



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ
ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΚΥΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μούκιου Κωνσταντίνα

Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΣΤΟΥΣ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μούκιου Κωνσταντίνα

Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις/...../.....

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής

Μπενάρδος Ανδρέας, Επίκουρος

Τριανταφυλλίδης Σταύρος, Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Πρόλογος

Αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας, που εκπονείται στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, είναι η παρουσίαση της τεχνικογεωλογικής έρευνας των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της Κύμης και η κατανόηση της συμπεριφοράς των εδαφών που ανήκουν στην κατηγορία «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων» σε σχέση με τα φαινόμενα κατολισθήσεων που εντοπίζονται στην περιοχή αυτή.

- Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται το αντικείμενο της διπλωματικής καθώς και η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην διαδικασία της έρευνας
- Στο 2 παρουσιάζονται γενικά τα κατολισθητικά φαινόμενα, τα γενικά τους στοιχεία καθώς επίσης και στην παρουσία τους στον Ελλαδικό χώρο
- Στο κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενής αναφορά των γενικών και ειδικών στην περιοχή έρευνας
- Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης των κατολισθητικών φαινομένων και ειδικότερα στην μέθοδο που ακολουθήθηκε στην εργασία
- Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται εκτενώς οι χάρτες και τα αποτελέσματα της έρευνας και σχολιάζεται η ακρίβεια τους
- Τέλος στο κεφάλαιο 6 η εργασία ολοκληρώνεται με τον σχολιασμό και τα κυριότερα συμπεράσματα

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Λουπασάκη Κωνσταντίνο, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την επίβλεψη της διπλωματικής, την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Ευχαριστώ επίσης τους κ. Μπενάρδο Ανδρέα, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. και Τριανταφυλλίδη Σταύρο, Λέκτορα, μέλη της επιτροπής εξέτασης της διπλωματικής, για το χρόνο που διέθεσαν για την αξιολόγηση της εργασίας. Ακόμα, οφείλω θερμές ευχαριστίες στην κα. Ιωάννα Κ. Ηλία και Πάρη Τσαγγαράτο για την παροχή όλων των απαραίτητων για την εργασία μου στοιχείων και πληροφοριών και την συνεχή καθοδήγηση, την προθυμία και για την βοήθεια που μου προσέφεραν σε κάθε δυσκολία που συνάντησα.

Τέλος, θα ήθελα να πω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη και την συμπαράστασή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την συνεχή στήριξη τους σε όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισα και κυρίως για την απεριόριστη αγάπη τους, την υπομονή και την φροντίδα τους σε όλη την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ 10	
1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία.....	10
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	10
1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	12
2.1 Φυσικές καταστροφές	12
2.2 Γενικά στοιχεία για τα κατολισθητικά φαινόμενα.....	15
2.3 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων	21
2.4 Φαινόμενο κατολισθήσεων στο Ελλαδικό χώρο	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	26
3.1 Γενικά στοιχεία της περιοχής	26
3.2 Γεωλογικά, τεκτονικά και σεισμικά στοιχεία περιοχής έρευνας.....	29
3.2.1 Γεωλογικά στοιχεία.....	29
3.2.2 Τεκτονικά στοιχεία.....	30
3.2.3 Σεισμικά στοιχεία.....	31
3.3 Κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής έρευνας.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	42
4.1 Μέθοδοι ζωνοποίησης κινδύνου και επιδεκτικότητας.....	42
4.2 Μέθοδοι εκτίμησης επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα	42
4.3 Μοντέλο πρόβλεψης Analytical Hierarchy Process (A.H.P.)	46
4.4 Σχολιασμός G.I.S (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών)	48
4.4.1. Χαρακτηριστικά των Γεωγραφικών Δεδομένων	49
4.4.2 Κατηγορίες γεωγραφικών φαινομένων	49
4.4.3 Διανυσματικά δεδομένα (Vector)-Δεδομένα Κανονικοποιημένης Ψηφιδωτής μορφής (Raster).....	50
4.4.4 Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη Διαχείριση και Ανάλυση Γεωγραφικών Δεδομένων.	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	54
5.1 Παρουσίαση μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν	54
5.1.1 Γεωλογία.....	55
5.1.2 Μορφολογικές Κλίσεις.....	56
5.1.3 Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	56

5.1.4 Απόσταση από το οδικό δίκτυο	57
5.1.5 Διεύθυνση Μορφολογικών Κλίσεων	57
5.1.6 Απόσταση από τεκτονικές δομές	58
5.2 Εφαρμογή μεθόδου A.H.P.....	65
5.3 Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας	67
5.4 Εκτίμηση ακρίβειας και επαλήθευση χάρτη	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74

Εικόνες

Εικόνα 3-1 Χάρτης περιοχής έρευνα (ΓΥΣ, Σεπτέμβριος 1989)	28
Εικόνα 3-2 Γεωλογικές τομές σε διάφορες θέσεις της νεοτεκτονικής λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου, (Kokkalas,2001)	30
Εικόνα 3-3 Ορατά ίχνη ερπυστικών κινήσεων (αποκλίσεις των ελαιόδεντρων από την κατακόρυφο) αμέσως κατάντη του παλαιού λατομείου (Ηλία, 2013).....	35
Εικόνα 3-4 Φωτογραφία από το μέσον σχεδόν του πρανούς. Ορατή και εδώ η απόκλιση των κυπαρισσιών από την κατακόρυφο λόγω των ερπυστικών κινήσεων (Ηλία, 2013).....	35
Εικόνα 3-5 Εσωτερικό οριακό ίχνος ερπυσμών. Διακρίνεται το άλμα (Ηλία, 2013).	36
Εικόνα 3-6 Η συνέχεια του ίχνους των ερπυσμών σε πέτρινο τοίχο διαμόρφωσης αναβαθμού που ενσωματώνει το κτίσμα (Ηλία, 2013).....	36
Εικόνα 3-7 Δεξαμενή νερού ανάντι του ξενοδοχείου Βαλέντι. Η δεξαμενή έχει αχρηστευτεί από τις κινήσεις (έχει υποστεί σοβαρή κλίση) (Ηλία, 2013).....	36
Εικόνα 3-8 : Κατεστραμμένος αγωγός ομβρίων με αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ροή στα εδαφικά υλικά (εμποτισμός – κορεσμός (Ηλία, 2013).....	36
Εικόνα 3-9 Η καταστροφή του οδοστρώματος και του υποκείμενου επιχώματος του δρόμου λόγω των υποσκαφών του κυματισμού (Ηλία, 2013).	37
Εικόνα 3-10 Ο κατεστραμμένος τοίχος προστασίας του δρόμου από μπετόν λόγω της δράσης του κυματισμού (Ηλία, 2013).....	37
Εικόνα 3-11 Πανοραμική άποψη των αστοχιών κατάντη του δρόμου Πλατάνας - Στομίου. Στην εικόνα διακρίνεται και η πολύ μεγάλη κλίση και το ύψος των πρανών ανάντη του δρόμου (Ηλία, 2013).....	37
Εικόνα 3-12 Ο νέος τοίχος του δρόμου και η αντιστήριξη από φρεατοπασσάλους (Ηλία, 2013). ..	38
Εικόνα 3-13 Ολοκληρωτική καταστροφή του οδοστρώματος από την κατολίσθηση στο δρόμο προς Αγ΄. Μαρίνα (Ηλία, 2013)	39
Εικόνα 3-14 Μελανότεφρες μάργες στο αριστερο μέρος της κατολίσθησης (Ηλία, 2013)	39
Εικόνα 3-15 Η έντονη χαλάρωση των ασβεσιτικών μαργών στο τεχνητό πρανές του δρόμου (Ηλία, 2013).....	39
Εικόνα 3-16 Γενική άποψη του λοφίσκου της Αγ. Μαρίνας από ανατολικά (Ηλία, 2013).	40
Εικόνα 3-17 Η ρεματιά βόρεια του λοφίσκου της Αγ. Μαρίνας (Ηλία, 2013).....	40
Εικόνα 3-18 Το ημιτελές λιμενικό έργο που καλύπτει την μισή βάση του λοφίσκου(Ηλία, 2013) .	40
Εικόνα 3-19 Το ατελές λιμενικό έργο εσωτερικά του κρηπιδώματος (Ηλία, 2013).....	41
Εικόνα 3-20 Οι ρωγμές στον προαύλιο χώρο και στην ανωδομή του εξωκλησίου της Αγ. Μαρίνας (Ηλία, 2013).	41
Εικόνα 5-1 Χάρτης της περιοχής έρευνας όπου διακρίνονται και οι περιοχές των κατολισθήσεων (μαύρες κουκίδες).....	54
Εικόνα 5-2 Χάρτης λιθολογικών ενοτήτων	59
Εικόνα 5-3 Χάρτης Μορφολογικών κλίσεων	60
Εικόνα 5-4 Απόστασης από Υδρογραφικό Δίκτυο	61
Εικόνα 5-5 Χάρτης Απόστασης από Οδικό Δίκτυο	62
Εικόνα 5-6 Χάρτης Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων	63
Εικόνα 5-7 Χάρτης Απόστασης από Τεκτονικές δομές	64
Εικόνα 5-8 Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας	69
Εικόνα 5-9 Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης.....	70

Σχήματα

Σχήμα 2.1 Γράφημα με το συνολικό αριθμό των φυσικών καταστροφών που καταγράφηκαν σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο 1900-2015 (EM-DAT, 2016).....	13
Σχήμα 2.2 Γράφημα με το συνολικό αριθμό των χαμένων ανθρώπινων ζώων σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο 1900-2015 (EM-DAT, 2016).	14
Σχήμα 2.3 Γράφημα με το συνολικό οικονομικό κόστος σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο 1900-2015 (EM-DAT, 2016).Ο άξονας των y παρουσιάζει το οικονομικό κόστος σε δις δολάρια.	15
Σχήμα 2.4 Παγκόσμιος Χάρτης Κατολισθητικής Επικινδυνότητας (EM-DAT, 2016). Αφορά το χρονικό διάστημα 1974-2003.....	16
Σχήμα 2.5 Πτώσεις και ανατροπές (Πηγή: Τσαγγαράτος, 2012).....	19
Σχήμα 2.6 Ολισθήσεις (περιστροφικές και μεταθετικές) (Πηγή Τσαγγαράτος, 2012).....	20
Σχήμα 2.7 Πλευρικές εκτάσεις(Πηγή Τσαγγαράτος, 2012)	20
Σχήμα 2.8 Ροές αποσαθρωμάτων και γαιών(Πηγή Τσαγγαράτος, 2012).....	21
Σχήμα 2.9 Γεωγραφική κατανομή των κατολισθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο.....	24
Σχήμα 4.1 Ιεράρχική Ανάλυση Απόφασης.....	47
Σχήμα 5.1 Γράφημα αποτελεσμάτων μοντέλου πρόβλεψης A.H.P	68

Πίνακες

Πίνακας 2-1 Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978).	18
Πίνακας 2-2 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων σε διαφορετικές λιθολογικές ενότητες (Ζιούρκας.....	23
Πίνακας 3-1 Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥ 5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 23ο30' έως 24ο30' γεωγραφικό μήκος και 30ο15' έως 39.00ο γεωγραφικό πλάτος.	31
Πίνακας 4-1 Κλίμακα συγκρίσεων (Saaty, 1986)	47
Πίνακας 4-2 Κλίμακα συγκρίσεων (Saaty, 1986)	48
Πίνακας 5-1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ.....	55
Πίνακας 5-2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	56
Πίνακας 5-3 Ιεραρχική Διαδικασία Απόφασης.....	65
Πίνακας 5-4 Αποτελέσματα μεθόδου πρόβλεψης που στηρίζονται στην Analytical Hierarchy Process	68

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια δίνεται όλο και περισσότερη έμφαση στην αλληλεπίδραση του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Οι ανθρώπινες δράσεις είναι πλέον τέτοιας ισχύος που συγκρίνονται με τις διεργασίες της Φύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για μελέτη και διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται ανάμεσα στην μεταβατική ζώνη των εδαφών και των βράχων που χαρακτηρίζονται ως «σκληρά εδάφη - μαλακοί βράχοι».

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σκοπός είναι η κατασκευή του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας με δεδομένα που εξήχθησαν από την γνώση και την εμπειρία των ειδικών και με την εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου. Αρχικά ένας από τους στόχους της εργασίας είναι να κατανοηθούν πλήρως οι φυσικές καταστροφές και κυρίως τα κατολισθητικά φαινόμενα, γενικότερα και κυρίως στον Ελλαδικό χώρο, όπως και περιγράφονται στο κεφάλαιο 2.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην περιοχή της Κύμης και ειδικότερα στην περιοχή της έρευνάς μας, όπου και καταγράφονται τα γενικότερα στοιχεία της περιοχής (κλιματολογικά, γεωλογικά, τεκτονικά και σεισμικά) και εκτενής αναφορά στα κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής έρευνας.

Έπειτα, αναφέρονται τα μοντέλα πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και κυρίως στο μοντέλο πρόβλεψης της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Α.Η.Ρ) και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα οποία αποτελούν και τα κυριότερα εργαλεία για την εξαγωγή των απαραίτητων αποτελεσμάτων για την κατασκευή του χάρτη επιδεκτικότητας που είναι και ο κύριος στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εκτενώς οι μεταβλητές και οι συντελεστές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και οι βαθμολογίες τους. Ακόμα παρουσιάζονται όλοι οι χάρτες που δημιουργήθηκαν βάσει των παραπάνω μεταβλητών και κλάσεων τους και τέλος παρουσιάζεται ο χάρτης επιδεκτικότητας που αφορά την περιοχή της έρευνάς μας καθώς και εξετάζεται η ακρίβεια και η επαλήθευση του χάρτη αυτού.

Τέλος, αναφέρονται και συμπεράσματα που εξήχθησαν από την διαδικασία αυτή και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

ABSTRACT

In present years, more emphasis has been given to the interaction between natural and human made environment. Human actions are so powerful that they are now compared to the power of Nature, which results in the need for study of mechanical reaction of geological formations which are located between "hard soils-soft rocks".

The aim of the present thesis, is the creation of a landslide susceptibility map with data collected from Experts and the use of the predictive model of Analytical Hierarchy Process. Firstly, one of the goals of this thesis is the understanding of natural disasters, focusing on landslide phenomena mostly in Greece, as described in Unit 2.

Next, there is a mention to the landslide phenomena found and collected in the area of Kimi, as well as the climate, geological, tectonical and seismical data which have been recorded in this area.

Furthermore, the predictive model of landslide susceptibility is mentioned, focusing on the Analytical Hierarchy Process(A.H.P), as well as Geological Information Systems(G.I.S),the most important tools for the creation of a landslide susceptibility map, which is the main goal of this thesis.

In Unit 5, the variables and solidity ratios of variables which were used for their ratings are presented in detail. You will also find the maps which were created based on the previously mentioned variables and their classification, along with the landslide susceptibility map which concerns the research area, while the verification of the map is also examined.

Finally, the conclusions and results of this process are mentioned and commented on.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Οι τελευταίοι αιώνες χαρακτηρίζονται από την αυξανόμενη ανθρώπινη επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον. Οι ανθρώπινες δράσεις είναι πλέον τέτοιας ισχύος που συγκρίνονται με τις διεργασίες της Φύσης. Η μελέτη και η διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών που εντάσσονται στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στα εδάφη και τους βράχους και χαρακτηρίζονται διεθνώς ως «σκληρά εδάφη - μαλακοί βράχοι», βρίσκονται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος αφού οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταφέρονται πλέον σε περιοχές όπου αυτοί οι σχηματισμοί εμφανίζονται συχνότερα. Η εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων», αποτελεί αντικείμενο έρευνας και μελέτης σε παγκόσμια κλίμακα (*Dick & Shakoор, 1992*).

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των σχηματισμών αυτών είναι η ανισότροπη γεωμηχανική τους συμπεριφορά, η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στις συχνές εναλλαγές που εμφανίζουν τα διάφορα μέρη από τα οποία συντίθενται (λιμναία ιζήματα - μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή), τόσο κατά την κατακόρυφο όσο και κατά την οριζόντια ανάπτυξη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναδεικνύει την ιδιομορφία της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των νεογενών ιζημάτων στην περιοχή της Κύμης. Τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν ανισότροπη γεωμηχανική συμπεριφορά, η οποία σε συνδυασμό με τις γεωμορφολογικές, κλιματολογικές συνθήκες και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (διανοίξεις δρόμων, πυρκαγιές κλπ), παρουσιάζουν εκτεταμένες αστοχίες πρανών.

Φαινόμενα γεωλογικών αστοχιών στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης – Εύβοιας, καταγράφονται από τις αρχές της δεκαετίας του 1950. Τα φαινόμενα αυτά εντοπίζονται κυρίως σε φυσικά πρανή που δομούνται από μαργαϊκούς σχηματισμούς και η παρουσία του φαινομένου εξακολουθεί να υφίσταται και στις μέρες μας είτε με την εκδήλωση του φαινομένου σε νέες θέσεις είτε με την επαναδραστηριοποίησή του σε παλαιότερες θέσεις. Στην περιοχή έρευνας η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων έχει προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε οικισμούς, οδικά δίκτυα, έργα υποδομής καθώς επίσης πολλές φορές ορισμένα από τα φαινόμενα αυτά είναι τέτοιας δυναμικής που θέτουν σε κίνδυνο ακόμα και ανθρώπινες ζωές.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ζητούμενο ήταν η εκτίμηση του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων που καταγράφονται στην περιοχή έρευνας και η κατασκευή χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από την κλασική τεχνικογεωλογική έρευνα πεδίου και μελέτη καθώς και την ανάλυση λοιπών χωρικών δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, η καταγραφή και αποτύπωση των κατολισθητικών φαινομένων, αποτέλεσαν ένα από τα ουσιώδη στάδια που οδήγησαν στην απόκτηση της τεχνικογεωλογική γνώσης. Για τον σκοπό αυτό, προκειμένου να αναδειχθούν τα αποτελέσματα και να δημιουργηθούν οι απαραίτητοι χάρτες χρησιμοποιήθηκε η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (*Analytical Hierarchy Process*) ως μέθοδος μοντέλου πρόβλεψης κατολισθητικών φαινομένων.

1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής διαμορφώθηκε με βάση δύο παραμέτρους ανάλυσης: τις ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, και την πολυπλοκότητα του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων, □

Η μεθοδολογική προσέγγιση της διπλωματικής περιλαμβάνει :

1. Συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων
2. Ψηφιοποίηση χαρτών (γεωλογικών χαρτών, αποτύπωση υδρογραφικού δικτύου, ρηγμάτων, οδικού δικτύου κλπ.), δημιουργία χαρτών
3. Επεξεργασία δεδομένων ψηφιακού εδαφικού μοντέλου και εκτέλεση χωρικών αναλύσεων
4. Δημιουργία χαρτών, υψομέτρου, μορφολογικών κλίσεων και διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων
5. Εφαρμογή της μεθόδου Analytical Hierarchy Process για την δημιουργία συντελεστών βαρύτητας για κάθε παράμετρο.
6. Δημιουργία χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας, επικύρωση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.1 Φυσικές καταστροφές

Το 1992 ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) όρισε τις φυσικές καταστροφές ως «σοβαρές διαταραχές στη λειτουργία της κοινωνίας, οι οποίες προκαλούν εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές ή περιβαλλοντικές απώλειες που υπερβαίνουν την ικανότητα της κοινωνίας να τις αντιμετωπίσει με ίδιους πόρους» (UN-DHA, IDNDR, 1992).

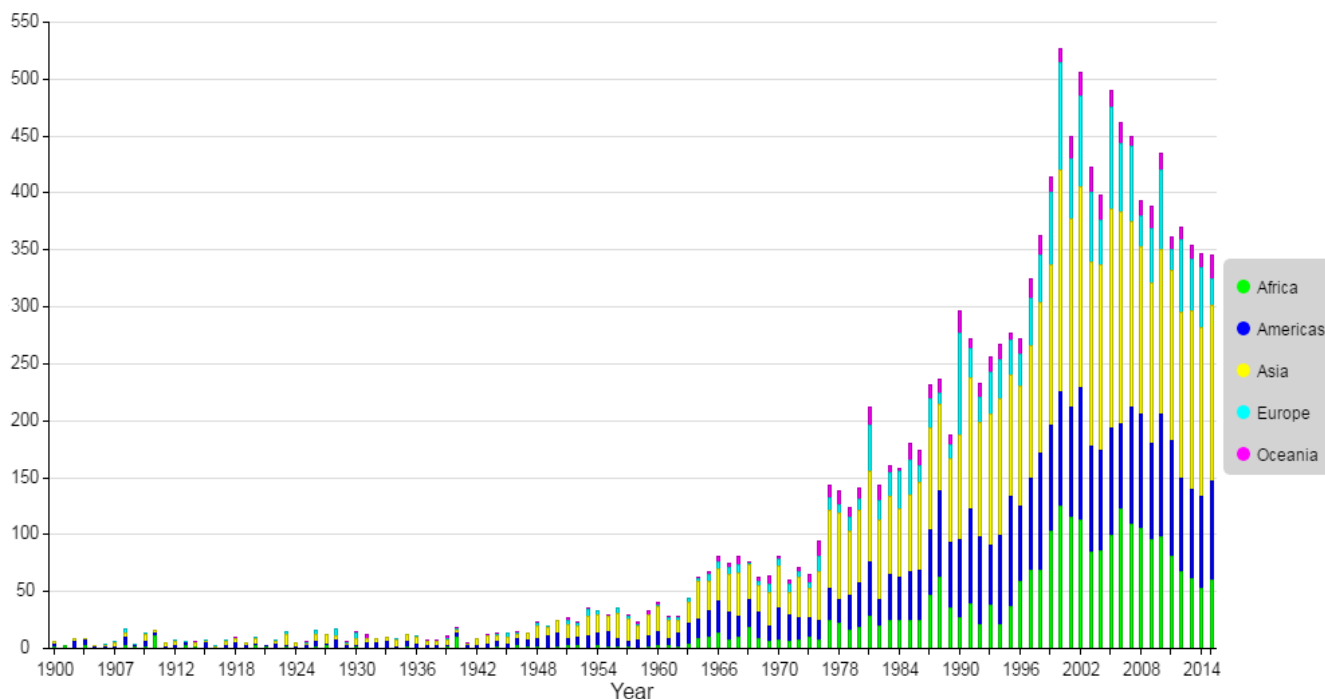
Σύμφωνα με την παγκόσμια βάση δεδομένων Φυσικών Καταστροφών οι φυσικές καταστροφές διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες : Γεωφυσικές, Μετεωρολογικές , Υδρογεωλογικές, Κλιματολογικές και Βιολογικές (EM-DAT, 2016).

- **Γεωφυσικές :** Ο κίνδυνος προέρχεται από την στέρεα γη και ο όρος χρησιμοποιείται συχνά και για γεωλογικούς κινδύνους. Περιλαμβάνει σεισμούς, ηφαιστειακές εκρήξεις, κατολισθήσεις, μετακινήσεις εδαφών κ.α.
- **Μετεωρολογικές :** Ο κίνδυνος προκύπτει από βραχύβια, μικρής ή μεγάλης κλίμακας, ακραία καιρικά και ατμοσφαιρικά φαινόμενα που διαρκούν από λεπτά ως μέρες. Περιλαμβάνει ακραίες θερμοκρασίες, ομίχλη, μεγάλης έντασης καταιγίδες, τυφώνες κ.α.
- **Υδρογεωλογικές :** Ο κίνδυνος προκύπτει από την κίνηση και διαχωρισμό του εδάφους και υπεδάφους του γλυκού και του αλμυρού νερού. Περιλαμβάνει πλημμύρες, κατολισθήσεις και παλιρροϊκά κύματα.
- **Κλιματολογικές :** Ο κίνδυνος προκύπτει από μακρόβιες, μικρής ή μεγάλης κλίμακας, ατμοσφαιρικές διεργασίες που κυμαίνονται σε αλλαγές του κλίματος ανά δεκαετία και εποχή. Περιλαμβάνει ξηρασία, παγετώνες, πυρκαγιές κ.α.
- **Βιολογικές :** Ο κίνδυνος που προκαλείται από την έκθεση σε ζωντανούς οργανισμούς και τις τοξικές ουσίες τους (π.χ δηλητήριο και μούχλα) ή που είναι φορείς κάποιων ασθενειών. Κάποια παραδείγματα είναι τα δηλητηριώδη ζώα, έντομα και φυτά και τα κουνούπια τα οποία μεταφέρουν παράσιτα, βακτήρια και ιούς. Περιλαμβάνει επιδημίες, μολύνσεις από έντομα, ατυχήματα από ζώα κ.α.

Η εκδήλωση τέτοιων ακραίων φυσικών φαινομένων αποτελεί απειλή για το περιβάλλον και για τον άνθρωπο. Ως φυσικό κίνδυνο (natural hazard) ορίζουμε κάθε φυσικό φαινόμενο ή διαδικασία που έχει πιθανότητα να προκαλέσει μικρής ή μεγάλης κλίμακας καταστροφές στο δομημένο και φυσικό περιβάλλον. Αποτέλεσμα του φυσικού κινδύνου είναι οι φυσικές καταστροφές, οι οποίες περνάνε από το στάδιο της πιθανότητας σε μια ενεργή φάση και κατά συνέπεια έχουν επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μια κατολίσθηση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο, ένα φυσικό κίνδυνο. Ωστόσο αν φυσική καταστροφή εκδηλωθεί σε μια περιοχή η οποία δεν κατοικείται και κατά συνέπεια δεν προκαλέσει ζημιές ή καταστροφές σε κατοικίες, υποδομές ή δεν επηρεάσει και μεταβάλει το φυσικό περιβάλλον, δεν θεωρείται καταστροφική έστω κι αν το φαινόμενο εκδηλωθεί σε μεγάλη έκταση. Αποτελεί ένα γεγονός επιστημονικού ενδιαφέροντος και μόνο. Η θεώρηση των φυσικών καταστροφών γίνεται κάτω από το πρίσμα των επιπτώσεων που έχει κυρίως στο ανθρώπινο περιβάλλον και εκείνο που ενδιαφέρει την ανθρώπινη κοινωνία είναι η αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών κατά τον πιο αποτελεσματικό τρόπο (Τσαγγαράτος, 2012). Ακόμα ο χώρος και ο χρόνος αποτελούν σημαντικούς παράγοντες σε μια φυσική καταστροφή. Ο χρόνος, ως γραμμική συνάρτηση,

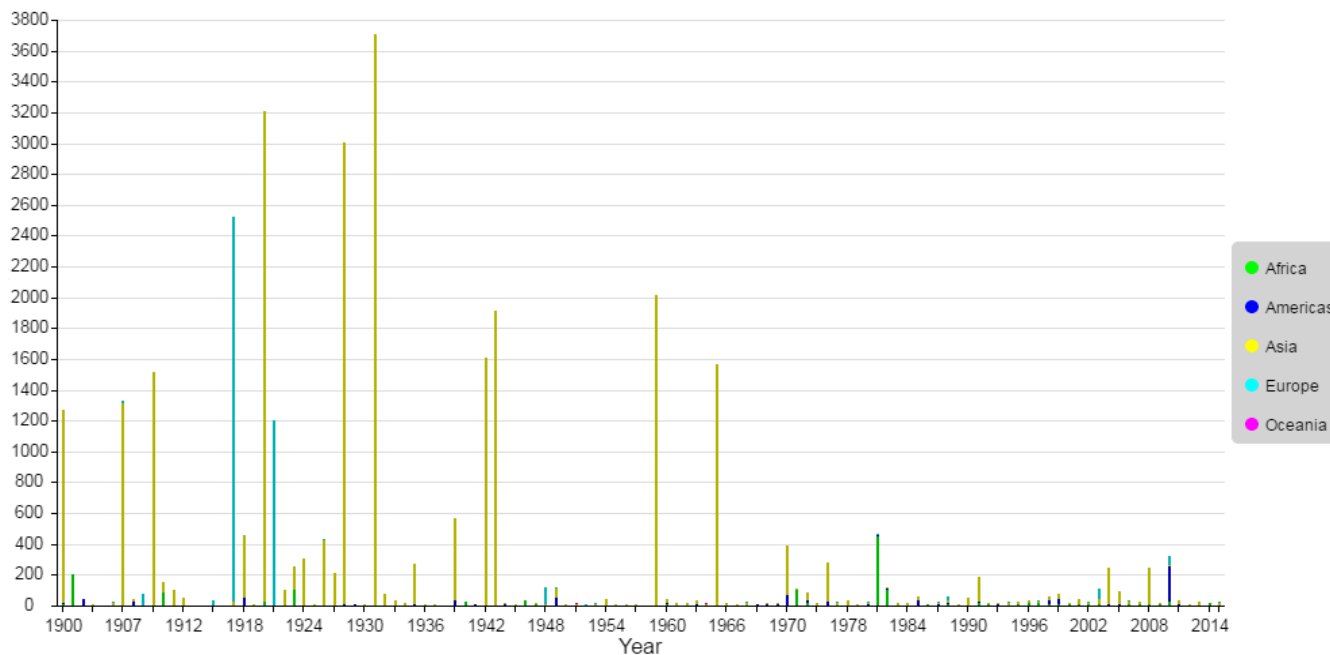
αποτελεί της σπονδυλική στήλη για τα περισσότερα μοντέλα που εξετάζουν τον μηχανισμό με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι καταστροφές ή τον τρόπο με τον οποίο αυτές μπορούν να ελεγχθούν. Ο χώρος σχετίζεται με την τρωτότητα και την επιδεκτικότητα σε καταστροφές καθώς και τις συνέπειες από ένα γεγονός, ενώ αποτελεί άμεση συνάρτηση με τον χρόνο.

Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Βάσης Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών για το έτος 2015, καταγράφηκαν 346 φυσικές καταστροφές με 23.363 χαμένες ανθρώπινες ζωές, επηρεάζοντας 89.5 εκατομμύρια άλλους, και προκαλώντας οικονομικές ζημιές αξίας 65.13 \$ δισεκατομμυρίων δολαρίων (EM-DAT, 2016).



