ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΟΝ ΡΟΛΟ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΓΡΑΦΩΝ

Γεώργιος Κ. Ντελής

Αθήνα, Ιούνιος 2020

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων: Ομ. Καθηγητής Ι. Κουμαντάκης

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΟΝ ΡΟΛΟ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΓΡΑΦΩΝ

Γεώργιος Κ. Ντελής

Αθήνα, Ιούνιος 2020

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων: Ομ. Καθηγητής Ι. Κουμαντάκης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα....I
Κατάλογος πινάκων....V
Κατάλογος σχημάτων....VI
Πρόλογος....1
Ευχαριστίες....3
Περίληψη....5
Abstract....7
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή....9
1.1. Ακραίες καιρικές μεταβολές – Φυσικοί κίνδυνοι....9
1.2. Επικινδυνότητα και επιδεκτικότητα των κατολισθήσεων....12
1.3. Ο μηχανισμός των κατολισθήσεων....15
1.4. Η εμφάνιση του φαινομένου σε εγχώριο και διεθνές επίπεδο....17
1.5. Μέτρα αντιμετώπισης κινδύνου έναντι κατολισθήσεων....19
1.6. Στόχος της Μεταπτυχιακής Διατριβής....22
Κεφάλαιο 2. Κινήσεις Γεωλογικών Μαζών....23
2.1. Το φαινόμενο των κατολισθήσεων....23
2.2. Τα κατολισθητικά αίτια....25
2.3. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατολίσθησης....27
2.4. Ταξινόμηση των κατολισθήσεων....29
2.5. Τύποι κατολισθητικών κινήσεων....31
2.5.1. Πτώσεις - Καταπτώσεις....31
2.5.2. Ανατροπές....32
2.5.3. Ολισθήσεις....33
2.5.4. Πλευρικές εξαπλώσεις....35
2.5.5. Ροές....36
2.5.6. Σύνθετες....39
2.6. Κατηγοριοποίηση κατολισθήσεων βάσει δραστηριότητας....40
2.7. Ταξινόμηση κατολισθήσεων συναρτήσει ταχύτητας....42

2.8. Κατολισθητικοί παράγοντες....44
2.9. Επιπτώσεις κατολισθήσεων & μέτρα αντιμετώπισης....47
Κεφάλαιο 3. Εργαλεία Ανάλυσης Δεδομένων....49
3.1. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων....49
3.2. Μετατροπή δεδομένων σε πληροφορίες....50
3.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών....51
3.3.1. Ορισμός και περιγραφή....51
3.3.2. Τα βασικά μέρη ενός GIS....53
3.3.3. Τα στάδια ανάπτυξης των πληροφοριών....55
3.3.4. Κυριότερες εφαρμογές ενός GIS....56
3.3.5. Πλεονεκτήματα της χρήσης των GIS....57
3.3.6. Μειονεκτήματα της χρήσης των GIS....58
3.3.7. Η εφαρμογή των GIS στις κατολισθήσεις....59
3.3.8. Η αναγκαιότητα χρήσης των GIS....61
3.4. Αρχές ζωνοποίησης κινδύνου έναντι κατολισθήσεων....63
3.5. Στάδια αξιολόγησης κατολισθητικής επικινδυνότητας....65
3.6. Μέθοδοι εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου....67
3.6.1. Ποιοτικές μέθοδοι....69
3.6.1.1. Γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου....69
3.6.1.2. Συνδυασμός ή υπέρθεση χαρτών βάρους....70
3.6.1.3. Λογικά αναλυτικά μοντέλα....71
3.6.2. Ποσοτικές μέθοδοι....73
3.6.2.1. Στατιστική ανάλυση....73
3.6.2.1.1. Ανάλυση δύο μεταβλητών....74
3.6.2.1.2. Ανάλυση πολλών μεταβλητών....75
3.6.2.2. Γεωτεχνικές & μηχανικές προσεγγίσεις....77
3.6.2.2.1. Ντετερμινιστική ανάλυση....77
3.6.2.2.2. Πιθανολογική προσέγγιση....79
3.6.2.3. Ανάλυση μέσω νευρωνικών δικτύων....80
3.7. Η ωφελιμότητα των εργαλείων ανάλυσης στις κατολισθήσεις....81

Κεφάλαιο 4. Διερεύνηση Περιοχής Μελέτης....83
4.1. Εισαγωγικά στοιχεία....83
4.2. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά....84
4.2.1. Υψόμετρο....87
4.2.2. Μορφολογικές κλίσεις....88
4.2.3. Προσανατολισμός των πρανών....90
4.3. Υδρομετεωρολογικό καθεστώς....92
4.3.1. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα....94
4.3.2. Βροχομετρικά δεδομένα....95
4.3.3. Θερμοκρασία αέρα....99
4.4. Γεωλογικές & υδρογεωλογικές συνθήκες....101
4.4.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής....101
4.4.2. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά σχηματισμών....103
4.4.3. Συχνότητα κατολισθήσεων βάσει λιθολογίας....106
4.4.4. Υδρογεωλογική συμπεριφορά σχηματισμών....107
4.5. Σεισμική δραστηριότητα....110
4.6. Χρήση - κάλυψη γης....112
4.7. Εδαφική διάβρωση....114
4.8. Μανδύας αποσάθρωσης....118
4.9. Κατολισθητικά χαρακτηριστικά Δήμου Αγράφων....121
Κεφάλαιο 5. Στάδιο Επεξεργασίας & Σχεδιασμού....123
5.1. Επισκόπηση κεφαλαίου....123
5.2. Μεθοδολογικό πλαίσιο....124
5.2.1. Διαδικασία λήψης αποφάσεων....124
5.2.2. Δομή των προβλημάτων απόφασης....125
5.2.3. Ο παράγοντας της πολυπλοκότητας....126
5.2.4. Πολυκριτηριακή ανάλυση....128
5.2.5. Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία....129
5.2.5.1. Βήματα ανάπτυξης μεθόδου....130
5.2.5.2. Πλεονεκτήματα χρήσης μεθόδου....132

5.3. Προσέγγιση κατολισθητικού κινδύνου....133
5.4. Επιλογή κατολισθητικών παραγόντων....134
5.5. Θεματικά επίπεδα πληροφοριών....137
5.5.1. Προετοιμασία των δεδομένων....137
5.5.2. Δημιουργία βάσης δεδομένων....140
5.5.3. Κανονικοποίηση των δεδομένων....141
5.5.4. Οργάνωση των γεωγραφικών στοιχείων....142
5.5.5. Μεταβολή των δεδομένων....143
5.6. Στατιστική επεξεργασία....144
5.7. Χωρική ανάλυση....146
5.8. Επικαιροποίηση των στοιχείων....148
Κεφάλαιο 6. Εφαρμογή της Μεθοδολογίας....149
6.1. Περιγραφή κεφαλαίου....149
6.2. Ακολουθούμενες διεργασίες....150
6.3. Δημιουργία υποβάθρων....151
6.3.1. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου....152
6.3.2. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά....154
6.3.3. Υδρολογικά στοιχεία....159
6.3.4 Σεισμοτεκτονικό καθεστώς....165
6.3.5. Χρήση & κάλυψη γης....168
6.3.6. Κατολισθητική βάση δεδομένων....172
6.4. Επικαιροποίηση & διερεύνηση των στοιχείων....174
6.5. Μοντέλα εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου....175
6.5.1. Πολυκριτηριακή ανάλυση με συντελεστές βάρους....175
6.5.2. Εφαρμογή αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας....178
6.5.3. Χρήση μεθόδων χωρίς τη συμμετοχή υδρογεωλογικών παραγόντων....180
Κεφάλαιο 7. Ανακεφαλαίωση & Συμπεράσματα....183
7.1. Σύνοψη της μεταπτυχιακής διατριβής....183
7.2. Παραγόμενα στοιχεία και συμπεράσματα....185
7.3. Θέματα για περαιτέρω έρευνα....188

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Κατηγοριοποιημένος πίνακας με ομαδοποίηση των φυσικών κινδύνων.....10
Πίνακας 2.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων βάσει υλικού και τύπου μετακίνησης.....30
Πίνακας 2.2 Ιεράρχηση των κατολισθητικών κινήσεων συναρτήσει της ταχύτητας.....43
Πίνακας 2.3 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω εδαφικών συνθηκών.....45
Πίνακας 2.4 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω γεωμορφολογικών διεργασιών.....46
Πίνακας 2.5 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω φυσικών διεργασιών.....46
Πίνακας 2.6 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω ανθρωπογενών διεργασιών.....46
Πίνακας 2.7 Μέτρα αντιμετώπισης και αποκατάστασης των κατολισθητικών γεγονότων.....48
Πίνακας 3.1 Κύρια στάδια ανάλυσης της κατολισθητικής επικινδυνότητας.....65
Πίνακας 4.1 Συχνότητα κατολισθήσεων βάσει της διεύθυνσης στρωμάτων 1967 - 2017.....90
Πίνακας 4.2 Κατανομή κατολισθήσεων συναρτήσει του μέσου ύψους βροχής 1967 - 2017.....96
Πίνακας 4.3 Μέσες μηνιαίες & μέσες ετήσιες θερμοκρασιακές τιμές περιόδου 2008 - 2017.....100
Πίνακας 4.4 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων βάσει λιθολογικών ενοτήτων.....106
Πίνακας 4.5 Οι μεγαλύτεροι σε ένταση σεισμοί εντός ορίων Νομού Ευρυτανίας.....111
Πίνακας 4.6 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων βάσει ανθρωπογενούς επίδρασης.....113
Πίνακας 4.7 Κατανομή τιμών των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων ανά υψόμετρο.....119
Πίνακας 4.8 Συχνότητα κατολισθήσεων βάσει πάχους μανδύα αποσάθρωσης 1967 - 2017.....120
Πίνακας 4.9 Συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων βάσει τύπου μετακίνησης 1967 – 2017.....122
Πίνακας 6.1 Σύνοψη των πιο πρόσφατων -έως το 2017- κατολισθητικών συμβάντων.....172
Πίνακας 6.2 Προσδιορισμός κατολισθητικών παραγόντων πολυκριτηριακής ανάλυσης.....176
Πίνακας 6.3 Συγκρίσεις ανά ζεύγη με βάση την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία.....178
Πίνακας 7.1 Παραγόμενα αποτελέσματα μοντέλων εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου.....185

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Περιστατικά έτους 2015 και σύγκρισή τους με την περίοδο 2005 - 2014.....11
Σχήμα 1.2 Οι τάσεις των φυσικών κινδύνων ανά κατηγορία με αριθμό συμβάντων.....11
Σχήμα 1.3 Γραφική αποτύπωση της σύνδεσης των συνιστωσών του φυσικού κινδύνου.....14
Σχήμα 1.4 Απαιτούμενες παράμετροι για τη δημιουργία μοντέλου κατολισθήσεων.....16
Σχήμα 1.5 Αποτύπωση της συχνότητας των κατολισθήσεων στην επικράτεια.....18
Σχήμα 2.1 Ιδεατό σχεδιάγραμμα σύνθετης μετακίνησης με τα επί μέρους χαρακτηριστικά.....27
Σχήμα 2.2 Απεικόνιση κατολισθητικής κίνησης τύπου πτώσης βράχου.....31
Σχήμα 2.3 Αναπαράσταση κίνησης τύπου ανατροπής βράχου.....32
Σχήμα 2.4 Σχηματική άποψη κατηγορίας κίνησης μεταθετικής ολίσθησης.....33
Σχήμα 2.5 Τύπος κατολίσθησης με σύνθετη επέκταση.....35
Σχήμα 2.6 Μορφή γεωλογικής αστοχίας τύπου λασποροής.....38
Σχήμα 2.7 Αναπαράσταση σύνθετης μετακίνησης με ολίσθηση ροής.....39
Σχήμα 2.8 Μεταβολή συντελεστού ασφαλείας ενός πρανούς συναρτήσει του χρόνου.....44
Σχήμα 3.1 Διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων με σκοπό την απόδοση πληροφοριών.....50
Σχήμα 3.2 Απεικόνιση θεματικών επιπέδων για την παραγωγή χάρτη κινδύνου.....52
Σχήμα 3.3 Τα βασικά μέρη ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.....54
Σχήμα 3.4 Ταξινόμηση μεθόδων προσδιορισμού του κατολισθητικού κινδύνου.....68
Σχήμα 3.5 Ακολουθούμενη διαδικασία ενός λογικού αναλυτικού μοντέλου.....72
Σχήμα 4.1 Γενική άποψη της ευρισκομένης θέσεως για την περιοχή έρευνας.....85
Σχήμα 4.2 Μορφολογική απεικόνιση της περιοχής έρευνας.....86
Σχήμα 4.3 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής μελέτης.....89
Σχήμα 4.4 Χάρτης προσανατολισμού των πρανών της περιοχής μελέτης.....91
Σχήμα 4.5 Μέσες μηνιαίες τιμές ύψους βροχής για την περίοδο 1967 - 2017.....96
Σχήμα 4.6 Χάρτης μέσου ετήσιου ύψους βροχοπτώσεων της περιοχής.....97
Σχήμα 4.7 Χάρτης προσδιορισμού των κλιματικών ζωνών για τον Δήμο Αγράφων.....98
Σχήμα 4.8 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα για την περίοδο 1967 - 2017.....100
Σχήμα 4.9 Χάρτης υδρογεωλογικής περατότητας σχηματισμών Δήμου Αγράφων.....109

Σχήμα 4.10 Χάρτης απεικόνισης της εδαφικής διάβρωσης του Δήμου Αγράφων.....117
Σχήμα 4.11 Ιστόγραμμα καταγραφής συμβάντων συναρτήσει του μανδύα αποσάθρωσης.....120
Σχήμα 5.1 Στάδια διαδικασίας για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων.....138
Σχήμα 5.2 Αναπαράσταση διανυσματικού μοντέλου αριστερά και ψηφιδωτού δεξιά.....139
Σχήμα 5.3 Χάρτης κατανομής συχνότητας κατολισθήσεων Ελλαδικού χώρου.....145
Σχήμα 5.4 Αποτύπωση κατολισθητικών γεγονότων περιόδου 1917 - 2017 σε ιστόγραμμα.....145
Σχήμα 6.1 Συνοπτική παράθεση επιπέδων που απορρέουν από τη χωρική ανάλυση.....153
Σχήμα 6.2 Τεχνικογεωλογικός χάρτης της εξεταζόμενης περιοχής του Δήμου Αγράφων.....155
Σχήμα 6.3 Χάρτης λιθολογικών ενοτήτων του Δήμου Αγράφων.....156
Σχήμα 6.4 Χάρτης ομαδοποιημένων σχηματισμών του Δήμου Αγράφων.....157
Σχήμα 6.5 Χάρτης απόστασης από τα τεκτονικά στοιχεία του Δήμου Αγράφων.....158
Σχήμα 6.6 Χάρτης υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης.....160
Σχήμα 6.7 Χάρτης λεκανών απορροής 3ης τάξης για την περιοχή μελέτης.....161
Σχήμα 6.8 Χάρτης λεκανών απορροής 4ης τάξης για την περιοχή μελέτης.....162
Σχήμα 6.9 Χάρτης λεκανών απορροής 5ης τάξης για την περιοχή μελέτης.....163
Σχήμα 6.10 Χάρτης λεκανών απορροής 6ης τάξης για την περιοχή μελέτης.....164
Σχήμα 6.11 Χάρτης κατανομής των σεισμικών επικέντρων στον Ελλαδικό χώρο.....166
Σχήμα 6.12 Σεισμοτεκτονικός χάρτης με επίκεντρα σεισμών για τον Δήμο Αγράφων.....167
Σχήμα 6.13 Χάρτης χρήσεων & κάλυψης γης του Δήμου Αγράφων.....169
Σχήμα 6.14 Χάρτης ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση Δήμου Αγράφων.....170
Σχήμα 6.15 Χάρτης βάθους του εδάφους για τον Δήμο Αγράφων.....171
Σχήμα 6.16 Χάρτης απεικόνισης κατολισθήσεων για τον Δήμο Αγράφων.....173
Σχήμα 6.17 Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου βάσει συντελεστών βάρους.....177
Σχήμα 6.18 Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου με χρήση AHP.....179
Σχήμα 6.19 Εκτίμηση κινδύνου χωρίς υδρογεωλογικούς παράγοντες με συντελεστές βάρους.....181
Σχήμα 6.20 Εκτίμηση κινδύνου χωρίς υδρογεωλογικούς παράγοντες με χρήση AHP.....182
Σχήμα 7.1 Παραγόμενοι χάρτες κατολισθητικού κινδύνου με υπέρθεση θέσεων ιστορικού.....187

[κενή για λόγους εκτύπωσης]

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη προσδιορισμού των φυσικών κινδύνων και δυνητικών καταστροφών, με σκοπό την έγκαιρη πρόληψη και τον μετριασμό τους, είναι τα τελευταία χρόνια "επιβεβλημένη" με κάποιον αδιόρατο τρόπο αφού οι σύγχρονες κοινωνίες πλήττονται με τρόπο βάναυσο και ειδεχθή από ακραία φυσικά φαινόμενα. Αδιαμφισβήτητα, το βάρος της εν λόγω «ευθύνης» βαραίνει πρωτίστως τους άμεσα συσχετιζόμενους ερευνητές, ωστόσο μερίδιο αυτής κατέχει και η ευρύτερη επιστημονική κοινότητα καθώς και ο κάθε πολίτης ξεχωριστά στο μέτρο που του αναλογεί, μέχρις όπου δύναται να προσφέρει την συμβολή του.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία γίνεται απόπειρα στην επίτευξη ερμήνευσης και αποκρυπτογράφησης των κατολισθητικών κινήσεων, αφενός μεν ως προς την γενεσιουργό τους αιτία αφετέρου δε ως προς τους άμεσα ή έμμεσα εμπλεκόμενους παράγοντες που δρουν είτε συνδυαστικά είτε μεμονωμένα, επιφέροντας την «πυροδότηση» ήτοι εκδήλωση τέτοιων φαινομένων. Κατά συνέπεια βασική προϋπόθεση συνιστά η εμπεριστατωμένη μελέτη και η πλήρης κατανόηση της διαδικασίας του μηχανισμού των κατολισθήσεων, απαιτώντας ταυτόχρονα εξειδικευμένη γεωλογική γνώση της υπό εξέταση περιοχής και συγκεκριμένα εκμάθηση των ιδιοτήτων των πετρωμάτων και των διεργασιών που εκτελούνται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς έως ότου τελικά εκδηλωθεί γεωλογική αστοχία.

Δεδομένου του γεγονότος ότι οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα σύνθετο και πολυμεταβλητό φαινόμενο πραγματοποιείται μια αρχική προσέγγιση του θέματος, η οποία όμως είναι ικανή ώστε να ενσωματώσει τις λέξεις "αβεβαιότητα" και "ασάφεια" στην εξέταση του μείζονος αυτού ζητήματος το οποίο επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, με απώλειες ή και καταστροφές. Έτσι, έχοντας επίγνωση της περιεχόμενης αβεβαιότητας του εν λόγω φαινομένου, γίνεται προσπάθεια του περιορισμού της, ή και εξάλειψή της εφόσον αυτό μπορεί να κατορθωθεί. Επιπρόσθετα, ο επανέλεγχος των διαδικασιών που ακολουθούνται σε όλη τη διάρκεια των σταδίων πρόληψης και εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου συγκροτεί απαραίτητο στάδιο στη συνολικότερη διαχείριση της ακραίας αυτής φυσικής καταστροφής.

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η διπλωματική εργασία φέρει τίτλο: "Εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης για την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου με έμφαση στον ρόλο των υδρογεωλογικών παραγόντων. Η περίπτωση του Δήμου Αγράφων". Εντούτοις, για λόγους συντομίας και για το μέγεθος των περιθωρίων στο πάνω μέρος των σελίδων (κεφαλίδα), ο τίτλος αυτής αποδίδεται πιο συνοπτικός.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο των γεωεπιστημών, συνίσταται ως επιτακτική υποχρέωση μα και συνάμα ως αδήριτη ανάγκη, η συνεισφορά της γεωλογικής γνώσης σε ένα πολυδιάστατο φάσμα από εφαρμογές. Τέτοιες μεταξύ άλλων μπορεί για παράδειγμα να είναι η διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος όπου συνεργάζονται με επιστήμες οι οποίες σχετίζονται με την πρόληψη και διαχείριση, καθώς επίσης η εκτίμηση και προστασία από τους φυσικούς κίνδυνους και η πρόβλεψη με αξιοποίηση των πόρων.

Συν τοις άλλοις αξιοσημείωτο καθίσταται το γεγονός ότι το έδαφος (στο οποίο κατά το παρελθόν δεν αποδίδονταν η δέουσα σημασία), στις μέρες μας αποτελεί μία από τις βασικότερες συνιστώσες για το σχεδιασμό και την εκτέλεση ενός τεχνικού έργου. Συνεπώς, ο ρόλος της γεωλογίας έχει αποκτήσει για πολλά έργα κεντρικό ρόλο. Με αυτόν τον συλλογισμό, και η γεωλογία ως επιστήμη από την πλευρά της «αναγκάζεται» να υιοθετήσει και να συμπεριλάβει στην καθημερινή της πρακτική, σύγχρονες επιστημονικές μεθόδους με το συνδυασμό των οποίων παρέχεται πληθώρα δυνατοτήτων κι επιλογών.

Αναλυτικότερα, οι νέες τεχνολογίες παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας, συνδυασμού ή ακόμη και συσχέτισης για μεγάλο όγκο γεωλογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων τα οποία έχουν γεωγραφική αναφορά. Ιδανικό εργαλείο για τέτοιες εργασίες απαρτίζουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems), όπου βρίσκουν ευρεία χρήση και εφαρμογή επί της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας με στόχο την επίτευξη των προαναφερθέντων διαδικασιών.

Επιπλέον, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) παρέχουν βοήθεια για την επεξεργασία, τη σύνθεση και ανάλυση των πληροφοριών από τον περιβάλλοντα χώρο, για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων όπως είναι και τα κατολισθητικά φαινόμενα, και για τη λήψη των σχετικών αποφάσεων.

Τέλος σημειώνεται ότι μεταξύ άλλων η ανάπτυξη των εν λόγω συστημάτων προσφέρει την ικανότητα απασχόλησης με μεγαλύτερη ευκολία και ακρίβεια σε θεμελιώδη θέματα, όπως άλλωστε των χωρικών συσχετίσεων, της αξιοποίησης των χαρτογραφικών πληροφοριών και επιπρόσθετα της συμβολής και του ρόλου που ενέχουν οι υδρογεωλογικοί παράγοντες εν συνόλω στις κατολισθήσεις, αφενός μεν ως προς την ανάδειξη των θέσεων εκείνων οι οποίες κρίνονται «επιδεικτικότερες» στις κατολισθητικές κινήσεις, αφετέρου δε ως προς τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συνεισφέρουν στην εξέλιξη των διεργασιών ενεργοποιώντας τελικώς τον κατολισθητικό μηχανισμό για την υπό εξέταση περιοχή η οποία στην προκειμένη περίπτωση αφορά την έκταση του Δήμου Αγράφων του Νομού Ευρυτανίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αισθάνομαι την αδήριτη ανάγκη να συγγράψω δύο σύντομες κουβέντες εκφράζοντας έτσι την απεριόριστη εκτίμησή μου σε όλους αυτούς οι οποίοι άλλος λιγότερο και άλλος περισσότερο συνέβαλαν ο καθένας με την στάση του και τον τρόπο του στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διετούς πορείας μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Νιώθω πραγματικά πολύ τυχερός που μου δόθηκε αυτή η ευκαιρία και συμμετείχα στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων" καθώς μέσω αυτού κατάφερα αφενός μεν να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου, αφετέρου δε να συναντήσω και να γνωρίσω πολλούς σπουδαίους και σημαντικούς καθηγητές, μα πάνω απ' όλα αληθινούς ανθρώπους.

Η δουλειά που γίνεται στο μεταπτυχιακό είναι ασύλληπτα καλή και δεν δύναται επ' ουδενί τρόπω να περιγραφεί σε ένα κείμενο, αφού πρόκειται για βιώματα τα οποία δεν μπορούν να αποτυπωθούν σε μία λευκή κόλλα, προσφέροντας σε όποιον το ζήσει πολλαπλές απολαβές και πλούσια γνωσιακά οφέλη. Θεωρώ πως ασκείται ένα θεάρεστο λειτούργημα και με την ολοκλήρωση ενός τέτοιου προγράμματος επιτυγχάνεται κάτι πολύ περισσότερο από την απόκτηση ενός μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης.

Εν πρώτοις θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους μεταπτυχιακούς συμφοιτητές & συμφοιτήτριές μου για την άριστη συνεργασία που συνάψαμε κατά την ακαδημαϊκή χρονιά 2018-2019, έτος όπου είχαμε καθημερινά μαθήματα περνώντας τρίωρα ή ακόμη και εξάωρα παρέα, συμπορευόμενοι με αξιοπρέπεια στις δυσκολίες των μαθημάτων και στις υψηλές απαιτήσεις των εργασιών είτε ατομικές είτε ομαδικές επιδεικνύοντας απαράμιλλη συναδελφικότητα, παραμερίζοντας οποιουδήποτε είδους μικροπρέπειες ή προσωπικά συμφέροντα, εξυμνώντας το πνεύμα της ομαδικότητας, έχοντας μια εξαίσια σύμπλευση.

Ακολούθως ευχαριστώ από καρδιάς τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Νικολόπουλο Διονύση καθώς πέραν των αρμοδιοτήτων του στη διδασκαλία των μαθημάτων "Διαχείρισης Υδατικών Πόρων" και "Αστικής Υδρολογίας", επέδειξε υπέρ του δέοντος ζήλο και προθυμία για να παρέχει κατευθυντήριες γραμμές και πολύτιμες συμβουλές σε κάθε φοιτητή ανεξαιρέτως, επιθυμώντας με τον τρόπο αυτό την πλήρη εμπέδωση (κατανόηση) των γνώσεων που ήθελε διακαώς και προς τιμήν του να μεταλαμπαδεύσει, επιτελώντας ουσιαστικά σπουδαίο έργο χωρίς να είναι ποτέ αρνητικός σε οποιαδήποτε διευκρίνιση.

Ιδιαίτερη ένδειξη ευγνωμοσύνης θα ήθελα να απευθύνω στον σύμβουλο σπουδών που μου ορίστηκε από την εισαγωγή μου στο ΔΠΜΣ κύριο Μακρόπουλο Χρήστο, αφού τόσο οι υποδείξεις του σχετικά με τις δηλώσεις των μαθημάτων παρακολούθησης του χειμερινού και εαρινού εξαμήνου αποδείχθηκαν εύστοχες, όσο κι η διδασκαλία στις παραδόσεις-διαλέξεις του, απέδωσαν κάτι παραπάνω από καρπούς.

Επιπρόσθετα ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους κύριους Ευστρατιάδη Ανδρέα και Μαμάση Νικόλαο καθώς παρά τον αναμφίβολα υπέρογκο φόρτο των ακαδημαϊκών τους καθηκόντων, σταθήκαν αρωγοί στην προσπάθειά μου, παρέχοντας την ανεκτίμητη βοήθειά τους όποτε αυτό χρειάστηκε, κάνοντάς με να αισθάνομαι μια ασύγκριτα ανυπέρβλητη οικειότητα που όμοια της δεν έχω συναντήσει στη ζωή μου.

Ευχαριστώ πολύ επίσης την κυρία Βασιλείου Ελένη η οποία με καθοδήγησε με ξεχωριστό τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής, επισημαίνοντάς μου την ορθότητα στον τρόπο συγγραφής των κειμένων της παρούσης εργασίας και επαληθεύοντας παράλληλα τα δεδομένα ανάλυσης και επεξεργασίας σε λογισμικό περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

Συν τοις άλλοις, αισθάνομαι ως επιτακτική υποχρέωση, να μνημονεύσω τον κύριο Μπαλτά Ευάγγελο μιας και οι πολύωρες διδασκαλίες του σε πολλά μεταπτυχιακά μαθήματα έχουν χαραχθεί με τρόπο ανεξίτηλο στη μνήμη μου και μόνο ευχάριστες αναμνήσεις έχω αποκομίσει από τον εν λόγω καθηγητή.

Ξεχωριστή μνεία με ιδιαίτερο σεβασμό και ταπεινότητα θα ήθελα να εκφράσω στον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, ομότιμο καθηγητή κύριο Κουμαντάκη Ιωάννη, χωρίς την συμβολή του οποίου η διατριβή αυτή δεν θα είχε τελεσφορήσει με αυτή την εποικοδομητική «αίγλη». Η διδασκαλία του αποτελεί μία καινοτόμο μέθοδο στην μετάδοση πλούσιων γνώσεων με πολλές φορές ευφάνταστο πραγματικά τρόπο, προάγοντας προ πάντων την παιδεία κι έχοντας πάντοτε μια ιδιαίτερη σχέση με τον χρόνο, διεγείροντας το ενδιαφέρον του ακροατή, ταξιδεύοντάς τον με μια μοναδικότητα σε μαθησιακά μονοπάτια. Η ηρεμία κι η γαλήνη που εκπέμπει, συνδυασμένη με τη σωφροσύνη την οποία μεταφέρει, είναι μόνο κάποια από τα χαρακτηριστικά ενός πραγματικού δάσκαλου όπως είναι ο ίδιος.

Τέλος, ευγνωμονώ από τα βάθη της ψυχής μου την οικογένειά μου, και ιδίως την μητέρα μου Γρηγορία και τον πατέρα μου Κωνσταντίνο, οι οποίοι συνιστούν φωτεινά, υπέρλαμπρα παραδείγματα της ζωής μου, αληθινά και υποδειγματικά πρότυπα, ενώ ταυτόχρονα αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο του βίου μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εποχές κατά τις οποίες ο άνθρωπος συνυπήρχε αρμονικά με την φύση, σεβόμενος το περιβάλλον, διατηρώντας κάποιες "απαιτούμενες" ισορροπίες, σκεπτόμενος ορθολογικά προς αυτή και με πνεύμα αειφορίας, έχουν δυστυχώς παρέλθει ανεπιστρεπτί. Τις τελευταίες δεκαετίες οι εξελίξεις «τρέχουν» και τα γεγονότα μας προσπερνούν με τέτοιο ρυθμό που φαντάζει αδύνατο το γεγονός να μπορέσουμε να παρέμβουμε σε αυτές, παραμένοντας θεατές των καταστροφικών γεγονότων, απόρροια των οποίων συνιστά η ανθρώπινη παρέμβαση εν είδει βιασμού και ενορχηστρωτής αυτών δείχνοντας έτσι το μένος και τον θυμό της είναι η ίδια η φύση η οποία στην προσπάθειά της να αντιδράσει, ξεσπά ανεξέλεγκτα.

Αναμφίβολα, η όλο και πιο συχνή εκδήλωση των ακραίων φυσικών φαινομένων με ανυπολόγιστες για τον άνθρωπο συνέπειες, συνιστά μια πραγματικότητα με την οποία ερχόμαστε πλέον όλοι αντιμέτωποι και την οποία δεν δύναται να παραβλέψουμε τόσο ως προς την εντατικοποίησή της όσο και ως προς την γενικότερη έκταση που τα φαινόμενα αυτά λαμβάνουν. Συγκεκριμένα, η εμφάνιση των γεωλογικών μετακινήσεων και ιδιαίτερα των κατολισθητικών γεγονότων, αποτελεί έναν κίνδυνο ο οποίος συναντά δυσκολίες αφενός μεν ως προς τον χωρικό και χρονικό προσδιορισμό του, αφετέρου δε ως προς την ποσοτική του προσέγγιση. Συνεπώς, τα τρία (3) εύλογα και ταυτόχρονα τα πιο ουσιαστικά ερωτήματα που γεννώνται από την πρώτη κιόλας προσέγγιση του κατολισθητικού κινδύνου, είναι το πού, το πότε και το πόσο. Τρία τόσο απλά και μονολεκτικά ερωτήματα τα οποία όμως παράλληλα έχουν «απύθμενο» περιεχόμενο και πληθώρα μικρότερων ερωτημάτων όπου ομολογουμένως εμπεριέχεται αβεβαιότητα.

Καθώς λοιπόν το φαινόμενο των κατολισθήσεων ενέχει πολυπλοκότητα εις αμφότερα τα στοιχεία του μηχανισμού ενεργοποίησης και προσδιορισμού εκτίμησής αυτών, επιτάσσεται η ενδελεχής διερεύνηση τους με σκοπό την κατά το δυνατόν ορθότερη προσέγγιση του φαινομένου, αποκρυπτογραφώντας έτσι όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες που επιδρούν συνδυαστικά ή και μεμονωμένα για να επέλθει τελικώς η γεωλογική αστοχία και να σημειωθεί η μετακίνηση της μάζας που αναπόφευκτα ολισθαίνει. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι κάθε ένα κατολισθητικό συμβάν αν και είναι δυνατόν να παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με άλλα γεγονότα αστοχιών, ωστόσο δεν παύει να αποτελεί ξεχωριστό φαινόμενο με μοναδικές "ιδιαιτερότητες", διαφοροποιώντας το έτσι άρδην από τα υπόλοιπα συμβάντα αφού κάθε περιοχή (θέση) όπου το εκάστοτε γεγονός εκδηλώνεται έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία, στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία επιχειρείται η λεπτομερής εξέταση των γεωλογικών κινήσεων ή και αστοχιών με έμφαση στον ρόλο και την συμβολή των υδρογεωλογικών παραγόντων στην εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου. Μελετώντας την περιοχή του Δήμου Αγράφων Νομού Ευρυτανίας, διαπιστώνεται ότι η υδρογεωλογία της περιοχής συνιστά καθοριστικής σημασίας παράγοντα στην εκδήλωση κατολισθητικών γεγονότων κι ότι ενδεχομένως από μόνη της αποτελεί ξεχωριστό "κεφάλαιο" στον μηχανισμό των κατολισθήσεων καθώς η «βαρυτική» υπόσταση που φαίνεται να αποδίδει στο φαινόμενο είναι μείζονος σπουδαιότητας.

