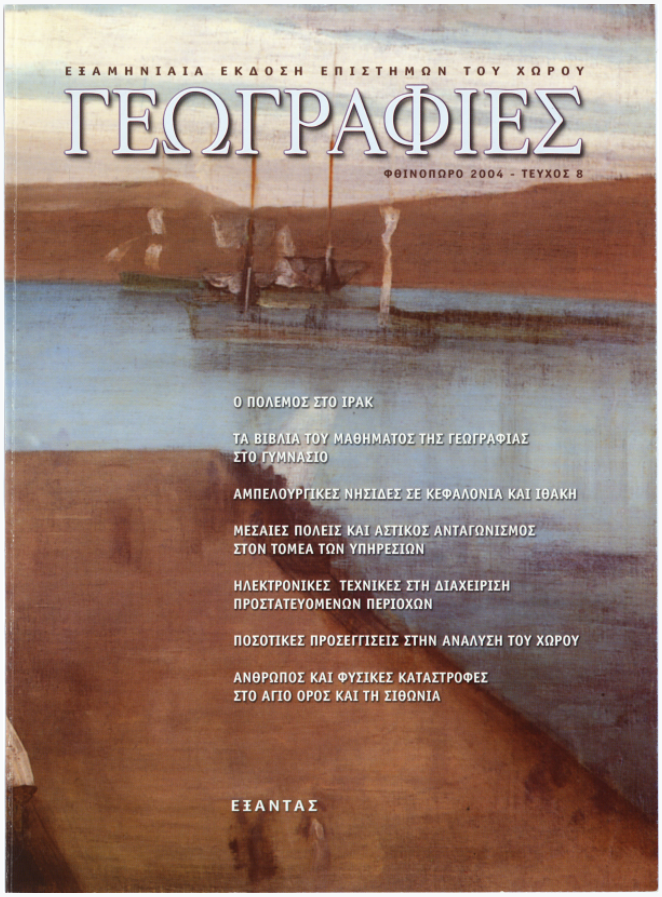
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

**Γεωγραφίες**

Αρ. 8 (2004)

Γεωγραφίες, Τεύχος 8, 2004




# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

*Γιώργος Σκυλλαίος, Ελευθερία Μουτζίκη, Κώστας Περάκης*

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 26/12/2025 18:52:58

# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

**Γιώργος Συλλαίος*, Ελευθερία Μουτζίκη**, Κώστας Περάκης*****

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λήψη μιας απόφασης πολλές φορές δεν στηρίζεται μόνο στην αξιολόγηση μιας ομάδας κριτηρίων, μέσω της επίλυσης ενός απλού γραμμικού πολυκριτηρίου μοντέλου, αλλά στη συνδυασμένη αξιολόγηση περισσοτέρων ομάδων κριτηρίων, διαφορετικής φύσεως, οι οποίες επηρεάζουν την απόφαση. Στην παρούσα εργασία περιγράφεται ένας αλγόριθμος που εμπεριέχει τη λογική του προβλήματος για τη λήψη αποφάσεων με βάση την ανάλυση σταθμισμένων πολυκριτηρίων. Ο αλγόριθμος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τη στήριξη αποφάσεων σε εφαρμογές στο γεωγραφικό χώρο, είναι δε γενικής φύσεως και μπορεί να εφαρμοστεί όπου απαιτείται ένας δείκτης απόφασης ή αξιολόγησης, με βάση τον οποίο ο χρήστης αξιολογεί τις προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις. Μπορεί να υποστηριχθεί από όλες τις γλώσσες προγραμματισμού, αλλά, σε περίπτωση εισαγωγής χωρικών δεδομένων και ανάγκης οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων σε μορφή χαρτών, προτείνονται η Visual Basic και το λογισμικό Map Objects της ESRI (1996). Στην εργασία παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου το οποίο αφορά τη λήψη απόφασης για την ανάγκη εφαρμογής έργων προστασίας, με βάση τον κίνδυνο διάβρωσης, στα δημοτικά διαμερίσματα της Νομαρχίας Γρεβενών.

## *Development of an Algorithm for Solving a Linear Model Based on Weighted Multi-Criteria for Spatial Data Analysis Applications*

**George Silleos, Eleftheria Moutziki, Kostas Perakis**

ABSTRACT

Decision-making is based not only on the evaluation of one group of criteria, through the solution of a simple linear weighed multi-criteria model, but on the combined evaluation of more groups, including criteria of different nature, which affect the decision. In this paper an algorithm is presented which deals with the problem of decision making on the basis of weighted multi-criteria analysis. The algorithm is particularly useful for the support of decisions in regional level and can be supported by all programming languages, although, in the case of use of spatial data and need for visualization of the results, Visual Basic and Map Objects are recommended. In this paper an application is presented, concerning the classification of the communities of Grevena Prefecture in erosion-risk classes.

* Διδάκτωρ, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, e-mail: gsilleos@hotmail.com.

** Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, e-mail: moutziki@agro.auth.gr.

*** Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Εργαστήριο Εφαρμογών Πληροφορικής στην Ανάλυση του Χώρου, e-mail: perakis@prd.uth.gr.

## 1. Εισαγωγή

Ένα μοντέλο αντιπροσωπεύει ένα πρόβλημα του πραγματικού κόσμου στη γλώσσα των μαθηματικών, αλλά δεν υπάρχουν τυποποιημένες οδηγίες για το πώς μπορεί να δημιουργηθεί ένα καλό μοντέλο (Kallrath & Wilson 1997). Η εμπειρία του ερευνητή και η αιτιολόγηση είναι δύο βασικές προϋποθέσεις για τη δημιουργία ενός μοντέλου, ενώ πρέπει να γίνει σαφές ότι ένα πρόβλημα δεν επιλύεται με την εφαρμογή ενός και μόνου μοντέλου. Επίσης, με την έννοια ότι ένα μοντέλο προσπαθεί να αντιπροσωπεύσει τον πραγματικό κόσμο, τότε η πραγματικότητα και το μοντέλο μπορεί να είναι διαφορετικά με τη διαχρονική έννοια.

Σε σχέση με τη δυνατότητα μοντελοποίησης με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), υπάρχει σήμερα μια συνεχώς αυξανόμενη βιβλιογραφία με σχετικές αναφορές: Carver 1991, Fischer & Nijkamp 1992, Goodchild et al. 1993, Fortheringham & Rogerson 1994, Fischer et al. 1996, Συλλαίος 1999, Fortheringham & Wegener 2000 κ.ά.

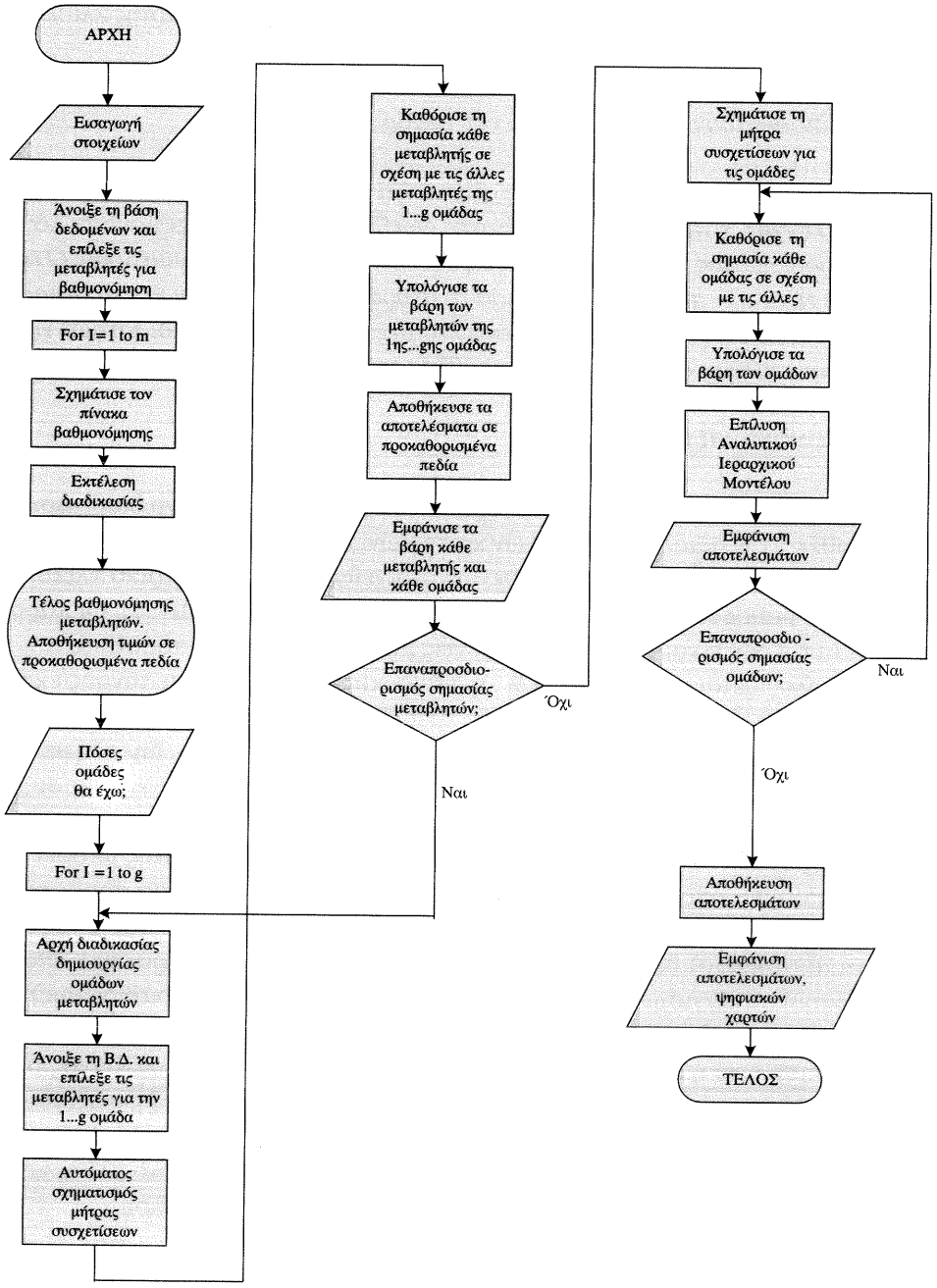
Στη μετάβαση από την επεξεργασία δεδομένων στην υποστήριξη αποφάσεων επέδρασε όχι μόνο η τεχνολογική εξέλιξη, αλλά και η αποδοχή, από τον επιχειρησιακό τομέα, των Συστημάτων Υποστήριξης Απόφασης (Decision Support Systems – ΣΥΑ), των Έμπειρων Συστημάτων (Expert Systems), και μεθοδολογιών της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence – Κατζουράκης κ.ά. 1991).

