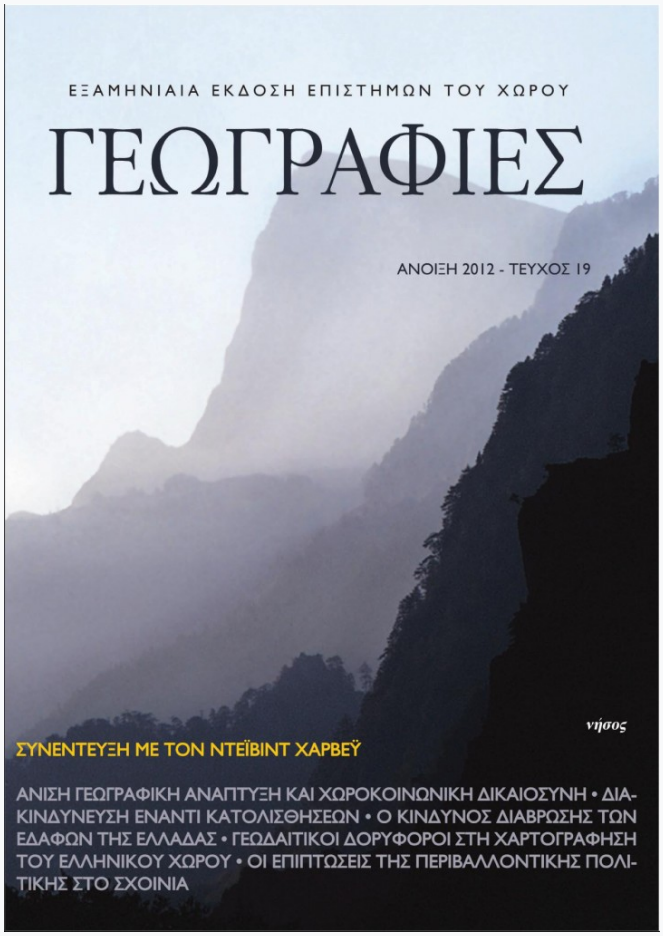
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Γεωγραφίες

Αρ. 19 (2012)

Γεωγραφίες, Τεύχος 19, 2012



ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Μαρία Φερεντίνου, Χρίστος Χαλκιάς

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 18/08/2025 16:36:38

ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Μαρία Φερεντίνου,[1] Χρίστος Χαλκιάς[2]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ
Η χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς οι κατολισθήσεις αποτελούν μια από τις σοβαρότερες φυσικές καταστροφές προκαλώντας ολοένα και περισσότερες απώλειες σε παγκόσμια κλίμακα. Ο εντοπισμός των ζωνών μεγάλης επιδεκτικότητας σε περιφερειακή κλίμακα καθώς και η διερεύνηση της ανθρώπινης παρουσίας σε αυτές τις ζώνες αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για τη διαχείριση της διακινδύνευσης έναντι των κατολισθήσεων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια μεθοδολογία προσδιορισμού της επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης η οποία εφαρμόζει τη θεωρία της Ασαφούς Αναλυτικής Ιεράρχησης, με αξιοποίηση της γνώσης εμπειρογνωμόνων και πεδίο εφαρμογής την περιοχή της Πελοποννήσου. Αρχικά αναπτύσεται η μεθοδολογία που εφαρμόσθηκε και στη συνέχεια γίνεται αποτίμηση της χωρικής κατανομής της επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης σύμφωνα με τον παραγόμενο χάρτη. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι ένα σημαντικό τμήμα (~ 5% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης) τοποθετείται στη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας η οποία εντοπίζεται κυρίως στη βόρεια και δυτική-κεντροδυτική Πελοπόννησο. Επιπρόσθετα επιχειρείται η ανίχνευση της ανθρώπινης παρουσίας (υψηλή πυκνότητα πληθυσμού) και βασικών υποδομών (κύριο οδικό δίκτυο) σε αυτή τη ζώνη υψηλής επιδεκτικότητας. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί στο να συνεισφέρει στην αποτίμηση της διακινδύνευσης έναντι κατολίσθησης σε περιφερειακή κλίμακα καθώς η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί –με τις κατάλληλες τροποποιήσεις– για το σύνολο των περιφερειών της χώρας.

Preliminary landslide risk assessment based on landslide susceptibility mapping - Application at regional scale

Maria Ferentinou, Christos Chalkias

ABSTRACT
The mapping of landslide susceptibility at a regional scale is crucial, as landslides constitute one of the most severe natural hazards. The identification of the zones with high landslide susceptibility along with human presence in these zones is indispensable for landside risk management. In this paper a methodology for landslide susceptibility assessment which applies the theory of Fuzzy Analytic Hierarchy, is presented and tested in Peloponnese, Greece. The results of the analysis depict that a significant percentage of Peloponnese (~ 5% of the total area) is within "very high susceptibility" zone. These areas are located mainly in the north, west and central west part of the peninsula. Additionally, human presence is investigated in high and very high susceptibility zones, through population density, and b netsic road network. The present paper aims at contributing in landslide risk assessment evaluation, as the proposed methodology could be applied to meet regional conditions, in all Greece.

1. Εισαγωγή

Αύξηση της αστικής τρωτότητας σε φυσικούς κινδύνους

Η γρήγορη αύξηση του πληθυσμού παγκοσμίως οδηγεί στην όλο και μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού σε αστικές περιοχές. Αυτή η αύξηση και η δημογραφική πίεση οδηγεί στη γρήγορη και συνεχή αστικοποίηση. Σήμερα, σχεδόν το ½ του παγκόσμιου πληθυσμού (3 δις. το 2003), κατοικεί σε πόλεις, και αναμένεται ότι μέχρι το 2030 θα αυξηθεί κατά 2 δις. (UNDP 2004). Συχνά η αύξηση του πληθυσμού σχετίζεται με σημαντική αύξηση των ορίων του αστικού ιστού. Πολλές πόλεις βρίσκονται σε περιοχές οι οποίες απειλούνται από φυσικούς κινδύνους, όπως σεισμοί,

1. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελλάδα.
2. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελλάδα.

πλημμύρες, τυφώνες, κατολισθήσεις, ηφαιστειακές εκρήξεις κ.λπ. Η καταγραφή των φυσικών κινδύνων σε παγκόσμια κλίμακα παρουσιάζει μια εκθετική αύξηση των καταστροφών και των συνεπειών τους (EM-DAT 2003, MunichRe 2004). Σε σύγκριση με τη δεκαετία του 1960 υπάρχει μια μεγάλη αύξηση σε καταστροφές, σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σχετική αύξηση του πληθυσμού. Η κλιματική αλλαγή, έχει ως άμεση συνέπεια τα αυξημένα πλημμυρικά φαινόμενα στην παράκτια ζώνη λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, την αυξημένη εκδήλωση κυκλώνων και τυφώνων πέρα από τα όρια των τροπικών ζωνών, την όλο και πιο συχνή παρουσία κυμάτων καύσωνα, καθώς και την αύξηση της έντασης των φαινομένων El Nino και La Nina (IPCC 2001, IFRC 2003). Η μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων οδηγεί σταδιακά και στην αύξηση των κατολισθήσεων. Περίπου το 50% των μεγάλων πόλεων παγκοσμίως βρίσκονται είτε σε περιοχές σεισμικά ενεργών τεκτονικών ζωνών, είτε σε ζώνες δράσης τροπικών κυκλώνων. Τα παραπάνω εμφανίζονται στις ανεπτυγμένες και στις αναπτυσσόμενες χώρες, έχουν όμως πολύ μεγαλύτερη έκταση στις αναπτυσσόμενες χώρες, στις οποίες εκτιμάται ότι οι απώλειες και οι καταστροφές λόγω φυσικών κινδύνων είναι 20 φορές μεγαλύτερες (Kreimer κ.ά. 2003). Εκτός από την αύξηση στην ένταση των κινδύνων, η αύξηση των καταστροφών οφείλεται σε σημαντικό βαθμό και στην αύξηση της τρωτότητας (vulnerability) των αστικών κοινωνιών. Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 450 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 1 εκατομύριο. Πολλές από αυτές αναπτύσσονται ραγδαία, συχνά χωρίς σχεδιασμό, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την έλλειψη χώρου. Συνεπώς υπάρχει αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού και παράλληλη κάλυψη περιοχών ακατάλληλων για δόμηση εκτεθειμένων σε συνθήκες κινδύνου (π.χ. περιοχές με απότομες κλίσεις, περιοχές ενεργών πλημυρικών πεδίων, περιοχές ενεργών ηφαιστείων κ.ά). Ως αποτέλεσμα αυτής της δημογραφικής πίεσης, η ανάπτυξη και κατασκευή έργων και υποδομών οδηγεί συχνά σε επεμβάσεις, σε περιοχές επιδεκτικές στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Επιπρόσθετα η ανθρώπινη παρουσία είναι συχνή σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους συχνά σε περιοχές με απότομες κλίσεις, πλαγιές λόφων, παράκτιες περιοχές, ή σε περιοχές ευπαθείς σε διάβρωση κλπ. Οι αστοχίες εδαφών λόγω κατολισθήσεων είναι ένας από τους πιο σημαντικούς φυσικούς κινδύνους που αναμένεται να θέσει σε κίνδυνο αρκετές από τις νεότερες κατασκευές.

