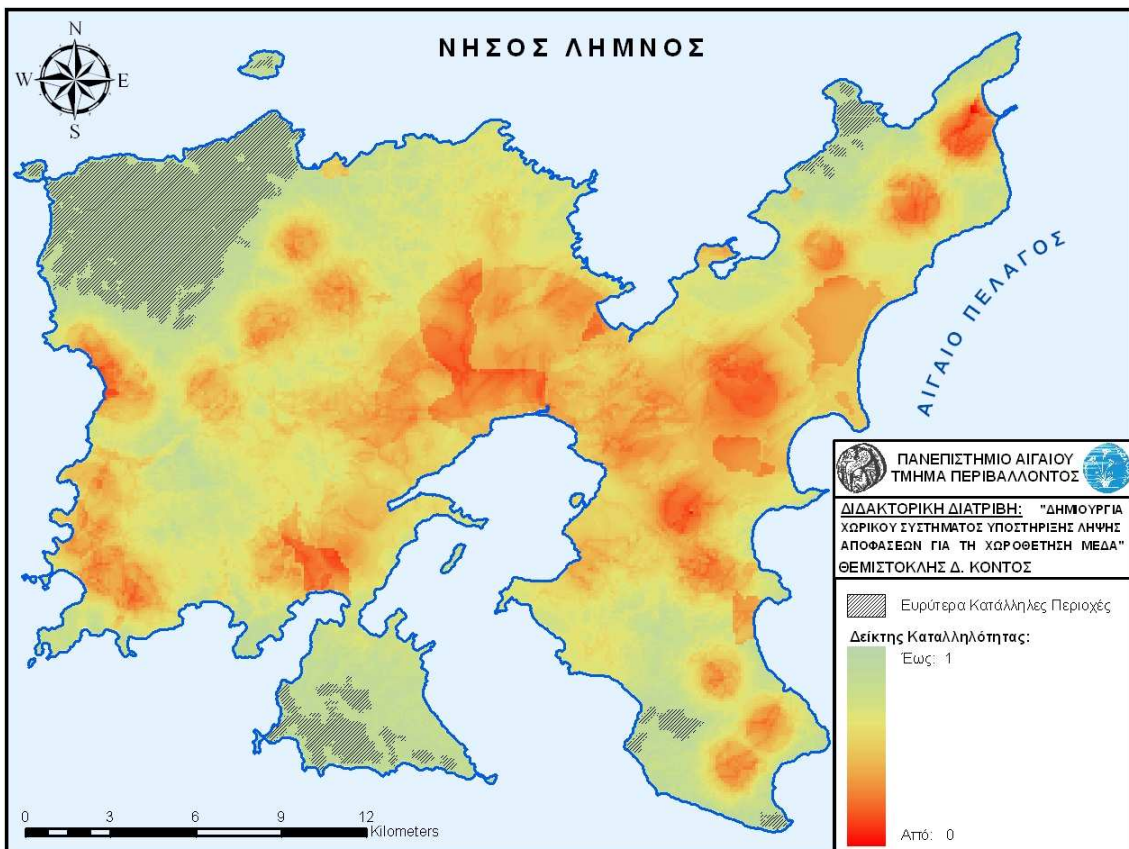
Χάρτης G.2.1: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 6



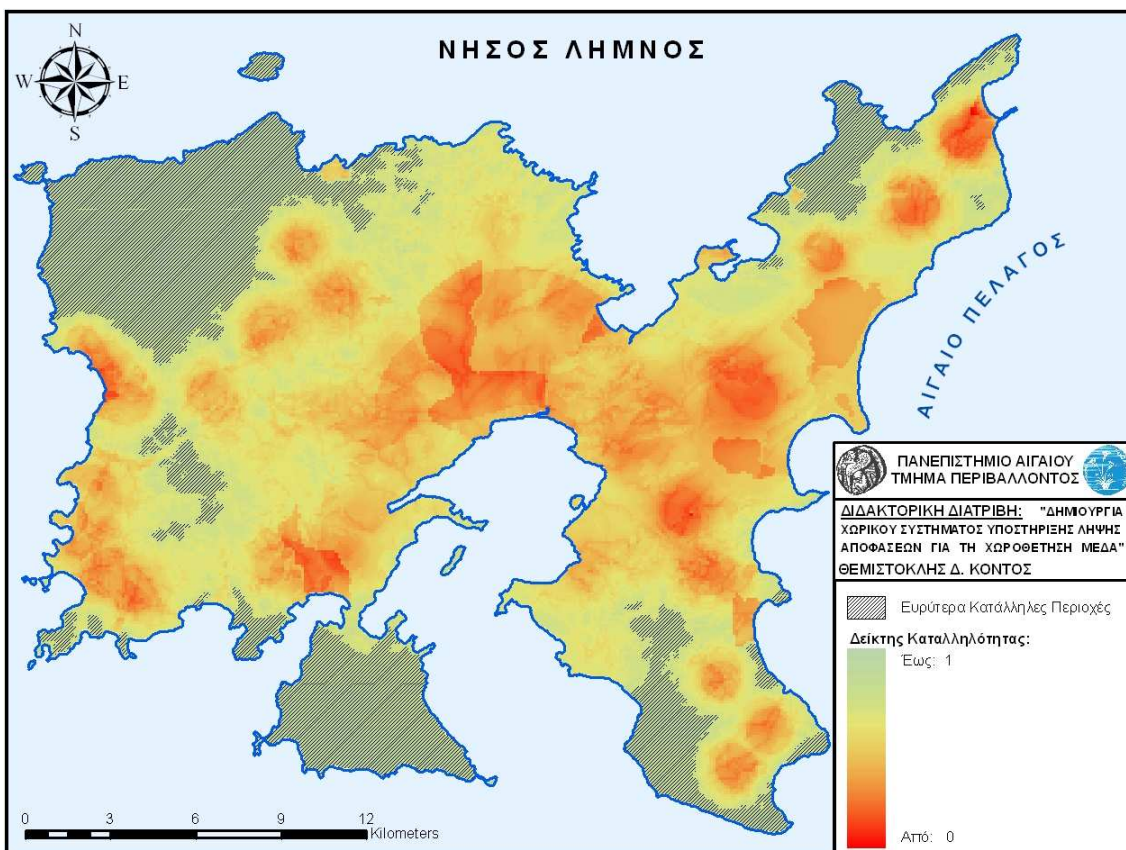
Χάρτης G.2.2: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 7



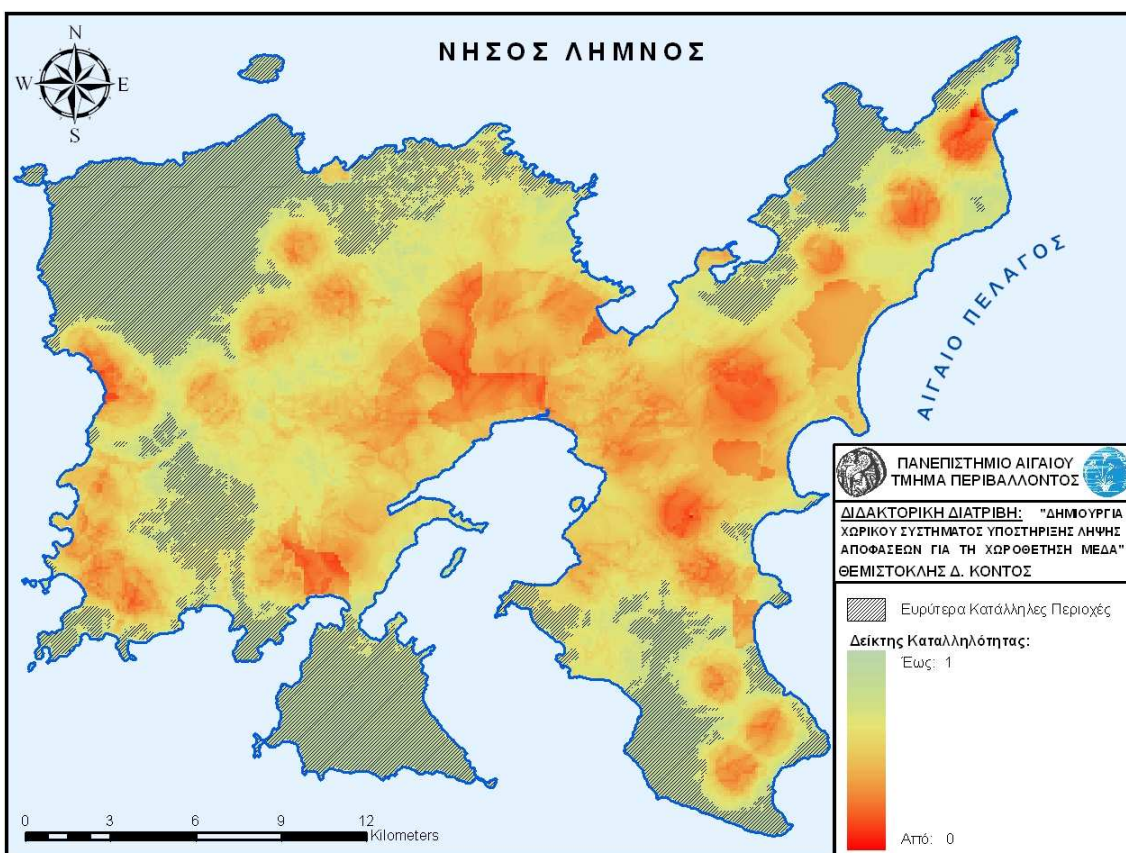
Χάρτης G.2.3: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 8



Χάρτης G.2.4: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 9



Χάρτης G.2.5: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 10



Χάρτης G.2.6: Ευρύτερα Κατάλληλες Περιοχές που Προκύπτουν από το Σενάριο 11

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η: Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά

1. **Kontos Th.**, Komilis D. and Halvadakis C., 2003. Siting MSW Landfills in Lesvos Island with a GIS-based Methodology. *Waste Management and Research*, **21(3)**, 262-277.
2. **Kontos Th.**, Komilis D. and Halvadakis C., 2005. Siting MSW Landfills with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology. *Waste Management*, **25**, 818-832.
3. **Kontos Th.** and Halvadakis C., 2007. A Fuzzy Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology for Municipal Solid Waste Landfill Siting, *Journal of Environmental Management* (υπό κρίση).

Siting MSW landfills on Lesvos island with a GIS-based methodology

The siting of Municipal Solid Waste (MSW) landfills in Greece is a difficult process due to land resource limitations, the country's mountainous, insular and primarily water permeable terrain as well as an exacerbated public opposition (NIMBY syndrome). A GIS-based methodology is presented here with the goal to identify and rank the candidate landfill sites for the entire island of Lesvos. The initial step of the methodology comprises a GIS-based spatial analysis that uses 10 criteria, by excluding all areas unsuitable for any waste disposal activity. The pre-selected areas are then further assessed by fieldwork and candidate landfill sites are determined. The candidate sites are ranked using 19 criteria with predefined weight coefficients on a 0 to 10 grading scale. The weight coefficients are estimated for each criterion using the Analytic Hierarchy Process (AHP), while the grading scheme is based on pre-defined guidelines. An overall suitability index is produced for each candidate site allowing comparison and best case selection. A case study for the island of Lesvos is presented here, in which eight candidate landfill sites were finally selected and ranked. Social factors highly determined the ultimate selection of the site in Lesvos, since the third rather than the first site suggested by the methodology, was finally approved by local authorities.

Themistoklis D. Kontos

Ph.D. Candidate, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece.
E-mail: thkon@env.aegean.gr

Dimitrios P. Komilis

Lecturer of Environmental Engineering, Waste Management Laboratory, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece.

Constantinos P. Halvadakis

Professor of Environmental Engineering, Waste Management Laboratory, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece.
E-mail: khalv@aegean.gr

Keywords: Analytical hierarchy process, geographical information systems, municipal solid wastes, landfill siting, landfill site assessment, multiple criteria evaluation, wmr 568–7.

Corresponding author: D.P. Komilis, Lecturer of Environmental Engineering, Waste Management Laboratory, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece.
Tel/Fax: +3022510-36274 E-mail: dkomilis@aegean.gr

Received 20 February 2002, accepted in revised form 20 February 2003.

Introduction

Municipal Solid Waste Management (MSWM) in Greece is practiced at either a local (municipal) or a regional level (prefectures or regions). MSW management systems are currently not integrated and only recently has Greek legislation required the implementation of strategic plans for the management of MSW at a prefectural level for the next 15 years. Landfills are the ultimate waste sinks in every MSWM system, even if waste reduction and reuse, recycling and thermal or biological treatment techniques are included in it. Over-population, urbanisation and increased waste production during the past, in addition to limited land resources, have not only decreased the life

time of existing landfills, but also aggravated the difficulty of locating new ones. Siting a landfill is a complicated process, since it has to combine social, environmental, technical and financial factors.

Over 4,000 uncontrolled dumps existed in Greece until the mid-nineties with approximately 22 sanitary landfills being currently in operation and approximately 30 under design or construction (Mavropoulos 2000). People in Greece oppose the siting of a waste activity in their proximity, despite the need for the use of the services it offers. This is an expected phenomenon, since most Greeks have never seen a sanitarily constructed and operated landfill;

for the average Greek, solid waste disposal is associated with malodours, smoke and fire, the presence of insects and rodents and severe environmental degradation.

The improper landfill siting practices used in Greece to date, in addition to improper design, construction and operation of many of the existing landfills, have resulted in air, surface or groundwater water pollution and degradation of sensitive ecosystems. Several landfill siting techniques have been outlined in the literature (Noble 1992, Halvadakis 1993, Ehler *et al.* 1995, Kao & Lin 1996, Siddiqui *et al.* 1996, Dugger 1997, Balis *et al.* 1998, Dorhofer & Siebert 1998, Lin & Kao 1998, Mandylas *et al.* 1998, Yagoub & Buyong 1998, Herzog 1999, Lukashev *et al.* 2001). The main principle on which these techniques rely is the minimisation of environmental impacts resulting from waste landfilling. The siting process aims at locating areas that will minimise hazards to public health and to the environment and will be economically sound.

One of the first Greek laws on the management of solid wastes (69728/824, 17/5/1996) (1996) is an adaptation of the European legal framework. The law specifies the categories of wastes (industrial, municipal, construction and demolition, etc.) and specifies the contents of all reports required in an integrated solid waste management study.

The aforementioned law was followed by the more thorough Greek Government law on the management of solid wastes (1997)(114218/97–Annex I, Chapter 3). In this law, MSW landfill siting is not allowed within archaeological sites, sensitive ecosystems, places with significant cultural value and airports. Chapter 3.3.1 of the same law refers to the criteria that should be included in a MSW landfill siting study (soil permeability, depth to water table, upstream drainage basin area, significance of local ecosystems, etc.), without, however, giving any suggested or other boundary values. It is therefore implied that each siting study can adopt its own criteria values, as is actually practiced in Greece. In a limited number of cases, local governments (prefectures) have reported their own criteria values that are valid only within the geographic boundaries of the prefecture. The 114218/97 Greek law also includes several technical specifications necessary for the design of sanitary landfills, composting facilities, material recovery facilities (MRFs) as well as for the monitoring and post-closure of new landfills and the remediation of old uncontrolled landfills. In addition, the 114218/97 law briefly discusses the technical specifications for a sanitary landfill dedicated to inert wastes. Hazardous waste landfills are not included.

The newer EU 1999/31/EC directive on solid wastes introduces 3 types of sanitary landfills, namely hazardous waste, non-hazardous waste and inert waste landfills. The

law includes several technical, financial and legal issues related to the construction, operation and monitoring of sanitary landfills. The aforementioned EU directive was recently adopted by the Greek legislature (Greek Governmental Ministry Decision (2002) 29407/3508, Document 1572 B'/16.12.2002).

The present paper outlines a Geographic Information System (GIS) aided MSW landfill siting methodology, which has been applied to the island of Lesvos in Greece. Various criteria, including the ones mentioned in the 114218/97 Greek law, are used to exclude unsuitable areas and rank final candidate sites.

Background information

Lesvos island is located in the northeast part of the Aegean Sea in Greece (Fig. 1). The island has an area of 1,640 km² and a projected population of 126,000 for 2020. Approximately 50% of the island is dedicated to agricultural use (mainly cultivation of olive trees), while the remaining part has various land uses such as construction, roads, pastures, pine tree forests, water-bodies, rocky terrain, wetlands, groundwater recharge areas, etc.

According to an unpublished study, the average per capita solid waste production on the island of Lesvos ranges from 1.06 to 1.63 kg/cap/day, based on 1994 measurements. The composition of solid waste at the island of Lesvos has not yet been measured, but a putrescible content greater than 35% (wet weight) is expected, as has been measured in other Greek refuse (Parisakis *et al.* 1991).

Presently, the island of Lesvos has 12 municipalities that have resulted from the recent merging of smaller communities, as dictated by a Greek law in 1998. Approximately 50 uncontrolled dumps existed on the island by 1988, while less than 15 non-sanitary landfills and dumps exist nowadays. Currently, 9 municipalities maintain their own non-sanitary landfill sites within their boundaries, while municipalities in east Lesvos dispose of their solid wastes at the semi-controlled landfill of Mytilene, the island's capital. The Mytilene landfill site has a remaining useful life of no more than 5 years. The need for two new sanitary landfill sites has been suggested, one in the central-east part of the island and one in the west part of the island.

MSW in Lesvos includes residential and commercial wastes as well as wastes produced from tourist facilities such as hotels, restaurants, etc. MSW is scheduled to be directed to non-hazardous wastes sanitary landfills, as specifically discussed in the 1999/31/EC directive (1999). Other waste types such as construction and demolition wastes, olive mill wastes, sewage sludges and industrial or toxic wastes are not normally directed to non-hazardous

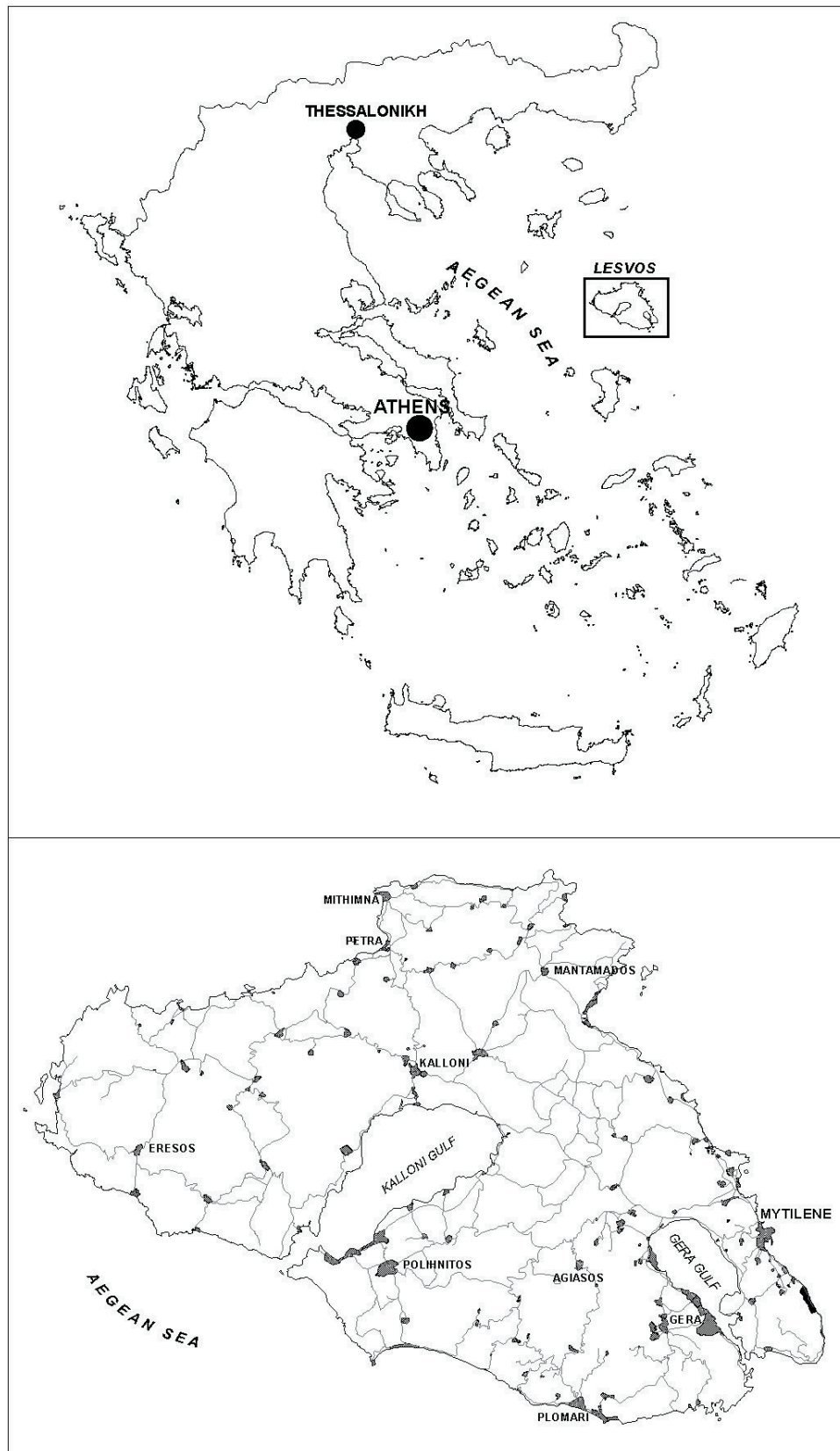


Fig. 1: The island of Lesvos.

waste landfills.

The equivalent average annual MSW production rate in Lesvos for the next twenty years – which is the typical design life of the scheduled landfill – is approximately 46,000 ton/yr, while the useful required landfill area should be at least 215,000 m² at an average height of 15 m and soil excavation depth of 2.4 m (Mandylas *et al.* 1998).

Siting methodology

In Greece, landfill siting – as well as the siting of other locally unacceptable land uses (LULUs) – has often been practiced by people that have little knowledge of the requirements, such as politicians and local public officers, farmers, herdsman and huntsmen. Technical studies and methodologies occasionally suggested by environmental consultants have, until recently, been completely ignored.

During the past 10 years, computer science has introduced Geographic Information Systems (GIS) to the landfill siting process. GIS combines geographic-spatial data (maps, aerial photographs, satellite imagery in digital form) with quantitative, qualitative and descriptive information databases. The GIS-aided landfill siting methodology is a relatively simple technique that is based on the overlaying of maps that depict different land uses and areas that satisfy certain suitability criteria (environmental, technical and legal). A final composite map is produced, which presents all areas suitable for waste landfilling (or other waste treatment or disposal activities). Using additional site evaluation and fieldwork, candidate sites are selected and ranked using certain criteria. The landfill siting procedure flowchart is depicted in Fig. 2.

The landfill siting methodology initially required the collection of information from a variety of public and private sources. The collected data were organised and compiled using computer mapping software or Geographic Information Systems. The geographic information was checked for accuracy and data sufficiency and was then transferred to a GIS format. The resulting digital files were rectified by geo-referencing in a known projection system such as UTM (Universal Transverse Mercator in zone 35), to introduce the dimensions of the

region. Finally, errors that occurred during the digitising process were corrected and the final products were ready for spatial analysis including buffering, clipping, joining, overlaying and inclusion of additional information.

Suitability criteria

The GIS aided methodology used on the island of Lesvos resulted in various thematic maps, which satisfy specific suitability criteria based on the environmental, social, land use/planning and economic characteristics of the island. Each criterion comprises several discrete categories, each one representing its spatial characteristics. For each criterion, there are two major discrete categories, namely the ones that include all areas suitable for landfill siting and the ones unsuitable for landfill siting. Suitable areas receive an index value of 1, while unsuitable areas receive an index value of 0, the suitability of an area in the final composite map is given by the product of the index values of all individual criteria. The mathematical equation of the aforementioned area selection is shown in equation (1):

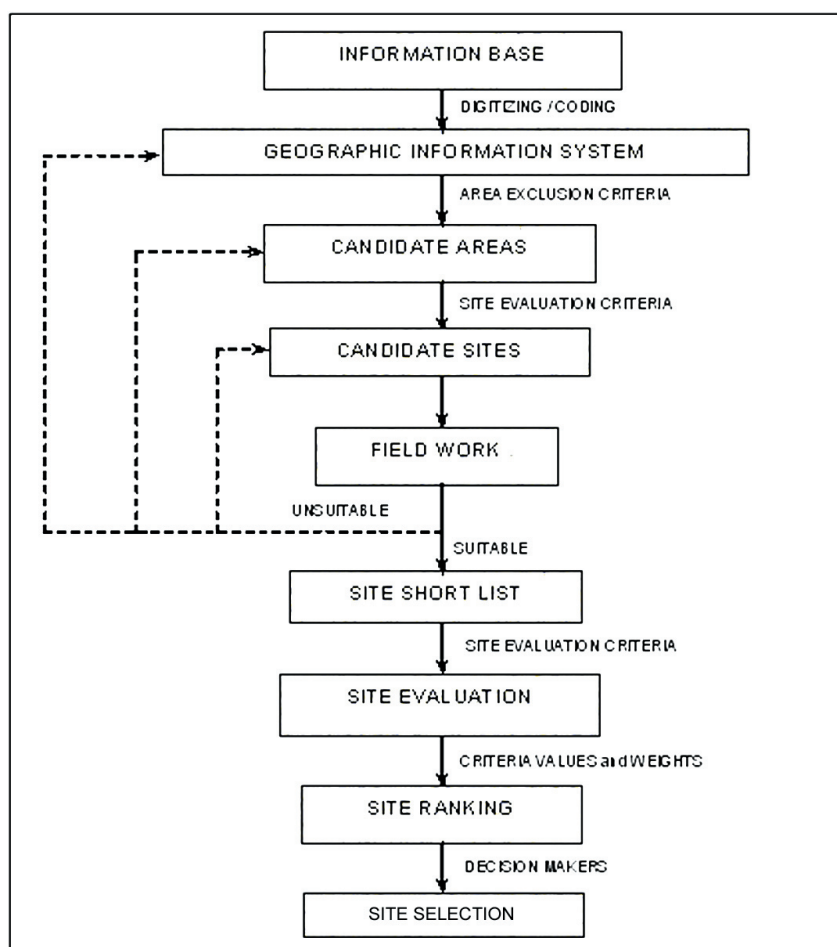


Fig.2: MSW landfill siting methodology flow chart.

$$SI = \prod_{i=1}^k b_i \quad (1)$$

SI : overall suitability index value (0 or 1)

b_i : suitability index value for each criterion (0 or 1)

k : number of suitability criteria

Ten (10) suitability criteria were used in this study (Mandylas *et al.* 1998) and were partly based on the relevant Greek law (Greek Government Ministry Decision 114218/97),(1997), in addition to international practices that account for environmental, economic, social and technical factors. A map was created for each suitability criterion and a final composite map was finally produced by simple overlaying of the individual maps. The overall suitability indexes were calculated based on equation (1). Apparently, if the suitability index of at least one criterion for an area is equal to 0, the area's overall suitability index is 0 too. All ten suitability criteria used are described below and are also shown in Table 1. Shaded cells in Table 1 are sub-criteria that indicate landfill siting unsuitability.

Urban areas

According to a Greek legal framework(1964), a sanitary landfill cannot be located within 500 m from residences. Based on that, a 500 m buffer zone was applied to the existing urban area boundaries and military camps. Similarly, a 3 km buffer zone around airports was maintained (Bagchi 1990) (Fig. 3a).

Archaeological and cultural interest sites

According to Greek law, siting of landfills within areas of archaeological and cultural interest is not allowed. This criterion protects the national cultural inheritance, which includes various palaeontological, archaeological and historical sites (Fig. 3b).

Land Planning

This criterion does not allow landfill siting within "sensitive" regions, which aim to protect natural environment and/or areas under development (Fig. 3b). This criterion is not absolutely exclusive and if there is a problem in locating suitable areas, the specific criterion is not applied. In the case of Lesbos, there were 7 areas of specific interest, which were finally excluded.