Η αδυναμία των υπαρχόντων μοντέλων (λογικών, εμπειρικών μοντέλων παλινδρόμησης, ντετερμινιστικών φυσικών μοντέλων, στοχαστικών φυσικών μοντέλων – Berry 1995) να αντιμετωπίσουν τα πολυδιάστατα πραγματικά προβλήματα του χώρου με χρήση ενός μόνο κριτηρίου οδήγησε στην ανάπτυξη της Πολυκριτήριας Λήψης Αποφάσεων (Multiple-Criteria Decision Making). Οι Adam et al. (1995) θεωρούν ότι τα ΣΥΑ είναι συστήματα που χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν πλήρως προβλήματα με *διαφορετικό βαθμό δόμησης*, για τα οποία είναι δυνατό να αναπτυχθούν αλγόριθμοι, μοντέλα ή κανόνες απόφασης που επιτρέπουν την ανάλυση του προβλήματος και τη δημιουργία εναλλακτικών λύσεων με στόχο την επιλογή της καλύτερης λύσης. Οι Keen & Scott-Morton (1978) διακρίνουν τις αποφάσεις σε δομημένες (structured), ημιδομημένες (semi-structured) και αδόμητες (unstructured).

- *Δομημένες αποφάσεις* είναι εκείνες για τη λήψη των οποίων η διαδικασία που ακολουθείται είναι πάντα η ίδια, το αντικείμενο της απόφασης είναι σαφώς καθορισμένο και τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους είναι συγκεκριμένα.
- *Αδόμητες αποφάσεις* είναι εκείνες για τη λήψη των οποίων η διαδικασία που ακολουθείται είναι κάθε φορά διαφορετική, το αντικείμενο της απόφασης, τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δεν είναι καθορισμένα.
- *Ημιδομημένες αποφάσεις* είναι εκείνες των οποίων άλλες εργασίες είναι σαφώς καθορισμένες και άλλες είναι ασαφείς.

Στην επίλυση προβλημάτων του γεωγραφικού χώρου οι διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων δεν είναι πάντα καθορισμένες και σταθερές, και κατά συνέπεια τα γεωγραφικά προβλήματα ανήκουν στην κατηγορία των ημιδομημένων αποφάσεων, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη για υποστήριξη της απόφασης μέσω της ανάπτυξης κατάλληλων πολυ-κριτηρίων μοντέλων, *στα οποία ο χρήστης καθορίζει τη σημασία και το βάρος του κάθε κριτηρίου ανάλογα με την εφαρμογή*.

Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα είναι πώς θα συνδυαστούν οι πληροφορίες από διάφορα κριτήρια για να σχηματιστεί ένας συνολικός δείκτης μέτρησης εναλλακτικών αποφάσεων. Στην περίπτωση των κριτηρίων Boolean (περιορισμοί - constraints), η λύση συνήθως είναι στην ένωση (λογικό OR) ή διασταύρωση (λογικό AND) των συνθηκών. Οπωσδήποτε, στην περίπτωση παραγόντων συνεχούς μορφής (continuous factors), χρησιμοποιείται συνήθως *ένας γραμμικός συνδυασμός με χρήση βαρών*. Με τη μέθοδο αυτήν οι παράγοντες συνδυάζονται με την εφαρμογή ενός βάρους για κάθε έναν από αυτούς, ακολουθούμενη από το άθροισμα των αποτελεσμάτων ώστε να δημιουργηθεί ο ζητούμενος χάρτης καταλληλότητας.