Σχήμα 0.1 Γράφημα με το συνολικό αριθμό των φυσικών καταστροφών που καταγράφηκαν σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο 1900-2015 (EM-DAT, 2016).

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι οι περισσότερες φυσικές καταστροφές καταγράφηκαν περίπου στο διάστημα 1998 έως και 2009 και ιδιαίτερα στην περιοχή της Ασίας ενώ υπήρξε και αρκετή αύξηση των καταστροφών και στην περιοχή της Αφρικής σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες.

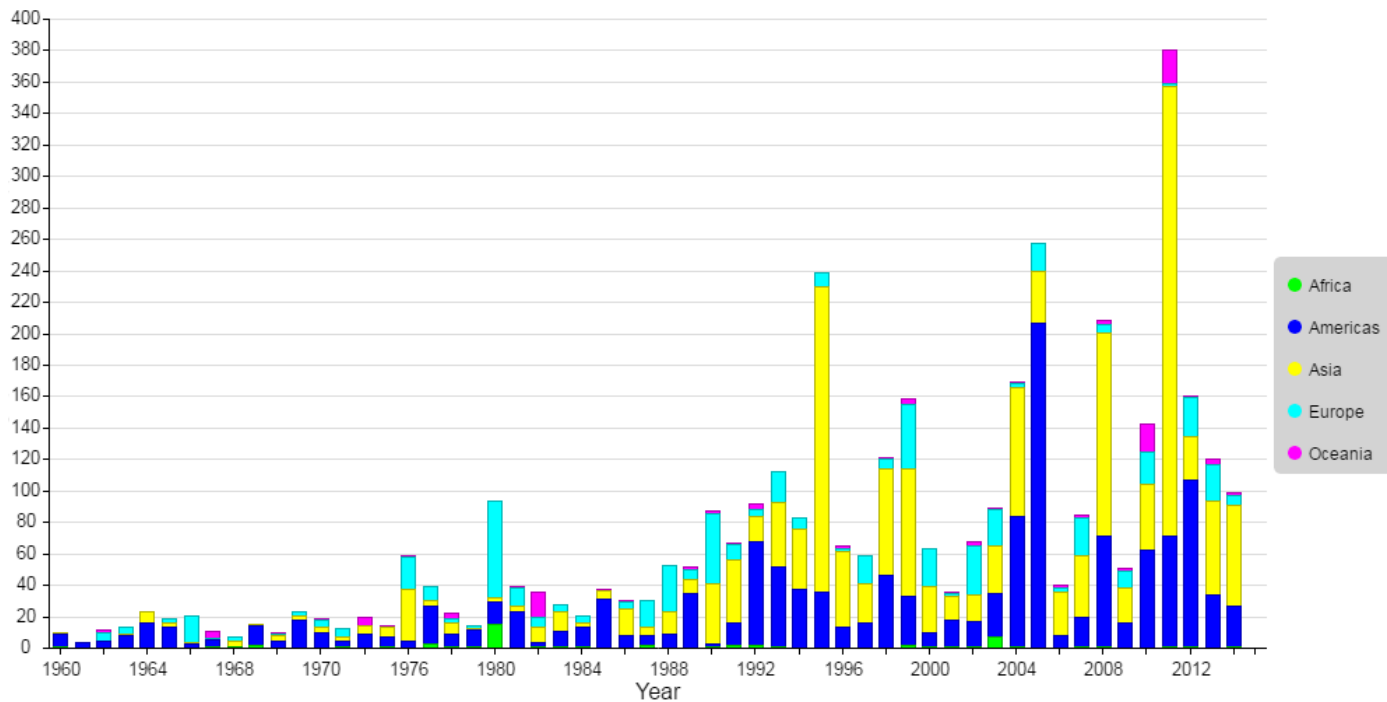


Σχήμα 0.2 Γράφημα με το συνολικό αριθμό των χαμένων ανθρώπινων ζωών σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο 1900-2015 (EM-DAT, 2016).

Στο παραπάνω γράφημα μπορούμε να διακρίνουμε ότι οι περισσότερες ανθρώπινες ζωές από φυσικές καταστροφές καταγράφηκαν την δεκαετία από 1920 έως 1930 γεγονός που πιθανόν οφείλεται στην έλλειψη γνώσεων στην αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών.

Από τη δεκαετία του 1950 και μετέπειτα, διακρίνεται μια εντυπωσιακή αύξηση του αριθμού των φυσικών καταστροφών σε παγκόσμια κλίμακα με αντίστοιχη αύξηση των οικονομικών ζημιών και του κόστους. Μια τέτοια καταγραφή δικαιολογείται, αν σκεφτεί κανείς ακριβώς του ότι η σχετική αποτίμηση αφορά στις επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών στο ανθρώπινο περιβάλλον το οποίο αναπτύσσεται με αντίστοιχα υψηλούς ρυθμούς.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.3) μπορούμε να διακρίνουμε ακριβώς αυτήν την αύξηση καθώς επίσης και το τεράστιο οικονομικό κόστος που προκάλεσε ο καταστροφικός σεισμός και το τσουνάμι που σημειώθηκε στις 11 Μαρτίου 2011 στην βορειοανατολική Ιαπωνία μεγέθους 9,0 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ και συμπარέσυρε σπίτια, κτίρια, αυτοκίνητα, ακόμα και πλοία, φτάνοντας κατά τόπους έως και 20 χιλιόμετρα μέσα στο εσωτερικό της στεριάς.



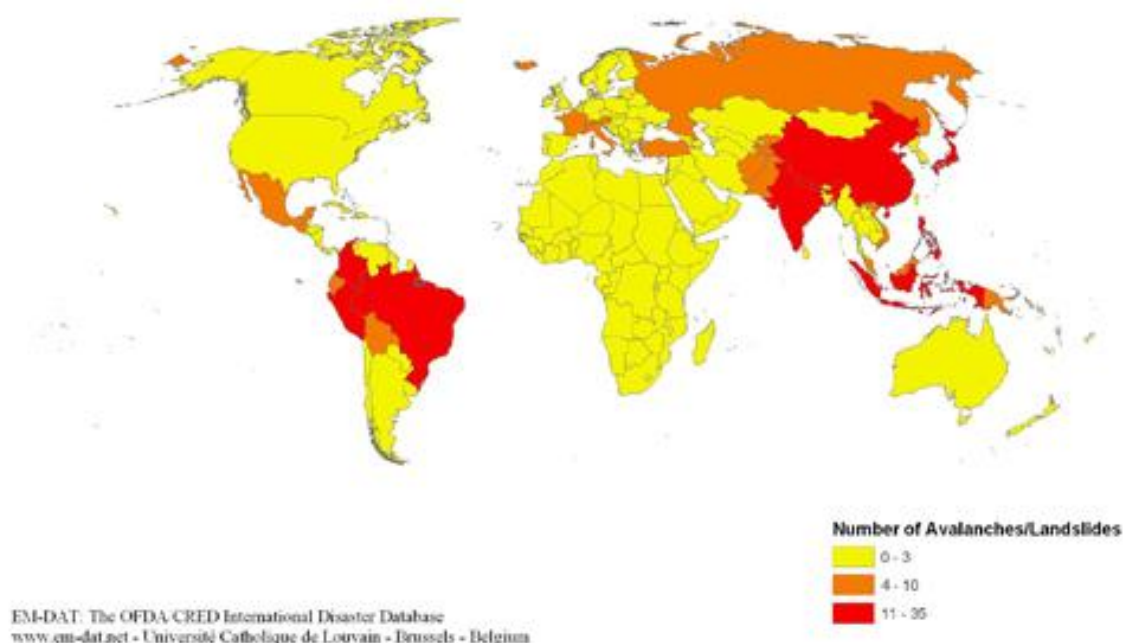
Σχήμα 0.3 Γράφημα με το συνολικό οικονομικό κόστος σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο 1900-2015 (EM-DAT, 2016). Ο άξονας των y παρουσιάζει το οικονομικό κόστος σε δις δολάρια.

2.2 Γενικά στοιχεία για τα κατολισθητικά φαινόμενα

Στο πεδίο των γεωφυσικών και υδρολογικών καταστροφών ανήκουν τα κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία αναφέρονται ως μη αναμενόμενες και συνήθως απρόβλεπτες μετακινήσεις ασταθών επιφανειακών στρωμάτων, αποτελώντας έναν από τους πιο συχνούς φυσικούς κινδύνους με σημαντικότερες συνέπειες σε ανθρώπινες ζωές, με κοινωνικό κόστος και με ανυπολόγιστες οικονομικές επιπτώσεις. Συνιστούν το αποτέλεσμα της εξέλιξης προοδευτικών ή ραγδαίων φαινομένων που εκδηλώνονται στο γήινο περιβάλλον και που οφείλονται στη δράση γεωλογικών, γεωμορφολογικών, κλιματολογικών διεργασιών αλλά και στην αρνητική επίπτωση των ανθρώπινων ενεργειών και δραστηριοτήτων (Hutchinson, 1995). Αποτελούν ένα γεωλογικό φαινόμενο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα κινήσεων μιας μάζας εδάφους ή ενός όγκου βράχου, οι οποίες κινήσεις μπορεί να εκδηλωθούν σε υπεράκτιες, παράκτιες και χερσαίες περιοχές.

Ο Terzaghi (1950) θεωρεί την κατολίσθηση ως μία ραγδαία κίνηση μάζας πετρώματος εναπομένου εδάφους ή ιζήματος ενός πρανού, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

**Number of Occurrences of Avalanche/Landslide Disasters by Country:
1974-2003**



Σχήμα 0.4 Παγκόσμιος Χάρτης Κατολισθητικής Επικινδυνότητας (EM-DAT, 2016). Αφορά το χρονικό διάστημα 1974-2003.

Τα δύο πιο γνωστά συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, που εξελίχθηκαν βέβαια στην πορεία του χρόνου και είναι γενικότερα αποδεκτά σήμερα, είναι αυτά που προτάθηκαν από τον J.N. Hutchinson (1968) και D.J. Varnes (1978). Και τα δύο βασίζονται στις παρακάτω τέσσερις κύριες παραμέτρους:

- α. τύπος κίνησης, (5 τύποι: ολισθήσεις, καταπτώσεις, ανατροπές, πλευρικές εξαπλώσεις, ροές-ρεύματα)
- β. τύπος υλικού, (3 τύποι: βραχώδες, εδαφικό, κορήματα),
- γ. ταχύτητα κίνησης, (7 φάσματα τιμών: από εξαιρετικά ταχεία 5μ/δευτ., έως εξαιρετικά αργή ≤ 50 χλστ/έτος)
- δ. περιεχόμενη υγρασία. (4 κατηγορίες: ξηρή κατάσταση, παρουσία υγρασίας αλλά όχι κινούμενο νερό, σημαντική παρουσία νερού κινούμενου ή επιφανειακά λιμνάζοντος, και πλήρως κορεσμένο με νερό υλικό που ρέει σαν ρευστό σε μικρές κλίσεις πρανούς)

Παρά τις αρχικές τους διαφορές τα συστήματα αυτά συνέκλιναν σταδιακά και χρησιμοποιούν σήμερα την ίδια βασικά ορολογία. Η παραμένουσα διαφορά έγκειται στο ότι το σύστημα του Varnes, είναι ίσως πιο εύκολο στην εφαρμογή, ενώ του Hutchinson έλκει περισσότερο το μηχανικό που ασχολείται με την ανάλυση της ευστάθειας του υπό μελέτη πρανούς (Crozier, 1986).

Ο Varnes (1978) προτείνει ένα σύστημα ταξινόμησης, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλων των ειδών οι κινήσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρανή, αφήνοντας εκτός περιγραφής

τις κινήσεις που αφορούν τις καθιζήσεις. Η ταξινόμηση που προτείνει ο *Varnes* στηρίζεται σε δυο (2) κύρια κριτήρια, τον τύπο της κίνησης και τον τύπο της μάζας που κινείται. (Πίνακας 1).

Έτσι, ανάλογα με τον τεχνικογεωλογικό τύπο του υλικού, διακρίνουμε:

- την κατηγορία των βραχωδών σχηματισμών (rock), όπου η κίνηση αναφέρεται είτε σε συμπαγή-μεμονωμένα τεμάχια, είτε σε βραχομάζα (rockmass) αποτελούμενη από σύνολο βραχωδών τεμαχίων διακεκριμένων μέσω δομικών ασυνεχειών (διακλάσεις, στρώσεις, κλπ), και
- δύο κατηγορίες εδαφικών σχηματισμών : τα κορήματα (debris) με επικράτηση αδρομερούς-χονδρόκοκκου υλικού και τις γαίες (earth) με επικράτηση του λεπτομερούς-λεπτόκοκκου υλικού

Ανάλογα δε, με τον τύπο της κίνησης, διακρίνουμε:

- τις καταπτώσεις (falls)
- τις ανατροπές (topples)
- τις ολισθήσεις (slides)
- τις πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)
- τις ροές (flows)
- τις σύνθετες κινήσεις (complex)

Ας σημειωθεί τέλος ότι, ο τύπος της σύνθετης κατολίσθησης δεν εμφανίζεται στην επίσημη, ισχύουσα σήμερα ταξινόμηση, παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες κατολισθητικές κινήσεις είναι σύνθετες. Δηλαδή, συνδυάζουν περισσότερες του ενός τύπου κινήσεις, πλην όμως, σχεδόν πάντοτε ένας τύπος είναι ο χαρακτηριστικός που επικρατεί.

Ο *Erskine* (1973), παίρνοντας υπόψη περιβαλλοντολογικά στοιχεία και τις απαιτήσεις για επιμέρους χρήσεις γης, εισάγει πρώτος το κριτήριο της *ενεργότητας τους (activity)*, με βάση το οποίο ταξινομεί τις κατολισθήσεις στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

- σταθεροποιημένες κατολισθήσεις (αυτές που δεν έχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης)
- πρόσφατα ενεργές κατολισθήσεις (αυτές όπου εκδηλώνονται πρόσφατες κινήσεις, χωρίς προηγούμενο παρελθόν)
- κατολισθήσεις που ανέδρασαν πρόσφατα (μετά από μία περίοδο σταθεροποίησης) και
- ενεργές κατολισθήσεις (αυτές με μακρύ, χρονικά, παρελθόν μετακινήσεων που δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί).

Πίνακας 0-1 Ταξινόμηση μετακίνησης πρυνών κατά Varnes (1978).

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ (αστοχίας)		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν την κίνηση)		
		Βραχώδης σηματισμός	Εδαφικός σχηματισμός	
			Επικρατούν τα αδρο- μερή υλικά, <i>κορήματα</i> (<i>debris</i>)	Επικρατούν τα λεπτόκοκκα υλικά, <i>γαίες (earth)</i>
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	<i>μικρή καθίζηση (αρχικά) και</i> Περιστροφή βράχων	<i>μικρή καθίζηση (αρχικά) και</i> Περιστροφή κορημάτων	<i>μικρή καθίζηση (αρχικά) και</i> Περιστροφή γαιών
	Μεταθετικές (ή στρωματοειδείς)	Ολίσθηση ενιαίας βραχομάζας (με παρουσία ή μη διακλάσεων)	Ολίσθηση κορημάτων	Ολίσθηση γαιών
<i>Πλευρικές εκτάσεις (lateral spreads)</i>		Πλευρική έκταση βράχων	Πλευρική έκταση κορημάτων	Πλευρική έκταση γαιών
Ροές		Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
Σύνθετες		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης		

Οι Zaruba - Mencl (1976,1982) χρησιμοποιώντας την εμπειρία της γεωλογικής δομής της χώρας τους κατέταξαν τις κατολισθητικές κινήσεις σε δύο κατηγορίες γεωλογικού υλικού:

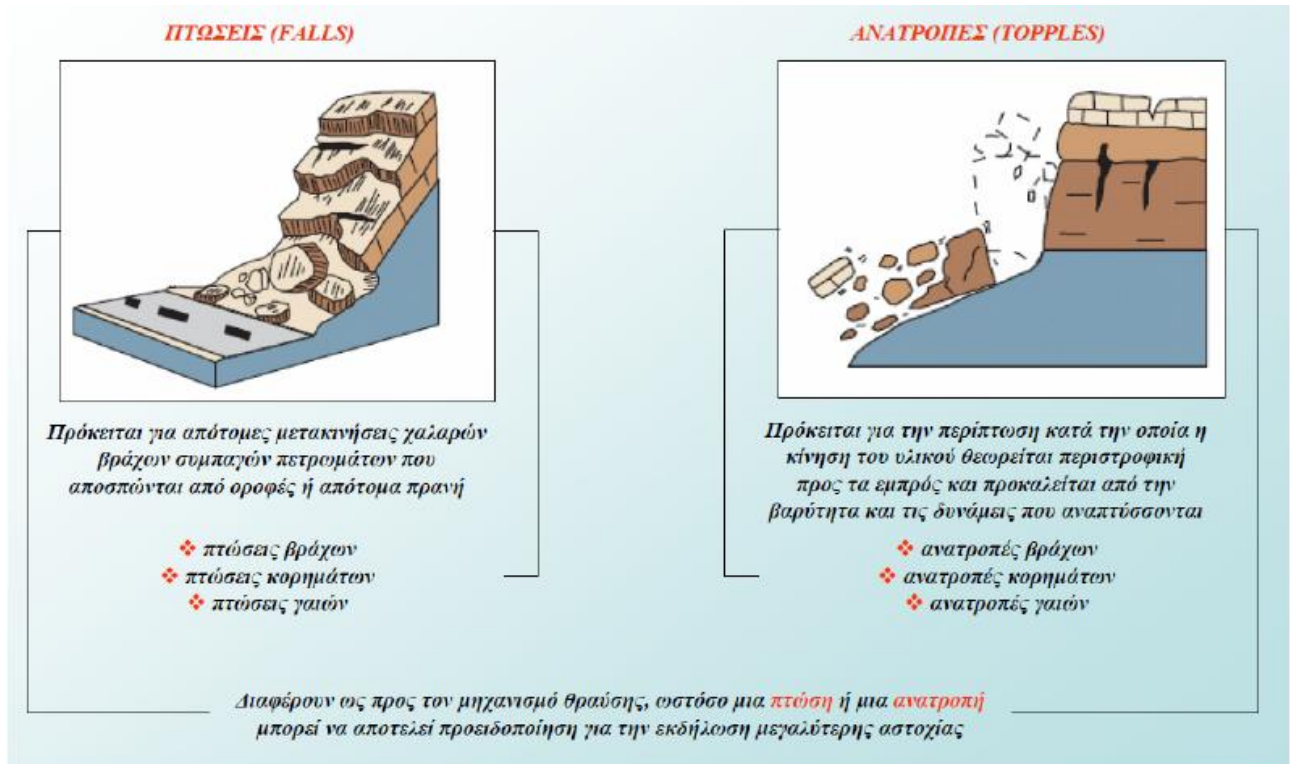
- αυτές που αφορούν τους εδαφικούς σχηματισμούς του *τεταρτογενούς καλύμματος* (χαλαρές αποθέσεις, ζώνη αποσάθρωσης ή κερματισμού), και
- αυτές που αφορούν τη βραχομάζα του προ-τεταρτογενούς υποβάθρου (διάφορες κατηγορίες γεωλογικής δομής)

Οι τύποι μετακίνησης που αντιστοιχούν σ' αυτές είναι οι εξής:

- περιστροφικές,
- μεταθετικές-στρωματοειδείς,
- καταπτώσεις,
- ροές-ρεύματα,

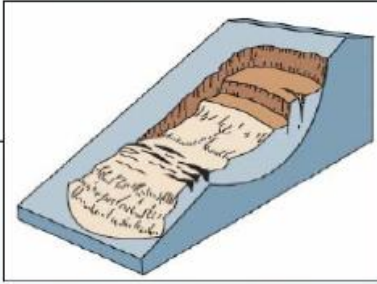
- ερπυσμοί,
- συνθλίψεις-εξαπλώσεις μαλακών πετρωμάτων.

Αναλυτικότερα και σύμφωνα με την ταξινόμηση των *Varnes* (1978), και *Cruden & Varnes* (1996), τα είδη των κατολισθητικών κινήσεων είναι τα ακόλουθα (Σχήματα 2.5, 2.6, 2.7 και 2.8):



Σχήμα 0.5 Πτώσεις και ανατροπές (Πηγή: Τσαγγαράτος, 2012)

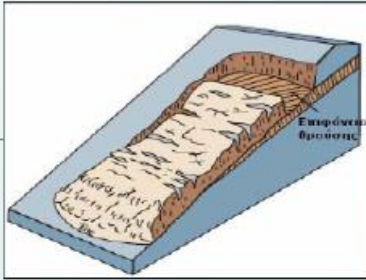
ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΕΣ (ROTATIONAL SLIDES)



- ❖ κάρηση βράχων
- ❖ κάρηση κορημάτων
- ❖ κάρηση γαιών

Πρόκειται για ολίσθηση ή μετακίνηση κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών θραύσης. Η πιο συνηθισμένη μορφή περιστροφικής ολίσθησης είναι η κάρηση (slump) με μικρή παραμόρφωση, η οποία αποτελεί ίσως και το μεγαλύτερο ποσοστό αστοχιών που συναντάται σε φυσικά ή τεχνητά πρανή

ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΘΕΤΙΚΕΣ (TRANSLATIONAL SLIDES)



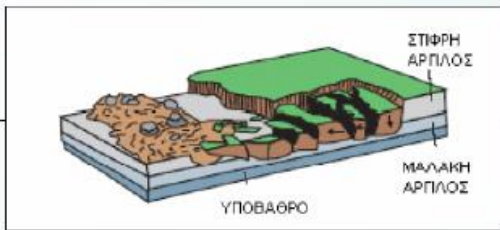
- ❖ ολίσθηση τεμάχου, ολίσθηση βράχων
- ❖ ολίσθηση τεμάχου
- ❖ ολίσθηση τεμάχου γαιών, ολίσθηση γαιών



Πρόκειται για ολίσθηση ή μετακίνηση όπου η μάζα προχωρά προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλά κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή περιστροφική κίνηση ή κάμψη

Σχήμα 0.6 Ολίσθήσεις (περιστροφικές και μεταθετικές) (Πηγή Τσαγγαράτος, 2012)

ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ



- ❖ έκταση βράχων
- ❖ έκταση κορημάτων
- ❖ έκταση γαιών

Επικρατεί η πλευρική διάταση που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές

Θεωρούνται ως ο τύπος των κατολισθήσεων με την εκδήλωση μερικών από τα πιο καταστροφικά φαινόμενα μετακίνησης πρανών, σε απόλυτες ζωής και καταστροφής περιουσιών

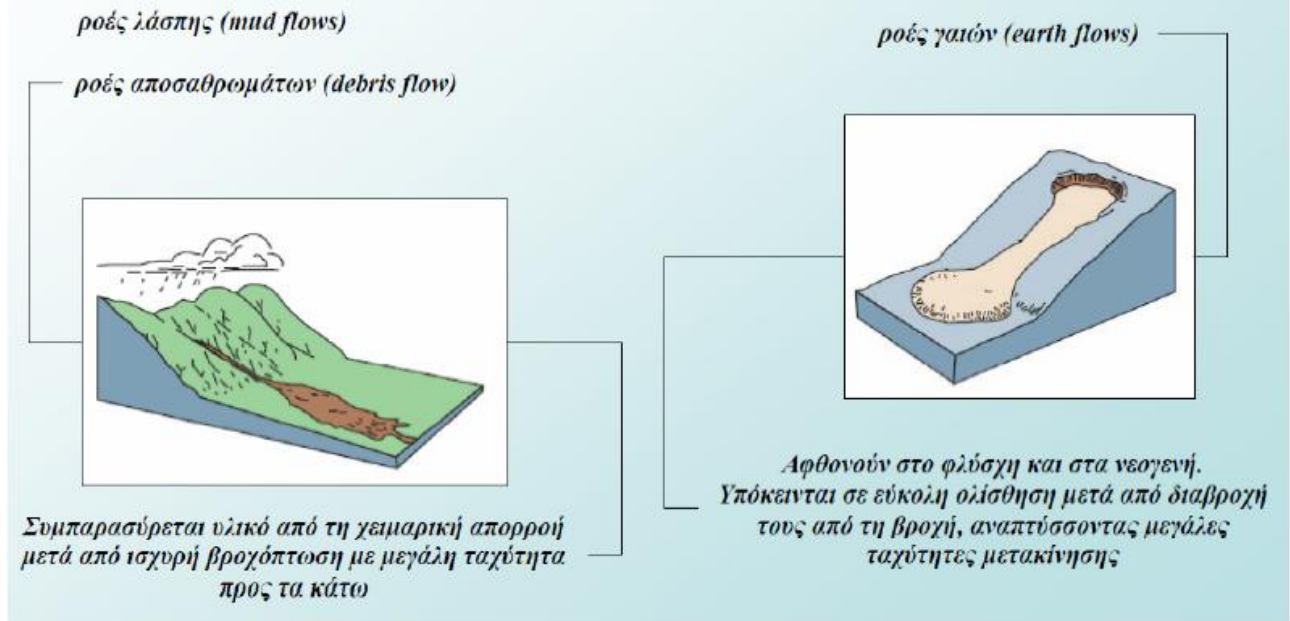
Διακρίνονται δυο τύποι πλευρικών εκτάσεων:

- ❖ εκείνες όπου η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα
- ❖ εκείνες όπου δημιουργείται κερματισμός και διάταση συνεκτικού υλικού, είτε του υποβάθρου είτε εδάφους, λόγω υγροποίησης ή πλαστικής ροής των υπερκειμένων υλικών

Σχήμα 0.7 Πλευρικές εκτάσεις (Πηγή Τσαγγαράτος, 2012)

ΡΟΕΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΓΑΙΩΝ

Πρόκειται για μετακινήσεις αποσαθρωμάτων και προϊόντων διάβρωσης, που προκαλούνται από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες και ελέγχονται από το χαρακτήρα των αποσαθρωμάτων και τη μορφολογία των πρανών, ανάλογα με τη φύση των υλικών και τη συνεκτικότητά τους οι ροές γαιών διακρίνονται σε:



Σχήμα 0.8 Ροές αποσαθρωμάτων και γαιών(Πηγή Τσαγγαράτος, 2012)

2.3 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων προκαλείται από την συνδυασμένη δράση πολλών και διαφορετικών μεταξύ τους παραγόντων. Μερικοί από τους παράγοντες επιδρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ άλλοι επιδρούν περιοδικά και αποτελούν το έναυσμα για την εκδήλωση του φαινομένου.

Σύμφωνα με το UNESCO Working Party on World Landslide Inventory WP/WLI 1990, δεν είναι σωστή η χρήση του όρου αίτια κατολισθήσεων αλλά συνθήκες και διεργασίες οι οποίες οδηγούν στην αλλαγή του καθεστώτος ισορροπίας του πρανούς. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- οι συνθήκες εδάφους
- οι γεωμορφολογικές διαδικασίες
- οι φυσικές διεργασίες
- οι ανθρωπογενείς παράγοντες (Popescu M. 1996)

Αναλυτικότερα οι παράγοντες που ελέγχουν το φαινόμενο της κατολίσθησης είναι :

1. Η δομή του γεωλογικού υπόβαθρου και η τεκτονική της περιοχής. Ένα έδαφος που αποτελείται από εναλλαγές πολλών ετερογενών στρωμάτων, είναι πιθανότερο να παρουσιάσει κατολισθητικά φαινόμενα, λόγω των πολλών πιθανών επιφανειών ολίσθησης, από ένα άλλο έδαφος το οποίο αποτελείται από ένα μόνο στρώμα. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η κλίση των στρωμάτων.
2. Το είδος των πετρωμάτων και εδαφών της περιοχής. Υπάρχουν πετρώματα, τα οποία είναι περισσότερο επιρρεπή σε κατολισθήσεις, όπως ο φλύσχη και τα αργιλικά εδάφη.

3. Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Το ύψος του νερού που πέφτει στην περιοχή, με τη μορφή βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης μπορεί να οδηγήσει σε κατολίσθηση.
4. Η σεισμικότητα και την ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθώς και το υπόβαθρο. Οι σεισμικές δονήσεις μπορούν πολλές φορές να αποτελέσουν την αφορμή για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης, προσθέτοντας στις ήδη ασταθείς μάζες την επιπλέον δυναμική φόρτιση, που τις ωθεί στην ολίσθηση. Θα πρέπει να αναφερθούμε στην επικινδυνότητα που επιδεικνύουν περιοχές με νεοτεκτονική δραστηριότητα.

Υπάρχουν ακόμα και κάποιοι μηχανισμοί ενεργοποίησης των κατολισθητικών φαινομένων. Όσον αφορά τους μηχανισμούς ενεργοποίησης χωρίζονται σε :

- Μηχανισμούς ενεργοποίησης, οι οποίοι οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες και συντελούν στην αύξηση της διατμητικής τάσης όπως:
 - Αύξηση του φαινομένου ειδικού βάρους, ή βάρους του όγκου των υλικών, λόγω της βροχόπτωσης (επιρροή του κλίματος).
 - Αύξηση της κλίσεως των πρानών μπορεί να γίνει είτε από φυσικούς παράγοντες, είτε από ανθρώπινη επέμβαση.
 - Αύξηση του βάρους από επιβολή φορτίου.
- Μηχανισμούς ενεργοποίησης, οι οποίοι οφείλονται σε ενδογενείς παράγοντες και συντελούν στην μείωση της διατμητικής αντοχής όπως:
 - Αύξηση της ανώσεως που εξασκείται σε μια μάζα από τα υπόγεια νερά . Η αύξηση της πίεσεως του νερού των πόρων, γνωστή και ως ουδέτερη τάση u_w
 - Η ελάττωση της συνοχής προκαλείται συνήθως από τις επιδράσεις των υπόγειων νερών
 - Ελάττωση της τριβής προκαλείται κυρίως από την παρουσία νερού
 - Αύξηση του ύψους και του πλάτους της εκτομής του πρानούς

2.4 Φαινόμενο κατολισθήσεων στο Ελλαδικό χώρο

Σύμφωνα με στοιχεία που καταγράφηκαν από τις τεχνικές εκθέσεις του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) αλλά και του Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ), το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθητικών κινήσεων που εκδηλώνονται στον Ελληνικό χώρο, αναφέρεται σε οικιστικές περιοχές και οδικούς άξονες (Ζιούκρας 1989; Κούκης & Ζιούκρας, 1989; Koukis & Ziourkas, 1991; Koukis et al., 1997; Βασιλειάδης, 2010).

