

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΘΕΜΑ: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

ΜΑΡΙΑΣ ΑΛΤΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	7
1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΟΡΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ	7
1.2 ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	9
1.3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	11
1.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	13
2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ, ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΖΩΝΕΣ	14
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
3. ΑΡΧΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΧΩΡΙΣΜΟ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	16
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ	16
3.2 ΘΕΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ	17
3.3 Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	18
3.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	19
3.4.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	19
3.4.2 ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	20
3.4.2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	20
3.4.2.2 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ	20
3.4.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	22
3.5 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΤΗΤΑ	23
4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	25
4.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	25
4.1.1 ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ	26
4.1.2 ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	28
4.1.3 ΕΡΠΥΣΜΟΣ	31
4.1.4 ΡΟΕΣ	32
4.1.5 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ	34
4.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	35
4.2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	35
4.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	36
5. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΧΩΡΙΣΜΟ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	37
5.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	37
5.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38
5.3 GIS – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΩΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	40
5.3.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	40
5.3.2 ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	42
5.3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	42
5.3.4 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	44
5.4 ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών της Γεωλογίας, κατεύθυνση «Εφαρμοσμένη Γεωλογία», του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους αυτούς που συνέβαλλαν στην πραγματοποίησή της και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής, Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου κ. Βασίλειο Χρηστάρα.

Τους φίλους μου Ελένη Μέλλιου και Κωνσταντίνο Αυγέρου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι φυσικές καταστροφές που πλήττουν τον πλανήτη μας αποτελούν βασική αιτία απώλειας ανθρώπινων ζωών και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις. Τις σπουδαιότερες φυσικές καταστροφές συνιστούν οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες και οι τυφώνες, και φυσικά οι κατολισθήσεις.

Σε πολλές χώρες του κόσμου, οι κατολισθήσεις κατέχουν την πρώτη θέση ανάμεσα στα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα από άποψη πρόκλησης ζημιών. Με την αύξηση του πληθυσμού, την ανάπτυξη και την δημιουργία νέων αστικών κέντρων και την κατασκευή τεχνικών έργων παρατηρήθηκε αύξηση των φαινομένων αστάθειας τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά πρηνή.

Οι επιπτώσεις αυτών των φαινομένων αστάθειας μπορούν να διακριθούν σε άμεσες, όπως απώλεια ανθρώπινων ζωών και καταστροφή περιουσιών, και σε έμμεσες, όπως πλήρωση λεκανών και ταμειυτήρων, αποφράξεις ρεμάτων, καταστροφή δρόμων και αγροτικών εκτάσεων.

Τα αίτια αυτών είναι πολλά και εξαρτώμενα από γεωλογικούς, τεκτονικούς, υδρογεωλογικούς, τοπογραφικούς, ακόμα και κλιματικούς παράγοντες που συνδυάζονται ποικιλοτρόπως με τον ανθρωπογενή παράγοντα ώστε να προκαλέσουν τη γένεση των αστοχιών. Οι πρώτες οργανωμένες προσπάθειες για τη μελέτη και έρευνα των κατολισθήσεων ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1950, με πολλές αναθεωρήσεις και βελτιώσεις έκτοτε. Η ολοκληρωμένη πρόταση για τον καθορισμό της απαραίτητης ορολογίας που περιγράφει το φαινόμενο και καθορίζει τα γεωμετρικά του στοιχεία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1990 από την επιτροπή κατολισθήσεων της Διεθνούς Ένωσης Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG).

Ιδιαίτερα η Ελλάδα, υποφέρει συχνά από κατολισθήσεις, καθώς τέτοιου είδους φαινόμενα ευνοούνται από τη λιθολογική σύσταση, την τεκτονική και την γεωμορφολογία της χώρας σε ευρεία κλίμακα. Το πρόβλημα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερης σημασίας τόσο κοινωνικά όσο και οικονομικά, αφού οι πιο συχνά απαντώμενες επιπτώσεις αφορούν σε καταστροφές οδικών δικτύων και των συνοδών τους τεχνικών έργων, καθώς και στη μη βιωσιμότητα ολόκληρων οικισμών λόγω επισφαλών συνθηκών.

Η ανάγκη ουσιαστικής έρευνας των κατολισθητικών φαινομένων και η λήψη μέτρων για την προστασία ή, όπου είναι εφικτό, ακόμα και την αποφυγή του προβλήματος φάνηκε από τις αρχές, κιόλας, του 20ου αιώνα με δημοσιεύσεις εργασιών περιγραφικού χαρακτήρα, για κατολισθήσεις εκείνης της εποχής. Οι περισσότερες κατολισθήσεις στη χώρα μας αποτελούν ζώνες παλαιότερης ενεργοποίησης. Μια από τις παλαιότερες και σημαντικότερες ιστορικά καταγεγραμμένες κατολισθήσεις, εκδηλώθηκε στην Ελίκη της Πελοποννήσου το 373π.Χ. και είχε σαν αφορμή ισχυρή σεισμική δόνηση.

Ολοκληρωμένες τεχνικές εκθέσεις άρχισαν να συμπληρώνονται μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1960, και ειδικότερα με τη δημιουργία της Διεύθυνσης Τεχνικής Γεωλογίας του ΙΓΜΕ (1974), καθώς και σε άλλους δημόσιους φορείς, όπως π.χ. το ΚΕΔΕ.

Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα, δεν ακολουθείται ένα ενιαίο πλαίσιο σύνταξης τεχνικών εκθέσεων από τους διάφορους φορείς που ασχολούνται με την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων και των προβλημάτων που προκύπτουν από αυτά. Αυτό έχει ως συνέπεια να απουσιάζουν συχνά σημαντικές πληροφορίες για την πλήρη περιγραφή και κατανόηση του φαινομένου. Οι πληροφορίες που συνήθως δεν δίνονται φαίνονται αναλυτικότερα παρακάτω:

- Οι συντεταγμένες της κατολισθαίνουσας ζώνης ώστε να εντοπίζεται εύκολα σε χάρτες και στην περίπτωση επιτόπου επίσκεψης.
- Γεωμορφολογικά στοιχεία, όπως το ανάγλυφο, το υψόμετρο, οι συνθήκες διάβρωσης.
- Υδρο-μετεωρολογικές συνθήκες, κυρίως το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
- Ο ακριβής χρόνος εκδήλωσης του κατολισθητικού φαινομένου
- Τυχόν επαναδραστηριοποιήσεις.
- Λεπτομερή τεκτονικά και σεισμικά στοιχεία.
- Τύπος μετακίνησης υλικού με βάση κάποια γενικά αποδεκτή ταξινόμηση, γεωμετρία της ολίσθησης, ταχύτητα μετακίνησης και ενεργότητα.

Στον Ελληνικό χώρο εκδηλώνονται πολυάριθμα κατολισθητικά φαινόμενα, ορισμένα από τα οποία προκαλούν ιδιαίτερα σημαντικές επιπτώσεις, τόσο οικονομικές όσο και κοινωνικές. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα σημαντικών κατολισθήσεων είναι η κατολίσθηση στο Μικρό Χωριό Καρπενησίου, που εκδηλώθηκε το 1963 και προκάλεσε το θάνατο 13 ανθρώπων και την καταστροφή του χωριού, καθώς και η κατολίσθηση κατά μήκος της Εθνικής οδού Αθηνών – Λαμίας, στο ύψος της Μαλακάσας, που έλαβε χώρα το 1995 και επέφερε σημαντική οικονομική επιβάρυνση στην Εθνική Οικονομία με ποσά άνω του 1 δισεκατομμυρίου δραχμών.

Με βάση τις καταγραφές που έχουν γίνει από τους αρμόδιους κρατικούς φορείς (Υπουργείο Βιομηχανίας, Υπουργείο Συντονισμού, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, Υπουργείο Γεωργίας, Ι.Γ.Μ.Ε, Πανεπιστήμια, κλπ.) διαπιστώνεται ότι την μεταπολεμική περίοδο έχουν εκδηλωθεί στον Ελληνικό χώρο πάνω από 500 κατολισθήσεις, ενώ ο συνολικός αριθμός θα πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερος δεδομένου ότι ο ανωτέρω αριθμός αφορά μόνο κατολισθήσεις κατά μήκος του οδικού δικτύου και μέσα σε οικιστικούς χώρους, ή εν πάσει περιπτώσει κατολισθήσεις με κάποια οικονομική ή κοινωνική επίπτωση.

Μετά από στατιστική ανάλυση των παραγόντων εκδήλωσης των κατολισθήσεων διαπιστώνεται ότι οι κυριότερες αιτίες εκδήλωσης είναι συνοπτικά οι ακόλουθες:

- Οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις των πρηνών. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις εκδηλώνονται σε ορεινές περιοχές του Ελλαδικού χώρου με εντυπωσιακή συγκέντρωση των θέσεων κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου.
- Τα μικρά μεγέθη των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών.
- Η έντονη τεκτονική παραμόρφωση, η οποία κατακερμάτισε τους σχηματισμούς και συνέβαλε στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση των τιμών των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών. Πρόσθετα κατά μήκος των τεκτονικών ασυνεχειών υφίστανται κατάλληλες επιφάνειες μετακίνησης των μαζών.
- Η έντονη διαφοροποίηση στην λιθοστρωματογραφική διάρθρωση με αποτέλεσμα την αλληλουχία σχηματισμών με τελείως διαφορετικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά.
- Οι έντονες κλιματολογικές διαφοροποιήσεις και οι ακραίες κλιματολογικές συνθήκες σε ορισμένα σημεία του Ελληνικού χώρου και ιδιαίτερα εκεί όπου συνυπάρχουν συνήθως όλοι οι προηγούμενοι παράγοντες (π.χ. οροσειρά της Πίνδου).
- Η υψηλή σεισμικότητα, η οποία επιδρά σε μάζες με οριακές συνθήκες ισορροπίας. Η σχέση έχει παρατηρηθεί σε αρκετούς πρόσφατους σεισμούς που εκδηλώθηκαν στον Ελληνικό χώρο (π.χ. Κυλλήνη 1988, Μήλος 1992, Πύργος 1993, Γρεβενά 1995).
- Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στο περιβάλλον, οι οποίες συνίστανται στην αποψίλωση των δασών, στη διαμόρφωση των πρηνών, στην αφαίρεση της υποστήριξης και στην κατασκευή τεχνικών έργων χωρίς προηγούμενη μελέτη.

Την δεκαετία του '50, το πρόβλημα των κατολισθήσεων, που συνήθως αφορούσε περιοχές και οικιστικές μονάδες απομονωμένες, με ελάχιστο κατά κεφαλή εισόδημα των κατοίκων και με μικρές δυνατότητες ανάπτυξης, χρησιμοποιούνταν πολλές φορές καταχραστικά ως ένα όπλο για τη μεταφορά των οικισμών σε άλλες γεωγραφικές περιοχές με περισσότερες ευκαιρίες οικονομικής ανάπτυξης.

Οι αντιλήψεις αυτές όμως έχουν ήδη ξεπεραστεί δεδομένης και της οικονομικής ανάπτυξης των απομονωμένων περιοχών, πολλές από τις οποίες αποτελούν μάλιστα και περιοχές με ιδιαίτερο φυσικό κάλος. Αντίθετα, το πρόβλημα των κατολισθήσεων κυρίως εμφανίζεται σε περιοχές με έντονη ανάπτυξη, όπως στα περιθώρια μεγάλων οικιστικών συγκροτημάτων, σε περιοχές υψηλής τουριστικής ανάπτυξης και σε περιοχές κατασκευής τεχνικών έργων και παρεμβάσεων. Στις περιοχές αυτές λόγω της ταχύτατης ανάπτυξης – επέκτασης και της πιεστικής ανάγκης εξεύρεσης χώρων δεν έχουν γίνει οι αναγκαίες μελέτες ούτε έχουν ληφθεί κάποια έστω και στοιχειώδη μέτρα με αποτέλεσμα ο κίνδυνος να είναι υψηλός. Τις περισσότερες μάλιστα των περιπτώσεων, ο δυνητικός κίνδυνος αυξάνεται λόγω των ανθρώπινων παρεμβάσεων, όπως είναι η φόρτιση του πρηνούς με τις κατασκευές, η διοχέτευση λυμάτων στο υπέδαφος, οι εκσκαφές, κλπ.

1. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΟΡΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ

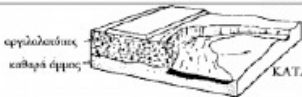
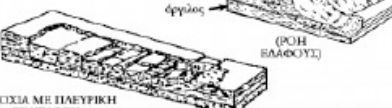
Ο όρος κατολίσθηση (landslide) περιλαμβάνει την έννοια της ολίσθησης, της πτώσης, της ανατροπής και της ροής, αν και ετυμολογικά δεν διακρίνονται όλες οι παραπάνω κατηγορίες. Επιπλέον, το φαινόμενο της κατολίσθησης μπορεί να παρατηρηθεί τόσο στη ξηρά όσο και μέσα σε θάλασσες, λίμνες και ταμειυτήρες.

Ο πρώτος ορισμός του όρου προτάθηκε το 1950 από τον Terzaghi, σύμφωνα με τον οποίο κατολίσθηση είναι μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανού, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

Στη συνέχεια, οι Zaruba and Mencl (1969) ορίζουν την κατολίσθηση σαν μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανού, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια.

Ο Coates (1977) δίνει τις παρακάτω προϋποθέσεις για την ταξινόμηση μιας εδαφικής μάζας στις κατολισθήσεις:

1. Η βαρύτητα είναι η δύναμη που κατέχει πρωτεύοντα ρόλο,
2. Η ταχύτητα της κίνησης είναι σχετικά μεγάλη (άρα δεν συμπεριλαμβάνεται ο ερπυσμός),
3. Η κίνηση μπορεί να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή,
4. Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης δεν ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα,
5. Η κίνηση πρέπει να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με τη δημιουργία ελεύθερης επιφάνειας (άρα δεν συμπεριλαμβάνονται οι καθιζήσεις),
6. Το μετακινούμενο υλικό έχει καθορισμένα όρια και αποτελεί συνήθως περιορισμένο τμήμα μιας ορεινής ή λοφώδους έκτασης,
7. Το μετακινούμενο υλικό περιλαμβάνει μέρος του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων ή μέρος του μητρικού πετρώματος ή και τα δύο,
8. Ολισθήσεις που οφείλονται σε φαινόμενα παγετού συνήθως δε συμπεριλαμβάνονται στις ολισθήσεις.

ΜΟΡΦΗ ΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ															
		ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΕΛΑΦΗ														
I. ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ		 ΚΑΤΑΠΤΩΣΗ ΒΡΑΧΩΝ εξαιρετικά γρήγορη	 ΚΑΤΑΠΤΩΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ πολύ γρήγορα														
II. ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ		ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ολισθητική αργή έως μέση  ΕΠΙΠΕΔΗ ολισθητική αργή  ΟΛΙΣΘΗΣΗ BLOCK μέση ταχύτητα  ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΒΡΑΧΩΝ αργή  πολύ αργή έως εξαιρετικά γρήγορη	ΕΠΙΠΕΔΗ ολισθητική αργή  ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ολισθητική αργή  ΑΣΤΥΧΙΑ ΜΕ ΠΛΑΓΥΡΙΚΗ ΕΞΑΙΡΕΣΗ πολύ γρήγορα  πολύ αργή έως γρήγορη														
B. Μετακινήσεις υλικού πολύ ταχυσυμφορμμένα																	
III. ΡΟΕΣ	Διαβάθμιση περιεχόμενου νερού	ΤΕΛΕΙΣ ΔΕΥΝΑΕΤΑ ΥΛΙΚΑ															
		ΜΕΙΖΗΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ, ΕΛΑΦΟΥΣ, ΑΡΓΥΛΩΝ ΚΑΙΛ.															
		ΟΕ ΕΠΙ ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟΝ ΜΕΓΑΛΑ ΘΡΑΣΣΜΑΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ  ΡΟΗ ΘΡΑΣΣΜΑΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ Διαγράμμιση διαστάσεων αγκυρώσεων <table><tr><td>εξαιρετικά γρήγορη</td><td>10' /sec</td></tr><tr><td>πολύ γρήγορη</td><td>1' /min</td></tr><tr><td>γρήγορη</td><td>5' /day</td></tr><tr><td>μέση</td><td>5' /month</td></tr><tr><td>αργή</td><td>5' /year</td></tr><tr><td>πολύ αργή</td><td>1' /5years</td></tr><tr><td>εξαιρετικά αργή</td><td></td></tr></table> ΡΟΗ ΑΜΜΟΥ Η ΙΛΥΟΣ γρήγορη έως πολύ γρήγορη  ΓΡΗΓΟΡΗ ΡΟΗ ΕΛΑΦΟΥΣ  ΑΛΣΙΠΟΡΟΗ ΡΟΗ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ  ΡΟΗ ΙΛΥΟΣ	εξαιρετικά γρήγορη	10' /sec	πολύ γρήγορη	1' /min	γρήγορη	5' /day	μέση	5' /month	αργή	5' /year	πολύ αργή	1' /5years	εξαιρετικά αργή		ΟΧΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ Η ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ ΑΡΓΥΛΟΣ ΔΙΑΔΟΧΩΜΕΝΗ ΑΜΜΟΣ Η ΙΛΥΣ ΡΟΗ ΑΜΜΟΥ  ΡΟΗ ΛΟΕΣΣ (προκαταβλήμενη από σκευασμούς) εξαιρετικά γρήγορη  ΑΠΟΒΛΗΚΑΙΟ ΠΕΤΡΩΜΑ, ΔΟΡΟΣ, κ.λπ.  "ΧΙΟΝΟΣΤΙΒΑΔΑ" ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ  ΑΡΓΗ ΡΟΗ ΕΛΑΦΟΥΣ 
εξαιρετικά γρήγορη	10' /sec																
πολύ γρήγορη	1' /min																
γρήγορη	5' /day																
μέση	5' /month																
αργή	5' /year																
πολύ αργή	1' /5years																
εξαιρετικά αργή																	

Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes

Ο Varnes (1978) χρησιμοποιεί τον όρο μετακίνηση μαζών (mass movements), στον οποίο περιλαμβάνει κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό. Με αυτό τον ορισμό δεν περιλαμβάνονται στις κατολισθήσεις φαινόμενα όπως οι καθιζήσεις, οι χιονοστιβάδες και οι μετακινήσεις πάγου. Από το 1978 έχει επικρατήσει ο ορισμός κατά Varnes, αφού αποδίδει μια ευρύτερη έννοια στη λέξη κατολίσθηση, χωρίς ωστόσο να περιλαμβάνονται οι καθιζήσεις και οι καταρρεύσεις.

Τα πρώτα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων προτάθηκαν από τους Sharpe (1939) και Varnes (1958) και βασίζονταν στον τύπο και την ταχύτητα κίνησης, στον τύπο του υλικού και στην περιεχόμενη υγρασία. Στη συνέχεια, ο Erskine (1973) ταξινόμησε τις κατολισθήσεις με βάση την ενεργότητά τους και τις επιπτώσεις που πιθανόν να έχουν στα διάφορα τεχνικά έργα.



Κατολίσθηση σε μολασσικούς σχηματισμούς Μεσοελληνικής Αύλακας στην κοινότητα Καναλίων Καρδίτσας

Οι Zaruba and Mencl (1976) διακρίνουν τέσσερις κύριες κατηγορίες μετακίνησης πρανών, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιομορφίες της γεωλογικής δομής των χωρών τους, ανάλογα με τη σύσταση των υλικών που μετακινούνται.

Κατηγορία	Είδος
Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων	Ερπυσμός κορημάτων και κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων
	Ολισθήσεις κορημάτων και μανδύα αποσάθρωσης
	Ροές γαιών
Μετακινήσεις σε αργιλικά εδάφη και πετρώματα	Ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης
	Ολισθήσεις κατά μήκος σύνθετων επιφανειών ολίσθησης
	Μετακίνηση πρανών από σύνθλιψη μαλακών πετρωμάτων
Μετακινήσεις συμπαγών πετρωμάτων	Ολισθήσεις βράχων κατά μήκος προκαθορισμένων επιφανειών
	Ολισθήσεις βαρύτητας (μακροχρόνιες παραμορφώσεις πρανών)
	Πτώσεις βράχων
Ειδικόι τύποι μετακίνησης	Εδαφική ροή λόγω παγετού
	Ολισθήσεις σε ευαίσθητες αργίλους

1.2 ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην έρευνα των κατολισθήσεων είναι ο προσδιορισμός της ενεργότητάς τους (activity). Το 1993 ομάδα εργασίας της UNESCO προτείνει ως απαραίτητες παραμέτρους για τον προσδιορισμό της ενεργότητας τις παρακάτω:

- Καθεστώς ενεργότητας (state of activity), που αναφέρεται στο χρονικό των μετακινήσεων.

Έτσι, οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε:

α.) ενεργές (active), που παρουσιάζουν πρόσφατες μετακινήσεις.

Οι μορφολογικοί χαρακτήρες αναγνωρίζονται εύκολα και δεν έχουν αλλοιωθεί από τις φυσικές διεργασίες της αποσάθρωσης και της διάβρωσης. Από τις κατολισθήσεις αυτές άλλες εκδηλώνονται για πρώτη φορά και ονομάζονται αρχικά ενεργές και άλλες ενεργοποιούνται μετά από ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο είχαν σταθεροποιηθεί και ονομάζονται επανεργοποιημένες (reactivated).

Οι επανεργοποιημένες μετακινούνται συνήθως σε επιφάνειες ολίσθησης, που προϋπήρχαν, και των οποίων η διατμητική αντοχή πλησιάζει την παραμένουσα.

Οι κατολισθήσεις που μετακινήθηκαν κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο και οι οποίες κατά την παρούσα περίοδο δεν μετακινούνται ονομάζονται παροδικά ανενεργές ή υπό αναστολή (suspended).

β.) ανενεργές (inactive), που παραμένουν σταθερές για περισσότερο από ένα έτος.

Αν τα αίτια που συντελούν στην εκδήλωση της κατολίσθησης παραμένουν τότε η κατολίσθηση βρίσκεται σε λανθάνουσα κατάσταση (dormant).

Αν όμως τα αίτια που τις προκαλούν έχουν εκλείψει, τότε πρόκειται για μη ενεργοποιήσιμη κατολίσθηση (abandoned).

Τέλος, όταν για μια ανενεργή κατολίσθηση έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης, η κατολίσθηση θεωρείται σταθεροποιημένη (stabilized).

γ.) παλαιές – απολιθωμένες (relict), οι οποίες δεν έχουν ενεργοποιηθεί για πολλά χρόνια. Τέτοιου είδους κατολισθήσεις αφήνουν τα ίχνη τους πάνω στα πρηνή για χρόνια, ενώ έτσι χαρακτηρίζονται και αυτές που έχουν θαφτεί κάτω από νεότερα ιζήματα ή αποθέσεις.

- Κατανομή ενεργότητας (distribution of activity), με την οποία περιγράφεται πώς μετακινούνται τα τμήματα της κατολίσθησης.

Σύμφωνα με την κατανομή μια κατολίσθηση διακρίνεται σε:

α.) προωθούμενη (advancing), όταν παρατηρείται επέκταση της κατολίσθησης προς τα κατόντη, δηλαδή προς την κατεύθυνση της γενικότερης μετακίνησης.

β.) ανάδρομη (retrogressive), όταν οι θραύσεις και η ολίσθηση επεκτείνονται προς τα ανάντη, δηλαδή αντίθετα προς την κατεύθυνση της γενικότερης μετακίνησης.

γ.) διευρυνόμενη (widening), αν η επέκταση γίνεται ως προς τη μία ή και τις δύο πλευρές της κατολίσθησης.

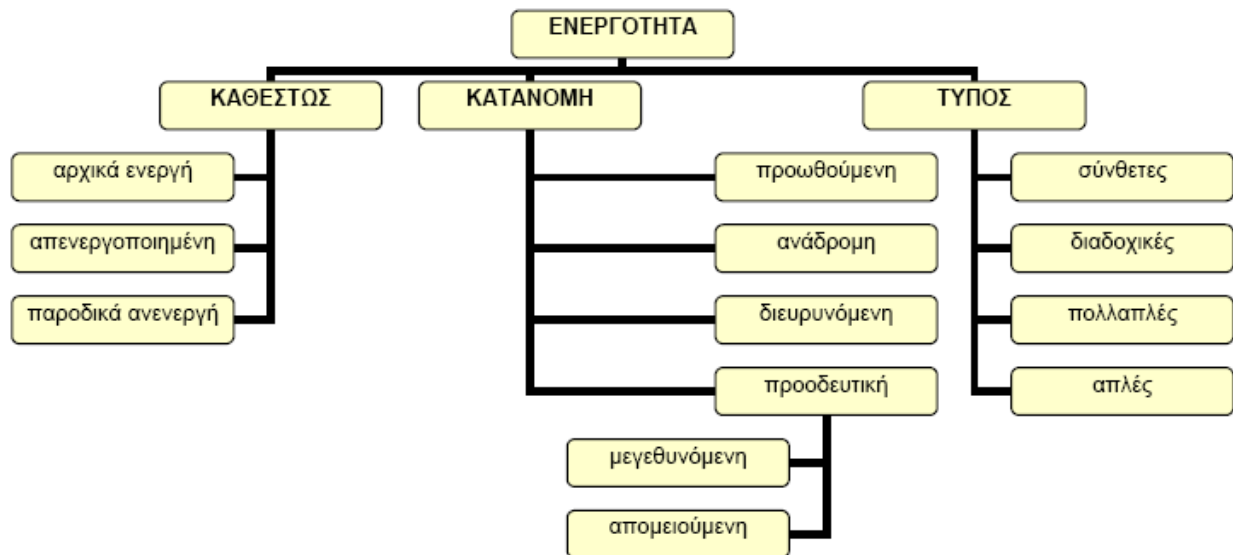
δ.) προοδευτική (progressive), εδώ υπάρχει μια περαιτέρω διάκριση σε μεγεθυνόμενη (enlarging), αν η κατολίσθηση παίρνει όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις, τόσο σε μήκος όσο και σε πλάτος ή ακόμα και βάθος, και σε απομειούμενη (diminishing), αν ο όγκος των μετακινούμενων υλικών συνεχώς μειώνεται με το χρόνο.

- Τύπο ενεργότητας (type of activity), με τον οποίο καθορίζεται ο τρόπος εκδήλωσης των επιμέρους μετακινήσεων εντός της κύριας μάζας της κατολίσθησης.

Ως σύνθετες (complex ή composite) χαρακτηρίζουμε τις κατολισθήσεις που εκδηλώνονται με τουλάχιστον δύο διαφορετικούς τύπους μετακίνησης. Μια κατολίσθηση μπορεί να εμφανίζει επαναλαμβανόμενες κινήσεις του ίδιου τύπου με επέκταση της επιφάνειας θραύσης, οπότε καλείται πολλαπλή (multiple).