Παράλληλα, με την κατασκευή κτιριακών έργων, σε ζώνες κατοικίας, αναπτύσεται και μια σειρά έργα υποδομής όπως οδικό δίκτυο, δίκτυο πεζοδρομίων, δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης, και δίκτυα κοινής ωφέλειας (Schwab κ.ά. 2005). Ιδιαίτερα η κατασκευή των δικτύων απαιτεί μεγάλες επεμβάσεις (εκσκαφές, διαμορφώσεις, τεχνητές επιχώσεις, κ.λπ.). Όλες αυτές οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις συνήθως συνεισφέρουν στην αστάθεια των πρανών.

Οι τοπικές αρχές, ως υπεύθυνες για την προστασία των πολιτών από φυσικούς κινδύνους, στο πλαίσιο της διοικητικής τους διαίρεσης, υιοθετούν τη σύγχρονη αντίληψη για την διαχείριση καταστροφών η οποία είναι προσανατολισμένη στην πρόληψη και τον σχεδιασμό με στόχο την μείωση της αστικής τρωτότητας. Στο πλαίσιο του προληπτικού σχεδιασμού ακολουθείται μια αλληλουχία ενεργειών, όπως αυτή της χαρτογράφησης του κινδύνου, του προσδιορισμού της τρωτότητας, και τελικά στα πλαίσια της χαρτογράφησης της διακινδύνευσης και της ανάλυσης σεναρίων.

Η επιτυχής χρήση των νέων τεχνολογιών οι οποίες βασίζονται στη γεωπληροφορική αποτελεί σήμερα σημαντικό αρωγό για την εκτίμηση των συνθηκών που επικρατούν σε ένα γεωπεριβάλλον το οποίο απειλείται ή και καταστρέφεται. Το ενδιαφέρον των γεωεπιστημόνων στρέφεται στην ανάπτυξη μοντέλων για την εκτίμηση της χωρικής διασποράς των φυσικών κινδύνων, την διαχείριση της διακινδύνευσης και στην συνέχεια την υιοθέτηση μέτρων αντιμετώπισης. Από πολλούς ερευνητές έχει προταθεί μια σειρά μεθοδολογικών προσεγγίσεων προκειμένου να προσδιοριστεί ο κίνδυνος έναντι κατολισθήσεων. Βασική επιδίωξη είναι η παραγωγή χαρτών οι οποίοι ζωνοποιούν τις περιοχές υπό διερεύνηση ανάλογα με την ένταση του αναμενόμενου κινδύνου σε κατολίσθηση. Ο βαθμός αυτός προσδιορίζεται σύμφωνα με τις γεωλογικές, γεωμορφολογικές, μορφομετρικές και γεωτεχνικές συνθήκες ανεξάρτητα από την κλίμακα μελέτης. Ο όρος επιδεκτικότητα (susceptibility) σε εκδήλωση κατολίσθησης σχετίζεται άμεσα με το φυσικό κίνδυνο και ορίζεται ως η πιθανότητα εμφάνισης ενός κατολισθητικού συμβάντος (Dai κ.ά. 2002). Υπάρχει σημαντική σχετική βιβλιογραφία (Carrara 1991, Leroi 1996, Soeters και Van Western 1996, Aleotti και Chowdhury 1999, Guzzetti κ.ά. 1999, Van Western 2003, Lee και Jones 2004), όπου δίνεται εκτενής παρουσίαση των μεθόδων. Οι ποιοτικές μέθοδοι χαρτογράφησης (Corominas κ.ά. 1990, Hearn 1995, Pellegrini και Surian 1996) προσδιορίζουν τον κίνδυνο των κατολισθήσεων μελετώντας την κατανομή παλαιότερων συμβάντων κατολισθήσεων, με άμεσες (άμεση χαρτογράφηση) ή έμμεσες μεθόδους (λογικά αναλυτικά μοντέλα). Έχουν προταθεί ποσοτικές μέθοδοι χαρτογράφησης του κινδύνου έναντι κατολίσθησης, ως πλέον αντικειμενικές. Στις μεθόδους αυτές συμπεριλαμβάνονται μέθοδοι διμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (Chang και Kim 2004, Jurko κ.ά. 2006), ή πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (Gorsevski κ.ά. 2006, Santacana κ.ά. 2003, Ayalew και Yamagishi 2005, Zhu και Huang 2006, Pan κ.ά. 2008, Jiménez-Perálvarez 2009) οι οποίες συνδυάζουν ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων και παράγουν μια σχέση πρόβλεψης νέων συμβάντων συσχετίζοντας τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που εμπλέκονται και τη θέση συμβάντων κατολισθήσεων. Στις ποσοστικές μεθόδους περιλαμβάνονται οι ντετερμινιστικές (Van Westen και Terlien 1996, Miller και Sias 1998, Sakellariou και Ferentinou 2001, Thiebes κ.ά. 2007, Magliulo κ.ά. 2008) και οι πιθανολογικές (Jibson κ.ά. 2000, Dussauge-Peisser κ.ά. 2002, Pathak κ.ά. 2006) γεωτεχνικές μέθοδοι. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν επίσης μια μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε θέματα εκτίμησης της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων (Ercanoglu και Gokceoglu 2001, Ermini κ.ά. 2005, Melchiore κ.ά. 2006, Ferentinou και Sakellariou 2005). Σύμφωνα με αυτήν, κατασκευάζεται ένας υπολογιστικός μηχανισμός ο οποίος δημιουργεί ένα χάρτη απεικονίζοντας πολυπαραμετρικά δεδομένα από έναν πολυπαραμετρικό χώρο πληροφορίας σε έναν άλλο, χρησιμοποιώντας έναν πληθυσμό συμβάντων κατολισθήσεων.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα των κατολισθήσεων είναι αρκετά έντονο, συχνά όμως δεν αναδεικνύεται ως ιδιαίτερος φυσικός κίνδυνος δεδομένου ότι καλύπτεται πολλές φορές όσον αφορά στις δυσμενείς επιπτώσεις του από άλλους φυσικούς κινδύνους (π.χ. σεισμούς, πλημμύρες, διαβρώσεις) ή εντάσσεται στο πλαίσιο μελέτης, κατασκευής και λειτουργίας των διάφορων τεχνικών έργων ή άλλων σχεδιασμών. Η Ελλάδα εμφανίζεται να βρίσκεται στη ζώνη μεσαίου κινδύνου

(Nadim κ.ά. 2006). Προηγούμενες εργασίες στον ελληνικό χώρο εστιάζουν στη συσχέτιση των κατολισθήσεων με την υποκείμενη γεωλογική-γεωτεκτονική δομή και με τεχνικά έργα (βλ., μεταξύ άλλων, Κούκης 1980, Κούκης και Ρόζος 1982, Μαρίνος κ.ά. 1986), ενώ υπάρχουν και ερευνητικές προσπάθειες σε περιφερειακή και εθνική κλίμακα (Ζιούρκας 1989, Κουκής και Ζιούρκας 1989, Gournellos κ.ά. 2006, Ladas κ.ά. 2007).

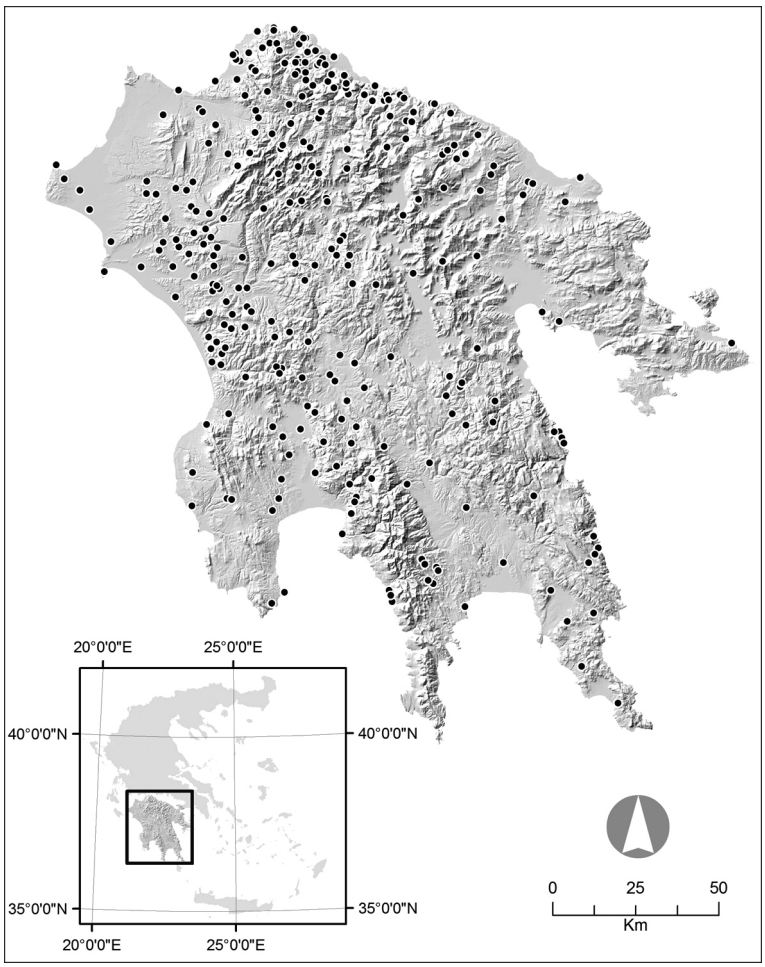
Η διακινδύνευση από κάποια φυσική καταστροφή, επομένως και από την εκδήλωση κατολίσθησης, εξαρτάται από την επικινδυνότητα του φαινομένου, την πιθανότητα δηλαδή κινδύνου, την τρωτότητα του χώρου και την έκθεσή του στο φαινόμενο (Hervas 2007). Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η αποτίμηση της διακινδύνευσης από κατολίσθησεις στην περιοχή μελέτης η οποία υλοποιήσθηκε κυρίως με τον υπολογισμό της επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης (πιθανότητα εμφάνισης) και δευτερευτόντως με την προκαταρτική αξιολόγηση της έκθεσης στο φαινόμενο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση μιας μεθοδολογίας για την χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων σε μέση κλίμακα. Έτσι, με την προτεινόμενη μεθοδολογία, υιοθετείται ένα λογικό αναλυτικό μοντέλο ασαφούς αναλυτικής ιεράρχησης το οποίο εφαρμόζεται στην Πελοπόννησο, για την αποτίμηση της επιδεκτικότητας, σε πρώτο επίπεδο και της διακινδύνευσης σε δεύτερο, εξετάζοντας τα στοιχεία υπό κίνδυνο, όπως η ανθρώπινη παρουσία και το κύριο οδικό δίκτυο.

