

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΕΙΟ
Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών



ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΟΡΟΣ ΠΗΛΙΟ ΜΕ ΤΗ
ΣΥΜΒΟΛΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑΣ
ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΚΕΔΑΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κιτσάκη Μαρίνα
Μπαρμπαγιάννη Δήμητρα

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης
Επίκουρος καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2014

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ:ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-GIS	12
1 Εισαγωγή	12
1.1. Γενικά για τη Χαρτογραφία	12
1.2. Ιστορία της Χαρτογραφίας	13
1.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών-GIS	14
1.4. Διάρθρωση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών	15
1.4.1. Κατηγορίες Δεδομένων	15
1.4.2. Δομή Δεδομένων	17
1.4.2.1. Διανυσματική Αναπαράσταση (VECTOR).....	18
1.4.2.2. Αναπαράσταση σε Μορφή Κανάβου (RASTER)	19
1.5. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους.....	20
1.5.1. Εφαρμογές ΨΜΕ και πηγές Δεδομένων	20
1.5.2. Είδη Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους.....	21
1.5.2.1. Δομή των Τριγώνων (Triangulated Irregular Network - TIN).....	21
1.5.2.2. Ψηφιδωτά Μοντέλα (Raster Grid, Lattice).....	22
1.5.1.3. Σύγκριση Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους.....	23
1.6. Εφαρμογές των Γ.Σ.Π	24
1.7. Μέθοδοι εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα	25
1.7.1 Ποιοτική μέθοδος.....	26
1.7.1.1 Γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου	27
1.7.1.2 Μέθοδος υπέρθεσης χαρτών βάρους – χάρτες παραμετρικών δεικτών	27
1.7.1.3 Λογικά αναλυτικά μοντέλα	28
1.7.2.1 Ανάλυση βασισμένη στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.....	29
1.7.2.2 Ανάλυση βασισμένη στην Ασαφή Λογική	31
1.7.2.3 Neuro-fuzzy Model	31
1.7.2.4 Ανάλυση βασισμένη στα Δένδρα Απόφασης	33
1.7.2.5 Ανάλυση βασισμένη στον Συλλογισμό κατά Περίπτωση	36
1.7.2.6 Στατιστική Ανάλυση (statistical analysis).....	36

1.7.2.6.1 Ανάλυση δύο μεταβλητών(bivariate analysis)	37
1.7.2.6.2 Ανάλυση πολλών μεταβλητών (multivariate analysis)	38
1.7.2.7 Ντετερμινιστική ανάλυση	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	41
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	41
2 Εισαγωγή	41
2.1 Γενικά περί κατολισθήσεων.....	41
2.2 Ταξινόμηση κατά Varnes.....	45
2.2.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση τον τύπο της μετακίνησης	45
2.2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα.....	52
2.3 Παράγοντες που προκαλούν κατολίσθηση	55
2.4 Μηχανισμός των κατολισθήσεων	57
2.5 Μέτρα-έργα αντιμετώπισης κατολισθήσεων	60
2.6. Κατολισθητικά φαινόμενα στον ελλαδικό χώρο.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	65
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	65
3 Εισαγωγή	65
3.1 Μορφολογία.....	65
3.2. Υδρογραφικό Δίκτυο	67
3.3 Οδικό δίκτυο	70
3.4 Χωροταξικός σχεδιασμός.....	71
3.5 Γεωλογία Ευρύτερης Περιοχής.....	73
3.5.1 Γεωλογία της στενής περιοχής μελέτης.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	81
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	81
4 Εισαγωγή	81
4.1 Μέθοδος Weighted Linear Combination (WLC).....	81
4.1 Δεδομένα.....	83
4.2 Μεθοδολογία.....	85
4.3 Εργασία Πεδίου	86
4.4 Δεδομένα συμβολομετρίας σταθερών σκεδαστών (Persistent Scatterer Interferometry, PSI)	91
4.5 Ψηφιοποίηση δεδομένων	94
4.6 Προετοιμασία των θεματικών επιπέδων (data layers) – θεματικών χαρτών	97
4.6.1 Θεματικοί χάρτες	100
4.6.1.1 Χάρτης ενοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών.....	100

4.6.1.2 Χάρτης τεκτονικών δομών.....	100
4.6.1.3 Χάρτης Χρήσεων γης.....	103
4.6.1.4 Χάρτης Οδικού δικτύου	103
4.6.1.5 Δημιουργία χάρτη ρεμάτων.....	106
4.6.1.6 Δημιουργία χάρτη Κλίσεων πρανών (Slope)	106
4.6.1.7 Χάρτης Προσανατολισμού πρανών (Aspect)	109
4.6.1.8 Χάρτη βροχοπτώσεων.....	109
4.7 Βαθμονομημένος πίνακας.....	112
4.5 Δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας.....	117
4.7 Καμπύλη επιβεβαίωσης.....	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	120
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122

Πίνακας εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ, (ΦΙΛΙΠΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ . Κ.Α. 2006)	13
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ GIS ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ. (WWW.SEOS-PROJECT.EU).....	15
ΕΙΚΟΝΑ 1.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 1 (REAL WORLD) ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΑΒΟΥ 2 (RASTER REPRESENTATION) ΚΑΙ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ 3 (VECTOR REPRESENTATION), (WWW.COOKBOOK.HLURB.GOV.PH)	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.4 ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ (Α) ΑΡΙΣΤΕΡΑ – ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (VECTOR) ΚΑΙ (Β) ΔΕΞΙΑ – ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΝΑΒΟΥ (RASTER), (BURROUGH & MCDONNELL, 1998)	19
ΕΙΚΟΝΑ 1.5 Α. ΔΙΚΤΥΟ ΤΙΝ, Β. ΣΗΜΕΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ, Γ. ΜΟΝΤΕΛΟ ΨΗΦΙΔΑΣ (ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, 2011).....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ, (ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ , 2011)	24
ΕΙΚΟΝΑ 1.8 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (ΑΛΕΟΤΤΙ-R. CHOWDHURY, 1999))	28
ΕΙΚΟΝΑ 1.9 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΝΔ (ΑΛΕΟΤΤΙ-R. CHOWDHURY, 1999).....	30
ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΤΑ VARNES (1978)	51
ΕΙΚΟΝΑ 2. 2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	59
ΕΙΚΟΝΑ 2. 3 ΤΟΜΗ ΤΥΠΙΚΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	59
ΕΙΚΟΝΑ 2. 4 ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΣΤΑΓΙΑΤΕΣ	62
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ Η ΟΠΟΙΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΒΥΖΙΤΣΑΣ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 Η ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΌΡΟΥΣ ΠΗΛΙΟΥ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΕΙΝΑΙ Ο ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ.	66
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ (ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΤΡΑΒΗΧΤΗΚΕ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΜΑΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ).....	67
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΘΕΣΗ, ΟΡΙΑ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ (ΤΣΑΚΙΡΗΣ Κ.Α., 2013)	68
ΕΙΚΟΝΑ 3. 4 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΠΑΠΑΚΩΣΤΑ, 2010)	70
ΕΙΚΟΝΑ 3. 5 ΔΡΟΜΟΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΣΤΑΓΙΑΤΕΣ Ο ΟΠΟΙΟΣ ΕΝΩΝΕΙ ΤΟΝ ΕΝ ΛΟΓΩ ΟΙΚΙΣΜΟ ΜΕ ΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΓ. ΟΝΟΥΦΡΙΟΥ.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 Η ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΟΥΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	72
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ (WWW.GEO.AUTH.GR)	74
ΕΙΚΟΝΑ 3. 8 ΤΥΠΙΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΤΗΣ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ (WWW.GEO.AUTH.GR).....	75
ΕΙΚΟΝΑ 3.9 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΟΠΟΥ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΔΙΑΔΟΧΗ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ. (ΦΥΛΛΟ ΑΡΓΑΛΑΣΤΗ , ΙΓΜΕ, 1999)	79
ΕΙΚΟΝΑ 3.10 ΑΠΟΠΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ ΠΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΙ ΤΗΝ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΦΥΛΛΟ ΖΑΓΟΡΑ-ΣΥΚΗ, ΙΓΜΕ, 1987).....	80
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 LANDSLIDE RISK MAP (ΚΟΥΛΙ ET AL.,2009).	83
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΟΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ, ΔΗΛΑΔΗ ΤΑ PSI ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΣΤΟ GOOGLE EARTH	86
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΚΟΜΜΑΤΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	87
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	87
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 ΡΕΜΑΤΙΑ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΠΟΡΤΑΡΙΑ	88
ΕΙΚΟΝΑ 4.7 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	89
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 ΖΗΜΙΕΣ ΣΕ ΟΙΚΟΔΟΜΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	90
ΕΙΚΟΝΑ 4.9 ΕΜΦΑΝΕΙΣ ΡΩΓΜΕΣ ΣΕ ΚΟΙΜΗΤΗΡΙΟ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΑΓΙΑΤΕΣ	90
ΕΙΚΟΝΑ 4.10 ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΖΗΜΙΕΣ ΣΕ ΟΙΚΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	91
ΕΙΚΟΝΑ 4.11 ΚΑΛΥΨΗ WAP ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ (RASPINI ET AL.,2012)	93
ΕΙΚΟΝΑ 4.12 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ PSI.....	94

ΕΙΚΟΝΑ 4.13 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ, ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ, ΤΩΝ ΕΠΩΘΗΣΕΩΝ ,ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ, ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.	95
ΕΙΚΟΝΑ 4.14 ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ, ΚΑΘΕΝΑΣ ΕΚ ΤΩΝ ΟΠΟΙΩΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΣΙΑ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 4.15 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ArcGIS ΠΟΥ ΔΙΕΞΗΧΘΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΤΟΛΗ SPATIAL ANALYSIS.	97
ΕΙΚΟΝΑ 4.16 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ SHAPEFILES ΣΕ RASTER ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΞΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ArcTOOLBOX ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΔΕΞΙΑ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	99
ΕΙΚΟΝΑ 4.17 ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ Ο ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.	101
ΕΙΚΟΝΑ 4.18 ΧΑΡΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΟΠΟΥ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΕΠΩΘΗΣΕΙΣ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΚΑΙ ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΟ ΤΑ ΡΗΓΜΑΤΑ. ΕΠΙΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΑ BUFFER ZONES.	102
ΕΙΚΟΝΑ 4.19 ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.	104
ΕΙΚΟΝΑ 4.20 ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΕΧΟΥΝ ΣΗΜΕΙΩΘΕΙ ΚΑΙ ΟΙ BUFFER ZONES ΤΩΝ 80, 200 ΚΑΙ 300 ΜΕΤΡΩΝ.....	105
ΕΙΚΟΝΑ 4.21 ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΡΕΜΑΤΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΩΝ ΟΠΟΙΩΝ ΟΡΙΣΤΗΚΕ Η ΖΩΝΗ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ.....	107
ΕΙΚΟΝΑ 4.22 ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΟΠΟΥ ΟΙ ΚΛΙΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΕΙΝΑΙ ΗΠΙΕΣ ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΕΚΕΙΝΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ ΕΧΟΥΝ ΕΝΤΟΝΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ,.....	108
ΕΙΚΟΝΑ 4.23 ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Ο ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	110
ΕΙΚΟΝΑ 4.24 ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΚΥΜΑΙΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ 400 ΕΩΣ 1200ΜΜ.	111
ΕΙΚΟΝΑ 4.25 ΤΕΛΙΚΟΣ ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΌΡΟΣ ΠΗΛΙΟ ΟΠΟΥ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΧΑΜΗΛΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΜΕ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.	118
ΕΙΚΟΝΑ 4.26 ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΠΙΤΥΧΟΥΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ (SUCCESS RATE CURVE).....	119

Περιεχόμενα Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΙΘΑΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ (CRUDEN AND VARNES, 1996, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ).....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΠΑΙΖΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΡΟΛΟ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.	113

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν προσπάθεια στην εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας.

Ειδικότερα, ευχαριστούμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Κ. Λουπασάκη ο οποίος μας ανέθεσε το θέμα της διπλωματικής, διέθεσε χρόνο και προσπάθεια να βρεθούμε στην περιοχή μελέτης με σκοπό την συλλογή απαραίτητων στοιχείων για την ολοκλήρωση της εργασίας και μας καθοδήγησε με τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του κατά την διάρκεια της συγγραφής της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε επίσης στην μεταλλειολόγο μηχανικό και υποψήφια Διδάκτωρ Αγγελίτσα Βαρβάρα για την συνεχή καθοδήγησή της και την μετάδοση των γνώσεων της σε θέματα που αφορούσαν την επεξεργασία χαρτών στο πρόγραμμα G.I.S.. και τον Dr Μεταλλειολόγο Μηχανικό, ΙΔΑΧ του εργαστηρίου τεχνικής γεωλογίας, Τσαγγαράτο Παρασκευά.

Επίσης, εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Π. Νομικό και κ. Μ. Σακελλαρίου οι οποίοι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο για την σωστή ολοκλήρωση της διπλωματικής μας εργασίας με τις κρίσεις και τις υποδείξεις τους.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τις οικογένειες μας, οι οποίες στάθηκαν στο πλευρό μας με την συνεχή συμπαράσταση και κατανόηση τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας.

Αφιερωμένη στις οικογένειες μας...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια του 10^{ου} εξαμήνου φοίτησης στο πρόγραμμα σπουδών του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σκοπός της παρακάτω εργασίας είναι η ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων και των τρόπων διαχείρισής τους. Επιπλέον γίνεται εκτίμηση της επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις για την περιοχή του Δυτικού Πηλίου με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην χαρτογραφία, την εξέλιξη της αλλά και την αναγκαιότητα της στην πάροδο του χρόνου. Παρουσιάζονται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), οι αρχές λειτουργίας τους, περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε ένα τέτοιο σύστημα και δίνονται πληροφορίες σχετικές με τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Επίσης, γίνεται εκτενής ανάλυση των μεθόδων εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα.

Το δεύτερο κεφάλαιο κάνει λόγο για τον όρο <<κατολίσθηση>>. Παρουσιάζονται οι ταξινομήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους. Αναφέρονται οι παράγοντες που προκαλούν κατολισθητικά φαινόμενα, ο μηχανισμός των κατολισθήσεων αλλά και τα μέτρα αντιμετώπισης τους. Τέλος, περιλαμβάνονται κατολισθήσεις οι οποίες έχουν εκδηλωθεί στον ελλαδικό χώρο.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των γεωλογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τόσο της ευρύτερης περιοχής του Όρους Πηλίου όσο και της στενής περιοχής μελέτης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζεται η μέθοδος WLC, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία θεματικών χαρτών καθώς και γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Τέλος, γίνεται ανάλυση των συμπερασμάτων των οποίων προέκυψαν από τον τελικό χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας, ο οποίος δημιουργήθηκε και παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4.

ABSTRACT

This dissertation was conducted during the 10th semester of study in the curriculum of Mining and Metallurgical Engineering department at the National Technical University of Athens. The purpose of the following work is to analyse landslide phenomena and ways to mitigate their effect. Furthermore, the susceptibility to landslides was estimated for the West Pelion area with the use of Geographic Information Systems (G.I.S.).

Especially, the first chapter is a reference to cartography, its evolution and the necessity of its use over time. The Geographic Information Systems (G.I.S.) were presented along with their operating principles, a description of the data that is used in such systems and generally digital terrain models. In addition, there is an extensive analysis of the method used to estimate the susceptibility to landslides.

The second chapter analyses the term <<landslide>>. Classifications, which have been carried out at times based on specific parameters, are presented. The factors that cause landslides are also reported, the mechanism of landslides and the mitigation processes. Finally, an analysis of the landslides occurred in Greece is included.

The third chapter is a presentation of geological and geomorphologic characteristics of both the broader region of Mount Pelion and the close area of study.

In the fourth chapter of this dissertation, the method WLC is presented, the methodology that was followed to create thematic maps as well as the calculation of indicator of landslide hazard.

Finally, the conclusions which were extracted from the final map of landslide susceptibility presented in Chapter 4, are analysed.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατολισθήσεις αποτελούν τα δεύτερα σε συχνότητα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα, μετά από τα μετεωρολογικά, με έντονες επιπτώσεις τόσο στο δομημένο ανθρωπογενές περιβάλλον όσο και στα έργα υποδομής. Η έγκαιρη αναγνώριση και εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και ει δυνατόν της επικινδυνότητας μιας περιοχής αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ανάπτυξη της.

Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί για την σύνταξη των χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας, διακινδύνευσης και επικινδυνότητας. Οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες την ποιοτική, βασιζόμενη στην εμπειρία του ειδικού, την ημι-ποσοτική, και την ποσοτική, η οποία βασίζεται σε μαθηματικούς τύπους.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια σύνταξης χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας για την περιοχή του δυτικού Πηλίου (Πορταριά, Μακρυνίτσα, Σταγιάτες, Βυζίτσα κ.ο.κ.). Το όρος Πήλιο είναι μία από τις περιοχές της χώρας που πλήττονται έντονα από τα συγκεκριμένα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα, κυρίως εξαιτίας της φύσης των γεωλογικών σχηματισμών που το δομούν αλλά και της απότομης μορφολογίας του.

Η δημιουργία χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας για το Δυτικό Πήλιο γίνεται με την χρήση της ημιποσοτικής μεθόδου του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (weighted linear combination - W.L.C.). Οι επιμέρους θεματικοί χάρτες των παραμέτρων που εξετάζονται διαμορφώνονται σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) ενώ η βαθμονόμηση της συμβολής των παραμέτρων στην διαμόρφωση της επιδεκτικότητας γίνεται με την κρίση των ``ειδικών`` και μετά από αυτοψία που πραγματοποιήθηκε για την συλλογή στοιχείων.

Για την σύνταξη των χαρτών εκτός από την απλή μέθοδο του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού και τον υπολογισμό του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας γίνεται εφαρμογή και μιας τυποποίησης της μεθόδου μέσω της

οποίας δίνεται επιπλέον έμφαση στην γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης. Η συγκεκριμένη μέθοδος αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως Lithology-based weighted linear combination method.

Για την επιβεβαίωση των χαρτών χρησιμοποιούνται δεδομένα από τις πολυάριθμες αναφορές της βιβλιογραφίας για τα κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν κατά καιρούς πλήξει την περιοχή ενώ για την ποσοτική σύγκριση των μεθόδων σχεδιάστηκαν οι καμπύλες επιτυχούς εκτίμησης (success rate curves).

Εκτός από την διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των δύο εφαρμοζόμενων μεθόδων, αδιαμφισβήτητα, η σύνθεση των χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας αποτελεί ένα ενδιαφέρον και χρήσιμο δεδομένο για την ανάπτυξη της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο | ΕΙΣΑΓΩΓΗ:ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-GIS

1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην χαρτογραφία, την εξέλιξη της αλλά και την αναγκαιότητα της στην πάροδο του χρόνου. Παρουσιάζονται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), οι αρχές λειτουργίας τους, περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε ένα τέτοιο σύστημα και δίνονται πληροφορίες σχετικές με τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Επίσης, γίνεται εκτενής ανάλυση των μεθόδων εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα.

1.1. Γενικά για τη Χαρτογραφία

Η χαρτογραφία αποτελεί την επιστήμη που ασχολείται με την επεξεργασία και απεικόνιση στοιχείων που αφορούν φυσικά και ανθρωπογενή φαινόμενα. Συνδέεται επίσης και με τις επιστήμες της Γεωδαισίας, της Τοπογραφίας, της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης. (Αστάρα, 2007).

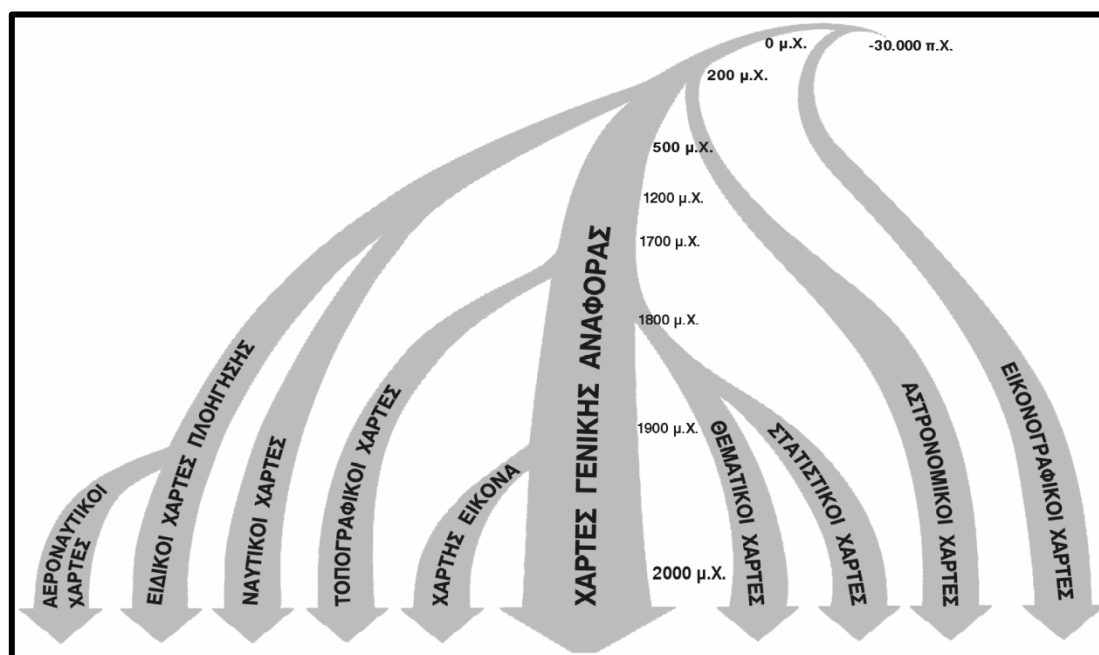
Επί μέρους γνωστικά αντικείμενα της χαρτογραφίας είναι (Αστάρα, 2007):

- Η «Μαθηματική Χαρτογραφία», η οποία σχετίζεται με την απεικόνιση μια μη-επίπεδης επιφάνειας σε επίπεδη με τη βοήθεια μαθηματικών προβολών, καθώς και με τη μοντελοποίηση και επεξεργασία των δεδομένων μέσω μεθόδων παρεμβολής, εξομάλυνσης και γενίκευσης.
- Η «Θεματική Χαρτογραφία», η οποία σχετίζεται με την επεξεργασία και την απεικόνιση της μη-γεωμετρικής πληροφορίας καθώς και με τη μελέτη του συμβολισμού και των χρωμάτων που χρησιμοποιούνται, και του τρόπου με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ένα χάρτη.

Σήμερα επικρατεί ο όρος «Ψηφιακή ή Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία», ο οποίος αναφέρεται στα στάδια εξέλιξης της χαρτογραφίας δηλαδή τη συλλογή, επεξεργασία, αποθήκευση, ενημέρωση, επανατοποθέτηση και απόδοση των δεδομένων, καλύπτει ένα πλήθος δραστηριοτήτων και τείνει να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές χαρτογραφικές μεθόδους στις διάφορες χαρτογραφικές διαδικασίες. (Παρασχάκης κ.α., 1990).

1.2. Ιστορία της Χαρτογραφίας

Η κατασκευή χαρτών είναι μία από τις αρχαιότερες δραστηριότητες του ανθρώπου (εικόνα 1.1). Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους τα παλιότερα σχέδια που έχουν βρεθεί και που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν χάρτες χρονολογούνται ακόμα και 30.000 χρόνια πριν..



Εικόνα 1.1 Ιστορία της Χαρτογραφίας, (Φιλιππακοπούλου . κ.α. 2006)

Ο χάρτης που βρέθηκε στον οικισμό του Τσατάλ Χογιούκ της Τουρκίας και ο οποίος χρονολογείται από το 7500 π.Χ, αποτελεί σπουδαίο στοιχείο χαρτογραφίας της προϊστορικής περιόδου. Μια σημαντική εξέλιξη στην χαρτογραφία υπήρξε η εμφάνιση της γεωμετρίας. Τα πρώτα δείγματα χαρτών που φαίνεται να κατασκευάστηκαν με τη χρήση κάποιων αρχών γεωμετρίας προέρχονται από την Βαβυλώνα. Αξιόλογα ευρήματα προέρχονται ακόμα από την περιοχή της Αιγύπτου.

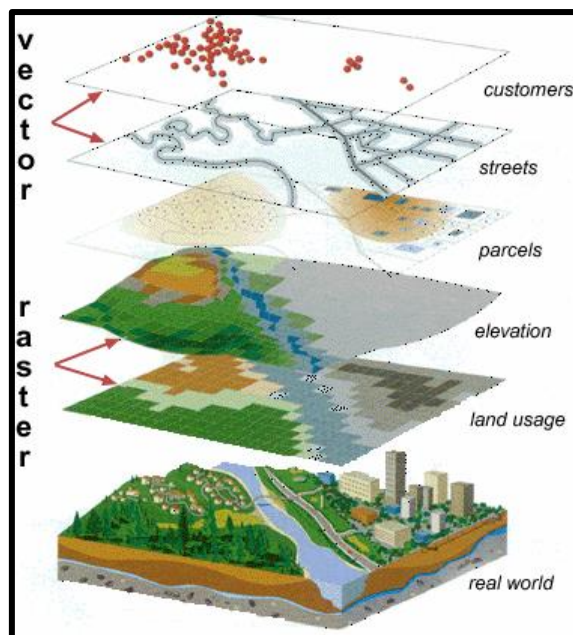
Οι Αιγύπτιοι Τοπογράφοι της εποχής δεδομένου ότι έπρεπε μετά από κάθε πλημμυρικό γεγονός, να επαναπροσδιορίζουν τα όρια των ιδιοκτησιών στο έδαφος, αναγκάστηκαν να επινοήσουν τεχνικές ακρίβειας αποτύπωσης των χαρτών. Ένα σημαντικό εύρημα χάρτη αποτελεί ο Πάπυρος του Τορίνο, ο οποίος χρονολογείται στο 1300 π.Χ., και απεικονίζει τις θέσεις εξόρυξης χρυσού και αργύρου στις περιοχές μεταξύ του Νείλου και της Ερυθράς θάλασσας. Ο χάρτης αυτός μπορεί κατά πολλούς να θεωρηθεί ο πρώτος γεωλογικός χάρτης της ιστορίας. Ο αρχαιότερος ελληνικός γεωγραφικός χάρτης δημιουργήθηκε από τον Αναξίμανδρο, τον 6ο αι. π.Χ.

1.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών-GIS

«Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών μηχανημάτων (hardware), λογισμικών συστημάτων (software), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού, με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον». (Κουτσόπουλος, 2005).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στηρίζονται σε μια βάση δεδομένων (database) η οποία, αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων, τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή (Εικόνα 1.2). Η βάση δεδομένων δύναται να χρησιμοποιεί για την κάλυψη πληροφοριακών αναγκών και το καθένα από αυτά τα επίπεδα περιλαμβάνει είτε επεξεργασμένα δεδομένα όπως θεματικά επίπεδα της γεωλογίας, του είδους της βλάστησης, της κλίσης του τοπογραφικού αναγλύφου κ.λ.π και μη επεξεργασμένα δεδομένα, όπως τοπογραφικά, δορυφορικά κ.α.

Όλα τα είδη θεματικών επιπέδων, επεξεργασμένα ή μη, συνδέονται με μια συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία της επιφάνειας της γης μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Ένα από συνηθέστερα συστήματα γεωγραφικών συντεταγμένων είναι αυτό του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους. Υπάρχουν πολλά γεωγραφικά συστήματα συντεταγμένων, και κάθε σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών θα πρέπει να μπορεί να μετατρέπει τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο. Σκοπός της συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης των δεδομένων είναι η συσχέτιση των θεματικών επιπέδων (Αστάρης & Οικονομίδης 2007).



Εικόνα 1.2 Διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών GIS σε στοίβα.

(www.seos-project.eu)

1.4. Διάρθρωση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Συντεταγμένων συνίσταται από το υπολογιστικό σύστημα, το λογισμικό και τα δεδομένα: (Ασάρας & Οικονομίδης, 2007):

Υπολογιστικό Σύστημα: Αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα Η/Υ, από ψηφιοποιητές, σαρωτές, εκτυπωτές και σχεδιογράφους-plotters.

Λογισμικό: Ένα πρόγραμμα ικανό να εισάγει, διορθώσει, αποθηκεύσει, διαχειριστεί, αναλύσει και απεικονίσει ψηφιακά δεδομένα σε ένα φιλικό προς τον χρήστη interface.

Δεδομένα: Πρόκειται για το σύνολο της πληροφορίας για την περιοχή ενδιαφέροντος.

1.4.1. Κατηγορίες Δεδομένων

Τα δεδομένα σύμφωνα με την κατανομή τους στο χώρο διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες (Ασάρας & Οικονομίδης, 2007):

1. Χωρικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζονται από τη θέση τους στο χώρο σε σχέση με κάποιο σύστημα συντεταγμένων και διακρίνονται στα

- Σημειακά επίπεδα πληροφορίας (points, nodes) Π.χ. θέσεις γεωτρήσεων, τριγωνομετρικά σημεία
 - Γραμμικά επίπεδα πληροφορίας (lines, arcs, edges) π.χ. ισοϋψείς καμπύλες, υδρογραφικό δίκτυο και ρήγματα.
 - Επιφανειακά επίπεδα πληροφορίας /πολύγωνα (polygons or patches), τα οποία αποτελούν μια κλειστή έκταση όπως διοικητικές, εδαφολογικές και λιθολογικές ενότητες
 - Δεδομένα αναγλύφου ή τρισδιάστατα (ογκομετρικά), που καταλαμβάνουν όχι μόνο κάποια επιφάνεια αλλά εκτείνονται και στις τρεις διαστάσεις του χώρου, μήκος, έκταση και ύψος. Παράδειγμα αποτελεί ο χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (Digital Elevation Model)/DEM) το οποίο θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω.
- II. Μη χωρικά ή ποιοτικά ή θεματικά ή περιγραφικά δεδομένα. Παράδειγμα μη χωρικής πληροφορίας είναι ο χαρακτηρισμός μιας ισοϋψούς καμπύλης πάνω στο χάρτη προσδιορίζοντας το υψόμετρό της ή ο χαρακτηρισμός ενός κλάδου υδρογραφικού δικτύου σε 1^{ης}, 2^{ης} τάξης κ.ο.κ., το βάθος μιας γεώτρησης και η διαπερατότητα των λιθολογικών σχηματισμών.

Τα δεδομένα μπορούν να ταξινομηθούν επίσης στις παρακάτω κλίμακες:

1. Ονομαστική (nominal) η οποία είναι ποιοτική, μη αριθμητική, μη γραμμική κλίμακα (π.χ. η χρήση γης μπορεί να πάρει τιμές π.χ. αστική, αγροτική, δασική κ.α.).
2. Τακτική (ordinal), η οποία είναι επίσης ονομαστική κλίμακα σε σειρά. Τα χαρακτηριστικά ταξινομούνται σύμφωνα με κάποια τακτική διάταξη (π.χ. η ιδιότητα «μέγεθος» μπορεί να πάρει τιμές μικρή, μεσαία, μεγάλη, χαμηλή, μέτρια, υψηλή κλπ)
3. Κατά Διαστήματα (intervals), Η οποία είναι μια τακτική κλίμακα με αριθμούς. Τα χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την απόκλιση τους από ένα αυθαίρετο μέγεθος μέτρησης (π.χ. το εμβαδόν παίρνει τιμές που

μετρούνται σε τετραγωνικά μέτρα).

4. Αναλογική (ratio), η οποία είναι μια κλίμακα με απόλυτο μηδενική εκκίνησης (π.χ. το υψόμετρο μετριέται από την απόστασή του από την επιφάνεια της θάλασσας).

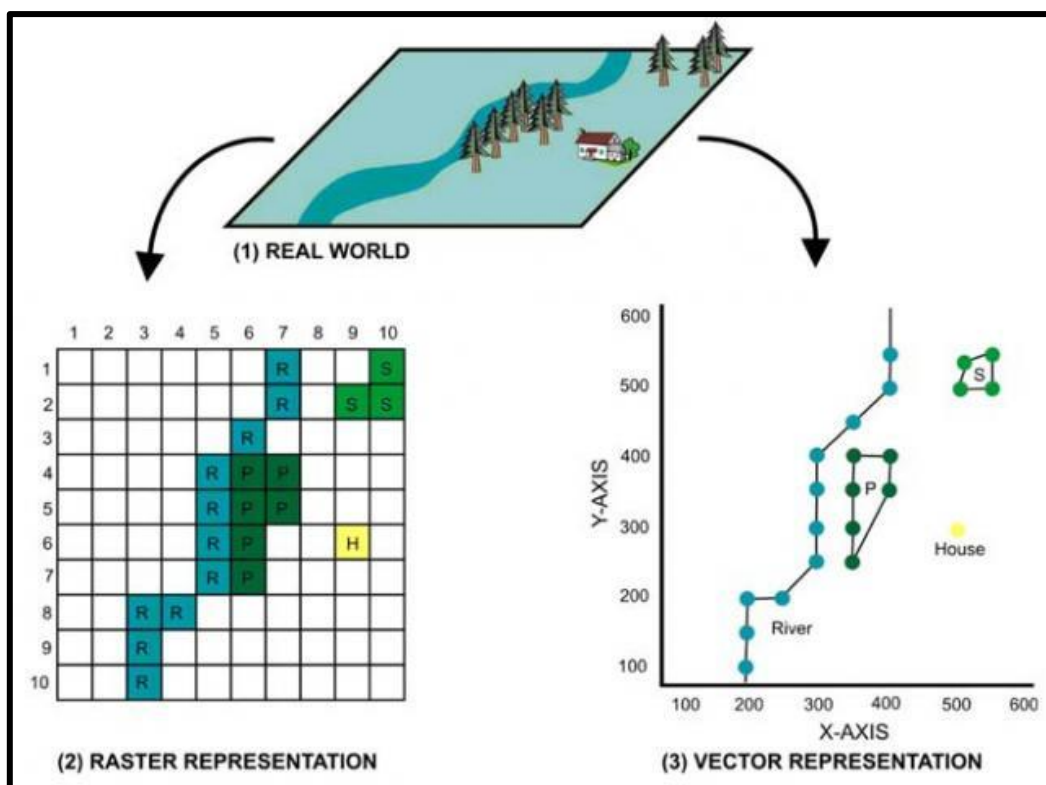
Τα δεδομένα ταξινομούνται επίσης και ανάλογα με τη φύση τους. Διακρίνονται σε:

1. Διακριτά φαινόμενα ή ιδιότητες, π.χ. πληθυσμός, χρήση γης, όγκος αγροτικής παραγωγής κ.α.
2. Συνεχή, φαινόμενα ή ιδιότητες, π.χ. το υψόμετρο, η ατμοσφαιρική ρύπανση.

1.4.2. Δομή Δεδομένων

Προκειμένου τα χωρικά δεδομένα να χρησιμοποιηθούν από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, θα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «γεωκωδικοποίηση». Κατά τη διαδικασία αυτή διατηρούνται τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των δεδομένων (Ασάρας & Οικονομίδης, 2007) και είναι δυνατή η σύνδεση ορισμένων θεματικών επιπέδων. (Καρτέρης, 1994).

Τα ψηφιακά δεδομένα αναπαρίστανται με δυο τρόπους, είτε σε μορφή κανάβου (raster) είτε σε μορφή διανύσματος ή πολυγώνου (vector) όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ταξινομούνται κατ'επέκταση σε μια από τις δύο κατηγορίες ανάλογα με το ποια μορφή δεδομένων σχεδιάστηκαν για να επεξεργάζονται (Ασάρας & Οικονομίδης, 2007).



Εικόνα 1.3 Παρουσίαση των αντικειμένων της εικόνας 1 (Real World) σε μορφή Κανάβου 2 (Raster Representation) και διανύσματος 3 (Vectro Representation), (www.cookbook.hlurb.gov.ph)

1.4.2.1. Διανυσματική Αναπαράσταση (VECTOR)

Η αναπαράσταση σε διανυσματική μορφή πραγματοποιείται όταν τα δεδομένα ορίζονται ως γραμμές, σχήματα ή σημεία. Τα σημεία είναι διανύσματα με μηδενικό μήκος, οι γραμμές είναι ένα σύνολο διανυσμάτων και τα πολύγωνα είναι κλειστές γραμμές που περικλείουν μία έκταση. Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζονται διαφορετικοί τρόποι γραφικής παρουσίασης διανυσματικών (vector) δεδομένων.

