

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/324017862>

# ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΧΩΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΧΥΤΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΗΜΝΟΥ

Conference Paper · January 2004

CITATIONS

0

READS

81

3 authors, including:



**Nikolaos Soulakellis**

University of the Aegean

98 PUBLICATIONS 1,075 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



NEW SCHOOL MAPS OF GREECE [View project](#)



LESVOS EARTHQUAKE DAMAGE ASSESSMENT [View project](#)

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΧΩΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΧΥΤΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΗΜΝΟΥ

ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ ΚΟΝΤΟΣ<sup>1</sup>, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΑΛΒΑΔΑΚΗΣ<sup>2</sup>, ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΟΥΛΑΚΕΛΗΣ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Υποψήφιος Διδάκτορας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, [thkon@env.aegean.gr](mailto:thkon@env.aegean.gr)

<sup>2</sup>Καθηγητής, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, [khalv@aegean.gr](mailto:khalv@aegean.gr)

<sup>3</sup>Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, [nsoul@aegean.gr](mailto:nsoul@aegean.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται ένα ολοκληρωμένο Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΧΣΥΑ), που έχει δημιουργηθεί για την υποστήριξη της λήψης απόφασης που αφορά τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Η περίπτωση που εφαρμόζεται το συγκεκριμένο ΧΣΥΑ, είναι η αξιολόγηση της νήσου Λήμνου για τη χωροθέτηση ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα κύρια μεθοδολογικά και αναλυτική εργαλεία που αποτελούν το συγκεκριμένο ΧΣΥΑ. Με τη βοήθεια της πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορούμε να αναλύσουμε το πολυπαραμετρικό πρόβλημα της χωροθέτησης μιας δραστηριότητας σε επιμέρους απλούστερες συνιστώσες. Επίσης, χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορούμε να υπολογίσουμε έναν δείκτη καταλληλότητας ώστε να αξιολογήσουμε την υπό μελέτη περιοχή για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ. Τέλος, χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους χωρικής στατιστικής και ανάλυσης μπορούμε να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του ΧΣΥΑ. Από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην νήσο Λήμνο, προκύπτει ότι το 10.2% επί του συνόλου της νήσου θεωρείται ως κατάλληλο για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ.

### ABSTRACT

The present work describes an integrated Spatial Decision Support System (SDSS), which has been created in order to support the decision making for the siting of Locally Unacceptable Land Uses (LULUs). The SDSS is applied for the case study of landfill siting in Lemnos Island. In this work, the main methodological and analytic tools of the SDSS are presented. With the aid of multiple criteria analysis, the complex multiparametric problem of landfill siting is decomposed in simplified components. In addition, utilizing several multiple criteria methods a suitability index of the study area is calculated, in order to perform land evaluation for landfill siting. Finally, using methods of spatial statistics and analysis, the results from the application of the SDSS are validated. The implementation of the proposed methodology for Lemnos Island resulted that the 10.2% of the whole island, is suitable to site a landfill.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), Χωρικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΧΣΥΑ), Χωροθέτηση ΧΥΤΑ, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Ασαφή Σύνολα

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS), Spatial Decision Support Systems (SDSS), Landfill Siting, Multiple Criteria Analysis, Fuzzy Sets

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

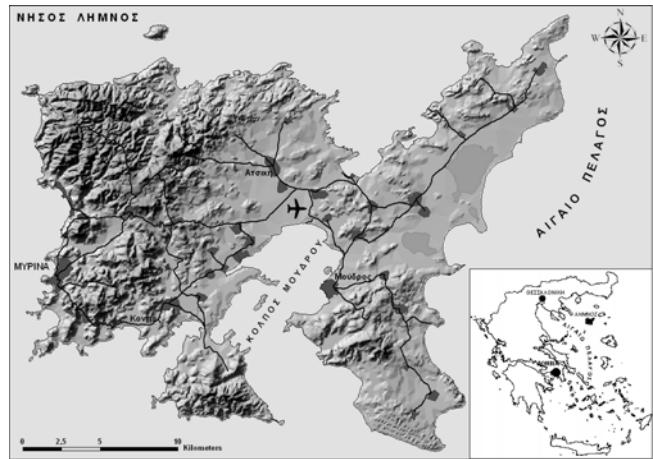
Η διαδικασία της χωροθέτησης ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στη δημόσια υγεία, το περιβάλλον και την οικονομική βιωσιμότητα της δραστηριότητας (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφορες τεχνικές χωροθέτησης που έχουν κύριο σκοπό την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ (Halvadakis, 1993; Kontos *et al.*, 2003). Οι συγκεκριμένες τεχνικές χαρακτηρίζονται από το σαφή διαχωρισμό σε κατάλληλες ή ακατάλληλες περιοχές. Άλλες τεχνικές χωροθέτησης, χρησιμοποιούν μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης με τελικό αποτέλεσμα την αξιολόγηση της περιοχής μελέτης με βάση την καταλληλότητα γης για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ (Siddiqui *et al.*, 1996; Κοντός και Χαλβαδάκης, 2002). Τέλος, εμφανίζονται τεχνικές χωροθέτησης που χρησιμοποιούν Ασαφή Λογική σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για να μπορέσουν να επεξεργαστούν το πολυπαραμετρικό πρόβλημα της χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ με μειωμένο βαθμό υποκειμενικότητας (Champratheep *et al.*, 1997).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη των μεθοδολογικών εργαλείων που συνδυάζουν διαδικασίες χωρικής ανάλυσης με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης και τελικά τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου Χωρικού Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Το σύστημα που δημιουργήθηκε εφαρμόζεται στην περίπτωση της χωροθέτησης ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στην νήσο Λήμνο. Στην

παρούσα εργασία, παρουσιάζονται τα κύρια μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο ΧΣΥΑ. Χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης όπως οι μέθοδοι Σταθμισμένος Μέσος, Σταθμισμένο Γινόμενο και Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης. Τέλος, το ΧΣΥΑ έχει δημιουργηθεί ώστε να μπορεί να διαχειριστεί τη χωρική πληροφορία με τη βοήθεια Ασαφών Συνόλων και να μπορεί να εκτελέσει διαδικασίες χωρικής στατιστικής, χωρικής ομαδοποίησης και ανάλυσης ευαισθησίας.