Για την υλοποίηση εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου χρησιμοποιείται το λογισμικό περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) με την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης και την επιλογή των παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις με τα βάρη να αποδίδονται κατά την κρίση του ερευνητή η οποία ουσιαστικά προέρχεται από βιβλιογραφική μελέτη όπως επίσης κι από την ανάγνωση τεχνικογεωλογικών εκθέσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών που αφορούν την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας και καλύπτουν μια μακρά χρονικά περίοδο.

Επιπλέον, επισημαίνεται ότι από παλαιότερες καταγραφές και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην εν λόγω περιοχή του Νομού Ευρυτανίας, και με δεδομένα τα οποία αντλούνται από το ΙΓΜΕ, δημιουργείται μία βάση δεδομένων που αντανακλά τα κατολισθητικά συμβάντα που έχουν λάβει χώρα. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται στατιστικώς με σκοπό να «αναδειχθούν» οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν τα κατολισθητικά φαινόμενα έτι περαιτέρω και να αποδοθούν οι συντελεστές βάρους.

Αναφορικά με την ανάπτυξη των κεφαλαίων της παρούσης διπλωματικής διατριβής επιτυγχάνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην γίνεται κουραστικό στον αναγνώστη χρησιμοποιώντας δυσνόητες ορολογίες, αλλά να αποτελεί ένα μικρό «εφαλτήριο» στην μύηση πάσα ενδιαφερομένου και εν δυνάμει ερευνητή στις επιστήμες που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις και του ευρύτερου φάσματος των γεωεπιστημών. Αρχικά πραγματοποιείται εισαγωγή στους φυσικούς κινδύνους που δυνητικά μπορεί να μετατραπούν σε καταστροφές ενώ ξεχωριστή μνεία γίνεται στον κίνδυνο κατολισθήσεων. Εν συνεχεία κατορθώνεται μια πιο ολιστική προσέγγιση του φαινομένου καθιστώντας σαφή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης και τις διάφορες ταξινομήσεις της. Ακολούθως επιτυγχάνεται μια εκτενής περιγραφή των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την "τελεσφόρηση" της εργασίας, ενώ έπειτα ακολουθεί η διερεύνηση της υπό εξέταση περιοχής και κατόπιν η μεθοδολογία και τα προκύπτοντα αποτελέσματα.

ABSTRACT

The times when man coexisted in harmoniously with nature, while respecting the environment and maintaining some "necessary" balances, thinking rationally and in a spirit of sustainability, have unfortunately come to an end. Over the last few decades developments have been "running" and events have taken us at such a rate that it seems impossible for us to be able to intervene in to them, remaining as spectators of the catastrophic events, fact that obviously consists the result of human intervention (equals as a rape), while orchestrator of them thus demonstrating its rage and anger is the very nature which in its attempt to react erupts in uncontrollable way.

There is no doubt that the ever more frequent manifestation of extreme natural phenomena with incalculable human consequences is a reality that we are now all confronted with and which we cannot ignore in both terms of its intensification and of the overall extent to which these phenomena are taking place. In particular, the emergence of geological movements, and especially of landslides, constitutes a risk which is difficult to determine both in a spatial manner and time identification and to assess its quantitative approach. Therefore, three (3) reasonable and at the same time the most substantive questions arising from the very first approach to landslide risk are where, when and how much. Three such simple and one-word questions which at the same time have a "deep" content and multitude of smaller questions which admittedly contain uncertainty.

As the phenomenon of landslides is complex in both components of the mechanism for activating and determining them, it is necessary to investigate landslides thoroughly with a view to taking the best possible approach to the phenomenon, thus deciphering all the factors involved which act in combination or individually, bringing about ultimately geological failure and consequently the movement of the mass which inevitably slides. At this point it is worth noting out that each landslide event may have many similarities with other events of failures, but it is nevertheless a separate phenomenon with unique "specificities", differentiating it accordingly from the other events since each region (location) where the event occurs has plainly different characteristics.

Thus, taking into account all the above-mentioned elements, this post-graduate diplomatic work attempts to examine in detail geological movements and/or failures with an emphasis on the role and contribution of hydrogeological factors to the assessment of natural hazard (landslide risk). Studying the area of Agrafa Municipality in Evrytania Prefecture, it is found that hydrogeology in the region is a key factor in the manifestation of geological movements and that it may in itself constitute a separate "chapter", examining the landslide mechanism as the "gravitational" substance which appears to be attributable to the phenomenon is of major and huge importance.

For the implementation of the landslide risk assessment the Geographic Information Systems (GIS) software is used by applying the method of multicriteria analysis and by selecting factors that affecting landslides with the burden to be attributed at the discretion of the researcher, which actually comes from a bibliographical study as well as from the reading of some technical geological reports found by the Institute of Geology & Mineral Exploration (IGME) concerning the wider area of Evrytania Prefecture which essentially covering a long time research period.

Moreover, it is noted that from past records and surveys carried out in this area of Evrytania Prefecture and with data derived from the IGME, a database is created reflecting the landslide events that took place. These data have been processed statistically with a view to "highlighting" the main parameters affecting the landslides phenomena further and attributing the weights. As regards the development of the chapters of this diplomatic thesis, it is achieved in such a way that neither is not tiring to the reader nor to use obscure terminology, but rather to be a small "springboard" in the initiation of any interested and potential researcher in landslides and in the wider spectrum of geosciences. Originally, there is an introduction to the natural risks that may potentially be converted into natural disasters and a separate mention is made to the risk of landslides. A more holistic approach is then accomplished by making clear the geometrical characteristics of a landslide and its various classifications. A comprehensive description of the tools used for the "performance" of the work is next achieved, followed by the exploration of the area under consideration and afterwards by the followed methodology and results obtained.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ακραίες καιρικές μεταβολές – Φυσικοί κίνδυνοι

Αδιαμφισβήτητα, οι αλόγιστες ανθρώπινες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες έχουν ως απαρχή τη βιομηχανική επανάσταση εξελισσόμενες από τότε και στο εξής ανεξέλεγκτα με αλματώδεις ρυθμούς, έχουν διαταράξει άρδην τις πάλαι ποτέ εναρμονισμένες ισορροπίες μεταξύ φύσης και ατόμου με αποτέλεσμα αμφότερες οι πλευρές να μαίνονται η μία κατά της άλλης. Πρακτικά, αυτό συνεπάγεται ότι από τη στιγμή που οι ανθρώπινες συμπεριφορές και δράσεις εφαρμόζονται με ανορθόδοξο τρόπο χωρίς σεβασμό και δίχως επ' ουδενί λόγω να εμπεριέχεται στις δράσεις αυτές η έννοια της αειφορίας, ο δέκτης αυτής της ανηλεούς επιθέσεως που δεν είναι άλλος από τη μητέρα φύση, είναι φυσικό να απαντά κατ' αυτόν τον τρόπο, προσπαθώντας αν μη τι άλλο να αμυνθεί και ξεσπά αναλόγως.

Οι ανθρώπινες δράσεις στη φύση φαντάζουν περισσότερο με αφαίμαξη λειτουργώντας επιβαρυντικά στην ήδη διαταραγμένη και ασταθή περιβαλλοντική ισορροπία, ενώ ο ίδιος ο άνθρωπος συνηγορεί με την πλέον αποκρουστικότερη στάση έναντι σε κάτι που θα όφειλε να διαφυλάττει ως κόρη οφθαλμού δημιουργώντας έτσι μια χαοτική κατάσταση κυρίως για τον ίδιο του τον εαυτό, καθώς απόρροια των ενεργειών του συνιστά το άνοιγμα του ρήγματος μεταξύ του ατόμου και του περιβάλλοντος χάνοντας ουσιαστικά την επαφή με τις ρίζες του και με την κατάσταση αυτή να φαντάζει πλέον μη αναστρέψιμη.

Σε αυτό το πολύπλοκο, δαιδαλώδες, ποικιλόμορφο, αλλά και συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον υφίσταται μια αδιάκοπη εξέλιξη η οποία καταγράφεται είτε ακολουθώντας μια προβλέψιμη (και σε ορισμένες των περιπτώσεων επαναλαμβανόμενη) πορεία φυσικών διεργασιών, είτε με την εκδήλωση απρόβλεπτων και συχνά ανεξέλεγκτων ακραίων φυσικών φαινομένων. Ακραία φυσικά φαινόμενα όπου δυνητικά εξελίσσονται σε φυσικές καταστροφές, όπως είναι για παράδειγμα οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες, καθώς και οι γεωλογικές αστοχίες (κατολισθήσεις), η εκδήλωση των οποίων φαινομένων οφείλεται σε πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυσικών κυρίως διεργασιών, οι οποίες συμβαίνουν στη λιθόσφαιρα, στην υδρόσφαιρα όπως επίσης και στην ατμόσφαιρα της Γης αντιστοίχως.

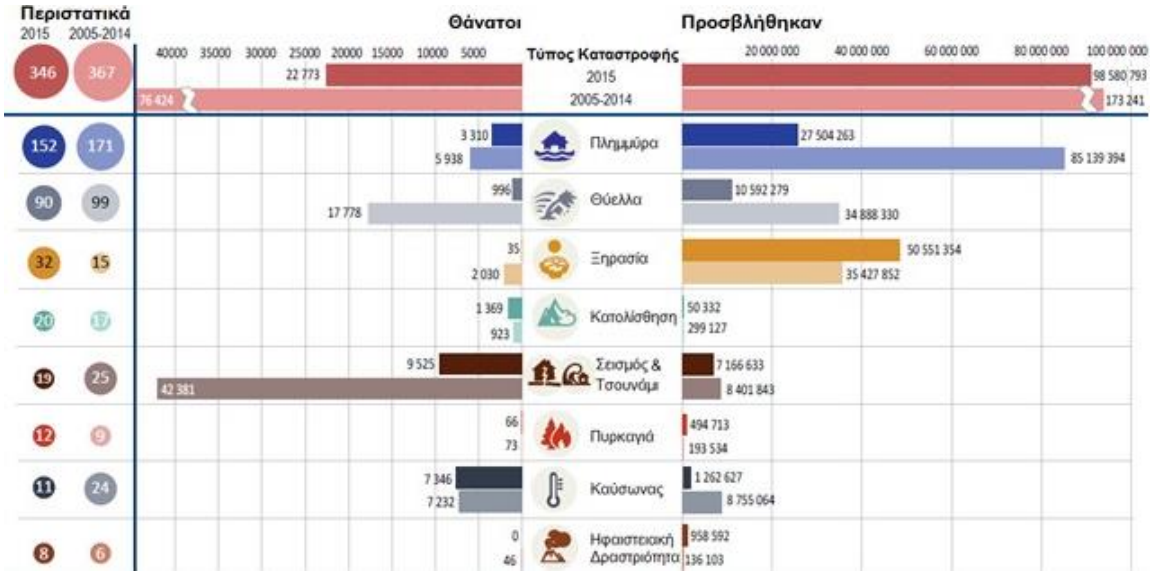
Έτσι, για να αποδοθεί ο χαρακτηρισμός σε ένα φυσικό φαινόμενο ως «ακραίο», θα πρέπει το εν λόγω φαινόμενο να διαφοροποιείται είτε από την ένταση του, είτε από τη διάρκεια του, είτε ακόμη και από τη συχνότητα επανεμφάνισης του. Η συσχέτιση ανάμεσα σε αυτά τα τρία (3) χαρακτηριστικά, ήτοι της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητας, συνιστά την διαφορετικότητα και μοναδικότητα του κάθε φαινομένου και ταυτόχρονα αποτελεί την παράμετρο εκείνη που δύναται να χαρακτηρίσει ένα φυσικό φαινόμενο στο αν είναι ακραίο ή όχι, ενώ παράλληλα μέσω των προκληθέντων ζημιών και απωλειών μπορεί να προσδιοριστεί η έκταση και το μέγεθος της φυσικής καταστροφής εν είδει απολογισμού.

Η κατηγοριοποίηση τους είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους ανάλογα κάθε φορά με την προσεγγιστική ματιά του ερευνητή, με την συνηθέστερη ωστόσο ομαδοποίηση τους να γίνεται βάσει των επιπτώσεων που αντανακλούν στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Μια τυπολογική ταξινόμηση των φυσικών κινδύνων όπως αυτή άλλωστε παρουσιάζεται από την οργάνωση της Παγκόσμιας Βάσης Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών (EM-DAT) και διαχωρίζονται σε έξι (6) κατηγορίες, έχει ως εξής: Γεωφυσικοί, Υδρολογικοί, Μετεωρολογικοί, Κλιματολογικοί, Βιολογικοί και Πρόσθετοι Επίγειοι.

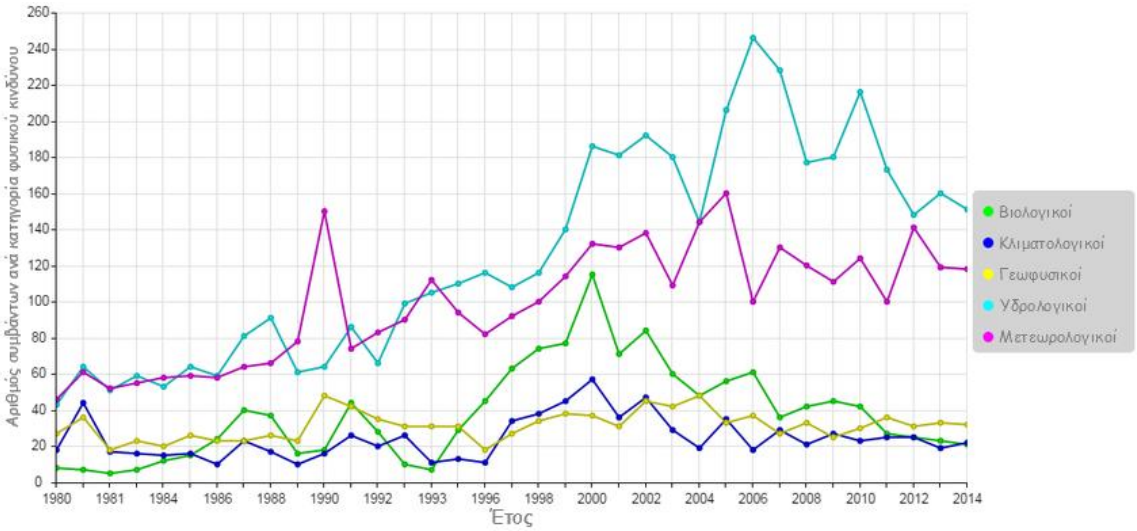
Ανάμεσα στους γεωφυσικούς και τους υδρολογικούς κινδύνους συγκαταλέγονται φαινόμενα όπως είναι η σεισμική δραστηριότητα, τα πλημμυρικά γεγονότα, οι γεωλογικές αστοχίες, καθώς επίσης και οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Στον **Πίνακα 1.1** που παρουσιάζεται στη συνέχεια του κειμένου, γίνεται συμπτυγμένη απεικόνιση ομαδοποίησης των προαναφερθέντων κατηγοριών των φυσικών κινδύνων.

Πίνακας 1.1 Κατηγοριοποιημένος πίνακας με ομαδοποίηση των φυσικών κινδύνων (EM-DAT, 2014)

Σύμφωνα με δημοσιοποιημένα στοιχεία του γραφείου Ηνωμένων Εθνών για τη μείωση κινδύνου από φυσικές καταστροφές (UNISDR), και της Παγκόσμιας Βάσης Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών για το έτος 2015, έχουν επίσημα καταγραφεί 346 φυσικές καταστροφές με 22.773 ανθρώπινες απώλειες με άμεση επιρροή στη διαβίωση άλλων 98,6 εκατομμυρίων ανθρώπων, ενώ προκλήθηκαν ζημίες στην οικονομία συνολικού ύψους 66,5 $ δισεκατομμύρια δολάρια (EM-DAT, 2015). Στο **Σχήμα 1.1** που ακολουθεί, αντανακλώνται τα περιστατικά των φυσικών καταστροφών για το έτος 2015 και γίνεται σύγκριση αυτών με τον μέσο όρο των συμβάντων της περιόδου 2005 - 2014, ενώ στο **Σχήμα 1.2** αποδίδεται σε ιστόγραμμα η τάση των φυσικών κινδύνων ανά κατηγορία, από το 1980 έως το 2014.



Σχήμα 1.1 Περιστατικά έτους 2015 και σύγκρισή τους με την περιόδο 2005 – 2014 (EM-DAT, 2015)



Σχήμα 1.2 Οι τάσεις των φυσικών κινδύνων ανά κατηγορία με αριθμό συμβάντων (EM-DAT, 2015)

1.2. Επικινδυνότητα και επιδεκτικότητα των κατολισθήσεων

Η κατολισθητική επικινδυνότητα σε μια περιοχή συνιστά μείζονος σημασίας παράμετρο στη συνολική εκτίμηση της γεωμορφολογικής και εδαφολογικής σταθερότητάς της. Άλλωστε, για αυτόν τον λόγο, εκπονούνται αντίστοιχες μελέτες (κατολισθητικής επικινδυνότητας) τόσο σε περιοχές πολεοδομικής & βιομηχανικής ανάπτυξης όσο και σε περιοχές κατασκευής τεχνικών έργων με στόχο τη διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής, των περιουσιών, αλλά και των έργων από τον συγκεκριμένο φυσικό κίνδυνο.

Η επικινδυνότητα των κατολισθήσεων, όπως ορίζεται μέσω του κινδύνου, εκφράζει την πιθανότητα εμφάνισης -ή και επανεμφάνισης- του φαινομένου για δεδομένη χρονική στιγμή και για συγκεκριμένη περιοχή, αποδίδοντας έτσι την χωροχρονική πιθανότητα, η οποία μετουσιώνεται σε πολύτιμη γνώση (Varnes, 1984). Αρχικά, σε ότι αφορά τη χωρική πιθανότητα, συνιστά συνάρτηση των συντρεχόντων κατανεμημένων παραγόντων χώρου, όπως της τοπογραφίας, των υλικών και των χρήσεων γης, ενώ αναφορικά με την χρονική πιθανότητα αυτή συναρτάται με τον κύκλο επαναληψιμότητας των κρίσιμων παραγόντων ενεργοποίησης όπως η σεισμικότητα και το ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μιας περιοχής. Ειδικότερα δε, επισημαίνεται ότι η κατολισθητική επικινδυνότητα παρουσιάζεται σε χάρτες και η χωρική διασπορά της εμφανίζεται με κατηγορίες ζωνοποίησης του κινδύνου, ενώ σύμφωνα με τον Γάλλο Καθηγητή J.C. Flageollet (1996) οφείλεται κάθε φορά να παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τον προσδιορισμό του μεγέθους, της ταχύτητας, του τύπου, αλλά και της ισχύος του κινδύνου.

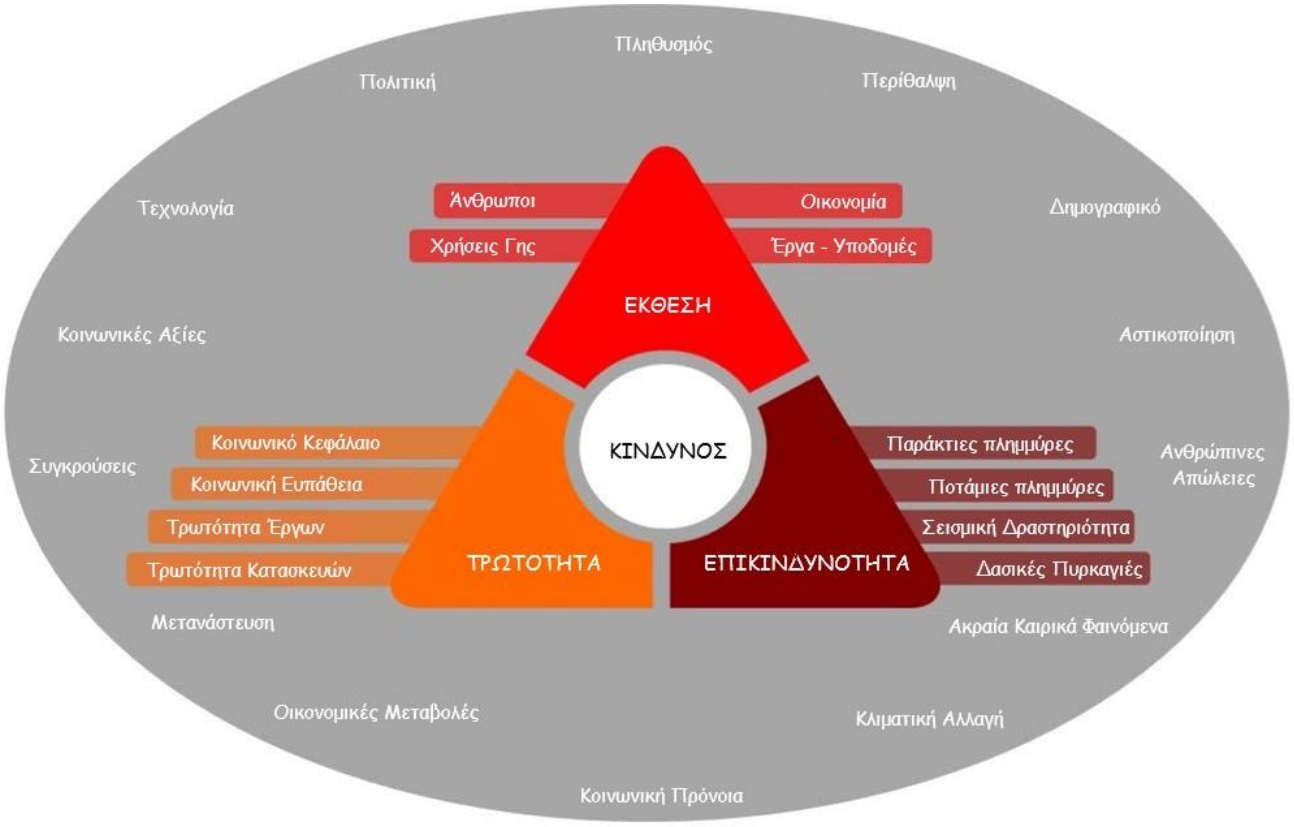
Ενδεχομένως ένας εκ των πλέον ευστοχότερων μα και πιο ευρέως διαδεδομένος ορισμός του κινδύνου εκφράστηκε από το διάσημο γεωλόγο David Varnes το 1984 όπου αυτός περιγράφεται ως ακολούθως: "Ο αναμενόμενος αριθμός των ανθρώπινων απωλειών και των ατόμων που επηρεάζονται, των υλικών ζημιών και της προκληθείσας διατάραξης στην οικονομική δραστηριότητα, εξαιτίας ενός ιδιαιτέρως καταστρεπτικού φαινομένου που λαμβάνει χωρά σε δεδομένη χρονική περίοδο και για συγκεκριμένη περιοχή αναφοράς". Ο εν λόγω ορισμός εκφράζει ακόμη και σήμερα με μεγάλη ακρίβεια την ερμηνεία του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων με τέτοιο τρόπο που αποδίδεται ουσιαστικότητα και σαφήνεια ως προς την περιεκτικότητα του κειμένου και τον επακριβή προσδιορισμό του κατολισθητικού κινδύνου.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που εξετάζονται οι φυσικές απώλειες, και εν προκειμένω ο κίνδυνος έναντι φυσικών απωλειών, τότε είναι δυνατή η ποσοτικοποίησή του ως το προϊόν της ευπάθειας του κόστους ή της ποσότητας των στοιχείων που βρίσκονται «εκτεθειμένα» καθώς επίσης και ο προσδιορισμός της πιθανότητας εκδήλωσης του φαινομένου εστιάζοντας κυρίως στο μέγεθος και στην έντασή του. Κατά την περίπτωση όμως που εξετάζεται ο κίνδυνος εν συνόλω, τότε η επικινδυνότητα πολλαπλασιάζεται με τις αναμενόμενες απώλειες για όλους τους διαφορετικούς τύπους στοιχείων που αντιστοίχως βρίσκονται «εκτεθειμένα». Συνεπώς, η εκτίμηση του κινδύνου διαφοροποιείται κάθε φορά συναρτήσει της σκοπιάς της οποίας εξετάζεται και του λόγου θεώρησης.

Συγκεκριμένα, η κατολισθητική επικινδυνότητα (landslide hazard) σχετίζεται με το καταστρεπτικό φαινόμενο όπου μπορεί να προέρχεται εξ ολοκλήρου από φυσικά αίτια, ή ακόμη και να έχει προκληθεί από ανθρωπογενή δραστηριότητα, εν αντιθέσει με την τρωτότητα (vulnerability) η οποία αφορά το βαθμό ευπάθειας ενός κινδύνου και την ποσοστιαία πιθανότητα επαναληψιμότητας του συμβάντος ως ένα καταστροφικό γεγονός από μια προκαθορισμένη ή και μη αιτία. Επιπλέον, η επικινδυνότητα εξεταζόμενη ως φυσικό φαινόμενο, προκαλείται από ακραία επικίνδυνα φυσικά γεγονότα που έχουν τη δυνατότητα να προξενήσουν σημαντικές απώλειες. Να αποσαφηνιστεί σε αυτό το σημείο, ότι ενώ ο κίνδυνος (risk) πηγάζει σαν το αποτέλεσμα του γινομένου της επικινδυνότητας (hazard) επί της τρωτότητας (vulnerability), η επικινδυνότητα υφίσταται ανεξαρτήτως της ανθρώπινης παρουσίας, γεγονός που δεν ισχύει με τον κίνδυνο, όντας υπαρκτός μόνο όταν ο άνθρωπος βρίσκεται εκτεθειμένος. Στο **Σχήμα 1.3** εν συνεχεία του κειμένου αντανακλάται μία σχετική γραφική αποτύπωση του κινδύνου.

Από την άλλη πλευρά, ως επιδεκτικότητα εκφράζεται ο όρος που περιγράφει τις περιοχές στις οποίες συνυπάρχουν οι παράγοντες εκείνοι που προδιαθέτουν την ενεργοποίηση ενός φυσικού κινδύνου και εν δυνάμει συγκροτούν το έναυσμα ή και την ενεργοποίηση στην εκδήλωση μιας φυσικής καταστροφής. Η διαβάθμιση της επιδεκτικότητας διατυπώνεται συνήθως με κάποιους ποιοτικούς χαρακτηρισμούς όπως «υψηλή», «μέση» ή «χαμηλή» επιδεκτικότητα, ενώ η κλιμάκωση της διαβάθμισης στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην κρίση του ερευνητή-μελετητή σε συνάρτηση πάντοτε με την εμπειρία του, τις σημειώσεις και παρατηρήσεις, αλλά και βάσει των προγενέστερων καταγραφών (ιστορικό περιοχής).

Πιο αναλυτικά, σχετικά με την κατολισθητική επιδεκτικότητα, αναφέρεται ως η τάση του εδάφους ή των γεωλογικών σχηματισμών που αποσκοπούν στο να δραστηριοποιήσουν ή και να δημιουργήσουν τους διάφορους τύπους κατολίσθησης και εκφράζεται συνήθως με χαρτογραφικά μέσα. Ένας χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζει τις περιοχές στις οποίες πιθανολογείται ότι σε αυτές θα εμφανιστεί ένα κατολισθητικό φαινόμενο, σε μακροπρόθεσμο ή και βραχυπρόθεσμο χρόνο, αφού βεβαίως συνυπολογιστούν όλοι εκείνοι οι παράμετροι που κρίνονται κρίσιμοι στην εκδήλωσή του είτε από ενδεχόμενο συνδυασμό παραγόντων, είτε από μεμονωμένη δράση. Ένας τέτοιος χάρτης συνιστά πολύτιμο εργαλείο στην αξιολόγηση των σημερινών και των δυνητικά μελλοντικών κινδύνων, ενώ επιπρόσθετα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σειρά από μέτρα πολιτικής προστασίας όπως για την ανάπτυξη των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης ή ακόμη και για τον σχεδιασμό μετριασμού μιας επικείμενης καταστροφής, όπως επί παραδείγματι για την επιλογή των πλέον καίριων και κατάλληλων τοποθεσιών (θέσεων-σημείων) στη μελέτη και την κατασκευή των υποδομών της χώρας, καθώς και στην αναμόρφωση του οδικού και του σιδηροδρομικού συγκοινωνιακού δικτύου αυτής.



Σχήμα 1.3 Γραφική αποτύπωση της σύνδεσης των συνιστωσών του φυσικού κινδύνου (EM-DAT, 2014)

1.3. Ο μηχανισμός των κατολισθήσεων

Ο όρος "φυσική καταστροφή" δύναται να θεωρηθεί μέσω μιας σειράς διαφορετικών προσεγγίσεων και με διαφορετικούς τρόπους, έχοντας πάντοτε κοινή συνισταμένη την επίδραση που ασκεί κάθε ακραίο φυσικό φαινόμενο στον άνθρωπο. Οι πιο συνήθεις ορισμοί είναι οι ακόλουθοι (Λέκκας, 2000):

- Μια φυσική ή ανθρωπογενής γεωλογική κατάσταση ή φαινόμενο κατά την οποία παρουσιάζεται πραγματικός ή δυνητικός κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή ή τις περιουσίες.
- Τα στοιχεία εκείνα του φυσικού περιβάλλοντος που είναι βλαβερά για τον άνθρωπο και τα οποία προκαλούνται από δυνάμεις ξένες και άγνωστες σε αυτόν.
- Η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά καταστροφικού γεγονότος μέσα σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Έτσι λοιπόν, καθώς οι γεωλογικές αστοχίες και τα κατολισθητικά φαινόμενα συγκροτούν μέρος των φυσικών καταστροφών, είναι φυσικό επακόλουθο πως και ο ορισμός τους προσεγγίζεται από διάφορες οπτικές επιστημονικές γωνίες, ανάλογα κάθε φορά με την φύση του ερευνητή που τα εξετάζει και τα αναλύει. Πόσο δε μάλιστα όταν θελήσει κάποιος να υπεισέρθει στα «ενδότερα» του μηχανισμού των κατολισθήσεων, προσπαθώντας να αναλύσει όλες εκείνες τις αιτίες και τις παραμέτρους όπου δρούνε μεμονωμένα ή συνδυαστικά, άλλοτε ως γενεσιουργοί παράγοντες και άλλοτε ως "κινητήριοι μοχλοί", αποτελώντας το τελικό έναυσμα εκδήλωσής τους, θα αντιληφθεί την πολυπλοκότητα του μηχανισμού.

Συνεπώς, όλες οι συνθήκες και οι παράμετροι που με οιοδήποτε τρόπο εμπλέκονται, αλληλοεπιδρούν και τελικά ευνοούν στο να πραγματοποιηθεί μια κατολίσθηση, σε συνδυασμό με τις προϋπάρχουσες αλλά και τις μεταγενέστερες συνθήκες, αποδίδουν σε κάθε ένα κατολισθητικό συμβάν την έννοια της μοναδικότητας κάνοντας έτσι αφενός μεν το κατολισθητικό φαινόμενο πιο ξεχωριστό κι αφετέρου δε το έργο του ερευνητή πιο δύσκολο, μιας και η συγκεκριμενοποίηση του γεγονότος, η στάθμιση των παραγόντων και η συνολικότερη προσέγγιση του φαινομένου εμπεριέχουν ποσοστά ασάφειας και αβεβαιότητας. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι οι γεωλογικές αστοχίες κι οι κατολισθητικές κινήσεις είναι αποτέλεσμα συνύπαρξης και αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων, και όχι μονοσήμαντα φαινόμενα. Στο **Σχήμα 1.4** που ακολουθεί, φαίνονται σε διάγραμμα οι παράμετροι ενός κατολισθητικού μοντέλου.

Συμπερασματικά, βάσει των έως τώρα λεχθέντων, δύναται να ειπωθεί ότι η γνώση των παραγόντων οι οποίοι δημιουργούν οριακές συνθήκες στην κατάσταση ισορροπίας ενός πρανούς όπως ακόμη και εκείνων που εν τέλει προκαλούν το έναυσμα της κίνησης, είναι καθοριστικής σημασίας. Η ακριβέστερη δυνατή εκτίμηση των εν λόγω παραγόντων (συνισταμένων), θα έχουν ως αποτέλεσμα τον ορθότερο προσδιορισμό τόσο του μεγέθους του κινδύνου, όσο και της ανάγκης λήψης μέτρων προστασίας με χωρικό προσδιορισμό του φαινομένου. Σχετικά με την ευστάθεια των πρανών, οι παράγοντες που τη διαταράσσουν, αυξάνουν τη διατμητική τάση μειώνοντας παράλληλα την αντοχή των πετρωμάτων από τα οποία δομούνται. Επιπλέον, συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι οι τάσεις σε ένα πρανές είναι σπάνια σταθερές για πάνω από κάποιο χρονικό διάστημα αφού οι μεταβολές που προκαλούνται μπορεί να είναι πολύ αργές (πάντοτε όμως υπαρκτές), η σύνθετη φύση των κατολισθητικών φαινομένων έρχεται να επαληθευτεί με τον πλέον κατηγορηματικό τρόπο, όπως άλλωστε αυτό ήταν αναμενόμενο.

Καταληκτικά, η εκτίμηση της πιθανότητας σε μια περιοχή να εκδηλωθούν κατολισθητικά φαινόμενα αποτελεί μια δύσκολη υπόθεση, προϋποθέτοντας ταυτόχρονα σκληρή εργασία υπαίθρου με συλλογή δεδομένων και λεπτομερειακή ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επ' αυτού επισημαίνεται ότι εάν τελικώς πρόκειται να σημειωθεί μια γεωλογική αστοχία (κατολίσθηση) ή όχι, καθορίζεται από το σύνολο των γεωλογικών, τεκτονικών, υδρολογικών & υδρογεωλογικών παραγόντων, κλιματικών & μορφολογικών χαρακτηριστικών, εδαφολογικών στοιχείων και συνθηκών βλάστησης, χρήσεων γης καθώς και από την ένταση (βαθμό) της ανθρώπινης παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον (Van Westen et al., 2006).