VECTOR	<i>Points</i>	<i>Lines</i>	<i>Areas</i>	RASTER	<i>Points</i>	<i>Lines</i>	<i>Areas</i>
<i>Feature data</i>				<i>Feature data</i>			
<i>Areal units</i>				<i>Areal units</i>		-	
<i>Networks</i>				<i>Networks</i>	-	-	-
<i>Sampling records</i>				<i>Sampling records</i>		-	
<i>Surface data</i>				<i>Surface data</i>		-	
<i>Label/text</i>				<i>Label/text</i>	-	-	-
<i>Symbols</i>				<i>Symbols</i>			
<i>Relations</i>	attributes and pointers	attributes and pointers		<i>Relations</i>	attributes and relations	attributes and relations	

Εικόνα 1.4 Οι διαφορετικοί τρόποι γραφικής παρουσίασης δεδομένων από (α) αριστερά – διανυσματικά μοντέλα (vector) και (β) δεξιά – μοντέλα μορφής Κανάβου (raster), (Burrough & McDonnell, 1998)

1.4.2.2. Αναπαράσταση σε Μορφή Κανάβου (RASTER)

Η αναπαράσταση σε μορφή καννάβου, γίνεται με τη διαίρεση του χώρου σε κελιά (cells), με κανονικό σχήμα, π.χ. τετράγωνα, τρίγωνα κλπ, ή ακανόνιστο σχήμα, σταθερού ή μη σταθερού μεγέθους, τα οποία διαμορφώνουν μια ψηφιδωτή δομή. Η πιο συνηθισμένη μορφή καννάβου (raster), είναι αυτή όπου τα κελιά είναι τετράγωνα ίσου μεγέθους και καθορίζουν την χωρική ικανότητα που απαιτείται για να καταγραφεί σωστά η διαφοροποίηση των υπό εξέταση χαρακτηριστικών. Η θέση ενός σημείου ορίζεται από τη γραμμή και τη στήλη του καννάβου στην οποία εμπίπτει.

1.5. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους

Ένα χρήσιμο εργαλείο ανάλυσης, επεξεργασίας και παρουσίασης των γεωγραφικών πληροφοριών, αποτελεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Terrain Model ή Digital Elevation Model). Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) θεωρείται κάθε “ψηφιακή αναπαράσταση της συνεχούς μεταβολής του αναγλύφου στο χώρο”. Ο όρος DEM είναι πιο ειδικός και αναφέρεται μόνο στην ψηφιακή αναπαράσταση του αναγλύφου, ενώ ο όρος DTM είναι γενικότερος και χρησιμοποιείται επίσης και για οποιαδήποτε άλλη αναπαράσταση ενός χαρακτηριστικού συνεχούς μεταβολής στο χώρο (Χαλκιάς, 2007).

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους απεικονίζουν επομένως συνεχή χωρικά φαινόμενα, ξεφεύγοντας από την λογική της απεικόνιση θεματικών επιπέδων πληροφορίας σε δύο επίπεδα (διαστάσεις). Σε κάθε σημείο με συντεταγμένες x,y, αντιστοιχεί μια τιμή της μεταβλητής Z (Χαλκιάς, 2007).

1.5.1. Εφαρμογές ΨΜΕ και πηγές Δεδομένων

Η χρήση των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου είναι ιδιαίτερα σημαντική και έχει πολλαπλές εφαρμογές (Βαϊόπουλος κ.α., 2002):

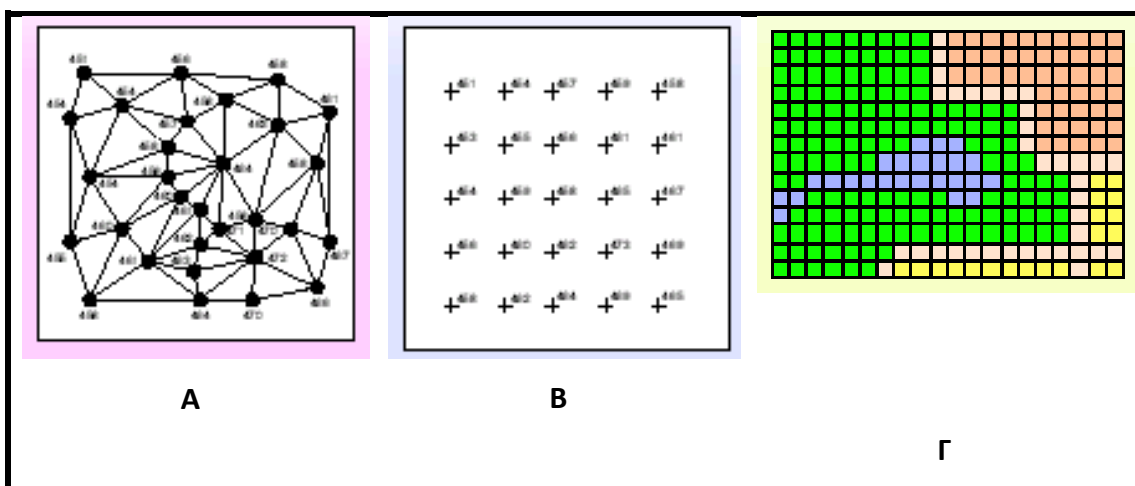
- Χωροθέτηση τηλεπικοινωνιακών δικτύων (τηλεόραση, ραδιόφωνο, κινητή τηλεφωνία).
- Σχεδιασμός (κατασκευή και συντήρηση) μεγάλων τεχνικών έργων (αεροδρομίων, αυτοκινητοδρόμων, λιμανιών, διωρύγων, σταθμών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαιοαγωγών κ.α).
- Μελέτη διάβρωσης (με μελέτη κλίσεων, περιγραφή γεωμορφολογικών μονάδων κ.λ.π.).
- Μελέτη επιφανειακής απορροής υδάτων, ανάλυση στραγγίσεων, πρόληψη πλημμυρών.
- Σχεδιασμό δικτύων στράγγισης και άρδευσης γεωργικών εκτάσεων
- Εξομοίωση πτήσεων, καθοδήγηση πυραύλων.

Οι κύριες πηγές δεδομένων που χρειάζονται για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου είναι (Βαϊόπουλος, κ.α. 2002):

1. Τα δεδομένα υπαίθρου, με απευθείας εδαφικές μετρήσεις που επιτρέπουν την άμεση καταγραφή των δεδομένων και μεταφορά τους στον Η/Υ.
2. Οι τοπογραφικοί χάρτες, τα δεδομένα των οποίων ψηφιοποιούνται.
3. Οι αεροφωτογραφίες ή οι δορυφορικές εικόνες.

1.5.2. Είδη Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του 50 και έκτοτε έχουν πάρα πολλά είδη. Οι διαφοροποίησή τους έγκειται στη διαφορετική δομή αποθήκευσης και στο διαφορετικό τρόπο διαχείρισης των δεδομένων τους. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.5 στις μέρες μας χρησιμοποιούνται κυρίως δύο δομές δεδομένων για τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους: τα δίκτυα Τριγώνων (Triangulated Irregular Network - TIN) και τα σημειακά μοντέλα (πίνακες υψομέτρων, rectangular grid, elevation matrices, lattices) (Κωνσταντινίδης Α., 2011).



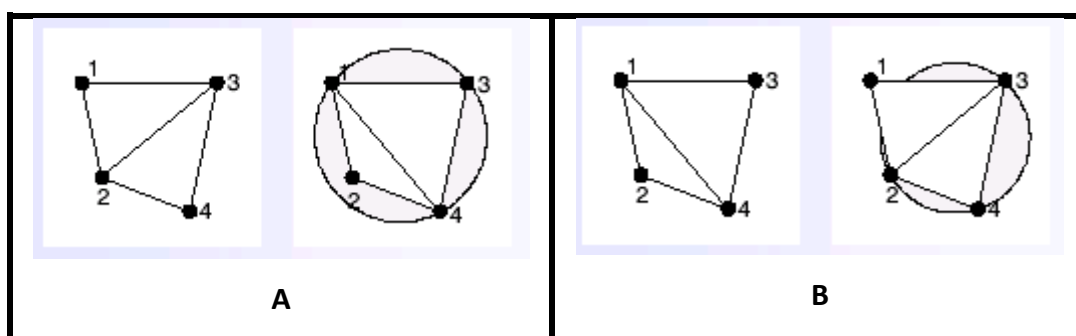
Εικόνα 1.5 Α. Δίκτυο TIN, Β. Σημειακό Μοντέλο, Γ. Μοντέλο Ψηφίδας

(Κωνσταντινίδης, 2011)

1.5.2.1. Δομή των Τριγώνων (Triangulated Irregular Network - TIN)

Τα μοντέλα δομής τριγώνων (TIN) αναπαριστούν τη συνεχή επιφάνεια σαν ένα σύνολο από τρίγωνα τα οποία έχουν για κορυφές σημεία με καθορισμένη τιμή Z

(υψόμετρο) και συντεταγμένες X, Y . Η δημιουργία των τριγώνων αυτών ικανοποιεί το κριτήριο Delaunay σύμφωνα με το οποίο ο περιγεγραμμένος στις κορυφές του τριγώνου κύκλος, δεν θα πρέπει να περιέχει άλλο σημείο (Εικόνα 1.6). Με αυτόν τον τρόπο όλοι οι κόμβοι συνδέονται με τους δύο πλησιέστερους. Επίσης η ικανοποίηση του κριτηρίου αυτού εξασφαλίζει τη μονοσήμαντη δημιουργία του τριγωνικού δικτύου, η οποία επιπλέον δεν εξαρτάται από τη σειρά επεξεργασίας των δεδομένων (Κωνσταντινίδης , 2011). Τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της τρισδιάστατης αναπαράστασης του ανάγλυφου είναι η ακτογραμμή, οι ισοϋψείς καμπύλες, το υδρογραφικό δίκτυο και τα τριγωνικά σημεία.



Εικόνα 1.6 Α. Δίκτυο TIN, Β. Σημειακό Μοντέλο, Γ. Μοντέλο Ψηφίδας,
(Κωνσταντινίδης , 2011)

1.5.2.2. Ψηφιδωτά Μοντέλα (Raster Grid, Lattice)

Στα ψηφιδωτά μοντέλα η συνεχής επιφάνεια παρίσταται σαν ένας κάνναβος σημείων τα οποία ισαπέχουν και στα οποία αντιστοιχεί κάποια τιμή της μεταβλητής Z . Η τιμή Z αντιστοιχείται με ένα σημείο του μοντέλου (μοντέλο lattice) ή σε μια στοιχειώδη επιφάνεια (μοντέλο grid). Γενικά, τα ψηφιακά μοντέλα περιλαμβάνουν τα παρακάτω στοιχεία (Κωνσταντινίδης , 2011):

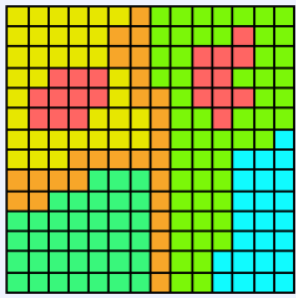
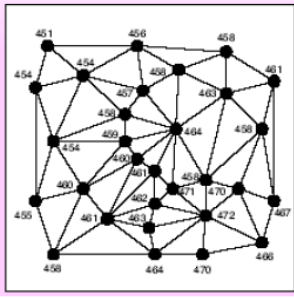
- Κωδικούς αναγνώρισης των σημείων
- Συντεταγμένες x, y αρχικού σημείου αναφοράς σε πραγματικές μονάδες
- Απόσταση μεταξύ των σημείων σε πραγματικές μονάδες
- Αριθμός σημείων

- Πίνακας με τις τιμές της μεταβλητής Z για κάθε σημείο. Σημειώνεται ότι οι συντεταγμένες χ, ψ αποθηκεύονται μόνο για το σημείο αναφοράς.

Τέλος αύξησης της ανάλυσης του μοντέλου (διακριτική ικανότητα, resolution) αυξάνει την ακρίβεια αναπαράστασης της φυσικής πραγματικότητας, μεγαλώνοντας αντίστοιχα και τις απαιτήσεις για αποθήκευση των ψηφιακών δεδομένων.

1.5.1.3. Σύγκριση Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους

Στην εικόνα 1.7 παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ των δύο ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Στο ψηφιδωτό μοντέλο κάθε σημείο ενός καννάβου υψομέτρων αποθηκεύεται στον Η/Υ με τις καρτεσιανές συντεταγμένες χ, ψ , και την τιμή του υψομέτρου Z . Έτσι, η διαχείριση των πινάκων υψομέτρων και η εφαρμογή ειδικών αλγορίθμων ανάλυσης και επεξεργασίας της πληροφορίας είναι πολύ εύκολη στα σημειακά ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Παρόλα αυτά για την όσο το δυνατό πιο ακριβή προσαρμογή των μοντέλων αυτών στις πραγματικές συνθήκες απαιτείται πυκνό δίκτυο σημείων. Όσον αφορά στη μοντέλο TIN συνδυάζονται καλύτερα οι δομές της επιφάνειας με τις τριγωνικές μορφές και παρέχεται απεικόνιση της τραχύτητας του αναγλύφου. Είναι όπως πιο πολύπλοκα, απαιτούν ακρίβεια και έχουν μεγαλύτερες δυσκολίες στη διαχείριση (Κωνσταντινίδης, 2011).

<p>Χαρακτηριστικά Μοντέλων TIN και Ψηφιδωτών μοντέλων</p>	<p>Ψηφιδωτό Μοντέλο</p> 	<p>Μοντέλο TIN</p> 
<p>ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ</p>	<p>Η ακρίβεια καθορίζεται από τις διαστάσεις της ψηφίδας ανάλυσης. Μικρότερες διαστάσεις ψηφίδας → μεγαλύτερη ακρίβεια ανάλυσης</p>	<p>Η ακρίβεια μεταβάλλεται με το βαθμό αλλαγής της κλίσεως. Περισσότερα κομβικά σημεία → μεγαλύτερη ακρίβεια ανάλυσης</p>
<p>ΠΙΣΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ</p>	<p>Ακριβέστερη αναπαράσταση κορυφών και τοπικών ανυψώσεων των τιμών των ψηφίδων</p>	<p>Ακριβέστερη αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων αναγλύφου</p>
<p>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</p> <p>ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</p>	<p>Χωρική ανάλυση</p> <p>Μικρής κλίμακας επιφανειακή μοντελοποίηση για περιβαλλοντική χαρτογραφία, όπως υδρολογία κ.α.</p>	<p>Υψομετρικοί και ογκομετρικοί υπολογισμοί, κλίσεις, έκθεση προσανατολισμού</p> <p>Ογκομετρικοί υπολογισμοί, υψηλής ποιότητας ισουψείς καμπύλες, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις χώρου, κ.α.</p>

Εικόνα 1.6 Σύγκριση των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους, (Κωνσταντινίδης , 2011)

1.6. Εφαρμογές των Γ.Σ.Π

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών ως εργαλεία λήψης αποφάσεων διοικητικής, οικονομικής, κοινωνικής αλλά και νομικής μορφής, και ως όργανο σχεδιασμού, ανάπτυξης, παρακολούθησης και προστασίας του περιβάλλοντος βρίσκει πολυάριθμες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως:

- Γεωργικές Εφαρμογές
- Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας
- Στρατιωτικές εφαρμογές
- Περιβαλλοντικές Εφαρμογές
- Διαχείριση Κινδύνων
- Χαρτογραφικές Εφαρμογές
- Δημογραφικές Αναλύσεις
- Πολεοδομικός-Χωροταξικός σχεδιασμός
- Αρχιτεκτονική Τοπίου
- Κλιματολογικά και Μετεωρολογικά Μοντέλα
- Εντομολογία
- Παρακολούθηση επιχειρηματικής δραστηριότητας
- Εφαρμογές Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης
- Δασοπονικές Εφαρμογές
- Ιατρικές επιστήμες όπως Επιδημιολογία
- Εκπαίδευση
- Γεωλογία
- Βιολογία
- Εκτιμήσεις Ακινήτων
- Τηλεπικοινωνίες
- Συγκοινωνιακά έργα
- Υδρολογία
- Αστυνομία
- Έρευνα

1.7. Μέθοδοι εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι υπολογισμού δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, η ποιοτική και η ποσοτική.

Οι ποιοτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν :

- Γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου

- Μέθοδος υπέρθεσης χαρτών βάρους – χάρτες παραμετρικών δεικτών
- Λογικά Αναλυτικά μοντέλα

Οι ποσοτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν :

- Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
- Ασαφής Λογική
- Neuro-fuzzy
- Δένδρα Απόφασης
- Συλλογισμός κατά Περίπτωση (Case Based Reasoning)
- Στατιστική Ανάλυση
 - ❖ Ανάλυση δυο μεταβλητών
 - ❖ Ανάλυση πολλών μεταβλητών
- Ντετερμινιστική Ανάλυση

Θα μπορούσε, επίσης, να αναφερθεί και μια τέταρτη κατηγορία μεθόδων, οι υβριδικές, οι οποίες αποτελούν συνδυασμό των προηγούμενων μεθόδων.

1.7.1 Ποιοτική μέθοδος

Όσον αφορά τις ποιοτικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στις γνώμες των ειδικών, χρησιμοποιούν ποιοτικά στοιχεία κατολισθήσεων με σκοπό να καθίσταται δυνατή η ταυτοποίηση περιοχών με παρόμοια γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οι οποίες να είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις. Διακρίνονται επίσης σε μεθόδους και τεχνικές που βασίζονται στη 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).

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τις ποιοτικές μεθόδους, η εμπλοκή των *Ειδικών* ενέχει προφανώς προβλήματα που σχετίζονται με την υποκειμενικότητα κατά την εξέταση

των παραμέτρων που επιδρούν στην εκδήλωση του φαινομένου. Στερούνται της δυνατότητας γενίκευσης και εφαρμογής της μεθοδολογίας που αναπτύσσουν σε περιοχές διαφορετικές από αυτές για τις οποίες δημιουργήθηκαν.

1.7.1.1 Γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου

Η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται για τη ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας. Σε αυτή την περίπτωση τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται μόνο ως σχεδιαστικά εργαλεία. Η γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου αποτελεί μέθοδο που αξιοποιεί την εμπειρία και τη γνώση και ο προσδιορισμός και η ζωνοποίηση των περιοχών των δυνητικά πιθανών για αστοχία βασίζεται στη γνώση και εμπειρία του ειδικού και γίνεται άμεσα στο πεδίο έρευνας. Εφαρμόζεται για την άμεση εκτίμηση της επικινδυνότητας μιας περιοχής χωρίς, να υπάρχει περιορισμός σε ότι αφορά την κλίμακα.

Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου αποτελούν οι εργασίες των Carmassi et al. (1992), Cardinali et al. (2002), Reichenbach et al. (2005), Mantovani et al.(2010).

1.7.1.2 Μέθοδος υπέρθεσης χαρτών βάρους – χάρτες παραμετρικών δεικτών

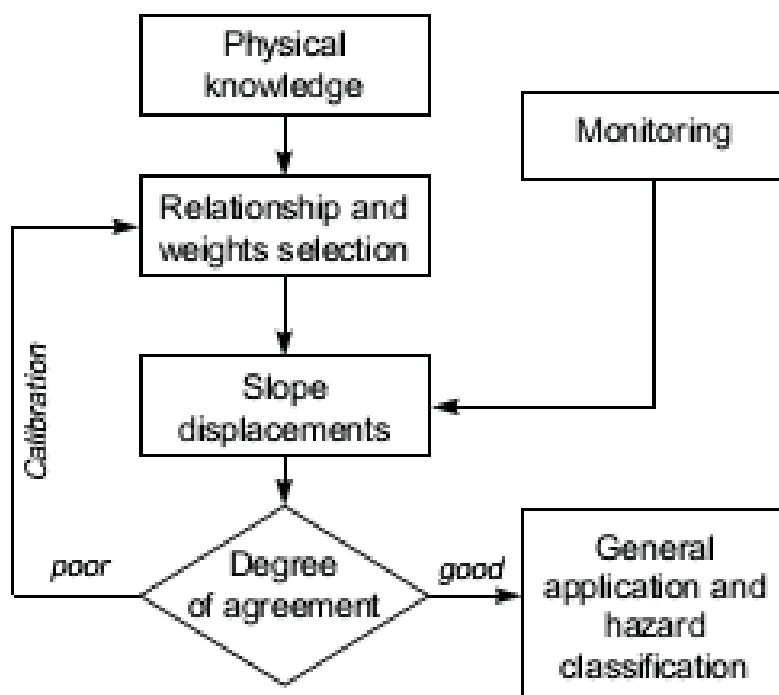
Αποτελεί μέθοδο για τη ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται μόνο ως συστήματα υπέρθεσης χαρτών βάρους και για την εκτέλεση βασικών λειτουργιών χωρικής ανάλυσης. Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί την εμπειρία και τη γνώση και προχωρά στο διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε ζώνες.

Η μεθοδολογία που ακολουθείτε περιλαμβάνει αρχικά την επιλογή των μεταβλητών που θεωρητικά επιδρούν στο σύστημα, και την απόδοση συντελεστών βαρύτητας για κάθε έναν από αυτούς. Στη συνέχεια την δημιουργία για κάθε μεταβλητή του συστήματος, ενός αριθμού σχετικών κλάσεων και την απόδοση συντελεστών βαρύτητας για την κάθε κλάση. Γίνεται υπέρθεση των χαρτών βάρους για κάθε μεταβλητή και τέλος δημιουργία του τελικού χάρτη στον οποίον απεικονίζονται οι κατηγορίες του βαθμού κινδύνου.(*Soeters & Van Westen, 1996*)

1.7.1.3 Λογικά αναλυτικά μοντέλα

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό περιοχών μεγάλης κλίμακας. Σε αυτή την περίπτωση τα Γ.Σ.Π. δεν αξιοποιούνται και η όποια συμμετοχή τους έχει να κάνει με τη σύνταξη ενός χάρτη καταγραφής. Αντλείται γνώση και εμπειρία από τους Ειδικούς, η οποία στη συνέχεια ελέγχεται για την ορθότητά της με την αντιπαραβολή πραγματικών μετρήσιμων δεδομένων στο πεδίο έρευνας. Οι παράμετροι εισόδου-αλληλεπίδρασης είναι η γεωλογική δομή, το υψόμετρο, η βροχόπτωση, η τεκτονική, η ανθρωπογενής παρέμβαση και η γεωμετρία του πρηνούς.

Στην εικόνα 1.8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αναλυτικού μοντέλου.



Εικόνα 1.7 Αναλυτικό μοντέλο (Aleotti-R. Chowdhury, 1999)

Στόχος της μεθοδολογίας είναι, η σύμπτωση των αποτελεσμάτων που εκφράζονται μέσα από τη γνώση και την εμπειρία με τις πραγματικές μετρήσεις. Στην περίπτωση που η σύμπτωση δεν είναι βέλτιστη το σύστημα επαναπροσδιορίζεται, δημιουργώντας διαφορετικές συσχετίσεις, και τέλος επιλέγοντας διαφορετικές

μεταβλητές. Αποτελεί μια τεχνική διαδοχικών δοκιμών και προσεγγίσεων, *trial and error procedure*. (Τσαγγαράτος, 2012)

1.7.2 Ποσοτική μέθοδος (quantitative methods)

Οι **ποσοτικές μέθοδοι** βασίζονται στη γνώση που εξάγεται από Βάσεις Δεδομένων (*Knowledge based analysis*). Η μεθοδολογία κάνει χρήση των τεχνικών και των μεθόδων που εφαρμόζονται στη Μηχανική Μάθηση και τη στατιστική ανάλυση / Εξόρυξη Δεδομένων.

1.7.2.1 Ανάλυση βασισμένη στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυση των κατολισθήσεων αφού αποδίδουν ικανοποιητικές προβλέψεις ακόμη και όταν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι αβέβαια.

Μοντέλα ΤΝΔ:

- τα δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης,
- τα δίκτυα συνάρτησης ακτινικής βάσης,
- οι αυτο-οργανούμενοι χάρτες (*Self-Organizing Maps*)
- τα επαναληπτικά δίκτυα,
- τα στοχαστικά νευρωνικά δίκτυα,
- τα αρθρωτά νευρωνικά δίκτυα

Στάδια ανάπτυξης του μοντέλου των ΤΝΔ :

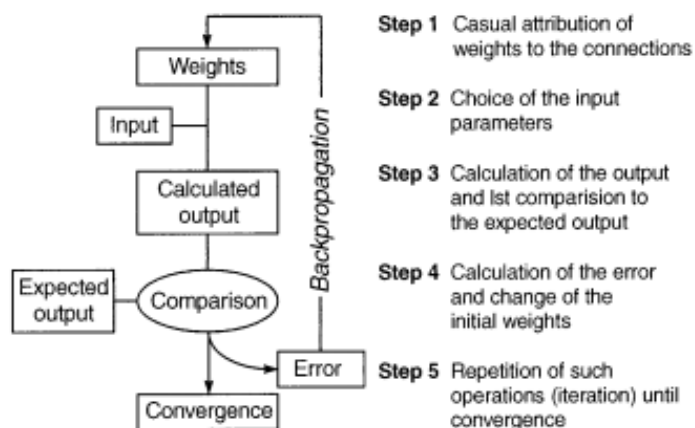


Fig. 14
The neural network procedure consists of 5 stages. This procedure progresses until convergence of the calculated and expected output

Εικόνα 1.8 Στάδια ανάπτυξης μοντέλου ΤΝΔ (Aleotti-R. Chowdhury, 1999)

Τα ΤΝΔ έχουν παρόμοια φιλοσοφία με έναν αριθμό συμβατικών στατιστικών μοντέλων, με την έννοια ότι και οι δύο προσπαθούν να κατανοήσουν τη σχέση μεταξύ ενός ιστορικού συνόλου μοντέλων εισόδου και εξόδου αντίστοιχα.

Πρόσφατη μελέτη πραγματοποιήθηκε για τις περιοχές του Αιγίου (έκτασης 32 χμ², στο βόρειο τμήμα των ακτών της Πελοποννήσου) και για τον νομό Ευρυτανίας (έκτασης 2.045 χμ²) από την Φερεντίνου (2004), αναπτύσσοντας ένα δυναμικό εργαλείο εκτίμησης του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων σε περιβάλλον Σ.Γ.Π. με τη σύγχρονη εφαρμογή των ΤΝΔ. Άλλο παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αποτελεί η μελέτη των Chauhan, Sharma, Arora και Gupta (2010), για μια περιοχή της Ινδίας (έκτασης 600 χμ² περίπου), οι οποίοι απέδωσαν συντελεστές βαρύτητας στις επιμέρους κατηγορίες 7 γενεσιουργών παραγόντων. Στην συνέχεια τους ενοποίησαν με σκοπό την δημιουργία ένας χάρτη ζωνοποίησης της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων. Οι Φερεντίνου, Χαλκιάς και Σακελαρίου (2010) δημιούργησαν χάρτες επιδεκτικότητας κατολισθήσεων, βασιζόμενοι σε έξι φυσικούς παράγοντες, χρησιμοποιώντας την μέθοδο ΤΝΔ και τον στατιστικό δείκτη λόγο συχνότητας (δείκτης επιδεκτικότητας). Η περιοχή μελέτης περιλάμβανε την ηπειρωτική Ελλάδα και τα νησιά της Κρήτης και της Εύβοιας (συνολικής έκτασης 110.000 χμ² περίπου).

Το αποτέλεσμα της παραπάνω μεθόδου είναι η δημιουργία ενός χάρτη επιδεκτικότητας με τις εξής κλάσεις επιδεκτικότητας: Πολύ Υψηλή, Υψηλή, Μέτρια, Χαμηλή και Πολύ Χαμηλή Επιδεκτικότητα.

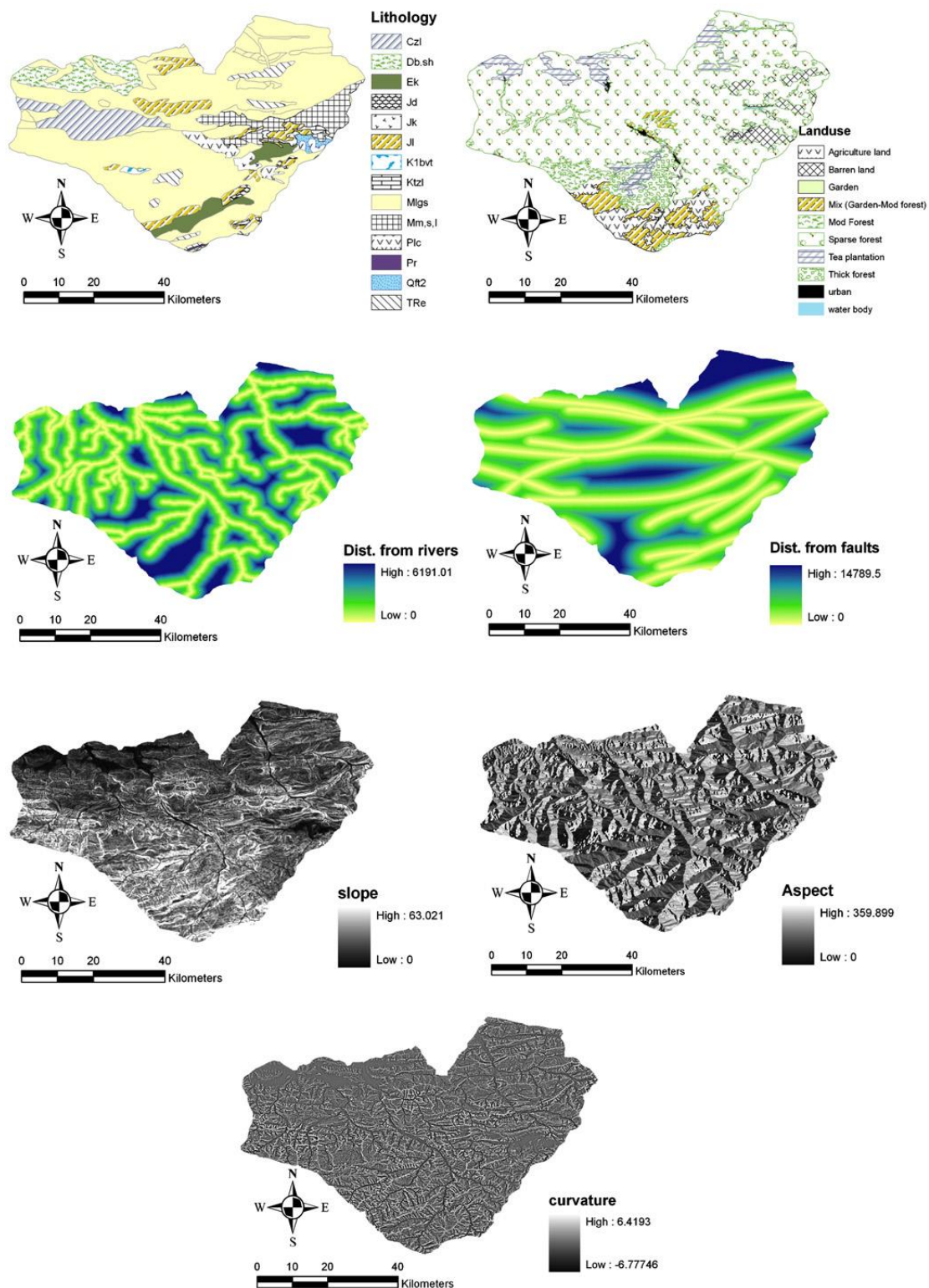
1.7.2.2 Ανάλυση βασισμένη στην Ασαφή Λογική

Η μέθοδος αυτή συνδυάζει την εμπειρία και την θεωρία των ασαφών συνόλων (Zaden, 1965,1968), έτσι ώστε να ζωνοποιηθούν περιοχές επιδεκτικές σε γεωλογικές αστοχίες. Σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των δεδομένων είναι περιορισμένος, δηλαδή καθίσταται αδύνατη η χρήση συμβατικών στατιστικών μεθόδων, ή κάποιοι από τους παράγοντες δεν είναι επακριβώς οριοθετημένοι η θεωρία των ασαφών συνόλων επιλέγεται συχνά ως κατάλληλη για την ερμηνεία της αβεβαιότητας και πολυπλοκότητας που σχετίζεται με ένα γεωλογικό σύστημα. (Τσαγγαράτος, 2012)

Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου της ασαφούς λογικής, αποτελούν οι εργασίες των Juang et al.,(1992), Ercanoglu & Gokceoglu, (2002,2004), Pistocchi et al., (2002), Pradhan et al.,(2009).

1.7.2.3 Neuro-fuzzy Model

Αποτελεί μια νέα πρωτότυπη τεχνική, η οποία συνδυάζει τη μέθοδο των ΤΝΔ με την μέθοδο της ασαφούς λογικής. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι η καμπυλότητα ,η ανύψωση (DEM), η γωνία και η πλευρά της πλαγιάς, η λιθολογία, η πυκνότητα των ρωγμών, ο δείκτης κινηματικής επικινδυνότητας των επίπεδων και της σφήνας ολίσθησης και ανατροπής. Η εικόνα 1.10 αποτελεί ένα παράδειγμα στο Ιράν όπου δημιουργήθηκαν οι χάρτες με βάση τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 1.10 Παράγοντες οι οποίοι λαμβάνουν μέρος στην εφαρμογή του Neuro-fuzzy (Mohammad H.Vahidnia et. Al , 2010)

Εφαρμόζει 3 μεθόδους:

- ❖ μέθοδος ROC (Receiver Operating Characteristic), μεθοδολογία που αναλύσει τις εικόνες ραντάρ και μελετάει τη σχέση σήματος / θορύβου.
- ❖ confusion matrix,
- ❖ μέθοδος SCAI.

$$SCAI = \frac{\text{A real extent of susceptibility classes (\%)}}{\text{LDZ of the training and testing set in each susceptibility class (\%)}}$$

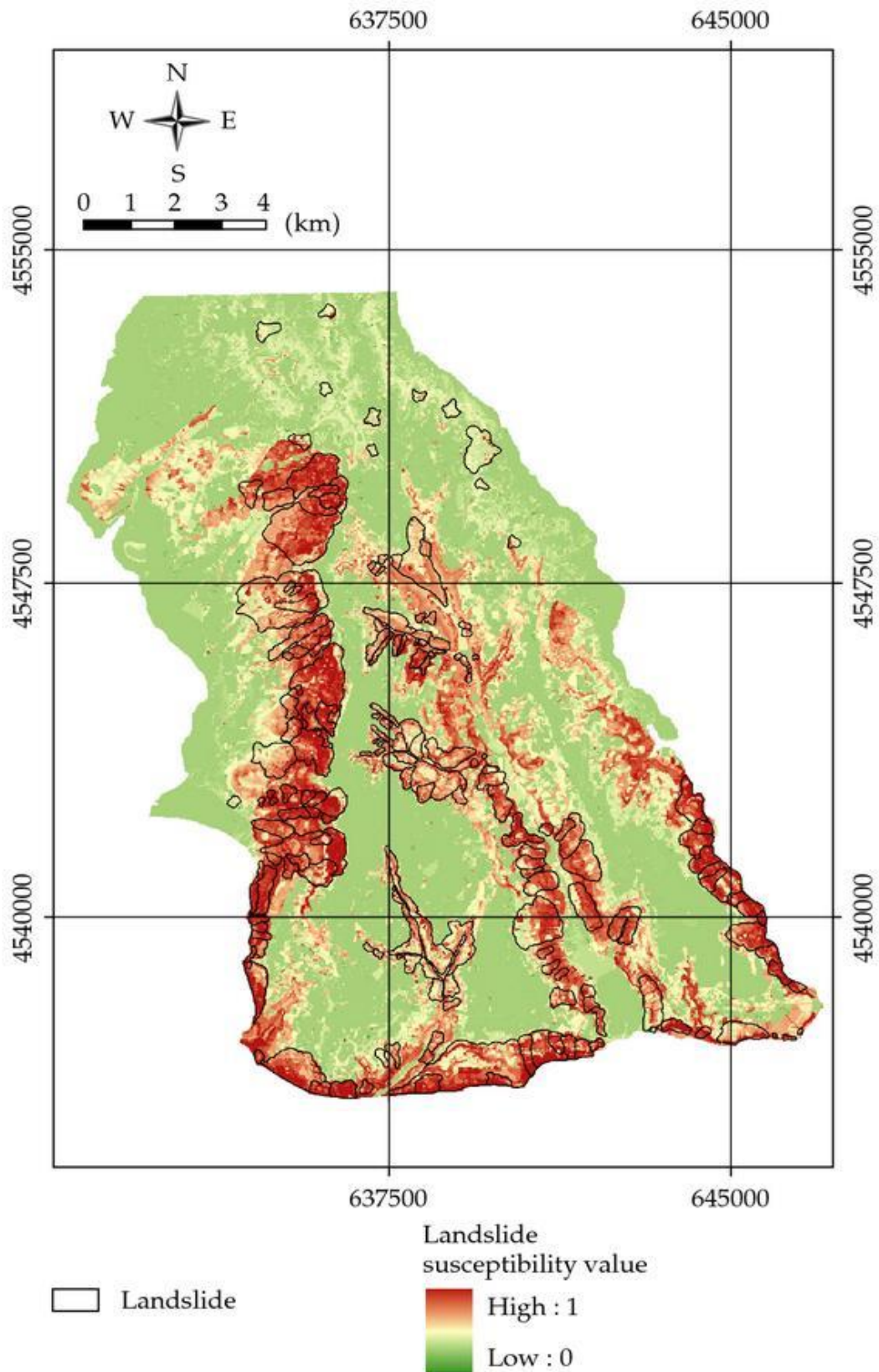
Η εφαρμογή του neuro-fuzzy μοντέλου διαιρείται σε δύο στάδια. Το πρώτο είναι το στάδιο της κατάρτισης κατά το οποίο πραγματοποιείται μια τυχαία επιλογή τύπων κατολίσθησης και υπολογίζονται τα βάρη και το δεύτερο στάδιο στο οποίο ο χάρτης επιδεκτικότητας επαληθεύεται με τον χάρτη απογραφής (διαδικασία επικύρωσης).