## 2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης που εφαρμόζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία, είναι η νήσος Λήμνος η οποία βρίσκεται στο ΒΑ Αιγαίο (Σχήμα 1). Η Λήμνος έχει συνολική έκταση 480 km<sup>2</sup> και μέσο προβαλλόμενο πληθυσμό για το 2020 τους 25.000 κατοίκους. Το 48% (230 km<sup>2</sup>) της συνολικής έκτασης καλύπτεται από καλλιέργειες, περίπου το 42% (200 km<sup>2</sup>) καλύπτεται από βοσκοτόπια, ενώ το υπόλοιπο 10% (30 km<sup>2</sup>) καλύπτεται από διάφορες χρήσεις όπως κατοικημένες περιοχές, δρόμοι, πευκοδάση, βραχώδεις εκτάσεις και υγρότοποι. Η νήσος Λήμνος ανήκει διοικητικά στον νομό Λέσβου και από το 1998 έχει 4 ευρύτερους δήμους, όπως έχουν προκύψει από το σχέδιο "Καποδίστριας".



Σχήμα 1: Η νήσος Λήμνος

Περίπου 35 ανεξέλεγκτοι χώροι διάθεσης απορριμμάτων υπήρχαν στην νήσο μέχρι το 1988, ενώ σήμερα υπάρχουν 2 χώροι διάθεσης. Ο πρώτος χώρος είναι ημελεγχόμενος και βρίσκεται στη θέση Βίγλα στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, ο οποίος εξυπηρετεί τις ανάγκες διάθεσης απορριμμάτων όλων των δήμων της νήσου. Ο δεύτερος χώρος βρίσκεται αρκετά κοντά στην Μύρινα (πρωτεύουσα της Λήμνου), είναι ένας ανεξέλεγκτος χώρος διάθεσης ανενεργών αποβλήτων και λάσπης από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

## 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

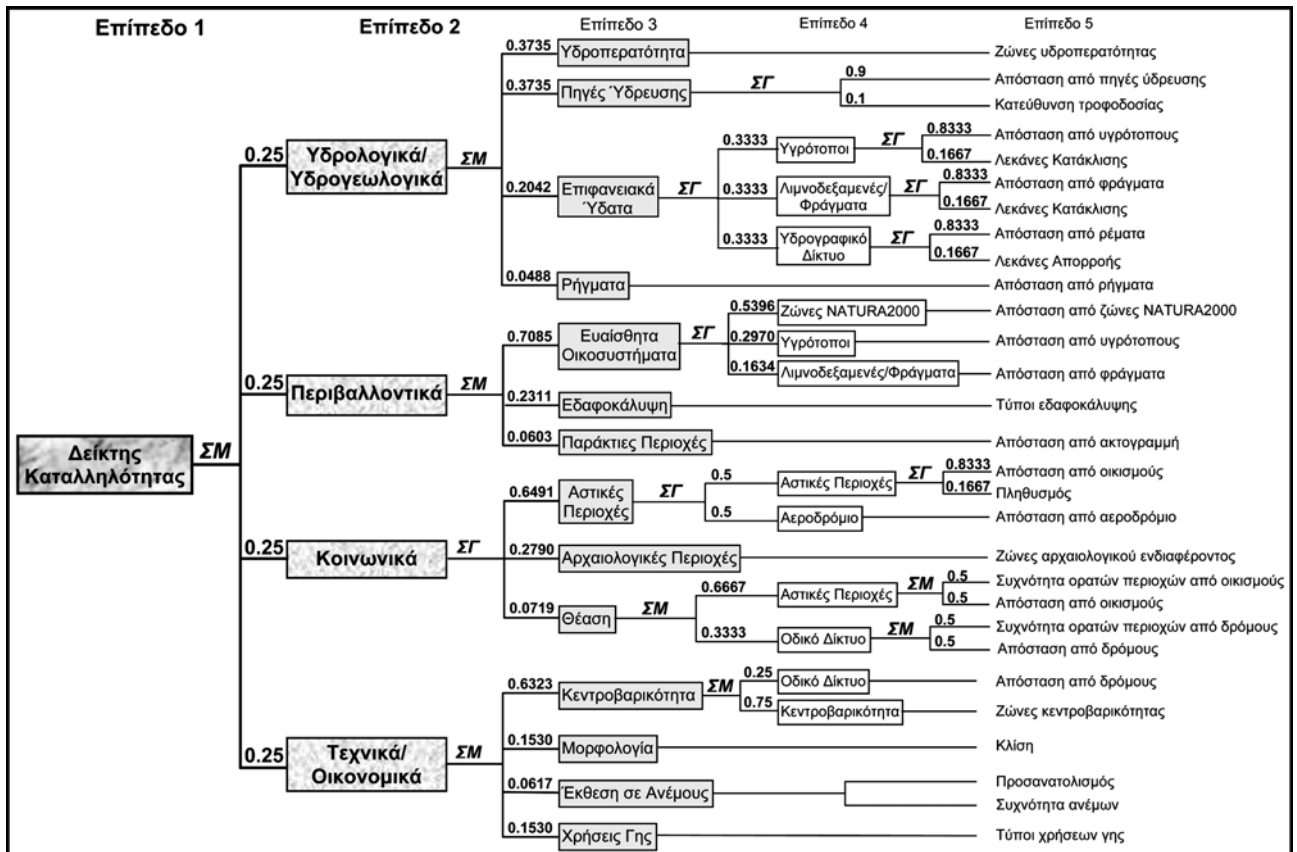
Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, συνδυάζει τα εργαλεία χωρικής ανάλυσης που προσφέρουν τα ΓΣΠ με μεθόδους της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (ΠΑ), με τελικό σκοπό της αξιολόγησης της περιοχής μελέτης βάσει κριτηρίων αξιολόγησης. Συγκεκριμένα, το προτεινόμενο ΧΣΥΑ χρησιμοποιεί το ΓΣΠ ArcGIS 8.3 για τις απαραίτητες εργασίες χωρικής ανάλυσης δεδομένων καθώς και διάφορες μεθόδους ΠΑ όπως Σταθμισμένος Μέσος (Weighted Average, Yoon *et al.*, 1995), Σταθμισμένο Γινόμενο (Weighted Product, Yoon *et al.*, 1995) και την Μέθοδο Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process, Saaty, 1980). Αναλυτικά η προτεινόμενη μεθοδολογία όπως εφαρμόζεται στο ΧΣΥΑ, αποτελείται από τα εξής επιμέρους βήματα:

