

# **Δημιουργία χάρτη ζωνών επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην ορεινή Νάξο με χρήση της μεθοδολογίας της τηλεπισκόπησης σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών**

**Ε. Γαλανού**, Δρ Γεωλόγος, Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

**Π. Κολοκούσης**, Δρ Μηχανικός, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

## **Περίληψη**

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν παράγοντα ο οποίος πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη στις προσπάθειες για αναβάθμιση του ορεινού περιβάλλοντος. Τον Φεβρουάριο του 2003 οι μεγάλης έντασης και διάρκειας βροχοπτώσεις στις Κυκλάδες είχαν ως αποτέλεσμα την πυροδότηση σημαντικών κατολισθήσεων σε όλα σχεδόν τα νησιά. Μεγάλες καταστροφές στα έργα υποδομής των ορεινών περιοχών όλων σχεδόν των Κυκλάδων προκλήθηκαν και μάλιστα έργων τα οποία είχαν κατασκευαστεί σχετικά πρόσφατα.

Γίνεται φανερό ότι η δημιουργία χαρτών ζωνών επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στις Κυκλάδες κρίνεται εξαιρετικά χρήσιμη για το σχεδιασμό από τους αρμόδιους φορείς της χωροθέτησης των έργων υποδομής, των καταλληλότερων χρήσεων γης σε ασταθή εδάφη, των καταλληλότερων περιβαλλοντικών προγραμμάτων αλλά και για τον εντοπισμό των κατασκευών που κινδυνεύουν σήμερα.

Στην εργασία αυτή με μεθόδους και τεχνικές γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και τηλεπισκόπησης, δημιουργήθηκε χάρτης της νήσου Νάξου, της μεγαλύτερης των Κυκλάδων, στον οποίο απεικονίζονται 3 ζώνες επικινδυνότητας για κατολισθήσεις: μικρή, μεσαία, μεγάλη. Ο χάρτης αυτός ελέγχθηκε για την ορθότητά του με βάση κατολισθήσεις οι οποίες έχουν εκδηλωθεί στο παρελθόν.

Η μέθοδος η οποία αναπτύχθηκε στην εργασία, είναι δυνατόν να προσαρμοστεί και να εφαρμοστεί και σε άλλα ορεινά περιβάλλοντα.

## **1 Εισαγωγή**

Στον ελλαδικό χώρο, κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται συχνά, κυρίως στην ορεινή ηπειρωτική Ελλάδα. Στο κεντρικό Αιγαίο ωστόσο και ειδικότερα στα νησιά των Κυκλάδων, δεν σημειώνονται συχνά κατολισθήσεις. Παρ' όλα αυτά, όσες φορές στο παρελθόν εκδηλώθηκαν, προκάλεσαν μεγάλες καταστροφές στα έργα υποδομής, στους οικισμούς και στις καλλιέργειες, ενώ την δεκαετία του 60 χάθηκαν ανθρώπινες ζωές.

Στο μεγαλύτερο μέρος του 20<sup>ου</sup> αιώνα σημειώνεται μεγάλη μετακίνηση του πληθυσμού από τις Κυκλάδες προς τις αστικές περιοχές της Ελλάδας και στο εξωτερικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η γη να μην καλλιεργείται πλέον και να μετατραπεί σε χέρσα ή να καλυφθεί από θαμνώδη βλάστηση (Εικόνα 1).

Η αναστροφή της μεταναστευτικής τάσης στις Κυκλάδες αρχίζει από τα μέσα της δεκαετίας του 70 με την αύξηση του τουριστικού ρεύματος. Ωστόσο, ο πληθυσμός ο οποίος επιστρέφει εγκαθίσταται κυρίως στα πεδινά, όπου δημιουργούνται μεγάλες τουριστικές μονάδες. Μέχρι το τέλος του προηγούμενου αιώνα οι περισσότεροι ορεινοί οικισμοί των Κυκλάδων εξακολουθούν να στέκουν ως «απολιθώματα οικισμών» ενώ η γη υποβαθμίζεται συνεχώς από την εντονότατη διάβρωση.

Για να κρατηθεί αλλά κυρίως για να αυξηθεί ο πληθυσμός στους ορεινούς οικισμούς, οι κυβερνήσεις εφαρμόζουν προγράμματα για τη δημιουργία υποδομών, την αναβάθμιση του

περιβάλλοντος και γενικότερα προγράμματα με στόχο την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη των ορεινών περιοχών των Κυκλάδων.

Ωστόσο αυτή η προσπάθεια ανακόπτεται από φυσικές καταστροφές -μεταξύ των οποίων και οι καταστροφικές κατολισθήσεις- και πολλοί νέοι ωθούνται σε εσωτερική ή και εξωτερική μετανάστευση.



**Εικόνα 1.** Σύρος. Περιοχές που δεν καλλιεργούνται καλύπτονται από θαμνώδη βλάστηση  
**Figure 1.** Syros island. Uncultivated areas taken up by shrubs

### 1.1 Οι κατολισθήσεις στις Κυκλάδες

Σε μια σημαντική εργασία του, ο Ζιούρκας (1989) συλλέγει και παρουσιάζει όλες τις μέχρι τότε μεγάλες χαρτογραφημένες κατολισθήσεις, περίπου 800, του ελλαδικού χώρου. Εκεί παρατηρούμε ότι στις Κυκλάδες οι κατολισθήσεις δεν είναι συχνές. Αν και το στατιστικό δείγμα για τις Κυκλάδες δεν είναι επαρκές μπορούμε να δεχθούμε ότι καταστροφικές κατολισθήσεις εκδηλώνονται κάθε δεκαετία περίπου.

Έτσι, τον Φεβρουάριο του 2003 σε μια ασυνήθιστη για την περιοχή περίοδο συνεχούς βροχόπτωσης εκδηλώθηκαν μεγάλες κατολισθήσεις στα περισσότερα νησιά. Οι καταστροφές στις υποδομές και στους οικισμούς των οικολογικά ευαίσθητων ορεινών περιοχών των Κυκλάδων ήταν τεράστιες (Εικόνα 2).

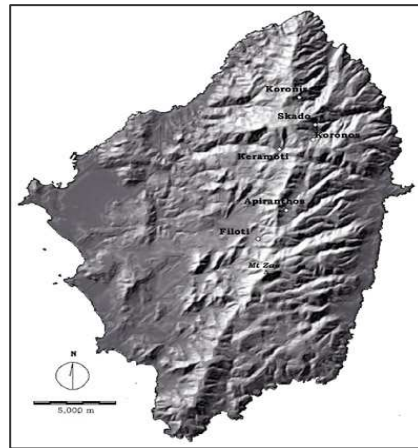


**Εικόνα 2.** Τήνος. Κατεστραμμένο οδικό δίκτυο  
**Figure 2.** Tinos island. Destroyed road network.

Οι κατολισθήσεις στη Νάξο –την Περιοχή Έρευνας και το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων (Εικόνα 3α) - εκδηλώθηκαν κυρίως στο ορεινό της τμήμα ενώ επλήγησαν ιδιαίτερα οι οικισμοί Απείρανθος, Κόρωνος, Κορωνίς, Σκαδό και Φιλότι (Εικόνα 3β).



