

## ΧΑΡΤΕΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ: ΕΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Γαλανόπουλος Δ.<sup>1</sup>, Σοϊλεμεζίδου Μ.<sup>2</sup>, Παπούλης Α.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης/Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Αθήνα

<sup>2</sup> Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών/Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπληροφορικής, Αθήνα

<sup>3</sup> Sanofi - Aventis Ελλάδα, Καλλιθέα

### Περίληψη

Τα φαινόμενα κατολίσθησης αποτελούν έναν από τους πλέον καταστροφικούς κινδύνους στο κόσμο, με επιπτώσεις όχι μόνο σε κτίρια, υποδομές ή άλλου είδους ανθρώπινη αναπτυξιακή δραστηριότητα, αλλά και στον ίδιο τον άνθρωπο προκαλώντας συχνά τραυματισμούς και θανάτους. Η μείωση ή και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων όλων των φυσικών καταστροφών και ειδικότερα των κατολισθήσεων, αποτελούν όπως είναι γνωστό στόχο της παγκόσμιας κοινότητας. Η επίτευξη του στόχου απαιτεί την εφαρμογή μεθοδολογιών πρόληψης και αντιμετώπισης που βασίζονται στις σύγχρονες μεθόδους χαρτογράφησης και ιδιαίτερα στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ). Τα ΓΣΠ είναι πλέον αδιαμφισβήτητα εργαλεία χαρτογράφησης της επικινδυνότητας και του κινδύνου κατολισθήσεων.

Η διαπίστωση ότι οι αρμόδιοι στα θέματα διαχείρισης κινδύνου και στη λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις καταστάσεων έκτακτης ανάγκης δεν είναι συνήθως εξειδικευμένοι επιστήμονες και μηχανικοί, αναδεικνύει την ανάγκη σύνταξης επιχειρησιακών χαρτών που θα είναι χρηστικοί και αναγνώσιμοι από τη πλειοψηφία των στελεχών πολιτικής προστασίας. Στη παρούσα εργασία παρουσιάζουμε μια απλή μέθοδο καθορισμού ενός δείκτη, που εκφράζει την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε φαινόμενα κατολισθήσεων. Η μέθοδος υπολογισμού βασίζεται στη χρήση δεδομένων που αφορούν τη γεωλογία, τις κλίσεις του εδάφους και τη μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής. Ο δείκτης υπολογίζεται για μεγάλες γεωγραφικές περιοχές που καθορίζονται με βάση τη διοικητική διαίρεση μιας χώρας (π.χ. Δήμοι, Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, Περιφέρειες). Οι τιμές του δείκτη κατηγοριοποιούνται σε τρεις ζώνες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας, αντίστοιχα. Η χωρική κατανομή του δείκτη παρουσιάζεται υπό τη μορφή «χάρτη επιφυλακής», όπου οι περιοχές χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας κατολίσθησης, εμφανίζονται με διαφορετική χρωματική απεικόνιση.

### LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS: A USEFUL TOOL FOR RISK MANAGERS

Galanopoulos D.<sup>1</sup>, Soilemezidou M.<sup>2</sup>, Papoulis A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ministry of Interior, Public Administration & Decentralization, General Secretariat for Civil Protection

<sup>2</sup>National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geo-environment

<sup>3</sup>Sanofi-Aventis, Greece

### Abstract

Landslide phenomena comprise one of the most disastrous natural hazards in the world with impacts that are not limited on housing, lifeline systems or other human development but occasionally regarding injuries and loss of life. The minimization and either the elimination of the consequences of all natural disasters requires prevention methodologies based on modern cartography and GIS, which are undoubtedly useful tools for hazard mapping.

The fact that disaster managers and decision makers are not usually qualified scientists

and engineers reveals the need for producing operational maps easily understood by the majority of civil protection officers. We present a simple method for determining a landslide susceptibility index by using geological, slope gradient and mean annual rainfall data. The index is determined for large geographical areas, which correspond to particular administrative levels (e.g. municipalities, prefectures, regions) of a country. The index values are classified into three groups indicating low, moderate and high landslide susceptibility, respectively. The spatial distribution of the index is illustrated in the form of a vigilance map where areas of low, moderate and high landslide susceptibility are illustrated by different colours.