- Δημιουργία της ψηφιακής βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει την απαραίτητη χωρική ή μη-χωρική πληροφορία.
- Καθορισμός της ιεραρχικής δομής του πολυκριτηριακού προβλήματος.
- Εφαρμογή της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων/υποκριτηρίων σε κάθε επίπεδο ιεράρχησης.
- Βαθμονόμηση των κριτηρίων αξιολόγησης χρησιμοποιώντας μεθόδους ασαφών συνόλων ή υποκειμενικής αξιολόγησης.
- Υπολογισμός του δείκτη καταλληλότητας στην περιοχή μελέτης.
- Εφαρμογή διαδικασίας Χωρικής Ομαδοποίησης για την εύρεση των πλέον κατάλληλων περιοχών.
- Εφαρμογή διαδικασίας Ανάλυσης Ευαισθησίας για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων και της ευαισθησίας της μεθοδολογίας.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται, θεωρεί όλη την περιοχή μελέτης κατάλληλη για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ και δεν αποκλείει εξαρχής κάποιες περιοχές. Το τελικό αποτέλεσμα της μεθοδολογίας είναι η αξιολόγηση της μελετούμενης περιοχής με τη βοήθεια ενός δείκτη καταλληλότητας, Η κλίμακα βαθμολόγησης του δείκτη καταλληλότητας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι από 0 έως 1 που είναι από τις πλέον ακατάλληλες έως τις πλέον κατάλληλες περιοχές αντίστοιχα. Οπότε όσες περιοχές θεωρούνται ως πλέον ακατάλληλες βάσει νομοθετικών ή άλλων περιορισμών τελικά θα έχουν πολύ χαμηλή τιμή δείκτη καταλληλότητας που θα τις αποκλείει από περαιτέρω διερεύνηση.

### 3.1. Καθορισμός της Ιεραρχικής Δομής του Πολυκριτηριακού Προβλήματος

Η ιεραρχική δομή του πολυκριτηριακού προβλήματος της χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ όπως χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, αποτελείται από 5 επίπεδα (Σχήμα 2). 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, Τεχνικοοικονομικές) που προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν από τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ. Το τρίτο επίπεδο είναι τα κριτήρια αξιολόγησης, δηλαδή επιμέρους παράμετροι που αποτελούν τα κριτήρια απόφασης. Το τέταρτο επίπεδο είναι τα υποκριτήρια αξιολόγησης, δηλαδή επιμέρους παράμετροι που αποτελούν τα κριτήρια αξιολόγησης. Τέλος, το πέμπτο επίπεδο είναι οι χωρικές και οι μη χωρικές ιδιότητες που περιγράφουν κάποιο κριτήριο/υποκριτήριο αξιολόγησης.



Σχήμα 2: Η Ιεραρχική Δομή του Πολυκριτηριακού Προβλήματος

Οι συντελεστές βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης (MAI, Saaty, 1980). Η MAI είναι μια μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης που παρουσιάζεται ευρέως στη βιβλιογραφία σε διάφορες εφαρμογές. Η MAI βασίζεται σε συγκρίσεις των κριτηρίων ανά ζεύγη με τη βοήθεια λεκτικών χαρακτηρισμών όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Η κλίμακα αξιολόγησης των συγκρίσεων ανά ζεύγη στην MAI

Βαθμός Σημαντικότητας	Περιγραφή
1	Ίδια σημαντικότητα
3	Το ένα κριτήριο A είναι λίγο πιο σημαντικό από το κριτήριο B
5	Το ένα κριτήριο A είναι αρκετά σημαντικότερο από το κριτήριο B
7	Το ένα κριτήριο A είναι πολύ σημαντικότερο από το κριτήριο B
9	Το ένα κριτήριο A είναι απόλυτα σημαντικότερο από το κριτήριο B
Ενδιάμεσες τιμές (2, 4, 6, 8)	Ενδιάμεσες τιμές σημαντικότητας μεταξύ των δύο γειτονικών διαβαθμίσεων
Αντίστροφες τιμές	Όταν το κριτήριο B είναι σημαντικότερο από το κριτήριο A

Χρησιμοποιώντας την κλίμακα αξιολόγησης που φαίνεται στον Πίνακα 1 συγκρίνουμε όλα τα κριτήρια ανά ζεύγη, οπότε δημιουργείται ο Πίνακας Συγκρίσεων ανά Ζεύγη (ΠΣΖ) που είναι ένας τετραγωνικός πίνακας  $n \times n$  ( $n$ , είναι το πλήθος των κριτηρίων) με ιδιότητες  $\alpha_{ii} = 1$  και  $\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}$ . Ο Saaty (1980) προτείνει το υπολογισμό του δεξιού κύριου ιδιοδιανύσματος για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας. Προσεγγιστικά, με τη βοήθεια του γεωμετρικού μέσου της κάθε γραμμής του ΠΣΖ οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίζονται από τις κανονικοποιημένες τιμές του γεωμετρικού μέσου της κάθε γραμμής.