Τα κατολισθητικά φαινόμενα αποτελούν ιδιαίτερα συχνά φυσικά φαινόμενα, η εκδήλωση των οποίων οφείλεται στις γεωλογικές, τεκτονικές και κλιματικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από το παρελθόν έως σήμερα, σε συνδυασμό βεβαίως με την άμεση και έμμεση ανθρώπινη δραστηριότητα. Στα πλαίσια της αυξημένης αστικοποίησης και της αύξησης στην κατασκευή τεχνικών έργων, η μέχρι και πριν από κάποια χρόνια πρακτική ήταν η μερική, ή ολική αγνόηση του τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος.

Το πρόβλημα παρουσιάζεται εντονότερο στην Κεντρική και Δυτική Ελλάδα, καθώς επίσης και στις περιοχές της Πιερίας, της Ηλείας, της Μαγνησίας, της Εύβοιας, περιοχές οι οποίες, κατά τον Σκιά (1998), χαρακτηρίζονται ως κλιματικά ευαίσθητες και μηχανικά ασταθείς. Αναφορικά με την χωρική κατανομή και τη συχνότητα των κατολισθητικών τάσεων στον Ελλαδικό χώρο, οι Κούκης & Ρόζος (1982) διέκριναν τρεις σαφείς ενότητες:

- **Δυτική,**
- **Κεντρική και**
- **Ανατολική,**

με τους σχηματισμούς να εντάσσονται σε γεωτεκτονικές ζώνες με χαρακτηριστική γεωμηχανική συμπεριφορά, απόκτημα της γεωτεκτονικής εξέλιξης και των αποσαθρωτικών και διαβρωτικών διεργασιών. Οι περισσότερες και μεγαλύτερες κατολισθήσεις που εκδηλώθηκαν ή εκδηλώνονται στον Ελληνικό χώρο, αποτελούν κατά κύριο λόγο ευαίσθητες γεωλογικά ζώνες και εντοπίζονται ιδιαίτερα στην Κεντρική και Δυτική Ελλάδα, όπου οι διάφοροι παράγοντες όπως η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών, η δράση των τεκτονικών-νεοτεκτονικών δυνάμεων, το τοπογραφικό ανάγλυφο και οι κλιματικοί παράγοντες (απότομες και μεγάλου ύψους ροές, παρατεταμένες χιονοπτώσεις και μεγάλης διάρκειας παγετός), έχουν διαμορφώσει συνθήκες κατάλληλες για την εκδήλωση κατολισθήσεων και μάλιστα σε ευρεία κλίμακα, ώστε να δημιουργούν σοβαρά προβλήματα (Κούκης, 1980; Koukis, 1988).

Οι γενικότερες γεωλογικές και τεκτονικές δομές που αφορούν και τις τρεις ενότητες, οι οποίες θεωρούνται ότι ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, χαρακτηρίζονται από (Κούκης & Ρόζος, 1982, Ζιούρκας, 1989):

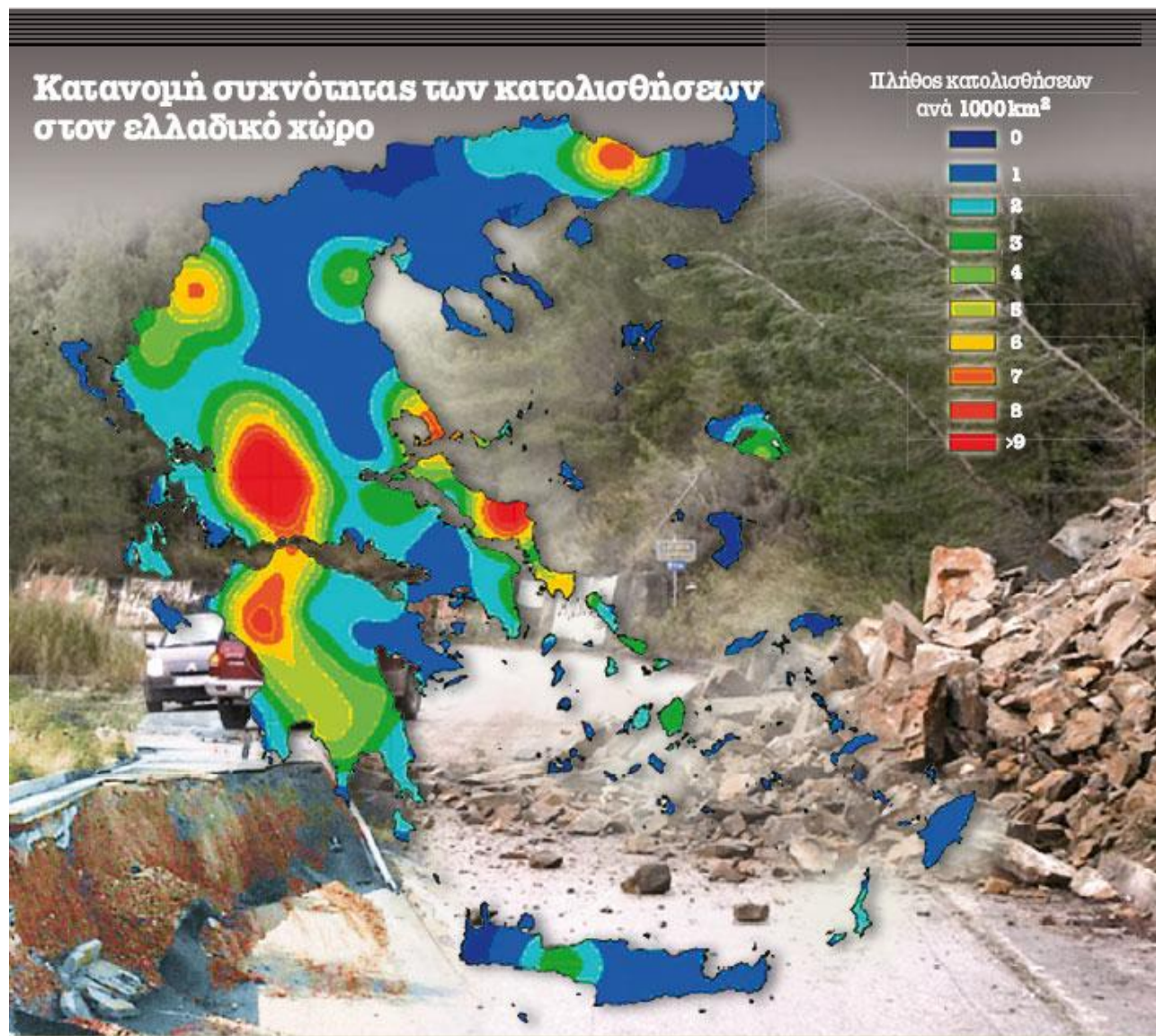
- Γεωλογικούς σχηματισμούς υψηλότερης μηχανικής αντοχής που καλύπτουν σχηματισμούς με μικρότερη μηχανική αντοχή. Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάσσονται οι συμπαγείς σχηματισμοί, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλή διατμητική αντοχή, παρουσιάζουν αντίσταση στη διάβρωση και επιτρέπουν τη δημιουργία πρανών με μεγάλη μορφολογική κλίση.
- Εναλλαγές στρωμάτων που έχουν διαφορετικές τιμές παραμέτρων μηχανικής αντοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων σχηματισμών αποτελεί ο φλύσχης, όπου οι κατολισθήσεις ευνοούνται περαιτέρω εξαιτίας της επιλεκτικής δράσης των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών συνθηκών.
- Δομές που επηρεάζονται από την τεκτονική δραστηριότητα. Αφορά τους σχηματισμούς οι οποίοι παρουσιάζονται να έχουν χαλαρωμένη δομή από αυτή που παρουσιάζουν οι υποκείμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί.

Πίνακας 0-2 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων σε διαφορετικές λιθολογικές ενότητες (Ζιούρκας

Λιθολογικές Ενότητες	Συχνότητα Κατολισθήσεων (%)	Ποσοστό έκτασης (%)	Σχετική συχνότητα κατολισθήσεων
Ηφαιστειακά πετρώματα	2.75	12.58	2.20
Μεταμορφωμένα σχιστώδη πετρώματα	8.61	18.35	4.80
Ανθρακικά πετρώματα	3.62	19.50	1.90
Στρώματα σειράς μετάβασης προς το φλύσχη	3.00	1.22	25.00
Φλύσχης	35.58	8.48	42.80
Νεογενή – Μολάσες	30.21	24.00	12.80
Τεταρτογενείς αποθέσεις	16.23	15.87	10.40

(Ζιούρκας 1989, από την αρχειοθέτηση 802 κατολισθήσεων από τον Ελλαδικό χώρο).

Αποτυπώνοντας τη στατιστική προσέγγιση και δίνοντας τη χωρική διάσταση του φαινομένου των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο, οι Βασιλειάδης (2010) και Sabatakakis et al. (2013) παρουσίασαν τη γεωγραφική κατανομή των κατολισθήσεων, όπου διακρίνονται σαφώς περιοχές με αυξημένη πυκνότητα κατολισθητικών συμβάντων κυρίως στη κεντρική και δυτική Ελλάδα (Σχήμα 2-9). Στον ίδιο χάρτη διακρίνεται η αυξημένη συχνότητα των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της Κύμης, που αποτελεί και την περιοχή έρευνας της παρούσας διπλωματικής. Από στοιχεία, μελέτες και έρευνες που χρονολογούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, φαινόμενα γεωλογικών αστοχιών είναι εκτενή στην ευρύτερη περιοχή και εντοπίζονται κυρίως σε φυσικά πρηνή που δομούνται από μαργαϊκούς σχηματισμούς.



Σχήμα 0.9 Γεωγραφική κατανομή των κατολισθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή Κουτσομέρης 2011).

Σε γενικές γραμμές, ειδικά για τον Ελλαδικό χώρο, η γεωλογική και γεωμορφολογική πολυμορφία με τις μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, την έντονη τεκτονική παραμόρφωση και την υψηλή σεισμικότητα, εξηγούν τον μεγάλο αριθμό κατολισθήσεων. Ιδιαίτερα οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες συχνά γίνονται αλόγιστα και χωρίς μελέτη και

προγραμματισμό, έχουν ως απότοκο την καταστροφή των δασών και την αφαίρεση της φυσικής υποστήριξης των πρηνών, με αποτέλεσμα, μόνο κατά μήκος του οδικού δικτύου, να έχουν καταγραφεί πάνω από 500 περιπτώσεις αστοχίας τα τελευταία 50 χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Γενικά στοιχεία της περιοχής

Ο Δήμος Κύμης - Αλιβερίου είναι δήμος της περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας που συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Ν.3852/2010, ΦΕΚ Α' 87/07-06-2010) από την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Δυστίων, Ταμιναίων, Κονιστρών, Αυλώνας και Κύμης. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 801,21 τ.χλμ ενώ ο μόνιμος πληθυσμός μετά τη συγχώνευση και με βάση την απογραφή του 2011 ανέρχεται σε 28.437 κατοίκους. Έδρα του Δήμου είναι το Αλιβέρι και ιστορική έδρα η Κύμη.

Η περιοχή έρευνας που μελετάμε βρίσκεται στο ΒΑ άκρο της κεντρικής Εύβοιας. Συνδέεται με την Χαλκίδα μέσω του Αλιβερίου και του ομώνυμου λιμανιού της Κύμης. Η περιοχή της έρευνάς μας που αφορά τον πρώην Δήμο Κύμης που περιελάμβανε τα δημοτικά διαμερίσματα Μετοχίου, Ανδρωλιανών, Βιτάλου, Ποταμιάς, Καλημεριανών, Ενορίας, Πύργου, Ταξιαρχών, Πλατάνας και Μαλετιανών, έχει έκταση 167,6 km² και πληθυσμού 10.735 κατοίκους σύμφωνα με τα στοιχεία απογραφής του 2011.

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, που συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην περιοχή της Κύμης από το 1932 έως το 1990, μας παρέχουν τα εξής στοιχεία :

- Η μέση θερμοκρασία της περιοχής ανέρχεται περίπου στους 16⁰C, καθώς επίσης και ότι ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 8,6⁰C και έπειτα ακολουθεί ο Φεβρουάριος με 8,5⁰C, ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος με 10⁰C. Θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση μηνιαία θερμοκρασία 24,9⁰C, ακολουθεί ο Αύγουστος με 24,8⁰C και ο Ιούνιος με 22,8⁰C.
- Η μέση τιμή της ατμοσφαιρικής υγρασίας, η οποία επηρεάζει αποφασιστικά στην πορεία του υδρολογικού κύκλου καθώς αποτελεί πηγή τροφοδοσίας όλων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ανέρχεται στο 61,7%. Η μέση τιμή της σχετικής υγρασία τους καλοκαιρινούς μήνες ανέρχεται κοντά στο 50%, ενώ τους μήνες από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο οι τιμές κυμαίνονται από 66% έως 70% με τους υπόλοιπους μήνες οι τιμές να βρίσκονται κοντά στην μέση ετήσια τιμή.
- Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, με βάση το οποίο προσεγγίζονται οι διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ανέρχεται σε 1071mm. Ο πιο βροχερός μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέση μηνιαία τιμή 180,2mm και ακολουθούν ο Δεκέμβριος και ο Φεβρουάριος με μέση τιμή 173,9mm και 164,7mm αντιστοίχως. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι το 48,5% του συνολικού μέσου ετήσιου ύψους ανέρχεται σημειώνεται τον χειμώνα και ακολουθεί το φθινόπωρο με 27,4%, η άνοιξη με 20,3% και τέλος το καλοκαίρι με 6,8%.

Το ήπιο κλίμα της περιοχής και οι σημαντικές βροχοπτώσεις αλλά και η σύσταση του εδάφους έχουν δημιουργήσει συνθήκες για πλούσια βλάστηση και μεγάλη βιοποικιλότητα. Στην περιοχή της Κύμης και ευρύτερα αυτής παρουσιάζεται μεγάλη ποικιλία βλάστησης, πυκνά δάση, θαμνώδες εκτάσεις βραχύτοποι και εύφορες γαιώδης εκτάσεις με καλλιέργειες αμπελιών, σιτηρών καθώς επίσης καλλιέργειες με ελιές, συκιές και κερασιές. Η φυτοκάλυψη της περιοχής είναι εκτεταμένη κυρίως με φυλλοβόλα δέντρα. Σύμφωνα με τον *Φιλίωτη (2011)* η γενικότερη κατάσταση του

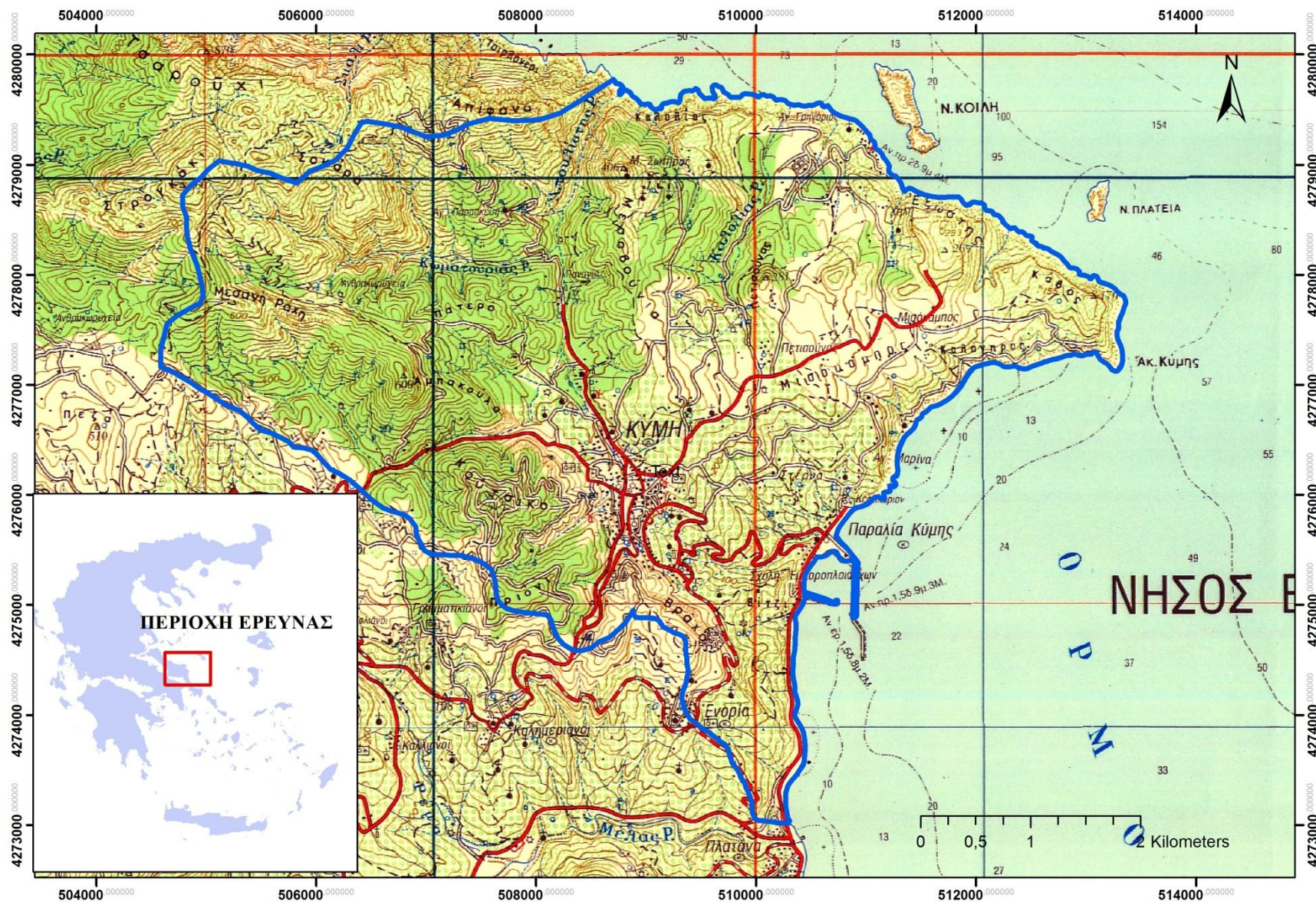
τοπίου της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται ως καλή, χωρίς σημαντική υποβάθμιση, ενώ η μελλοντική τάση αλλαγής του τοπίου χαρακτηρίζεται ως αργή υποβάθμιση.

Αναλυτικά, η περιοχή έρευνας της διπλωματικής διαπιστώθηκαν οι παρακάτω υδρογεωλογικές λεκάνες (Ηλία, 2013):

Μεσολεκανώδης περιοχή ανατολικά της Κύμης. Πρόκειται για ζώνη έκτασης 8.23km² ανατολικά της Κύμης που οριοθετείται κατά τη νοητή γραμμή Πλατάνα – Ενορία – Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο Κύμης και αποστραγγίζεται επιφανειακά από πλήθος μικρό ρεμάτων τα οποία εκβάλουν στον όρμο της Κύμης. Η μορφολογία της περιοχής, η οποία δομείται από γεωλογικούς σχηματισμούς του Νεογενούς, χαρακτηρίζεται ως έντονη, με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 150 έως 250, ενώ οι απολήξεις της στη θάλασσα διαμορφώνουν σχεδόν κατακόρυφα πρανή.

Μεσολεκανώδης περιοχή βόρεια της Κύμης. Πρόκειται για ζώνη έκτασης 5.87km² βόρεια της Κύμης που οριοθετείται στα δυτικά από τη λοφοσειρά Μεσοβούνια και στα νότια κατά τη νοητή γραμμή Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο Κύμης. Η ύπαρξη εμφανούς τοπογραφικής κλίσης με βόρειο προσανατολισμό έχει ως αποτέλεσμα η περιοχή να αποστραγγίζεται επιφανειακά από πλήθος μικρό ρεμάτων τα οποία εκβάλουν αυτόνομα στη θάλασσα, εκατέρωθεν του οικισμού της Χιλής. Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής χαρακτηρίζεται ως παράλληλος.

Λεκάνη απορροής Απουλίστης ρέμα. Έχει έκταση 14.68km² και οριοθετείται από τα υψώματα Κούτσικο (515m), Μεσιανή Ράχη (640m) στα νοτιοδυτικά και από τα υψώματα Μεσοβούνια στα ανατολικά. Το ανάγλυφο σε όλη την έκταση της λεκάνης είναι έντονο κυμαίνονται από 40ο έως 50ο. Μικρότερες μορφολογικές κλίσεις, της τάξης των 20ο, διαμορφώνονται στον κεντρικό τομέα της λεκάνης, μεταξύ της πόλης της Κύμης και της θέσης Πατερό.



Εικόνα 0-1 Χάρτης περιοχής έρευνα (ΓΥΣ, Σεπτέμβριος 1989)

3.2 Γεωλογικά, τεκτονικά και σεισμικά στοιχεία περιοχής έρευνας

3.2.1 Γεωλογικά στοιχεία

Οι σχηματισμοί που ανήκουν στην κατηγορία σκληρών εδαφών –μαλακών βράχων χαρακτηρίζονται από τη χαμηλή αντοχή και από υψηλούς ρυθμούς φθοράς, μεγάλο πορώδες, μικρή συνοχή και ασταθή συστατικά. Επιπλέον, παρουσιάζουν σχετική ευαισθησία σε μηχανικές διεργασίες και στην έκθεση στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, λόγω φθοράς των αρχικών χαρακτηριστικών τους (Akai, 1993, Rodrigues, 1993).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή έρευνας καθώς και την ευρύτερη περιοχή της Κύμης, εντάσσονται στην ενότητα της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας η οποία αποτελείται από ένα Παλαιοζωϊκό υπόβαθρο εν μέρει μεταμορφωμένο και από μια Μεσοζωϊκή σειρά μη μεταμορφωμένων σχηματισμών στην οποία παρεμβάλλονται τεκτονικά τεράστιες μάζες οφιολιθικών πετρωμάτων.

Ο Κατσικάτσος (1992) διέκρινε ότι η ευρύτερη περιοχή της έρευνας δομείται από μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης και από μεταλλικά ιζήματα. Αλπικοί σχηματισμοί βρίσκονται σε συμφωνία επίκλησης πάνω στο κρυσταλλικό υπόβαθρο στην περιοχή Στροπονών - Μετοχίου, ενώ τα μεταλλικά ιζήματα συνίσταται κυρίως από λεπτομερείς λιγνιτοφόρους νεογενείς αποθέσεις, που στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας φιλοξενούν ηφαιστειακές λάβες.

Οι λιθολογικές ενότητες που δομούν την περιοχή έρευνας με κατάταξη από τις πιο νέες στις παλαιότερες έχουν ως εξής :

- **Ολοκαινικές αποθέσεις**

Οι πρόσφατες αποθέσεις του Τεταρτογενούς έχουν γενικά περιορισμένη ανάπτυξη στην περιοχή έρευνας. Αποτελούνται από πρόσφατα πλευρικά κορήματα στα πρανή των αλπικών σχηματισμών, από υλικά παλαιών αναβαθμιδών και πρόσφατων αποθέσεων κοίτης ποταμών και χειμάρρων, καθώς και παράκτιες χαλαρές αποθέσεις και χαρακτηρίζονται από μικρό βαθμό ή παντελή έλλειψη συνεκτικότητας.

- **Πλειστοκαινικές αποθέσεις**

Οι πλειστοκαινικές αποθέσεις περιλαμβάνουν πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων, καθώς και τις αποθέσεις που καλύπτουν την πεδινή ζώνη δυτικά – βορειοδυτικά την πόλη της Κύμης. Οι τελευταίες αποτελούνται από εναλλαγές ερυθρών αργίλων, άμμων και λατυποκροκαλοπαγών. Τα πλευρικά κορήματα είναι ασβεστολιθικά, αναπτύσσονται κυρίως στη βόρεια παραλιακή ζώνη και συγκεκριμένα στις εξόδους προς τη θάλασσα χειμάρρων, που διατρέχουν ασβεστολιθικές περιοχές. Είναι συνεκτικά, με επικράτηση των αδρομερών στοιχείων, ενώ κατά θέσεις συμμετέχουν μεγάλα ασβεστολιθικά τεμάχια.

- **Νεογενή ιζήματα**

Η ιζηματογένεση αρχίζει με την απόθεση του κροκαλοπαγούς βάσης πάνω σε φλυσχικό κυρίως υπόβαθρο, ακολουθεί η απόθεση μεγάλου πάχους λεπτομερών ιζημάτων, αποτελούμενων κυρίως από μάργες που φιλοξενούν και τα λιγνιτικά κοιτάσματα και τέλος έχουμε την απόθεση στρωμάτων που συνίστανται από επάλληλες διαστρώσεις κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και αργίλων.

- **Παλαιozoικό κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο**

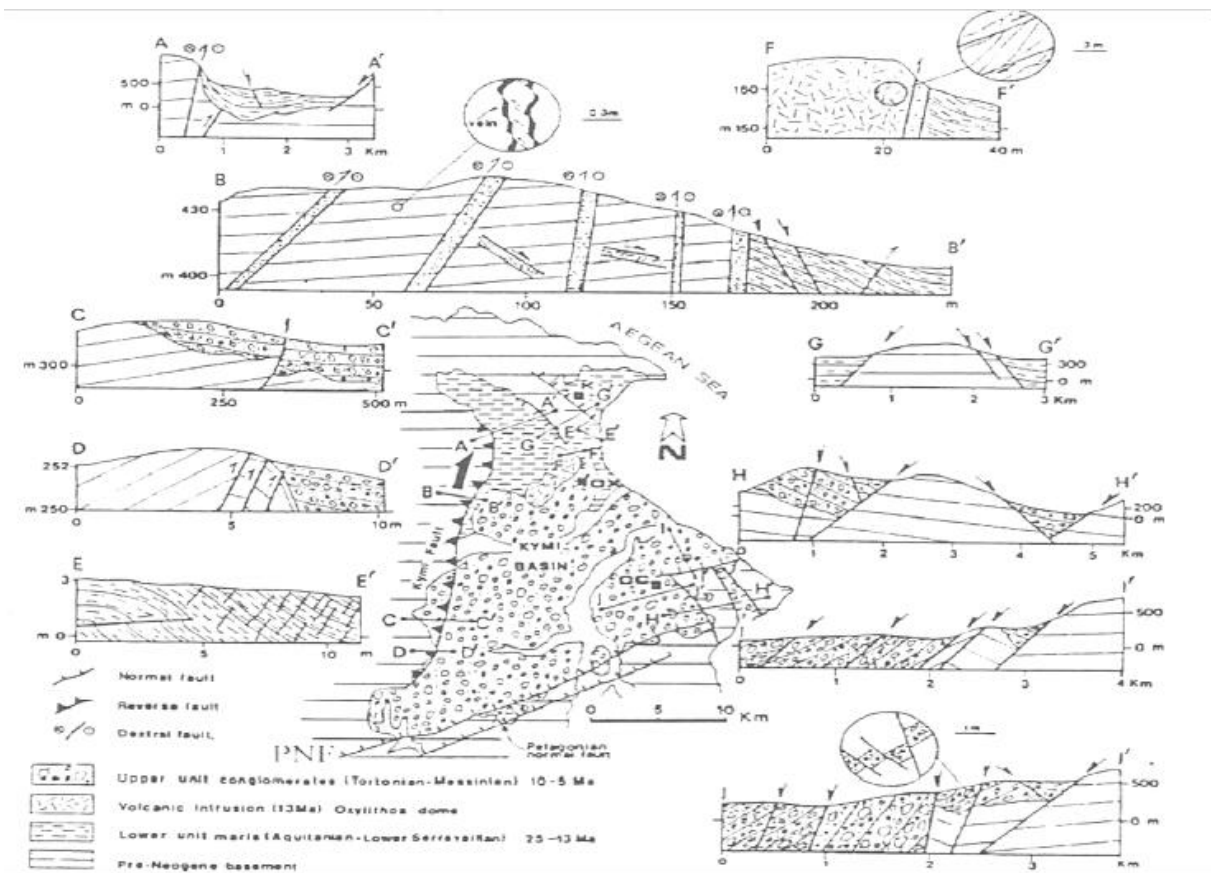
Εμφανίζεται στην περιοχή Στροπώνων – Μετοχίου και αποτελείται από γνευσίους, γνευσιοσχιστόλιθους, που τοπικά μεταπίπτουν σε μιγματίτες. Κατά θέσεις απαντώνται επίσης γρανιτικές διεισδύσεις και ενστρώσεις λευκών μαρμάρων.

3.2.2 Τεκτονικά στοιχεία

Ο Κατσικάτσος (1976) αναφέρει ότι στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης υπάρχουν τρεις πτυχογόνες φάσεις πριν το Τριτογενές, οι οποίες επηρέασαν και διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην κίνηση των υπόγειων νερών, καθώς και στη δημιουργία καρστικών πηγών. Πρόκειται για :

- Προ-ανωκρητιδικές φάσεις στο Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα (ΝΤΚ), με ισοκλινείς πτυχές και διεύθυνση 145° - 205° .
- Μετα-ανωκρητιδικές φάσεις κατά την επώθηση του ΝΤΚ πάνω στην ενότητα Αλυροποτάμου, με ισοκλινείς πτυχές, διεύθυνση 110° - 120° και ΝΔ ώθηση.
- Επώθηση Πελαγονικής στις ενότητες Αττικοκυκλαδικής ζώνης (ΑΚΖ) με ανισόπαχες πτυχές διεύθυνσης 60° - 80° και ώθηση ΝΑ.