Η νέα μετακινούμενη μάζα είναι σε επαφή με την προηγούμενη και πολλές φορές έχουν κοινό τμήμα επιφανειών θραύσης. Παρόμοια με τις πολλαπλές εξελίσσονται και οι διαδοχικές (successive), με τη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει επικάλυψη του υλικού της μιας κατολίσθησης με το αντίστοιχο της άλλης και η καθεμία αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση.

Τέλος, αντίθετα από τη σύνθετη, μια απλή (single) κατολίσθηση εκδηλώνεται με έναν και μόνο τύπο μετακίνησης, χωρίς η μάζα που ολισθαίνει να διαχωρίζεται.



Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με το καθεστώς, την κατανομή και τον τύπο ενεργότητας

1.3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Η ταχύτητα μετακίνησης μιας κατολίσθησης είναι παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις που έχει μια κατολίσθηση σε ανθρώπινες ζωές, βλάβες κτιρίων και τεχνικών έργων, κ.τ.λ. Η πιο πρόσφατη ταξινόμηση, που χρησιμοποιείται και από την παρούσα εργασία, δίνεται στον παρακάτω πίνακα, ενώ οι πιθανές βλάβες που μπορούν να προκληθούν από κατολισθήσεις σύμφωνα με τις επτά κατηγορίες ταχύτητας δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι όσο πιο γρήγορη είναι η ταχύτητα μιας μετακίνησης τόσο μεγαλύτερες και εντονότερες είναι οι απώλειες και οι επιπτώσεις. Φυσικά, δεν πρέπει να παραλείψουμε πως ο προσδιορισμός της ταχύτητας μετακίνησης μιας μάζας είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, καθώς συχνά παρατηρείται διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα στάδια εξέλιξης ή ακόμα και στα διάφορα τμήματα της ολίσθησης. Ακόμα πιο δύσκολος γίνεται ο προσδιορισμός της ταχύτητας όταν πρόκειται για σύνθετου τύπου κατολισθήσεις αφού κάθε τύπος μπορεί να έχει τη δική του ταχύτητα.

Χαρακτηρισμός Ταχύτητας	Τυπική Ταχύτητα
Εξαιρετικά Αργή	<16 mm/year
Πολύ Αργή	>16 mm/year
Αργή	>1,6 m/year
Μέτρια	>13 m/month
Γρήγορη	>1,8 m/hour
Πολύ Γρήγορη	>3 m/min
Εξαιρετικά Γρήγορη	> 5 m/sec

Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης (UNESCO,1995)

Κατηγορία ταχύτητας μετακίνησης	Πιθανές βλάβες
7	Καταστροφές κτιρίων λόγω έντονων μετακινήσεων ή πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι, απίθανη η ύπαρξη επιζώντων.
6	Μερικοί θάνατοι, περιορισμένος χρόνος για ασφαλή φυγή όλων των κατοίκων.
5	Δυνατή η ασφαλής φυγή των κατοίκων. Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή κατεστραμμένα.
4	Μερικές από τις προσωρινές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν.
3	Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση. Μερικές φορές καλά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις μπορεί να διατηρηθούν με κατάλληλη συντήρηση, αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της κίνησης.
2	Μερικές από τις μόνιμες κατασκευές παραμένουν ανέπαφες.
1	Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με ενόργανες μετρήσεις λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες, όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (UNESCO, 1995)

1.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Για να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση πρέπει να πραγματοποιηθεί μια αλληλουχία γεγονότων που επηρεάζουν την ισορροπία του πρηνούς και προκαλούν τη διατάραξή του με τελικό αποτέλεσμα τη θραύση και μετακίνηση αυτού. Αυτά τα γεγονότα χαρακτηρίζονται ως *αίτια της κατολίσθησης (landslide causes)* και όταν συνδυάζονται θέτουν τη μάζα σε οριακή κατάσταση ισορροπίας. Ο τελικός παράγοντας που αποτελεί την αφορμή μετακίνησης της οριακά σταθερής μάζας χαρακτηρίζεται ως *έναυσμα μετακίνησης (triggering factor)*.

Από πλευράς φυσικής κατάστασης και ευστάθειας, ένα πρηνές διέρχεται από τρία στάδια:

- Σταθερό, το οποίο μπορεί και αντιστέκεται σε όλες τις δυνάμεις αποσταθεροποίησης,
- Οριακά σταθερό, που κάποια στιγμή αναμένεται η εκδήλωση αστάθειας από την επίδραση των δυνάμεων αποσταθεροποίησης,
- Ενεργά ασταθές, όπου οι δυνάμεις αποσταθεροποίησης προκαλούν συνεχείς ή περιοδικές μετακινήσεις.

Οι δυνάμεις αποσταθεροποίησης στα δύο πρώτα στάδια χαρακτηρίζονται ως τα γνωστά μας αίτια ή προκαταρκτικοί παράγοντες, ενώ στο τρίτο στάδιο χαρακτηρίζονται ως το έναυσμα της μετακίνησης ή παράγοντες εναύσματος.

Ανάλογα με την προέλευσή τους, οι παράγοντες αυτοί ταξινομούνται στις παρακάτω ομάδες:

- Εδαφικές συνθήκες, που αναφέρονται στα γενικά χαρακτηριστικά των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών.
- Γεωμορφολογικές διεργασίες, που αναφέρονται στις μεταβολές της γεωμορφολογίας του εδάφους.
- Φυσικές διεργασίες, που αναφέρονται στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο και μπορούν να εκτιμηθούν με την εγκατάσταση οργάνων, όπως πιεζόμετρα, σειсмоγράφοι, βροχόμετρα, κ.τ.λ.
- Ανθρωπογενείς διεργασίες, που αφορούν την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στην ευρύτερη περιοχή.

2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ, ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΖΩΝΕΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία της κατολίσθησης είναι προϊόν των τοπικών γεωμορφολογικών, υδρολογικών και γεωλογικών συνθηκών, όπως επίσης και της τροποποίησης αυτών των συνθηκών από γεωδυναμικές διεργασίες, της βλάστησης, της χρήσης γης και της ανθρώπινης δραστηριότητας και τέλος της συχνότητας και έντασης των κατακρημνίσεων και της σεισμικότητας.

Οι μελέτες κατολισθητικών φαινομένων έχουν επικεντρωθεί στην ανάλυση μεμονωμένων σφαλμάτων στα πρανή καθώς και στα διορθωτικά μέτρα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτές τις μελέτες επιλέχθηκαν σύμφωνα με τη μεγάλη κλίμακα. Έτσι, δεν επέτρεπαν τον χωρισμό εκτεταμένων περιοχών σε ζώνες, ανάλογα με την επιδεκτικότητα τους σε κατολισθητικά φαινόμενα. Ο χωρισμός αυτός όμως κατέστη απαραίτητος όταν κατανοήθηκε ότι ο κατάλληλος σχεδιασμός μπορεί να μειώσει αισθητά τα κόστη κατασκευής και συντήρησης δομικών έργων.

Λαμβάνοντας υπόψη τους πολλούς εδαφικούς παράγοντες που εμπλέκονται στην ασταθεια των πρανών, η πρακτική της διάκρισης σε ζώνες επικινδυνότητας απαιτεί:

- Την λεπτομερή καταγραφή των διεργασιών αστάθειας πρανών,
- Την μελέτη αυτών των διεργασιών σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες,
- Την ανάλυση των παραγόντων που προκαλούν κατολισθήσεις και
- Την αναπαράσταση της χωρικής κατανομής αυτών των παραγόντων

Κάποιες μεθοδολογικές προσεγγίσεις της εκτίμησης των κατολισθήσεων εξετάζονται παρακάτω.

Αξιίζει να τονιστεί ο ουσιαστικός ρόλος του γεωλόγου στη μοντελοποίηση των συνθηκών της χωρικής κατανομής που οδηγούν στην κατολίσθηση. Επίσης παρακάτω δίνεται ένα σχέδιο για την ιεραρχία στον τρόπο διάκρισης σε κατολισθητικές ζώνες, παρόμοιο με τις φάσεις που αναγνωρίζονται στα έργα των μηχανικών. Ακολουθώντας αυτή την συστηματική προσέγγιση προσδιορίζονται τα απαραίτητα βήματα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις άμεσες καθώς και τις έμμεσες τεχνικές χαρτογράφησης.

Επιπλέον παρακάτω δίνεται έμφαση στην εφαρμογή των τεχνικών τηλεπισκόπησης στις μελέτες κατολισθήσεων και στον χωρισμό σε ζώνες επικινδυνότητας.

Παρουσιάζεται ένας συστηματικός οδηγός για την αναγνώριση και την ερμηνεία των κατολισθήσεων. Αξιολογείται η δυνατότητα χρησιμοποίησης δεδομένων με βάση την τηλεπισκόπηση για την αναγνώριση της κατολίσθησης, λαμβάνοντας υπόψη τα χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά καθώς και τις χρονικές διακριτικές ικανότητές τους.

Επίσης, τονίζονται οι δυνατότητες των συστημάτων γεωγραφικής πληροφόρησης (GIS) για την ανάλυση των γεωλογικών και τοπογραφικών παραγόντων, που οδηγούν στην κατολίσθηση.

Προτείνεται μια ολοκληρωμένη ανάλυση των τεχνικών για τη διάκριση των διαφορετικών κατολισθήσεων.

Η ορολογία που χρησιμοποιείται, ανταποκρίνεται στους ορισμούς που προτάθηκαν από τον Varnes (1984):

- “Natural Hazard” είναι η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά επιβλαβούς φαινομένου σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σε μια δεδομένη περιοχή,
- “Risk” είναι ο αναμενόμενος αριθμός απώλειας ζωών, τραυματίες, υλικές ζημιές, ή διακοπή της οικονομικής δραστηριότητας εξαιτίας ενός ειδικού φυσικού φαινομένου, και
- Ο χωρισμός σε ζώνες (“Zonation”) αναφέρεται στη διαίρεση της γης σε ομοιογενείς περιοχές ή τομείς και η κατάταξη των περιοχών αυτών ανάλογα

με τους βαθμούς των πραγματικών ή δυνητικών κινδύνων που προκαλούνται από τις κινήσεις των μαζών.

Για τον προσδιορισμό των κινδύνων ("Risks"), ο Varnes έδωσε τους ακόλουθους ορισμούς:

- ⤴ Ευπάθεια (Vulnerability) είναι ο βαθμός απώλειας σε ένα συγκεκριμένο "στοιχείο σε κίνδυνο" (ή σε σύνολο στοιχείων), που προέρχεται από την ύπαρξη ενός φυσικού φαινομένου ενός δεδομένου μεγέθους,
- ⤴ Στοιχείο σε κίνδυνο εννοεί τον πληθυσμό, τις περιουσίες, τις οικονομικές δραστηριότητες και ούτω καθεξής, που βρίσκονται σε κίνδυνο σε μια συγκεκριμένη περιοχή, και
- ⤴ Ειδικός κίνδυνος (Specific risk) είναι ο αναμενόμενος βαθμός απώλειας που οφείλεται σε ένα συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο.

Ο κίνδυνος κατολίσθησης συνήθως αποτυπώνεται σε χάρτες όπου εμφανίζεται η χωρική κατανομή των κατηγοριών κινδύνου (χωρισμός σε ζώνες κινδύνου). Ο χωρισμός σε ζώνες επικινδυνότητας της αστάθειας απαιτεί λεπτομερή γνώση των διαδικασιών που είναι ή έχουν υπαρξει ενεργες σε μια περιοχή και των παραγόντων που οδηγούν στην εμφάνιση των δυνητικά επιβλαβών φαινομένων. Η γνώση αυτή θεωρείται η κυρίαρχη για τους γεωλόγους. Η ανάλυση της ευπάθειας απαιτεί λεπτομερή γνώση της πυκνότητας του πληθυσμού, των υποδομών και των οικονομικών δραστηριοτήτων και των επιπτώσεων ενός συγκεκριμένου καταστροφικού φαινομένου πάνω σ' αυτά τα στοιχεία ("Στοιχείο σε κίνδυνο").

Συνεπώς, αυτό το τμήμα της ανάλυσης γίνεται κυρίως από άτομα άλλων κλάδων, εκτός των γεωλόγων, όπως είναι οι ειδικοί στον αστικό σχεδιασμό και την κοινωνική γεωγραφία, οι οικονομολόγοι και οι μηχανικοί.

Όπως αναφέρεται, πλήρως ανεπτυγμένα παραδείγματα της ανάλυσης των κινδύνων σε ποσοτική βάση εξακολουθούν να σπανίζουν στην βιβλιογραφία (Einstein 1988, Kienholz 1992, Innocenti 1992, Keaton 1994), εν μέρει λόγω των δυσκολιών στον ποσοτικό καθορισμό των κινδύνων αλλά και της τρωτότητας. Ανάλυση κινδύνων σπάνια εκτελείται σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, δεδομένου ότι η πιθανότητα εμφάνισης των δυνητικά επιβλαβών φαινομένων είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιορισθεί για μεγάλες επιφάνειες.

Σύμφωνα με τους Varnes (1984), Hutsinson (1995), οι έρευνες για εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων περιλαμβάνουν τις παρακάτω θεμελιώδεις παραδοχές :

- Οι κατολισθήσεις εκδηλώνονται στις ίδιες γεωλογικές, γεωμορφολογικές, υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες οι οποίες υπήρχαν και στο παρελθόν.
- Οι κύριες συνθήκες οι οποίες προκαλούν κατολισθήσεις ελέγχονται από αναγνωρίσιμους φυσικούς παράγοντες.
- Ο βαθμός κινδύνου μπορεί να αξιολογηθεί.
- Όλοι οι τύποι κατολισθήσεων μπορούν να αναγνωριστούν και να ταξινομηθούν.

Ο προσδιορισμός των πραγματικών πιθανοτήτων απαιτεί την ανάλυση των παραγόντων γένεσης των σεισμών, για παράδειγμα, ή των βροχοπτώσεων, όπως αναφέρθηκε ή με την εφαρμογή σύνθετων μοντέλων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ωστόσο, δεν υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ αυτών των παραγόντων και της εμφάνισης των κατολισθήσεων. Ως εκ τούτου, στους περισσότερους χάρτες επικινδυνότητας οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται γενικά δεν δίνουν περισσότερες πληροφορίες για την ευαισθησία ορισμένων τομέων να κατολισθαίνουν ή σχετικές ενδείξεις του βαθμού επικινδυνότητας, όπως είναι υψηλής, μεσαίας και χαμηλής.

Από την επισκόπηση πολλών μελετών φαίνεται ότι η ευαισθησία εκφράζει συνήθως την πιθανότητα ότι ένα φαινόμενο (σε αυτή την περίπτωση μια κατολίσθηση) θα εμφανιστεί σε μια περιοχή με βάση τις τοπικές συνθήκες εδάφους. Όμως η πιθανότητα της εμφάνισης, η οποία εξαρτάται επίσης από την επανεμφάνιση παράγοντων ενεργοποίησης, όπως οι βροχοπτώσεις ή η σεισμικότητα, δεν λαμβάνεται υπόψη. Οι όροι "κίνδυνος και ευαισθησία" συχνά χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα.

3. ΑΡΧΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΧΩΡΙΣΜΟ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Ένας ιδανικός χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χωρική και την χρονική πιθανότητα, το είδος, το μέγεθος, την ταχύτητα και την απόσταση τους (Harden και Viberg 1988).

Μια αξιόπιστη καταγραφή των κατολισθήσεων που καθορίζει το είδος και τη χωρική κατανομή τους είναι απαραίτητη. Η διαφοροποίηση της κατολίσθησης ανάλογα με τον τύπο της κίνησης υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες είναι σημαντική για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των αστοχιών για το περιβάλλον.

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Η πρόβλεψη της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων για περιοχές που δεν υπόκεινται επί του παρόντος σε κατολίσθηση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα περιστατικά που έχουν συμβεί στο παρελθόν μπορεί να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την πρόβλεψη των ανάλογων γεγονότων στο μέλλον. Ως εκ τούτου, η χαρτογράφηση των φαινομένων αυτών και των παραγόντων που πιστεύεται ότι τα επηρεάζουν, είναι πολύ σημαντική για το χωρισμό σε ζώνες επικινδυνότητας. Οσον αφορά στην ανάλυση των παραγόντων που οδηγούν σε κατολίσθηση, δύο είναι οι βασικές μεθοδολογίες που μπορούν να αναγνωριστούν:

1. Η πρώτη μεθοδολογία χαρτογράφησης είναι η, μέσω της εμπειρίας, εφαρμοσμένη-γεωμορφολογική προσέγγιση, με την οποία ο γεωλογος αξιολογεί τις άμεσες σχέσεις μεταξύ των κατολισθήσεων και των γεωμορφολογικών και γεωλογικών συνθηκών, χρησιμοποιώντας την άμεση παρατήρηση στην ύπαιθρο όσων το δυνατόν περισσότερων υφιστάμενων κατολισθήσεων. Αυτό είναι επίσης γνωστό ως η άμεση μεθοδολογία χαρτογράφησης.
2. Σε αντίθεση με αυτήν την εμπειρική προσέγγιση είναι η έμμεση μεθοδολογία χαρτογράφησης, η οποία συνίσταται από τη χαρτογράφηση ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, που μπορούν ενδεχομένως να προκαλέσουν κατολισθήσεις και στην συνέχεια από την στατιστική ανάλυση όλων αυτών των πιθανών παραγόντων που συμβάλλουν στην εμφάνιση των φαινομένων κατολίσθησης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν οι σχέσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών συνθηκών και της πρόκλησης των κατολισθήσεων. Ετσι, γίνονται αντιληπτές οι συνθήκες κάτω από τις οποίες συμβαίνουν οι κατολισθήσεις.

Μια άλλη χρήσιμη άποψη για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων δόθηκε από τους Harden και Viberg (1988), οι οποίοι διαχώρισαν τις τεχνικές αξιολόγησης της επικινδυνότητας σε σχετικές και απόλυτες.

Οι σχετικές τεχνικές διαφοροποιούν την πιθανότητα της μετακίνησης μαζών σε διαφορετικές περιοχές στο χάρτη δίχως όμως να δίνουν ακριβείς τιμές.

Οι απόλυτες τεχνικές εμφανίζουν στο χάρτη μια απόλυτη τιμή, όπως είναι ένας συντελεστής ασφάλειας ή η πιθανότητα να συμβεί μια κατολίσθηση.

Οι τεχνικές αξιολόγησης μπορούν επίσης να διαιρεθούν σε τρεις κύριες ομάδες (Carrara 1983, Hartlen και Viberg 1988):

1. Στα White box models, με βάση τις περιβαλλοντικές παραμέτρους (ευστάθεια πρανών και υδρολογικά στοιχεία), που αναφέρονται επίσης σαν ντετερμινιστικά μοντέλα
2. Στα Black box models, που δεν βασίζονται σε φυσικά μοντέλα, αλλά αποκλειστικά στην στατιστική ανάλυση και
3. στα Grey box models, που βασίζονται εν μέρει σε φυσικά μοντέλα και εν μέρει στις στατιστικές.

3.2 ΘΕΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ

Η ανάπτυξη μιας σαφούς ιεραρχικής μεθοδολογίας για το διαχωρισμό σε ζώνες επικινδυνότητας χρειάζεται για την επίτευξη μιας αποδεκτής αναλογίας κόστους / οφέλους που θα εξασφαλίσει την πρακτική εφαρμογή του διαχωρισμού σε ζώνες. Η κλίμακα εργασίας για την ανάλυση της αστάθειας πρηνούς καθορίζεται από τις απαιτήσεις των χρηστών για τους οποίους εκτελείται η έρευνα.

Οι κλίμακες ανάλυσης έχουν διαφοροποιηθεί ως εξής (Διεθνής Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας 1976):

- ▲ Εθνική κλίμακα (<1:01 εκατ. Ευρώ)
- ▲ Περιφερειακή κλίμακα (1:100.000 ανά 1:500,000)
- ▲ Μεσαία κλίμακα (1:25.000 σε 1:50.000)
- ▲ Μεγάλη κλίμακα (1:5.000 με 1:15,000)

Η Εθνική κλίμακα έχει ως στόχο να δώσει μια γενική απογραφή των περιοχών μιας χώρας και η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση των εθνικών φορέων και το κοινό γενικότερα. Το επίπεδο της λεπτομέρειας θα είναι χαμηλό, επειδή η αξιολόγηση γίνεται κυρίως βάσει περιγραφών.

Η περιφερειακή κλίμακα προορίζεται για μελετητές στην αρχική φάση σχεδιασμού έργων περιφερειακής ανάπτυξης ή για τους μηχανικούς μεγάλων τεχνικών έργων και περιφερειακών αναπτυξιακών σχεδίων που αξιολογούν πιθανούς περιορισμούς που οφείλονται στην επικινδυνότητα για κατολίσθηση.

Οι τομείς που θα διερευνηθούν είναι μεγάλοι, της τάξης των

1000τ.χμ ή περισσότερο και το απαιτούμενο επίπεδο λεπτομέρειας χάρτη είναι χαμηλό. Ο

χάρτης δείχνει περιοχές στις οποίες οι μετακινήσεις μαζών μπορεί να είναι εμπόδιο για την ανάπτυξη των αγροτικών ή αστικών συγκοινωνιακών έργων. Μονάδες με έκταση πολλών δεκάδων εκταρίων περιγράφονται και ταξινομούνται ανάλογα με την εστιμωμένη τους στη μετακίνηση μαζών.

Μεσαίας κλίμακας χάρτες επικινδυνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό ζωνών επικινδυνότητας σε περιοχές μεγάλων τεχνικών έργων και δρόμων.

Οι περιοχές που πρέπει να διερευνηθούν μπορεί να καλύπτουν πάνω από μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα, αλλά απαιτείται ένα σημαντικά υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας σε αυτή την κλίμακα. Η λεπτομέρεια θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε τα γειτονικά πρηνή με την ίδια λιθολογία να αξιολογούνται χωριστά και να μπορούν να λάβουν διαφορετικό βαθμό επικινδυνότητας αναλογα με τα χαρακτηριστικά τους, όπως η γωνία κλίσης ή η μορφή και το είδος χρήσης της γης. Μέσα στην ίδια μονάδα εδάφους, διακρίσεις θα πρέπει να γίνονται μεταξύ των διαφόρων τμημάτων ενός πρηνούς. Για παράδειγμα, μια κοίλη κλίση πρέπει να λάβει διαφορετική βαθμολογία από μια παρακείμενη ευθεία ή κυρτή κλίση, όταν κρίνεται σκόπιμο.

Σε μεγάλης κλίμακας χάρτες ο διαχωρισμός σε ζώνες επικινδυνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επίπεδο έρευνας του χώρου πριν τη φάση του σχεδιασμού των τεχνικών έργων.

Αυτή η κλίμακα επιτρέπει την αξιολόγηση της μεταβλητότητας του συντελεστή ασφαλείας ως συνάρτηση διαφορετικής κλίσης ή υπό την επήρεια των παραγόντων πρόκλησης κατολισθήσεων.

Το μέγεθος της υπό μελέτη περιοχής μπορεί να κυμαίνεται έως και αρκετές δεκάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Οι κατηγορίες επικινδυνότητας για τους εν λόγω χάρτες θα πρέπει να είναι απόλυτες, να καταδεικνύεται σαφώς η πιθανότητα αστοχίας για κάθε κυψελίδα ή μονάδα χαρτογράφησης έκτασης ενός εκταρίου ή και λιγότερου.

Αν και η επιλογή της κλίμακας της ανάλυσης συνήθως καθορίζεται από την προβλεπόμενη εφαρμογή των αποτελεσμάτων της χαρτογράφησης, ωστόσο η επιλογή μιας τεχνικής χαρτογράφησης παραμένει ανοικτή. Αυτή εξαρτάται από τον τύπο του προβλήματος και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, τους οικονομικούς πόρους και το χρόνο για την έρευνα καθώς και την επαγγελματική εμπειρία όσων συμμετέχουν στην έρευνα.

3.3 Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα κατολισθητικά φαινόμενα σχετίζονται με μια μεγάλη ποικιλία από παράγοντες που αφορούν τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Έτσι, η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων απαιτεί γνώση αυτών των παραγόντων, που κυμαίνονται από την γεωλογική δομή μέχρι την χρήση γης. Για το λόγο αυτό η αξιολόγηση της επικινδυνότητας κατολισθήσεων θα πρέπει να περιλαμβάνει, κατά προτίμηση, ομάδες επιστημόνων από διαφορετικούς κλάδους. Το ύψος και το είδος των δεδομένων που μπορούν να συλλέγονται θα καθορίσει και το είδος της ανάλυσης κινδύνου που μπορεί να εφαρμοστεί, που κυμαίνονται από την ποιοτική αξιολόγηση μέχρι πολύπλοκες στατιστικές μεθόδους.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την ανάλυση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων μπορεί να ταξινομηθούν σε πέντε βασικές ομάδες: Γεωμορφολογία, Τοπογραφία, Τεχνική Γεωλογία, Γεωτεχνική, ή χρήση γης και Υδρολογία.

Κάθε ομάδα μπορεί να υποδιαιρεθεί με σκοπό τον σχηματισμό μιας ακολουθίας των λεγόμενων επιπέδων πληροφόρησης.

Κάθε επίπεδο μπορεί να παρουσιάζεται από έναν μεμονωμένο χάρτη που περιέχει ένα τύπο δεδομένων.

Όπως αναφέρθηκε, όταν χρησιμοποιούνται τεχνικές GIS, είναι σημαντικό ότι κάθε επίπεδο δεδομένων του χάρτη αποτελείται από ένα μόνο είδος πληροφορίας (σημεία, γραμμές, ή περιοχές και πολύγωνα) και έχουν έναν ή περισσότερους συνοδευτικούς πίνακες για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών του κάθετος. Φυσικά, τα επίπεδα των δεδομένων που απαιτούνται από τους αναλυτές επικινδυνότητας κατολισθήσεων μπορεί να διαφέρουν στην περιγραφή των χαρακτηριστικών σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Ένα πλήθος δεδομένων όπως ακολουθία υλικών, χάρτες σεισμικής επιτάχυνσης και χάρτες υδροφόρου ορίζοντα, απαιτεί τη χρήση ειδικών μοντέλων εκτός από τις συμβατικές τεχνικές συλλογής δεδομένων.

Ειδικοί αλγόριθμοι εντός ενός GIS μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή τοπογραφικών υψομετρικών τιμών σε κατηγορίες πρανών ή για την εκτέλεση άλλων τοπογραφικών αναλύσεων.