Στην παρούσα εργασία, δημιουργήθηκαν συνολικά 17 ΠΣΖ και προέκυψαν οι συντελεστές βαρύτητας που φαίνονται σε κάθε επίπεδο του Σχήματος 2.

### 3.2. Χωρική Ανάλυση με τη Χρήση Ασαφών Συνόλων

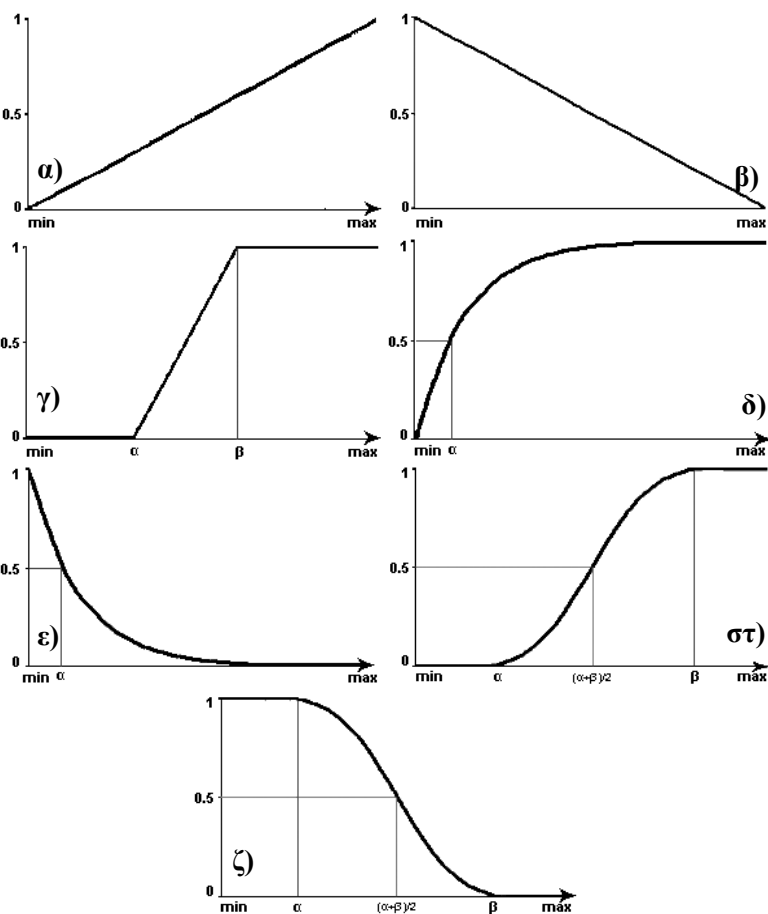
Στην παρούσα εργασία, οι χωρικές παράμετροι που έχουν δημιουργηθεί για την αξιολόγηση της νήσου Λήμνου σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του Σχήματος 2, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες δεδομένων τα συνεχή και τα διακριτά. Συνεχείς είναι εκείνες οι παράμετροι που αναφέρονται σε κάποια μετρήσιμη ποσότητα όπως απόσταση, πληθυσμός, γωνία κλπ., ενώ διακριτές είναι εκείνες οι παράμετροι που αναφέρονται σε κατηγορικά δεδομένα όπως τύποι εδαφοκάλυψης, υδρολιθολογική συμπεριφορά κ.α. Στην μεθοδολογία που παρουσιάζεται, η βαθμονόμηση των διακριτών χωρικών παραμέτρων έγινε με υποκειμενική αξιολόγηση. Η βαθμονόμηση των συνεχών παραμέτρων έγινε με τη βοήθεια Ασαφών Συνόλων (Fuzzy Sets).

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 την λογική Boolean στο γεγονός ότι η λογική Boolean βασίζεται σε 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. Γενικά, ένα Ασαφές Σύνολο  $F$  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  $\mu_F(x)$  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).

Στην εργασία που παρουσιάζεται χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις συμμετοχής που φαίνονται στο Σχήμα 3 και αναφέρονται στη συναφή βιβλιογραφία (Charnpratheep *et al.*, 1997; Robinson, 2003), το ΧΣΥΑ όμως που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει συνολικά 17 συναρτήσεις συμμετοχής.

### 3.3. Δημιουργία των Κριτηρίων Απόφασης

Τα κριτήρια απόφασης που δημιουργήθηκαν βάσει του Σχήματος 2, για την επίτευξη του τελικού στόχου που είναι η καταλληλότητα γης για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ παρουσιάζονται συνοπτικά στους Πίνακες 2, 3, 4 και 5 που αφορούν το κάθε επιμέρους κριτήριο απόφασης. Περισσότερες πληροφορίες που αφορούν τις



Σχήμα 3: Συναρτήσεις Συμμετοχής α) Γραμμική Αύξουσα, β) Γραμμική Φθίνουσα, γ) Αύξουσα Τραπεζοειδής, δ) Αύξουσα Εκθετική, ε) Φθίνουσα Εκθετική, στ) Αύξουσα Σιγμοειδής ( $S^+$ ) και ζ) Φθίνουσα Σιγμοειδής ( $S^-$ )

επιμέρους παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη στη διαδικασία χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ, μπορούν να βρεθούν στη συναφή βιβλιογραφία (Halvadakis, 1993; Κοντός και Χαλβαδάκης, 2002; Kontos *et al.*, 2003).