**Εικόνα 3α.** Περιοχή έρευνας  
**Figure 3a.** Location of the study area



**Εικόνα 3β.** Ορεινοί οικισμοί που πλήττονται  
**Figure 3b.** Villages hit by landslides

Καταστροφές σημειώθηκαν στο οδικό, στο αποχετευτικό και στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών, ενώ πολλά σπίτια εμφάνισαν ρωγμές και θεωρήθηκαν μη κατοικήσιμα (Εικόνα 4).



**Εικόνα 4.** Σκαδό. Κατολίσθηση πλήττει τον οικισμό  
**Figure 4.** Skado. Landslide hit the village

Πολλές αναβαθμίδες κατέρρευσαν. Στο Φιλότι, βράχοι έφραξαν τους χειμάρρους με αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες λάσπης να κατακλείσουν το ορεινό αυτό κεφαλοχώρι (Νικολάου 2003).

## 1.2 Σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση

Τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο εκδηλώνεται μεγάλο ενδιαφέρον για τις φυσικές καταστροφές και πλήθος επιστημονικών εργασιών εκπονούνται. Μεταξύ των φυσικών καταστροφών περιλαμβάνονται και οι κατολισθήσεις.

Αν και δεν είναι δυνατόν να αποφευχθούν εντελώς οι καταστροφές τις οποίες προκαλούν εν τούτοις μπορεί να ελαχιστοποιηθούν με την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης (Ercanoglu και Gokceoglu 2002).

Μια κατηγορία σχετικής επιστημονικής έρευνας έχει στόχο τον εντοπισμό των τμημάτων εκείνων μιας περιοχής στα οποία είναι πολύ πιθανόν να εκδηλωθούν κατολισθήσεις.

Η κατασκευή χαρτών στους οποίους απεικονίζονται ζώνες που χαρακτηρίζονται από ένα συγκεκριμένο βαθμό επικινδυνότητας για κατολισθήσεις ανήκει στην παραπάνω κατηγορία.

Για τη δημιουργία αυτών των ζωνών αναπτύσσονται διάφορες τεχνικές. Ο Varnes (1984) και οι Guzzetti et al (1999), συλλέγουν και ταξινομούν διάφορα σχετικά παραδείγματα μελέτης περίπτωσης. Συγκεκριμένα, καταγράφουν τις τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται και αφορούν σε διάφορα φυσιογραφικά περιβάλλοντα.

Ο ερχομός της τεχνολογίας των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών προσφέρει στην επιστημονική κοινότητα μοναδικό αναλυτικό εργαλείο το οποίο συμβάλλει σημαντικά στην έρευνα για την δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών γίνεται εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων σε τμήματα (ζώνες) μιας περιοχής έρευνας. Οι πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται με συμβατικές μεθόδους συνδυάζονται με τηλεπισκοπικά δεδομένα και επιτρέπουν τη δημιουργία αξιόπιστων προγνωστικών μοντέλων (Warshal και Hudak 2000, Lee και Min 2001, Lee και Choi 2004, Ayalew et al. 2004, Westen et al 2006).

### **1.3 Σκοπός της έρευνας**

Ο σκοπός της έρευνας ήταν η δημιουργία ενός χάρτη ζωνών επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στις ορεινές περιοχές των Κυκλάδων. Η δημιουργία του σχετικού χάρτη επιτεύχθηκε με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και την ανάπτυξη της κατάλληλης μεθοδολογίας η οποία:

- ✓ Χρησιμοποιεί τη γνώση εμπειρογνομόνων που έχουν εκπονήσει μελέτες και έρευνες σχετικές με την ευστάθεια πρανών στις Κυκλάδες, με συμβατικές μεθόδους.
- ✓ Συνδυάζει τα διάφορα σχετικά υφιστάμενα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα τα οποία συλλέγονται με συμβατικές μεθόδους τόσο μεταξύ τους όσο και με τηλεπισκοπικά δεδομένα.

## **2 Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή μελέτης στην οποία εστίασε η έρευνα και για την οποία δημιουργήθηκε χάρτης επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων ήταν η νήσος Νάξος.

### **2.1 Συνοπτική αναφορά στο περιβάλλον της Νάξου**

Η έκταση της Νάξου είναι 428 km<sup>2</sup>.

Το ανάγλυφο της είναι έντονο λόγω τεκτονισμού με μεγαλύτερο υψόμετρο στην κορυφή Ζας (1000 μέτρα, περίπου).

Εκεί όπου αναπτύσσονται ανθρακικά πετρώματα οι επιφάνειες των πρανών είναι συνήθως τραχείες ενώ αντίθετα όπου αναπτύσσονται σχιστόλιθοι τα πρανή είναι ομαλά, λόγω ανάπτυξης μανδύα αποσαθρώσεως. Οι κατολισθήσεις σημειώνονται συνήθως στον αποσαθρωμένο μανδύα (Εικόνα 5).



**Εικόνα 5.** Κατολίσθηση στην ορεινή Νάξο στον αποσαθρωμένο μανδύα σχιστολίθου  
**Figure 5.** Earth flow near Skado village triggered in the weathered schist mantle

Οι περισσότεροι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου οφείλονται σε τεκτονικά αίτια. Στη δυτική Νάξο το ανάγλυφο είναι πιο ομαλό.

Το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 370 mm έως 420 mm. Το κλίμα είναι μεσογειακό με ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες με βροχές. Η βλάστηση δεν είναι πλούσια κυρίως λόγω μεγάλης διάβρωσης. Είναι χαρακτηριστικές οι αναβαθμίδες των Κυκλάδων (πεζούλες) οι οποίες κατασκευάζονται για να εμποδίζεται η διάβρωση των εδαφών που καλλιεργούνται (Εικόνα 6). Οι μη καλλιεργήσιμες περιοχές καταλαμβάνονται συνήθως από θάμνους.



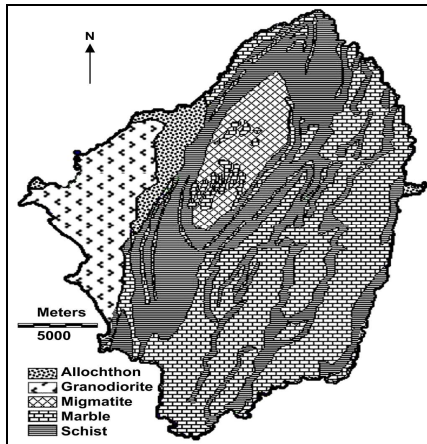
**Εικόνα 6.** Τυπικό Κυκλαδίτικο τοπίο  
**Figure 6.** A typical terrace-dominated Cycladic landscape.