Ο Κοκκαλάς (2001) αναφέρει ότι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης κυριαρχεί μεγάλου μήκους τεκτονική δομή (ρήγμα), γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, η οποία εντοπίζεται δυτικά της Κύμης και φέρνει σε επαφή τον φλύσχη και τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους με τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Ακόμα ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι από τα άλλα ρήγματα που παρατηρούνται στην περιοχή της Κύμης, σημαντικότερο είναι αυτό που εντοπίζεται βόρεια της Κύμης και φέρνει σε επαφή περιδοτίτες της Υποπελαγονικής ζώνης με τα νεογενή ιζήματα.



Εικόνα 0-2 Γεωλογικές τομές σε διάφορες θέσεις της νεοτεκτονικής λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου, (Kokkalas,2001)

Ο τεκτονικός χάρτης που παρουσιάζεται παρακάτω μας δείχνει τα κύρια ρήγματα και τις επωθήσεις της ευρύτερης περιοχής της Κύμης (Xyrolias et al., 2003). Στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης παρατηρείται η επώθηση της Κύμης στην οποία φαίνεται η κατακόρυφη ασυνέχεια της τάξης των 1300 m και σχετίζεται με κατακλασίτες πάχους 10 m ενώ ακόμα μπορούμε να παρατηρήσουμε συνθετικά ρήγματα καθώς επίσης και στυλολιθικούς σχισμούς. Μετά το μέσο Μειόκαινο και την ηφαιστειακή δραστηριότητα του Οξύλιθου η οποία οδήγησε στη διείσδυση ηφαιστειακού υλικού μήκους 5 km και πλάτους 1 km, ξεκινάει μια περίοδος επιμήκυνσης για τη λεκάνη σε δύο υποφάσεις: τέλη Μειοκαινού, Πλειστόκαινο και έτσι το σχήμα της λεκάνης αλλάζει έντονα από ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων ANA και NNA κατεύθυνσης (Kokkalas & Doutsos, 2001).

3.2.3 Σεισμικά στοιχεία

Η περιοχή της Κύμης ανήκει σε μια ζώνη χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από σύγχρονες και ιστορικές καταγραφές των ισχυρών σεισμικών συμβάντων στην περιοχή (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 2003).

Στον πίνακα που ακολουθεί μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι, για την περιοχή της έρευνάς μας, το πλήθος των σεισμικών καταγραφών κυμαίνεται από 5,0-6,6 βαθμούς της κλίμακας ρίχτερ. Στις μετρήσεις όμως αυτές υπάρχει και η πιθανότητα σφάλματος καθώς την περίοδο 1901-1964 υπήρχε απουσία καταγραφής σεισμικών δεδομένων με σειсмоγράφους για το μέγιστο ποσοστό των σεισμών με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό των συντεταγμένων. Ακόμα την περίοδο 1960-1970 λόγω έλλειψης μικροσεισμικών δεδομένων το εστιακό βάθος δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Τέλος, για τα σεισμικά συμβάντα από το 1964-2011 τα εστιακά βάθη και οι μετρήσεις είναι πιο ακριβείς καθώς οι καταγραφές στηρίζονται σε καταγραφές του Εθνικού Αστεροσκοπίου Αθηνών. Τα βιβλιογραφικά δεδομένα δερυνήθηκαν (Comninakis & Papazachos, 1986; Papazacos & Papazacou, 1989; Παπαζάχος & Παπαζάχου, 2003; Bulletin of International Seismological Centre, 1964-1984).

Πίνακας 0-1 Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥ 5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 23ο30' έως 24ο30' γεωγραφικό μήκος και 30ο15' έως 39.00ο γεωγραφικό πλάτος.

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜ-ΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	ΔΕΥΤ/ΤΟ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
198	ΑΥΓ	0	0	0	0	38.4	23.7		6.6
1417	ΙΟΥΛ	0	0	0	0	38.4	23.8		6.4
1694	ΙΟΥΛ	0	0	0	0	38.4	23.7		6.2
1726		0	0	0	0	38.5	23.6		6.0
1785	ΦΕΒ	24	0	0	0	38.4	23.5		6.0
1874	ΟΚΤ	18	4	0	100	38.5	23.8		6.0
1902	ΑΠΡ	11	18	35	30	38.5	23.5		5.5
1907	ΦΕΒ	15	23	40	100	39	23.5		5.3
1915	ΑΥΓ	19	11	0	32	38.3	23.5		5.1
1915	ΟΚΤ	8	0	30	37	38.3	23.5		5.0
1915	ΙΟΥΝ	26	4	45	34	38.4	23.7		5.0
1916	ΜΑΙΟΣ	10	21	5	11	38.4	23.5		5.3
1919	ΟΚΤ	20	22	14	49	38.4	23.9		5.1
1931	ΣΕΠΤ	13	13	4	0	38.5	23.5		5.0
1931	ΣΕΠΤ	11	17	2	2	38.4	23.5		5.2

1931	ΣΕΠΤ	11	17	56	8	38.7	23.5	5.3
1931	ΣΕΠΤ	11	8	32	2	38.7	23.5	5.0
1931	ΣΕΠΤ	13	8	34	26	38.7	23.5	5.0
1938	ΙΟΥΛ	20	0	23	35	38.3	23.8	6.0
1938	ΙΟΥΛ	27	1	29	10	38.3	23.8	5.0
1950	ΙΟΥΛ	15	6	33	50	38.7	24.3	5.0
1950	ΦΕΒΡ	22	14	21	33	39.0	24.2	5.0
1953	ΝΟΕΜ	8	14	45	48	38.7	23.6	5.2
1965	ΜΑΡΤ	13	4	9	38	39,0	23.7	5.5
1987	ΑΥΓ	27	16	46	48	38.9	23.8	5.2
2008	ΜΑΡΤ	9	23	1	52.4	38.92	24.17	35 5.0
2008	ΟΚΤ	4	2	6	34.7	38.85	24.17	24 5.6
2008	ΟΚΤ	4	2	16	57.9	38.87	23.61	21 5.1
2010	ΜΑΡΤ	9	2	55	00.9	38.87	23.65	22 5.1

Όπως βλέπουμε και παραπάνω ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει καταγραφεί στην περιοχή είναι της τάξεως των 6,6 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ, ωστόσο η μέτρηση αυτή επειδή έχει προκύψει από μακροσκοπική μέτρηση ενέχει σφάλμα γεγονός που οφείλεται στην σειсмоγράφου για περισσότερη ακρίβεια στην καταγραφή των δεδομένων.

Από στοιχεία του Υπουργείου Χ.Ο.Π. (Χωροταξίας, Οικισμού και Περιβάλλοντος) για την ευρύτερη περιοχή της Κύμης η μέγιστη ένταση σεισμού που καταγράφεται είναι περίπου 6R. Το μέγιστο πιθανό μέγεθος σεισμικής δραστηριότητας για την περιοχή της Κύμης, όπως έχει υπολογιστεί για τα επόμενα 100 χρόνια, είναι 6,6R με πιθανότητα 90% να μην υπερβεί αυτό το όριο.

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ. 2000) τα εδάφη κατατάσσονται σε 5 κατηγορίες Α, Β, Γ, Δ και Ε, οι οποίοι περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα :

- Κατηγορία Α

Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις πολύ σκληρής, προσυμπιεσμένης αργίλου, πάχους μικρότερου των 70m.

- Κατηγορία Β

Έντονα αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη, που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη υλικά. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m, ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.

- Κατηγορία Γ

Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.

- **Κατηγορία Δ**
Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($1\rho > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
- **Κατηγορία Ε**
Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλύδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα, χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Αναλυτικότερα οι σχηματισμοί που διακρίνονται στην περιοχή της έρευνας μας είναι οι ακόλουθοι :

- **Κορήματα** : Αποτελούνται κυρίως από γωνιώδη θραύσματα και τεμάχια ποικίλων διαστάσεων, ανθρακικής, συνήθως προέλευσης. Έχουν μέγεθος από μικρή ψηφίδα έως 15cm και όπου επικρατούν λεπτομερή υλικά παρουσιάζουν χαμηλή υδροπερατότητα ενώ η κίνηση του νερού στη μάζα τους είναι περιορισμένη και όχι ικανή για δημιουργία υδροφόρων σημαντικής δυναμικότητας. Πρόκειται γενικά για χαλαρούς έως μικρής τοπικά συνεκτικότητας σχηματισμούς, με μικρών τιμών γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.
- **Αλλούβια** : Πρόκειται για αποθέσεις κυρίως χαλαρές, ασύνδετες αδρομερείς, αποτελούμενες από κροκάλες, χάλικες και ψηφίδες ασβεστολιθικής κυρίως προέλευσης, άμμους και λεπτομερή υλικά σε μικρότερο ποσοστό. Εντοπίζονται κατά μήκος της κοίτης ποταμών και χειμάρρων της περιοχής και είναι μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας σχηματισμοί, με μικρό εύρος ανάπτυξης και μικρών τιμών γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Το πάχος τους κυμαίνεται ανάλογα με την τάξη του υδρογραφικού άξονα, αλλά γενικά δεν υπερβαίνει τα λίγα μέτρα στην περιοχή που εξετάζεται.
- **Κιτρινότεφρες μάργες** : Οι ενδιάμεσοι οριζόντες των νεογενών ιζημάτων ξεκινούν στρωματογραφικά από τις ανώτερες κιτρινότεφρες έως τεφρές μάργες, οι οποίες είναι κυρίως ασβεστιτικές, με διαστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων και με παρεμβολές λεπτών διαστρώσεων τεφρής αργίλου, ψαμμιτών και ψηφιδοκροκαλοπαγών. Το πάχος τους τοπικά είναι σημαντικό με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρτεσιανών υδροφόρων οριζόντων. Η ενότητα αυτή των μαργών, σε ξηρή κατάσταση έχουν καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, η οποία μπορεί να υποβαθμιστεί με την διαβροχή και τον κορεσμό. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι ημισυνεκτικοί και χαλαροί και χαρακτηρίζονται από μέση πλαστικότητα κατακερματισμένοι λόγω τεκτονικής δραστηριότητας. Οι εκτεταμένες αστοχίες πρανών που παρουσιάζουν αυτοί οι σχηματισμοί οφείλονται στην ανισότροπη γεωμηχανική συμπεριφορά λόγω της τάσης του σχηματισμού να δίνει μεγάλου μήκους μανδύα αποσάθρωσης καθώς επίσης και στις κλιματολογικές και υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν.
- **Φλύσχης** : Αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών σχιτολιθικών, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων. Λόγω της ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης αλλά και της κυκλοθεματικής απόθεσης σχηματισμών με ποικίλη γεωμηχανική συμπεριφορά, κυμαινόμενους φυσικομηχανικούς δείκτες και διαφορετικό συντελεστή υδροπερατότητας ευνοούνται συχνά οι αστοχίες πρανών ιδιαίτερα σε θέσεις με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και κυρίως ύστερα

από αυξημένες βροχοπτώσεις. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου επικρατούν οι αργλικές φάσεις με ισχυρή πτύχωση και κερματισμό, ευνοείται η δημιουργία μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους.

- **Δακίτες :** Εμφανίζονται στο ΝΑ τμήμα του δήμου Κύμης και παρουσιάζουν μέτριο έως ισχυρό κερματισμό και χαμηλή αποσάθρωση. Αποτελούν συνεκτικούς βραχώδης σχηματισμούς με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και υψηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα, ενώ παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα.

3.3 Κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής έρευνας

Γενικά, τα κατολισθητικά φαινόμενα που παρουσιάστηκαν στην περιοχή της Κύμης κατατάσσονται σε ερπυσμούς, ολισθήσεις, καταπτώσεις βραχώδων μαζών καθώς επίσης και ροές υλικών.

Τα κυριότερα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή της έρευνάς μας από την άποψη επίδρασης και ζημιών σε οικισμούς και οδικό δίκτυο εντοπίζονται κυρίως στις περιοχές Παραλία Κύμης, Πλατάνας, Αγία Μαρίνα-Σουτσίνι και κοντά στην περιοχή Ακρωτήρι Κύμης (Ηλία, 2013).

• Πρανή παραλίας Κύμης

Η περιοχή των πρανών στην παραλία Κύμης χαρακτηρίζεται από σχηματισμούς των νεογενών ιζημάτων και είναι διαμορφωμένος με μεγάλες έως πολύ μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, όπως θα αναφέρουμε και παρακάτω. Εξαιτίας αυτής της διαμόρφωσης η τεκτονική δράση που αποκαλύπτεται στον χώρο έχει κατακερματίσει τις μάργες και έχει διαμορφώσει την παρούσα μορφολογία.

Γεωλογικά η περιοχή δομείται από στεγανό σχηματισμό που αποτελείται από τέφρες ως μελανότεφρες μάργες καθώς επίσης και από τεφροκίτρινες έως λευκοκίτρινες μάργες υλικά που χαρακτηρίζονται ως ημιδιαπερατά εξαιτίας της καταπόνησης που έχουν υποστεί από την ισχυρή τεκτονική δράση. Ακόμα η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών του νεογενούς ευνοούν την διείσδυση του νερού μέχρι την επιφάνεια των δύο φάσεων με αποτέλεσμα την δημιουργία ολισθήσεων. Πιο συγκεκριμένα (Ηλία, 2013) :

• Πρανή ανάντη του δρόμου Στομίου - Παραλίας Κύμης

Στην περιοχή βορειότερα του δρόμου Πλατάνας - Παραλίας Κύμης παρατηρούνται υπερκαλύψεις των προστατευτικών τεμαχίων και αναμοχλευμένα υλικά κατολίπησης. Για παράδειγμα στην περιοχή του κέντρου διασκέδασης "Έν πλω" καθώς και μετά από αυτό προς την στροφή του δρόμου και λίγο πριν την είσοδο στο ξενοδοχείο "Πανόραμα" παρατηρούνται μικροθραύσεις και ολισθήσεις στα χαμηλά τμήματα του πρανούς. Στις θέσεις αυτές περιορισμένων διαστάσεων μάζα από τις τεφρόλευκες μάργες με κλίση λοξά αντίρροπες στο πρανές, από τις διακλάσεις, έχει υπερκεράσει το τοιχίο του δρόμου. Ακόμα στα πρανή αυτά είναι διακριτή και η μελανότεφρη μάργα γεγονός που επιβεβαιώνει τον μηχανισμό ολίσθησης των τεφρόλευκων μαργών επάνω σε αυτήν.

Στην περιοχή αυτή βορειότερα του Πλατάνα και μέχρι την παραλία Κύμης εμφανίζεται έντονη οικοδομική δραστηριότητα γεγονός που κρίνεται επιβλαβές για την ευστάθεια των πρανών της περιοχής αφού οι παρεμβάσεις στα πρανή της περιοχής είναι συνεχείς. Αυτό έχει

ως αποτέλεσμα στη ζώνη αυτή ανάντι του λατομείου και μέχρι κατάντη του παραλιακού δρόμου να υπάρχουν εμφανείς ενδείξεις ενεργοποίησης κατολισθητικών φαινομένων. Ξεκινώντας από ανάντη του λατομείου διακρίνεται η ολίσθηση των πρανών κάτω από το νταμάρι. Βέβαια στην περιοχή αυτή διακρίνεται υψηλός βαθμός κορεσμού εδαφικών υλικών οι οποίοι έχουν αρκετά μεγάλο πάχος (μέχρι 6m) καθώς επίσης διαπιστώνεται και αυξημένη υδροφορία των ασβεστόλιθων στο χώρο του νταμαριού που αποφορτίζεται στην επαφή του μανδύα με τις υποκείμενες μάργες γεγονός που πιθανώς οφείλεται στην παρουσία των παρακείμενων στεγανών μαργών (Ηλία, 2013).

Παρακάτω παρουσιάζονται εικόνες στις οποίες φαίνονται οι ερπυστικές κινήσεις εξαιτίας της απόκλισης στην περιοχή καθώς επίσης και το ανάντη όριο των κινήσεων αυτών που εντοπίζεται στο δρόμο μπροστά από το παλαιό νταμάρι με εσωτερικές οριακές ζώνες.



Εικόνα 0-3 Ορατά ίχνη ερπυστικών κινήσεων (αποκλίσεις των ελαιόδεντρων από την κατακόρυφο) αμέσως κατάντη του παλαιού λατομείου (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-4 Φωτογραφία από το μέσον σχεδόν του πρανούς. Ορατή και εδώ η απόκλιση των κυπαρισσιών από την κατακόρυφο λόγω των ερπυστικών κινήσεων (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-5 Εσωτερικό οριακό ίχνος ερπυσμών. Διακρίνεται το άλμα (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-6 Η συνέχεια του ίχνους των ερπυσμών σε πέτρινο τοίχο διαμόρφωσης αναβαθμού που ενσωματώνει το κτίσμα (Ηλία, 2013).

Προς τα κατάντη της περιοχής η έκταση των ερπυστικών κινήσεων είναι μεγαλύτερης έκτασης και με εμφανή επιπτώσεις στην ανθρώπινη δραστηριότητα της περιοχής. Αυτό είναι φανερό καθώς οι ερπυσμοί έχουν καταστρέψει των αγωγό ομβρίων (εικόνα 3.7) που είναι παράλληλος με τον δρόμο που συνδέονται ο κεντρικός δρόμος Πλατάνας - Παραλία Κύμης και το νταμάρι. Ακόμα η καταστροφή της δεξαμενής νερού που βρίσκεται ανάντη του ξενοδοχείου Βαλάντι (εικόνα 3.8) οφείλεται στην καταστροφή του αγωγού ομβρίων αφού αυτή είχε ως αποτέλεσμα τον πρόσθετο εμποτισμό των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης και της ζώνης κερματισμού.



Εικόνα 0-8 : Κατεστραμμένος αγωγός ομβρίων με αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ροή στα εδαφικά υλικά (εμποτισμός – κορεσμός) (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-7 Δεξαμενή νερού ανάντη του ξενοδοχείου Βαλέντι. Η δεξαμενή έχει αχρηστευτεί από τις κινήσεις (έχει υποστεί σοβαρή κλίση) (Ηλία, 2013).

Πρανή ανάντη του δρόμου Στομίου - Παραλίας Κύμης

Τα πρανή που καταλήγουν στην θάλασσα επειδή δεν υπάρχει προστασία του πόδα τους από το κυματισμό, παρουσιάζουν έντονες αστοχίες επηρεάζοντας το εξωτερικό τμήμα του οδοστρώματος γεγονός που δημιουργεί πολλά προβλήματα στην κυκλοφορία των οχημάτων.

Στο τμήμα του δρόμου προς την παραλία της Κύμης (εικόνα 3.9) είναι εμφανής τα σημάδια της απόπλυσης του επιχώματος που έχει ως απότοκο την καταστροφή του οδοστρώματος. Στη θέση αυτή το τοιχίο είχε διαμορφωθεί κλιμακωτά για την καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος όμως η δράση του κυματισμού της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την υποσκαφή και τον περαιτέρω κατακερματισμό των αναβαθμών (εικόνα 3.10) (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-9 Η καταστροφή του οδοστρώματος και του υποκείμενου επιχώματος του δρόμου λόγω των υποσκαφών του κυματισμού (Ηλία, 2013).

Εικόνα 0-10 Ο κατεστραμμένος τοίχος προστασίας του δρόμου από μπετόν λόγω της δράσης του κυματισμού (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-11 Πανοραμική άποψη των αστοχιών κατάντη του δρόμου Πλατάνας - Στομίου. Στην εικόνα διακρίνεται και η πολύ μεγάλη κλίση και το ύψος των πρανών ανάντη του δρόμου (Ηλία, 2013).

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα οι αρμόδιες αρχές έκριναν απαραίτητο την κατασκευή αντιστήριξης με τη χρήση φρεατοπασσάλων με κεφαλοδεσμό (εικόνα 3.12). Αυτή θεωρήθηκε

αποδεκτή λύση καθώς αντιμετωπίζει το πρόβλημα λόγω βαθιάς θεμελίωσης των πασσάλων αλλά και προστασίας του σκυροδέματος και του οπλισμού από την δράση του κυμματισμού της θάλασσας. Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι τέτοιου είδους προβλήματα αντιμετωπίστηκαν και στο παρελθόν στα κατάντη του δρόμου Στομίου - Πλατάνας - Παραλία Κύμης τα οποία αντιμετωπίστηκαν με την κατασκευή λιμενικών έργων.



Εικόνα 0-12 Ο νέος τοίχος του δρόμου και η αντιστήριξη από φρεατοπασσάλους (Ηλία, 2013).

- **Περιοχή Σουτσίνι**

Στη συγκεκριμένη περιοχή σήμερα υπάρχουν δύο θέσεις στις οποίες σημειώνονται σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα. Οι θέσεις αυτές εντάσσονται σε μια ζώνη αστοχιών πρηνών που φθάνει μέχρι την παραλία Σουτσινίου και Αγ. Μαρίνας. Η πρώτη θέση αφορά τον δρόμο που οδηγεί στην παραλία και επηρεάζει όλο το πρηνές και η δεύτερη αφορά τον χώρο θεμελίωσης του εξωκλήσιου της Αγ. Μαρίνας.

Ο δρόμος που οδηγεί στην παραλία της Αγίας Μαρίνας πλήττεται από πολύ σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα με αποτέλεσμα να έχει επηρεαστεί το οδόστρωμα σε όλο το μήκος και πλάτος του (εικόνα 3.13). Στην θέση αυτή έχουν εντοπιστεί καταστροφές στο οδόστρωμα επί μήκους 30 - 40 m που όμως τα ίχνη της μετεξέλιξης σε ευρύτερη ζώνη περιλαμβάνει ακόμα 150 m του οδοστρώματος δεξιά της σημερινής αστοχίας.

Από γεωλογικής άποψης η περιοχή έρευνας δομείται από τις κιτρινόμαυρες τέφρες έως λευκότεφρες μάργες που συνιστούν τον ορίζοντα των νεογενών που υπέρκειται των μελανότεφρων μαργών. Στην περιοχή της έρευνάς μας η παρουσία των λευκότεφρων μαργών παρουσιάζονται στα πρηνή της παραλίας Πλατάνας - Παραλίας Κύμης και ευνοούν την εκδήλωση αστοχιών με το μηχανισμό της διαμόρφωσης στην επαφή με τις λευκότεφρες μάργες. Στην περιοχή αυτή οι κιτρινόμαυρες μάργες καλύπτουν τις υποκείμενες μελανότεφρες επιβεβαιώνοντας την εκδήλωση των

αστοχιών στο σημείο επαφής των δύο οριζόντων όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (εικόνα 3.14). Ακόμα πρέπει να πούμε πως εξαιτίας της έντονης οικοδομικής δραστηριότητας και τεκτονικής δράσης οι υπερκείμενες μάργες έχουν υποστεί κατακερματισμό και σημαντική χαλάρωση των ασυνεχειών (εικόνα 3.15).



Εικόνα 0-13 Ολοκληρωτική καταστροφή του οδοστρώματος από την κατολίσθηση στο δρόμο προς Αγ. Μαρίνα (Ηλία, 2013)



Εικόνα 0-14 Μελανότεφρες μάργες στο αριστερό μέρος της κατολίσθησης (Ηλία, 2013)



Εικόνα 0-15H έντονη χαλάρωση των ασβεσιτικών μαργών στο τεχνητό πρανές του δρόμου (Ηλία, 2013)

Η συγκεκριμένη κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή ευνοεί την κατείδυση των νερών της βροχής η οποία στην διεπιφάνεια των δύο διακριτών λιθολογικών οριζόντων που αναφέραμε παραπάνω λειτουργεί ως λιπαντικό γεγονός που διευκολύνει την εκδήλωση αστοχιών.

Η δεύτερη θέση στην οποία σημειώνονται κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή Σουτσίνι είναι στον χώρο που βρίσκεται η εκκλησία της Αγίας Μαρίας. Η κατολίσθηση σ' αυτό το σημείο έχει εκδηλωθεί στο μικρό λοφίσκο που είναι χτισμένη η εκκλησία (εικόνα 3.16). Ο μικρός αυτός λοφίσκος διαμορφώνεται ανάντη της ακτής. Βόρεια του λοφίσκου υπάρχει μικρή ρεματιά

(εικόνα 3.17) πηγή νερού η οποία ενισχύει την παροχή του ρέματος που είναι συνεχής σχεδόν όλο τον χρόνο. Αν και η διαμορφώση του δρόμου έχει περιορίσει τις υποσκαφές στο σημείο αυτό η σχεδόν συνεχή παρουσία νερού εκεί προκαλεί υποσκαφές στην βάση του λοφίσκου. Από την πλευρά της παραλίας (εικόνα 3.17) η κατασκευή λιμενικού έργου απομακρύνει το κύμα από την μισή έκταση της βάσης του λόφου αλλά οι υποσκαφές που οφείλονται στην δράση του κυμματισμού της θάλασσας συνεχίζονται καθώς το έργο είναι ημιτελές. Εξαιτίας της μη ολοκλήρωσης του λιμενικού έργου το νερό εισχωρεί κάτω από το κρηπίδωμα και αποπλύνει τα λεπτομερή υλικά των επιχωματώσεων δημιουργώντας βυθίσματα αφού παραμένουν εκεί μόνο χονδρομερή υλικά (εικόνα 3.18).



Εικόνα 0-16 Γενική άποψη του λοφίσκου της Αγ. Μαρίνας από ανατολικά (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-17 Η ρεματιά βόρεια του λοφίσκου της Αγ. Μαρίνας (Ηλία, 2013).



Εικόνα 0-18 Το ημιτελές λιμενικό έργο που καλύπτει την μισή βάση του λοφίσκου (Ηλία, 2013)



Εικόνα 0-19 Το ατελές λιμενικό έργο εσωτερικά του κρηπιδώματος (Ηλία, 2013).

Γεωλογικά οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή αποτελούνται από τεφροκίτρινες έως λευκότεφρες μάργες που έχουν υποστεί τεκτονική καταπόνηση εξαιτίας της ζώνης ρηγμάτων που εντοπίζονται στην περιοχή. Μελανότεφρες μάργες που εντοπίζονται στα νότια του λοφίσκου έρχονται σε επαφή με τις υπερκείμενες κερματισμένες ευνοώντας την εκδήλωση κατολισθήσεων.

Γενικά, το εξωκλήσι έχει υποστεί σοβαρότατες ζημιές στον χώρο της θεμελίωσης εξαιτίας των εσωτερικών εδαφικών θραύσεων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την πλήρη καταστροφή του τιμεντένιου αυλόγυρου καθώς επίσης από την ανωδομή που έχει ρωγματωθεί στο κύριο τμήμα και στο ιερό (εικόνα 3.20) και στον τοίχο αντιστήριξης ο οποίος έχει καταστραφεί από την μεριά της ακτής.



Εικόνα 0-20 Οι ρωγμές στον προαύλιο χώρο και στην ανωδομή του εξωκλησίου της Αγ. Μαρίας (Ηλία, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

4.1 Μέθοδοι ζωνοποίησης κινδύνου και επιδεκτικότητας

Το 1984 ο Varnes πρότεινε ο προσδιορισμός του κινδύνου σε κατολισθητικά φαινόμενα να ορίζεται ως η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά ζημιολογικού κατολισθητικού φαινομένου σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο και σε μια δεδομένη περιοχή. Στον ορισμό αυτό του Varnes μπορούμε να διακρίνουμε δύο συνιστώσες που τον καθορίζουν, τον χρόνο και τον χώρο. Η χρονική στιγμή εκδήλωσης ενός κατολισθητικού φαινομένου σε μια δεδομένη περιοχή αποτελεί την χρονική παράμετρο, ενώ οι περιοχές οι οποίες είναι επιδεκτικές στη διαμόρφωση συνθηκών αστοχίας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προσδιορίζονται ως χωρική παράμετρος (Φερεντίνου, 2004). Σε έναν άλλο ορισμό, κατά τους Dai et al. (2001), αναφέρεται ότι οι παράμετροι που καθορίζουν τον κίνδυνο εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων διακρίνονται σε δύο (2) κατηγορίες : ενδογενείς οι οποίοι συνεισφέρουν στην κατολισθητική επιδεκτικότητα, όπως είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί, υδρογραφικό δίκτυο, γεωλογία, και εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι τείνουν να ενεργοποιήσουν τα κατολισθητικά φαινόμενα, όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις και η σεισμική δραστηριότητα (Wu & Sidle, 1995, Atkinson & Massari, 1998). Ειδικότερα, οι εξωγενείς παράγοντες, επηρεάζουν άμεσα τον όρο επιδεκτικότητα καθώς αν δεν τους λάβουμε υπόψη μας τους ο όρος αυτός θα αναφέρεται μόνο στη πιθανότητα παρουσίας κατολισθητικού φαινομένου εξετάζοντας μόνο την χωρική διάσταση του προβλήματος (Ilia et al., 2010).

Ως ζωνοποίηση χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία σε χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των θέσεων οι οποίες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες τιμές επιδεκτικότητας. Μια περιοχή θεωρείται πιθανή για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων όταν οι εδαφικές συνθήκες της περιοχής αυτής μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά με μια περιοχή όπου έχει εκδηλωθεί αστοχία στο παρελθόν (Van Western et al., 1997) . Κατά τον Σκιά (1998) η διάκριση σε ζώνες ίσης έντασης, η οποία εκφράζεται με ποσοτικά ή ποιοτικά χαρακτηριστικά είτε και με συνδυασμό των δυο (2), γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές παραμέτρους των εγγενών γεωμορφολογικών και τεχνικογεωλογικών παραμέτρων σε συνδυασμό με το βαθμό επιρροής της αλληλεπίδρασης των χαρακτηριστικών αυτών με τους κατά περίπτωση ενασματοικούς εξωγενείς παράγοντες.