1.7.2.4 Ανάλυση βασισμένη στα Δένδρα Απόφασης

Τα Δένδρα Απόφασης χρησιμοποιούνται συχνά για την ταξινόμηση και πρόβλεψη της επιδεκτικότητας έναντι γεωλογικών αστοχιών και κυρίως για την κατηγοριοποίηση περιοχών μεγάλης και μεσαίας κλίμακας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο χάρτης επικινδυνότητας της εικόνας 1.11, έναντι κατολισθητικών φαινομένων ο οποίος δημιουργήθηκε από τους *Nefeslioglu et al.* (2010) βάση της τεχνικής των ΔΑ, για την περιοχή Cekmece της Κωνσταντινούπολης, στην Τουρκία. Αφού επεσήμαναν την αξία της Εξόρυξης Δεδομένων και την αναγνώριση της εξαιτίας του ολοένα αυξανόμενου όγκου των διαθέσιμων χωρικών δεδομένων, όρισαν και εισήγαγαν τις μεταβλητές εισόδου. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι εξής : οι γεωλογικοί σχηματισμοί, το υψόμετρο, η μορφολογική κλίση πρανούς, οι μορφολογικοί παράμετροι, η καμπυλότητα των πρανών κατά την διεύθυνση της κλίσης και κάθετα σε αυτή κ.α. Οι παραπάνω μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο σύνολο τους

ήταν 17, και μία μεταβλητή ως δεδομένο εξόδο η οποία μπορούσε να λάβει δύο τιμές. Οι τιμές αυτές ήταν (0) και (1) όπου χρησιμοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό ευσταθών περιοχών και περιοχών όπου εκδηλώνεται κατολίσθηση αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα δεν ήταν μια διακριτή τιμή αλλά μπορούσε να λάβει τιμές στο διάστημα [0,1], με σκοπό την καλύτερη ταξινόμηση. (Τσαγγαράτος, 2012)



Εικόνα 1.11 Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας με την χρήση της τεχνικής των ΔΑ (Nefeslioglu et al., 2009)

1.7.2.5 Ανάλυση βασισμένη στον Συλλογισμό κατά Περίπτωση

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση περιοχών μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π δεν χρησιμοποιούνται παρά μόνο για την σύνταξη ενός χάρτη καταγραφής.

Η παραπάνω μέθοδος η οποία αποτελεί έναν γενικό αλγόριθμο που προσαρμόζεται ανάλογα με την εφαρμογή της (Aamodt et al., 1994), βασίζεται στην επαναληπτική ανάκτηση περιπτώσεων από μια βάση κωδικοποιημένων περιπτώσεων τα οποία σχετίζονται με την περίπτωση που πρόκειται να αντιμετωπιστεί.

Οι εργασίες Fyson & Toll (2008) και Toll (2008) αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα ο Toll (2008) δημιούργησε μια βάση δεδομένων η οποία αποτελούταν από 2974 περιπτώσεις που σχετίζονταν με την ευστάθεια πρυνών. Επίσης, εντός της βάσης καταχωρήθηκε ένας μεγάλος αριθμός μεταβλητών οι οποίες αφορούσαν την ευστάθεια των περιπτώσεων που ήταν υπό μελέτη. Η μέθοδος βασίζεται στην ομοιότητα των παρατηρήσεων με τις παρατηρήσεις που αποτελούσαν μέρος της βάσης δεδομένων.

Η ανάλυση βασισμένη στο συλλογισμό κατά περίπτωση 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)

1.7.2.6 Στατιστική Ανάλυση (statistical analysis)

Χρησιμοποιείται κυρίως για έρευνες μεσαίας κλίμακας και η σχέση μεταξύ των κατολισθήσεων και των παραγόντων που τις επηρεάζουν και τις προκαλούν, γίνεται πιο κατανοητή. Μέσω της μεθόδου είναι δυνατόν να προσδιοριστούν στατιστικά οι συνδυασμοί των παραγόντων οι οποίοι οδήγησαν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων σε μια περιοχή στο παρελθόν. Με τον τρόπο αυτό σε μια άλλη μεταγενέστερη χρονική περίοδο, κατά την οποία δεν παρουσιάζονται κατολισθήσεις αλλά επικρατούν οι ίδιες γεωμορφολογικές, γεωλογικές, κλιματικές, κ.ά. συνθήκες με αυτές του παρελθόντος, μπορούν να γίνουν <<ποσοτικές προβλέψεις>> για την

περιοχή.

Η στατική ανάλυση χρησιμοποιείται αρκετά τα τελευταία χρόνια, αφού μπορεί να γίνει παράλληλη η χρήση της με μεθόδους των ΣΓΠ. Παρόλα αυτά ακολουθείται και από σημαντικά μειονεκτήματα (Van Westen, 2004):

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 τις κατολισθήσεις, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει άγνοια ως προς τις χρονικές πτυχές τους.

1.7.2.6.1 Ανάλυση δύο μεταβλητών(bivariate analysis)

Η παραπάνω μέθοδος θεωρείται κατάλληλη για τη ζωνοποίηση περιοχών μικρής και μεσαίας κλίμακας, βασίζεται στην έμμεση χαρτογράφηση και ερευνά ποιοτικά τις κατολισθήσεις. Σύμφωνα με την μέθοδο γίνεται εισαγωγή των παραγόντων, που συμβάλλουν στην εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου, σ' ένα ΣΓΠ (input data), στην συνέχεια χωρίζονται σε κατηγορίες και συσχετίζονται με έναν χάρτη απογραφής κατολισθήσεων. Έτσι, μέσω της πυκνότητας των κατολισθήσεων, υπολογίζεται ο συντελεστής βαρύτητας για όλες τις κατηγορίες κάθε παράγοντα. (Jimenez-Peralvarez et al., 2009).

Κατά την χρήση της μεθόδου ακολουθούν τα εξής στάδια (Tasseti, Bernandini και Malinverni, 2008):

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 κατηγοριοποίηση 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.

1.7.2.6.2 Ανάλυση πολλών μεταβλητών (multivariate analysis)

Στην πολυμεταβλητή ανάλυση οι παράμετροι των κατολισθήσεων αναλύονται με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (logistic regression) ή με τη μέθοδο της διαχωριστικής ανάλυσης (discriminant analysis). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ημι-ποσοτική μέθοδο WLC η οποία αναλύεται εκτενέστερα στο 4^ο Κεφάλαιο.

Λογιστική Παλινδρόμηση (logistic regression)

Με την μέθοδο αυτή περιγράφεται η σχέση μεταξύ της κατηγορικής, αληθής και ψευδής, ή δυαδικής (0 και 1) εξαρτώμενης μεταβλητής, π.χ πιθανότητα εμφάνισης ή όχι κατολίσθησης, και μιας ή και περισσότερων συνεχών ή κατηγορικών ή δυαδικών επεξηγηματικών ανεξάρτητων μεταβλητών, π.χ λιθολογία, γωνία κλίσης, κ.ά. που προέρχονται από τα δείγματα. Μέσω της μεθόδου προκύπτει ένας συντελεστής για κάθε μεταβλητή ο οποίος χρησιμοποιείται ως βάρος στην παρακάτω εξίσωση :

$$Y = \text{Logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Όπου,

Y = Η εξαρτώμενη μεταβλητή

p = Η πιθανότητα η Y να είναι 1

p / (1-p) = Η αναλογία πιθανοτήτων

C₀ = Το σημείο τομής

C₁, C₂, ..., C_n = Οι συντελεστές οι οποίοι υπολογίζουν τη συμβολή των ανεξάρτητων μεταβλητών (X₁, X₂, ..., X_n) στις διακυμάνσεις του Y.

Στην συνέχεια με την χρήση ενός κατάλληλου αλγορίθμου (ικανός να χρησιμοποιηθεί στη βάση δεδομένων ενός ΣΓΠ) επιλύεται η παραπάνω εξίσωση. Η επιδεκτικότητα των κατολισθήσεων παρουσιάζεται από το αποτέλεσμα που λαμβάνεται, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1.

- Αν ένας συντελεστής είναι θετικός, τότε η λογαριθμική αξία της πιθανότητας (p) θα είναι μεγαλύτερη από 1, με αποτέλεσμα η κατολίσθηση να είναι πιθανότερο να εμφανιστεί.
- Αν ένας συντελεστής είναι αρνητικός, τότε η λογαριθμική αξία της πιθανότητας (p) θα είναι μικρότερη από 1, και έτσι η πιθανότητα εμφάνισης κατολίσθησης να είναι μικρότερη.
- Αν ένας συντελεστής ισούται με το 0, τότε η λογαριθμική αξία της πιθανότητας (p) θα είναι ίση με 1 με αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα της μίας ή της άλλης εκδοχής.

Διαχωριστική ανάλυση (discriminant analysis)

Πρόκειται για μία πολυμεταβλητή στατιστική μέθοδο σκοπός της οποίας είναι η δημιουργία κανόνων οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να ταξινομήσουν τον κίνδυνο των κατολισθήσεων στην κατάλληλη κατηγορία. Παρουσιάζει κοινά με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης με την διαφορά ότι η εξαρτώμενη μεταβλητή είναι κατηγορική και όχι συνεχής. Η ανάλυση αυτή, των πολλών μεταβλητών άρχισε

πρόσφατα να χρησιμοποιείται στις περιβαλλοντικές επιστήμες και πιο συγκεκριμένα στον τομέα των κατολισθήσεων. Υπερτερούν καθώς οι νέες μεταβλητές που παράγονται είναι λιγότερες σε σχέση με τον αριθμό των αρχικών μεταβλητών, γίνεται ευκολότερος εντοπισμός των ανωμαλιών της, αλλά και ευκολότερος έλεγχος των υποθέσεων έτσι ώστε να ελεγχθεί η εγκυρότητα της. (Gorsevski et al., 2000)

1.7.2.7 Ντετερμινιστική ανάλυση

Στην ντετερμινιστική ανάλυση, ο κίνδυνος κατολισθήσεων προσδιορίζεται από τα γεωτεχνικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Για παράδειγμα από την διατμητική αντοχή του εδάφους, από την πίεση των πόρων του νερού, από το βάρος των μονάδων του εδάφους κ.ά. Επίσης χρησιμοποιούνται ειδικά μοντέλα ευστάθειας των πρανών έτσι ώστε να προκύψει ο συντελεστής ασφαλείας (safety factor calculation), ο οποίος εκφράζει τον λόγο μεταξύ των δυνάμεων που προκαλούν την αστοχία των πρανών και εκείνων που την αποτρέπουν. Το πρανές βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση όταν ο εν λόγω συντελεστής έχει τιμή μεγαλύτερη από 1 ενώ όταν η τιμή του είναι μικρότερη το πρανές παρουσιάζεται ως ασταθές. Το πρανές βρίσκεται σε κατάσταση αστοχίας όταν η τιμή του συντελεστή ισούται με την μονάδα.

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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο | ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

2 Εισαγωγή

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα κατολισθητικά φαινόμενα και αναφέρονται οι ταξινομήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους. Επίσης περιλαμβάνονται οι παράγοντες που προκαλούν κατολισθητικά φαινόμενα, ο μηχανισμός των κατολισθήσεων, τα μέτρα αντιμετώπισης τους αλλά και κατολισθήσεις οι οποίες έχουν λάβει μέρος στον ελλαδικό χώρο.

2.1 Γενικά περί κατολισθήσεων

Οι κατολισθήσεις είναι ένα φαινόμενο που σχετίζεται με μετακινήσεις που συμβαίνουν σε φυσικά και τεχνητά πρανή. Είναι φαινόμενα που εμφανίζονται σε αστικές, ημιαστικές και ορεινές περιοχές ανάλογα με τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία, την υδρογεωλογία, τη βλάστηση και το κλίμα. Συνιστούν μαζί με τους σεισμούς, τις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές, τις εκρήξεις των ηφαιστείων καθώς και τις πλημμύρες τις πιο σημαντικές φυσικές καταστροφές. Οι επιπτώσεις των κατολισθήσεων πιθανόν να είναι πολύ σοβαρές και συνδέονται κυρίως με σημαντικές άμεσες επιπτώσεις όπως για παράδειγμα απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, εκτεταμένες ζημιές σε ιδιοκτησίες αλλά και με έμμεσες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

Ο όρος κατολίσθηση έχει ως προέλευση τον αγγλικό όρο «Landslides» ο οποίος δεν ανταποκρίνεται πλήρως στο σύνολο του φυσικού φαινομένου καθώς σε αυτό περιλαμβάνεται εκτός της ολίσθησης και άλλες τρεις μορφές μετακίνησης: η πτώση, η ανατροπή και η ροή. Επιπλέον, το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβαίνει όχι μόνο

στην ξηρά άλλα και σε υδάτινες περιοχές, όπως για παράδειγμα μέσα σε θάλασσες, λίμνες ή και ταμιευτήρες. (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

Το φαινόμενο της κατολίσθησης απασχόλησε για πολλά χρόνια τον επιστημονικό κλάδο της τεχνικής γεωλογίας και είχε ως αποτέλεσμα να προταθούν διάφορες απόψεις.

Πριν από αρκετά χρόνια ο Terzaghi όρισε την κατολίσθηση σαν τη γρήγορη μετακίνηση της μάζας ενός πετρώματος, ή ιζήματος ενός πρανούς, ή υπολειμματικού εδάφους προς τα κάτω και προς τα έξω, όπως ορίζει το κεντροβαρές φαινόμενο. (Terzaghi, 1950)

Οι Zaruba και Mencil όρισαν τα κατολισθητικά φαινόμενα ως γρήγορες κινήσεις πετρωμάτων, οι οποίες οφείλονται στην ολίσθηση ενός τμήματος του πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο τμήμα με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια. (Zaruba Mencil, 1969)

Παρακάτω παρατίθενται οι όροι που, σύμφωνα με τους Zaruba και Mencil, αποτελούν τις προϋποθέσεις για την ταξινόμηση των κινήσεων του εδάφους στις κατολισθήσεις:

- Η βαρύτητα, που κατέχει τον ηγετικό ρόλο στην πρόκληση των φαινομένων.
- Η ταχύτητα, η οποία πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη. Στην περίπτωση που η ταχύτητα της κίνησης είναι μικρή τότε έχουμε το φαινόμενο του ερπυσμού το οποίο δεν εντάσσεται στα κατολισθητικά φαινόμενα.
- Η εκδήλωση της κίνησης υλοποιείται με την πτώση, την ολίσθηση και την ροή.
- Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης δεν είναι δυνατόν να ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα.
- Η κίνηση οφείλει να εκδηλώνεται προς τα κάτω και συγχρόνως προς τα έξω με αποτέλεσμα τη δημιουργία ελεύθερης επιφάνειας (με την έννοια αυτή στις κατολισθήσεις δεν είναι δυνατόν να περιλαμβάνονται οι καθιζήσεις).
- Το υλικό που μετακινείται έχει όρια καθορισμένα και αποτελεί συνήθως τμήμα μιας λοφώδους ή ορεινής έκτασης.

- Το μετακινούμενο υλικό περιλαμβάνει τμήμα του μητρικού πετρώματος ή μέρος του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων ή πιθανόν να περιλαμβάνει και τα δυο.
- Τέλος, οι ολισθήσεις που οφείλονται σε φαινόμενα παγετού δεν μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία των κατολισθήσεων.

Λίγο αργότερα ο VARNES, χρησιμοποίησε αντί για τον όρο κατολίσθηση τον όρο της μετακίνησης μαζών, ώστε να περιλαμβάνει ολόκληρη την γκάμα των εδαφικών μετακινήσεων και συγκεκριμένα των κινήσεων των πρανών που οφείλονται σε ολίσθηση, ανατροπή, κατάπτωση, ερπυσμό και ροή. Στα κατολισθητικά φαινόμενα δεν περιλαμβάνονται οι καθιζήσεις, οι χιονοστιβάδες και οι μετακινήσεις του πάγου. [Varnes, 1978]

Οι διάφορες ταξινομήσεις που έγιναν κατά καιρούς στηρίχτηκαν σε κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους που έχουν σχέση με:

- Το μηχανισμό της ολίσθησης
- Το είδος του υλικού που κατολισθαίνει
- Την περιεχομένη υγρασία του κατολισθαίνοντος υλικού
- Τον τύπο της κίνησης (κατάπτωση, ολίσθηση, ροή)
- Την ταχύτητα της κίνησης.
- Την γεωμετρία και την μορφολογία του πρανούς.
- Την σχέση ολίσθησης και της επιφάνειας ολίσθησης, δηλαδή αν είναι επίπεδη ή περιστροφική.
- Τα αιτία της πρόκλησης του φαινομένου, όπως π.χ οι σεισμοί, η πίεση του νερού, καθώς και ο ανθρωπινός παράγοντας.
- Τις κλιματικές συνθήκες και το περιβαλλοντικό καθεστώς κάτω από τα οποία εκδηλώνεται το φαινόμενο
- Την τοποθεσία όπου γίνεται το φαινόμενο (ξηρά, θάλασσα, λίμνη)

Λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές παραμέτρους καθώς και τις απαιτήσεις για τη χρήση γης οι κατολισθήσεις κατατάσσονται με βάση τις συνέπειες αυτών στα

διάφορα τεχνικά έργα και την ενεργότητα τους στις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Κατολισθήσεις ενεργές (δείχνουν να μην έχουν ακόμη σταθεροποιηθεί),
- 2) Κατολισθήσεις που πρόσφατα ανέδρασαν (μετά από μια περίοδο σταθεροποίησης)
- 3) Πρόσφατα ενεργές κατολισθήσεις (εκδηλώνονται με πρόσφατες κινήσεις) και
- 4) Κατολισθήσεις σταθεροποιημένες (δεν έχουν σαφείς ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης).

Αν ληφθούν υπόψη οι γεωλογικές ιδιομορφίες της χώρας τους καταλήγουμε σε δυο μεγάλες κατηγορίες μετακίνησης πρανών:

- i. Τις μετακινήσεις του τεταρτογενούς καλύμματος, που είναι και οι πολυπληθέστερες
- ii. Τις μετακινήσεις του τεταρτογενούς υποβάθρου, που υποδιαιρούνται ανάλογα με το χαρακτήρα των πετρωμάτων

Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται σύμφωνα με το υλικό μετακίνησης το οποίο μπορεί να είναι:

- Βραχώδες υπόβαθρο,
- Μανδύας αποσάθρωσης ή κορήματα
- Εδαφικοί σχηματισμοί

Καθώς και από τον τύπο της κίνησης των κατολισθήσεων οι οποίες είναι πιθανόν να γίνονται με:

- Ροή
- Ολίσθηση
- Κατάπτωση

Ο Varnes (1978) συνέστησε ένα σύστημα ταξινόμησης όλων των μετακινήσεων που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρανή, εκτός βέβαια των καθιζήσεων. Η

ταξινόμηση αυτή βασίζεται σε δυο κριτήρια, το είδος του υλικού το οποίο μετακινείται και τον τύπο μετακίνησης. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα κάθε κατολίσθηση, είναι δυνατόν να περιγραφεί και να ταξινομηθεί με δύο μόνο λέξεις: Η πρώτη αναφέρεται στο υλικό που μετακινείται όπως (π.χ ροή κορημάτων , ολίσθηση γαιών, ανατροπή βράχων κ.λπ.) και η δεύτερη αναφέρεται στον τύπο της κίνησης. (Varnes, 1978)

Για να συνοψίσουμε, λόγω της ευρύτητας εφαρμογής της από τις παραπάνω ταξινομήσεις η πιο αποδεκτή είναι του Varnes.

2.2 Ταξινόμηση κατά Varnes

Ο Varnes πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων το οποίο περιέχει όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που παρατηρούνται συχνά σε πρηνή εκτός βέβαια από τις καθιζήσεις. Τα βασικά κριτήρια για αυτή την ταξινόμηση είναι:

- α) Ο τύπος της μετακίνησης και
- β) Το είδος του υλικού που μετακινείται.

Σύμφωνα με τον τύπο της μετακίνησης διακρίνονται σε: πτώσεις, ολισθήσεις, ανατροπές, ροές και πλευρικές εξαπλώσεις, ενώ περιλαμβάνει ακόμη και τις πιο σύνθετες μετακινήσεις που αποτελούν συνδυασμό περισσότερων τύπων μετακίνησης. Σύμφωνα με το είδος του μετακινούμενου γεωλογικού υλικού, παρατηρούνται κινήσεις που εκδηλώνονται: α) σε βραχώδες υπόβαθρο, και β) σε εδαφικούς σχηματισμούς, οι οποίοι διακρίνονται σε γαίες και σε κορήματα.

2.2.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση τον τύπο της μετακίνησης

Ο Varnes (1978) πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων, ανάλογα με τον τύπο της μετακίνησης, και διακρίνει τις εξής περιπτώσεις:

- **Πτώσεις (falls):**

Οι καταπτώσεις είναι οι απότομες μετακινήσεις των μαζών των γεωλογικών υλικών, κυρίως πετρωμάτων αλλά και συνεκτικού εδάφους, οι οποίες αποσπώνται από ένα απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρηνές κατά μήκος μιας επιφάνειας με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή(Διατμητική αντοχή του εδάφους (*shear strength of soil*) είναι η ικανότητα του εδάφους να φέρει φορτία χωρίς να αστοχεί. Η αστοχία του εδάφους είναι διατμητική, παρουσιάζοντας επίπεδο ολίσθησης. Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής είναι κρίσιμοι για οποιαδήποτε ανάλυση σταθερότητας των πλαγιών αναφορικά με τις αστοχίες και τις κατολισθήσεις (Mohamed, 2006)

Κατά μήκος ασυνεχειών, όπως για παράδειγμα ρήγματα, συμβαίνει η αποσύνδεση των γεωλογικών υλικών και η πτώση πραγματοποιείται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρηνούς η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί από πολύ γρήγορη έως εξαιρετικά γρήγορη σε ταχύτητα μετακίνηση. Στην εικόνα 1 φαίνεται χαρακτηριστικά η τυπική πτώση βραχώδων μαζών. Τέλος, συχνό είναι το φαινόμενο του προοδευτικού αποχωρισμού της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα (Varnes, 1978 ; USGS, 2004 ; Cruden and Varnes, 1996).

Οι καταπτώσεις μπορούν να διακριθούν σε 3 κατηγορίες. Σε περιπτώσεις όπου η μετακινούμενη μάζα αποτελείται από βράχια τα οποία αποσπάστηκαν από μια περιοχή του υποβάθρου τότε έχουμε καταπτώσεις βράχων (rock fall). Όταν η μάζα η οποία αποσπάται είναι κορήματα που δημιουργήθηκαν πριν από την εκδήλωση του φαινομένου τότε πρόκειται για καταπτώσεις κορημάτων (debris fall). Η τελευταία κατηγορία είναι οι καταπτώσεις γαιών ή εδάφους (earth fall), αποτελούν πολύ σπάνιο φαινόμενο και κατά βάση σχετίζονται με άλλους τύπους μετακίνησης.

- **Ανατροπές (topples)**

Στις ανατροπές πραγματοποιείται μια προς τα έξω περιστροφή της μάζας που αποσπάται γύρω από ένα σημείο ή άξονα περιστροφής το οποίο βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας (Εικόνα 2.Ε)

Η ταχύτητα μιας ανατροπής κυμαίνεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη. Όσο αφορά την εκδήλωση του φαινομένου, λαμβάνει χώρα κυρίως σε βραχώδη πρηνή (rock topples) ενώ η εκδήλωση ανατροπής γαιών (earth topples) και κορημάτων (debris topples) είναι σπάνια καθώς στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κυρίως δευτερογενείς ανατροπές λόγω εφελκυστικών ρωγμών και εμφανίζονται

- **Ολισθήσεις (slides)**

Οι ολισθήσεις αποτελούν κατηφορικές μετακινήσεις μαζών εδάφους ή βράχων που εξελίσσονται κυρίως κατά μήκος επιφανειών θραύσης ή σχετικά λεπτών ζωνών έντονης διάτμησης. Ανάλογα με την μορφή της επιφάνειας ολίσθησης και τον μηχανισμό μετακίνησης ξεχωρίζουμε τους εξής τύπους ολισθήσεων (Varnes, 1978, USGS, 2004, Cruden and Varnes 1996):

1. Περιστροφικές ολισθήσεις (Rotational slides)

Η slump είναι η πιο συνηθισμένη μορφή περιστροφικής ολίσθησης όπου η παραμόρφωση είναι μικρή. Η ολίσθηση πραγματοποιείται κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσης η οποία είναι κοίλη προς τα πάνω (Εικόνα 2.A).

2. Μεταθετικές ολισθήσεις (Translational slides)

Η μάζα κινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας σχεδόν επίπεδης ή ομαλά κυματοειδούς επιφάνειας θραύσης με πολύ μικρή περιστροφική κίνηση ή κάμψη (Εικόνα 2.B). Οι μεταθετικές βραχώδεις ολισθήσεις (translational rock slides), ανάλογα με την μορφή της αστοχίας που πραγματοποιείται σ' αυτές, χωρίζονται σε ολισθήσεις με αστοχία μορφής σφήνας και σε ολισθήσεις με αστοχία επίπεδης μορφής (Εικόνα 2.C) (Varnes, 1978, USGS, 2004, Cruden and Varnes 1996).

- **Πλευρικές επεκτάσεις (lateral spreads)**

Κατά τις πλευρικές επεκτάσεις λαμβάνουν χώρα επεκτάσεις ενός συνεκτικού υλικού σε βάρος ενός μαλακότερου υποκείμενου υλικού στο οποίο στηρίζεται. Η παρουσία διατμητικών ή εφελκυστικών ρωγμών διευκολύνει την παρουσία τέτοιων επεκτάσεων λόγω του ότι εκδηλώνονται σε πολύ ομαλές πλαγιές ή σε επίπεδο έδαφος. (Εικόνα 2.J)

Οι πλευρικές επεκτάσεις διακρίνονται σε:

Επεκτάσεις τεμαχών, όπου βραχώδεις σχηματισμοί που υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων διαχωρίζονται με κατακόρυφες ρωγμές σε τεμάχια. Η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την επιφάνεια χωρίς καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή ζώνη πλαστικής ροής.

Επεκτάσεις λόγω ρευστοποίησης, συχνά δημιουργούνται σε αργίλους και ιλύες οι οποίες παρουσιάζουν απώλεια της αντοχής τους σε περίπτωση που διαταραχθούν και αλλοιωθεί η αρχική τους δομή.

Σύνθετες πλευρικές επεκτάσεις, όπου λαμβάνουν χώρα έντονες παραμορφώσεις (κάμψη) σε σχεδόν οριζόντια σκληρά και διερρηγμένα πετρώματα που υπέρκεινται παχίων στρωμάτων σκληρών ρωγματωμένων αργίλων ή μαλακών σχιστολίθων, ενώ ακολουθούν έντονες παραμορφώσεις και ανύψωση του υποβάθρου (αναθόλωση). (Κάβουρα, 2013)

- **Ροές (flows):**

Οι ροές εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά και αποτελούν μία μη αναστρέψιμη παραμόρφωση υλικών η οποία συμβαίνει ως αντίσταση σε ασκούμενη πίεση. Όταν η ταχύτητα είναι από πολύ αργή έως αργή τότε ταξινομούνται στον ερπυσμό (creep), (Εικόνα 2. I). Σε αυτή την περίπτωση η μετατόπιση είναι δυσδιάκριτη, και η κλίση δέντρων, στύλων ή ακόμα και η χαρακτηριστική θέση θραυσμάτων κάποιου γεωλογικού οριζοντα αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την αναγνώριση του

φαινομένου. Οι ροές μπορεί να είναι γρήγορες, ξηρές ή υγρές και διακρίνονται ως εξής:

Ροές βραχώδους υποβάθρου (rock flows),

Παρατηρούνται παραμορφώσεις που κατανέμονται μεταξύ πολλών μεγάλων ή μικρών ρωγμών ή ακόμα και μικρορωγμών χωρίς ωστόσο να εντοπίζεται μετατόπιση κατά μήκος μιας επιφάνειας (Εικόνα 2.D)

Ροές κορημάτων (debris flows),

Σε αυτή την περίπτωση η παραμόρφωση της μάζας που μετακινείται είναι μεγάλη και οι επιφάνειες ολίσθησης δεν είναι ορατές (Εικόνα 2.F). Στην περίπτωση που η μετακίνηση είναι πιο γρήγορη (παρουσία χαλαρών υλικών), η περιεκτικότητα σε νερό είναι μεγάλη και τα πρηνή έχουν μεγάλη κλίση τότε μετατρέπεται στη λεγόμενη «χιονοστιβάδα κορημάτων» (debris avalanche), (Εικόνα 2.G).

Ροές γαιών (earth flows), όταν αναφέρονται σε γαιώδη υλικά αρκετά

διαβρεγμένα που ρέουν σχετικά γρήγορα με περιεκτικότητα τουλάχιστον 50% σε άμμο, ιλύ και άργιλο, ονομάζονται λασποροές (mudflows), (Εικόνα 2.H). Σε ξηρές συνθήκες και με κυρίαρχο το κλάσμα της άμμου διακρίνονται οι ξηρές ροές άμμου (dry sand flows). (Κάβουρα, 2013).

- **Σύνθετες μετακινήσεις (composite slides)**

Αποτελούν έναν συνδυασμό των παραπάνω μετακινήσεων δύο ή περισσότερων. Λαμβάνουν χώρα .ε είτε στα διάφορα τμήματα της μετακινούμενης μάζας, είτε στα διάφορα στάδια εξέλιξης της μετακίνησης.

Αναφορικά με την ταξινόμηση στην οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως, ως βραχώδες υπόβαθρο ορίζεται η μάζα εκείνη η οποία πριν αρχίσει να μετακινείται ήταν ένα πέτρωμα με μεγάλη συνεκτικότητα, σκληρό και το οποίο βρισκόταν στη φυσική του θέση από γεωλογικής άποψης. Σαν έδαφος χαρακτηρίζουμε τα χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα πετρωμάτων και ορυκτών τα οποία

έχουν προέλθει από την επιτόπια αποσάθρωσή τους ή από αποσάθρωση, διάβρωση και μεταφορά προϋπαρχόντων πετρωμάτων.

Τα εδάφη μπορούν να διακριθούν περαιτέρω σε:

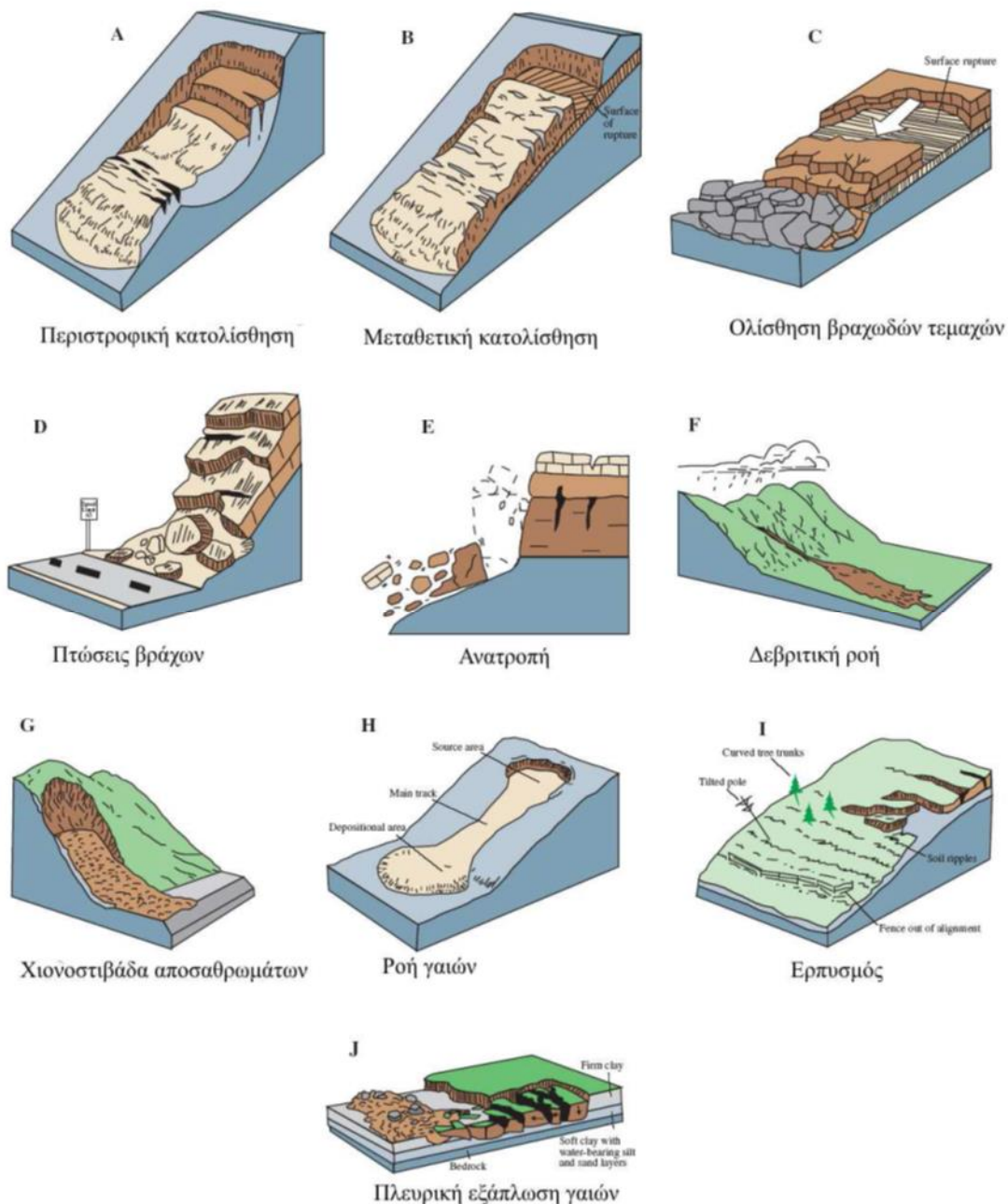
- Γαίες, εδαφικά υλικά δηλαδή, που το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας τους και συγκεκριμένα από 80% και άνω, έχουν μέγεθος μικρότερο από 2 mm (κλάσμα άμμου, ιλύος, αργίλου) σύμφωνα με την μηχανική τους ταξινόμηση.
- Κορήματα, εδαφικά υλικά δηλαδή, τα οποία περιέχουν ποσοστό 20 - 80% από χονδρόκοκκα υλικά μεγέθους μεγαλύτερου των 2 mm όπως για παράδειγμα χαλίκια, κροκάλες, λατύπες και ογκόλιθους, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό τους είναι υλικά μικρότερα από 2 mm. Η διάκριση που γίνεται παραπάνω αναφέρεται στα υλικά της μάζας της κατολίσθησης πριν ακόμη ξεκινήσει το φαινόμενο.