**Λέξεις κλειδιά:** χάρτης επιδεκτικότητας κατολίσθησης, χάρτης επιφυλακής.

**Key words:** landslide susceptibility map, vigilance map.

## 1. Εισαγωγή

Ο γενικός όρος κατολίσθηση σύμφωνα με τη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία (Varnes, 1984; Cruden, 1991; Cruden and Varnes, 1996; Λέκκας, 2000; Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002; Αντωνίου, 2005) περιγράφει τη μετακίνηση εδαφικών ή βραχωδών μαζών λόγω διαταραχής της ισορροπίας των υλικών των πρανών. Ως γνωστό οι κατολισθήσεις έχουν συνήθως καταστροφικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, στις ανθρώπινες κατασκευές (κατοικίες, κτίρια, υποδομές) και στο περιβάλλον γενικότερα.

Η διαδικασία διαχείρισης του κινδύνου κατολίσθησης (landslide risk) περιλαμβάνει ένα σύνολο ενεργειών και αποφάσεων που έχουν σκοπό τη μείωση ή ακόμη και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων ενός τέτοιου φαινομένου σε μια περιοχή. Στα πλαίσια των ενεργειών που αφορούν στη πρόληψη του κινδύνου περιλαμβάνεται η διαδικασία ανάλυσης του κινδύνου και ειδικότερα η εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολίσθησης (landslide hazard assessment). Σύμφωνα με τους Varnes (1984) και Guzzetti et al (1999), η επικινδυνότητα κατολίσθησης (landslide hazard) ορίζεται ως η πιθανότητα να εκδηλωθεί σε συγκεκριμένο χρόνο κα τόπο ένα εν δυνάμει καταστροφικό φαινόμενο κατολίσθησης.

Τα τελευταία 30 χρόνια έγιναν σε παγκόσμιο επίπεδο (Cotecchia, 1978; Carrara, 1983; Brabb, 1984; Crozier, 1984; Hansen, 1984; Varnes, 1984; Crozier, 1986; van Westen, 1993, 1994) μεγάλες προσπάθειες για την ανάπτυξη μεθόδων που είχαν στόχο την εκτίμηση και τη χαρτογράφηση της επικινδυνότητας κατολίσθησης σε ζώνες ή αλλιώς τη ζωνοποίηση της επικινδυνότητας (hazard zonation). Στη χαρτογράφηση της επικινδυνότητας προκύπτουν περιορισμοί εννοιολογικού και επιχειρησιακού χαρακτήρα. Οι περιορισμοί αυτοί κατά τον Guzzetti et al (1999) μπορούν να ξεπεραστούν με την υιοθέτηση της άποψης ότι οι περισσότεροι χάρτες επικινδυνότητας κατολίσθησης μπορούν να χαρακτηριστούν χάρτες επιδεκτικότητας κατολίσθησης (landslide susceptibility maps).

Σύμφωνα με τους Soeters and van Westen (1996), η επιδεκτικότητα εκφράζει τη πιθανότητα εκδήλωσης μιας κατολίσθησης σε μια περιοχή εξαιτίας των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Οι συνθήκες που προκαλούν κατολίσθηση και συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με αστοχίες στα πρανή αποτελούν τους λεγόμενους παράγοντες αστάθειας (instability factors). Οι μέθοδοι για την ταξινόμηση των παραγόντων αστάθειας των πρανών και τον προσδιορισμό των διαφόρων επιπέδων επικινδυνότητας διακρίνονται σε ποιοτικές ή ποσοτικές και άμεσες ή έμμεσες όπως φαίνεται στο κατωτέρω Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση των μεθόδων ταξινόμησης των παραγόντων αστάθειας των πρυνών

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
μέθοδοι χαρτογράφησης γεωμορφολογικής επικινδυνότητας	Άμεσες - Ποιοτικές
μέθοδοι ανάλυσης καταλόγων κατολισθήσεων	Έμμεσες - Ποιοτικές
εμπειρικές μέθοδοι ή μέθοδοι δεικτών	Έμμεσες - Ποσοτικές
στατιστικές μέθοδοι	Έμμεσες - Ποσοτικές
γεωτεχνικές μέθοδοι	Έμμεσες - Ποσοτικές