4.2 Μέθοδοι εκτίμησης επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα

Οι μέθοδοι εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα περιλαμβάνουν τεχνικές και μεθόδους ποιοτικής, ημι - ποσοτικής και ποσοτικής ανάλυσης και τεχνικών μοντελοποίησης (Soeters & Van Wester, 1996, Aleotti et al., 1999, Fell et al., 2008). Η επιδεκτικότητα υπολογίζεται με δύο τρόπους :

- με μεθόδους ανάλυσης πεδίου
- με συνδυασμό μεθόδων που υπολογίζουν δείκτες επιδεκτικότητας με την βοήθεια παραμετρικών χαρτών

και διακρίνονται κυρίως σε μεθόδους και τεχνικές που βασίζονται στην εμπειρία και τη γνώση των Ειδικών. Ακόμα υπάρχει περίπτωση να διακριθούν σε τεχνικές και μεθόδους που βασίζονται

στην στατιστική ή πιθανολογική ανάλυση ή ακολουθούν ντετερμινιστικά μοντέλα για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας (*Soeters & Van Westen 1996, Aleotti & Chowdhury, 1999, Fell et al., 2008, Castellanos & Van Westen, 2008*).

Στις μεθόδους όμως που αναφέρθηκαν παραπάνω επειδή απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση και η τροποποίηση των βημάτων και των σταδίων που ακολουθούν συχνά προκύπτει το πρόβλημα της αξιοπιστίας και της ακρίβειάς τους όπου αρκετές φορές χαρακτηρίζεται ως χαμηλή. Τα τελευταία χρόνια τεχνικές και μέθοδοι που έχουν εισαχθεί από διάφορα επιστημονικά πεδία έχουν λειτουργήσει ως εργαλεία για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας και του κινδύνου έναντι κατολισθητικών φαινομένων (*Flentje et al., 2007, Wand & Niu, 2010*) τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια.

Παρακάτω ακολουθεί μια κατάταξη την οποία προτείνουν οι *Fell et al.* (2008) στα πλαίσια της διεθνούς επιτροπής *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*. Η κατάταξη αυτή τροποποιήθηκε για περισσότερη κατανόηση και σαφέστερη ταξινόμηση και διάκριση των μεθόδων και των τεχνικών εκτίμησης της επιδεκτικότητας. Όπως διακρίνεται και παρακάτω οι τεχνικές διαχωρίζονται σε τρεις (3) κύριες κατηγορίες (Σχήμα 4.1):

1. **ανάλυση βασισμένη στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών, ποιοτικές και ημι- ποιοτικές μέθοδοι**

- Χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι που βασίζονται πλήρως ή μερικώς στην εμπειρία και την γνώση των Ειδικών. Εξαιτίας της παρουσίας των ειδικών όμως αμφισβητείται συχνά η υποκειμενικότητα, η ακρίβεια και η αξιοπιστία ορισμένων παραμέτρων που επιδρούν στην εκδήλωση του φαινομένου. Σ ' αυτήν την κατηγορία μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής παραλλαγές :
 - **Γεωμορφολογική Ανάλυση Πεδίου** : Αποτελεί μέθοδο για ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας όπου τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π ή G.I.S.) χρησιμοποιούνται μόνο για σχεδιαστικά εργαλεία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την εμπειρία και την γνώση αφού ο προσδιορισμός και η ζωνοποίηση των δυνητικά πιθανόν για αστοχία περιοχών βασίζεται κυρίως στην γνώση και την εμπειρία του ειδικού που είναι στο σημείο έρευνας της περιοχής. Οι εργασίες των *Carmassi et al. (1992)*, *Cardinali et al. (2002)*, *Reichenbach et al. (2005)*, *Mantovani et al. (2010)* αποτελούν παραδείγματα εφαρμογής αυτής της μεθόδου.
 - **Μέθοδος υπέρθεσης χαρτών βάρους - χάρτες παραμετρικών δεικτών** : Αποτελεί μέθοδο για ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται μόνο ως συστήματα υπέρθεσης χαρτών βάρους και την εκτέλεση βασικών λειτουργιών χωρικής ανάλυσης. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει αρχικά την επιλογή μεταβλητών που επιδρούν στο σύστημα καθώς επίσης και την απόδοση συντελεστών βαρύτητας για κάθε έναν από αυτούς. Έπειτα, για κάθε μεταβλητή δημιουργείται ένας αριθμός σχετικών κλάσεων και απόδοση συντελεστών βαρύτητας για την κάθε κλάση. Τέλος, γίνεται υπέρθεση των χαρτών βάρους για κάθε μεταβλητή και δημιουργείται ο τελικός χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι κατηγορίες του βαθμού κινδύνου (*Soetes & Van Western, 1996*). Το μοντέλο πρόβλεψης A.H.P που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική ανήκει σε αυτήν την κατηγορία.
 - **Λογικά Αναλυτικά Μοντέλα** : Αποτελεί μέθοδο για τον χαρακτηρισμό περιοχών μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. δεν αξιοποιούνται και η όποια συμμετοχή τους έχει να κάνει με τη σύνταξη ενός χάρτου καταγραφής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί

μετρήσιμες, ενόργανες ή μη παρατηρήσεις πεδίου προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα της με αντιπαραβολή των πραγματικών μετρήσιμων δεδομένων στο πεδίο έρευνας. Αυτό συμβαίνει γιατί η μέθοδος αυτή αντλεί γνώση και εμπειρία από τους Ειδικούς και πρέπει με τις παρατηρήσεις αυτές να επαληθευτεί η απόδοσή τους. Έτσι αν δεν επιτευχθεί ο στόχος, δηλαδή αν τα αποτελέσματα μέσα από την γνώση και την εμπειρία δεν συμπίπτουν με τις μετρήσεις του πεδίου, το σύστημα επαναπροσδιορίζεται δημιουργώντας διαφορετικές συσχετίσεις και επιλέγοντας διαφορετικές μεταβλητές.

2. *Ανάλυση βασισμένη στη γνώση που αποκτάται από την επεξεργασία δεδομένων, ποσοτικές μέθοδοι*

- Χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι όπου η ανάλυση βασίζεται στην γνώση των τεχνικών και των μεθόδων που εφαρμόζονται στη μηχανική μάθηση και τη στατιστική ανάλυση και εξόρυξη δεδομένων και τα αποτελέσματα που εξάγονται από τις βάσεις δεδομένων. Σ αυτήν την κατηγορία διακρίνουμε τις εξής παραλλαγές :
- **Ανάλυση βασισμένη στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Τ.Ν.Δ.) :** Με την μέθοδο των Τ.Ν.Δ αποδίδονται ικανοποιητικές προβλέψεις κατολισθητικών φαινομένων ακόμη και όταν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι αβέβαια, αφού τα Τ.Ν.Δ. διαθέτουν τα κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυση των κατολισθήσεων. Τα μοντέλα Τ.Ν.Δ. διακρίνονται σε : 1) δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης, 2) δίκτυα συνάρτησης ακτινικής βάσης, 3) οι αυτο-οργανούμενους χάρτες (Self-Organizing Maps) 4) επαναληπτικά δίκτυα, 5) στοχαστικά νευρωνικά δίκτυα, 6) αρθρωτά νευρωνικά δίκτυα. Τέλος, τα Τ.Ν.Δ. θεωρούνται κατάλληλα εργαλεία για τη μοντελοποίηση της πολύπλοκης συμπεριφοράς και μεταβλητότητας που οι περισσότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν (*Aleotti et al., 1996, Mayoraz et al., 1996, Σακελλαρίου & Ηλίας, 1997*).
- **Ανάλυση βασισμένη στην ασαφή λογική :** Η μέθοδος αυτή συνδυάζει την εμπειρία και την γνώση με τη χρήση της θεωρίας των ασαφών συνόλων για την ζωνοποίηση περιοχών επιδεκτικών σε γεωλογικές αστοχίες (*Τσαγγαράτος, 2011*). Κατά τον *Zadeh* (1965, 1968) η θεωρία των ασαφών συνόλων χρησιμοποιείται συχνά ως κατάλληλη για την ερμηνεία της αβεβαιότητας και πολυπλοκότητας καθώς σχετίζεται με ένα γεωλογικό σύστημα εξαιτίας της ύπαρξης περιορισμένου αριθμού δεδομένων που δεν επιτρέπει τη χρήση συμβατικών στατιστικών μεθόδων και του γεγονότος ότι αρκετοί από τους παράγοντες δεν οριοθετούνται επακριβώς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της μεθόδου αυτής παρουσιάζονται στις εργασίες των *Juang et al.,(1992), Ercanoglu & Gokceoglu, (2002,2004), Pistocchi et al., (2002), Pradhan et al.,(2009)*.
- **Ανάλυση βασισμένη στα δέντρα απόφασης :** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση και πρόβλεψη της επιδεκτικότητας έναντι γεωλογικών σχηματισμών και για την κατηγοριοποίηση περιοχών μεγάλης και μεσαίας κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται ως εργαλεία μοντελοποίησης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της μεθόδου αυτής αποτελούν οι εργασίες των *Nefeslioglu et al. (2010)* και *Hwang et al. (2009)*.
- **Ανάλυση βασισμένη στον συλλογισμό κατά περίπτωση :** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση περιοχών μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται μόνο για την σύνταξη ενός χάρτη καταγραφής. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αρχική εκτίμηση της κατάστασης και να προτείνει λύσεις επ' αυτού με βάση την εμπειρία. Βασική προϋπόθεση για την αξιοπιστία της μεθόδου είναι η ύπαρξη μεγάλου αριθμού δεδομένων και της καλής ποιότητας αυτών

(Τσαγγαράτος, 2012). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην επαναληπτική ανάκτηση περιπτώσεων από μια βάση κωδικοποιημένων περιπτώσεων που σχετίζονται με την περίπτωση που πρόκειται να αντιμετωπιστεί (Aamodt et al., 1994). Χαρακτηριστικό παράδειγμα εδώ αποτελούν η εργασίες των Fyson & Toll (2008) και Toll (2008).

- **Στατιστική ανάλυση :** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μερικώς την εμπειρία και την γνώση και σκοπός της είναι να διαμορφώσει τις όποιες συσχετίσεις με βάση την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Στην εφαρμογή η μέθοδος αυτή συγκρίνει την χωρική διασπορά των γεωλογικών αστοχιών με τις συνθήκες που επικρατούν. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα με χρήση άλλων μεθόδων των Γ.Σ.Π., γεγονός που την καθιστά να χρησιμοποιείται αρκετά συχνά τα τελευταία χρόνια. Όμως, κατά τον Van Western (2004) η μέθοδος αυτή ακολουθείται και από πολλά μειονεκτήματα όπως: 1) Συνεχής και συστηματικός προσδιορισμός των παραγόντων που σχετίζονται με τα κατολισθητικά φαινόμενα, 2) Απλοποίηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις, και απόκτηση μόνο των παραγόντων που καθίσταται σχετικά εύκολο να χαρτογραφηθούν ή να προκύψουν από ένα DEM, 3) Μέσω της θεωρίας της, οι κατολισθήσεις πραγματοποιούνται με τον ίδιο συνδυασμό παραγόντων σε ολόκληρη την έκταση της περιοχής, 4) Απαιτείται μεμονωμένη ανάλυση για τον κάθε τύπο κατολίσθησης αφού τα αίτια των παραγόντων τους διαφέρουν, 5) Δεν είναι δυνατό να προβλέψει τις αλλαγές των συνθηκών που ελέγχουν τι κατολισθήσεις, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει άγνοια ως προς τις χρονικές πτυχές τους.

Ανάλυση δύο μεταβλητών : Η μέθοδος αυτή θεωρείται κατάλληλη για τη ζωνοποίηση περιοχών μικρής και μεσαίας κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται ως κύρια εργαλεία χωρικής ανάλυσης. Σε αυτήν τη μέθοδο ελλοχεύει ο κίνδυνος της υποκειμενικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων των μεταβλητών του συστήματος καθώς επίσης τις περισσότερες φορές οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών δεν λαμβάνονται υπόψιν. Η μέθοδος αυτή μελετά ποιοτικά τις κατολισθήσεις. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή μετά την εισαγωγή των παραγόντων, οι οποίοι συμβάλλουν στην εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου, σε ένα Γ.Σ.Π., χωρίζονται σε κατηγορίες και συσχετίζονται με έναν χάρτη απογραφής κατολισθήσεων. Τέλος, μέσω της πυκνότητας των κατολισθήσεων υπολογίζεται ο συντελεστής βαρύτητας για όλες τις κατηγορίες κάθε παράγοντα (Jimenez-Peralvarez et al., 2009). Κατά τους Tassei, Bernandini και Malivenverni (2008) η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα εξής στάδια : 1) Κατασκευή ενός χάρτη απογραφής κατολισθήσεων που έλαβαν μέρος στο παρελθόν με σκοπό τον συσχετισμό του με τους παράγοντες που βρίσκονται υπό μελέτη 2) Κατασκευή των θεματικών χαρτών των φυσικών παραγόντων που σχετίζονται (άμεσα ή έμμεσα) με την εκδήλωση των κατολισθήσεων στην υπό μελέτη περιοχή και την κατηγοριοποίησή τους. 3) Απόδοση «βαρών» στην κάθε κατηγορία, ανάλογα με την πυκνότητα των κατολισθήσεων που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές 4) Κατασκευή του τελικού χάρτη κινδύνου (ή επιδεκτικότητας), μέσω του υπολογισμού των αντίστοιχων τιμών. Σχετικές εργασίες εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι των Sarkar et al. (2008), Suzen & Doyuran, (2004) και Nandi & Shakoor, (2010)

Ανάλυση πολλών μεταβλητών : Στην μέθοδο αυτή οι παράμετροι των κατολισθήσεων αναλύονται με την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (Logistic Regression) ή με την μέθοδο της διαχωριστικής ανάλυσης (Discriminant Analysis). 1) Στην λογιστική παλινδρόμηση περιγράφεται η σχέση μεταξύ της κατηγορικής, αληθούς και ψευδής ή δυαδικής εξαρτώμενης μεταβλητής. Η μέθοδος αυτή είναι μια μέθοδος πολύ -

παραγοντικής στατιστικής ανάλυσης (multivariate statistical analysis) που χρησιμοποιεί ένα σύνολο ανεξαρτήτων μεταβλητών (independent variables) για τη διερεύνηση μιας εξαρτημένης μεταβλητής (dependent variable). Βασική αρχή της λογιστικής παλινδρόμησης είναι η δίτιμη φύση της εξαρτημένης μεταβλητής (Menard, 1995). 2) Στην διαχωριστική ανάλυση σκοπός είναι η δημιουργία κανόνων που έχουν την δυνατότητα να ταξινομήσουν τον κίνδυνο των κατολισθήσεων στην κατάλληλη κατηγορία. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει πάρα πολλά κοινά με την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης με την όμως πως η εξαρτώμενη μεταβλητή είναι κατηγορική και όχι συνεχής.

- **Ντετερμινιστική Ανάλυση :** Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τις συμβατικές μεθόδους οι οποίες εφαρμόζουν τη θεωρία και τις αρχές της κλασσικής θεωρίας ευστάθειας πρανών. Σε αυτήν την μέθοδο ο κίνδυνος κατολισθήσεων προσδιορίζεται από τα γεωτεχνικά δεδομένα της περιοχής μελέτης και για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας περιοχών μεγάλης κλίμακας τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται ως συστήματα χωρικής ανάλυσης και διεξαγωγής σεναρίων (Van Western & Terlien, 1997, Sakelariou & Ferentinou, 2001, Corominas & Santacana, 2003, Xie et al., 2004. Εφαρμόζεται τόσο σε ομοιογενή όσο και σε ανομοιογενή πρανή και αποτελεί μια απλή μέθοδο. Τα κύρια μειονεκτήματά της είναι ότι κατά την εφαρμογή της πραγματοποιούνται εργαστηριακές δοκιμές και έρευνες πεδίου διότι απαιτεί μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων και εφαρμόζεται μόνο σε μικρής έκτασης περιοχές.

4.3 Μοντέλο πρόβλεψης Analytical Hierarchy Process (A.H.P.)

Στα πλαίσια της διπλωματικής κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία ως μοντέλο πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Με την μέθοδο A.H.P έγινε η εκτίμηση της επίδρασης κάθε μιας από τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

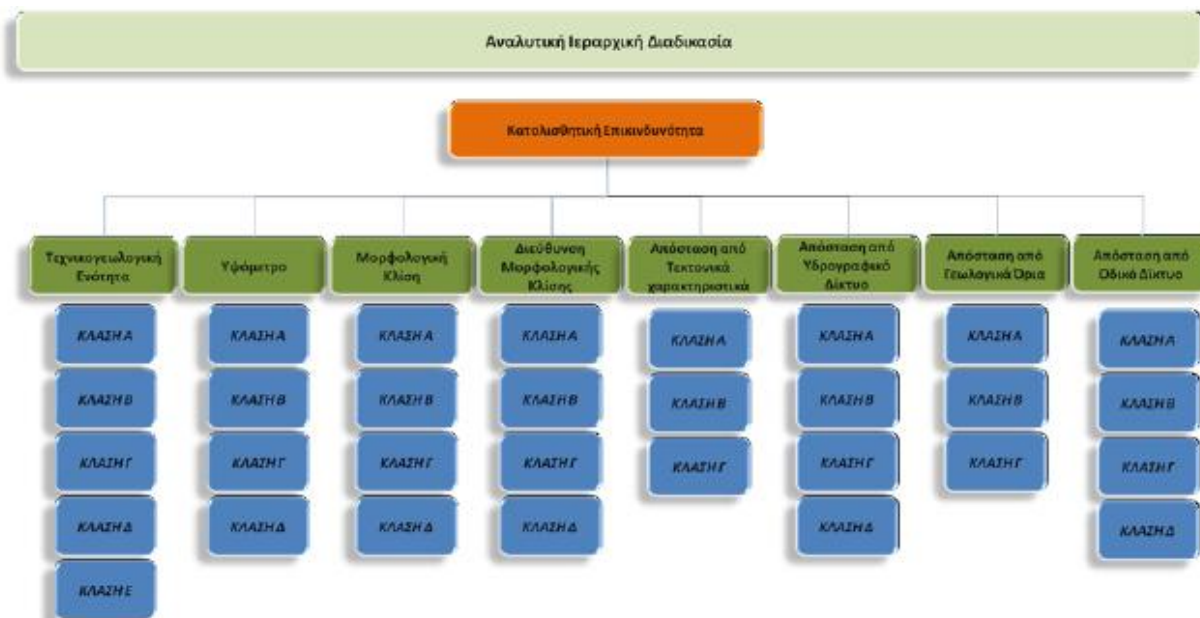
Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '70 στο πανεπιστήμιο Wharton School of Business από τον Thomas Saaty, βασίζεται σε 3 βασικές αρχές (Malczewski, 1999):

1. Στην αρχή της αποσύνθεσης, που αφορά στην ικανότητα της μεθόδου να στην ιεράρχηση των πολύπλοκων προβλημάτων και στην διερεύνηση του κάθε επιπέδου αυτής χωριστά.
2. Στην αρχή των συγκριτικών κρίσεων, που αφορά στην δημιουργία πίνακα με σκοπό την σύγκριση των ζευγών της σχετικής σημασίας των στοιχείων στο δεύτερο.
3. Στην αρχή της σύνθεσης προτεραιοτήτων

Δημιουργήθηκε για να επιλύσει ζητήματα αποφάσεων, ακολουθώντας μια δομή ιεραρχική. Το πλεονέκτημά της είναι η δυνατότητα συσχέτισης της μεθόδου αυτής με άλλες, όπως για παράδειγμα με τον γραμμικό προγραμματισμό (Linear Programming), με την ανάπτυξη λειτουργίας ποιότητας (Quality Function Deployment), την ασαφή λογική (Fuzzy Logic), επιτρέποντας στον χρήστη να αξιολογεί τα δυνατά σημεία κάθε μεθόδου και του συνδυασμού αυτών, για να εξάγει τα κατάλληλα αποτελέσματα βάσει του εκάστοτε επιθυμητού στόχου. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής, αποτελεί η χρήση της σύγκρισης κατά ζεύγη (pairwise comparison), η οποία φαίνεται να αποτελεί εύχρηστο εργαλείο για τους χρήστες, με απλή και άμεση σύγκριση των δεδομένων εισόδου.

Η διαδικασία αυτή, είναι κλιμακωτή αφού κατά τον Saaty (1986) έχει ως σκοπό να εκφράζεται με βαρύτητες προτεραιότητας ή βαθμολογίες για την κατάταξη των εναλλακτικών ιδιοτήτων. Παρακάτω ακολουθεί ένα σχήμα (σχήμα 4.1) στο οποίο διακρίνεται η ιεραρχική δομή του προβλήματος της εκτίμησης της επιδεκτικότητας. Το πρόβλημα αυτό αναλύεται αρχικά στις μεταβλητές και σε δεύτερη φάσεις σε κλάσεις οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε μεταβλητή.

Σχήμα 0.1 Ιεράρχική Ανάλυση Απόφασης



Σε κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής τα στοιχεία του προβλήματος συγκρίνονται κατά ζεύγη, με βάση μια κλίμακα σύγκρισης (πίνακας 4.1) ως προς το βαθμό προτίμησης του ενός έναντι του άλλου. Η διαδικασία αυτή είναι επαναλαμβανόμενη και αφορά όλες τις κλάσεις κάθε μεταβλητής καθώς επίσης και για μεταξύ των μεταβλητών δημιουργώντας έτσι τους αντίστοιχους πίνακες συγκρίσεως (πίνακας 4.2, πίνακας 5,3).

Πίνακας 0-1 Κλίμακα συγκρίσεων (Saaty, 1986)

Τιμή	Ορισμός	Εξήγηση
1	Ίση σπουδαιότητα	Και οι δύο παράγοντες συμβάλλουν εξίσου στον στόχο ή το κριτήριο.
3	Μικρή σπουδαιότητα ενός σε σχέση με άλλον	Η πείρα και η κρίση ευνοούν ελαφρώς τον έναν παράγοντα σε σχέση με τον άλλον.
5	Βασική ή μεγάλη σπουδαιότητα	Η πείρα και η κρίση ευνοούν σαφώς τον έναν παράγοντα σε σχέση με τον άλλον.
7	Πολύ ισχυρή ή αποδεδειγμένη σπουδαιότητα	Ένας παράγοντας ευνοείται ιδιαίτερα σε σχέση με έναν άλλον. Η κυριαρχία του αποδεικνύεται στην πράξη.
9	Απόλυτη σπουδαιότητα σε σχέση με άλλον	Τα στοιχεία που ευνοούν έναν παράγοντα είναι αδιαμφισβήτητα
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές	Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται συμβιβασμός.
0	Καμία σχέση	Ο παράγοντας δεν συμβάλλει στον στόχο.

Έπειτα για κάθε πίνακα συγκρίσεων υπολογίζονται τα σχετικά βάρη και οι σχετικές προτεραιότητες. Πιο συγκεκριμένα, η ποιότητα του πίνακα συγκρίσεων εκφράζεται με έναν δείκτη συνέπειας (CI) ο οποίος εκφράζεται από την σχέση :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

όπου, λ_{max} , η μέγιστη ιδιοτιμή, στοιχείου της Γραμμικής Άλγεβρας και n ο αριθμός των κλάσεων ή μεταβλητών που εξετάζονται αντίστοιχα

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Saaty παρατήρησε πως όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά λ_{max} τόσο περισσότερες είναι οι ασυνέπειες που παρουσιάζει ο πίνακας συγκρίσεων.

Ένα ακόμη μέτρο ποιότητας αποτελεί ο λόγος της συνέπειας (CR) ο οποίος εκφράζεται από την σχέση :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

όπου, CI , ο δείκτης συνέπειας και RI ο Τυχαίος Δείκτης Συνέπειας

Αν ο λόγος συνέπειας CR είναι μεγαλύτερος από 0.10, τότε ο πίνακας θεωρείται ασυνεπής και θα πρέπει να αναπροσαρμοστούν οι τιμές συγκρίσεις του σχετικού πίνακα (Saaty, 1980).

Πίνακας 0-2 Κλίμακα συγκρίσεων (Saaty, 1986)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00.	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας αθροίζονται το γινόμενο των συντελεστών βαρύτητας που υπολογίστηκαν σε κάθε κλάση i και κάθε μεταβλητής j σύμφωνα με την εξίσωση :

$$LSI = \sum_{j=1}^n W_j w_{ij}$$

όπου, LSI :ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας

W_j : η βαρύτητα της παραμέτρου j

w_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i στην παράμετρο j

n : ο αριθμός των παραμέτρων

4.4 Σχολιασμός G.I.S (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν σαν κυρίαρχο στόχο τον χωρικό σχεδιασμό, χρησιμοποιούνται δηλαδή μέσα από πολλές προσεγγίσεις στην διατύπωση και αξιολόγηση πολιτικών και προγραμμάτων που αναφέρονται στο φυσικό ή περιβαλλοντικό σχεδιασμό, από τοπικό μέχρι εθνικό επίπεδο. Όπως έχει γράψει και ο Burrough (1983), τα ΓΣΠ αντιπροσωπεύουν « ένα ισχυρό εργαλείο για την συλλογή, ανάληψη ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου». Ο Aronoff (1989) από την άλλη πλευρά αντιμετωπίζει τα Γ.Σ.Π. σαν μια βάση χωρικών δεδομένων η οποία περιέχει όλες εκείνες τις διαδικασίες που απαιτούνται για την αποθήκευση και διαχείριση γεω-αναφερόμενων δεδομένων. Μια άλλη πτυχή των Γ.Σ.Π. είναι η λειτουργία τους σε ένα περιβάλλον ενός οργανισμού ως σύστημα λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνει την ενσωμάτωση δεδομένων με σαφή τοποθεσία στο χώρο για την επίλυση ενός προβλήματος (Cowen 1998).

Κύριες δυνατότητες ενός Γ.Σ.Π. είναι:

- Αποθήκευση, διαχείριση και ενσωμάτωση μεγάλου όγκου χωρικών στοιχείων
- Εργαλείο κατάλληλο για χωρική ανάλυση, έχοντας ως κύριο στόχο τη χωρική διάσταση των στοιχείων
- Συμβάλλει στην επίλυση χωρικών προβλημάτων οργανώνοντας, διαχειρίζοντας και μετασχηματίζοντας μεγάλο όγκο στοιχείων, αποδίδοντας πληροφορία προσιτή προς όλους τους χρήστες.

Θεμέλιος λίθος των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν τα γεωγραφικά ή χωρικά δεδομένα (Spatial Data) που χρησιμεύουν στην αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου. Περιέχουν στοιχεία για τη θέση (Location) των φαινομένων που παρατηρούνται στο πραγματικό κόσμο όσον αφορά ένα οριοθετημένο σύστημα συντεταγμένων, τα χαρακτηριστικά (attributes) αυτών των φαινομένων καθώς και στοιχεία για την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ τους, η οποία περιγράφει τον τρόπο σύνδεσής αυτών των δεδομένων (τοπολογία).

4.4.1. Χαρακτηριστικά των Γεωγραφικών Δεδομένων

Σύστημα αναφοράς: Οι συντεταγμένες των γεωγραφικών δεδομένων έχουν νόημα όταν αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Αυτό περιλαμβάνει το ελλειψοειδές αναφοράς (γεωδαιτικό datum), δηλαδή την προσέγγιση της γης ως περιστρεφόμενης έλλειψης, και τη μέθοδο προβολής, δηλαδή τη μέθοδο με την οποία η ελλειψοειδής (καμπύλη) επιφάνεια της γης προβάλλεται στο επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό οι γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος - λ, φ) μετατρέπονται σε επίπεδες καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y).

Ποιότητα δεδομένων: Η παραγωγή γεωγραφικών δεδομένων, τόσο πρωτογενώς όσο και δευτερογενώς, βασίζεται σε μετρήσεις και υπολογισμούς που αναπόφευκτα περιέχουν λάθη. Έτσι, οι τιμές τους δεν πρέπει να θεωρούνται απόλυτα ακριβείς. Για το λόγο αυτό είναι χρήσιμο τα γεωγραφικά δεδομένα να συνοδεύονται από το μέτρο της ποιότητάς τους, δηλαδή από μια εκτίμηση της απόκλισης από τις πραγματικές τιμές, καθώς επίσης και της πληρότητας και λογικής συνέπειάς τους.

Κλίμακα: Τα ψηφιακά δεδομένα είναι τυπικά ανεξάρτητα κλίμακας. Όμως για λόγους ελέγχου της ακρίβειας και αξιοπιστίας των δεδομένων, κρίνεται σκόπιμη η καταγραφή της κλίμακας των γεωγραφικών πληροφοριών πριν την ψηφιοποίησή τους.

Ενημέρωση δεδομένων: Μια και τα γεωγραφικά αντικείμενα και φαινόμενα του πραγματικού κόσμου μεταβάλλονται διαρκώς (για παράδειγμα, χαράσσονται νέοι δρόμοι, κατασκευάζονται γέφυρες ή φράγματα, μεταβάλλονται οι χρήσεις γης), πρέπει να ενημερώνονται αντίστοιχα και τα γεωγραφικά δεδομένα. Άρα, οι οργανισμοί που παράγουν γεωγραφικά δεδομένα θα πρέπει να φροντίζουν διαρκώς για την επικαιροποίησή τους, εξασφαλίζοντας και τους ανάλογους πόρους.

Τα γεωγραφικά δεδομένα είναι αυτά που απαιτούνται για την εξαγωγή πληροφοριών που θα είναι χρήσιμες για όσους λαμβάνουν αποφάσεις και όσους ασκούν διοίκηση και διαχείριση.

4.4.2 Κατηγορίες γεωγραφικών φαινομένων

Κατ' αρχήν η ταξινόμηση των γεωγραφικών φαινομένων γίνεται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τις διαστάσεις τους: σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά, ογκομετρικά ή τρισδιάστατα και δυναμικά ή πολυδιάστατα.