Ανάλογα με την υγρασία την οποία περιέχουν τα υλικά των κατολισθήσεων, μπορούν να διακριθούν μακροσκοπικά σε:

- Ξηρά, όταν παρατηρείται μηδενικό ποσοστό υγρασίας
- Διαβρεγμένα, όταν περιέχουν ένα ποσοστό υγρασίας αλλά εντός της μάζας τους δεν κυκλοφορεί ελεύθερα νερό, και
- Υγρά, όταν περιέχουν υψηλό ποσοστό υγρασίας, το νερό ρέει ελεύθερα μέσα από τη μάζα τους και συμπεριφέρονται μερικώς ως υδαρή ή όταν περιέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες νερού, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν συμπεριφορά ρευστού.

Πολλές φορές είναι δύσκολο να καταλάβει κανείς σε μια μάζα η οποία κατολισθαίνει, την κατάσταση στην οποία αυτή βρίσκεται από άποψη περιεχόμενης υγρασίας, καθώς αρκετά συχνά παρατηρούνται ξηρά ή με μικρή υγρασία τεμάχια υλικού να παρασύρονται σε μια διαποτισμένη υδαρή μάζα του ίδιου υλικού. (Varnes, 1978)

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται όλοι οι τύποι μετακίνησης σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Varnes. Το σύστημα αυτό εμπλουτίζεται και συμπληρώνεται και από άλλες πρόσφατες θεωρήσεις και εμπειρίες αναφορικά με τα είδη και τους τύπους των κατολισθητικών κινήσεων.



Εικόνα 2.1 Τύποι μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978)

2.2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα

Η πρώτη ταξινόμηση των κατολισθήσεων ανάλογα με την ταχύτητας τους προτάθηκε από τον Varnes (1978). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η τροποποιημένη ταξινόμηση των κατολισθήσεων από τους Varnes και Cruden (1996), καθώς και τις πιθανές βλάβες που είναι δυνατόν να προκύψουν.

Πίνακας 1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα τους και τις πιθανές βλάβες που προκαλούν (Cruden and Varnes, 1996, επεξεργασία του συγγραφέα)

Κατηγορία ταχύτητας μετακίνησης	Περιγραφή	Ταχύτητα (mm/sec)	Τυπικά ταχύτητα	Πιθανές βλάβες
7	Εξαιρετικά γρήγορη	$>5 \times 10^3$	>5 m/sec	Καταστροφές κτιρίων λόγω πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι, απίθανη η ύπαρξη επιζώντων.
6	Πολύ γρήγορη	5×10^1	3 m/min	Μερικοί θάνατοι, περιορισμένος χρόνος για ασφαλή φυγή όλων των κατοίκων.
5	Γρήγορη	5×10^{-1}	1.8 m/hr	Δυνατή η ασφαλής φυγή των κατοίκων. Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή κατεστραμμένα.
4	Μέτρια	5×10^{-3}	13 m/month	Μερικές προσωρινές και ανθεκτικές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν.

3	Αργή	5×10^{-5}	1.6 m/year	Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση. Μερικές φορές καλά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις μπορεί να διατηρηθούν με κατάλληλη συντήρηση, αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της μετακίνησης.
2	Πολύ αργή	5×10^{-7}	15 mm/year	Μερικές από τις μόνιμες κατασκευές παραμένουν ανέπαφες.
1	Εξαιρετικά αργή	$< 5 \times 10^{-7}$	<15 mm/year	Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με μετρήσεις από ειδικά όργανα λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες, όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

2.3 Παράγοντες που προκαλούν κατολίσθηση

Είναι πολλοί οι παράγοντες που συνεργούν στην εμφάνιση των κατολισθήσεων και στη διαμόρφωση των οριακών καταστάσεων που τα κάνουν γενεσιουργά αίτια, αν και η εκδήλωση του φαινομένου έχει πάντα συγκεκριμένα αίτια. (Στουρνάρας, 1989). Τέτοιοι παράγοντες είναι:

Γεωμορφολογικοί: Χημικοί και φυσικοί παράγοντες με τους οποίους μεταβάλλεται η αρχική δομή και σύσταση των πετρωμάτων λόγω της δράσης του νερού, του πάγου, του ανέμου, της διάβρωσης, της αποσάθρωσης, της ηφαιστειότητας και της απολέπισης .

Γεωλογικοί: Η φύση δηλαδή της βραχώμαζας ή του εδάφους, η γεωμετρία η δομή, και οι σχέσεις με το υπόλοιπο γεωλογικό περιβάλλον

Υδρολογικοί: Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά και η φυσική υγρασία

Τοπογραφικοί: Η εξωτερική γεωμετρία

Κλιματολογικοί: Οι κλιματολογικές συνθήκες, το μικροκλίμα, ο κλιματολογικός τύπος, οι εναλλαγές υγρασίας και θερμοκρασίας, καθώς επίσης και τα κατακρημνίσματα

Ανθρωπογενείς: Κατασκευή τεχνικών έργων, εκμετάλλευση υπόγειων νερών και ορυκτών πόρων, υδραυλικές διευθετήσεις, πυρκαγιές, υλοτομία και διάφορα άλλα

Μηχανικοί: Διαμορφωμένες ή σε εξέλιξη εντατικές καταστάσεις, μηχανικά χαρακτηριστικά γεωλογικών σχηματισμών και τεκτονικών επεισοδίων.

Ακόμη πιο συγκεκριμένα, αυτό που δύναται να προκαλέσει μια κατολίσθηση είναι:

- Η μεταβολή του βάρους του πετρώματος. Συμβάλλουν σε αυτό οι μεταβολές της περιεκτικότητας σε νερό των διαφόρων συνεκτικών πετρωμάτων. Δημιουργούνται έτσι καινούργιες κατατμήσεις και ελαττώνεται η συνοχή του πετρώματος.

- Η μεταβολή του ύψους του πρηνούς ή της κλίσης. Αυτή μπορεί να προκληθεί με τη δράση ηπειρογενετικών τεκτονικών κινήσεων ή με έκπλυση και αφαίρεση υλικών από τη βάση του πρηνούς εξαιτίας των φαινομένων διάβρωσης. Η αύξηση της κλίσης επιφέρει μεταβολή στην ισορροπία των τάσεων του πετρώματος και αυξάνει έτσι τις δυνάμεις τις οποίες προκαλούν μετατόπιση των τεμαχίων. (Δημόπουλος, 1986)
- Η πρόσθετη ξαφνική επιφόρτιση. Προκαλεί αύξηση της δύναμης μετατόπισης των τεμαχίων και αύξηση της τάσης του νερού μέσα στους πόρους των συνεκτικών εδαφών, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η γωνία εσωτερικής τριβής.
- Η μεταβολή της περιεκτικότητας του νερού των πετρωμάτων. Το νερό του χιονιού και της βροχής εισέρχεται στις κατατμήσεις, δημιουργώντας έτσι μια πίεση υδροστατική, η οποία αυξάνεται στα χαλαρά πετρώματα των πόρων. Το αποτέλεσμα είναι να ελαττώνεται η εσωτερική τριβή και η συνοχή του πετρώματος .
- Οι ταχείες μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού. Είναι εκείνες που δίνουν αφορμή να μεγαλώσουν οι κόκκοι, ιδιαίτερα σε πηλούς και λεπτούς άμμους.
- Οι δονήσεις. Εκδηλώνονται σε περιοχές σεισμογενείς εξαιτίας των κραδασμών και των ταλαντώσεων των πετρωμάτων με διαφορετική συχνότητα. Ανάλογες δράσεις μπορούν να προκαλέσουν μηχανές που προκαλούν κραδασμούς και επίσης εκρήξεις με μεγάλη περιεκτικότητα εκρηκτικών [Δημόπουλος, 1986]. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται στα πετρώματα εφήμερες μεταβολές τάσεων οι οποίες διακόπτουν την ισορροπία των πρηνών.
- Η επίδραση του παγετού. Ο παγετός συντελεί στο να μεγαλώνει τον όγκο του υπόγειου νερού μέσα στις κατατμήσεις, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συνοχή τους.
- Το υπόγειο νερό. Το υπόγειο νερό καθώς κινείται επιφέρει πάνω στα τεμαχίδια του εδάφους μια πίεση η οποία σταδιακά ελαττώνει τη σταθερότητα του πρηνούς. Μπορεί επίσης να παρασύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το συντελεστή της εσωτερικής τριβής. Επιπλέον, το δραστικό υπόγειο νερό (εμπλουτισμένο με HCO_3), είναι δυνατόν να

προκαλέσει διάλυση του συνδεδετικού υλικού ή τμημάτων των στερεών πετρωμάτων και να μεταβάλλει την στερεότητά του.

- Η μεταβολή της βλάστησης. Σε μερικές περιοχές όπου μεταβάλλεται η βλάστηση των πρηνών εξαιτίας π.χ των εκχερσώσεων των εδαφών ή των πυρκαγιών προκαλείται ελάττωση της συνοχής των πρηνών αφού αυτές που σταθεροποιούν το έδαφος είναι οι ρίζες.
- Η αποσάθρωση. Η χημική και μηχανική αποσάθρωση ελαττώνουν συνεχώς τη συνοχή του πετρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατολισθήσεων φαίνονται καθαρά κάποια ίχνη, έτσι ώστε να μπορούν να θεωρούνται ως ένας ακόμη παράγοντας των χημικών μεταβολών του πετρώματος, οι οποίες προκαλούνται από το νερό που εισέρχεται από τα γειτονικά χημικώς ενεργά πετρώματα. (Στουρνάρας, 1989)

Αν αναλυθούν σωστά οι παράγοντες που προκαλούν κατολίσθηση θα γίνει δυνατόν να διαγνωσθούν οι αιτίες που την προκαλούν και αφού θα έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα προστασίας θα είναι αρκετά ευκολότερη η αποτροπή του φαινομένου αυτού.

2.4 Μηχανισμός των κατολισθήσεων

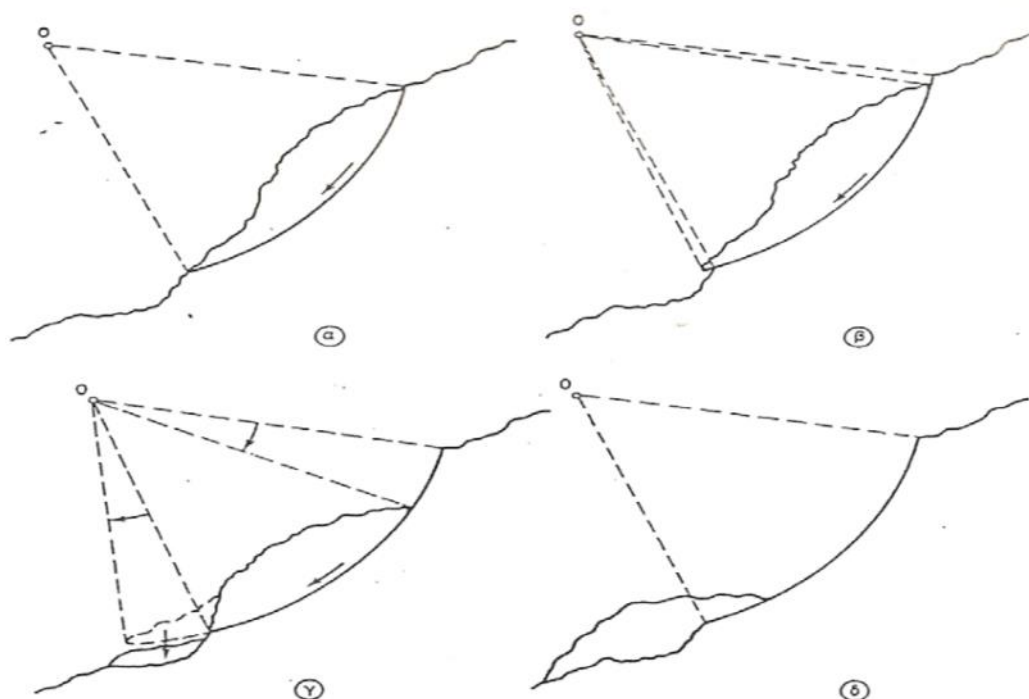
Ο μηχανισμός των κατολισθήσεων αναφέρεται κυρίως στη διερεύνηση της μετακινήσεως γαιών, από στατικής πλευράς, για την ανάλυση της ισορροπίας των εξωτερικών δυνάμεων που προξενούν την μετακίνηση, προς τις εσωτερικές δυνάμεις αντιστάσεως σε αυτές.

Η ανάλυση αυτή αναφέρεται γενικώς σε ένα πολύπλοκο σύστημα δυνάμεων ενεργουσών επί ανισότροπου και ανομοιογενούς υλικού, με ακανόνιστο γεωμετρικό σχήμα και επομένως τόσο οι κινούμενες δυνάμεις όσο και οι αντιστεκόμενες παρουσιάζουν διαφορετικό μέγεθος και κατανομή επί της μάζας που ολισθαίνει. Κατά συνέπεια, καθίσταται εμφανές ότι η επίλυση αυτή είναι άκρως δυσχερής αν όχι αδύνατη για τη γενική αυτή περίπτωση. (Σεισάκης, 1966)

Η πιο απλή μορφή αναλύσεως της μετακίνησης της μάζας είναι η ισορροπία ενός πρानούς σαφής γεωμετρικής διατομής και σταθερών μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους. Ο μηχανισμός του παραπάνω πρानούς είναι ιδιαίτερα χρήσιμος κυρίως στα χωματοουργικά έργα, στα φράγματα, στα ψηλά επιχώματα και εκχώματα οδών όπου και τίθεται το πρόβλημα της ασφαλούς κλίσεως των παραπάνω έργων. Επίσης, η ανάλυση της απλούστατης αυτής μορφής ολισθήσεως καθίσταται ο οδηγός της γενικής μορφής ολισθήσεως για την ανεύρεση των αιτιών και των μέτρων ανάσχεσής της.

Οποιαδήποτε μάζα πετρωμάτων ή γαιών που βρίσκεται υπό κεκλιμένη επιφάνεια εδάφους, ή πίσω από την επιφάνεια πρानούς μιας ανοικτής διατομής, υφίσταται μια τάση να κινηθεί κατωφερώς, εκτός της φυσικής του θέσεως υπό την επίδραση της βαρύτητας (αίτιο), και ενδεχομένως άλλων παραγόντων. Εάν λοιπόν αυτή η τάση εξουδετερώνεται από την αντίσταση σε διάτμηση του εδάφους η κλιτύς είναι ευσταθής, διαφορετικά μια ολίσθηση εκδηλώνεται. Το υλικό που λαμβάνει μέρος σε μια κατολίσθηση μπορεί να είναι φυσικό ή τεχνητό (να αποτελεί δηλαδή μέρος ενός τεχνικού έργου) ή και των δύο αυτών προελεύσεων. Έτσι εξετάζονται επομένως ολισθήσεις των πετρωμάτων ή φυσικών εδαφών. (Σεισάκης, 1966)

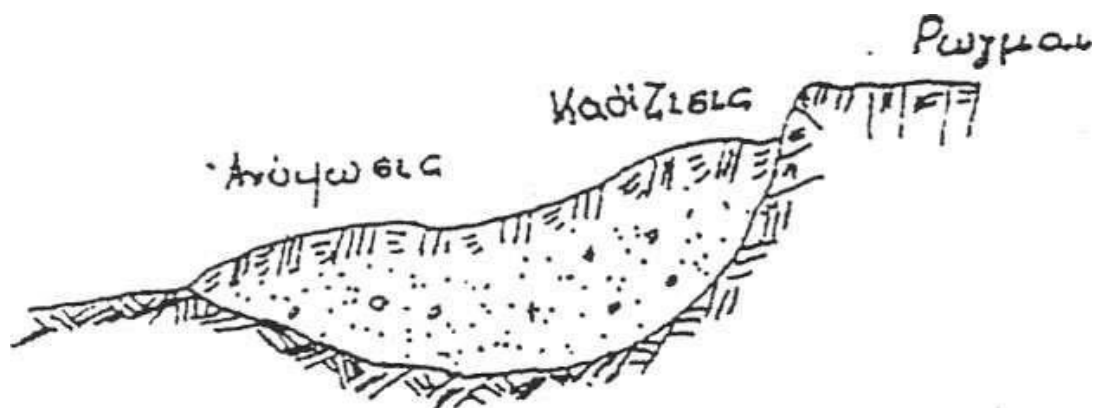
Στην εικόνα 2.3 φαίνεται ο μηχανισμός της κατολίσθησης. Αποκόπτεται μια εδαφική μάζα από το υπόλοιπο έδαφος και περιστρέφεται γύρω από έναν νοητό άξονα Ο (εικόνα 2.3-α). Η επιφάνεια, η οποία χωρίζει το σταθερό έδαφος από αυτό που κινείται έχει κατά προσέγγιση το σχήμα ενός κυλίνδρου και έτσι στο σχήμα φαίνεται σε τομή σαν τόξο κύκλου. Στην πρώτη φάση της κατολίσθησης (εικ 2.3-β) γίνεται αποκοπή του εδάφους και αρχίζει η περιστροφή. Παρουσιάζεται έτσι στο ψηλότερο μέρος, στη στέψη της κατολίσθησης, μια ρωγμή, που διαμορφώνεται όπως ένα σκαλοπάτι. Όσο το φαινόμενο προχωρά και η εδαφική μάζα περιστρέφεται, τα τμήματα της (εικόνα 2.3 -γ) διαδοχικά κρεμούν στη βάση της κατολίσθησης έξω από την επιφάνεια του εδάφους, θραύονται και κατρακυλούν προς τα κάτω. Όταν τελειώσει η κατολίσθηση, μένει γυμνή η κυλινδρική επιφάνεια, ενώ προς τα κάτω έχουν συσσωρευτεί οι όγκοι του εδάφους που κατολίσθησε (εικ 2.3-δ) .



Κατολίσθηση εδάφους: α) Αποκοπή από το άλλο έδαφος. β) Πρώτη φάση. γ) Εξέλιξη του φαινομένου. δ) Αποτέλεσμα.

Εικόνα 2. 2 Μηχανισμός Κατολίσθησης

Οι κατολισθήσεις φυσικών πρανών προκαλούνται κυρίως από εξωτερικές επιδράσεις όπως για παράδειγμα η υποσκαφή της βάσης μιας υπάρχουσας κλιτύς ή η εκσκαφή με ανυποστήρικτα πρανή. Εμφανίζονται ωστόσο κατολισθήσεις ανεξάρτητες εξωτερικών επιδράσεων και επί κλιτύων οι οποίες ίσως να ήταν ευσταθείς για πολλά έτη. Σχεδόν κάθε κατολίσθηση εδαφικών μαζών εμφανίζει τη γενική μορφή του (εικόνα 2.4) παρά τη μεγάλη ποικιλία των συνθηκών οι οποίες τις προκαλούν.



Εικόνα 2. 3 Τομή τυπικής κατολισθήσεως συνεκτικών εδαφών

Πριν την κατολίσθηση προηγείται εκδήλωση ρωγμών από εφελκυσμό στο ανώτερο τμήμα της προς κατολίσθηση μάζας ή πέρα από την κορυφή της εκτομής. Κατά την διάρκεια της ολίσθησης το ανώτερο τμήμα της προς κατολίσθησης μάζας, το ονομαζόμενο ρίζα αυτής, υφίσταται καθίζηση ενώ το χαμηλότερο, δηλαδή ο πόδας, διογκώνεται. Έτσι, το προφίλ του εδάφους μετά την κατολίσθηση γίνεται περίπου σαν ένα παραμορφωμένο «S» εάν η αρχική επιφάνεια της κλιτύος είναι επίπεδη. Ο παραπάνω μηχανισμός της κατολίσθησης δεν τηρείται πάντοτε στις περιπτώσεις κατολισθήσεων πετρωμάτων. (Σεισάκης, 1966)

2.5 Μέτρα-έργα αντιμετώπισης κατολισθήσεων

Στα μέτρα - έργα αντιμετώπισης των κατολισθήσεων περιλαμβάνονται τα εξής:

- Υπόγεια αποστράγγιση: αντιμετώπισης των κατολισθήσεων που σκοπεύει κατά κύριο λόγο στην αποφυγή της μείωσης της τριβής σε δυνητικές επιφάνειες ολίσθησης. Κυρίως επιτυγχάνεται με ηλεκτρική όσμωση, άντληση και κατασκευή πηγαδιών και στραγγιστικών γεωτρήσεων.
- Επιφανειακή αποστράγγιση: Στόχος της είναι να αποφευχθεί η συγκέντρωση νερού στην επικίνδυνη περιοχή. Μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους μεθόδους, όπως για παράδειγμα με εξομάλυνση της επιφάνειας του πρανούς, με περιφερειακή τάφρο, με απαγόρευση της καλλιέργειας στην επικίνδυνη περιοχή, με κλείσιμο των ρωγμών, με επιφανειακούς τάφρους - αύλακες συλλογής υδάτων. Πρόκειται για έναν λιγότερο δαπανηρό τρόπο από τον προηγούμενο γι' αυτό και συχνά προτιμάται.
- Διαμόρφωση σε αναβαθμούς της επιφάνειας του πρανούς: Είναι ένα αρκετά διαδεδομένο μέτρο, το οποίο οφείλει όμως να συνοδεύεται και από άλλα (π.χ. συλλεκτήριες τάφροι), ενώ τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η έκταση των αναβαθμίδων μπορεί να ποικίλουν κατά περίπτωση.
- Τοίχοι αντιστήριξης: Πρόκειται για μέτρο που εφαρμόζεται κυρίως κατά μήκος οδικών αρτηριών. Κατασκευάζονται τοίχοι αντιστήριξης από

λιθοδομή, σκυρόδεμα, ή από συρματοκιβώτια. Οφείλουν να παρέχουν ικανοποιητική αποστράγγιση και να εδράζονται οπωσδήποτε στο υγιές υπόβαθρο.

- Τσιμεντενέσεις - χημικά ενέματα: Προσπαθούν να αυξήσουν τη διατμητική αντοχή εδαφικών μαζών κυρίως, με την εισπίεση τσιμέντου ή άλλων μιγμάτων.

- Εκτόξευση σκυροδέματος (gunite): Λαμβάνεται συνήθως το μέτρο αυτό σε απότομα πρανή και βραχώδη και πρέπει να έχει προηγηθεί φρεζάρισμα- απολέπιση της επιφάνειας. Συνοδεύεται επίσης και από το κατάλληλο δίκτυο αποστραγγιστικών σωλήνων.

- Σκέπαστρα: Κατασκευάζονται στις περιπτώσεις που δεν αποδίδει άλλο μέτρο προστασίας κατά μήκος συγκοινωνιακών αξόνων. Είναι κατασκευές αρκετά δαπανηρές.

- Τάφροι, φράχτες παγίδευσης ή τοίχοι: Και αυτοί κατασκευάζονται συνήθως κατά μήκος των συγκοινωνιακών αξόνων και έχουν ως στόχο την ανάσχεση και την παγίδευση των μικρών βραχωδών τεμαχίων (μικρότερα από 2 μ.) που πιθανόν να αποσπαστούν και να πέσουν από το πρανές. (Κούκης, Ζιούρκας, 1989)

2.6. Κατολισθητικά φαινόμενα στον ελλαδικό χώρο

Τα κατολισθητικά φαινόμενα και οι εδαφικές κινήσεις αποτελούν συχνό φαινόμενο στην Ελλάδα καθώς η εκδήλωσή τους ευνοείται από το γεωτεκτονικό καθεστώς του Ελλαδικού χώρου. Το καθεστώς αυτό καθορίζει όλους τους επιμέρους παράγοντες όπως η γεωμορφολογία, η ενεργή τεκτονική, η λιθολογία και το κλίμα, οι οποίοι αποτελούν πολύ σημαντικούς παραμέτρους στην εκδήλωση των κατολισθήσεων. (Κούκης και Ζιούρκας, 1989)

Στον Ελλαδικό χώρο καταγράφεται ένα πλούσιο ιστορικό κατολισθητικών φαινομένων τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις έχουν προκαλέσει θανάτους και τραυματισμούς αλλά και σημαντικές ζημιές σε υποδομές και περιουσίες.

Συνήθως, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατολισθητικών φαινομένων εμφανίζονται στις κεντρικές και δυτικές περιοχές της χώρας, στην οροσειρά της Πίνδου, στη βόρεια και δυτική Πελοπόννησο αλλά και στο Πήλιο, στην Πιερία, στην Κρήτη και στην Εύβοια στην δυτική Στερεά Ελλάδα. (Κούκης και Ζιούρκας, 1989)

Στην εικόνα 2.4 και 2.5 παρουσιάζονται κατολισθητικά φαινόμενα στον νομό Μαγνησίας.



Εικόνα 2. 4 Καταπτώσεις βράχων έξω από τον οικισμό Σταγιάτες



Εικόνα 2.5 Κατολίσθηση η οποία παρατηρήθηκε στο οδικό δίκτυο προς τον οικισμό Βυζίτσας

Αναφορικά με τους παράγοντες κατολισθήσεων καταγράφονται συνολικά 64 παράγοντες, οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωσή τους. Οι 5 κυριότεροι παράγοντες ανάμεσα σε αυτούς διαπιστώνουν ότι είναι οι εξής:

- 1) Η βροχόπτωση,
- 2) Η αύξηση νερού των πόρων,
- 3) Η διάβρωση εξαιτίας της δημιουργίας υδρορευμάτων από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα,
- 4) Η φυσική αποσύνθεση κοκκωδών πετρωμάτων και
- 5) Η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών

Οι παρατεταμένες βροχοπτώσεις θεωρούνται ως μακράν οι πιο συνήθεις παράγοντες που συνδέονται με το έναυσμα της κίνησης.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι στο 61,4% των περιπτώσεων οι κατολισθήσεις εκδηλώθηκαν σε περιοχές όπου λείπει η βλάστηση, κυρίως εξαιτίας των ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Όσον αφορά τους τύπους κατολισθήσεων

διαπιστώθηκε ότι οι τρεις πιο συχνοί τύποι στον Ελλαδικό χώρο είναι κατά σειρά οι κυκλοειδείς, οι ερπυσμοί και οι ροές εδαφών.

Οι κατολισθήσεις κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες με βάση το βάθος της επιφάνειας ολίσθησης: Επιφανειακές (<1,5μ), Αβαθείς (<5μ), Βαθείς (<20μ) και Πολύ Βαθείς (>20μ). Διαπιστώθηκε ότι οι αβαθείς αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων (~70%).

Σχετικά με τον παράγοντα της λιθολογίας στα κατολισθητικά φαινόμενα θεωρείται η ύπαρξη δύο περιοχών στον Ελληνικό χώρο. Ειδικότερα, στο χώρο της Δυτικής Ελλάδας διαπιστώνεται ότι οι κατολισθήσεις συνδέονται κυρίως με σχηματισμούς του φλύσχη και της μεταβατικής σειράς προς αυτόν, τα κορήματα, τα νεογενή, αλλά και με πιο συμπαγείς σχηματισμούς που είναι επωθημένοι πάνω σε λιγότερο ανθεκτικούς. Στο χώρο της Ανατολικής Ελλάδας οι κατολισθήσεις συνδέονται κυρίως με νεογενή και με τις ζώνες κατακερματισμού και αποσάθρωσης των αλπικών πετρωμάτων. Διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα συμβάντα κατολισθήσεων συμβαίνουν στο Φλύσχη (35,6%), σε Νεογενή ιζήματα (30.2%) και σε Τεταρτογενή ιζήματα (16,2%). (Κούκης και Ζιούρκας ,1989)

Όσον αφορά το ρόλο της μορφολογίας διαπιστώθηκε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι κλίσεις των κλιτύων είναι από 16 έως 30 (57% των περιπτώσεων) και από 31 έως 45 (23% των περιπτώσεων).

Σχετικά με στο ρόλο των κλιματικών παραγόντων, αναγνωρίζεται η βροχοπτώση ως το πιο σημαντικό περιβαλλοντικό αίτιο κατολισθητικών συμβάντων. Συγχρόνως, θεωρούνται οι υψηλής έντασης βροχοπτώσεις ως η πιο σημαντική αιτία έναρξης ή το πιο καθοριστικό έναυσμα μιας κατολίσθησης.

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχει η ίδια η τεκτονική δραστηριότητα, εξαιτίας της οποίας τα πετρώματα κατακερματίζονται σε υψηλό βαθμό και πτυχώνονται. Τα απότομα πρηνή και τα πολλά συστήματα διακλάσεων που δημιουργούνται, καθώς επίσης και οι σεισμικές δονήσεις διαδραματίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο τόσο στους προκαταρκτικούς παράγοντες όσο και στους παράγοντες έναυσματος των κατολισθήσεων. (Κούκης και Ζιούρκας ,1989)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο | ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

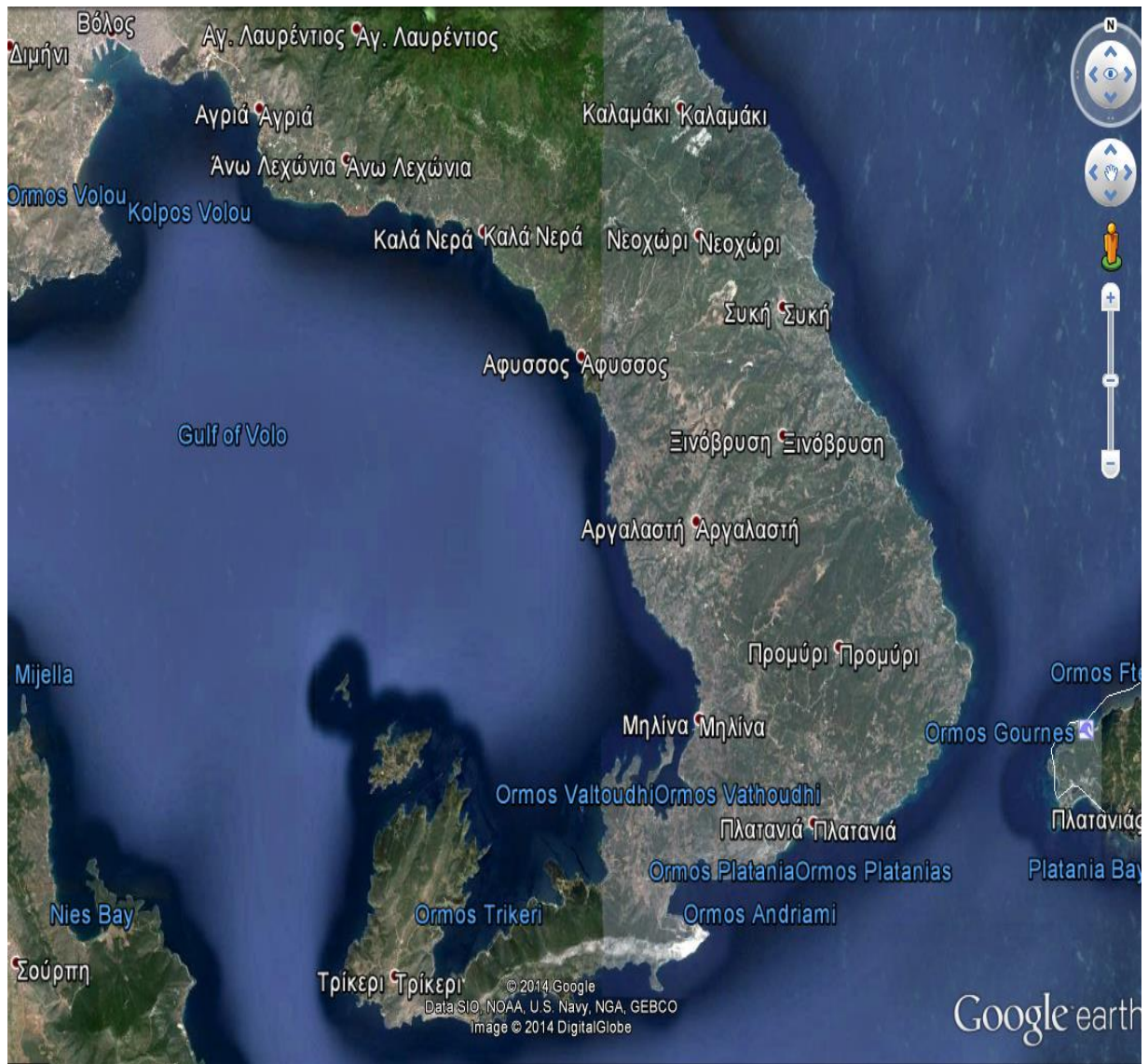
3 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά την ευρύτερης περιοχής του Όρους Πηλίου αλλά και της στενής περιοχής μελέτης.

3.1 Μορφολογία

Το Όρος Πήλιο βρίσκεται στην ανατολική Θεσσαλία και αναπτύσσεται από τα ΒΔ προς ΝΑ μεταξύ του Αιγαίου πελάγους, ανατολικά, και του Παγασητικού κόλπου, προς τον νότο. Έχει μέγιστο υψόμετρο 1.624 m στην τοποθεσία Πουριανός Σταυρός. Το Πήλιο αποτελεί ένα φυσικό φράγμα αποκόπτοντας την επικοινωνία της θάλασσας του Παγασητικού με το βόρειο Αιγαίο με μόνη διέξοδο το διάυλο Βόλου του οποίου το άνοιγμα δεν ξεπερνά τα 4km προς το διάυλο Ωρεών και Τρικεριού (εικόνα 3.1). Το μέσο υψόμετρο του Όρους Πηλίου είναι 750 m και το 94% της έκτασής του καλύπτεται από χερσαία έκταση με έντονο ανάγλυφο.

Η μορφολογία του χαρακτηρίζεται, επίσης, από τη γειννιάσή του με το Αιγαίο. Στο ορεινό αυτό συγκρότημα το ανάγλυφο παρουσιάζεται απότομο με έντονες μορφολογικές κλίσεις, και δομείται από μεσοζωικά-παλαιοζωικά πετρώματα. Στην εικόνα 3.2 διαφαίνονται τα απότομα πρανή τα οποία κυριαρχούν στην περιοχή έρευνας.