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζουμε μια εμπειρική μέθοδο προσδιορισμού ενός δείκτη, που εκφράζει την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε φαινόμενα κατολισθήσης. Η γεωγραφική απεικόνιση του δείκτη γίνεται με χάρτες που τους ονομάζουμε «χάρτες επιφυλακής» (vigilance maps). Οι χάρτες αυτοί έχουν δύο πλεονεκτήματα. Η ανάγνωσή τους δεν απαιτεί εξειδικευμένη γνώση και η χρήση τους μπορεί να βοηθήσει στη λήψη μέτρων και αποφάσεων για την αντιμετώπιση του κινδύνου κατολισθήσης.

## 2. Μεθοδολογία

Η σύνταξη των χαρτών γίνεται ακολουθώντας μια απλή σχετικά μεθοδολογία η οποία περιλαμβάνει, ένα σύνολο από παραδοχές και προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολισθήσης, τη μέθοδο υπολογισμού και τέλος τη χρήση ενός ΓΣΠ για τους υπολογισμούς και τη χαρτογράφηση του δείκτη. Η μέθοδος υπολογισμού που παρουσιάζουμε βασίζεται στις γενικές αρχές των εμπειρικών μεθόδων ή μεθόδων των δεικτών που ανέπτυξαν οι Anbalagan (1992), Anbalagan and Singh (1996) και Gupta and Anbalagan (1997). Η μεθοδολογία που χρησιμοποιούμε χωρίζεται σε πέντε στάδια τα οποία περιγράφονται με συνοπτικό τρόπο ως εξής.

Στο πρώτο στάδιο επιλέγεται η γεωγραφική περιοχή για την οποία πρόκειται να υπολογιστεί ο δείκτης επιδεκτικότητας κατολισθήσης. Η επιλογή πραγματοποιείται με βάση τη διοικητική διαίρεση της χώρας (π.χ. Δήμοι, Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, Περιφέρειες). Η επιλογή αυτή καθορίζει συγχρόνως τη κλίμακα του «χάρτη επιφυλακής».

Στο δεύτερο στάδιο η επιλεγείσα περιοχή διαιρείται διαδοχικά σε ζώνες, ομαδοποιώντας τις τιμές τριών από τους κυριότερους παράγοντες αστάθειας που σχετίζονται άμεσα με τις επικρατούσες γεωλογικές, γεωμορφολογικές και υδρολογικές συνθήκες, αντίστοιχα.

Οι γεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής καθορίζονται από τις φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Σύμφωνα με το γεωτεχνικό χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), τα πετρώματα στον Ελλαδικό χώρο ανάλογα με το πόσο επιρρεπή είναι σε κατολισθήσεις, εντάσσονται σε τρεις ζώνες επικινδυνότητας (χαμηλή, μέση και υψηλή).

Οι γεωμορφολογικές συνθήκες στον ελλαδικό χώρο ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα (Zerere, 2002) μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις ζώνες κλίσεων εδάφους, <5%, 5-15%, 15-30% και >30%, αντίστοιχα.

Οι υδρολογικές συνθήκες μιας περιοχής έχουν άμεση εξάρτηση από το ύψος της βροχόπτωσης, καθώς οι έντονες ή παρατεταμένες βροχοπτώσεις συμβάλλουν στον υπερκορεσμό του υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα τη πρόκληση κατολισθήσης (Koukis et al., 1997; Nikolaou et al., 1997). Η μέση ετήσια βροχόπτωση στον ελλαδικό χώρο μπορεί να ομαδοποιηθεί σε πέντε ζώνες, <400mm, 400-600mm, 600-800mm, 800-1200mm και >1200mm, αντίστοιχα.

Μετά τη διαίρεση της περιοχής σε ζώνες υπολογίζεται το εμβαδόν της κάθε ζώνης με τη βοήθεια του ΓΣΠ ή άλλης προσεγγιστικής μεθόδου. Τα εμβαδά εκφράζονται σε ποσοστά επί τοις εκατό του συνολικού εμβαδού της περιοχής ενδιαφέροντος.