Η σκοπιμότητα της συλλογής στοιχείων για μια συγκεκριμένη κλίμακα δεν σημαίνει ότι το είδος των δεδομένων είναι χρήσιμο για τη συγκεκριμένη κλίμακα. Ένας χάρτης που χρησιμοποιεί μονάδες χαρτογράφησης εδάφους, για παράδειγμα, μπορεί να είναι φτιαγμένος σε κλίμακα 1:10.000, αλλά θα είναι περιορισμένης χρήσης λόγω της γενικεύσης του περιεχομένου του.

Λόγω των μεγάλων περιοχών που πρέπει να μελετηθούν και της ανάγκης αξιολόγησης της επικινδυνότητας σε περιφερειακό επίπεδο η συλλογή λεπτομερών δεδομένων για μεμονωμένους παράγοντες (γεωμορφολογία, λιθολογία, έδαφος, κ.λπ.) δεν είναι μια οικονομικά αποδοτική προσέγγιση. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για την κλίμακα αυτή θα πρέπει να περιορίζονται στην οριοθέτηση των ομοιογενών μονάδων χαρτογράφησης εδάφους, για παράδειγμα, με τη χρήση στερεοσκοπικής προβολής δορυφορικών εικόνων και τη συλλογή των περιφερειακών τεκτονικών ή σεισμικών δεδομένων.

Η συλλογή των δεδομένων μεσαίας κλίμακας πρέπει να εστιάζεται στην παραγωγή λεπτομερών χαρτών κατανομής κατολίσθησης σε βάθος χρόνου και στις διάφορες παραμέτρους που απαιτούνται στη στατιστική ανάλυση.

Για μεγάλης κλίμακας διαχωρισμό σε ζώνες επικινδυνότητας, όπου οι εργασίες εκτελούνται σε σχετικά μικρές περιοχές, μπορούν εύκολα να συλλέγονται όλα τα προτεινόμενα επίπεδα δεδομένων.

Η συλλογή δεδομένων σε αυτή την κλίμακα πρέπει να σχετίζεται με τις παραμέτρους που απαιτούνται για την μοντελοποίηση ευστάθειας πρανών (για παράδειγμα ακολουθίες υλικού, σεισμικές επιταχύνσεις και υδρολογικά δεδομένα).

3.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Μεγάλο μέρος της έρευνας που αφορά στις πηγές κινδύνου αστάθειας πρανών έχει γίνει τα τελευταία 30 χρόνια.

Αρχικά οι έρευνες προσανατολίζονταν κυρίως στην επίλυση των προβλημάτων κατολίσθησης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες.

Αναπτύχθηκαν τεχνικές από μηχανικούς για τον κατάλληλο σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου, καθώς και για την πρόληψη της αστοχίας ενός πρανού. Ως εκ τούτου, η έρευνα κατέδειξε και την ανάπτυξη των ντετερμινιστικών και πιθανολογικών μοντέλων. Ωστόσο, η ετερογένεια του φυσικού περιβάλλοντος σε περιφερειακό επίπεδο και η μεγάλη ποικιλία των γεωτεχνικών ιδιοτήτων, όπως η συνοχή και η εσωτερική τριβή, έρχεται σε έντονη αντίθεση με την ομοιογένεια που απαιτείται στα ντετερμινιστικά μοντέλα.

Οι δαπανηρές και χρονοβόρες ερευνητικές τεχνικές που απαιτούνται καθιστούν την προσέγγιση των μηχανικών ακατάλληλη για εφαρμογή σε μεγάλες περιοχές.

Σε τεχνικά έργα, όπως και σε μεγάλες εκτάσεις, συχνά πρέπει να αξιολογούνται τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων. Για να λυθεί το πρόβλημα έχουν αναπτυχθεί αρκετά άλλα είδη τεχνικών ανάλυσης επικινδυνότητας κατολισθήσεων κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Οι αναλύσεις αυτές παρέχουν αξιολόγηση της επικινδυνότητας που βασίζεται σε προσεκτική μελέτη των φυσικών συνθηκών μιας περιοχής και ανάλυση όλων των πιθανών παραμέτρων που εμπλέκονται στις διαδικασίες αστάθειας πρανών. Αυτές οι διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, οι οποίες εξετάστηκαν λεπτομερώς από Hansen (1984) και Varnes (1984), συνοψίζονται στη συνέχεια όπως και μερικά παραδείγματα.

3.4.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Η πιο απλή προσέγγιση για την κατολίσθηση είναι μια απογραφή βασισμένη σε όλα ή μερικά από τα ακόλουθα: αερο-φωτοερμηνεία, έρευνες πεδίου και μια βάση δεδομένων των ιστορικών γεγονότων των κατολισθήσεων μιας περιοχής. Το τελικό προϊόν που δίνει τη χωρική κατανομή της μετακίνησης μαζών, οι οποίες μπορούν να απεικονίζονται σε ένα χάρτη είτε ως περιοχές σε κλίμακα ή ως συμβολικά σημεία (Wieczorek 1984).

Οι εν λόγω χάρτες απογραφής είναι η βάση για τις περισσότερες τεχνικές διαχωρισμού σε ζώνες επικινδυνότητας. Μπορούν, όμως επίσης να χρησιμοποιηθούν σαν μια στοιχειώδη μορφή του χάρτη επικινδυνότητας, διότι εμφανίζουν τη θέση ενός συγκεκριμένου τύπου της μετακίνησης. Παρέχουν πληροφορίες μόνο για την περίοδο που έχουν ληφθεί οι αεροφωτογραφίες ή των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν ενώ δεν παρέχουν καμία πληροφορία για αλλαγές στην κατανομή της κίνησης μαζών. Πολλές κατολισθήσεις που σημειώθηκαν λίγο πριν ληφθούν οι φωτογραφίες μπορεί να είναι πια μη ανιχνεύσιμες. Κατά συνέπεια, μια βελτίωση είναι η κατασκευή των χαρτών δραστηριότητας κατολισθήσεων, οι οποίοι βασίζονται σε αερο-φωτοερμηνεία (Canuti al.1979) σε βάθος χρόνου. Οι χάρτες ενεργότητας κατολίσθησης είναι απαραίτητοι για τη μελέτη των επιπτώσεων της χρονικής διακύμανσης ενός παράγοντα, όπως η χρήση γης σε κατολίσθηση. Η κατολίσθηση μπορεί επίσης να αποδειχθεί με τη μορφή ενός χάρτη πυκνότητας. Ο Wright al. (1974) παρουσίασε μια μέθοδο για τον υπολογισμό της πυκνότητας κατολίσθησης χρησιμοποιώντας μετρητικούς κύκλους. Αν και η μέθοδος δεν διερευνά τη σχέση μεταξύ της μετακίνησης μαζών και των παραγόντων που την προκαλούν, είναι χρήσιμη στην παρουσίαση της ποσοτικής πυκνότητας των κατολισθήσεων.

3.4.2 ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Στην εμπειρική μέθοδο, η πραγματογνωμοσύνη της γεωμορφολογικής ομάδας που πραγματοποιεί την έρευνα χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει την επικινδυνότητα. Αυτές οι μέθοδοι συνδυάζουν τη χαρτογράφηση των μετακινήσεων των μαζών και τη γεωμορφολογική ρύθμιση ως κύριους παράγοντες προσδιορισμού της επικινδυνότητας. Δύο τύποι εμπειρικής ανάλυσης μπορούν να διακριθούν: η γεωμορφολογική ανάλυση και ο συνδυασμός ποιοτικού χάρτη.

3.4.2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η βάση για την γεωμορφολογική ανάλυση περιγράφεται από τον Kienholz (1977), ο οποίος ανέπτυξε μια μέθοδο για την παραγωγή ενός συνδυασμένου χάρτη επικινδυνότητας με βάση την χαρτογράφηση των "silent witnesses" (Stumme Zeugen). Η γεωμορφολογική μέθοδος είναι επίσης γνωστή ως άμεση μέθοδος χαρτογράφησης. Η επικινδυνότητα προσδιορίζεται απευθείας στην περιοχή από το γεωμορφολόγο. Η διαδικασία βασίζεται στην προσωπική εμπειρία και στη χρήση της λογικής.

Οι κανόνες λήψης αποφάσεων είναι δύσκολο να διατυπωθούν, επειδή διαφέρουν από τόπο σε τόπο. Παραδείγματα αυτής της μεθοδολογίας για την εκτίμηση του εδάφους ώστε να καθοριστεί η αστάθεια του είναι ιδιαίτερα συχνά στην Ευρώπη, όπου υπάρχει άφθονη εμπειρία στη γεωμορφολογία και την τεχνική γεωλογία (Carrara και Merenda 1974, Kienholz 1977, Malgot και Mahr 1979, Kienholz et al 1983, Ives και Messerli 1981, Rupke et al, 1988).

Υπάρχουν πολλά άλλα παραδείγματα από άλλες περιοχές, ωστόσο (Hansen 1984, Varnes 1984) το γαλλικό πρόγραμμα που παράγει L :25,000 κλίμακας ZERMOS χάρτες (Mene-roud και Calvinio 1976) είναι ίσως το καλύτερο παράδειγμα, όμως η δυνατότητα αναπαραγωγής των εν λόγω χαρτών υπήρξε αντικείμενο πολλών συζητήσεων (Antoine 1977).

Το ίδιο ισχύει και για τη μέθοδο που χρησιμοποιείται από τον Brunsden και τους συνεργάτες του (1975), οι οποίοι δεν παρουσιάζουν καν ανάλυση ζωνών επικινδυνότητας για έργο που σχετίζεται με χωροθέτηση δρόμων.

Αντίθετα, προτείνουν την χωροθέτηση του καλύτερου δυνατού δρόμου με βάση την αξιολόγηση της ευστάθειας των πρηνών.

3.4.2.2 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΤΗ

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα των "άγραφων κανόνων" στη γεωμορφολογική χαρτογράφηση, έχουν αναπτυχθεί άλλες ποιοτικές μέθοδοι, με βάση έναν ποιοτικό χάρτη, όπου ο γεωλόγος χρησιμοποιεί την εξειδικευμένη γνώση ενός ατόμου για να αξιολογήσει τις τιμές της βαρύτητας σε μια σειρά από χάρτες παραμέτρων.

Οι συνθήκες εδάφους σε ένα μεγάλο αριθμό θέσεων αθροίζονται, σύμφωνα με αυτές τις τιμές, οδηγώντας σε τιμές επικινδυνότητας που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε κατηγορίες. Ο Στίβενσον (1977) ανέπτυξε ένα εμπειρικό σύστημα αξιολόγησης επικινδυνότητας για μια περιοχή στην Τασμανία. Με βάση τις ειδικές γνώσεις για τις αιτίες των κατολισθήσεων, έδωσε βαρύτητα σε διάφορες κατηγορίες μιας σειράς παραμέτρων. Ο συνδυασμός με ποιοτικό χάρτη έχει γίνει πολύ δημοφιλής τρόπος για τη διάκριση των κατολισθήσεων. Το πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο είναι ο προσδιορισμός της ακριβούς στάθμισης των διαφόρων παραμέτρων. Συχνά, η ελλιπής γνώση του πεδίου μελέτης οδηγεί σε λάθος συμπεράσματα.

3.4.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας κατολισθήσεων καθορίζονται στατιστικά οι συνδυασμοί των παραγόντων που οδήγησαν σε κατολισθήσεις στο παρελθόν. Επίσης, γίνονται κάποιες προβλέψεις για περιοχές στις οποίες υφίστανται οι συνθήκες που παρατηρήθηκαν εκεί όπου έγινε κατολίσθηση, αλλά που προς το παρόν δεν έχουν υπάρξει κατολισθήσεις.

Δύο διαφορετικές στατιστικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται στην ανάλυση επικινδυνότητας κατολισθήσεων: η διμεταβλητή και η πολυμεταβλητή.

3.4.3.1 ΔΙΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη διμεταβλητή στατιστική ανάλυση κάθε παράγοντας του χάρτη (όπως είναι η κλίση, η γεωλογία, οι χρήσεις γης) συνδυάζεται με τον χάρτη κατανομής των κατολισθήσεων και οι τιμές στάθμισης που βασίζονται στην πυκνότητα των κατολισθήσεων υπολογίζονται για κάθε τάξη παραμέτρου (για παράδειγμα, κατηγορία πρανούς, λιθολογική μονάδα, τύπο χρήσης γης). Οι Brabb et al. (1972) έδωσαν το πρώτο παράδειγμα μιας τέτοιας ανάλυσης.

Πραγματοποίησαν ένα απλό συνδυασμό του χάρτη κατανομής των κατολισθήσεων με γεωλογικό χάρτη και χάρτη κλίσεων. Αρκετές στατιστικές μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί για τον υπολογισμό των τιμών στάθμισης οι οποίες έχουν ονομαστεί : Μέθοδος επιδεκτικότητας κατολίσθησης (Brabb 1984, Van Westen 1992,1993), Μέθοδος αξιολόγησης της πληροφορίας (Yin και Yan 1988, Kobashi και Suzuki 1988), Μέθοδος της βαρύτητας της απόδειξης (Spiegel Halter 1986).

3.4.3.2 ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Πολυμεταβλητά μοντέλα στατιστικής ανάλυσης ζωνών επικινδυνότητας για κατολίσθηση αναπτύχθηκαν στην Ιταλία, κυρίως από τον Carrara (1983,1988) και τους συνεργάτες του (Carrara et al. 1990,1991,1992). Στις εφαρμογές τους όλοι οι σχετικοί παράγοντες επιλέγονται είτε ως μια μεγάλη βάση-πλέγμα ή ως μορφομετρικές μονάδες. Για καθεμία από τις επιλεγμένες μονάδες προσδιορίζεται επίσης η παρουσία ή απουσία των κατολισθήσεων. Ο πίνακας που προκύπτει αναλύεται με τη χρήση της πολλαπλής παλινδρόμησης ή της διακριτικής ανάλυσης. Με αυτές τις τεχνικές μπορούν να αναμένονται καλά αποτελέσματα στις ομοιογενείς ζώνες ή σε περιοχές με λίγους τύπους κατολισθήσεων, όπως φαίνεται στο έργο του Jones et al. (1961) σχετικά με κατολισθήσεις σε εδαφικές αποθέσεις. Όταν εφαρμόζονται πολύπλοκες στατιστικές, όπως έγινε από τον Carrara και τους συνεργάτες του (Carrara et al. 1990, 1991, 1992), από τον Neuland (1976), ή από τον Kobashi και Suzuki (1988), πρέπει να γίνει επίσης μια υποδιαίρεση των δεδομένων, ανάλογα με τον τύπο των κατολισθήσεων. Ως εκ τούτου, απαιτείται μεγάλος αριθμός δεδομένων για να επιτευχθεί η παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Η χρήση σύνθετων στατιστικών μεθόδων απαιτεί επίπονες προσπάθειες για τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων, επειδή αυτές οι μέθοδοι δεν χρησιμοποιούν επιλεκτικά κριτήρια που να βασίζονται στην επαγγελματική εμπειρία.

3.4.4 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Παρά τα προβλήματα που σχετίζονται με τη συλλογή επαρκών και αξιόπιστων δεδομένων, τα ντετερμινιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην ανάλυση επικινδυνότητας των μεγαλύτερων περιοχών, ιδίως με τη βοήθεια των GIS, που μπορούν να διαχειριστούν το μεγάλο

αριθμό υπολογισμών που εμπλέκονται στον προσδιορισμό των συντελεστών ασφαλείας σε μεγάλες περιοχές. Ντετερμινιστικές μέθοδοι εφαρμόζονται μόνο όταν η γεωμορφολογία και οι εδαφολογικές συνθήκες είναι αρκετά ομοιογενείς σε όλη την περιοχή μελέτης και οι τύποι κατολίσθησης είναι απλοί. Το πλεονέκτημα αυτών των μοντέλων τύπου “white box” είναι ότι βασίζονται σε μοντέλα ευστάθειας, που επιτρέπουν τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας. Το κύριο πρόβλημα με τις μεθόδους αυτές είναι ο υψηλός βαθμός της υπεραπλούστευσης. Μια ντετερμινιστική μέθοδος που εφαρμόζεται συνήθως για τις μεταθετικές ολισθήσεις είναι το μοντέλο άπειρης κλίσης (Ward et al. 1982). Αυτές οι ντετερμινιστικές μέθοδοι απαιτούν γενικά τη χρήση των μοντέλων προσομοίωσης των υπόγειων υδάτων (Okiraura και Kawatani 1986). Μερικές φορές χρησιμοποιούνται στοχαστικές μέθοδοι για την επιλογή των παραμέτρων εισόδου για τα ντετερμινιστικά μοντέλα (Mulder και van Asch 1988, Mulder 1991, Hammond et al. 1992).

3.4.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Όπως αναφέρθηκε, δεν είναι εξίσου εφαρμόσιμες όλες οι μέθοδοι σε κάθε κλίμακα της ανάλυσης. Κάποιες απαιτούν πολύ λεπτομερή δεδομένα, τα οποία μπορούν να συλλέγονται μόνο για μικρές περιοχές, λόγω του ότι απαιτείται μεγάλη προσπάθεια για τη συλλογή τους και συνεπώς υπάρχει μεγάλο κόστος. Ως εκ τούτου, πρέπει να επιλέγονται κατάλληλες μέθοδοι για να καθοριστούν οι πιο χρήσιμες τεχνικές ανάλυσης για κάθε μία από τις κλίμακες χαρτογράφησης διατηρώντας όμως αποδεκτή την σχέση κόστους-οφέλους.

Η αξιολόγηση των μεθόδων και η βιβλιογραφία σχετικά με τις πρακτικές της διάκρισης σε ζώνες επικινδυνότητας κατολίσθησης δείχνουν ότι οι εμπειρικές μέθοδοι έχουν ως στόχο να καθορίσουν τις αιτίες της κατολίσθησης με βάση επιστημονικά και επαγγελματικά προσανατολισμένους συλλογισμούς. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την έκταση των κατολισθήσεων και την πολυπλοκότητα των συνθηκών που μπορούν να οδηγήσουν σ' αυτές, πρέπει να εκτελούνται μεγάλης κλίμακας χαρτογραφήσεις. Ο συνδυασμός της γεωμορφολογικής ανάλυσης με την εφαρμογή των σταθμισμένων παραμέτρων που συμμετέχουν, όπως χρησιμοποιείται από Kienhok (1977,1978), βελτιώνει την αντικειμενικότητα και την αναπαραγωγικότητα αυτών των εμπειρικών μεθόδων.

Η διάκριση σε ζώνες επικινδυνότητας κατολίσθησης σε μικρές κλίμακες (1: 50.000 έως 1: 100.000), συνδυάζουν έμμεσες μεθόδους χαρτογράφησης με πιο αναλυτικές προσεγγίσεις. Σε αυτές τις κλίμακες, η ταξινόμηση του εδάφους μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες, με αποτέλεσμα τον καθορισμό ομοιογενών λιθολογικών ή γεωλογικών μονάδων (Meijerink 1988). Αυτές οι γεωλογικές μονάδες αναλύονται περαιτέρω από έρευνες του εδάφους και φωτοερμηνείες. Τα χαρακτηριστικά της κάθε γεωλογικής μονάδας καθορίζονται από πιθανές τιμές τους, ή εύρος τιμών, για μια σειρά από παραμέτρους. Δημιουργείται έτσι, μια βάση δεδομένων στην οποία ορίζονται τα χαρακτηριστικά όλων των γεωλογικών μονάδων σε μια σειρά πινάκων. Οι σχετικές παράμετροι προσδιορίζονται με βάση την αξιολόγηση των κατολισθήσεων στην περιοχή και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις κατηγορίες επικινδυνότητας. Οι κατηγορίες αυτές συνάγουν στις γεωλογικές μονάδες σε όλη την περιοχή που χαρτογραφείται, ανάλογα με την παρουσία ή την απουσία αυτών των παραμέτρων (μερικές φορές αναφέρονται ως παράγοντες που συμβάλλουν) στην βάση δεδομένων.

Καθώς το έργο συνεχίζεται, η διάκριση σε ζώνες επικινδυνότητας κατολίσθησης εξελίσσεται. Το μέγεθος της περιοχής που μελετάται μειώνεται και η κλίμακα μεγαλώνει. Μπορούν να πραγματοποιηθούν πρόσθετες μελέτες, επειδή πλέον είναι διαθέσιμος περισσότερος χρόνος και χρήματα. Χάρτες που εμφανίζουν τη χωρική κατανομή των πιο σημαντικών παραγόντων, σε συνδυασμό με την αυξημένη ανάλυση των πιθανών παραμέτρων με βάση στατιστικά στοιχεία, αυξάνουν την ακρίβεια των προβλέψεων της κατολίσθησης. Μια προσαρμογή ή βελτίωση των κανόνων για την εκτίμηση της επικινδυνότητας μπορεί να επιτευχθεί με την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της αρχικής εκτίμησης μέσω της σύγκρισης με τις πραγματικές εδαφικές συνθήκες. Εάν είναι απαραίτητο, οι σταθμισμένοι παράμετροι μπορούν να διορθωθούν και μπορεί να παραχθεί μια νέα αξιολόγηση της επικινδυνότητας. Αυτή η επαναληπτική μέθοδος καθίσταται αναγκαία όταν οι κανόνες αξιολόγησης της επικινδυνότητας εφαρμόζονται σε περιοχές με παρόμοιες γεωλογικές ή γεωμορφολογικές συνθήκες, αλλά όπου λίγες πραγματικές πληροφορίες

για το έδαφος είναι διαθέσιμες. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μελέτες έχουν δείξει ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν παρόμοιες συνθήκες μπορεί εντέλει να δώσουν τιμές που να διαφέρουν σημαντικά. Σε λεπτομερείς μελέτες των μικρών περιοχών, θα είναι διαθέσιμη μεγάλη ποσότητα δεδομένων. Έτσι, τα απλά ντετερμινιστικά ή πιθανολογικά μοντέλα, που συζητήθηκαν, γίνονται ολοένα και πιο πρακτικά ως μέθοδοι για τη διάκριση σε ζώνες επικινδυνότητας κατολίσθησης. Επιτρέπουν τον υπολογισμό της μεταβλητικότητας του συντελεστή ασφαλείας για την κατολίσθηση και προσφέρουν έτσι χρήσιμες πληροφορίες στους μηχανικούς.

3.5 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΤΗΤΑ

Το πιο σημαντικό ερώτημα που τίθεται σε κάθε μελέτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων σχετίζεται με το βαθμό της ακρίβειας. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία είναι όροι που χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν αν ο χάρτης επικινδυνότητας κάνει σωστή διάκριση μεταξύ περιοχών απαλλαγμένων από κίνδυνο και περιοχών που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις.

Η ακρίβεια της πρόβλεψης κατολίσθησης εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι:

- ✧ Η ακρίβεια των μοντέλων,
- ✧ Η ακρίβεια των δεδομένων,
- ✧ Η εμπειρία των γεωεπιστημόνων και
- ✧ το μέγεθος της περιοχής μελέτης

Πολλοί από αυτούς τους παράγοντες είναι αλληλένδετοι. Το μέγεθος της περιοχής μελέτης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το είδος και την πυκνότητα των δεδομένων που μπορούν να συγκεντρωθούν καθώς και το είδος της τεχνικής ανάλυσης που μπορεί να εφαρμοστεί.

Η αξιολόγηση της ακρίβειας του χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων είναι γενικά πολύ δύσκολη. Στην πραγματικότητα, μια πρόβλεψη μπορεί να ελεγχθεί μόνο με την παρατήρηση αν η αστοχία συμβαίνει (ή έχει συμβεί), η λεγόμενη "βλέποντας και κάνοντας" διαδικασία. Ωστόσο, αυτή δεν είναι συχνά μια πολύ χρήσιμη μέθοδος, για προφανείς λόγους. Υπάρχουν δύο πιθανές μορφές ανακρίβειας της πρόβλεψης: κατολισθήσεις που μπορεί να συμβούν σε περιοχές που προβλέπεται να είναι σταθερές, και κατολισθήσεις που δεν εμφανίζονται σε περιοχές που προβλέπεται να είναι ασταθείς. Και οι δύο περιπτώσεις είναι φυσικά ανεπιθύμητες. Ωστόσο, η πρώτη περίπτωση είναι πιο σοβαρή, επειδή μια κατολίσθηση που συμβαίνει σε περιοχή που προβλέπεται να είναι απαλλαγμένη από κατολισθήσεις μπορεί να προκαλέσει σοβαρές καταστροφές ή απώλειες ζωής και μπορεί να οδηγήσει σε μηνύσεις. Η δεύτερη περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετες δαπάνες για περαιτέρω έρευνα, για σχεδιασμό πολύπλοκων τεχνικών έργων, ή για την αναπροσαρμογή εγκαταστάσεων σε περιοχές στις οποίες η κατασκευή είναι πιο ακριβή.

Οι δύο πιθανές περιπτώσεις σφάλματος στην πρόβλεψη δεν είναι εξίσου εύκολο να αξιολογηθούν. Κατά την εκτίμηση του μεγέθους της πρώτης υπόθεσης, στην οποία μια κατολίσθηση συμβαίνει σε μια περιοχή που έχει προβλεφθεί ως σταθερή, ο ερευνητής βρίσκεται αντιμέτωπος με το καθήκον να αποδείξει την παρουσία ενός φαινομένου που προς το παρόν δεν υπάρχει.

Κατά συνέπεια, μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους για τον έλεγχο της ακρίβειας των χαρτών επικινδυνότητας είναι η σύγκριση του τελικού χάρτη πρόβλεψης επικινδυνότητας με ένα χάρτη που δείχνει την εξέλιξη των υφιστάμενων κατολισθήσεων. Πραγματοποιείται μια κατανομή συχνοτήτων συσχετίζοντας τους βαθμούς επικινδυνότητας ανάμεσα σε περιοχές απαλλαγμένες και σε περιοχές επιρρεπείς σε κατολισθήσεις. Από την κατανομή συχνοτήτων μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό των αντιστοιχισμένων κατολισθήσεων που βρέθηκαν σε περιοχές που προβλέπεται να είναι σταθερές (μη επιρρεπείς σε κατολισθήσεις). Αυτό το σφάλμα τότε υποτίθεται ότι είναι το ίδιο με το σφάλμα στην πρόβλεψη κατολισθήσεων σε περιοχές σήμερα απαλλαγμένες από κατολισθήσεις. Αυτή η μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί εάν είναι διαθέσιμοι χάρτες κατανομής κατολισθήσεων σε βάθος χρόνου. Οι προβλέψεις κατολίσθησης, οι οποίες βασίζονται σε παλαιότερο χάρτη κατανομής κατολίσθησης, μπορούν στη συνέχεια να ελέγχονται με μια νεότερη κατανομή κατολίσθησης, για να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν νεότερες κινήσεις που επιβεβαιώνουν τις προβλέψεις (Chung et al. στον Τύπο). Η σύγκριση των χαρτών επικινδυνότητας κατολισθήσεων γίνεται με διάφορες μεθόδους (για παράδειγμα, από στατιστικές και από ντετερμινιστικές μεθόδους) και μπορεί επίσης να δώσει ένα καλό ποσοστό ακρίβειας της πρόβλεψης.