2. Περιοχή Μελέτης – Δεδομένα

Περιοχή Μελέτης

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται στην Πελοπόννησο, η οποία αποτελεί τη μεγαλύτερη χερσόνησο στην Ελλάδα. Διοικητικά η χερσόνησος αυτή περιλαμβάνει μία από τις περιφέρειες της Ελλάδας (περιφέρεια Πελοποννήσου) και τμήμα της περιφέρειας Δ. Ελλάδας. Βρίσκεται στο νότιο άκρο της Ελλάδας (Εικ. 1), και συνδέεται με τη Στερεά Ελλάδα μέσο του Ισθμού της Κορίνθου. Η συνολική επιφάνεια της Πελοποννήσου είναι 21.439 km^2 και ο πληθυσμός της αποτελείται από 1.086.935 κατοίκους σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. Διοικητικά υποδιαιρείται σε επτά νομούς (Αργολίδας, Αρκαδίας, Ηλίας, Κορινθίας, Λακωνίας και Μεσσηνίας).

Η Πελοπόννησος είναι μια περιοχή η οποία έχει πληγεί ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών (σεισμοί, κατολισθήσεις, πυρκαγιές). Υψηλές βροχοπτώσεις προκάλεσαν πολλές ροές και ολισθήσεις κορημάτων καθώς και λασποροές στη βόρεια (Stournaras κ.ά. 1998, Rozos κ.ά. 2009) και δυτική Πελοπόννησο, ειδικά στο Νομό Ηλείας, ο οποίος έχει πληγεί και απο πυρκαγιές, το καλοκαίρι του 2007. Οι σεισμοί έχουν επίσης προκαλέσει την εκδήλωση συμβάντων κατολισθήσεων πρόσφατα κυρίως στη βόρεια και βορειοδυτική Πελοπόννησο (Papathanasiou 2010), αλλά και παλαιότερα (Koukouvelas και Doutsos 1996), όπου η εκδήλωση των φαινομένων κατολισθήσεων συνδέεται με την παρουσία μεγάλων –σεισμικά ενεργών– τεκτονικών δομών. Θεωρώντας τις γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, οι αστοχίες βραχωδών ή εδαφικών πρανών είναι ένας απο



Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης και δεδομένα συμβάντων κατολισθήσεων

τους σημαντικούς φυσικούς κινδύνους για την προστασία των πολιτών αλλά και για το σχεδιασμό και τη διαχείριση της διακινδύνευσης. Το κλίμα στην περιοχή είναι μεσογειακού τύπου με ζεστό και ξηρό καλοκαίρι μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου, και υγρό φθινόπωρο, χειμώνα και άνοιξη. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 339 mm έως 1655 mm και παρουσιάζει χωρική μεταβολή με μέγιστες τιμές στο δυτικό τμήμα της Πελοποννήσου. Η γεωμορφολογία της Πελοποννήσου είναι σύνθετη, με ορεινό ανάγλυφο στο εσωτερικό, γενικά ηπιότερο στις παράκτιες περιοχές. Συχνά όμως διακόπτεται από απότομες πλαγιές στα νότια, ενώ χαρακτηριστικές είναι οι λιμνοθάλασσες στα δυτικά και οι απόκρημνες ακτές στα νοτιοανατολικά. Το όρος Ταΰγετος είναι το ψηλότερο με υψόμετρο 2409 m. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι καλά ανεπτυγμένο, και ελέγχεται επίσης από την ρηξιγενή τεκτονική. Γεωλογικά, το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καλύπτεται από τις ζώνες Γαβρόβου-Τριπόλεως και Ωλονού-Πίνδου, δευτερευόντως δε από την Ιόνιο και την Πελαγονική ζώνη. Πρόσφατα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς καλύπτουν τα αλπικά πετρώματα. Η περιοχή της Πελοποννήσου ανήκει σε μια ενεργή τεκτονικά ζώνη, στην οποία η παραμόρφωση εκφράζεται μέσω δομών ρηξιγενούς και πτυχογόνου τεκτονικής. Η μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση κυμαίνεται από 0.05 m/sec^2 σε 3.95 m/sec^2, με τις μέγιστες τιμές να έχουν καταγραφεί στη δυτική Πελοπόννησο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η περιοχή έρευνας αποτελεί μια σύνθετη φυσιογραφική

ενότητα στην οποία το σύνολο των παραγόντων που συνεισφέρουν στην εκδήλωση των κατολιθήσεων παρουσιάζουν μεγάλη χωρική μεταβολή. Μεγάλο μέρος της Πελοποννήσου καλύπτεται από αγροτικές και ημιαγροτικές χρήσεις. Στην παράκτια ζώνη επικρατεί η αστική χρήση κυρίως στο βόρειο και δυτικό τμήμα της χερσονήσου, ενώ σημαντική είναι και η δασοκάλυψη κυρίως στο κεντρικό τμήμα.

Προετοιμασία των δεδομένων παραγόντων που σχετίζονται με την εκδήλωση κατολισθήσεων

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες οι οποίοι συνεισφέρουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η κάλυψη γης, η γεωλογία, η βροχόπτωση, η μέγιστη αναμενόμενη σεισμικη επιτάχυνση, το υψόμετρο, η κλίση (όπου αναφέρεται παρακάτω θα εννοείται η μορφολογική κλίση) και ο προσανατολισμός (Πίνακας 1). Αναφορικά με τη δημιουργία του αρχείου των σημαντικών κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης αξιοποιήθηκαν στοιχεία από προηγούμενες έρευνες (Φερεντίνου 2004, Gournellos κ.ά. 2006) καθώς και ο κατάλογος κατολισθήσεων του ΙΓΜΕ με χρονική περίοδο αναφοράς 1950-2003 (ΙΓΜΕ 2010). Τα στοιχεία αυτά αφορούν μεγάλα συμβάντα σε εθνικό επίπεδο των οποίων η καταγραφή συνδέεται με αστοχίες στο οδικό δίκτυο ή σε κάποιον οικισμό (Koukis κ.ά. 1997). Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, η ανθρώπινη παρουσία και οι δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτήν αποτελούν κύριους παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο των κατολισθήσεων.

Επίσης καθοριστική είναι και η επίδραση της βλάστησης. Σε πολλές περιπτώσεις ευνοεί την ευστάθεια των πρανών συμβάλλοντας στην αποστράγγιση μέρους του νερού μέσω του ριζικού συστήματος των δέντρων και περιορίζοντας τη διαβρωτική δράση των επιφανειακών υδάτων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η παρουσία της βλάστησης μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες. Στα απότομα πρανή από ημισυνεκτικά ή και συνεκτικά πετρώματα με έντονες και δυσμενή προσανατολισμού διακλάσεις η απολέπισή τους π.χ. επιταχύνεται με τη δημιουργία από το ριζικό σύστημα εφελκυστικών τάσεων κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας. Γίνεται κατανοητό λοιπόν πως η γνώση των χρήσεων γης στη περιοχή μελέτης κρίνεται απαραίτητη. Ο χάρτης χρήσεων γης αντλήθηκε από το Corine Land Cover, και η περιοχή μελέτης κατηγοριοποιήθηκε σε τέσσερεις βασικές κατηγορίες χρήσεων γης (Heyman κ.ά. 1994).

Το επίπεδο πληροφορίας που συνδέεται με τη γεωλογική πληροφορία προήλθε από τον γεωλογικό χάρτη του (κλίμακα 1:500.000, ΙΓΜΕ 1983). Η πλειονότητα των υφιστάμενων κατολισθήσεων συνδέεται κυρίως με τους σχηματισμούς του φλύσχη και της μεταβατικής σειράς προς το φλύσχη, τα νεογενή και τα κορήματα κλιτύος.

Οι δονήσεις-μικροδονήσεις που προκαλούνται από σεισμούς δημιουργούν εντατική κατάσταση στα πρανή και ιδιαίτερα τα βραχώδη με ισχυρές κλίσεις και δυσμενή προσανατολισμό των επιπέδων ασυνεχειών. Παρατηρήσεις υπαίθρου και καταγραφές δείχνουν ότι οι κατολισθήσεις και η ρωγμάτωση φυσικών και τεχνητών πρανών σε ισχυρούς σεισμούς είναι συχνά φαινόμενα.

Για την εκτίμηση της μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής επιτάχυνσης και την ενσωμάτωσή της στην ανάλυση ως έναυσμα κίνησης υιοθετήθηκε ο χάρτης με την αναμενόμενη τιμή της μέγιστης κορυφαίας οριζόντιας εδαφικής επιτάχυν-

σης για πιθανότητα υπερβάσεως 10 % σε 50 έτη ή περίοδο επανάληψης της τάξεως των 450 ετών (όπως παρουσιάζεται στους Γκαζέτας και Μπουκουβάλας 1992).