Πίνακας 2: Χωρική Περιγραφή του Υδρολογικού/Υδρογεωλογικού Κριτηρίου

Κριτήριο Αξιολόγησης	Υποκριτήριο Αξιολόγησης	Χωρική/Μη Χωρική Παράμετρος	Συνεχές (Σ) /Διακριτό (Δ)*	α	β
<b>Υδροπερατότητα</b>			Δ	-	
<b>Πηγές Ύδρευσης</b>		Απόσταση	Σ (3γ)	500	2000
		Κατεύθυνση	Δ	-	
<b>Επιφανειακά Ύδατα</b>	Υγρότοποι	Απόσταση	Σ (3γ)	500	2000
		Λεκάνες Κατάκλισης	Σ (3ε)	10 <sup>7</sup>	-
	Φράγματα	Απόσταση	Σ (3γ)	500	2000
		Λεκάνες Κατάκλισης	Σ (3ε)	2 * 10 <sup>7</sup>	-
	Υδρογραφικό Δίκτυο	Απόσταση	Σ (3γ)	50	450
		Λεκάνες Απορροής	Σ (3ε)	2 * 10 <sup>7</sup>	-
<b>Ρήγματα</b>			Σ (3γ)	100	500

Πίνακας 3: Χωρική Περιγραφή του Περιβαλλοντικού Κριτηρίου

Κριτήριο Αξιολόγησης	Υποκριτήριο Αξιολόγησης	Χωρική/Μη Χωρική Παράμετρος	Συνεχές (Σ) /Διακριτό (Δ)*	α	β
<b>Ευαίσθητα Οικοσυστήματα</b>	Ζώνες NATURA2000	Απόσταση	Σ (3δ)	500	-
	Υγρότοποι	Απόσταση	Σ (3γ)	500	2000
	Φράγματα	Απόσταση	Σ (3γ)	500	2000
<b>Εδαφοκάλυψη</b>			Δ	-	
<b>Παράκτιες Περιοχές</b>		Απόσταση	Σ (3δ)	200	-

Πίνακας 4: Χωρική Περιγραφή του Κοινωνικού Κριτηρίου

Κριτήριο Αξιολόγησης	Υποκριτήριο Αξιολόγησης	Χωρική/Μη Χωρική Παράμετρος	Συνεχές (Σ) /Διακριτό (Δ)*	α	β
<b>Αστικές Περιοχές</b>	Αστικές Περιοχές	Απόσταση	Σ (3στ)	500	2000
		Πληθυσμός	Σ (3ε)	1000	-
	Αεροδρόμιο	Απόσταση	Σ (3στ)	3000	7000
<b>Αρχαιολογικές Περιοχές</b>			Δ	-	
<b>Θέαση</b>	Αστικές Περιοχές	Συχνότητα	Σ (3ε)	15	-
		Απόσταση	Σ (3α)	-	
	Οδικό Δίκτυο	Συχνότητα	Σ (3ε)	15	-
		Απόσταση	Σ (3α)	-	

Πίνακας 5: Χωρική Περιγραφή του Τεχνικοοικονομικού Κριτηρίου

Κριτήριο Αξιολόγησης	Υποκριτήριο Αξιολόγησης	Χωρική/Μη Χωρική Παράμετρος	Συνεχές (Σ) /Διακριτό (Δ)*	α	β
<b>Κεντροβαρικότητα</b>	Οδικό Δίκτυο	Απόσταση	Σ (3β)	-	
	Κεντροβαρικότητα	Ζώνες	Σ (3ε)	300	-
<b>Μορφολογία</b>		Κλίσεις	Σ (3ζ)	10	45
<b>Έκθεση σε ανέμους</b>			Δ	-	
<b>Χρήσεις Γης</b>			Δ	-	

Τέλος, για τη δημιουργία κάποιου κριτηρίου/υποκριτηρίου από τις επιμέρους παραμέτρους που το αποτελούν, έχουμε χρησιμοποιήσει τις μεθόδους *Σταθμισμένος Μέσος (ΣΜ)* που περιγράφεται από την Εξίσωση 1 και *Σταθμισμένο Γινόμενο (ΣΓ)* που περιγράφεται από την Εξίσωση 2.