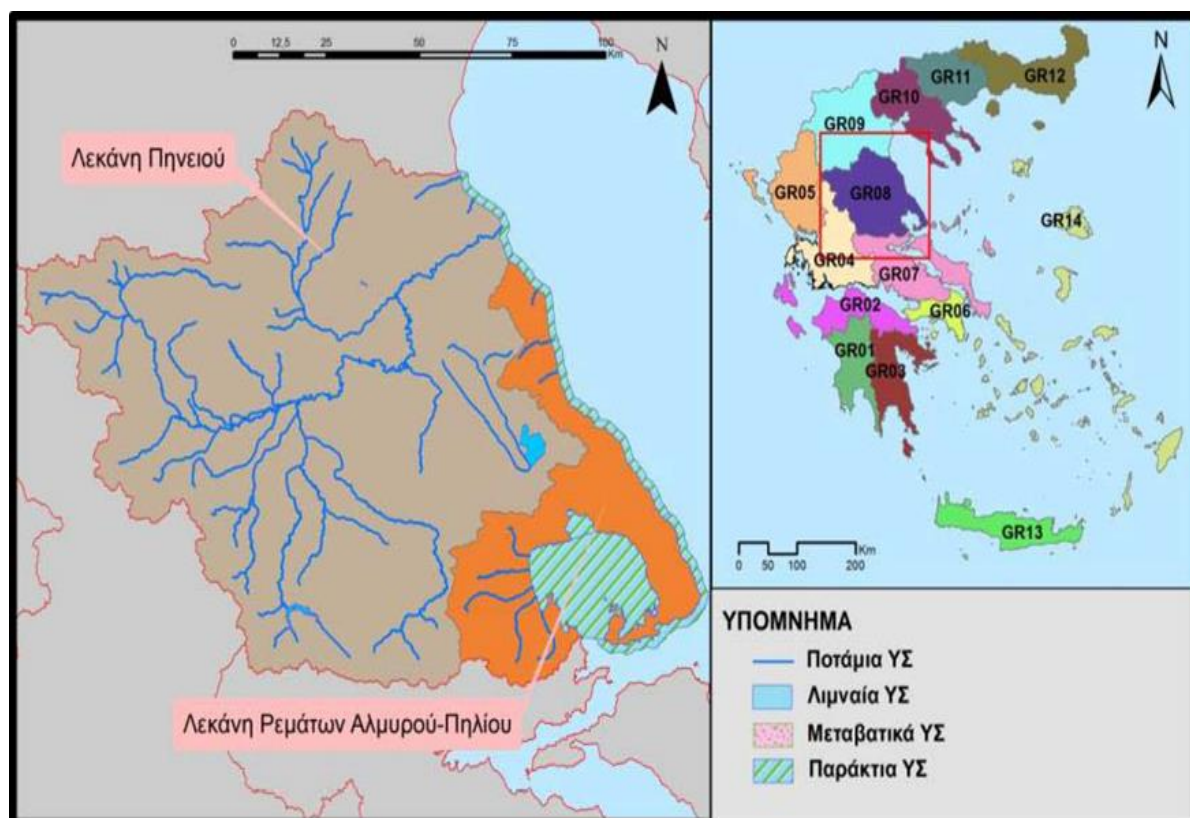
Εικόνα 3.1 Η ευρύτερη περιοχή του Όρους Πηλίου στον οποίο φαίνονται οι περιοχές του Πηλίου και αριστερά είναι ο Παγασητικός Κόλπος.



Εικόνα 3.2 Απότομες κλίσεις πρανών στο χωριό Μακρυνίτσα (Εικόνα που τραβήχτηκε κατά την επίσκεψη μας στο χώρο)

3.2. Υδρογραφικό Δίκτυο

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην υπολεκάνη των ρεμάτων Αλμυρού- Πηλίου έκτασης 2.079km², του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας (ΥΔ08)



Εικόνα 3.3 Θέση, όρια και κύριες λεκάνες του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (Τσακίρης κ.α., 2013)

Η περιοχή μελέτης δε διαθέτει ποταμούς (για 10 χλμ. περίπου ο ποταμός Ενιπέας αποτελεί φυσικό όριο μεταξύ αυτού και του Ν. Λάρισας). Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν αρκετοί χείμαρροι και ρέματα (Χολόρεμα, Πλατανόρεμα, Ξηριάς, Κραυσίνδωνας, Άναυρος, Βρύχωνας κ.λπ.), καθώς και πηγές μεγάλης παροχής των οποίων τα ύδατα χρησιμοποιούνται για ύδρευση και άρδευση. Πηγές και οι γεωτρήσεις στην περιοχή του Πηλίου φαίνονται στην εικόνα 3.4.

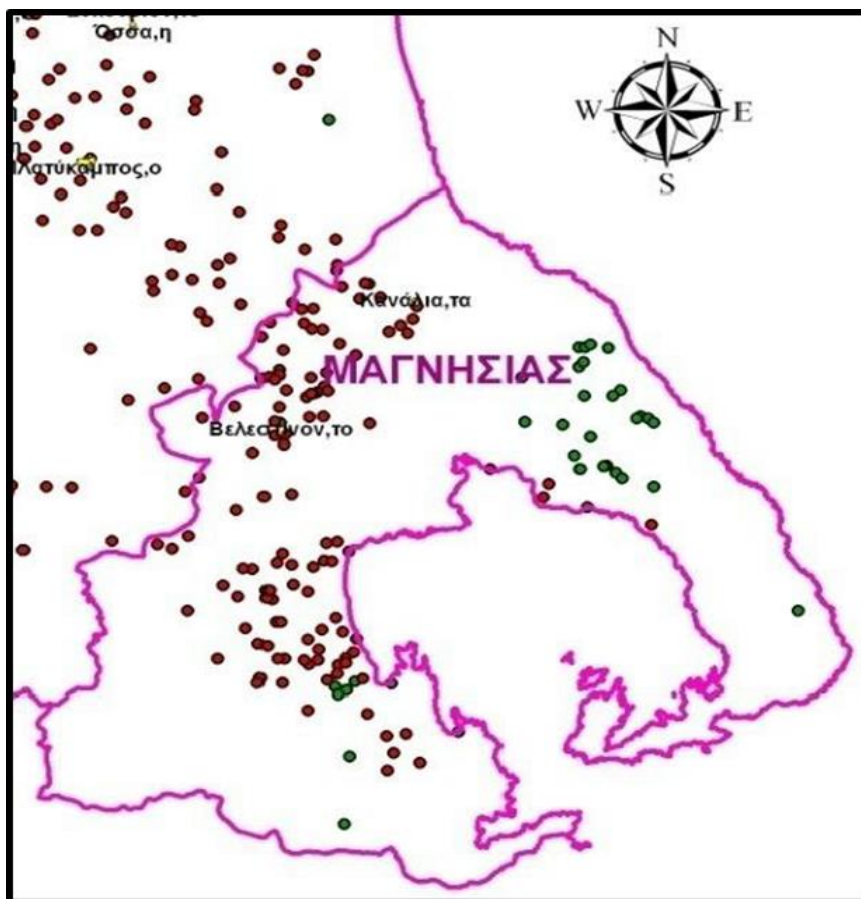
Οι υφιστάμενες πηγές οι οποίες χρησιμοποιούνται για ύδρευση ή/και άρδευση, είναι: Μάνα (Πορταριά), Καλιακούδα, Φλάμπουρο (Μακρυνίτσα), Λαγωνίκα (Πουρί), Γαλανόπετρα, Φλάμπουρο,, Κρουνέρια, Ξηφορτή, Αργυραϊίκα (Ζαγοράς), Κόκκινη σπηλιά, Καβούρια (Μακρυνάχη), Μπουρμπουλήθρα, Τύμπανο (Κισσός), Κατσάγκλα, Μάνα (Μούρεσι), Καλάμι (Αργαλαστή), Τσούκα (Μηλιές), Τζοάνι (Αν. Λεχώνια), Αγ. Ιωάννου (Αγ. Βλάσιος), Κρεμμύδα, Μισιακό, Μηλιά (Αγ. Γεώργιος

Νηλείας), Δόκανα (Πινακάτες), Δέσεις, Μάνα νερού (Αγ. Λαυρέντιος), Σκλήθρα (Δράκεια), Κεφαλόβρυσο (Βελεστίνο), Μπουρμπουλήθρα (Βόλος) (Κωτουλάκης Μ., 2005).

Οι λεκάνες απορροής που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή είναι τέσσερις (Κωτουλάκης, 2005) :

1. Περιοχή λεκανών απορροής Κραυσίδωνα, Ξεριά Βόλου και Ανάουρου. Περιλαμβάνει τους Δήμους Βόλου και Νέας Ιωνίας, την Α΄ΒΙΠΕ και ορισμένους οικισμούς όπως την Άλλη Μεριά, τα Μελισσιάτικα, τις Γλαφυρές, το Σέσκλο, το Διμήνι και τις Αλυκές.
2. Λεκάνη απορροής της Κάρλας. Περιλαμβάνει το Δήμο Βελεστίνου, το υπόλοιπο μέρος της ΒΙΠΕ εκτός από το Διμήνι και το Σέσκλο και τους οικισμούς Στεφανοβίκειο, Κανάλια, Κερασιά, Άγιος Γεώργιος Φερρών.
3. Ρέματα που εκβάλλουν στον Παγασητικό τα οποία προέρχονται κυρίως την πλευρά του Πηλίου από Αγριά μέχρι και Μηλίνα.
4. Περιοχή που περιλαμβάνει τα παράκτια ρέματα Μαυροβουνίου και Πηλίου που εκβάλλουν στο Αιγαίο.

Τέλος στις πεδιάδες Αλμυρού, Σούρπης-Δρυμώνα και στις περιοχές Βελεστίνου-Ριζομύλου-Στεφανοβικείου, καθώς και στην περιοχή Δ. Πηλίου από Αγριά έως Κορώπη γίνεται άντληση υπογείων υδάτων (Κωτουλάκης, 2005).



Εικόνα 3. 4 Χάρτης με τις υφιστάμενες γεωτρήσεις και πηγές στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Παπακώστα, 2010)

3.3 Οδικό δίκτυο

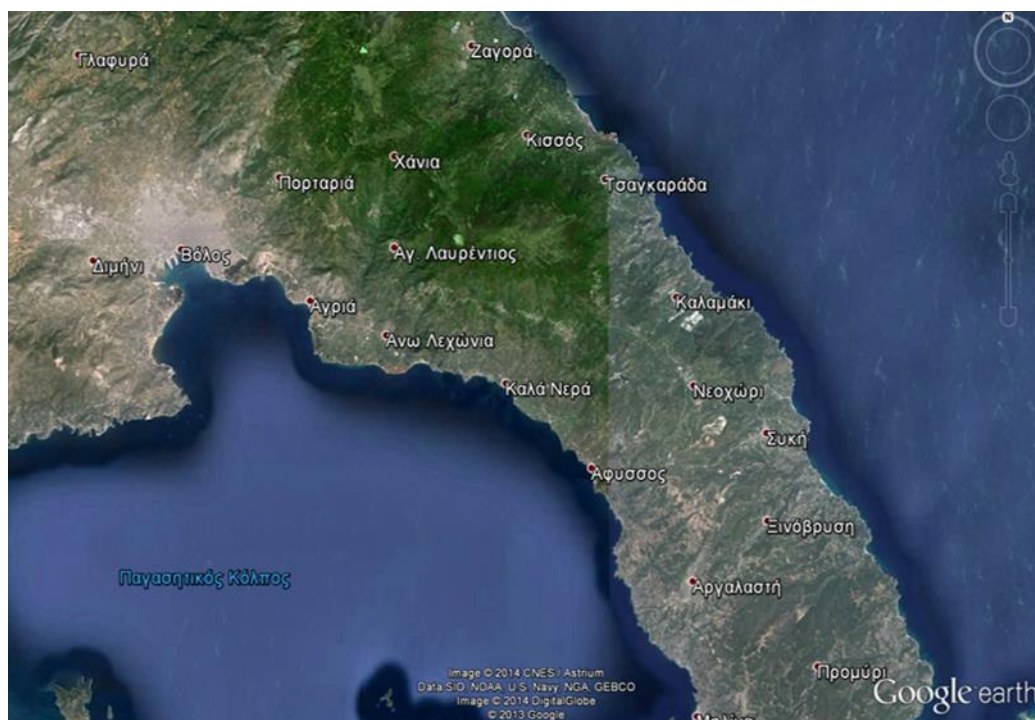
Το οδικό δίκτυο του όρους Πηλίου, που συνδέει τους οικισμούς, αποτελείται από δρόμους μέγιστου πλάτους 6 m, κυρίως ασφαλτοστρωμένων με κάποιες εξαιρέσεις χωματόδρομων. Οι δρόμοι χαρακτηρίζονται από μεγάλες κλίσεις καθώς και από πολλές κλειστές στροφές όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα 3.5. Σε αρκετές περιπτώσεις, λόγω των έντονων κατολισθητικών φαινομένων, είναι εγκατεστημένοι τοίχοι αντιστήριξης.



Εικόνα 3. 5 Δρόμος έξω από τον οικισμό Σταγιάτες ο οποίος ενώνει τον εν λόγω οικισμό με τον οικισμό του Αγ. Ονούφριου.

3.4 Χωροταξικός σχεδιασμός

Το όρος Πήλιο συγκροτείται από πολλά χωριά όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6, μικρής έκτασης με μικρή διαφορά χιλιομέτρων. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τους εξής οικισμούς : Μακρυνίτσα, Πορταριά, Σταγιάτες, Μηλιές, Κατωχώρι, Καλά Νερά, Βυζίτσα, Αγ. Βλάσιος, Αγ. Λαυρέντιος κ.α.



Εικόνα 3.6 Η εικόνα απεικονίζει τους οικισμούς στην περιοχή μελέτης

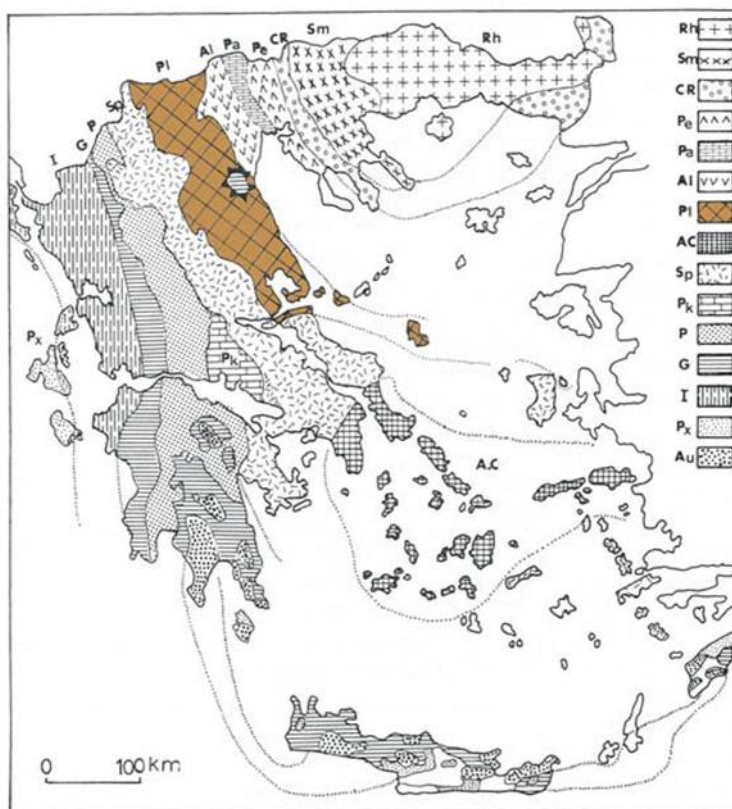
Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) ο αριθμός των κατοίκων κατά την απογραφή του έτους 2001, στους παρακάτω οικισμούς, ανέρχεται ως εξής:

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΟΙΚΟΙ
Μακρινίτσα	929
Πορταριά	1327
Σταγιάτες	121
Μηλιές	3513
Κατωχώρι	436
Καλά Νερά	723
Βυζίτσα	277
Άγιος Βλάσιος	485
Άγιος Λαυρέντιος	230
Άγιος Γεώργιος	17
Άγιος Μηνάς	20
Χάνια	277

Άλλη Μεριά	770
Αργαλαστή	1312
Νεοχώρι	386
Πινακάτες	182
Αφυσσος	353
Κάτω Λεχώνια	1646
Μυριοβρύτη	22
Ανεμούτσα	31
Λεφόκαστρο	74

3.5 Γεωλογία Ευρύτερης Περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στην Πελαγονική ζώνη που αποτελεί ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων (Εικόνα 3.7). Η Πελαγονική αποτελείται από Παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου, μέσα στα οποία διείσδυσαν γρανιτικά σώματα του Άνω Λιθανθρακοφόρου. Περμοτριάδικα μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού-Ιουρασικού αποτέθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια τα ζώνης και πάνω σε αυτά επωθήθηκαν οι οφιολιθικές μάζες προερχόμενες από τις εκατέρωθεν ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος (Χατζηπέτρος, 2006).



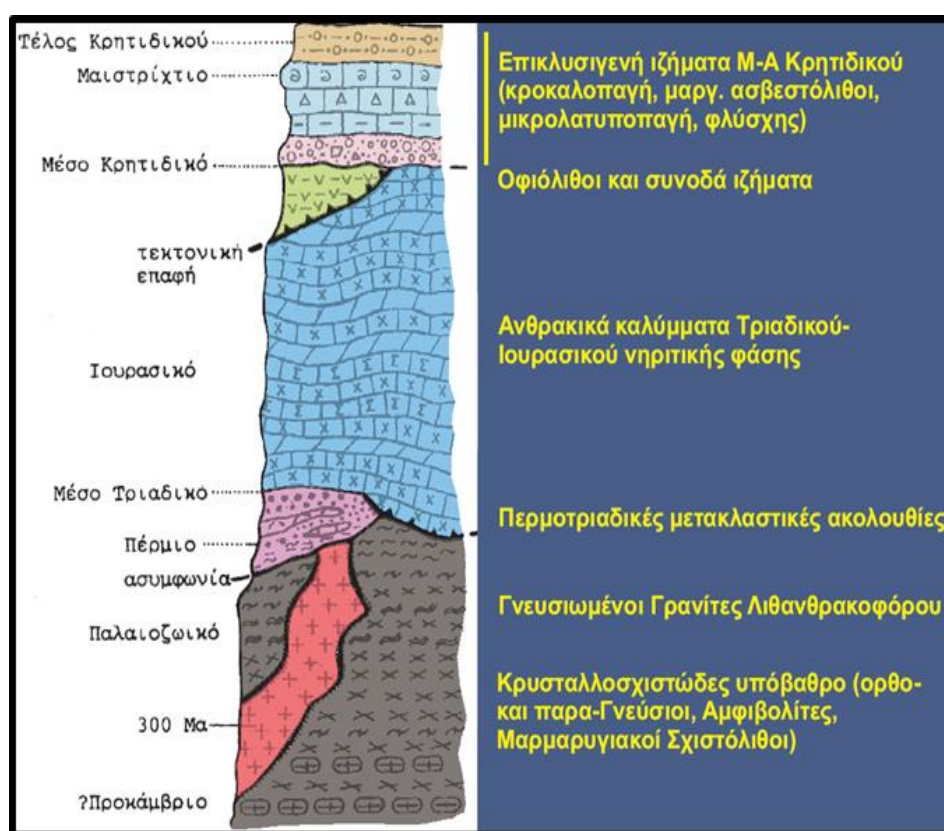
Εικόνα 3.7 Εμφάνιση Πελαγονικής Ζώνης (www.geo.auth.gr)

Δύο φάσεις μεταμόρφωσης έχουν επηρεάσει τα πετρώματα της Πελαγονικής: Η ερκύνια αμφοβολιτική φάση στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο και η πρασινοσχιτολιθική φάση Ιουρασικού-Κρητιδικού στα πετρώματα Άνω Παλαιοζωικού-Ιουρασικού. Στο Ανώτερο Κρητιδικό-Ηώκαινο πραγματοποιείται η οριστική ανάδυση της Ζώνης (Χατζηπέτρος, 2006).

Η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής αποτελείται από αλλούβια Ολοκαίνου στα παράλια, τεταρτογενείς θαλάσσιους και λιμναίους σχηματισμούς μη διαχωριζόμενους στην περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας, νεογενείς λιμναίες αποθέσεις κροκαλοπαγών μαργών και αργίλου με στρώματα λιγνίτη στην περιοχή του Αλμυρού, φλύσχη σε Βελεστίνο, Σκιάθο και Σκόπελο, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, βιοσπαρουδίτες (Τριαδικού και Κατ. Ιουρασικού) και δολομίτες με τοπική εμφάνιση της φάσης Hallstatt στο Μαυροβούνι, Πήλιο και Χλωμό Όρος, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, βιοσπαρουδίτες Α. Κρητιδικού στο Βελεστίνο, στο ακρωτήριο Τρίκερι, Α. Πήλιο (μεταμορφωμένοι), Γιούρα, Κυρα-Παναγιά, Αλόνησο, Περιστερά, Παλούκι Σκοπέλου. Στο Ν. Πήλιο, Σκιάθο, Αγκίστρι, περιοχή Βελανιδιά

ΒΑ Ν. Αγκιάλου εμφανίζεται σχιστοκερατολιθική διαπλαση (κερατόλιθοι, ψαμμίτες, πηλίτες, φακοί ασβεστολίθων και εγλωβισμένα στρώματα οφιολίθων. Στο Κ. Πήλιο υπάρχουν οφθαλμογενέσιοι, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες (Παλαιοζωϊκού-Τριαδικού), οφιοίλιθοι στην περιοχή του Βελεσίνου, βασάλτης πλειοκαίνου στις Μικροθήβες και τέλος πρασινοσχιστόλιθοι, φυλλίτες και γραουβάκες στη Β. Σκόπελο και στην περιοχή Πτελεού-Γαβριανής-Δρυμών (Κωτουλάκης, 2005).

Μια τυπική στρωματογραφική στήλη της παρουσιάζεται στην εικόνα 3.8.



Εικόνα 3. 8 Τυπική Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης
(www.geo.auth.gr)

Ειδικότερα και σύμφωνα με τον Παπανικολάου, 1986, η περιοχή ανήκει σε τέσσερις στρωματογραφικές ενότητες: στην ενότητα Βορείων Κυκλάδων, στην Ενότητα Φλάμπουρου, στην Ενότητα Αλμωπίας, στη Μαλιακή Ενότητα και την Υποπελαγονική Ενότητα.

Ενότητα Βορείων Κυκλάδων –Αμπελακίων: Περιλαμβάνει κυρίως μάρμαρα, μεταμορφωμένα ηφαιστειακά και κλαστικά πετρώματα. Εμφανίζεται στην περιοχή στην περιοχή Αμπελακίων και Μακρυνίτσας.

Ενότητα Φλάμπουρου: Περιλαμβάνει σχιστολίθους, αμφιβολίτες, γρανίτες και μάρμαρα. Έχουν υποστεί πολλούς κύκλους μεταμορφώσεων. Αποτελούν ένα τεράστιο κάλυμμα πάνω από τη σχετικά αυτόχθονη ενότητα του Ολύμπου και την ενότητα των Βορείων Κυκλάδων-Αμπελακίων.

Ενότητα Αλμωπίας: Περιλαμβάνει ένα κατώτερο σχηματισμό από φυλλιτικά πετρώματα συχνά φάσης ammonitico rosso, μετακλαστικά πετρώματα, λάβες και τόφφους, ένα σχηματισμό από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους έως μάρμαρα με φύκη και κωνόδοντα ηλικίας Ανώτερου Τριαδικού και ένα σχιστολιθικό σχηματισμό που αποτελεί ένα τεκτονικό melange με ψαμμίτες, κερατόλιθους και οφιολιθικά στρώματα. Εμφανίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Μαγνησίας.

Μαλιακή Ενότητα. Η ενότητα αυτή περιορίζεται στο διάστημα Τριαδικό –Ιουρασικό και περιλαμβάνει μια ακολουθία σχηματισμών με κάποια ηφαιστειακά πετρώματα και κερατόλιθους-ραδιολαρίτες στη βάση και στη συνέχεια μικρολατυποπαγείς –ωολιθικούς ασβεστόλιθους σε εναλλαγή με ραδιολαρίτες-κερατόλιθους. Εμφανίζεται στο νότιο ανατολικό τμήμα του Νομού Μαγνησίας.

Υποπελαγονική Ενότητα. Περιλαμβάνει κυρίως νηριτικού τύπου πετρώματα (νηριτικοί ασβεστόλιθοι Ανωτέρου Τριαδικού-Ιουρασικού) που διακόπτονται από παρεμβολές σχιστοκερατολιθικών διαπλάσεων. Εμφανίζεται στο νότιο τμήμα του Νομού Μαγνησίας.

3.5.1 Γεωλογία της στενής περιοχής μελέτης

Η γεωλογία στην υπό μελέτη περιοχή όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.9 και 3.10 (ΦΥΛΛΟ ΑΡΓΑΛΑΣΤΗ (ΙΓΜΕ, 1999), ΦΥΛΛΟ ΖΑΓΟΡΑ-ΣΥΚΗ (ΙΓΜΕ, 1987), ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1:50.000) αποτελείται από :

- Το κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο
- Τους γνευσιωμένους γρανίτες

- Τα ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα
- Τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού
- Τους Οφιόλιθους
- Και τα Ανωκρητιδικά Επικλυσιογενή Ιζήματα

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που αποτελούν το υπόβαθρο από τα παλαιότερα προς τα νεώτερα είναι βιοτιτιτικοί ορθο-γνεύσιοι, μιγματικοί γνεύσιοι, ταινιωτοί βιοτιτικοί παρα-γνεύσιοι, αμφιβολίτες και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, γρανατούχοι διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και τέλος εναλλαγές αμφιβολιτικών σχιστολίθων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοτιτικών σχιστολίθων με παρεμβολές απλιτογνεύσιων.

Οι γνευσιωμένοι πλουτωνίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου παρεμβάλλονται μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου. Πρόκειται για παρόμοιας σύστασης και υφής παλιούς γρανίτες και χαλαζιακούς μονζονίτες με πορφυριτικούς κρυστάλλους αστρίων. Οι γρανίτες αυτοί έχουν προκαλέσει φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής. Εμφανίζονται γνευσιωμένοι και συμπτυχωμένοι με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.

Πάνω από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους βρίσκεται μια μετα-κλαστική ιζηματογενή ακολουθία πάχους περίπου 200m και τα πετρώματα που τη συνιστούν είναι φυλλίτες, μεταπελίτες, μετα-αρκόζες, χλωριτικοί και σερικιτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ψαμμίτες, χαλαζιακά μετα-κροκαλοπαγή, παρεμβολές φακών ερυθρωπών και τεφρών ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, μετά-ρυόλιθοι, μετά-βασάλτες και μετά-τόφφοι. Τα πετρώματα αυτά είναι ηλικίας Περμοτριαδικής και εμφανίζονται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής Ζώνης.

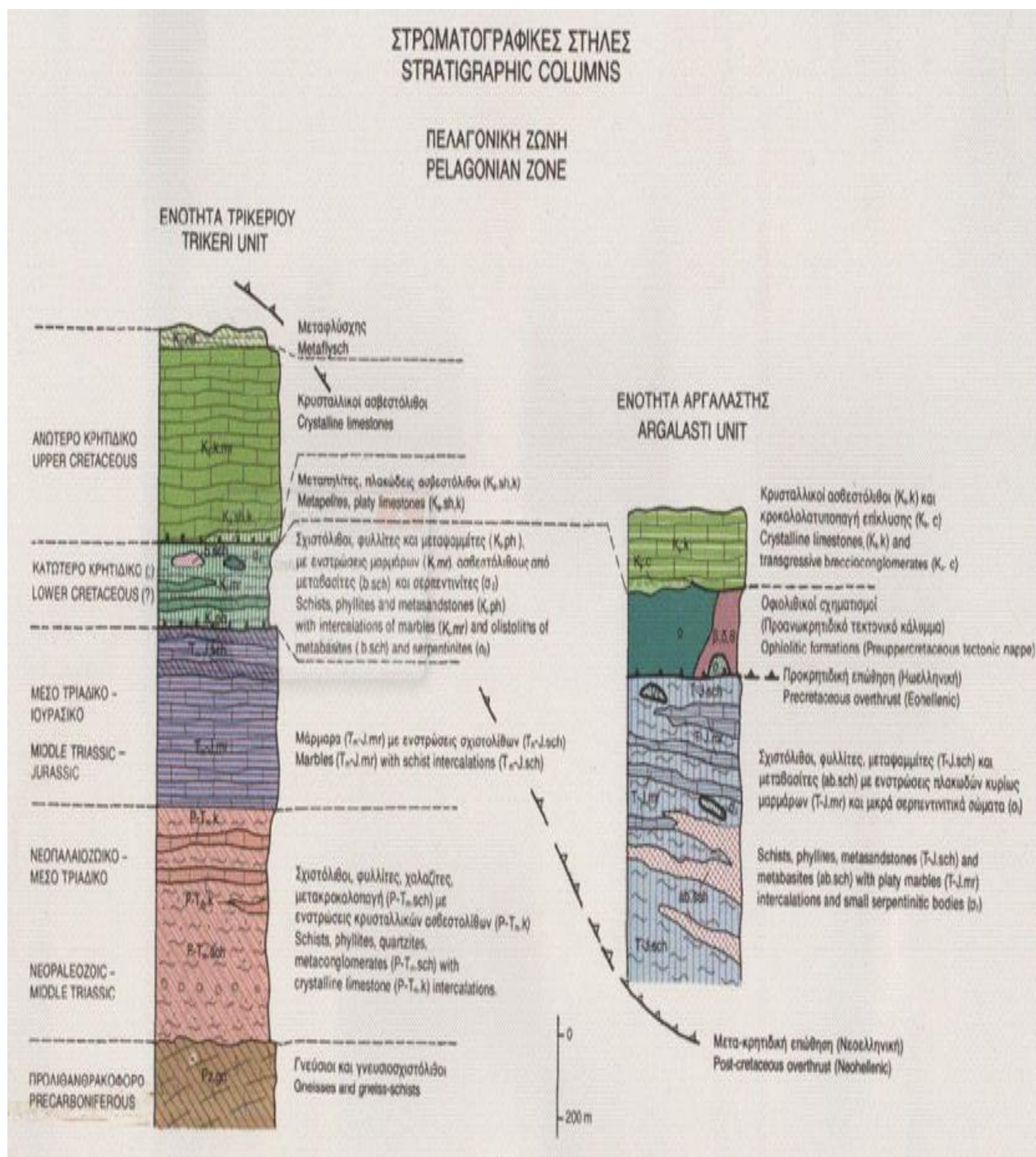
Τα ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού είναι δύο διαφορετικά καλύμματα που αποτέθηκαν στα δύο περιθώρια, ανατολικό και δυτικό της Πελαγονικής στην διάρκεια Τριαδικού-Ιουρασικού. Το δυτικό κάλυμμα είναι αυτόχθονο και αποτέθηκε πάνω στα μετακλαστικά ιζήματα του Περμοτριαδικού. Αποτελείται από

ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, λευκούς πλακώδεις με ελάχιστες παρεμβολές πηλιτικών ενστρώσεων. Το ανατολικό κάλυμμα είναι παρά-αυτόχθονο, δηλαδή αρχικά αποτέθηκε στο ανατολικό τμήμα της Πελαγονικής προς την ζώνη της Αλμωπίας και στη συνέχεια επωθήθηκε προς τα δυτικά πάνω στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο στο οποίο βρίσκεται σήμερα χωρίς παρεμβολές κλαστικών ιζημάτων. Το ανατολικό κάλυμμα συνίσταται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίτες και δολομίτες και χαρακτηρίζεται καθαρά νηρητικό.

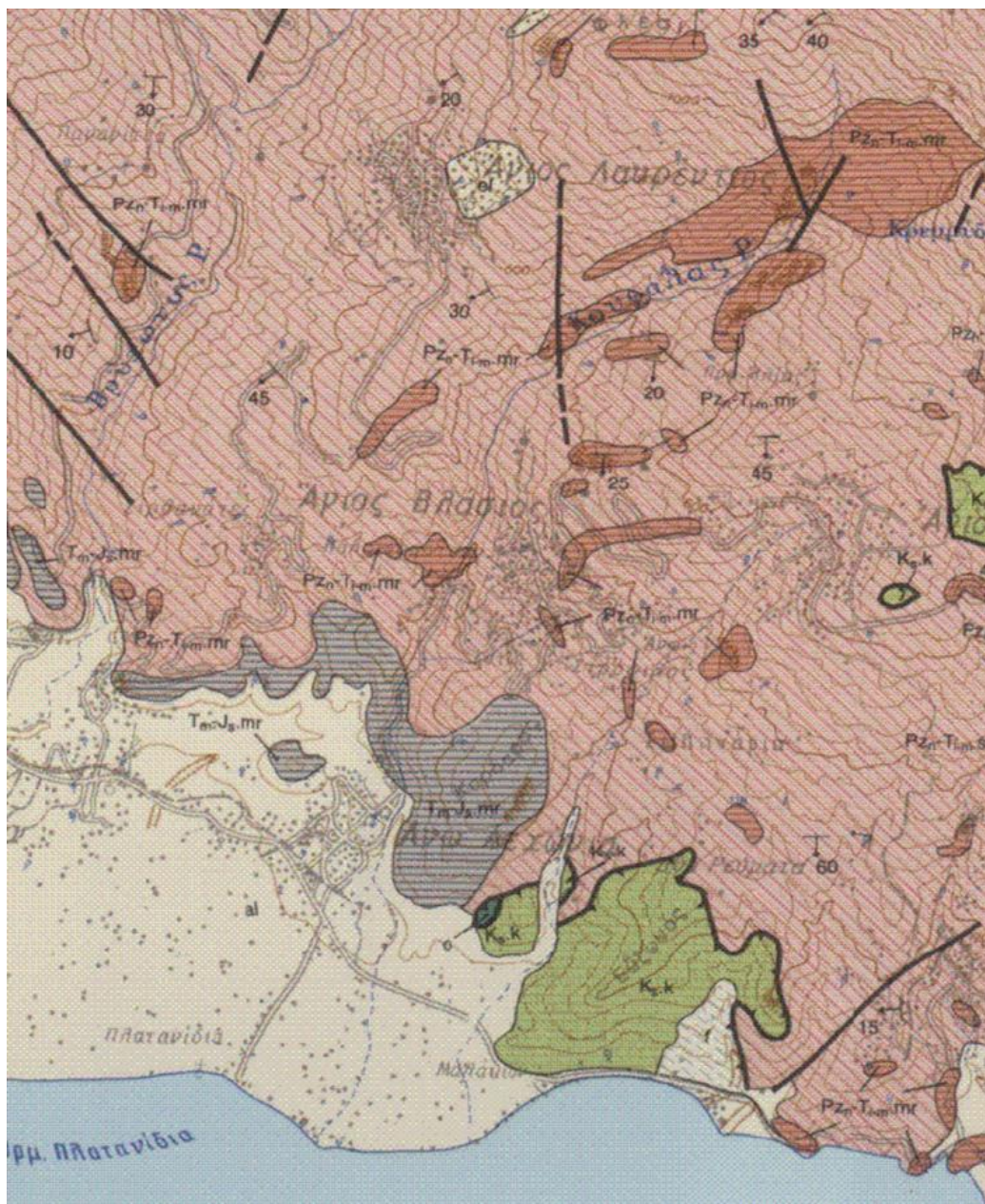
Οι οφιολιθικές μάζες στην Πελαγονική είναι τοποθετημένες στα δύο περιθώρια της ζώνης. Οι οφιόλιθοι μαζί με τα συνωδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας, επωθήθηκαν πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα.

Τα επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου- Άνω Κρητιδικού τοποθετήθηκαν, μετά την είκλυση της θάλασσας, με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα των Τριαδικοϊουρασικών καλυμμάτων ή με επικλυσιογενή ασυμφωνία πάνω από τους οφιολίθους και τα συνωδά ιζήματα. Η στρωματογραφική διάρθρωση από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα στρώματα είναι ως εξής:

1. κροκαλοπαγή, μικρολατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι
2. μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι
3. συμπαγής ασβεστόλιθος με απολιθώματα
4. φλύσχης αρχικά σχιστώδης ασβεστιτικός που στην συνέχεια εξελίσσεται σε ασβεστοπήλιτικό-ψαμμιτικό και καταλήγει σε πήλιτικο-κροκαλοπαγή.



Εικόνα 3.9 Στρωματογραφική στήλη στην περιοχή μελέτης όπου φαίνεται η διαδοχή των στρωμάτων. (Φύλλο Αργαλαστή, ΙΓΜΕ, 1999)



Εικόνα 3.10 Απόσπασμα χάρτη που αποτυπώνει την γεωλογία στην στενή περιοχή μελέτης (Φύλλο Ζαγορά-Συκή, ΙΓΜΕ, 1987)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4 Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζεται η μέθοδος WLC, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία θεματικών χαρτών καθώς και γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

4.1 Μέθοδος Weighted Linear Combination (WLC)

Η Μέθοδος Weighted Linear Combination η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι μια ημιποσοτική μέθοδο ανάλυσης επικινδυνότητας και βασίζεται στην σχετική σπουδαιότητα των παραγόντων που προκαλούν το φαινόμενο των κατολισθήσεων βασισμένη σε παρατηρήσεις πεδίου (Saha et al, 2002). Η μέθοδος του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (weighted linear combination - WLC) εφαρμόζεται για τη δημιουργία ενός χάρτη ευαισθησίας. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην κατασκευή πολλών θεματικών χαρτών, κάθε ένας από τους οποίους αποτελεί παράγοντα εκδήλωσης κατολισθητικού φαινομένου. Στην συνέχεια σε κάθε παράγοντα προσδίδουμε μια τιμή-συντελεστή.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου WLC αποτελεί η διατριβή του Βασιλειάδη Ε. ο οποίος προχώρησε στη δημιουργία ενός μοντέλου εκτίμησης του κινδύνου και σχετικών χαρτών επικινδυνότητας για το σύνολο της Ελληνικής επικράτειας. Ο εν λόγω συγγραφέας αναγνώρισε δέκα παράγοντες (μορφολογικές κλίσεις πρανών, φαινόμενα διάβρωσης, ανθρωπογενείς παρεμβάσεις κτλ) οι οποίοι είναι άμεσα συνδεδεμένοι με το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Πιο συγκεκριμένα αφού διερευνήθηκαν τα χωρικά χαρακτηριστικά της κάθε μεταβλητής σε κλίμακα

πλέγματος, ο κίνδυνος των κατολισθήσεων εκφράστηκε από την παρακάτω εξίσωση όπου οι δέκα παράγοντες συνδέονται με βάρη, ανάλογα με την σπουδαιότητα τους.