Στο τρίτο στάδιο υπολογίζονται τρεις παράμετροι,  $g$ ,  $s$  και  $r$ , που εκφράζουν ποσοτικά τη συνεισφορά του είδους των γεωλογικών σχηματισμών, των κλίσεων του εδάφους και της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην εκτίμηση του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης. Ο υπολογισμός των  $g$ ,  $s$  και  $r$  γίνεται με τις μαθηματικές σχέσεις (1)-(3) ως ακολούθως:

$$g = \sum_{i=1}^3 i \cdot \frac{G_i}{100} \quad (1) \quad s = \sum_{j=1}^4 j \cdot \frac{S_j}{100} \quad (2) \quad r = \sum_{k=1}^5 k \cdot \frac{R_k}{100} \quad (3)$$

όπου,  $G_i$  τα ποσοστά των εμβαδών των ζωνών των γεωλογικών σχηματισμών,  $S_j$  τα εμβαδά των ζωνών κλίσεων εδάφους και  $R_k$  τα εμβαδά των ζωνών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, αντίστοιχα. Οι συντελεστές  $i$ ,  $j$  και  $k$  συμβολίζουν τους βαθμούς που αποδίδονται στις ζώνες κάθε παράγοντα αστάθειας και σύμφωνα με το Πίνακα 2 είναι ακέραιοι αριθμοί. Οι κλίμακες βαθμονόμησης των ζωνών ακολουθούν την αύξηση των παραμέτρων που εκφράζουν τους τρεις παράγοντες αστάθειας.

Πίνακας 2. Τρόπος βαθμονόμησης των ζωνών των τριών παραγόντων αστάθειας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ					
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ		ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ		ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	
ΖΩΝΗ	i (βαθμοί)	ΖΩΝΗ	j (βαθμοί)	ΖΩΝΗ	k (βαθμ)
ΧΑΜΗΛΗ	1	<5 (%)	1	<400 (mm)	1
ΜΕΣΗ	2	5-15 (%)	2	400-600 (mm)	2
ΥΨΗΛΗ	3	15-30 (%)	3	600-800 (mm)	3
		>30 (%)	4	800-1200 (mm)	4
				>1200 (mm)	5

Στο τέταρτο στάδιο υπολογίζεται ο δείκτης επιδεκτικότητας κατολίσθησης LSI (Landslide Susceptibility Index) με τη κατωτέρω μαθηματική σχέση (4).

$$LSI = w_g \cdot g + w_s \cdot s + w_r \cdot r \quad (4)$$

Σύμφωνα με την (4) ο δείκτης είναι άθροισμα τριών όρων, όπου κάθε όρος αποτελεί ένα γινόμενο δύο παραγόντων. Οι παράγοντες των γινομένων είναι οι παράμετροι  $g$ ,  $s$  και  $r$  και οι συντελεστές βαρύτητας τους,  $w_g$ ,  $w_s$  και  $w_r$ , αντίστοιχα. Η διαδικασία που περιλαμβάνει τα ανωτέρω τέσσερα στάδια μπορεί να επαναληφθεί για ένα οποιοδήποτε αριθμό αντίστοιχων γεωγραφικών περιοχών με αποτέλεσμα τον υπολογισμό ισάριθμων τιμών του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης.

Στο πέμπτο στάδιο γίνεται σύγκριση μεταξύ των τιμών του δείκτη προκειμένου να βρεθεί η μικρότερη, η οποία θεωρείται τιμή «υποβάθρου» και τελικά αφαιρείται από τη τιμή κάθε δείκτη με σκοπό τη δημιουργία μιας νέας κλίμακας με αρχή το μηδέν. Στο στάδιο αυτό οι τιμές του δείκτη κατηγοριοποιούνται σε τρεις ζώνες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας, αντίστοιχα. Η χωρική κατανομή του δείκτη παρουσιάζεται υπό τη μορφή «χάρτη επιφυλακής», όπου οι περιοχές χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας κατολίσθησης, εμφανίζονται με τρεις διαφορετικές αποχρώσεις του γκριζου χρώματος.