Table 1: Suitability criteria and their categories as applied to the landfill siting methodology. *

| Categories | Criteria | | | | |
|------------|---|--|-----------------------------|---|--|
| | Urban areas | Archaeological areas | Land planning zones | Natural monuments, parks | Hydrogeology |
| 1 | Distance greater than 500m from urban areas, military camps and 3000m from airports | Outside archaeological areas | Outside Land-planning zones | Outside the borders of the petrified forest or at distances greater than 500m from national parks | Impermeable or low water-permeability strata |
| 2 | Within 500m from urban areas, military camps or within 3000m from airports | Inside areas of archaeological interest | Inside Land-planning zones | Within a 500m buffer zone from the parks borders | Brine water areas |
| 3 | Inside urban areas or airport boundaries | Inside future archaeological areas (under declaration) | | Within the boundaries of the petrified forest | Geothermal fields |
| 4 | | Inside declared archaeological areas | | Inside parks or recreation areas | Low to moderate permeability strata (10^{-7} to 10^{-5} m/s) |
| 5 | | | | Inside areas declared as preserved natural monuments (petrified forest cores) | Moderate permeability strata (10^{-5} to 10^{-4} m/s) |
| 6 | | | | | Moderate to high permeability strata (10^{-4} to 10^{-3} m/s) |
| 7 | | | | | High permeability strata (10^{-3} to 10^{-2} m/s) |

* shaded cells indicate areas unsuitable for landfill siting (exclusion areas); such areas receive a suitability index equal to 0

Table 1 (cont.): Suitability criteria and their categories as applied to the landfill siting methodology. *

| Categories | Criteria | | | | |
|------------|---|---|--|---|---|
| 1 | Water springs, wells Distances greater than 500m from drinking or irrigation springs and wells | Surface water Distances greater than 500m from significant surface water (rivers, lakes) | Natural vegetation Phrygana | Agriculture Absence of any agricultural feature | Sensitive ecosystems Absence of any ecological feature |
| 2 | Within a 500m distance from drinking or irrigation springs and wells | Within a buffer zone of 500m from significant surface water | Deciduous maquis | Phrygana | Inside proposed boundaries of NATURA 2000 zones |
| 3 | | Inside wetlands | Scattered coniferous forests | Deserted fields | Within a buffer zone of 500m from wetlands |
| 4 | | Inside dams or water reservoirs | Wetlands | Cultivated land (including olive trees) | |
| 5 | | | Chestnut, Black & Dense Coniferous, Oak, Mixed Forests | Within a buffer zone of 500m from irrigated areas or areas in a plain | |
| 6 | | | Rocky, Cultivated & Sterilized areas and areas under reforestation | Inside irrigated areas or areas in a plain | |

* shaded cells indicate areas unsuitable for landfill siting (exclusion areas); such areas receive a suitability index equal to 0.

Natural monuments, parks and recreation areas

Landfill siting within areas of monumental or recreational value is forbidden according to Greek law 114218/97(1997). As shown in Fig. 3(c), the west part of Lesvos includes a unique petrified forest. In addition a buffer zone of 500 m was maintained around recreation areas and parks to specify areas unsuitable for landfill siting.

Sensitive ecosystems

According to the Greek law, solid waste management should not degrade the natural environment and areas of unique ecological interest. Sensitive ecosystems in Lesvos have been designated by the European Biotopes Network NATURA 2000 that has proposed that certain zones be included. Wetlands are also areas that sustain the ecological biodiversity of Lesvos sheltering various species of rare birds (flamingos, pelicans etc.), and other fauna species. A buffer zone of 500 m was maintained around wetlands and NATURA 2000 areas, designating them as areas unsuitable for landfilling (Fig. 3c).

Drinking and irrigation water sources

International practice, in addition to EU directives, dictate that a landfill site must not be adjacent to any water sources due to potential pollution. According to Kallergis (1986), a 50 to 60 day period is required for the inactivation of pathogens. With groundwater average linear velocities ranging from 1 to 10 m/d (most conservative estimate), a 500 m buffer zone around all drinking or irrigation water

sources (wells, springs) was required (Fig. 3d).

Surface water

Solid waste disposal into surface water (rivers, lakes, sea) is not allowed according to the Greek law. EU directives state that a 500 m buffer zone should be maintained around significant surface water bodies. Rivers and lakes do not exist in Lesvos and therefore a 500 m buffer zone was maintained only around wetlands, operating (or scheduled dams) and surface water reservoirs (Bagchi 1990) as shown in Fig. 3d.

Hydrogeology

A landfill site should preferably be located in an area with a low groundwater pollution risk. Groundwater pollution depends on several factors, such as the hydraulic conductivity of the strata underneath the potential landfill site, the depth of the unsaturated zone, the aquifer's hydraulic gradient and the type of landfill (natural attenuation or artificially lined landfill). The Greek legal framework (Greek Governmental Ministry law 114218/97),(1997) does not provide specific guidelines on the hydrogeological assessment of a site and therefore 5 categories of strata with different water permeability were arbitrarily considered. The high permeability strata include karst formations (such as limestone rocks) and sandy soils, while the low permeability strata were clay soils and impermeable strata (such as shales). Areas with the latter type of strata were considered the only ones suitable for landfill siting, all

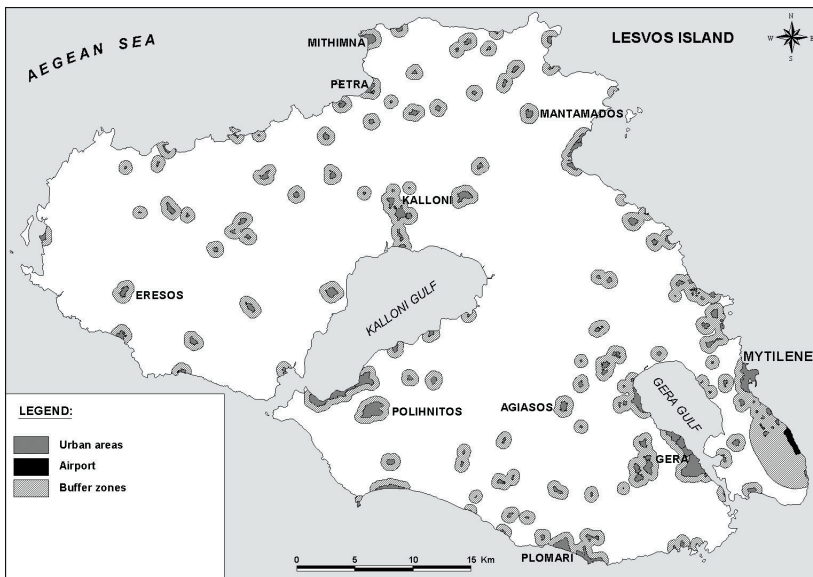


Fig. 3a: Urban areas Criterion.

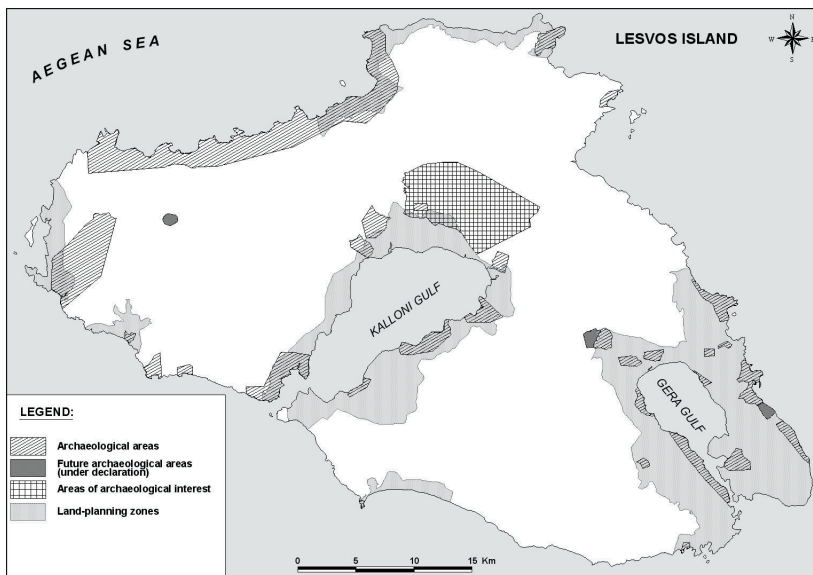


Fig. 3b: Archaeological areas and land-planning zones Criteria.

other strata of intermediate permeability were considered unsuitable (Fig. 3e). In addition, brine water areas and geothermal fields were excluded from the siting process. The classification of the sites in the island of Lesvos was based on estimates by local geologists.

Natural vegetation

This criterion is not based on legal restrictions and may vary according to the area under study. The evaluation of the importance of natural vegetation is based on the ecological uniqueness and the spatial spread of these natural formations. The types of natural vegetation considered suitable for landfill siting in Lesvos were Phrygana (*Sarcopoterium spinosum*), Deciduous Maquis (*Quercion*

ilicis/Oleo ceratonion), scattered coniferous forests (*Pinus brutia*) and abandoned fields. Areas covered with wetlands, chestnut forests (*Castanea sativa*), black-coniferous forests (*Pinus nigra*), mixed forests (*Pinus nigra* & *Pinus brutia*), oak forests (*Quercus pubescens*), dense coniferous forests (*Pinus brutia*), cultivated, rocky terrain and non-cultivated land were considered unsuitable for landfill siting (Fig. 3f).

Agricultural use areas

According to the Greek law, the management and disposal of solid wastes should not interfere with agricultural and cattle-breeding activities. In the present work, all irrigated areas, as well as areas in a plain, were considered as high productivity agricultural areas and a 500 m buffer zone was maintained around them. In addition, cultivated areas were considered unsuitable for landfill siting. No organised cattle breeding activities take place in Lesvos and therefore no additional areas were excluded (Fig. 3g).

Fig. 4 shows all areas suitable for landfill siting, that is all areas with an overall suitability index equal to 1.

Ranking of candidate sites

Fieldwork and selection of final candidate sites.

An additional selection process based on land morphology followed the screening of initially suitable areas. The screening was based on the use of 1:5,000 scale maps and included the following 3 criteria:

- space availability (to seek a minimum landfill design life of 20 years)
- watershed proximity (to maintain a relatively small upstream drainage basin)
- a not more than 30% land slope

The preliminary selection process led to a total of 19 primary candidate sites, as shown in Fig. 4. The next step was careful field inspection, during which all 19 primary candidate sites were visited to verify GIS findings. Field observation also revealed information not clearly depicted in the thematic maps previously described. The most significant criterion examined during field work was soil availability for use as a daily cover, the site's land morphol-

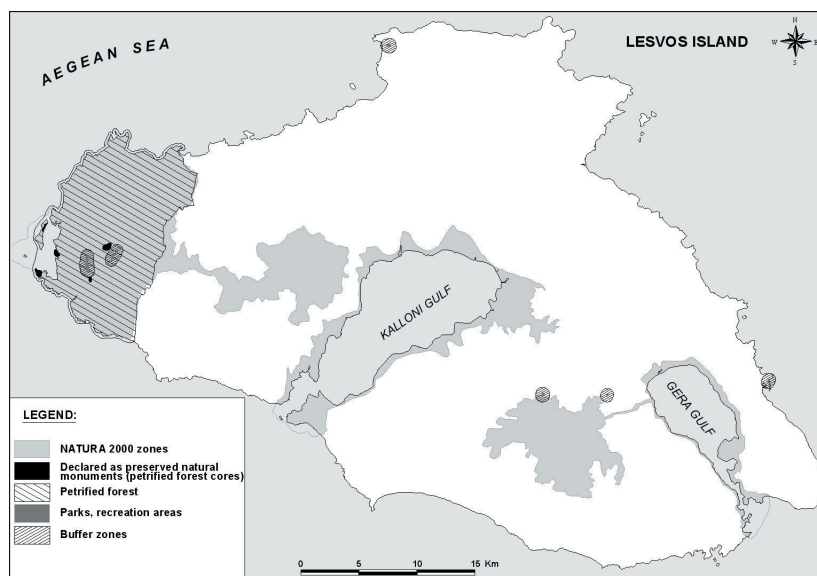


Fig. 3c: Sensitive ecosystems, natural monuments, parks and recreation areas Criteria.

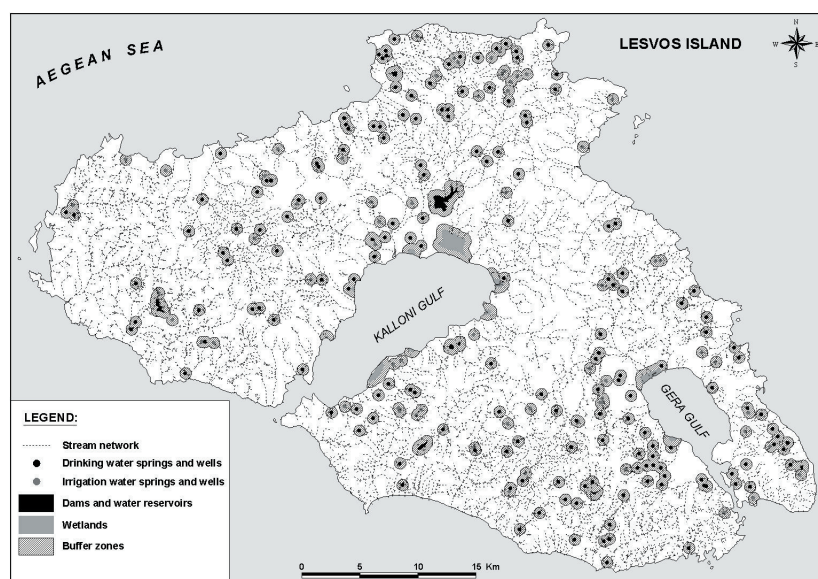


Fig. 3d: Surface water, drinking and irrigation water sources Criteria.

ogy and the site's overall area. The main constraint was a minimum area of approximately 200,000 m² (20 hectares) for the final candidate sites. An additional major requirement for the selection of the final candidate sites was their spatial scattering within the island. Once the field work was completed, a short list of eight (8) final candidate sites was prepared.

The eight (8) final candidate landfill sites in the island of Lesvos are indicated by the black dots in Fig. 4.

Ranking criteria

Nineteen criteria were used to rank the sites. Six (6) of the ranking criteria are discussed in the following paragraphs, while thirteen (13) ranking criteria are presented in Table 2.

Upstream hydrologic basin

A large hydrologic basin upstream of a landfill site would result in increased costs for the drainage of storm water. In addition, the pollution potential is increased in case of storm water entering the landfill in case of a drainage system failure. Landfill sites with upstream hydrologic basin areas less than 40,000 m² and greater than 400,000 m² were assigned grades of 10 (best sites) and 0 (worst sites), respectively. Sites with intermediate up-stream basins were graded proportionally.

Site orientation

According to the frequency of the winds in the island of Lesvos, all sites with an Eastern orientation (least frequent wind orientation in Lesvos) were assigned a grade of 9. North winds normally have the highest frequency in Lesvos and all sites with a north orientation were assigned a grade of 2. Sites exposed to all directions and sites not exposed to wind from any direction were given grades of 0 and 10 respectively, while intermediate grades were assigned to sites that corresponded to wind orientations with intermediate frequencies.

Site access

A grade of 10 was given to all candidate sites that would require an access road of less than 1 km. 6, 4, 3, 2 and 1 grading points were subtracted respectively, for the construction of every 4 km of additional new road, for the paving and widening of every 4 km of a road that does not serve other purposes, for the simple paving of every 4 km of a road that does not serve other purposes, for the widening and paving of every 4 km of a road that serves other purposes and for the simple paving of every 4 km of a road that serves other purposes. A grade of 0 was assigned to all sites for which a negative grading value was calculated.

Presence of public utilities

The presence of public utilities (electricity, water) in the proximity of the candidate landfill sites was taken as the best case (grade of 10). The absence of such was taken as the worst case (grade of 0). No intermediate grades were used for this criterion.

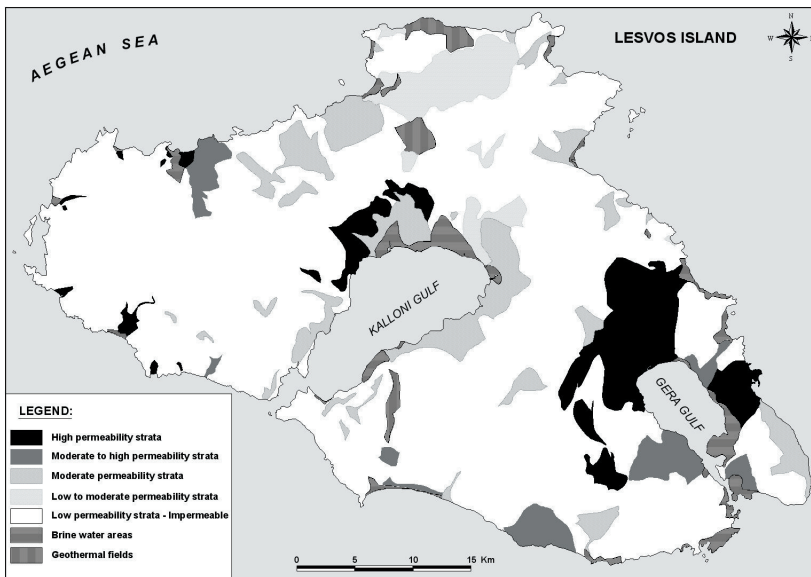


Fig. 3e: Hydrogeology Criterion.

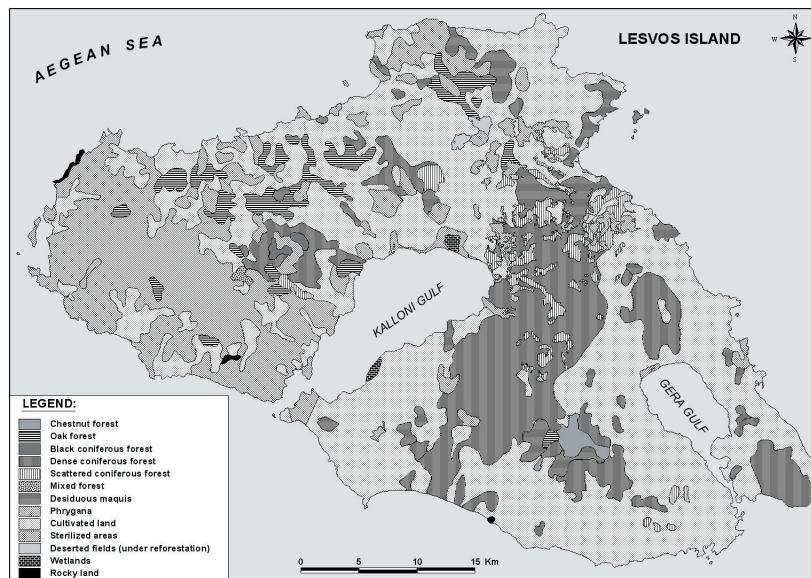


Fig. 3f: Natural vegetation Criterion.

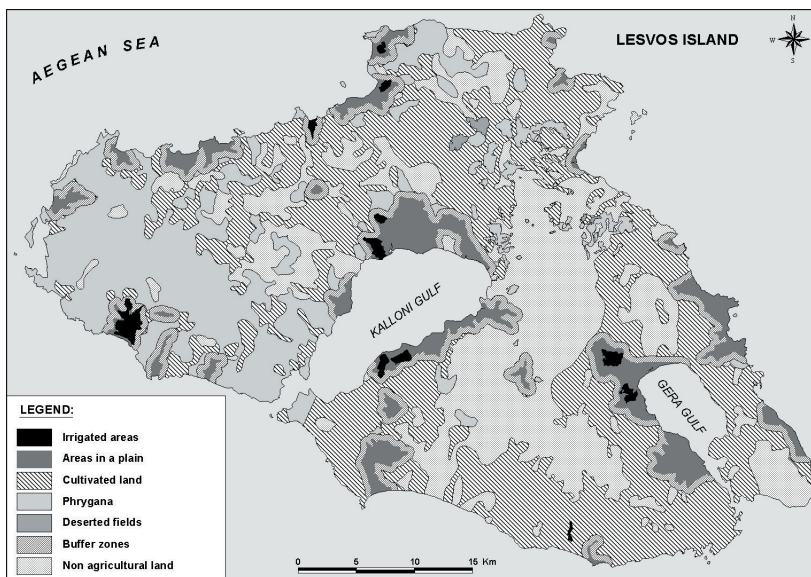


Fig. 3g: Agricultural Criterion.

Distance from waste production centres

The proximity of candidate landfill sites to solid waste production centres influences transportation costs. By multiplying the waste generation rate (ton/day) of each generation centre with the distance (in km) to each candidate landfill site and summing a grade of 10 was assigned to all sites with a total sum less than 3000 ton-km/day and a grade of 0 to all sites with a total sum greater than 5,700 ton-km/day value. Intermediate grades were assigned proportionally.

Environmental degradation

The existing environmental degradation of the area prior to the siting of a landfill was accounted for during the application of the ranking criteria. Candidate sites existing in areas that include solid waste dumps greater than 50,000 m² and less than 50,000 m² were assigned grades of 10 and 8, respectively. Sites that accepted olive mill wastes and residential solid wastes were assigned grades of 6 and 4, respectively. Sites with minimal pollution impact from other activities (“clean” sites) were assigned a grade of 0.

Criteria Weight Coefficients

The weight coefficient (WC) for each one of the 19 ranking criteria was calculated based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) method introduced by Saaty (1980) and further updated by Saaty and Millet (2000). According to this method, all criteria are compared in pairs and the importance of a criterion *i* relative to another criterion *j* (a_{ij}) is graded based on a scale of 1 to 9. A pairwise comparison matrix (PCM) is produced in which $a_{ii} = 1$ and $a_{ij} = 1/a_{ji}$. The weight coefficients of the ranking criteria and the decision subcriteria are calculated using the right eigenvector, which is calculated from the maximum absolute eigenvalue (λ_{max}). The grading values of all criteria are then normalised to 1. The CR coefficients (consistency ratio coefficients) – as shown in Tables 3(a) to 3(d) – are calculated according to the methodology proposed by Saaty (1980) and should be less than 0.1, indicating the overall consistency of the Pairwise Comparison Matrix.

Table 2: Grading scheme for 13 ranking criteria.

| Grading value | Hydrogeology | Distance of water sources from landfill site (in km) | Type of natural vegetation | Cover soil availability (excavation depth in m) and soil transfer distance (in km) | Average landfill depth (m ³ of waste per m ²) |
|---------------|---|--|--|--|---|
| 10 | Low permeability strata, depth to aquifer > 50m | > 2km downstream; > 0.5km upstream | Pastures | > 3m | > 25 |
| 9 | | | Phrygana without the presence of trees | 2–3m | 22.5–25.0 |
| 8 | | 1–2km downstream; < 0.5km upstream | Pastures or Phrygana with the presence of maquis | | 20.0–22.5 |
| 7 | Low permeability strata, depth to aquifer 30–50m | | Pastures or Phrygana with scattered cultivated trees | 1–2m | 17.5–20.0 |
| 6 | | 0.5–1km downstream | Healthy macchi ecosystem or a degraded olive tree field | | 15.0–17.5 |
| 5 | Low permeability strata, depth to aquifer < 30m | | Scattered coniferous or oak trees | 0.5–1m; transfer distance < 1.5km | 12.5–15.0 |
| 4 | | | Scattered black coniferous or chestnut trees | 0.5–1m; transfer distance > 1.5km | 10.5–12.5 |
| 3 | Low to medium permeability strata regardless of depth | 0.2–0.5km downstream | Young aged coniferous trees (natural reforestation) | | 7.5–10.0 |
| 2 | | | Coniferous or oak tree forest | < 0.5m; transfer distance < 1.5km | 5.0–7.5 |
| 1 | | | | < 0.5m; transfer distance > 1.5km | 2.5–5.0 |
| 0 | Permeable strata | < 0.2km downstream | | | < 2.5 |
| Grading value | Distance from urban areas (in km) with specified population | Visibility from residential areas and roads | Passage of waste collection vehicles through residential areas | Design life (in years) | Use of land in the vicinity of candidate site |
| 10 | > 2km regardless of population size | No visual contact | No passage | > 20 | No activity within a radius of 1.5km |
| 9 | 1–2km, < 50 residents | | | 17.5–20 | Agricultural or animal breeding activities within 0.5–1.5km |
| 8 | 0.5–1km, < 50 residents | > 2km from a highway or a country road | Through towns on main national road | 15–17.5 | Tourist activities within 0.5–1.5km |
| 7 | 1–2km, 50–1000 residents | > 2km from urban area | | 12.5–15.0 | Residences within 0.5–1.5km |
| 6 | 0.5–1km, 50–1000 residents | 0.5–2km from a highway or a country road | Through one town on country roads | 10.0–12.5 | Agricultural or animal breeding activities within less than 0.5km (no visual contact) |
| 5 | 1–2km, 1000–5000 residents | < 0.5km from a highway or a country road | | 7.5–10.0 | Agricultural or animal breeding activities within less than 0.5km |
| 4 | 0.5–1km, 1000–5000 residents | 0.5–2km from an urban area | | 5.0–7.5 | Tourist activities within less than 0.5km (no visual contact) |
| 3 | 1–2km, > 5000 residents | < 0.5km from an urban area | Through more than one town on country roads | 2.5–5.0 | Tourist activities within less than 0.5km |
| 2 | 0.5–1km, > 5000 residents | | | | |
| 1 | | | | | Residences within 0.5km |
| 0 | < 0.5km regardless of population size | | | < 2.5 | |

Table 2 (cont.): Grading scheme for 13 ranking criteria.

| Grading value | Characteristics of downstream hydrologic basins | | | | |
|---------------|---|------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| | Distance from a water flowing body | Significance of water flowing body | Significance of adjacent downstream basin | Distance from sensitive ecosystems | Land uses (based on legal restrictions) |
| 10 | > 200m | Any water flowing body type | | > 3km, separate hydrologic basins | Public land with no siting restrictions |
| 9 | 100–200m | Creek ^ within adjacent basin | Degraded [§] basin - neutral area | > 3km, common hydrologic basin | Public land; Forest area |
| 8 | 100–200m | Creek within adjacent basin | Significant ^{§§} area | 2–3km, separate hydrologic basins | |
| 7 | 100–200m | Stream ^ ^ within wider area | Degraded basin | 2–3km, common hydrologic basin | |
| 6 | 100–200m | Stream within wider area | Neutral area | 1–2km, separate hydrologic basins | |
| 5 | 100–200m | Stream within wider area | Significant area | 1–2km, common hydrologic basin | Public land used by the military; Private land used for animal breeding; Cultivated private land |
| 4 | < 100m | Creek within adjacent basin | Degraded basin - Neutral area | 0.5–1km, separate hydrologic basins | |
| 3 | < 100m | Creek within adjacent basin | Significant area | 0.5–1km, common hydrologic basin | |
| 2 | < 100m | Stream within wider area | Degraded basin | 0.2–0.5km, separate hydrologic basins | |
| 1 | < 100m | Stream within wider area | Neutral area | 0.2–0.5km, common hydrologic basin | Reforestation area |
| 0 | < 100m | Stream within wider area | Significant area | < 0.2km, common hydrologic basin | |

[^] Indicates water flowing body with occasional water flow during winter; ^ ^: indicates water flowing body with a continuous water flow during winter
[§] Degraded basins are receptors of municipal sewage, olive mill sewage, solid wastes etc
^{§§} Significant areas include residential areas, wetlands, irrigated lands etc

The application of the AHP method requires the structuring of multiple criteria in a decision hierarchy tree. In the present work, a hierarchical structure composed of three levels, as shown in Fig. 5, was used. The first level includes the final goal of the decision problem, which is the suitability for each alternative site (ranking index). The second level includes the ranking criteria, which are Social, Environmental and Technical/ Economical. The pairwise comparison matrix and the final priority vector (weight coefficients), derived using equal importance of the three ranking criteria, can be seen in Table 3(a). The third level is the decision subcriteria for each ranking criterion (Social, Environmental and Technical/Economical), while the pairwise comparison matrices and the final priority vectors derived are shown in Tables 3(b), 3(c) and 3(d), respectively.

The criteria's relative importance values (a_{ij} values) were suggested by the scientific staff responsible for the siting study by accounting for environmental, social, technical and financial factors. The AHP methodology used afterwards attempted to minimise the subjectivity associated with the initial introduction of the criteria comparison values. Discussions were later performed with public

officials in the prefecture of Lesvos for the final adjustment of the criteria's relative importance. The weight coefficients, derived from the application of the AHP methodology ("Derived Weight Coefficients"), as well as the finally used weight coefficients – as these were adjusted after the participation of the prefecture officials – are shown in Table 4. The most significant criterion was the "availability of cover soil" followed by the water protection criteria ("hydrogeology" and "proximity to water sources") and the criteria related to "land use" and "distance from production centres". The least significant criterion was the "presence of public utilities" criterion with a weight coefficient equal to 1.8%.

Ranking index

The application of evaluating criteria to prioritise the eight final candidate landfill sites was the last step of the methodology. The nineteen (19) ranking criteria were applied using the finally utilised weight coefficients of Table 4. The ranking assessment is based on the use of a ranking index for each site, similar to the suitability index described earlier. The ranking index is calculated based on the simple additive weighting method (weighted average), as follows:

$$RI_j = \sum_{i=1}^k w_i \cdot v_{ij} \quad (2)$$

RI_j : ranking index of candidate site j

w_i : normalised weight coefficient for criterion i (ranging from 0 to 1)

v_{ij} : grading value of candidate site j , as applies to criterion i . Grading values are integers ranging from 0 to 10, corresponding to the “worst” and “best” landfill sites, respectively

k : number of ranking criteria (19 used in this study).

Results and discussion

The ranking of the most important eight candidate landfill sites in Lesvos is presented in Table 4, while the principal characteristics of the sites are included in Table 5.