Ο κίνδυνος εκφράζεται από μια εξίσωση, η οποία εκτιμά την επικινδυνότητα με την εφαρμογή της τεχνικής του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού Weighted Linear Combination (Voogd, 1983):

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

όπου,

LSI: ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας,

W_j : η βαρύτητα της παράμετρου j ,

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

n : ο αριθμός των παραμέτρων.

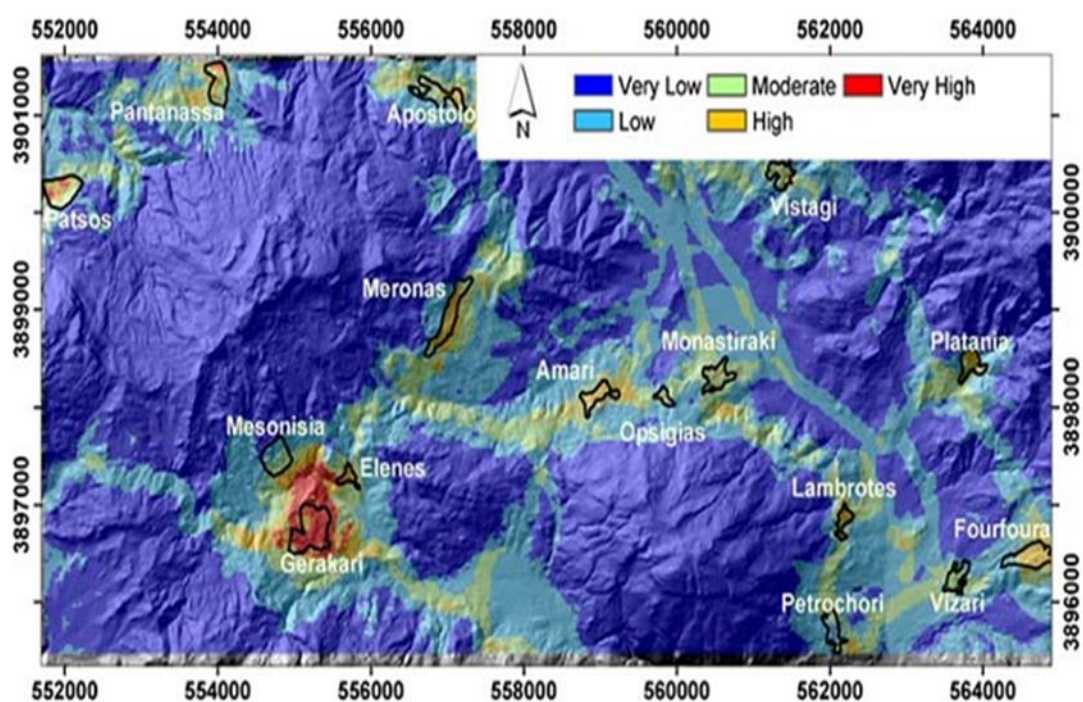
Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τα περιστατικά κατολίσθησης μπορούν να ελεγχτούν και να διακριθούν σε δύο ομάδες. Εκείνοι που οι αρχικές συνθήκες ήταν ευνοϊκές για την εμφάνιση κατολίσθησης και τους παράγοντες που πυροδότησαν ώστε να καθοριστεί το χρονοδιάγραμμα της κατολίσθησης. Για παράδειγμα οι βροχοπτώσεις, οι σεισμοί και οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι οι πιο κοινοί μηχανισμοί ενεργοποίησης. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι απρόβλεπτοι, καθώς διαφέρουν σε χρόνο, και ως εκ τούτου είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθούν σε μια ανάλυση κινδύνου. Ωστόσο, μπορούν να ελέγχονται μέσω των σχετικών θεματικών χαρτών που δημιουργούνται χρησιμοποιώντας τεχνικές GIS και συνεπώς μπορούν να ληφθούν υπόψη στην χαρτογράφηση της ευαισθησίας της περιοχής.

Η ενσωμάτωση της μεθόδου WLC στο περιβάλλον των Γ.Σ.Π. είναι δυνατό να λάβει μέρος σε τεχνικογεωλογικές μελέτες, αφού μέσω της μεθόδου μπορεί να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα έναντι κατολισθητικών φαινομένων σε μια ευρύτερη περιοχή

έρευνας. Γενικότερα, οι ψηφιακές βάσεις δεδομένων και τα Γ.Σ.Π. καθίστανται αναγκαία μέσα όσον αφορά την διαχείριση της γεωτεχνικής, γεωλογικής, οικιστικής, σεισμικής και άλλης σχετικής πληροφορίας. (Τσαγγαράτος, 2012)

Η εφαρμογή στατιστικών μεθόδων επιλύουν το μειονέκτημα της υποκειμενικής απόδοσης των συντελεστών βαρύτητας και της επιλογής των μεταβλητών που επιδρούν στο σύστημα .

Παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας ο οποίος σχετίζεται με την σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή του Ρεθύμνου και προέκυψε με την χρήση του simple landslide hazard map (εικόνα 4.1). (Kouli et al.,2009)



Εικόνα 4.1 Landslide risk map (Kouli et al.,2009).

4.1 Δεδομένα

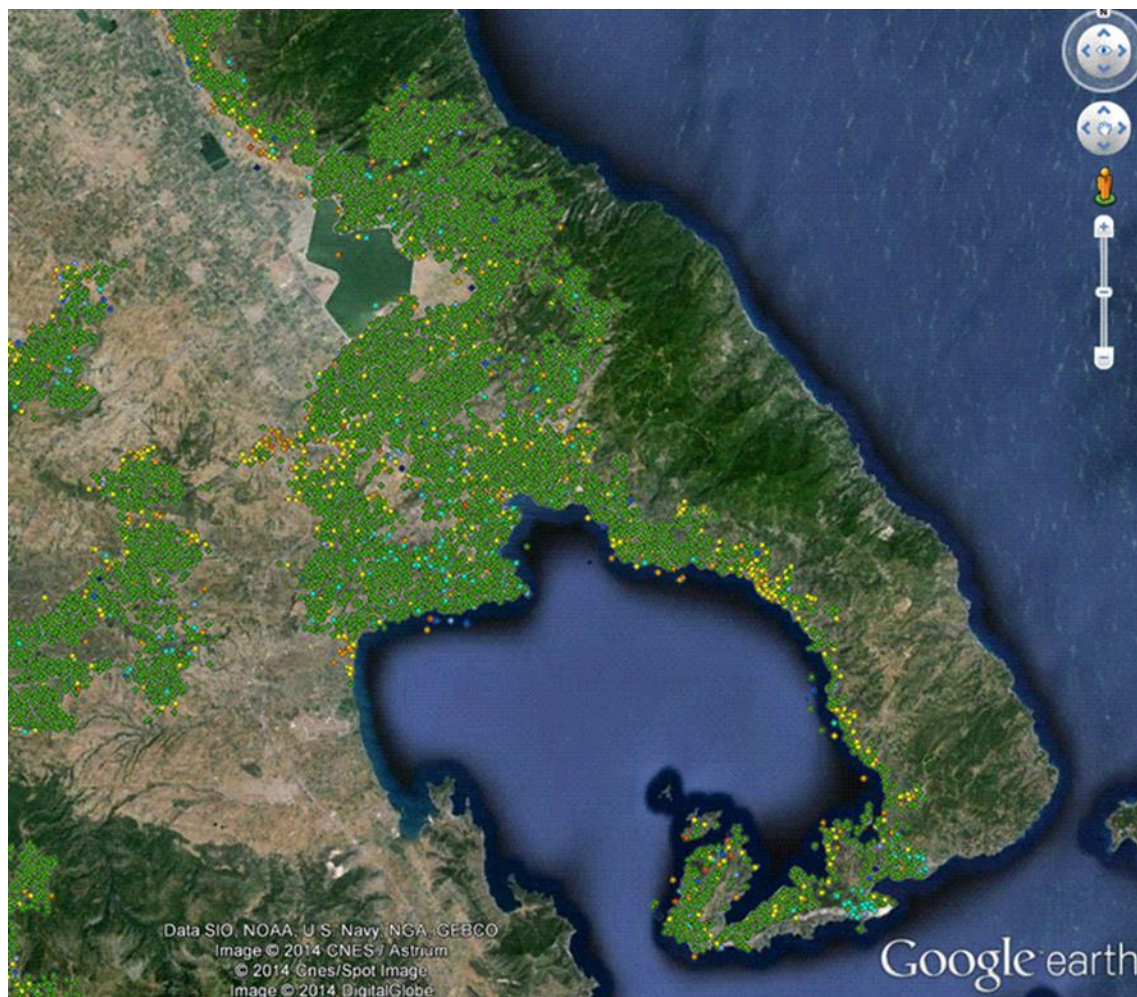
Οι διάφοροι τύποι σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τις ζώνες κατολισθητικής επικινδυνότητας στη περιοχής μελέτης είναι :

1. Γεωλογικοί χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών που παρουσιάζουν λιθολογικές ενότητες σε κλίμακα 1:50.000. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής φύλλα: Φύλλο Ζαγορά-Συκή (ΙΓΜΕ 1987), Φύλλο Πλατύκαμπος (ΙΓΜΕ 1981), Φύλλο Βόλος (ΙΓΜΕ 1986), Φύλλο Αργαλαστή (ΙΓΜΕ 1999), Φύλλο Αγιά Παναγιά (ΙΓΜΕ 1984).
- 2 . Τοπογραφικοί χάρτες της ΓΥΣ σε κλίμακα 1:50.000
- 3 . Δεδομένα κατολισθήσεων από το αρχείο του ΙΓΜΕ και ΚΕΔΕ που καλύπτουν ένα διάστημα περίπου 80 ετών. (1946)
4. Digital elevation model (DEM) της περιοχής μελέτης με μέγεθος κελιών 5x5m (ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε). Αναλυτικότερα, πρόκειται για ένα αρχείο raster με δεδομένα υψόμετρου.
5. Δεδομένα ΔΕΗ όσον αφορά τις βροχοπτώσεις
6. Το 'Corine Land Cover' χάρτη 2000 (CLC2000 100 m, έκδοση 1) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ, Κοπεγχάγη, 2000?; [Http://www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)). Ο χάρτης αυτός έχει μία ανάλυση της τάξεως των 100 m και χρησιμοποιεί 10 κατηγορίες χρήσεων γης για την περιοχή μελέτης από τις 44 που είναι συνολικά στο επίπεδο 3.
7. Λήφθηκαν υπόψη δεδομένα Συμβολομετρίας Σταθερών Σκεδαστών (PSI), τα οποία αποτυπώνουν τη σχετική μετακίνηση του εδάφους στην περιοχή όπως φαίνονται στην εικόνα 4.2.. Τα δεδομένα προέκυψαν από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα TerraFirma.
8. Τα δεδομένα πεδίου που αφορούν τις παρατηρήσεις σχετικά με τη γεωλογία , τις τεκτονική δομές , και καταγράφηκαν τα περιστατικά κατολισθήσεων.

4.2 Μεθοδολογία

Σε πρώτο στάδιο συγκεντρώθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα. Αυτά συμπεριλάμβαναν καταγραφές κατολισθήσεων από διάφορες μελέτες του ΙΓΜΕ που αφορούσαν την περιοχή μελέτης καθώς και τον εντοπισμό μετακινήσεων από την καταγραφή δεδομένων PSI όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Αφού συσχετίστηκαν αυτά τα δύο, έγινε η επίσκεψη στο χώρο μελέτης όπου εκεί έγινε η καταγραφή των θέσεων των κατολισθήσεων καθώς και παρατηρήθηκαν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Έτσι ώστε να μπορέσουν να επιβεβαιωθούν και να εκτιμηθούν οι κατολισθήσεις στο Δυτικό Πήλιο.

Στη συνέχεια, για την δημιουργία της κατάλληλης πλατφόρμας πληροφοριών, τα διαθέσιμα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν ως βάση στη δημιουργία του GIS. Για να είναι εφικτή η αποδοχή των δεδομένων στο GIS απαιτείται μια προ-επεξεργασία των δεδομένων που εμπλέκονται στην εφαρμογή τους σε ArcGIS Desktop 10.1 . Η προ-επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει την γεωγραφική αναφορά διαφόρων χαρτών, με την τοπική προβολή συστήματος στην Ελλάδα (ΕΓΣΑ '87) έτσι ώστε να μπορούν όλα τα δεδομένα να συνδέονται με το ίδιο σύστημα προβολής. Επιπλέον, στην προ-επεξεργασία αυτή περιλαμβάνεται και η ψηφιοποίηση όλων των σχετικών χαρτών όσον αφορά την γεωλογία, τα ρήγματα, τα ποτάμια, τις επωθήσεις καθώς και τους δρόμους καταλήγοντας στους παρακάτω χάρτες .



Εικόνα 4.2 Οι μετακινήσεις που εντοπίστηκαν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, δηλαδή τα PSI όπως φαίνονται στο Google Earth

4.3 Εργασία Πεδίου

Κατά την εργασία πεδίου πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στο χώρο μελέτης στις 30 Μαΐου 2013 η οποία διήρκησε 3 μέρες. Αφού μεταβήκαμε στα χωριά του Δυτικού Πηλίου και πιο συγκεκριμένα στους εξής οικισμούς: Πορταριά, Σταγιάτες, Κατωχώρι, Άγιο Βλάσσιο, Μηλιές, Άγιο Ονούφριο, Πινακάτες, Άγιο Γεώργιο, Βυζίτσα έγινε η καταγραφή των κατολισθήσεων οι οποίες είχαν εντοπιστεί σε μελέτες που συγκεντρώθηκαν από το ΙΓΜΕ. Στο χώρο έγινε τόσο αναγνώριση των γεωλογικών σχηματισμών όσο και της γεωτεχνικής συμπεριφοράς τους. Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι ο ασβεστόλιθος είναι έντονα κατακερματισμένος όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.5, ο οποίος εντοπίστηκε προς τον οικισμό του Αγ. Ονούφριου. Στις εικόνες 4.3 και

4.4 φαίνεται ο σχιστόλιθος που επικρατούσε στην περιοχή μελέτης ο οποίος παρουσίαζε μεγάλο μανδύα αποσάθρωσης (οι φωτογραφίες τραβήχτηκαν στην περιοχή της Πορταριάς).



Εικόνα 4.3 Κομμάτι σχιστολιθικού πετρώματος



Εικόνα 4.4 Χαρακτηριστικός σχιστόλιθος στην περιοχή της Πορταριάς



Εικόνα 4.5 Κατακερματισμένος ασβεστόλιθος κατά μήκος του οδικού δικτύου

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε επιτόπου παρατήρηση της γεωμετρίας των κοιλάδων που διαμορφώνονται εκατέρωθεν του υδρογραφικού δικτύου προκειμένου να συσχετίσουμε τις διαβρωτικές διαδικασίες με την εκδήλωση κατολισθήσεων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η κατολίσθηση που εντοπίστηκε κοντά σε ρεματιά στην περιοχή της Πορταριάς, όπως φαίνεται στις εικόνες 4.6 , 4.7.



Εικόνα 4.6 Ρεματιά στον οικισμό Πορταριά



Εικόνα 4.7 Κατολίσθηση εκατέρωθεν του οδικού δικτύου

Στις εικόνες 4.8, 4.9 και 4.10 φαίνονται μερικές απ' τις ζημιές τις οποίες έχουν υποστεί κτίρια της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα στην εικόνα 4.8 έχουν εμφανιστεί τα θεμέλια της οικοδομής που φαίνεται στην φωτογραφία λόγω κατολισθητικών φαινομένων που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή Σταγιάτες. Στην ίδια περιοχή ρωγμές έχουν εμφανιστεί σε τοίχο ο οποίος έχει κατασκευαστεί στο κοιμητήριο του εν λόγω οικισμού.



Εικόνα 4.8 Ζημιές σε οικοδομή μετά από κατολίσθηση στην περιοχή



Εικόνα 4.9 Εμφανείς ρωγμές σε κοιμητήριο, στην περιοχή Σταγιάτες

Η εικόνα 4.10 τραβήχτηκε στην περιοχή του Κατωχωρίου μέσα σε οικία η οποία είχε υποστεί πολλαπλές ζημιές λόγω της αστάθειας του εδάφους.



Εικόνα 4.10 Υψηλού κινδύνου ζημιές σε οικία της περιοχής μελέτης

4.4 Δεδομένα συμβολομετρίας σταθερών σκεδαστών (Persistent Scatterer Interferometry, PSI)

Η PSI (Persistent Scatterer Interferometry) ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί για τη χαρτογράφηση της κίνησης της γης αλλά και σε τοπικό επίπεδο για την παρακολούθηση της εκδήλωσης μιας κίνησης σε μία συγκεκριμένη περιοχή. (Raspini et al.,2012)

Πρόκειται για μια μέθοδο τηλεσκόπησης η οποία καθίσταται σημαντική σε περιπτώσεις όπου η συμβατική έρευνα για την παραμόρφωση του εδάφους δεν θα παρείχε επαρκή ενημέρωση, γεγονός που οφείλεται αρκετές φορές στην μεγάλη έκταση της περιοχής μελέτης. Η τεχνική PSI γίνεται βάση των δορυφορικών εικόνων SAR (Synthetic Aperture Radar). Μια εικόνα SAR δεν έχει καμία πρακτική χρησιμότητα καθώς είναι αδύνατο να διακρίνουμε μέσα από αυτές διαφορετικές φάσεις όσον αφορά την τοπογραφία, την ατμόσφαιρα και τον θόρυβο. Η διαφορική

τεχνική InSAR (DInSAR), μια τεχνική που εκμεταλλεύεται τις διακυμάνσεις φάσης (ή παρεμβολής) δύο εικόνων SAR που συγκεντρώθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους στην ίδια περιοχή από τον ίδιο δορυφόρο χρησιμοποιώντας τον ίδιο τρόπο απόκτησης και τις ιδιότητες (πορείας , τροχιά , ευθεία παρατήρησης, κλπ), αποτελεί μια καλύτερη προσέγγιση (Zebker et al., 1986; Gabriel et al., 1989, Massonnet & Feigl, 1998, Rosen et al., 2000). Από το '90 PSI δεδομένα έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό, χαρτογράφηση και ποσοτικοποίησης μιας επιφάνειας με ακρίβεια χιλιοστού.

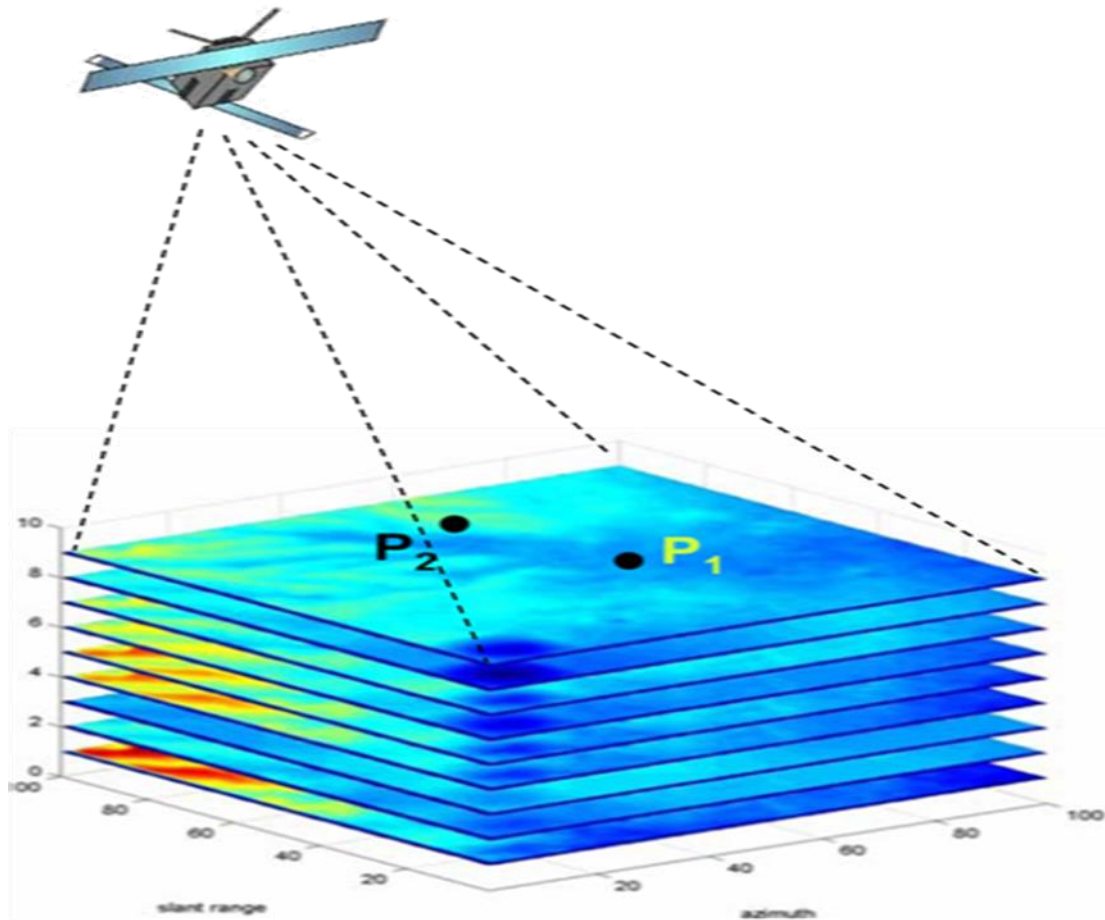
Οι βασικοί περιορισμοί που προκύπτουν όσον αφορά τα InSAR μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω των τεχνικών PSI, με μία ομάδα διαφορετικών προσεγγίσεων που βασίζονται στην επεξεργασία πολλών δορυφορικών εικόνων SAR (το λιγότερο 15-20) από την επιθυμητή περιοχή. Τα PSI χρησιμοποιούν πολλές σειρές δεδομένων που προήλθαν από ραντάρ) και αναλύει τα σήματα που παρατηρήθηκαν στην περιοχή για να υπολογίσει και να απομακρύνει τυχόν ατμοσφαιρικά σφάλματα.

Τα PS αντιστοιχούν συνήθως σε τεχνητές δομές όπως κτήρια, δρόμους, γέφυρες, μνημεία και πυλώνες αλλά και σε φυσικές όπως είναι οι βράχοι. Σε κάθε PS η σχετική ταχύτητα LOS μπορεί να εκτιμηθεί με μεγάλη ακρίβεια, μερικές φορές καλύτερα από 1mm/έτος. (Raspini et al.,2012)

Σύμφωνα με τους Adam N., Rodriguez Gonzalez F., Parizzi A., and Liebhart (2011) Βασικό είναι να χαρτογραφηθούν οι χώρες και οι ήπειροι με τη βοήθεια της τεχνικής PSI. Για την Ελλάδα χρησιμοποιούνται δεδομένα PSI από την DLR (από την Γερμανική Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος) επεξεργασία δορυφόρων, με 9 καρέ εικόνας όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.11 χρησιμοποιώντας ένα ειδικό ημι-αυτόματο επεξεργαστή για την παραγωγή ενός χάρτη PSI εδαφικής κίνησης ο οποίος καλύπτει μια έκταση 65.000 Km² στην Ελλάδα. Το WAP (Wide Area Product) στην Ελλάδα όπως φαίνεται στην εικόνα 4.11, βασίζεται σε εικόνες που προέρχονται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA). (Raspini et al.,2012)



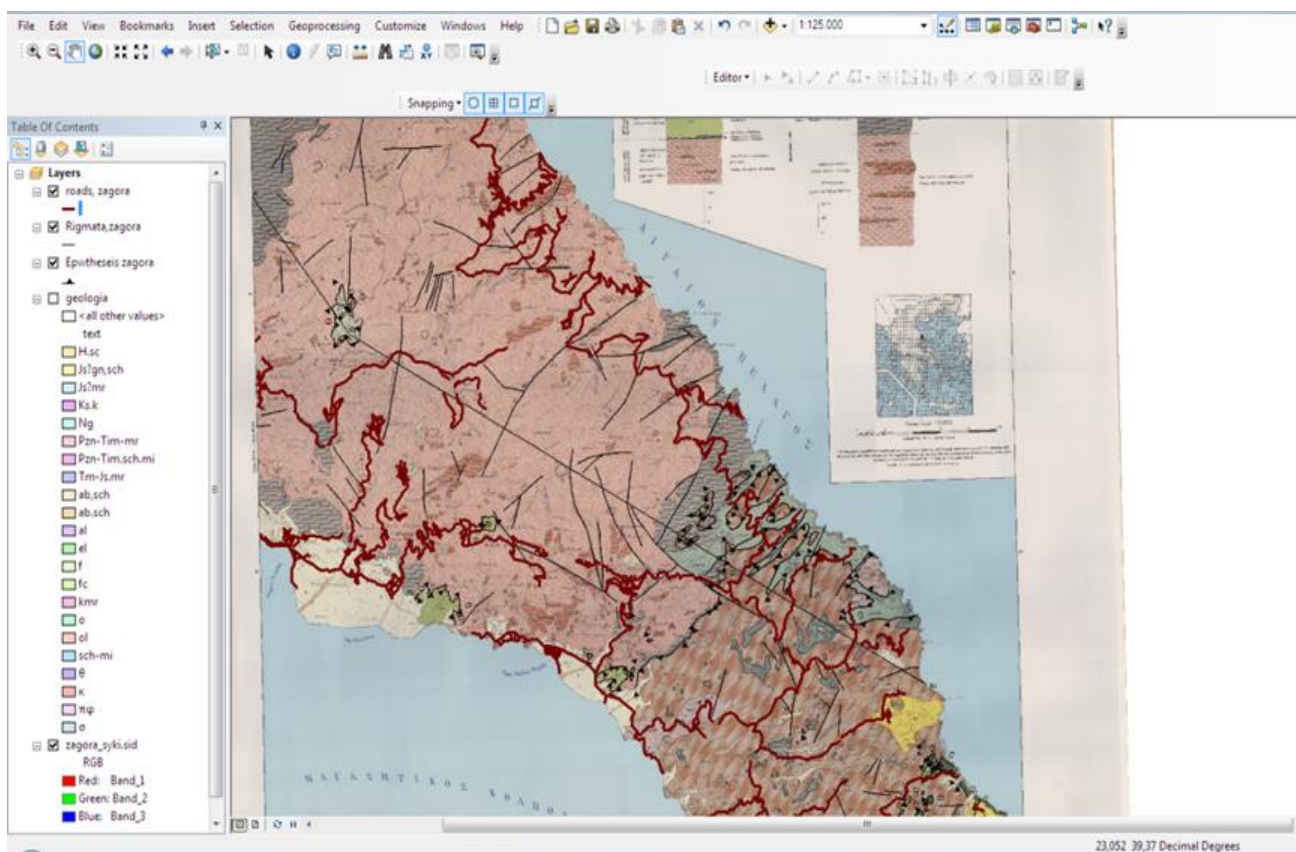
Εικόνα 4.11 Κάλυψη WAP στον Ελλαδικό χώρο (Raspini et al.,2012)



Εικόνα 4.12 Τρισδιάστατη αποτύπωση των PSI

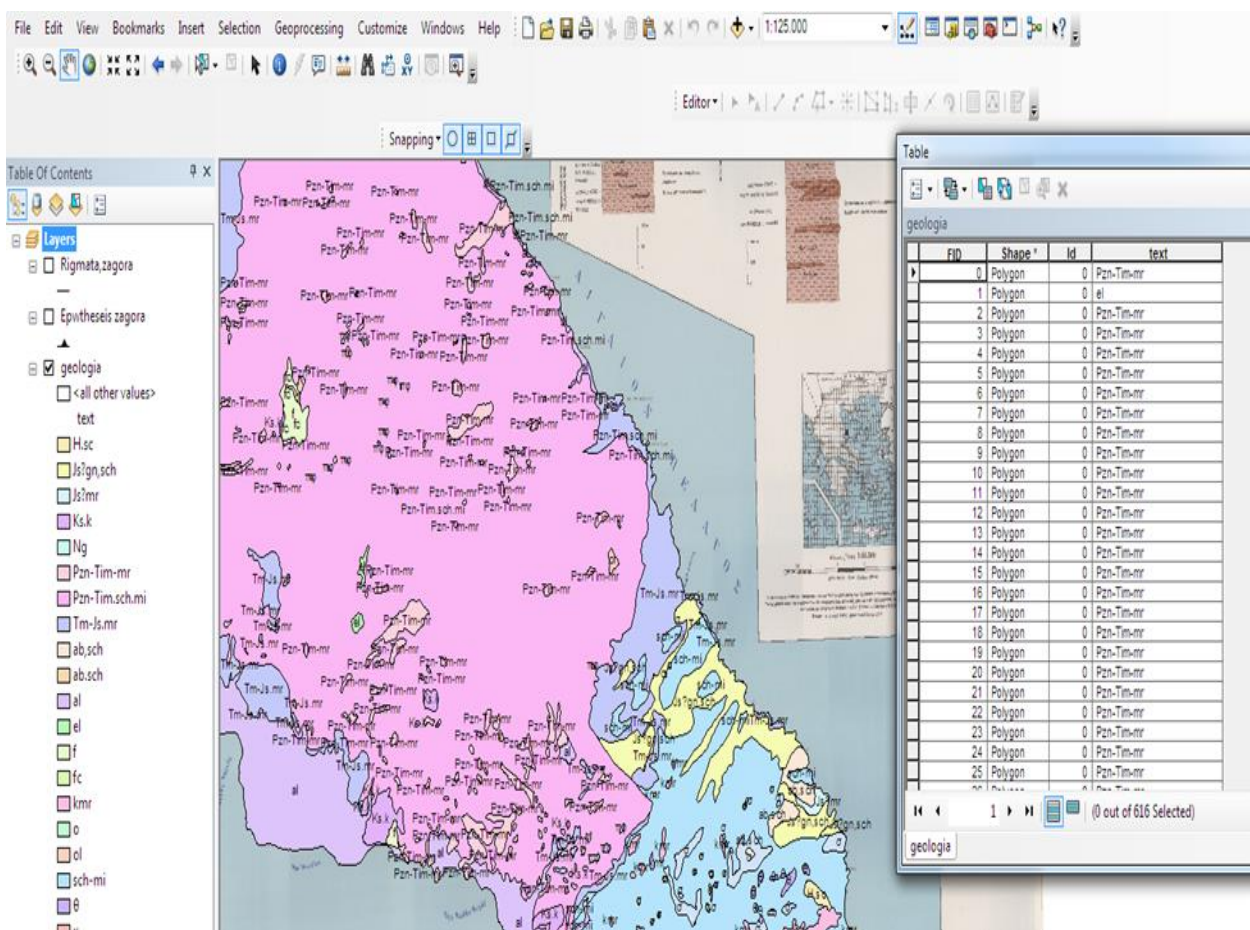
4.5 Ψηφιοποίηση δεδομένων

Σε πρώτο στάδιο έγινε η ψηφιοποίηση των τεκτονικών δομών (ρηγμάτων και επωθήσεων), των ποταμών, των δρόμων, της ακτογραμμής καθώς και τα όρια των οικισμών. Η ψηφιοποίηση αυτών γίνεται με την μορφή γραμμών όπως φαίνεται στην εικόνα 4.13.



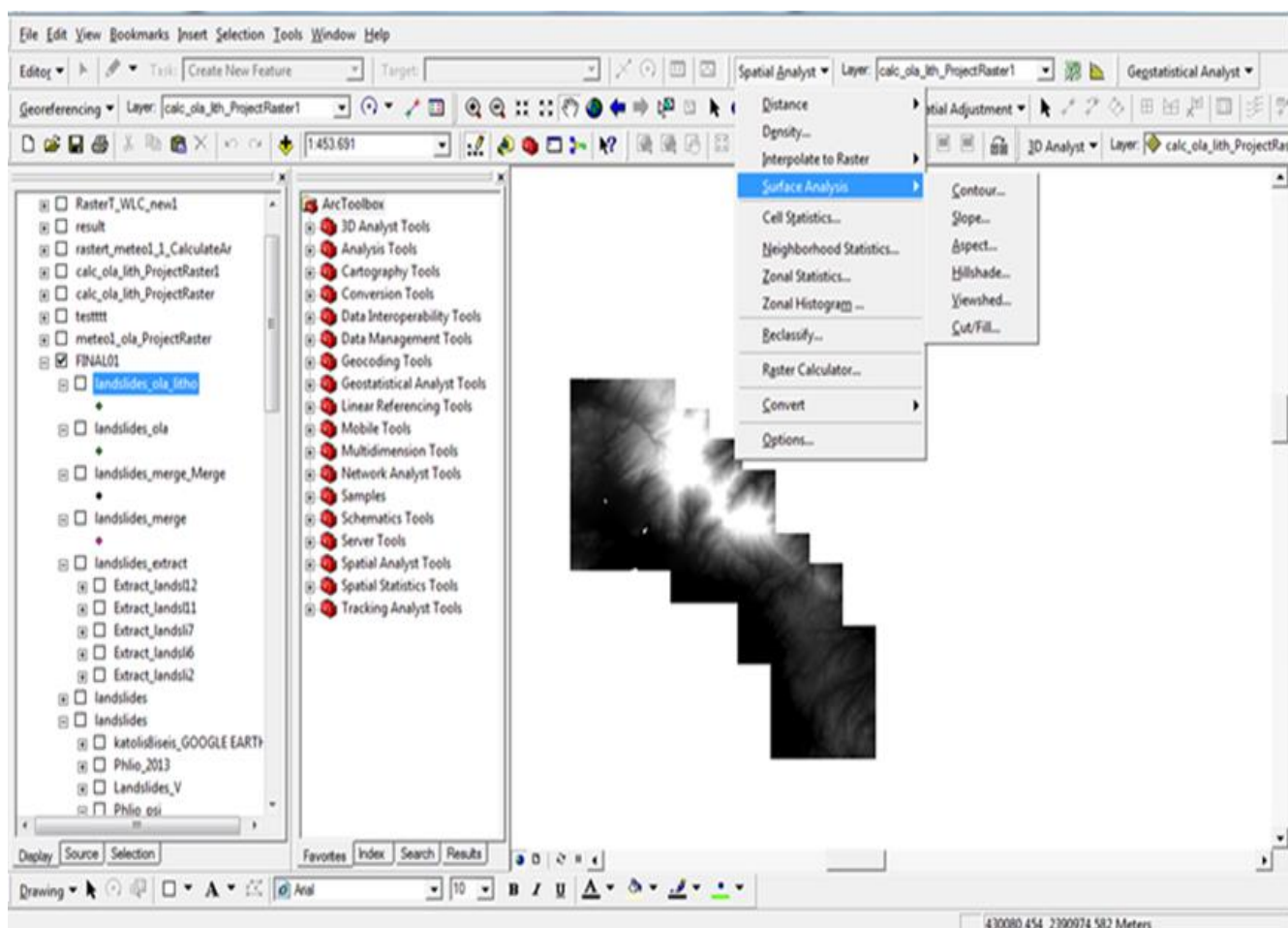
Εικόνα 4.13 Ψηφιοποίηση των ρηγμάτων, των ποταμών, των επωθήσεων ,των δρόμων, της ακτογραμμής καθώς και τα όρια των οικισμών στην περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια έγινε η ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών από τους χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα ArcGIS και η ψηφιοποίηση έγινε με την μορφή πολυγώνων. Αρχικά έγινε η ψηφιοποίηση μιας ευρύτερης περιοχής, και έπειτα επιλέχθηκε και 'κόπηκε' η περιοχή μελέτης. Στην παρακάτω εικόνα 4.14 παρουσιάζεται ο χάρτης των γεωλογικών σχηματισμών ψηφιοποιημένος όπου κάθε πολύγωνο έχει ως κωδικό εκείνον που έχει σαν γεωλογικό χάρτη προκειμένου να διαχωριστεί από τους υπόλοιπους. Στο αριστερό μέρος της εικόνας όλοι οι σχηματισμοί .