### 3. Αποτελέσματα

Η μέθοδος που προτείνουμε εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίθησης όλων των νομαρχιακών αυτοδιοικήσεων της χώρας και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με υπάρχοντα στοιχεία του ΙΓΜΕ (Γεωτεχνικός Χάρτης της Ελλάδας, 1993) για οικισμούς που έχουν υποστεί καταστροφές από κατολισθητικά φαινόμενα. Στους Πίνακες 3, 4, 5 και 6 δίνονται ως παράδειγμα τα αποτελέσματα της μεθόδου για τη περίπτωση των τεσσάρων νομαρχιακών αυτοδιοικήσεων της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Ειδικότερα, στους Πίνακες 3, 4 και 5 παρουσιάζονται αναλυτικά τα εμβαδά των ζωνών επικινδυνότητας των γεωλογικών σχηματισμών, των κλίσεων εδάφους και της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, αντίστοιχα. Στο Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού των παραμέτρων  $g$ ,  $s$  και  $r$  και του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίθησης LSI. Όπως φαίνεται στο Πίνακα 6, ο υπολογισμός του LSI έγινε θεωρώντας ισοβαρή τη συνεισφορά των τριών παραγόντων αστάθειας του Πίνακα 2 και ως εκ τούτου στη σχέση (4) ήταν  $w_g = w_s = w_r = 1$ .

Πίνακας 3. Εμβαδά ζωνών γεωλογικών σχηματισμών επιρρεπών σε κατολίθησης σε ποσοστό %

ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΖΩΝΕΣ		
	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΗ	ΥΨΗΛΗ
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	64,00	24,00	32,00
ΛΑΡΙΣΗΣ	37,00	50,00	13,00
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	33,00	61,00	6,00
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	52,00	34,00	14,00

Πίνακας 4. Εμβαδά ζωνών κλίσεων εδάφους σε ποσοστό %

ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΖΩΝΕΣ			
	<5 (%)	5-15 (%)	15-30 (%)	>30 (%)
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	58,90	14,50	23,70	2,90
ΛΑΡΙΣΗΣ	61,30	26,20	12,00	0,50
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	46,80	36,20	16,40	0,60
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	38,90	29,00	28,40	3,70

Πίνακας 5. Εμβαδά ζωνών μέσης ετήσιας βροχόπτωσης σε ποσοστό %

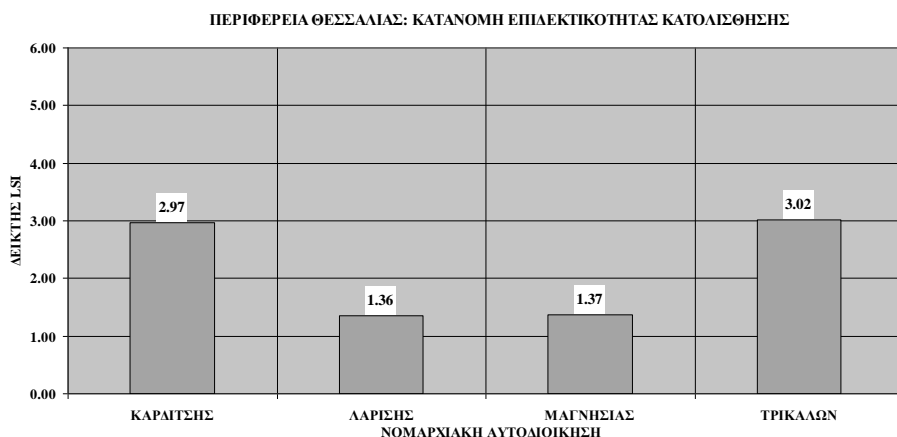
ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΖΩΝΕΣ				
	<400 (mm)	400-600 (mm)	600-800 (mm)	800-1200 (mm)	>1200 (mm)
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	0,00	27,10	15,20	20,00	37,70
ΛΑΡΙΣΗΣ	0,00	58,10	27,90	12,00	2,00
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	6,30	58,70	21,00	13,50	0,50
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	0,00	15,60	21,70	17,10	45,60

Πίνακας 6. Υπολογισμός δείκτη επιδεκτικότητας κατολίθησης (LSI)