**Διάγραμμα 1.**
*Αλγόριθμος δημιουργίας γραμμικού μοντέλου σταθμισμένων πολυκριτηρίων για εφαρμογές χωρικής ανάλυσης*

## 2. Υλικά και μέθοδοι

*Υλικά*

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής μελετάται ο κίνδυνος διάβρωσης ανά κοινότητα στην Νομαρχία Γρεβενών, με σκοπό τη λήψη απόφασης για την εφαρμογή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας. Η λήψη απόφασης απαίτησε τη μελέτη και αξιολόγηση πλήθους κριτηρίων (εδαφολογικών, τοπογραφικών, φυσιογραφικών κ.ά.). Είναι γεγονός ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα κριτήρια (π.χ. κλιματολογικά δεδομένα), όμως στην περίπτωση της εφαρμογής στον Νομό Γρεβενών υπήρχαν διαθέσιμοι οι παρακάτω διανυσματικοί χάρτες με τις αντίστοιχες χωρικές και περιγραφικές βάσεις δεδομένων: 1) Χάρτης μητρικού υλικού, 2) Χάρτης ανθρωπογενούς επίδρασης, 3) Χάρτης κλίσεων, 4) Χάρτης βάθους εδάφους, 5) Χάρτης φυσιογραφίας.

*Βασικές διαδικασίες του προτεινόμενου αλγόριθμου*

Εάν θεωρήσουμε ότι στην προγραμματιστική αντίληψη ένας **αλγόριθμος = λογική + έλεγχος**, τότε ο προγραμματιστής οφείλει να περιγράψει μόνο τη λογική του προβλήματος και ο έλεγχος να αφεθεί στο λογικό προγραμματισμό. *Ο αλγόριθμος είναι μια πεπερασμένη σειρά αυστηρώς καθορισμένων και αυστηρώς διατεταγμένων ενεργειών που είναι εκτελέσιμες σε πεπερασμένο διάστημα χρόνου για την επίλυση συγκεκριμένου προβλήματος*

Α. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Είναι σαφές ότι η ταξινόμηση μιας περιοχής με βάση τον «κίνδυνο διάβρωσης» προϋποθέτει την αξιολόγηση πολλών κριτηρίων, τα οποία τις περισσότερες φορές είναι ένας κατάλογος ανομοιογενών στοιχείων, όπως το μητρικό υλικό, οι κλίσεις, το βάθος του εδάφους, η σύσταση του εδάφους κ.λπ. (Πίν. 1). Οι παράγοντες αυτοί δεν είναι μόνο ανομοιογενείς ποιοτικά, αλλά και ποσοτικά, π.χ. η κλίση υπολογίζεται σε βαθμούς ή %, η διάβρωση του εδάφους σε τόνους/εκτάριο, το βάθος του εδάφους σε εκατοστά κ.λπ. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται στον προτεινόμενο αλγόριθμο με τη διαδικασία της «βαθμονόμησης», δηλαδή με την αντικατάσταση του αριθμητικού ή του ποιοτικού στοιχείου ενός κριτηρίου με μια τιμή, π.χ. από 1 έως 4. Συνήθως με 1 χαρακτηρίζονται οι αρνητικές και με 4 οι θετικές συνέπειες στον εξεταζόμενο στόχο. Φυσικά, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε κλίμακα θεωρεί ότι είναι καλύτερα προσαρμοσμένη στην εφαρμογή του. Συνεπώς, η «πολύ καλή στράγγιση» του εδάφους (ποιοτικό στοιχείο) βαθμονομείται με 4 (μικρός κίνδυνος διάβρωσης), ενώ η «πολύ κακή στράγγιση» βαθμολογείται με 1 (μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης). Η κλίση μεταξύ 0-2% (αριθμητικό στοιχείο) βαθμονομείται με 4 (μικρός κίνδυνος διάβρωσης), ενώ η κλίση >30% βαθμονομείται με 1 (μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης). Η προκύπτουσα τιμή βαθμονόμησης (με βάση τον Πίν. 2), σώζεται σε νέο πεδίο της βάσης δεδομένων (Πίν. 3), με το όνομα π.χ. R(ated)_slope (βλ. Πίν. 3), και είναι η τιμή η οποία θα ληφθεί υπόψη για το κριτήριο κλίση κατά την επίλυση του γραμμικού πολυ-κριτηρίου σταθμισμένου μοντέλου.

**Πίνακας 1.**

*Η περιγραφική βάση δεδομένων ορισμένων κοινοτήτων του Νομού Γρεβενών*

| A/A | Parent material | Slope % | Soil depth (μ) | physiography | Human_impact | Land_use | Υψόμετρο (μ) | Προσανατολισμός κλίσεων |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Κοινότητα 1 | Φλύσχης | 12 | 25 | Άνω μέρος κλιτύων | Μέτρια | Ξερική γεωργία | 350 | Β * |
| Κοινότητα 2 | Αλλουβιακό | 4 | 120 | Επίπεδο | Έντονη | Αρδευόμενη γεωργία | 70 | όλες |
| Κοινότητα 3 | Κολλουβιακό | 28 | 30 | αναβαθμοί | έντονη | Ξερική γεωργία | 500 | ΒΔ |
| Κοινότητα...ν | | | | | | | | |

* Β= Βορράς, ΒΔ = Βορειοδυτικά κ.λπ.