Σχήμα 1.4 Απαιτούμενες παράμετροι για τη δημιουργία μοντέλου κατολισθήσεων (V. Westen et al., 2006)

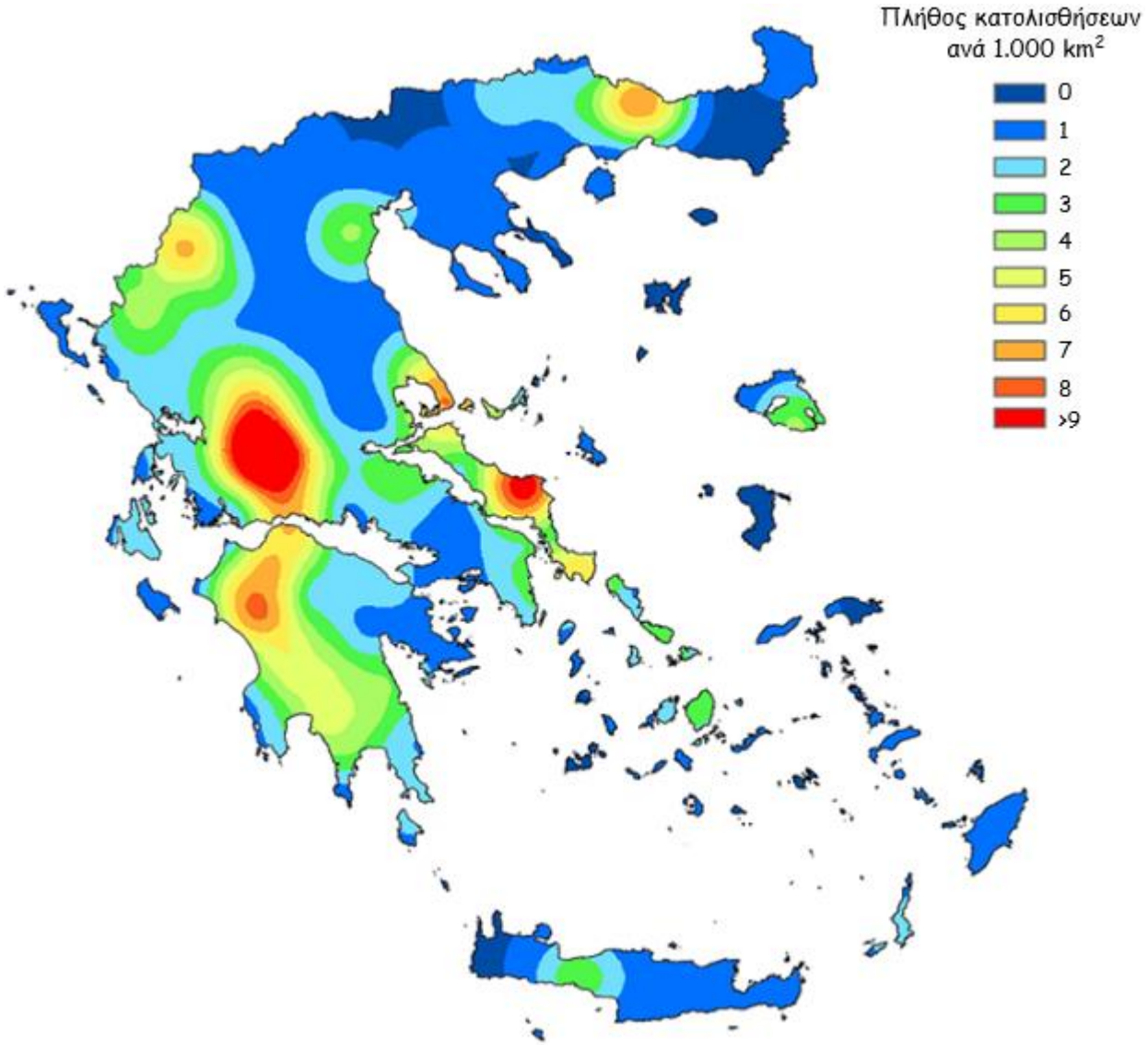
1.4. Η εμφάνιση του φαινομένου σε εγχώριο και διεθνές επίπεδο

Η εμφάνιση του κατολισθητικού φαινομένού τόσο σε εγχώριο όσο και σε διεθνές επίπεδο αποτελεί γεγονός με αυξητική συχνότητα που πολλές φορές μάλιστα λαμβάνει ευρεία κλίμακα. Οι μεγαλύτερες γεωλογικές (σε έκταση) αστοχίες που καταγράφηκαν ανά τους καιρούς, οφείλονται ως επί το πλείστον σε μια σειρά από γεωλογικές και κλιματικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από το παρελθόν έως τις μέρες μας, συμπεριλαμβάνοντας αναμφισβήτητα και τον παράγοντα "ανθρώπινη δραστηριότητα" όπου στο πλαίσιο της αυξημένης αστικοποίησης και την ταυτόχρονη αδιαφορία του για το περιβάλλον συμβάλλει με ουσιαστικό τρόπο στην επιτάχυνση του φαινομένου. Ωστόσο, αν και οι προαναφερθέντες παράγοντες λογίζονται μείζονος σημασίας στη δημιουργία ενός κατολισθητικού γεγονότος, αποτελούν μόνο μέρος από τα «κομμάτια» ενός μεγάλου πάζλ της σύνθεσής του, όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό.

Για τον λόγο αυτό, η ανάγκη για εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων σε παγκόσμια αλλά και σε εθνική κλίμακα λογίζεται σήμερα πιο αναγκαία από ποτέ άλλοτε, αφού τα κατολισθητικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται εκ των πλέον σημαντικών φυσικών κινδύνων που δυνητικά μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις στο φυσικό και στο ανθρωπογενές περιβάλλον επιφέροντας όχι μόνο υλικές φθορές, αλλά κοστίζοντας και ανθρώπινες ζωές. Οι μέθοδοι οι οποίες εφαρμόζονται στην πρόληψη, τη διαχείριση και την αντιμετώπιση του κατολισθητικού κινδύνου, λογίζονται ως ενέργειες θεμελιώδους σημασίας στη συνολικότερη διευθέτηση του φαινομένου, αποβλέποντας στην ουσιαστική καταπολέμησή του, με εγρήγορση και άμεση ετοιμότητα σε οποιαδήποτε συνθήκη ή κατάσταση είναι δυνατόν να προκληθεί.

Κατά συνέπεια, και με απώτερο σκοπό μια πιο ολιστική προσέγγιση στο φαινόμενο των γεωλογικών κινήσεων, μια αδιάκοπα συστηματική μελέτη έναντι των κατολισθήσεων πραγματοποιείται από ομάδες ερευνητών και επιστημόνων εδώ και πολλές δεκαετίες. Ως αποτέλεσμα αυτής της μακροχρόνιας και επίπονης προσπάθειας, συνίσταται η επίτευξη της αξιολόγησης με παράλληλη ιεράρχηση του κινδύνου αποδίδοντας περισσότερη έμφαση στο στάδιο "προ εκδήλωσης του φαινομένου" και τον μετριασμό της έκτασης των επιπτώσεων. Επιπλέον, αναλύοντας τα αίτια πρόκλησης μιας κατολίσθησης, πρωτίστως με επιτόπιες έρευνες και δευτερευόντως με τεχνικογεωλογικές προσεγγίσεις, οι εν λόγω μελέτες «εμπλουτίζονται» όλο και περισσότερο, με θετική εξέλιξη στη στοχευμένη θεώρηση του συμβάντος.

Η επίδραση του κλίματος στη διεργασία της μετακίνησης μιας μάζας μπορεί να επηρεάσει το έδαφος είτε ως παράγοντας που ενεργεί αργά και με τρόπο αδιόρατο, είτε ως άμεσο αίτιο με ραγδαιότητα σε αυτό, μέσω των έντονων βροχοπτώσεων, του χιονιού ή και του παγετού. Στη Δυτική και τη Κεντρική Ελλάδα πολλοί παράγοντες όπως το έντονο ανάγλυφο, η λιθολογία, η τεκτονική, η σεισμικότητα και οι περιστασιακές αλλά και οι ισχυρές βροχοπτώσεις, ευνοούν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων. Εν συνεχεία του κειμένου, στο **Σχήμα 1.5** κάτωθι, αποτυπώνεται η συχνότητα αυτού του φαινομένου.



Σχήμα 1.5 Αποτύπωση της συχνότητας των κατολισθήσεων στην επικράτεια (Μπλιώνα, 2008)

1.5. Μέτρα αντιμετώπισης του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων

Εν έτει 2020 και έχοντας φτάσει την τεχνολογία στα ύψη, ο άνθρωπος δεν έχει δυστυχώς καταφέρει να περιορίσει τις φυσικές καταστροφές οι οποίες δείχνουν μια ανελέητη μανία χτυπώντας αδυσώπητα τις σύγχρονες κοινωνίες, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύονται σε μάστιγα της εποχής και τροχοπέδη της ευημερίας. Οι επιπτώσεις τέτοιων καταστροφικών φαινομένων είναι πολλές φορές ανυπολόγιστης αξίας, αφού παρουσιάζονται σε ολοένα και μεγαλύτερες χωρικές κλίμακες, γεγονός που τις καθιστά πρωτόγνωρες στα μέχρι πρότινος χρονικά δεδομένα. Οι επιστήμονες του Αμερικανικού Ινστιτούτου Ερευνών σε θέματα περιβάλλοντος (World Watch Institute-WWI), αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι για πρώτη φορά καταγράφεται στα ιστορικά χρονικά περισσότεροι άνθρωποι να χάνονται από φυσικές καταστροφές παρά από πολέμους κι από επιδημίες. Με τα δεδομένα αυτά, η θωράκιση των κοινοτήτων από τις φυσικές καταστροφές επιβάλλεται ως αδήριτη υποχρέωση και επιτακτική ανάγκη του ατόμου απέναντι στον εαυτό του (ως ηθική υποχρέωση), αλλά και ως παρακαταθήκη στις επόμενες γενεές.

Στοχεύοντας σε έναν αποτελεσματικότερο σχεδιασμό αντιμετώπισης του κατολισθητικού κινδύνου, ιδιάζουσα σημασία έχει σε πρώτη φάση η κατανόηση του συνόλου των διεργασιών (φυσικές, χημικές, ανθρωπογενείς) και μετέπειτα η εφαρμογή των σύγχρονων αναπτυσσόμενων τεχνολογιών συλλογής και αξιολόγησης των φυσικών δεδομένων. Για σειρά ετών, η αντίδραση στις καταστροφές όπως και στις περιβαλλοντικές απειλές, χαρακτηρίζονταν από αυξανόμενα μέτρα αμυντικής αντιμετώπισης. Πρόσφατα, η θέση αυτή μετατίθεται προς στρατηγικές πρόβλεψης και μείωσης των καταστροφών. Στο πλαίσιο αυτό, η διεθνής κοινότητα ερευνά την παραδοχή της βιώσιμης ανάπτυξης με βασική αρχή αυτή του "αειφόρου σχεδιασμού", μιας προσέγγισης η οποία προσβλέπει στη βελτίωση της παρούσας ποιότητας ζωής με παράλληλα ορθολογικότερη χρήση των φυσικών διαθέσιμων πόρων. Επομένως, η πρόβλεψη μιας φυσικής καταστροφής αποτελεί τη συνισταμένη της αξιολόγησης όλων των φυσικών στοιχείων που οριοθετούν τις πιθανές θέσεις εκδήλωσης, την έκταση και την ένταση του φαινομένου, δεδομένα τα οποία σαφέστατα προσδιορίζονται μέσω της χωροχρονικής εμπεριστατωμένης εξέτασης. Εντούτοις, η εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου συνιστά πολυμεταβλητό πρόβλημα εμπεριέχοντας ασάφεια και έχει ζητούμενο τη λήψη αποφάσεων με αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων πληροφοριών.

Συγκεντρωτικά, τα κυριότερα στάδια στην ολοκληρωμένη αντιμετώπιση όλων των φυσικών κινδύνων, είναι αυτά της πρόβλεψης, του σχεδιασμού, της ενημέρωσης, της έγκαιρης προειδοποίησης, της λήψης των προστατευτικών μέτρων και τέλος της αποκατάστασης. Οι σύγχρονες τεχνολογίες αποθήκευσης, διαχείρισης και επεξεργασίας των δεδομένων, στο γενικότερο πλαίσιο της πρόληψης των φυσικών καταστροφών, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα για την τελεσφόρηση των προαναφερθέντων σταδίων, παρέχοντας πλέον σημαντικές δυνατότητες για την έγκαιρη διάγνωση και την ασφαλέστερη πρόβλεψη του υπό εξέταση κινδύνου, δηλαδή των κατολισθητικών φαινομένων. Οι τεχνολογίες αυτές προσφέρονται μέσω των χωρικών συστημάτων πληροφοριών και την επιστήμη της τηλεπισκόπησης (Geographic Information Systems & Remote Sensing) όπως και μέσω των "ήπιων υπολογιστικών τεχνικών", δηλαδή με χρήση Νευρωνικών δικτύων & Θολών συστημάτων. Οι μεν πρώτες εξυπηρετούν στη συγκέντρωση, επεξεργασία και στη γενικότερη διαχείριση των δεδομένων, ενώ οι δεύτερες στην ανάλυση αυτών με τη δημιουργία χωρικών μοντέλων (μέσω προσομοίωσης των διαδικασιών). Βασικό στάδιο της προσομοίωσης συγκροτεί η εκτίμηση κατολισθητικής επιδεκτικότητας, η οποία περιγράφει τη χωρική διάσταση εκδήλωσης μιας κατολίσθησης, καθώς εκτιμάται ως συνάρτηση κατανομής των φυσικών παραγόντων που συνεργούν στη δημιουργία των εν δυνάμει κρίσιμων συνθηκών ή διεργασιών.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι οι εφαρμοσμένες μέθοδοι εκτίμησης του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων είναι είτε "παραγωγικής" είτε "επαγωγικής" φύσης. Κατά την περίπτωση στην οποία χρησιμοποιούνται παραγωγικές μέθοδοι, προσδιορίζεται η διαδικασία εκείνη που θεωρείται υπεύθυνη για την επιδεκτικότητα και στη συνέχεια δημιουργείται μια κατάλληλη μαθηματική απεικόνιση ούτως ώστε να προσομοιωθεί ο κίνδυνος στην περιοχή ενδιαφέροντος. Επιπρόσθετα, οι παραγωγικές μέθοδοι εκτίμησης εφαρμόζονται όταν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για όλη την έκταση της εξεταζόμενης περιοχής και για όλες τις παραμέτρους του αναπτυσσόμενου μοντέλου, ενώ η επιδεκτικότητα στη περίπτωση αυτή εκφράζεται συνήθως σε απόλυτο βαθμό μέσω του συντελεστή ασφάλειας. Σε ότι αφορά τις μεθόδους επαγωγικής φύσεως, αυτές εφαρμόζονται όταν υπάρχει αβεβαιότητα στο μοντέλο η οποία προκύπτει κατά κύριο λόγο από την πολυπλοκότητα στην περιγραφή του φυσικού συστήματος και την έλλειψη δεδομένων, όπου σε αυτή την περίπτωση και για την κάλυψη του κενού που υφίσταται, γίνεται εφαρμογή χωρικών και χρονικών χαρακτηριστικών από προηγούμενα κατολισθητικά γεγονότα.

Αναλυτικότερα, σε ότι σχετίζεται με τις ενέργειες και τις γενικές θεωρήσεις στην αντιμετώπιση των φυσικών κινδύνων, συγκεκριμένες κρίνονται οι δράσεις και το αντικείμενό της, περιλαμβάνοντας από τη χαρτογράφηση των περιοχών και την εκτίμηση του μεγέθους της καταστροφής, μέχρι τη σύνταξη των οδηγιών, την προώθηση και εφαρμογή μέσω συστημάτων προειδοποίησης και την πληροφόρηση. Έτσι αναντίρρητα η εξεύρεση τρόπων πρόληψης που στοχεύει στην ουσιαστικότερη αντιμετώπιση του κινδύνου έναντι γεωλογικών αστοχιών, κρίνεται αναγκαία και σε κάθε περίπτωση προαπαιτούμενη. Εύλογα, για το λόγο αυτό αναπτύσσονται εφαρμοσμένες μέθοδοι και τεχνικές που παρέχουν κατάλληλα μοντέλα προσομοίωσης κάθε ένα εκ των οποίων αποδίδει προσεγγιστικές εκτιμήσεις και πληροφορίες. Η ακριβής εφαρμοσιμότητα και η αξιοπιστία αυτών, εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

i. Τον σκοπό της πρόβλεψης και την χωρική έκταση της υπό εξέταση περιοχής.
ii. Τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων πληροφοριών.
iii. Τη δυνατότητα ανάλυσης των πληροφοριών από διαφορετικές πηγές.
iv. Την ικανότητα δημιουργίας μοντέλων για την εκτίμηση φαινομένων.
v. Τη συμβατότητα λειτουργίας των δεδομένων σε περιβάλλον GIS.

Συν τοις άλλοις, όπως άλλωστε γίνεται μνεία και στην προηγούμενη ενότητα, η πολυπλοκότητα της δομής που χαρακτηρίζει τη γεωλογική σύνθεση της Ελλάδος στο μεγαλύτερο μέρος της, σε συνδυασμό με τα ισχυρά τεκτονικά ρήγματα που ενεργούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα επηρεάζουν κι ευνοούν άρδην τις συνθήκες για συχνότερη εμφάνιση των κατολισθητικών γεγονότων. Ως εκ τούτου τα μέτρα αντιμετώπισης του εξεταζόμενου κινδύνου θεωρούνται επιβεβλημένα, αφού οι αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομία από ένα επικείμενο συμβάν υπολογίζονται πολλαπλάσιες του κόστους του οποίου θα είχε δαπανηθεί για την έγκαιρη πρόληψη και την ήπια καταστολή του φαινομένου. Εν κατακλείδι, αναφορικά με την παρούσα ενότητα, αξίζει να ειπωθεί ότι η σπουδαιότητα που ενέχει η πρόληψη και η αντιμετώπιση των κατολισθήσεων στο πλαίσιο της πληρέστερης εκτίμησης των φυσικών κινδύνων, θεωρείται μείζονος σημασίας, μιας και ο κίνδυνος εκδήλωσης αντίστοιχων φαινομένων είναι πάντοτε υπαρκτός και μόνιμος. Έτσι, παρά το γεγονός ότι οι επιπτώσεις μιας φυσικής καταστροφής είναι δεδομένα αναπόφευκτες, το μέγεθος τους είναι εφικτό να περιοριστεί αφού αυτό εξαρτάται όχι μόνο από τη σφοδρότητα του φαινομένου, αλλά κι από το βαθμό ευπάθειας και ετοιμότητας του ανθρώπου.

1.6. Στόχος της Μεταπτυχιακής Διατριβής

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως πρωταρχικό στόχο την ανάδειξη της σπουδαιότητας που ενέχει η συμβολή των βροχοπτώσεων και πάσης φύσεως ατμοσφαιρικού κατακρημνίσματος, ήτοι των φαινομένων εξυδάτωσης (χιόνι, χαλάζι και ομίχλη), στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων.

Έτσι, το αντικείμενο της έρευνας εστιάζεται στην κατά το δυνατόν πληρέστερη εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων, αποσκοπώντας αφενός μεν στην εμπεριστατωμένη μελέτη του φαινομένου με ταυτόχρονο προσδιορισμό των παραγόντων που επιδρούν στην εμφάνιση-εκδήλωση του, και αφετέρου στην παραγωγή αξιόπιστων χαρτών μέσω μοντέλων πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Από τους εν λόγω παραγόμενους χάρτες προκύπτει τόσο ο εντοπισμός των θέσεων αστοχίας όσο και ο προσδιορισμός του κατολισθητικού κινδύνου και των σημείων που είναι επιρρεπή σε αστοχίες.

Επίσης, βασική επιδίωξη και σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής αποτελεί η ακριβέστερη δυνατή αποσαφήνιση των φυσικών διεργασιών και των συνθηκών εκείνων που συνεπιδρούν στην ευνοϊκότερη ενεργοποίηση των γεωλογικών αστοχιών, καθώς το φαινόμενο αυτό ασκεί σημαντική επίδραση εις αμφότερες την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη (δηλαδή στην εύρυθμη λειτουργία), όχι μόνο στην υπό εξέταση περιοχή (η οποία εν προκειμένω είναι ο Δήμος Αγράφων), αλλά κι ολόκληρης της χώρας.

Η εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας η οποία πραγματοποιείται μέσω πολυκριτηριακών μοντέλων και εφαρμοσμένων μεθόδων, επιτυγχάνει βέλτιστο χωρικό προσδιορισμό αφού οριοθετεί τις "ζώνες" εκείνες που είναι πιο ευάλωτες στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Συνεπώς, δύναται να βεβαιωθεί ότι εν τέλει πραγματοποιείται λεπτομερειακή εξέταση, διερεύνηση και κατηγοριοποίηση των παραγόντων αυτών που συντρέχουν και αλληλοεπιδρούν ευνοώντας την αστάθεια των πρανών.

Εν συνόλω από το εισαγωγικό κεφάλαιο καταληκτικά, κρίνεται ωφέλιμο να διατυπωθεί ότι για την εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων που αφορά το Δήμο Αγράφων, πέραν των εργασιών υπαίθρου και τις επιτόπιες πραγματοποιηθείσες καταγραφές γεωλογικών αστοχιών, ακολουθείται καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης της παρούσης έρευνας μια απαρέγκλιτη προσέγγιση του φαινομένου αξιοποιώντας παράλληλα προγενέστερες μελέτες της ευρύτερης περιοχής, για την επαλήθευσή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΜΑΖΩΝ

2.1. Το φαινόμενο των κατολισθήσεων

Η εκδήλωση των φαινομένων «κίνησης», ήτοι κατολισθήσεις, οφείλονται στη συνδυαστική ή και στην μεμονωμένη δράση μόνιμα υφιστάμενων και παροδικά επιδρώντων παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί ενώνονται κατά κάποιο τρόπο, ώστε να καθορίσουν την επιδεκτικότητα των μετακινήσεων στις ζώνες των γεωλογικών μαζών μιας περιοχής. Ανάμεσά τους συγκαταλέγονται το μορφολογικό ανάγλυφο και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, η αντοχή των υλικών των γεωλογικών σχηματισμών, το υδρογραφικό δίκτυο καθώς και η φυσική βλάστηση της εκάστοτε περιοχής, ενώ οι παροδικά δρώντες παράγοντες ενεργοποιούν φαινόμενα κίνησης σε θέσεις χαρακτηριζόμενες ως επιδεκτικές σε γεωλογική αστάθεια. Ως κυριότεροι παράγοντες ενεργοποίησης λογίζονται οι βροχοπτώσεις, η σεισμική δραστηριότητα και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως άλλωστε διατυπώνονται εκτενέστερα στην επόμενη ενότητα.

Με τον όρο "κινήσεις γεωλογικών μαζών" επιτυγχάνεται αναφορά στα αποτελέσματα του συνόλου των φυσικών διεργασιών και των γεωδυναμικών-τεκτονικών αλλαγών που συμβαίνουν σε σχετικώς μικρά βάθη από την επιφάνεια της γης. Με μια πιο ευρεία ερμηνεία του όρου, στα φαινόμενα περιλαμβάνονται κατολισθήσεις έως και ισχυρές διαβρώσεις εδαφών, καθιζήσεις με μεγάλη έκταση έως και καρστικές κατακρημνίσεις, ή και ανυψωτικές μετακινήσεις διογκούμενων εδαφών. Οι μετακινήσεις γεωλογικών μαζών λογίζονται ως το συνιστάμενο αποτέλεσμα πολλών σύνθετων διεργασιών που παρουσιάζουν δυναμική εξέλιξη και προκαλούν σημαντικές αλλοιώσεις στο φυσικό περιβάλλον (Brunsden, 1984).

Από την άλλη, με τον όρο "κατολίσθηση" υποδηλώνεται ο αποχωρισμός και η κατάντη μετακίνηση των γεωλογικών υλικών που διαμορφώνουν κάθε μορφής πρανές, δηλαδή εδαφικό, βραχώδες, ή και τεχνητά επιχωματωμένο (Varnes, 1978). Συνιστά γεωλογικό φαινόμενο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μετακινήσεων της μάζας του εδάφους, οι οποίες δύναται να εμφανίζονται σε ξηρά, παράκτια και υγρά περιβάλλοντα. Στην περίπτωση όπου η μάζα κινείται μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση το φαινόμενο δεν ονομάζεται κατολίσθηση αλλά καθίζηση, κατάρρευση ή και κατάπτωση, ενώ όταν υπάρχει κίνηση και στην οριζόντια διεύθυνση τότε χρησιμοποιείται ο γενικός όρος της κατολίσθησης.

Ο ευρύτερος όρος της «κατολίσθησης», έχοντας ως απώτερο σκοπό την περιγραφή των γεωλογικών μαζών στις επιφανειακές μετακινήσεις, κυριάρχησε κυρίως στην ορολογία του Πολιτικού Μηχανικού. Εννοιολογικά, τα κατολισθητικά φαινόμενα αναφέρονται στις διάφορες μορφές μετακινήσεων πρανών (είτε φυσικών, είτε τεχνητών) όπου η διατμητική αστοχία αυτών λαμβάνει χώρα κατά μήκος ενός συγκεκριμένου επιπέδου ή ενός συνδυασμού επιπέδων (Schuster, 1978). Επισημαίνεται δε ότι βάσει πιο πρόσφατων ερευνών, οι πλέον συνηθέστερες μορφές μετακίνησης του σώματος που κατολισθαίνει είναι σύνθετης μορφής (ολίσθηση, πτώση ή ροή), ενώ η ενεργοποίηση - εμφάνιση των κατολισθητικών φαινομένων παρουσιάζει ποικιλότητα συναρτήσει του αριθμού των εγγενών κι εξωγενών παραγόντων.

Επιπλέον, οι έως τώρα μέθοδοι και τεχνικές αξιολόγησης της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων βασίζονται κατά κύριο λόγο στην επιστημονική βιβλιογραφία γεωτεχνικών μελετών καθώς επίσης και σε παλαιότερα καταγεγραμμένα συμβάντα, κατά τα οποία όμως δεν λαμβάνονται σοβαρά υπόψη όλοι οι παράγοντες συνεπίδρασης στην εκδήλωση του γεγονότος, με αποτέλεσμα την αναποτελεσματική αντιμετώπιση του φαινομένου. Συνεπώς οι κατολισθήσεις, ως μη αναμενόμενες και απρόβλεπτες μετακινήσεις ασταθών επιφανειακών στρωμάτων, αποτελούν έναν από τους πιο συχνούς φυσικούς κινδύνους με σημαντικές συνέπειες σε ανθρώπινες ζωές, με κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

Οι γεωλογικές αστοχίες και τα κατολισθητικά φαινόμενα γίνονται αισθητά σε όλα τα μήκη και πλάτη της υφηλίου, με διαφορετικά ωστόσο γεωλογικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, συνιστώντας μείζονα κίνδυνο κυρίως για ορεινές κατοικημένες περιοχές. Ετησίως, οι κατολισθήσεις προκαλούν θανάτους και σημαντικές υλικές ζημιές σε υποδομές και περιουσίες. Οι έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις ενεργοποιούν πολύ συχνά το εν λόγω φαινόμενο, οι οποίες αναμένεται να αυξηθούν σε συχνότητα και σε ένταση στο εγγύς μέλλον εξαιτίας των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Αναφορικά με την αποδεκτικότητα των ορισμών από την ευρεία διεθνή επιστημονική κοινότητα, ο όρος "κατολισθητικά φαινόμενα" είναι ο πλέον αναγνωρισμένος και επίσημος στην πλειοψηφία του, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτόν όλο το εύρος των γεωλογικών αστοχιών που εκδηλώνονται σε πρανή. Οι αστοχίες αυτές ποικίλουν στο είδος και μπορεί να είναι ερπυσμοί, ολισθήσεις, ροές, ανατροπές ή και καταπτώσεις που εκδηλώνονται σε ξηρά ή και υποθαλάσσια, κάτι που ο όρος "κατολίσθηση" δεν περιλαμβάνει, αφού αναφέρεται μόνο στις ταχέως εκδηλωμένες κινήσεις των εδαφών (Ρόζος, 2007).

2.2. Τα κατολισθητικά αίτια

Όπως διαπιστώνεται κι από την παραπάνω ενότητα, οι γεωλογικές αστοχίες και δη οι κατολισθήσεις είναι φαινόμενα που σχετίζονται με μετακινήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται σε φυσικά και τεχνητά πρανή, συνιστώντας παράλληλα έναν υπολογίσιμο (από άποψη κόστους επιπτώσεων) φυσικό κίνδυνο.

Ειδικότερα, τα αίτια των κατολισθήσεων τα οποία συνεργούν προκειμένου ένα κατολισθητικό γεγονός να δημιουργηθεί, συνοψίζονται και περιγράφονται στην παρούσα ενότητα, ως οι παράγοντες εκείνοι που ευνοούν τη δημιουργία της οριακής κατάστασης ισορροπίας ενός πρανούς τείνοντας στην αστοχία αυτού (Στουρνάρας, 1989). Τα προαναφερθέντα αίτια αναλύονται σε κατηγορίες ως ακολούθως:

a. Γεωμορφολογικά αίτια. Παράγοντες που δρουν με φυσικό ή χημικό τρόπο και με τους οποίους μεταβάλλεται άρδην η αρχική σύσταση και δομή των πετρωμάτων εξαιτίας κυρίως της δράσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, παγετός) καθώς και του ανέμου, αφού μέσω αυτών επέρχεται διάβρωση, αποσάθρωση και εν τέλει αποσύνθεση εδαφικής συνοχής. Πιο συγκεκριμένα, η οποιαδήποτε μεταβολή του βάρους των γεωλογικών σχηματισμών με μια ενδεχόμενη αλλαγή της περιεκτικότητας των πόρων σε νερό, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό καινούργιες κατατμήσεις και ελάττωση της συνοχής του πετρώματος, συμβάλλει στην τάση αστοχίας των πρανών, επιφέροντας έτσι τη γένεση του κατολισθητικού φαινομένου.
b. Γεωλογικά. Τα εν λόγω αίτια αφορούν ως επί το πλείστον τα γεωλογικά χαρακτηριστικά ενός τόπου και την φυσική κατάσταση του υπεδάφους, δηλαδή την υγεία των πετρωμάτων καθώς επίσης και την φυσικά μεταξύ τους «εναρμονισμένη» σχέση, ήτοι τον τρόπο σύνδεσης αυτών. Η γεωλογία της περιοχής που κάθε φορά εξετάζεται συνιστά παράγοντα με καθοριστικό ρόλο.
c. Υδρολογικά. Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά και η υγρασία της κάθε περιοχής ξεχωριστά. Σχετικά με το υπόγειο νερό, καθώς κινείται πάνω στα τεμαχίδια του εδάφους, επιφέρει μια πίεση, ελαττώνοντας σταδιακά τη σταθερότητα του πρανούς. Επίσης, έχει την ικανότητα να παρασύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το συντελεστή της εσωτερικής τριβής. Επιπροσθέτως, μπορεί να προκαλέσει διάλυση του συνδετικού υλικού ή τμημάτων των στερεών πετρωμάτων μεταβάλλοντας έτσι τη στερεότητα.

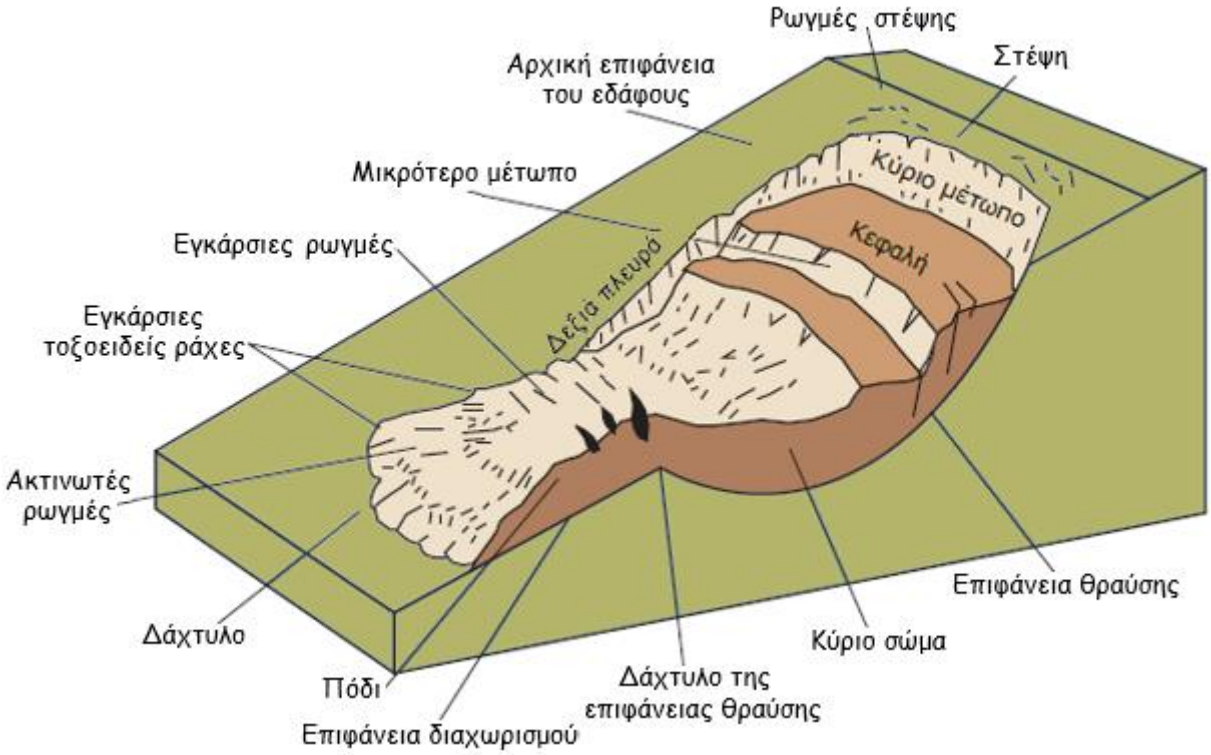
d. Τοπογραφικά. Το μορφολογικό ανάγλυφο ενδιαφέροντος μελέτης, με έμφαση να αποδίδεται κυρίως σε απότομες κλίσεις και στη ροπή των κλίσεων σε σχέση με την επιφάνεια στρωμάτων. Εκτός των άλλων, η μεταβολή του ύψους του πρανούς ή της κλίσης που μπορεί να προκληθεί με τη δράση ηπειρογενετικών τεκτονικών κινήσεων ή με έκπλυση και αφαίρεση υλικών από τη βάση του πρανούς εξαιτίας των φαινομένων διάβρωσης, αποτελεί παράγοντα μείζονος σημασίας για τα κατολισθητικά γεγονότα. Επιπλέον, η αύξηση της κλίσης επιφέρει μεταβολή της ισορροπίας των τάσεων του πετρώματος αυξάνοντας έτσι τις δυνάμεις μετατόπισης των τεμαχίων, αποτελώντας το έναυσμα στην εκδήλωση του φαινομένου (Δημόπουλος, 1986).
e. Κλιματολογικά. Στα αίτια αυτά περιλαμβάνονται οι κλιματολογικές συνθήκες ενός τόπου, οι εναλλαγές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο τύπος κλίματος και τα μέγιστα ύψη βροχοπτώσεων. Πέραν του ότι καθένα από τα προαναφερθέντα αίτια έχει "ξεχωριστού τρόπου" επιρροή στην εμφάνιση αστοχιών, συνδυαστικά είναι δυνατό να προκαλέσουν μεταβολή της βλάστησης με αποτέλεσμα την ελάττωση της συνοχής των πρανών, αφού το ριζικό σύστημα του υπεδάφους το οποίο επηρεάζεται σημαντικά, επιδρά ως αποσταθεροποιητικός παράγοντας στο πρανές.
f. Ανθρωπογενή. Οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση σε φυσικό έδαφος που δεν έχει γίνει με εκπόνηση μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή με γεωτεχνική έκθεση. Επιπρόσθετα, στα αίτια αυτά συγκαταλέγονται μια σειρά ενεργειών όπως είναι η υπεράντληση των υπογείων υδάτων, η αλόγιστη εξόρυξη του ορυκτού πλούτου, όπως επίσης και η λαθροϋλοτομία. Όλα τα ανωτέρω επηρεάζουν αρνητικά την συνεκτικότητα των σχηματισμών, ευνοώντας έτσι την ενεργοποίηση του μηχανισμού κατολισθήσεων δημιουργώντας κατάλληλες συνθήκες αστοχίας.
g. Μηχανικά. Διαμορφωμένες ή σε εξέλιξη εντατικές καταστάσεις, μηχανικά χαρακτηριστικά γεωλογικών σχηματισμών και συνεπαγόμενα αποτελέσματα τεκτονικών επεισοδίων.