Τα επιφανειακά και υπόγεια, ύδατα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση κατολισθήσεων με τον κορεσμό και τη φόρτιση των γεωυλικών, τη δημιουργία υδροστατικών πιέσεων, την αυξομείωση της πίεσης των πόρων, την εσωτερική διάβρωση τις υποσκαφές, τις διαβρωτικές-αποσαθρωτικές διεργασίες, τη χαλάρωση των πετρωμάτων κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας με τη συνεχή διεύρυνση και μεταβολή του όγκου στην περίπτωση δημιουργίας παγετού κ.λπ. Σε μεγάλο ποσοστό οι έντονες βροχοπτώσεις δίνουν το έναυσμα κατολισθήσεων. Χρησιμοποιήθηκε ο βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας (με βάση στοιχεία της ΔΕΗ για το διάστημα από 1950-1974 από Κουκής και Σαμπατακάκης 2007).

Το μορφολογικό ανάγλυφο μιας περιοχής είναι αποτέλεσμα των γεωλογικών και κλιματικών διεργασιών που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν. Τα δεδομένα αναγλύφου που χρησιμοποιήθηκαν είναι δεδομένα Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), για την παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλλου Εδάφους (ΨΜΕ). Τα δεδομένα υψομέτρου είναι χρήσιμα για την ταξινόμηση του τοπικού αναγλύφου και την διάκριση σημείων μέγιστων και ελάχιστων υψών (Ayalew και Yamagishi 2005). Τα περισσότερα συμβάντα κατολισθήσεων εκδηλώθηκαν σε υψόμετρα μικρότερα των 880 m. Πολλοί ερευνητές διατυπώνουν ότι μεταξύ των παραγόντων που είναι ισχυροί για την εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων, η κλίση είναι η πιο σημαντική (Guzzetti κ.ά. 1999, Lee και Min 2001). Συνεπώς η κλίση των πρανών είναι από τους παράγοντες που εμπεριέχονται στην διαδικασία δημιουργίας χαρτών εκτίμησης επιδεκτικότητας (Duman κ.ά. 2005). Το πλήθος των συμβάντων κατολισθήσεων στην περιοχή έρευνας, σύμφωνα με τις υφιστάμενες καταγραφές, εκδηλώνεται σε περιοχές μέσης και μεγάλης κλίσης. Ο προσανατολισμός των πρανών παίζει καθοριστικό ρόλο στο είδος της βλάστησης που αναπτύσσεται σ' αυτά, μιας και από αυτόν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που δέχονται. Έτσι τα πρανή με νοτιοδυτικό προσανατολισμό (στο βόρειο ημισφαίριο) είναι αυτά που ευνοούνται από την ηλιακή ακτινοβολία, σε σχέση με τα βόρειου προσανατολισμού, όσον αφορά στην ανάπτυξη της βλάστησης και της καλλιέργειας. Δεδομένου ότι το είδος της βλάστησης ενός πρανούς επηρεάζει το φαινόμενο της κατολίσθησης (μεταξύ άλλων) είναι φανερό

Πίνακας 1. Παράγοντες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση διακινδύνευσης

Επίπεδα πληροφορίας	*Παράμετρος*	*Πηγή δεδομένων*	*Χωρική δομή*
Τοπογραφικός χάρτης	Υψόμετρο	Δεδομένα SRTM	Ψηφιδωτή
	Γωνία κλίσης	Δεδομένα από ΨΜΕ	Ψηφιδωτή
	Προσανατολισμός	Δεδομένα από ΨΜΕ	Ψηφιδωτή
Μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση	Μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση	Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής επιτάχυνσης, (1992) ΤΕΕ	Διανυσματική
Χάρτης κατανομής βροχοπτώσεων	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής	ΔΕΗ (1950-1974)	Διανυσματική
Γεωλογικός Χάρτης	Λιθολογία	Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας (ΙΓΜΕ)	Διανυσματική
Χάρτης Κάλυψης	Γης Κάλυψη Γης	Corine Χρήσεις Γης	Διανυσματική

πως η απεικόνιση του αζιμούθιου είναι απαραίτητη. Πολλές κατολισθήσεις στην Πελοπόννησο εκδηλώνονται σε πρανή με νότιο και δυτικό προσανατολισμό.

3. Χαρτογράφηση επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης

Η μέθοδος της ασαφούς αναλυτικής ιεράρχησης

Η μέθοδος αναλυτικής ιεράρχησης (AI) προτάθηκε από τον T.L. Saaty κυρίως για να υποστηρίξει πολύπλοκα προβλήματα απόφασης (Saaty 1980). Η μέθοδος AI σχεδιάστηκε για υποβοηθήσει τους επιφορτισμένους με την λήψη αποφάσεων να συνδυάσουν ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια. Έχει εφαρμοστεί σε θέματα βιομηχανίας, οικολογίας, περιβαλλοντικά θέματα, κοινωνιολογικά (μεταξύ άλλων Brent κ.ά. 2007, Dey και Ramcharan 2008, Gorsevski κ.ά. 2006, Juan κ.ά. 2004, Sredjevic κ.ά. 2008) αλλα και σε θέματα εκτίμησης κινδύνου κατολισθήσεων (Intarawichian και Dasananda 2010). Τα δύο βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι αφενός δεν μπορεί να διαχειριστεί την ασάφεια των δεδομένων (Cheng και Mon 1994) και αφετέρου έχει μια αυστηρή κλίμακα μετρήσεων (Mikhailov 2003). Στη συνέχεια προτάθηκε η Ασαφής Αναλυτική Ιεράρχηση (AAI), που συνδυάζει την AI με ασαφή σύνολα (Zadeh 1965), για να ενσωματώσει στη μέθοδο την ασάφεια ως προς τις επιλογές (Saaty 1977, Banai 1993). Στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκε αυτή η μέθοδος για την ανάπτυξη του χάρτη εκτίμησης επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων στην Πελοπόννησο, σύμφωνα με την γνώμη τριών εμπειρογνωμόνων εκπεφρασμένη μέσω ασαφών αριθμών.

Στην AI ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα: (α) δημιουργία ιεραρχικής δομής, (β) κανονικοποίηση των ιδιοτήτων κάθε παραμέτρου, (γ) σύγκριση αυτών των παραμέτρων ανά ζεύγη και προσδιορισμός των συντελεστών βαρύτητας και (δ) σταθμισμένη άθροιση των παραμέτρων για τη δημιουργία του τελικού αποτελέσματος.

Για την ιεραρχική δομή ακολουθείται η πρόταση του Saaty (1980), έτσι όπως διατυπώθηκε από τον Malczewski (1999). Η ιεραρχική αυτή δομή έχει ως αρχικό επίπεδο (επιδιωκόμενο στόχο) την αποτίμηση της επιδεκτικότητας, η οποία δομείται από κριτήρια, τα οποία με τη σειρά τους δομούνται από κλάσεις-κατηγορίες. Τέλος οι κλάσεις αυτές καταγράφονται στα στοιχεία χωρικής αναφοράς (χωρικές μονάδες) τα οποία τοποθετούνται στο κατώτερο επίπεδο της ιεραρχίας (Boroushaki και Malczewski 2008).

Η στάθμιση των κλάσεων για κάθε παράμετρο στηρίζεται σε σύγκρισή τους ανά ζεύγη. Έστω ότι υπάρχουν n κατηγορίες σε πρώτο επίπεδο υλοποιείται μια σύγκριση n×n ζευγών και δημιουργείται το αντίστοιχο μητρώο **M**, βλ. Εξ.(1).

$$\mathrm{M} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Οπου $a_{i,j}$ προκύπτει απο την σύγκριση της σχετικής βαρύτητας των δύο παραμέτρων σύμφωνα πάντα με την ιεραρχία που υιοθετείται. Κάθε σύγκριση

απαντά σε δύο ερωτήματα προσδιορίζοντας τη σχετική βαρύτητα της μιας μεταβλητής ως προς την άλλη. Στην ΑΙ χρησιμοποιείται μια κλίμακα: {9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9} (Πίνακας 2). Η τιμή 9 αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη βαρύτητα σε σχέση με την παράμετρο ή την κατηγορία με την οποία συγκρίνεται, η τιμή 1 αντιστοιχεί σε ίδια βαρύτητα ενώ η τιμή 1/9 αντιστοιχεί στη μικρότερη σχετική βαρύτητα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας οι απόψεις των εμπειρογνωμόνων κωδικοποιήθηκαν μέσω των ασαφών συνόλων για κάθε κατηγορία και κάθε παράγοντα.

Πίνακας 2. Ασαφείς μεταβλητές και ασαφείς αριθμοί

Ασαφείς μεταβλητές (επιδεκτικότητα)	Ασαφείς αριθμοί	Ασαφής συνάρτηση
Πολύ υψηλή (ΠΥ)	(7,10,10,10)	
Υψηλή (Υ)	(5,7,7,10)	
Μέση (Μ)	(2,5,5,8)	
Χαμηλή (Χ)	(0,3,3,5)	
Πολύ χαμηλή (ΠΧ)	(0,0,0,3)	

Στους Πίνακες 3 και 4 καταγράφεται η γνώμη των εμπειρογνωμόνων καθώς και τα βάρη των παραγόντων και των κατηγοριών των παραγόντων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4, οι παράγοντες βροχόπτωση, κλίση, γεωλογία, μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση, αναγνωρίστηκαν ως αυτοί με τη μεγαλύτερη βαρύτητα σύμφωνα με την προσέγγιση ΑΑΙ.

Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει απο το άθροισμα των σταθμισμένων παραγόντων, όπου κάθε παράγοντας πολλαπλασιάζεται με το σταθμισμένο βάρος (Εξ. 2) (Malczewski 1999),

$$S_{FAHP} = \sum_{i=1}^{n} w_i \times f_i \qquad (2)$$

όπου S_{FAHP} είναι η τελική τιμή για κάθε pixel, w_i είναι το βάρος για κάθε παράγοντα και f_i είναι η σταθμισμένη τιμή για κάθε κατηγορία παράγοντα. Ο τελικός χάρτης εκτίμησης επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων απεικονίζει τη χωρική κατανομή αυτής της τιμής στη χερσόννησο της Πελοποννήσου.

Πίνακας 3. Κατηγορίες, επιδεκτικότητας σε κατολίσθηση, ασαφείς τιμές και βάρη AAI για τις παραμέτρους που σχετίζονται με την ανάλυση κατολισθήσεων.

Παράμετροι	*Κατηγορίες*	*(Εμπειρογνώμονες), ΑσαφήςΤιμή*	*Βάρη AAI*
Κάλυψη Γης	Τεχνητές επιφάνειες	(Υ,Μ,Μ)	0.37
	Αγροτικές εκτάσεις	(Μ,Υ, Υ)	0.41
	Δασικές/Φυσικές εκτάσεις	(Χ,Χ,Μ)	0.22
Γεωλογία	Φυλλίτες/ γνεύσιοι	(Χ,Μ,Χ)	0.08
	Ασβεστόλιθοι	(Χ,Χ,Χ)	0.06
	Σχιστόλιθοι	(Μ,Μ,Μ)	0.11
	Νεογενή	(Υ,ΠΥ,Μ)	0.16
	Τεταρογενή	(Υ,ΠΥ,Μ)	0.16
	Φλύσχης	(ΠΥ,ΠΥ,ΠΥ)	0.22
	Μεταβατική σειρά	(Μ,Χ,Μ)	0.10
Βροχόπτωση	<750 mm	(Χ,ΠΧ,Μ)	0.09
	750 - 880 mm	(Μ,Χ,Υ)	0.16
	881 - 990 mm	(Μ,Μ, Υ)	0.19
	991 - 1170 mm	(Υ,Υ,ΠΥ)	0.26
	>1170 mm	(ΠΥ,ΠΥ,ΠΥ)	0.30
Μέγιστη αναμενόμενη σεισμικη επιτάχυνση	<2.20 m/s^2	(Χ,ΠΧ, Χ)	0.08
	2.20-2.50 m/s^2	(Χ,Χ,Χ)	0.10
	2.51-2.90 m/s^2	(Μ,Μ,Μ)	0.19
	2.91-3.10 m/s^2	(Υ,Υ, Υ)	0.28
	>3.10 m/s^2	(ΠΥ,ΠΥ,ΠΥ)	0.35
Υψόμετρο	<132 m	(Χ,ΠΧ,Χ)	0.08
	132-330 m	(Χ,Χ,Μ)	0.14
	331-600 m	(Υ,Μ,Μ)	0.23
	601-880 m	(Μ,Υ,Υ)	0.26
	>880 m	(Μ,ΠΥ,Υ)	0.29
Κλίση	<2º	(ΠΧ,ΠΧ, Χ)	0.06
	2-6º	(Χ,Χ,Χ)	0.11
	7-10º	(Μ,Μ,Μ)	0.19
	11-15º	(Υ,Υ,Υ)	0.28
	>15º	(ΠΥ,ΠΥ,ΠΥ)	0.36
Διεύθυνση κλίσης	Επίπεδη	(Χ,ΠΧ,Μ)	0.11
	Βόρεια	(Υ,Υ,Μ)	0.24
	Ανατολική	(Μ,Μ,Μ)	0.19
	Νότια	(Μ,Μ,Μ)	0.19
	Δυτική	(Υ,Υ,Υ)	0.27

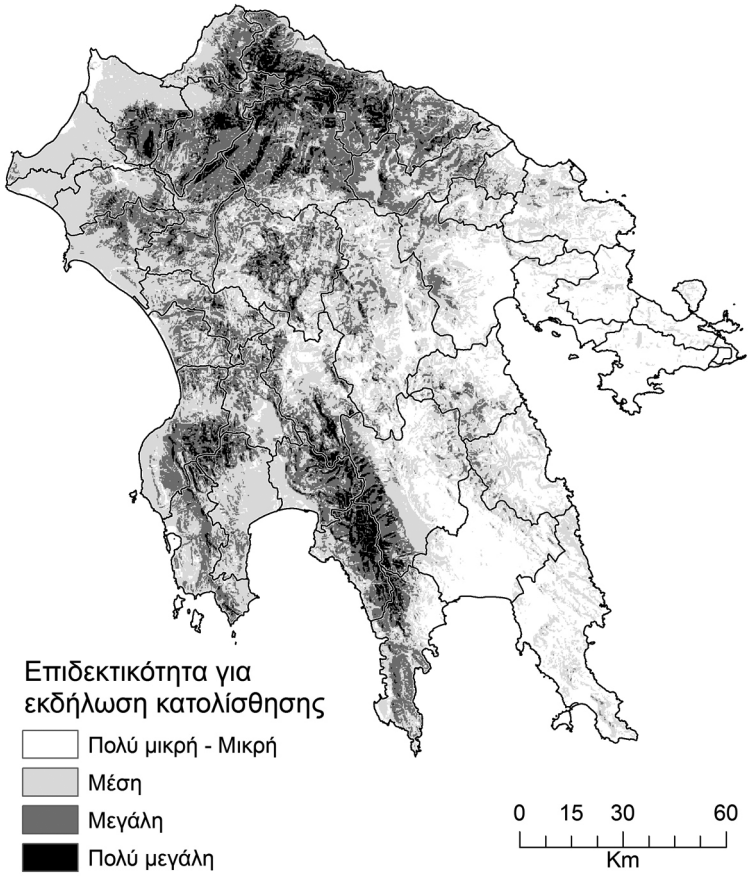
ΠΧ: Πολύ χαμηλή, Χ: Χαμηλή, Μ: Μεσαία, Υ: Υψηλή, ΠΥ: Πολύ υψηλή. AAI: Ασαφής αναλυτική ιεράρχηση.

Πίνακας 4. Βάρη για κάθε παράμετρο σύμφωνα με την αξιολόγηση των έμπειρογνωμόνων και την Ασαφή Αναλυτική Ιεράρχηση (ΑΑΙ)

Παράμετροι	*Βαρύτητα παραμέτρων σύμφωνα με την αξιολόγηση εμπειρογνωμόνων*	*Βάρη παραμέτρων σύμφωνα με την ΑΑΙ*
Κάλυψη γης	(Μ,Μ,Υ)	0.11
Γεωλογία	(ΠΥ, ΠΥ,Υ)	0.17
Βροχοπτωση	(ΠΥ, ΠΥ,ΠΥ)	0.18
Μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση	(Υ,Υ, Υ)	0.15
Υψόμετρο	(Μ, Χ,Υ)	0.09
Κλίση	(ΠΥ,ΠΥ,ΠΥ)	0.18
Διεύθυνση κλίσης	(Υ,Μ,Μ)	0.12

ΠΧ: Πολύ χαμηλή, Χ: Χαμηλή, Μ: Μεσαία, Υ: Υψηλή, ΠΥ: Πολύ υψηλή.

Η διαβάθμιση της επιδεκτικότητας έναντι του κινδύνου κατολισθήσεων για την Πελοπόννησο όπως υπολογίστηκε μέσω της μεθόδου ΑΑΙ απεικονίζεται στην Εικόνα 2. Για τον έλεγχο και την επικύρωση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποιήση του χάρτη εκτίμησης κινδύνου κατολισθήσεων σε κατηγορίες πολύ μικρής έως μικρής, μέσης, μεγάλης και πολύ μεγάλης επιδεκτικότητας, χρη-



Εικόνα 2. Χάρτης ζωνών επιδεκτικότητας κατολισθήσεων στην Πελοπόννησο.

σιμοποιώντας κατηγοριοποίηση με βάση την τυπική απόκλιση (Ayalew κ.ά. 2005). Η υπέρθεση του χάρτη με τις καταγραφές συμβάντων κατολισθήσεων έδειξε ότι ~ 70% από αυτά βρίσκονται στις ζώνες που έχουν χαρακτηριστεί ως ζώνες μεγάλης και πολύ μεγάλης επιδεκτικότητας από το προτεινόμενο μοντέλο. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ένα μοντέλο με ικανοποιητική ακρίβεια στα πλαίσια της κλίμακας εργασίας. Φαίνεται δε ότι η αξιοποίηση των εμπειρογνωμόνων βοηθά στην εξομάλυνση ασαφειών ή και ελλείψεων στα δεδομένα τα οποία οφείλονται στην κλίμακα εργασίας.