**Πίνακας 2.**

*Τα κριτήρια και οι τιμές βαθμονόμησης εκάστου με βάση τις οποίες αντικαταστάθηκαν τα δεδομένα του Πίν. 1 και δημιουργήθηκε ο Πίν. 3. Στην πραγματικότητα οι τιμές βαθμονόμησης των κριτηρίων δίνονται από το χρήστη μέσα από το λογισμικό διεπαφής (GUI – Graphical User Interface)*

| Κριτήρια | Κλάσεις κριτηρίων | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Μητρικό υλικό | Αλλούβια (2)* | Ασβεστόλιθοι (4) | Φλύσχης (3) | Τριτογενείς αποθέσεις (2) | Κολλουβιακές αποθέσεις (1) | |
| Κλίση | <2% (4) | 2-7% (2) | 7-15% (3) | 15-30% (4) | > 30% (4) | |
| Βάθος εδάφους | <20 εκ. (1) | 20-50 εκ. (2) | 50-75 εκ. (3) | 75-120 εκ. (4) | >120 εκ. (4) | |
| Φυσιογραφία | Επίπεδη επιφάνεια (4) | Απότομες κορυφές (1) | Απότομες πλαγιές (1) | Άνω μέρος κλιτύων (1) | Μέσο μέρος κλιτύων (2) | Αναβαθμοί (3) |
| Ανθρωπογενής επίδραση | Ασθενής (4) | Μέτρια (3) | Έντονη (2) | Γυμνή από βλάστηση (1) | Ποολίβαδα (3) | |
| Χρήση γης | Αρδευόμενη Γεωργία σε πεδινές εκτάσεις (4) | Αρδευόμενη γεωργία σε κεκλιμένες εκτάσεις (1) | Δασοπονία για ξυλεία (2) | | Δασοπονία για αναψυχή (3) | Ξερική γεωργία (3) |
| Υψόμετρο | <50 μ. (1) | 50-150 μ. (2) | 150-300 μ. (3) | | 300-600 μ. (3) | >600 μ. (4) |
| Προσανατολισμός κλίσεων | Β (4) | ΒΔ (3) | ΒΑ (2) | | Ν (1) | ΝΔ, ΝΑ (2) |

* Ο αριθμός μέσα στην παρένθεση βαθμονομεί τα κριτήρια 1-4, όπου 1 σημαίνει ότι δημιουργούνται προϋποθέσεις ισχυρής διάβρωσης και 4 ότι ο κίνδυνος διάβρωσης είναι ελάχιστος.

**Πίνακας 3.**

*Τα επιπρόσθετα πεδία στα οποία καταχωρίζονται οι τιμές βαθμονόμησης των κριτηρίων σε ξεχωριστό πίνακα ή στη βάση δεδομένων του Πίν. 1 και τα πεδία στα οποία καταχωρίζονται οι τιμές του Δείκτη Απόφασης (DI) ή Δείκτη Αξιολόγησης (EI) και του τελικού Δείκτη Αξιολόγησης (Final Evaluation Index - EI_final) για κάθε κοινότητα, μετά την επίλυση του γραμμικού πολυ-κριτηρίου σταθμισμένου μοντέλου*

| A/A | R_ flysch | R_slope | R_Soil | R_ physiog-raphy | R_Human_ impact | R_ Land_use | Υψόμετρο | Προσανα-τολισμός | EI-1* | EI-2 | EI-final |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Κοινότητα 1** | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | | | |
| **Κοινότητα 2** | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | | | |
| **Κοινότητα 3** | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | | | |

Β. ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Με την επιλογή αυτήν ο χρήστης αποφασίζει για τον αριθμό των ομάδων κριτηρίων που θα χρησιμοποιήσει (2 στην περίπτωση του παραδείγματος) και στη συνέχεια επιλέγει από τις περιγραφικές βάσεις δεδομένων των διανυσματοποιηθέντων χαρτών τα κριτήρια εκείνα που θα εντάξει σε κάθε μία από τις προαποφασισθείσες ομάδες (Πίν. 4).

Γ. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ ΤΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΔΕΙ ΣΕ ΚΑΘΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ (ΠΙΝ. 5 ΚΑΙ 6)

Ο καθορισμός της σημαντικότητας πραγματοποιείται με βάση π.χ. την κλίμακα Satty (1977), αλλά βεβαίως μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε κλίμακα.

**Κλίμακα Saaty**

| 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| μικρής σημαντικότητας | | | | | | μεγάλης σημαντικότητας | | |

Δ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΘΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ

Ο αλγόριθμος, με την προσαρμοσμένη σε προγραμματιστικό περιβάλλον μέθοδο της *Ανάλυσης των Κυρίων Συνιστωσών* (Principal Component Analysis), υπολογίζει τα βάρη όπως περιγράφεται παρακάτω:

- αθροίζουμε τις τιμές ανά στήλη

**Πίνακας 4.**
*Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν από το χρήστη για να αποτελέσουν την 1η και τη 2η ομάδα*

| **ΟΜΑΔΑ 1**<br>**Εδαφολογικά κριτήρια** | **ΟΜΑΔΑ 2**<br>**Τοπογραφικά κριτήρια** |
|---|---|
| Μητρικό υλικό | % Κλίση |
| Ανθρωπογενής επίδραση | Υψόμετρο (μ.) |
| Βάθος εδάφους | Προσανατολισμός |
| Φυσιογραφία | |
| Χρήση γης | |