- *Σημειακά*

Το σημείο είναι μια αδιάστατη θέση. Η κατηγορία αυτή αφορά φαινόμενα που ανάγονται σε μια τοποθεσία ή σε κάποιο σημείο και μπορούν να επαναλαμβάνονται σε διακριτές θέσεις. Τέτοια φαινόμενα μπορούν να είναι βάθη θαλασσών, διασταυρώσεις δρόμων κλπ. Αν μιλάμε για μεγάλη αφαίρεση μια ολόκληρη πόλη, ή συνοπτικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής, η μέση ετήσια παραγωγή, που αποδίδεται στο κεντρικό σημείο της περιοχής. Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό των σημειακών φαινομένων είναι η συμπίκνωση των χαρακτηριστικών του στη θέση του.

- *Γραμμικά*

Είναι τα φαινόμενα με μονοδιάστατο κυρίαρχο χαρακτηριστικό. Τέτοια φαινόμενα αν και μερικές φορές έχουν πλάτος, όπως οι δρόμοι, τα ποτάμια, κλπ., η σχετική αναλογία του μήκους τους ως προς το πλάτος τους μας επιτρέπει να τα αντιληφθούμε σαν γραμμές. Παραδείγματα γραμμικών φαινομένων είναι τα όρια ανάμεσα σε διαφορετικές διοικητικές περιοχές, η ακτογραμμή, η πορεία διακίνησης υλικών, ή γραμμές διαχωρισμού ιδεών (αφηρημένα).

- *Επιφανειακά*

Είναι τα δισδιάστατα φαινόμενα, με κυρίαρχο χαρακτηριστικό την επιφανειακή κάλυψη της ιδιότητας που αντιπροσωπεύουν. Το περιεχόμενο αυτής της κατηγορίας όπως και των άλλων είναι αρκετά ευρύ. Τέτοια φαινόμενα είναι, η εθνικότητα, η γλώσσα, η θρησκεία κλπ.

- *Ογκομετρικά ή τρισδιάστατα*

Είναι τα φαινόμενα με τρισδιάστατη κατανομή. Μπορούν να είναι αφηρημένα (πχ. πληθυσμός πόλεως) ή περισσότερο απτά, όπως ο όγκος των κατακρημνίσεων σε μια περιοχή, ο όγκος παραγωγής σε κάρβουνο μιας περιοχής. Τα δεδομένα των φαινομένων αυτών προκύπτουν με διάφορους τρόπους, από απλές αθροίσεις, πολλές φορές αναφέρονται σε μια επιφάνεια αναφοράς, ή αποτελούν γεωγραφική πυκνότητα, δηλαδή αριθμό μονάδων ενός φαινομένου ανά μονάδα επιφάνειας.

- *Δυναμικά ή πολυδιάστατα*

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν φαινόμενα των οποίων η γεωγραφική κατανομή μεταβάλλεται διαχρονικά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φαινομένων αυτής της κατηγορίας είναι η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία, η διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού κλπ.

4.4.3 Διανυσματικά δεδομένα (Vector)-Δεδομένα Κανονικοποιημένης Ψηφιδωτής μορφής (Raster)

Για να αποδώσει χωρική πληροφορία ένα Γ.Σ.Π. θα πρέπει να επεξεργαστεί δεδομένα σε κατάλληλη μορφή. Δύο είναι οι κυριότερες μορφές δεδομένων: διανυσματικής (Vector) και κανονικοποιημένης ψηφιδωτής μορφής (Raster). Με αυτόν το τρόπο μεταφέρουμε το πραγματικό κόσμο μέσα στο σύστημα.

Τα δεδομένα διανυσματικής μορφής υπακούουν σε αυστηρές προδιαγραφές γεωγραφικής κλίμακας και θέσης. Κατά το πρώτο υπάρχει ελεγχόμενη αξιοπιστία μετρήσεων με υποδεκάμετρο πάνω στο χάρτη και με το δεύτερο η θέση του διανυσματικού στοιχείου προσδιορίζεται από ένα ζευγάρι τιμών

(χ, ψ) που είναι οι συντεταγμένες του στοιχείου. Τα διανυσματικά δεδομένα παρουσιάζονται ως σημεία, γραμμές και πολύγωνα.

Με *σημεία* απεικονίζουμε τα στοιχεία τα οποία δεν φέρουν καμία διάσταση στο χώρο. Έτσι απεικονίζονται με τη χρήση ενός ζεύγους συντεταγμένων (X, Y). Τέτοια στοιχεία μπορούν να είναι το σημεία έναρξης μιας πυρκαγιάς, το επίκεντρο ενός σεισμικού γεγονότος, η θέση ενός πυροφυλάκιου κ.α.

Ως *γραμμικά* στοιχεία απεικονίζονται στοιχεία μέσα από την αποθήκευση δύο ζευγαριών συντεταγμένων αυτών της αρχής και του τέλους. Αν η γραμμή παίρνει τη μορφή τόξου ή αλυσίδας γραμμών, τότε η απεικόνιση αναφέρεται σε n ζεύγη συντεταγμένων. Στοιχεία με αυτή τη μορφή μπορεί να είναι ένα οδικό δίκτυο, ένα σεισμικό ρήγμα, ένα ηλεκτρικό δίκτυο.

Πολυγωνικής μορφής στοιχείο μπορεί να είναι τα όρια ενός οικισμού ή ενός νομού, μια χωροθετημένη περιοχή με συγκεκριμένη ιδιότητα (π.χ. περιοχή Natura 2000). Χαρακτηριστικός παράγοντας στη δημιουργία ενός πολυγώνου είναι το εμβαδόν και η περίμετρός του (π.χ. περίμετρος και εμβαδόν καμένης έκτασης).

Οι σχέσεις και η συνδεσιμότητα των παραπάνω χωρικών οντοτήτων δίνεται κατά την δόμηση της τοπολογίας. Η τοπολογία βασίζεται πάντοτε σε υπάρχουσες γεωμετρικές δομές για τη σύνδεση, ενώ η γεωμετρία βασίζεται καθαρά σε συντεταγμένες. Η τοπολογία είναι μια διαδικασία που έπεται της δημιουργίας διανυσματικών δεδομένων δίνοντας μας την δυνατότητα να εντοπίσουμε τυχών λάθη και παραβλέψεις που έγιναν στην προηγούμενη διαδικασία (ψηφιοποίηση) .

Τα δεδομένα κανονικοποιημένης ψηφιδωτής μορφής (Raster) μας δίνουν την δυνατότητα απεικόνισης του συνεχούς χώρου. Η παρουσία τους συνιστάται στη σειριακή απόδοση των φατνίων (pixel). Κάθε φατνίο προσδιορίζεται από το ζεύγος σειράς-στήλης (i, j) του αντίστοιχου κανάβου που εκφράζεται ως στοιχείο ενός πίνακα και έναν αριθμό που προσδιορίζει το είδος ή την τιμή του χαρακτηριστικού που απεικονίζει. Το μέγεθος του φατνίου καθορίζεται από την κλίμακα της περιοχής που θέλουμε να απεικονίσουμε. Συνεπώς έχουμε ένα κανονικό αλλά αυθαίρετο σύστημα πολυγώνων για την αποθήκευση των γεωγραφικών στοιχείων.

Ανάλογα με την κατηγορία των στοιχείων που θέλουμε να απεικονίσουμε (σημείο, γραμμή, πολύγωνο) έχουμε περιπτώσεις όπου το *σημείο* αντιπροσωπεύεται από ένα φατνίο, η *γραμμή* από μια σειρά διαδοχικών φατνίων και η *επιφάνεια* από το σύνολο των φατνίων που εμπεριέχονται εντός της ακολουθίας των γραμμών που την ορίζουν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δεδομένων κανονικοποιημένης ψηφιδωτής μορφής, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν και στην παρούσα εργασία, είναι οι δορυφορικές εικόνες και τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEM). Ως DEM ορίζουμε ένα σύνολο διακεκριμένων σημείων με γνωστή οριζοντιογραφική θέση και γνωστό υψόμετρο τα οποία με την χρήση μαθηματικής συνάρτησης (μαθηματικό μοντέλο) συνθέτουν αξιόπιστα το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους (Χατζόπουλος, 2009).

Τα πλεονεκτήματα των vector δεδομένων είναι αρχικά ότι έχουν καλή παρουσίαση των στοιχείων του φυσικού κόσμου σε όλες τις κλίμακες. Έχουν συμπαγή και συνεκτική μορφή. Ακόμα τα προϊόντα ενός Σ.Γ.Π. με διανυσματικά δεδομένα είναι πιο κοντά στην παραδοσιακή μορφή χαρτών. Η τοπολογία μπορεί να περιγραφεί με λεπτομέρεια, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο στην ανάλυση δικτύων. Επίσης, είναι ευκολότερος ο μετασχηματισμός συντεταγμένων και συστημάτων προβολής. Τέλος είναι δυνατή η διόρθωση και η ενημέρωση των γραφικών στοιχείων. Στα μειονεκτήματα των

vector έχουμε ότι η θέση κάθε σημείου αποθηκεύεται. Η τεχνολογία vector είναι δαπανηρή και έχουν σύνθετες δομές δεδομένων. Ακόμα, οι αλγόριθμοι για ανάλυση και επεξεργασία είναι πολύπλοκοι. Τα διανυσματικά δεδομένα δεν επιτρέπουν την καλή απεικόνιση συνεχών δεδομένων και οι διαδικασίες υπέρθεσης και συνδυασμού είναι πολύπλοκες και απαιτούν ισχυρούς Η/Υ.

Πλεονέκτημα των Raster δεδομένων είναι ότι έχουν απλή δομή. Η χρήση μαθηματικών μοντέλων είναι ευκολότερη γιατί όλα τα στοιχεία έχουν το ίδιο μέγεθος. Ακόμα, η γεωγραφική θέση κάθε στοιχείου υποδηλώνεται από την θέση του στοιχείου στο κάναβο. Τα Raster αντιπροσωπεύουν καλύτερα τον συνεχή χώρο. Επίσης, επιτρέπουν στα ετερογενή στοιχεία να αναπαρίστανται αποτελεσματικά. Τέλος οι διαδικασίες υπέρθεσης και συνδυασμού είναι απλές. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα των Raster περιλαμβάνουν το γεγονός ότι έχουν μεγάλους όγκους γραφικών δεδομένων. Επίσης, το μέγεθος του κελιού καθορίζει την διακριτική ικανότητα του χάρτη. Ακόμα, είναι δύσκολο να απεικονιστούν γραμμικά στοιχεία και να δημιουργηθούν σύνδεσμοι δικτύων.

4.4.4 Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη Διαχείριση και Ανάλυση Γεωγραφικών Δεδομένων.

Περιγράφοντας τα ΣΓΠ και τις λειτουργίες που τα διέπουν μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αποτελεί κύριο εργαλείο για την επίλυση χωρικών προβλημάτων. Για την αποτελεσματική επίλυση και την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών τα ΣΓΠ κινούνται σε δυο άξονες:

1. Στη δημιουργία, οργάνωση και αποθήκευση έγκυρων και αξιόπιστων ψηφιακών δεδομένων.
2. Στην ανάλυση των χωρικών δεδομένων, μέσα από την ανάπτυξη εφαρμογών ώστε να λαμβάνουμε έγκυρες πληροφορίες για την επίλυση προβλημάτων.

Κατά τον πρώτο άξονα γίνεται συλλογή των δεδομένων, τα οποία τροποποιούνται, διορθώνονται, ενημερώνονται και κατόπιν αποθηκεύονται. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι χάρτες αναλογικοί (π.χ. τοπογραφικοί) οι οποίοι σκανάρονται και γεωαναφέρονται σε γνωστό προβολικό σύστημα (ΕΓΣΑ87), τοπογραφικές μετρήσεις και μετρήσεις με χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης, δορυφορικές εικόνες, στατιστικά στοιχεία, πίνακες, κείμενα και λοιπά ψηφιακά στοιχεία του χώρου. Οι κύριες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα για την τροποποίηση των δεδομένων είναι η ψηφιοποίηση, που μαζί με τη γεωαναφορά και την τοπολογία δημιουργούν ολοκληρωμένα διανυσματικά δεδομένα σημειακής, γραμμικής και πολυγωνικής μορφής (οδικό δίκτυο, όρια οικισμών, ακτογραμμές, σημείο έναρξης πυρκαγιάς κ.α.). Ακόμα έχουμε τη δημιουργία κανονικοποιημένης ψηφιδωτής μορφής δεδομένων, όπως είναι η δημιουργία ενός υψομετρικού μοντέλου εδάφους (DEM), με τη χρήση ισοϋψών καμπυλών και μεθόδων χωρικής παρεμβολής ή ακόμα και εφαρμογών τηλεπισκόπησης-φωτοερμηνείας και φωτογραμμετρίας σε αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας. Τελευταίο στάδιο είναι η οργάνωση και αποθήκευση των χωρικών δεδομένων σε μια βάση. Η βάση γεωγραφικών δεδομένων θα διαχειρίζεται και θα διασφαλίζει την ακεραιότητα του περιεχομένου της, στην οποία εκτός των χωρικών στοιχείων θα υπάρχουν και μη χωρικά όπως πίνακες περιγραφικών στοιχείων. Κύρια προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία της βάσης είναι τα δεδομένα να προέρχονται από ακριβείς, έγκυρες και αξιόπιστες επιστημονικά πηγές, να βρίσκονται σε κοινό προβολικό σύστημα και σωστή κλίμακα.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν τα συστατικά υλικά για την επίτευξη του τελικού στόχου, που δεν είναι άλλος από την επίλυση χωρικών προβλημάτων με τη χρήση ΓΣΠ. Η **Ανάλυση** των δεδομένων, η οποία αποτελεί την καρδιά των ΓΣΠ, όχι μόνο βοηθάει την αντιμετώπιση προβλημάτων αλλά έχει ως κύριο στόχο τη λήψη αποφάσεων και το σχεδιασμό. Τα ΓΣΠ συμβάλλουν, τόσο στην λήψη

αποφάσεων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συνόλου (χάραξη πολιτικής), όσο και στη διαχείριση του περιβάλλοντος, λειτουργώντας ως εργαλείο για την μοντελοποίηση φαινομένων τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμηση και πρόγνωσης γεγονότων και καταστάσεων που εξελίσσονται στο χώρο.

Με την έννοια της μοντελοποίησης αναφερόμαστε σε στατιστικά μοντέλα, που με τη σειρά τους αφορούν φαινόμενα που υπόκεινται σε αβεβαιότητα ή αλλιώς ρυθμίζονται από τους νόμους των πιθανοτήτων και εκφράζονται μέσα από τις έννοιες της τυχαίας μεταβλητής και της κατανομής πιθανοτήτων (Κουτσόπουλος, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 Παρουσίαση μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν



Εικόνα 0-1 Χάρτης της περιοχής έρευνας όπου διακρίνονται και οι περιοχές των κατολισθήσεων (μαύρες κουκκίδες).

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου είναι η **Τεχνικογεωλογική Ενότητα**, η **Μορφολογική κλίση**, η **Απόσταση από Οδικό δίκτυο**, η **Απόσταση από το Υδρογραφικό Δίκτυο**, η **Απόσταση από Τεκτονικές Δομές** και τέλος η **Διεύθυνση των Μορφολογικών κλίσεων**.

Κατά την διαδικασία ανάπτυξη ενός οποιουδήποτε μοντέλου πρόβλεψης, οι μεταβλητές και η διαμόρφωση των κλάσεων των μεταβλητών που επιλέχθηκαν αποτελούν τις δύο πιο ουσιώδεις διαδικασίες, αφού η χρήση πολλών μεταβλητών αυξάνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου πρόβλεψης. Αυτό στην συγκεκριμένη μέθοδο συμβαίνει γιατί στηρίζεται κυρίως στους Ειδικούς και έτσι ο μεγάλος αριθμός μεταβλητών αυξάνει την πολυπλοκότητα του μοντέλου σε σχέση με έναν μικρό αριθμό μεταβλητών που αγνοεί χαρακτηριστικά του φαινομένου (Benardos & Kaliambakos, 2004). Ακόμα, σημαντικός παράγοντας για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων αποτελεί και η διαμόρφωση των κλάσεων των προγνωστικών μεταβλητών.

Τα Γ.Σ.Π., σύμφωνα με τους Βαλαδάκη και Πλέσσα (2001), επιτρέπουν την διάκριση των κλάσεων και κατηγοριών, περιγραφικών και αριθμητικών, με τρεις τρόπους :

1. διάκριση χωρικών αντικειμένων σε κατηγορίες με βάση μια ή περισσότερες πληροφορίες
2. διάκριση της γεωγραφικής περιοχής σε κατηγορίες με βάση μία ιδιότητα
3. κατηγοριοποίηση πληροφοριών με τιμές που εκφράζονται από τακτικά αριθμητικά

Πίνακας 0-1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	Α. ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ Δ.	ΜΟΡΦ. ΚΛΙΣΕΙΣ	Δ.ΜΟΡ Φ.ΚΛΙΣ ΕΩΝ	Α. ΑΠΟ ΟΔΙΚΟ Δ.
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ	1	0,2	0,25	0,3333	3	0,3333
ΓΕΩΛΟΓΙΑ	5	1	5	3	7	4
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	4	0,2	1	0,3333	3	0,5
ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ	3	0,3333	3	1	5	3
Δ.ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΛΙΣΗΣ	0,3333	0,1429	0,3333	0,2	1	0,2
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	3	0,25	2	0,3333	5	1

Όπως είναι διακριτό από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα η γεωλογία κατέχει τον σπουδαιότερο ρόλο σε σχέση με τους άλλους παράγοντες που ευνοούν τα κατολισθητικά φαινόμενα. Στις περιοχές όπου υπάρχουν μαργαϊκοί σχηματισμοί είναι πιο πιθανό να παρουσιαστούν κατολισθήσεις ενώ μετά ακολουθούν περιοχές όπου σημαντικό ρόλο παίζει η μορφολογική κλίση. Έπειτα, ακολουθεί ο παράγοντας της απόστασης από το οδικό δίκτυο και αμέσως μετά ο παράγοντας που επηρεάζει την εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων είναι η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής. Τέλος, οι μεταβλητές που επηρεάζουν λιγότερο την εμφάνιση των φαινομένων αυτών είναι η απόσταση από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά καθώς επίσης και η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων.

Παρακάτω ακολουθεί η παρουσίαση των μεταβλητών καθώς και η επεξήγηση της διαμόρφωσης των κλάσεων κάθε μεταβλητών και των αντίστοιχων χαρτών.

5.1.1 Γεωλογία

Η γεωλογία και οι λιθολογικές ενότητες αποτελούν τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που ελέγχουν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων σε ότι αφορά τον τύπο, την ένταση και την επανάληψη (Sidle & Ochiai, 2006; Fell et al., 2008). Στην περιοχή της έρευνας μας διαπιστώθηκαν σχηματισμοί με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά και σχηματισμοί που καλύπτουν άλλους μικρότερης αντοχής. Ακόμα διαπιστώθηκαν εναλλαγές στρωμάτων με διαφορετική μηχανική αντοχή.

Όπως θα παρατηρηθεί και παρακάτω τα περισσότερα κατολισθητικά φαινόμενα, σε σχέση πάντα με τις λιθολογικές ενότητες, εντοπίζονται στους σχηματισμούς των μαργών με ποσοστό 50,35%, έπειτα τα αλλούβια με ποσοστό 18,70%, τα κορήματα 7,15%, ο φλύσχης 18,70%, οι ασβεστόλιθοι 2,64% και τέλος οι λάβες / δακίτες με ποσοστό 2,64%.

Πίνακας 0-2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

	ΜΑΡΓΕΣ	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	ΦΛΥΣΧΗΣ	ΚΟΡΗΜΑΤΑ	ΑΣΒΕΣΤΟ-ΛΙΘΟΙ	ΔΑΚΙΤΕΣ
ΜΑΡΓΕΣ	1	5	5	7	9	9
ΑΛΛΟΥΒΙΑ	0,2	1	1	5	7	9
ΦΛΥΣΧΗΣ	0,2	1	1	5	7	9
ΚΟΡΗΜΑΤΑ	0,1428	0,2	0,2	1	5	5
ΑΣΒΕΣΤΟ-ΛΙΘΟΙ	0,111	0,1428	0,1428	0,2	1	1
ΔΑΚΙΤΕΣ	0,111	0,111	0,111	0,2	1	1

Στην περιοχή έρευνάς, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5-1, είναι ευδιάκριτη η επικράτηση τεσσάρων λιθολογικών οι οποίες προέκυψαν από την αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των ενοτήτων και οι οποίες περιλαμβάνουν :

1. **Λιθολογική ενότητα Α** : Σχηματισμοί πολύ μικρής κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Ασβεστόλιθοι, Λάβες, Δακίτες)
2. **Λιθολογική ενότητα Β** : Σχηματισμοί μικρής κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Κορρήματα)
3. **Λιθολογική ενότητα Γ** : Σχηματισμοί μέσης κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Αλλούβια, Φλύσχης)
4. **Λιθολογική ενότητα Δ** : Σχηματισμοί υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Μάργες)

Στην εικόνα 5-1 παρουσιάζεται ο χάρτης που εντοπίζονται οι παραπάνω λιθολογικές ενότητες.

5.1.2 Μορφολογικές Κλίσεις

Στην περιοχή έρευνας διαμορφώθηκαν τέσσερις κλάσεις συνυπολογίζοντας την εμπειρία των Ειδικών, τις βιβλιογραφικές αναφορές και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των γεωλογικών αυτών σχηματισμών. Οι μορφολογικές κλίσεις καθώς και η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων ενός φυσικού πρσανούς, επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (*Wu et al., 2004; Jayboyedoff et al., 2004; Rozos et al., 2008*).

Οι τέσσερις κλάσεις που προέκυψαν στην περιοχή της έρευνας είναι οι εξής :

- **Κατηγορία Α, 0° - 16°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 16,19%
- **Κατηγορία Β, 17° - 36°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 6,51%
- **Κατηγορία Γ, 37° - 50°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 18,13%
- **Κατηγορία Δ, > 50°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 59,17%

Στην εικόνα 5-2 παρουσιάζεται ο χάρτης όπου διακρίνονται οι παραπάνω κλάσεις.

5.1.3 Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο

Το μορφολογικό ανάγλυφο, η λιθολογική σύσταση, οι τεκτονικοί παράγοντες και οι κλιματολογικές συνθήκες είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής. Η δημιουργία αξονικών διαβρώσεων είναι αποτέλεσμα του έντονου διαμελισμού των σχηματισμών και της καταστροφής τους σε περιοχές με ανεπτυγμένο πυκνό υδρογραφικό δίκτυο. Απ' την άλλη μεριά η ανάπτυξη αραιού υδρογραφικού δικτύου υποδηλώνει μεγαλύτερη σταθερότητα των λεκανών (*Gokceoglu & Aksoy, 1996; Dai et al., 2001; Saha et al., 2002; Cevik & Topal, 2003; Yalcin, 2005*).

Οι κλάσεις που προέκυψαν στην περιοχή έρευνας είναι οι εξής :

- **Κατηγορία Α, απόσταση 0m - 50m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 57,38%
- **Κατηγορία Β, απόσταση 51m - 100m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 23,88%
- **Κατηγορία Γ, απόσταση 101m - 200m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 13,10%
- **Κατηγορία Δ, απόσταση > 201** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 5,63%

Στην εικόνα 5-3 παρουσιάζεται ο χάρτης που διακρίνονται οι παραπάνω κλάσεις.

5.1.4 Απόσταση από το οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο είναι παράγοντας ανθρωπογενούς παρέμβασης (Ayalew *et al.*, 2005, Mancini *et al.*, 2010). Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια οι ανθρώπινες παρεμβάσεις έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων. Οι εκτεταμένες εκσκαφές, η εφαρμογή εξωτερικών φορτίων και η απομάκρυνση της βλάστησης είναι οι πιο συνήθειες ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά μήκος του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του (Pachauri & Pant, 1992, Pachauri *et al.*, 1998, Ayalew & Yamagishi, 2005, Yalcin, 2005, Βασιλειάδης, 2010).

Οι κλάσεις που διακρίνονται στην περιοχή έρευνας και αφορούν το οδικό δίκτυο είναι οι εξής :

- **Κατηγορία Α, απόσταση 0m - 50m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 57,35%
- **Κατηγορία Β, απόσταση 51m - 100m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 27,12%
- **Κατηγορία Γ, απόσταση 101m - 200m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 11,02%
- **Κατηγορία Δ, απόσταση > 201** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 4,51%

Στην εικόνα 5-4 παρουσιάζεται ο χάρτης του οδικού δικτύου.

5.1.5 Διεύθυνση Μορφολογικών Κλίσεων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων είναι παράγοντας που δεν επιδρά άμεσα στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων. Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει η διεύθυνση κλίσης το φαινόμενο αφορά κυρίως την επίδραση της έκθεσης σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, π.χ. διάρκεια ηλιακού φωτός, ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία κ.α., αλλά και διαφορετικών συνθηκών ανάπτυξης βλάστησης (Guzzetti *et al.*, 1999, Nagarajan *et al.*, 2000, Saha *et al.*, 2002, Cevik & Topal, 2003, Ercanoglu *et al.*, 2004, Lee *et al.*, 2004a, Lee, 2005).

Οι κλάσεις που προέκυψαν μετά την αξιολόγηση των Ειδικών είναι οι εξής πέντε (5) :

- **Κατηγορία Α, 0° - 45° / 135° - 225°**: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 50,91%
- **Κατηγορία Β, 45° - 90°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 24,81%
- **Κατηγορία Γ, 90° - 135° / 270° - 315°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 8,30%
- **Κατηγορία Γ, 225° - 270°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 12,05%

- **Κατηγορία Δ, 315° - 360°** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 3,93%

Στην εικόνα 5-5 παρουσιάζεται ο χάρτης που διακρίνονται οι παραπάνω κλάσεις.

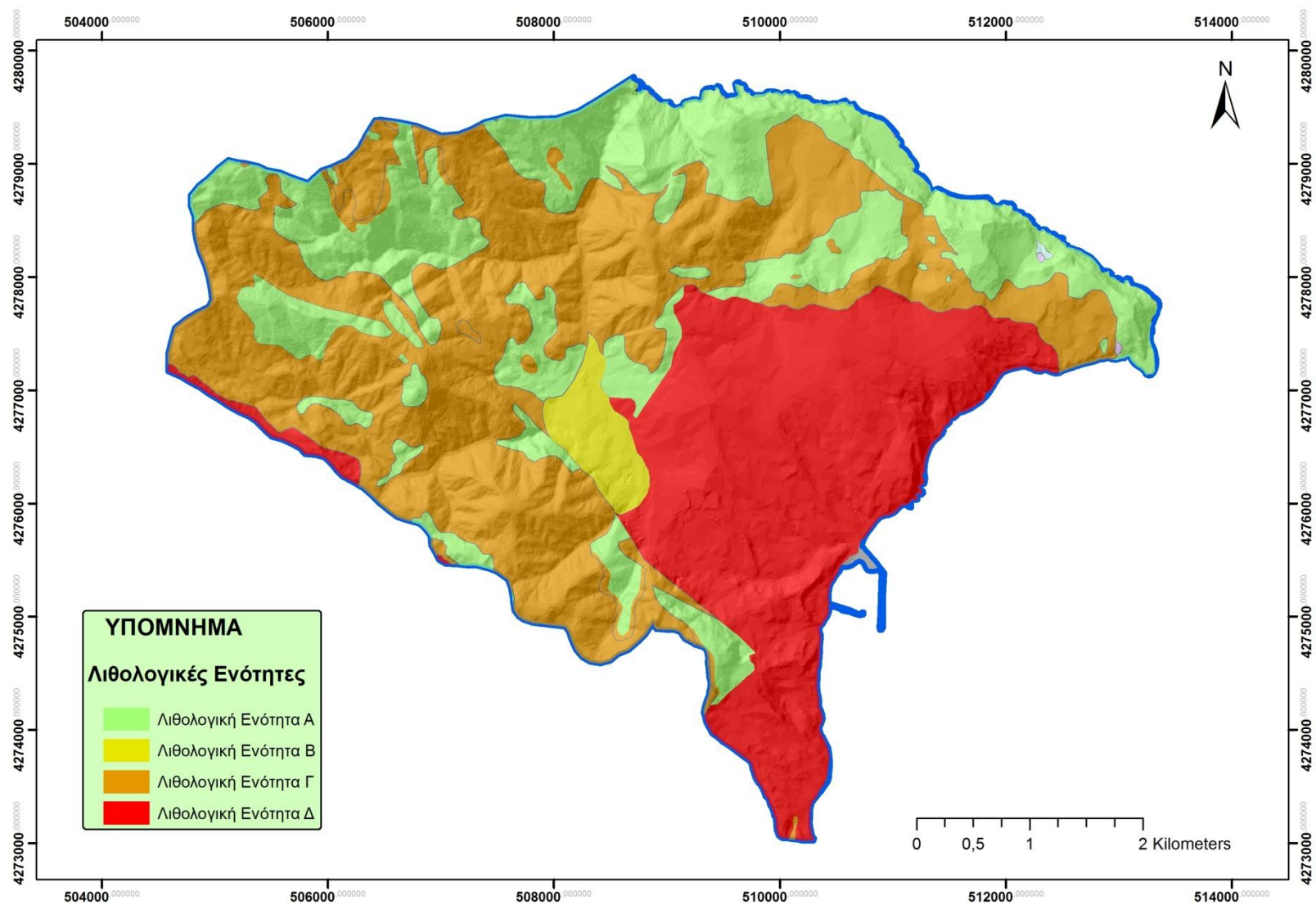
5.1.6 Απόσταση από τεκτονικές δομές

Ο Varnes (1984) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι ο βαθμός ρωγμάτωσης παίζει κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό της ευστάθειας του πρανούς. Περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ρήγματα και τεκτονικά χαρακτηριστικά αποτελούν περιοχές με ιδιαίτερα αυξημένο το ποσοστό πιθανότητας εμφάνισης αστοχιών. Η τεκτονική δραστηριότητα επιδρά στην ευστάθεια μέσω της διαμόρφωσης των επιφανειών ασυνέχειας (*Ibetsberger, 1996, Pachauri et al., 1998*).