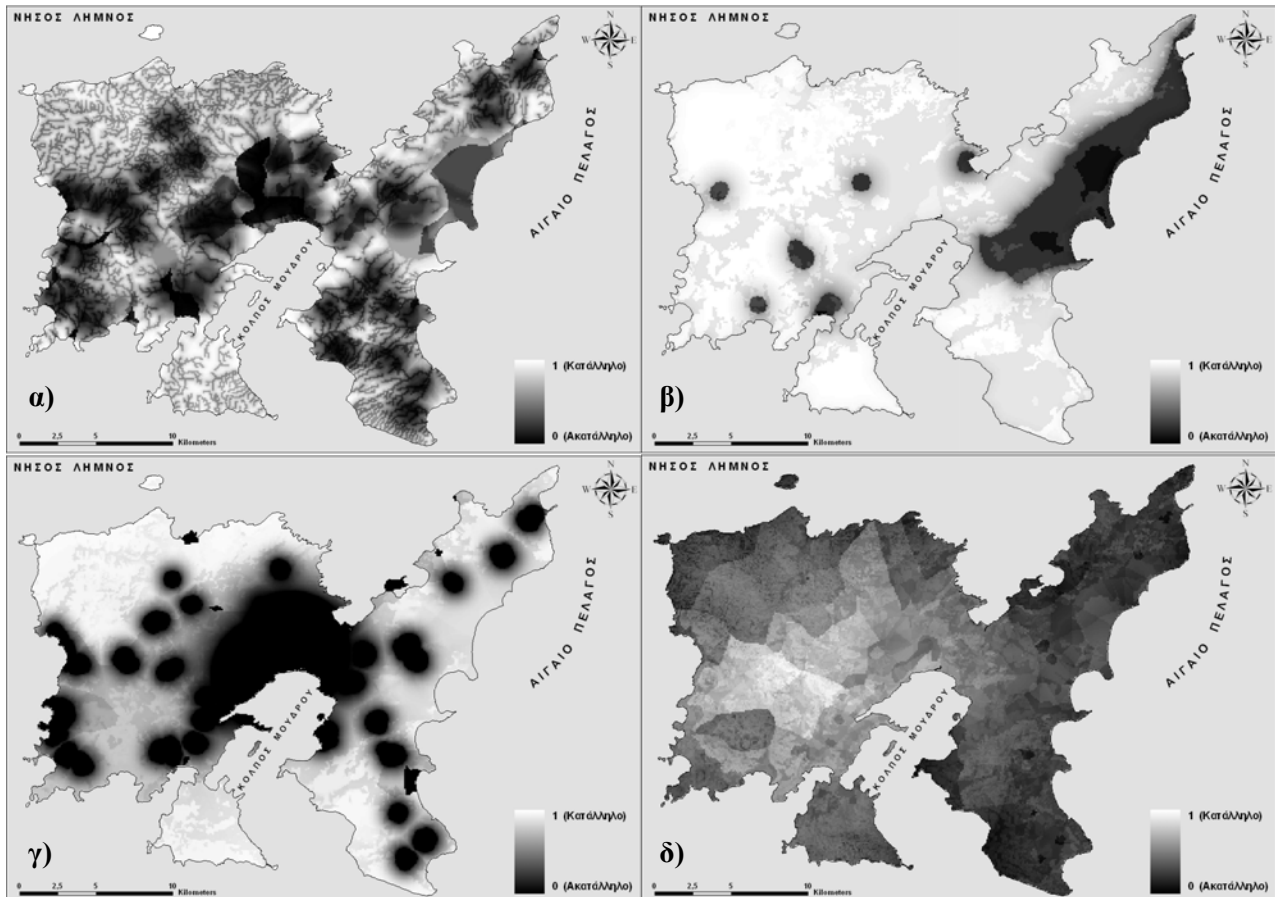
\* Σε παρένθεση σημειώνεται η συνάρτηση συμμετοχής Ασαφών Συνόλων που χρησιμοποιήθηκε, βάσει του Σχήματος 3

$$B_i = \sum_{j=1}^n w_j * \beta_{ij} \quad (1)$$

$$B_i = \prod_{j=1}^n \beta_{ij}^{w_j} \quad (2)$$

Όπου:  $B_i$ , η τελική βαθμολογία της περιοχής  $i$ , (κλίμακα 0 – 1)  
 $w_j$ , ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου  $j$ , (κλίμακα 0 – 1,  $\sum w = 1$ )  
 $\beta_{ij}$ , η βαθμολογία της περιοχής  $i$  στο κριτήριο  $j$ , (κλίμακα 0 – 1)  
 $n$ , το πλήθος των κριτηρίων

Με τη βοήθεια των εξισώσεων 1 και 2, χρησιμοποιώντας της ιεραρχική δομή που φαίνεται στο Σχήμα 2 δημιουργούνται τα κριτήρια απόφασης (Σχήμα 4).



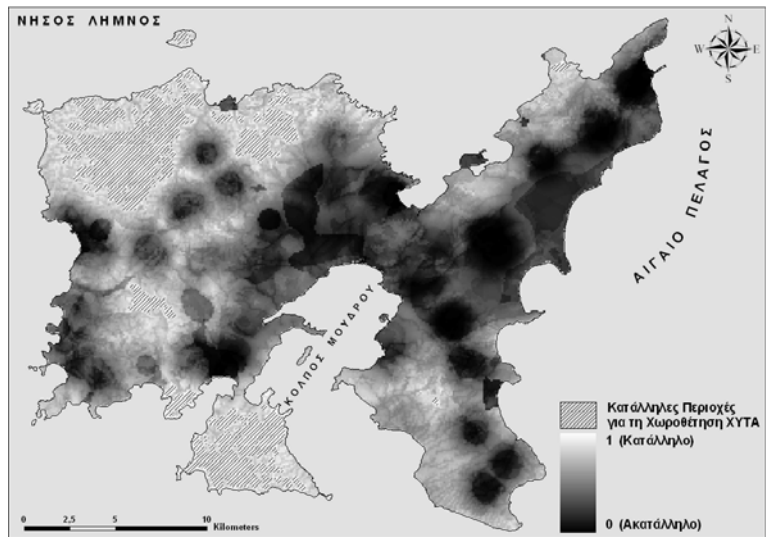
Σχήμα 4: Κριτήρια Απόφασης α) Υδρολογικό/Υδρογεωλογικό Κριτήριο, β) Περιβαλλοντικό Κριτήριο, γ) Κοινωνικό Κριτήριο και δ) Τεχνικοοικονομικό Κριτήριο

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το τελευταίο μέρος της προτεινόμενης μεθοδολογίας, είναι η αξιολόγηση της καταλληλότητας της περιοχής μελέτης για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ. Στην περίπτωση της νήσου Λήμνου που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη εργασία, εφαρμόστηκε η μέθοδος του Σταθμισμένου Μέσου στα κριτήρια απόφασης που φαίνονται στο Σχήμα 4. Επίσης, έγινε η υπόθεση πως όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια σημαντικότητα, δηλαδή κάθε κριτήριο απόφασης έχει συντελεστή βαρύτητας 0,25.