Σχετικό με το πρόβλημα της αξιολόγησης της ακρίβειας των χαρτών επικινδυνότητας είναι επίσης το ζήτημα της αντικειμενικότητάς τους. Οι όροι “αντικειμενική” και “υποκειμενική” χρησιμοποιούνται για να δείχνουν αν οι διάφορες ενέργειες για τον καθορισμό του βαθμού επικινδυνότητας είναι δυνατόν να επαληθευθούν και να αναπαραχθούν από άλλους ερευνητές ή αν εξαρτώνται από την προσωπική κρίση του γεωλόγου που είναι επικεφαλής της μελέτης επικινδυνότητας.

Η αντικειμενικότητα στην εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολισθήσεων δεν οδηγεί απαραίτητα σε έναν ακριβή χάρτη επικινδυνότητας. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιείται ένα πολύ απλό και επαληθεύσιμο μοντέλο ή αν λαμβάνονται υπόψη μόνο μερικές παράμετροι, η διαδικασία μπορεί να είναι πολύ αντικειμενική, αλλά θα παράγει έναν ανακριβή χάρτη. Από την άλλη πλευρά, υποκειμενικές μελέτες, όπως λεπτομερείς αναλύσεις ευστάθειας πρανών, όταν γίνονται από έμπειρους γεωμορφολόγους, μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ ακριβείς χάρτες. Ωστόσο, μια τόσο καλή, αλλά υποκειμενική αξιολόγηση μπορεί να έχει σχετικά χαμηλή αντικειμενικότητα, επειδή η αναπαραγωγιμότητα της θα είναι χαμηλή. Αυτό σημαίνει ότι η ίδια αξιολόγηση που έγινε από άλλον ειδικό θα παραγάγει πιθανώς άλλα αποτελέσματα, τα οποία μπορεί να έχουν σαφώς ανεπιθύμητες νομικές συνέπειες.

Ο βαθμός της αντικειμενικότητας της μελέτης επικινδυνότητας εξαρτάται από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων και από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση δεδομένων. Η χρήση των τεχνικών αντικειμενικής ανάλυσης, όπως η στατιστική ή η ντετερμινιστική ανάλυση, μπορεί να οδηγήσει σε υποκειμενικά αποτελέσματα, ανάλογα με τον βαθμό της υποκειμενικότητας που απαιτείται για τη δημιουργία των χαρτών. Οι μελέτες που διεξήχθησαν από Dupoyet και van Westen (1994) για να εκτιμήσουν το βαθμό υποκειμενικότητας για την ερμηνεία κατολισθήσεων σε μεγάλης κλίμακας αεροφωτογραφίες (κλίμακα 1:10.000) από μια ομάδα 12 φωτοδιερμηνέων, αρκετοί από τα τους οποίους είχαν μεγάλη εμπειρία και κάποιοι που είχαν γνώση της περιοχής, έδειξαν ότι οι μεταξύ τους διαφορές στις ερμηνείες ήταν μεγάλες (Dupoyet και van Westen 1994). Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν άλλες παρόμοιες έρευνες για την υποκειμενικότητα της φωτοερμηνείας κατολισθήσεων (Fookes et al. 1991, Carrara et al, 1992). Πολλοί από τους χάρτες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση επικινδυνότητας κατολισθήσεων βασίζονται σε ερμηνείες αεροφωτογραφιών και ως εκ τούτου περιέχουν ένα μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας. Ακόμη και δεδομένα σχετικά με τους παράγοντες που λαμβάνονται μέσω μετρήσεων, όπως η αντοχή του εδάφους, μπορεί να έχουν υψηλό βαθμό υποκειμενικότητας στους χάρτες. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μεμονωμένες τιμές του δείγματος παρουσιάζουν τις συνθήκες στη συγκεκριμένη θέση και πρέπει να συνδεθούν με τις γεωλογικές μονάδες σε έναν χάρτη, που δημιουργείται από την ερμηνεία αεροφωτογραφιών και την έρευνα στην ύπαιθρο, προκειμένου να παρέχουν μια σωστή εικόνα.

Για κάθε είδος συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, ενδέχεται να προκύψουν διαφορετικά επίπεδα αντικειμενικότητας και ακρίβειας για τις διαφορετικές κλίμακες ανάλυσης επικινδυνότητας. Η ζήτηση για υψηλότερα επίπεδα αντικειμενικότητας οδήγησε πολλούς ερευνητές να αντικαταστήσουν την υποκειμενική γνώμη του εμπειρογνώμονα πάνω στα αίτια που σχετίζονται με την κατολίσθηση, με την στατιστική ανάλυση όλων των συνθηκών εδάφους που παρατηρήθηκαν σε περιοχές με κατολίσθηση (Carrara et al, 1978, Neuland 1976). Αν και η αντικειμενικότητα της προσέγγισης αυτής είναι εγγυημένη, μπορεί να υπάρχουν αμφιβολίες ως προς την ακρίβεια, ειδικά όταν ληφθούν υπόψη η εμπειρία και η ικανότητα που απαιτείται για τη συλλογή δεδομένων και η εργασία που χρειάζεται για την μελέτη του εκτεταμένου αριθμού στοιχείων. Λόγω των περιορισμών που συνδέονται με τη συλλογή δεδομένων και τις τεχνικές ανάλυσης που επιβάλλονται από την κλίμακα χαρτογράφησης, μια έρευνα για επικινδυνότητα κατολίσθησης θα διατηρεί πάντοτε κάποιο βαθμό υποκειμενικότητας που δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη ανακρίβεια. Η αντικειμενικότητα της αξιολόγησης της επικινδυνότητας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση σαφών και όσο το δυνατό καλύτερων περιγραφών των παραγόντων που λαμβάνονται υπόψη, και καλή ανάλυση των διαδικασιών. Η πιο σημαντική πτυχή, ωστόσο, παραμένει η εμπειρία του διερμηνέα, όσον αφορά στους διάφορους παράγοντες που εμπλέκονται στις έρευνες επικινδυνότητας και στις ειδικές συνθήκες της μελετώμενης περιοχής.

4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Επειδή οι κατολισθήσεις επηρεάζουν άμεσα την επιφάνεια του εδάφους, οι τεχνικές τηλεπισκόπησης θεωρούνται κατάλληλες για τις μελέτες τους. Ο όρος τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται εδώ με την ευρύτερη έννοιά, συμπεριλαμβανομένων των αεροφωτογραφιών και εικόνων που λαμβάνονται από δορυφόρους ή οποιασδήποτε άλλης τηλεσκοπικής τεχνικής. Η τηλεπισκόπηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη επειδή όταν οι στερεοσκοπικές εικόνες που χρησιμοποιούνται, απεικονίζουν τα τυπικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων, συχνά μπορεί να παρέχουν διαγνωστικές πληροφορίες σχετικά με το είδος της κίνησης (Crozier 1973). Επίσης, οι συνολικές συνθήκες εδάφους οι οποίες είναι καθοριστικής σημασίας για τον προσδιορισμό μιας τοποθεσίας με επικινδυνότητα για κατολίσθηση, μπορούν να ερμηνευθούν από τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης.

Η αξία της ερμηνείας αεροφωτογραφιών για τον εντοπισμό κατολισθήσεων έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές π.χ. Rib και Liang (1978) που έχουν αναλύσει αυτές τις τεχνικές με μεγάλη λεπτομέρεια. Ο Mollard (1977) επέδειξε επίσης τη χρησιμότητα των αεροφωτογραφιών κατά την εξέταση των κατολισθήσεων. Αρκετά εγχειρίδια κατολισθήσεων αναφέρονται στη σημασία των αεροφωτογραφιών για τη μελέτη τους (Brunsden and Prior 1984). Οι επιστήμονες στο Πανεπιστήμιο του Μπάρι στην Ιταλία έχουν χρησιμοποιήσει με επιτυχία αεροφωτογραφίες στην αξιολόγηση τόσο ενεργών κατολισθήσεων (Guerricchio και Melidoro 1981) όσο και ιστορικών μετακινήσεων (Cotecchia et al. 1986). Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, έχει εξελιχτεί σημαντικά η τηλεπισκόπηση.

4.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Πληροφορίες που προέρχονται από εικόνες κατολίσθησης, μέσω τηλεσκοπικής λήψης, σχετίζονται κυρίως με τη μορφολογία, τη βλάστηση, και τις συνθήκες αποστράγγισης των πρανών. Η μορφολογία του πρανούς είναι καλύτερα να μελετηθεί μέσω της εξέτασης ενός στερεοσκοπικού μοντέλου. Η μελέτη των μεταβολών στον τόνο και την υφή ή το μοτίβο και το σχήμα των φωτογραμμώσεων πρέπει να συνδέεται με τις συνθήκες του εδάφους ή τις γεωμορφές που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις.

Η ερμηνεία των κατολισθήσεων μέσω της τηλεπισκόπησης βασίζεται στην αναγνώριση ή στον προσδιορισμό των στοιχείων που συνδέονται με τις μετακινήσεις του πρανούς. Το πρόβλημα είναι δύσκολο να αναγνωριστούν άμεσα οι κατολισθήσεις, ερμηνεύονται όμως μέσω συγκεκριμένων στοιχείων στις εικόνες τηλεπισκόπησης, τα οποία αποτελούν χαρακτηριστικά γνωρίσματα σε κατολισθήσεις.

Κατά συνέπεια, η κατηγοριοποίηση των κατολισθήσεων μέσω της ερμηνείας των αεροφωτογραφιών, δεν είναι τόσο λεπτομερής όσο οι ταξινομήσεις των Cruden ή των Hansen 1984/ Crozier 1986/ Hutchinson 1988, οι οποίες περιλαμβάνουν στοιχεία από έρευνα στην ύπαιθρο στις εκτιμήσεις τους. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι φωτοερμηνείες των κατολισθήσεων πρέπει να χρησιμοποιούν μια απλούστερη ταξινόμηση. Τοπικές προσαρμογές σε ισχύουσες ταξινομήσεις μπορεί να δικαιολογηθούν για την πρόληψη αμφιβολιών και ως εκ τούτου τις εσφαλμένες ταξινομήσεις.

Οι τύποι των κινήσεων πρανούς βασίστηκαν στις τοπικές γνώσεις σε συγκεκριμένη περιοχή στην κολομβιανή Cordillera (van Westen 1992, 1993). Ο βαθμός της ενεργότητας των κατολισθήσεων, όπως έχουν ταξινομηθεί από την ερμηνεία των αεροφωτογραφιών, προκύπτει με τον καθορισμό της νεότητας των χαρακτηριστικών που συνδέονται με την κατολίσθηση. Οι παλιότερες κατολισθήσεις παρουσιάζουν υποβάθμιση στη μορφολογία τους, που συνήθως έχει ήδη καλυφθεί από βλάστηση και χαρακτηρίζεται ως σταθερή.

Τύπος μετακίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού			
Κατάπτωση		Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση Γαιών	
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή Γαιών	
Ολίσθηση	Περιστροφική Ολίσθηση	Περιστροφική Ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική Ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική Ολίσθηση Γαιών	
	Μεταθετική Ολίσθηση	Μεταθετική Ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική Ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική Ολίσθηση Γαιών	
Πλευρική Εξάπλωση		Πλευρική Εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική Εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική Εξάπλωση Γαιών	
Ροή		Ροή - Ερπυσμός βραχώδους υποβάθρου	Ροή κορημάτων - Ερπυσμός Εδάφους	Ροή Γαιών - Ερπυσμός Εδάφους	
Σύνθετη		Σύνθετη	Σύνθετη	Σύνθετη	

4.1.1 ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ

Σε αυτή τη κατηγορία, μία μάζα πετρώματος ή συνεκτικού εδάφους, οποιοδήποτε μεγέθους, αποσπάται από ένα εδαφικό ή βραχώδες πραινός, κατά μήκος μιας επιφάνειας. Η πτώση γίνεται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πραινός. Η μετακίνηση αυτού του τύπου είναι πολύ έως εξαιρετικά γρήγορη και είναι πιθανό να έχουν προηγηθεί μικρότερες μετακινήσεις που έφεραν τον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα. Το φαινόμενο των καταπτώσεων είναι συνηθισμένο στα απότομα πραινά πολύ συνεκτικών εδαφών ή βράχων, τα οποία υποσκάπτονται από την ενέργεια θαλάσσιων κυμάτων ή το ρεύμα ποταμών ή ακόμα και από ανθρωπογενή παρέμβαση. Στην περίπτωση *καταπτώσεων βράχων (rock falls)*, η μάζα που μετακινείται είναι μάζα βράχων που αποσπάστηκαν από μια περιοχή του υποβάθρου. Οι πιο συχνές περιπτώσεις αναφέρονται σε εναλλαγές συμπαγών και λιγότερων συμπαγών πετρωμάτων, καθώς και συμπαγή πετρώματα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών. Στην περίπτωση *καταπτώσεων κορημάτων (debris falls)*, η μάζα που αποκολλάται είναι κορήματα, που αποτελούνται από θραύσματα δημιουργημένα πριν το κατολισθητικό φαινόμενο. Ο Rapp (1960) διακρίνει τις πρωτογενείς καταπτώσεις (πτώσεις υλικών κατευθείαν από το μητρικό πέτρωμα) και τις δευτερογενείς καταπτώσεις (πτώσεις μεταφερόμενων χαλαρών υλικών).

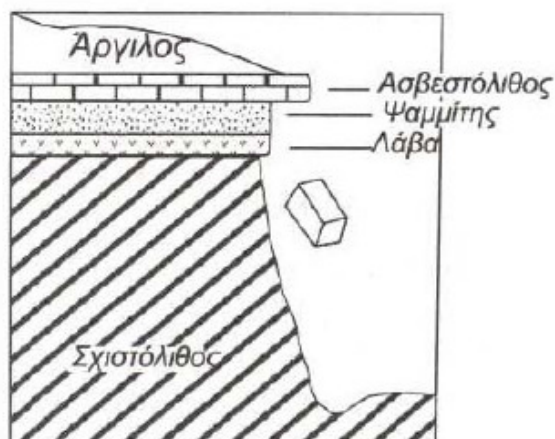
Οι καταπτώσεις και οι ανατροπές πάντα σχετίζονται με πολύ απότομα πραινά, κυρίως πιο απότομα από 50 μοίρες, όπου το υπόβαθρο είναι άμεσα εκτεθειμένο. Οι καταπτώσεις προκύπτουν κατά κύριο λόγο από ασυνέχειες (ρωγμές και διακλάσεις), δίνοντας στην πλαγιά του πραινός μια τραχιά εμφάνιση. Οι ανατροπές ευνοούνται από την παρουσία ενός απότομα κεκλιμένου αρμού με ένα σπάσιμο τοποθετημένου περίπου παράλληλα προς το μέτωπο του πραινός. Ως εκ τούτου, λεπτές ευθυγραμμίσεις στην κορυφή με κατεύθυνση παράλληλα στο ελεύθερο μέτωπο, μπορεί να σχετίζονται με ανοικτούς αρμούς πίσω από τους σχηματισμούς προς ανατροπή. Η διόγκωση στο πόδι του πραινός ή την εμφάνιση του σκληρού scree στα πραινά κάτω από το μέτωπο του βράχου, συνδέεται με τραχιά μικρομορφολογία και έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση σχετικά σκληρής στην απεικόνιση. Κορήματα και συσσωρεύσεις κολλουβιακών σχηματίζονται από τις διαδικασίες της κατάπτωσης σε πραινά που έχουν κλίση μεταξύ 25 και 35 μοιρών. Διάσπαρτα δέντρα ή θάμνοι είναι η πιο συχνή βλάστηση σε αυτά τα πραινά. Η πυκνότητα της βλάστησης είναι ενδεικτική του βαθμού ενεργότητας της μετακίνησης των πραινών. Σε συγκεκριμένα σημεία

όπου συμβαίνουν συχνότερα καταπτώσεις, ύδατα διαβρώνουν το βράχο και σχηματίζονται κώνοι κορημάτων στη βάση του. Γραμμικά μοτίβα, ορατά μέσα στη βλάστηση είναι ενδεικτικά στα σημεία της κατάπτωσης των σχηματισμών.

Μεγάλες καταπτώσεις μπορεί να δημιουργήσουν γρήγορα κινούμενους βράχους ή καταιγισμό συντριμμιών ή sturzstroms. Αυτές οι αστοχίες συνδέονται με μεγάλες μορφολογικές ανωμαλίες και σημάδια στις πλαγιές των βουνών. Η συσσώρευση αυτών των υλικών μπορεί να εξαπλωθεί σε μεγάλη απόσταση από την περιοχή προέλευσης, δημιουργώντας συχνά μάλλον χαοτικές γεωμορφές, στις οποίες τεράστιοι σχηματισμοί δημιουργούν μια εξαιρετικά ακανόνιστη, τραχιά μορφολογία. Αυτή η χαοτική μορφολογία ενισχύεται στην εικόνα από ένα πολύ ακανόνιστο μοτίβο βλάστησης. Οι κυρτές μορφές μερικές φορές σχετίζονται με το μέτωπο της μάζας. Το σύστημα αποστράγγισης σε όλη την περιοχή γενικά είναι σοβαρά διαταραγμένο από αυτές τις μεγάλες, σύνθετες αποθέσεις της κατολίσθησης. Η αποστράγγιση της επιφάνειας μπορεί να εμποδίζεται από τις συσσωρευμένες αποθέσεις, δημιουργώντας λίμνες ή εκτροπές ποταμών που βρίσκουν το δρόμο τους μέσα από τις αποθέσεις αυτές. Αλλά χαρακτηριστικά είναι οι αλλαγές στο πλάτος και το γεωμετρικό σχέδιο του ποταμού και ασύμμετρες πλαγιές στην κοιλάδα όπου βρίσκονται οι συσσωρευμένες μάζες. Είναι συχνό φαινόμενο, η εκτροπή των καναλιών των ποταμών από τις μετακινήσεις μεγάλων μαζών μέσω της διάβρωσης και της υποσκαφής να προκαλεί αστάθεια των πρανών στην απέναντι πλευρά της κοιλάδας.



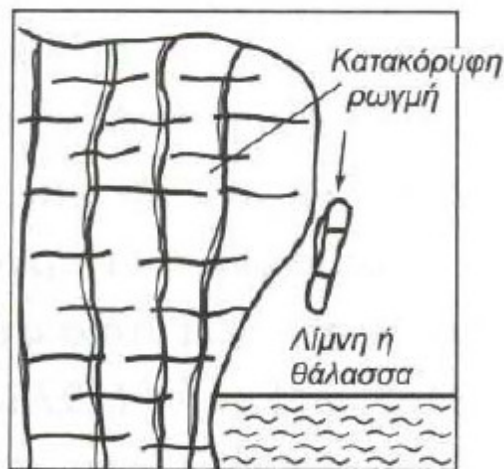
(1)



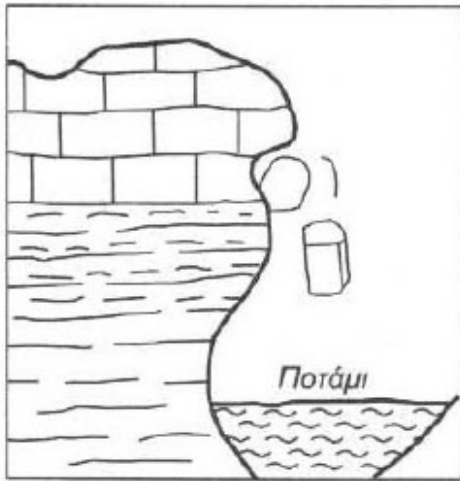
(2)



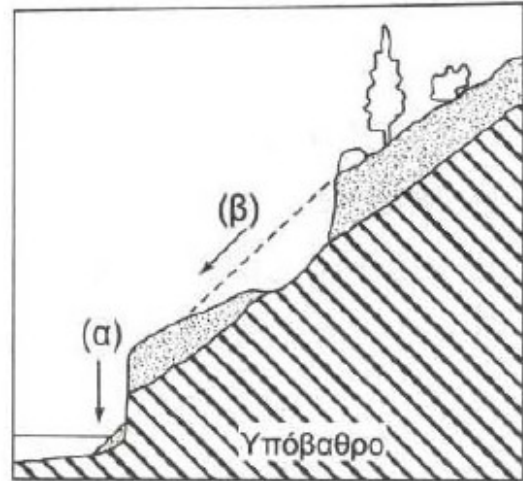
(3)



(4)



(5)

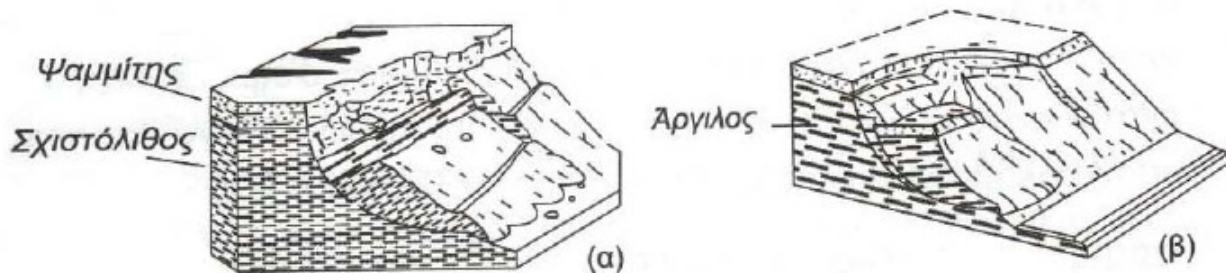


(6)

Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών: (1) τυπική κατάπτωση βράχων (VARNES 1978), (2) κατάπτωση λόγω διαφορετικής αποσάθρωσης (LETOURNEUR and MICHEL 1971), (3) λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, (4) λόγω ρωγμών και διαφορετικής διάβρωσης από το κύμα, (5) λόγω ρωγμών και διαφορετικής διάβρωσης από το ποτάμι (VARNES 1978), (6) (α) άμεση κατάπτωση γαιών-εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

4.1.2 ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Μια περιστροφική ολίσθηση συνδέεται κυρίως με πρανή που κυμαίνονται μεταξύ 20 και 40 μοιρών και αναγνωρίζεται από τη χαρακτηριστική μορφολογία του πρανούς. Η στέψη της ολίσθησης, με συχνά ημισεληνοειδή μορφή, ξεκινά μια απότομη αλλαγή στην κλίση. Κοίλα και κυρτά σχήματα πρανών σχετίζονται με τη θέση της κατολίσθησης και την απόθεση, τα οποία είναι αλληλένδετα. Στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει διατμητική παραμόρφωση και θραύση – ολίσθηση του υλικού κατά μήκος μιας ή και περισσότερων επιφανειών. Η συνολική μικρομορφολογία αυτών των κατολισθήσεων είναι ακανόνιστη, με αποτέλεσμα παραλλαγές σε υφή και τόνο στην αεροφωτογραφία. Οι διαφορετικές συνθήκες αποστράγγισης σε αυτές τις κατολισθήσεις και οι διαταραγμένες συνθήκες βλάστησης αυξάνουν τις διαφοροποιήσεις στην υφή και στον τόνο. Όταν το μέγεθος της εικόνας είναι κατάλληλο, οι διαφορές αυτές δημιουργούν ένα χαρακτηριστικό γεωμετρικό σχέδιο. Υδάτινες ζώνες και πηγές είναι τα χαρακτηριστικά κατά μήκος των απολήξεων της ολίσθησης. Αυτές οι πιο υγρές συνθήκες και η βλάστηση επηρεάζουν τον τόνο στις φωτογραφίες. Η απουσία καλλιέργειας ή οι διαφορές στη χρήση γης σε σύγκριση με εκείνες στη γύρω περιοχή είναι συχνά αξιοσημείωτες, αλλά και ενδεικτικές της δραστηριότητας των μετακινήσεων.



Περιστροφικές ολισθήσεις κατά VARNES 1978: (α) βραχώδους υποβάθρου, (β) γαιών (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).