4. Γεωγραφική κατανομή της διακινδύνευσης

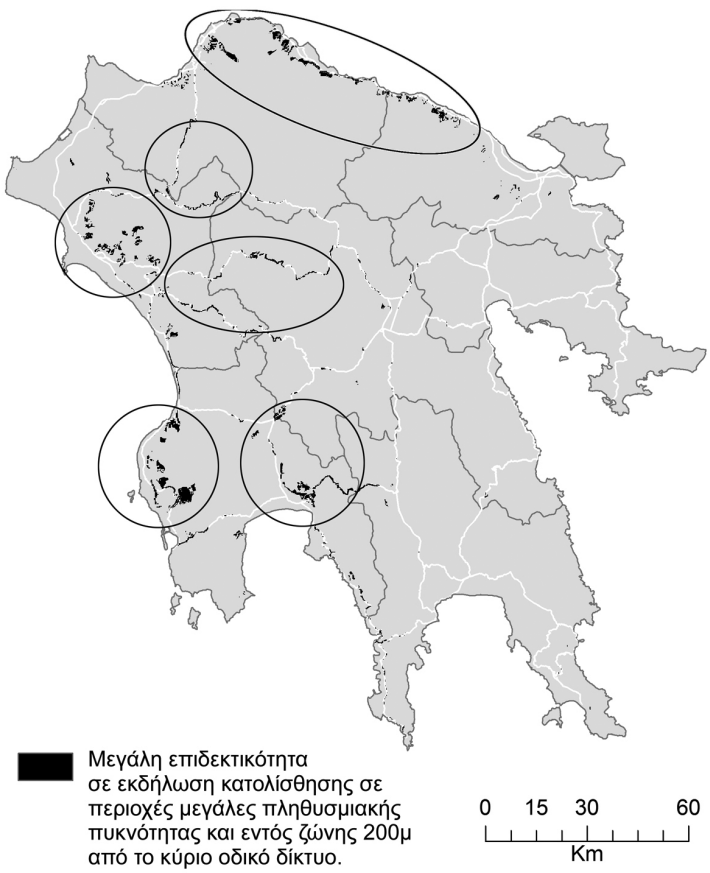
Σύμφωνα με τον ορισμό των Ηνωμένων Εθνών (UNDRO 1979), η διακινδύνευση προσδιορίζεται από τρείς παράγοντες: τον κίνδυνο (πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού φαινομένου), τα στοιχεία υπό κίνδυνο και την τρωτότητα. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια προκαταρκτική ανάλυση διακινδύνευσης, με στόχο να αναδείξει κύριες τάσεις περισσότερο από το να εκτιμήσει με ακρίβεια τη διακινδύνευση σε κάθε θέση στην περιοχή έρευνας. Η διακινδύνευση αναφέρεται στις αναμενόμενες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές αλλά και σε οικονομικές καταστροφές, ενώ η τρωτότητα αναφέρεται στο βαθμό βλάβης των στοιχείων υπό κίνδυνο (Coburn κ.ά. 1991, Glade 2003). Πολλοί συγγραφείς έχουν ενσωματώσει την έννοια της τρωτότητας στην ανάλυση διακινδύνευσης έναντι κατολισθήσεων (Brabb 1984, Hearn και Griffith 2001, Leone κ.ά. 1996, Leroi 1996). Πρόκειται όμως για μια παράμετρο η οποία είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί καθώς οι κατολισθήσεις είναι πολύπλοκες διεργασίες και μπορεί να έχουν πολλές και σε διαφορετικά επίπεδα συνέπειες. Το πρώτο βήμα για την προκαταρκτική αποτίμηση της διακινδύνευσης είναι η επιλογή και η κατηγοριοποίηση των στοιχείων που τελούν υπό κίνδυνο. Τα στοιχεία υπό κίνδυνο υποδιαιρούνται σε γενικά κτίρια, υποδομές μεταφορών, πληθυσμιακή πυκνότητα και σε δίκτυα κοινής ωφέλειας (αγωγοί κ.λπ.) (Humbert 1976, DRM 1990, Kong 2002).

Κατά τη διαδικασία διερεύνησης της χωρικής κατανομής του βαθμού επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων στην Πελοπόννησο και της προκαταρκτικής αποτίμησης της διακινδύνευσης, έγινε επιλογή, συλλογή και επεξεργασία των κατάλληλων χωρικών δεδομένων για τον προσδιορισμό των στοιχείων υπό κίνδυνο. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι η πυκνότητα του πληθυσμού, όπως αυτή προέκυψε σύμφωνα με την απογραφή του 2001, και το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν τα διοικητικά όρια των δήμων Καλλικράτη και τα όρια των πυρόπληκτων δήμων από τις μεγαπυρκαγιές του 2007.

Τα πληθυσμιακά στοιχεία αφορούν τα δημοτικά διαμερίσματα και κατηγοριοποιήθηκαν στις παρακάτω κατηγορίες πυκνότητας: πολύ μικρή (0-10 κάτοικοι / km^2), μικρή (10-20 κάτοικοι / km^2), μέση (20-100 κάτοικοι / km^2) μεγάλη (100-200 κάτοικοι / km^2) και πολύ μεγάλη (< 200 κάτοικοι / km^2). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούν στο εθνικό και στο κύριο επαρχιακό οδικό δίκτυο. Επιπρόσθετα, κρίθηκε σκόπιμο να προσδιοριστούν τα όρια των πυρόπληκτων δήμων και να εισαχθούν στην προκαταρκτική ανάλυση διακινδύνευσης και οι εκτάσεις που έχουν πληγεί από τις πυρκαγιές του 2007 και οι οποίες είναι εξαιρετικά ευπαθείς σε μελλοντικά κατολισθητικά φαινόμενα.

Από το χάρτη ζωνών επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης, φαίνεται ότι οι τιμές πολύ υψηλής επιδεκτικότητας συγκεντρώνονται κυρίως στο βόρειο παράκτιο, στο βορειοδυτικό και στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοπονήσου, με μικρούς θύλακες υψηλής επιδεκτικότητας στο εσωτερικό και κεντρικό τμήμα. Συνολικά, το 44,2% (10850 km^2) της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από μεσαία έως πολύ μεγάλη επιδεκτικότητα. Η ζώνη πολύ μεγάλης επιδεκτκότητας καλύπτει 1355 km^2 της Πελοποννήσου (~ 5% του συνόλου της έκτασης της περιοχής μελέτης).

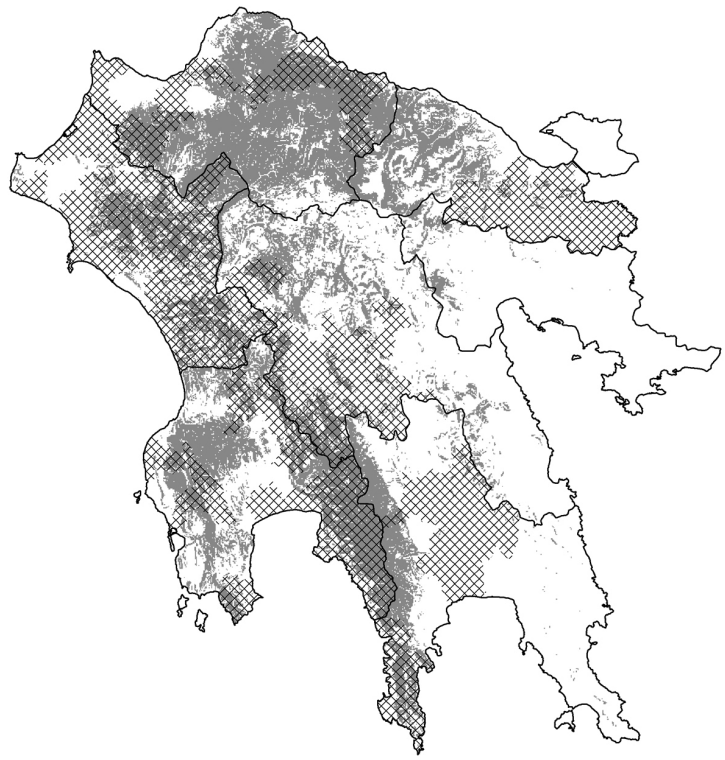
Οι δήμοι που εμφανίζουν μεγάλη έκταση σε ζώνες πολύ μεγάλης επικινδυνότητας βρίσκονται στη βόρεια Πελοπόννησο και εντοπίζονται κυρίως στην παράκτια ζώνη του Κορινθιακού (Πάτρα-Ξυλόκαστρο). Απαντούν επίσης στα σύνορα Αχαΐας, Ηλείας και Αρκαδίας, αλλά και στην ορεινή Αχαΐα. Στη νότια και νοτιοδυτική Πελοπόννησο αφορούν κυρίως τη δυτική και ανατολική Μεσσηνία και τις δυτικές παρυφές του Ταΰγετου. Επίσης εντοπίζονται μικροί θύλακες στο εσωτερικό της Πελοποννήσου όπου παρατηρούνται υψηλές τιμές επιδεκτικότητας.



Εικόνα 3. Χάρτης περιοχών με μεγάλη επιδεκτικότητα σε κατολίσθηση οι οποίες χαρακτηρίζονται και από μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα > από 100 κάτοικοι ανά km^2 ή βρίσκονται εντός ζώνης 200m από το κύριο οδικό δίκτυο

Σύμφωνα με το χάρτη (Εικόνα 3) ο οποίος είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμένου τριπλού κριτηρίου (μεγάλη επιδεκτικότητα σε εκδήλωση κατολίσθησης ΚΑΙ περιοχές μεγάλης πληθυσμιακής πυκνότητας ΚΑΙ εγγύτητα στο κύριο οδικό δίκτυο), υπολογίστηκε ότι η έκταση αυτών των περιοχών είναι 285.890 στρέμματα. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται στο οδικό δίκτυο Κορίνθου-Πατρών, Πατρών-Τρίπολης (τμήμα από Πάτρα έως Καλάβρυτα), Πύργου-Τρίπολης και Πύργου-Μεγαλόπολης, Καλαμάτας-Σπάρτης και Καλαμάτας- Πύλου. Επίσης,

σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης εντοπίζονται δύο ζώνες με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα και μεγάλη επιδεκτικότητα σε εκδήλωση κατολίσθησης στην Ηλεία και την Μεσσηνία.