As seen in Table 4, candidate site (3) ranks first. This is attributed to its “central” location, its “good” hydrogeology and distance from water sources as well as the availability of cover soil. Despite having the highest ranking index, however, that candidate site was not selected by the Lesvos local government (Lesvos prefecture) due to strong opposition by the military authorities. The reason was that the selected area was very close to a military shooting field, making the military authorities’ arguments strong enough to convince the Prefecture of Lesvos to reject the site. Although all military camps had been excluded during the initial steps of the methodology (urban areas criterion), no information existed on the location of the shooting and military training fields on the island of Lesvos.

Strong public opposition existed for the site ranked 2nd, which also had no access to a main highway. The strong public opposition for the site ranked 2nd resulted in the selection of the site ranked 3rd as the final landfill site for the island. The 3rd site was located on the approximate borders of 3 municipalities, which finally led to a “distributed” and, therefore, highly reduced public opposition compared to the other sites. The negligible public opposition for the site ranked 3rd was also due to its relative isolation from any large social activity; however, there was a high cost associated with the road construction for accessing the site.

In general, the landfill siting methodology described in the present paper can examine the entire region under study (in our case the island of Lesvos) using a Geographic database, which allows for the rapid updating of spatial or descriptive information. The site ranking process allows for the easy readjustment of the criteria weights in case a sensitivity analysis is required. The MCA methodology presented here provides a more objective ranking of the candidate sites, since it utilises the AHP technique to determine the ranking criteria weight coefficients. However, public opposition and discussion with other parties of interest can lead to the adjustment of the weight coefficients.

Caution should be given during the initial stage of area exclusion since the first stage of the methodology depends highly on geographical databases. Therefore, updated maps should be used during that stage, whilst it should be kept in mind that not all information is depicted in them. As a result some sites potentially suitable for landfilling

can be actually excluded during the first methodology stage.

Alternatives to the simple additive weighing method are other Multiple Criteria Analysis (MCA) methodologies, such as TOPSIS (Yoon *et al.* 1995), Compromise Programming (Zeleny 1982, Thash *et al.* 1997) and Fuzzy Sets Theory (Zeleny, 1982).

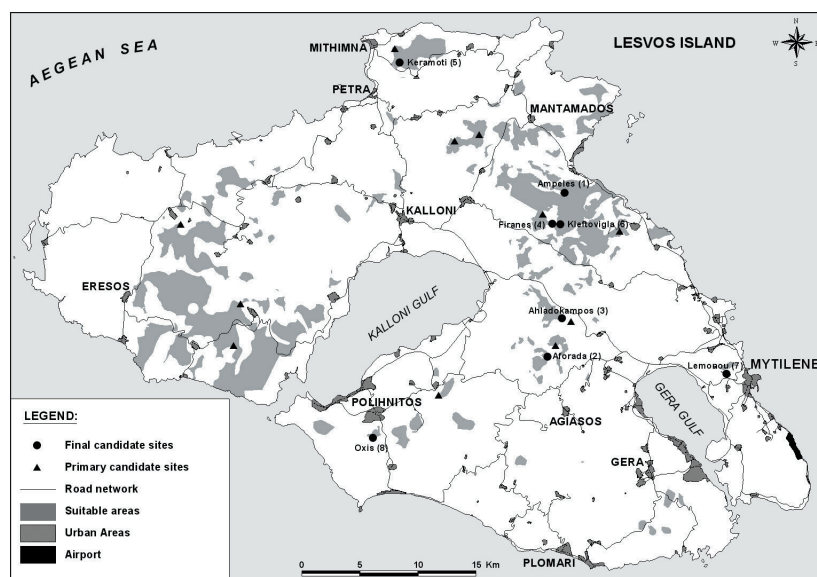


Fig. 4: Map of areas suitable for landfilling and candidate landfill sites.

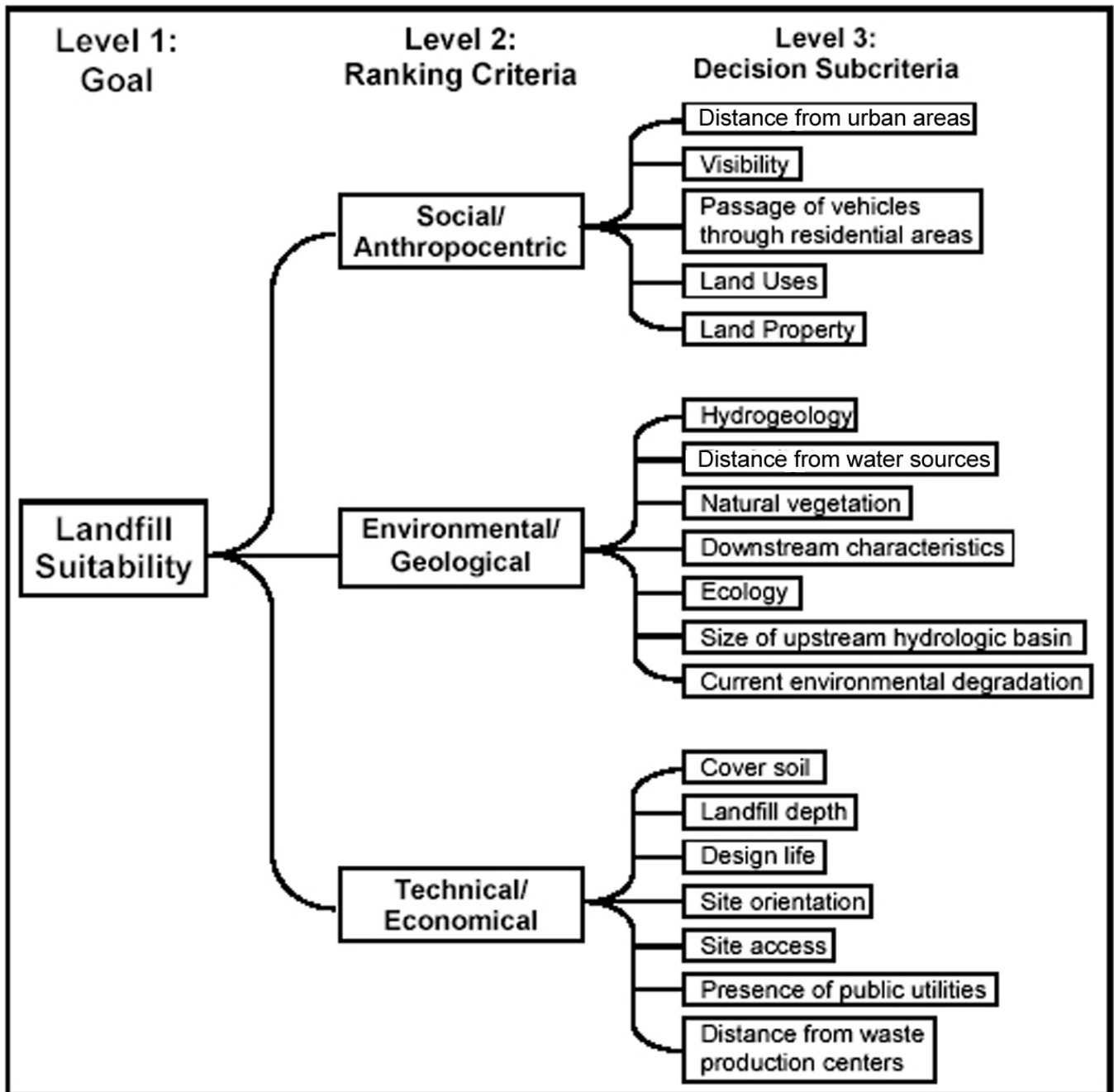


Fig. 5: Hierarchical structure of the ranking criteria.

Conclusions

The main conclusions of the landfill siting study in Lesvos are:

- The siting methodology presented here is merely a tool to aid decision makers, it is not the decision itself. When and where to site a landfill is as much a social/political decision as a scientific one.
- The methodology does not mandate the use of the site ranked first, which in the case of Lesvos was met with opposition by the military. Proximity to a military shooting range had not been included as a suitability criterion during the first stage of the methodology due to a lack of knowledge of the location of such areas.
- The most important site ranking criteria were the availability of cover soil and all criteria related to the protection of ground and surface water.

Table 3(a): PCM + for Ranking Criteria.

| Criteria | Environmental | Social | Technical/Economical | Priority Vector |
|---------------|---------------|--------|----------------------|-----------------|
| Social | 1 | 1 | 1 | 0.33 |
| Environmental | 1 | 1 | 1 | 0.33 |
| Technical | 1 | 1 | 1 | 0.33 |

$$\lambda_{\max} = 3, CR = 0 \ll 0.1$$

Table 3(b): PCM for Social decision subcriteria.

| Criteria | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | Priority Vector |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| (1) | 1 | 2 | 1 | 1 | 0.5 | 0.18 |
| (2) | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.098 |
| (3) | 1 | 2 | 1 | 1 | 0.5 | 0.18 |
| (4) | 1 | 2 | 1 | 1 | 0.5 | 0.18 |
| (5) | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0.35 |

$$\lambda_{\max} = 5.0, CR = 0.002 \ll 0.1$$

The decision subcriteria are: (1) Distance from Urban Areas, (2) Visibility, (3) Passage of Vehicles through Residential Areas, (4) Land Uses, (5) Land Property

Table 3(c): PCM for Environmental decision subcriteria.

| Criteria | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | Priority Vector |
|----------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| (1) | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 0.27 |
| (2) | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 0.27 |
| (3) | 0.3 | 0.3 | 1 | 0.5 | 2 | 2 | 1 | 0.09 |
| (4) | 0.5 | 0.5 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0.15 |
| (5) | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.06 |
| (6) | 0.25 | 0.25 | 0.5 | 0.5 | 2 | 1 | 0.5 | 0.07 |
| (7) | 0.3 | 0.3 | 1 | 0.5 | 3 | 2 | 1 | 0.1 |

$$\lambda_{\max} = 7.12, CR = 0.015 \ll 0.1$$

The subdecision criteria are: (1) Hydrogeology, (2) Distance from Water Sources, (3) Natural Vegetation, (4) Downstream Characteristics, (5) Ecology, (6) Size of Upstream Hydrologic Basin, (7) Current Environmental Degradation

Table 3(d): PCM for Technical/Economical decision subcriteria.

| Criteria | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | Priority Vector |
|----------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----------------|
| (1) | 1 | 4 | 4 | 5 | 4 | 7 | 2 | 0.36 |
| (2) | 0.25 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0.3 | 0.10 |
| (3) | 0.25 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0.3 | 0.10 |
| (4) | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 3 | 0.3 | 0.06 |
| (5) | 0.25 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0.3 | 0.10 |
| (6) | 0.14 | 0.25 | 0.25 | 0.3 | 0.25 | 1 | 0.2 | 0.03 |
| (7) | 0.5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 1 | 0.23 |

$$\lambda_{\max} = 7.18, CR = 0.02 \ll 0.1$$

The decision subcriteria are: (1) Cover Soil, (2) Landfill Depth, (3) Design Life, (4) Site Orientation, (5) Site Access, (6) Presence of Public Utilities, (7) Distance from Waste Production Centres

PCM = Pairwise Comparison Matrix

Table 4: Grading of Final Candidate Landfill Sites in the island of Lesbos.

| RANKING CRITERIA | Derived Weight Coefficients (%) | Finally used Weight Coefficients (%) | Candidate Sites Grading Values | | | | | | | |
|--|------------------------------------|---|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | (1)* | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| Hydrogeology | 9.1 | 7.5 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Distance from water sources | 9.1 | 7.5 | 8 | 10 | 10 | 3 | 8 | 10 | 8 | 10 |
| Natural vegetation | 3.0 | 4.2 | 7 | 3 | 8 | 7 | 9 | 8 | 7 | 7 |
| Cover soil | 12.1 | 8.3 | 10 | 2 | 10 | 10 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| Landfill depth | 3.4 | 5.0 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 5 | 8 |
| Distance from urban areas | 6.2 | 5.8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 3 | 5 |
| Visibility | 3.3 | 3.3 | 10 | 10 | 10 | 10 | 4 | 10 | 10 | 7 |
| Passage of vehicles through residential areas | 6.2 | 5.8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 8 | 10 | 3 |
| Design life | 3.4 | 5.0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 |
| Land uses | 6.2 | 5.8 | 5 | 10 | 10 | 1 | 5 | 7 | 1 | 5 |
| Downstream characteristics | 5.0 | 5.8 | 4 | 9 | 10 | 4 | 3 | 10 | 3 | 10 |
| Ecology | 1.7 | 2.5 | 10 | 6 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Land property | 11.6 | 7.5 | 4 | 2 | 5 | 3 | 6 | 8 | 3 | 4 |
| Size of upstream Hydrologic basin | 2.3 | 3.3 | 9 | 9 | 5 | 6 | 7 | 10 | 2 | 8 |
| Site orientation | 2.1 | 4.2 | 10 | 2 | 10 | 8 | 6 | 1 | 2 | 4 |
| Site access | 3.4 | 5.0 | 0 | 8 | 8 | 2 | 10 | 0 | 10 | 10 |
| Presence of public utilities | 1.0 | 1.8 | 8 | 8 | 9 | 5 | 9 | 2 | 10 | 9 |
| Distance from waste production centres | 7.5 | 7.8 | 5 | 7 | 8 | 5 | 0 | 6 | 4 | 0 |
| Current environmental degradation | 4.2 | 3.2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 10 | 8 |
| Ranking Index (RI _i) | | | 6.90 | 6.82 | 8.42 | 5.81 | 5.91 | 6.87 | 5.65 | 6.65 |

* Numbering corresponds to final candidate landfill sites shown in Fig. 4.

Table 5: Principal characteristics of the eight (8) final candidate landfill sites.

| Candidate Site | Distance from urban areas (km) | Geology | Predominant natural vegetation | Area (m ² x1000) |
|----------------|-----------------------------------|--|---|--------------------------------|
| 1 | 1.7 | Ignimbrite beds with weathered rhyodacitic tuffs | Deserted fields and Phrygana | 188 |
| 2 | 2.5 | Peridotites | Scattered coniferous forest | 205 |
| 3 | 2.6 | Peridotites | Phrygana and Desiduous maquis | 176 |
| 4 | 4.0 | Ophiolitic complexes with ignimbritic volcanic cover with tuffs | Phrygana and cultivated land | 168 |
| 5 | 1.7 | Lower lava layers with hard rhyolitic volcanic lavas with insignificant clayey cover soil | Phrygana | 172 |
| 6 | 3.8 | Ignimbrites with tuffs | Phrygana and Desiduous maquis | 206 |
| 7 | 0.52 | Basalts and Permo-triassic marbles | Desiduous maquis and non cultivated land | 885 |
| 8 | 1.3 | Peridotites | Phrygana and cultivated land | 145 |

References

- Bagchi, A. (1990) Design, Construction and Monitoring of Sanitary Landfill. New York, Wiley pp. 235–245.
- Balis, M., Mandylas, Ch., Kontos, Th., Akriotis, D. & Halvadakis, C.P. (1998) Investigation of suitable areas for the construction of sanitary landfill in Limnos. Technical Report, Part I, University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, Waste Management Laboratory / Region of the North Aegean, Mytilene, Greece (in Greek).
- Dorhofer, G. & Siebert, H. (1998) The Search for Landfill Sites - Requirements and Implementation in Lower Saxony, Germany, *Environmental Geology*, Vol. 35(1), pp. 55–65.
- Dugger, B. (1997) Utilizing Geographic Information Systems for Assessment of Environmental Impacts of Solid Waste Disposal Sites in Northern and Central Thailand. Proceedings of the 1997 ESRI International User Conference, San Diego, CA, 292.
- Ehler, G., Cowen, D. & Mackey, H. (1995) Design and Implementation of a Spatial Decision Support System for Site Selection. Proceedings of the 1995 ESRI International User Conference, Palm Springs, CA, 100.
- European Council Directive 1999/31/EC(1999) Document L 182, "Sanitary landfilling of solid wastes".
- Greek Sanitary Report E1 B/301/64 (1964) "On the collection, transport and disposal of residential, industrial and hazardous solid wastes".
- Greek Ministry Decision 69728/824 (1996) Document 358, 17-5-96 "Measures and conditions for the management of solid wastes".
- Greek Governmental Ministry Decision 114218/97 (1997) Document 1016 B/17-11-97 "Framework of specifications and general planning for the management of solid wastes".
- Greek Governmental Ministry Decision 29407/3508 (2002) Document 1572 B/16-12-2002 "Measures and conditions for the sanitary landfilling of wastes".
- Halvadakis, C. (1993) Municipal Solid Waste Landfill Siting in Greece - The Case of the Greater Hania Region, Greece. *Ekistics*, Vol. 358-359, pp. 45–52.
- Herzog, M. (1999) Suitability Analysis Decision Support System for Landfill Siting (and other purposes). Proceedings of the 1999 ESRI International User Conference, San Diego, CA.
- Kallergis, G. (1986) Applied Hydrogeology. Technical Chamber of Greece, Athens, Greece, 1st edition, Vol. 2 (in Greek).
- Kao, J.J. & Lin, H.Y. (1996) Multifactor Spatial Analysis for Landfill Siting. *Journal of Environmental Engineering*, 122, 10, pp. 902–908.
- Lin, H. & Kao, J. (1998) Enhanced Spatial Model for Landfill Siting Analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 125, 9, pp. 845–851.
- Lukasheh, A.F., Droste, R.L. & Warith, M.A. (2001) Review of Expert System (ES), Geographical Information System (GIS), Decision Support System (DSS), and their application in landfill design and management. *Waste Management and Research*, 15, 4.
- Mandylas, Ch., Balis, M., Kontos, Th., Akriotis, D. & Halvadakis, C.P. (1998) Investigation and evaluation of sites for the construction of a central sanitary landfill in Lesvos. Technical Report, Part I, University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, Waste Management Laboratory / Region of the North Aegean, Mytilene, Greece (in Greek).
- Mavropoulos, A. (2000). Large Steps Forward. *ISWA Times*, 3, pp. 20-23.
- Noble, G. (1992) Siting Landfills and Other LULU's. Lancaster, PA, Technomic Publishing Co.
- Parisakis, G., Skordilis, A., Andrianopoulos, A., Lolos, T., Andrianopoulos, I., Tsompanidis, C. & Lolos, G. (1991) Qualitative and Quantitative Analysis of MSW in the island of Kos. Technical Report, National Technical University of Athens, Laboratory of Inorganic and Analytical Chemistry (in Greek).
- Saaty, T. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. & Millet, I. (2000) On the Relativity of Relative Measures - Accommodating Both Rank Preservation and Rank Reversals in the AHP. *European Journal of Operational Research*, 121, pp. 205-212.
- Siddiqui, M., Evverett, J. & Vieux, B. (1996) Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration. *Journal of Environmental Engineering* 122, 6, pp. 515–523.
- Thash, R. & Simonovic, S. (1997) A New Approach to Multi-Criteria Decision Making in Water Resources, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 1(1), pp. 25–43.
- Yagoub, M. & Buyong, T. (1998) GIS Applications for Dumping Site Selection. Proceedings of the 1998 ESRI International User Conference, San Diego, CA, 107.
- Yoon, K. & Hwang, C.L. (1995) *Multiple attribute decision making: an introduction*, Sage Publications, London.
- Zeleny, M. (1982) *Multiple criteria decision making*, McGraw-Hill, New York. Fig. 2: MSW landfill siting methodology flow chart.

Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology

Themistoklis D. Kontos^{a,*,1}, Dimitrios P. Komilis^{b,2}, Constantinos P. Halvadakis^{c,3}

^a Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece

^b Environmental Engineering, Waste Management Laboratory, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece

^c Environmental Engineering, Waste Management Laboratory, Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece

Accepted 4 March 2005

Available online 8 June 2005

Abstract

The present work describes a spatial methodology which comprises several methods from different scientific fields such as multiple criteria analysis, geographic information systems, spatial analysis and spatial statistics. The final goal of the methodology is to evaluate the suitability of the study region in order to optimally site a landfill. The initial step is the formation of the multiple criteria problem's hierarchical structure. Then the methodology utilizes spatial analysis processes to create the evaluation criteria, which are mainly based on Greek and EU legislation, but are also based on international practice and practical guidelines. The relative importance weights of the evaluation criteria are estimated using the analytic hierarchy process. With the aid of the simple additive weighting method, the suitability for landfill siting of the study region is finally evaluated. The resulting land suitability is reported on a grading scale of 0–10, which is, respectively, from least to most suitable areas. The last step is a spatial clustering process, which is being performed in order to reveal the most suitable areas, allowing an initial ranking and selection of candidate landfill sites. The application of the presented methodology in the island of Lemnos in the North Aegean Sea (Greece) indicated that 9.3% of the study region is suitable for landfill siting with grading values greater than 9.

© 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

A municipal solid waste (MSW) management system uses one or more techniques of solid waste management such as landfilling, thermal treatment, biological treatment, recycling etc. Even if a combination of the above or other management techniques is utilized, even if policies of waste reduction and reuse are applied, the existence of a sanitary landfill is necessary to a MSW

management system (Tchobanoglous et al., 1993). The MSW management system in Greece is not integrated; only recently Greek legislation has required the implementation of strategic plans for the integrated management of MSW at a prefectural level for the next 15 years. Despite the initiation of EU directive 99/31/EC that requires the sanitary construction of landfills in all member countries, more than 4000 uncontrolled dumps exist in Greece nowadays with approximately 50 sanitary landfills being currently in operation or under construction (Mavropoulos, 2000).

Siting a landfill is a complicated process because it has to combine social, environmental and technical parameters. The siting process aims to locate the areas that will minimize hazards to the public health as well

* Corresponding author.

E-mail addresses: kontos@geo.aegean.gr (T.D. Kontos), dkomilis@aegean.gr (D.P. Komilis), khalv@aegean.gr (C.P. Halvadakis).

¹ Ph.D. Student.

² Lecturer of Environmental Engineering.

³ Professor of Environmental Engineering.

as to the environment and will be financially efficient (Bagchi, 1990; Noble, 1992; McBean et al., 1995). Several techniques for landfill siting can be found in the literature (Halvadakis, 1993; Bonham-Carter, 1994; Ehler et al., 1995; Balis et al., 1998; Dorhofer and Siebert, 1998; Yagoub and Buyong, 1998; Herzog, 1999; Lukasheh et al., 2001; Kontos et al., 2003). These techniques utilize geographic information systems (GIS) to perform an initial screening of the study region in order to find suitable areas. In addition, these techniques are binary since the final result is a discrimination of the study region in suitable/unsuitable areas. Other siting techniques combine multiple criteria analysis (MCA) and GIS (Minor and Jacobs, 1994; Kao and Lin, 1996; Siddiqui et al., 1996; Lin and Kao, 1998; Allen et al., 2002; Kontos and Halvadakis, 2002). The result of these techniques is the evaluation of the suitability for the entire study region based on a suitability index, which is useful in order to make an initial ranking of the most suitable areas.

The present paper describes a MSW landfill siting methodology with the combined utilization of GIS and MCA methods, as applied to the island of Lemnos in Greece. The presented methodology evaluates the entire study region using a grading scale from 0 to 10, where 0 grades a site fully unsuitable for landfill siting while 10 grades a site optimum for landfill siting. The evaluation criteria are determined based on international practice in landfill siting and national and European Union

(EU) legislation. Based on the relevant literature review, the innovation of the evaluation criteria used is obvious. In addition, the utilization of sophisticated spatial statistics methods is an innovation in the landfill siting process, giving some efforts in the analysis of the results, showing that the tools provided by GIS and spatial statistics are very important. In Section 2, some useful information about the island of Lemnos is presented. In Section 3, the methodology concept is described. The hierarchical structure of the multiple criteria problem formed is described in Section 4, as well as the spatial determination of the evaluation criteria utilized. In Section 5, the application of the methodology is presented. Finally in Section 6, the statistical analysis of the results obtained from the application of the proposed methodology is presented, and final remarks about the methodology are made.

2. Background information

Lemnos Island is located in the northeast part of the Aegean Sea in Greece, as can be seen in Fig. 1. The island has an area of 480 km² and a projected population of 25,000 for 2020. Approximately 48% (230 km²) of the island is agricultural land (mainly vineyards and grain fields), 42% (200 km²) is pastures, while the remaining part has various land uses such as construction, pine tree forests, rocky terrain, wetlands, etc.

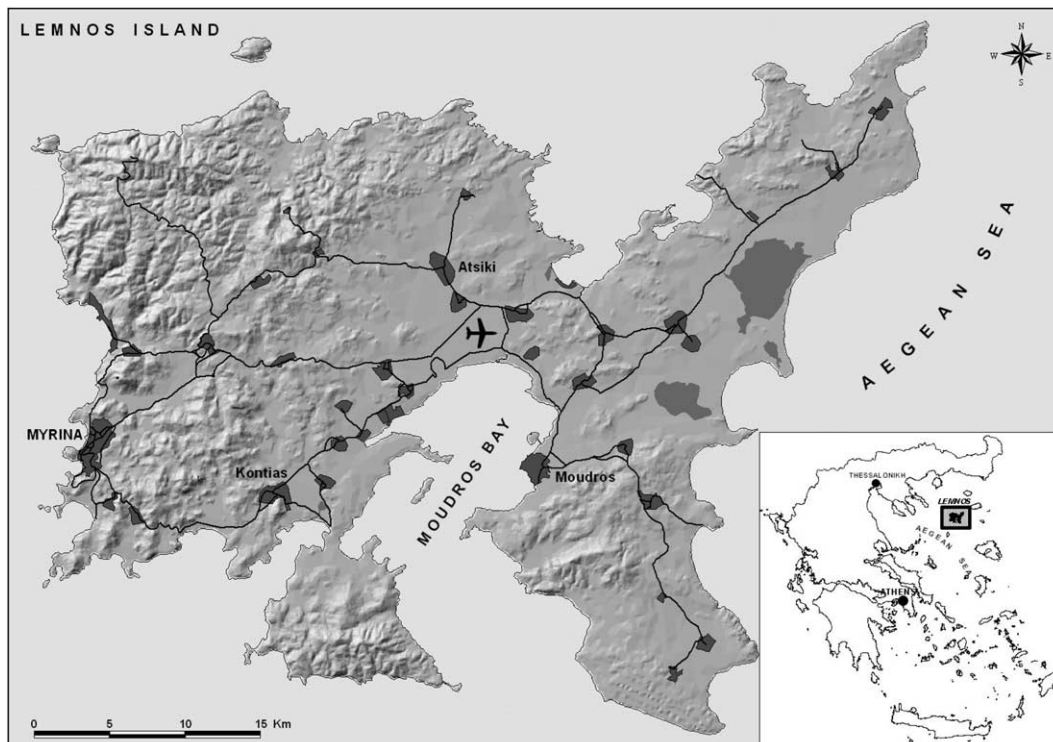


Fig. 1. The island of Lemnos.

In Greece, the average per capita solid waste production is approximately 1 kg/d. The composition of solid waste in Lemnos Island has not been measured yet, but fermentable content greater than 35% (wet weight) is expected, as usually measured in Greek garbage (Parisakis et al., 1991). Approximately 35 uncontrolled dumps existed in the island in 1988, while only two semi-controlled landfills exist nowadays. MSW in Lemnos includes residential and commercial wastes, as well as wastes produced from tourist activities such as hotels, restaurants etc. MSW is scheduled to be disposed of to a non-hazardous wastes sanitary landfill, as is specifically designated in the EU 1999/31/EC directive.

The average equivalent annual MSW production rate in Lemnos for the next 20 years, which is the design life of the scheduled landfill, is approximately 9000 t/y, while the minimum landfill area should be 76,000 m² at an average in-place waste height of around 10 m and an average soil excavation depth of 2.5 m (Balis et al., 1998).

3. Siting methodology

In Greece, landfill siting as well as the siting of other locally unacceptable land uses (LULUs), has often been practiced by people that had an approximate knowledge of the region, such as local public officials, farmers, herdsmen, and huntsmen. Technical studies, occasionally suggested by environmental consultants, have until recently been completely ignored.

During the last 15 years, the technological development in computer science has introduced GIS to the landfill siting process. GIS combines spatial data (maps, aerial photographs, satellite images) with quantitative, qualitative and descriptive information databases.

The siting methodology presented here utilizes GIS to create the digital geodatabase using the spatial analysis tools provided by GIS. Commercial GIS software packages have several analytical tools to perform the essential spatial analysis processes. To automate the process of making the composite evaluation criteria, perform the multiple criteria analysis and perform the spatial clustering process, several algorithms have been developed in Microsoft® Visual Basic programming environment, which is compatible with the GIS software ESRI ArcGIS®. Several multiple criteria analysis methods have been suggested for the evaluation of the final suitability index, namely TOPSIS (Yoon and Hwang, 1995) and Compromise Programming (Zeleny, 1982). However, in the present paper the simple additive weighting (SAW) method was selected as the appropriate method to solve the multiple criteria problem.