## 2.2 Συνοπτική γεωλογία της Νάξου

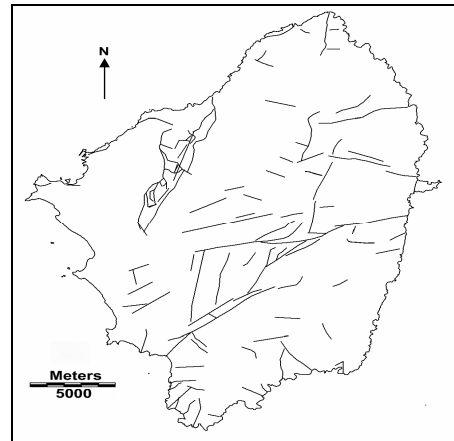
Η Νάξος συνίσταται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθους, μάρμαρα) τα οποία περιβάλλουν ένα τεκτονικό δόμο από μιγματίτη (Jansen 1977).

Το δυτικό της τμήμα συνίσταται από γρανοδιορίτη. Στην βορειοδυτική Νάξο μεταξύ του γρανοδιορίτη και των μεταμορφωμένων αναπτύσσεται το αλλόχθον (Εικόνα 7).

Τα ρήγματα εμφανίζονται ακτινωτά και οφείλονται κυρίως στην άνοδο του τεκτονικού δόμου. Επίσης παρατηρούνται ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ τα οποία αποτελούν την τελευταία γενιά ρηγμάτων (Εικόνα 8).



**Εικόνα 7.** Λιθολογικός χάρτης της Νάξου  
**Figure 7.** Simplified lithology of Naxos



**Εικόνα 8.** Χάρτης κυρίων ρηγμάτων της Νάξου  
**Figure 8.** The main faults of Naxos

### 2.3 Συλλογή στοιχείων

Για την πραγματοποίηση αυτής της έρευνας έγινε χρήση των παρακάτω στοιχείων:

A. Υφιστάμενα στοιχεία τα οποία συλλέχθηκαν από τους κατάλληλους φορείς:

1. Τοπογραφικός χάρτης Νάξου 1:50.000 (ΓΥΣ).
2. Γεωλογικός χάρτης Νάξου 1:50.000 (ΙΓΜΕ).
3. Ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση LANDAT TM της Νάξου της 19.7.1989 (Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης ΕΜΠ).

B. Στοιχεία τα οποία δημιουργήθηκαν από την ερευνητική ομάδα:

1. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Νάξου.
2. Χάρτης Νάξου με χαρτογραφημένες 9 κατολισθήσεις.
3. Σύνταξη και επεξεργασία ερωτηματολογίων τα οποία συμπληρώθηκαν από εμπειρογνώμονες και αφορούν στην επίδραση διαφόρων παραγόντων για την εκδήλωση κατολισθήσεων στο φυσιογραφικό περιβάλλον των Κυκλάδων.

### 3 Μεθοδολογία

Οι κατολισθήσεις είναι μια φυσική διαδικασία κατά την οποία μεταφέρονται εδάφη, ή βράχοι, ή πετρώματα από υψηλότερα σε χαμηλότερα υψόμετρα λόγω βαρύτητας. Διακρίνονται σε ολισθήσεις, πτώσεις, ροές, ερπυσμούς (Κουμαντάκης 1984, Cruden 1991). Στην εργασία αυτή δεν γίνεται διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων κατολισθήσεων.

Οι περισσότερες μέθοδοι με τις οποίες κατασκευάζονται χάρτες με ζώνες επικινδυνότητας για κατολισθήσεις μιας περιοχής έρευνας, περιλαμβάνουν την συλλογή στοιχείων που αφορούν σε διάφορους παράγοντες οι οποίοι είναι γνωστό ότι παίζουν ρόλο στην εκδήλωση τους. Με χρήση κατάλληλης τεχνικής τα στοιχεία συνδυάζονται και προκύπτει ο χάρτης ζωνών επικινδυνότητας.

Στην εργασία αυτή οι παράγοντες οι οποίοι επιλέχθηκαν ως καταλληλότεροι λόγω του συγκεκριμένου φυσιογραφικού περιβάλλοντος των Κυκλάδων για τη δημιουργία του χάρτη ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις της Νάξου ήταν:

- Η κλίση των πρανών.
- Η λιθολογία.
- Η φυτοκάλυψη.
- Η απόσταση από οδικό δίκτυο.
- Η απόσταση από κλάδο υδρογραφικού δικτύου.
- Ο προσανατολισμός των πρανών.
- Το υψόμετρο.

Η επεξεργασία των δεδομένων, η δημιουργία 2 ενδιάμεσων χαρτών επικινδυνότητας, καθώς και η δημιουργία του τελικού χάρτη ζωνών επικινδυνότητας έγινε με χρήση ράστερ γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (Eastman, 1999).

Πιο συγκεκριμένα, ο χάρτης ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις της Νάξου δημιουργήθηκε μετά από την κατασκευή 2 ενδιάμεσων χαρτών επικινδυνότητας:

1. Του αθροιστικού χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις, λόγω:
  - λιθολογίας,
  - φυτοκάλυψης,
  - απόστασης από οδικό δίκτυο,
  - απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο
  - προσανατολισμού πρανών,
  - υψομέτρου.
2. Του χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις λόγω κλίσεως πρανών.

Οι 2 ενδιάμεσοι χάρτες συνδυάστηκαν με εφαρμογή κατάλληλης τεχνικής στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών και προέκυψε ο τελικός χάρτης ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις της Νάξου.

### **3.1 Δημιουργία του αθροιστικού χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις**

Ο 1<sup>ος</sup> ενδιάμεσος χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις δημιουργήθηκε με χρήση 6 παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Η λιθολογία,
- Η φυτοκάλυψη,
- Η απόσταση από οδικό δίκτυο,
- Η απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο,
- Ο προσανατολισμός των πρανών,
- Το υψόμετρο.

Οι προαναφερόμενοι παράγοντες συνδυάστηκαν γραμμικά και δημιουργήθηκε ο αθροιστικός χάρτης επικινδυνότητας.

Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα της δημιουργίας του αθροιστικού χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις είναι:

1. Κάθε παράγοντας ταξινομείται σε τάξεις. Στην συνέχεια αποδίδεται βαθμός επικινδυνότητας για κατολισθήσεις σε κάθε τάξη κάθε παράγοντα από τους εμπειρογνώμονες οι οποίοι συμπληρώνουν σχετικό πίνακα (Πίνακας 2). Οι βαθμοί επικινδυνότητας κυμαίνονται από 0-5 (0, 1, 2, 3, 4, και 5).
2. Ακολουθεί η δημιουργία 6 θεματικών ψηφιακών χαρτών, ένας για κάθε παράγοντα. Συγκεκριμένα:
  - Ο λιθολογικός χάρτης δημιουργείται μετά από ψηφιοποίηση των λιθολογικών ορίων του γεωλογικού χάρτη και ομαδοποίηση των λιθολογικών ενοτήτων σε 4 τάξεις.
  - Με κατάλληλη επεξεργασία εικόνας δημιουργείται ο χάρτης προσανατολισμού πρανών από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Μετά από ομαδοποίηση στον χάρτη αυτόν απεικονίζονται 4 τάξεις προσανατολισμού πρανών.
  - Οι 2 χάρτες απόστασης από τους οδικούς άξονες και τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου δημιουργούνται μετά από ψηφιοποίηση του οδικού και του υδρογραφικού δικτύου από τους τοπογραφικούς χάρτες και εφαρμογή κατάλληλης

τεχνικής στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Μετά από ομαδοποίηση σε κάθε χάρτη απεικονίζονται 4 τάξεις αποστάσεων.

- Ως χάρτης υψομέτρων θεωρείται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Μετά από ομαδοποίηση στον χάρτη αυτόν απεικονίζονται 4 τάξεις υψομέτρων.
- Ο χάρτης φυτικής κάλυψης δημιουργείται με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης (Gurta 1991, Ρόκος 2005) και συγκεκριμένα με επιβλεπόμενη ταξινόμηση ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM. Στον χάρτη αυτόν απεικονίζονται 3 τάξεις φυτοκάλυψης.

Κάθε τάξη κάθε ψηφιακού θεματικού χάρτη λαμβάνει την βαθμολογία ως προς την επικινδυνότητα για κατολισθήσεις (0 = κανένας κίνδυνος, 5= πολύ μεγάλος κίνδυνος) η οποία του έχει αποδοθεί από τους εμπειρογνώμονες (ειδικούς στην ευστάθεια πρανών στο συγκεκριμένο φυσιογραφικό περιβάλλον των Κυκλάδων) σύμφωνα με τον πίνακα 1.

3. Οι 6 ψηφιακοί θεματικοί χάρτες συνδυάζονται με χρήση της τεχνικής γραμμικού συνδυασμού με βάρη στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών και προκύπτει ο αθροιστικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Η χρήση των βαρών γίνεται γιατί είναι γενικά αποδεκτό ότι κάθε ένας από τους 6 παράγοντες επηρεάζει με διαφορετικό βάρος -μικρότερο ή μεγαλύτερο- την εκδήλωση των κατολισθήσεων.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΤΑΞΕΙΣ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ
Λιθολογία	Μάρμαρα	1
	Γρανодиορίτης και μγματίτης	2
	Αλλόχθον	3
	Σχιστόλιθοι και μη συνεκτικά πετρώματα	5
Προσανατολισμός πρανών	Δυτικός	1
	Νότιος	3
	Ανατολικός	4
	Βόρειος	5
Απόσταση από οδικό άξονα (m)	>60	0
	41-60	1
	21-40	3
	0-20	5
Απόσταση από κλάδο του υδρογραφικού δικτύου (m)	>60	0
	41-60	1
	21-40	3
	0-20	5
Υψόμετρο (m)	0-200	1
	201-400	3
	401-600	4
	>600	5
Φυτοκάλυψη	Χέρσα γη	1
	Θάμνοι (φρύγανα, κλπ)	3
	Καλλιεργημένες εκτάσεις	5

**Πίνακας 1.** Η βαθμολόγηση των τάξεων των 6 παραγόντων  
**Table 1.** Ratings for the various classes of the six factors



Ο υπολογισμός των βαρών με τον οποίο ο κάθε παράγοντας συμμετέχει στη δημιουργία του αθροιστικού χάρτη γίνεται ως εξής:

Οι εμπειρογνώμονες συγκρίνουν ανά ζεύγη τους 6 παράγοντες. Για παραδειγμα, η σύγκριση του ζεύγους «υψόμετρο-λιθολογία» είναι 1/5. Αυτό σημαίνει ότι ο ρόλος της λιθολογίας στην εκδήλωση των κατολισθήσεων σε σχέση με το υψόμετρο είναι 5 φορές πιο σημαντικός (Πίνακας 2).

	Λιθολογία	Προσανατολισμός πρανών	Υψόμετρο	Φυτοκάλυψη	Απόσταση από δρόμο	Απόσταση από ρέμα	Βάρος	Consistency ratio
Λιθολογία	1						0.4322	0.08
Προσανατολισμός πρανών	1/7	1					0.0327	
Υψόμετρο	1/5	3	1				0.0557	
Φυτοκάλυψη	1/3	5	5	1			0.2837	
Απόσταση από δρόμο	1/5	5	3	1/5	1		0.1029	
Απόσταση από ρέμα	1/5	3	3	1/5	1	1	0.0928	

**Πίνακας 2:** Σύγκριση των παραγόντων ανά δύο  
**Table 2.** The pairwise comparison

Μετά την συμπλήρωση των τιμών της σύγκρισης των παραγόντων ανά δύο από τους εμπειρογνώμονες προσδιορίζεται το βάρος με το οποίο κάθε παράγοντας συμμετέχει στην δημιουργία του αθροιστικού χάρτη. Η εκτίμηση της τιμής των βαρών στηρίζεται στην μέθοδο αναλυτικής ιεράρχησης του Saaty (1980) και πραγματοποιείται με χρήση σχετικής τεχνικής του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών.

Οι τιμές των βαρών κυμαίνονται από 0.0 έως 1.0 και το άθροισμα τους ισούται με 1.0 (Πίνακας 2). Τα αποτελέσματα γίνονται δεκτά (Consistency ratio 0,08).

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα:

- Το μεγαλύτερο βάρος αποδίδεται στην λιθολογία. Ακολουθούν:
- Η φυτική κάλυψη,
- Η απόσταση από οδικό δίκτυο,
- Η απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο,
- Το υψόμετρο και τέλος,
- Ο προσανατολισμός πρανών.

4. Τέλος, ο ψηφιακός αθροιστικός χάρτης δημιουργείται με χρήση της εξίσωσης:

$$R = \sum W_i X_i$$

Όπου:

R= αθροιστική επικινδυνότητα για κατολισθήσεις,

$W_i$  =το βάρος του παράγοντα  $i$ ,

$X_i$  = η τιμή της τάξης επικινδυνότητας του παράγοντα  $i$

### 3.2 Δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις λόγω κλίσεως πρανών

Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο παράγων ο οποίος παίζει τον σπουδαιότερο ρόλο στην εκδήλωση κατολισθήσεων είναι η κλίση των πρανών.