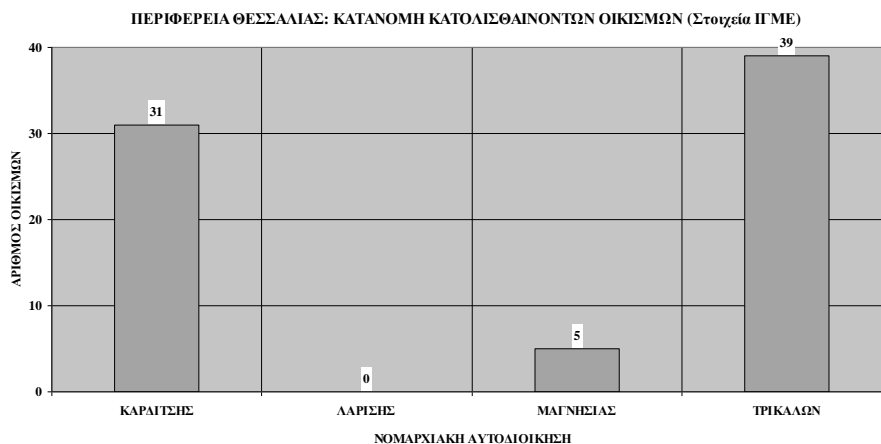
ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΟΥΣ						LSI
	$g$	$w_g$	$s$	$w_s$	$r$	$w_r$	
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	2,08	1,00	1,71	1,00	3,68	1,00	7,47
ΛΑΡΙΣΗΣ	1,76	1,00	1,52	1,00	2,58	1,00	5,86
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	1,73	1,00	1,71	1,00	2,43	1,00	5,87
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	1,62	1,00	1,97	1,00	3,93	1,00	7,52

Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται διαδοχικά η κατανομή του LSI και του αριθμού των οικισμών που έχουν υποστεί καταστροφές από κατολισθητικά φαινόμενα στις νομαρχιακές αυτοδιοικήσεις της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Οι τιμές του LSI στο Σχήμα 1 έχουν προκύψει μετά από αφαίρεση από τις αντίστοιχες τιμές του Πίνακα 6 μιας τιμής «υποβάθρου» που υπολογίστηκε για όλο τον ελλαδικό χώρο ότι είναι 4,50.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή του LSI για τη Περιφέρεια Θεσσαλίας όπου οι περιοχές χαμηλής (0-1,5), μεσαίας (1,5-3,0) και υψηλής (>3,0) επιδεκτικότητας κατολίσθησης, εμφανίζονται με τρεις διαφορετικές αποχρώσεις του γκριζου χρώματος.



Σχήμα 1. Κατανομή του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης στη Περιφέρεια Θεσσαλίας



Σχήμα 2. Κατανομή του αριθμού των κατολισθαινόντων οικισμών στη Περιφέρεια Θεσσαλίας

#### 4. Συμπεράσματα

Η σύγκριση των Σχημάτων 1 και 2 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για τη περίπτωση της Περιφέρειας Θεσσαλίας η κατανομή του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης LSI κατά νομαρχιακή αυτοδιοίκηση συσχετίζεται σε ποσοστό 100% με την αντίστοιχη κατανομή των κατολισθαινόντων οικισμών που προκύπτει από τα στοιχεία του ΙΓΜΕ (Γεωτεχνικός Χάρτης

της Ελλάδας, 1993). Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για όλο τον ελλαδικό χώρο, η σύγκριση πραγματοποιήθηκε και για τις υπόλοιπες δώδεκα περιφέρειες της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης ομαδοποιήθηκαν ως προς βαθμό συσχέτισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ και συνοψίζονται κατωτέρω στο Πίνακα 7.

Πίνακας 7. Βαθμός συσχέτισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ %)
4 / 13	30,8	100
3 / 13	23,0	75
1/ 13	7,7	67
2/ 13	15,4	50
1 / 13	7,7	43
2 / 13	15,4	0
8 / 13	62,0	≥ 67

Από τα στοιχεία του πίνακα φαίνεται ότι για το 62% των περιφερειών της Ελλάδας ο βαθμός συσχέτισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ είναι  $\geq 67\%$ . Η τελευταία παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εμπειρική μέθοδος που παρουσιάσαμε παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την εκτίμηση της επιδεκτικότητας κατολίσθησης για γεωγραφικές περιοχές που καθορίζονται με βάση τη διοικητική διαίρεση μιας χώρας (π.χ. Δήμοι, Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, Περιφέρειες).