Στα κατολισθητικά αίτια επισημαίνονται όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία συνήθως δρουν συνδυαστικά στην εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών. Εφόσον επιτευχθεί ορθή ανάλυση των αιτιών-παραγόντων που προκαλούν ένα κατολισθητικό συμβάν, δύναται να εξεταστεί ο κατολισθητικός μηχανισμός με πιο ολιστικό τρόπο και να αναλυθούν έτι περαιτέρω τόσο οι προκαταρκτικοί παράγοντες όσο κι αυτοί που ενεργοποιούν την πρόκληση τέτοιων συμβάντων, κάνοντας ηπιότερη την αποτροπή του φαινομένου.

2.3. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατολίσθησης

Εκθέτοντας συνοπτικά την πρώτη ενότητα του παρόντος κεφαλαίου σε λίγες μόνο σειρές, σχετικά με την απόδοση του ορισμού της "κατολίσθησης", νοείται ως η μετακίνηση των εδαφικών ή βραχωδών μαζών λόγω διαταραχής της ισορροπίας των υλικών των πρανών, αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει από βαθμιαίες ή ταχείες αλλαγές στη σύσταση, τη δομή, την υδρολογία και την βλάστηση των εδαφών που προέρχονται από φυσικές ή και ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Varnes, 1978). Συν τοις άλλοις, πέραν του ορισμού της κατολίσθησης, ο Varnes πρότεινε και ένα «ιδεατό» διάγραμμα, καθώς όπως διαπιστώνεται και στο **Σχήμα 2.1** απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά μιας σύνθετης μετακίνησης που μέσω αυτής απλουστεύεται πλήρως η κατανόηση των επιμέρους στοιχείων μιας κατολίσθησης.

Ο καθορισμός των εν λόγω γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας γεωλογικής αστοχίας είναι εξέχουσας σημασίας για την εκτίμηση του όγκου της κατολισθαίνουσας μάζας, μιας και από τα χαρακτηριστικά αυτά παρέχονται υψίστης σπουδαιότητας πληροφορίες, τόσο κατά τη μελέτη όσο και κατά τη σχεδίαση των μέτρων αποκατάστασης και αντιμετώπισης του φαινομένου (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).



Σχήμα 2.1 Ιδεατό σχεδιάγραμμα σύνθετης μετακίνησης με τα επί μέρους χαρακτηριστικά (Varnes, 1978)

Στο διάγραμμα του παραπάνω σχήματος αναπαρίσταται ένα ιδεατό πρανές, το οποίο έχει υποστεί μια σύνθετη μετακίνηση μάζας. Τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης αυτής, καταδεικνύονται με σαφήνεια. Η απότομη επιφάνεια που δημιουργήθηκε στο αμετακίνητο έδαφος, γύρω από την περιφέρεια της μετακίνησης καλείται κύριο μέτωπο, ενώ η προέκταση της επιφάνειας του μετώπου κάτω από το υλικό που μετατοπίστηκε ονομάζεται επιφάνεια θραύσης. Το εν λόγω μέτωπο προκαλείται εξαιτίας της απομάκρυνσης (αποκόλλησης) του ολισθαίνοντος υλικού από το αδιατάραχτο υλικό. Το μικρότερο μέτωπο, που δυνητικά μπορεί να είναι περισσότερα του ενός, συγκροτεί μία απότομη επιφάνεια του μετατοπισθέντος υλικού προκύπτοντας από τις κινήσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του.

Η κεφαλή εντοπίζεται στο υψηλότερο μέρος μιας κατολίσθησης και απαρτίζεται εκ των ανωτέρων τμημάτων της ολισθαίνουσας μάζας κατά μήκος της επαφής ανάμεσα στο κύριο μέτωπο και στο υλικό το οποίο τελικώς μετατοπίσθηκε. Η κορυφή συνιστά το σημείο επαφής μεταξύ του μετακινούμενου υλικού και του κύριου μετώπου προσδιορίζοντας ουσιαστικά την οριογραμμή ανάμεσα στην κεφαλή και στο κύριο μέτωπο, ενώ η στέψη λογίζεται ως το αμετακίνητο υλικό στο ανώτερο σημείο του κύριου μετώπου. Το δάχτυλο της επιφάνειας θραύσης αποτελεί την διατομή η οποία είναι συνήθως "θαμμένη" ανάμεσα στο κατώτερο μέρος της επιφάνειας θραύσης και στην αδιατάραχτη επιφάνεια του εδάφους.

Αναφορικά τώρα με την αρχική επιφάνεια του εδάφους, όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, πρόκειται για την υφιστάμενη επιφάνεια της πλαγιάς πριν σε αυτήν επέλθει μετακίνηση μάζας, ήτοι κατολίσθηση. Το κύριο σώμα σε ένα κατολισθητικό γεγονός απαρτίζεται από την μετακινούμενη μάζα του υλικού που σχηματίστηκε λόγω «συσσώρευσης» της ολισθαίνουσας μάζας και συγκέντρωσης αυτής στο κάτω μέρος του σώματος της κατολίσθησης, εκεί όπου η κινητική της ενέργεια μηδενίστηκε. Το χαμηλότερο σημείο, δηλαδή το ακραίο τμήμα του κύριου σώματος, ονομάζεται πόδι. Οι συνιστώσες της κίνησης, οριζόντια και κατακόρυφη, στις οποίες υπόκειται μια κατολισθαίνουσα μάζα, συνδέονται δυναμικά με την ανάπτυξη των ορθών και των διατμητικών τάσεων. Συνεπώς όταν οι τάσεις αυτές αυξηθούν τότε ακολουθεί διατάραξη της ισορροπίας του πρανούς με φυσικό επακόλουθο την εκδήλωση αστοχίας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σε ότι αφορά τα κατολισθητικά φαινόμενα, αυτά δεν δύναται επ' ουδενί λόγω να αντιμετωπιστούν ριζικά, δηλαδή με έργα και παρεμβάσεις οικονομοτεχνικώς αποδεκτές που θα λύσουν το πρόβλημα «μια κι έξω» ώστε να μην ξανασυμβούν τέτοια συμβάντα (Κουμαντάκης, 2012).

2.4. Ταξινόμηση των κατολισθήσεων

Κατόπιν περαίωσης της ενότητας που αποδίδει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης και συγκεκριμένα τα μέρη τα οποία απαρτίζουν εν συνόλω και ονοματολογικά μια «ιδεατή» κατολίσθηση, πραγματοποιείται αναφορά στην ταξινόμηση του φαινομένου. Έτσι, σε ότι σχετίζεται με τα συστήματα ταξινόμησης των γεωλογικών αστοχιών, αυτά βασίζονται κυρίως σε παραμέτρους όπως ο τύπος της κίνησης, η σύνθεση του υλικού, η ταχύτητα της κίνησης, η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους, τα αίτια κίνησης, οι κλιματικές συνθήκες, η γεωμετρία και η μορφολογία που προκύπτει από την κατολίσθηση, καθώς επίσης κι από τη σχέση που δημιουργείται μεταξύ της κίνησης προς την επιφάνεια ολίσθησης.

Τα ευρύτερα διαδεδομένα συστήματα ταξινόμησης, που φυσικά με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν και είναι κοινώς αποδεκτά μέχρι σήμερα, είναι αυτά που προτάθηκαν από τον Hutchinson το 1968 και από τον Varnes το 1978, επικρατώντας τελικώς από την πλειοψηφία της διεθνής επιστημονικής κοινότητας η ταξινόμηση κατά Varnes. Υπογραμμίζεται το γεγονός ότι παρά τις αρχικές τους διαφορές τα συστήματα αυτά συνέκλιναν σταδιακά και χρησιμοποιούν σήμερα την ίδια "ουσιαστικά" ορολογία. Η παραμένουσα διαφορά έγκειται στο ότι το σύστημα του Varnes είναι διαπιστωμένα πιο εύκολο στην εφαρμογή με την απλουστευμένη προσέγγισή του, ενώ εκείνο του Hutchinson έλκει περισσότερο τον μηχανικό που ασχολείται με την ανάλυση της ευστάθειας ενός υπό μελέτη πρανούς (Crozier, 1986).

Ειδικότερα, τα συστήματα όπου αναπτύχθηκαν στηρίζονται σε ποικίλα κριτήρια που κυρίως αφορούν:

i. Το είδος της κίνησης. Οι κατολισθήσεις διαχωρίζονται σε πέντε (5) βασικές κατηγορίες οι οποίες αναλύονται εκτενέστερα σε παρακάτω ενότητες. Επιγραμματικά αυτές οι κατηγορίες είναι οι πτώσεις, οι ανατροπές, οι ολισθήσεις, οι πλευρικές εξαπλώσεις και οι ροές.
ii. Το υλικό που κατολισθαίνει. Η μάζα η οποία τελικά αστοχεί μπορεί να είναι βράχος ή έδαφος.
iii. Την ταχύτητα μετακίνησης του κατολισθαίνοντος υλικού. Αναμφίβολα, η ταχύτητα συνιστά έναν επιπλέον παράγοντα βάσει του οποίου δύναται να κατηγοριοποιηθούν οι κατολισθήσεις.
iv. Του σταδίου δράσης μιας γεωλογικής αστοχίας αφού αυτές πιθανώς να επανεμφανίζονται. Πιο συγκεκριμένα, οι κατολισθήσεις συναρτήσει του παρόντος κριτηρίου χαρακτηρίζονται ως ενεργές, επανεργοποιημένες, αδρανείς, ανενεργές, αρχαίες ή απολιθωμένες.

Σχετικά με το σύστημα ταξινόμησης κατά Varnes, όπως αυτό εν τέλει διαμορφώθηκε σε συνεργασία με τον μηχανικό περιβαλλοντικών επιστημών David Cruden το 1996, περιέχει όλους τους τύπους μετακίνησης που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρανή, διευρύνοντας έτσι την έως τότε "στενή" έννοια των κατολισθήσεων, χωρίς φυσικά σε αυτές να συνυπολογίζεται το φαινόμενο των καθιζήσεων. Ο κάθε τύπος ταξινόμησης που περιλαμβάνεται στον παρατιθέμενο **Πίνακα 2.1** στη συνέχεια του κειμένου, εκφράζεται από δύο (2) ονόματα. Το πρώτο όνομα αναφέρεται στον τεχνικογεωλογικό τύπο του υλικού, ενώ το δεύτερο στον τεχνικογεωλογικό τύπο της κίνησης. Έτσι, βάσει τεχνικογεωλογικού τύπου του υλικού, διακρίνεται η κατηγορία των βραχωδών μαζών με την κίνηση αυτής να παραπέμπει κατά κύριο λόγο σε συμπαγή μεμονωμένα τεμάχη και δύο (2) ακόμη κατηγορίες εδαφικών σχηματισμών.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί πως ο τύπος της σύνθετης κατολίσθησης δεν εμφανίζεται στην επίσημα ισχύουσα έως σήμερα ταξινόμηση, παρά της αναντίρρητα κοινής παραδοχής ότι στην πλειονότητά τους οι κατολισθητικές κινήσεις είναι σύνθετες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αν και συνδυάζουν περισσότερους από έναν τύπο κίνησης, σχεδόν πάντα ένας είναι αυτός που την καθορίζει.

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ		
		ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
			ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΑΔΡΟΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ	ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Περιστροφή βράχων	Περιστροφή κορημάτων	Περιστροφή γαιών
	Μεταθετικές	Ολίσθηση βραχομάζας Ολίσθηση τεμάχους	Ολίσθηση κορημάτων	Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις		Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές		Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
Σύνθετες		Συνδυασμός δύο ή περισσοτέρων τύπων μετακίνησης		

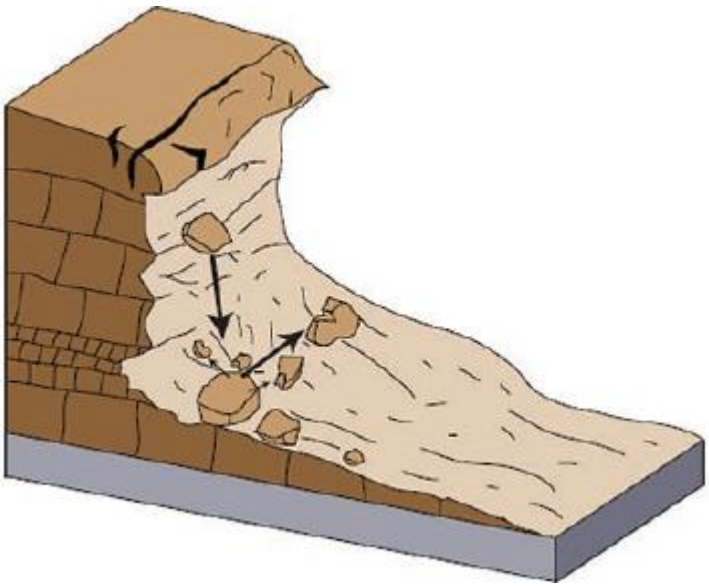
Πίνακας 2.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων βάσει υλικού και τύπου μετακίνησης (Cruden & Varnes, 1996)

2.5. Τύποι κατολισθητικών κινήσεων

2.5.1. Πτώσεις - Καταπτώσεις

Ο παρόν τύπος μετακίνησης αναφέρεται στην αποκόλληση τμήματος εδάφους ή βράχου από απότομο συνήθως πρανές, κατά μήκος μιας επιφάνειας με μικρή ή με σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή. Η κίνηση του υλικού πραγματοποιείται απότομα και ελεύθερα με κύλιση ή με αναπήδηση. Στην κατηγορία αυτή η μετακίνηση είναι πολύ γρήγορη έως εξαιρετικά γρήγορη (έως και 200 km/hr) και είναι πιθανόν να έχουν προηγηθεί μικρότερες μετακινήσεις (που ενδεχομένως να μην έγιναν εγκαίρως αντιληπτές), έχοντας ως συνέπεια αρχικά τον προοδευτικό αποχωρισμό και εν συνεχεία την απότομη αποκόλληση της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα. Το εν λόγω φαινόμενο είναι συνηθισμένο στα απότομα πρανή πολύ συνεκτικών εδαφών ή βράχων, τα οποία υποσκάπτονται εξαιτίας της ενέργειας θαλάσσιων κυμάτων, είτε των υδατορεμάτων, είτε ακόμα και λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης.

Οι καταπτώσεις αποτελούν πολύ συνηθισμένη γεωμορφολογική διαδικασία ενέχοντας μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας. Οι συχνότερες περιπτώσεις αυτής της μορφής αστοχίας αναφέρονται σε εναλλαγές συμπαγών και λιγότερο συμπαγών πετρωμάτων, όπως επίσης κι εκείνων με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών. Στο **Σχήμα 2.2** που ακολουθεί αντανακλάται η περίπτωση πτώσης βράχου με απόσπαση.

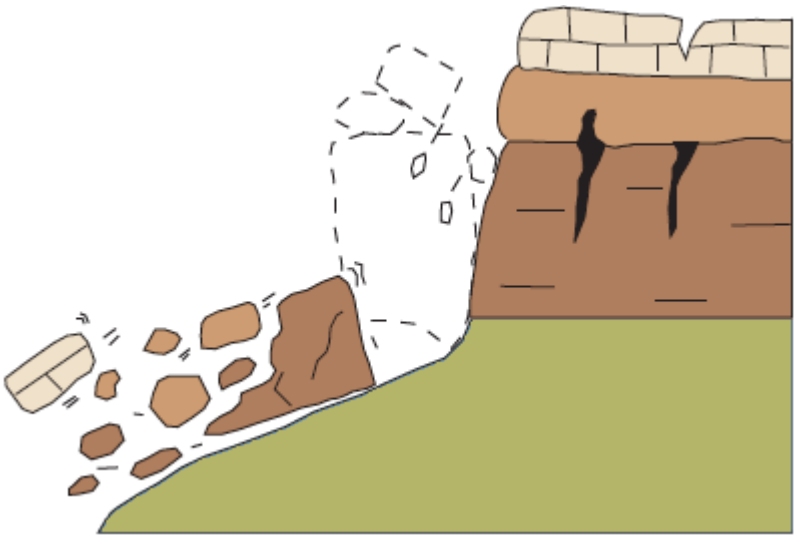


Σχήμα 2.2 Απεικόνιση κατολισθητικής κίνησης τύπου πτώσης βράχου (The Landslide Handbook, 2008)

2.5.2. Ανατροπές

Στην κατηγορία των ανατροπών περιλαμβάνονται οι προς τα εμπρός περιστροφές των μαζών εδάφους ή βράχων, γύρω από ένα σημείο ή και από έναν άξονα που βρίσκεται κάτω από το κέντρο βάρος των μετακινούμενων μαζών. Ο εν λόγω τύπος μετακίνησης, είναι πολύ πιθανό να εξελιχθεί σταδιακά σε πτώση ή και σε ολίσθηση, ανάλογα κάθε φορά τόσο της γεωμετρίας που έχει το πρανές, όσο και της μετακινούμενης μάζας καθώς επίσης και της επιφάνειας που αποκολλάται. Επί της ουσίας, τα τμήματα αποχωρίζονται από την υπόλοιπη μάζα, αναπηδώντας και πέφτοντας προς τα κατάντη του πρανούς. Η κατολισθητική κίνηση των ανατροπών προκαλείται κυρίως από την βαρύτητα και από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχη ή κι από την επίδραση του νερού που γεμίζει τις ασυνέχειες.

Αναφορικά με την ταχύτητα του τύπου της ανατροπής, αυτήν κυμαίνεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη όταν εκδηλώνεται σε βραχώδη πρανή, εν αντιθέσει με την περίπτωση ανατροπής σε κορήματα και σε γαίες που φυσικά αποτελούν σπάνιες περιπτώσεις και η εκδήλωση των οποίων οφείλεται κυρίως στις φυσικές διεργασίες και στις ανθρώπινες παρεμβάσεις (Cruden & Varnes, 1996). Η γεωμετρία των ανατροπών προσδιορίζεται ως επί το πλείστον από ακανόνιστα επίπεδα στρώσης, ρήγματα και διακλάσεις, τα οποία συνήθως είναι σχεδόν παράλληλα στο πρανές και κλίνουν αντίρροπα από αυτό. Επιπλέον, η απουσία εγκάρσιων διακλάσεων οδηγεί σε αστοχία τύπου καμπτικής ανατροπής. Στη συνέχεια του κειμένου και συγκεκριμένα στο **Σχήμα 2.3** αναπαρίσταται ο παρόν τύπος κίνησης.

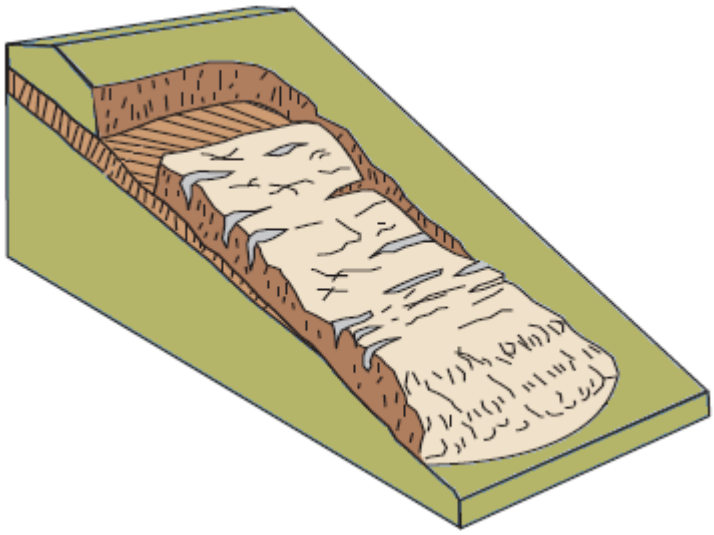


Σχήμα 2.3 Αναπαράσταση κίνησης τύπου ανατροπής βράχου (The Landslide Handbook, 2008)

2.5.3. *Ολισθήσεις*

Ο τύπος κίνησης των ολισθήσεων συνίσταται από τις κατηφορικές μετακινήσεις των μαζών εδάφους ή βράχων που λαμβάνουν χώρα κυρίως κατά μήκος των επιφανειών θραύσης ή των σχετικά λεπτών ζωνών με έντονη διάτμηση. Έτσι, συναρτήσει τόσο της μορφής που φέρει η επιφάνεια ολίσθησης, όσο και του μηχανισμού μετακίνησης, ξεχωρίζουν οι εξής τύπους ολισθήσεων (Cruden & Varnes, 1996):

- Περιστροφική ή κυκλική ολίσθηση. Η ολίσθηση η οποία συμβαίνει κατά μήκος μιας κοίλης προς τα πάνω επιφάνειας θραύσης που δεν προϋπήρχε, με την κίνησή της να είναι περίπου περιστροφική γύρω από έναν άξονα που είναι παράλληλος προς την επιφάνεια του εδάφους και εγκάρσιος σε όλη την ολίσθηση. Η ταχύτητα της περιστροφικής ολίσθησης χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη ενώ ως βασική αιτία εκδήλωσής της λογίζεται η υπερνίκηση της διατμητικής αντοχής του υλικού κατά μήκος της επιφάνειας θραύσης από την διατμητική τάση που ασκεί το βάρος της μάζας το οποίο τελικώς θα κατολισθήσει.
- Μεταθετική ολίσθηση. Η ολίσθηση στην οποία η μάζα της κατολίσθησης μετακινείται κατά μήκος μιας σχεδόν επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας θραύσης, με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφή. Κατ' αντιστοιχία της περιπτώσεως της περιστροφικής ολίσθησης, έτσι και εδώ, η ταχύτητα της μετακίνησης χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη. Ακολούθως, στο **Σχήμα 2.4** αντικατοπτρίζεται η περίπτωση της μεταθετικής ολισθήσεως.



Σχήμα 2.4 Σχηματική άποψη κατηγορίας κίνησης μεταθετικής ολίσθησης (The Landslide Handbook, 2008)

Επισημαίνεται δε, ότι στην πλειονότητα των φαινομένων που εκδηλώνονται μεταθετικές ολισθήσεις η μάζα που ολισθαίνει παραμορφώνεται έντονα και διαχωρίζεται σε πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες. Ταυτόχρονα με τη διενέργεια της αποσάθρωσης και της παραμόρφωσης κι ιδιαίτερα καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, η ολισθαίνουσα μάζα μπορεί να μεταπέσει σε εδαφική ροή. Οι μεταθετικές ολισθήσεις εν συγκρίσει με τις περιστροφικές είναι πιο αβαθείς και συνήθως το μήκος τους υπερβαίνει το δεκαπλάσιο του βάθους τους, ενώ η μετακίνηση όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει σημαντική κλίση μπορεί να προχωρεί απεριόριστα, κάτι που φυσικά δεν υφίσταται επ' ουδενί λόγω στις περιστροφικές ολισθήσεις στις οποίες υπάρχει μια «εγγενής» τάση αποκατάστασης της ισορροπίας όταν η επιφάνεια της ολίσθησης γύρω από την ευρύτερη περιοχή του πόδα, κλίνει προς το πρανές (Καραμπούλη, 2011).

Οι μεταθετικές ολισθήσεις σε βραχώδη πρανή καλούνται ολισθήσεις τεμαχών ή επίπεδες ολισθήσεις. Σε πετρώματα που παρουσιάζουν στρωσιγένεια και βρίσκονται σε πρανή, η κλίση της στρώσης τους παράλληλα προς την κλίση του πρανούς, είναι η μέγιστη κλίση κατά την οποία το πρανές μπορεί να σταθεί. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οποιαδήποτε διάβρωση στη βάση του πρανούς, ή αφαίρεση υλικών από τη βάση του για ενδεχόμενη κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου, είτε ακόμη η μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής μεταξύ των τεμαχών της στρώσης, θα οδηγήσει αναμφίβολα σε χαμηλότερη τιμή του συντελεστή ασφαλείας και κατά συνέπεια σε αναπόφευκτη γεωλογική αστοχία του πρανούς.

Εκτός των άλλων, η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να δημιουργείται από δύο (2) ασυνέχειες οι οποίες προκαλούν την μετακίνηση της μάζας που περικλείεται από αυτές προς τα κατάντη κατά μήκος του ίχνους τομής τους, σχηματίζοντας μία "σφήνα". Παρόμοιας μορφής μετακινούμενες μάζες μπορεί να ορίζονται από μία ασυνέχεια η οποία διαμορφώνει το κύριο μέτωπο της ολίσθησης, και μια άλλη που διαμορφώνει την αστοχία επίπεδης μορφής. Τελικά, ο τύπος κίνησης εξαρτάται του προσανατολισμού της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς και της σχέσης αυτού με τις ασυνέχειες της βραχόμαζας.

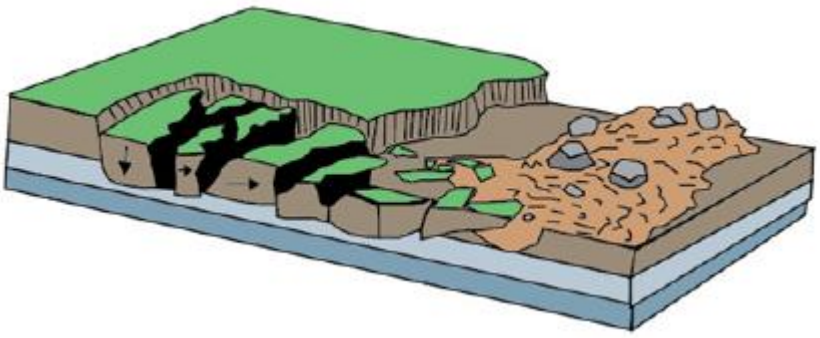
Κλείνοντας την παρούσα ενότητα, οφείλεται να υπογραμμιστεί ότι μια σημαντική διαφορά μεταξύ των παραπάνω υποδιαιρέσεων είναι πως οι περιστροφικές ολισθήσεις με την κίνησή τους τείνουν να ισορροπήσουν εκ νέου τη μετακινούμενη μάζα, ενώ οι μεταθετικές ολισθήσεις συνεχίζουν ανεξέλεγκτα ιδιαίτερα αν η επιφάνεια αποκόλλησης έχει μεγάλη κλίση. Καθώς η μεταθετική ολίσθηση εξελίσσεται, η μετακινούμενη μάζα είναι πιθανό να σπάσει, ιδιαίτερα εφόσον η ταχύτητα αυξηθεί (Βολιώτη, 2009).

2.5.4. Πλευρικές εξαπλώσεις

Επί της παρούσης κατηγορίας, εντάσσονται οι κινήσεις εκείνες όπου χαρακτηρίζονται από πλευρικές εκτάσεις συνεκτικών υλικών, τα οποία υλικά «εκμεταλλευόμενα» από τις διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές υπέρκεινται των μαλακών υλικών. Επιπροσθέτως, το έντονο ανάγλυφο και οι προϋπάρχουσες ασυνέχειες ευνοούν τη δημιουργία εκτάσεων. Τα υλικά στα οποία το φαινόμενο αυτό εντοπίζεται είναι κυρίως οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, τα μεταμορφωμένα και τα εκρηξιγενή πετρώματα, καθώς και οι σχιστοκερατόλιθοι. Θεωρούνται ως ο τύπος των κατολισθήσεων με την εκδήλωση μερικών από τα πιο καταστροφικά φαινόμενα μετακίνησης πρανών, σε απώλειες ζωής και καταστροφής περιουσιών. Διακρίνονται σε επεκτάσεις βράχων, σε επεκτάσεις ρευστοποίησης, αλλά και σε σύνθετες επεκτάσεις.

Στις επεκτάσεις βράχων, παρατηρείται το φαινόμενο στο οποίο, βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων, διαχωρίζονται με κατακόρυφες ρωγματώσεις σε τεμάχη. Το υλικό που υπόκειται συνθλίβεται καλύπτοντας έτσι συχνά τις ρωγμές που έχουν δημιουργηθεί ενώ η μετατόπιση που δημιουργείται κατανέμεται στις περισσότερες των περιπτώσεων κατά μήκος όλης της εκτεινόμενης μάζας και τέλος ταυτοχρόνως χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αργή ταχύτητα.

Σε ότι αφορά τις επεκτάσεις ρευστοποίησης, η αστοχία του εδάφους είναι βαθμιαία ενώ η επέκταση ξεκινάει αιφνίδια χωρίς προειδοποίηση σε μια μικρή περιοχή και κινείται με μεγάλη έως πολύ μεγάλη ταχύτητα. Κυριότερη αιτία της συγκεκριμένης μετακίνησης είναι η σύντομη επίγεια κίνηση, όπως αυτή που συμβαίνει κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, αλλά μπορεί επίσης να είναι και τεχνητά προκαλούμενη. Κάτωθι στο **Σχήμα 2.5** εν συνεχεία του κειμένου απεικονίζεται μία κατολίσθηση σύνθετης επέκτασης.



Σχήμα 2.5 Τύπος κατολίσθησης με σύνθετη επέκταση (The Landslide Handbook, 2008)

2.5.5. Ροές

Στην περίπτωση των εδαφικών ροών, πραγματοποιούνται κινήσεις με επιφάνειες διάτμησης μικρής έκτασης. Κατά την ενεργοποίηση του φαινομένου της ροής δημιουργείται ένας μηχανισμός στον οποίο συντελείται μια συνεχής, αδιάκοπη και μη αναστρέψιμη κατάσταση του υλικού, παραμορφώνοντάς το ως αποτέλεσμα αντίδρασης στην ασκούμενη πίεση. Επί των χαλαρών εδαφικών υλικών οι ροές γίνονται ευκολότερα αντιληπτές μιας και παρουσιάζουν μεγαλύτερη έκταση και ένταση εξαιτίας της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού αργιλικού υλικού. Στις ροές σε στρώματα βράχων παρατηρούνται παραμορφώσεις με σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ των ρωγμών χωρίς ωστόσο να εντοπίζεται μετατόπιση κατά μήκος της επιφάνειας. Οι κύριες κατηγορίες που συγκροτούν αυτόν τον τύπο κίνησης, όπως άλλωστε αναλύονται στη συνέχεια είναι: α) οι ροές υποβάθρου, β) οι ροές κορημάτων και γ) οι ροές εδάφους.

α) Ροές υποβάθρου - Ερπυσμός

Η παρούσα κατηγορία, αυτή των ροών υποβάθρου, διακρίνεται σε τρεις (3) περαιτέρω υποκατηγορίες. Αυτές είναι ο βαρυτικός ερπυσμός μεγάλου βάθους, ο βαρυτικός ερπυσμός κι ο απλός ερπυσμός. Οι περιπτώσεις του απλού ερπυσμού σε υπόβαθρο είναι οι πιο σπάνιες. Λογίζεται ως ο αργότερος τύπος μετακίνησης αφού φτάνει μόλις τα μερικά χιλιοστά ανά έτος, όντας ουσιαστικά αμελητέα μετακίνηση. Η παρουσία του γίνεται αισθητή ακόμη και στα πρανή με μικρές κλίσεις περιλαμβάνοντας χαλαρά υλικά που σπανίως ξεπερνούν σε πάχος τα μερικά μέτρα. Για τον λόγο αυτό, αν και το φαινόμενο είναι αργό, χρίζεται υπεύθυνο για τις μεγαλύτερες σε όγκο βαρυτικές μετακινήσεις στην επιφάνεια της γης. Επιπλέον, λόγω της μικρότερης τριβής κοντά στην επιφάνεια (συγκριτικά με αυτή του εδάφους), τα ανώτερα τμήματα κινούνται πιο γρήγορα από τα κατώτερα με αποτέλεσμα όταν το υγιές πέτρωμα δομείται από στρώματα, να παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές για τους ερπυσμούς "καμπυλώσεις". Δείκτες αναγνωσιμότητας των εν λόγω κινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους είναι η κύρτωση στους κορμούς των δέντρων και η μετατόπιση κατακόρυφων κατασκευών όπως προστατευτικών τοίχων, στύλων ηλεκτρικού ρεύματος, κλπ. Η κίνηση στον ερπυσμό οφείλεται στην παρουσία νερού ή ακόμη και στις μεταβολές του όγκου που υφίσταται αυτό, με τη διακύμανση της θερμοκρασίας. Η εμφάνισή του συνηθίζεται σε εδάφη από φλύσχη και σε πετρώματα μαργαϊκής και αργιλοψαμμιτικής συστάσεως.