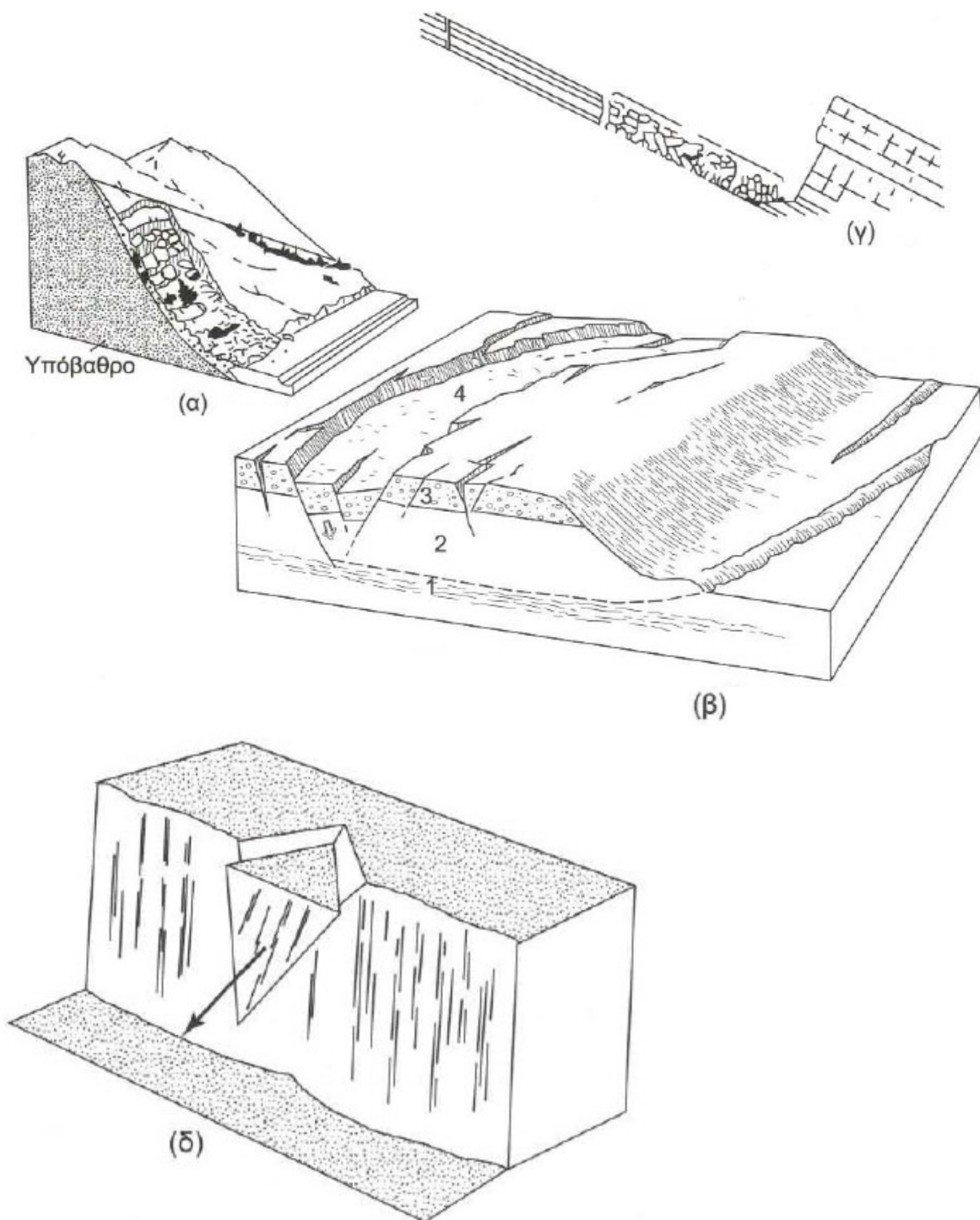
Περιστροφική κατολίσθηση σε αποσαθρωμένους σχιστόλιθους στις δυτικές παρυφές της Οσσας

Σε μια μεταθετική ολίσθηση η επιφάνεια αστοχίας αντανακλά συνήθως ένα αδύναμο στρώμα ή προϋπάρχουσες δομικές ασυνέχειες. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει σαφείς συνέπειες για τα μορφολογικά στοιχεία της κίνησης των μαζών. Κατ' αρχάς, ο λόγος D / L για μεταθετικές ολισθήσεις είναι πολλές φορές μικρότερη από ότι για την περιστροφική ολίσθηση, ενώ το πλάτος της ζώνης της κίνησης σε μεταθετικές ολισθήσεις είναι μεγαλύτερο από ότι για τις περισσότερες περιστροφικές. Όταν η αστοχία ελέγχεται από την διεπαφή μεταξύ των επιφανειακών υλικών και του βραχώδους υποστρώματος, η κίνηση θα είναι ρηχή και ο εκτοπισμός μπορεί να εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση. Τέτοιες αποτυχίες κλίσης είναι επίσης συχνά αρκετά ευρείες. Τα χαρακτηριστικά της ροής στα υπολείμματα του υλικού παρατηρούνται συχνά, ειδικά όταν η συνοχή του υλικού είναι χαμηλή και υπάρχει ισχυρή βροχόπτωση. Η περιοχή προέλευσης και η διαδρομή κατά μήκος του οποίου μετακινήθηκε το υλικό είναι απογυμνωμένη από βλάστηση, με αποτέλεσμα μια σαφής τονική αντίθεση με το περιβάλλον. Οι φωτογραμμώσεις παράλληλα προς την κατεύθυνση της κίνησης είναι συνηθισμένες. Οι συνθήκες βλάστησης είναι χαώδεις στην μετατοπισμένη μάζα και οι περισσότερες δραστηριότητες από την χρησιμοποίηση της γης δεν θα υπάρχουν όταν η μετακίνηση θα είναι πρόσφατη (μόλις λίγα χρόνια παλιά). Επίσης, οι συνθήκες αποστράγγισης είναι διαταραγμένες στο εκτοπισμένο υλικό, αν και οι τυπικά κακώς αποστραγγισμένες περιοχές που σχετίζονται με τις κυκλικές κατολισθήσεις συνήθως απουσιάζουν.

Μια σύνθετη κατολίσθηση είναι μια μεταβατική μορφή μεταξύ μιας περιστροφικής και μιας μεταθετικής ολίσθησης. Από την άποψη της φωτοερμηνείας, αυτές οι κατολισθήσεις είναι από παρόμοιες με τις περιστροφικές αλλά στα ανώτερα τμήματα τους περιέχουν συχνά γκρεμισμένα κομμάτια γης και έχουν λιγότερο έντονη ροή. Ο λόγος D/L είναι συνήθως μικρότερος από αυτόν της περιστροφικής ολίσθησης, ενώ το πλάτος τους είναι συνήθως μεγαλύτερο,

Ένας βράχος $s+Fc$ χαρακτηρίζεται επίσης από ένα μικρό λόγο D / L (συνήθως μικρότερο από 0,1) και ένα μεγάλο πλάτος. Οι ενώσεις και τα θραύσματα παρέχουν διαρθρωτικό έλεγχο της επιφάνειας αστοχίας και στην κορυφή της κατολίσθησης, και είναι συχνά ευδιάκριτες στην φωτογραφία.

Η μορφολογία της περιοχής ροής είναι πολύ τραχιά και είναι χαρακτηριστική η μείωση του μεγέθους του μπλοκ με την αύξηση της απόστασης. Τεράστιες πλάκες εμφανίζονται κοντά στην περιοχή προέλευσης, ενώ χαώδη και ακανόνιστα "κομμάτια μπλοκ" εμφανίζονται σε μεγαλύτερη απόσταση. Η βλάστηση είναι απύσχα στην περιοχή προέλευσης και κατά μήκος της διαδρομής. Στην κυκλική μάζα η βλάστηση είναι χαώδης και στα μικρά κομμάτια γης. Οι συνθήκες αποχέτευσης είναι συνήθως καλές, γιατί το μεγαλύτερο μέρος της αποχέτευσης θα είναι εσωτερικό. Πηγές μπορεί να βρεθούν στην άκρη της κατολίσθησης, και το μπροστινό μέρος της μάζας μπορεί να παρεμποδίσει τοπικά ρεύματα.



Μεταθετικές ολισθήσεις (HANSEN 1965 και VARNES 1978) (α) αποσαθρωμάτων, (β) εδαφικού τεμάχους, (γ) επίπεδη, (δ) σφηνοειδής. (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Στην κατηγορία των πολύπλοκων και σύνθετων κατολισθήσεων, οι ιλο-κατολισθήσεις μπορεί να διαφοροποιηθούν από την φωτοερμηνεία. Οι κατολισθήσεις λάσπης είναι γενικά κινήσεις ρηχών μαζών που εμφανίζονται στις πλαγιές μεταξύ 15 και 25 μοιρών και αποτελούνται από λεπτά αργιλικά υλικά. Η σαφώς διαφοροποιημένη περιοχή προέλευσης, διαδρομής μεταφοράς, και ζώνη συσσώρευσης είναι διαγνωστικά χαρακτηριστικά της ιλύος. Η μορφολογία των ιλο-κατολισθήσεων χαρακτηρίζεται από μια σαφή κοίλη θέση από την οποία προήλθε το υλικό, συγκρινόμενη με την ουλή των ρηχών κατολισθήσεων. Η διαδρομή της μεταφοράς συχνά αντιπροσωπεύεται από ένα

περισσότερο ή λιγότερο ίσιο κανάλι που δημιουργήθηκε κατά λάθος εξαιτίας μη-αποστραγγισμένου φορτίου. Οι ροές της αποθηκευμένης λάσπης εξαπλώνονται σε μια πολύ ευρύτερη περιοχή απ' το πλάτος της περιοχής προέλευσης ή τη διαδρομής μεταφοράς, όπου το υλικό περιορίζεται, σαν σε κανάλι. Η γλώσσα της ιλυο- κατολίσθησης εμφανίζει σχήμα λοβού. Η διαστολή του υλικού και η επίπεδη μορφή του λοβού είναι χαρακτηριστικές και σχετίζονται με την υγρή φύση του υλικού κατά τη διάρκεια της κίνησης. Ο λόγος D/L για τις λασποκατολισθήσεις είναι της τάξης των 0,05 έως 0,01, πολύ μικρότερο από ότι για τις κυκλικές κατολισθήσεις.

Ο όρος ροές έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει μια ξαφνική κατάρρευση του υλικού που στη συνέχεια κινείται σε μια σημαντική απόσταση πολύ γρήγορα. Ο Hutchinson (1988) τόνισε ότι τουλάχιστον τρία φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν αυτήν τη συμπεριφορά:

1. Κατάρρευση των αδύναμων βράχων, όπως ιζηματογενείς, κατά μήκος απότομων βράχων
2. Καταστροφή της κανονικής δομής των κορεσμένων υλικών από αιφνίδιο λόγο, σεισμούς και
3. Μετακίνηση σκόρπιων υλικών σε σωρούς απορριμμάτων ή κατακάθια λάσπης και λεπτής άμμου

Ανάλογα με το υλικό στο οποίο εμφανίζεται η αστοχία, το μέγεθος της αστοχίας και ο τόπος από τον οποίο προήλθε η μάζα, η συνολική μορφολογία της ροής κατολίσθησης μπορεί να μοιάζει με μεγάλες χιονοστιβάδες βράχων (sturzstroms), μετασχηματισμένων σε κατολισθήσεις από την αστοχία κατά μήκος ενός αδύναμου ορίζοντα, ή υγροποιημένης διασποράς, που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Γι' αυτούς τους λόγους, οι Cruden και Varnes προτείνουν ότι ο όρος flowslide είναι περιττός, μπερδεύει, και πιθανώς είναι διφορούμενος. Υποστηρίζουν ότι αυτά τα διαφορετικά είδη κατολισθήσεων πρέπει να περιγράφονται με πιο κατάλληλους όρους.

Ωστόσο, η ξαφνική κατάρρευση των χαλαρών, υγρών, σχεδόν ασυναφών εδαφών ή αδύναμων πετρωμάτων που εμφανίζονται σε μέτριες έως απαλές πλαγιές ή ακόμη και σε σχεδόν επίπεδο έδαφος, παράγουν μια χαρακτηριστική μορφή, που μπορεί εύκολα να αξιολογηθεί με την φωτοερμηνεία. Η περιοχή από την οποία προέρχεται κατολίσθηση είναι συχνά μια εκτεταμένη επίπεδη κοίλη ζώνη με ακανόνιστους λοφίσκους ή κυματιστή μικρομορφολογία. Στην περιοχή αυτή οι συνθήκες αποστράγγισης είναι εντελώς διαταραγμένες και λιμνάζοντα ύδατα συναντώνται συχνά. Οι συνθήκες αυτές είναι σε πλήρη αντίθεση με το περιβάλλον, το οποίο παρουσιάζει συνήθως μια ομαλή τοπογραφία με ως επί το πλείστον πλήρη εσωτερική αποστράγγιση. Ένα σχετικά στενό άνοιγμα ή αυχένas δηλώνει τον τόπο μέσω του οποίου συνέβη η μετακίνηση της κατολίσθησης.

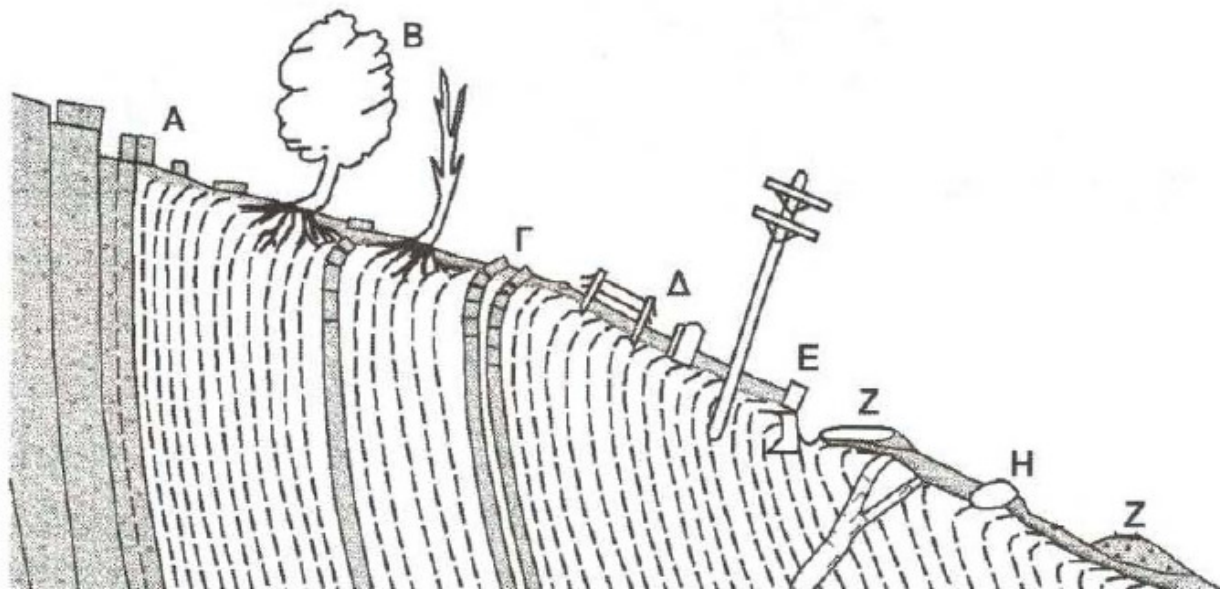
Το μονοπάτι μεταφοράς, που κυμαίνεται σε μήκος ανάλογα με την κλίση της περιοχής και την ρευστότητα της μάζας, αναγνωρίζεται καθαρά στις εικόνες από μια τονική αντίθεση και φωτογραμμώσεις παράλληλες με τη ροή. Η σωρευμένη μάζα έχει μια επίπεδη, ελαφρώς κυρτή μορφή λοβού. Οι δομές της ροής είναι καθαρά ορατές τόσο στην μικρομορφολογία όσο και στη βλάστηση, εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών αποστράγγισης.

4.1.3 ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Ο ερπυσμός είναι μετακίνηση μαζών που συμβαίνει σε ήπιες έως μέτριες πλαγιές, όπου επήλθε μια αργή εύπλαστη παραμόρφωση ή υγροποίηση σε έναν υπόγειο ορίζοντα και που υπερκαλύφθηκε από ένα πιο συνεκτικό επιφανειακό στρώμα. Αυτό το ανώτερο στρώμα χωρίζεται από τις κινήσεις του υπόγειου υλικού και μετακινείται και κατολισθαίνει προς τα έξω στο επίγειο στρώμα. Η επιφανειακή έκταση της κίνησης είναι συχνά σημαντική (μέχρι και αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα) και τα όρια της κίνησης στην επιφάνεια μπορεί να είναι διάχυτα και δύσκολο να διακριθούν τόσο από αεροφωτογραφίες όσο και από το έδαφος.

Γραμμικά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν σε ρωγμές και κλίσεις του μπλοκ των επιφανειακών υλικών είναι ορατά στις τηλεσκοπικές εικόνες, αποτελώντας δείκτες των αρχικών κινήσεων. Η παρουσία αυτών των ρωγμών ενισχύεται συχνά από διαφορές στην βλάστηση. Οι μορφολογικές ανωμαλίες αυξάνουν στα μεσαία τμήματα της κατολίσθησης. Το επιφανειακό υλικό σπάει σε ακανόνιστα κομμάτια που διασπείρονται χαωδώς. Αυτές οι χαοτικές συνθήκες αντικατοπτρίζονται από την μορφολογία, την αποχέτευση και τις συνθήκες βλάστησης. Εξογκώματα στις χαμηλότερες πλαγιές, που επιδεικνύουν ασυνήθιστα μια χαρακτηριστική κυρτή μορφή, δείχνουν εξώθηση του ασταθούς υλικού κάτω από την επιφάνεια. Οι κακές συνθήκες αποστράγγισης και υγροί ορίζοντες είναι χαρακτηριστικά αυτής της ζώνης, που προκαλούν τονικές διαφορές στις φωτογραφίες.

Πλευρικές διασπορές συχνά οδηγούν σε συνολικές ανωμαλίες αποχέτευσης, επειδή οι μετακινήσεις μπορεί να περιορίσουν ή να μπλοκάρουν κοιλάδες και να εκτρέψουν ρέματα. Αυτές οι ανωμαλίες αποχέτευσης συνήθως οδηγούν σε αυξημένη διάβρωση του ρέματος στο σημείο όπου η διασπορά φράσσει την κοιλάδα, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στην ανάπτυξη πολλών τοπικών κυκλικών κατολισθήσεων, σημαντικά μικρότερου μεγέθους από την πλευρική διασπορά.



Συνήθεις ενδείξεις ερπυσμού (SHARPE 1983) (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007):

- A : μετακινημένα τεμάχια που δημιουργήθηκαν από ρωγμές,
- B : κορμοί δένδρων με κοίλη καμπυλότητα προς τα ανάντη,
- Γ : κάμψη των στρωμάτων προς τα κατάντη,
- Δ : μετατόπιση φράχτη, κολώνας τηλεφωνικών ή ηλεκτρικών καλωδίων και μνημείων
- E : θραυσμένοι ή μετατοπισμένοι τοίχοι αντιστήριξης,
- Z : δρόμοι και σιδηροτροχιές μετατοπισμένοι από την ευθεία,
- H : χλόη κυλισμένη κατάντη από ογκόλιθους που έρπουν.

4.1.4 ΡΟΕΣ

Οι ροές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα αστοχιών κλίσης, συμπεριλαμβανομένων σχετικά αργά κινούμενων ροών γης, εξαιρετικά γρήγορων σιβάδων από συντρίμια, καταστροφικές ροές συντρίμμων, που προκαλούνται από την αστοχία του φράγματος να σχηματίσει μια φυσική ή τεχνητή λίμνη, ή εξίσου καταστροφικών lahars (κομμάτια βρεγμένης ηφαιστειακής λάβας) που προκλήθηκαν από ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Τα κατώτερα επίπεδα της Γής προέρχονται συχνά από διάφορους τύπους των μετακινήσεων μαζών. Η συνοχή της αρχικής μάζας κατολίσθησης χάνεται εξαιτίας της αρχικής αστοχίας, και η μάζα συνεχίζει ως τυρβώδης ροή με ρυμούλκηση υλικών. Το νερό που περιέχεται στο εσωτερικό της μάζας μπορεί να συμβάλει σ' αυτή την ρυμούλκηση.

Γήινες ροές μπορεί να συνεχίσουν σε μεγάλες αποστάσεις, ακολουθώντας κανάλια ρεμάτων και φτάνουν κύριες κοιλάδες όπου μπορούν να εμποδίζουν την αποχέτευση. Η περιοχή προέλευσης της γήινης ροής συχνά έχει την όψη μιας ζώνης με σύνθετες κινήσεις μάζας, κατολισθήσεις που προέρχονται από διάφορες κατευθύνσεις και που δείχνει γενικά μια σαφή εξελικτική οπισθοδρόμηση. Το μονοπάτι μεταφοράς διαφοροποιείται ακολουθώντας πρώτα την μέγιστη κλίση και στη συνέχεια ένα κανάλι. Η ροή γήινων υλικών παρουσιάζει μορφολογικά χαρακτηριστικά που συχνά είναι συγκρίσιμα με εκείνα των παγετώνων ή της λάβας, με ρωγμές (φωτογραμμώσεις στην αεροφωτογραφία) παράλληλα με την κίνηση και τις εγκάρσιες ρωγμές σε χώρους όπου η κλίση και η ταχύτητα ροής αυξάνουν. Η εγκάρσια τομή μιας γήινης ροής εμφανίζει ελαφρά κυρτό προφίλ εδάφους, που μπορεί να είναι άμεσα ορατή σε τρισδιάστατη φωτογραφία λόγω του υπερβολικού

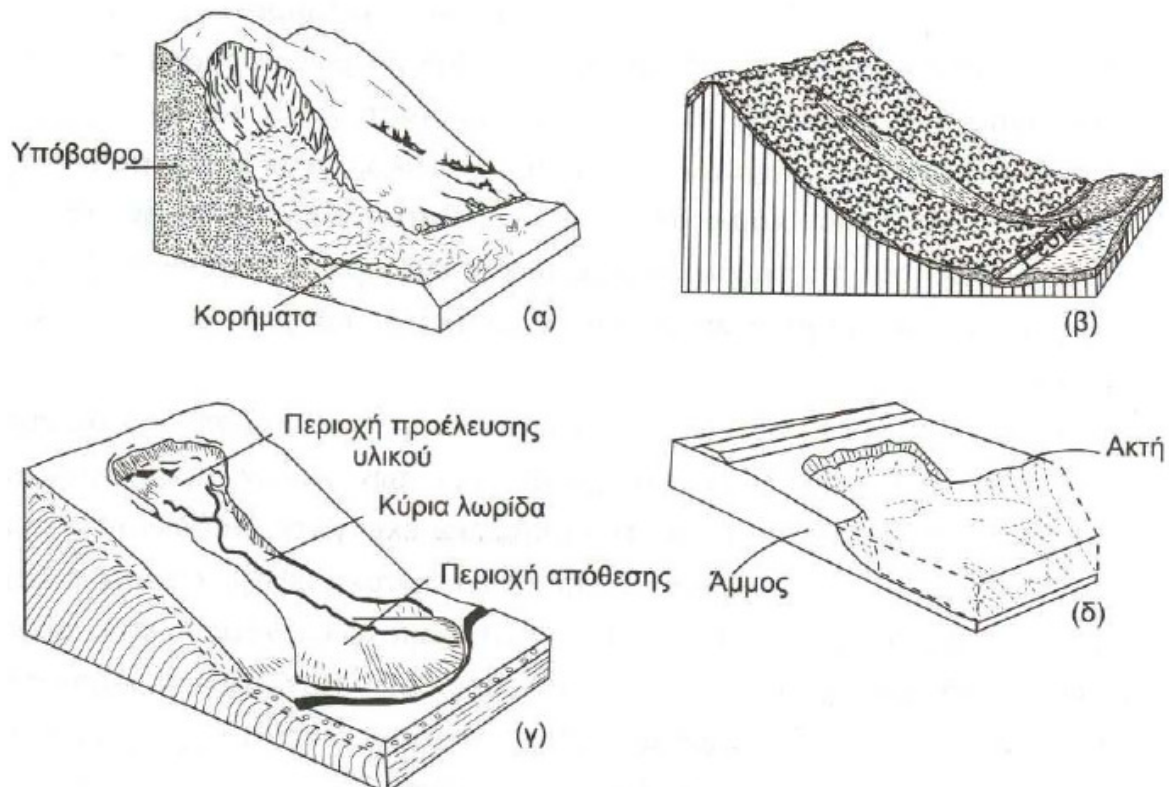
στερεοσκοπικού ανάγλυφου. Οι κοιλάδες ροών επιχωμάτωσης δημιουργούν μια σαφή μορφολογικά ανωμαλία, σε αντίθεση με τις σχήματος V κοιλάδες σε ορεινές περιοχές. Τα πρόσθια τμήματα των ροών γης έχουν σαφώς κυρτές μορφές. Η περιοχή γενικά στερείται βλάστησης, ενώ η βλάστηση στις γήινες ροές, αν υπάρχουν, μοιάζει αποσπασματική λόγω των συνθηκών αποστράγγισης διαφορικής επιφάνεια του υλικού. Οι συνθήκες αποστράγγισης στην περιοχή της πηγής έχει διαταραχθεί, καθώς και τοπική βάλτωση μπορεί να συμβεί. Δύο μικρά ρέματα που συνήθως αναπτύσσονται σε μια κοιλάδα υπόκεινται σε γήινη ροή, ένα σε κάθε πλευρά της ροής. Αυτά αποτελούν εύκολα αναγνωρίσιμη ανωμαλία αποχέτευσης, όπως και η εκτροπή του ρεύματος του καναλιού γύρω από το μετωπιαίο λοβό.

Τα συντρίμια χιονοστιβάδας είναι εξαιρετικά γρήγορα και μερικές φορές είναι σχετικά μικρές αποτυχίες κλίσης σε απότομες πλαγιές με κλίσεις συνήθως μεγαλύτερες από 35 μοίρες. Χαρακτηρίζονται από μια κοίλη θέση από την οποία μια μακριά, στενή, ελαφρά τονισμένη ουρά προέρχεται. Ο γραμμικός χαρακτήρας παραμένει ορατός σε αεροφωτογραφίες, ακόμη και όταν έχει εισβάλει δευτερεύουσα βλάστηση στην περιοχή που επηρεάζεται από τη χιονοστιβάδα συντριμμίων. Συντρίμια χιονοστιβάδας είναι πιο συχνά σε απότομες πλαγιές, που είναι σχεδόν στη μέγιστη γωνία σταθερότητας. Είναι ιδιαίτερα σάχη όπου η κλίση ισορροπίας έχει διαταραχθεί από βλάστηση ή αλλαγή στη χρήση της γης ή από τεχνικά έργα, όπως η οδοποιία. Συχνά προκαλούνται από σεισμούς.

Ροές συντριμμίων μπορεί να προκληθούν από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις σημαντικές ποσότητες υλικού ξαφνικά μετακινήθηκαν από την υπερβολική ποσότητα νερού και να μεταφέρονται σε μια εξαιρετικά γρήγορη και καταστροφική ροή μέσω μιας κοιλάδας. Ανάλογα με την προέλευση των συντριμμίων ροής, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της πηγής μπορεί να διαφέρουν. Η ζώνη μπορεί να χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό επιφανειακών ολισθήσεων συντριμμίων. Εξαιρετικά έντονη βροχόπτωση πυροδότησε ένα μεγάλο αριθμό κατολισθήσεων επιφανειακά διαβρωμένων γρανιτικών βράχων, και αυτά μαζί σχημάτισαν μια καταστροφική ροή συντριμμίων. Ωστόσο, οι ροές συντριμμίων μπορεί επίσης να προέρχονται από ένα μόνο σφάλμα κλίσης ή να προκαλούνται από την αποτυχία του φράγματος. Εξαιρετικά ογκώδεις ροές που προκαλούνται από μαζικές πλημμύρες παγετώνων έχουν εντοπιστεί στο βορειοδυτικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών και αλλού. Lahors είναι ροές συντριμμίων που προέρχονταν από χαλαρές πυροκλαστικές αποθέσεις σε ηφαιστειακές πλαγιές. Επιδεικνύουν μορφολογικά μορφές παρόμοιες με εκείνες των άλλων ροών θραυσμάτων.

Κοινό στοιχείο σε όλες τις ροές συντριμμίων είναι τα σημάδια που άφησαν πίσω τους οι καταστροφικές ροές. Μερικές ροές συντριμμίων έχουν τόσο μεγάλες διαστάσεις που αυτά τα σημάδια είναι σαφώς αναγνωρίσιμα ακόμα και σε μικρής κλίμακας εικόνες και για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά το συμβάν. Η εμφάνιση της απόθεσης μάζας ποικίλλει ανάλογα με το είδος των μεταφερόμενων υλικών, αλλά γενικά αποτελείται από μια απομονωμένη, επίπεδη επιφάνεια που περιβάλλει απομονωμένες μικρές υψηλότερης βλάστηση, περιοχές που αντιστοιχούν σε μια παλαιότερη τοπογραφική επιφάνεια. Μεγάλα τμήματα βράχου μέσα στη λάσπη μπορεί να δημιουργήσουν μια ακανόνιστη μικρο-μορφολογία, η οποία είναι αναγνωρίσιμη σε μεγάλης κλίμακας φωτογραφίες από την τραχιά υφή. Οι δομές ροής είναι συχνά απύσες σε αυτήν την χαοτική μάζα. Οι συνθήκες αποστράγγισης στη ροή μάζας έχουν διαταραχθεί, και η ίδια η μάζα εκτρέπεται ή παρεμποδίζει ρεύματα στην περιοχή της εναπόθεσης.