**Πίνακας 5.**
*Τιμές σημαντικότητας των κριτηρίων στην Ομάδα 1*

| **ΟΜΑΔΑ 1** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Μητρικό υλικό** | **Ανθρωπογενής επίδραση** | **Βάθος εδάφους** | **Φυσιογραφία** | **Χρήση γης** |
| **Μητρικό υλικό** | 1 | 3 | 1/5 | 1/3 | 3 |
| **Ανθρωπογενής επίδραση** | 1/3 | 1 | 1/3 | 5 | 3 |
| **Βάθος εδάφους** | 5 | 3 | 1 | 5 | 5 |
| **Φυσιογραφία** | 3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 |
| **Χρήση γης** | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Σημείωση: οι τιμές σημαντικότητας καθορίστηκαν με βάση τη γνώμη των συγγραφέων και για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

- διαιρούμε κάθε τιμή στη στήλη με το άθροισμά της
- υπολογίζουμε το μέσο όρο των νέων στηλών
- αθροίζουμε ανά γραμμή και διαιρούμε με τον αριθμό των κριτηρίων

και οι τελικές τιμές (βάρη) είναι σχεδόν παρόμοιες με αυτές που προκύπτουν από την Ανάλυση των Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis). Το σύνολο των μέσων όρων των στηλών και το άθροισμα των βαρών πρέπει να έχουν άθροισμα περίπου τη μονάδα.

Μετά την εκτέλεση της διαδικασίας αυτής προκύπτει ο Πίν. 8, ο οποίος εμπεριέχει τα βάρη των κριτηρίων της 1ης ομάδας. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται τα βάρη για τα κριτήρια της 2ης ομάδας και μεταξύ των ομάδων, με βάση τους Πίν. 6 και 7.

## Ε. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ Ή ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΜΑΔΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Μετά και τον καθορισμό των βαρών επιλύεται τα γραμμικό πολυ-κριτήριο σταθμισμένο μοντέλο για την ομάδα 1 με βάση τα δεδομένα του Πίν. 3 και τα υπο-

**Πίνακας 6.**
*Τιμές σημαντικότητας των κριτηρίων στην Ομάδα 2*

| ΟΜΑΔΑ 2 | | | |
|---|---|---|---|
| | % κλίση | Υψόμετρο | Προσανατολισμός κλίσης |
| % κλίση | 1 | 5 | 7 |
| Υψόμετρο (m) | 1/5 | 1 | 3 |
| Προσανατολισμός κλίσης | 1/7 | 1/3 | 1 |

**Πίνακας 7.**
*Τιμές σημαντικότητας των Ομάδων 1 και 2*

| | ΟΜΑΔΑ 1 | ΟΜΑΔΑ 2 |
|---|---|---|
| ΟΜΑΔΑ 1 | 1 | 3 |
| ΟΜΑΔΑ 2 | 1/3 | 1 |

**Πίνακας 8.**
*Προκύπτει από τον Πίν. 5 μετά την εφαρμογή της διαδικασίας υπολογισμού των βαρών*

| | Μητρικό υλικό | Ανθρωπογενής επίδραση | Βάθος εδάφους | Φυσιογραφία | Χρήση γης | **Βάρος παραγόντων** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Μητρικό υλικό | 0,0107 | 0,398 | 0,103 | 0,028 | 0,2 | **0,149** |
| Ανθρωπογενής επίδραση | 0,0341 | 0,132 | 0,171 | 0,428 | 0,2 | **0,194** |
| Βάθος εδάφους | 0,517 | 0,398 | 0,518 | 0,428 | 0,33 | **0,444** |
| Φυσιογραφία | 0,310 | 0,026 | 0,103 | 0,085 | 0,2 | **0,154** |
| Χρήση γης | 0,0341 | 0,044 | 0,103 | 0,028 | 0,066 | **0,059** |
| Μέσος όρος στηλών | 0,182 | 0,199 | 0,221 | 0,199 | 0,199 | **1,000** |

*Σημείωση*: Οι μικρές διαφορές στην οριζόντια άθροιση είναι θέμα στρογγυλοποίησης ώστε το άθροισμα των τιμών των βαρών να ισούται με την μονάδα.

λογισθέντα βάρη για κάθε κριτήριο (Πίν. 8):

$$EIj = \sum_{v}^{1} (Wi * Xij)/v \qquad [1]$$

όπου EIj ο Δείκτης Αξιολόγησης (Evaluation Index) για την κοινότητα j, Wi το βάρος του κριτηρίου i, Xij η τιμή βαθμονόμησης (Πίν. 3) του κριτηρίου i για την κοινότητα j, και v ο αριθμός των κριτηρίων. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο πεδίο EI-1 της βάσης δεδομένων όπως αυτή αναπαρίσταται στον Πίν. 3. Η ίδια διαδικασία επίλυσης του μοντέλου επαναλαμβάνεται και για την ομάδα κριτηρίων 2 και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο πεδίο EI-2 της βάσης δεδομένων.