Εικόνα 4.14 Ενοποιημένος γεωλογικός χάρτης στον οποίο αριστερά φαίνονται οι σχηματισμοί που υπάρχουν, καθένας εκ των οποίων εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα και ονομασία.

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή Digital elevation model (DEM) της περιοχής μελέτης με μέγεθος κελιών 5x5m. Το συγκεκριμένο υλικό παραχωρήθηκε από το ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Αναλυτικότερα, πρόκειται για ένα αρχείο raster με δεδομένα υψομέτρου. Από την επεξεργασία του DEM προέκυψαν οι θεματικοί χάρτες της κλίσης (slope) και του προσανατολισμού (aspect) των πρανών τα οποία είναι σε μορφή raster. Στην εικόνα 4.15 φαίνεται πως γίνεται η εξαγωγή του slope και του aspect στο πρόγραμμα GIS. Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) απεικονίζει την γωνία κλίσης των πρανών για κάθε σημείο του χάρτη και όπως όλα τα δεδομένα που εξάγονται από το DEM είναι και αυτό σε ψηφιδωτή μορφή.

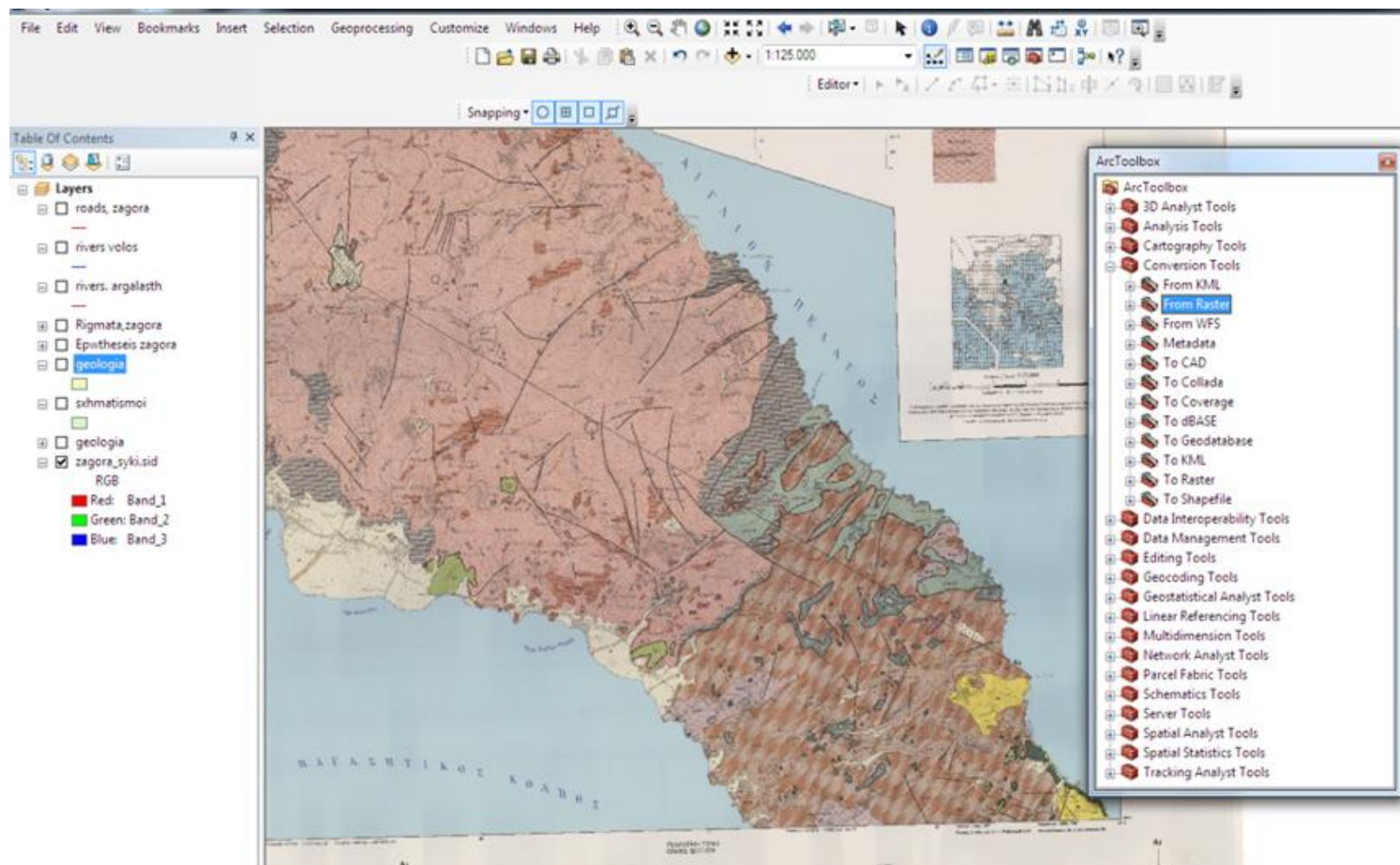


Εικόνα 4.15 Δημιουργία της κλίσης και του προσανατολισμού των πρανών στο ArcGIS που διεξήχθη από την εντολή Spatial Analyst.

4.6 Προετοιμασία των θεματικών επιπέδων (data layers) – θεματικών χαρτών

Μετά από την δημιουργία των πρωτεύοντων στρωμάτων τα οποία είναι η λιθολογία, οι τεκτονική δομές, η χρήση γης, το οδικό δίκτυο, το δίκτυο ρεύματος και Digital Elevation Model, σειρά έχουν διάφορες προηγμένες τεχνικές GIS, όπως είναι η απόσταση buffer και μετατροπή σε raster. Συγκεκριμένα για το buffer, το οποίο ορίζεται ως ζώνη ανάσχεσης και διαφέρει σε κάθε περίπτωση καθώς ορίζεται από τον εκάστοτε Ειδικό, χρησιμοποιήθηκε το ArcToolbox, επιλέγοντας Analysis Tools στην συνέχεια Proximity και τέλος Buffer όπου στην επιλογή Distance ορίζεται η απόσταση που απαιτείται σε κάθε περίπτωση. Στην συνέχεια όπως προαναφέρθηκε, απαιτείται η μετατροπή των δεδομένων των οποίων είναι σε μορφή shapefiles σε raster έτσι ώστε να είναι όλα της ίδιας μορφής. Τα ψηφιδωτά μοντέλα, δηλαδή σε μορφή raster, απεικονίζουν σε μέγεθος εικονοστοιχείου τα στοιχεία των χαρτών,

προσφέροντας δυνατότητες ανάλυσης για συνεχή δεδομένα και επιτρέπουν την γρηγορότερη επεξεργασία επικάλυψης επιπέδων των χαρτών (Kouli et al, 2010). Το μέγεθος εικονοστοιχείου είναι 20m. Στην παρακάτω εικόνα(εικόνα 4.16) φαίνεται η διαδικασία της μετατροπής στο ArcGIS.



Εικόνα 4.16 Μετατροπή από την μορφή των shapefiles σε raster το οποίο εξάγεται από το ArcToolbox όπως φαίνεται δεξιά της εικόνας

4.6.1 Θεματικοί χάρτες

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος WLC δημιουργήθηκαν οι ακόλουθοι θεματικοί χάρτες.

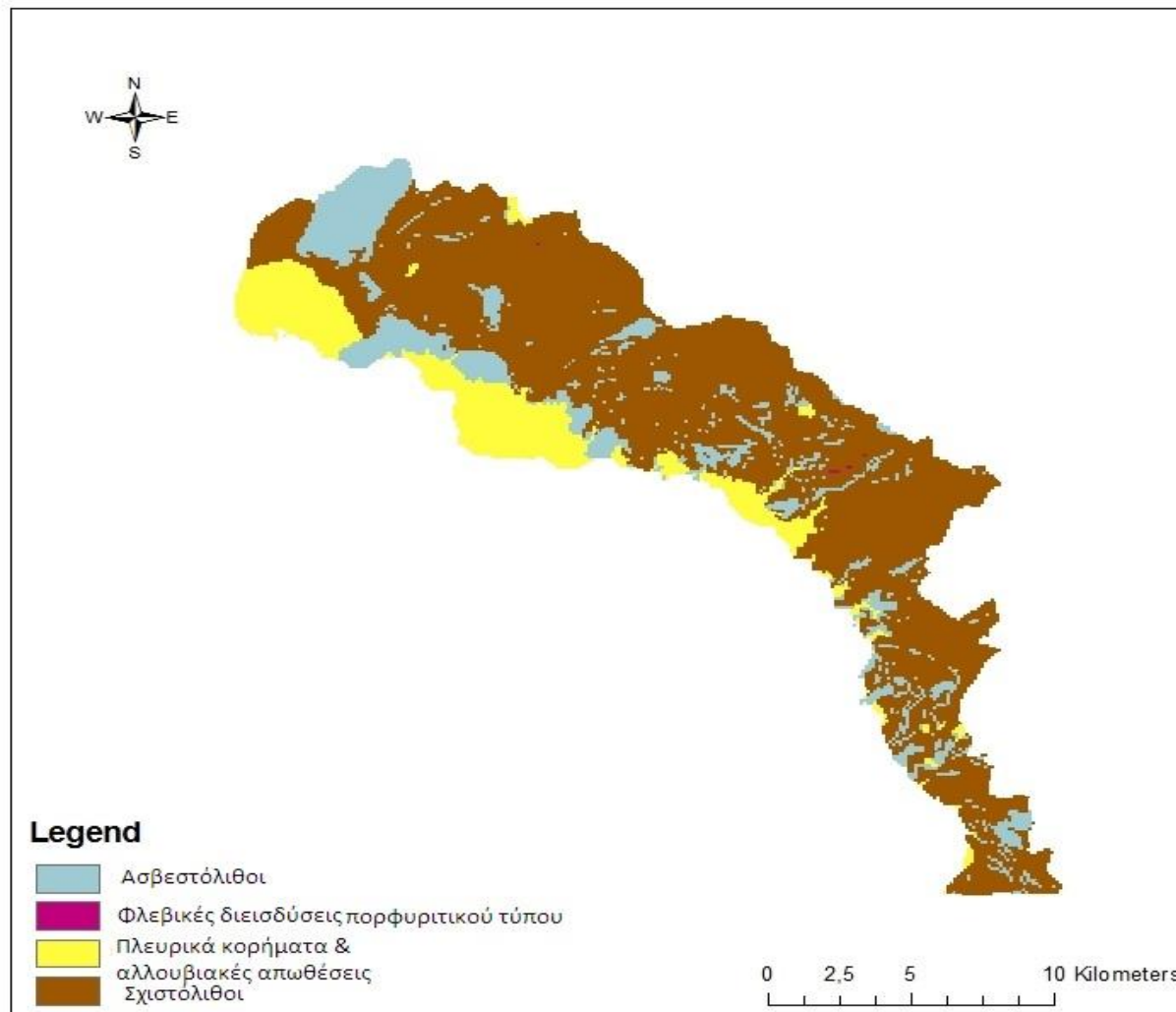
4.6.1.1 Χάρτης ενοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών

Η γεωλογία παίζει πρωταρχικό ρόλο καθώς τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι στενά συνδεδεμένα με την λιθολογική σύσταση και αποσάθρωση των υλικών (Kouli et al, 2010). Σε αντίστοιχες μελέτες προσδιορισμού δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, ελληνικές (Kouli et al, 2010) και διεθνής (Pandley et al, 2007) (Saha, 2002) θεωρείται ένας εκ των δύο σημαντικότερων παραγόντων επηρεασμού της.

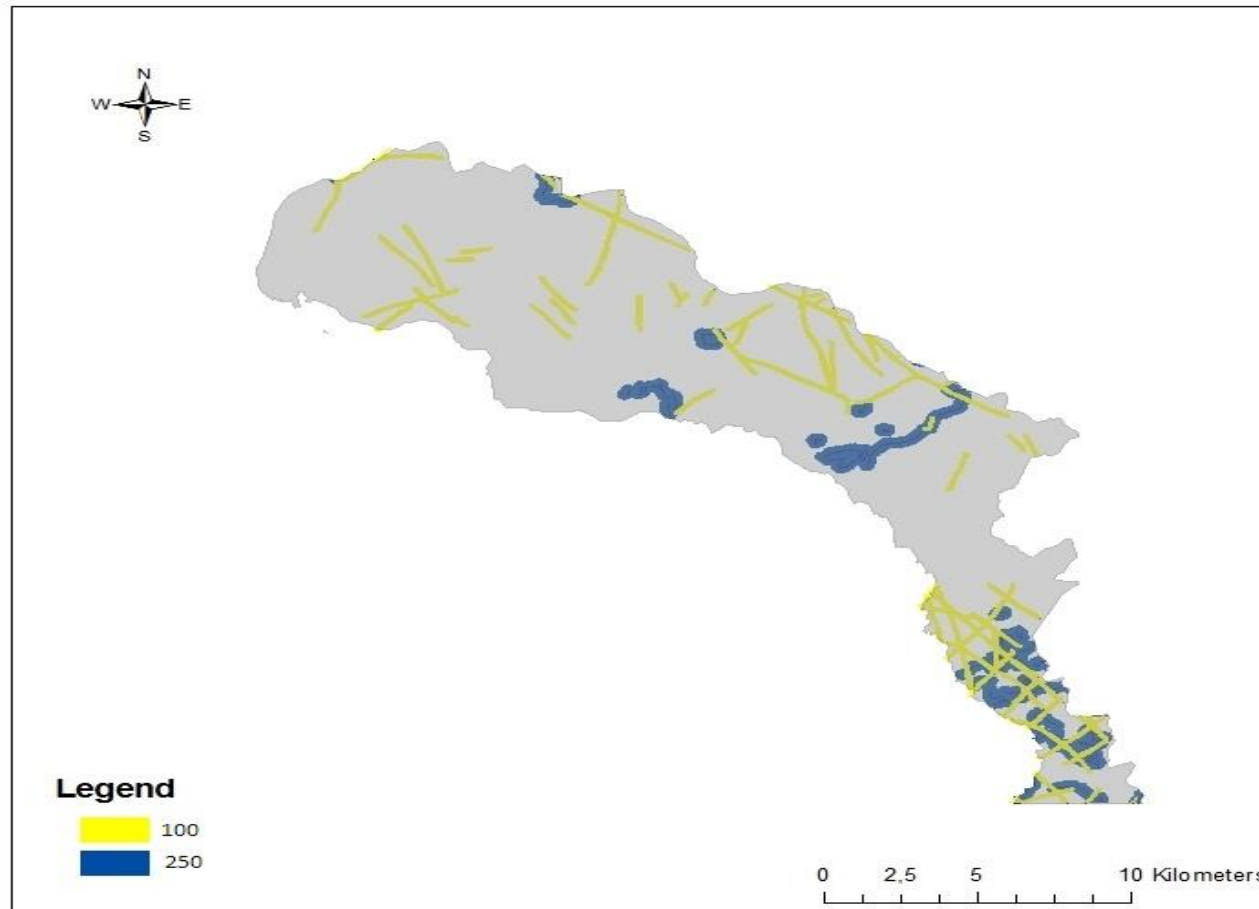
Στον γεωλογικό χάρτη της εικόνας 4.17 οι σχηματισμοί ομαδοποιήθηκαν, με βάση κοινές ιδιότητες τους, καταλήγοντας σε 4 διαφορετικές ομάδες γεωλογικών σχηματισμών.

4.6.1.2 Χάρτης τεκτονικών δομών

Οι τεκτονικές δομές συνήθως συνδέονται με εκτεταμένες αστοχίες. Για τον λόγο αυτό ορίζεται μία ζώνη ανάσχεσης όσον αφορά τις επωθήσεις καθώς και το ρήγματα. Πιο συγκεκριμένα η συνάρτηση απόστασης που ορίστηκε για τις επωθήσεις είναι από 0 μέχρι 250 μέτρα και πάνω από 250 μέτρα. Για το ρήγμα η συνάρτηση απόστασης ορίστηκε μέχρι τα 100 μέτρα καθώς και για αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 μέτρων. Τα παραπάνω διατυπώνονται στον χάρτη της εικόνας 4.18 όπου η κίτρινη γραμμή αντιπροσωπεύει το ρήγμα ενώ το μπλε τις επωθήσεις.



Εικόνα 4.17 Στην εικόνα διακρίνεται ο χάρτης των ενοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών.



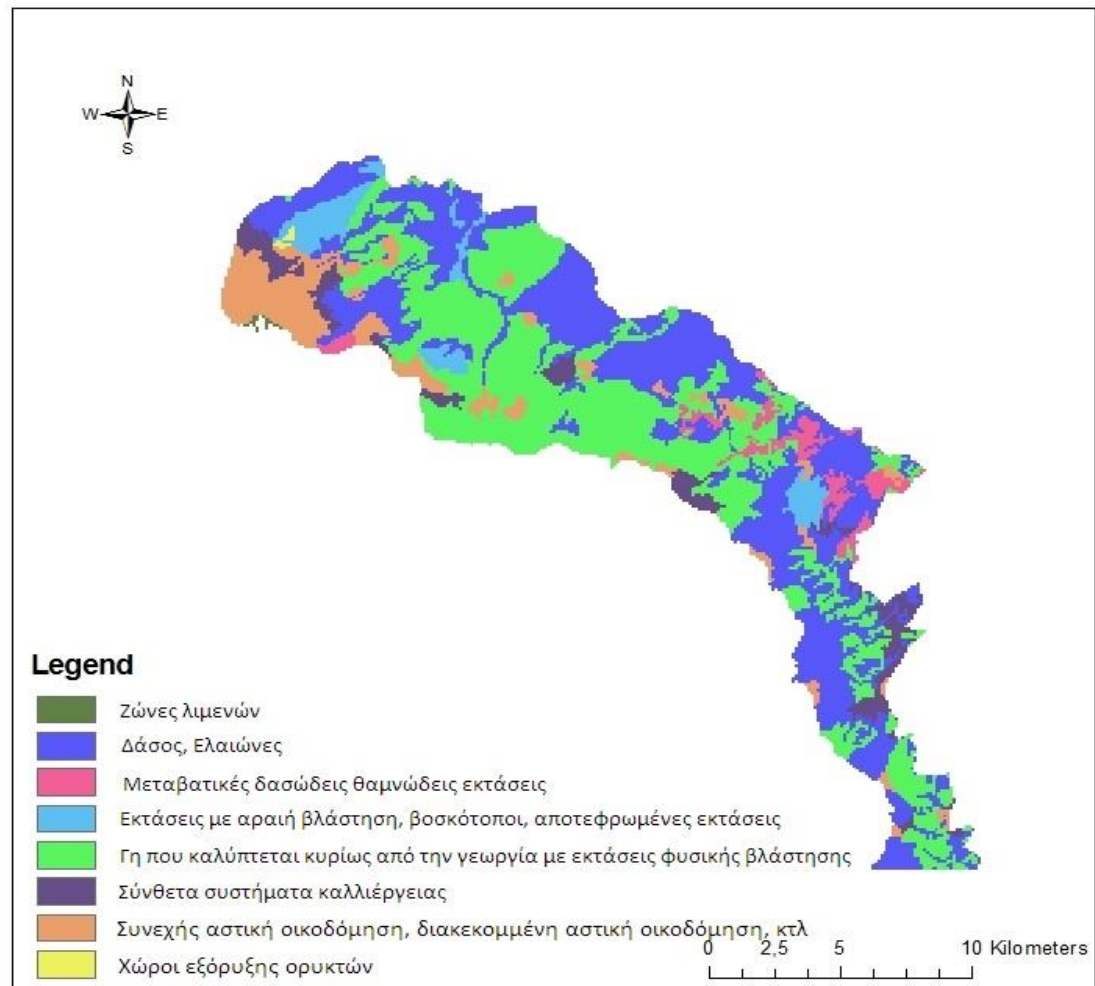
Εικόνα 4.18 Χάρτης τεκτονικών δομών όπου φαίνονται οι επωθήσεις με μπλε και με κίτρινο τα ρήγματα. Επίσης διακρίνονται τα buffer zones.

4.6.1.3 Χάρτης Χρήσεων γης

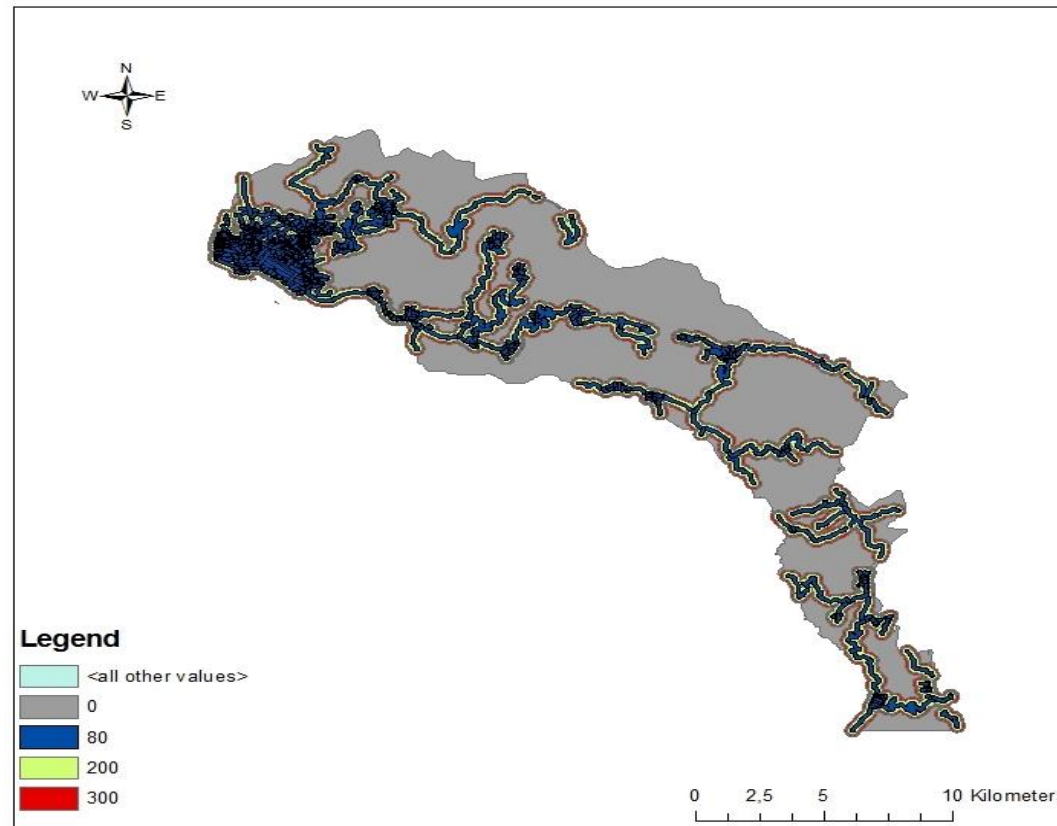
Ο όρος χρήση γης αναφέρεται στην όποια μόνιμη ή περιοδική ανθρώπινη επέμβαση υλικά ή/και πνευματικά στους φυσικούς ή τεχνητούς πόρους με σκοπό την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών (Vos et al 1992). Ενώ με τον όρο κάλυψη γης περιγράφονται οι κατηγορίες των στοιχείων που καλύπτουν την επιφάνεια του τοπίου, όπως κτίρια, λίμνες, δάση, βραχώδεις εξάρσεις κ.α. (Bankov, 1998). Η χρήση γης συνδέεται άμεσα με τις κατολισθήσεις καθώς μπορεί να είναι παράγοντας ενεργοποίησης τους .Παραδείγματος χάρη, ορισμένοι τύποι χρήσης / κάλυψης γης, ιδίως από ξυλώδη βλάστηση με μεγάλα και ισχυρό ριζικό σύστημα, παρέχουν και υδρολογικών και μηχανικές επιδράσεις που γενικά σταθεροποιηθεί τις πλαγιές (Gray and Leiser 1982; Greenway 1987; Montgomery et al. 2000). Στο χάρτη 4.19 φαίνεται η χρήση γης στη περιοχή μελέτης.

4.6.1.4 Χάρτης Οδικού δικτύου

Κατά την κατασκευή του οδικού δικτύου, κάποιες δράσεις που λαμβάνουν χώρα στα πρανή επηρεάζουν άμεσα το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Μερικές από αυτές είναι οι εκτεταμένες ανασκαφές, η εφαρμογή των εξωτερικών φορτίων καθώς και η απομάκρυνση της βλάστησης. (WP/WLI 1994). Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο να οριστεί ζώνη επιρροής η οποία σε αυτή την περίπτωση χωρίζεται στις εξής αποστάσεις: από 0 μέχρι 80 μέτρα, από 80 μέχρι 200 μέτρα, από 200 μέχρι 300 και μεγαλύτερη των 300 μέτρων. Η ζώνη ανάσχεσης καθώς και το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης αποτυπώνονται στο χάρτη 4.20.



Εικόνα 4.19 Θεματικός χάρτης που περιέχει τις χρήσεις γης στην στενή περιοχή μελέτης.



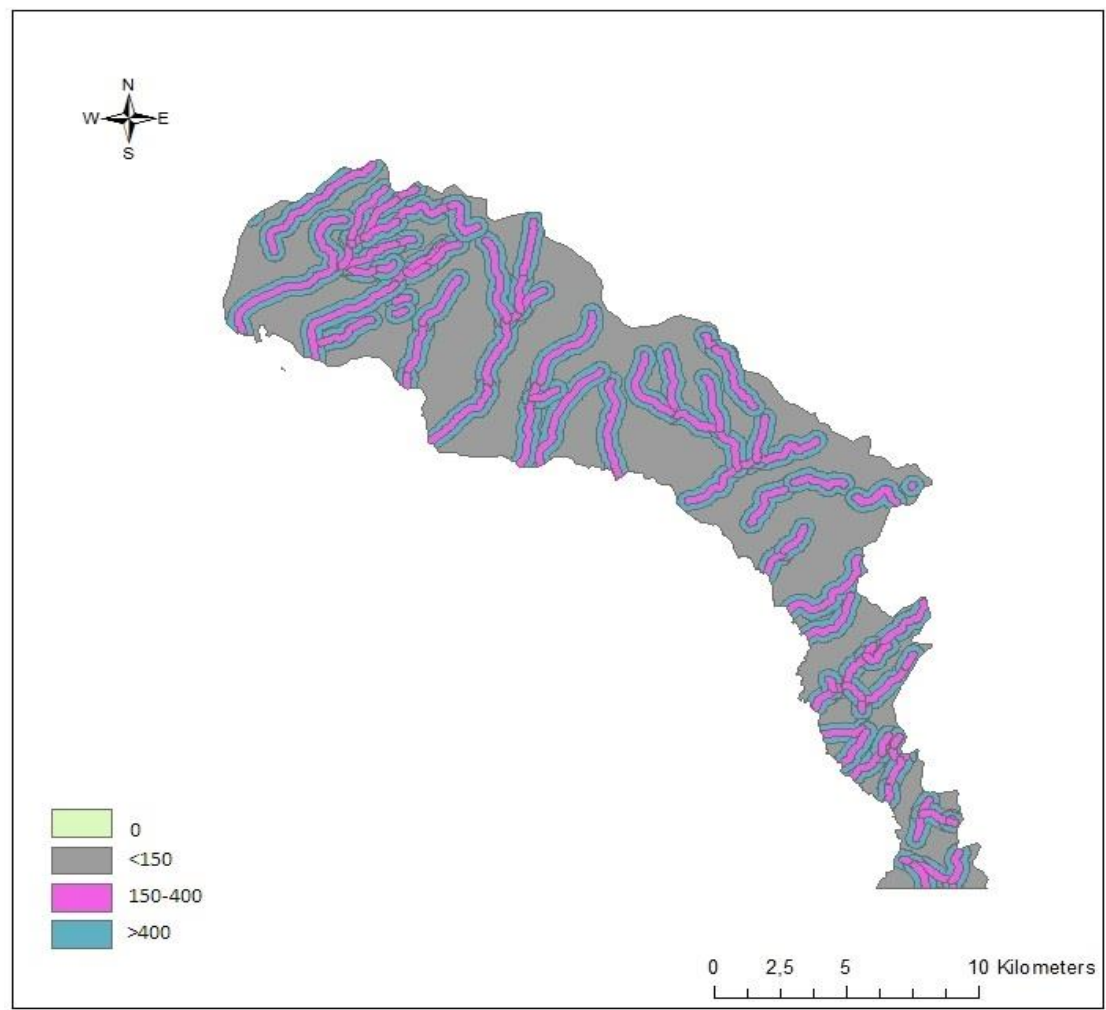
Εικόνα 4.20 Θεματικός χάρτης του οδικού δικτύου της περιοχής στον οποίο εκατέρωθεν των δρόμων έχουν σημειωθεί και οι buffer zones των 80, 200 και 300 μέτρων.

4.6.1.5 Δημιουργία χάρτη ρεμάτων

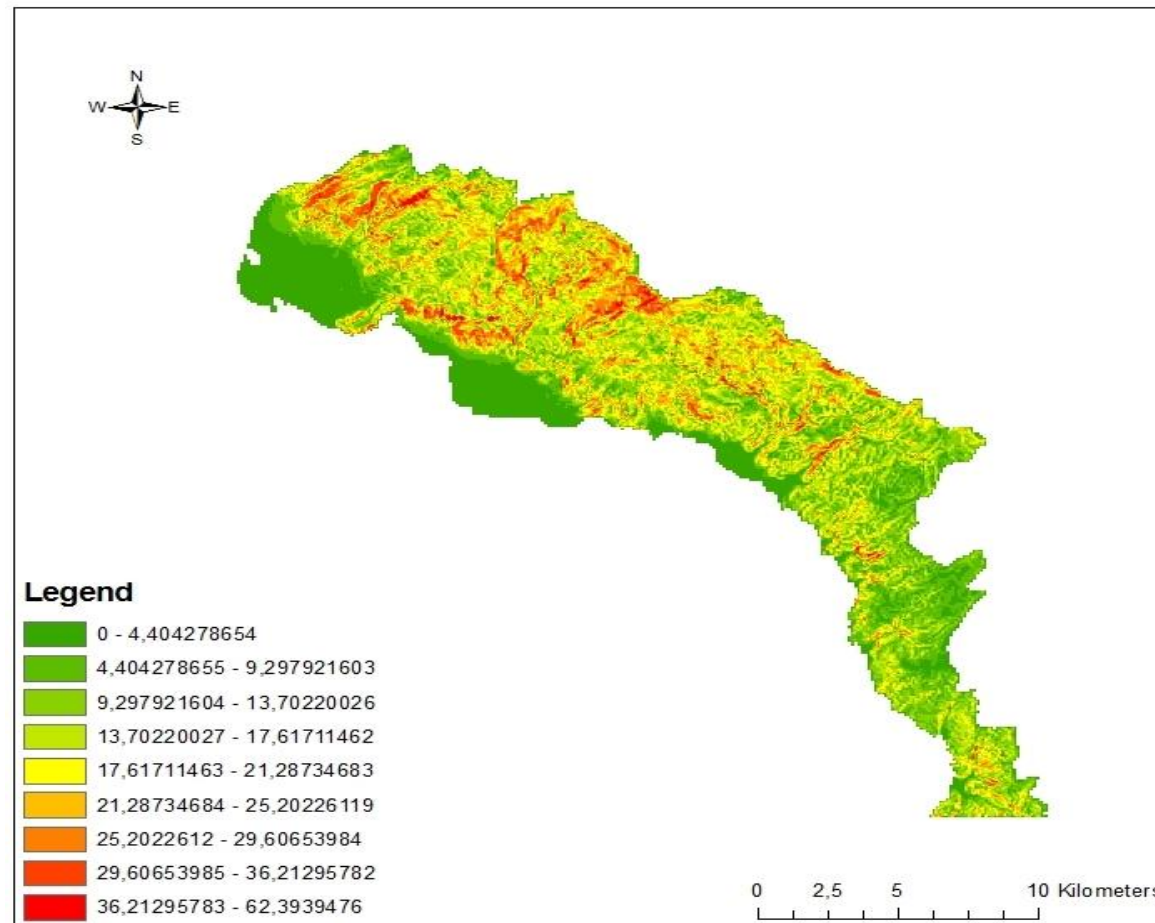
Η διάβρωση των πρηνών κοντά στις ποτάμιες περιοχές είναι συχνό φαινόμενο το οποίο μπορεί να προκαλέσει την ενεργοποίηση των κατολισθήσεων, ειδικά σε περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο. Η απόσταση από τα ρέματα είναι σημαντικός παράγοντας. Έτσι λοιπόν, ορίστηκε η ζώνη ανάσχεσης (buffer zone), όπως φαίνεται στο χάρτη 4.21 που δημιουργήθηκε, ως εξής: από 0 μέχρι 150 μέτρα που καθίσταται πιο επικίνδυνο, από 150 μέχρι 400 μέτρα και τέλος από 400 μέτρα και πάνω που δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας.

4.6.1.6 Δημιουργία χάρτη Κλίσεων πρηνών (Slope)

Σαν κλίση μιας επιφάνειας ορίζεται ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής της μεταβλητής Z (υψόμετρο) στην έκταση της επιφάνειας αυτής, μετριέται δε σε μοίρες ή σε ποσοστό επί τοις εκατό, π.χ. σε 45° κλίση το ποσοστό είναι 100%. Η κλίση των πρηνών είναι σημαντική παράμετρος στην εξέταση της σταθερότητάς τους (Saha et al, 2002) και αποτελεί σημαντικό μοντέλο αξιολόγησης (Clerici et al. 2002; Saha et al. 2002; Cevik and Topal 2003; Ercanoglu and Gokceoglu 2004; Lee et al. 2004a, b; Yalcin 2008).



Εικόνα 4.21 Θεματικός χάρτης ρεμάτων εκατέρωθεν των οποίων ορίστηκε η ζώνη ανάσχεσης.