Οι ροές υποβάθρου, ή ο βαθύς ερπυσμός, γενικά δεν επηρεάζουν τις μορφολογικές συνθήκες αρκετά για να ερμηνευθούν σε μια προκαταρκτική φωτοερμηνεία. Αυτές οι ροές μπορούν να αποτυπωθούν μόνο με καλή γνώση των τοπικών συνθηκών. Μόλις τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ερπυσμού είναι γνωστά σε μια περιοχή, αυτή η γνώση μπορεί να προεκταθεί επιτυχώς στις αεροφωτογραφίες. Ο ερπυσμός μπορεί να δημιουργήσει μια ακανόνιστη μικρομορφολογία, που μερικές φορές αντανakλάται στην αποστράγγιση και τη βλάστηση, που προκαλεί μια αντίθεση με τις περιοχές που δεν επηρεάζονται από ερπυσμό. Οι γύρω περιοχές παρουσιάζουν συνήθως πολύ καλές μορφές με χαμηλούς φωτογραφικούς γκρι τόνους σε σύγκριση με τις ερπυσμού πληγείσες περιοχές. Η διόγκωση των πρηνών συνδέεται με βαθύ ερπυσμό. Όταν αναπτύσσεται χαλάρωση, γενικά συνοδεύεται από επιμήκεις κοιλότητες κατά μήκος της πλαγιάς και οπίσθια κλίση.



(α) – (β) Ροή κορημάτων, (γ) Ροή γαιών, (δ) Ροή άμμου – ιλύος (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

4.1.5 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Οι μετακινήσεις μάζας μπορούν να εκπροσωπούνται χαρτογραφικά σε δύο επίπεδα γενίκευσης. Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η περιοχή που επηρεάζεται από την ολίσθηση είναι πολύ μικρή για να αντιπροσωπεύει τις πραγματικές κινήσεις στην κλίμακα του χάρτη, οι κινήσεις αντιπροσωπεύονται από ένα σύμβολο που καθορίζει το είδος της κίνησης, έτσι διαφοροποιούνται οι πτώσεις, οι ολισθήσεις και οι ροές. Σε μεγαλύτερες κλίμακες χάρτη, ή για μεγαλύτερες κατολισθήσεις, οι γραμμές της κίνησης μπορεί να εμφανίζονται στο χάρτη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο χάρτης δείχνει συνήθως, όλες τις πολύτιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τις διεργασίες της κίνησης όπως scarp, ρωγμές, τα βήματα στις πλαγιές, τεμάχια με οπίσθια κλίση και καταβυθίσεις. Έμμεση απόδειξη της αστάθειας, όπως στατική αποστράγγιση, ή βάλτωση, μπορεί επίσης να χαρτογραφηθεί. Σε μεγάλες ή σύνθετες περιοχές μετακίνησης μάζας, απλά σύμβολα συνήθως συνδυάζονται ώστε να αναπαραστήσουν μορφολογικές λεπτομέρειες. Ο βαθμός της δραστηριότητας μπορεί να υποδεικνύεται από τη χρήση συνεχόμενων και διακεκομμένων γραμμών ή με τη χρήση συμβόλων σε διάφορα χρώματα, για παράδειγμα, το κόκκινο για ενεργές περιοχές και το μαύρο για το ανενεργές περιοχές. Ωστόσο, οι ερμηνείες αυτές πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, διότι η διαφοροποίηση μεταξύ ενεργών και ανενεργών κατολισθήσεων, ειδικά από τη χρήση δορυφορικών εικόνων, βασίζεται μόνο στο βαθμό της φρεσκάδας των μορφολογικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την κίνηση. Σε μεγάλες ή σύνθετες ολισθήσεις, μικρές ενεργητικές κινήσεις είναι συχνά ενδεικτικές της συνεχιζόμενης δραστηριότητας στο πλαίσιο της ευρύτερης μάζας.

Όταν ένας χάρτης απογραφής των κατολισθήσεων είναι έτοιμος για μια GIS ανάλυση κινδύνου, οι κατολισθήσεις οριοθετούνται από την εικόνα και φέρουν έναν αριθμό ταυτοποίησης και ένα ψηφιακό κωδικό που προσδιορίζει τον τύπο κατολίσθησης, υπότυπο, τη δραστηριότητα, και το βάθος. Πρότυπες ταξινομήσεις κατολίσθησης και ενιαίες μέθοδοι φωτοερμηνείας πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο. Ωστόσο, η εμπειρία έχει δείξει ότι οι

φωτοερμηνείες των κατολισθήσεων μπορεί να απαιτήσουν ελαφρές τροποποιήσεις σε αυτές τις ταξινομήσεις, ώστε να παράγουν μια σαφή και συνεπή ερμηνεία.

4.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Όπως αναφέρθηκε, η αξιολόγηση της επικινδυνότητας για κατολίσθηση δεν θα πρέπει να βασίζεται μόνο στην παραγωγή ενός χάρτη απογραφής κατολίσθησης. Μια πλήρης αξιολόγηση της επικινδυνότητας για κατολίσθηση απαιτεί επίσης την ανάλυση των παραγόντων που οδηγούν στην αστάθεια και την ταξινόμηση του εδάφους σε κατηγορίες ευαισθησίας για τις αποτυχίες κλίση. Οι κατηγορίες αυτές προσδιορίζονται για να αντανakλούν την παρουσία και την ένταση των παραγόντων που προκαλούν την αστάθεια. Η ερμηνεία των είτε δορυφορικών εικόνων ή αεροφωτογραφιών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αξιολόγηση από τους πολλούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάλυση κινδύνου κατολισθήσεων και την απεικόνιση τους ως χάρτες παραμέτρων. Η διαδικασία ερμηνείας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για εκτέλεση ανάλυσης εδάφους, με αποτέλεσμα να παράγουν ένα ενιαίο χάρτη που καθορίζει τα χαρακτηριστικά των ομοιογενών μονάδων του χάρτη. Κατά συνέπεια, η τηλεπισκοπικές μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν για να λάβουν πληροφορίες σχετικά με την εκτίμηση παραγόντων κινδύνου κατολισθήσεων ή παραμέτρων από δύο διακριτές διαδικασίες:

1. Προετοιμασία των επιμέρους θεματικών χαρτών: Αυτή είναι προφανώς μια άκρως επιθυμητή μέθοδος αξιολόγησης των κινδύνων κατολίσθησης και περιλαμβάνει την εκπροσώπηση των διαφόρων παραγόντων που ενδεχομένως επηρεάζουν την αστάθεια των πρανών (όπως γεωμορφολογία, γωνία κλίσης, το μήκος, κυρτότητα, τη χρήση γης, και λιθολογία). Ωστόσο, σε σχετικά λεπτομερή κλίμακα, όπως 1:50,000 ή μεγαλύτερη, η προετοιμασία των πολλών επιμέρους χαρτών απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα για φωτοερμηνεία, επιτόπια έρευνα, δημιουργία χάρτη, και την επακόλουθη ψηφιοποίηση των χαρτών αυτών, αν τεχνικές GIS πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, η ψηφιοποίηση των ίδιων γραμμών ορίου που εικονίζεται σε διαφορετικούς χάρτες πρέπει να διεξάγεται με μεγάλη προσοχή και συχνά με διάφορα στάδια επεξεργασίας, ώστε να συμπίπτουν ακριβώς. Εάν αυτές οι γραμμές δεν συμπίπτουν, η υπερκάλυψη των χαρτών παράγει ένα μεγάλο αριθμό μικρών περιοχών που περιέχουν ψευδείς εκτιμήσεις κινδύνου. Για τους λόγους αυτούς, η μέθοδος αυτή είναι καταλληλότερη για την εκτίμηση σε σχετικά μικρές περιοχές.
2. Προσέγγιση της εδαφικής ταξινόμησης: Μια ταξινόμηση εδάφους χωρίζει το τοπίο σε ομοιογενείς ζώνες ή φυσικές διαιρέσεις χρησιμοποιώντας τις αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ της γεωλογίας, της γεωμορφολογίας και των χωμάτων. Επειδή η αξιοπιστία των ποσοτικών στοιχείων σχετικά με τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία, τα χώματα και ούτω καθεξής, είναι συχνά σπάνια κατά τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού για αναπτυξιακά και μηχανικά έργα, η εδαφική ταξινόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια αυτών των σταδίων για τη μετατροπή των διαθέσιμων διεπιστημονικών δεδομένων σε στοιχεία που αντικατοπτρίζουν εφαρμογές όπως η ευστάθεια των πρανών. Οι εδαφικές ταξινομήσεις μειώνουν τις φαινομενικά άπειρες παραλλαγές του εδάφους σε ένα διαχειρίσιμο αριθμό κατατάξεων. Επιτρέπουν, επίσης, να προχωρήσει η ανάλυση σχετικά με τον κίνδυνο κατολισθήσεων με τη δημιουργία και την ψηφιοποίηση ενός μόνο επιπλέον χάρτη. Αυτή η διαδικασία είναι, επομένως, ιδιαίτερα ελκυστική κατά τη διάρκεια των προγενέστερων περιφερειακών σταδίων αξιολόγησης.

4.2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

Η παραγωγή των επιμέρους θεματικών χαρτών θα απαιτήσει κανονικά τη χρήση εξειδικευμένων διαδικασιών χαρτογράφησης. Μια ευρεία κατηγορία των εν λόγω μεθόδων χαρτογράφησης ονομάζεται γεωμορφολογική χαρτογράφηση. Έχουν προταθεί πολλά διαφορετικά συστήματα γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, είτε για καθολική εφαρμογή είτε για συγκεκριμένες περιοχές ή περιφέρειες όπως για παράδειγμα τα ορεινά εδάφη. Επισκοπήσεις συμβατικών συστημάτων

γεωμορφικής χαρτογράφησης, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας, παρουσιάστηκαν από τους Demek και Embleton (1978) και τον van Zuidam (1986). Η χρήση πολλών διαφορετικών συστημάτων στην πράξη δείχνει ότι κανένα καθολικά αποδεκτό σύστημα δεν είναι επαρκές για τη χαρτογράφηση σε διαφορετικά περιβάλλοντα, σε αντίθεση με την περίπτωση της χαρτογράφησης εδαφών. Στα συμβατικά συστήματα γεωμορφικής χαρτογράφησης για κλίμακες 1:25,000 και μεγαλύτερες, χρησιμοποιούνται διάφορα σύμβολα, γραμμές, χρώματα και εκκολάψεις για να αναπαρασταθούν η μορφομετρία, η μορφογραφία, η αποχέτευση, η γένεση, η χρονολογία και τα υλικά των χαρακτηριστικών του τοπίου ή των διαδικασιών που τα διαμορφώνουν. Τα συστήματα αυτά διαφέρουν ως προς τη σημασία που αποδίδεται σε κάθε στοιχείο και ως προς τη μέθοδο της αναπαράστασης. Όλα όμως συνδυάζουν τα διαφορετικά είδη γεωμορφικών δεδομένων σε ένα φύλλο χάρτη. Ένα τέτοιο σύστημα δεν είναι δεκτικό βασιζόμενων σε υπολογιστή αναπαραστάσεων με τη χρήση των μεθόδων GIS. Έτσι, η κατασκευή λεπτομερών γεωμορφικών χαρτών κατάλληλων για χρήση σε μια αναπαράσταση GIS απαιτεί μία διαφορετική, και πολύ πιο περίπλοκη, μέθοδο χαρτογράφησης (Dikau 1992; Van Westen 1993).

4.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Οι μέθοδοι εδαφικής ταξινόμησης αναπτύχθηκαν για να αντικαταστήσουν τη χαρτογράφηση των επιμέρους παραμέτρων του τοπίου σε πολλούς χάρτες με μία ενιαία μονάδα χαρτογράφησης που μπορεί να παρουσιαστεί σε ένα και μόνο χάρτη. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης εδάφους. Μία σύγκριση των βασικών συστημάτων έγινε από τους van Zuidam (1986) και Cooke και Doornkamp (1990). Τα συστήματα αυτά διαφέρουν ως προς τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούν ή εξαρτώνται από γεωμορφικές, αναλυτικές, μορφομετρικές, φυσιογραφικές, βιογεωγραφικές ή λιθο-γεωλογικές παραμέτρους. Τα περισσότερα συστήματα ταξινόμησης εδάφους έχουν μια άκαμπτη ιεραρχική δομή, η οποία εμποδίζει την ευέλικτη χρήση τους, ή βασίζονται σε μια μόνο παράμετρο ή ένα περιορισμένο σύνολο παραμέτρων.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, αναπτύχθηκε από τον Meijerink (1988) ένα σύστημα εδαφικής ταξινόμησης με βάση την οριοθέτηση των μονάδων εδαφικής χαρτογράφησης (MEX, TMUs). Ως MEX/ TUM ορίζεται η μονάδα που ομαδοποιεί ζώνες από αλληλένδετες γεωμορφές, λιθολογία, και χρώμα. Είναι ένα φυσικό τμήμα του εδάφους που μπορεί να διακριθεί σε στέρεο εικόνες SPOT ή μικρής κλίμακας αεροφωτογραφίες και να επαληθευθεί επιτόπου. Οι μονάδες διαφοροποιούνται βάσει των φωτομορφικών ιδιοτήτων στο στερεό μοντέλο. Η MEX/ TUM του συστήματος του Meijerink δεν έχει μια αυστηρή ιεραρχική δομή. Ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει το μύθο σύμφωνα με τις σημαντικές παραμέτρους που ανέκυσαν στην υπό μελέτη περιοχή και με το σκοπό της μελέτης. Μία μεμονωμένη MEX/ TUM διαφέρει από άλλες γειτονικές MEX/ TMUs είτε επειδή οι γεωμορφές είναι εμφανώς διαφορετικές είτε επειδή τα φαινόμενα που σχετίζονται με τη γεωμορφή, όπως η φύση μίας ζώνης επηρεασμένης από καιρικά φαινόμενα, η λιθολογία, ή ο τύπος του εδάφους, είναι διαφορετικά. Η θεωρία της MEX/ TUM έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορες γεωμορφικές και γεωλογικής μηχανικής εφαρμογές, όπως ο σχεδιασμός του αυτοκινητόδρομου (Akinyede 1990).

Στη συμβατική θεματική χαρτογράφηση, μία MEX/ TUM μπορεί να θεωρηθεί ως μονάδα. Όσον αφορά στις τεχνικές GIS, μία MEX/ TUM μπορεί να περιγραφεί ως η γεωγραφική περιοχή, απαρτιζόμενη από οντότητες (πολύγωνα) που δημιουργούν ένα μοναδικό σύνολο ιδιοτήτων (συνθήκες εδάφους). Οι συνθήκες εδάφους συνδέονται με τα γεωγραφικά MEX/ TUM πολύγωνα σε πίνακες χαρακτηριστικών σε μία βάση δεδομένων. Οι MEX/ TUMs επιτρέπουν την ομαδοποίηση των ακόλουθων αλληλένδετων μεταβλητών ενός τοπίου:

- της γεωμορφικής προέλευσης και φυσιογραφίας,
- της λιθολογίας,
- της μορφομετρίας και
- της γεωγραφίας του εδάφους.

5. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΧΩΡΙΣΜΟ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η εμφάνιση των κατολισθήσεων εξαρτάται γενικά από τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού επιμέρους αλληλένδετων παραγόντων. Η ανάλυση του κινδύνου κατολισθήσεων απαιτεί αξιολόγηση της σχέσης ανάμεσα σε διαφορετικές συνθήκες εδάφους και περιστατικά κατολισθήσεων. Ένας έμπειρος γεωεπιστήμονας έχει την ικανότητα να αξιολογήσει διανοητικά τις συνολικές συνθήκες μιας πλαγιάς και να εξάγει τις κρίσιμες παραμέτρους. Ωστόσο, είναι συχνά επιθυμητό μια εκτίμηση της αστάθειας του πρανούς να υποστηρίζεται ποσοτικά από μια αντικειμενική διαδικασία. Η διαδικασία αυτή απαιτεί την αξιολόγηση των χωρικά ποικίλλων συνθηκών του εδάφους, καθώς και τη χωρική απεικόνιση των κατολισθήσεων. Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών GIS επιτρέπει την αποθήκευση και το χειρισμό των πληροφοριών σχετικά με τους διάφορους εδαφικούς παράγοντες, όπως τα διακριτά δεδομένα των στρωμάτων, παρέχοντας κατά αυτόν τον τρόπο ένα εξαιρετικό εργαλείο για το διαχωρισμό σε ζώνες επικινδυνότητας αστάθειας του πρανούς.

5.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Τα GIS ορίζονται ως ένα «ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάκληση κατά βούληση, μετατροπή, και εμφάνιση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για ένα συγκεκριμένο σκοπό» (Burrough 1986). Το πρώτο πειραματικό ηλεκτρονικό GIS αναπτύχθηκε ήδη από τη δεκαετία του 1960, αλλά η πραγματική έκρηξη ήρθε το 1980 με την αύξηση της διαθεσιμότητας των ανέξοδων προσωπικών υπολογιστών (PC). Ως μια εισαγωγή στο ΓΣΠ, ο αναγνώστης παραπέμπεται στα βιβλία, όπως αυτά των Burrough (1986) ή Aronoff (1989). Γενικά το GIS αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Εισαγωγή των δεδομένων και επαλήθευση,
2. Αποθήκευση δεδομένων και διαχείριση της βάσης δεδομένων,
3. Μετασχηματισμός και ανάλυση δεδομένων,
4. Εξαγωγή δεδομένων και παρουσίαση

Σήμερα υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα στην αγορά και ποικίλλουν από δημόσιο λογισμικό για ηλεκτρονικούς υπολογιστές, σε πολύ ακριβά συστήματα για υπολογιστές mainframe. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα διαφέρουν σε σχέση με τον τύπο της δομής των δεδομένων (vector έναντι ράστερ), την τεχνική συμπίεσης των δεδομένων (Quadrees, κωδικοποίηση μήκους διαδρομής), τη διάσταση (δισδιάστατο, τρισδιάστατο), τον υπολογιστή (Mainframe, μίνι υπολογιστής και μικροϋπολογιστής), την επαφή με το χρήστη (pop-up μενού, ποντίκι-οδηγός, βοήθεια στις επιλογές, κλπ).

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του GIS, σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές χωρικής ανάλυσης αναλύονται εκτενώς από τους Burrough (1986) και Aronoff (1989). Ένα ιδανικό GIS για τις ζώνες επικινδυνότητας κατολισθήσεων συνδυάζει τις συμβατικές διαδικασίες GIS με δυνατότητες επεξεργασίας εικόνων και με μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Δεδομένου ότι απαιτείται η συχνή χρήση πολλαπλών στρωμάτων στο χάρτη, η μοντελοποίηση και η ενσωμάτωση τηλεπισκοπικών εικόνων (σάρωση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων), ένα σύστημα ράστερ είναι προτιμότερο. Το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελέσει χωρική ανάλυση σε πολλαπλών στρωμάτων χάρτες και σε πίνακες δεδομένων συσχετιζόμενων με το χαρακτηριστικό. Οι απαραίτητες λειτουργίες ενός GIS περιλαμβάνουν την επικάλυψη του χάρτη, την ανακατάταξη, και μια ποικιλία άλλων χωρικών λειτουργιών που περιλαμβάνουν λογικές, αριθμητικές, υπό όρους, και γειτονικές λειτουργίες. Σε πολλές περιπτώσεις μοντελοποίησης κατολισθήσεων απαιτείται η επαναληπτική εφαρμογή της σε παρόμοιες αναλύσεις με διαφορετικές παραμέτρους. Ως εκ τούτου, το GIS θα πρέπει να επιτρέπει τη χρήση των αρχείων και μακροεντολών ώστε να βοηθάτε η εκτέλεση αυτών των επαναλήψεων. Καθώς τα περισσότερα σύνολα δεδομένων που απαιτούνται

για τα έργα διαχωρισμού σε ζώνες κινδύνου κατολισθήσεων εξακολουθούν να είναι σχετικά μικρά, ως επί το πλείστον μικρότερα από 100 megabytes, μπορούν εύκολα να φιλοξενηθούν από ανέξοδες εφαρμογές GIS για προσωπικούς υπολογιστές.

Τα πλεονεκτήματα των GIS για την εκτίμηση κινδύνου κατολισθήσεων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Μια πολύ μεγαλύτερη ποικιλία από τεχνικές ανάλυσης κινδύνου γίνεται εφικτή. Λόγω της ταχύτητας των υπολογισμών, σύνθετες τεχνικές που απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό επикаλύψεων του χάρτη και πινάκων υπολογισμών είναι πλέον εφικτές.
2. Τα μοντέλα επιδέχονται βελτίωση με αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους και με προσαρμογή των μεταβλητών. Οι χρήστες μπορούν να επιτύχουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα από μια διαδικασία δοκιμής και λάθους, που τρέχει τα μοντέλα πολλές φορές, ενώ είναι δύσκολο να χρησιμοποιήσει κανείς αυτά τα μοντέλα ακόμη και μία φορά με το συμβατικό τρόπο. Ως εκ τούτου, πιο ακριβή αποτελέσματα αναμένονται με τη χρήση των GIS.
3. Κατά τη διάρκεια ενός έργου αξιολόγησης του κινδύνου κατολισθήσεων, οι χάρτες με τα εισαγόμενα στοιχεία από τις τομεακές παρατηρήσεις μπορούν να ενημερωθούν γρήγορα όταν συλλέγονται νέα δεδομένα. Επίσης, μετά την ολοκλήρωση του έργου, τα ίδια δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλους με αποτελεσματικό τρόπο.

Τα μειονεκτήματα των GIS για την εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Η είσοδος των δεδομένων στο GIS απαιτεί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Η ψηφιοποίηση τους είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα.
2. Υπάρχει κίνδυνος να δοθεί πολύ μεγάλη έμφαση στην ανάλυση των δεδομένων, όπως και σε βάρος της συλλογής και της διαχείρισης των δεδομένων που βασίζεται στην επαγγελματική πείρα. Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών τεχνικών ανάλυσης είναι θεωρητικά δυνατές, αλλά συχνά λείπουν τα απαραίτητα στοιχεία. Με άλλα λόγια, τα εργαλεία είναι διαθέσιμα, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω της έλλειψης ή της αβεβαιότητας των δεδομένων που εισάγονται.

5.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Οι πρώτες εφαρμογές ενός απλού, αυτοπρογραμματισμένου, πρωτότυπου GIS για την ανάλυση των ζωνών επικινδυνότητας κατολισθήσεων χρονολογούνται στα τέλη του 1970. Ο Newman et al. (1978) ασχολήθηκε με τη σκοπιμότητα της παραγωγής χαρτών ευαισθησίας κατολισθήσεων με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ο Carrara et al. (1978) ασχολήθηκε με τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής ανάλυσης που εφαρμόζεται σε κυψελίδες με ανάλυση εδάφους 200- 200μ. και με τη χρήση περίπου 25 μεταβλητών. Οι Huma και Radulescu (1978) ασχολήθηκαν με ένα παράδειγμα από τη Ρουμανία που παρείχε μια ποιοτική ανάλυση κινδύνου συμπεριλαμβάνοντας παράγοντες της μαζικής εμφάνισης κινήσεων, της γεωλογίας, των διαρθρωτικών εδαφολογικών συνθηκών, των υδρολογικών συνθηκών, της βλάστησης, της γωνία κλίσης και της όψης της πλαγιάς. Οι Radbruch-Hall et al. (1979) έγραψαν το δικό τους λογισμικό για την παραγωγή μικρής κλίμακας (1:7,500,000) χαρτών των Ηνωμένων Πολιτειών. Κάθε χάρτης περιέχει περίπου 6 εκατομμύρια pixel, οι οποίοι έδειξαν τους κινδύνους, τις δυσμενείς εδαφολογικές συνθήκες, και περιοχές στις οποίες η κατασκευή ή η ανάπτυξη της έκτασης γης μπορεί να επιδεινώσει ήδη υφιστάμενους κινδύνους. Οι χάρτες αυτοί δημιουργήθηκαν με ποιοτική επικάλυψη πολλών χαρτών εισόδου δεδομένων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 η χρήση του GIS για τη χαρτογράφηση της αστάθειας πρανούς του αυξήθηκε απότομα με την ανάπτυξη μιας μεγάλης ποικιλίας εμπορικών συστημάτων, όπως τα Arc/ Info (Environmental Systems Research Institute 1992) και MGE Intergraph Corporation (Intergraph Corporation 1993). Η συνεχώς αυξανόμενη δύναμη και διαθεσιμότητα των υπολογιστών οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών εφαρμογών GIS που θα λειτουργούσαν σε αυτούς τους υπολογιστές, συμπεριλαμβανομένων των Tydac's Corporation SPANS και Idrisi (Eastman 1992a, 1992).

Η πλειοψηφία των περιπτώσιολογικών μελετών που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία σχετικά με τη χρήση μεθόδων GIS για τις έρευνες της αστάθειας του πρανούς ασχολούνται με τον ποιοτικό διαχωρισμό σε ζώνες επικινδυνότητας. Η σημασία των γεωμορφικών εισαγόμενων δεδομένων

τονίζεται στις μεθόδους των Kienholz et al. (1988), οι οποίοι χρησιμοποίησαν λεπτομερή εναέρια φωτοερμηνεία σε συνδυασμό με ένα GIS για την ποιοτική ανάλυση της επικινδυνότητας των βουνών. Δήλωσαν ότι, εξαιτίας της έλλειψης καλών μοντέλων και γεωτεχνικών εισαγόμενων δεδομένων, η χρήση ενός σχετικά απλού μοντέλου που βασίζεται στη γεωμορφολογία φαινόταν να είναι η πιο ρεαλιστική μέθοδος. Τα περισσότερα παραδείγματα ποιοτικής ανάλυσης κινδύνου με GIS είναι πρόσφατα (Stakenborg- 1966, Bertozzi et al- 1992, Kingsbury et al- 1992, Mani και Gerber 1992, Van Westen και Alzate Bonilla-1990). Πολλά παραδείγματα παρουσιάζονται στα πρακτικά συνεδρίων ειδικότητας, όπως αυτά που εκδόθηκαν από τους Alzate (1992) και Goodchild et al. (1993). Παραδείγματα ανάλυσης της ευαισθησίας κατολισθήσεων με τη χρήση τεχνικών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών έχουν αναφερθεί από την Αμερικανική Γεωλογική Επιθεώρηση (USGS) του προσωπικού στο Menlo Park, Καλιφόρνια (Brabb- 1984/ 1987, Brabb et al- 1989). Οι μελέτες αυτές επέκτειναν προηγούμενες άγονες μελέτες και έλαβαν υπόψη πρόσθετους παράγοντες, εκτός από τη δραστηριότητα της κατολίσθησης, τη γεωλογία, και την πλαγιά. Άλλα παραδείγματα ποσοτικής στατιστικής ανάλυσης των αιτιών ή των δυνητικών κατολισθήσεων με GIS είναι μάλλον σπάνια (Choubey και Litoria- 1990, Lopez και Zinck- 1991, Van Westen- 1993). Αυτή η έλλειψη παραδειγμάτων είναι παράξενη, δεδομένου ότι ένα από τα ισχυρά πλεονεκτήματα της χρήσης ενός GIS είναι η δυνατότητα να δοκιμασθεί η σημασία του κάθε παράγοντα ή συνδυασμού παραγόντων, και να εκχωρηθούν τιμές ποσοτικής στάθμησης.