Εφόσον η βαθμονόμηση κάθε μίας από τις κλάσεις στις οποίες ταξινομήθηκαν οι τιμές των κριτηρίων της κάθε ομάδας είναι στην κλίμακα 1-4, και με βάση το γεγονός ότι το άθροισμα των βαρών στο σύνολο των κριτηρίων είναι πάντα 1, τότε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα από την επίλυση του μοντέλου [1], [2] και [3] είναι 4, και το ελάχιστο είναι 1.

Με βάση τα αποτελέσματα στα πεδία EI-1 και EI-2 του Πίν. 3, η τελική ταξινόμηση κάθε εγγραφής (κοινότητας), μπορεί να κυμανθεί ως εξής:

1 : απόρριψη (μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης)

2 : χαμηλή ικανοποίηση κριτηρίων (μέτριος κίνδυνος διάβρωσης)

3 : μέτρια ικανοποίηση κριτηρίων (μικρός κίνδυνος διάβρωσης)

4 : άριστη ικανοποίηση κριτηρίων (απουσία κινδύνου διάβρωσης).

Τα αποτελέσματα μπορούν να οπτικοποιηθούν σε μορφή χάρτη (Εικ. 1), εφόσον το λογισμικό δημιουργήθηκε σε περιβάλλον ΓΣΠ (π.χ. Map Objects της ESRI).

Στη συνέχεια, και με βάση τον Πίν. 7, υπολογίζονται τα βάρη *της κάθε ομάδας κριτηρίων* και επιλύεται και πάλι το μοντέλο με τη μορφή:

$$EIj = \sum_{v}^{1} (Wi * Xij)/v \qquad [2]$$

όπου EIj ο Δείκτης Αξιολόγησης για την κοινότητα j, Wi το βάρος της ομάδας i, Xij η τιμή του Δείκτη Αξιολόγησης (EI-1, EI-2 – Πίν. 3) της ομάδας i της κοινότητας j, και v είναι ο αριθμός των ομάδων. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο πεδίο EI-3 της βάσης δεδομένων όπως αυτή αναπαρίσταται στον Πίν. 3, και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων φαίνεται στην Εικ. 1.

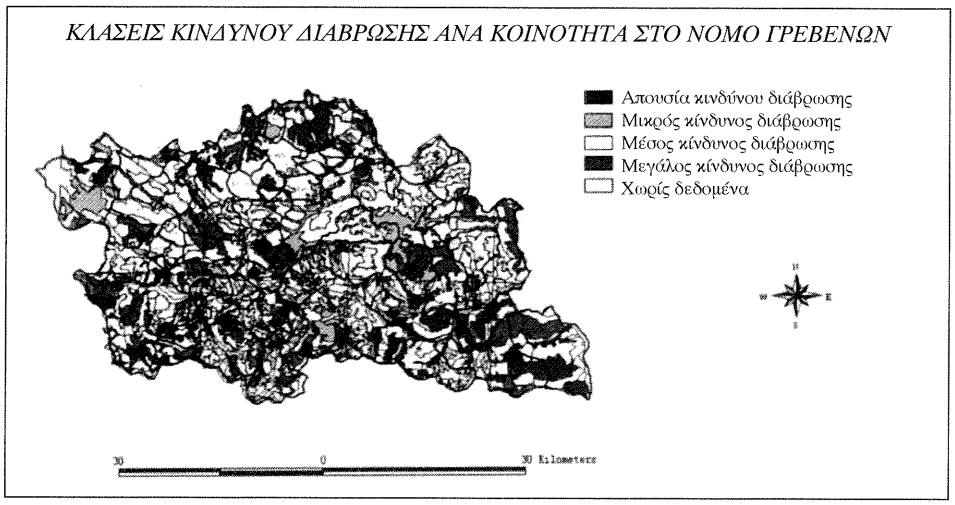
Είναι γνωστό ότι οι στόχοι ενός μοντέλου είναι να βοηθήσει στη λήψη μιας απόφασης μέσα στα παρακάτω πλαίσια (Carver 1991):

α) Τα κριτήρια είναι ισοδύναμης σημασίας (βάρους).

β) Τα κριτήρια δεν είναι ισοδύναμης σημασίας.

γ) Υπάρχει περιοριστικός παράγοντας.

Στην περίπτωση των *κριτηρίων ισοδύναμης σημασίας* και στους Πίν. 5 και 6 ως τιμή σημαντικότητας μεταξύ όλων των κριτηρίων καθορίζεται η μονάδα, ενώ στην περίπτωση *μη ισοδυνάμων κριτηρίων* η σημασία του κάθε κριτηρίου σε σχέση με τα άλλα καθορίζεται από το χρήστη. Η περίπτωση του *περιοριστικού κριτηρίου* σημαίνει ότι ο χρήστης καθορίζει για κάποιο κριτήριο ένα όριο πά-




**Εικόνα 1.**
*Ταξινόμηση κοινοτήτων Νομού Γρεβενών όσον αφορά τον «κίνδυνο διάβρωσης», με βάση τις Ομάδες κριτηρίων 1 και 2*

νω από το οποίο, *ανεξάρτητα των τιμών των άλλων κριτηρίων*, η εγγραφή (κοινότητα στην προκειμένη περίπτωση) βαθμολογείται με 1 ή με 4 ανάλογα με την κατεύθυνση που δίνει ο χρήστης.