Σε ότι αφορά το «χάρτη επιφυλακής» που προτάθηκε για τη γεωγραφική απεικόνιση της κατανομής του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης (Σχ.3) εξάγονται δύο συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι ο χάρτης έχει πολύ απλή μορφή με αποτέλεσμα η ανάγνωσή του να μην απαιτεί εξειδικευμένη γνώση. Το δεύτερο είναι ότι η πληροφορία που παρέχει είναι επαρκής για τη διαφοροποίηση των γεωγραφικών περιοχών ως προς την επιδεκτικότητα κατολίσθησης με αποτέλεσμα η χρήση τους να μπορεί να βοηθήσει στη λήψη μέτρων και αποφάσεων για την αντιμετώπιση του κινδύνου κατολίσθησης από τις αρμόδιες αρχές.



Σχήμα3. Γεωγραφική κατανομή του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης στη Περιφέρεια Θεσσαλίας σε κλίμακα 1:1.450.000.

## Βιβλιογραφία

Αντωνίου, Α., 2005: Σημειώσεις του μαθήματος Εφαρμογές Τεχνικής Γεωλογίας στη Επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Γεωτεχνικός Χάρτης της Ελλάδας, 1993: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)

Κούκης, Γ. και Ν. Σαμπατάκης, 2002: Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Λέκκας, Ε., 2000: Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Εκδόσεις Access Pre-Press, Αθήνα.

Φερεντίνου, Μ., 2004: Εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σε περιβάλλον γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Anbalagan, R., 1992: Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain, Proc. 6th Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2, 861-868.

Anbalagan, R. and B. Singh, 1996: Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains – a case study from Kumaun Himalaya, India, Eng. Geol., 43, 237-246.

Brabb, E.E., 1984: Innovative approaches to landslide hazard mapping. 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 1, 307-324.

Carrara, A., 1983: A multivariate model for landslide hazard evaluation. Mathematical Geology, 15, 403-426.

Cotecchia, V., 1978: Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements. Bul. of the Int. Ass. of Engineering Geology 17, 5-37.

Crozier, M.J., 1984: Field assessment of slope instability: in "Slope Instability". Eds D. Brunnsden, D.B., Prior. Wiley, New York, 103-142.

Crozier, M.J., 1986: Landslides: Causes, Consequences and Environment. Croom Helm Pub, London.

Cruden, D.M., 1991: A Simple definition of a landslide. Bul. of the Int. Ass. of Engineering Geology, 43, 27-29.

Cruden, D.M. and D.J. Varnes, 1996: Landslide types and processes: in "Landslides Investigation and Mitigation", Eds A.K. Turner and R.L. Schuster. Transportation Research Board Special, Report 247, National Academy Press, Washington, DC.

Ercanoglu, M., 2005: Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 5, 979-992.

Gupta, P. and R. Anbalagan. 1997: Slope stability of Tehri Dam reservoir Area, India, using landslide hazard zonation (LHZ) mapping. Quarterly J. of Eng.Geol., 30, 27-36.

Guzzetti, F., A. Carrara, M. Cardinali and P. Reichenbach, 1999: Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.

Hansen, A., 1984: Landslide hazard analysis: in "Slope Instability". Eds D. Brunnsden, D.B., Prior. Wiley, Chichester, 523-602.

Koukis, G., D. Rozos and I. Hatzinakos, 1997: Relationship between rainfall and landslides in the formations of Achaia County, Greece, in "Engineering Geology and the Environment", Eds. Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras, Balkema, Rotterdam.

Nikolaou, N., G. Koukis and N. Lambrakis, 1997: Relationship between rainfall and



landslides in the formations of Achaia County, Greece, in "Engineering Geology and the Environment", Eds. Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras, Balkema, Rotterdam.

Soeters, R. and C. J., Van Westen, 1996: Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. in "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds A.K., Turner and R.L. Schuster, Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C.

Varnes, D.J., 1984: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, IAEG Commission on Landslides and Other Mass-Movements, UNESCO Press, Paris, France.

van Westen, C.J., 1993: Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation. ITC Publication, 15, ITC, Enschede, The Netherlands

van Westen, C.J., 1994: GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Colombian Andes. Eds. M.F., Price, D.I., Heywood, Taylor and Francis, London, 135-165.

Zerere, J.L., 2002: Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). Natural Hazards and Earth System Sciences, 2, 73-82.