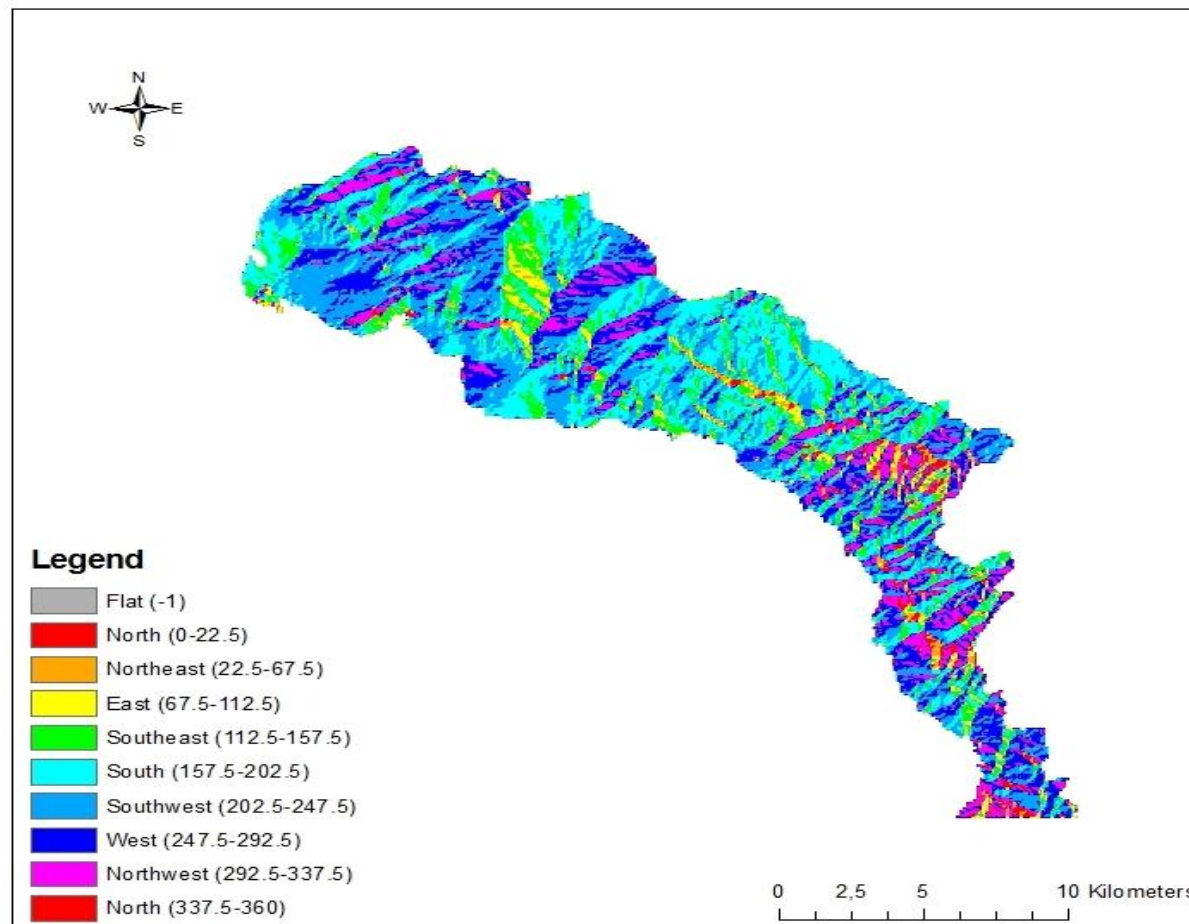
Εικόνα 4.22 Θεματικός χάρτης κλίσεων των πρανών στον οποίο με πράσινο χρώμα χαρακτηρίζονται οι περιοχές όπου οι κλίσεις των πρανών είναι ήπιες ενώ με κόκκινο χρώμα χαρακτηρίζονται εκείνες οι οποίες έχουν έντονες κλίσεις,

4.6.1.7 Χάρτης Προσανατολισμού πρηνών (Aspect)

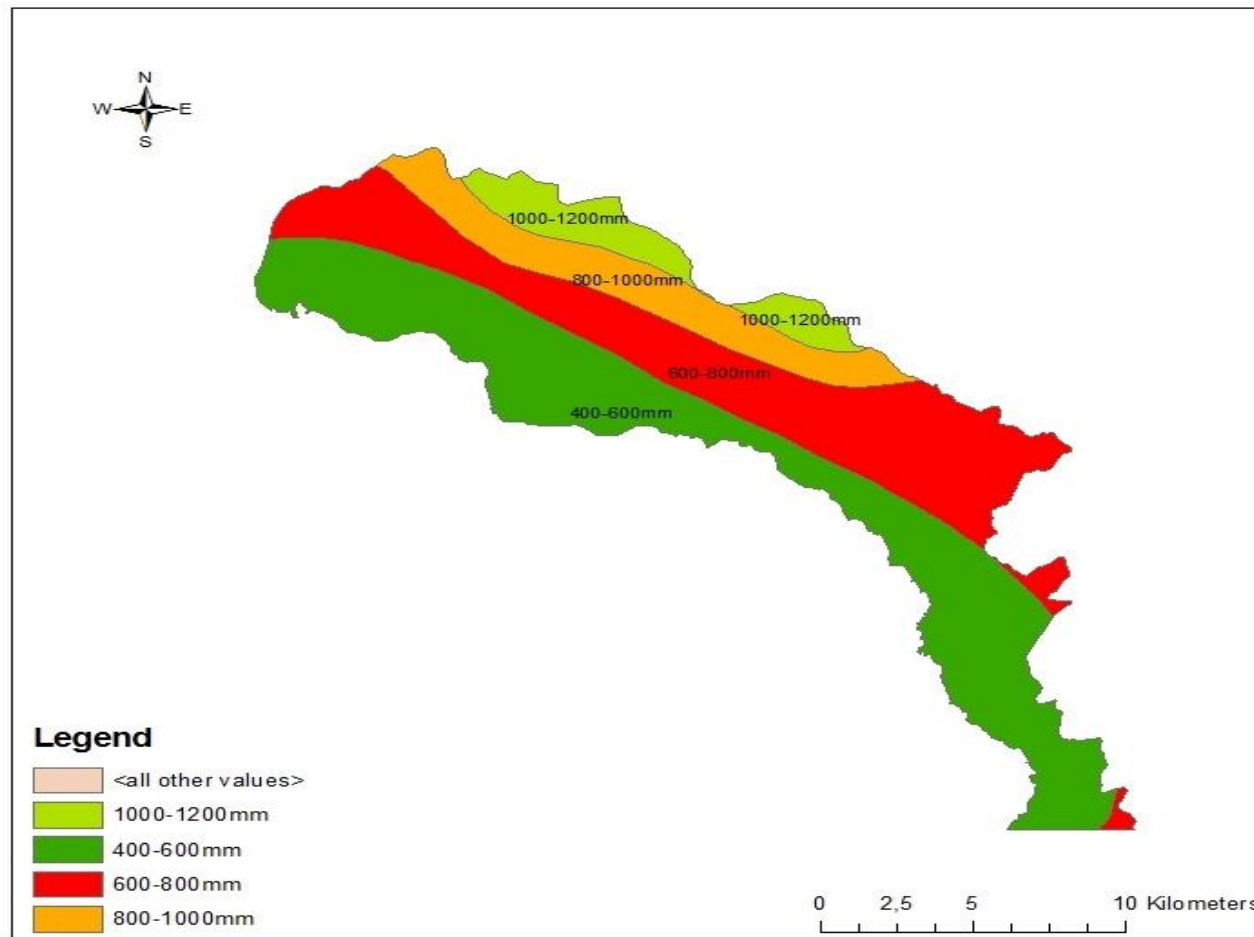
Ο προσανατολισμός των πρηνών, δηλαδή η κατεύθυνση του μέγιστου ρυθμού μεταβολής υψομέτρου, εκφράζεται σε μοίρες από τα βόρεια και με κατεύθυνση φοράς του ρολογιού, με τιμές από 0 έως 360. Με την λειτουργία aspect υπολογίζεται η διεύθυνση της κλίσης. Οι τιμές του αρχείου που προκύπτει, αποτυπώνονται στον χάρτη της εικόνας 4.23, με την εφαρμογή του είναι ο προσανατολισμός της κεκλιμένης επιφάνειας εκφρασμένος σε μοίρες όπως προαναφέρθηκε. Οι 360° ορίζουν μια επίπεδη επιφάνεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο προσανατολισμός (ή αλλιώς αζιμούθιο) των πρηνών παίζει καθοριστικό ρόλο στο είδος της βλάστησης που αναπτύσσεται σ' αυτά μιας και από αυτόν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που δέχονται. Wieczorek et al.1997; Dai et al. 2002; Cevik and Topal 2003; Suzen and Dogurcan 2004; Komac 2006. Δεδομένου πως το είδος της βλάστησης ενός πρηνούς επηρεάζει το φαινόμενο της κατολισθησης (μεταξύ άλλων) είναι φανερό πως η απεικόνιση του αζιμούθιου είναι απαραίτητη.

4.6.1.8 Χάρτη βροχοπτώσεων

Το ποσοστό των βροχοπτώσεων επηρεάζει άμεσα τις κατολισθήσεις. Η έντονη βροχόπτωση χαρακτηρίζεται ως η φυσική διαδικασία που δρα ως ο κυριότερος παράγοντας σαν έναυσμα κατολισθητικών φαινομένων (Kouli et al, 2010) Ο μηχανισμός δράσης του νερού στα πρηνή έχει δύο επιδράσεις. Πρώτον, πληρώνει τα πορώδη των πρηνών και μειώνει την συνεκτικότητα τους, και δεύτερον προσθέτει βάρος στην συνολική τους μάζα, αυξάνοντας έτσι την δύναμη της βαρύτητας που τα ωθεί προς την βάση του πρηνούς. (Hamblin and Christiansen, 2004). Έπειτα από την κωδικοποίηση και την αρχειοθέτηση τεχνικογεωλογικών εκθέσεων καθώς και μελετών που καλύπτουν την χρονική περίοδο 1949-1991 κατέληξαν ότι το υψηλότερο ποσοστό κατολισθησεων απαντά σε περιοχές με μέσο ετήσιο ύψος βροχής μεγαλύτερο από 1000mm. (Koukis ,1999). Στο χάρτη βροχοπτώσεων (χάρτης 4.24), λοιπόν, ορίστηκαν οι παρακάτω τέσσερις κατηγορίες: από 1200-1000mm, από 1000-800mm, από 800-600mm και τέλος από 600-400 mm. Τα στοιχεία των βροχοπτώσεων προήλθαν από την ΔΕΗ Α.Ε.



Εικόνα 4.23 Θεματικός χάρτης στον οποίο φαίνεται ο προσανατολισμός των πρανών της στενής περιοχής μελέτης



Εικόνα 4.24 Θεματικός χάρτης στον οποίο παρουσιάζονται οι βροχοπτώσεις που κυμαίνονται από 400 έως 1200mm.

4.7 Βαθμονομημένος πίνακας

Ακολουθεί ο Βαθμονομημένος πίνακας που περιέχει τα δεδομένα τα οποία επιλέχθηκαν καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Κάθε ένα από αυτά επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό την εμφάνιση κατολισθήσεων, γεγονός που φαίνεται από τον συντελεστή W_1 που έχει οριστεί για καθένα από αυτά. Η βαθμονόμηση του παρακάτω πίνακα έγινε μετά από τη συναξιολόγηση του συνόλου των βιβλιογραφικών πηγών αλλά και κατόπιν της επισκέψεως στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 2 Βαθμονομημένος πίνακας των δεδομένων που παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των κατολισθήσεων.

Data layers	Classes	W1	Rate
ΓΕΩΛΟΓΙΑ	Σχιστόλιθοι (Σχιστόλιθοι αμφιβολιτικοί-επιδοτιτικοί-χλωριτικοί, Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, Σχιστόλιθοι-γνεύσιοι-γνευσιοσχιστόλιθοι , Σύνολο μεταμορφωένων ορθο και παρα-πετρωμάτων, Σερπεντιωμένοι περιδοτίτες- σερπεντινίτες, Γεύσιοι- Σχιστογνεύσιοι, Μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι-φυλλίτες, Μεταμορφωμένα Βασικά οφιολιθικά πετρώματα, Αμφιβολίτες, Μεταμορφωμένα ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα, Σύστημα πολυφασικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων, Οφιολιθικό λατυποπαγές επικλύσεως Ομορφοχωρίου, Σερπεντινίτες, Μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι και γνευσιοσχιστόλιθοι με τοπικές εντρώσεις λευκών μαρμάρων, Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, Σχιστόλιθοι, φυλλίτες, πλακώδη μάρμαρα και μεταβασίτες, Γνεύσιοι διμαρμαρυγικοί έως αμφιβολιτικοί και επιδοτιτικοί , Ελουβιακός μανδύας)	10	10
	Αλλουβιακές αποθέσεις, Πλευρικά κορήματα (Αλλουβιακές αποθέσεις, Πλευρικά κορήματα, Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα, Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα και αναβαθμίδες χειμάρρων, Ποταμολιμναίες και χερσαίες αποθέσεις, Χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί , Παλαιοί κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και υλικά αναβαθμίδων χειμάρρων)		8
	Ασβεστόλιθοι (Ασβεστόλιθοι, Μάρμαρα, Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι έως μάρμαρα, Κρυσταλλικοί		6

	ασβεστόλιθοι, Ασβεστόλιθοι Επικλυσιγενείς, Μάρμαρα Αγιάς, Κρυσταλλικό υπόβαθρο της Πελαγονικής Ζώνης, Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι-μάρμαρα)		
	Φλεβικές Διεισδύσεις πορφυριτικού τύπου (Φλεβικές Διεισδύσεις πορφυριτικού τύπου, Ηφαιστειακά πετρώματα, Περιδοτίτες και γάββροι)		7
ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ	Επωθήσεις (Buffer) <250 m	6	8
	>250m		0
	Fault (Buffer)		
	<100 m		5
	>100 m		0
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	Συνεχής αστική οικοδόμηση, διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, χώροι οικοδόμησης	7	9
	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας		8
	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης		6
	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση, βοσκότοποι, αποτεφρωμένες εκτάσεις		5
	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις		4
	Ελαιώνες		2

	Δάσος		2
	Ζώνες λιμένων		0
	Χώροι εξόρυξης ορυκτών		10
ΔΡΟΜΟΙ	(Buffer)	8	
	<80m		10
	80-200m		8
	200-300μ		6
	>300		0
ΡΕΜΑΤΑ	(Buffer)	7	
	<150m		10
	150-400m		8
	>400m		0
ΚΛΙΣΗ	>61° (>57)	7	7
	31–45° (42-57)		8
	46–60° (27-42)		10
	16–30° (16,7-27)		9
	6–15° (4,1-10,7)		3

	0-5° (0-4,17)		1
ASPECT	Δ, Β	6	9
	ΒΔ		10
	ΒΑ,ΝΔ		6
	Α,Ν		4
	ΝΑ		2
	Επίπεδο (flat)		0
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ	1200-1000	9	10
	1000-800		9
	800-600		8
	600-400		6

4.5 Δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας

Ο Δείκτης Κατολίσθησης κινδύνου (LSI) δίνεται από τον παρακάτω 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).

$$LSI = \sum_{i=1}^n W_i * R_i$$

Όπου:

LSI: ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας,

W_i : η βαρύτητα της παραμέτρου i ,

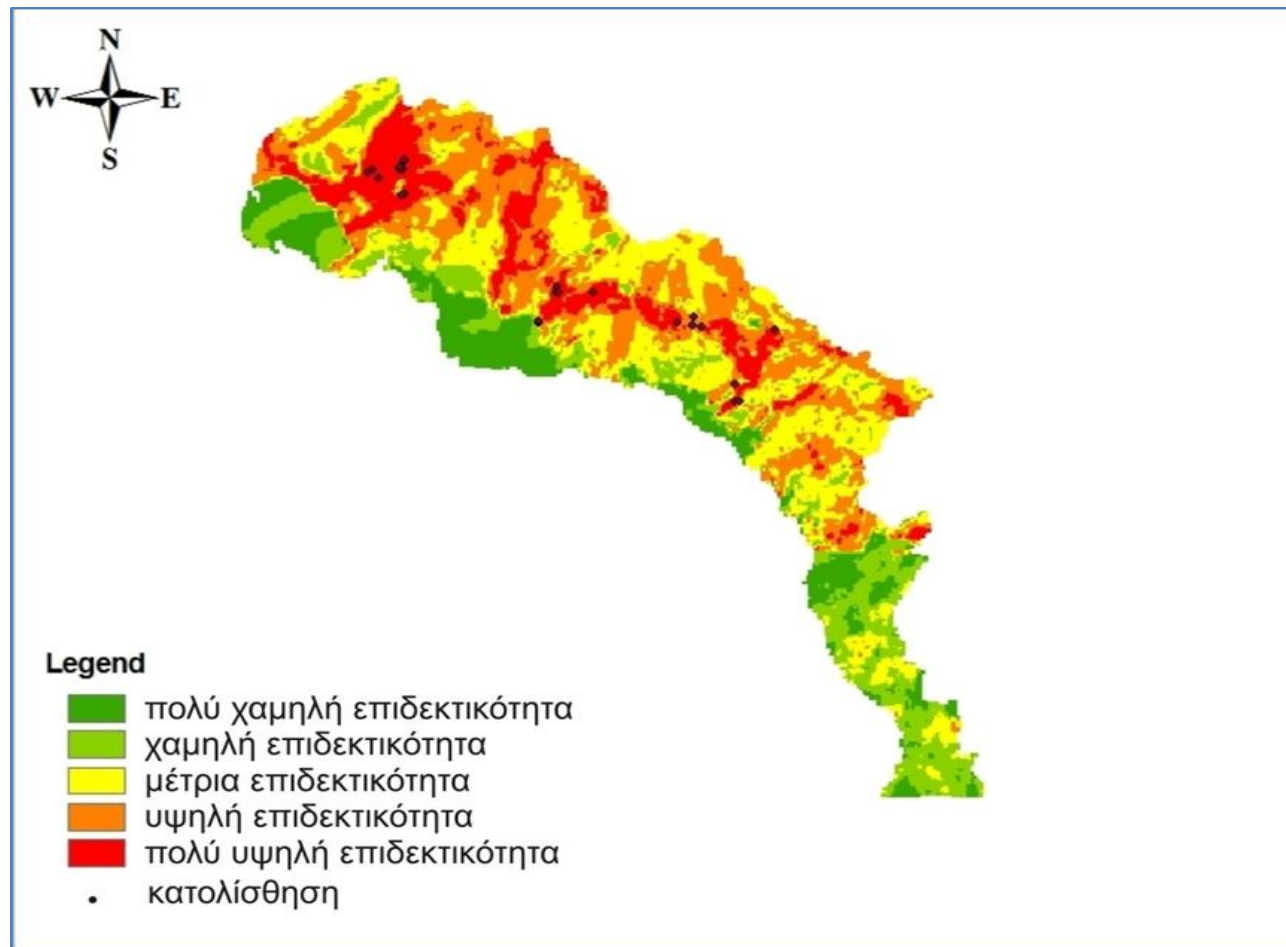
R_i : ο συντελεστής βαρύτητας της παραμέτρου i ,

n : ο αριθμός των παραμέτρων.

Αναλυτικότερα,

$LSI = 10 * \text{Γεωλογία} + 7 * \text{τεκτονικές δομές} + 7 * \text{Χρήσεις γης} + 8 * \text{δρόμους} + 7 * \text{ρέματα} + 7 * \text{κλίσεις πρανών} + 6 * \text{Προσανατολισμός πρανών} + 9 * \text{βροχοπτώσεις}$.

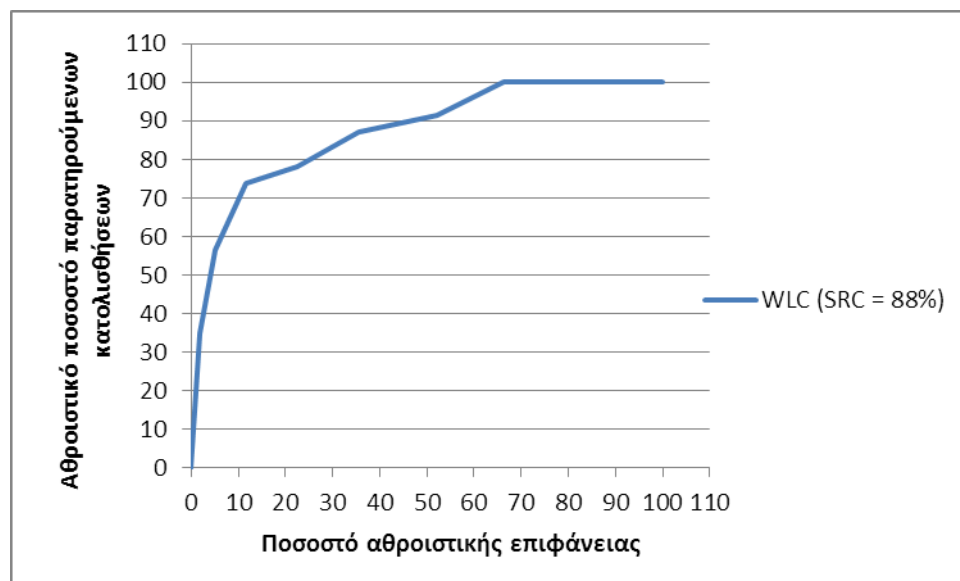
Ο τελικός χάρτης που προκύπτει είναι ο ακόλουθος στον οποίο τα αποτελέσματα ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις ανάλογα με την κατολισθητική επιδεκτικότητα. Οι κλάσεις αυτές ξεκινούν από πολύ μικρή επιδεκτικότητα που είναι οι περιοχές που αντιπροσωπεύονται από πράσινο χρώμα και φτάνουν έως πολύ υψηλή επιδεκτικότητα όπου εμφανίζονται στον χάρτη με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 4.25 Τελικός θεματικός χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας για το Όρος Πήλιο όπου οι περιοχές με πράσινο χρώμα χαρακτηρίζονται από χαμηλή επιδεκτικότητα ενώ με κόκκινο με πολύ υψηλή επιδεκτικότητα.

4.7 Καμπύλη επιβεβαίωσης

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. Η καμπύλη που χρησιμοποιείται για το λόγο αυτό παρουσιάζει τον αθροιστικό ποσοστό των κατολισθήσεων σε συνάρτηση με το αθροιστικό εμβαδό των ζωνών επιδεκτικότητας που τις περιέχουν. 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 4.26 Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης (success rate curve)

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στους χάρτες που δημιουργήθηκαν γίνεται αντιληπτό ότι η γεωλογία, οι τεκτονικές δομές, οι χρήσεις γης, τα ρέματα, το οδικό δίκτυο, η κλίση και ο προσανατολισμός των πρηνών καθώς και οι βροχοπτώσεις είναι τα δεδομένα που παίζουν κυρίαρχο ρόλο, με διαφορετική βαρύτητα το καθένα, στην εύρεση του δείκτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας μιας περιοχής.

- Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από αυξημένη κατολισθητική επιδεκτικότητα οι οποίες εμφανίζονται στον τελικό χάρτη με κόκκινο χρώμα, καλύπτονται από σχιστόλιθους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι σχιστόλιθοι καλύπτονται από παχύ μανδύα αποσάθρωσης, επιρρεπή στις κατολισθήσεις. Στις υψηλού κινδύνου αυτές περιοχές εντοπίζονται σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης οι οποίες έχουν υποστεί ανθρωπογενής παρεμβάσεις με σκοπό την γεωργία. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται καθώς απουσιάζει η ύπαρξη δέντρων τα οποία με τις ρίζες τους συμβάλλουν στην ευστάθεια των πρηνών αλλά και η αυξημένη εμφάνιση υδάτων από τις γεωργικές διεργασίες. Επιπρόσθετα, παρατηρώντας τον χάρτη που απεικονίζεται το οδικό δίκτυο του Όρους Πηλίου διαπιστώνεται ότι σε περιοχές που είναι πυκνό εμφανίζονται έντονα τα φαινόμενα των κατολισθήσεων. Το οδικό δίκτυο παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η βαθμονόμηση του, που έγινε με βάση την γνώμη του Ειδικού, ισούται με 8. Έντονα εμφανίζονται, επίσης, τα ρέματα και οι ποταμοί στις περιοχές αυτές καθώς και οι κλίσεις των πρηνών που επιδεινώνουν το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Τέλος, οι βροχοπτώσεις, στις οποίες ο συντελεστής βαρύτητας στον βαθμονομημένο πίνακα εμφανίζεται με 9, είναι υψηλές και το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 600-1000 mm.

- Στις περιοχές με μέτρια κατολισθητική επιδεκτικότητα, εντοπίζονται τα ασβεστολιθικά πετρώματα, τα οποία καταλαμβάνουν κυρίως στο βόρειο και δυτικό τμήματος Όρους Πηλίου, και εμφανίζονται στον χάρτη με χρώμα κίτρινο.
- Χαμηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα εντοπίζεται στις περιοχές όπου κυριαρχούν τα πλευρικά κορήματα και οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες τοποθετούνται στις δυτικές παράκτιες περιοχές του νομού Μαγνησίας. Στο νότιο μέρος του Όρους Πηλίου όπου εντοπίζεται έντονη η εμφάνιση ρηγμάτων και επωθήσεων, ο δείκτης, σύμφωνα με τον τελικό χάρτη, είναι ήπιος προς χαμηλός. Άλλωστε βάση του βαθμονομημένου πίνακα ο συντελεστής που λαμβάνει χώρα για τις τεκτονικές δομές είναι 6, γεγονός που φανερώνει ότι δεν παίζει κύριο ρόλο στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων. Στις περιοχές αυτές, το οδικό δίκτυο εμφανίζεται αραιό καθώς και οι κλίσεις των πρανών είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Τέλος, οι βροχοπτώσεις που εμφανίζονται στα παραπάνω τμήματα του χάρτη είναι μικρής κλίμακας κάτι που καθίσταται αναμενόμενα καθώς οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν και αυξάνουν την ύπαρξη κατολισθήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αστάρας Θ. & Οικονομίδης Δ. 2007. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Σημειώσεις στο Μάθημα: «Ψηφιακή Χαρτογραφία & Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών» - Ηλεκτρονική έκδοση - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ. Διαθέσιμο στο: <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge656e/>

Βαϊόπουλος Δ., Νικολακόπουλος Κ & Σκιάνης Γ. 2002. Δημιουργία ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου με ψηφιοποίηση ισοϋψών από τοπογραφικούς χάρτες και στατιστική ποσοτικοποίηση του σφάλματος που υπεισέρχεται κατά την κατασκευή τους. Πανελλήνια Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο (Τόμος Β) .

Δεμίρης Κ.Α., 1983, Τεχνική γεωλογία, Μέρος Α', Γεωλογικοί σχηματισμοί, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις: University Studio Press

Δημόπουλος Γ., 1986, Τεχνική Γεωλογία με βασικές έννοιες βραχομηχανικής και γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων, Εκδόσεις:Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

ΙΓΜΕ, 1999, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Αργαλαστή, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ Αθήνα.

ΙΓΜΕ, 1984, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας Φύλλο Αγιά Παναγιά, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ Αθήνα.

ΙΓΜΕ, 1986, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας Φύλλο Βόλος, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ Αθήνα.

ΙΓΜΕ, 1987, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Ζαγορά-Συκή, , κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ Αθήνα.

ΙΓΜΕ, 1981, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Πλατύκαμπος, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ Αθήνα.

Κάβουρα Α., 2013, Κατολισθήσεις στο νομό Αχαΐας: Ανάπτυξη μοντέλου επικινδυνότητας, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Καρτέρης Μ., 1994, Τηλεπισκόπηση Φυσικών Πόρων και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τόμος Ι, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο στο: <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge656e/>

Κούκης Γ., Ζιούρκας, Κ., (1989): Κατολισθητικές κινήσεις στον ελληνικό χώρο – στατιστική θεώρηση. Ορυκτός Πλούτος 58

Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν., 2007, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Αθήνα, Εκδόσεις: Παπασωτηρίου

Κουτσόπουλος Κ. ,2005, Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών & ανάλυση χώρου, Αθήνα, Παπασωτηρίου.

Κωνσταντινίδης Α., 2011. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους Και Εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Σημειώσεις στο Μάθημα Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΤΕΙ Σερρών, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας.

Κωτουλάκης Μ., 2005. Η Κατάσταση του Περιβάλλοντος στον Νομό Μαγνησίας, Κεφαλαίο 9.

Παρασχάκης Ι., Παπαδοπούλου Μ. και Πατιάς Π., 1990. Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Σακελλαρίου, Μ., Ηλίας Π., 1997. Εφαρμογή Νευρωνικών δικτύων στην εκτίμηση ευστάθειας πρανών, 3ο Πανελλήνιο Γεωτεχνικό συνέδριο, σ. 43-48.

Σεισάκης Γ. (1966), Οι κατολισθήσεις πρανών, Αθήνα, Εκδόσεις: ΤΕΕ

Στουρνάρας Γ., 1989, Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας, Μέρος Β', Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής –τεκτονικής – Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Αθήνα σ. 73

Τσαγγαράτος Π., 2012, Διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τσακίρης Σ., Δασκαλάκης Κ., & Λαγκαδινού Ε. 2013. Αξιολόγηση, Αναθεώρηση και Εξειδίκευση ΠΠΧΣΑΑ Θεσσαλίας-Στάδιο Α1

Φιλίππακοπούλου Β. & Τσούλος Λ. 2006. Η Ιστορία της Χαρτογραφίας. Σημειώσεις Μαθήματος: «Χαρτογραφία Ι», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων – Τοπογράφων.

Χαλκιάς Χ. (2007), Συμπληρωματικές Σημειώσεις Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ΙΙ, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, τμήμα Γεωγραφίας, Καλλιθέα

Χατζηπέτρος Α., 2006, Γεωλογία της Ελλάδος.

Aamodt, A., 1994. Case-Based Reasoning: Foundational Issues. Methodological Variations & System Approaches, AI Communications, Vol. 7 Nr. 1.

Adam N., Rodriguez Gonzalez F., Parizzi A., and Liebhart W. ,2011: Wide area persistent scatterer Interferometry.Proceedings of IGARSS 2011, Vancouver, Canada.

Aleotti, P., Balzelli, P., De Marchi, D., 1996. Le reti neurali nella valutazione della suscettibilità da frana. Geologia tecnica e ambientale vol. 4, pp.37-47.

Aleotti, P. and Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58(1), pp. 21-44.

Ashish Pandey, P. P. Dabral, V. M. Chowdary, N. K. Yadav, 2007, Landslide Hazard Zonation using Remote Sensing and G.I.S.: a case study of Dikrong river basin, Arunachal Pradesh, India

Bankov, N., 1998: «Dynamics Of Land Cover/Use Changes In Relation To Socio – Economic Conditions In The Psilorites Mountain Of Crete, Greece» MSc, Mediterranean Agronomic Institute Of Chania (M.A.I.Ch.), Chania

Burrough P. A. & McDonnell R. A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press.

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, 3-4: pp. 453-466.

Cevik E. & Topal T. (2003) GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environ Geol* 44(8):949– 962.

Chung, C.F., Fabbri, A.G., 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65 (12).

Clerici A, Perego S, Tellini C, Vescovi P (2002) A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology* 48.

Corominas, J. and Mavrouli, O., 2011 Chapter in book: *Rockfall Quantitative Risk Assessment in Rockfall engineering: from prediction to mitigation* (Ed. Stéphane Lambert and François Nicot), pp. 255-296

Corominas, J., Santacana, N., 2003. Stability analysis of the Vallcebre translational slide, Eastern Pyrenees (Spain) by means of a GIS. *Nat Hazards* 30(3), pp.473–485.

Cruden, D.M., and Varnes, D. J., 1996. «Landslide types and processes», In: Turner, A.K., & Shuster, R.L., (ed.) *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transp Res Board, Spec. Rep. 247, pp 36-75.

Dai, FC., Lee, CF & Ngai, YY. ,2002, *Landslide risk assessment and management: an overview*. *Engineering Geology*, 64 (1), 65–87

Ercanoglu M, Gokceoglu C, Van Asch TVJ (2004) Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Nat Hazards* 32.

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), pp. 85–98.

Ferentinou, M., Chalkias, Ch., and Sakellariou, M., 2010. «Landslide susceptibility mapping in national scale and preliminary risk analysis applying computational

methods in a GIS environment», 9th Panellenic Conference of Geography, pp 682-689.

Fourniadis IG, Liu JG, Mason PJ, 2007, Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery, *Geomorphology*, Vol:84, ISSN:0169-555X.

Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. & Zebker, H. A., (1989) Mapping Small Elevation Changes Over Large Areas: Differential Radar Interferometry. *Journal of Geophysical Research* (94),pp. 9183–9191.

Gorsevski P, Gessler P, Folt R , 2001, Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS

Gray DH, Leiser AT ,1982 : Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold, NewYork.

Greenway DR , 1987: Vegetation and slope stability. In: Anderson MG, Richards KS (eds) *Slope stability*.Wiley, New York.

Hamblin W.K. and Cristiansen E.H. 2004, *Earth's Dynamic Systems*, Prentice Hall, Inc.

Jimenez-Peralvarez, J. D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., and Chacon, J., (2009), «Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS», *Nat Hazards* 50: pp. 571-590.

Kayastha P, Dhital M R and De Smedt F., 2012, Landslide susceptibility mapping using weight of evidence in the Tinau watershed.

Komac, M. ,2006, A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74 (1– 4), 17–28.

Koukis, G., Ziourkas C., 1991. Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. *Bulletin of IAEG*, 43, pp. 47-60.

Kouli M, Loupasakis C, Soupios P, Vallianatos F, 2007, Landslide Hazard Zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece.

Liu JG, Mason PJ, Clerici N, Chen S, Davis A, Miao F, Deng H, Liang L ,2004 :Landslide hazard assessment in the three gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui–Badong. *Geomorphology*.

Massonnet, D., Feigl, K.L., (1998) Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Rev. Geophys.*,(36).

Mayoraz, F., Cornu, T., Vulliet, L., 1996. Using neural networks to predict slope movements. In: 7th Proceedings International Symposium Landslides, Trondheim, 1, pp. 295-300.

Mohammad H. Vahidnia, Ali A. Alesheikh, Abbas Alimohammadi, Farhad Hosseinali, 2010, A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping, Pergamon Press, Inc.

Mohamed, T. A., Ali F. H., Hashim, S., and Huat, B.K., 2006. «Relationship Between Shear Strength and Soil Water Characteristic Curve of an Unsaturated Granitic Residual Soil», *American Journal of Environmental Sciences* 2 (4), pp. 142-145.

Montgomery DR, Schmidt KM, Dietrich WE, Greenberg HM ,2000: Forest clearing and regional landsliding in the Pacific Northwest.

Nefeslioglu, H.A., Sezer E., Gokceoglu, C., A. S. Bozkir, A.S., T. Y. Duman, T. Y., 2010. Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey, *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2010 (2010), Article ID 901095, 15 pages doi:10.1155/2010/901095.

Raspini F, Loupasakis C,, Rozos D, Moretti S,2012, Ground motion detection of the wide area of Thessaloniki (Greece) using radar interferometry techniques: preliminary outcomes from the Terrafirma project,2, pp 7-12.

Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E., Goldstein, R.M.,(2000) Synthetic aperture radar interferometry. *Proc. I.E.E.E.*(88).

Saha AK, Gupta RP, Arora MK, 2002: GIS – based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalaya.

Sakellariou M. G. and M. D. Ferentinou: 'GIS-Based Estimation of Slope Stability', *Natural Hazards Review (ASCE)*, 2.

Savage W. Z., Godt W. J., Baum, R. L., 2004. Modeling time-dependent slope stability. *Proceedings IX International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, Brazil*, pp. 23–38.

Soeters, R. and Van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board, 247, pp. 129-177.

Suzen, M.L. & Doyuran, V. (2004) Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303–321.

Tasseti, N., Bernardini, A., and Malinverni, E. S., (2008), «Use of remote sensing data and GIS technology for assessment of landslide hazards in Susa Valley, Italy», *ERASel eProceedings*, pp. 59-67.

Terzaghi, K. 1950. “Mechanism of Landslides”. In *Application of Geology to Engineering Practice* (S. Paige, ed.), Geological Society of America, New York.

Van Westen, C.J., 2004. Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In *proceedings of the 9th International Symposium on Landslides*, London: Balkema, pp.36-59.

Van Westen C.J., Rengers N, Soeters R ,2003, Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazard*.

Van Westen, C.J., Rengers, N. & Terlien, M.T.J., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, *Geologische Rundschau* 86, 4004–4414.

Varnes D.J., 1978, Slope Movement Types and Processes, In: Schuster R.L., Krizek R.J. (eds) (1978) *Landslides: Analysis and Control*, Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington

Voogd, H., 1983. *Multi-criteria Evaluations for Urban and Regional Planning*. Princeton University, London.

Vos, W. & Stortelder, A.H.F., 1992: «Vanishing Tuscan Landscapes. Landscape Ecology of a Submediterranean Montane Area», Solano Basin, Tuscany, Italy.

Wieczorek, G.F., Mandrone, G. & DeCola, L. ,1997, The influence of hillslope shape on debris-flow initiation. In: Chen, C.L. (Ed.) *Debrisflow Hazards Mitigation*.

WP/WLI, 1994. A suggested method for reporting landslides causes. Bull. of the Int. Assos. Engineering Geology,

Xie , M., Esaki, T., Zhou, G., 2004. GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide. Natural Hazards, pp. 265–282.

Yalcin, A. (2008) GIS –based landslidesusceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results an confirmations, Catena, 72.

Zaruba, Q., and V. Mencl ,1969. “Landslides and Their Control”. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Zebker,H.A.,& Goldstein,R. M.,(1986) Topographic Mapping From Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations. Journal of Geophysical Research (91),pp.4993–4999.

Ιστοσελίδες

<http://www.cookbook.hlurb.gov.ph/book/export/html/203>

<http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.gr.html>