Το αποτέλεσμα της μεθοδολογίας όπως εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται στον χάρτη του δείκτη καταλληλότητας που υπολογίστηκε (Σχήμα 5). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, η καταλληλότητα των περιοχών αυξάνει όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη καταλληλότητας. Γενικά, οι περιοχές που εμφανίζουν δείκτη καταλληλότητας μικρότερο από 0,4 μπορούν να θεωρηθούν ακατάλληλες για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ. Επίσης, οι περιοχές που θεωρούνται οι πλέον κατάλληλες αναμένεται να είναι εκείνες που έχουν δείκτη καταλληλότητας μεγαλύτερο από 0,8.

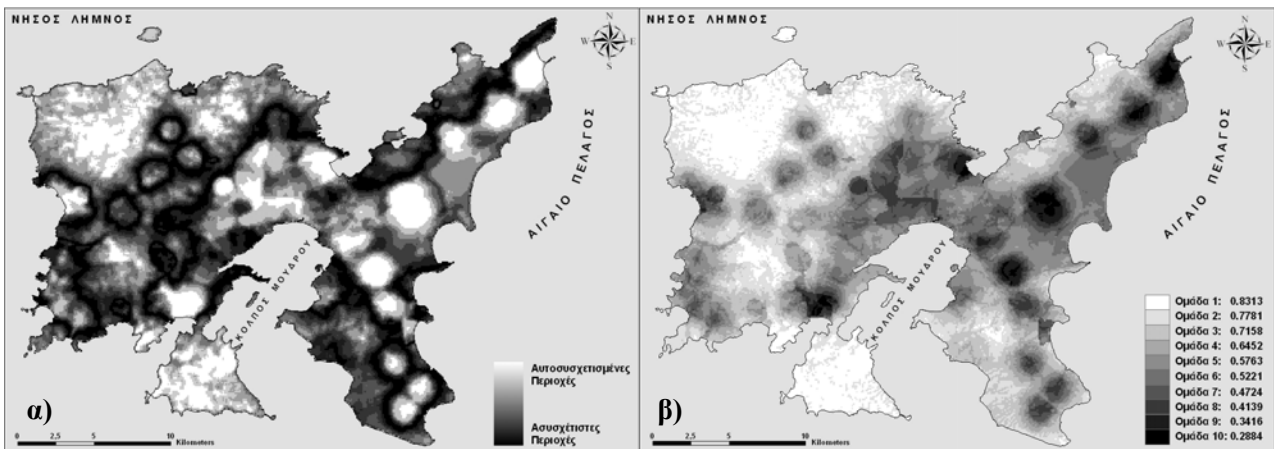
Στο Σχήμα 5 οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως πλέον κατάλληλες για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ, έχουν προκύψει από μια σύνθετη διαδικασία που περιλαμβάνει διαδικασίες χωρικής στατιστικής και χωρικής ομαδοποίησης δεδομένων. Οι διαδικασίες χωρικής στατιστικής που εκτελέστηκαν, περιλαμβάνουν δείκτες αυτοσυσχέτισης τόσο σε συνολικό όσο και σε τοπικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι συνολικοί δείκτες αυτοσυσχέτισης Moran's I και Geary's C (Bonham-Carter, 1994) με τιμές 0,9831 και 0,0198 αντίστοιχα, που μας υποδεικνύει ότι το αποτέλεσμα της μεθοδολογίας μακροσκοπικά είναι έντονα αυτοσυσχετισμένο.



Σχήμα 5: Κατάλληλότητα περιοχών για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ

Επιπρόσθετα, εκτελέστηκε διαδικασία εύρεσης της αυτοσυσχέτισης σε τοπικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των G-Statistics (Getis and Ord, 1992). Σύμφωνα με τους Getis και Ord (1992) το αποτέλεσμα των G-Statistics έχει σαφή διαχωρισμό των αυτοσυσχετισμένων περιοχών μεταξύ υψηλών και χαμηλών τιμών του δείκτη καταλληλότητας. Το αποτέλεσμα των G-Statistics φαίνεται στο Σχήμα 6(α) και ως πλέον κατάλληλες θεωρούνται εκείνες οι περιοχές που έχουν προκύψει από ποσοτική ταξινόμηση των 10% από τις υψηλότερες τιμές (μεγάλη αυτοσυσχέτιση υψηλών τιμών δείκτη καταλληλότητας).

Ως μέθοδος χωρικής ομαδοποίησης (spatial clustering) επιλέχθηκε η μέθοδος Fuzzy C-Means (Bezdek, 1981), μια μέθοδος με μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως αναγνώριση προτύπων, ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων, περιβαλλοντικές εφαρμογές κ.α. Στο Σχήμα 6(β), φαίνεται το αποτέλεσμα του αλγόριθμου με χωρική ομαδοποίηση των δεδομένων σε 10 κατηγορίες. Οι περιοχές που ανήκουν στην πρώτη ομάδα με κεντροειδές 0,8313 θεωρήθηκαν ως οι πλέον κατάλληλες.