Πρόσφατα παραδείγματα της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης με χρήση GIS παρουσιάστηκαν από τον Carrara και την ομάδα του από την Ιταλία. Το έργο τους χρησιμοποίησε αρχικά μεγάλες ορθογώνιες κυψελίδες ως βάση για την ανάλυση (Carrara et al- 1978, Carrara-1983/ 1988). Η εξέλιξη μεταγενέστερων μελετών οδήγησε στη χρήση μορφομετρικών μονάδων (Carrara et al.- 1990, 1991, 1992). Η ίδια η μέθοδος δεν έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές. Το στατιστικό μοντέλο βασίζεται σε έναν «χώρο εκπαίδευσης», όπου η χωρική κατανομή των κατολισθήσεων είναι (ή πρέπει να) είναι γνωστή (Carrara- 1988). Στο επόμενο βήμα, το μοντέλο επεκτείνεται σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης ή την «περιοχή-στόχο» βάσει της υπόθεσης ότι οι παράγοντες που προκαλούν την αστοχία στην περιοχή-στόχο είναι οι ίδιοι με εκείνους του «χώρου εκπαίδευσης».

Ένα άλλο παράδειγμα της πολυπαραγοντικής ανάλυσης των κατολισθήσεων με τη χρήση GIS παρουσιάστηκε από τους Bern -Knapf et al. (1988), οι οποίοι εφάρμοσαν ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης σε ένα σύνολο δεδομένων χρησιμοποιώντας την παρουσία ή απουσία των κατολισθήσεων ως εξαρτημένη μεταβλητή και τους παράγοντες που χρησιμοποιούνται σε μοντέλο ευστάθειας πρανών (το βάθος του εδάφους, η αντοχή του εδάφους, η γωνία κλίσης) ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο υδροφόρος ορίζοντας και η συνοχή των δεδομένων δεν εξετάστηκαν, ωστόσο. Η προκύπτουσα συνάρτηση παλινδρόμησης επιτρέπει τον υπολογισμό των πιθανοτήτων κατολίσθησης για κάθε pixel.

Η ντετερμινιστική μοντελοποίηση του κινδύνου κατολισθήσεων με τη χρήση GIS έχει γίνει δημοφιλής. Τα περισσότερα παραδείγματα ασχολούνται με άπειρα μοντέλα κλίσης, δεδομένου ότι είναι απλά στη χρήση τους για κάθε pixel ξεχωριστά (Brass et al- 1989, Murphy και Vita-Finzi - 1991, Van Westen- 1993). Οι Hammond et al. (1992) παρουσίασαν μεθόδους στις οποίες η διακύμανση του συντελεστή ασφαλείας υπολογίζεται από επιλεγμένες εισαγόμενες μεταβλητές χρησιμοποιώντας τεχνικές Μόντε Κάρλο. Αυτό συνεπάγεται ένα μεγάλο αριθμό επαναλαμβανόμενων υπολογισμών, οι οποίοι εύκολα υποστηρίζονται από τη χρήση ενός GIS.

Μια άλλη χρήσιμη εφαρμογή GIS υπήρξε η πρόβλεψη των κατολισθήσεων βράχων. Η πρόβλεψη γίνεται για μια σειρά από pixel συγκρίνοντας την ασυνέχεια των μετρήσεων σε ομοιογενείς στη δομή τους περιοχές με τιμές της πλαγιάς και της όψης για κάθε pixel (Wentworth et al.- 1987, Wagner et al.- 1988). Η μέθοδος είναι εφικτή όμως μόνο σε απλά δομημένες περιοχές.

Μια σχετικά νέα εξέλιξη όσον αφορά στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την αξιολόγηση της αστάθειας του πρανούς είναι η εφαρμογή της λεγόμενης «ανάλυσης της γειτονιάς». Οι περισσότερες από τις συμβατικές τεχνικές GIS βασίζονται σε υπερκάλυψη χαρτών, πράγμα το οποίο επιτρέπει μόνο τη χωρική σύγκριση των διαφορετικών χαρτών στα κοινά σημεία pixel. Αντίθετα, οι εφαρμογές της «ανάλυσης της γειτονιάς» επιτρέπουν την αξιολόγηση των γειτονικών pixel γύρω από ένα κεντρικό pixel. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για μια σειρά από κεντρικά pixel, της γειτονιάς της ανάλυσης, ή το παράθυρο, κινούμενα γύρω στο χάρτη. Οι λειτουργίες της γειτονικής περιοχής χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ή τον καθορισμό μορφομετρικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών, όπως η γωνία της πλαγιάς, η πτυχή της, η κυρτότητα στο κατερχόμενο τμήμα και στην πολλαπλή κατολίσθηση, η κορυφογραμμή και οι γραμμές στην κοιλάδα, τα λεκανοπέδια, τα ρεύματα και οι συνεισφέρουσες περιοχές για κάθε pixel

στην χάρτη της περιοχής, αξιολογώντας τα στοιχεία που περιέχονται σε ένα πλεγματοποιημένο DEM. Οι Zevenbergen και Thome (1987) παρουσίασαν μια μέθοδο για την αυτόματη εξαγωγή της γωνίας της πλαγιάς, της πτυχής της και της κυρτότητας στο κατερχόμενο τμήμα και στην πολλαπλή κατολίσθηση. Μια επισκόπηση των αλγορίθμων που εφαρμόζονται στην εξαγωγή των μορφομετρικών παραμέτρων από DEMs δόθηκε από τον Gardner et al. (1990).

Η πιθανή αξία των DEMs για τη δυναμική ανάλυση ευστάθειας των πρανών τονίστηκε από τους Pike (1988) και Wadge (1988). Ο Carrara αναγνώρισε αυτόματα, από ένα λεπτομερές DEM, τις ομοιογενείς μονάδες που χρησιμοποίησε ως βάση για μία πολυπαραγοντική ανάλυση. Οι μορφομετρικές και υδρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω ανάλυση, εξήχθησαν επίσης αυτόματα (Carrara et al.- 1990, Carrara- 1988). Οι Niemann και Howes (1991) πραγματοποίησαν μια στατιστική ανάλυση βασιζόμενη σε μορφομετρικές παραμέτρους που εξήχθησαν αυτόματα (γωνία πλαγιάς, πτυχή, κυρτότητα στο κατερχόμενο τμήμα και στην πολλαπλή κατολίσθηση, λεκάνη απορροής), και τις οποίες ομαδοποίησαν σε ομογενείς μονάδες με τη χρήση της ανάλυσης των συστάδων. Διάφοροι συγγραφείς (Okimura και Kawatani- 1986, Brass et al.- 1989) χρησιμοποίησαν την «ανάλυση της γειτονιάς» στη μοντελοποίηση των υπογείων υδάτων ανά τα χρόνια, και τις αξίες αυτές τις χρησιμοποίησαν ως έναν από τους εισαγόμενους παράγοντες στη μοντελοποίηση ενός άπειρου πρανού. Ένας απλός τύπος «ανάλυσης της γειτονιάς» εφαρμόστηκε από τους van Dijke και van Westen (1990) για τη μοντελοποίηση των αποστάσεων διαφυγής από την κατάπτωση πετρωμάτων μπλοκ. Οι Ellen et al. (1993) ανέπτυξαν ένα δυναμικό μοντέλο για την προσομοίωση της απόστασης διαφυγής από τη ροή συντριμμίων με GIS.

Μια πρόσφατη εξέλιξη στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για το διαχωρισμό σε ζώνες αστάθειας του πρανού είναι η εφαρμογή εξειδικευμένων συστημάτων. Οι Pearson et al. (1991) ανέπτυξαν ένα ειδικό σύστημα σε σχέση με ένα GIS ώστε να εξαιρεθεί ο περιορισμός ότι οι χρήστες θα πρέπει να έχουν σημαντική εμπειρία με GIS. Μια πρωτότυπη επαφή μεταξύ ενός προγράμματος GIS (Arc/ Info) και ένα εξειδικευμένο σύστημα (Nexpert Object) αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε για την μεταγραφή των ζωνών επικινδυνότητας των κατολισθήσεων σε μια περιοχή στην Κύπρο. Το ερώτημα παραμένει, ωστόσο, εάν οι εφαρμοστέοι στο εξειδικευμένο αυτό σύστημα κανόνες εφαρμόζονται μόνο σε συγκεκριμένη περιοχή ή είναι γενικής εφαρμογής.

5.3 GIS – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΩΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Οι πιο χρήσιμες τεχνικές για την εφαρμογή των GIS για χωρισμό ζωνών επικινδυνότητας κατολισθήσεων παρουσιάζονται παρακάτω. Μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων τεχνικών ανάλυσης του κινδύνου κατολισθήσεων δόθηκε ήδη. Κάθε τεχνική που περιγράφεται εδώ απεικονίζεται σχηματικά σε ένα απλοποιημένο διάγραμμα. Μια επισκόπηση των απαιτούμενων στοιχείων προς εισαγωγή και των διαφορών ενεργειών που απαιτούνται κατά τη χρήση τεχνικών GIS αναφέρονται εν συντομία. Προτείνεται, επίσης, η πιο κατάλληλη κλίμακα εργασίας.

5.3.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η εισαγωγή αποτελείται από ένα χάρτη φωτοερμηνείας ελεγμένο ανά τομέα κατολισθήσεων, για τον οποίο έχουν χρησιμοποιηθεί πρόσφατα σχετικά μεγάλης κλίμακας αεροφωτογραφίες σε συνδυασμό με έναν πίνακα που περιέχει τις παραμέτρους κατολίσθησης από μία λίστα. Τα GIS μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά της ψηφιοποιημένου φωτοερμηνείας στον τοπογραφικό χάρτη προβολής, χρησιμοποιώντας μια σειρά από σημεία ελέγχου και πληροφορίες από την κάμερα.

Η διαδικασία του GIS έχει ως εξής:

- * Ψηφιοποιήστε τα φαινόμενα μαζικής μετακίνησης, το καθένα με τη δική του μοναδική ετικέτα και έναν εξαψήφιο κωδικό που περιέχει πληροφορίες για τον τύπο της κατολίσθησης, την

υποκατηγορία, τη δραστηριότητα, το βάθος και τον τόπο της βλάστησης και σχετικά με το κατά πόσον η μονάδα είναι μια κατολίσθηση ή αποκόμματα

- * Επανακωδικοποίηση του χάρτη κατολίσθησης που δείχνει τις παραμέτρους για τον τύπο κατολίσθησης ή την υποκατηγορία σε χάρτες που εμφανίζουν ένα μόνο είδος ή μία διαδικασία.

Σε αυτήν την τεχνική, το GIS χρησιμοποιείται μόνο για την αποθήκευση των πληροφοριών και για την εμφάνιση χαρτών σε διάφορες μορφές (π.χ. μόνο οι scarps, μόνο οι κατολισθήσεις ή μόνο οι ενεργές κατολισθήσεις). Παρά το γεγονός ότι η πραγματική ανάλυση είναι πολύ απλή, η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών παρέχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε αυτή τη μέθοδο. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει συγκεκριμένους συνδυασμούς παραμέτρων της μαζικής μετακίνησης και να αποκτήσει καλύτερη εικόνα για τη χωρική κατανομή των διαφόρων τύπων κατολίσθησης.

Ο κωδικός για την δραστηριότητα μαζικών μετακινήσεων που δίνεται σε κάθε φαινόμενο μαζικής μετακίνησης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με χάρτες για την κατανομή των μαζικών μετακινήσεων από παλαιότερες περιπτώσεις, για την ανάλυση της δραστηριότητας των μαζικών μετακινήσεων. Ανάλογα με το είδος του εδάφους που μελετάται, μπορούν να επιλεγθούν χρονικά διαστήματα από 5 έως 20 έτη. Αυτή η μέθοδος ανάλυσης του διαστήματος παρέχει εκτιμήσεις αριθμών ή ποσοστών νέων, σταθεροποιημένων ή κατολισθήσεων που έχουν επανενεργοποιηθεί.

Πληροφορίες μαζικών μετακινήσεων μπορούν επίσης να παρουσιαστούν ως ποσοστό κάλυψης στις μονάδες χαρτογράφησης. Οι χαρτογραφημένες αυτές μονάδες μπορούν να είναι TMUs, γεωμορφικές μονάδες, γεωλογικές μονάδες ή οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη μονάδα χάρτη. Η μέθοδος αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τη σημασία της κάθε παραμέτρου για την πρόβλεψη της εμφάνισης των μαζικών μετακινήσεων. Τα απαιτούμενα εισαγόμενα δεδομένα αποτελούνται από ένα χάρτη κατανομής των μαζικών μετακινήσεων και από μια χερσαία μονάδα χάρτη. Αν η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της σημασίας των συγκεκριμένων κατηγοριών παραμέτρων, ο χρήστης αποφασίζει εμπειρικά ποιοι επιμέρους χάρτες παραγόντων ή ένας συνδυασμός αυτών θα χρησιμοποιηθεί.

Οι ακόλουθες διαδικασίες GIS χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της πυκνότητας των μαζικών μετακινήσεων:

- Υπολογισμός ενός μέρους του χάρτη (παρουσία ή απουσία) για τον συγκεκριμένο τύπο μετακινήσεων, για τον οποίο διεξάγεται η ανάλυση
- Συνδυασμός του επιλεγμένου χάρτη παραμέτρων με το κομμάτι του χάρτη, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται «επικάλυψη χάρτη» και η οποία συσχετίζει χωρικά τις συνθήκες που παρουσιάζονται στους δύο χάρτες
- Υπολογισμός του ποσοστού της έκτασης που καταλαμβάνεται από κατολισθήσεις ανά κατηγορία παραμέτρων

Με μια μικρή τροποποίηση, μπορεί να υπολογιστεί, αντί της τοπικής πυκνότητας, ο αριθμός των κατολισθήσεων. Σε αυτήν την περίπτωση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μέρος του χάρτη, και ο χάρτης μαζικών μετακινήσεων, στον οποίο κάθε πολύγωνο έχει ένα μοναδικό κωδικό, επικαλύπτεται/ υπερκαλύπτεται από το χάρτη παραγόντων.

Η μέθοδος Isopeth είναι μια ειδική μέθοδος χαρτογράφησης της πυκνότητας των μαζικών μετακινήσεων. Χρησιμοποιεί ένα μεγάλο κυκλικό φίλτρο καταμέτρησης που υπολογίζει αυτόματα την πυκνότητα της κατολίσθησης για κάθε κέντρο κύκλου. Οι τιμές που προκύπτουν για τα κέντρα κάθε κύκλου παρεμβάλλονται και εκπονούνται περιγράμματα ίσης πυκνότητας. Η κλίμακα των pixels και το μέγεθος του φίλτρου που χρησιμοποιείται καθορίζουν τις τιμές στο χάρτη πυκνότητας που προκύπτει.

Η μέθοδος είναι καταλληλότερη σε μεσαίες ή μεγάλες κλίμακες. Σε περιφερειακό επίπεδο η κατασκευή ενός χάρτη κατανομής μαζικών μετακινήσεων είναι πολύ χρονοβόρα και λεπτομερής για τις διαδικασίες των γενικών περιφερειακών ζωνών. Ωστόσο, όταν είναι δυνατό, καλό είναι να προετοιμάζεται και ένα τέτοιος χάρτη για την περιφερειακή κλίμακα με λιγότερη όμως λεπτομέρεια.

5.3.2 ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Όπως επεξηγείται, όταν χρησιμοποιείται μια εμπειρική προσέγγιση, ο χάρτης επικινδυνότητας γίνεται από το γεωμορφολογικό χαρτογράφο χρησιμοποιώντας τις γνώσεις που αποκτώνται μέσω της φωτοερμηνείας και της επιτόπιας έρευνας για τις συγκεκριμένες περιοχές. Ο χάρτης μπορεί να γίνει είτε απευθείας στην περιοχή είτε με την επανακωδικοποίηση ενός γεωμορφικού χάρτη. Τα κριτήρια στα οποία βασίζονται οι ονομασίες των κατηγοριών επικινδυνότητας δεν έχουν μορφοποιηθεί επισήμως σε γενικά ισχύοντες κανόνες και μπορεί να διαφέρουν από πολύγωνο σε πολύγωνο. Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το είδος της εργασίας ως ένα εργαλείο σχεδίασης, επιτρέποντας την ταχεία εκ νέου κωδικοποίηση των μονάδων και τη διόρθωση των μονάδων που είχαν κωδικοποιηθεί λανθασμένα. Το GIS δεν χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την ανάλυση των σημαντικών παραμέτρων που σχετίζονται με την εμφάνιση των μαζικών μετακινήσεων. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε περιφερειακές, μεσαίες ή μεγάλες κλίμακες σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Δεν απαιτεί την ψηφιοποίηση πολλών διαφορετικών χαρτών. Ωστόσο, η λεπτομερής επιτόπια έρευνα απαιτεί αρκετό χρόνο.

Εάν η ανάλυση γίνεται με το συνδυασμό πολλών χαρτών παραμέτρων, οι τιμές ποιοτικής στάθμησης αποδίδονται σε κάθε κατηγορία του χάρτη των παραμέτρων και κάθε χάρτης παραμέτρων λαμβάνει ένα διαφορετικό βάρος. Ο γεωεπιστήμονας αποφασίζει ποιους χάρτες θα αξιοποιήσει και ποιες τιμές στάθμησης θα αποδοθούν, βάσει της εμπειρικής γνώσης των αιτιωδών παραγόντων.

Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες διαδικασίες GIS:

- Ταξινόμηση των παραμέτρων κάθε χάρτη σε μια σειρά από σχετικές κατηγορίες
- Απόδοση των τιμών στάθμησης σε κάθε μία από τις κατηγορίες των παραμέτρων (π.χ. με κλίμακα από το 1 έως το 10)
- Απόδοση των τιμών στάθμησης σε κάθε χάρτη παραμέτρων, και
- Υπολογισμός των συντελεστών στάθμησης για κάθε pixel και κατάταξη σε ορισμένες κατηγορίες επικινδυνότητας.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται και στις τρεις κλίμακες. Κάθε κλίμακα έχει τις δικές τις απαιτήσεις ως προς την απαραίτητη λεπτομέρεια των εισαγόμενων χαρτών.

5.3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Σε στατιστικές μεθόδους, η υπερκάλυψη χαρτών παραμέτρων και ο υπολογισμός της πυκνότητας της κατολίσθησης αποτελούν τον πυρήνα της ανάλυσης. Εάν επιλεγούν τεχνικές με δύο μεταβλητές, η σημασία της κάθε παραμέτρου ή των συγκεκριμένων συνδυασμών των παραμέτρων μπορεί να αναλυθεί ξεχωριστά. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό των τιμών στάθμησης. Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στη σχέση μεταξύ της πυκνότητας ανά κατηγορία παραμέτρων κατολίσθησης συγκρινόμενη με την πυκνότητα κατολίσθησης σε όλη την περιοχή. Κάθε μέθοδος έχει συγκεκριμένους κανόνες για την ενσωμάτωση των δεδομένων που απαιτούνται για την παραγωγή του συνολικού χάρτη επικινδυνότητας.

Οι τιμές στάθμησης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό αποφασιστικών κανόνων, οι οποίοι βασίζονται στην εμπειρία του γεωεπιστήμονα. Είναι δυνατό να συνδυαστούν με διάφορους χάρτες παραμέτρων σε ένα χάρτη από ομοιογενείς μονάδες, ο οποίος στη συνέχεια συνδυάζεται ή επικαλύπτεται από το χάρτη κατολίσθησης ώστε να προκύψει μία πυκνότητα κατολίσθησης για κάθε μοναδικό συνδυασμό των εισαγόμενων παραμέτρων.

Το GIS είναι πολύ κατάλληλο για χρήση με αυτή τη μέθοδο, ειδικά με μακροεντολές για επαναλαμβανόμενους υπολογισμούς που αφορούν ένα μεγάλο αριθμό συνδυασμών χαρτών και τη διαχείριση των χαρακτηριστικών δεδομένων. Πρέπει, επίσης, να τονιστεί ότι σε αυτή τη μέθοδο η επιλογή των παραμέτρων έχει ένα σημαντικό υποκειμενικό στοιχείο. Ωστόσο, ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει τη σημασία των επιμέρους χαρτών παραμέτρων και να αποφασίσει σχετικά με τους

τελικά εισαγόμενους χάρτες κατά τρόπο επαναληπτικό. Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες διαδικασίες GIS :

- Κατάταξη του κάθε χάρτη παραμέτρων σε μια σειρά από σχετικές κατηγορίες
- Συνδυασμός των επιλεγμένων χαρτών παραμέτρων με το χάρτη κατολίσθησης από τη διαδικασία γνωστή ως «υπερκάλυψη χαρτών» για την παραγωγή διασταυρωμένων πινάκων που καθορίζουν τις χωρικές συσχετίσεις μεταξύ των χαρτών παραμέτρων και του χάρτη κατολίσθησης
- Υπολογισμός των τιμών στάθμισης στους διασταυρωμένους πίνακες δεδομένων και
- Απόδοση των τιμών στάθμισης στους διάφορους χάρτες παραμέτρων ή σχεδιασμός των αποφασιστικών κανόνων που θα εφαρμοστούν στους χάρτες και ταξινόμηση των αποτελεσμάτων σε ορισμένες κατηγορίες επικινδυνότητας.

Πολυδιάστατες στατιστικές αναλύσεις σημαντικών παραγόντων που σχετίζονται με την εμφάνιση κατολισθήσεων αποδίδουν τη σχετική συμβολή καθενός από αυτούς στο συνολικό κίνδυνο, μέσα σε μια συγκεκριμένη μονάδα γης. Οι αναλύσεις βασίζονται στην παρουσία ή απουσία των φαινομένων μαζικής μετακίνησης στο εσωτερικό αυτών των μονάδων της γης, που μπορεί να είναι λεκανοπέδια, ερμηνευμένες γεωμορφικές μονάδες ή άλλα είδη μονάδων εδάφους.

Αρκετές μέθοδοι με ποικίλες μεταβλητές έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία. Οι περισσότερες από αυτές, όπως η διακριτική ανάλυση ή η πολλαπλή παλινδρόμηση, απαιτούν τη χρήση εξωτερικών στατιστικών πακέτων. Οι τεχνικές GIS χρησιμοποιούνται για τις δειγματικές παραμέτρους κάθε μονάδας γης. Ωστόσο, με ένα GIS σε προσωπικό υπολογιστή, ο μεγάλος όγκος των δεδομένων μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα. Η μέθοδος απαιτεί ένα χάρτη κατανομής των κατολισθήσεων και ένα χάρτη κατολισθήσεων ανά μονάδα γης. Ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων χρησιμοποιείται, μερικές φορές έως και 50. Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες διαδικασίες GIS :

- Προσδιορισμός του καταλόγου των παραγόντων που θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση. Επειδή πολλοί χάρτες εισαγωγής δεδομένων (όπως η γεωλογία) είναι αλφαριθμητικού τύπου, πρέπει να μετατραπούν σε αριθμητικούς χάρτες. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να μετατραπούν σε παρουσία ή απουσία τιμών για κάθε μονάδα γης ή να παρουσιάζονται ως ποσοστό κάλυψης ή οι κατηγορίες των παραμέτρων να κατατάσσονται ανάλογα με την αύξηση της πυκνότητας της μαζικής μετακίνησης. Με το συνδυασμό των χαρτών παραμέτρων με το χάρτη κατανομής ανά μονάδα εδάφους δημιουργείται ένας μεγάλος πίνακας.
- Συνδυασμός της κατανομής ανά μονάδα εδάφους με το χάρτη μαζικών μετακινήσεων με επικάλυψη χαρτών και διαιρώντας τις σταθερές και τις ασταθής μονάδες σε δύο ομάδες.
- Εξαγωγή του πίνακα σε ένα στατιστικό πακέτο για μεταγενέστερη ανάλυση.
- Εισαγωγή των αποτελεσμάτων για κάθε μονάδα γης στο GIS και υποχώρηση των μονάδων γης. Η κατανομή της συχνότητας των σταθερών και ασταθών διαβαθμισμένων μονάδων ελέγχεται για να διαπιστωθεί αν οι δύο ομάδες διαχωρίζονται σωστά.
- Ταξινόμηση του χάρτη σε ορισμένες κατηγορίες επικινδυνότητας.

Αν και οι στατιστικές τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές κλίμακες, η χρήση τους περιορίζεται αρκετά στην περιφερειακή κλίμακα, όπου ένας ακριβής χάρτης εισαγωγής φαινομένων κατολίσθησης μπορεί να μην είναι διαθέσιμος και όπου οι περισσότερες σημαντικότερες παράμετροι δεν μπορούν να συλλεχθούν με την κατάλληλη ακρίβεια. Σε μεγάλες κλίμακες θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί παράγοντες, όπως το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, οι ακολουθίες του στρώματος του εδάφους και τα πάχη. Τα δεδομένα αυτά είναι πολύ δύσκολο να αποκτηθούν ακόμη και όσον αφορά σχετικά μικρές περιοχές. Επομένως, η μεσαίου μεγέθους κλίμακα θεωρείται η πλέον κατάλληλη για αυτή την τεχνική.

5.3.4 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι μέθοδοι που έχουν περιγραφεί έως τώρα δεν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη σταθερότητα των πρανών, όπως εκφράζεται βάσει του παράγοντα της ασφάλειας. Για αυτές τις πληροφορίες, τα μοντέλα ευστάθειας των πρανών είναι απαραίτητα. Τα μοντέλα αυτά απαιτούν την εισαγωγή δεδομένων σχετικά με το πάχος του στρώματος του εδάφους, την αντοχή του εδάφους, το βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τις πιθανές επιφάνειες ολίσθησης, τη γωνία της πλαγιάς και τις συνθήκες πίεσης των πόρων που αναμένονται στις επιφάνειες ολίσθησης. Οι ακόλουθοι χάρτες παραμέτρων πρέπει να είναι διαθέσιμοι προκειμένου να χρησιμοποιήσετε αυτά τα μοντέλα:

- Ένας χάρτης υλικού που δείχνει την κατανομή, τόσο στην επιφάνεια του εδάφους όσο και στην κάθετη επιφάνεια με συνοδευτικά στοιχεία σχετικά με τα χαρακτηριστικά του εδάφους,
- Ένας χάρτης στάθμισης του επιπέδου των υπόγειων υδάτων, που βασίζεται σε ένα μοντέλο υπόγειων υδάτων ή σε μετρήσεις πεδίου και
- Ένας λεπτομερής χάρτης πλαγιάς- γωνίας, ο οποίος προέρχεται από μια πολύ λεπτομερή DEM.