Στην εργασία αυτή δημιουργήθηκε ο 2<sup>ος</sup> ενδιάμεσος χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις με χρήση μόνο του παράγοντα «κλίση πρανών».

Οι κλίσεις των πρανών ταξινομήθηκαν σε 6 τάξεις: 0-5<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup>-10<sup>ο</sup>, 11<sup>ο</sup>-15<sup>ο</sup>, 16<sup>ο</sup>-20<sup>ο</sup>, 21<sup>ο</sup>-30<sup>ο</sup>, και >30<sup>ο</sup>.

Στη συνέχεια αποδόθηκε βαθμός επικινδυνότητας σε κάθε τάξη, ο οποίος κυμαίνεται από 0-5.

Ο βαθμός επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στις διάφορες τάξεις κλίσεων πρανών δίδεται από τους εμπειρογνώμονες οι οποίοι συμπληρώνουν σχετικό πίνακα (Πίνακας 3).

	τάξεις	Βαθμολογία
<b>Κλίση πρανών (σε μοίρες)</b>	0-5	0
	6-10	1
	11-15	2
	16-20	3
	21-30	4
	>30	5

**Πίνακας 3.** Βαθμολόγηση τάξεων κλίσεως πρανών  
**Table 3.** Ratings of the various classes of the slope factor

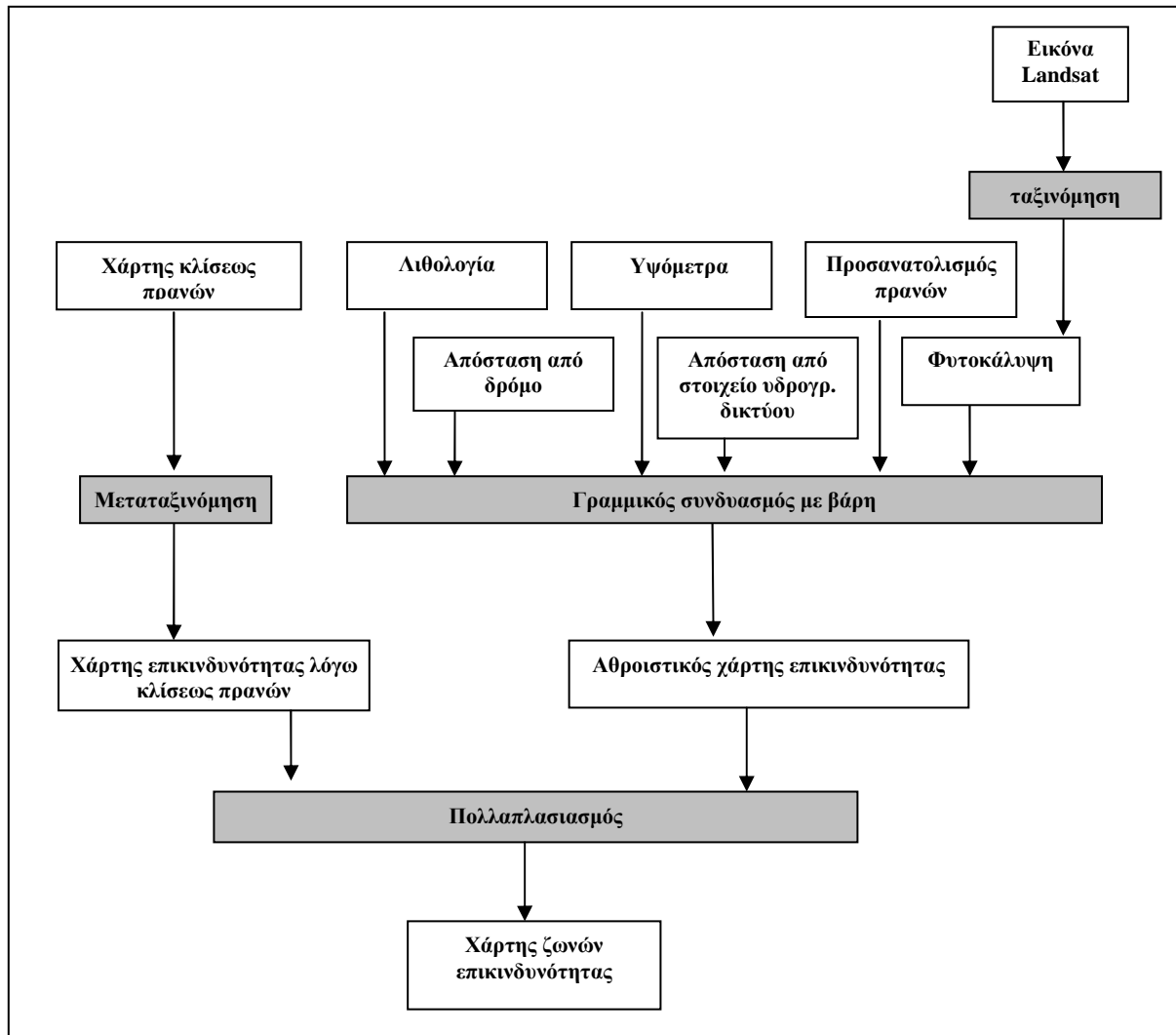
Πιο συγκεκριμένα τα βήματα της δημιουργίας του χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις λόγω κλίσεως πρανών είναι:

1. Από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής έρευνας, με χρήση κατάλληλης τεχνικής επεξεργασίας εικόνας δημιουργείται ο ψηφιακός χάρτης κλίσεως πρανών.
2. Οι κλίσεις των πρανών ταξινομούνται σε 6 τάξεις.
3. Κάθε τάξη βαθμολογείται από τους εμπειρογνώμονες με απόδοση βαθμού επικινδυνότητας για κατολισθήσεις ο οποίος κυμαίνεται από 0 έως και 5.
4. Ακολουθεί μεταταξινόμηση του ψηφιακού χάρτη κλίσεως πρανών. Οι τιμές του βαθμού επικινδυνότητας για κατολισθήσεις κανονικοποιούνται και οι βαθμολογίες των 6 τάξεων μετά την κανονικοποίηση λαμβάνουν τιμές από 0 έως 1. Η διαδικασία της μεταταξινόμησης γίνεται με χρήση της σιγμοειδούς συνάρτησης (Haykin 1999), η οποία επιλέγεται ως καταλληλότερη και πραγματοποιείται στο ράστερ γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών.
  - Για κλίσεις έως 5<sup>ο</sup> ο κίνδυνος θεωρείται αμελητέος
  - Για κλίσεις μεγαλύτερες των 5<sup>ο</sup> ο κίνδυνος κατολισθήσεων αυξάνει έντονα μέχρι την τιμή 1 η οποία αντιστοιχεί στις 30<sup>ο</sup>.