The GIS-aided landfill siting methodology presented here combines the spatial analysis tools provided by

GIS with MCA to evaluate the entire region, based on certain evaluation criteria (hydrological/hydrogeological, environmental, social, technical/economic). The methodology consists of the following steps:

- (a) Development of a digital GIS database that includes all spatial information.
- (b) Determination of the evaluation criteria/subcriteria and formation of the hierarchical structure of the multiple criteria problem.
- (c) Implementation of the analytic hierarchy process (AHP) method to calculate the criteria/subcriteria relative importance weights.
- (d) Implementation of the SAW method to estimate suitability indexes.
- (e) Implementation of a spatial clustering process to reveal the most suitable areas.

The methodology presented here does not initially exclude areas from further examination, in contrast to the methodology presented in Kontos et al. (2003); therefore, the legally unsuitable areas will have a low initial suitability index, which will probably exclude them from further examination during the last steps of the siting process. The final result of the methodology is the land evaluation based on the suitability indexes. The grading scale used in the present work for the suitability index is 0–10, which is, respectively, from the least to the most suitable area.

In the case study of Lemnos Island, the suitability index is estimated using the method of simple additive weighting (SAW). This is a widely utilized method for the calculation of final grading values in multiple criteria problems; the mathematic formulation of the method is described by Eq. (1) (Yoon and Hwang, 1995):

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}, \quad (1)$$

where V_i is the suitability index for area i , w_j is the relative importance weight of criterion j , v_{ij} is the grading value of area i under criterion j , n is the total number of criteria.

4. Evaluation criteria

The evaluation criteria used in the present paper are classified into four main categories, as shown in Fig. 2, namely the hydrological/hydrogeological, environmental, social and technical/economic criteria. According to Fig. 2, the hierarchical structure of the decision problem consists of three levels. The first level represents the ultimate goal of the decision hierarchy (land suitability for landfill siting), the second level represents the criteria

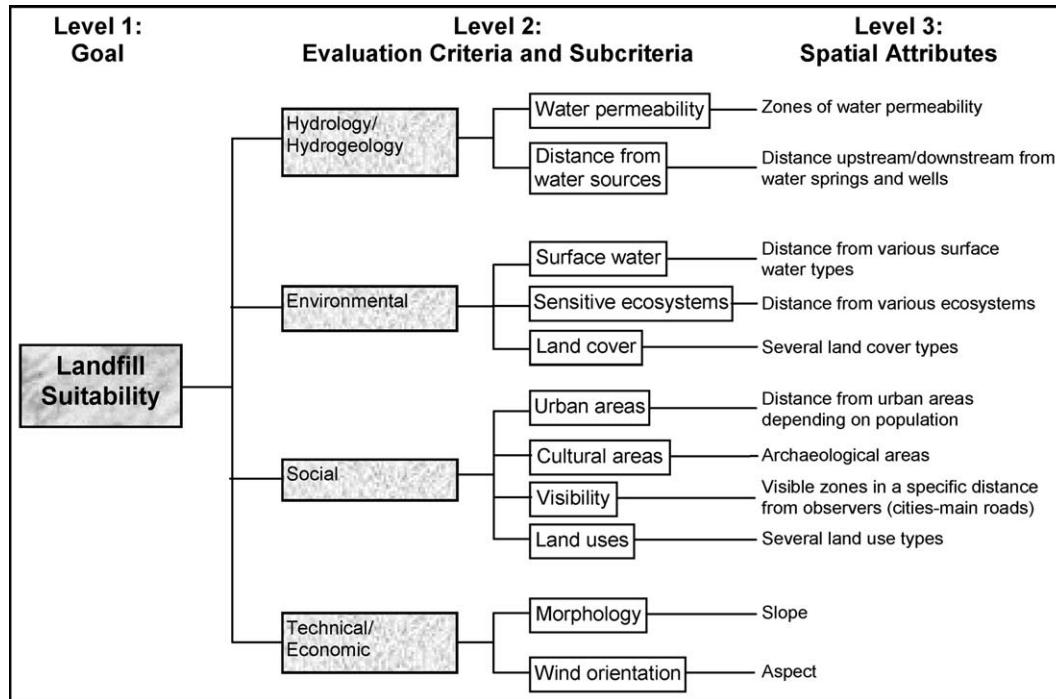


Fig. 2. Hierarchical structure of the decision problem for siting landfills.

and subcriteria utilized in this work and the third level represents the spatial attributes of each subcriterion.

4.1. Hydrological/hydrogeological criteria

Groundwater pollution from landfills can depend on several factors, such as hydraulic conductivity of the strata underneath the landfill site (karst formation, clayey rocks), depth of vadose zone, type of soil in vadose zone, hydraulic gradient of aquifer and the type of landfill (uncontrolled, sanitary).

4.1.1. Water permeability

This criterion classifies the whole area in hydrogeological zones based on values of hydraulic conductivity. Greek and European legislation do not provide specific guidelines relating landfills with hydrogeology and groundwater pollution. According to EU directive COM (96)-SYN 399/5.3.1997, “The landfill siting procedure must take into account the existence of groundwater bodies and prevent the pollution of groundwater by either physical or technical means”. The discrimination of rocks by water permeability means is arbitrary and subjective mainly due to the broad range of Darcy’s K value for the rocks or soils. However, a generalization can be made in order to classify the study area in water permeability zones using generally accepted classification schemes found in the literature (Domenico and Schwartz, 1990). In the present work, four hydrogeological zones were designated, as shown in Fig. 3(a), based on

estimations and field observations performed by local geology experts (Balis et al., 1998). The high permeability strata ($k \geq 10^{-5}$ m/s such as karsts formations and sandy soils) were considered as undesirable areas for a landfill, having a grading value of 2. The brine water areas were given a grading value of 5. The low-to-medium permeability strata ($10^{-5} > k > 10^{-7}$ m/s such as marl, flysch, ophiolite and granite) were given a grading value of 8. Finally, the low permeability strata ($k \leq 10^{-7}$ m/s such as clayey soils, rocks and shale) were considered as optimal to site a landfill, having a grading value of 10.

4.1.2. Distance from water sources

A landfill site must not be adjacent to any groundwater source, such as springs or groundwater wells. International practice states that a minimum distance of 500 m from any water source is required for a landfill site. According to Kallergis (2001), a period of 50–60 d is required for the inactivation of pathogens, whilst groundwater has an average linear velocity that ranges from a few centimeters to 10 m/d. The spatial determination of this criterion is very complicated, however in the present work a simplification was made; the only factor that was taken into consideration was the straight distance from the water sources based on the flow direction, as shown in Fig. 3(b). The buffer zones were drawn by taken into consideration the azimuth of the groundwater flow direction of any water source. Therefore the final buffer zones have a semi-circular shape in

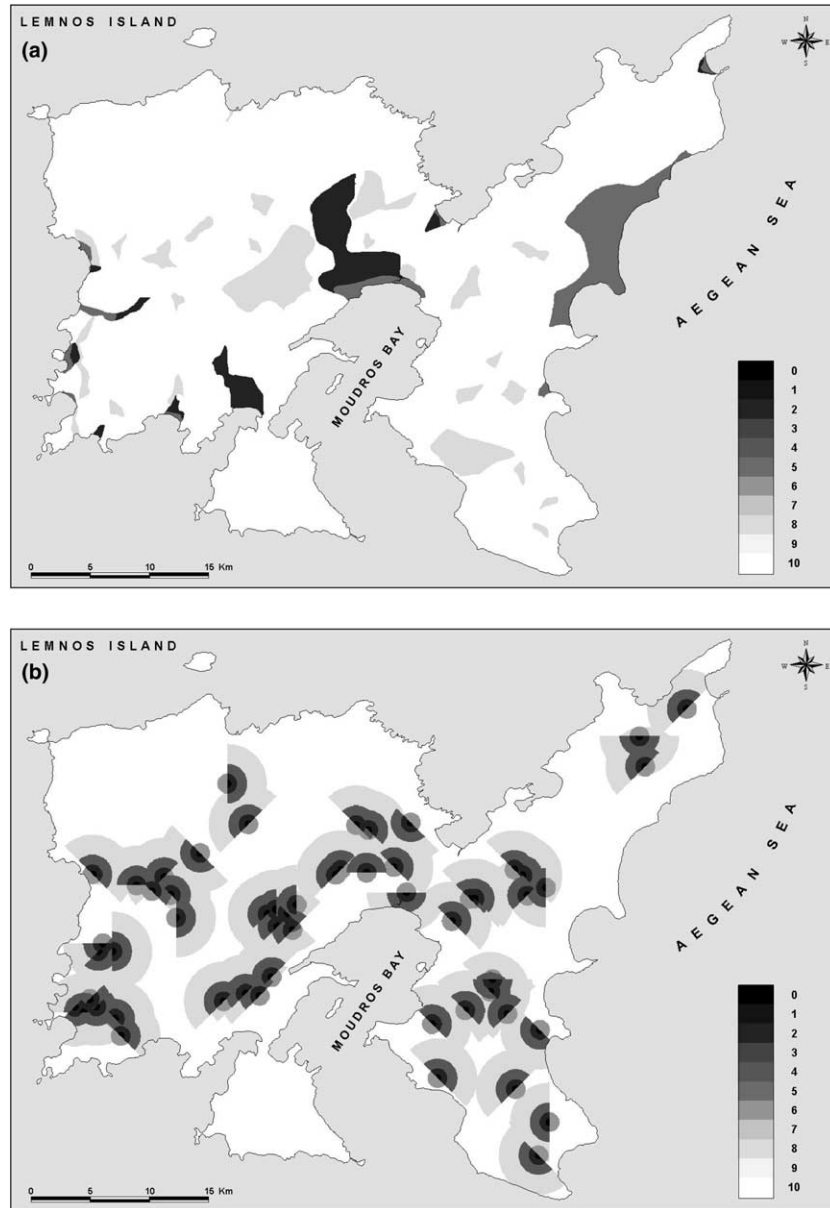


Fig. 3. (a) Water permeability criterion. (b) Water sources criterion.

order to discriminate the upstream/downstream distances. The grading values utilized for the specific criterion are shown in Table 1.

Table 1
Grading values for the water sources criterion

| Distance from water sources | Grading value |
|---|---------------|
| Distance >2000 m upstream and also distance >500 m downstream | 10 |
| Distance from 1000 to 2000 m upstream | 8 |
| Distance <500 m downstream | 6 |
| Distance from 500 to 1000 m upstream | 4 |
| Distance from 200 to 500 m upstream | 2 |
| Distance <200 m upstream | 0 |

4.2. Environmental criteria

Environmental criteria comprise three subcriteria, namely, sensitive ecosystems, surface water and land cover, as shown in Fig. 4(a)–(c).

4.2.1. Surface water

According to Greek legislation and EU directives, disposal of solid waste to any surface water media such as sea, lakes and rivers is not allowed. Lakes and rivers, with continuous water flow, do not exist in Lemnos; hence, this criterion had been extended to take into consideration other types of surface water such as creeks, wetlands, dams and water reservoirs. In addition, the

size of the water body's hydrological basin was taken into account. Therefore, sites with a relatively large upstream hydrologic basin were given a lower grade, due to the relatively high cost required to construct the drainage system around the landfill. The spatial result of this criterion is represented in Fig. 4(a), while the grading scheme of the subcriterion is shown in Table 2.

4.2.2. Sensitive ecosystems

This criterion is significant due to the potential pollution or degradation of sensitive ecosystems. According to Greek legislation, solid waste management should not degrade natural environment or areas of unique ecological or aesthetic interest. Sensitive ecosystems are in-

cluded in the European Biotopes Network NATURA 2000. In the case of Lemnos, NATURA 2000 zones, wetlands and man-made surface water bodies (water dams and reservoirs) were considered as sensitive ecosystems. The spatial result of this subcriterion is represented in Fig. 4(b), based on the grades included in Table 3.

4.2.3. Land cover

This criterion is not based on legal restrictions and may vary according to the study region. The evaluation of the importance of vegetation type was based on the ecological uniqueness of the deforested vegetation and the spatial spread of these natural formations. The

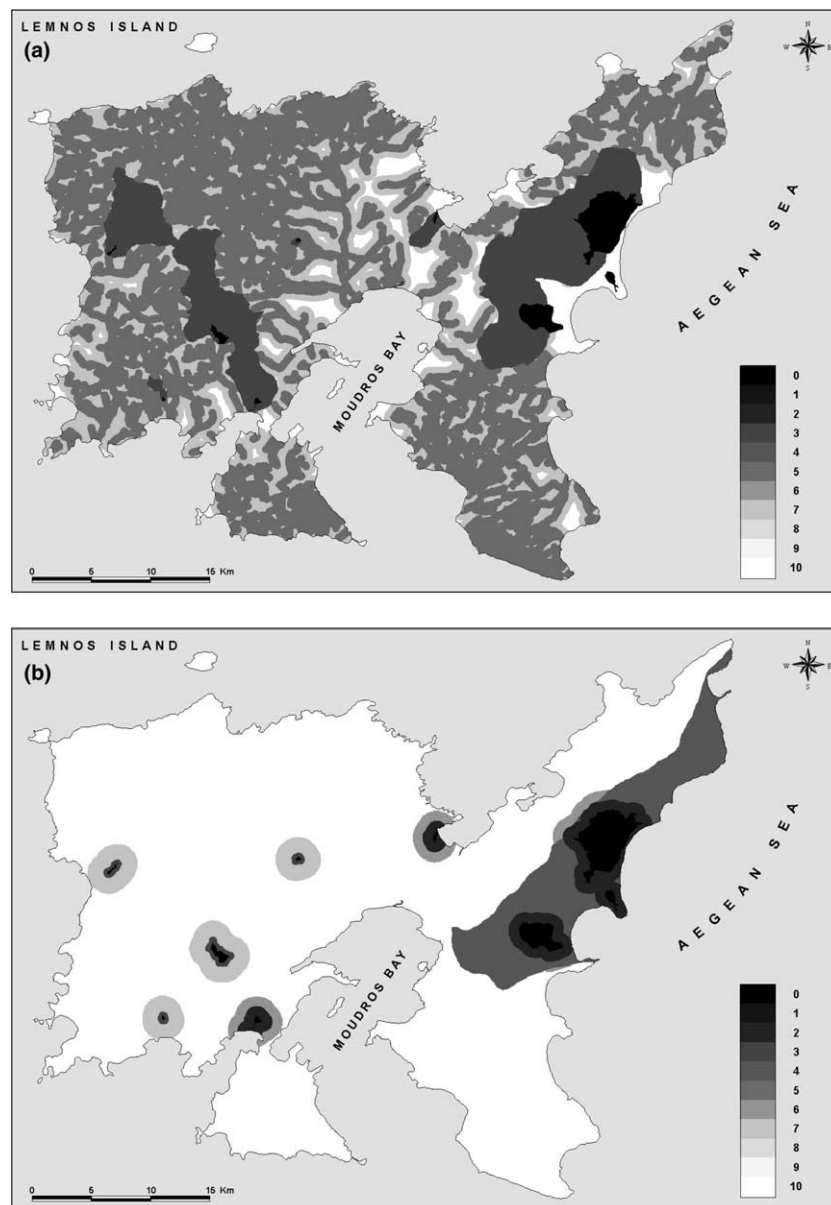


Fig. 4. (a) Surface water criterion. (b) Sensitive ecosystems criterion. (c) Land cover criterion.

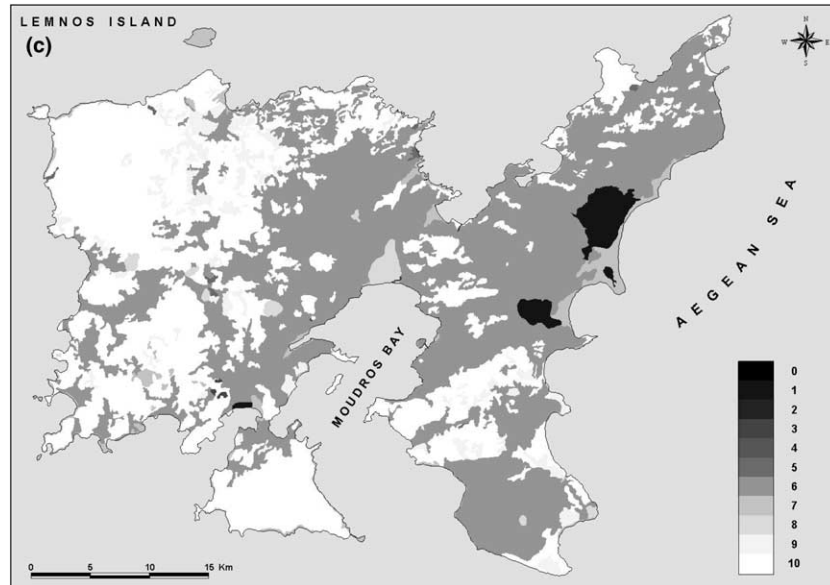


Fig. 4 (continued)

Table 2
Grading values for the surface water criterion

| Distance from surface water bodies | Grading value |
|--|---------------|
| Distance >500 m from creek, outside of any surface water body and outside of surface water body's hydrologic basin | 10 |
| Distance 200–500 m from creek | 7 |
| Distance <200 m from creek | 5 |
| Inside of surface water body's hydrologic basin | 3 |
| Inside of surface water body | 0 |

Table 3
Grading values for the sensitive ecosystems criterion

| Distance from sensitive ecosystems | Grading value |
|---|---------------|
| Distance >1000 m from surface water bodies, outside of NATURA's 2000 boundaries | 10 |
| Distance 200–1000 m from dams/reservoirs | 7 |
| Distance 500–1000 m from wetlands | 6 |
| Inside NATURA's 2000 boundaries | 4 |
| Distance <200 m from dams/reservoirs | 3 |
| Distance <500 m from wetlands | 2 |
| Inside of surface water bodies | 0 |

spatial distribution of land cover types is shown in Fig. 4(c). The wetlands were considered as totally unacceptable, therefore the grading value for these areas was 0. The areas with coniferous forests (*Pinus brutia*) and deciduous maquis (*Quercion ilicis*, *Oleo ceratonion*) were considered as non-preferable, having grading values of 3 and 5, respectively. The cultivated land and the rocky terrain were considered as suitable, having intermediate grading values of 6 and 7, respectively. Finally, the non-cultivated land and the pastures (*Sacropoterium spinosum*) were considered optimal for landfill siting having grading values of 9 and 10, respectively.

4.3. Social criteria

The social parameters considered were urban areas, cultural areas, and land uses, as well as visibility from certain locations, as shown in Fig. 5(a)–(d).

4.3.1. Urban areas

According to Greek legislation and EU directives, disposal of municipal solid waste at a distance less than 500 m from urban areas is not allowed. In addition, international practice dictates a minimum distance of 3000 m from airports. The direct distance of sites under examination from urban areas and the population of each city were taken into account to determine the grades of this subcriterion, as shown in Table 4. In addition, the direct distance from the airport was taken into consideration. The spatial result of the specific subcriterion is depicted in Fig. 5(a).

4.3.2. Cultural areas

This criterion is important during the landfill siting process due to the rich cultural background of Greece. According to Greek legislation, siting a landfill in areas of cultural interest is not allowed. The specific criterion protects the national cultural inheritance, which includes paleontological, archaeological and historical sites, as shown in Fig. 5(b). There are strict restrictions for any type of construction in close proximity of archaeological sites (Zone A); hence, these areas were considered as unacceptable for landfill siting and were given a grading value of 0. Under certain conditions, construction can take place in the wider area of a declared archaeological area; therefore, an intermediate grade of 5 was given to these areas. The areas outside

the boundaries of archaeological areas have no construction restrictions; therefore, these areas were considered as optimal for landfill siting having a grading value of 10.

4.3.3. Land uses

This criterion is not based on legal restrictions and may vary according to the area under study. The land uses criterion differs from the land cover criterion in that it aims to protect “sensitive” areas under economic development that may be affected by the siting of an adjacent landfill. The urban areas and the airport were considered unsuitable for landfill siting and were given a grade of 0. Tourist areas have a low grade of 2 due

to the economic activities that exist in these areas. The irrigated areas have also a low grading value of 4 because these areas have increased farming value. The scheduled irrigation areas, the agricultural land and the manufacturing zones were given intermediate grading values of 5, 6 and 7, respectively. Finally, the most suitable areas were considered the potential agricultural land and the pastures with grades of 8 and 9, respectively. The representation of this criterion is depicted in Fig. 5(c).

4.3.4. Visibility

The visibility criterion is not based on any legal restrictions. This criterion aims to the aesthetic

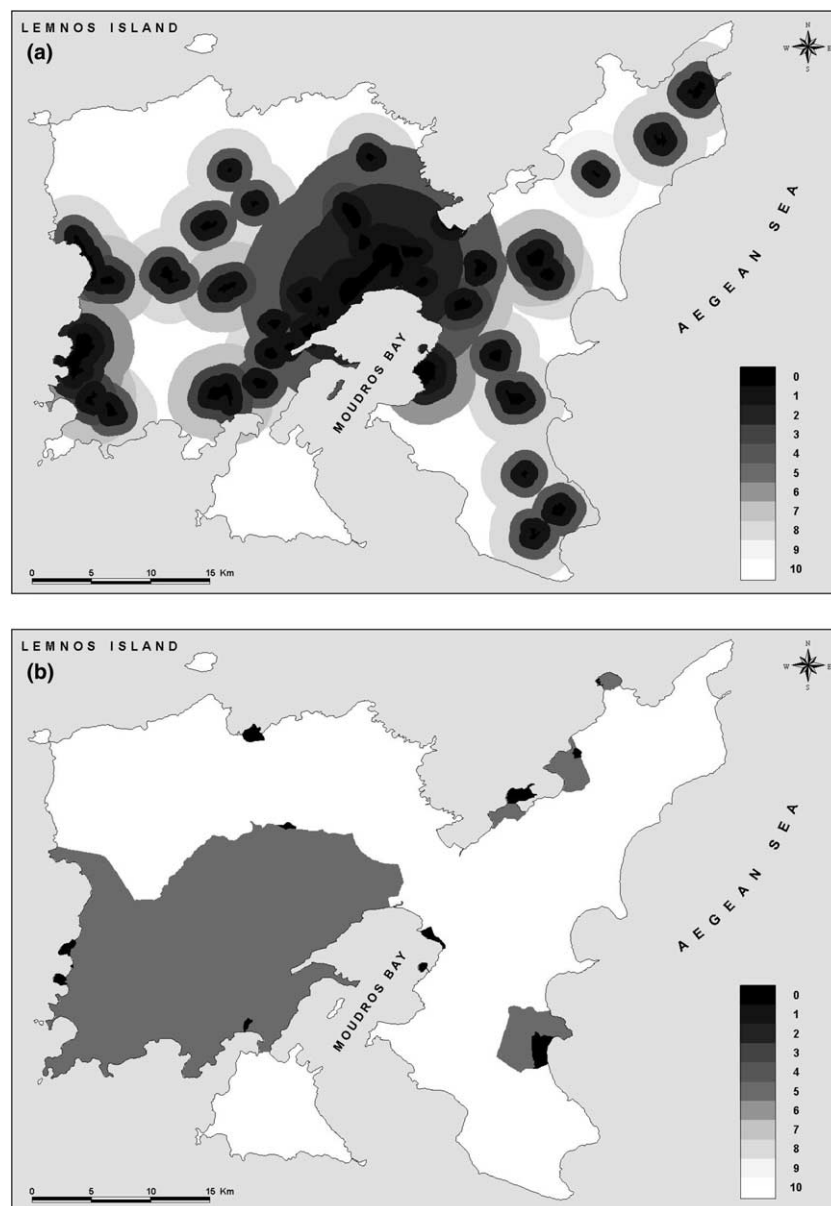


Fig. 5. (a) Urban areas criterion. (b) Cultural areas criterion. (c) Land uses criterion. (d) Visibility criterion.

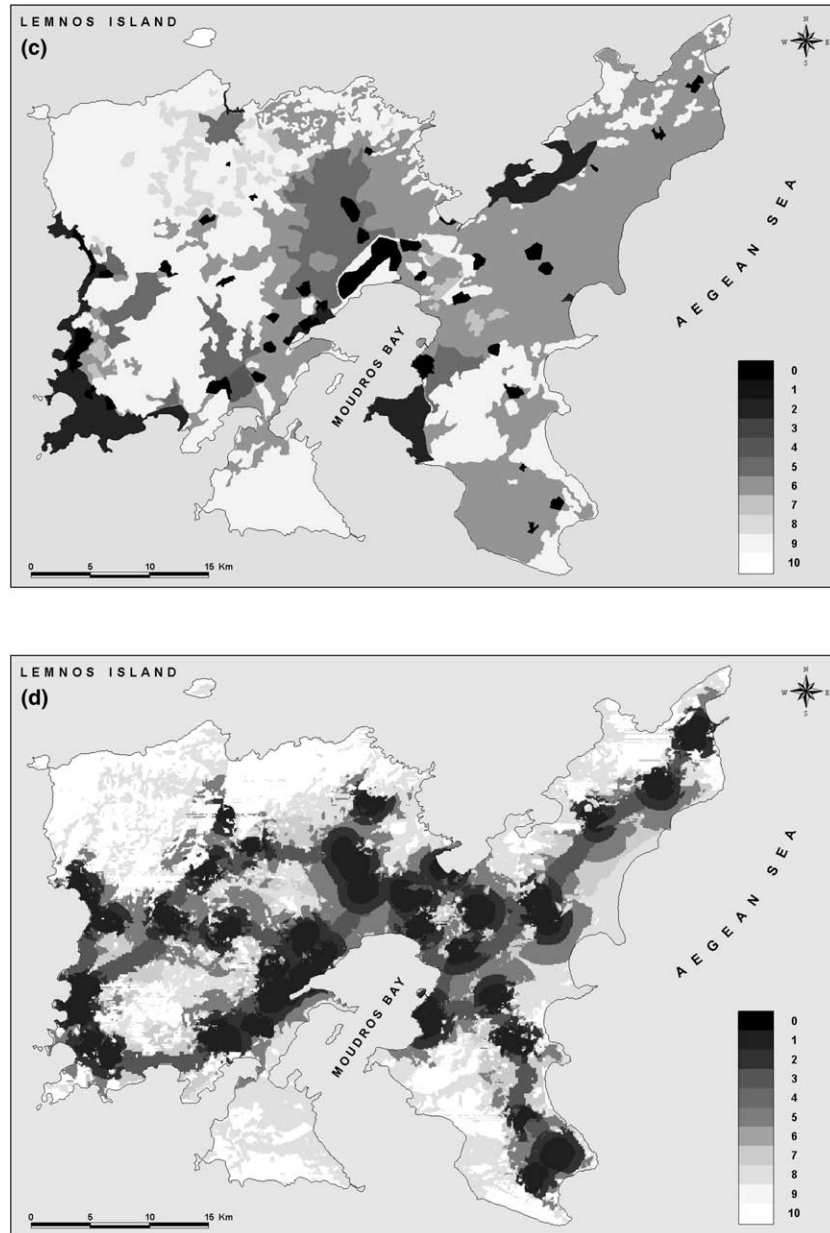


Fig. 5 (continued)

protection of inhabited areas in order to prevent public opposition caused by a visible landfill site (NIMBY syndrome). This criterion was based on radial distances from urban areas and main roads (highways and country roads). Therefore, the longer the visible distance of a location from an urban area or a road, the better it is suited for siting a landfill. It is noted that direct distance was not the sole parameter used in this criterion, since areas relatively close to urban centers or roads can be non-visible due to surface morphology. The spatial result of the visibility analysis is represented in Fig. 5(d), while the spatial determination and the grading values are shown in Table 5.

4.4. Technical criteria

These criteria include parameters that affect landfill construction and operation. The subcriteria considered in the present methodology were land morphology and wind orientation, as shown in Fig. 6(a) and (b).

4.4.1. Morphology

Land morphology is a basic parameter for the construction of a landfill site. In the proposed methodology, land morphology was evaluated by the slope gradation, which was expressed in degrees. Sites with steep slopes are usually not technically suitable for landfill

Table 4
Grading values for the urban areas criterion

| Distance from urban areas–airport | Grading value |
|--|---------------|
| Distance >2000 m from urban areas regardless of the population and distance >5000 m from the airport | 10 |
| Distance 1000–2000 m from urban areas with <50 residents | 9 |
| Distance 1000–2000 m from urban areas with 50–500 residents | 8 |
| Distance 1000–2000 m from urban areas with 500–1000 residents | 7 |
| Distance 1000–2000 m from urban areas with >1000 residents | 6 |
| Distance 500–1000 m from urban areas with <50 residents | 5 |
| Distance 500–1000 m from urban areas with 50–500 residents and distance 3000–5000 m from the airport | 4 |
| Distance 500–1000 m from urban areas with 500–1000 residents | 3 |
| Distance 500–1000 m from urban areas with >1000 residents and distance 1000–3000 m from the airport | 2 |
| Distance <500 m from urban areas regardless of the population and distance <1000 m from the airport | 1 |
| Inside urban areas or airport | 0 |

construction, although canyon landfills have occasionally been constructed. The grading was based on the premise that the flatter an area, the greater its suitability for landfill construction. The very steep areas ($>45^\circ$) were assigned a grade of 1, the steep areas ($26.5\text{--}45^\circ$) were assigned a grade of 2 and the moderately steep areas ($18.5\text{--}26.5^\circ$) were assigned a grade of 4. The most suitable areas were considered to be the inclined planes ($9.5\text{--}18.5^\circ$) with a grading value of 8 and the slightly sloping areas ($<9.5^\circ$) with a grading value of 10. The spatial representation of land morphology is shown in Fig. 6(a).