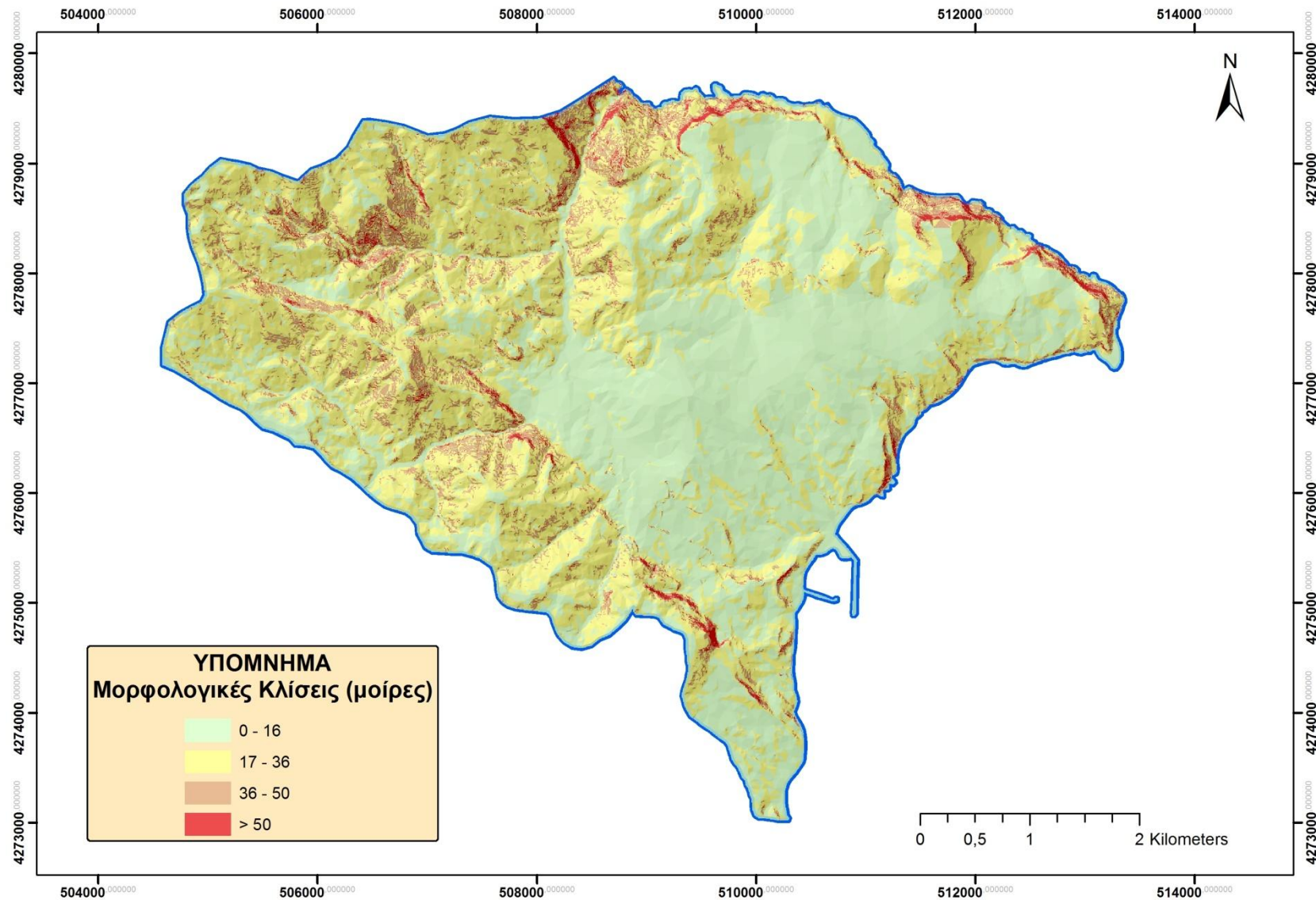
Οι κλάσεις που προέκυψαν στην περιοχή έρευνας είναι οι εξής :

- **Κατηγορία Α, απόσταση 0m - 150m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 57,88%
- **Κατηγορία Β, απόσταση 151m - 300m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 28,88%
- **Κατηγορία Γ, απόσταση 301m - 450m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 9,26%
- **Κατηγορία Δ, απόσταση > 451m** : Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 3,98%

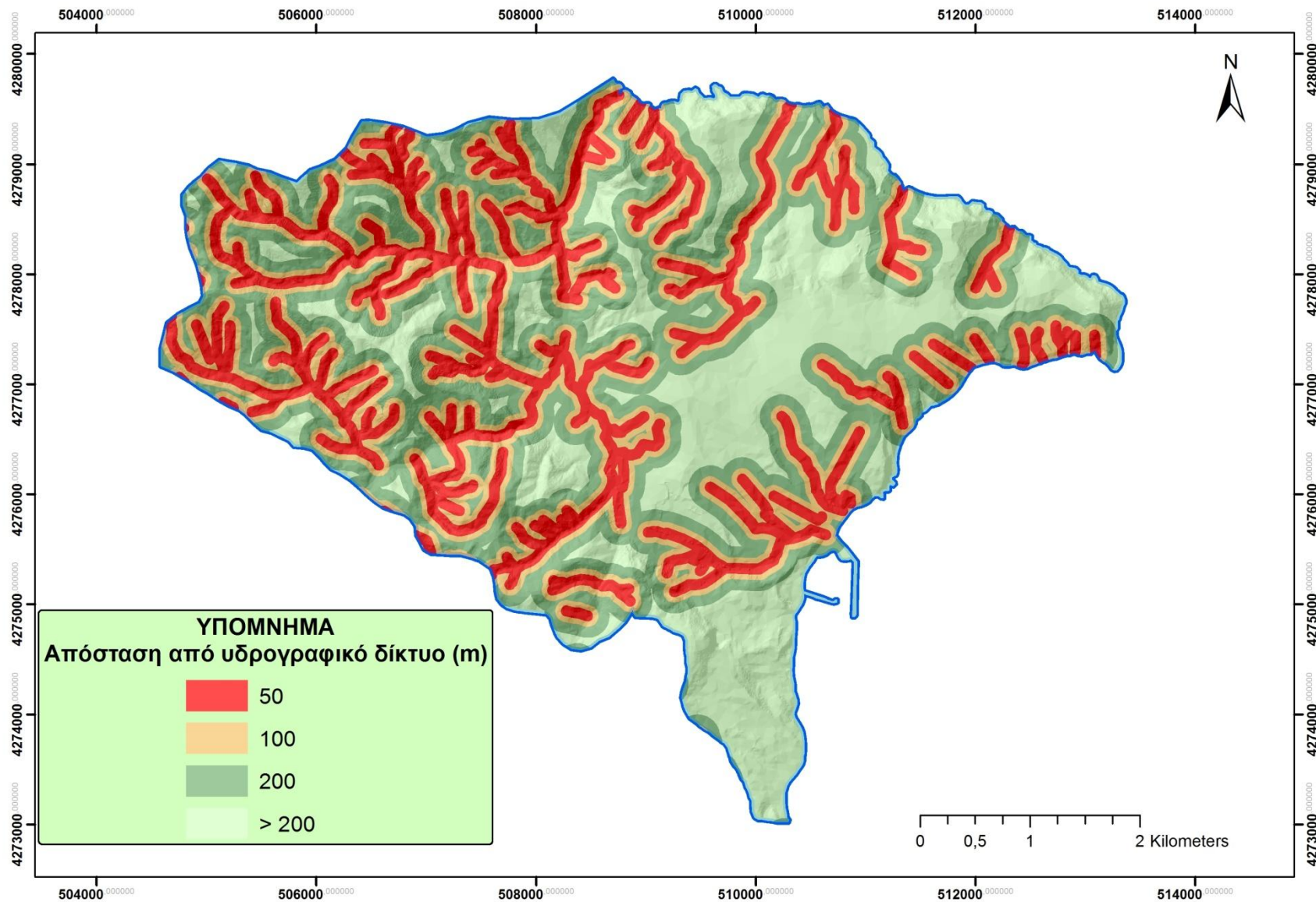
Στην εικόνα 5-6 παρουσιάζεται ο χάρτης όπου διακρίνονται οι αποστάσεις από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά.



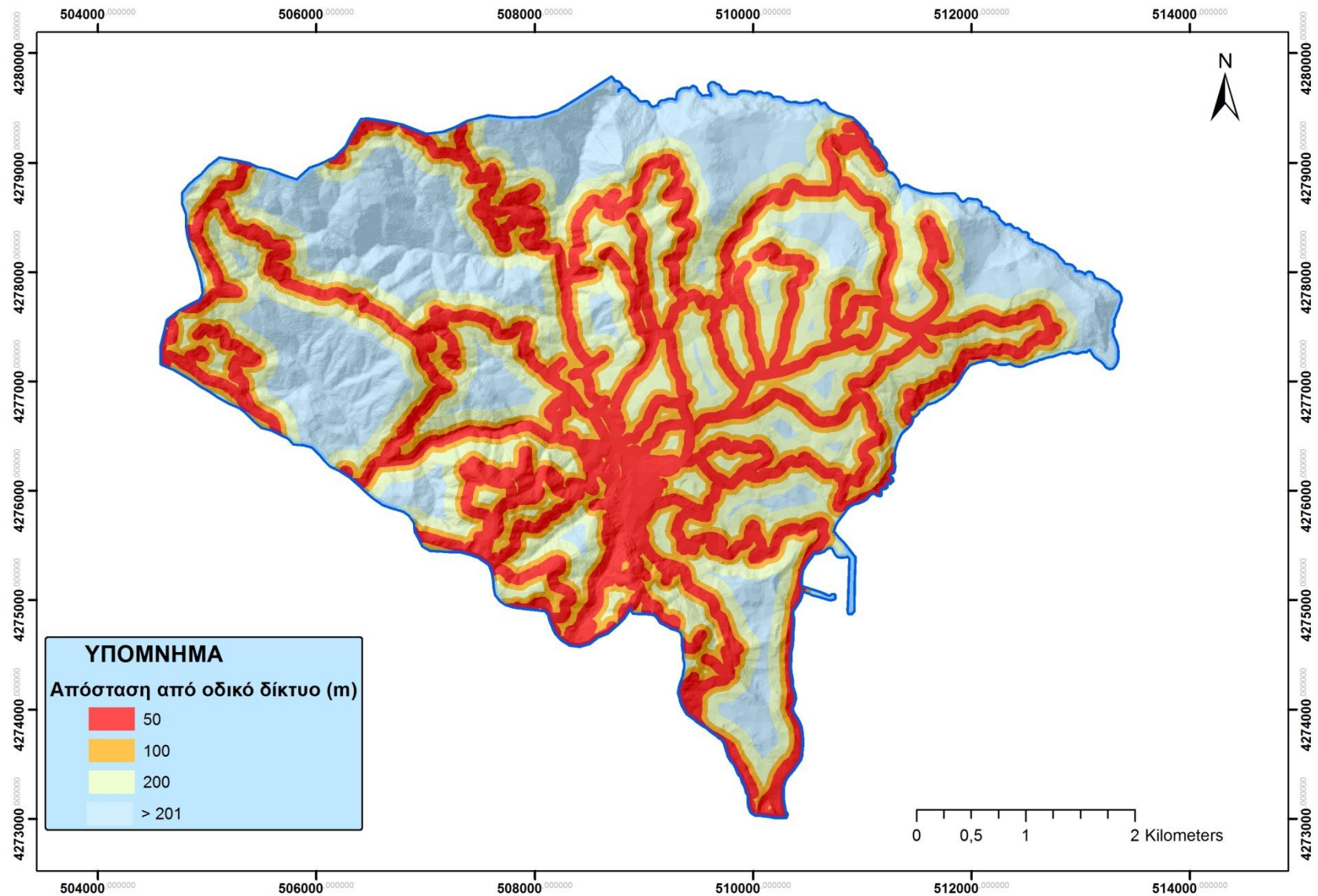
Εικόνα 0-2 Χάρτης λιθολογικών ενοτήτων



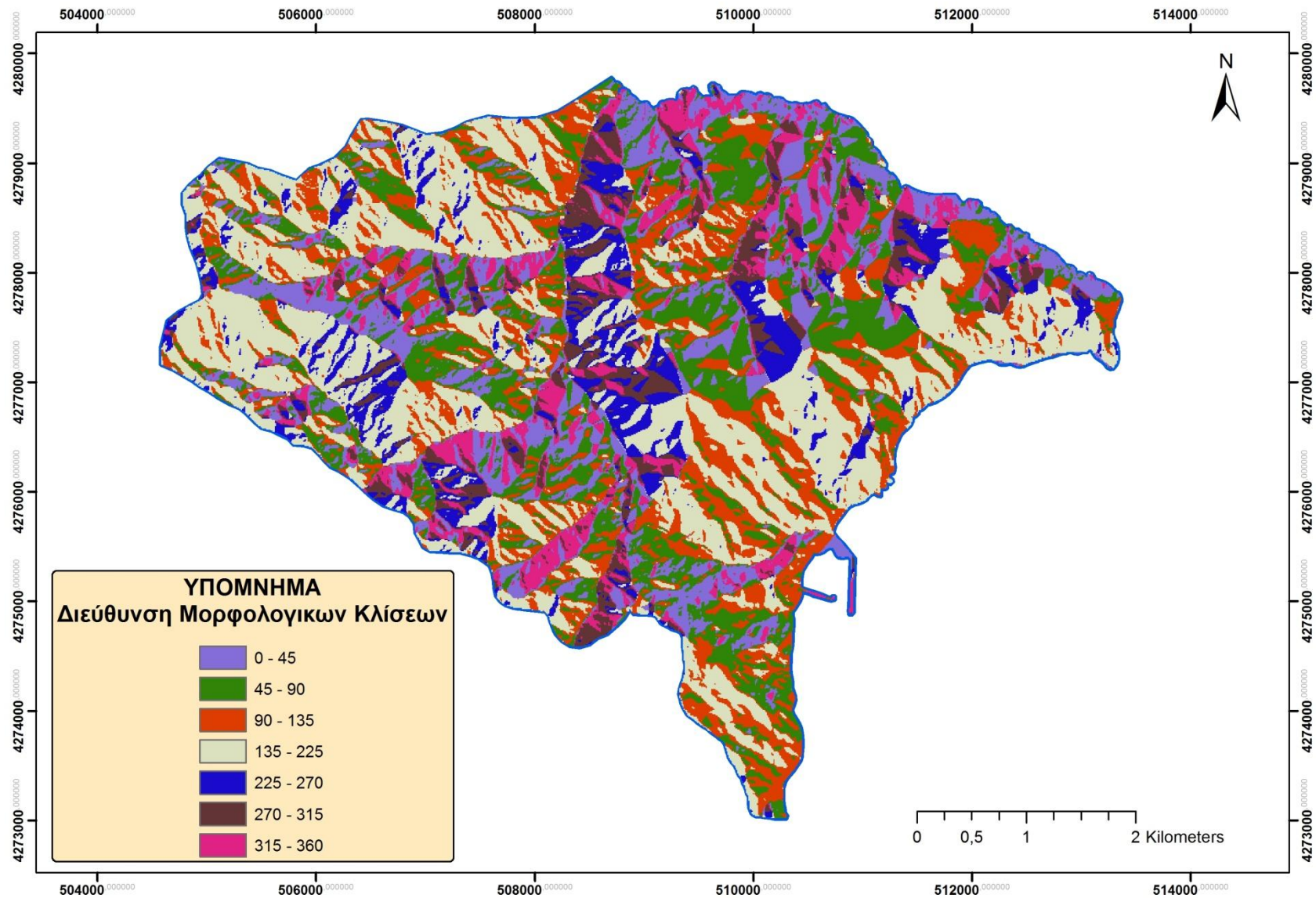
Εικόνα 0-3 Χάρτης Μορφολογικών κλίσεων



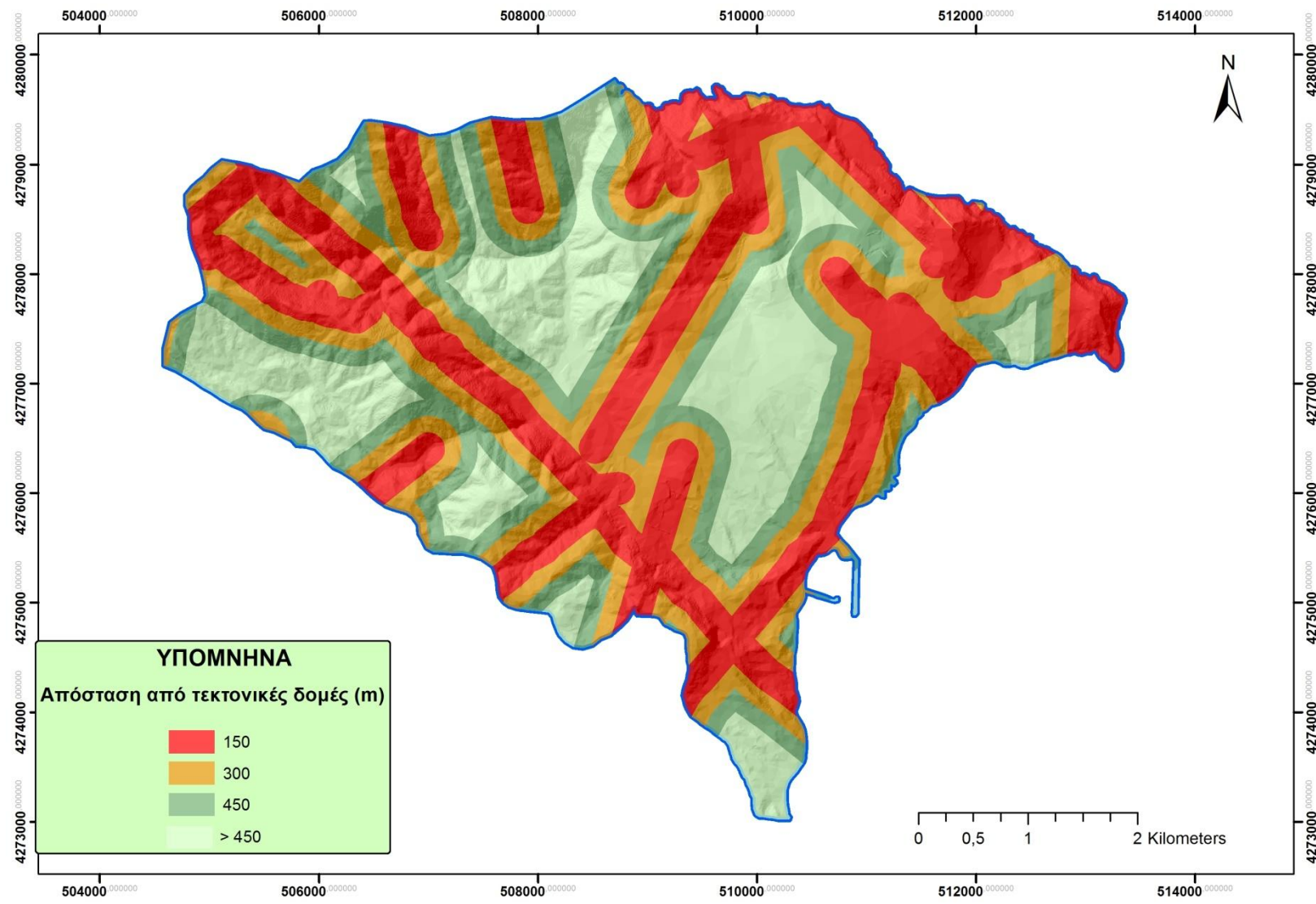
Εικόνα 0-4 Απόστασης από Υδρογραφικό Δίκτυο



Εικόνα 0-5 Χάρτης Απόστασης από Οδικό Δίκτυο



Εικόνα 0-6 Χάρτης Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων



Εικόνα 0-7 Χάρτης Απόστασης από Τεκτονικές δομές

5.2 Εφαρμογή μεθόδου Α.Η.Ρ.

Για την εφαρμογή της μεθόδου Α.Η.Ρ. χρησιμοποιήθηκαν 6 παράμετροι και κάθε κλάση που τους χαρακτηρίζει βαθμολογούνται ανάλογα με την επίδραση που έχουν στην κατολισθητική επιδεκτικότητα. Τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας (πίνακας 5-3) στον οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα της βαθμολογίας για κάθε μία από τις έξι (6) παραμέτρους. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα της επίδρασης που έχουν στην κατολισθητική επιδεκτικότητα.

Πίνακας 0-3 Ιεραρχική Διαδικασία Απόφασης

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

	ΜΑΡΓΕΣ	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	ΦΛΥΣΧΗΣ	ΚΟΡΗΜΑΤΑ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	ΔΑΚΙΤΕΣ	ΣΥΝΤ. ΒΑΡΥΤΗ ΤΑΣ
ΜΑΡΓΕΣ	1	5	5	7	9	9	0,5035
ΑΛΛΟΥΒΙΑ	1/5	1	1	5	7	9	0,1870
ΦΛΥΣΧΗΣ	1/5	1	1	5	7	9	0,0715
ΚΟΡΗΜΑΤΑ	1/7	1/5	1/5	1	5	5	0,1870
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	1/9	1/7	1/7	1/5	1	1	0,0264
ΔΑΚΙΤΕΣ	1/9	1/9	1/9	1/5	1	1	0,0264
					λ_{\max}		6,62
					CI		0,12
					CR		0,1

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ

	< 16°	17° - 36°	37° - 50°	> 50°	ΣΥΝΤ. ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
< 16°	1	3	1	0,2	0,1619
17° - 36°	0,33333333	1	0,33333333	0,1428571	0,0651
36° - 50°	1	3	1	0,33333333	0,0651
> 50°	5	7	3	1	0,5917
			λ_{\max}	4,057089	
			CI	0,01903	
			CR	0,021144	

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ

	225°-270°	45°-90°	90°-135°/ 270°-315°	315°-360°	0°-45°/ 135° - 225°	ΣΥΝΤ. ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
225°-270°	1	0,33333333	2	3	0,2	0,5091
45°-90°	3	1	3	5	0,33333333	0,2481
90°-135°/ 270°-315°	0,5	0,33333333	1	2	0,2	0,0830
315°-360°	0,33333333	0,2	0,5	1	0,142857	0,1205
0°-45°/ 135° - 225°	5	3	5	7	1	0,0393
				λ_{\max}		5,008995
				CI		0,002249
				CR		0,002008

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

	150m	151m - 300m	301m - 450m	> 451m	ΣΥΝΤ. ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
150m	1	3	7	9	0,5788
151m - 300m	0,333333	1	5	7	0,2888
301m - 450m	0,142857	0,2	1	4	0,0926
> 451m	0,111111	0,142857	0,25	1	0,0398
			λ _{max}	4,235416	
			CI	0,078472	
			CR	0,087191	

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

	50m	51m - 100m	101m - 200m	> 201m	ΣΥΝΤ. ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
50m	1	3	5	7	0,5738
51m - 100m	0,333333	1	2	5	0,2388
101m - 200m	0,2	0,5	1	3	0,1310
> 201m	0,142857	0,2	0,333333	1	0,0563
			λ _{max}	4,077627	
			CI	0,025876	
			CR	0,028751	

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

	50m	51m - 100m	101m - 200m	> 201m	ΣΥΝΤ. ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
50m	1	3	5	9	0,5735
51m - 100m	0,333333333	1	3	7	0,2712
101m - 200m	0,2	0,33333333	1	3	0,1102
> 201m	0,111111111	0,14285714	0,33333333	1	0,0451
			λ _{max}	4,087631	
			CI	0,02921	
			CR	0,032456	

Αναλύοντας όμως τις παραπάνω μεταβλητές ξεχωριστά προκύπτουν τα εξής :

- Όσον αφορά την μορφολογική κλίση, οι περιοχές που βρίσκονται εγγύτερα σε κλίσεις μεγαλύτερες από 50° έχουν πολύ μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε σχέση με περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στις κλίσεις από 0° - 16° και 17° - 36°. Έπειτα οι κλάσεις των 0° - 16° και 17° - 36° είναι αυτές που ακολουθούν σε σπουδαιότητα και παρουσιάζουν ελάχιστες διαφοροποιήσεις αφού η μεταξύ τους σπουδαιότητα κρίνεται στην πείρα και την κρίση των Ειδικών.
- Στην απόσταση από το οδικό δίκτυο είναι ευδιάκριτο ότι οι περιοχές που έχουν απόσταση κάτω των 50m είναι η περιοχή με την μεγαλύτερη σπουδαιότητα αφού η εκδήλωση του φαινομένου των κατολισθήσεων στις περιοχές αυτές αποτελούν έναν από τους πιο επικίνδυνους παράγοντες γεγονός που οφείλεται στο ότι επηρεάζεται άμεσα η ζωή των κατοίκων των περιοχών αυτών.

- Στην απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο περιοχές σε απόσταση μικρότερη 50m και σε αποστάσεις από 50m - 100m είναι αυτές που επηρεάζονται περισσότερο από τα κατολισθητικά φαινόμενα. Ακόμα στην περιοχή της έρευνας μας οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 50m παρουσιάζουν και τα πιο έντονα κατολισθητικά φαινόμενα.
- Στην απόσταση από τα τεκτονικά φαινόμενα διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα των συμβάντων επικρατεί στις κλάσεις κάτω των 150m και στην συνέχεια να ακολουθούν οι κλάσεις των 150m - 300m και έπειτα ακολουθούν οι κλάσεις των πάνω από τα 450m και των 300m - 450m.
- Τέλος, η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων, που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω επηρεάζει την επίδραση της έκθεσης στις κλιματολογικές συνθήκες τα κατολισθητικά το πλήθος των κατολισθήσεων εμφανίζεται στην κλάση από 0° - 220° με τις υπόλοιπες κλάσεις να ακολουθούν κατά σειρά.

5.3 Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για την τελική εκτίμηση του δείκτη επιδεκτικότητας αθροίζονται το γινόμενο των συντελεστών βαρύτητας κάθε κλάσης και κάθε μεταβλητής σύμφωνα με την εξίσωση :

$$LSI = \sum_{j=1}^n W_j w_{ij}$$

όπου, LSI : ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας
 W_j : η βαρύτητα της παραμέτρου j
 w_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i στην παράμετρο j
 n : ο αριθμός των παραμέτρων

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας στον οποίο φαίνονται οι συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων.

Γεωλογία	0,4279
Μορφολογικές κλίσεις	0,2281
Απόσταση από οδικό δίκτυο	0,1393
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	0,1073
Απόσταση από τεκτονικές δομές	0,0623
Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων	0,0350

Ο Δείκτης Κατολίσθησης κινδύνου (LSI) δίνεται από τον παραπάνω τύπο και είναι το άθροισμα των raster μετά από τον πολλαπλασιασμό τους από τα αντίστοιχα βάρη (Kouli et al, 2010; Pandley et al, 2007; Saha et al, 2002).

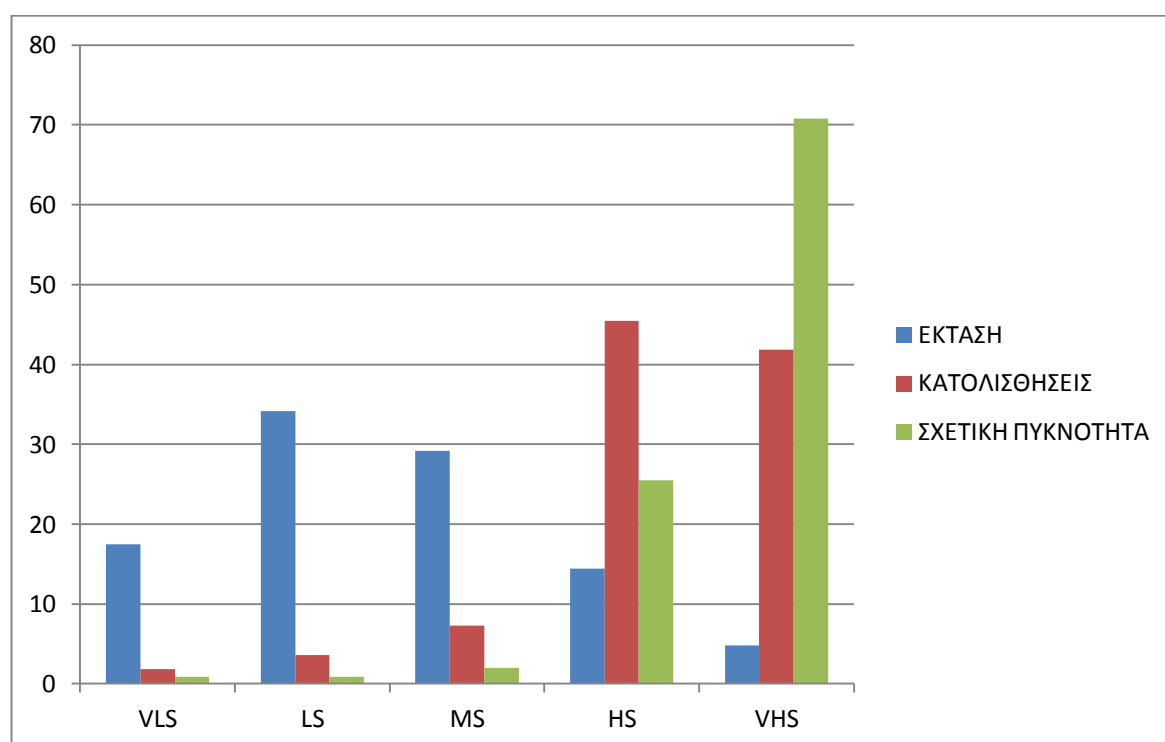
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας (εικόνα 5-8) στον οποίο τα αποτελέσματα ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις ανάλογα με την κατολισθητική επιδεκτικότητα. Η ταξινόμηση των κλάσεων ξεκινά με αυτές που έχουν πολύ χαμηλή επιδεκτικότητα (VLS) και στην

συνέχεια ακολουθούν χαμηλή επιδεκτικότητα (LS), μέτρια επιδεκτικότητα (MS), υψηλή επιδεκτικότητα (MS), πολύ υψηλή επιδεκτικότητα (VHS).