β) Ροές κορημάτων

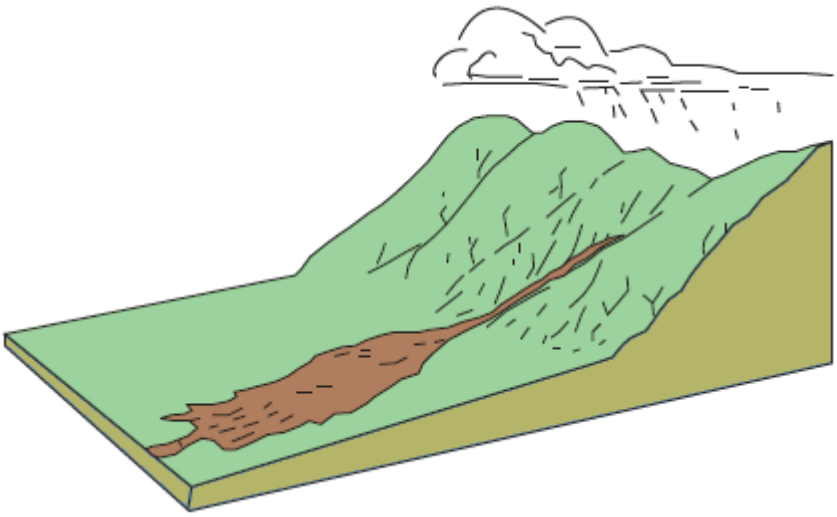
Οι ροές κορημάτων είναι πολύ γρήγορες έως εξαιρετικά γρήγορες μετακινήσεις των μαζών κατά τις οποίες ένας συνδυασμός που περιέχει ασυμπίεστο χώμα, πέτρες, οργανικά στοιχεία, αέρα και νερό αναμειγνύονται και κινητοποιούνται σαν «πηλός» που ρέει σε μια κατερχόμενη επιφάνεια. Συνεπώς, οι ροές κορημάτων προκαλούνται από την έντονη επιφανειακή ροή του νερού, εξαιτίας της υψηλής βροχόπτωσης ή του γρήγορου λιώσιμο του χιονιού, που διαβρώνει και κινητοποιεί το χαλαρό υλικό ή τον βράχο στα απότομα πρανή. Όταν η ποσότητα νερού είναι μεγάλη, τα κορήματα κινούνται κατάντη ως ογκώδες κύμα υπό την επίδραση της βαρύτητας. Οι ροές αυτές εμφανίζονται κυρίως σε πλαγιές που καλύπτονται από μικρού πάχους, μη στερεοποιημένα πετρώματα και εδαφικά κορήματα, ιδίως εκεί όπου απουσιάζει η φυτοκάλυψη. Στη γεωμετρία της ροής σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η πηγή τροφοδοσίας αφού τα επιμέρους διακριτά στοιχεία της είναι το κύριο κανάλι και το δάκτυλο απόθεσης.

Κατά πλειοψηφία, οι ροές ακολουθούν τις ήδη προϋπάρχουσες διαδρομές αποστράγγισης και το κύριο κανάλι έχει το σχήμα V. Μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις, αποτίθενται χονδρόκοκκα υλικά στις πλευρές του καναλιού σχηματίζοντας πλευρικές ράχες. Ο κύριος όγκος των κορημάτων απιθώνεται στους πρόποδες της πλαγιάς όπου η κλίση του καναλιού μειώνεται απότομα. Επίσης, στην περιοχή αυτή συχνά συγκεντρώνονται ριπίδια κορημάτων. Μερικές ροές κορημάτων είναι ιδιαίτερα ρευστής μορφής, μεγάλου μήκους ενώ εμφανίζονται σε οποιοδήποτε κλιματικό περιβάλλον, από ερημικές σε αλπικές περιοχές ή και από αρκτικές σε μεσογειακές περιοχές. Οι ροές των κορημάτων οι οποίες δημιουργούνται στην πλαγιά ενός ηφαιστείου περιέχουν πυροκλαστικά υλικά και καλούνται λαχάρες. Αυτές μπορεί να σχηματιστούν οποιαδήποτε στιγμή πριν ή μετά την έκρηξη του ηφαιστείου και είναι δυνατόν να μετακινηθούν πάνω από 100 χιλιόμετρα μήκος με μεγάλο ρυθμό ταχύτητας (Nealli, 1976).

Υπογραμμίζεται ότι πολλές πιθανές πηγές ροών δύναται να αναγνωρίζονται είτε από τη γεωλογική χαρτογράφηση υπαίθρου, είτε ακόμη κι από αεροφωτογραφίες με βάση τη γεωμετρία των πρανών, τη λιθολογία των σχηματισμών στην κεφαλή και τα κολλούβιακα υλικά που συσσωρεύονται σε κοιλότητες. Μία ειδική μορφή ροής είναι η ψυχροκίνηση, που αναφέρεται στην περίπτωση ολίσθησης και ροής των επιφανειακών στρωμάτων, παρατηρούμενη κυρίως στις υποαρκτικές και ψηλές ορεινές περιοχές όπου εκεί το έδαφος στη χειμερινή περίοδο παγώνει σε αρκετό βάθος ενώ το καλοκαίρι ο πάγος τήκεται.

γ) Ροές εδάφους

Οι ροές εδάφους (γνωστές ως ροές γαιών), συγκροτούν την πιο συνήθη μορφή της παρούσας κίνησης ενώ η εμφάνιση τους πραγματοποιείται με τρεις (3) συνήθως μορφές. Αρχικά και ως πιο διαδεδομένη μορφή της κατηγορίας, εμφανίζεται υπό την μορφή λασποροής. Σε αυτή την περίπτωση, η υγρή ροή σχετικά συνεκτικών υλικών διαθέτει ταχύτητα κίνησης από πολύ αργή έως πολύ γρήγορη, με τυπικές πηγές «τροφοδοσίας» να αποτελούν: οι απόκρημνες πλαγιές κλίσεως 25°-40°, τα ηφαιστειακά κέντρα και οι γεμισμένες από εδαφικά υλικά κοιλότητες. Στο **Σχήμα 2.6** απεικονίζεται μιας τέτοιας μορφής γεωλογική αστοχία. Επακόλουθες μορφές, θεωρούνται αμφότερες τόσο οι υγρές ροές άμμου όσο και οι ξηρές ροές άμμου. Με αυτές συμπληρώνονται όλες οι κατηγορίες των εδαφικών ροών. Πρόκειται για κάποιες ειδικές καταστάσεις, ανάλογες ως προς τον μηχανισμό κίνησης των ροών κορημάτων με τη διαφορά ότι σε αυτές, η περιεκτικότητα σε νερό είναι μεγαλύτερη και το υλικό πιο ομοιογενές. Δεδομένης της σύνθεσης από λεπτομερή υλικά διαθέτουν μεγάλη ευκολία στην κίνηση αναπτύσσοντας έτσι μεγάλες ταχύτητες προς τα κατάντη. Ωστόσο, περιορίζονται σε μικρής επιφάνειας κλίμακα αφού ο τρόπος αποκόλλησης του υλικού από την πηγή περιορίζει τη λειτουργία τους. Ένα από τα πλέον ουσιώδη χαρακτηριστικά των υγρών ροών άμμου είναι η ικανότητα μετακίνησης σε μεγάλες αποστάσεις ακόμη πάνω κι από πλαγιές χαμηλής κλίσης. Κάνοντας αποτίμηση του τύπου μετακίνησης στο σύνολό του, αξιοσημείωτη είναι η περιεκτικότητα των ροών εδάφους σε ιζήματα, με την ποσότητά τους να κυμαίνεται από 500 κιλά έως έναν τόνο ανά κυβικό μέτρο ροής (Varnes 1978, Campbell et al. 1989).

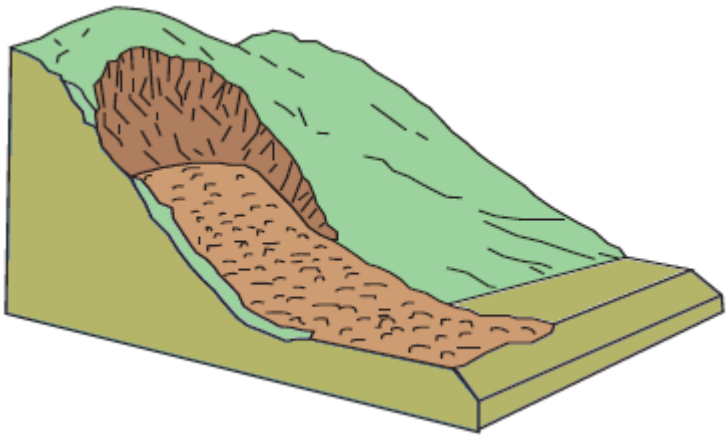


Σχήμα 2.6 Μορφή γεωλογικής αστοχίας τύπου λασποροής (The Landslide Handbook, 2008)

2.5.6. Σύνθετες

Μία επιπρόσθετη κατηγορία στις ήδη αναλυμένες κατηγορίες που συγκροτούν τις βασικούς τύπους κατολισθητικών κινήσεων, είναι αυτή με σύνθετη μορφή. Στην περίπτωση σύνθετων μετακινήσεων υφίσταται συνδυασμός δύο ή περισσοτέρων τύπων μετακίνησης. Η παρουσία τους γίνεται περισσότερο αντιληπτή τόσο μέσω των διαφόρων τμημάτων της μετακινούμενης μάζας, όσο και σε κάποιο από τα στάδια μετακίνησής της. Επ' αυτού του θέματος αναφέρεται ότι όλες οι κατολισθήσεις περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν τύπο κίνησης, είτε δρώντας ταυτόχρονα σε διαφορετικά μέρη της επιφάνειας θραύσης, είτε εξελισσόμενοι στην πορεία της κίνησης, είτε μεταβαλλόμενοι βάσει χρόνου μέσα από διαφορετικές διαδικασίες. Οι «χιονοστιβάδες» των πετρωμάτων όπως επίσης και οι ολισθήσεις ροών προσδιορίζονται ως τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα σύνθετων μετακινήσεων (Dikau, 1996).

Η περίπτωση «χιονοστιβάδας» των πετρωμάτων ξεκινά ως πτώση βράχων και βαθμιαία εξελίσσεται σε χιονοστιβάδα κορημάτων σε υψομετρικά χαμηλότερες περιοχές. Περιλαμβάνει ξηρά κορήματα από την κατάρρευση ενός πρανούς, ενώ ιδιαίτερο γνώρισμα της κίνησης αυτής αποτελεί η μεγάλη ταχύτητα που φτάνει δεκάδες μέτρα ανά δευτερόλεπτο σε μεγάλες αποστάσεις ακόμη και σε ήπιες πλαγιές. Η εμφάνιση της ευνοείται κυρίως σε διαβρωμένες περιοχές με τη δημιουργία των πλευρικών ραχών και τον σχηματισμό λοβών στην περιοχή απόθεσης να τις χαρακτηρίζουν. Σχετικά με την ολίσθηση ροής, αναφέρεται σε ένα καταστροφικό τύπο ροής κορημάτων που συνίσταται από ασταθή και ταυτόχρονα μη συμπυκνωμένα, χαλαρά υλικά με χαρακτηριστικά το μεγάλο μήκος και την υψηλή ταχύτητα κίνησης. Εν συνεχεία στο **Σχήμα 2.7** δίνεται σχηματική αποτύπωση σύνθετου τύπου αστοχίας με ολίσθηση.



Σχήμα 2.7 Αναπαράσταση σύνθετης μετακίνησης με ολίσθηση ροής (The Landslide Handbook, 2008)

2.6. Κατηγοριοποίηση κατολισθήσεων βάσει δραστηριότητας

Η κατηγοριοποίηση των γεωλογικών αστοχιών, ήτοι των κατολισθήσεων, βάσει της δραστηριότητάς τους είναι εξαιρετικά αναγκαία για την χωροχρονική εκτίμηση μελλοντικών γεγονότων και προτάθηκε από την Ομάδα Εργασίας της UNESCO για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων το 1993 (UNESCO Working Party on World Landslide Inventory ή εν συντομία WP/WLI). Οι συστάσεις της ομάδας αυτής ορίζουν την έννοια της δραστηριότητας που σχετίζεται με τις χωρικές και χρονικές συνθήκες, καθορίζοντας την κατάσταση, την κατανομή καθώς ακόμη και τη μορφή μιας κατολίσθησης.

Ο πρώτος όρος, η κατάσταση της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, παρουσιάζει τις πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο που πραγματοποιήθηκε η μετακίνηση της μάζας που αστόχησε, επιτρέποντας την οποιαδήποτε διάθεση των πληροφοριών για τη μελλοντική εξέλιξη κι αξιολόγηση του φαινομένου. Έτσι, σύμφωνα με την προαναφερθείσα ομάδα μια κατολίσθηση διακρίνεται σε (WP/WLI, 1993):

i. Ενεργή κατολίσθηση. Η κατάσταση κατά την οποία υφίσταται ήδη κάποιο ενεργό φαινόμενο.
ii. Ανεσταλμένη κατολίσθηση. Στην περίπτωση αυτή, το φαινόμενο μιας γεωλογικής αστοχίας έχει προσωρινά «ανασταλεί», έχοντας ωστόσο δραστηριοποιηθεί κατά το τελευταίο έτος.
iii. Επαναδραστηριοποιημένη. Επί της παρούσης κατηγορίας εντάσσονται οι κατολισθήσεις που έχουν επανεργοποιηθεί μετά από ένα χρονικό διάστημα στο οποίο είχαν σταθεροποιηθεί.
iv. Ανενεργή κατολίσθηση. Μια ανενεργή κατολίσθηση δεν έχει κινηθεί μέσα στους τελευταίους δώδεκα (12) μήνες και μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τέσσερις (4) περαιτέρω καταστάσεις:
    - Αδρανής: Πρόκειται για τις ανενεργές κατολισθήσεις οι οποίες όμως είναι πιθανό να επανεργοποιηθούν εξαιτίας είτε των αρχικών αιτιών είτε και άλλων διαφορετικών.
    - Εγκαταλελειμμένη: Και σε αυτή την περίπτωση εντάσσονται ανενεργές κατολισθήσεις που εντούτοις δεν επηρεάζονται από τις αρχικές αιτίες τους σε καμία περίπτωση.
    - Σταθεροποιημένη: Αφορά τις ανενεργές κατολισθήσεις που έχουν προστατευθεί από τις αρχικές αιτίες τους, αφού έχουν πραγματοποιηθεί επανορθωτικά μέτρα σε αυτές.
    - Παλαιά-απολιθωμένη: Είναι οι ανενεργές κατολισθήσεις που αναπτύχθηκαν κάτω από κλιματολογικές ή γεωμορφολογικές συνθήκες πολύ διαφορετικές από τις υπάρχουσες.

Ο δεύτερος όρος, αυτός της κατανομής της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, περιγράφει με έναν ευρύτερο τρόπο το πώς κινείται μια κατολίσθηση. Αναφέρονται οι εξής κατηγορίες (WP/WLI,1993):

i. Προωθούμενη: Στην κατηγορία των προωθούμενων (εξελισσόμενων) γεωλογικών αστοχιών η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται προς την κατεύθυνση μετακίνησης της κατολίσθησης.
ii. Παλινδρομική: Στις παλινδρομικές (ή αλλιώς οπισθοδρομούσες) κατολισθήσεις, η επιφάνεια θραύσης εκτείνεται στην κατεύθυνση απέναντι από τη μετακίνηση του μετατοπισμένου υλικού.
iii. Μεγεθυνόμενη: Στην περίπτωση που παρατηρείται κάποια μεγεθυνόμενη κατολίσθηση, τότε η επιφάνεια θραύσης της αστοχίας επεκτείνεται σε δύο (2) ή και περισσότερες κατευθύνσεις.
iv. Απομειούμενη: Στο φαινόμενο κατά το οποίο εκδηλώνεται κάποια απομειούμενη κατολίσθηση σε αυτήν την περίπτωση ο όγκος του μετατοπισμένου γεωλογικού υλικού μειώνεται αρκετά.
v. Περιορισμένη: Στις περιορισμένες γεωλογικές αστοχίες παρατηρείται η δημιουργία απότομων πλαγιών αλλά καμία επιφάνεια θραύσης δεν είναι ορατή στο πόδι της μετατοπισμένης μάζας.
vi. Κινούμενη: Σε μια κινούμενη κατολίσθηση το μετατοπισμένο υλικό συνεχίζει να κινείται χωρίς οποιαδήποτε ορατή αλλαγή στην επιφάνεια θραύσης και τον όγκο του μετατοπισμένου υλικού.
vii. Διευρυνόμενη: Στην κατηγορία των διευρυνόμενων κατολισθήσεων περιλαμβάνονται εκείνες όπου η επιφάνεια θραύσης τους εκτείνεται στη μία ή και στις δύο πλευρές της κατολίσθησης.

Εν κατακλείδι, μέσω του τρίτου όρου, διακρίνεται εμμέσως πλην σαφώς η μορφή της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, υποδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο εκδηλώνεται μια γεωλογική αστοχία. Έτσι, βάσει αυτού του όρου, οι κατολισθήσεις διαχωρίζονται ως ακολούθως (WP/WLI,1993):

i. Σύνθετη: Στις σύνθετες κατολισθήσεις εκθέτονται τουλάχιστον δύο (2) τύποι μετακινήσεων στη σειρά. Εκτενέστερη άλλωστε περιγραφή, πραγματοποιείται σε προηγούμενη υποενότητα.
ii. Διαδοχική: Μια διαδοχική κατολίσθηση αποτελεί τον ίδιο τύπο με μια κοντινή, προηγούμενη κατολίσθηση, αλλά δε μοιράζεται το μετατοπισμένο υλικό ή δεν σπάζει την επιφάνεια με αυτό.
iii. Απλή: Στην περίπτωση απλής κατολίσθησης γίνεται μετακίνηση του μετατοπισμένου υλικού.
iv. Πολλαπλή: Η κατηγορία των πολλαπλών κατολισθήσεων περιλαμβάνει την συχνή παρουσία από επαναλαμβανόμενες αναπτύξεις που αφορούν τους ίδιους τύπους μετακίνησης.

2.7. Ταξινόμηση κατολισθήσεων συναρτήσει ταχύτητας

Το μεγαλύτερο πλήθος πρανών στην επιφάνεια της γης έχουν περιέλθει σε μια κατάσταση ισορροπίας όπως αυτή έχει διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια της γεωμορφολογικής εξέλιξής τους. Η διαμόρφωση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στις αποφορτίσεις λόγω διαβρώσεων, στις μεταβολές των ιδιοτήτων των υλικών καθώς και σε παλαιές μετακινήσεις. Στην εκ διαμέτρου αντίθετη κατάσταση, η διατάραξη της ισορροπίας επέρχεται όταν εκδηλωθεί δράση των κρίσιμων παραγόντων, τέτοιων όπως αυτών του νερού ή της σεισμικής δράσης, ή ακόμα και λόγω των ανθρωπογενών επιδράσεων με ενδεχόμενη εξωτερική φόρτιση, με αλλαγή στη γεωμετρία του γεωλογικού σχηματισμού, καθώς επίσης και με άλλες λοιπές παρεμβάσεις. Ως το σημείο αυτό, αναλύονται και ταξινομούνται οι μετακινήσεις λόγω αστοχιών με βάση τον τύπο μετακίνησης αλλά και την ενεργότητά τους. Ωστόσο, μία εξίσου σημαντική παράμετρος που ιεραρχεί έτι περαιτέρω σε διακριτές κατηγορίες τις κατολισθήσεις, είναι η ταχύτητα.

Έτσι, η ταχύτητα της κατολίσθησης λογίζεται αναμφισβήτητα ως κρίσιμος παράγοντας που σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις όπου συνιστούν απόρροια αυτής της φυσικής καταστροφής σε ανθρώπινες ζωές, απώλειες περιουσιών, βλάβες κτιρίων και τεχνικών έργων, κλπ. Μια αρχική ταξινόμηση των κατολισθητικών κινήσεων ανάλογα με την ταχύτητά τους, προτάθηκε από τον Varnes εν έτει 1978. Ο **Πίνακας 2.2** όπως αυτός αποδίδεται στη συνέχεια του κειμένου, παρουσιάζει την τροποποιημένη μορφή της ταξινόμησης των κατολισθήσεων σε συνάρτηση με την ταχύτητά τους, όπως επίσης και την ενδεχόμενη δυνητικά καταστροφική έκταση για κάθε κατηγορία ξεχωριστά (Cruden & Varnes, 1996).

Αξίζει ειρήσθω εν παρόδω προτού την ανάγνωση του πίνακα να σημειωθεί ότι όσο πιο γρήγορη είναι η ταχύτητα μιας μετακίνησης τόσο μεγαλύτερες και εντονότερες είναι οι απώλειες και οι επιπτώσεις. Φυσικά δεν πρέπει επ' ουδενί λόγω να παραλειφθεί το γεγονός πως ο προσδιορισμός της ταχύτητας μετακίνησης μιας μάζας είναι ένα δύσκολο "κομμάτι" ως προς τον προσδιορισμό και την ρεαλιστική πραγμάτωσή του, αφού συχνά παρατηρούνται διαφορετικές ταχύτητες τόσο κατά τα διάφορα στάδια εξέλιξης του φαινομένου όσο και στα διάφορα τμήματα μιας γεωλογικής αστοχίας. Συν τοις άλλοις, ακόμα πιο δύσκολος καθίσταται ο προσδιορισμός της ταχύτητας όταν πρόκειται για σύνθετου τύπου κατολισθητικές κινήσεις, μιας και κάθε τύπος μπορεί να έχει τη δική του διαφορετική ταχύτητα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
1	Εξαιρετικά αργή	Μικρότερη των 15 χιλιοστών ανά έτος	Προσδιορίζεται με μετρήσεις από ειδικά όργανα λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες όταν λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα.
2	Πολύ αργή	Μέχρι και 15 χιλιοστά ανά έτος	Οι περισσότερες από τις μόνιμες δομικές κατασκευές παραμένουν ανέπαφες ενώ κάποιες επηρεάζονται.
3	Αργή	Μέχρι και 160 εκατοστά ανά έτος	Διατήρηση των καλώς σχεδιασμένων εγκαταστάσεων αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της μετακίνησης.
4	Μέτρια	Μέχρι και 13 μέτρα ανά μήνα	Μερικές προσωρινές και οι ανθεκτικές εγκαταστάσεις είναι πού πιθανόν να διατηρηθούν.
5	Γρήγορη	Μέχρι και 1,8 μέτρα ανά ώρα	Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή κατεστραμμένα. Δυνατή η φυγή των κατοίκων.
6	Πολύ γρήγορη	Μέχρι και 3,0 μέτρα ανά λεπτό	Πιθανές ανθρώπινες απώλειες, περιορισμένος χρόνος για την ασφαλή διαφυγή όλων των κατοίκων.
7	Εξαιρετικά γρήγορη	Μεγαλύτερη των 5,0 μέτρων ανά δευτερόλεπτο	Πολυάριθμε καταστροφές κτιρίων και υποδομών λόγω πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας που αστοχεί. Πολλοί θάνατοι, σχεδόν απίθανη η ύπαρξη επιζώντων.

Πίνακας 2.2 Ιεράρχηση των κατολισθητικών κινήσεων συναρτήσει της ταχύτητας (Cruden & Varnes, 1996)

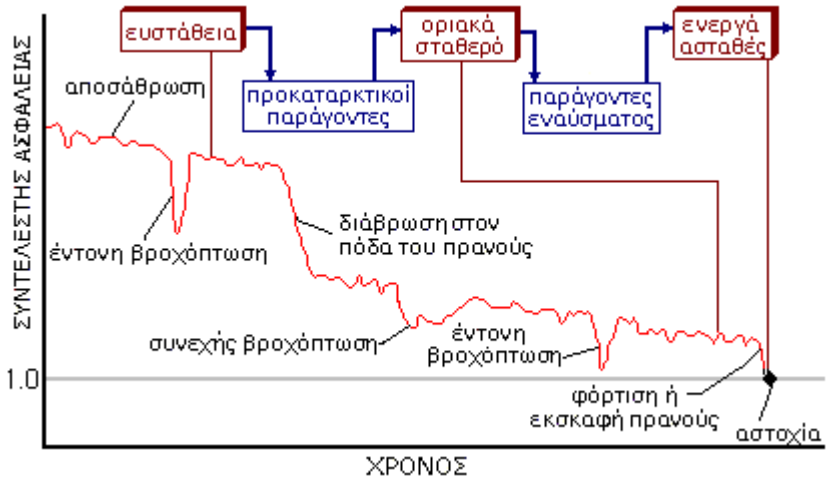
Μετά και την συμπλήρωση της ιεράρχησης των κατολισθητικών κινήσεων, περαιώνεται ολόκληρο το κομμάτι που αντικατοπτρίζει τις διάφορες ταξινομήσεις (ομαδοποιήσεις) των γεωλογικών αστοχιών. Τα χαρακτηριστικά που αποδίδονται αρχικά τόσο από τον Varnes (1978), όσο και από την διεθνή ένωση τεχνικής γεωλογίας (IAEG 1990), όπως επίσης και η ταξινόμηση των Cruden & Varnes που αφορούν τα κατολισθητικά φαινόμενα και αναλύονται στις προηγούμενες ενότητες, έχουν αποκτήσει επίσημο χαρακτήρα εδώ και μερικά έτη, με δεδομένο του γεγονός ότι έγιναν αποδεκτά από την ομάδα εργασίας για την παγκόσμια καταγραφή των κατολισθήσεων WP/WLI της UNESCO το 1993, η οποία τα καθιέρωσε ως τους πλέον κατάλληλους όρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ερευνητές, επιστήμονες αλλά και από συντάκτες εργασιών που ασχολούνται με θέματα γεωλογικών αστοχιών.

Ως κύριος στόχος της προαναφερθείσης ομάδας (WP/WLI) λογίζεται η δημιουργία μιας κοινής βάσης δεδομένων των κατολισθήσεων διεθνούς επιπέδου, μέσω της δημιουργίας αφενός μεν ενός πρότυπου δελτίου απογραφής, αφετέρου δε μιας ορολογίας που θα συνιστά υπόδειγμα για την περιγραφή των φαινομένων αυτών. Για την ορολογία αυτή μάλιστα η WP/WLI εξέδωσε στο Συμπόσιο της Λωζάνης το "Γλωσσάριο των Κατολισθήσεων" (Landslide Glossary), το οποίο μάλιστα αργότερα μεταφράστηκε σε πολλές ακόμη γλώσσες αποτελώντας έτσι το περιεχόμενό του έναν ευρύ, κοινό επιστημονικά τόπο.

2.8. Κατολισθητικοί παράγοντες

Έπειτα από την ονοματολογία και ταξινόμηση των κατολισθήσεων, κι αφού προηγουμένως επετεύχθη (σε προγενέστερη ενότητα) μια σύντομη αναφορά στα κυριότερα αίτια των γεωλογικών αστοχιών, στην παρούσα ενότητα συνοψίζονται όλοι εκείνοι οι κατολισθητικοί παράγοντες οι οποίοι ευνοούν την εκδήλωση του φαινομένου ενώ επιπρόσθετα επιδιώκεται προσέγγιση των σταδίων σταθερότητας ενός πρανούς. Έτσι, μολονότι το γεγονός ότι οι δυνάμεις της βαρύτητας συνιστούν πρωταρχικής σημασίας ρόλο, όντας οι κύριες κατευθυντήριες δυνάμεις για να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση, το φαινόμενο αυτό προκαλείται από την συνδυασμένη δράση πολλών και διαφορετικών μεταξύ τους παραγόντων. Κάποιοι εξ αυτών μάλιστα, επιδρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, εν αντιθέσει με κάποιους άλλους οι οποίοι επιδρούν περιοδικά αποτελώντας το έναυσμα ή την κινητήριο δύναμη για την εμφάνιση του φαινομένου.

Σύμφωνα με την ομάδας εργασίας καταγραφής των κατολισθήσεων WP/WLI της UNESCO, η χρήση του όρου "αίτια κατολισθήσεων" δεν είναι απόλυτα ορθή. Επί τούτου θεωρεί ότι περισσότερο ακριβής καθίσταται η χρήση των όρων "συνθήκες και διεργασίες που οδηγούν στην αλλαγή της σταθερότητας του πρανούς". Για να γίνει ευκολότερα αντιληπτό αυτό, παρατίθεται το **Σχήμα 2.8** το οποίο δείχνει ένα παράδειγμα της μεταβολής του συντελεστή ασφάλειας σε συνάρτηση με τον χρόνο για ένα πρανές. Στο εν λόγω σχήμα, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι από άποψη σταθερότητας, το πρανές διέρχεται από τα τρία (3) εξής στάδια: i) ευστάθεια, ii) οριακά σταθερό και iii) ενεργά ασταθές. Κατά το πρώτο στάδιο αντιστέκεται σε όλες τις δυνάμεις αποσταθεροποίησης, ενώ έπειτα αναμένεται η εκδήλωση αστάθειας.



Σχήμα 2.8 Μεταβολή συντελεστού ασφαλείας ενός πρανούς συναρτήσει του χρόνου (Popescu, 2002)

Συν τοις άλλοις, μέσω των προαναφερθέντων σταδίων σταθερότητας παρέχεται ένα χρήσιμο πλαίσιο για την κατανόηση των γενεσιουργών παραγόντων των κατολισθήσεων και την κατάταξη τους σε δύο (2) ομάδες με βάση τη λειτουργία τους. Η πρώτη ομάδα, η οποία παρεμπιπτόντως γίνεται αισθητή στα στάδια "ευστάθειας" και "οριακής σταθερότητας" αφορά τους προκαταρκτικούς παράγοντες οι οποίοι καθιστούν το πρανές «ευάλωτο» στην μετακίνηση (χωρίς αυτή να έχει ξεκινήσει) τείνοντας με αυτόν τον τρόπο να το οδηγήσουν σε μια οριακά σταθερή κατάσταση, ενώ η δεύτερη ομάδα αφορά παράγοντες εναύσματος ή ενεργοποίησης (τρίτο στάδιο) οι οποίοι προκαλούν την μετακίνηση. Αυτοί οι παράγοντες μεταβάλουν την κατάσταση τους πρανούς από μια οριακά σταθερή σε μια ενεργά ασταθής κατάσταση.

Ανάλογα με την προέλευση τους οι παράγοντες ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες (Popescu, 2002):

1. Εδαφικές συνθήκες. Στην κατηγορία τίτλου "εδαφικές συνθήκες", γίνεται αναφορά και ένταξη των πάσης φύσεως γενικών χαρακτηριστικών από εδαφικούς ή και βραχώδεις σχηματισμούς.
2. Γεωμορφολογικές διεργασίες. Στην παρούσα κατηγορία γίνεται ως επί το πλείστον αναφορά στις οποιεσδήποτε μεταβολές οι οποίες συσχετίζονται με την γεωμορφολογία του εδάφους.
3. Φυσικές διεργασίες. Αναφέρονται στο ολοκληρωτικά ευρύτερο φυσικό περιβάλλον και είναι εφικτό να υπολογιστούν με τη χρήση ειδικών οργάνων, όπως σεισμογράφοι, βροχόμετρα, κλπ.
4. Ανθρωπογενείς διεργασίες. Στην εν λόγω κατηγορία εντάσσονται όλες εκείνες οι διεργασίες που αφορούν τις ανθρώπινες επιδράσεις-παρεμβάσεις στην ευρύτερα εξεταζόμενη περιοχή.

Εν συνεχεία του κειμένου και συγκεκριμένα στον **Πίνακα 2.3** κάτωθι, αποτυπώνεται η 1η κατηγορία.

ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
1	Πλαστικό υλικό χαμηλής αντοχής
2	Ευαίσθητο υλικό
3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση
4	Αποσαθρωμένο υλικό
5	Διατμημένο υλικό
6	Ρωγματωμένο υλικό
7	Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)
8	Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής)
9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
10	Διαφοροποιήσεις στην δυσκαμψία

Πίνακας 2.3 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω εδαφικών συνθηκών (Popescu, 2002)

Ακολουθεί ο **Πίνακας 2.4** με αναλυτική περιγραφή των γεωμορφολογικών διεργασιών και ομοίως ο **Πίνακας 2.5** και ο **Πίνακας 2.6** με αναλυτικά στοιχεία των φυσικών και ανθρωπογενών αντίστοιχα.