4.4.2. Wind orientation

This criterion is not based on any legal restrictions but on the fact that a landfill site should not be exposed to wind. Site morphology and wind orientation frequency in Lemnos were taken into account during the development of the specific criterion. The morphological aspect is expressed in degrees based on the parcel's azimuth, while the wind frequency is expressed as a percentage as shown in the second column of Table 6. The wind frequency percentages were based on records from the National Meteorological Agency; the values are annual averages, while the remaining 10.6% is calmness. The southeast and west winds are the less frequent winds in Lemnos; therefore, the areas with these orientations were given the highest grades. On the other hand, the most frequently encountered winds in Lemnos are the northeast winds; therefore, sites with this orientation were given a low grade. Flat areas were assigned the

Table 5
Grading values of visibility criterion

| Visibility zones | Grading value |
|---|---------------|
| Non-visible from observer spots due to surface morphology | 10 |
| Visible zones at a distance of >2000 m from urban areas | 8 |
| Visible zones at a distance of 500–2000 m from main roads | 7 |
| Visible zones at a distance of 1000–2000 m from urban areas | 5 |
| Visible zones at a distance of <500 m from main roads | 3 |
| Visible zones at a distance of 500–1000 m from urban areas | 2 |
| Visible zones at a distance of <500 m from urban areas | 1 |

worst grade of 0, because these areas are exposed to wind from all directions. The spatial representation of the wind orientation criterion is shown in Fig. 6(b), while the subcriterion grades are shown in Table 6.

5. Evaluation of land suitability

The next step of the methodology is the combined use of the evaluation criteria, in order to evaluate the land suitability for landfill siting. In the present work, the SAW method was utilized for the calculation of the suitability indexes. According to Eq. (1), in order to calculate the suitability indexes (V_i), the grading values (v_{ij}) and the relative importance weight (w_j) of every criterion are required. The evaluation criteria with their corresponding grading values were described earlier, while the relative weights are estimated with the application of the analytic hierarchy process method.

5.1. Analytic hierarchy process

The analytic hierarchy process (AHP) is a widely accepted decision making method, which is utilized to determine the relative importance of the criteria in a specified decision making problem. One of the most crucial steps in any multiple criteria problem is the accurate estimation of the pertinent data. Although qualitative information about the criterion importance can be found, it is difficult to quantify it correctly.

The AHP method proposed by Saaty (1980) is an effective approach to extract the relative importance weights of the criteria. The AHP is based on pairwise comparisons, which are used to determine the relative importance of each criterion. By comparing pairs of criteria at a time and using a verbal scale, decision makers can quantify their opinions about the criteria's magnitude.

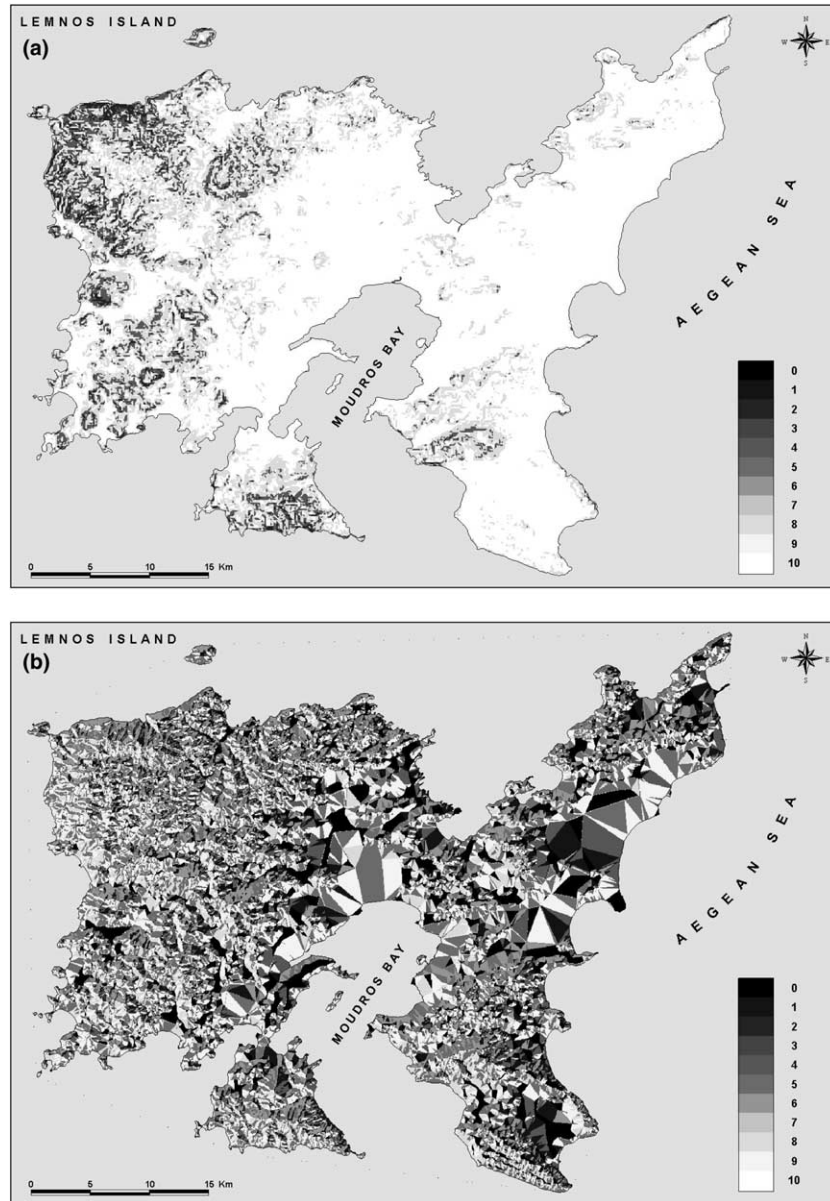


Fig. 6. (a) Morphology criterion. (b) Wind orientation criterion.

Table 6
Grading values for the wind orientation criterion

| Site orientation | Wind frequency (%) | Grading value |
|--|--------------------|---------------|
| Southeast (112.5–157.5°) | 6.6 | 9 |
| West (247.5–292.5°) | 6.6 | 9 |
| Southwest (202.5–247.5°) | 8.6 | 8 |
| North (0–22.5° and 337.5–360°) | 9.4 | 6 |
| South (157.5–202.5°) | 10.6 | 5 |
| Northwest (292.5–337.5°) | 10.6 | 5 |
| East (67.5–112.5°) | 12.6 | 4 |
| Northeast (22.5–67.5°) | 24.6 | 1 |
| Exposed to wind from anywhere (flat areas) | | 0 |

The pairwise comparison matrix (PCM) formed by the decision makers in the previous step must obey the following attributes, $a_{ii} = 1$ and $a_{ij} = 1/a_{ji}$. The next step is the calculation of the criteria's relative importance weights implied by the previous comparisons. Saaty (1980) proposes the estimation of the right principal eigenvector of the PCM which can be approximated using the geometric mean of each row of the PCM (by multiplying the elements of each row and then taking the n th root, where n is the number of criteria). This mode is known as multiplicative AHP (Saaty and Millet, 2000) and was used in the present work. The calculated geometric means are then normalized and the relative importance weights are extracted.

The AHP method allows slightly non-consistent pairwise comparisons. If the PCM is perfectly consistent, then $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$ for all possible combinations of comparisons in the PCM. It is rare to have a perfectly consistent PCM. The AHP method includes an index called consistency ratio (CR) that indicates the overall consistency of the PCM. According to Saaty (1980), the CR should have a value of less than 10%, indicating consistency of the matrix.

5.2. Application of the AHP method

The pairwise comparisons that were utilized in the present work seem to be reasonable based on a review of relevant landfill siting literature (Siddiqui et al., 1996; Mandylas et al., 1998; Balis et al., 1998; Kontos and Halvadakis, 2002; Kontos et al., 2003). However, there could be a different judgment for the relative magnitude of the criteria when these are compared in pairs. The decision making process in the multiple criteria problems is a subjective process depending on the decision maker. In a complex problem, such as landfill siting, it is logical for the persons involved to have different opinions.

The PCM formed by the authors in the present work is shown in Table 7, and the priority vectors of all criteria (relative importance weights) are included in the last column of the same table. In addition, the AHP parameters are also shown in the table, indicating that the judgments (and therefore the final relative importance weights) seem to be reasonable.

5.3. Calculation of suitability index

The last step in the presented methodology is the application of the SAW method, shown in Eq. (1). The evaluation criteria shown in Figs. 3–6 are in a raster GIS format with a 100 m cell size, because the specific digital data format is very useful when complex spatial

joins and calculations are considered. Raster data require less processing time than vector data to perform a specific spatial analysis process. Evaluation criteria were combined in a grid that contains all grades calculated from each of the separate grids.

The grading values for each evaluation criterion are included in the complex grid at the appropriate attribute field. The relative importance weights of the evaluation criteria are shown in the last column of Table 7. The suitability index is computed by using the SAW method.

6. Results and discussion

The land suitability of Lemnos Island for landfill siting, as calculated by the suitability indexes, is shown in Fig. 7. In order to calculate the suitability indexes, the evaluation criteria shown in Figs. 3–6 were used with their corresponding relative weights shown in the last column of Table 7. The method of simple additive weighting was selected as the proper way to dissolve the multiple criteria problem of the landfill siting. As shown in Fig. 7, land suitability increases as the suitability index increases. Areas with suitability indexes from 0 to 4 can be generally considered as unsuitable for landfill siting. Sites with grades ranging from 9 to 10 are expected to be the best sites for landfill siting.

In order to reveal the most suitable areas for landfill siting, a clustering process using spatial statistical methods was performed. Global autocorrelation was determined, using the indexes Moran's I and Geary's C (Goodchild, 1986). For local autocorrelation the G -Statistics (Getis and Ord, 1992; Ord and Getis, 1995) and LISA (Anselin, 1995) were utilized. Macroscopically, the suitability map seems to be strongly autocorrelated with the global indexes of Moran's $I = 0.9518$ and Geary's $C = 0.0458$, while Moran's scatterplot is depicted in Fig. 8. The method of G -Statistics selected as the appropriate method for the local autocorrelation,

Table 7
Pairwise comparison matrix and relative importance weights of the evaluation criteria

| Criteria | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Priority vector |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | 1 | 0.500 | 0.500 | 1.000 | 2.000 | 5.000 | 3.000 | 7.000 | 5.000 | 2.000 | 2.000 | 0.1266 |
| 2 | 2.000 | 1 | 1.000 | 2.000 | 3.000 | 7.000 | 5.000 | 9.000 | 7.000 | 3.000 | 3.000 | 0.2074 |
| 3 | 2.000 | 1.000 | 1 | 2.000 | 3.000 | 7.000 | 5.000 | 9.000 | 7.000 | 3.000 | 3.000 | 0.2074 |
| 4 | 1.000 | 0.500 | 0.500 | 1 | 2.000 | 5.000 | 3.000 | 7.000 | 5.000 | 2.000 | 2.000 | 0.1266 |
| 5 | 0.500 | 0.333 | 0.333 | 0.500 | 1 | 3.000 | 2.000 | 5.000 | 3.000 | 1.000 | 1.000 | 0.0731 |
| 6 | 0.200 | 0.143 | 0.143 | 0.200 | 0.333 | 1 | 0.333 | 2.000 | 1.000 | 0.333 | 0.333 | 0.0252 |
| 7 | 0.333 | 0.200 | 0.200 | 0.333 | 0.500 | 3.000 | 1 | 3.000 | 3.000 | 0.500 | 0.500 | 0.0459 |
| 8 | 0.143 | 0.111 | 0.111 | 0.143 | 0.200 | 0.500 | 0.333 | 1 | 0.500 | 0.200 | 0.200 | 0.0163 |
| 9 | 0.200 | 0.143 | 0.143 | 0.200 | 0.333 | 1.000 | 0.333 | 2.000 | 1 | 0.333 | 0.333 | 0.0252 |
| 10 | 0.500 | 0.333 | 0.333 | 0.500 | 1.000 | 3.000 | 2.000 | 5.000 | 3.000 | 1 | 1.000 | 0.0731 |
| 11 | 0.500 | 0.333 | 0.333 | 0.500 | 1.000 | 3.000 | 2.000 | 5.000 | 3.000 | 1.000 | 1 | 0.0731 |

$\lambda_{\max} = 11.14$, $CI = 0.0141$, $RI_{11} = 1.52$ and $CR = 0.0093 \ll 0.1$.

The numbers at the decision criteria are: (1) urban areas, (2) water permeability, (3) water sources, (4) surface water, (5) sensitive ecosystems, (6) vegetation, (7) morphology, (8) visibility, (9) wind orientation, (10) land uses and (11) cultural areas.

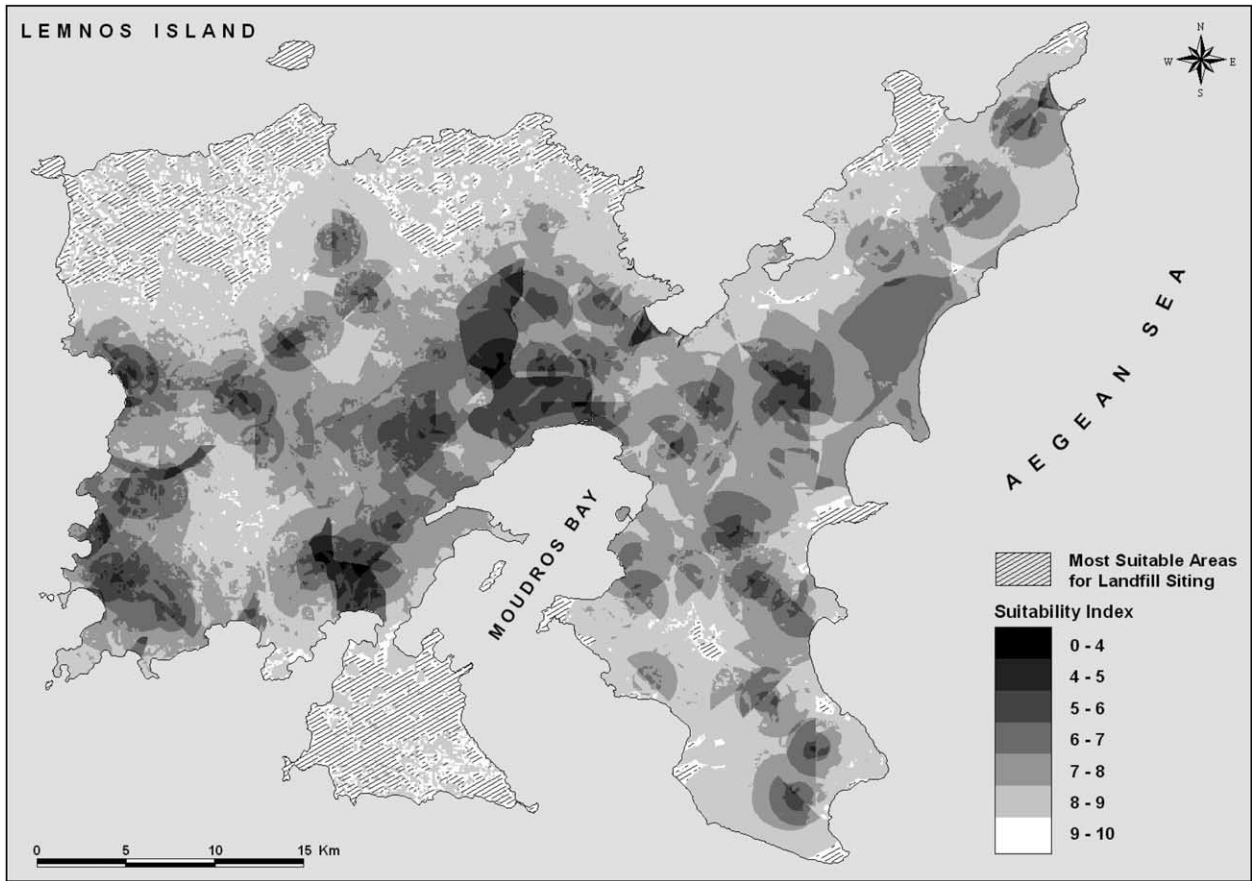


Fig. 7. Land suitability for landfill siting.

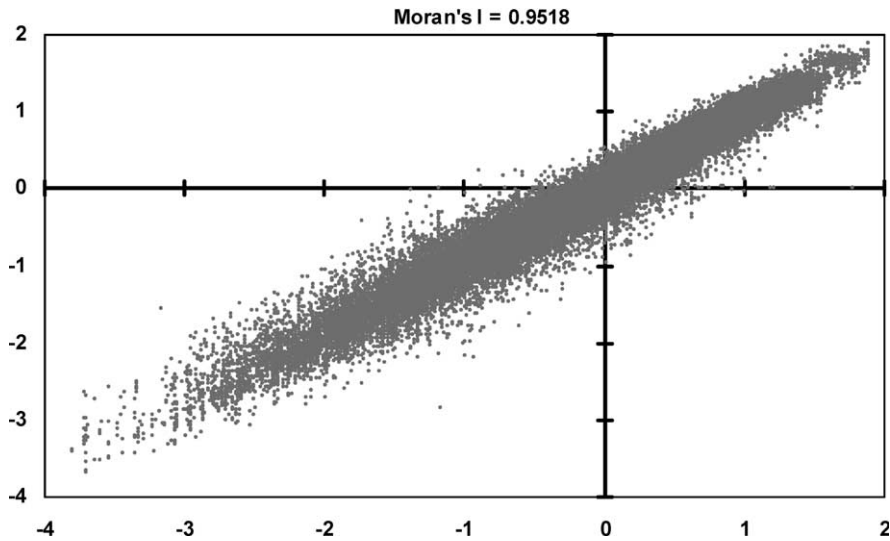


Fig. 8. Moran's scatterplot.

due to the intense discrimination of the autocorrelated areas between the highest and lowest values. According to [Getis and Ord \(1992\)](#), the areas with extremely high values of *G-Statistics* are strongly autocorrelated with high values of suitability index.

In [Fig. 7](#), the areas characterized as most suitable for landfill siting, resulted from the 10% of the highest *G-Statistics* values. Using the threshold of 10% of the highest values, 294 discrete areas were revealed with suitability indexes ranging from 8.585 to 9.764. The final

suitable areas resulted from the application of the minimum space criterion (at least 76,000 m² or 8 pixels). Using the minimum space criterion, 49 discrete areas (approximately 9.3% of the island) remained with suitability indexes ranging from 9.058 to 9.642.

The results of the clustering process are very interesting, indicating that the presented methodology is able to reveal the most suitable areas for landfill siting, as well as to give an initial ranking of the suitable areas. The last step of the siting process is to evaluate local characteristics of these areas after field inspection, in order to verify their suitability and to find the potential suitable sites.

Several updates could be performed in the methodology such as the combined application of various multiple criteria analysis methods, such as TOPSIS (Yoon and Hwang, 1995), Compromise Programming (Zeleny, 1982), etc. In addition, Fuzzy Sets Theory (Zadeh, 1965) can be very useful in the spatial determination of several evaluation criteria. The final decision regarding optimal sites is based on social and political will. However, an integrated spatial decision support system, based on the methodology described in the present work with the developments mentioned earlier, can be very useful in the final decision.

7. Conclusions

The methodology described in the present paper is an efficient approach in a landfill siting process. The methodology combines the evaluation abilities of MCA methods and the analytical tools of GIS. The MCA was utilized to form the siting problem into a decision structure of three hierarchical levels, namely, the goal (suitability), evaluation criteria/subcriteria and spatial attributes. The AHP method was utilized to extract the relative importance weights of the evaluation criteria and the SAW method was utilized to calculate the suitability indexes, in order to solve the landfill siting problem. GIS was utilized to create the spatial determination of the evaluation criteria and create the land suitability map. In addition, GIS was utilized to perform spatial statistics and spatial clustering processes in order to reveal the most suitable areas to site a landfill.

The evaluation criteria were developed according to Greek and EU legislation. However, the GIS-aided siting methodology presented is flexible as far as the criteria determination is concerned. Thus, it is quite easy to expand the methodology by taking into account other parameters. The integration of an intelligent Spatial Decision Support System (SDSS) based on the presented methodology is under research and development. This SDSS is expected to serve as an efficient tool for decision makers in any siting problem of locally unacceptable land uses (LULUs). Finally, it must be noted that the

presented methodology is a tool to aid decision makers; it is not the decision itself. The final decision of where to site a landfill is as much a political decision as a scientific one, strongly depending on public opinion.

References

- Allen, A., Brito, G., Caetano, P., Costa, C., Cummins, V., Donnelly, J., Fernandes, C., Koukoulas, S., O'Donnell, V., Robalo, C., Vendas, D., 2002. Procedure for the location of landfill sites using a GIS model. In: 9th Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, Durban, South Africa, p. 100.
- Anselin, L., 1995. Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis* 27 (2), 93–115.
- Bagchi, A., 1990. Design, Construction and Monitoring of Sanitary Landfill. Wiley, New York, USA.
- Balis, M., Mandylas, Ch., Kontos, Th., Akriotis, D., Halvadakis, C.P., 1998. Investigation of suitable areas for the construction of sanitary landfill in Lemnos. Technical Report, Part I, University of the Aegean, Department of Environmental Studies, Waste Management Laboratory/Region of the North Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece (in Greek).
- Bonham-Carter, G.F., 1994. Geographic Information Systems for Geoscientists. Pergamon (Elsevier Science Ltd.), USA.
- Domenico, P.A., Schwartz, F.W., 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. Wiley, New York, USA.
- Dorhofer, G., Siebert, H., 1998. The search for landfill sites – requirements and implementation in Lower Saxony, Germany. *Environmental Geology* 35 (1), 55–65.
- Ehler, G., Cowen, D., Mackey, H., 1995. Design and implementation of a spatial decision support system for site selection. In: Proceedings of ESRI International User Conference, Palm Springs, CA, USA, p. 100.
- European Council Directive 1999/31/EC, Document L 182, 1999. Sanitary Landfilling of Solid Wastes.
- Getis, A., Ord, J.K., 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24 (3), 189–206.
- Goodchild, M.F., 1986. Spatial Autocorrelation. GeoBooks, Norwich, UK.
- Halvadakis, C.P., 1993. Municipal solid waste landfill siting in Greece – the case of the greater hania region, Greece. *Ekistics* 358–359, 45–52.
- Herzog, M., 1999. Suitability analysis decision support system for landfill siting (and other purposes). In: Proceedings of the ESRI International User Conference, San Diego, CA, USA.
- Kallergis, G., 2001. Second ed. Applied Hydrogeology, Vol. 2 Technical Chamber of Greece, Athens, Greece (in Greek).
- Kao, J.J., Lin, H.Y., 1996. Multifactor spatial analysis for landfill siting. *Journal of Environmental Engineering* 122 (10), 902–908.
- Kontos, Th.D., Halvadakis, C.P., 2002. Development of a Geographic Information System (GIS) for land evaluation for landfill siting: The Case of Lemnos Island. In: 7th National Conference of Hellenic Cartographic Society, Mytilene, Lesvos, Greece (in Greek).
- Kontos, Th.D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P., 2003. Siting MSW Landfills in Lesvos Island with a GIS-based methodology. *Waste Management and Research* 21 (3), 262–277.
- Lin, H., Kao, J., 1998. Enhanced spatial model for landfill siting analysis. *Journal of Environmental Engineering* 125 (9), 845–851.
- Lukashev, A.F., Droste, R.L., Warith, M.A., 2001. Review of Expert System (ES), Geographical Information System (GIS), Decision Support System (DSS) and their application in landfill design and management. *Waste Management and Research* 15, 4.

- Mandylas, Ch., Balis, M., Kontos, Th.D., Akriotis, D., Halvadakis, C.P., 1998. Investigation and evaluation of sites for the construction of a central sanitary landfill in Lesvos. Technical Report, Part I, University of the Aegean, Department of Environmental Studies, Waste Management Laboratory/Region of the North Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece (in Greek).
- Mavropoulos, A., 2000. Large steps forward. *ISWA Times* 3, 20–23.
- McBean, E., Rovers, F., Farquhar, G., 1995. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice-Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Minor, D., Jacobs, T., 1994. Optimal land allocation for solid and hazardous waste landfill siting. *Journal of Environmental Engineering* 120 (5), 1095–1108.
- Noble, G., 1992. *Siting Landfills and Other LULU's*. Technomic Publishing Co, Lancaster, PA.
- Ord, J.K., Getis, A., 1995. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis* 27 (4), 286–306.
- Parisakis, G., Skordilis, A., Andrianopoulos, A., Lolos, T., Andrianopoulos, I., Tsompanidis, C., Lolos, G., 1991. Qualitative and quantitative analysis of MSW in the island of Kos. Technical Report, National Technical University of Athens, Laboratory of Inorganic and Analytical chemistry (in Greek).
- Saaty, T., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Saaty, T., Millet, I., 2000. On the relativity of relative measures – accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP. *European Journal of Operational Research* 121, 205–212.
- Siddiqui, M., Everett, J., Vieux, B., 1996. Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Journal of Environmental Engineering* 122 (6), 515–523.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Yagoub, M., Buyong, T., 1998. GIS applications for dumping site selection. In: *Proceedings of the ESRI International User Conference*, San Diego, CA, USA, p. 107.
- Yoon, K., Hwang, C.L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making: an Introduction*. Sage Publications Inc., London, UK.
- Zeleny, M., 1982. *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control* 8, 338–353.

Elsevier Editorial System(tm) for Journal of Environmental Management

Manuscript Draft

Manuscript Number: JEMA-D-07-00352

Title: A Fuzzy Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology for Municipal Solid Waste Landfill Siting

Article Type: Research Paper

Keywords: Municipal Solid Waste; Landfill Siting; Geographic Information Systems; Multiple Criteria Analysis; Fuzzy Sets Theory; Analytic Hierarchy Process

Corresponding Author: Mr Themistoklis Kontos, Ph.D. Candidate

Corresponding Author's Institution: University of the Aegean

First Author: Themistoklis D Kontos, Ph.D. Candidate

Order of Authors: Themistoklis D Kontos, Ph.D. Candidate; Constantinos P Halvadakis, Professor



**UNIVERSITY OF THE AEGEAN
DEPARTMENT OF ENVIRONMENT**

Themistoklis D. Kontos, *Ph.D. Candidate*

23/4/2007

Department of Environment, University of the Aegean

University Hill, Mytilene, Lesvos, 81100, Greece

Tel: +30-22510-36255

Fax: +30-22510-36448

kontos@geo.aegean.gr

Dear Editor,

I submit a paper titled "*A Fuzzy Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology for Municipal Solid Waste Landfill Siting*" for potential publication in your journal. The manuscript is new and has not been considered elsewhere.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and a horizontal line at the bottom.

Th. D. Kontos

A Fuzzy Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology for Municipal Solid Waste Landfill Siting

**Themistoklis D. Kontos^{1*}
Constantinos P. Halvadakis²**

^{1*} Ph.D. Candidate, Department of Environment, University of the Aegean, University Hill, Mytilene, Lesvos, Greece, kontos@geo.aegean.gr, Fax: +30-22510-36247 (corresponding author)

² Professor of Environmental Engineering, Waste Management Laboratory, Department of Environment, University of the Aegean, University Hill, Mytilene, Lesvos, Greece, khalv@aegean.gr

ABSTRACT

Siting municipal solid waste landfills in Greece is a particularly difficult process due to land resource limitations, the country's mountainous, insular and primarily water permeable terrain as well as due to an exacerbated public opposition (NIMBY syndrome). A spatial methodology is presented here with purpose to optimally site landfills in the island of Lemnos in North Aegean Sea (Greece). The initial step of the methodology defines the hierarchical structure of the decision problem. A five levels hierarchical structure was chosen to be the appropriate scheme to resolve the multiple criteria problem of landfill siting. The relative importance weights for the criteria were estimated using the Analytic Hierarchy Process. The criteria utilized in the presented methodology were classified as discrete and continuous. For the discrete criteria, grading schemes were utilized based on predefined guidelines from Greek and European Union's legislation, international practice and practical guidelines. For the continuous criteria, the Fuzzy Sets Theory was chosen to be the approach for the spatial determination. With the aid of Multiple Criteria Analysis, the study region was evaluated by suitability index means. Finally, a spatial clustering process was performed in order to reveal the most suitable areas and the sensitivity analysis indicated that the proposed methodology was not sensitive to slight or moderate changes of the relative importance weights. The results show that 10.2% of Lemnos Island is suitable to site a landfill, allowing an initial ranking and selection of candidate landfill sites.