Εικόνα 4. Χάρτης περιοχών με μεγάλη επιδεκτικότητα σε κατολίσθηση και περιοχές πυρόπληκτων δήμων

Μεγάλη επιδεκτικότητα για εκδήλωση κατολίσθησης

Πυρόπληκτοι Δήμοι

0 15 30 60

Km

Συνδυάζοντας επίσης το κριτήριο μεγάλη επιδεκτικότητα σε κατολίσθηση ΚΑΙ περιοχή πυρόπληκτων δήμων πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της έκτασης αυτής (Εικόνα 4). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ανάλυση προέκυψε ότι στους πυρόπληκτους δήμους περίπου το 1/3 της έκτασής τους (~ 2.8 εκ. στρέμματα) βρίσκεται σε περιοχές μεγάλης και πολύ μεγάλης επιδεκτικότητας ενώ και πάλι οι Νομοί Ηλείας και Μεσσηνίας εμφανίζουν την μεγαλύτερη διακινδύνευση.

5. Συμπεράσματα

Η αξιοποίηση μεθόδων χωρικής ανάλυσης που βασίζονται στη Γεωπληροφορική αποτελεί ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό πλαίσιο για τη διαχείριση του κινδύνου από φυσικές καταστροφές σε περιφερειακή κλίμακα. Ιδιαίτερα για τη χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας σε εκδήλωση κατολίσθησης, η προτεινόμενη μεθοδολογία που βασίζεται στην Ασαφή Αναλυτική Ιεράρχηση έδωσε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Από την εφαρμογή της μεθόδου στην Πελοπόννησο φαίνεται ότι το ορεινό τμήμα του Νομού Αχαΐας, το μεγαλύτερο τμήμα του Νομού Ηλείας, το βορειοδυτικό τμήμα της Αρκαδίας καθώς και η δυτική Μεσσηνία χα-

ρακτηρίζονται από υψηλή επιδεκτικότητα σε εκδήλωση κατολίσθησης. Επιπρόσθετα, η αρχική αποτίμηση της διακινδύνεσης περιοχών με έντονη ανθρώπινη παρουσία και σημαντικές υποδομές έδειξε ότι οι κύριες ζώνες υψηλής διακινδύνευσης εντοπίζονται σε θύλακες της παράκτιας ζώνης Πάτρας-Ξυλόκαστρου, στην κεντρική Ηλεία στα όρια των Νομών Ηλείας-Αρκαδίας καθώς και σε περιοχές της ανατολικής και της δυτικής Μεσσηνίας. Το φαινόμενο είναι ακόμη πιο έντονο για τις περιοχές της Ηλείας και της Ορεινής καθώς αποτελούν πυρόπληκτες περιοχές από τις μεγαπυρκαγίες του 2007. Στις μελλοντικές εργασίες περιλαμβάνεται η διερεύνηση βελτιστοποίησης της χαρτογράφησης της επιδεκτικότητας με τη χρήση στατιστικών μεθόδων καθώς και η προσπάθεια ποσοτικοποίησης του κινδύνου ένταντι εκδήλωσης κατολίσθησης. Η προτεινόμενη μέθοδος –με τις κατάλληλες τροποποιήσεις– θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και σε μια ευρύτερη προσπάθεια αποτίμησης και χαρτογράφησης του κατολισθητικού κινδύνου σε εθνικό επίπεδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γκαζέτας, Γ. και Μπουκουβάλας, Γ. (1992), «Αντισεισμικός υπολογισμός τοίχων αντιστηρίξεως και λιμενικών κρηπίδων», Αφιέρωμα στην Εδαφομηχανική, *Δελτίο ΣΠΜΕ* 209: 34-46.

Ζιούρκας, Κ. (1989), *Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

ΙΓΜΕ (2010), Αρχείο κατολισθήσεων Ελλάδας (τελευταία πρόσβαση 6 Φεβρουαρίου 2010, http://portal.igme.gr/portal/page?_pageid=33,77250&_dad=portal&schema=PORTAL).

Κούκης, Γ. (1980), «Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο και η σημασία τους στην οδοποιία», *Δελτίο ΚΕΔΕ* 2: 106-149.

Κούκης, Γ. και Ρόζος, Δ. (1982), «Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη», *Ορυκτός Πλούτος* 16: 53-97.

Κούκης, Γ. και Ζιούρκας, Κ. (1989), «Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο – Στατιστική Θεώρηση», *Ορυκτός Πλούτος* 58: 39-58.

Κούκης, Γ. και Σαμπατακάκης, Ν. (2007), *Γεωλογία τεχνικών έργων*, Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Μαρίνος, Π., Κούκης, Γ., Στουρνάρας, Γ. και Σκια, Σ. (1986), «Κατολισθητικά φαινόμενα από τους σεισμούς των Αλκυονίδων 1981. Σύνδεση με τα ενεργά ρήγματα και χωροταξικός σχεδιασμός της περιοχής», *Δελτίο ΚΕΔΕ* 3-4: 93-105.

Φερεντίνου, Μ. (2004), *Εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων*, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ.

Aleotti, P. και Chowdhury, R. (1999), «Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives», *Bull Eng Geo Environ* 58: 21-44.

Ayalew, L., Yamagishia, H., Maruib, H. και Takami, K. (2005), «Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications», *Engineering Geology* 81(4): 432-445.

Ayalew, L. και Yamagishi, H. (2005), «The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains Central Japan», *Geomorphology* 65: 15-31.

Banai, R. (1993), «Fuzziness in geographical information systems: contributions from the analytic hierarchy process», *International Journal of Geographical Information Systems* 7: 315-329.

Boroushaki, S. και Malczewski, J. (2008), «Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS», *Computers & Geosciences* 34: 399-410.

Brabb, E.E. (1984), «Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping», στο *Proceedings of 4th International symposium on landslides*, Τορόντο, 16-21 Σεπτεμβρίου 1984, σ. 307-323.

Brent, A.C., Rogers, D.E.C., Ramabitsa-Siimane, T.S.M. και Rohwer, M.B. (2007), «Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimize infection risks in developing countries», *European Journal of Operational Research* 181: 403-424.

Caniani, D., Pascale, S., Francesco, S. και Sole, A. (2008), «Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza», *Natural Hazards* 45: 55-72.

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. και Reichenbach, P. (1991), «GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard», *Earth Surface Processes and Landforms* 16: 427-445.

Chang, H. και Kim, N.K. (2004), «The evaluation and the sensitivity analysis of GIS-based landslide susceptibility models», *Geosciences Journal* 8(4): 415-423.

Cheng, C.H. και Mon, D.L. (1994), «Evaluating weapon system by Analytical Hierarchy Process based on fuzzy scales», *Fuzzy Sets and Systems* 63: 1-10.

Coburn, A.W., Spence, R.J.S. και Pomonis, A. (1991), *Disaster Mitigation*, UNDP Disaster Management Training Programme.

Corominas, J., Esgleas, J. και Baeza, C. (1990), «Risk mapping in the Pyrenees area: a case study», στο Sinniger, R., Mombaron, M. (επιμ.), *Hydrology in Mountainous Regions. II – Artificial Reservoirs: Water and Slopes*, Proceedings of two Lausanne Symposia, IAHS Publ. no. 194: 425-428.

Cruden, D.M. και Varnes, D.J. (1996), «Landslide types and processes», στο Turner, A.K. και Schuster, R.L. (επιμ.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Special Report. National Academy Press, Washington, DC: 36-75.

Dai, F.C., Lee, C.F. και Ngai, Y.Y. (2002), «Landslide risk assessmet and management: an overview», *Engineering Geology* 64: 65-87.

Dey, P.K. και Ramcharan, E.K. (2008), «Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados», *Journal of Environmental Management* 88: 1384-1395.

Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C. και Nefeslioglu, H.A. (2005), «Landslide Susceptibility Mapping of Cekmece area (Instabul Turkey) by conditional probability», *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss* 2: 155-208.

Dussauge-Peisser, C., Helmstetter, A., Grasso, J.R., Hantz, D., Desvarreux, P., Jeannin, M. και Giraud, M. (2002), «Probabilistic approach to rock fall hazard assessment: potential of historical data analysis», *European Geophysical Society Natural Hazards and Earth System Sciences* 2: 15-26.

DRM – Délégation aux Risques Majeurs (1990), *Les études préliminaires à la cartographie réglementaire des risques naturels majeurs. Secrétariat d'Etat auprès du Premier Ministre charge de l'Environnement et de la Prévention des Risques technologiques et naturels majeurs*, Παρίσι: La Documentation Française. 143.

EM-DAT (2003), The OFDA/CRED International Disaster Database, www.em-dat.net, Βρυξέλλες: Université Catholique de Louvain.

Ercanoglu, M. (2005), «Landslide susceptibility assessment of SE Bartin (West Black Sea region Turkey) by artificial neural networks», *European Geosciences Union Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 979-992.

Ercanoglu, M. και Gokceoglu, C. (2001), «Assessment of landslide susceptibility for landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach», *Env. Geology* 41, 720-730.

Ermini, L., Catani, F. και Casagli, N. (2005), «Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment», *Geomorphology* 66, 327-343.

Ferentinou, M.D. και Sakellariou, M.G. (2005), «Assessing landslide hazard on medium and large scales using self-organising maps», στο Hungr, O., Fell, R., Couture, R. και Eberhardt, E. (επιμ.), *Landslide risk Management*, Joint 2005 International Conference on Landslide Risk Management/18th Annual Vancouver Geotechnical Society Symposium, Taylor & Francis: 639-648.