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Τεκτονική ανύψωση
2	Ανύψωση λόγω ηφαιστείων
3	Επίδραση παγετώνων
4	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρανούς
5	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανούς
6	Διάβρωση της βάσης του πρανούς από παγετό
7	Διάβρωση των πλευρών του πρανούς
8	Εσωτερική διάβρωση
9	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς
10	Απώλεια φυτοκάλυψης λόγω πυρκαγιάς, διάβρωσης, κλπ

Πίνακας 2.4 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω γεωμορφολογικών διεργασιών (Popescu, 2002)

ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Έντονη μικρής διάρκειας βροχόπτωση
2	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
3	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
4	Απότομη πτώση στάθμης νερού έπειτα από πλημμύρες, παλίρροιες, κλπ
5	Σεισμικές δονήσεις, σεισμική δραστηριότητα
6	Εκρήξεις ηφαιστείων
7	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων
8	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
9	Αποσάθρωση λόγω παγετού
10	Αποσάθρωση από διόγκωση ή συρρίκνωση εδαφών

Πίνακας 2.5 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω φυσικών διεργασιών (Popescu, 2002)

ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Εκσκαφές στον πόδα (βάση) του πρανούς
2	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από την στέψη του πρανούς
3	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες
4	Αρδευτικές παρεμβάσεις, αρδευτικά έργα
5	Ελλιπής συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
6	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κλπ)
7	Αποψίλωση δασών, λαθροϋλοτομία
8	Λατομεία και μεταλλεία
9	Ανεξέλεγκτη δημιουργία χωματερών
10	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία βαρέων οχημάτων, εκρήξεις, κλπ)

Πίνακας 2.6 Παράγοντες κατολισθήσεων λόγω ανθρωπογενών διεργασιών (Popescu, 2002)

2.9. Επιπτώσεις κατολισθήσεων & μέτρα αντιμετώπισης

Όπως άλλωστε συμβαίνει σε όλους τους φυσικούς κινδύνους που δυνητικά μετατρέπονται σε φυσικές καταστροφές, έτσι και στην περίπτωση των κατολισθητικών φαινομένων οι επιπτώσεις οι οποίες είναι πιθανό να προκληθούν, επιφέρουν πολύ σημαντικές απώλειες ή και ζημιές επηρεάζοντας αρνητικά σε μεγάλο βαθμό τους διάφορους τομείς που την συγκροτούν, όπως επί παραδείγματι τον κοινωνικό, τον οικονομικό, καθώς επίσης και τον περιβαλλοντικό τομέα. Συγκεκριμένα οι επιπτώσεις του φαινομένου σε κάποιες περιπτώσεις υπολογίζονται πολλαπλάσιες από τα αντίστοιχα οικονομικά κόστη τα οποία θα είχαν δαπανηθεί για την αποτροπή (μετριασμό) ενός τέτοιου συμβάντος, ενώ αυτές έχουν ως εξής:

- Ανθρώπινες απώλειες - τραυματισμοί. Λογίζεται ως η σημαντικότερη επίπτωση που μπορεί να επέλθει από ένα κατολισθητικό γεγονός και το κόστος αυτής είναι ανυπολόγιστης αξίας.
- Φθορές σε ακίνητη ή και κινητή περιουσία. Σε περίπτωση καταστροφής ενός κτίσματος που χρησιμοποιείται ως κατοικία, το κράτος δεν αποζημιώνει τους ιδιοκτήτες των κατοικιών.
- Μείωση αγοραστικής αξίας των οικοπέδων σε περιοχές που πλήττονται από κατολισθήσεις.
- Μέτρα πρόληψης κι αντιμετώπισης του φαινομένου τα οποία συνήθως μετά το συμβάν είναι αναποτελεσματικά και κατά συνέπεια δεν επιφέρουν τα αντίστοιχα επιθυμητά αποτελέσματα.
- Υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων που αφορούν τόσο την περίπτωση των υδατορεμάτων όσο και τις αρδευτικές εγκαταστάσεις που υφίστανται στην ευρύτερη κατολισθητική περιοχή.
- Μείωση της παραγωγικότητας και αποδοτικότητας ανθρώπων και ζώων λόγω τραυματισμού, θανάτου ή των ενδεχόμενων ψυχολογικών τραυμάτων (νοσημάτων) που μπορεί να επέλθουν.
- Πλημμύρες που είναι δυνατόν να προκληθούν ως δευτερογενής επίπτωση, λόγω της αλλαγής που είναι πιθανό να σημειωθεί στο μορφολογικό ανάγλυφο και στις χρήσεις γης της περιοχής.

Ίσως, όλες οι παραπάνω επιπτώσεις (με μοναδική εξαίρεση την απώλεια ανθρώπινων ψυχών), με μια πρώτη ανάγνωση να μην απηχούν ως εκείνες οι "βαρύγδουπες" συνέπειες οι οποίες θα μπορούσαν να επιφέρουν μεγάλες καταστροφές. Ωστόσο, κάνοντας μια μικρή ανάλυση για την κάθε μια περίπτωση χωριστά, εύκολα θα διαπιστώσει κανείς ότι από μια «φαινομενικά» μικρή συνέπεια, επέρχεται σειρά άλλων επιπτώσεων όπου εμπλέκονται με άμεσο ή έμμεσο τρόπο, διογκώνοντας έτσι τη συνέπεια αυτή.

Αναφορικά με τα μέτρα αντιμετώπισης των γεωλογικών αστοχιών και δη των κατολισθήσεων, αυτά αποτελούν συνάρτηση της μείωσης των κινητήριων δυνάμεων ή την αύξηση των διαθέσιμων δυνάμεων αντίστασης. Συνεπώς, οποιοδήποτε επανορθωτικό μέτρο αν χρησιμοποιείται, πρέπει να παρέχει ένα τουλάχιστον ή αμφότερα τα προαναφερθέντα αποτελέσματα. Έτσι, με σκοπό να βοηθήσει στον τομέα αυτό, η Επιτροπή της Αποκατάστασης των Κατολισθήσεων IUGS WG/L προετοίμασε έναν σύντομο κατάλογο επί του οποίου περιλαμβάνονται διορθωτικά μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Στον **Πίνακα 2.7** που παρατίθεται, συνοψίζονται τα μέτρα αποκατάστασης των κατολισθήσεων, όντας διατεταγμένα σε τέσσερις (4) διακριτές ομάδες. Ειδικότερα: α) Τροποποίηση γεωμετρίας των πρανών, β) Αποστράγγιση, γ) Διατηρούμενες δομές και δ) Εσωτερική ενίσχυση των πρανών (Popescu, 2002).

Α.	**ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ**
1.	Αφαίρεση υλικού από την περιοχή που είναι επιρρεπής σε κατολίσθηση
2.	Προσθήκη υλικού στην περιοχή για ενίσχυση της ευστάθειας
3.	Μείωση της γωνίας κλίσης του πρανούς
4.	Δημιουργία αναβαθμίδων
Β.	**ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ**
1.	Εγκατάσταση αγωγών τάφρων
2.	Ωσμωτική απομάκρυνση υδάτων
3.	Οριζόντιες ή και κάθετες γεωτρήσεις
4.	Σήραγγες αποστράγγισης, δημιουργία στοών
5.	Κάθετες μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις για άντληση υπόγειων υδάτων
Γ.	**ΔΟΜΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**
1.	Τοιχία αντιστήριξης ικανά να διατηρούν μεγάλου όγκου βαρύτητα
2.	Ενισχυμένα τοιχία έγχυτου σκυροδέματος
3.	Παθητικοί πάσσαλοι και γεωπλέγματα
4.	Τοίχοι με συρματοκιβώτια
5.	Φατνωματικοί τοίχοι
Δ.	**ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ**
1.	Αγκυρώσεις
2.	Τσιμεντενέσεις
3.	Μπουλόνια βράχων
4.	Φύτευση βλάστησης
5.	Θερμική επεξεργασία

Πίνακας 2.7 Μέτρα αντιμετώπισης και αποκατάστασης των κατολισθητικών γεγονότων (Popescu, 2002)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου λογίζεται η ανάδειξη των σύγχρονων εργαλείων ανάλυσης δεδομένων τα οποία καθιστούν το έργο των ερευνητών & μελετητών πιο εύκολο, με την απαραίτητη προϋπόθεση ότι αφενός μεν τα δεδομένα τα οποία εισάγονται στο εκάστοτε σύστημα (περιβάλλον) έχουν πρωτίστως μελετηθεί και επεξεργαστεί κατάλληλα, αφετέρου δε ότι υφίσταται μια γενικότερη αντίληψη από την πλευρά του ερευνητή για τυχόν λάθη ή και παραλείψεις που ενδεχομένως το σύστημα αποδώσει, όντας συνεπώς ο ίδιος σε θέση να εντοπίσει τα εν λόγω σφάλματα και να επέμβει καίρια όταν αυτό απαιτείται.

Ουσιαστικά, η συλλογή των δεδομένων αποτελεί προαπαιτούμενο στάδιο για οποιαδήποτε περαιτέρω ενέργεια, αφού χωρίς αυτά καθίσταται ανέφικτη οποιαδήποτε άλλη λειτουργία. Η λήψη των δεδομένων επιτυγχάνεται είτε με άμεσο τρόπο, που συνεπάγεται την επί του πεδίου συλλογή, είτε ακόμη και με έμμεσο τρόπο, δηλαδή μέσω απόστασης. Η τελευταία μέθοδος πραγματοποιείται με τη βοήθεια της επιστήμης της τηλεπισκόπησης (γνωστή και ως τηλεανίχνευση) η οποία έχει ευρεία γκάμα εφαρμογών όπως επί παραδείγματι την αξιοποίηση δορυφορικών εικόνων για την ανίχνευση δυνητικών κινδύνων του περιβάλλοντος, τον χωρικό εντοπισμό της διακινδύνευσής τους, την πρόβλεψη της έντασης και έκτασής τους, καθώς επίσης και την αποτίμηση των γεγονότων μετά το πέρας της εκδήλωσής τους.

Αναμφίβολα, τα τελικά εισαχθέντα στοιχεία, οφείλουν να προσδιορίζουν με ακρίβεια τους κρίσιμους παράγοντες για την κατασκευή των κατά το δυνατόν ορθότερων χαρτών επικινδυνότητας και κύριο μέλημα για την επίτευξη του σκοπού αυτού κρίνεται εν πρώτοις η ποιότητα και η εγκυρότητα των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ η ποσότητα και η επιλογή της καλύτερης μεθόδου ανάλυσης συνιστούν επιπλέον κρίσιμα ζητήματα στην παραγωγή αξιόπιστων χαρτών κινδύνου έναντι κατολισθήσεων. Σε αυτό το σημείο αξίζει να διευκρινιστεί ότι τα τελικώς χρησιμοποιηθέντα δεδομένα για την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία συγκροτούνται από ένα σύνολο πρωτογενών και δευτερογενών στοιχείων, ενώ οι τεχνολογίες και το περιβάλλον που αξιοποιήθηκε είναι αυτό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS) κάνοντας μάλιστα χρήση μοντέλων πολυκριτηριακής ανάλυσης.

3.2. Μετατροπή δεδομένων σε πληροφορίες

Η σπουδαιότητα στην ανάλυση της κατολισθητικής επικινδυνότητας, αλλά και γενικότερα στην έρευνα των κατολισθητικών φαινομένων, έγκειται κατά κύριο λόγο στην δυνατότητα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, επεξεργασίας κι ανάλυσης των δεδομένων, όπως άλλωστε χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο **Σχήμα 3.1** στη συνέχεια του κειμένου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται προέρχονται μέσα από βάσεις δεδομένων, εμπεριστατωμένες μελέτες, ή κι από τεχνικογεωλογικές εκθέσεις της ευρύτερης περιοχής έρευνας, αντλούμενα από το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Οι πληροφορίες που παρέχονται τα δεδομένα είναι χωροχρονικές και βρίσκονται είτε σε ψηφιακή είτε σε αναλογική μορφή, όπως για παράδειγμα τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους, οι γεωλογικοί χάρτες, οι καταγραφές κατολισθήσεων, κλπ. Μέσω της σχηματοποιημένης διαδικασίας αποκομίζονται χρήσιμες πληροφορίες στη λήψη αποφάσεων για τυχόν παρεμβάσεις σε ένα πρανές, καθώς και της μορφής παρέμβασης (εφόσον κρίνεται απαραίτητο), ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μια πιο ολιστική προσέγγιση επί της κατανόησης συμπεριφοράς όλων των εμπλεκομένων φυσικών διεργασιών, με αποτέλεσμα την ποσοτικοποίηση του φαινομένου ή επίσης και της «εκτάσεως» που λαμβάνει μια γεωλογική αστοχία. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα συνιστούν γεγονότα, φαινόμενα, αντικείμενα ή και γνωστά μεγέθη από τα οποία δύναται μετά βεβαιότητας να εξαχθούν μείζονος σημασίας συμπεράσματα. Έτσι, αφού πρώτα πραγματοποιηθεί η αναγκαία επεξεργασία και ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων, μπορεί πλέον να παραχθεί επιπρόσθετη γνώση, με την μετουσίωση των δεδομένων σε πληροφορίες (Μανιάτης, 1993).

Σχήμα 3.1 Διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων με σκοπό την απόδοση πληροφοριών (Μανιάτης, 1993)

3.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

3.3.1. *Ορισμός και περιγραφή*

Συναρτήσει της διεθνούς βιβλιογραφίας, οι ορισμοί που αποδίδονται για τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems) είναι αρκετοί και ποικίλουν, υπό την έννοια ότι διακρίνεται διαφοροποίηση τόσο ως προς τον ορισμό, όσο κι ως προς την περιγραφή των εφαρμογών τους. Όπως άλλωστε τονίζει χαρακτηριστικά ο Καθηγητής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Κουτσόπουλος, παρά το εντονότατο ενδιαφέρον και την τρομερή εξέλιξη που παρατηρείται στη χρήση και την εφαρμογή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών τα τελευταία τριάντα (30) χρόνια, οι προσπάθειες για έναν σαφή και κοινώς αποδεκτό ορισμό των εν λόγω συστημάτων με ταυτόχρονο προσδιορισμό των εφαρμογών τους, δεν έχουν ακόμη ευοδωθεί στον επιδιωκόμενο επιθυμητό βαθμό.

Κατά συνέπεια, ως Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ορίζεται μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών μηχανημάτων με λογισμικά συστήματα και χωρικά δεδομένα, αλλά και με ανθρώπινο δυναμικό, που αποσκοπεί στη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας η οποία αφορά σε ένα δομημένο ή μη περιβάλλον (Κουτσόπουλος, 2002).

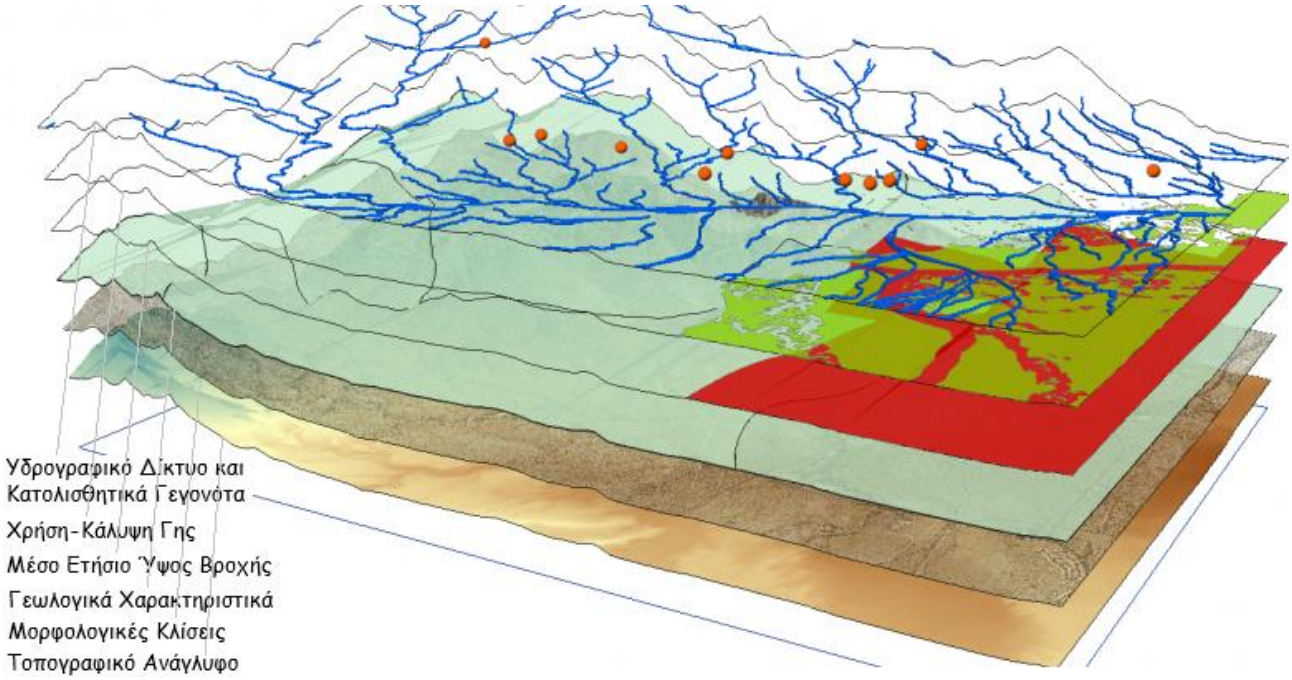
Ομοίως κατά τον Burrough (1998), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ορίζουν «ένα δυναμικό σύνολο από εργαλεία για τη συλλογή, αποθήκευση, μετασχηματισμό, ενημέρωση, διαχείριση, ανάκληση, ανάλυση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για κάποιους συγκεκριμένους σκοπούς». Η δυνατότητα των συστημάτων αυτών έγκειται στο να αναλύουν χωρικά δεδομένα και να παρουσιάζουν γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες, όντας επί της ουσίας το χαρακτηριστικό που τα διαφοροποιεί από άλλα συστήματα που ο βασικός στόχος τους είναι μόνο η παραγωγή χαρτών.

Σε μια πιο γενική μορφή ένα GIS αποτελεί ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη" που παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περιγραφική (ή και αναλυτική) απεικόνιση του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα και να τα προσαρμόσουν στο επιθυμητό κάθε φορά σχεδιασμό, αποδίδοντάς τα είτε σε αναλογική μορφή είτε και σε ψηφιακή μορφή.

Ουσιαστικά, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στηρίζονται σε μια βάση δεδομένων η οποία αποτελείται από θεματικά επίπεδα πληροφοριών που αφορούν την ίδια περιοχή. Στο **Σχήμα 3.2** που ακολουθεί, αποτυπώνονται κάποια από τα βασικά επίπεδα για την δημιουργία (παραγωγή) ενός χάρτη.

Επισημαίνεται δε ότι τα συστήματα GIS, όπως άλλωστε και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό γνώρισμα και κύριο χαρακτηριστικό των GIS είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά στοιχεία. Για παράδειγμα είναι εφικτός οποιοσδήποτε συνδυασμός μεταξύ ομάδων ανεξαρτήτου οντότητας (π.χ. σημειακές, γραμμικές, πολυγωνικές) με εγγραφές οι οποίες δύνανται να παρέχουν σειρά πληροφοριών που θα λαμβάνονται μέσω των εκάστοτε πινάκων και των αντίστοιχων ζητουμένων στοιχείων. Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων αποτελείται από τα εξής τέσσερα (4) στάδια (Νάκος, 2007):

a. Το στάδιο εισόδου, όπου τα χωρικά και μη δεδομένα κωδικοποιούνται και αποθηκεύονται.
b. Το στάδιο της διαχείρισης, κατά το οποίο τα χωρικά στοιχεία διαμορφώνονται κατάλληλα.
c. Το στάδιο της επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων και τέλος,
d. Το στάδιο της εξόδου όπου παρουσιάζεται η χωρική πληροφορία που εν τέλει προέκυψε.



Σχήμα 3.2 Απεικόνιση θεματικών επιπέδων για την παραγωγή χάρτη κινδύνου (Πηγή: Διαδίκτυο)

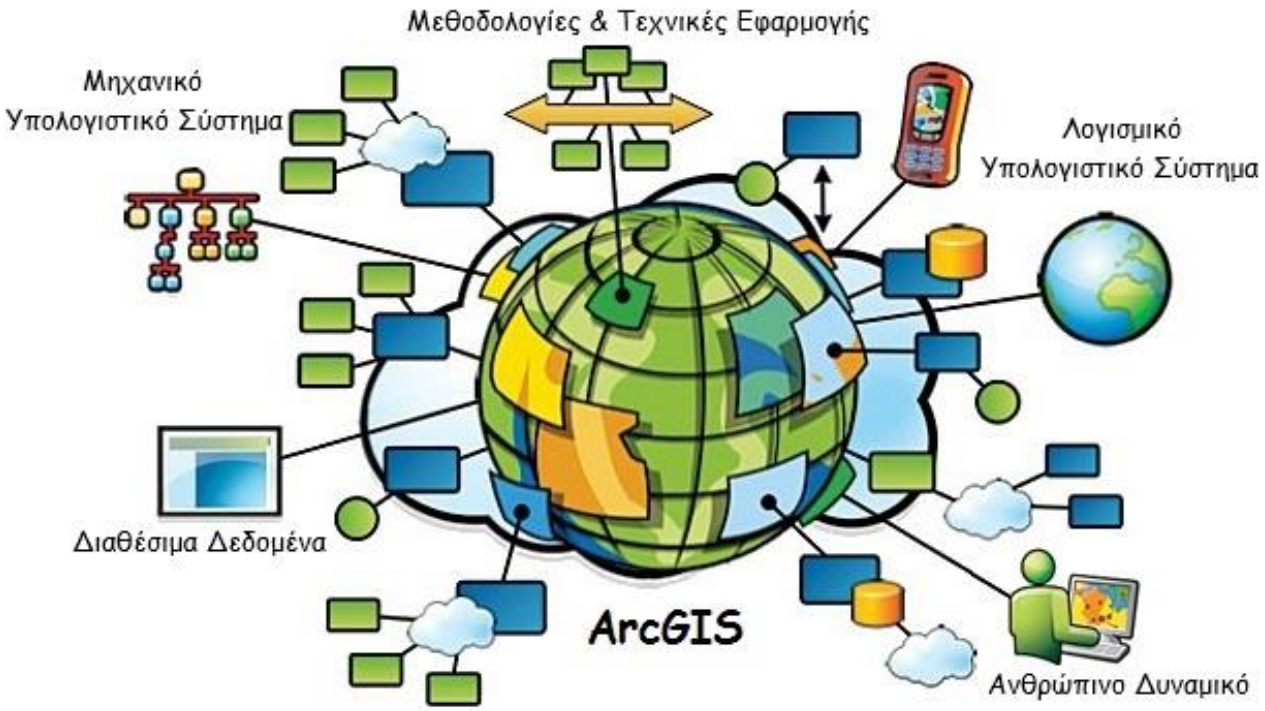
3.3.2. Τα βασικά μέρη ενός GIS

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) όπως άλλωστε προαναφέρεται, πραγματεύονται τα δεδομένα του χώρου και του χρόνου, υποστηριζόμενα καθ' ολοκληρίαν από μηχανικό υπολογιστικό εξοπλισμό και κατάλληλο λογισμικό περιβάλλον ενώ συνίστανται από τέσσερα (4) κύρια υποσυστήματα όπως αυτά αναπτύσσονται ακολούθως σύμφωνα με την εργασία των Marble & Peuquet (1983):

1. Υποσύστημα συλλογής και κωδικοποίησης δεδομένων. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σε ένα σύστημα GIS προέρχονται από διαφορετικές πηγές αποτελώντας συνηθέστερα χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, έως και πίνακες, ενώ αναφέρονται σε διαφορετικές θέσεις και χρονικές στιγμές και μπορεί να διατίθενται σε αναλογική ή και σε ψηφιακή μορφή.
2. Υποσύστημα αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων. Σε γενικές γραμμές η οργάνωση των χωρικών και των χρονικών δεδομένων σε περιβάλλον GIS πραγματοποιείται με τη χρήση ενός Συστήματος Διοίκησης Βάσεων Δεδομένων κάνοντας έτσι ταχύτερο τον εντοπισμό τους προς διόρθωση, την ανάλυσή τους, ακόμη και την αναβάθμιση ακριβείας των δεδομένων.
3. Υποσύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων. Το εν λόγω υποσύστημα λογίζεται ως το κεντρικό εργαλείο των GIS. Κάποιες από τις επεξεργασίες όπου πραγματοποιεί είναι οι μετατροπές στις δομές των δεδομένων, οι γεωμετρικές πράξεις στα χωρικά δεδομένα, η τοπογραφική, η στατιστική και η γεωστατιστική ανάλυση στα δεδομένα, όπως επίσης και οι μετρήσεις των γραμμών & των τόξων, καθώς επιπλέον η ανάκτηση χωρικών ή μη δεδομένων.
4. Υποσύστημα παραγωγής των δεδομένων εξόδου. Στο παρόν υποσύστημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επεξεργασιών είτε σε χάρτες είτε και σε πίνακες, παρέχοντας πληθώρα επιλογών των μέσων αποτύπωσης, όπως χαρτί, διαφάνειες, οθόνες, ή και μαγνητικά μέσα.

Κάθε ένα εκ των προαναφερθέντων υποσυστημάτων λειτουργεί παράλληλα και σε συνέχεια με τα υπόλοιπα, ενώ η ορθότερη και πιο αποδοτική λειτουργία για ένα ολοκληρωμένο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), στηρίζεται σε πέντε (5) βασικά συστατικά. Τα συστατικά αυτά όπως σαφέστατα αναδεικνύονται στο **Σχήμα 3.3** είναι τα μηχανικά συστήματα, τα λογισμικά υπολογιστικά συστήματα, οι μεθοδολογίες εφαρμογής, το ανθρώπινο δυναμικό και τα διαθέσιμα δεδομένα (Bolstad, 2005).

Πιο συγκεκριμένα, το μηχανικό υπολογιστικό σύστημα απαρτίζεται από την κεντρική μονάδα, το λειτουργικό σύστημα, τη μνήμη και τα αποθηκευτικά μέσα, καθώς και από τα διάφορα περιφερειακά συστήματα όπως εκτυπωτές, σαρωτές, εξωτερικά αποθηκευτικά μέσα, συσκευές εντοπισμού. Οι ειδικές προδιαγραφές και οι δυνατότητες του εν λόγω συστήματος, επηρεάζουν τόσο την ταχύτητα επεξεργασίας και την ευκολία χρήσης του, όσο και την μορφή της εξόδου. Αναφορικά με το λογισμικό υπολογιστικό σύστημα σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιούνται κυρίως αλγόριθμοι οι οποίοι ουσιαστικά συγκροτούν τα βασικά εργαλεία των υποσυστημάτων που αναλύονται στην αρχή της παρούσας ενότητας. Το ανθρώπινο δυναμικό συνεισφέρει αλληλοεπιδρώντας δυναμικά με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Έτσι, ο διαχειριστής του συστήματος, ο ειδικός τεχνικός, ο τελικός χρήστης και ο καταναλωτής απαρτίζουν "κατά βάση" το συστατικό ενός ολοκληρωμένου συστήματος, το οποίο καθορίζει το αποτέλεσμα της εφαρμογής αφού διαχειρίζεται κι επεξεργάζεται όλα τα στάδια της διαδικασίας. Οι μέθοδοι εφαρμογής αναφέρονται στα διαχειριστικά πρότυπα, στα πρωτόκολλα πρόσβασης, στις αρχές και στους κανόνες, καθώς και στις κατευθυντήριες γραμμές που συνολικά απαιτούνται για την εφαρμογή της τεχνολογίας των GIS. Εν τέλει, καθίσταται σαφές ότι πρωτίστως η ποιότητα και δευτερευόντως η ποσότητα των δεδομένων, ορίζουν το τελικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 3.3 Τα βασικά μέρη ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Bolstad, 2005)

3.3.3. Τα στάδια ανάπτυξης των πληροφοριών

Σχετική μνεία του σταδίου ανάπτυξης των πληροφοριών κατορθώνεται στο τέλος της υποενότητας με τίτλο "ορισμός και περιγραφή" του παρόντος κεφαλαίου, επί της οποίας αναφέρονται επιγραμματικά τα τέσσερα (4) στάδια της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων. Αναλυτικότερα, το στάδιο της εισόδου αναφέρεται στην διενέργεια της αναγνώρισης και της συλλογής στοιχείων για συγκεκριμένες εφαρμογές, κυρίως όμως για την αποτύπωση και αποθήκευση τους. Ειδικότερα, τα αναγκαία στοιχεία για ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών δύναται να προέλθουν μέσα από πρωτογενείς διαδικασίες όπως επί παραδείγματι η άμεση παρατήρηση και η έρευνα πεδίου, ή ακόμη και μέσω της επεξεργασίας πρωτογενών στοιχείων όπως άλλωστε η ψηφιοποίηση, ή με την κατευθείαν εισαγωγή στοιχείων από άλλες τράπεζες δεδομένων. Στο στάδιο της διαχείρισης πραγματοποιείται η διαδικασία της μετάβασης από στοιχεία σε πληροφορία αποτελώντας τη δημιουργία της πληροφοριακής βάσης (Νάκος, 2007).

Επιπλέον, οι τεχνικές ανάλυσης που ένα GIS οφείλει να χρησιμοποιεί είναι δύσκολο να καθοριστούν εκ προοιμίου. Γενικά οι ερωτήσεις που ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να «απαντήσει» κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της χωρικής ανάλυσης, διακρίνονται σε πέντε (5) κατηγορίες, έχοντας ως εξής:

- Προσδιορισμός της κάθε χωρικής ενότητας (ομάδας) ξεχωριστά για την περιοχή μελέτης.
- Αναζήτηση στοιχείου ή κατηγορίας βάσει διαφορετικών εξειδικευμένων κριτηρίων.
- Χρονικός προσδιορισμός και ανάδειξη (αποκρυπτογράφηση) των θέσεων με «τάσεις».
- Χαρακτηρισμός χωρικών προτύπων και αναζήτηση συσχετισμών για παρόμοιες συνθήκες.
- Διαδικασίες υποθετικών σεναρίων για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση του φαινομένου.

Εν κατακλείδι, στο στάδιο της εξόδου παρουσιάζεται η πληροφορία που προήλθε μέσω της ανάλυσης και δημιουργίας από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Ο τρόπος παρουσίασης της πληροφορίας αυτής είναι καθοριστικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Οι βασικές μορφές εξόδου της πληροφορίας από το GIS είναι τρεις (3) κι αφορούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

- Πίνακες, μαθηματικές συναρτήσεις, μέσους όρους και άλλες μη σχεδιαστικές αποδόσεις.
- Ιστογράμματα, πολύγωνα συχνότητας και άλλες μορφές γραφημάτων.
- Χάρτες.

3.3.4. Κυριότερες εφαρμογές ενός GIS

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αποτελούν στις μέρες μας ένα απαραίτητο εργαλείο της χωρικής ανάλυσης παρέχοντας πολλαπλές και ενδιαφέρουσες εφαρμογές τόσο στην ανάλυση του χώρου, όσο και στην επεξεργασία των γεωγραφικώς προσδιορισμένων πληροφοριών. Με τον τρόπο αυτό εξυπηρετούν και διευκολύνουν τις καθημερινές λειτουργίες στη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων. Κάποιες από τις κυριότερες εφαρμογές για τα προαναφερθέντα συστήματα, απαντώνται στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος και των πόρων του (Sharifi & Rodriguez, 2002) στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας νέας υποδομής για τους οικισμούς (Sharifi & Van Keulen, 1994), στις θαλάσσιες και στις επίγειες μεταφορές (Simkowitz, 1988), σε βιομηχανίες ηλεκτρισμού και τηλεπικοινωνιών, όπως επίσης σε δίκτυα ύδρευσης – αποχέτευσης όπου διευκολύνεται η παρακολούθηση και διαχείρισή τους, ενώ όλο και περισσότεροι είναι οι οργανισμοί που επιδιώκουν την ενσωμάτωση της τεχνολογίας τους στα υποστηρικτικά συστήματα λήψης αποφάσεων, γνωρίζοντας ότι η χρήση τους φέρει θετικά οφέλη.

Πιο αναλυτικά, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), βρίσκουν εφαρμογή σε επίπεδα περιφερειακού προγραμματισμού & σχεδιασμού, καθώς και επί αστικού επιπέδου βοηθώντας στον σχεδιασμό της πολιτικής προστασίας σε έτι περαιτέρω λειτουργίες όπως για θέματα διαχείρισης συγκοινωνιών και μεταφορών, σε θέματα που έχουν να κάνουν με τις τεχνικές υποδομές, όπως ακόμη και σε ζητήματα περιβάλλοντος, δημόσιας ασφάλειας και της δημόσιας υγείας (Κουτσόπουλος, 2002). Συγκεκριμένα, οι κυριότερες εφαρμογές των GIS αναφορικά με τις γεωεπιστήμες χωρίζονται σε πέντε (5) κατηγορίες όπως αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά κάτωθι (Bonham & Graeme, 1994):

1. Χαρτογράφηση της επικινδυνότητας των ακραίων φυσικών φαινομένων, συμπεριλαμβάνοντας την παραγωγή και τη ζωνοποίηση χαρτών κατολισθήσεων, σεισμικής δραστηριότητας, κλπ.
2. Διερεύνηση των πιθανών παραγοντικών συσχετίσεων μεταξύ δομημένων και μη δομημένων συνόλων συγκρότησης πληροφοριών.
3. Διερεύνηση χωρικών συσχετίσεων εν είδει μοτίβων, ανάμεσα σε δεδομένα που προκύπτουν κατά την γεωλογική έρευνα σε μια υπό εξέταση περιοχή.
4. Επιλογή καταλληλότητας χώρων για συγκεκριμένες χρήσεις.
5. Εκτίμηση πλουτοπαραγωγικών πηγών.

3.3.5. Πλεονεκτήματα της χρήσης των GIS

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχονται μέσω της χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) τόσο για την εκτίμηση και ζωνοποίηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας, όσο και συνολικά για την ανάλυση των γεωλογικών αστοχιών, καθώς αυτές επηρεάζουν με άμεσο ή έμμεσο τρόπο την ανάπτυξη και ευημερία του ατόμου, είναι τα ακόλουθα (Deketh and Rengers, 1997).

Αρχικά, η δραστική μείωση του χρόνου που απαιτείται για μια σειρά ουσιαστικών ενεργειών όπως είναι η επεξεργασία και η ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων που έχουν εκδηλωθεί σε μια περιοχή, όπως επίσης και η παραγωγή των τελικών χαρτογραφικών προϊόντων. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα ταυτόχρονης εφαρμογής πολλών και διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης, μεμονωμένα ή και συνδυαστικά. Στην περίπτωση αυτή, οι υπολογισμοί επιτυγχάνονται με σύνθετες τεχνικές που απαιτούν μεγάλες ταχύτητες λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων που χρησιμοποιούνται αλλά και της πολλαπλής υπέρθεσης των χαρτογραφικών επιπέδων. Επιπροσθέτως, καθίσταται δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου "δοκιμής και λάθους" μέσω της οποίας παρέχεται η δυνατότητα βελτίωσης των μοντέλων ανάλυσης μετά από σειρά επαναλαμβανόμενων αξιολογήσεων των αποτελεσμάτων που κάθε φορά προκύπτουν, με ικανό το δικαίωμα για πιθανές αναπροσαρμογές στα δεδομένα εισόδου.

Συν τοις άλλοις, ένα πρόσθετο σημαντικό πλεονέκτημα στην χρήση των συστημάτων αυτών, είναι η απόκτηση των μη-διαθέσιμων δεδομένων. Οι κατολισθήσεις, όπως άλλωστε και οι περισσότεροι φυσικοί κίνδυνοι, αποτελούν αποτέλεσμα συνδυασμένης δράσης πολλών παραγόντων. Συνεπώς, με σκοπό την ακριβέστερη δυνατή εκτίμηση του κινδύνου ή της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων απαιτείται ένας όγκος ποιοτικών κι αξιόπιστων δεδομένων. Κάνοντας την παραδοχή ότι κατά το παρελθόν τα κατολισθητικά στοιχεία που μπορούσαν να χαρτογραφηθούν με την δέουσα ακρίβεια ήταν ελάχιστα, η λύση δίνεται σήμερα σε μεγάλο ποσοστό από την τεχνολογία των GIS, η οποία τα τελευταία χρόνια παρέχει με τον πλέον αποδοτικότερο τρόπο στους χρήστες πληθώρα κατάλληλων εργαλείων για την αποθήκευση και την διαχείριση πολλών εκ των προαναφερθέντων δεδομένων. Για παράδειγμα, τα μορφολογικά δεδομένα σε μια περιοχή δύναται να αντληθοούν μέσω των εδαφολογικών ιδιοτήτων από ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου, ενώ μια κατολίσθηση οριοθετείται από δορυφορική λήψη.