Keywords: Municipal Solid Waste; Landfill Siting; Geographic Information Systems; Multiple Criteria Analysis; Fuzzy Sets Theory; Analytic Hierarchy Process

1. Introduction

A landfill is the ultimate waste sink in every Municipal Solid Waste (MSW) management system, even if waste reduction and reuse attitudes, recycling and thermal or biological treatment techniques are included (Tchobanoglous *et al.*, 1993). The MSW management system in Greece is not currently integrated and only recently Greek legislation has required the implementation of strategic plans for the integrated management of MSW at a regional and prefectural level for the next 15 years. The initiation of European Union's (EU) directive 99/31/EC, requires the construction of sanitary landfills in all member countries. Based on the report from the Hellenic Ministry of the Environment (2005), a total of 2626 uncontrolled dumps exist in Greece nowadays, of which 1453 are active and the remaining 1173 are inactive. In addition, 45 sanitary landfills that serve 318 municipalities are currently in operation, while 56 more are under design and/or construction and are planned to serve a total of 670 municipalities. Landfill site selection is one of the biggest problems in Greece, because the 'Not in My Back Yard' (NIMBY) syndrome usually arises in the local communities, where a landfill is reported to be sited. Unfortunately, the political cost associated with the decision to site a landfill in an area with an exacerbated NIMBY syndrome by the local residents, is usually leading to the failure of the landfill siting procedure.

Siting a landfill is a complicated process, since it has to combine social, environmental as well as technical and economic parameters. The siting process aims to locate areas that will minimize hazards to public health and the environment and will be financially efficient (Bagchi, 1990; Noble, 1992; McBean *et al.*, 1995). Several landfill siting methodologies have been outlined in the literature; a general classification of these methodologies consists of three categories the binary, the deterministic and the fuzzy methods.

The binary logic methodology is the most commonly used method and could be characterized as out-of-date (Frantzis, 1993; Halvadakis, 1993; Ehler *et al.*, 1995; Kao *et al.*, 1997; Dorhofer and Siebert, 1998; Yagoub and Buyong, 1998; Herzog, 1999; Lukasheh *et al.*, 2001; Kontos *et al.*, 2003). The main principle, on which this methodology relies on, is the minimization of the environmental impact due to waste landfilling. This method uses Geographic Information Systems (GIS) for the screening of the region under study in order to find suitable areas. The final result of

the binary logic methodology is a clear discrimination of the study region in suitable and unsuitable areas.

The deterministic method comprises Multiple Criteria Analysis (MCA) and GIS in order to evaluate the suitability for landfill siting of the study region (Minor and Jacobs, 1994; Kao and Lin, 1996; Siddiqui *et al.*, 1996; Lin and Kao, 1999; Basnet *et al.*, 2001; Allen *et al.*, 2002; Vatalis and Manoliadis, 2002; Vasiloglou, 2004; Kontos *et al.*, 2005). This method, utilizes MCA techniques to resolve the siting problem within sharply defined boundaries. These boundaries appear in terms of predefined rules such as protection distances and grading schemes.

However, landfill siting is a process that takes into consideration parameters such as protection distances, slope and azimuth, which are not easy to calibrate in a predetermined framework, because the uncertainty of the final result will increase. The Fuzzy Sets Theory (Zadeh, 1965) seems to be suitable to handle complex spatial multiple criteria problems where the fuzziness of the parameters involved is considerable. The incorporation of Fuzzy Sets Theory with GIS in landfill siting process is the more up-to-date method. The fuzzy logic method is known in the relevant literature (Banai, 1993; Charnpratheep *et al.*, 1997; Karkazi *et al.*, 2001), but further investigation is needed mainly for the criteria used in the multiple criteria specification.

The present paper describes a MSW landfill siting methodology with combination of GIS and MCA methods in a fuzzy environment, as applied to the island of Lemnos in Greece. The methodology evaluates the whole region under study by using a grading scale from 0 to 1, where 0 grades a site fully unsuitable for landfill siting while 1 grades a site optimum for landfill siting. The criteria utilized, are determined based on international practice in landfill siting as well as national and EU's legislation, but adjusted by using fuzzy sets to handle spatial uncertainty. The purpose of the proposed methodology is to present a method that is able to reveal the most suitable areas, based on the suitability index resulted from the initial steps. This is a very important methodological step and will be an advance in the landfill siting process. For this reason, the utilization of sophisticated spatial statistics methods is introduced, giving some efforts in the analysis of the results, showing that the tools provided by GIS and spatial statistics are very important. Finally, the sensitivity analysis of the results is proposed as a very efficient tool to examine the uncertainty that comes from all the intermediate levels of the presented methodology. It must be noted that the

sensitivity analysis must always follow any multiple criteria problem, but the review of the MCA-aided landfill siting literature exposes an absence of sensitivity analysis in the relevant works.

The present paper is organized as follows. The following paragraph presents some useful information about the island of Lemnos. In paragraph 3 the methodological concept is described, in addition to the hierarchical structure of the multiple criteria problem formed and the spatial determination of the evaluation criteria. In paragraph 4 the application of the methodology and the statistical analysis of the results are presented. Finally the conclusions from the application of the methodology and some remarks are presented in paragraph 5.

2. Background information

The island of Lemnos is located in the northeast part of the Aegean Sea in Greece, as can be seen in figure 1. The island has an area of 480 km² and a population of approximately 18000 citizens, while the projected population for 2020 will be 25000. Approximately 48% (230 km²) of the island is dedicated to agricultural use (mainly vineyards and grain), 42% (200 km²) is pastures, while the remaining part is covered with various land cover types such as urban areas, pine tree forests, rocky terrain and wetlands.

According to the Ministry of National Economy (2000), the MSW production is expected to grow with a yearly rate of 0.7%. Given that the projection for population growth is around 0.4% per year, it is expected that the average per capita solid waste production will be 1.13 kg/day around 2010, while in 1997 it was 0.97 kg/day. The composition of solid waste at the island of Lemnos has not been measured yet, therefore the national average composition which is fermentable 47%, paper 20%, plastics 8.5%, metals 4.5%, glass 4.5% and other materials 15.5%, could be considered. Approximately 35 uncontrolled dumps existed in the island by 1988, while only two semi-controlled landfills exist nowadays. MSW in Lemnos include residential and commercial waste as well as waste produced from tourist activities such as hotels and restaurants. MSW are scheduled to be disposed of to a non-hazardous waste sanitary landfill, as is specifically designated in the EU's 1999/31/EC directive.

The average equivalent annual MSW production rate in Lemnos for the next twenty years - which is the design life of the scheduled landfill- is approximately 9000 tn/yr, while the total

minimum useful required landfill area should be 76000 m² at an average in place waste height of around 10 m and an average soil excavation depth of 2.5 m (Balis *et al.*, 1998).

3. Siting methodology

The GIS-aided landfill siting methodology presented here combines GIS and MCA to evaluate the whole region, based on certain decision criteria. The methodology utilizes GIS to create the digital geodatabase using spatial analysis tools. Several MCA methods have been suggested for the evaluation of the final suitability index, like the well-known Weighted Average and Weighted Product, TOPSIS described by Yoon and Hwang (1995) and Compromise Programming introduced by Zeleny (1982). In the present paper, a combined application of the methods Weighted Average and Weighted Product was utilized, as the appropriate approach to resolve the multiple criteria problem. The proposed methodology consists of the following steps:

- a) Development of a digital database that includes all necessary spatial and non-spatial information.
- b) Determination of the decision criteria hierarchical structure.
- c) Implementation of the Analytic Hierarchy Process method to calculate the criteria/subcriteria relative importance weights.
- d) Criteria calibration using fuzzy and ordinary (crisp) sets methods.
- e) Spatial clustering process to reveal the most suitable areas.
- f) Sensitivity analysis of the results.

In order to automate the process of the present landfill siting methodology, a Spatial Decision Support System (SDSS) has been developed in Microsoft® Visual Basic programming environment which is compatible with the GIS software ESRI ArcGIS®. The SDSS is able to create the evaluation criteria/subcriteria in a crisp and in a fuzzy environment, create composite decision criteria, perform the process of MCA and perform spatial clustering processes. In addition the SDSS has several other capabilities such as, a module for the evaluation of criteria relative importance weights, a module for the spatial statistical analysis and a module for the sensitivity analysis of the results.

The methodology presented here does not initially exclude any areas from further examination; therefore the legally unsuitable areas will have a low initial suitability index, which will exclude them from further examination during the last steps of the siting process. The initial result of the methodology is the evaluation of land suitability for landfill siting. The grading scale used in the present work for the suitability index spans from 0 to 1, which is respectively from the least to the most suitable area. The final result of the present methodology is the determination of the most suitable areas based on spatial statistics and spatial clustering analysis.

3.1 Determination of the criteria hierarchical structure

The determination of the criteria's hierarchical structure is probably the most important step of the proposed methodology. For this reason, based on the *parsimony principle* which is the fundamental theory of many sciences, some general rules must be complied; the decision problem must be as simple as possible, the parameters utilized must be as few as possible, linear models must be preferred instead of non-linear models and colinearity must be avoided.

Based on landfill siting relevant literature (Briassoulis and Installe, 1996; Siddiqui *et al.*, 1996; Vatalis and Manoliadis, 2002) and previous works by the authors (Kontos *et al.*, 2003; Alexiou *E.*, 2005; Kontos *et al.*, 2005), the five levels hierarchical structure shown in figure 2, was chosen as the appropriate scheme. The first level represents the ultimate goal of the decision problem (land suitability for landfill siting), the second level represents the decision criteria, the third level represents the evaluation criteria, the fourth level represents the evaluation subcriteria and the fifth level represents the spatial or non-spatial attributes of the precedent criteria/subcriteria level.

The hierarchical structure of the criteria is very useful in order to decompose complex multiple criteria problems. The problem of where to site a landfill is depending on many parameters such as environmental impacts, potential risk of public health and financial viability (Bagchi, 1990; Noble, 1992; McBean *et al.*, 1995). These parameters are represented by the decision criteria; in the present paper the decision criteria are classified into four main categories, namely the Hydrological/Hydrogeological, Environmental, Social and Technical/Economic. In order to create the decision criteria, several other parameters that affect these criteria are considered. These parameters are represented by the evaluation criteria; for example the decision criterion of

Hydrology/Hydrogeology is formed by the evaluation criteria of water permeability, water sources, surface water and faults. Each one of the evaluation criteria, is either created by the corresponding spatial/non-spatial attributes or it is possible to have another level of formation with the evaluation subcriteria and their corresponding spatial/non spatial attributes; for example the evaluation criterion of surface water is formed by the evaluation subcriteria of wetlands, water reservoirs/dams and streams, while the streams subcriterion is described by the spatial or non spatial attribute of distance from streams and watersheds.

3.2 Determination of relative importance weights using the Analytic Hierarchy Process

One of the most crucial steps in any multiple criteria problem is the accurate estimation of the relative importance weights. Although qualitative information about the criterion importance can be found, it is difficult to quantify it correctly. The Analytic Hierarchy Process (AHP) proposed by Saaty (1980), is a widely accepted multiple criteria method utilized in the present work to resolve the decision making problem of land suitability for landfill siting.

In addition, the AHP method is an efficient approach to extract the criteria's relative importance weights based on pairwise comparisons. By comparing pairs of criteria at a time, decision makers can quantify their opinions about the criteria magnitude using the scale of relative importance shown in table 1. The Pairwise Comparison Matrix (PCM) formed by the decision makers in the previous step must comply to the following attributes, $a_{ii} = 1$ and $a_{ij} = 1/a_{ji}$. The next step is to extract the relative importance weights of the criteria implied by the previous comparisons. Saaty proposes the estimation of the right principal eigenvector of the PCM. Saaty (1980; 2000) asserts that the corresponding eigenvector is approximated by using the geometric mean of each row of the PCM. This mode is known as Multiplicative AHP and was utilized in the present work. The calculated geometric means are then normalized and the relative importance weights are extracted. The AHP method allows slightly non-consistent pairwise comparisons. If the PCM is perfectly consistent, then $a_{ij} = a_{ik} * a_{kj}$ for all possible combinations of comparisons in the PCM. It is rare to have a perfectly consistent PCM. The AHP method includes an index called Consistency Ratio (CR) that indicates the overall consistency of the PCM. According to Saaty, the CR should have a value of less than 0.1, indicating consistency of the matrix.

As mentioned earlier, the hierarchical structure of the decision problem used in the present work consists of five levels namely the goal (land suitability), decision criteria, evaluation criteria, evaluation subcriteria and spatial/non spatial attributes. This hierarchical structure is very useful to resolve the multiple criteria problem of landfill siting. A total of 17 PCMs were formed in order to evaluate the relative importance weights of all the criteria/subcriteria used in the present work. The pairwise comparisons utilized, seem to be reasonable, based on a review of relevant landfill siting literature (Siddiqui *et al.*, 1996; Kontos *et al.*, 2003; Alexiou *et al.*, 2005; Kontos *et al.*, 2005). However, there could be a different judgment for the relative magnitude of the criteria when these are compared in pairs. The decision making process in multiple criteria problems is a subjective process depending on the decision maker. In a complex problem -such as landfill siting- it is very logical to have different opinions of the persons involved in the siting process.

3.3 Spatial determination of the criteria using fuzzy and crisp sets

In order to combine the decision/evaluation criteria resulting either from a fuzzy or an ordinary process, two methods of multiple criteria analysis were utilized. The first method is the Weighted Average (WA) described by equation (1) and the other is the Weighted Product (WP) method described by equation (2):

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j * v_{ij} \quad (1), \quad V_i = \prod_{j=1}^n v_{ij}^{w_j} \quad (2)$$

where: V_i , the final grade of area i

w_j , the relative importance weight of criterion j

v_{ij} , the grading value of area i under criterion j

n , the total number of criteria

Generally, in multiple criteria analysis it is better to use linear models rather than multiplicative or exponential. In the present work, in some cases, the utilization of the multiplicative form shown in equation (2) was chosen to be the best approach for the calculation of the final grade. This selection was made for a specific reason. Some criteria have a very strict legal framework that forbids the establishment of a landfill in specific areas; therefore these areas are having a grading value of 0. The calculation of the final grade using the multiplicative form results a 0 value for these

areas. Using the WP method, these “sensitive” areas, are ensured of not having a high suitability index value, so that they are excluded from further investigation in the last stages of the proposed methodology.

In the present work the criteria were divided into two categories; discrete and continuous. Discrete are all the categorical criteria, while continuous are the criteria that have a countable measure. The discrete criteria were calibrated using the deterministic approach which is based on the knowledge and the expertise of the persons who are involved in the siting process. The continuous criteria were calibrated using the fuzzy sets theory.

Fuzzy sets theory introduced by Zadeh in 1965 is a theory that permits the notion of nuance. It differs from the standard Boolean logic in the fact that the Boolean logic is binary, which means that a specific condition is true or false (in the case of landfill siting suitable or unsuitable). On the other hand, the Fuzzy logic presumes that this condition could be anything from almost true/false to hardly true/false. Generally, a fuzzy set F in a universe of discourse X is described by a membership function μ_F , which maps the set X to the membership space $M \in [0, 1]$. The membership function $\mu_F(x)$ represents the grade of membership of x in F . The closer the value of $\mu_F(x)$ is to 1, the more x belongs to F (Zadeh, 1965).

In the present work, the membership functions that were utilized are shown in figure 3. These functions have been referred in the literature in order to evaluate land suitability using fuzzy sets theory (Charnpratheep *et al.*, 1997; McBratney and Odeh, 1997; Jiang and Eastman, 2000; Robinson, 2003). In the equations shown in figure 3, $\mu_F(x)$ is the membership grade with respect to x , where x is a countable measure like distance, slope, area, population. The symbol \lceil stands for the description of a fuzzy singleton, while the symbol \cup stands for the union of the fuzzy singletons. In figures 3c and 3f, the term α is the point that the membership function starts increasing from the grade of 0 until it reaches the point β which has a membership grade of 1. In figure 3g, α is the point that the membership function starts decreasing from the grade of 1 until reaches the point β which has a membership grade of 0. Finally, in figures 3d and 3e the parameter α and in figures 3f and 3g the parameter $\gamma = (\alpha + \beta) / 2$, is the crossover point with membership grade of 0.5.

The membership functions that were utilized were not applied directly to the input features but in an intermediate dataset that resulted from spatial analysis processes. In the present work, the

spatial processes of *Euclidean Distance* and *Euclidean Allocation* were utilized. The principle that these processes are relied on, is the calculation of the direct distance in the Cartesian space, between two points. The processes divide the study region in cells and then calculate the minimum distance for each cell from all the input features. The difference of the two spatial processes is on the value assignment, as can be seen with a simplified example in figure 4. The *Euclidean Distance* assigns to the cell the minimum distance from the nearest input feature, while the *Euclidean Allocation* assigns a predefined attribute of the nearest input feature.

It must be noted that the membership functions and α , β and γ points were selected in order to describe the criteria properly. Sensitivity analysis was performed in two stages; in the first stage several membership functions were selected, while in the second stage different α , β and γ points were applied. The sensitivity analysis showed that the finally selected fuzzy membership functions with the corresponding α , β and γ points were not sensitive in slight or moderate changes.

A detailed description of the spatial determination of the decision and evaluation criteria can be found in the following paragraphs. In Kontos (2003; 2005) a more detailed description of the parameters that are taken into account in the proposed methodology, can be found.

3.3.1 Hydrological/Hydrogeological criterion

The hydrological/hydrogeological decision criterion shown in figure 5, aims at the protection of surface water and groundwater from potential pollution. Specifically this decision criterion consists of four evaluation criteria namely water permeability, water sources, surface water and faults. This decision criterion was resulted using the method of WA with the relative importance weights shown in table 2.

The water permeability evaluation criterion classifies the whole area in hydrogeological zones based on values of hydraulic conductivity k ($m \cdot sec^{-1}$). The categorization of the hydrogeological zones in Lemnos Island was based on estimations and field observations performed by local geology experts. In the present work, three hydrogeological zones in addition to brine water areas were designated with the grading scheme shown in table 3.

A landfill site must not be adjacent to any groundwater source, such as springs or groundwater wells. According to the Greek Ministry Decision 26297 (2003), a minimum distance of 500 m from

any water source is required for a landfill site. In addition, according to Kallergis (2001) a period of 50 to 60 days is required for the inactivation of pathogens, whilst groundwater has an average linear velocity that ranges from a few centimetres to 10 meters per day. Based on pathogen lifetimes, the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 500$ and $\beta = 2000$ on the Euclidean distance from all the water sources was utilized. In addition, the water sources evaluation criterion takes into consideration the groundwater flow direction from any water source in order to delineate the upstream/downstream areas, with grades of 0.3 for upstream and 1 for downstream areas. Finally, in order to create the evaluation criterion of Water Sources, the method of WP was utilized on the evaluation subcriteria distance from water sources and groundwater flow direction, with relative importance weights of 0.9 and 0.1 respectively.

The surface water evaluation criterion takes into consideration wetlands, water reservoirs/dams and streams. This criterion was made using the WP method with relative importance weights of 0.3333, 0.3333 and 0.3333 respectively. Each of the evaluation subcriteria was created using the following fuzzy rules. The wetlands subcriterion takes into account two parameters, the distance from wetlands and the wetlands' basins and can be made using the WP method with relative importance weights of 0.8333 and 0.1667 respectively. For the distance from wetlands the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 500$ and $\beta = 2000$ was utilized, while for the wetlands' basins the *Negative Exponential* membership function with $a = 10^7$ based on the basin's area was utilized. The water reservoirs/dams subcriterion takes into account two parameters, the distance from dams and the dams' basins and can be made using the WP method with relative importance weights of 0.8333 and 0.1667 respectively. For the distance from water reservoirs/dams the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 500$ and $\beta = 2000$ was utilized, while for the dams' basins the *Negative Exponential* membership function with $a = 2 * 10^7$ based on the basin's area was utilized. The streams subcriterion takes into account two parameters, the distance from streams and watersheds and can be made using the WP method with relative importance weights of 0.8333 and 0.1667 respectively. For the distance from streams the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 50$ and $\beta = 450$ was utilized, while for watersheds the *Negative Exponential* membership function with $a = 2 * 10^7$ based on the watersheds' area was utilized.

Finally, the faults evaluation criterion was created using the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 100$ and $\beta = 500$, on the Euclidean distance from faults.

3.3.2 Environmental criterion

The environmental decision criterion aims at the protection of regions with significant ecological interest. This decision criterion consists of three evaluation criteria namely sensitive ecosystems, land cover and coastal areas. The Environmental decision criterion showing in figure 6 was evaluated using the WA method with relative importance weights shown in table 4.

The sensitive ecosystems evaluation criterion takes into account areas with significant ecological importance included in the European Biotopes Network (called NATURA 2000), wetlands and water reservoirs/dams and was created using the WP method with relative importance weights of 0.5396, 0.2970 and 0.1634 respectively. For the distance from NATURA 2000 zones subcriterion, the *Positive Exponential* membership function with $\alpha = 500$ was utilized; for the distance from wetlands subcriterion, the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 500$ and $\beta = 2000$ was utilized; for the distance from water reservoirs/dams subcriterion, the *Left Trapezoidal* membership function with $\alpha = 500$ and $\beta = 2000$ was utilized.

The land cover evaluation criterion is not based on legal restrictions and may vary according to the study region. The evaluation of the vegetation type's importance is based on the ecological uniqueness of the deforested vegetation and the spatial spread of these natural formations. The grading scheme for the land cover types is included in table 5.

Finally, the coastal areas evaluation criterion was created using the *Positive Exponential* membership function with $\alpha = 200$, on the calculated Euclidean distance from the coastline.

3.3.3 Social criterion

The social parameters considered were urban areas, cultural and historical areas, as well as visibility from certain locations. The Social decision criterion, shown in figure 7, can be evaluated using the WP method with the relative importance weights presented in table 6.

The urban areas evaluation criterion takes into consideration the urban/inhabited areas and the airport. It was evaluated using the WP method assuming that the two evaluation subcriteria are of

equal importance so that both have relative importance weight of 0.5. The urban areas subcriterion takes into account two parameters, the distance from urban/inhabited areas and their population and was evaluated using the WP method with relative importance weights of 0.8333 and 0.1667 respectively. For the distance from urban areas, the *Left S-shape* (S^+) membership function with $\alpha = 500$ and $\beta = 2000$ was utilized, while for the population the *Negative Exponential* membership function with $\alpha = 1000$, on the Euclidean allocation of urban areas based on the population values was utilized. The airport subcriterion was created using the *Left S-shape* (S^+) membership function with $\alpha = 3000$ and $\beta = 7000$, on the Euclidean distance from the airport.

The cultural areas evaluation criterion is important during the landfill siting process, due to the rich cultural background of Greece. The specific criterion protects the national cultural inheritance, which includes paleontological, archaeological and historical sites. According to Greek Governmental Ministry Decision 114218 (1997), it is forbidden to site a landfill in areas of archaeological and/or cultural interest. There are severe restrictions for any type of construction in close proximity of archaeological sites (Zone A), while under certain conditions constructions can take place in the wider area of an archaeological site. The grading scheme for the cultural areas evaluation criterion is shown in table 7.

Finally, the visibility evaluation criterion takes into consideration the visibility from urban areas and the visibility from roads. It was evaluated using the WA method with relative importance weights of 0.6667 and 0.3333 respectively. The visibility from urban areas subcriterion was evaluated using the WA method on the visiting frequency of the visible areas and the distance from urban areas, with relative importance weights of 0.5 and 0.5 respectively. For the visiting frequency of visible areas the membership function *Negative Exponential* with $\alpha = 15$ was utilized, while for the Euclidean distance from urban areas the *Linear Increasing* membership function was utilized. The visibility from roads subcriterion was evaluated using the WA method on the visiting frequency of the visible areas and the distance from roads, with relative importance weights of 0.5 and 0.5 respectively. For the visiting frequency of visible areas the membership function *Negative Exponential* with $\alpha = 15$ was utilized, while for the Euclidean distance from roads the *Linear Increasing* membership function was utilized.

3.3.4 Technical/Economic criterion

The technical/economic decision criterion includes parameters that affect landfill construction and operation. This decision criterion shown in figure 8 consists of weighted centre, morphology, wind orientation and land uses evaluation criteria and was created using the method of WA with the relative importance weights shown in table 8.

The weighted centre evaluation criterion takes into account 2 parameters, the distance of any point within the study region from the road network and the weighted centre of the road network. It was evaluated using the WA method, with relative importance weights of 0.25 and 0.75 respectively. The distance from the roads was calculated based on the Euclidean distance from all the segments of road network using the *Linear Decreasing* membership function. For the weighted centre of the road network the following algorithm was implemented:

- a) Find the best route from node i of the road network to the j MSW production centre.
- b) Calculate the product Length * Production (length is the route distance from node i to j MSW production centre, while production is the MSW daily production of the j production centre).
- c) Repeat steps a) and b) for all the MSW production centres.
- d) Calculate the weighted distance of node i , which is the summation of the product (Length * Production, units in $\text{tn}\cdot\text{km}\cdot\text{day}^{-1}$) for all the routes from node i to the production centres. Assign the summation to the node i .
- e) Repeat steps a) to d) for all the nodes of the road network.
- f) Assign the weighted distance value of each road network segment by calculating the average value of the corresponding nodes.

The weighted distance shows the more weighted centred parts of the road network which are those with the lesser value of weighted distance. The weighted centre evaluation subcriterion was evaluated using the *Negative Exponential* membership function with $\alpha = 300$, on the Euclidean allocation of road network based on the weighted distance.

Land morphology is a basic parameter for the construction of a landfill site. In the present work, land morphology was evaluated by the slope gradation which was expressed in degrees. The grading was based on the fact that the flatter is an area the better is suited for landfill construction, in spite of international practice stating that a landfill could be constructed in steepest areas using

appropriate techniques. The land morphology evaluation criterion was created using the *Right S-shape* (S) membership function with $a = 10$ and $\beta = 45$.

The wind orientation evaluation criterion is not based on any legal restrictions, but on the fact that a landfill site should not be ideally exposed to wind. The morphological aspect and the wind orientation frequency in Lemnos were accounted for during the development of the specific criterion. The morphological aspect was expressed in degrees based on the parcel's azimuth, while the wind frequency was expressed in percentage, as shown in the wind rose-diagram in figure 9. The grading scheme shown in table 9 was based on the fact that the less frequently exposed to the wind a parcel is the better is suited for landfill construction. Flat areas that are exposed to all wind directions were assigned the worst grade of 0.

Finally, the land uses evaluation criterion is not based on legal restrictions and may vary according to the study region. The land uses criterion differs from the land cover criterion in that it aims to protect "sensitive" areas including those of significant natural ecosystems and/or those under economic development that may be affected by the siting of an adjacent landfill. Pastures and phrygana areas were assigned the highest grade (included in the other land use categories), while urban areas and airports were assigned a grade of 0, since they were considered unsuitable for landfill siting. The grading scheme for the land uses evaluation criterion is included in table 10.

4. Results and discussion

The last step of the proposed methodology was the evaluation of land suitability for landfill siting. The land suitability was expressed by the suitability index which was computed after performing the WA method using equal importance for the decision criteria, so that the relative importance weight was 0.25 for all the criteria. The final result of the methodology presented herein, can be seen in figure 10. As shown in figure 10, land suitability increases as the suitability index increases. Areas with suitability index values ranging from 0 to 0.4 can be generally considered as unsuitable for landfill siting. Sites with grades ranging from 0.8 to 1 were expected to be best for landfill siting. In order to reveal the most suitable areas for landfill siting, a clustering process using two different approaches was performed.

Spatial statistics methods for autocorrelation were performed using the suitability index as a spatial random variable. For global autocorrelation, the indices Moran's I and Geary's C (Bonham-Carter, 1994) were utilized. For local autocorrelation, G-Statistics (Getis and Ord, 1992; Ord and Getis, 1995; 2001) and Local Indicators of Spatial Association (Anselin, 1995) were utilized. For the global autocorrelation, the Moran's I and Geary's C indices resulted in values of 0.9831 and 0.0198 respectively. The Moran's scatterplot, proposed by Anselin (1995) as a tool of exploratory spatial data analysis to identify local associations, in addition to the results of the statistical significance test proposed by Getis and Ord (1992) are shown in figure 11. As shown in figure 11, under the null hypothesis of no spatial association, the statistical test indicates that this hypothesis is rejected; therefore the suitability map is strongly spatial autocorrelated. The method of G-Statistics was selected as the more appropriate method for local autocorrelation, due to the intense discrimination of the autocorrelated areas between the highest and lowest values. According to Getis (1992) the areas with extremely high values of G-Statistics are strongly autocorrelated with high values of the suitability index. The G-Statistics map shown in figure 12 was calculated, using the spatial weights matrix of queen's neighbourhood case with one pixel neighbour. Then an assumption was made that the most suitable areas result from a quantile classification of the 10% of the highest values (strongly autocorrelation of high suitability index values).