### 3.3 Δημιουργία του τελικού χάρτη ζωνών επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων

Η δημιουργία του χάρτη ζωνών επικινδυνότητας (τελικός χάρτης) για εκδήλωση κατολισθήσεων της Νάξου προέκυψε με εφαρμογή της τεχνικής πολλαπλασιασμού εικόνων κατά την οποία πολλαπλασιάστηκαν οι δύο ενδιάμεσοι ψηφιακοί χάρτες:

- Ο αθροιστικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.
- Ο χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις λόγω κλίσεως πρανών.



**Εικόνα 9.** Διάγραμμα ροής της τεχνικής που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία  
**Figure 9.** Flow diagram showing the technique developed in this study

Πιο συγκεκριμένα, η τιμή κάθε εικονοστοιχείου του αθροιστικού χάρτη επικινδυνότητας για κατολισθήσεις πολλαπλασιάζεται με την τιμή του αντίστοιχου εικονοστοιχείου του χάρτη επικινδυνότητας λόγω κλίσεως πρανών. Οι τιμές των εικονοστοιχείων του αποτελέσματος του πολλαπλασιασμού κανονικοποιούνται και τελικά προκύπτουν 3 τάξεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε 3 ζώνες επικινδυνότητας. Έτσι, δημιουργείται ο τελικός χάρτης, δηλαδή ο χάρτης ζωνών επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθήσεων της Νάξου, στον οποίο απεικονίζονται 3 ζώνες:

- χαμηλής,
- μέτριας και
- υψηλής επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθήσεων

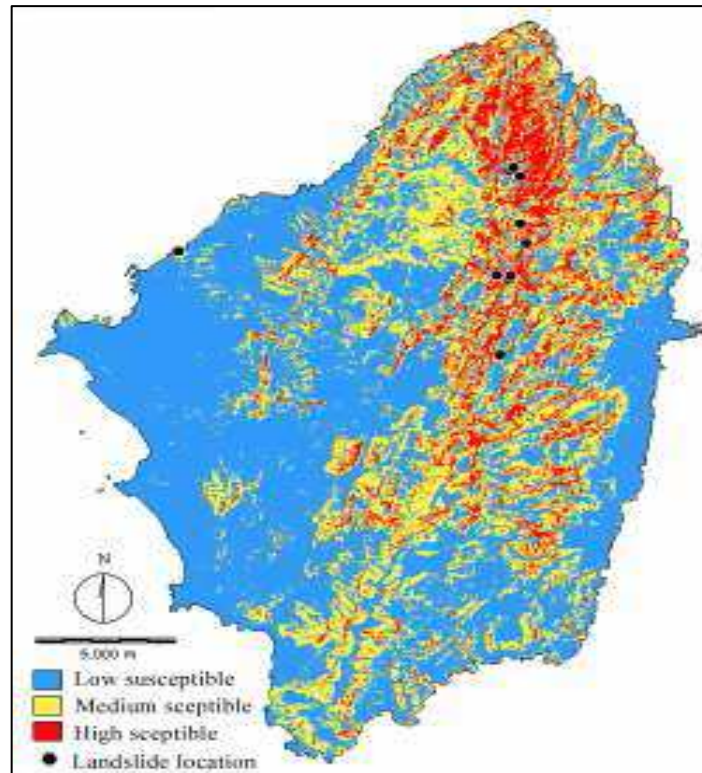
Η τεχνική η οποία αναπτύσσεται δίνεται επίσης σε διάγραμμα ροής (Εικόνα 9).

#### 4 Αποτελέσματα

Ο χάρτης ζωνών επικινδυνότητας της Νάξου για εκδήλωση κατολισθήσεων δίνεται στην εικόνα 10.

Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή έρευνας χωρίστηκε σε 3 ζώνες όσον αφορά στην επικινδυνότητα για κατολισθήσεις: μικρής, μέτριας και μεγάλης επικινδυνότητας. Σημειώνεται ότι:

- Το 59% της περιοχής έρευνας αντιστοιχεί σε ζώνες χαμηλής επικινδυνότητας.
- Το 31% της περιοχής έρευνας αντιστοιχεί σε ζώνες μέτριας επικινδυνότητας.
- Το 10% της περιοχής έρευνας αντιστοιχεί σε ζώνες υψηλής επικινδυνότητας.



**Εικόνα 10.** Χάρτης ζωνών επικινδυνότητας της Νάξου για εκδήλωση κατολισθήσεων (οι μαύρες τελείες αντιστοιχούν στις 9 χαρτογραφημένες κατολισθήσεις).

**Figure 10.** Landslide susceptibility zone map for Naxos (black dots mark nine slope failures).

Η έλλειψη στοιχείων σχετικών με κατολισθήσεις του παρελθόντος δεν δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των αποτελεσμάτων. Παρόλα αυτά, κατά την επίσκεψη της ερευνητικής ομάδας στην Νάξο χαρτογραφήθηκαν 9 κατολισθήσεις (Εικόνα 10).

Οι περιοχές των 9 κατολισθήσεων τέθηκαν επί του τελικού χάρτη ζωνών επικινδυνότητας με χρήση σχετικής τεχνικής του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών. Σημειώνεται ότι:

- 8 από τις 9 κατολισθήσεις βρίσκονται σε ζώνες υψηλής επικινδυνότητας.
- 1 από τις 9 κατολισθήσεις βρίσκεται σε ζώνη μέτριας επικινδυνότητας.

### 5 Συζήτηση - Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Κατολισθητικά φαινόμενα στη Νάξο, αλλά και στις άλλες Κυκλάδες δεν παρατηρούνται συχνά. Όταν όμως εκδηλώνονται, οι καταστροφές συνήθως είναι τεράστιες. Μετά τις μεγάλες καταστροφές του 2003 έγινε φανερή η ανάγκη χαρτογράφησης περιοχών οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη επικινδυνότητα για κατολισθήσεις. Οι χάρτες αυτοί πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- κατά τον σχεδιασμό χωροθέτησης διαφόρων έργων υποδομής,
- στον προσδιορισμό οικισμών οι οποίοι κινδυνεύουν από κατολισθήσεις,
- στον προσδιορισμό κατάλληλων χρήσεων γης σε ασταθή εδάφη.

Συνήθως χάρτες ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις δημιουργούνται με στατιστικές μεθόδους υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει ικανός αριθμός χαρτογραφημένων κατολισθήσεων του παρελθόντος ( Ayalew et al. 2004).

Για την Νάξο αλλά και για τις υπόλοιπες Κυκλάδες δεν υπάρχουν δεδομένα παλαιών κατολισθήσεων για να στηρίξουν κατάλληλο στατιστικό μοντέλο. Κατά την φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών από την ερευνητική ομάδα δεν κατέστη δυνατό να εντοπιστούν παλαιές κατολισθήσεις. Ενδεχομένως, η ανθρώπινη επέμβαση και ή εξέλιξη των πρानών μετά την μετακίνηση της βραχομάζας, κάλυψαν τις γεωμορφές οι οποίες οδηγούν στην αναγνώριση παλαιών κατολισθήσεων.