3.3.6. Μειονεκτήματα της χρήσης των GIS

Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) θεωρείται από πολλούς ίσως το καταλληλότερο εργαλείο στην εκτίμηση των φυσικών κινδύνων και εν προκειμένω έναντι των γεωλογικών αστοχιών, η συστηματική και υπέρμετρη χρήση τους στην διαδικασία αυτή, έχει επιφέρει κάποια μειονεκτήματα που είναι αδύνατον κάποιος να τα παραβλέψει. Έτσι, σύμφωνα με δημοσιευμένη έρευνα του Van Westen (2004), οι σημαντικότερες αδυναμίες στην εφαρμογή της προαναφερθείσης τεχνολογίας εντοπίζονται και περιγράφονται αναλυτικά ακολούθως.

Εν πρώτοις και ενδεχομένως η σπουδαιότερη αδυναμία στη χρήση των συστημάτων αυτών είναι η περιεχόμενη ασάφεια των δεδομένων εξόδου και συγκεκριμένα των αποτελεσμάτων που αποδίδονται. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των μεθόδων και των τεχνικών οι οποίες εφαρμόζονται, καθώς προορίζονται να παράγουν πληροφορίες σχετικές με την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων που είναι πιθανό να πραγματοποιηθούν στο μέλλον και σε μια δεδομένη περιοχή έχοντας όμως ως «υπόβαθρο» την προγενέστερη γνώση και τις συνθήκες που οδήγησαν (κατά το παρελθόν) στην εμφάνιση γεωλογικών αστοχιών της συγκεκριμένης περιοχής. Πέραν τούτου, στην πλειονότητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων, δεν ενσωματώνεται άμεσα κανένα από τα χαρακτηριστικά των κατολισθητικών φαινομένων όπως το μέγεθος, η ταχύτητα ή και η κινητική τους ενέργεια αλλά ούτε και η συχνότητα κατά την οποία τα φαινόμενα αυτά εκδηλώνονται γεγονός που καθιστά τα μοντέλα εκτίμησης, μη ρεαλιστικά.

Εν συνεχεία, ένα εξίσου σημαντικό μειονέκτημα είναι τα χαρτογραφικά προϊόντα που παράγονται από τον υπολογιστή μιας και αυτά θεωρούνται πιο γενικευμένα και πιο ανακριβή σε σχέση με εκείνα τα προϊόντα που προέρχονται από γεωεπιστήμονες και ερευνητές μέσω του συμβατικού-παραδοσιακού τρόπου. Αναμφίβολα, η λεπτομερή χαρτογράφηση των περιοχών έπειτα από την διενέργεια έρευνας πεδίου αποτελεί ένα αυθεντικό προϊόν με μεγάλη υπεροχή έναντι του αντίστοιχου "εξαγομένου" από τη λειτουργία σε περιβάλλον GIS. Τέλος, η συνολικότερη αρνητική εικόνα χρήσης των συστημάτων αυτών αντανακλάται συνυπολογίζοντας το γεγονός της παραγωγής μικρότερης ακρίβειας χαρτών από χρήστες που δεν ειδικεύονται στους τομείς της Γεωπληροφορικής, και επίσης ότι το ενδιαφέρον για γρήγορο αποτέλεσμα δεν συνεπάγεται από το αντίστοιχο ενδιαφέρον συλλογής αξιόπιστων δεδομένων.

3.3.7. Η εφαρμογή των GIS στις κατολισθήσεις

Οι κίνδυνοι οι οποίοι προξενούνται μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά και φυσικών διεργασιών απασχολούν έντονα ολόκληρη την επιστημονική κοινότητα κι ως εκ τούτου η διαχείριση και η μείωση των συνεπειών τους αποτελούν αντικείμενο πολλών εργασιών τις τελευταίες δεκαετίες. Στο σύνολό της η ανθρωπότητα βρίσκεται αντιμέτωπη με πολλά και εκρηκτικά περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία εκθέτουν σε κίνδυνο την ίδια την ύπαρξη της, όπως και την ύπαρξη των άλλων έμβιων όντων του πλανήτη. Τα κατολισθητικά φαινόμενα λογίζονται ως ένας σημαντικός γεωλογικός κίνδυνος αφού με βάση τα στοιχεία που εκδόθηκαν από τον διεθνή οργανισμό της UNESCO (2005), έχει υπολογιστεί ότι κάθε χρόνο σκοτώνονται κατά προσέγγιση εξακόσιοι (600) άνθρωποι από αυτές. Επίσης, σε πολλές χώρες οι επιπτώσεις των κατολισθήσεων σε κοινωνικό & οικονομικό επίπεδο είναι τεράστιες.

Η ανάγκη για τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των φυσικών κινδύνων έκανε απαραίτητη τη χρήση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), με τη βοήθεια των οποίων η ευρεία επιστημονική κοινότητα είναι σε θέση να ταξινομήσει και να κατηγοριοποιήσει τις περιοχές του φυσικού ανάγλυφου συναρτήσει του βαθμού επικινδυνότητας ή της επιδεκτικότητάς τους ως προς την εκδήλωση κατολισθητικών κινήσεων. Συνιστά φαινόμενο χωρικά προσδιορισμένο που μπορεί να ενσωματωθεί με απόλυτο τρόπο στα προαναφερθέντα συστήματα, ενώ η εφαρμογή τους βοηθά στην:

a. Αναπαράσταση των πολύπλοκων χωρικών σχέσεων για μια συγκεκριμένη περιοχή έρευνας.
b. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά & τα ιδιαίτερα γνωρίσματά της.
c. Αποθήκευση και οργάνωση των χωρικών δεδομένων συναρτήσει της κρίσεως του ερευνητή.
d. Σύνθεση και ομαδοποίηση των δεδομένων σε κατηγορίες, που προέρχονται από άλλες πηγές.
e. Επεξεργασίας και ανάλυση των δεδομένων με την δυνατότητα παρέμβασης του χρήστη.
f. Διαδικασία της πρόληψης, συνδυάζοντας διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω διαπιστώνεται η εγκυρότητα του ορισμού που τους αποδίδεται, ότι δηλαδή τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αποτελούν οργανωμένα συστήματα μηχανικών μερών και υπολογιστικού λογισμικού, όντας τα πλέον καταλληλότερα για την συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση, επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση όλων των τύπων των γεωγραφικών πληροφοριών.

Με άλλα λόγια θεωρούνται εργαλεία λήψης αποφάσεων για κάθε σύνθετο πρόβλημα που σχετίζεται με την χωρική διαδικασία, παρέχοντας ταυτόχρονα και τη δυνατότητα βελτίωσης των μοντέλων που προκύπτουν μετά από αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και προσαρμόζοντας κατ' επιλογή κάθε φορά τα διαθέσιμα δεδομένα με τον "κατά το δοκούν" επιθυμητό τρόπο. Οι γεωγραφικές πληροφορίες που διαχειρίζονται μέσα από τα εν λόγω συστήματα διακρίνονται σε χαρτογραφικές και περιγραφικές.

Αναφορικά με τις χαρτογραφικές πληροφορίες, αναφέρονται σε γεγονότα τα οποία σχετίζονται με τη θέση και το σχήμα ενός φαινομένου, δηλαδή αποδίδουν τη γεωμετρία του χώρου, πραγματοποιώντας τον εντοπισμό του συμβάντος στο έδαφος και προσδιορίζοντας παράλληλα το σχήμα του ή ακόμα και την έκταση του. Επιπλέον, καθορίζονται από πληροφορίες που περιγράφουν την τοπολογία του χώρου οι οποίες αναπτύσσονται ανάμεσα στα δομικά στοιχεία όπως επί παραδείγματι οι σχέσεις σύνδεσης, συνέχειας και γειτνίασης. Η αποθήκευση των πληροφοριών αυτών γίνεται σε μια βάση δεδομένων με κύριο χαρακτηριστικό της καταγραφής τους, το καρτεσιανό σύστημα των συντεταγμένων που έχουν.

Σχετικά τώρα με τις περιγραφικές πληροφορίες, αφορούν ποιοτικά ή ποσοτικά χαρακτηριστικά των φαινομένων που συμβαίνουν στον χώρο. Ομοίως κι αυτές αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων που συνδέονται με τις αντίστοιχες βάσεις των χαρτογραφικών πληροφοριών. Η διάκριση των συστημάτων σε Διανυσματικά (Vector) και Πλεγματικά (Raster) οφείλεται αποκλειστικά στον τρόπο αποθήκευσης των χαρτογραφικών πληροφοριών. Στα μεν διανυσματικά συστήματα η αποθήκευση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των δομικών στοιχείων όπως είναι το σημείο, η γραμμή και το πολύγωνο, ενώ στα πλεγματικά η περιοχή χωρίζεται με τη βοήθεια ενός νοητού κανάβου σε κυψέλες συνήθως τετράγωνες. Κάθε κελί (φατνίο) παίρνει μια ξεχωριστή τιμή ανάλογα με το αν αυτή περιέχει δεδομένα ή όχι. Βασική δυνατότητα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) σχετικά με την αποτύπωση μιας περιοχής αποτελεί η διαστρωμάτωση των γεωγραφικών πληροφοριών αυτής. Τέλος, να σημειωθεί ότι η διαστρωμάτωση αναφέρεται στην καταχώρηση - οργάνωση των πληροφοριών (χωρικών ή περιγραφικών) σε επίπεδα ομοιογενών στοιχείων (Καλύβας και Παπαευσταθίου, 1995).

Εν συνεχεία του κειμένου πραγματοποιείται μνεία της χρησιμότητας των εργαλείων που αναλύονται ήτοι των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και δη της αναγκαιότητάς τους στην πρόληψη του κατολισθητικού κινδύνου, ενώ έπειτα αναφέρονται όλες οι διαθέσιμες μέθοδοι των εργαλείων αυτών.

3.3.8. Η αναγκαιότητα χρήσης των GIS

Όπως διατυπώνεται και σε παραπάνω ενότητα, τα τελευταία χρόνια γίνεται εκτεταμένη χρήση των συστημάτων GIS, αφού τόσο η ευκολία στη συλλογή, τον χειρισμό και την ενημέρωση των δεδομένων σε ένα τέτοιο λογισμικό περιβάλλον όσο και η ανάπτυξη των διαφόρων προγραμμάτων και εφαρμογών, έχουν αυξήσει άρδην την παραγωγή χαρτών που συσχετίζονται με το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Ωστόσο, παρά τα σαφή παρατιθέμενα πλεονεκτήματα, σημαντικά προβλήματα στην χαρτογραφία των κατολισθήσεων, δεν έχουν μέχρις ώρας επιλυθεί. Ένα τέτοιο μείζον ζήτημα αποτελεί η αβεβαιότητα στη συλλογή και τη χαρτογράφηση των γενεσιουργών παραγόντων του κατολισθητικού φαινομένου, όπως και η «ασυνέπεια» των δεδομένων, υπό την έννοια ότι δεν αποδίδουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η συμβολή των παραδοσιακών στατιστικών τεχνικών επικεντρώνεται στη δυνατότητα μελέτης και ανάλυσης των σχέσεων μεταξύ ενός ή περισσοτέρων παραγόντων και στην εκδήλωση του φαινομένου. Ως βασική ιδέα αυτών των τεχνικών λογίζεται η εκτίμηση μελλοντικών κατολισθητικών συμβάντων λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες εκείνες όπου κατά το πρόσφατο παρελθόν προκάλεσαν αντίστοιχα γεγονότα. Κοντολογίς, στηρίζονται στην κοινή παραδοχή της ανάλυσης των κατολισθήσεων ότι "το παρελθόν και το παρόν συνιστούν το κλειδί για το μέλλον". Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία των φυσικών καταστροφών συμπεριλαμβανομένων και των κατολισθήσεων, αποτελούν πολύπλοκα φαινόμενα των οποίων οι μηχανισμοί λειτουργίας δεν έχουν ακόμη κατανοηθεί πλήρως. Η εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ των διαφορετικών γενεσιουργών παραγόντων, κάποιοι από τους οποίους είναι μερικώς γνωστοί, ενώ άλλοι εντελώς άγνωστοι (Melchiorre et al., 2006).

Έτσι, βάσει των προαναφερθέντων ζητημάτων, η πρόβλεψη των κατολισθήσεων οφείλει να βασίζεται σε άγνωστες, πολύπλοκες και μη-γραμμικές σχέσεις ανάμεσα στους παράγοντες που τις επηρεάζουν και της κατανομής τους. Η ικανότητα εκμάθησης των μη-γραμμικών συναρτήσεων από τα δεδομένα, συνιστά καθοριστικό σημείο για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος ταξινόμησης των περιοχών εκείνων που είναι επιρρεπή σε φαινόμενα αστοχίας. Η ικανότητα αυτή, σε συνδυασμό με την επίσης σημαντική ικανότητα τους να αποδίδουν "ορθές" προβλέψεις, καθιστούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία ως ένα από τα πλέον καταλληλότερα εργαλεία για την ανάλυση του φαινομένου των κατολισθήσεων.

Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), διαμόρφωσε εκ νέου την αντίληψη ότι τα συστήματα αυτά αποτελούν ιδανικά εργαλεία στην εκτίμηση του κινδύνου, καθώς παρέχεται πλέον η δυνατότητα συνδυασμού χωρικών αναλύσεων με μεθόδους προσομοίωσης και η επικοινωνία με σχεσιακές βάσεις δεδομένων. Συνεπώς, μέσα από τις σύγχρονες ερευνητικές κατευθύνσεις επιδιώκεται η "ενσωμάτωση" τεχνικών και μεθόδων της τεχνητής νοημοσύνης καθώς και των έμπειρων λογισμικών συστημάτων σε περιβάλλον GIS (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002).

Κάνοντας την παραδοχή ότι η ασάφεια και η αβεβαιότητα εμπεριέχονται σε οποιοδήποτε υπό εξέταση ζήτημα, όντας αστάθμητοι παράγοντες οι οποίοι υφίστανται σε όλους τους φυσικούς κινδύνους και εν προκειμένω και στα κατολισθητικά φαινόμενα, οι διαδικασίες τόσο της λήψης των αποφάσεων όσο και του σχεδιασμού, συγκροτούν μια επίπονη εργασία. Ένας σημαντικός αριθμός μεθόδων και εργαλείων πρόβλεψης έναντι των φυσικών καταστροφών είναι διαθέσιμος για τους ειδικούς που ασχολούνται με τις συγκεκριμένες διαδικασίες. Άρα, η γνώση σχετικά με την πιθανότητα και τον χρονικό προσδιορισμό εκδήλωσης, καθώς και με την ένταση μιας καταστροφής, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη για τον μετριασμό της, για τον προληπτικό σχεδιασμό έργων, και την εκτίμηση της ποσότητας των ενδεχόμενων ζημιών ή και απωλειών που μπορεί να προκαλέσει. Η απόκτηση της γνώσης αυτής απαιτεί την αντιμετώπιση μείζονων ζητημάτων και ταυτόχρονα προϋποθέτει πλήρη κατανόηση των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των παραγόντων οι οποίοι συμβάλλουν στην εκδήλωση μιας δυνητικής φυσικής καταστροφής.

Επιπλέον, τόσο η ανανέωση όσο και η ενσωμάτωση νέων σχετικών δεδομένων κρίνεται επιβεβλημένη ούτως ώστε να καταγράφονται όλες εκείνες οι δυναμικές αλλαγές που διενεργούνται στο περιβάλλον. Αναγνωρίζοντας τώρα την αδυναμία των παραδοσιακών μεθόδων στην επίλυση τέτοιων ζητημάτων οι ειδικοί έχουν στρέψει τα τελευταία χρόνια τις έρευνες τους στη χρήση συνδυαστικών μεθόδων και τεχνικών που σχετίζονται από τη μία μεριά με την εξόρυξη γνώσης μέσω της τεχνητής νοημοσύνης όπως τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ), και από την άλλη στην προσομοίωση μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων και στη δυνατότητα βελτίωσης των μοντέλων πρόβλεψης κατόπιν αξιολόγησής τους η οποία επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Nasri, 2010). Τα τελευταία άλλωστε είναι αυτά που αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό στην παρούσα διατριβή αφού μέσω αυτών παράγονται χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας για τον Δήμο Αγράφων.

3.4. Αρχές ζωνοποίησης κινδύνου έναντι κατολισθήσεων

Ο προσδιορισμός και η εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου εναπόκειται σε μία σειρά θεμελιωδών παραδοχών, βάσει των οποίων όχι μόνο ποσοτικοποιείται το μέγεθος της ζημιάς που προκλήθηκε, αλλά παράλληλα καθορίζεται και χωρικά η έκταση του φαινομένου. Βέβαια, στην περίπτωση κατά την οποία δύναται να εξακριβωθεί και η χρονική εκτέλεση του συμβάντος, τότε σαφώς ο προσδιορισμός επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Με τις εν λόγω θεμελιώδεις παραδοχές, όπως αυτές άλλωστε προτάθηκαν αρχικά από τον D. J. Varnes (1984) και μεταγενέστερα από τον J. N. Hutchinson (1995), κατορθώνεται ορθότερη προσέγγιση του κινδύνου και κατά συνέπεια η ζωνοποίηση της εκάστοτε περιοχής μελέτης εμπεριέχει μικρότερο σφάλμα. Οι προαναφερθείσες παραδοχές καταγράφονται με σαφήνεια έχοντας ως ακολούθως: «Τα κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται στις ίδιες γεωλογικές, γεωμορφολογικές, υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες οι οποίες υπήρχαν και στο παρελθόν».

Εκτός των άλλων, σε όλα τα ανωτέρω προϋποτίθεται ότι όλοι οι τύποι των αστοχιών μπορούν να αναγνωρίζονται και να ταξινομούνται όπως επίσης και ότι οι κύριες συνθήκες που κρίνονται υπαίτιες για την εμφάνιση του φαινομένου «ελέγχονται» από αναγνωρίσιμους φυσικούς παράγοντες. Κατόπιν τούτων, ο βαθμός κινδύνου έναντι κατολισθήσεων δύναται να αξιολογηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Εντούτοις, όσο ευνοϊκή κι αν παρουσιάζεται μια τέτοια κατάσταση, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι η εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας συνιστά μια απλοϊκή και εύκολη διαδικασία, αφού πολλά εμπόδια που παρουσιάζονται προσεγγίζονται με δυσκολία. Πιο συγκεκριμένα τόσο η έλλειψη των δεδομένων που αφορούν στην εμφάνιση του φαινομένου και στην συχνότητα των γεωμορφολογικών διαδικασιών που πραγματοποιούνται σε μια περιοχή όσο και η ασυνεχής φύση των αστοχιών στα πρανή (σε χωρικό και χρονικό προσδιορισμό), καθώς και η δυσκολία αναγνώρισης των αιτιών εκδήλωσης ενός συμβάντος, περιορίζει σημαντικά την απαιτούμενη γνώση πληροφοριών ούτως ώστε να επιτευχθεί ολιστική προσέγγιση του προβλήματος, με αποτέλεσμα τις μακροχρόνιες μελέτες.

Σε ότι αφορά την αξιολόγηση του κινδύνου, θεωρείται ως ο εντοπισμός και η ανάδειξη των περιοχών που είναι εκτεθειμένες σε ένα ή περισσότερα φυσικά φαινόμενα, διαφορετικής έντασης, με αντίστοιχη πιθανότητα να πραγματοποιηθούν σε μία συγκεκριμένη υπό εξέταση περιοχή (Hutchinson, 1995).

Πιο αναλυτικά, στην περίπτωση των κατολισθήσεων, η κατολισθητική επικινδυνότητα εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί ή να επαναληφθεί ένα συμβάν σε μια καθορισμένη χρονική στιγμή κι εντός ενός καθορισμένου χώρου. Ο όρος "διακινδύνευση" ενέχει την έννοια να συμβεί στην πραγματικότητα ένας συγκεκριμένος κίνδυνος. Ενώ λοιπόν ο κίνδυνος λαμβάνεται ως μια διαδικασία που εμπεριέχει το δυναμικό της απώλειας συνιστώντας ουσιαστικά μια γενική μορφή απειλής, η διακινδύνευση αποτελεί την πραγματική έκθεση (οποιουδήποτε στοιχείου που έχει αξία για τον άνθρωπο) σε κάποιον κίνδυνο, θεωρούμενη ως ένας συνδυασμός πιθανότητας και απώλειας. Συμπερασματικά, δύναται να ειπωθεί ότι ο κίνδυνος στην ευρύτερη μορφή του υφίσταται ανεξαρτήτως της ανθρώπινη παρουσίας, ενώ η διακινδύνευση προσδιορίζεται μόνο εάν κάποιο ανθρώπινο στοιχείο είναι εκτεθειμένο (Smith, 1996).

Η ζωνοποίηση του κινδύνου στη γενική της έννοια σημαίνει την οριοθέτηση ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας και την ταξινόμηση του σύμφωνα με το βαθμό του υπαρκτού ή του δυνητικού κινδύνου από κατολισθήσεις συνιστώντας το τελικό αποτέλεσμα αξιολόγησης του φυσικού κινδύνου. Το παραγόμενο αποτέλεσμα παρουσιάζει το αναμενόμενο ετήσιο κόστος των ζημιών οι οποίες προκλήθηκαν από την εκδήλωση ενός κατολισθητικού γεγονότος για μια καθορισμένη περιοχή έρευνας, συνυπολογίζοντας τις πιθανότητες ενός χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων κάνοντας ανάλυση όλων των πιθανών σεναρίων. Έχοντας λοιπόν ως απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό του κινδύνου και την διαίρεση μιας ευρύτερης περιοχής σε ομοιογενή τμήματα - ζώνες, προτείνονται οι παρακάτω ορισμοί Varnes (1984):

a. Ως τρωτότητα ορίζεται ο βαθμός απωλειών ενός στοιχείου ή ενός συνόλου στοιχείων σε κίνδυνο που προέρχεται από την εμφάνιση ενός φυσικού φαινομένου με δεδομένο μέγεθος. Για τον υπολογισμό της, οφείλεται να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας ενός πρανούς.
b. Ο πληθυσμός, οι περιουσίες και οι οικονομικές δραστηριότητες που είναι σε διακινδύνευση απαρτίζουν τα λεγόμενα στοιχεία που βρίσκονται εκτεθειμένα σε κίνδυνο.
c. Η ειδική διακινδύνευση (ή αλλιώς επικινδυνότητα) ορίζει τον αναμενόμενο βαθμό απωλειών που συμβαίνουν εξαιτίας της εκδήλωσης ενός φυσικού φαινομένου και εκφράζεται μέσω του γινομένου του φυσικού κινδύνου επί της τρωτότητας.
d. Ως ολική διακινδύνευση λογίζεται ο αναμενόμενος αριθμός απωλειών ζωής (λαμβάνοντας υπόψη και τους τραυματισμούς) και των οικονομικών ζημιών οι οποίες προκλήθηκαν από ένα συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο (φυσική καταστροφή).

3.5. Στάδια αξιολόγησης κατολισθητικής επικινδυνότητας

Η αξιολόγηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας εκφράζεται ως η μέθοδος εκείνη που μπορεί να καθορίσει την πιθανότητα απώλειας και αναφέρεται στην προοπτική εκδήλωσης ενός καταστροφικού γεγονότος σε συνδυασμό με τις εκτιμώμενες επιπτώσεις. Ειδικότερα, η κατολισθητική επικινδυνότητα όπως άλλωστε ήδη αναφέρεται και στην παραπάνω ενότητα του παρόντος κεφαλαίου, εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί ή να ξανασυμβεί ένα φαινόμενο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (χρονική πιθανότητα) και σε δεδομένη περιοχή (χωρική πιθανότητα). Η χωρική πιθανότητα συναρτάται των κατανεμημένων παραγόντων που αφορούν τον χώρο, όπως για παράδειγμα η τοπογραφία, τα υλικά και οι χρήσεις γης, ενώ η χρονική πιθανότητα συναρτάται με τον κύκλο επαναληψιμότητας κρίσιμων παραγόντων ενεργοποίησης του φαινομένου όπως είναι οι σεισμοί ή και το ύψος των βροχοπτώσεων.

Αναλυτικότερα, σε ότι αφορά την εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων, προτείνεται από ένα ευρύ φάσμα συγγραφέων, μια πληθώρα μεθοδολογικών προσεγγίσεων προκειμένου να προσδιοριστεί ο εν λόγω κίνδυνος. Ως κύριος σκοπός αυτής, συνίσταται η παραγωγή χαρτών οι οποίοι κατατάσσουν τις υφιστάμενες κατολισθήσεις, διαχωρίζοντας τις περιοχές και «βαθμονομώντας» τες ανάλογα κάθε φορά με τον χαρακτηρισμό των ζωνών. Ο βαθμός αυτός προσδιορίζεται σύμφωνα με τις γεωλογικές, γεωμορφολογικές, μορφομετρικές και γεωτεχνικές συνθήκες, ανεξάρτητα από την κλίμακα έρευνας (Meijerink,1988). Τα κύρια στάδια ανάλυσης του προσδιορισμού της κατολισθητικής επικινδυνότητας σύμφωνα με τον Chowdhury (1998) παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.1** στη συνέχεια του κειμένου.

ΣΤΑΔΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	
Α' ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Β' ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
Πρόσφατα σταθερά πρανή	Πρόσφατα ασταθή πρανή
Ύπαρξη ιστορικού κατολισθήσεων	Ποσοτικοποίηση του εύρους κίνησης
Επίδραση της ανάπτυξης	Επίδραση της ανάπτυξης με ή χωρίς ελέγχους
Είναι η επικινδυνότητα χαμηλή, μέτρια, ή υψηλή;	Προσδιορισμός κόστους εκτίμησης
Ποσοτικοποίηση επικινδυνότητας	Προσδιορισμός κόστους ελέγχων

Πίνακας 3.1 Κύρια στάδια ανάλυσης της κατολισθητικής επικινδυνότητας (Chowdhury, 1998)

Επιπλέον, η χρονική πιθανότητα εμφάνισης μιας γεωλογικής αστοχίας, ήτοι η πιθανότητα να συμβεί ή να επαναληφθεί ένα κατολισθητικό συμβάν σε ένα χρονικό διάστημα, αποτελεί εν πολλοίς συνάρτηση των γενεσιουργών παραγόντων, όπως αυτών της σεισμικής δραστηριότητας και της βροχόπτωσης., Η πλειοψηφία των χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας έχουν σκοπό να προβλέψουν που είναι πιθανότερο να συμβούν αστοχίες χωρίς ωστόσο να λαμβάνεται υπόψη η χρονική επανάληψη αυτών. Οι χάρτες αυτοί καλούνται "χάρτες επιδεκτικότητας" και οι αντίστοιχες μελέτες συσχετίζονται με την επίδραση των φυσικών παραγόντων που συνιστούν την αιτία και όχι την αφορμή των αστοχιών. Ουσιαστικά, αφορμή αποτελεί η συνισταμένη διαφόρων φυσικών διεργασιών όπως των μορφολογικών, των κλιματολογικών, ή ακόμη και των ανθρωπογενών. Η αναγνώριση των πληροφοριών, όπου συνιστά βασικό στάδιο εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας, παρουσιάζεται κυρίως σε χάρτες και η χωρική διασπορά της εμφανίζεται σε κατηγορίες κινδύνου. Έτσι, ένας ιδανικός χάρτης οφείλει να παρέχει μία σειρά πληροφοριών σχετικά με την χωρική κατανομή, τον τύπο, το μέγεθος και την ισχύ της αστοχίας, την ταχύτητα και την απόσταση της μετακίνησης για τις προβλεπόμενες κατολισθήσεις σε μια συγκεκριμένη περιοχή καθώς και για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (Flageollet, 1996).

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί ως αναφορά ότι οι μέθοδοι της ζωνοποίησης του κατολισθητικού κινδύνου υποδιαιρούνται σε ποιοτικές εκτιμήσεις και σε τεχνικές ποσοτικού προσδιορισμού. Οι Hartlén & Viberg το 1988 συνέστησαν μια επιπρόσθετη υποδιαίρεση με τεχνικές «σχετικού προσδιορισμού» και με «απόλυτου προσδιορισμού». Ο σχετικός προσδιορισμός επικινδυνότητας διαφοροποιεί την πιθανότητα εκδήλωσης κατολίσθησης σε ένα χάρτη, χωρίς να δίνει τιμές ακριβείας, ενώ στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως άμεση χαρτογράφηση του κινδύνου ή της επικινδυνότητας. Στο πλαίσιο αυτής της μεθόδου, ο βαθμός του κινδύνου προσδιορίζεται μόνο από τον τεχνικό γεωλόγο, ο οποίος άλλωστε χαρτογραφεί βασιζόμενος στην εμπειρία και τη γνώση καθώς και τις μορφολογικές συνθήκες. Ο απόλυτος προσδιορισμός του κατολισθητικού κινδύνου απεικονίζει το βαθμό επικινδυνότητας μέσω μιας απόλυτης τιμής, όπως ο συντελεστής ασφαλείας ή η πιθανότητα εκδήλωσης. Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως έμμεση χαρτογράφηση της επικινδυνότητας όπου χρησιμοποιούνται στατιστικά ή καθοριστικά (ντετερμινιστικά) μοντέλα για την πρόβλεψη των επιδεκτικών σε κατολίσθηση περιοχών, με βάση την πληροφορία η οποία προκύπτει από τη συσχέτιση των παραγόντων ανάγλυφου και της χωρικής κατανομής των προγενέστερων κατολισθήσεων.

3.6. Μέθοδοι εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου

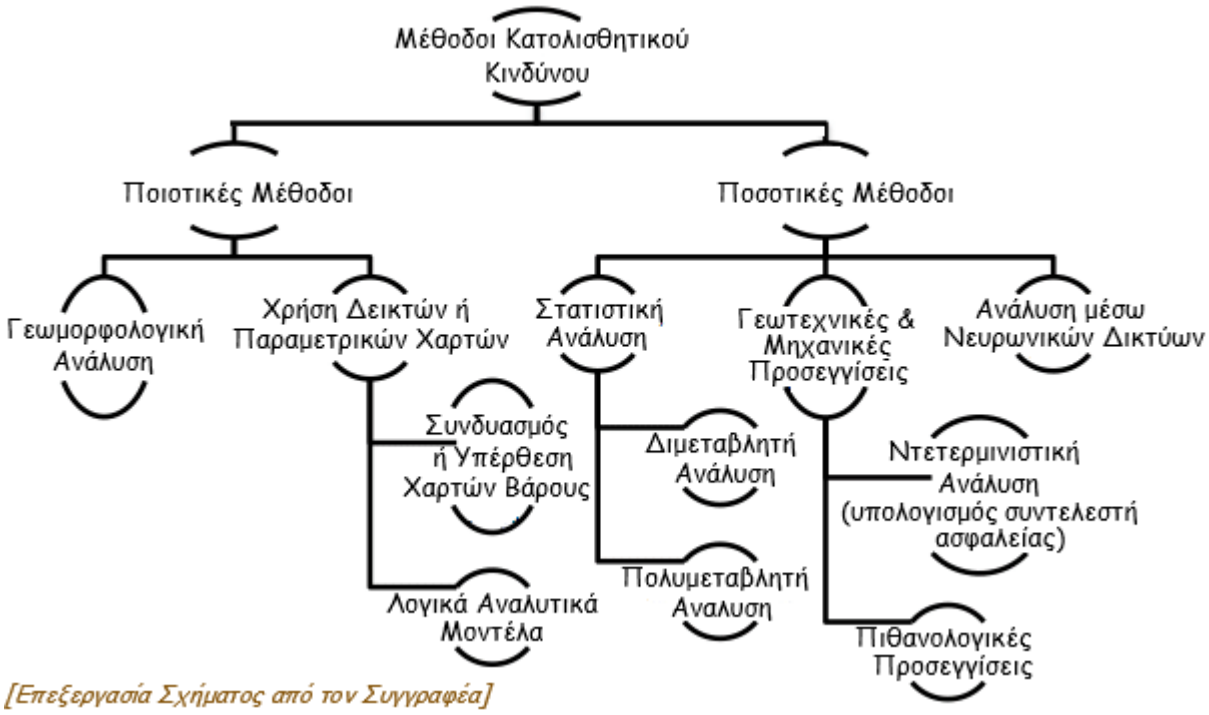
Οι μέθοδοι κι οι τεχνικές που ολοένα αναπτύσσονται για την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου είναι στις μέρες μας πολυάριθμες. Η πρόβλεψη αυτή περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο τον προσδιορισμό και τη ζωνοποίηση του εκτιμώμενου κινδύνου και την προσέγγιση των αναμενόμενων κατολισθήσεων. Η ζωνοποίηση συνιστά διαίρεση μιας ευρύτερης περιοχής σε ομοιογενή τμήματα (ζώνες), βάσει του υφιστάμενου βαθμού επικινδυνότητας ή του εν δυνάμει κινδύνου των κατολισθήσεων, ή ακόμη και της επιδεκτικότητας των γεωλογικών αστοχιών. Διακρίνονται κυρίως σε μεθόδους που βασίζονται στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών με την επιδεκτικότητα να υπολογίζεται είτε με μεθόδους της γεωμορφολογικής ανάλυσης του πεδίου, είτε συνδυάζοντας μεθόδους οι οποίες υπολογίζουν τους δείκτες επιδεκτικότητας με τη βοήθεια παραμετρικών χαρτών. Επίσης, διακρίνονται σε τεχνικές που βασίζονται στη στατιστική ανάλυση ακολουθώντας κάποια ντετερμινιστικά μοντέλα (Fell et al., 2008).