In addition, the clustering method of Fuzzy C-Means (Bezdek, 1981) was utilized in order to cluster the suitability index values in a fuzzy space. The Fuzzy C-Means is a fuzzy multivariate clustering method which has been utilized in a wide variety of applications such as pattern recognition, classification and environmental modelling. In the present work the Fuzzy C-Means method was performed in order to classify the suitability index values into 10 clusters and the result of the method can be seen in figure 13. The areas belonging in the first cluster with centroid's value of 0.8313 were assumed to be the most suitable.

In figure 10 the areas characterized as most suitable areas for landfill siting have resulted from the spatial intersection of the strongly autocorrelated areas with high suitability index values resulting from the G-Statistics method and the areas belonging in the first cluster resulted from the Fuzzy C-Means method. The spatial intersection reveals 58 discrete areas with suitability index ranging from 0.8049 to 0.9005. The final suitable areas have resulted from the application of the

minimum space criterion; at least 76000 m² are required for landfill establishment. Using the minimum space criterion, 27 discrete areas -approximately 10.2% of the island- were revealed as final suitable areas.

Finally, a sensitivity analysis process was performed, using 4 different sets of relative importance weights for the decision criteria, as shown in table 11. Each one of the weights set assumes that one decision criterion is more important than the others while the remaining criteria are of equal importance. The weights set 1 was utilized in the present work resulting in the suitability map shown in figure 10. The results are very interesting and show that there is strong correlation between the results of the weights set that has been used in the present work and the results from the application of the other weights sets. Table 12 shows the correlation coefficients of the final suitability index values and of the cluster centroids resulting from the Fuzzy C-Means algorithm, for all the weights sets combinations. The results of sensitivity analysis indicate that the presented methodology is not sensitive to slightly or moderate changes of the final decision criteria weighting schema.

5. Summary and conclusions

The methodology described in the present paper is a very efficient approach for a landfill siting process. The methodology combines the evaluation abilities of MCA methods and the analytical tools of GIS. The MCA methods were utilized to form the siting problem in a decision structure of five hierarchies. The AHP method was utilized to extract the relative importance weights of the criteria in each hierarchical level of the decision structure. Finally, a combinational application of the WA and WP methods was utilized to calculate the suitability index, in order to resolve the siting problem. GIS was utilized in the spatial determination of the evaluation criteria and the final creation of the land suitability map. In addition, GIS was utilized to perform spatial statistics and spatial clustering processes in order to reveal the most suitable areas to site a landfill.

The evaluation criteria utilized were developed according to Greek and EU legislation. However the presented GIS-aided siting methodology is flexible as far as the criteria determination is concerned. Thus it is quite easy to expand the methodology by taking into account other parameters and by changing the relative importance and/or the grading values of the evaluation

criteria. The results from sensitivity analysis showed that the presented methodology was not sensitive in slightly or moderate changes of the relative importance weights; this is due to the hierarchical structure formed for this specific multiple criteria problem.

The Spatial Decision Support System (SDSS), developed in order to resolve the multiple criteria problem of where to site a landfill, is a very efficient tool; however it needs integration. The SDSS is expected to serve the decision makers in any siting problem of locally unacceptable land uses (LULU's). Several updates could be performed in the methodology such as the combined application of various multiple criteria methods, like TOPSIS (Yoon and Hwang, 1995) and Compromise Programming (Zeleny, 1982). Fuzzy Sets Theory (Zadeh, 1965) can be further developed for the spatial determination of the criteria. Finally, it must be noted that the presented methodology is merely a tool to aid the decision makers; it is not the decision itself. The final decision on where to site a landfill is as much a political decision as a scientific one, strongly depending on public opposition.

References

- Alexiou E., Kontos Th. and Halvadakis C., 2005. Risk assessment of MSW Landfill with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology. *IASME Transactions*, 3(2), 464-469.
- Allen A., Brito G., Caetano P., Costa C., Cummins V., Donnelly J., Fernades C., Koukoulas S., O'Donnell V., Robalo C. and Vendas D., 2002. Procedure for the Location of Landfill Sites using a GIS Model. 9th Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, Durban, South Africa, 100.
- Anselin L., 1995. Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.
- Bagchi A., 1990. Design, Construction and Monitoring of Sanitary Landfill. Wiley: New York.
- Balis M., Mandilas Ch., Kontos Th., Akriotis D., and Halvadakis C.P., 1998. Investigation of Suitable Areas for the Construction of Sanitary Landfill in Lemnos Island. Technical Report, Part I, University of the Aegean, Department of Environment, Waste Management Laboratory / Region of the North Aegean, Mytilene, Lesbos, Greece (in Greek).
- Banai R., 1993. Fuzziness in Geographic Information Systems: Contributions from the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7, 315-329.
- Basnet B., Apan A. and Raine S., 2001. Selecting Suitable Sites for Animal Waste Application Using a Raster GIS. *Environmental Management*, 28(4), 519-531.
- Bezdek J.C., 1981. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press: NY.
- Bonham-Carter G.F., 1994. Geographic Information Systems for Geoscientists. Pergamon (Elsevier Science Ltd.): USA.
- Briassoulis H. and Installe M., 1996. An Integrated, Multistage, Multicriteria Methodology for Siting Hazardous Waste Management Facilities: Theoretical Framework and Illustrative Application. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 23(3), 155-172.
- Charnpratheep K., Zhou Q. and Gamer B., 1997. Preliminary Landfill Site Screening using Fuzzy Geographical Information Systems. *Waste Management and Research*, 15, 197-215.
- Dorhofer G. and Siebert H., 1998. The Search for Landfill Sites - Requirements and Implementation in Lower Saxony, Germany. *Environmental Geology*, 35(1), 55-65.

- Ehler G., Cowen D. and Mackey H., 1995. Design and Implementation of a Spatial Decision Support System for Site Selection. Proceedings of ESRI International User Conference, Palm Springs, CA, 100.
- European Council Directive 1999/31/EC, 1999. Document L 182, Sanitary Landfilling of Solid Wastes.
- Frantzis I., 1993. Methodology for Municipal Landfill Sites Selection. Waste Management and Research. 11, 441-451.
- Getis A. and Ord J.K., 1992. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. Geographical Analysis, 24(3), 189-206.
- Greek Governmental Ministry Decision 114218, Document 1016 B'/17-11-97, 1997. Framework of Specifications and General Planning for the Management of Solid Wastes (in Greek).
- Greek Ministry Decision 26297, Document 1473 B'/9-10-03, 2003. Approval of Regional Framework of Physical Planning and Sustainable Development of the North Aegean Region (in Greek).
- Halvadakis C.P., 1993. Municipal Solid Waste Landfill Siting in Greece - The Case of the Greater Hania Region, Greece. Ekistics, 358-359, 45-52.
- Herzog M., 1999. Suitability Analysis Decision Support System for Landfill Siting (and other purposes). Proceedings of the ESRI International User Conference, San Diego, CA.
- Jiang H. and Eastman J.R., 2000. Application of Fuzzy Measures in Multicriteria Evaluation in GIS. International Journal of Geographical Information Systems, 14(2), 173-184.
- Kallergis G., 2001. Applied Hydrogeology. Technical Chamber of Greece, Athens, Greece, 2nd Edition, Vol. 2 (in Greek).
- Kao J.J. and Lin H.Y., 1996. Multifactor Spatial Analysis for Landfill Siting. Journal of Environmental Engineering, 122(10), 902-908.
- Kao J.J., Lin H.Y. and Chen W.Y., 1997. Network Geographic Information System for Landfill Siting. Waste Management and Research, 15, 239-253.
- Karkazi A., Hatzichristos T., Mavropoulos A., Emmanouilidou B., Elseoud A., 2001. Landfill Siting using GIS and Fuzzy Logic. 8th International Landfill Symposium, Sardinia, Italy.

- Kontos Th.D., Komilis D.P. and Halvadakis C.P., 2003. Siting MSW Landfills in Lesvos Island with a GIS-based methodology. *Waste Management and Research*, 21(3), 262-277.
- Kontos Th.D., Komilis D.P. and Halvadakis C.P., 2005. Siting MSW Landfills with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology. *Waste Management*, 25, 818-832.
- Lin H. and Kao J., 1998. Enhanced Spatial Model for Landfill Siting Analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 125(9), 845-851.
- Lukashev A.F., Droste R.L. and Warith M.A., 2001. Review of Expert System (ES), Geographical Information System (GIS), Decision Support System (DSS) and their Application in Landfill Design and Management. *Waste Management and Research*, 19, 177-185.
- McBean E., Rovers F. and Farquhar G., 1995. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice Hall PTR (Englewood Cliffs): New Jersey.
- McBratney A. and Odeh I., 1997. Application of Fuzzy Sets in Soil Science: Fuzzy Logic, Fuzzy Measurements and Fuzzy Decisions. *Geoderma*, 77, 85-113.
- Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2005. Promotion of Restoration Works in Uncontrolled Waste Disposition Sites. Final Report of Working Group, Athens, Greece (in Greek).
- Ministry of National Economy, 2000. Report for the Current Solid Waste Management in Greece, Athens, Greece (in Greek)..
- Minor D. and Jacobs T., 1994. Optimal Land Allocation for Solid and Hazardous Waste Landfill Siting. *Journal of Environmental Engineering*, 120(5), 1095-1108.
- Noble G., 1992. *Siting Landfills and Other LULU's*. Technomic Publishing Co: Lancaster.
- Ord J.K. and Getis A., 1995. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, 27(4), 286-306.
- Ord J.K. and Getis A., 2001. Testing for Local Spatial Autocorrelation in the Presence of Global Autocorrelation. *Journal of Regional Science*, 41(3), 411-432.
- Robinson V., 2003. A Perspective on the Fundamentals of Fuzzy Sets and their Use in Geographic Information Systems. *Transactions in GIS*, 7(1), 3-30.
- Saaty T., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.

- Saaty T. and Millet I., 2000. On the Relativity of Relative Measures - Accommodating Both Rank Preservation and Rank Reversals in the AHP. *European Journal of Operational Research*, 121, 205-212.
- Siddiqui M., Everett J. and Vieux B., 1996. Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration. *Journal of Environmental Engineering*, 122(6), 515-523.
- Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S.A., 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill: New York.
- Vasiloglou V., 2004. New Tool for Landfill Location. *Waste Management and Research*, 22, 427-439.
- Vatalis K. and Manoliadis O., 2002. A two-level DSS for Landfill Site Selection Using GIS: Case Study in Western Macedonia, Greece. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 6(1), 49-56.
- Yagoub M. and Buyong T., 1998. GIS Applications for Dumping Site Selection. *Proceedings of the ESRI International User Conference*, San Diego, CA, 107.
- Yoon K. and Hwang C.L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Sage Publications Inc.: London.
- Zeleny M., 1982. *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill: New York.
- Zadeh L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.

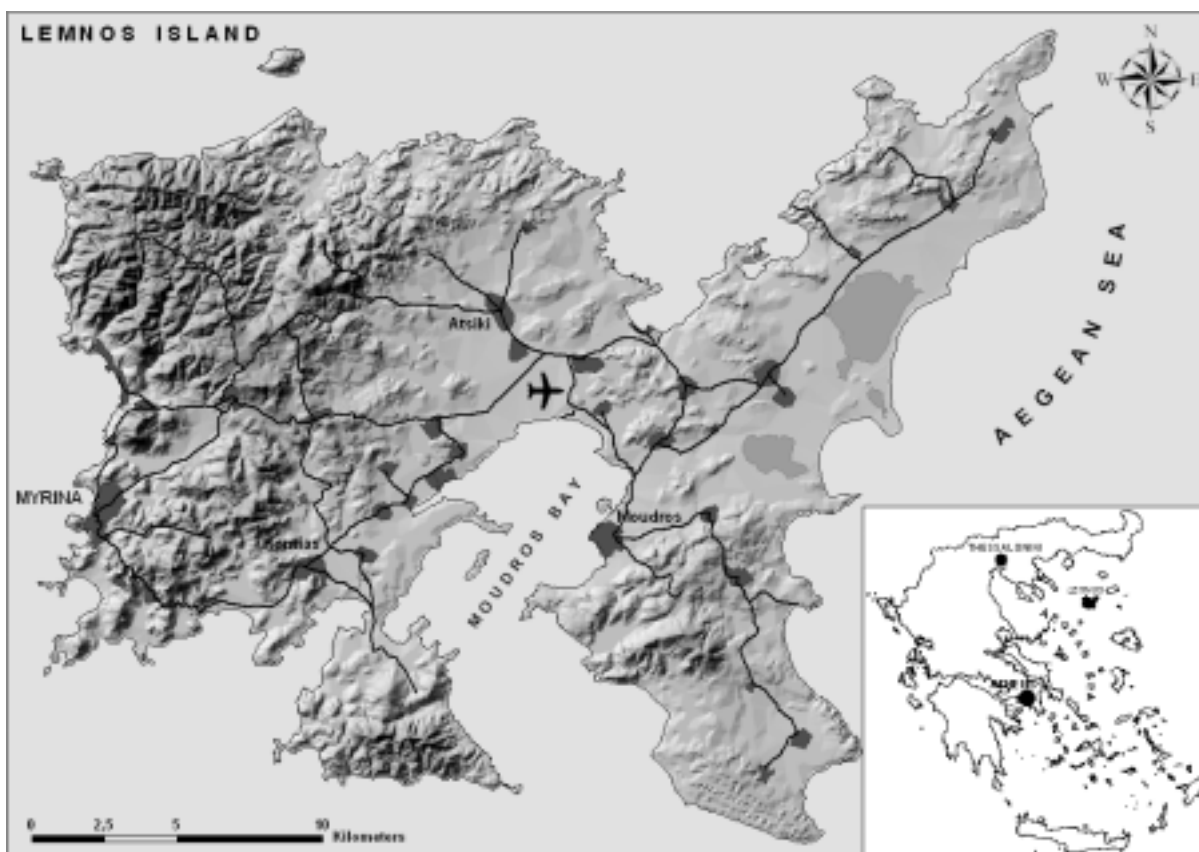


Figure 1: Lemnos Island

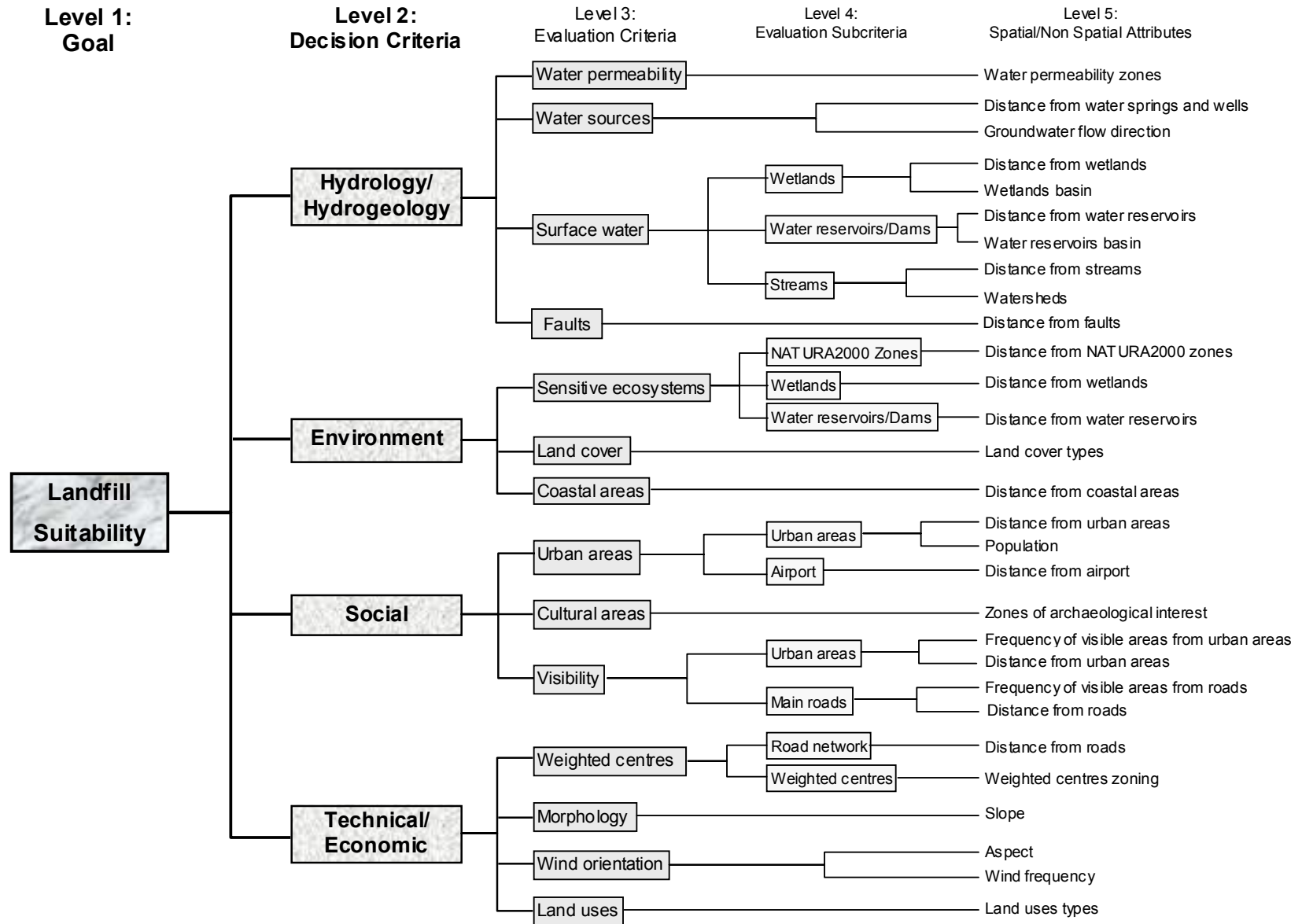


Figure 2: Hierarchical Structure of the Decision Problem

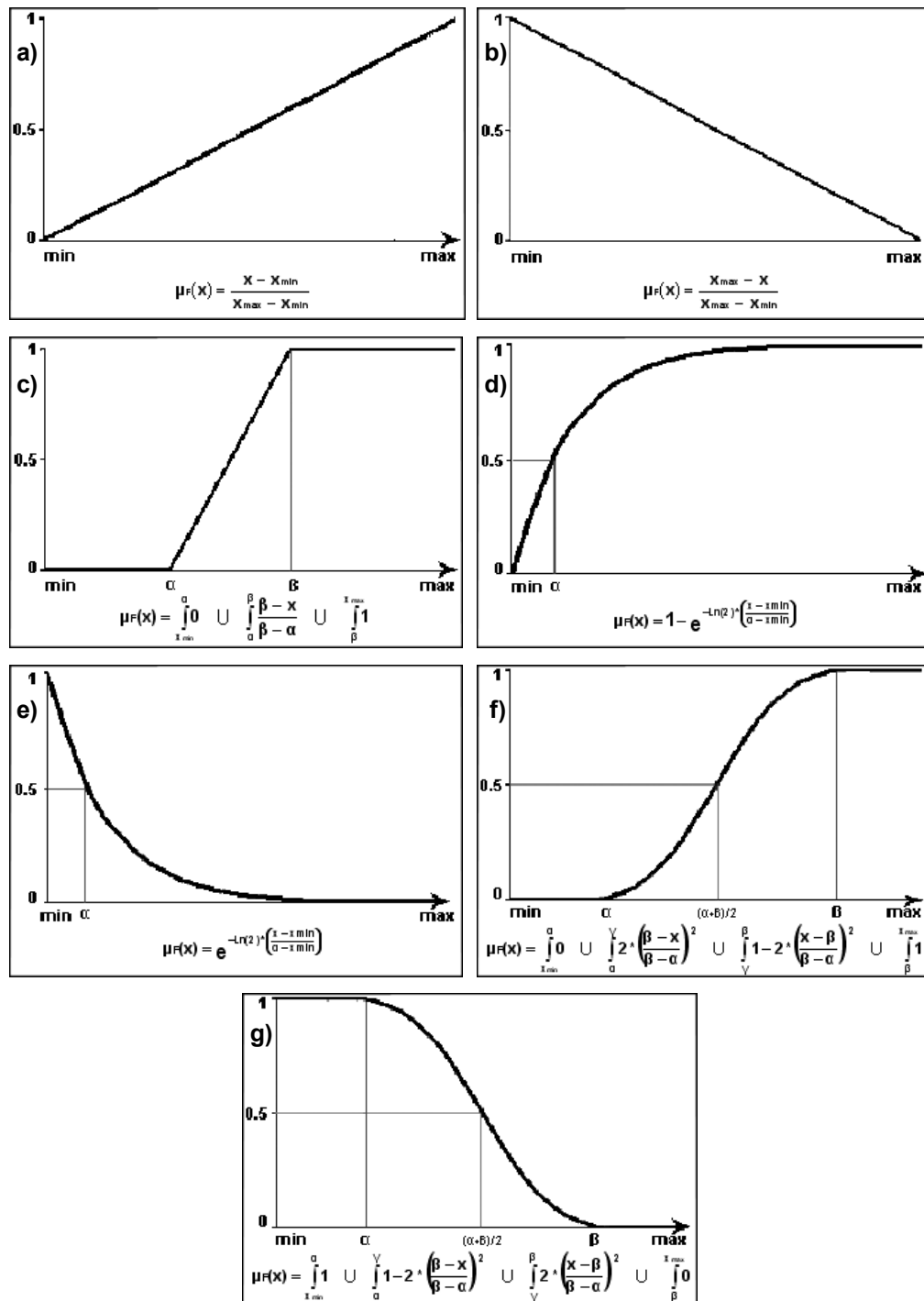


Figure 3: Fuzzy membership functions utilized in the siting methodology: a) Linear Increasing, b) Linear Decreasing, c) Left Trapezoidal, d) Positive Exponential, e) Negative Exponential, f) Left Shoulder S-shape (S^+) and g) Right Shoulder S-shape (S^-)