Σχήμα 6: α) Χάρτης τοπικής αυτοσυσχέτισης με τη μέθοδο G-Statistics, β) Χάρτης χωρικής ομαδοποίησης με τη μέθοδο Fuzzy C-Means

Στο Σχήμα 5 οι περιοχές που εμφανίζονται ως οι πλέον κατάλληλες για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ, έχουν προκύψει από τη χωρική τομή των υψηλά αυτοσυσχετισμένων περιοχών (με υψηλές τιμές δείκτη καταλληλότητας) που εντοπίστηκαν από τη μέθοδο G-Statistics και των περιοχών που ανήκουν στην πρώτη ομάδα από την εφαρμογή της μεθόδου Fuzzy C-Means. Από το αποτέλεσμα της χωρικής τομής, προκύπτουν 58 διακριτές περιοχές (περίπου το 10,2% του συ-

Πίνακας 6: Συντελεστές Βαρύτητας των Κριτηρίων Απόφασης

Κριτήριο	Ομάδα 1	Ομάδα 2	Ομάδα 3	Ομάδα 4	Ομάδα 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
Τεχνικό/ Οικονομικό	0.25	0.2	0.2	0.2	0.4

νολικού νησιού) με δείκτες καταλληλότητας που κυμαίνονται από 0,8049 έως 0,9005.

Τέλος εκτελέστηκε διαδικασία ανάλυσης ευαισθησίας, για τον έλεγχο της ευαισθησίας της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε αλλαγές στους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων απόφασης. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 4 επιπλέον ομάδες συντελεστών βαρύτητας όπως φαίνεται στον Πίνακα 6. Κάθε μια από τις ομάδες συντελεστών βαρύτητας, θεωρεί πως το ένα από τα κριτήρια απόφασης είναι πιο σημαντικό από τα υπόλοιπα 3 που θεωρούνται ίδιας σημαντικότητας. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης ευαισθησίας μας δείχνει πως υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τους συντελεστές βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία (Ομάδα 1) και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν χρησιμοποιώντας τις υπόλοιπες 4 ομάδες συντελεστών βαρύτητας. Στον Πίνακα 7 φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης που αφορούν τον δείκτη καταλληλότητας και τη χωρική ομαδοποίηση που προέκυψε από τη μέθοδο Fuzzy C-Means.

Πίνακας 7: Συντελεστές Συσχέτισης των διάφορων ομάδων συντελεστών βαρύτητας για τους Δείκτες Καταλληλότητας (πάνω από την κύρια διαγώνιο) και της Χωρικής Ομαδοποίησης (κάτω από την κύρια διαγώνιο)

	Ομάδα 1	Ομάδα 2	Ομάδα 3	Ομάδα 4	Ομάδα 5
Ομάδα 1	1	0,9795	0,9562	0,9599	0,9729
Ομάδα 2	0,9648	1	0,9084	0,9428	0,9380
Ομάδα 3	0,9406	0,8933	1	0,8544	0,9483
Ομάδα 4	0,9476	0,9296	0,8438	1	0,8948
Ομάδα 5	0,9581	0,9236	0,9342	0,8811	1

Το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων είναι ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιώντας την ιεραρχική δομή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, δεν είναι ευαίσθητη σε μικρές ή μέτριες αλλαγές στους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων απόφασης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν τα μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων που δημιουργήθηκε, με σκοπό τη χωροθέτηση οχλουσών δραστηριοτήτων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ στην νήσο Λήμνο μας υποδεικνύουν ότι περίπου το 10% του νησιού θεωρείται ως πλέον κατάλληλο για τη χωροθέτηση μιας τέτοιας δραστηριότητας. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία μας δίνει ευρύτερα κατάλληλες περιοχές, ενώ οι τελικές προτεινόμενες θέσεις που θα αξιολογηθούν θα προκύψουν από έρευνα πεδίου και εξέταση όλων των επιμέρους παραμέτρων σε τοπική κλίμακα. Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι η τελική απόφαση για την επιλογή του χώρου είναι πολιτική, ωστόσο τα επιστημονικά αποτελέσματα που προκύπτουν θα πρέπει να επηρεάσουν την τελική απόφαση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κοντός Θ. και Κ.Π. Χαλβαδάκης, 2002: *Δημιουργία Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών για την Αξιολόγηση Περιοχών με Σκοπό τη Χωροθέτηση ΧΥΤΑ: Η Περίπτωση της Νήσου Λήμνου*. 7ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας: Νησιωτική Χαρτογραφία, ΧΕΕΕ, Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2002.
- Bezdek J.C., 1981: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, USA.
- Bonham-Carter G.F., 1994: *Geographic Information Systems for Geoscientists*. Pergamon, USA.
- Charnpratheep K., Zhou Q. and B. Garner, 1997: Preliminary Landfill Site Screening using Fuzzy Geographical Information Systems. *Waste Management and Research*, **15**, 197-215.
- Getis A. and J.K. Ord 1992: *The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics*. *Geographical Analysis*, **24(3)**, 189-206.
- Halvadakis C.P., 1993: Municipal Solid Waste Landfill Siting in Greece - The Case of the Greater Hania Region, Greece. *Ekistics*, **358-359**, 45-52.
- Kontos Th.D., Komilis D.P. and C.P. Halvadakis, 2003: Siting MSW Landfills in Lesvos Island with a GIS-based methodology. *Waste Management and Research*, **21(3)**, 262-277.
- 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, USA.
- Siddiqui M., Everett J. and B. Vieux, 1996: Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration. *Journal of Environmental Engineering*, **122(6)**, 515-523.
- Tchobanoglous G., Theisen H. and S.A. Vigil, 1993: *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, USA.
- Yoon K. and C.L. Hwang, 1995: *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Sage Publications Inc, UK.
- Zadeh L.A., 1965: Fuzzy Sets. *Information and Control*, **8**, 338-353.