Παρόλ' αυτά, η ειδική γνώση η σχετική με την ευστάθεια πρानών υπάρχει λόγω των προγραμμάτων τα οποία έχουν ολοκληρωθεί στο συγκεκριμένο φυσιογραφικό περιβάλλον, όπως το οδικό δίκτυο, η κατασκευή φραγμάτων, κλπ. Στην εργασία αυτή η εμπειρία των ειδικών οι οποίοι έχουν συμμετοχή σε διάφορες τεχνικογεωλογικές μελέτες και έρευνες στον συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο μειώνει την αβεβαιότητα της εκτίμησης της σημασίας κάθε παράγοντα που παίζει ρόλο στις εκδηλώσεις κατολισθήσεων.

Επειδή η εκτίμηση για τον κίνδυνο κατολισθήσεων προκύπτει μετά από γενικοποιήσεις και απλοποιήσεις δεν έχει γίνει αποδεκτό από τους ερευνητές ένα «ιδανικό» μοντέλο πρόγνωσης κινδύνου κατολισθήσεων (Ercanoglu and Gokceoglu 2002, Westen 2006 ).

Τα βασικά ερωτήματα τα οποία πρέπει να απαντηθούν όταν προγραμματίζεται η δημιουργία ενός χάρτη είναι:

1. Ποιοι παράγοντες επιλέγονται ως καταλληλότεροι για να συμμετέχουν στο μοντέλο το οποίο θα δημιουργηθεί;
2. Με τι βάρος συμμετέχει κάθε παράγοντας;
3. Ποια είναι η καταλληλότερη τεχνική η οποία πρέπει να χρησιμοποιηθεί;

Η τεχνική γραμμικού συνδυασμού με βάρη (Weighted Linear Combination) χρησιμοποιείται συχνά για να δημιουργηθούν ζώνες επικινδυνότητας για κατολισθήσεις σε διαφορετικά φυσιογραφικά περιβάλλοντα.

Στην ερευνητική αυτή εργασία δημιουργούνται 2 ενδιάμεσοι χάρτες επικινδυνότητας οι οποίοι στην συνέχεια συνδυάζονται για να προκύψει ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Η τεχνική γραμμικού συνδυασμού με βάρη χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ο 1<sup>ος</sup> από τους 2 ενδιάμεσους χάρτες, ο αθροιστικός ψηφιακός χάρτης επικινδυνότητας. Στη δημιουργία του συμμετέχουν οι παράγοντες, λιθολογία, φυτοκάλυψη, αποστάσεις από το οδικό και το υδρογραφικό δίκτυο, υψόμετρο και προσανατολισμός των πρानών.

Στο γραμμικό μοντέλο δεν περιλαμβάνεται ο παράγων «κλίση πρानών» ένας παράγων ο οποίος συνήθως περιλαμβάνεται στις διάφορες μελέτες περίπτωσης δημιουργίας χαρτών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις με χρήση της τεχνικής του γραμμικού συνδυασμού με βάρη.

Ωστόσο, η ερευνητική ομάδα κρίνει ότι ο παράγων «κλίση πρานών» ο οποίος επηρεάζει άμεσα την διατμητική τάση της βραχομάζας (λόγω βαρύτητας), δεν πρέπει να λαμβάνεται ως ένας επί πλέον παράγοντας στο γραμμικό μοντέλο, που αφορά στο συγκεκριμένο φυσιογραφικό περιβάλλον.

Συγκεκριμένα, μετά από πολλές διαδοχικές εφαρμογές και μικρορυθμίσεις του γραμμικού μοντέλου, και θεωρώντας την «κλίση πρανών» ως έναν επί πλέον παράγοντα μέσα στο μοντέλο, προέκυψαν σε πολλές περιπτώσεις μη αποδεκτά αποτελέσματα στην δημιουργία των ζωνών επικινδυνότητας.

Για παράδειγμα, ας εξεταστεί η περίπτωση ενός οροπεδίου ή μιας περιοχής με πολύ μικρές κλίσεις πρανών, η οποία συνίσταται από σχιστόλιθο, καλλιεργείται και απέχει από το

οδικό δίκτυο μικρή απόσταση. Με εφαρμογή του γραμμικού μοντέλου αντί να ταξινομείται αυτή η περιοχή σε ζώνη μικρής επικινδυνότητας (οριζόντια επιφάνεια), ταξινομείται ως περιοχή μέτριας ή μεγάλης επικινδυνότητας λόγω λιθολογίας, φυτοκάλυψης, απόστασης από το οδικό δίκτυο.

Έτσι, εγκαταλείφθηκε ο αρχικός σχεδιασμός να περιληφθούν όλοι οι παράγοντες σε ένα γραμμικό μοντέλο.

Για να λυθεί το πρόβλημα αποφασίστηκε η δημιουργία του 2<sup>ου</sup> ενδιάμεσου χάρτη επικινδυνότητας λόγω κλίσεως πρανών.

Οι δυο χάρτες πολλαπλασιάζονται (ο ψηφιακός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις λόγω κλίσεως πρανών συμπεριφέρεται ως συντελεστής του αθροιστικού χάρτη επικινδυνότητας), με χρήση της τεχνικής του πολλαπλασιασμού εικόνων στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών και προκύπτει ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Η τεχνική της δημιουργίας του τελικού χάρτη στην εργασία αυτή θεωρείται ως μια νέα πρόταση για την δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις η οποία ελαχιστοποιεί τις αστοχίες του γραμμικού μοντέλου σε σχετικά φυσιογραφικά περιβάλλοντα.

Αυτό το οποίο εξασφαλίζεται με τον πολλαπλασιασμό εικόνων είναι:

- Οι περιοχές με πολύ μικρές κλίσεις πρανών (οριζόντιες ή σχεδόν οριζόντιες) χαρακτηρίζονται ως περιοχές μικρής επικινδυνότητας, ανεξάρτητα από τη λιθολογία, την φυτοκάλυψη και την απόσταση από το οδικό δίκτυο γιατί ο βαθμός επικινδυνότητας στον αθροιστικό χάρτη πολλαπλασιάζεται με τον πολύ χαμηλό βαθμό (κοντά στο 0) του χάρτη επικινδυνότητας λόγω κλίσεως των πρανών με αποτέλεσμα ο τελικός χάρτης να λαμβάνει πολύ μικρές τιμές γι' αυτές τις περιοχές.
- Στην περίπτωση όπου αναπτύσσεται σχιστόλιθος σε περιοχές με απότομα πρανή τα οποία καλλιεργούνται και βρίσκονται κοντά στο οδικό δίκτυο, οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας στον τελικό χάρτη γιατί ο μεγάλος βαθμός επικινδυνότητας στον αθροιστικό χάρτη παραμένει μεγάλος και στον τελικό χάρτη επειδή πολλαπλασιάζεται με τον υψηλό βαθμό (κοντά στο 1) του χάρτη επικινδυνότητας λόγω κλίσεως των πρανών.