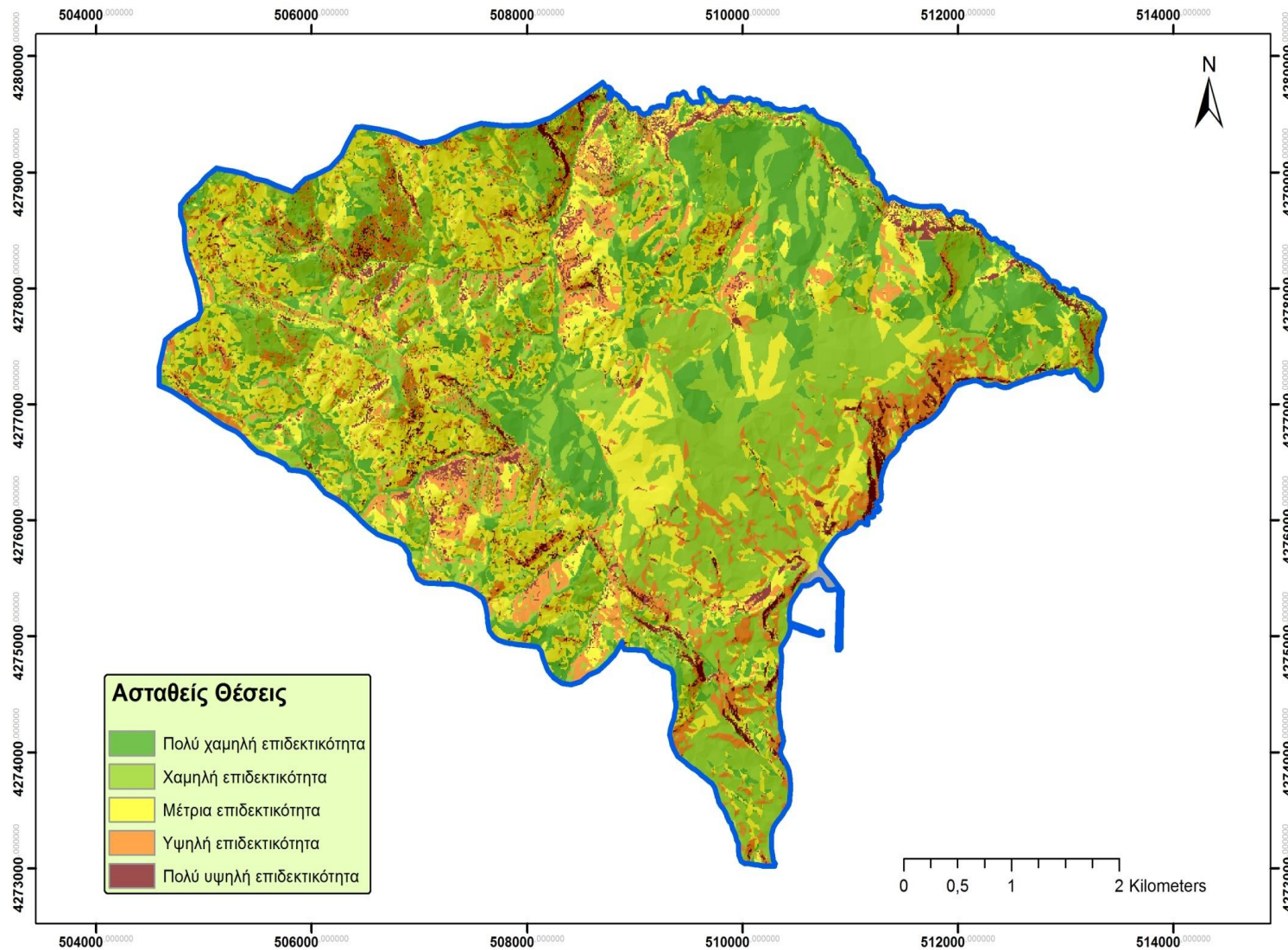
Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5-4) παρουσιάζονται η έκταση που καταλαμβάνει κάθε κλάση σε m^2 , οι κατολισθήσεις της κάθε έκτασης καθώς και η πυκνότητά τους.

Πίνακας 0-4 Αποτελέσματα μεθόδου πρόβλεψης που στηρίζονται στην Analytical Hierarchy Process

Κλάση	Έκταση	Έκταση %	Κατολισθήσεις	Κατολισθήσεις %	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα %
VLS	50486	17,46975	1	1,818182	0,104076	0,841679
LS	98714	34,15816	2	3,636364	0,106457	0,860932
MS	84271	29,16042	4	7,272727	0,249404	2,01697
HS	41719	14,43609	25	45,45455	3,148674	25,46383
VHS	13801	4,775581	23	41,81818	8,756668	70,81658



Σχήμα 0.1 Γράφημα αποτελεσμάτων μοντέλου πρόβλεψης A.H.P

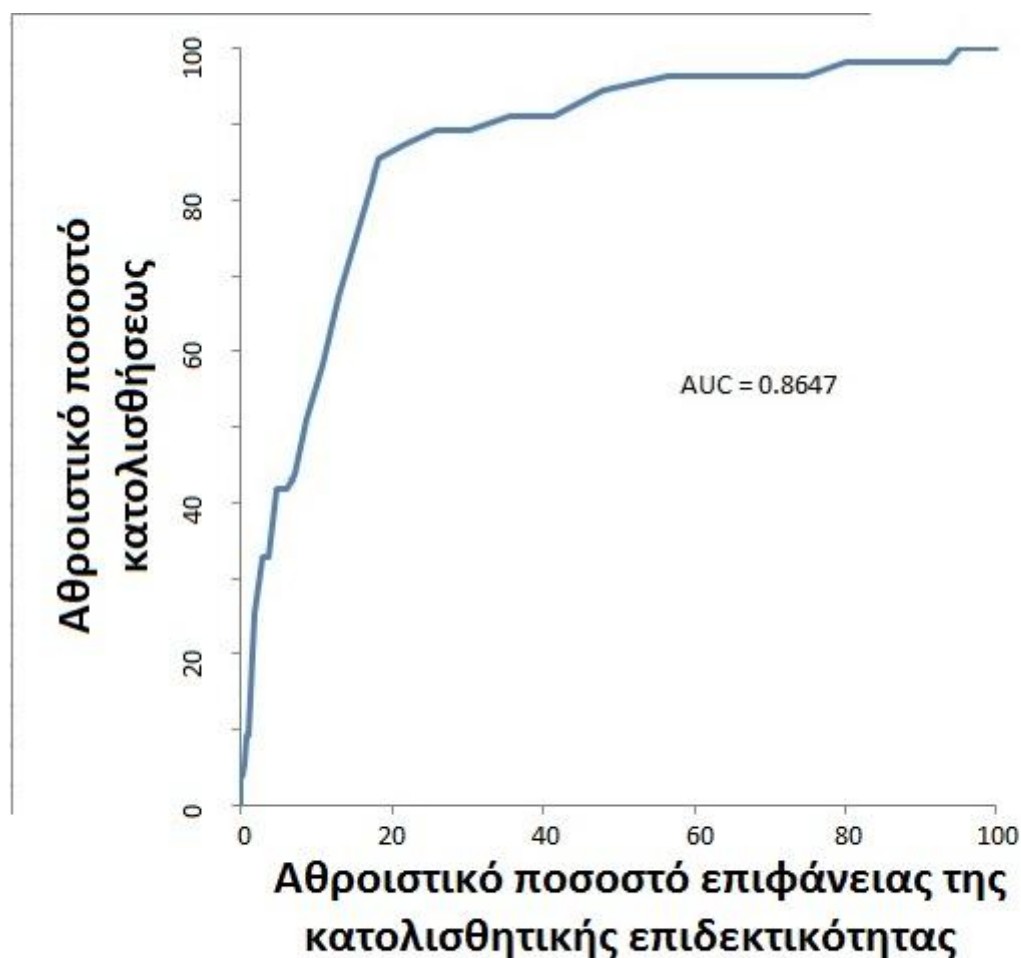


Εικόνα 0-8 Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας

5.4 Εκτίμηση ακρίβειας και επαλήθευση χάρτη

Για την βαθμονόμηση των χαρτών χρησιμοποιούνται οι καμπύλες επιτυχούς εκτίμησης (success rate curves) (Chung and Fabbri, 1999; van Westen et al., 2003; Kayastha et al., 2012, Sujatha et al., 2012). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται ο λόγος του εμβαδού της περιοχής που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη προς το εμβαδόν όλου του διαγράμματος. Το υψηλό ποσοστό της καμπύλης αυτής δείχνει κατά πόσο τα αποτελέσματα της μεθόδου ήταν ακριβή και γι' αυτό το λόγο σκοπός ο λόγος πρέπει να είναι υψηλός για να έχουμε ασφαλή αποτελέσματα.

Η καμπύλη που χρησιμοποιείται για το λόγο αυτό παρουσιάζει το αθροιστικό ποσοστό των κατολισθήσεων σε συνάρτηση με το αθροιστικό ποσοστό επιφάνειας της κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Το ποσοστό εμφάνισης των κατολισθήσεων στην κάθε ζώνη ευαισθησίας δίνει το ποσοστό επιτυχίας και επιβεβαιώνει το πόσο καλά το μοντέλο προβλέπει την κατολισθητική επιδεκτικότητα (Chung and Fabbri, 1999). Έτσι ελέγχεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου.



Εικόνα 0-9 Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης

Το ποσοστό της καμπύλης αυτής, όπως φαίνεται και παραπάνω είναι 86,47% γεγονός που επιβεβαιώνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της μεθόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη των τεχνικογεωλογικών συνθηκών των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων» με στόχο την ζωνοποίηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας στους νεογενείς σχηματισμούς.

Οι φυσικές καταστροφές όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι τυφώνες, τα τσουνάμι, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι κατολισθήσεις είναι φαινόμενα των οποίων η εμφάνιση είναι απρόβλεπτη και πολύ συχνά ακραία. Η συνεχής ανθρώπινη παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον καθιστά την εμφάνιση αυτών των φαινομένων, όταν είναι ακραία, επικίνδυνη αφού είναι αρκετές οι φορές που προκαλούν εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές ή περιβαλλοντικές απώλειες.

Κατολισθητικά φαινόμενα εντοπίζονται σε αρκετές θέσεις, κυρίως εξαιτίας της φυσικής κατάστασης και της γενικής τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις σε συνδυασμό με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

Η περιοχή της έρευνας μας βρίσκεται ΒΑ της κεντρικής Εύβοιας στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης και αφορά τον πρώην Δήμο Κύμης που περιελάμβανε τα δημοτικά διαμερίσματα Μετοχίου, Ανδρωλιανών, Βιτάλου, Ποταμίας, Καλημεριανών, Ενορίας, Πύργου, Ταξιαρχών, Πλατάνας και Μαλετιανών, έχει έκταση 167,6 km² και πληθυσμού 10.735 κατοίκους σύμφωνα με τα στοιχεία απογραφής του 2011. Οι υδρογεωλογικές λεκάνες που μελετήθηκαν είναι :

- **Μεσολεκανώδης περιοχή ανατολικά της Κύμης**

Πρόκειται για ζώνη έκτασης 8.23km² ανατολικά της Κύμης που οριοθετείται κατά τη νοητή γραμμή Πλατάνα – Ενορία – Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο.

- **Μεσολεκανώδης περιοχή βόρεια της Κύμης**

Πρόκειται για ζώνη έκτασης 5.87km² βόρεια της Κύμης που οριοθετείται στα δυτικά από τη λοφοσειρά Μεσοβούνια και στα νότια κατά τη νοητή γραμμή Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο Κύμης.

- **Λεκάνη απορροής Απουλίστης ρέμα**

Έχει έκταση 14.68km² και οριοθετείται από τα υψώματα Κούτσικο (515m), Μεσιανή Ράχη (640m) στα νοτιοδυτικά και από τα υψώματα Μεσοβούνια στα ανατολικά.

Γεωλογικά οι λιθολογικές ενότητες που δομούν την περιοχή έρευνας με κατάταξη από τις πιο νέες στις παλαιότερες έχουν ως εξής :

- **Ολοκαινικές αποθέσεις**
- **Πλειστοκαινικές αποθέσεις**
- **Νεογενή ιζήματα**
- **Παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο**

Τεκτονικά οι πτυχογόνες φάσεις οι οποίες επηρέασαν την κίνηση των υπόγειων νερών, είναι οι εξής τρεις :

- Προ-ανωκρητιδικές φάσεις στο Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα (NTK), με ισοκλινείς πτυχές και διεύθυνση 145⁰-205⁰.
- Μετα-ανωκρητιδικές φάσεις κατά την επώθηση του NTK πάνω στην ενότητα Αλμυροποτάμου, με ισοκλινείς πτυχές, διεύθυνση 110⁰-120⁰ και ΝΔ ώθηση.

- Επώθηση Πελαγονικής στις ενότητες Αττικοκυκλαδικής ζώνης (ΑΚΖ) με ανισόπαχες πτυχές διεύθυνσης 60°-80° και ώθηση ΝΑ

Σεισμικά η Κύμη ανήκει σε μία ζώνη χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας αφού το πλήθος των σεισμικών καταγραφών κυμαίνεται από 4,2-5,6 βαθμούς της κλίμακας ρίχτερ.

Στην παρούσα αυτή διπλωματική εργασία αναφέρθηκαν οι μέθοδοι εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα και δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process ή Α.Η.Ρ), η οποία είναι και ο κύριος στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας, και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π. ή G.I.S.) από τα οποία συλλέχτηκαν τα στοιχεία για την δημιουργία των χαρτών.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Α.Η.Ρ στηρίζονται στην εμπειρία και την γνώση των ειδικών, γι' αυτό και μερικές φορές τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής είναι αμφισβητήσιμα. Γι' αυτόν τον λόγο έπειτα από την διαδικασία εφαρμογής αυτού του μοντέλου πρόβλεψης, την επιλογή μεταβλητών που βοηθούν στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων, δημιουργείται και η καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης για εκτιμηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της μεθόδου καθώς και να επαληθευτούν τα αποτελέσματα .

Με την βοήθεια της μεθόδου Α.Η.Ρ που αναπτύχθηκε καθώς και των Γ.Σ.Π. συντάχθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο είχε ως δεδομένα τις εξής μεταβλητές :

- 1) Γεωλογία
- 2) Μορφολογικές κλίσεις
- 3) Διεύθυνση Μορφολογικών κλίσεων
- 4) Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο
- 5) Απόσταση από οδικό δίκτυο
- 6) Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της ενότητας των μαργών, ακολουθεί η ενότητα των αλλουβίων και του φλύσχη, η ενότητα των κορημάτων και τέλος η ενότητα των ασβαστόλιθων και των λαβών/δακίτες. Σε ότι αφορά την έκταση που καταλαμβάνουν, διαπιστώνεται ότι οι μάργες στο σύνολό τους κατέχουν το 50,35%, ακολουθούν τα αλλουβία και ο φλύσχη με 18,70% ο κάθε σχηματισμός από αυτούς, τα κορηήματα με 7,15%.

Όσον αφορά τις μορφολογικές κλίσεις διαπιστώνεται ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις λαμβάνουν χώρα στην κατηγορία Δ (>51°) με ποσοστό 59,17% και ακολουθεί η κατηγορία Γ (37° - 50°) με ποσοστό 18,13%, η κατηγορία Α (0 - 16°) με ποσοστό 16,19% και τέλος η κατηγορία Β (17° - 36°) με ποσοστό 6,51%.

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων όσον αφορά την διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της κατηγορίας Α (0° - 45° / 135° - 225°) με ποσοστό 50,91% και στην συνέχεια ακολουθεί η κατηγορία Β (45° - 90°) με ποσοστό 24,81%, η κατηγορία Δ (225° - 270°) με ποσοστό 12,05% και τέλος η κατηγορίες Γ (90° - 135° / 270° - 315°) με ποσοστό 8,30% και η κατηγορία Ε (315° - 360°) με ποσοστό 3,93%.

Σε ότι αφορά την ζώνη επιρροής σε απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο οι περισσότερες κατολισθήσεις εντοπίζονται στους σχηματισμούς της κατηγορίας Α (<50m) με ποσοστό 57,38% και

ακολουθεί η κατηγορία Β (51m - 100m) με ποσοστό 23,88%, η κατηγορία Γ (101m - 200m) με ποσοστό 13,10% και η κατηγορία Δ (>201m) με ποσοστό 5,63%.

Η πλειονότητα των κατολισθήσεων στη ζώνη επιρροής της απόστασης από το οδικό δίκτυο εντοπίζεται στην κατηγορία Α (<50m) με ποσοστό 57,35% και ακολουθεί η κατηγορία Β (51m - 100m) με ποσοστό 27,12%, η κατηγορία Γ (101m - 200m) με ποσοστό 11,02% και η κατηγορία Δ (>201m) με ποσοστό 4,51%.

Τέλος σε ότι αφορά την απόσταση από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά οι περισσότερες κατολισθήσεις εντοπίζονται σε σχηματισμούς της κατηγορίας Α (<150m) με ποσοστό 57,88% και ακολουθεί η κατηγορία Β (151m - 300m) με ποσοστό 28,88%, η κατηγορία Γ (301m - 450m) με ποσοστό 9,26% και η κατηγορία Δ (>451m) με ποσοστό 3,98%.

Από την ανασκόπηση των παραχθέντων χαρτών προκύπτει ότι τα σημαντικότερα και περισσότερα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή της έρευνας μας εντοπίζονται στην περιοχή Πλατάνας - Παραλία Κύμης και στην περιοχή Σουτσίνι στο δρόμο προς το εξωκλήσι της Αγ. Μαρίνας. Τα κατολισθητικά φαινόμενα στις παραπάνω περιοχές έχουν άμεση επίδραση στους οικισμούς και τα γραμμικά έργα της περιοχής.

Τα παραπάνω ποσοστά αποδείχθηκαν ακριβή αφού με την βοήθεια των παραπάνω μεταβλητών και την εφαρμογή του Α.Η.Ρ και των Γ.Σ.Π. επετεύχθη ένα ακριβές αποτέλεσμα το οποίο συγκεντρώνει το ποσοστό του 86,47% γεγονός που το καθιστά ακριβές και αληθές. Η εμπειρία και η γνώση των Ειδικών είχε μεγάλη ακρίβεια και έτσι η κατασκευή του χάρτη επιδεκτικότητας με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την παραπάνω μέθοδο να είναι ικανοποιητικά.

Η διαμόρφωση των μοντέλων πρόβλεψης στηρίζεται στις βασικές αρχές της φυσικής και της μηχανικής οι οποίες συνδυάζονται με τις παρατηρήσεις που καταγράφει ο Ειδικός για το σύστημα. Η ενσωμάτωση της εμπειρίας των Ειδικών προκύπτει κατά τη διαμόρφωση των κλάσεων κάθε μεταβλητής που επιδρά στην εξέλιξη του φαινομένου, καθώς και στην τελική επιλογή των μεταβλητών. Κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης της κρίσης των εμπειρογνομόνων, τα πρωτογενή δεδομένα μετατρέπονται σε πληροφορία.

Το μοντέλο πρόβλεψης Α.Η.Ρ. που μελετήθηκε και αξιοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική μας βοήθησε στο να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο επιλέγονται οι μεταβλητές καθώς και πως μπορούμε να διακρίνουμε τις κλάσεις και να τις βαθμολογήσουμε.

Τέλος τα αποτελέσματα που εξήχθησαν επιβεβαιώνονται σε ακρίβεια και σε αλήθεια και σε άλλες εργασίες όπως είναι η εργασία της *Ιωάννας Κ. Ηλία (2013)* στόχος της οποίας είναι η δημιουργία χωρικού μοντέλου πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας με την εφαρμογή της μεθόδου Weight of Evidence στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aronoff, S., 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publication, Ottawa, Ontario.
2. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. *Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications*. *Eng Geol.* 81.
3. Atkinson, P.M. & Massari, R., 1998. *Generalized linear modeling of landslide susceptibility in the central Apennines, Italy*. *Computers & Geosciences*
4. Aleotti, P. & Chowdhury, R., 1999. *Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*
5. Aleotti, P., Balzelli, P., De Marchi, D., 1996. *Le reti neurali nella valutazione della suscettibilità da frana*. *Geologia tecnica e ambientale* vol. 4
6. Ayalew, L. & Yamagishi, H., 2005. *The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan*. *Geomorphology*
7. Benardos, A.G., Kaliampakos, D.C., 2004. *A methodology for assessing geotechnical hazards for TBM tunnelling - illustrated by the Athens Metro, Greece*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 41, no. 6
8. Castellanos, A., Van Westen, C.J., 2008. *Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba*. *Geomorphology*, 94
9. Crozier, M.J., 1986. *landslides - causes, consequences and environment*. Croom Helm, London
10. Cruden D.M., Varnes D. J., 1996. *Landslide types and processes*. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) *Landslides: Investigation and Mitigation*. *Transp Res Board, Spec Rep 247*
11. Comninakis, P.E. & Papazachos, B.C., 1986. *A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 1901-1985*. *Publ. Geophys. Lab., Univ. Thessaloniki, No 1*
12. Corominas, J. & Santacana, N., 2003. *Stability analysis of the Vallcebre translational slide, Eastern Pyrenees (Spain) by means of a GIS*. *Nat Hazards* 30(3)
13. Cowen, D., 1988. *GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?* *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54
14. Çevik, E. & Topal, T., 2003. *GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey)*. *Environ. Geol.*
15. Chung, C.F., Fabbri, A.G., 1999. *Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping* *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65
16. Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001. *Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong*. *Environmental Geology* 40
17. Dick, J.C. & Shakoor, A., 1992. *Lithological controls of mud rock durability* *The Geological Society. Q. J. Eng. Geol.* 25 (1992)
18. EM-DAT, 2015. *The OFDA/CRED International Disaster Database*
19. Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, Th.W.J., 2004. *Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques*. *Natural Hazards*
20. Erskine, C.F., 1973. *Landslides in the vicinity of the Fort Randall reservoir, S. Dakota*. U.S. Geological Survey Professional Paper, vol. 675
21. Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. *Engineering Geology*, 102 (3–4)
22. Flentje, P., Stirling, D. and Chowdhury, R., 2007. *Landslide susceptibility and hazard derived from a landslide inventory using data mining - an Australian case study*. *Proceedings of the First North American Landslide Conference*. Vail, Colorado, June 2007
23. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy*. *Geomorphology* 31

24. Hutchinson, J.N., 1968. Mass Movement. In the Encyclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W. ed.), Reinhold Book Corp., New York
25. Hutchinson, J.N., 1995. *Keynote paper: Landslide hazard assessment*. Proceedings 6th International Symposium on Landslides, Christchurch. Balkema, Rotterdam
26. Iliá, I., Tsangaratos P., Koumantakis, I., Rozos, D., 2010. *Application of a Bayesian approach in GIS bases model for evaluating landslide susceptibility. Case study Kimi area, Euboea, Greece*. Bulletin of the Geological Society of Greece, 2010
27. Jimenez-Peralvarez, J.D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chacon, J., 2009. *Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS*
28. Jaboyedoff, M., Baillifard, F., Philipposian, F. & Rouiller, J.D., 2004. *Assessing fracture occurrence using `weighted fracturing density`: A step towards estimating rock instability hazard*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.
29. Kokkalas, S. & Doutsos, T., 2001. *Strain-dependent stress field and plate motions in the south-east Aegean region*
30. Kayastha, P., Dhital MR., De Smedt F., 2012. *Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed, Nepal*. Nat Hazards
31. Koukis, G. & Ziourkas, C., 1991. *Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis*. Bulletin of IAEG
32. Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1997. *Landslide movements in Greece: Engineering geological characteristics and environmental consequences* Proceedings International Symposium of Engineering Geology and the Environment, Athens
33. Lee, S., Joo, H. R. Joong S.W., Hyck, J.P., 2004. *Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping: using an artificial neural network*. Engineering Geology.
34. Lee, S., 2005. *Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data*. Int J Remote Sens
35. Mancini, F., Ceppi, C., Ritrovato, G., 2010. *GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci.
36. Malczewski, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and Sons, New York, NY
37. Mayoraz, F., Cornu, T., Vulliet, L., 1996. *Using neural networks to predict slope movements*. In: 7th Proceedings International Symposium Landslides, Trondheim,
38. Menard, S., 1995. *Applied logistic regression analysis*. Sage Univ. Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences series no. 07-106. Thousand Oaks (CA)
39. Papazachos, B.C. & Papazachou C., 1989. Earthquakes in Greece. Editor Ziti, Thessaloniki
40. Pachauri, A.K., Gupta, P.V. & Chander, R., 1998. *Landslide zoning in a part of the garhwal himalayas*. Envir. Geol.
41. Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. *Landslide hazard mapping based on geological attributes*, Engineering Geology
42. Popescu, M.E., 1996. From Landslide Causes To Landslide Remediation, Special Lecture. Proc. 7th Int. Symp. on Landslides, Trondheim
43. Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., Tsagaratos, P., 2008. *An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County*. Landslides
44. Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, NY, McGraw Hill
45. Saaty, T.L., 1986. *Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process*, Management Science
46. Sakellariou, M. G., Ferentinou, M. D., 2001. *GIS-Based Estimation of Slope Stability*, Natural Hazards Review (ASCE), vol. 2
47. Saha, A.K., Gupta, R.P. & Arora, M.K., 2002. *GIS – based landslide hazard zonation in a part of the Himalayas*. Int J Remote Sens
48. Soeters, R. and Van Westen, C.J., 1996. *Slope instability recognition, analysis, and zonation*. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board

49. Sidle, R.C. & Ochiai, H., 2006. *Landslides: Processes, Prediction, and Land Use. Waterresources Monograph 18, American Geophysical Union: Washington, DC.*
50. Sabatakakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S., 2013. *Landslide susceptibility zonation in Greece. Natural Hazards*
51. Terzaghi, K., 1950. *Mechanics of Landslides. Geol. Soc. Of Am., Bekley Volume, p. 83-124, New York.*
52. Varnes, D.J., 1978. *Slope movements types and processes.. R.L. Schuster, R.L. Krizek (Eds.), Landslides: Analysis and Control. Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C.*
53. Varnes, D.J. & IAEG Commission on Landslides and Other Mass-Movements, 1984. *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, UNESCO Press, Paris*
54. Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, *Geologische Rundschau* 86
55. Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M., 1997. *Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologische Rundschau*
56. Van Westen, C. J., Rengers, N. & Soeters, R., 2003. *Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. Natural Hazards*
57. Wu, W. & Sidle, R.C., 1995. *A distributed slope stability model for steep forested hillslopes. Water Resources Research*
58. Wu, S., Jin, Y., Zhang, J. Shi & Dong, C., 2004. *Investigations and assessment of the landslide hazards of Fengdu County in the reservoir region of the three Gorges project on the yangtze river. Environ. Geol*
59. Xie, M., Esaki, T., Zhou, G., 2004. *GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide. Natural Hazards*
60. Yalcin, A., 2008. *GIS –based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results an confirmations, Catena*
61. Xypolias, P., Kokkalas, S., Skourlis, K., 2003. *Upward extrusion and subsequent transpression as a possible mechanism for the exhumation of HP/LT rocks in Evia Island. Journal of Geodynamics*
62. Zadeh, L.A., 1965. *Fuzzy sets. Information and Control* 8
63. Zadeh, L.A., 1968. *Fuzzy algorithms. Information and Control* 12
64. Βαλαδάκη–Πλέσσα, Α., 2001. *Αξιοποίηση Γ.Σ.Π στην επιλογή κριτηρίων καταλλήλων περιοχών για οικιστική ανάπτυξη, με γεωλογικά κριτήρια, στην κεντρική Εύβοια.*
65. Βασιλειάδης, Ε., 2010. *Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο. Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών., Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας*
66. Ζιούρκας, Κ., 1989. *Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Παν. Πατρών.*
67. Ηλία Κ., Ιωάννα, 2013. *Τεχνικογεωλογικά Χαρακτηριστικά των Μαργών στην ευρεία περιοχή της Κύμης και η επίδρασή τους στις Κατασκευές Τεχνικών Έργων - Προβλημάτων και Αντιμετώπισή τους, Ε.Μ.Π.*
68. Κατσικάτσος, Γ., 1971. *Η ηλικία του μεταμορφωμένου συστήματος της Ν. Εύβοιας και η στρωματογραφική διάρθρωση αυτού. Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών*
69. Κατσικάτσος, Γ., 1992. *Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις ΟΕΔΒ*
70. Κουκης Γ., 1980. *Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο και η σημασία τους στην οδοποιία*
71. Κούκης, Γ. & Ρόζος, Δ., 1982. *Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη.*
72. Κούκης, Γ. & Ζιούρκας, Κ., 1989. *Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο –Στατιστική Θεώρηση*
73. Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου, Κ., 2003. *«Οι σεισμοί της Ελλάδας», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*

74. Σακελλαρίου, Μ., Ηλίας, Π., 1997. Εφαρμογή Νευρωνικών δικτύων στην εκτίμηση ευστάθειας πρανών, 3ο Πανελλήνιο Γεωτεχνικό συνέδριο
75. Τσαγγαράτος, Π., 2012. *Διερεύνηση της Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς των Γεωλογικών Σχηματισμών με τη χρήση Πληροφοριακών Συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π.*
76. Φερεντίνου, Μ., 2004. *Εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων με νευρωνικά δίκτυα σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου*
77. Φιλίπτης, 2011. *Βάση Δεδομένων για την Ελληνική φύση, Ε.Μ.Π.*