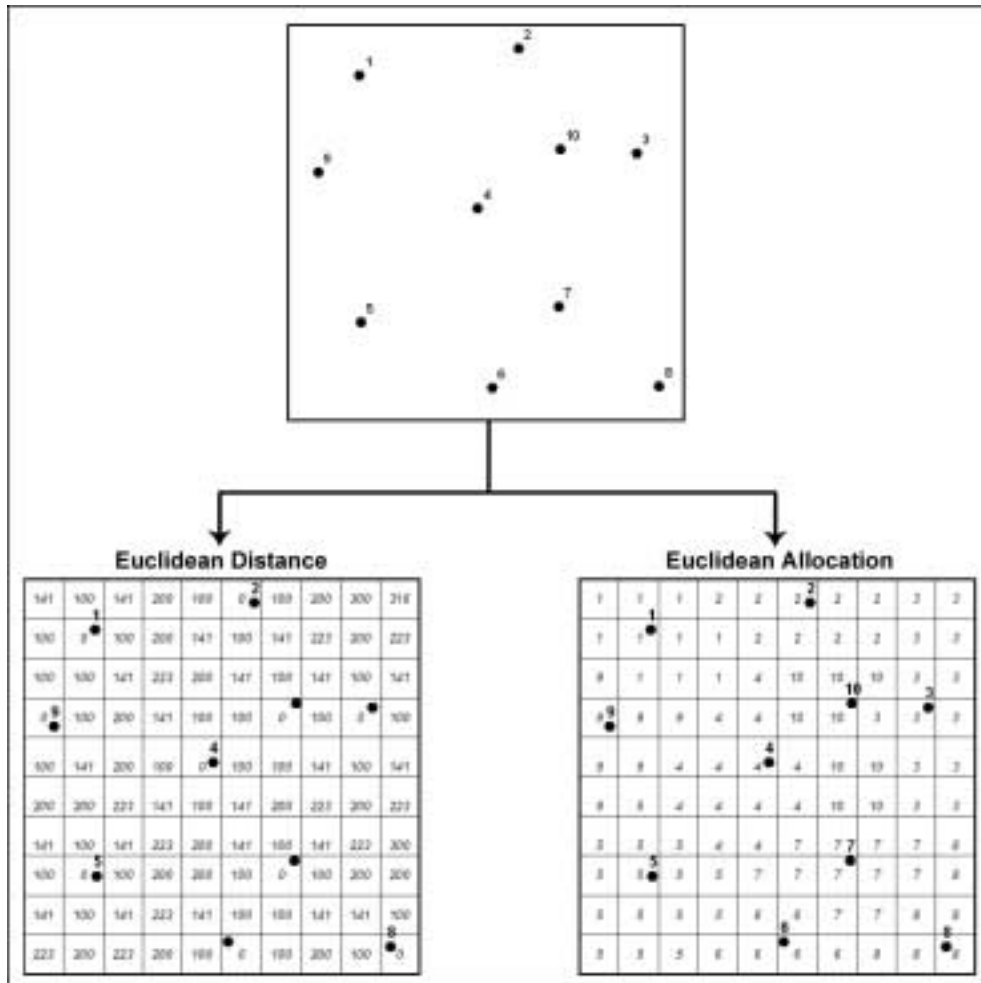


Figure 4: Spatial Processes, Euclidean Distance and Euclidean Allocation

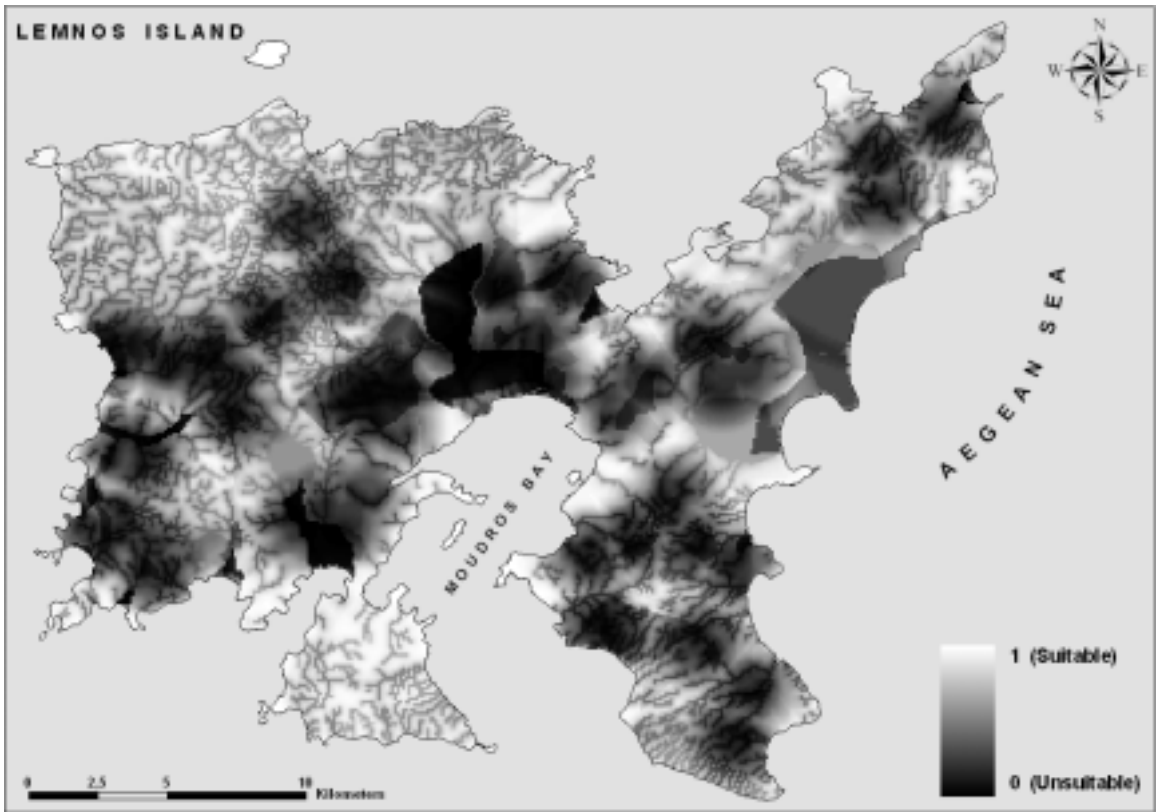


Figure 5: Hydrological/Hydrogeological Decision Criterion

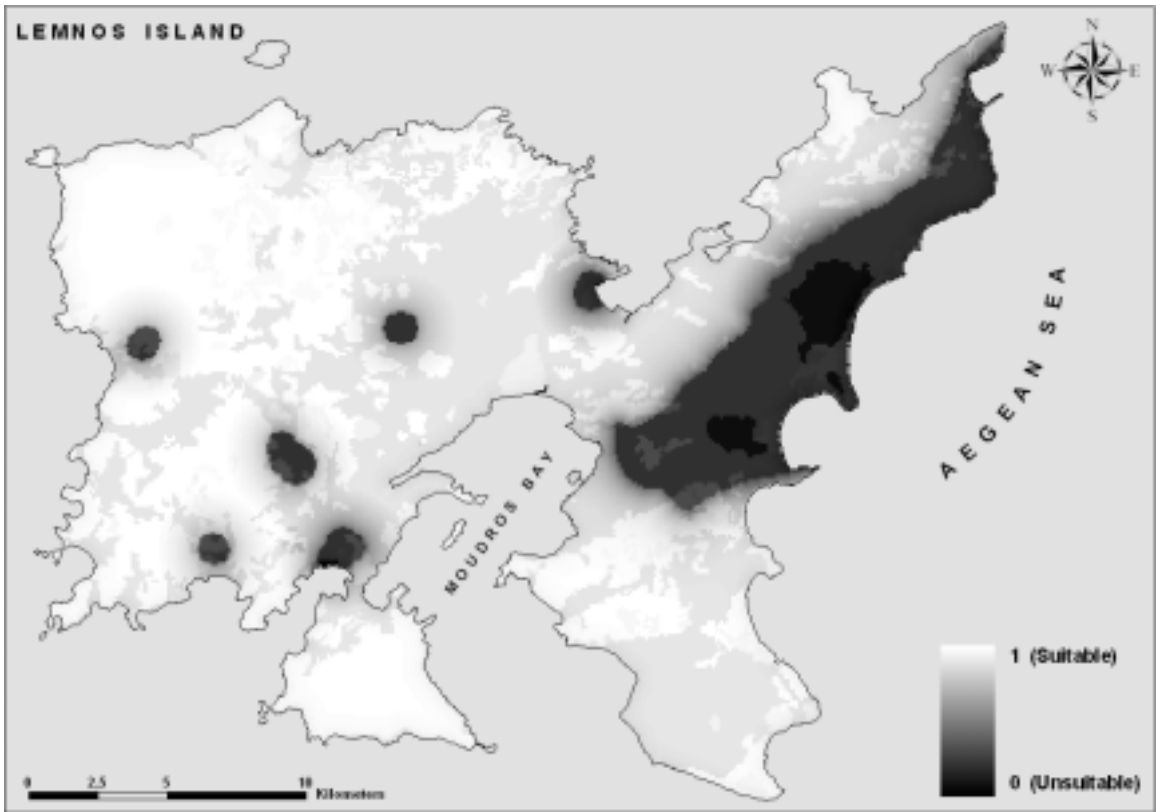


Figure 6: Environmental Decision Criterion

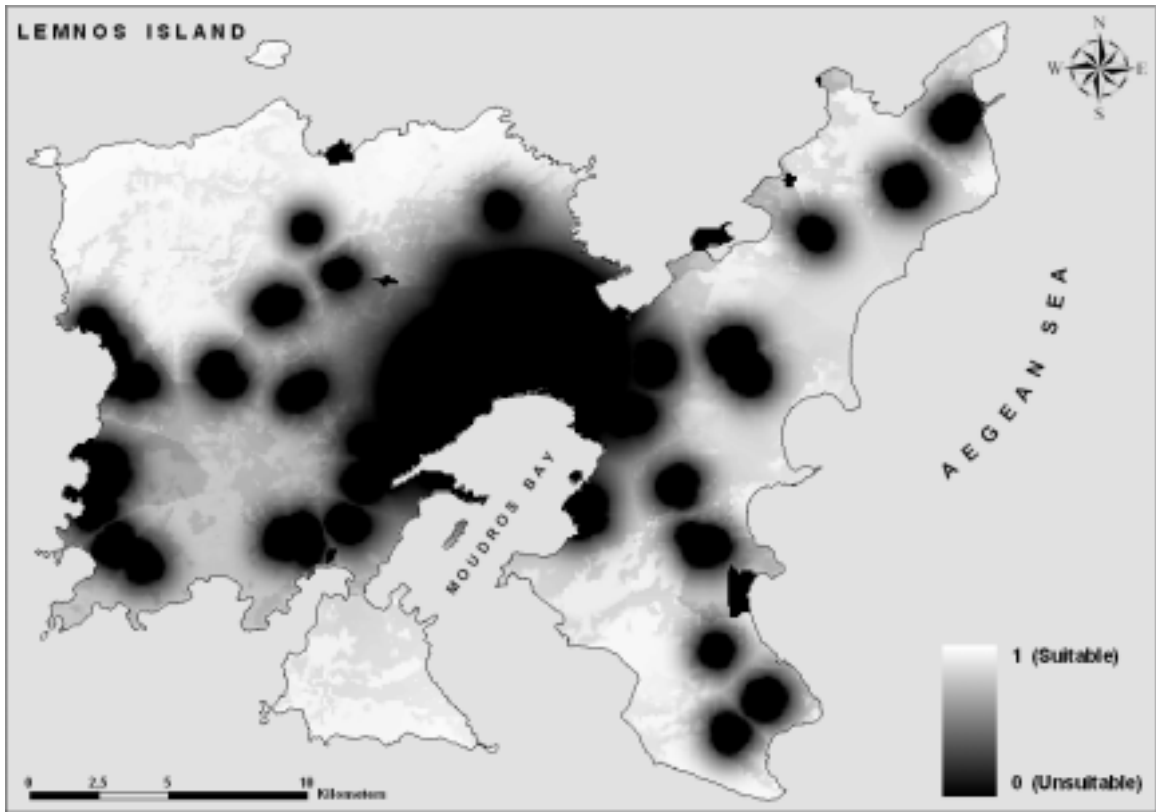


Figure 7: Social Decision Criterion

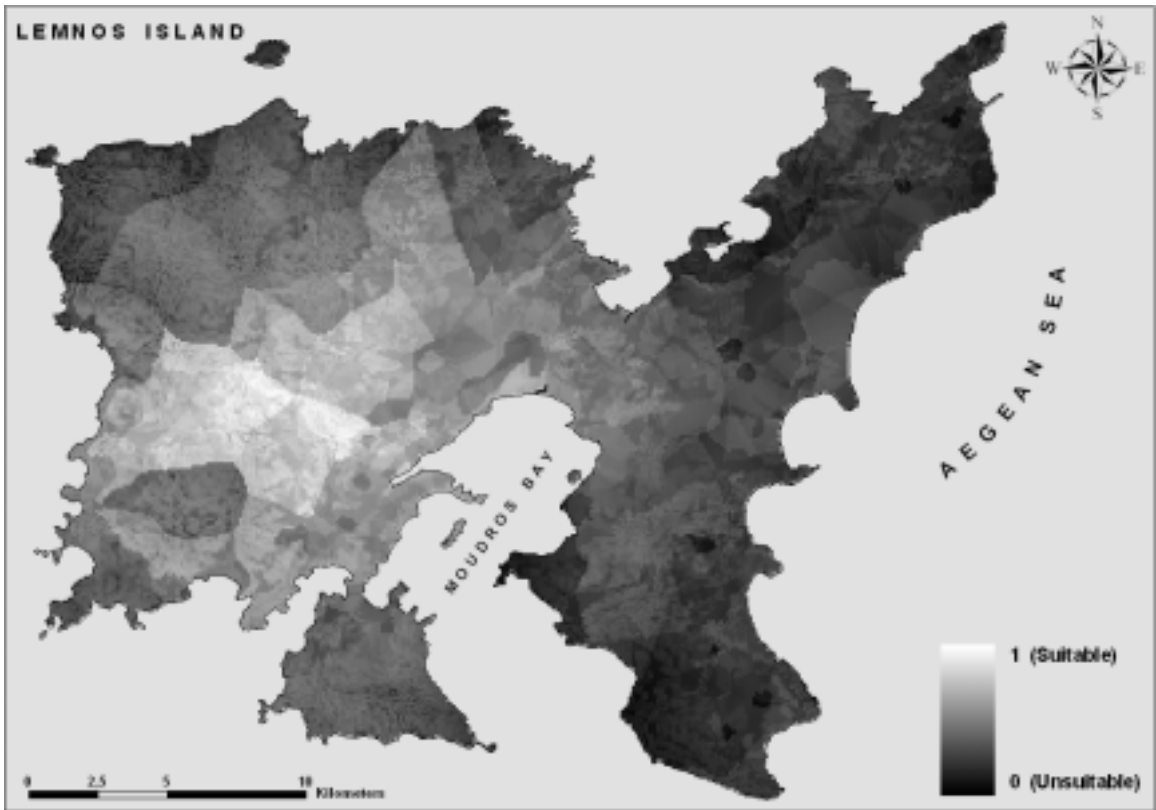


Figure 8: Technical/Economic Decision Criterion

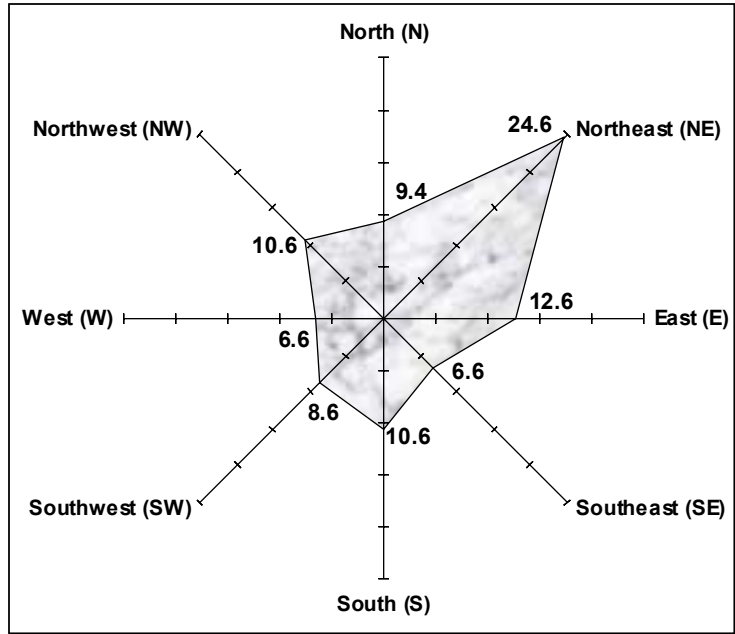


Figure 9: Wind rose-diagram (based on meteorological records of National Meteorological Agency, 1998)

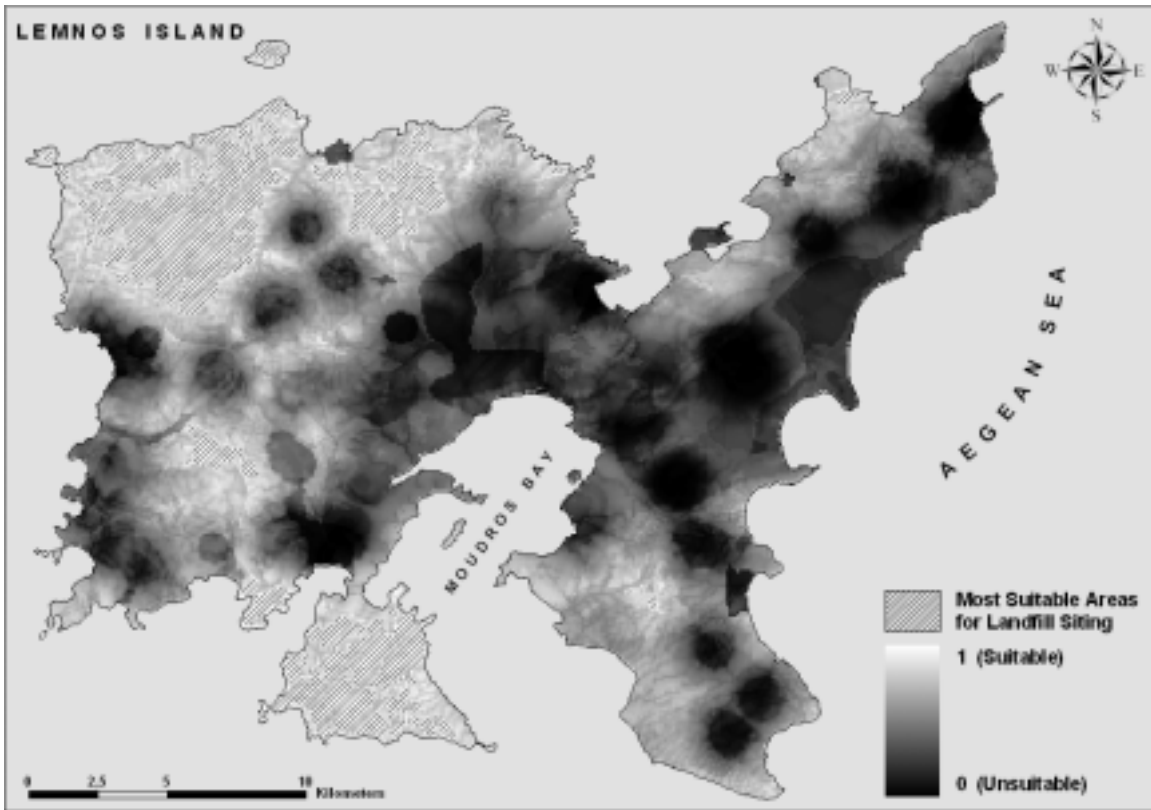


Figure 10: Land Suitability for Landfill Siting

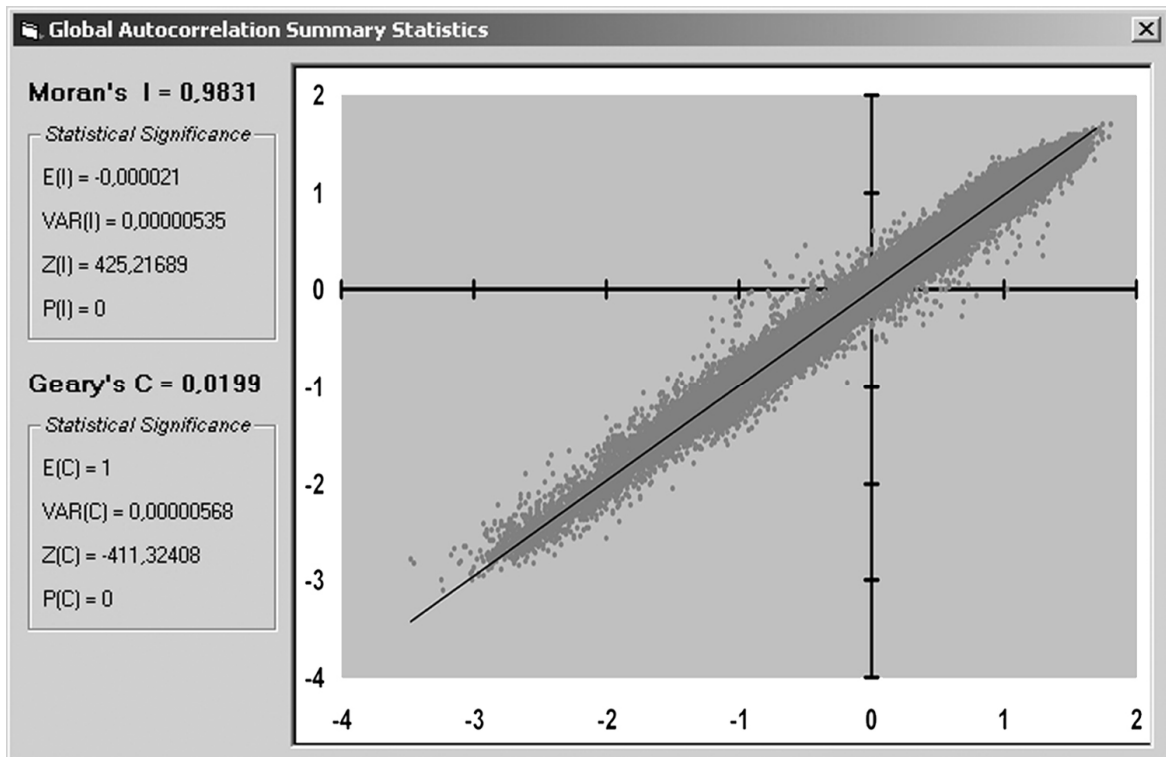


Figure 11: Moran's scatterplot and statistical significance test

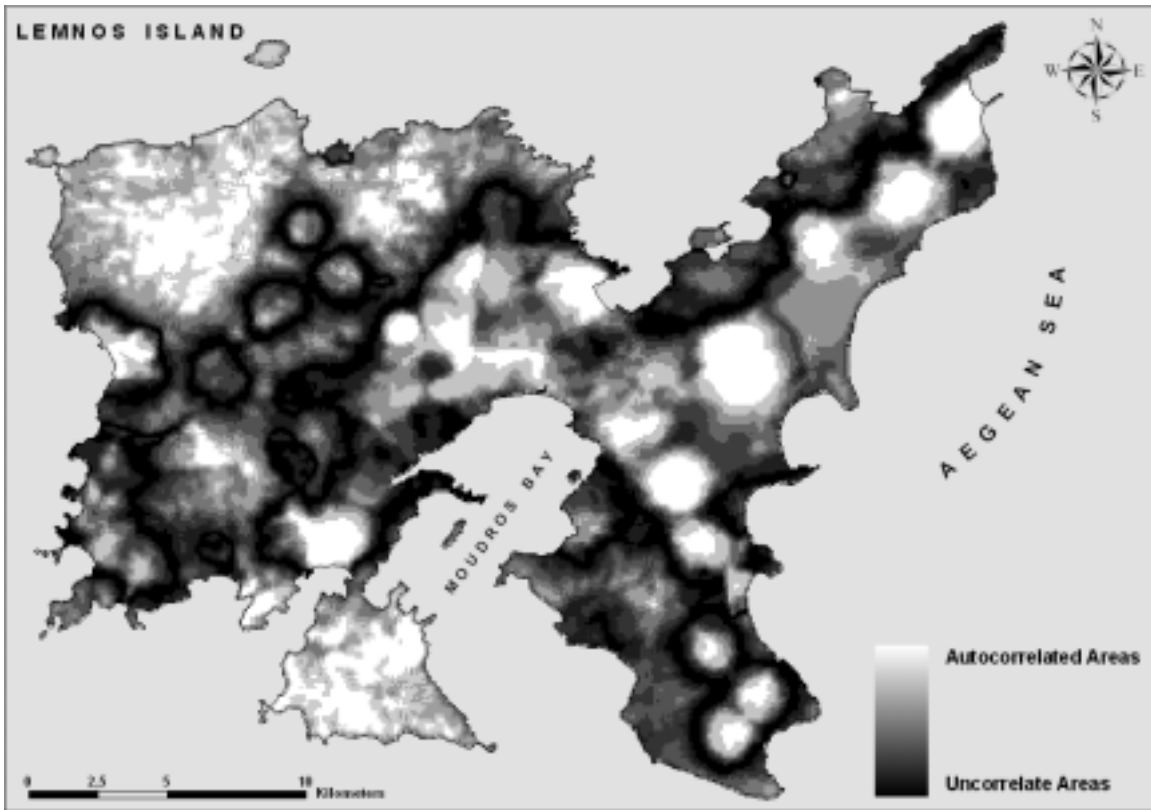


Figure 12: G-Statistics Local Autocorrelation Map

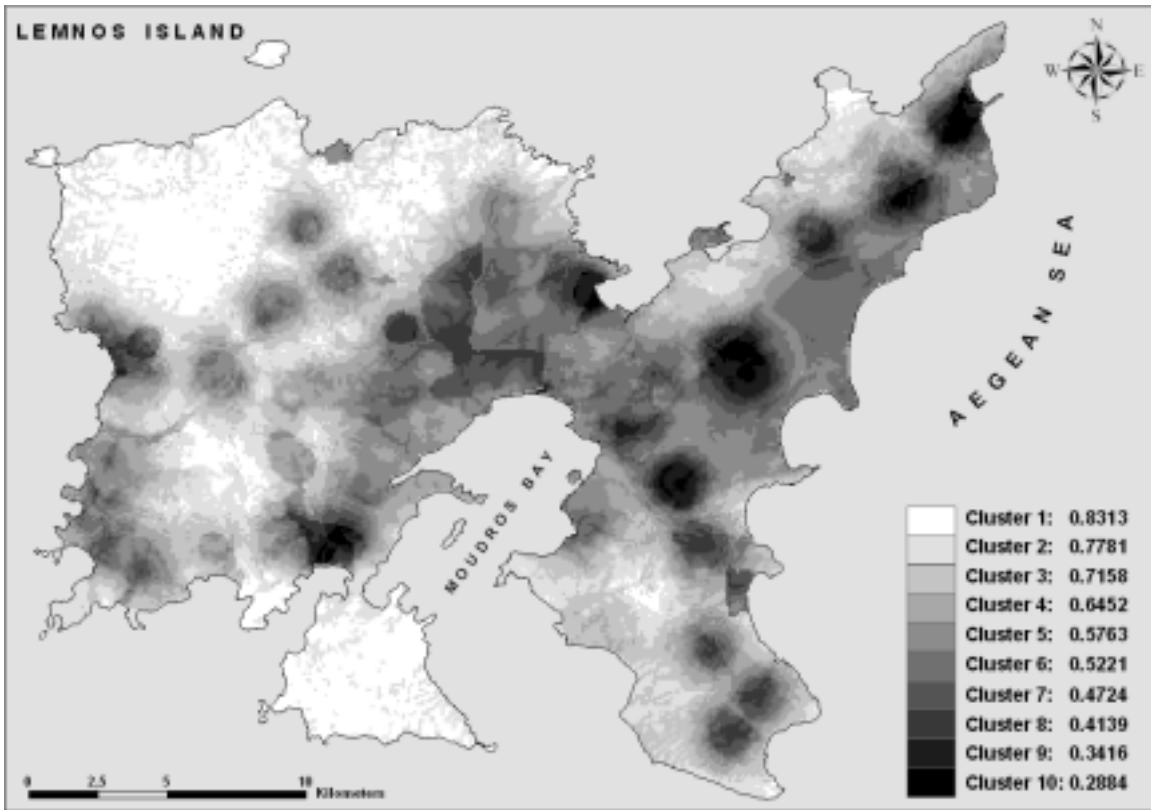


Figure 13: Suitability Index Clusters by using Fuzzy C-Means

Table 1: Scale of relative importance as used in the AHP process

| Intensity Importance | Definition | Explanation |
|------------------------------|---|--|
| 1 | Equal importance | Two activities contribute equally to the objective |
| 3 | Weak importance of one over another | Experience and judgement slightly favour one activity over another |
| 5 | Essential or strong importance | Experience and judgement strongly favour one activity over another |
| 7 | Demonstrated importance | An activity is strongly favoured and its dominance demonstrated in practice |
| 9 | Absolute importance | The evidence favouring one activity over another is of the highest possible order of affirmation |
| 2, 4, 6, 8 | Intermediate values between the two adjacent judgements | When compromise is needed |
| Reciprocals of above nonzero | If activity i has one of the above nonzero numbers assigned to it when compared to activity j, then j has the reciprocal value when compared to i | |

Table 2: PCM and Relative Importance Weights of Hydrology/Hydrogeology Evaluation Criteria

| Criterion | 1 | 2 | 3 | 4 | Weight |
|------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 1 | 1 | 2 | 7 | 0.3735 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 7 | 0.3735 |
| 3 | 1/2 | 1/2 | 1 | 5 | 0.2042 |
| 4 | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1 | 0.0488 |

$\lambda_{\max} = 4.0159$, $CI = 0.0053$, $RI_4 = 0.9$ and $CR = 0.0059$

The numbers at the evaluation criteria are: **(1)** Water Permeability, **(2)** Water Sources, **(3)** Surface Water and **(4)** Faults

Table 3: Grading Values of the Water Permeability Evaluation Criterion

| Hydrogeological Zone | Grading Value |
|---|----------------------|
| Low Permeability - Practically Water Impermeable Strata ($k \leq 10^{-7} \text{ m/sec}$) | 1 |
| Low to Medium Permeability Strata ($10^{-7} < k < 10^{-5} \text{ m/sec}$) | 0.7 |
| Brine Water Areas | 0.5 |
| High Permeability Strata ($k \geq 10^{-5} \text{ m/sec}$) | 0 |

Table 4: PCM and Relative Importance Weights of Environmental Evaluation Criteria

| Criterion | 1 | 2 | 3 | Weight |
|------------------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 1 | 4 | 9 | 0.7085 |
| 2 | 1/4 | 1 | 5 | 0.2311 |
| 3 | 1/9 | 1/5 | 1 | 0.0603 |

$\lambda_{\max} = 3.0713$, $CI = 0.0356$, $RI_3 = 0.58$ and $CR = 0.0614$

The numbers at the evaluation criteria are: **(1)** Sensitive Ecosystems, **(2)** Land Cover and **(3)** Coastal Areas

Table 5: Grading Values of the Land Cover Evaluation Criterion

| Land Cover Type | Grading |
|--|----------------|
| Pastures (<i>Sacropoterium spinosum</i>) | 1 |
| Non-cultivated land | 0.9 |
| Other land cover types | 0.8 |
| Rocky terrain | 0.7 |
| Cultivated land | 0.6 |
| Deciduous maquis (<i>Quercion ilicis, Oleo ceratonion</i>) | 0.5 |
| Coniferous forest (<i>Pinus brutia</i>) | 0.3 |
| Wetlands | 0 |

Table 6: PCM and Relative Importance Weights of Social Evaluation Criteria

| Criterion | 1 | 2 | 3 | Weight |
|------------------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 1 | 3 | 7 | 0.6491 |
| 2 | 1/3 | 1 | 5 | 0.2790 |
| 3 | 1/7 | 1/5 | 1 | 0.0719 |

$\lambda_{\max} = 3.0649$, $CI = 0.0324$, $RI_3 = 0.58$ and $CR = 0.0559$

The numbers at the evaluation criteria are: **(1)** Urban Areas, **(2)** Cultural Areas and **(3)** Visibility

Table 7: Grading Values of the Cultural Areas Evaluation Criterion

| Archaeological Areas | Grading Value |
|--|----------------------|
| Outside boundaries of any archaeological areas | 1 |
| Inside boundaries of an archaeological area | 0.5 |
| Inside Zone A of an archaeological area | 0 |

Table 8: PCM and Relative Importance Weights of Technical/Economic Evaluation Criteria

| Criterion | 1 | 2 | 3 | 4 | Weight |
|------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 1 | 5 | 7 | 5 | 0.6323 |
| 2 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 0.1530 |
| 3 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1/3 | 0.0617 |
| 4 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 0.1530 |

$\lambda_{\max} = 4.0732$, $CI = 0.0244$, $RI_3 = 0.9$ and $CR = 0.0271$

The numbers at the evaluation criteria are: **(1)** Weighted Centres, **(2)** Morphology, **(3)** Wind Orientation and **(4)** Land Uses

Table 9: Grading Values of the Wind Orientation Evaluation Criterion

| Site orientation (Azimuth) | Grading Value |
|--|----------------------|
| Southeast (SE, 112.5° - 157.5°) | 0.9 |
| West (W, 247.5° - 292.5°) | 0.9 |
| Southwest (SW, 202.5° - 247.5°) | 0.8 |
| North (N, 0° - 22.5° and 337.5° - 360°) | 0.6 |
| South (S, 157.5° - 202.5°) | 0.5 |
| Northwest (NW, 292.5° - 337.5°) | 0.5 |
| East (E, 67.5° - 112.5°) | 0.4 |
| Northeast (NE, 22.5° - 67.5°) | 0.1 |
| Exposed to wind from anywhere (Flat areas) | 0 |

Table 10: Grading Values of the Land Uses
Evaluation Criterion

| Land Use Type | Grading Value |
|-----------------------|----------------------|
| Other Land Uses | 1 |
| Manufacturing Zones | 0.7 |
| Areas in a Plain | 0.6 |
| Agricultural Land | 0.6 |
| Irrigation Areas | 0.4 |
| Tourist Areas | 0.2 |
| Urban Areas - Airport | 0 |

Table 11: Relative Importance Weights of the Decision Criteria

| Criteria | Weight Set 1 | Weight Set 2 | Weight Set 3 | Weight Set 4 | Weight Set 5 |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Hydrology/ Hydrogeology | 0.25 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Environmental | 0.25 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 |
| Social | 0.25 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 |
| Technical/ Economic | 0.25 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |

Table 12: Correlation Coefficients of the Weights Sets for Suitability Index (above the diagonal) and Clusters Centroids (below the diagonal)

| | Weight Set 1 | Weight Set 2 | Weight Set 3 | Weight Set 4 | Weight Set 5 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Weight Set 1 | 1 | 0.97953 | 0.95622 | 0.95996 | 0.97294 |
| Weight Set 2 | 0.96487 | 1 | 0.90843 | 0.94284 | 0.93808 |
| Weight Set 3 | 0.94067 | 0.89333 | 1 | 0.85446 | 0.94838 |
| Weight Set 4 | 0.94762 | 0.92960 | 0.84387 | 1 | 0.89483 |
| Weight Set 5 | 0.95815 | 0.92366 | 0.93426 | 0.88117 | 1 |