Πολλές προσεγγίσεις επιτρέπουν την εφαρμογή των GIS στην ντετερμινιστική μοντελοποίηση

Η χρήση ενός μοντέλου πλαγιάς, το οποίο υπολογίζει το συντελεστή ασφάλειας για κάθε pixel

- Επιλογή ενός αριθμού προφίλ από το DEM και τους άλλους χάρτες παραμέτρων, τα οποία εξάγονται σε εξωτερικά μοντέλα ευστάθειας πρανών και
- Δειγματοληψία των δεδομένων σε προκαθορισμένα σημεία του δικτύου και εξαγωγή αυτών των δεδομένων σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο ευστάθειας πρανών.

Το αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης που δείχνει το μέσο συντελεστή ασφάλειας για ένα δεδομένο μέγεθος του βάθους των υπογείων υδάτων και της σεισμικής επιτάχυνσης. Η μεταβλητότητα των εισαγόμενων δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της πιθανότητας αστοχίας κατά την περίοδο επιστροφής των ενεργοποιητικών γεγονότων. Γενικά, οι παράγοντες ασφάλειας και οι πιθανότητες που προκύπτουν δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως απόλυτες τιμές, εκτός εάν η ανάλυση γίνεται σε μια μικρή περιοχή, όπου όλες οι παράμετροι είναι γνωστές. Συνήθως, είναι μόνο ενδεικτικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξετασθούν διάφορα σενάρια σχετικά με τις επιφάνειες ολίσθησης και τα βάθη των υπόγειων υδάτων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο σε μεγάλες κλίμακες και σε μικρές περιοχές. Σε περιφερειακές και μεσαίες κλίμακες, τα απαιτούμενα λεπτομερή στοιχεία εισαγωγής, ιδίως όσον αφορά στα επίπεδα των υπόγειων υδάτων, στο προφίλ του εδάφους και στις γεωτεχνικές περιγραφές, συνήθως δεν μπορούν να παρασχεθούν.

5.4 ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS

Ένα έργο ανάλυσης των κινδύνων κατολισθήσεων υποστηριζόμενο από ένα GIS, απαιτεί μια σειρά από μοναδικές φάσεις, οι οποίες είναι σαφώς διαφορετικές από εκείνες που απαιτούνται από ένα συμβατικό σχέδιο ανάλυσης κινδύνου κατολισθήσεων. Σε αυτές τις φάσεις υπάρχει μια λογική σειρά, αν και μερικές μπορούν να επικαλύπτονται σε μεγάλο βαθμό. Οι φάσεις 7 έως 11 πραγματοποιούνται με τον υπολογιστή. Ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων (Φάση 4) εμφανίζεται πριν από την εκκίνηση του υπολογιστή, ακόμη και πριν από την επιτόπια έρευνα, γιατί καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα εισαγωγής συλλέγονται στο πεδίο. Τα ποσά του χρόνου εκφράζονται ως ποσοστά του χρόνου που δαπανάται για την όλη διαδικασία και εκτιμώνται εμπειρικά. Απόλυτες εκτιμήσεις του χρόνου δεν έχουν δοθεί, δεδομένου ότι αυτές εξαρτώνται από πάρα πολλούς μεταβλητούς παράγοντες, όπως το ύψος των διαθέσιμων δεδομένων εισαγωγής, το μέγεθος της περιοχής μελέτης, καθώς και την εμπειρία των ερευνητών. Το ποσοστό του χρόνου

που απαιτείται για την ερμηνεία της εικόνας με τη χρήση της μεθόδου GIS μειώνεται από την περιφερειακή κλίμακα στην μεγάλη κλίμακα, ενώ η επιτόπια έρευνα και τα καθήκοντα της εργαστηριακής ανάλυσης γίνονται πιο σημαντικά. Η εισαγωγή δεδομένων απαιτεί τον περισσότερο χρόνο στη μεσαία κλίμακα, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των χαρτών παραμέτρων που πρέπει να ψηφιοποιηθούν. Επειδή η ανάλυση βασίζεται σε μία μόνο βασική στοιβάδα δεδομένων TMUs, ο χρόνος που απαιτείται για την εγγραφή δεδομένων σε περιφερειακό επίπεδο είναι πολύ χαμηλότερο.

Δουλεύοντας με ένα GIS αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος που απαιτείται για τις φάσεις προ της ανάλυσης, κυρίως εξαιτίας της ανιαρής δουλειάς της ψηφιοποίησης με το χέρι των εισαγόμενων χαρτών. Ο χρόνος που απαιτείται για την ανάλυση των δεδομένων, ωστόσο, δεν είναι περισσότερο από 10 τοις εκατό όσον αφορά στην προσέγγιση GIS έναντι σχεδόν 50 τοις εκατό της χρήσης συμβατικών τεχνικών. Πολλές από τις τεχνικές ανάλυσης είναι σχεδόν αδύνατο να εκτελεστούν χωρίς GIS. Η χρήση ενός GIS μειώνει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την παραγωγή των τελικών χαρτών, οι οποίοι δεν γίνονται πλέον με το χέρι.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akinyede, J.O. 1990. *Highway Cost Modelling and Route Selection Using a Geotechnical Information System*. Ph.D. thesis. Technical University of Delft, Delft, Netherlands.
- Alzate, J.B. (ed.). 1992. Proc., 1er *Simposia Internacional sobre Sensores Remotes y Sistemas de informacion Geografica (SIG) para el Estudio de Riesgos Natwaks*, Bogota, Colombia, Institute Geopafico Agustin Codazzi, Bogota.
- Antoine, P. 1977. Reflexions sur la Cartographie ZERMOS et Bilan des Experiences en Cours. Bulletin, Bureau de Recherches *G&Aogiques et MMerres* (deuxieme serie).
- Aronoff, S. 1989. *Geographical Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa.
- Bemknopf, R.L., R.H. Campbell, D.S. Brookshire, and C.D. Shapiro. 1988. A Probabilistic Approach to Landslide Hazard Mapping in Cincinnati, Ohio, with Applications for Economic Evaluation. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*.
- Bertozzi, R., M. Locatelli, and G. Vianello. 1992. Model for the Correlation Between Landuse Dynamics and Hydrogeological Risk. In Proc, *Interpraevent 1992*, Bern, Switzerland.
- Bison, P., E. Grinzato, A. Pasuto, and S. Silvano. 1990. Thermal IR Remote Sensing in Landslides Survey. In Proc, *Sixth International Congress, International Association of Engineering Geology*, Amsterdam (D.G. Price, ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Brabb, E.E. 1984. Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping. In Proc, *Fourth International Symposium on Landslides*, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada.
- Brabb, E.E. 1987. Analyzing and Portraying Geologic and Cartographic Information for Landuse Planning, Emergency Response and Decision Making in San Mateo County, California. In Proc, GIS'87, San Francisco, Calif., American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church.
- Brabb, E.E., E.H. Pampeyan, and M.G. Bonilla. 1972. *Landslide Susceptibility in San Mateo County, California*. Misc. Field Studies Map MF360 (scale 1:62,500). U.S. Geological Survey, Reston, Va.
- Brabb, E.E., F. Guzzetti, R. Mark, and R.W. Simpson. 1989. The Extent of Landsliding in Northern New Mexico and Similar Semi-Arid Regions. In *landslides in a Semi-Arid Environment* (P.M. Sadler and D.M. Morton, eds.), Inland Geological Society, University of California, Riverside.
- Brass, A., G. Wadge, and A.J. Reading. 1989. Designing a Geographical Information System for the Prediction of Landsliding Potential in the West Indies. In Proc., *Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions*, University College, University of London, April, 13 pp.
- Brunsdon, D., J.C. Doornkamp, P.G. Focx, D.K.C. Jones, and J.M.H. Kelly. 1975. Large Scale Geomorphological Mapping and Highway Engineering Design. *Quarterly journal of Engineering Geology*. Brunsdon, D., and D.B. Prior (eds.). 1984- *Slope Instability*. John Wiley and Sons, New York.
- Burrough, P.A. 1986. *Principles of Geographical information Systems and Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford, England, 194 pp. Canuti, P., F. Frascati, C.A. Garzonio, and C. Rodolfi. 1979. *Dinamica Morfologica di un Ambiente Soggetto a Fenomeni Franososi e ad Intense Attiva Agricol.*, Publ. No. 142. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Perugia, Italy.
- Carrara, A. 1983. Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation. *Mathematical Geology*.
- Carrara, A. 1988. Landslide Hazard Mapping by Statistical Methods: A "Black Box" Approach. In *Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries*, Perugia, Italy, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Perugia.
- Carrara, A., and L. Merenda. 1974. Metodologia per un Censimento Degli Eventi **Franso** in Calabria. **Geologic Applicata e Idrogeologica**.
- Carrara, A., C.E. Pugliese, and L. Merenda. 1977. Computer Based Data Bank and Statistical Analysis of Slope Instability Phenomena. *Zeitschrift für Geomorphologie* N.F.
- Carrara, A., E. Catalano, M. Sorriso-Valvo, C. Realli, and I. Ossi. 1978. Digital Terrain Analysis for Land Evaluation. *Geologia Applicata e Idrogeologica*.
- Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui, and P. Reichenbach. 1990. Geographical Information Systems and Multivariate Models in Landslide Hazard Evaluation. In *ALPS 90 Alpine Landslide Practical Seminar, Sixth International Conference and Field Workshop on Landslides*, Aug. 31-Sept. 12, Milan, Italy, **Universita** degli Studi di Milano.
- Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui, and P. Reichenbach. 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*.

- Carrara, A., M. Cardinali, and F. Guzzetti. 1992. Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk. **ITC Journal**.
- Choubey, V.D., and P.K. Litoria. 1990. Terrain Classification and Land Hazard Mapping in Kalsi-Chakrata Area (**Garhwal** Himalaya), India. *ITC Journal*, No. 1, pp. 58-66. **Chung**, C.J., and A.G. Fabbri. 1993. The Representation of Geoscience Information for Data Integration. *Nonrenewable Resources*.
- Chung, C.J., A.G. Fabbri, and C.J. van Westen. In press. Multivariate Statistical Analysis in Landslide Hazard Zonation. In *Pmc, International Workshop on GIS in Natural Hazard Assessment*, Perugia, Italy, Sept. 21-23, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Perugia.
- Cleaves, A.B. 1961. Landslide Investigations: A *Field Handbook for Use in Highway Location and Design*, Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce, 67 pp.
- Cooke, R.U., and J.C. Doornkamp. 1990. *Geomorphology in Environmental Management*. Clarendon Press, Oxford, England, 410 pp. Cotecchia, V., A. Guerricchio, and G. Melidoro. 1986. The Geomorphogenetic Crisis Triggered by the 1783 Earthquake in Calabria (Southern Italy). In Proc., *International Symposium on Engineering Geology Problems in Seismic Areas*, University of Bari, Italy (also published in *Geologic Applicata e Idrogeologica*).
- Crozier, M.J. 1973. Techniques for the Morphometric **Analysis** of Landslides. *Zeitschrift für Geomorphologie* **N.F.**
- Crozier, M.J. 1986. *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. Groom Helm, England.
- Demek, J., and C. Embleton (eds.). 1978. Guide to Medium-Scale Geomorphological Mapping. IGU Commission on Geomorphological Survey and Mapping, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuch-handlung, Stuttgart, Germany.
- Dikau, R. 1992. Aspects of Constructing a Digital Geomorphological Base Map. *Geoboscies Jahrbuch Reihe A*, Heft 122.
- Dunoyer, M., and C.J. van Westen. 1994. Assessing Uncertainty in Interpreting Landslides from Air-photos. *ITC journal*, No. 3.
- Eastman, J.R. 1992a. *User's Guide; IDRISI Version 4.0*. Graduate School of Geography, Clark University, Worcester, Mass.
- Eastman, J.R. 1992b. *Technical Reference; IDRISI Version 4.0*. Graduate School of Geography, Clark University, Worcester, Mass.
- Einstein, H.H. 1988. Special Lecture: Landslide Risk Assessment Procedure. In Proc., *Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne (C. Bormard, ed.), A.A. **Balkema**, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 1075-1090.
- Ellen, S.D., R.K. Mark, S.H. Cannon, and D.L. Knifong. 1993. *Map of Debris-Flow Hazard in the Honolulu District of Oahu, Hawaii*. Open-File Report 93-213. U.S. Geological Survey, Reston, Va., 25 pp.
- Environmental Systems Research institute (ESRI). 1992. *Understanding GIS; The Arc/Info Method*. Redlands, Calif., 500 pp.
- Evans, D.L. 1992. Geologic Process Studies Using Synthetic Aperture Radar (SAR) Data. *Episodes*, **Vol. 15, No. 1**, pp. 21-31.
- Fookes, P.G., S.G. Dale, and J.M. Land. 1991. Some Observations on a Comparative Aerial Photography Interpretation of a Landslipped Area. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 24, pp. 249-265.
- Gardner, T.W., K. Conners-Sasowski, and R.L. Day. 1990. Automatic Extraction of **Geomorphometric** Properties from Digital Elevation Data. *Zeitschrift für Geomorphologie* **N.F.**, Suppl. **Vol. 60**, pp. 57-68.
- Goodchild, M.F., **B.O. Parks**, and L.T. **Steyaert (eds.)**. 1993. *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press, New York, 488 pp.
- Guerricchio, A., and G. Melidoro. 1981. **Movimenti** di Massa Pseudo-Tettonici nell' **Apennino** dell' Italia Meridionale. *Geologia Applicata e Idrogeologica*, Vol. 16, pp. 251-294.
- Hammond, C.J., R.W. **Prellwitz**, and S.M. Miller. 1992. Landslide Hazard Assessment Using Monte Carlo Simulation. In Proc., *Sixth International Symposium on landslides (DM. Bell, ed.)*, Christchurch, New Zealand, A.A. **Balkema**, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 959-964.
- Hansen, A. 1984. Landslide Hazard **Analysis**. In *Slope Instability* (D. Brunnsden and D.B. Prior, eds.), John Wiley and Sons, New York, pp. 523-602.
- Harden**, J., and L. **Viberg**. 1988. General Report: Evaluation of Landslide Hazard. In Proc., *Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne (C. Bonnard, ed.), A.A. **Balkema**, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 1037-1057.
- Huma, I., and D. **Radulescu**. 1978. Automatic Production of Thematic Maps of Slope Instability. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 17, pp. 95-99.

- Hutchinson, J.N. 1988. Morphological and Geo-technical Parameters of Landslides in Relation to Geology and **Hydrogeology**. In Proc., *Fifth International Symposium on Landslides* (C. Bonnard, ed.), Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 1, pp. 3-35.
- Innocenti, L. 1992. Data Integration for *Landslide Risk Mapping in Urban Areas Using GIS*. M.Sc. thesis. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), **Enschede, Netherlands, 88 pp.**
- Intergraph Corporation. 1993. **MGE Technical Reference** Manuals. Huntsville, Ala., various pagings.
- International Association of Engineering Geology (IAEG). 1976. *Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation*. UNESCO Press, Paris, 79 pp.
- Ives, J.D., and B. Messerli. 1981. Mountain Hazards Mapping in Nepal: Introduction to an Applied Mountain Research Project. *Mountain Research and Development*, Vol. 1, No. 3-4, pp. 223-230.
- Jones, F.O., D.R. Embury, and W.C. Peterson. 1961. *Landslides along the Columbia River Valley, Northeastern Washington*. Professional Paper 367. U.S. Geological Survey, Reston, Va., 98 pp.
- Keaton, J.R. 1994. Risk-Based Probabilistic Approach to Site Selection. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, Vol. 31, No. 2, pp. 217-229.
- Kienholz, H. 1977. Kombinierte Geomorphologische Gefahrenkarte 1:10,000 von Grindelwald. Catena, Vol. 3, pp. 265-294.
- Kienholz, H. 1978. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland, scale 1:10,000. Arctic and Alpine Research, Vol. 10, pp. 169-184.
- Kienholz, H. 1992. Risk Assessment in Mountains. In Proc., *1st Simposio Internacional sobre Seniores Remotes y Sistemas de informacion Geografica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales*, Bogoti, Colombia (J.B. Abate, ed.), Institute Geografico Agustin Codazzi, Bogoti, Vol. 2, 20 pp.
- Kienholz, H., M. Bichsei, M. Grander, and P. Mool. 1983. Kathmandu-Kakani Area, Nepal: Mountain Hazards and Slope Stability Map. Mountain Hazards Mapping Project Map No. 4 (scale 1:10,000). United Nations University, Tokyo, Japan.
- Kienholz, H., P. Mani, and M. Klay. 1988. Rigi Nordlene: Beurteilung der Naturgefahren und Waldbauliche Prioritätenfestlegung. In Proc., *Interpraevent 1988*, Graz, Austria, Vol. 1, pp. 161-174.
- Kingsbury, P.A., W.J. Hastie, and A.J. Harrington, 1992. Regional Landslip Hazard Assessment Using a Geographical Information System. In Proc., *Sixth International Symposium on Landslides* (D.M. Bell, ed.), Christchurch, New Zealand, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 995-999.
- Kobashi, S., and M. Suzuki. 1988. Hazard Index for the Judgment of Slope Stability in the Rokko Mountain Region. In Proc., *Interpraevent 1988*, Graz, Austria, Vol. 1, pp. 223-233.
- Lasky, L.R. 1980. The Thermal Inertia of Engineering Geologic Units. M.Sc. thesis. Colorado School of Mines, Golden, 223 pp.
- Lopez, H.J., and J.A. Zinck. 1991. GIS-Assisted Modelling of Soil-Induced Mass Movement Hazards: A Case Study of the Upper Coello River Basin, Tolima, Colombia. *ITC journal*, No. 4, pp. 202-220.
- Malgot, J., and T. Mahr. 1979. Engineering Geological Mapping of the West Carpathian Landslide Areas. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 19, pp. 116-121.
- Mani, P., and B. Gerber. 1992. Geographische Informationssysteme in der Analyse von Naturgefahren. In Proc., *Interpraevent 1992*, Bern, Switzerland, Vol. 3, pp. 97-108.
- McKean, D.F., H.W. Calkins, and D.J. Peuquet. 1991. Remote Sensing and Landslide Hazard Assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 9, pp. 1185-1193.
- Meijerink, A.M.J. 1988. Data Acquisition and Data Capture Through Terrain Mapping Units. *ITC Journal*, No. 1, pp. 23-44.
- Meneroud, J.P., and A. Calvino. 1976. Carte ZER-MOS, Zones Exposes & des Risques lies au Mouvement de la Sol et du Sous-Sol a 1:25,000, Region de la Moyenne Vesubie (Alpes Maritimes). Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, Orleans, France, 11 pp.
- Mollard, J.D. 1977. Regional Landslide Types in Canada. In *Reviews in Engineering Geology*, Vol. 3 (D.R. Coates, ed.), Geological Society of America, Boulder, Colo., pp. 29-56.
- Mulder, H.F.H.M. 1991. Assessment of Landslide Hazard. Ph.D. thesis. University of Utrecht, Netherlands, 150 pp.
- Mulder, H.F.H.M., and T.W.J. van Asch. 1988. A Stochastic Approach to Landslide Hazard Determination in a Forested Area. In Proc., *Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne (C. Bonnard, ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 1207-1210.

- Murphy, W., and C. Vita-Finzi. 1991. Landslides and **Seismicity**: An Application of Remote Sensing. In Proc., **Eighth Thematic Conference on Geologies!** Remote Sensing, Denver, Colo., Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Vol. 2, pp. 771-784.
- Naithani, K.K. 1990. Can Satellite Images Replace Aerial Photographs? A **Photogrammetrist's** View. *ITC journal*, No. 1, pp. 29-31.
- Neuland, H. 1976. A Prediction Model of Landslips, *Catena*, Vol. 3, pp. 215-230.
- Newman, E.B., A.R. Paradis, and E.E. Brabb. 1978. *Feasibility and Cost of Using a Computer to Prepare Landslide Susceptibility Maps of the San Francisco Bay Region, California*. Bulletin 1443. U.S. Geological Survey, Reston, Va., 29 pp.
- Niemann, K.O., and D.E. Howes. 1991. Applicability of Digital Terrain **Models** for Slope Stability Assessment. *ITC journal*, No. 3, pp. 127-137.
- Okimura, T., and T. Kawatani. 1986. Mapping of the Potential Surface-Failure Sites on Granite Mountain Slopes. In *International Geomorphology* (J. Gardiner, ed.), John Wiley and Sons, New York, Part 1, pp. 121-138.
- Pearson, E.» G. Wadge, and A.P. Wislocki. 1991. An Integrated Expert System/GIS Approach to Modelling and Mapping Natural Hazards. In Proc., *European Conference on GIS (EGIS)*, Egis Foundation, University of Utrecht, Netherlands, Session 26, pp. 763-771.
- Pike, R.J. 1988. The Geometric Signature: **Quantifying** Landslide-Terrain Types from Digital Elevation Models. *Mathematical Geology*, Vol. 20, No. 5, pp. 491-511.
- Radbruch-Hall, D.H., K. Edwards, and R.M. Batson. 1979. Experimental Engineering Geological Maps of the Conterminous United States Prepared Using Computer Techniques. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 19, pp. 358-363.
- Rengers, N., R. Soeters, and C.J. van Westen. 1992. Remote Sensing and GIS Applied to Mountain Hazard Mapping. *Episodes*, Vol. 15, No. 1, pp. 36-45.
- Rib, H.T., and T. Liang. 1978. Recognition and Identification. In Special Report 176; *landslides: Analysis and Control* (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., Chap. 3, pp. 34-80.
- Rupke, J., E. Cammeraat, A.C. Seijmonsbergen, and C.J. van Westen. 1988. Engineering Geomorphology of the **Widentobel** Catchment, **Appenzell** and **Sankt Gallen**, Switzerland: A Geomorphological Inventory System Applied to Geotechnical Appraisal of Slope Stability. *Engineering Geology*, Vol. 26, pp. 33-68.
- Scanvic, J.Y. 1990. Mapping the Vulnerability of Ground to Landslides: Potential Use of SPOT Stereoscopic Data for La Paz, Bolivia. In Proc, 23rd **ER/M Symposium**, Bangkok, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, pp. 703-708.
- Scanvic, J.Y., and F. Girault. 1989. Imaged **SPOT-1** et Inventaire des Mouvements de Terrain: **L'Exemple de La Paz (Bolivia)**. *Revue Photomterpretation*, No. 2, Fasc. 1.
- Sissakian, V., R. Soeters, and N. Rengers. 1983. Engineering Geological Mapping from Aerial Photographs: The Influence of Photoseale on Map Quality and the Use of Stereo-Orthophotographs. *ITC journal*. No. 2, pp. 109-118.
- Slaney, R., and V. Singhroy. 1991. SAR for Non-Renewable Resources Applications. In Proc, **IUGS Meeting** on Remote Sensing in **Global Geo-science Processes**, Boulder, Colo., International Union of Geological Sciences, **Trondheim**, Norway.
- Spiegelhaker, D.J. 1986. Uncertainty in Expert Systems. In **Artificial Intelligence and Statistics** (W.A. Gale, ed.), Addison-Wesley, Reading, Mass., pp. 17-55.
- Stakenborg, J.H.T. 1986. Digitizing Alpine Morphology: A Digital Terrain Model Based on a Geomorphological Map for Computer-Assisted Applied Mapping. *ITC Journal*, No. 4, pp. 299-306.
- Stevenson, P.C. 1977. An Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslide Risk. *Bulletin of the international Association of Engineering Geology*, No. 16, pp. 69-72.
- Strandberg, C.A. 1967. *Aerial Discovery "Manual"*. John Wiley and Sons, New York, 249 pp.
- Tonnayopas, F. 1988. **Approche Canographique des Instabilités de Versants a Parar de Photographies Airmnes et d'Images SateUitaires**. These d'etudes **superieures** memoire GDTA, Paris, France.
- van Dijke, J.J., and C.J. van Westen. 1990. **Rockfall** Hazard: A Geomorphological Application of Neighborhood Analysis with **ILWIS**. *ITC Journal* No. 1, pp. 40-44.
- van Westen, C.J. 1992. Medium Scale Landslide Hazard Analysis Using a PC Based GIS: A Case Study from Chinchina, Colombia. In Proc., **Ier Simposio Internacional sobre Sensores Remotes y Shtemas de Informacion Geografica (S1G) para el Estudio de Riesgos Naturaks**, Bogota., Colombia (J.B. Alzate, ed.), Institute Geografico Agustin Codazzi, Bogota, Vol. 2, 20 pp.
- van Westen, C.J. 1993. *Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation*. ITC Publication No. 15. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), **Enschede**, Netherlands, 245 pp.

- van Westen, C.J., and J.B. **Alzate-Bonilla**. 1990. Mountain Hazard Analysis Using a PC Based GIS. In Proc., Sixth International Congress, International *Association of Engineering Geology* (D.G. Price, ed.), Amsterdam, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 265-271.
- van Zuidam, R.A. 1986. *Terrain Classification*. ITC Textbook. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, Netherlands.
- Varnes, D.J. 1984- *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris, 63 pp.
- Wadge, G. 1988. The Potential of GIS for Modelling of Gravity Flows and Slope Instabilities. *International Journal on GIS*, Vol. 2, No. 2, pp. 143-152.
- Wagner, A., R. Olivier, and E. **Leite**. 1988. Rock and **Debris** Slide Risk Maps Applied to Low-Volume Roads in Nepal. In *Transportation Research Record* 1106, **TRB**, National Research Council, Washington, D.C., pp. 255-267.
- Ward, T.J., L. Ruh-Ming, and D.B. Simons. 1982. Mapping Landslide Hazard in Forest Watershed. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 108, No. GT2, pp. 319-324.
- Wentworth, C.M., S.D. Ellen, and **R.K.** Mark. 1987. Improved Analysis of Regional Engineering Geology Using GIS. In Proc., **GIS'87**, 26-30 October, San Francisco, Calif., American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Va., pp. 636-649.
- Wieczorek, G.F. 1984. Preparing a Detailed Landslide Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, Vol. 21, No. 3, pp. 337-342.
- Wright, R.H., R.H. Campbell, and T.H. Nilsen. 1974- Preparation and Use of Isopleth Maps of Landslide Deposits. *Geobgy*, Vol. 2, pp. 483-485.
- Yin, K.L., and T.Z. Yan. 1988. Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks. In Proc., *Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne (C. Bonnard, ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 1269-1272.
- Zevenbergen, L.W., and C.R. Thorne. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 12, pp. 47-56.