**IF** περιοριστικός παράγοντας > **ή** < τεθέντος ορίου **THEN** EIj = 1 ή 4 [3]

## 3. Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος για τη δημιουργία ενός γραμμικού μοντέλου σταθμισμένων πολυκριτηρίων (χωρικών ή μη), ο οποίος παρουσιάζεται στην εργασία αυτή, μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο στο χώρο της ανάλυσης του γεωγραφικού χώρου, και ειδικά στις διαδικασίες λήψης απόφασης οι οποίες στηρίζονται σε μία ή περισσότερες ομάδες ανομοιογενών, ως προς τη φύση τους και τα μεγέθη τους, κριτηρίων.

Οι δυνατότητες προσομοίωσης τις οποίες προσδίδει στο σύστημα (με τη δυνατότητα ορισμού διαφορετικής τιμής σημασίας και κατά συνέπεια βάρους και άμεσης ανάγνωσης ή οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων) η δυνατότητα διασύνδεσης γλωσσών προγραμματισμού, όπως π.χ. της Visual Basic με την Prolog και με έμπειρα συστήματα όπως το FLEX, αυξάνει τις δυνατότητες παρέμβασης του χρήστη, μειώνει το χρόνο ανάλυσης των κριτηρίων και των σχέσεων μεταξύ αυτών και δίδει και τη δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων, όταν χρησιμοποιούνται χωρικά δεδομένα, ψηφιακοί χάρτες και ΓΣΠ. Με τον ανοικτό κώδικα ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει όποιο μοντέλο επιθυμεί, αυξάνοντας έτσι τις επιλογές και την αξιοπιστία της τελικής επιλογής και απόφασης.

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους κ.κ. Ιωάννη Μελιάδη, Ερευνητή Γ΄ του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών (ΕΘΙΑΓΕ), και Τρύφωνα Δασκαλάκη, Δασολόγο του Υπουργείου Γεωργίας, για την παροχή των διανυσματικών και περιγραφικών αρχείων του Νομού Γρεβενών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


Adam, F., Murphy, C. (1995), «Cummulative Research in DSS. A Practical Example», *Proceedings* of the 3rd European Conference on Information Systems, ECIS 95, Athens, Greece, June 1-3.

Berry, J. K. (1995), «What's in a Model?», *GIS World*, 8(1): 26-28.

Carver, S. J. (1991), «Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems», *International Journal of Geographical Information Systems*.

ESRI (1996), *Building Applications with MapObjects*, ESRI Inc.

Fischer, M. M., Nijkamp, P. (επιμ.) (1992), *Geographic Information Systems, Spatial Modelling and Policy Evaluation*, Berlin: Springer Verlag.

Fischer, M. M., Scholten, H. H., Unwin, D. (επιμ.) (1996), *Spatial Analytical Perspectives on GIS*, London: Taylor & Francis, GISDATA 4.

Fortheringham, A. S., Rogerson, P. R. (επιμ.) (1994), *Spatial Analysis and GIS*, London: Taylor & Francis.

Fortheringham, A. S., Wegener, M. (επιμ.) (2000), *Spatial Models and GIS: New Potential and New Models*, London: Taylor & Francis.

Goodchild, M. E., Parks, B. O., Steyaert, L. T. (επιμ.) (1993), *Environmental Modelling with GIS*, New York: Oxford University Press.

Kallrath, J., Wilson, J. M. (1997), *Business Optimization Using Mathematical Programming*, McMillan Press.

Κατζουράκης, Μ., Γεργατσούλης, Μ., Κόκκοτος, Σ. (1991), *Προγραμματίζοντας στη λογική*, α΄ έκδ., Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

Keen, P. G. W., Scott-Morton, M. S. (1978), *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*, Reading, MA: Addison-Wesley.

Klijn, J. A. (1995), *Hierarchical Concepts in Landscape Ecology and Its Underlying Disciplines*, Winand Starring Center for Integrated Land, Soil and Water Research, Report 100.

Συλλαίος, Γ. (1999), *Γεωγραφικό έμπειρο και πολυκριτήριο σύστημα για την ανάλυση του αστικού χώρου και την υποστήριξη λήψης απόφασης*, διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας.

Saaty, T. L. (1977), «A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures», *J. Math. Psychology*, 15: 234-281.

Volk, M. (1999), «Interactions between Landscape Balance and Land Use in the Dessau Region, Eastern Germany», *Proceedings* of the 3d Moravian Geographical Conference CONGEO 99, Brno, 6-10 September.