Glade, T. (2003), «Vulnerability assessment in landslide risk analysis», *Die Erde* 134: 121-138.

Gorsevski, P.V., Jankowski, P. και Gessler, P.E. (2006), «An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process», *Control and Cybernetics* 35(1): 121-146.

Gournellos, T., Chalkias, C. και Tsagas, D. (2006), «Landslide susceptibility Zonation of Greece using Fuzzy Logic and GIS», *Geographies* 12: 114-126 (στα ελληνικά).

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

Hearn, G.J. (1995), «Landslide and erosion hazard mapping at Ok Tedi copper mine Papua New Guinea», *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrology* 28(1): 47-60.

Hearn, G.J. και Griffiths, J.S. (2001), «Landslide hazard mapping and risk assemement", στο Griffiths, J.S. (επιμ.), *Land surface Evaluation for engineering Practice*, Λονδίνο: Geological society 18, 43-52.

Hervás, J. (επιμ.) (2007), *Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe*, Proc. Experts Meeting, JRC, Ispra, Ιταλία, 23-24 Οκτωβρίου 2007.

Heymann, Y., Steenmans, C., Croisille, G. και Bossard, M. (1994), "*CORINE land cover project" Technical guide*, Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, ECSC-EEC-EAEC, Βρυξέλλες και Λουξεμβούργο: European Commission.

Humbert, M. (1976), «La cartographie en France des Zones Exposées à des Risques liés aux Mouvements du Sol» Cartes ZERMOS, *IAEG Bull* 16: 80-82.

IFRC (2003), «International Federation of Red Cross abd Red Crescent societies», Climate Change Center.

IPCC (2001), «Intergovernmental Panel on Climate Change. Third Assessment Report. Climate Change 2001», στο *Impacts Adaptation and vulnerability*, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm.

Intarawichian, N. και Dasananda, S., (2010), «Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility mapping in Lower Mae Chaem Watershed», Northern Thailand, Suranaree, *J. Sci. Technol.* 17(3): 277-292.

Jibson, R.W., Harp, E.L. και Michael, J.A. (2000), «A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps: An Example from the Los Angeles California Area», *Engineering Geology* 58: 271-289.

Jiménez-Perálvarez, J. D., Irigaray, C., Hamdouni, R.El. και Chacón, J. (2009), «Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS», *Natural Hazards* 50(3): 571-590.

Juan, S., Quangong, C., Ruijun, L. και Wenlan, J. (2004): «An application of the analytic hierarchy process and fuzzy logic inference in a decision support system for forage selection New Zealand», *Journal of Agricultural Research* 47: 327-331.

Jurko, J., Paudits, P. και Vlcko, J. (2006), «Landslide susceptibility map of Liptovska kotlima basin using GIS, The Geological Society of London», *IAEG paper* 162: 1-7.

Kong, W.K. (2002), Risk assessment of slopes, *Q J Eng Geol* 35(3): 213-222.

Koukis, G., Rozos, D. και Hadzinakos, I. (1997), «Relationship between rainfall and landslides in the formations of Achaia», στο P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos και G.C. Stournaras (επιμ.), *Proc. of the Symp. on Eng. Geol. and Env.*, Ρότερνταμ: Balkema.

Koukouvelas, I. και Doutsos, T. (1996), «Implications of structural segementation during earthquakes: the 1995 Egion earthquake. Gulf of Corinth», *J. Struct. Geol*. 18: 1381-1388.

Kreimer, A., Arnold, M. και Carlin, A. (επιμ.) (2003), *Building safer cities. The future of disaster risk*, Disaster risk Managemement series N. 3, The worldbank.

Ladas, I., Fountoulis, I και Mariolakos, I. (2007), «Using GIS & Multicriteria Decision Analysis in landslide sucseptibility mapping. Case study in Messinia prefecture area (SW Peloponnesus, Greece)», Proc. 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Αθήνα, 24-26 Μαΐου 2007, *Bull. Geol. Soc. Greece* XXXX/4: 1973-1985.

Lee, E.M. και Jones, D.K.C. (2004), *Landslide risk assessment*, Λονδίνο: Thomas Telford.

Lee, S. και Min, K. (2001), «Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin Korea», *Environmental Geology* 40: 1095-1113.

Leone, F., Aste, J.P. και Leroi, E. (1996), «Vulnerability assessment of elements exposed to mass-moving: working toward a better risk perception», στο Senneset, K. (επιμ.), *Landslides*, Ρότερνταμ: Balkema: 263-269.

Leroi, E. (1996), «Landslide hazard. Risk maps at different scales: objectives, tools and developments», στο K. Senneset (επιμ.), *Landslides-Glissements de terrain, VII International Symposium on Landslides*, Ρότερνταμ: Balkema: 35-51.

Magliulo, P., Lisio, A., Russo, F. και Zelano, A. (2008), «Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy», *Natural Hazards* 47(3): 411-435.

Malczewski, J. (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, Νέα Υόρκη: John Wiley & Sons.

Melchiorre, C., Matteucci, M. και Remondo, J. (2006), «Artificial Neural Networks and Robustness Analysis in Landslide Susceptibility Zonation», *International Joint Conference on Neural Networks*, Βανκούβερ.

Mikhailov, L. (2003), «Deriving priorities from fuzzy pair wise comparison judgments», *Fuzzy Sets and Systems* 134: 365-385.

Miller, D. και Sias, J. (1998), «Deciphering large landslides: coupling hydrology groundwater and slope stability models through GIS», *Hydrologic Processes* 12: 923-941.

MunichRe (2004), «Topics Geo», στο *Annual Review: Natural Catstrophes*.

Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C. και Jaedicke, C. (2006), «Global landslide and avalanche hotspots», *Landslides* 3, 159-173.

Pan, X., Nakamura, H., Nozaki, T. και Huang, X. (2008), «A GIS-based landslide hazard assessment by multivariate analysis», *Journal of the Japan Landslide Society* 45(3): 187-195.

Papathanasiou, G. (2010), «Estimating slope failure potential in an earthquake prone area: a case study at Skolis Mountain, NW Peloponnesus, Greece», *Bull Eng Geol Environ*, Springer-Verlang, DOI 10.1007/s10064-010-0344-5.

Pathak, S., Poudel, R.K. και Kansakar, B.R. (2006), «Application of Probabilistic Approach in Rock Slope Stability Analysis. An Experience from Nepal Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides», στο H. Marui κ.ά. (επιμ.), *Proceedings of the INTERPRAEVENT International Symposium Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*, Japan 2: 797-802.

Pellegrini, G.B. και Surian, N. (1996), «Geomorphological study of the Fadalto landslide Venetian Prealps Italy», *Landslides in the European Union* 15: 337-350.

Pradhan, B. και Lee, S. (2009), «Landslide risk analysis using artificial neural net-work model focusing on different training sites», *International Journal of Physical Sciences* 4: 1-15.

Rozos, D., Bathrellos, G.D. και Skillodimou, H.D. (2009), «Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece», *Environmental Earth Sciences* Springer Berlin / Heidelberg, http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0687-z.

Rossi, M., Apuani, T. και Felletti, F. (2009), «A comparison between univariate probabilistic and multivariate (logistic regression) methods for landslide susceptibility analysis: the example of the Febbraro valley (Northern Alps Italy)», *Geophysical Research Abstracts* 1: 1-2.

Saaty, T.L. (1977), «A scaling method for priorities in hierarchical structures», *Journal of Mathematical Psychology* 15: 234-281.

Saaty, T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, Νέα Υόρκη: McGraw-Hill.

Sakellariou, M.G. και Ferentinou, M.D. (2001), «GIS-based estimation of slope stability», *Nat Hazards Rev* 2: 12-21.

Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A. και Marturia, J. (2003), «A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees Spain)», *Natural Hazards* 30: 281-295.

Schwab, J.C., Gori, P.L. και Jeer, S. (επιμ.) (2005), *Landslide hazards and planning*, American Planning Association Planning Advisory Service Report no. 533/534: 208.

Soeters, R. και van Westen, C.J. (1996), «Slope instability recognition, analysis, and zonation», στο A.K. Turner και R.L. Schuster (επιμ.), *Landslides, investigation and mitigation*, Ουάσινγκτον: National Academy Press (Transportation Research Board, National Research Council, Special Report): 129-177.

Sredjevic, B. και Medeiros, Y.D.P. (2008), «Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans», *Water Resources Management* 22: 877-894.

Stournaras, G., Tsimpidis, G., Tsoumanis, P., Yannatos, G. και Guillande, R. (1998), «Instability Phenomena in the Neogenne Deposits of Northern Peloponnese», *Bulletin of engineering Geology and the Environment* 57: 65-68.

Thiebes, B., Bell, R. και Glade, T. (2007), «Deterministic landslide susceptibility analysis using SINMAP. Case study in the Swabian Alb Germany», στο *Proceedings of the conference "Geomorphology for the Future",* Obergurgl, Αυστρία.

UNDP (2004), *Reducing disaster risk*, United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery, Νέα Υόρκη, ΗΠΑ.

Van Westen, C.J. και Terlien, M.T.J. (1996), «An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia)», *Earth Surface Processes*, 21: 853-868.

Van Westen, C.J., Rengers, N. και Soeters, R. (2003), «Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment», *Natural hazards* 30(3): 399-419.

Zadeh L.A., (1965), «Fuzzy Sets», *Information and Control*, 8: 338-353.

Zhu, L. και Huang, J. (2006), «GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale», *Journal of Zhejiang University SCIENCE A* 7.