Λαμβάνοντας υπόψη το φυσιογραφικό περιβάλλον των Κυκλάδων, την ποσότητα και την ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων και εκείνων τα οποία παράγονται από την ερευνητική ομάδα, την κλίμακα των χαρτών από τους οποίους προκύπτουν τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται, κρίνεται ότι η τεχνική που αναπτύχθηκε είναι κατάλληλη για τη δημιουργία του χάρτη ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Στην περίπτωση κατά την οποία συγκεκριμένο τεχνικό έργο πρέπει να χωροθετηθεί σε περιοχές υψηλού ή μέτριου βαθμού επικινδυνότητας για κατολισθήσεις του χάρτη που δημιουργήθηκε (π.χ. οδικό δίκτυο, φράγμα) απαιτείται έρευνα πεδίου και ειδικές χαρτογραφήσεις της περιοχής σε μεγάλες κλίμακες από ειδικούς σχετικούς με την ευστάθεια πρανών επιστήμονες.

## **6 Συμπεράσματα**

Τα σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα στις Κυκλάδες μετά από ασυνήθιστα υψηλές για την περιοχή βροχοπτώσεις στις 17 και 18 Φεβρουαρίου του 2003 προκαλούν καταστροφές στην υποδομή, στους οικισμούς και στις καλλιέργειες.

Ο εντοπισμός περιοχών οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη επικινδυνότητα για κατολισθήσεις σε τόσο οικολογικά ευαίσθητες περιοχές θεωρείται ζωτικής σημασίας.

Ο χάρτης ζωνών επικινδυνότητας της Νάξου για εκδήλωση κατολισθήσεων δημιουργήθηκε με την ανάπτυξη μιας τεχνικής η οποία αξιοποιεί την υπάρχουσα γνώση ειδικών εμπειρογνομώνων σχετικά με την ευστάθεια πρανών στο φυσιογραφικό περιβάλλον

των Κυκλάδων συνδυάζοντας με επιστημονικό τρόπο τα διαθέσιμα ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία με τα στοιχεία τα οποία παρήχθησαν από την ερευνητική ομάδα.

Ο χάρτης ο οποίος δημιουργήθηκε μπορεί να συμβάλει στην καταλληλότερη χωροθέτηση διαφόρων έργων υποδομής, στον προσδιορισμό οικισμών οι οποίοι κινδυνεύουν από κατολισθήσεις, στις καταλληλότερες επιλογές χρήσεις γης σε ασταθή εδάφη.

Η τεχνική η οποία αναπτύχθηκε είναι εφαρμόσιμη και σε άλλα φυσιογραφικά περιβάλλοντα μετά από κατάλληλες προσαρμογές.

### **Ευχαριστίες**

Θερμά ευχαριστούμε τον κ. Ν. Καζίλη, Γεωλόγο Μηχανικό, Μελετητή, και τον κ. Δ. Ρόζο, Καθηγητή στο ΕΜΠ για την συμβολή τους στην πραγματοποίηση αυτής της έρευνας.

Ευχαριστούμε επίσης θερμά τον κ. Ε. Μανωλά, Πρόεδρο του Δημοτικού Συμβουλίου Δρυμαλίας, της Ένωσης ορεινών οικισμών της Νάξου, για τη συμβολή του στην συλλογή των στοιχείων τα οποία χρησιμοποιούνται σ' αυτήν την έρευνα.

### **Βιβλιογραφία**

- Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N., 'Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan', *Landslides*, 1, 73–81, 2004.
- Cruden, D.M., 'A simple definition of a landslide', *Bulletin International Association of Engineering Geology*, 43, 27–29, 1991.
- Eastman, J.R., «*Idrisi 32 Guide to GIS and Image Processing*», Worcester, MA, USA, Clark University, 1999.
- Ercanoglu, M. and Gokceoglu C., 'Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach', *Environmental Geology*, 41, 720-730, 2002.
- Ζιούρκας Κ., «Κατολισθητικά Φαινόμενα στον Ελλαδικό Χώρο», Διδακτορική Διατριβή, Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστημίου Πατρών, 1989.
- Haykin, S.M., "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Prentice Hall, USA, 1999.
- Gupta, R., "Remote sensing geology", Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1991.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 'Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy', *Geomorphology*. 31, 181–216, 1999.
- Jansen, J., «*The Geology of Naxos*». IGME, Athens, 1977.
- Κουμαντάκης, Ι., «Κεφάλαια τεχνικής γεωλογίας», Αθήνα, 1984.
- Lee, S. and Choi, J., 'Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of evidence model', *International Journal of Geographical Information Science*, 18, 789–814, 2004.
- Lee, S. and Min, K., 'Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea', *Environmental Geology*, 40, 1095–1113, 2001.
- Νικολάου, Ν., «Τεχνικογεωλογική Εξέταση Κατολισθητικών Φαινομένων στη Νήσο Νάξο, Ν. Κυκλάδων», Τεχνική Εκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα, 2003.
- Ρόκος, Δ., «Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση», Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
- Saaty, T.L., "The Analytic Hierarchy Process", McGraw Hill, New York, 1980.
- Varnes D.J., "Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice", United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1984.
- Wachal, D.J. and Hudak, P.F., 'Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA', *GeoJournal*, 51, 245–253, 2000.

Westen, C.J., et al, "Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?" Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65: 167–184, Berlin / Heidelberg, 2006.

## **Naxos landslide susceptibility zonation using GIS and Remote Sensing methodology**

**I. Galanou**, Dr Geologist, Metsovion Interdisciplinary Research Center, N.T.U.A.

**P. Kolokousis**, Dr Engineer, Rural- Surveying Engineer, N.T.U.A.

### **Abstract**

After the catastrophic landslide phenomena of the 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> of February 2003 in Cyclades islands, Greece, that caused much damage on the infrastructure of the islands and increased the awareness of the socio-economic significance of landslides the need for systematic gathering of existing knowledge in order to map hazard-prone areas became evident. Even though these areas cannot be avoided altogether, their recognition, in the initial stages of planning may assist to allocate appropriate land uses to unstable terrain and to identify existing structures at risk from landslide activity. In this study, geographic information system (GIS) technology offered the appropriate tools to transform the accumulated experience of experts onto numerical data that properly combined, produced a landslide susceptibility map for Naxos, the largest island of Cyclades. Slope angle plays the key role in landslide occurrence in the specific physiographic environment of the region, while other factors like lithology, aspect, elevation, distance from the road network, plant cover and distance from drainage lines that influence instability were taken into consideration. The technique developed that fully exploits the accumulated experience on the Cycladic physiographic environment can also be used for preparing landslides prone areas for all Cycladic islands.