Βάσει έρευνας του Tangestani, οι κατηγορίες επαγγελματιών όπως οι τεχνικοί γεωλόγοι, οι πολιτικοί μηχανικοί, οι ερευνητές των γεωλογικών επιστημών καθώς και οι καθ' ύλην αρμόδιοι του σχεδιασμού πολιτικής προστασίας, προσελκύονται από τον προσδιορισμό του κινδύνου και της επιδεκτικότητας έναντι των κατολισθήσεων για δύο (2) λόγους. Ο πρώτος είναι ότι οι χάρτες κινδύνου κατολισθήσεων προσδιορίζουν και σκιαγραφούν τις "ασταθείς περιοχές" έτσι ώστε τα περιβαλλοντικά προγράμματα να εγκρίνουν τα κατάλληλα μέτρα ελαχιστοποίησης του κινδύνου, και ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι συγκεκριμένοι χάρτες βοηθούν τους αρμόδιους στην πρόληψη και το σχεδιασμό επιλέγοντας τις πλέον κατάλληλες τοποθεσίες για την οικοδόμηση κτιρίων και την κατασκευή δρόμων (Tangestani, 2003).

Ωστόσο, στις μεθόδους και τις τεχνικές ανάλυσης απαιτείται και πολλές φορές μάλιστα επιβάλλεται η παρέμβαση του χρήστη με ενδεχόμενο τροποποίησης των σταδίων που κατά κανόνα ακολουθούνται. Στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι για προφανείς λόγους λιγότερο αξιόπιστα. Παρ' όλα αυτά, προσφάτως εισήχθησαν νέες τεχνικές & μέθοδοι, προερχόμενες από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, οι οποίες αξιοποιούνται ως εργαλεία στην εκτίμηση της επιδεκτικότητας και του κινδύνου έναντι κατολισθητικών φαινομένων. Οι εν λόγω τεχνικές και μέθοδοι παρέχουν εγκυρότερες κι ακριβέστερες προβλέψεις, δεδομένων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους (Flentje et al., 2007).

Στην συνέχεια του κειμένου, ακολουθεί η κατάταξη που προτείνεται από τους Aleotti & Chowdhury (1999) για την ταξινόμηση των μεθόδων προσδιορισμού έναντι του κατολισθητικού κινδύνου. Να επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι η σχετική ταξινόμηση του κινδύνου κατολισθήσεων "οφείλει" να τροποποιείται και να προσαρμόζεται κατά κάποιον τρόπο στα εκάστοτε γεωλογικά δεδομένα της κάθε περιοχής που εξετάζεται, προτείνοντας μια πιο σαφή ταξινόμηση για τις μεθόδους και τις τεχνικές πρόβλεψης συναρτήσει της χρησιμότητας που έχουν στην κάθε περίπτωση. Οι τεχνικές διαχωρίζονται και αναφέρονται επιγραμματικά στις ακόλουθες τρεις (3) κύριες κατηγορίες, ενώ αποτυπώνονται και οι μέθοδοι που αντιστοιχούν μόνο για τις ποιοτικές και ποσοτικές μεθόδους στο **Σχήμα 3.4** κάτωθι.

a. Ποιοτικές και ημι-ποιοτικές μέθοδοι. Ανάλυση που βασίζεται στην εμπειρία και τη γνώση.
b. Ποσοτικές μέθοδοι. Ανάλυση που βασίζεται στη γνώση μέσω επεξεργασίας δεδομένων.
c. Υβριδικές μέθοδοι. Ανάλυση που συνδυάζει αμφότερες τις προαναφερθείσες μεθόδους.



Σχήμα 3.4 Ταξινόμηση μεθόδων προσδιορισμού του κατολισθητικού κινδύνου (Aleotti & Chowdhury, 1999)

Σκόπιμη κρίνεται η παράθεση σχετικών παραδειγμάτων εφαρμογής των μεθόδων, ενώ σχολιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, η κλίμακα εφαρμογής τους κι η αξιοποίηση ή όχι των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ως εργαλεία χωρικής ανάλυσης και δημιουργίας σεναρίων.

3.6.1. Ποιοτικές μέθοδοι

3.6.1.1. Γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου

Η εν λόγω μέθοδος λογίζεται ως η πιο απλή μεθοδολογία εκτίμησης των κατολισθήσεων και βρίσκει εφαρμογή στη ζωνοποίηση περιοχών χωρίς να υπάρχει περιορισμός στην κλίμακα. Ο προσδιορισμός του κινδύνου (και συνεπώς η ζωνοποίηση της επιδεκτικότητας), υλοποιείται άμεσα στο πεδίο από ειδικούς γεωεπιστήμονες και βασίζεται κυρίως στην κρίση, τις γνώσεις και την εμπειρία τους από ανάλογες περιπτώσεις. Έτσι, για τη συγκεκριμένη μέθοδο, η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) δεν θεωρείται αναγκαία αφού όποτε αυτά χρησιμοποιούνται λειτουργούν μόνο ως σχεδιαστικά εργαλεία των δεδομένων του πεδίου. Βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου συνιστά η δυνατότητα απόκτησης μιας γρήγορης εκτίμησης του καθεστώτος ευστάθειας που επικρατεί στην περιοχή έρευνας λαμβάνοντας υπόψη ανάλογα με την κάθε περίσταση τους κατάλληλους παράγοντες.

Στον αντίποδα, η υποκειμενικότητα που περιέχει η μέθοδος, δεδομένου του γεγονότος ότι στηρίζεται στις γνώσεις και την εμπειρία των ειδικών, αποτελεί σοβαρότατο μειονέκτημα, καθώς η ανθρώπινη κρίση καθιστά σχεδόν ανέφικτη τη σύγκριση και τη συσχέτιση διαφορετικών χαρτών κινδύνου ή και επιδεκτικότητας για την ίδια περιοχή μελέτης. Επιπροσθέτως, αφενός μεν η δυσκολία ενημέρωσης των χαρτών κάθε φορά που νέα δεδομένα είναι διαθέσιμα, αφετέρου δε οι εκτενείς, χρονοβόρες και πολυδάπανες έρευνες πεδίου που συνήθως απαιτούνται, συγκροτούν περαιτέρω αρνητικά στοιχεία της μεθόδου. Παραδείγματα εφαρμογής της γεωμορφολογικής ανάλυσης πεδίου αποτελούν οι εργασίες Carmassi et al. (1992), Cardinali et al. (2002), Reichenbach et al. (2005), Mantovani et al. (2010). Ενδεικτικά αναφέρονται και οι μελέτες των Van Westen et al. (2003) και Listo & Carvalho Vieira (2012). Σημειώνεται δε ότι η "αμφισβήτηση" που δέχεται η παρούσα μέθοδος στάθηκε κίνητρο για τη δημιουργία της μελέτης των Van Westen et al. (2003), αφού με αφορμή το γεγονός παράχθηκε χάρτης επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων για το Alpago της Ιταλίας προκειμένου να επιτευχθεί σύγκριση του με έτερο χάρτη ο οποίος προέκυψε μέσα από ποσοτική μεθοδολογία της διμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης που υποστηρίζεται μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

3.6.1.2. Συνδυασμός ή υπέρθεση χαρτών βάρους

Η μέθοδος υπέρθεσης χαρτών ή δεικτών βάρους, συνιστά την μία εκ των δύο (2) επιμέρους τεχνικών που περιλαμβάνονται στην κατηγορία μεθόδου με τη χρήση δεικτών ή παραμετρικών χαρτών. Όπως συμβαίνει και στην γεωμορφολογική ανάλυση, έτσι και στη μέθοδο αυτή, κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η κρίση, η εμπειρία όπως και οι γνώσεις των ειδικών γεωεπιστημόνων. Εντούτοις, διαφοροποιείται από την προαναφερθείσα μέθοδο ως προς το γεγονός ότι εδώ γίνεται διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε ζώνες επικινδυνότητας. Βρίσκει εφαρμογή κυρίως στη ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή και μεγάλης κλίμακας όπου τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιούνται μόνο για την εκτέλεση βασικών λειτουργιών χωρικής ανάλυσης αλλά και ως συστήματα υπέρθεσης χαρτών.

Συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκ των προτέρων γνώση των παραγόντων εκδήλωσης μιας κατολίσθησης για την περιοχή έρευνας (Mihalic, 1998). Οι παράγοντες αυτοί χαρτογραφούνται και ταξινομούνται σε ομάδες, ενώ στη συνέχεια επιτυγχάνεται απόδοση των συντελεστών βαρύτητας για κάθε παράγοντα-παράμετρο, σύμφωνα με την υποτιθέμενη ή την αναμενόμενη συμβολή τους στην επερχόμενη γεωλογική αστοχία. Κατόπιν, δημιουργείται για κάθε μία μεταβλητή του συστήματος ένας αριθμός σχετικής κλάσης, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται νέα απόδοση συντελεστών βαρύτητας που αφορά την κάθε κλάση αυτή τη φορά. Έπειτα, γίνεται η υπέρθεση των χαρτών βάρους για κάθε μεταβλητή δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας μέσω του οποίου αντανακλώνται οι βαθμονομημένες (ζωνοποιημένες) πλέον κατηγορίες του κατολισθητικού κινδύνου.

Η δυνατότητα της αυτοματοποίησης των λειτουργιών που απαιτούνται, δηλαδή της ταξινόμησης και της απόδοσης συντελεστών βαρύτητας, αποτελεί ένα θετικό στοιχείο χρήσης της εν λόγω μεθόδου. Συν τοις άλλοις, η ύπαρξη τυποποιημένων κανόνων προσδιορισμού και ζωνοποίησης του κινδύνου, διαφοροποιούν τη μέθοδο αυτή από εκείνη της γεωμορφολογικής ανάλυσης συνιστώντας καλύτερη επιλογή. Από την άλλη πλευρά, ως κυριότερο μειονέκτημά της λογίζεται η υποκειμενικότητα στην απόδοση των συντελεστών βάρους καθώς και η επιλογή των μεταβλητών που επιδρούν στο σύστημα. Χαρακτηριστικότερα παραδείγματα συνδυασμού ή υπέρθεσης χαρτών βάρους αποτελούν οι εργασίες των Gokceoglu & Aksoy (1996), Turrini & Visintainer (1998) και Donati & Turrini (2002).

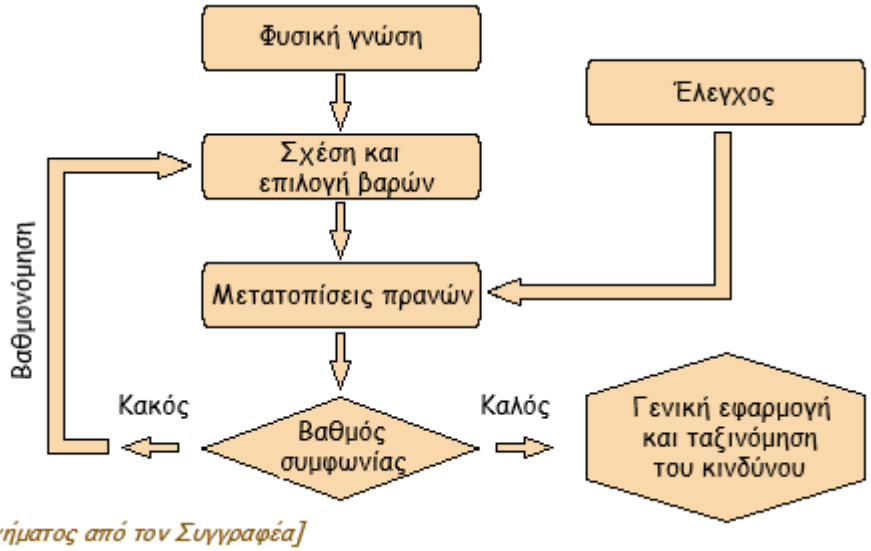
3.6.1.3. Λογικά αναλυτικά μοντέλα

Η μέθοδος των λογικών αναλυτικών μοντέλων συνιστά την δεύτερη κατά σειρά τεχνική που ανήκει στην κατηγορία της χρήσης δεικτών ή παραμετρικών χαρτών. Χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό περιοχών μεγάλης κλίμακας. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) δεν αξιοποιούνται στην προκειμένη μεθοδολογία και η οποιαδήποτε συμμετοχή τους σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο με το κομμάτι της σύνταξης χαρτών καταγραφής. Αντλείται γνώση και εμπειρία από τους ειδικούς, η οποία γνώση στη συνέχεια ελέγχεται για την ορθότητα της, μέσω αντιπαραβολής πραγματικών μετρήσιμων δεδομένων στο πεδίο της έρευνας. Οι παράμετροι εισόδου και αλληλεπίδρασης είναι η γεωλογική δομή, το υψόμετρο, η βροχόπτωση, η τεκτονική, η ανθρωπογενής παρέμβαση και η γεωμετρία του πρανούς.

Κοντολογίς, τα μοντέλα αυτά παρουσιάζουν τις σχέσεις ανάμεσα στα δεδομένα και τα κριτήρια τα οποία συλλέγονται στο πεδίο από τους επιστήμονες. Αποτελούν ημι-ποιοτική μέθοδο με εννοιολογικό υπόβαθρο ίδιο με εκείνο της τεχνικής υπέρθεσης χαρτών, μιας και δεν υφίσταται διαφοροποίηση σε λεπτομέρειες που σχετίζονται με τον τρόπο παρακολούθησης, της βαθμονόμησης και της ανάλυσης που πρόκειται να επιτευχθεί. Αντ' αυτού δίνεται μια συνοπτική επισκόπηση για τον τρόπο όπου η μοντελοποίηση του κατολισθητικού κινδύνου θα χρησιμοποιηθεί ούτως ώστε να γίνει η ταξινόμηση της επικινδυνότητας, βασιζόμενη σε μεγάλο βαθμό στα βάρη όπου αποδίδονται σε κάθε ένα κριτήριο χωριστά και τα οποία προκύπτουν από τις αρχικές σχέσεις μεταξύ των δεδομένων και των κριτηρίων.

Έτσι, βάσει των ανωτέρω, διαπιστώνεται ότι με τη χρήση των προαναφερθέντων σχέσεων καθίσταται δυνατή η ορθότερη εκτίμηση των μετακινήσεων μαζών για μερικές περιπτώσεις κατολισθήσεων, αφού πραγματοποιείται συσχέτιση των αποτελεσμάτων με δεδομένα που προέρχονται από ειδικά όργανα παρακολούθησης και μπορούν να επαληθεύσουν ή να διαψεύσουν μια οποιαδήποτε πρόβλεψη. Στην περίπτωση όπου ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ των τελικών αποτελεσμάτων της πρόβλεψης και των ενόργανων μετρήσεων δεν είναι αρκετά ικανοποιητικός τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί απόδοση νέων συντελεστών βαρύτητας στις αρχικές σχέσεις μέχρις ότου να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός. Στη συνέχεια του κειμένου και συγκεκριμένα στο τέλος της ενότητας στο **Σχήμα 3.5** απεικονίζεται χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός λογικού αναλυτικού μοντέλου (Aleotti & Chowdhury, 1999).

Ειδικότερα, τα λογικά αναλυτικά μοντέλα χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσδιορισμό του κινδύνου κατολισθήσεων σε περιοχές που διασχίζονται από αγωγούς. Ένα ευρέως γνωστό μοντέλο αυτής της κατηγορίας είναι αυτό της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας. Πρόκειται για μια μέθοδο απόδοσης βαρών για τη λήψη αποφάσεων, που ιεραρχεί και ποσοτικοποιεί τη «διαδικασία» σκέψης του ατόμου (ποιοτικά δεδομένα), με απώτερο σκοπό να αντιμετωπιστεί πιο απλουστευτικά το έως τότε περίπλοκο και πολυκριτηριακό πρόβλημα. Συγκροτεί την πλέον αποτελεσματικότερη προσέγγιση για την μελέτη της βαρύτητας και της σημασίας των κριτηρίων που επηρεάζουν τόσο το κατολισθητικό φαινόμενο, όσο και τους φυσικούς κινδύνους. Μέσω αυτής της ιεράρχησης δημιουργούνται ζεύγη και αποδίδονται σχετικά βάρη σε κάθε ένα από αυτά, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται σύγκριση για δύο κριτήρια κάθε φορά ανά ζεύγη. Κάθε τέτοια σύγκριση είναι μια διμερής ερώτηση που καθορίζει το "ποιο" και "πόσο" σημαντικότερο είναι το εκάστοτε κριτήριο, χρησιμοποιώντας μια κλίμακα τιμών. Στη συνέχεια καθορίζονται τα βάρη των κριτηρίων από τους ειδικούς μέσω των διαδικασιών επίλυσης πραγματικών αριθμών της γραμμικής άλγεβρας. Ωστόσο, δεδομένου του γεγονότος ότι ο ανθρώπινος παράγοντας πιθανώς να προκαλέσει «ασυμφωνία», υπολογίζεται και ο λόγος συνοχής των βαρών για να ελεγχτεί η συνεκτικότητα των εν λόγω συγκρίσεων. Σε περίπτωση όπου διαπιστωθεί υψηλή ασυμφωνία τότε οι "προβληματικές" τιμές δύναται να αναθεωρηθούν. Γνωστά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου συνιστούν οι εργασίες των Gournelos et al. (2006), Mezughi et al. (2012), Pourghasemi et al. (2012).



[Επεξεργασία Σχήματος από τον Συγγραφέα]

Σχήμα 3.5 Ακολουθούμενη διαδικασία ενός λογικού αναλυτικού μοντέλου (Aleotti & Chowdhury, 1999)

3.6.2. Ποσοτικές μέθοδοι

3.6.2.1. Στατιστική ανάλυση

Η μέθοδος της στατιστικής ανάλυσης εφαρμόζεται ως επί το πλείστον για έρευνες μεσαίας κλίμακας και μέσω αυτής μπορούν να προσδιοριστούν στατιστικά οι συνδυασμοί των παραγόντων που οδήγησαν τελικώς στην εκδήλωση των κατολισθητικών γεγονότων σε μια περιοχή κατά το παρελθόν. Καθώς επιτυγχάνεται καλύτερη κατανόηση στη σχέση μεταξύ του φαινομένου και των παραμέτρων που τις επηρεάζουν προκαλώντας την εμφάνισή τους, είναι δυνατή η επίτευξη ποσοτικών προβλέψεων για τη δεδομένη περιοχή, σε άλλη μεταγενέστερη χρονικά περίοδο κατά την οποία δεν παρουσιάζονται κατολισθητικές κινήσεις αλλά όμως επικρατούν οι ίδιες γεωμορφολογικές, γεωλογικές, κλιματικές συνθήκες και φυσικές διεργασίες με τις αντίστοιχες του παρελθόντος. Συνεπώς, η παρούσα μέθοδος εν συγκρίσει με αμφότερες τις ποιοτικές και ημι-ποιοτικές μεθόδους εγγυάται χαμηλότερα επίπεδα υποκειμενικότητας. Εντούτοις, παρά το γεγονός ότι η στατιστική ανάλυση ακολουθείται από σημαντικά μειονεκτήματα, η παράλληλη χρήση της με μεθόδους Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) τα τελευταία έτη, την έχουν αναδείξει σε μια αρκετά δημοφιλή μέθοδο και ευρέως χρησιμοποιούμενη.

Μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου θεωρείται η ανάγκη συνεχούς, συστηματικού προσδιορισμού των παραγόντων που σχετίζονται με την εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων σε μια περιοχή, αλλά και η "απλουστευτική" τάση της, καθώς αυτή άλλωστε χρησιμοποιεί μόνο τους παράγοντες που είτε χαρτογραφούνται εύκολα, είτε προκύπτουν μέσω εξόρυξης από ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου (DEM). Επιπροσθέτως, η γενικευμένη παραδοχή που εφαρμόζει η στατιστική ανάλυση μέσω της θεωρίας και έχοντας ως κανόνα ότι τα κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται με τον ίδιο συνδυασμό παραγόντων σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, λογίζεται σημαντικό μειονέκτημα. Τέλος, επιπλέον αρνητικά στοιχεία αποτελούν τόσο η μεμονωμένη ανάλυση που απαιτείται για κάθε τύπο κατολίσθησης, όσο και η άγνοια που παρουσιάζει η εν λόγω μέθοδος ως προς τις χρονικές πτυχές των κατολισθήσεων αφού δεν είναι σε θέση να «προβλέψει» τις αλλαγές των συνθηκών που επιδρούν και τις ελέγχουν όπως είναι οι αλλαγές των χρήσεων γης και οι διακυμάνσεις του υδροφόρου ορίζοντα (Van Westen, 2004). Ακολουθεί αναφορά των μεθόδων της διμεταβλητής και της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης.

3.6.2.1.1. Ανάλυση δύο μεταβλητών

Η ανάλυση των δύο (2) μεταβλητών που είναι γνωστή και ως διμεταβλητή ανάλυση, αποτελεί μέθοδο για τη ζωνοποίηση περιοχών μικρής κλίμακας που βασίζεται στην έμμεση χαρτογράφηση και μελετά τα φαινόμενα των κατολισθήσεων από την ποιοτική τους πλευρά. Στην παρούσα ποσοτική μέθοδο τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιούνται ως κύρια εργαλεία χωρικής ανάλυσης. Ειδικότερα, σε αυτού του τύπου την στατιστική ανάλυση οι παράγοντες που συμβάλουν στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης αφού αρχικά εισαχθούν στο κατάλληλο περιβάλλον, εν συνεχεία διαχωρίζονται σε κατηγορίες και έπειτα συσχετίζονται με έναν χάρτη κατολισθητικής απογραφής ο οποίος ουσιαστικά απεικονίζει τα σημεία και τα όρια των κατολισθήσεων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός της πιθανότητας κατολίσθησης αποδίδοντας επί της ουσίας τον συντελεστή βάρους που αντιστοιχεί σε κάθε παράγοντα, εφαρμόζοντας την πυκνότητα των αστοχιών (Jiménez-Perálvarez et al. 2009).

Έτσι, σε μια απλή μελέτη εκτίμησης του κινδύνου ή της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων, στην οποία χρησιμοποιείται η εν λόγω μέθοδος, διακρίνονται τα ακόλουθα στάδια (Tasseti et al. 2008):

1) Η δημιουργία ενός χάρτη απογραφής των κατολισθητικών συμβάντων που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί συσχετισμός με τους υπό εξέταση παράγοντες.

2) Η επιλογή των φυσικών παραγόντων οι οποίοι σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την εκδήλωση κατολισθήσεων, η κατασκευή και κατηγοριοποίηση θεματικών χαρτών σε περιβάλλον GIS.

3) Ο προσδιορισμός και η απόδοση των βαρών σε κάθε κατηγορία των παραγόντων σε συνάρτηση με την πυκνότητα των κατολισθήσεων που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες.

4) Η κατασκευή του τελικού χάρτη κατολισθητικού κινδύνου ή και χάρτη επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων μέσω του υπολογισμού των αντίστοιχων τιμών.

Μια σχετική εργασία είναι αυτή των Sakar et al. (2008) στην οποία παρουσίασαν μια ειδική εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου, έχοντας στόχο την εκτίμηση της συνολικής τιμής πληροφοριών που είναι ίση με τον δείκτη της πιθανότητας για κάθε φατνίο (κελί) της περιοχής μελέτης. Άλλα παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου παρέχουν οι εργασίες Suzen & Doyuran (2004), Nandi & Shakoor (2010).

3.6.2.1.2. Ανάλυση πολλών μεταβλητών

Η δεύτερη μέθοδος στατιστικής προσέγγισης είναι η ανάλυση πολλών μεταβλητών ή πολυμεταβλητή ανάλυση, η οποία σταθμίζει τις παραμέτρους των «επιρρεπών» περιοχών σε κατολισθητικές κινήσεις και αναλύεται είτε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης, είτε κάνοντας χρήση της μεθόδου διαχωριστικής ανάλυσης, όπως αυτές άλλωστε αναλύονται στη συνέχεια του κειμένου.

Στην πρώτη κατά σειρά αναφοράς μέθοδο, αυτή της λογιστικής παλινδρόμησης, περιγράφεται η σχέση ανάμεσα στην κατηγορική μεταβλητή (αληθής και ψευδής) ή στη δυαδική μεταβλητή (μηδέν και ένα) ως εξαρτώμενη μεταβλητή όπως είναι για παράδειγμα η πιθανότητα ή μη, εμφάνισης κατολίσθησης. Κοντολογίς, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα σύνολο από ανεξάρτητες μεταβλητές με απώτερο στόχο τη διερεύνηση μιας και μόνο εξαρτημένης. Αυτό επιτυγχάνεται αποδίδοντας συντελεστές για κάθε μία μεταβλητή χωριστά οι οποίοι συντελεστές στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως βάρη σε μία εξίσωση. Την συγκεκριμένη εξίσωση επιλύει ένας αλγόριθμος ο οποίος αναπτύσσεται στη βάση δεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), με το αποτέλεσμα αυτής να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών του μηδέν (0) και του ένα (1) αντικατοπτρίζοντας έτσι τον βαθμό επιδεκτικότητας έναντι των κατολισθήσεων. Πιο συγκεκριμένα εάν ο συντελεστής είναι θετικός τότε η λογαριθμική αξία για την πιθανότητα που εκφράζεται θα είναι μεγαλύτερη της μονάδας αντανακλώντας έτσι το συμπέρασμα ότι η εκδήλωση αστοχίας είναι πιο πιθανή ως ενδεχόμενο. Στην αντίθετη περίπτωση, εφόσον ο συντελεστής είναι αρνητικός τότε η λογαριθμική αξία για την εκφραζόμενη πιθανότητα θα είναι μικρότερη της μονάδας συμπεραίνοντας ότι η πιθανότητα εμφάνισης κατολίσθησης μειώνεται.

Τέλος, όταν ο συντελεστής είναι ίσος με μηδέν τότε η λογαριθμική αξία της υπό εξέταση πιθανότητας θα είναι αντίστοιχα ίση με τη μονάδα και έτσι δεν θα επηρεάζονται τα αποτελέσματα για τη μία ή για την άλλη εκδοχή. Η απόδοση του μοντέλου συνολικά, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαμόρφωση του συνόλου εκπαίδευσης η οποία ακολουθεί τυχαία επιλογή κελιών. Εκτιμάται ότι η διαφοροποίηση του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης οφείλεται σε αυτή της τυχαίας επιλογής αφού ο χαρακτηρισμός των κελιών (φατνίων) ως ευσταθείς θέσεις δεν μπορεί να οριστεί ακριβώς. Να σημειωθεί ότι η βασική αρχή της λογιστικής παλινδρόμησης είναι η δίτιμη φύση της εξαρτημένης μεταβλητής (Menard, 1995).

Επισημαίνεται δε, ότι ως βασικό μειονέκτημα της λογιστικής παλινδρόμησης λογίζεται η περίπτωση ταυτόχρονης ύπαρξης πολυάριθμων παραμέτρων, καθώς έτσι παράγεται μια "μακράς παλινδρόμησης εξίσωση", η οποία αυτομάτως καθιστά δύσκολη την κατανόηση τόσο των στατιστικών αποτελεσμάτων, όσο και της αξιολόγησης του ρόλου που εμπεριέχει κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή στο τελικό μοντέλο. Άξιο αναφοράς κρίνεται το γεγονός ότι στη διεθνή βιβλιογραφία παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στον τρόπο υπολογισμού των συντελεστών για διαφορετικές κατηγορίες μίας ορισμένης παραμέτρου αλλά και στα μεγέθη των δειγμάτων που λαμβάνονται για τη δημιουργία της εξαρτώμενης μεταβλητής. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου λογιστικής παλινδρόμησης αποτελούν οι μελέτες των Nandi & Shakoor (2010), των Bui et al. (2011) και των Schicker & Moon (2012).

Η δεύτερη προαναφερθείσα μέθοδος, αυτή της διαχωριστικής ανάλυσης, συνιστά μία πολυμεταβλητή στατιστική μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται έχοντας σκοπό τη δημιουργία κανόνων που μπορούν να ιεραρχηθούν, ταξινομώντας τον κίνδυνο έναντι κατολισθήσεων στην κατάλληλη κάθε φορά κατηγορία. Και σε αυτή την περίπτωση ακολουθείται παρόμοια διαδικασία με αυτή της λογιστικής παλινδρόμησης με μοναδική εξαίρεση το γεγονός ότι εδώ η εξαρτώμενη μεταβλητή είναι κατηγορική και όχι συνεχής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης της παρούσης μεθόδου απαρτίζουν αφενός μεν οι εργασίες των Baeza et al. (2010), αφετέρου των Wang et al. (2012), οι οποίες αμφότερες είχαν ως αντικείμενο την εκτίμηση και χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας έναντι γεωλογικών κατολισθητικών κινήσεων.

Κλείνοντας την παρούσα υποενότητα οφείλεται να διατυπωθεί ότι η πολυμεταβλητή ανάλυση παρά το γεγονός πως καταγράφει σημαντική επιτυχία ως εφαρμογή σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους χρησιμεύοντας ως πολύτιμο εργαλείο σε πολλές ενέργειες, όπως μεταξύ άλλων στην μοντελοποίηση του εδάφους, σχετικά πρόσφατα ξεκίνησε να εφαρμόζεται και στις επιστήμες του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα στον τομέα των γεωλογικών αστοχιών και δη στις κατολισθήσεις. Μείζον πλεονέκτημα της ανάλυσης πολλών μεταβλητών θεωρείται η παραγωγή λιγότερων αριθμητικά νέων μεταβλητών συγκριτικά με τις αρχικές (μεταβλητές). Σαν θετική εξέλιξη του εν λόγω πλεονεκτήματος συνίσταται η ευκολία στον εντοπισμό (ή στον προσδιορισμό) των ανωμαλιών της λειτουργίας του κατολισθητικού μηχανισμού, όπως επίσης και ο ευκολότερος έλεγχος των υποθέσεων έτσι ώστε να εξακριβώνεται η ορθότητα και η εγκυρότητα της μεθόδου με τον πληρέστερο δυνατό τρόπο (Gorsevski et al. 2000).

3.6.2.2. Γεωτεχνικές & μηχανικές προσεγγίσεις

3.6.2.2.1. Ντετερμινιστική ανάλυση

Στην ντετερμινιστική ανάλυση ο κατολισθητικός κίνδυνος καθορίζεται συναρτήσει των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής κάποια εκ των οποίων είναι η διατμητική αντοχή των πετρωμάτων, το πάχος και το βάρος των μονάδων του εδάφους ή ακόμη και η πίεση των πόρων του νερού. Επίσης ο προσδιορισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας πραγματοποιείται μέσα από την χρήση ειδικών μοντέλων ευστάθειας των πρανών, αποτέλεσμα των οποίων συνιστά ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας. Ο συντελεστής ασφαλείας εκφράζει τον λόγο ανάμεσα στις δυνάμεις που προκαλούν τις γεωλογικές αστοχίες στα πρανή προς εκείνες που λειτουργούν ως αποτρεπτικοί παράγοντες. Όταν μάλιστα ο συντελεστής αυτός έχει τιμή μεγαλύτερη της μονάδας τότε δείχνει ότι το πρανές βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή για τις τιμές του συντελεστή που είναι μικρότερες της μονάδας τότε το πρανές παρουσιάζει αστάθεια. Στην περίπτωση κατά την οποία είναι ίσος με την μονάδα, τότε το πρανές βρίσκεται στην εξέλιξη εκδήλωσης αστοχίας. Σε γενικές γραμμές η συγκεκριμένη ανάλυση παρέχει αξιόπιστες ποσοτικές πληροφορίες αναφορικά με τον κατολισθητικό κίνδυνο οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούνται με ασφάλεια για τον σχεδιασμό των τεχνικών έργων.

Επιπροσθέτως, η ντετερμινιστική ανάλυση αποτελεί μια απλή και παραδοσιακή μέθοδο οι εφαρμογές της οποίας είναι κατάλληλες τόσο σε ομοιόμορφα όσο και σε ανομοιόμορφα (ως προς την ομοιογένεια) πρανή. Πέρα όμως από τα θετικά σημεία της, η μέθοδος παρουσιάζει τρία (3) βασικά μειονεκτήματα. Εν πρώτοις, απαιτεί μεγάλη ποσότητα δεδομένων εισόδου όπου προκύπτουν είτε από εργαστηριακές δοκιμές είτε από έρευνες πεδίου και συν τοις άλλοις εφαρμόζεται μονό σε μικρής έκτασης περιοχές με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης κλίμακας χαρτών. Δευτερευόντως, το κυριότερο μειονέκτημα της εν λόγου μεθόδου είναι η "υπεραπλούστευση" των γεωλογικών και γεωτεχνικών μοντέλων και οι δυσκολίες στην πρόβλεψη των υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης. Οι υπολογισμοί της ανάλυσης μπορούν και εκτελούνται με ή και χωρίς τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Συγκεκριμένα, εάν οι υπολογισμοί της επιτυγχάνονται χωρίς την εφαρμογή των GIS τότε χρησιμεύουν μόνο για αποθήκευση, παρουσίαση και ενημέρωση δεδομένων.

Βέβαια, οι προαναφερθείσες ενέργειες προϋποθέτουν αφενός μεν ότι τα χωρικά δεδομένα δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιούνται με άμεσο τρόπο, αφετέρου δε πως τα εξαγόμενα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων δεν είναι κατανεμημένα στον χώρο. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν οι ντετερμινιστικοί υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε περιβάλλον GIS, και καθώς τα ανωτέρω προβλήματα επιλύονται, τη θέση τους παίρνει ένα άλλο εξίσου σημαντικό ζήτημα. Το εν λόγω ζήτημα εστιάζεται στο γεγονός ότι λόγω των περιορισμών του λογισμικού σχετικά με τη χρήση πολύπλοκων αλγορίθμων και των διαδικασιών επανάληψης, μόνο τα απλά ντετερμινιστικά μοντέλα βρίσκουν πλήρη εφαρμοσιμότητα. Έτσι, η εφαρμογή των συστημάτων αυτών, συμβάλει έτι περαιτέρω θετικά στη χρήση της ντετερμινιστικής ανάλυσης αφού επιτρέπει την ανάπτυξη τρισδιάστατων μοντέλων (3D) αυτού του τύπου ενώ ταυτόχρονα με την εισαγωγή πρόσθετων μεταβλητών, όπως επί παραδείγματι των βροχοπτώσεων και της σεισμικής δραστηριότητας, ο χάρτης κινδύνου έναντι κατολισθήσεων ο οποίος παράγεται μπορεί να απεικονίζει διαφορετικά σενάρια καλύπτοντας ένα ευρύτερο φάσμα κινδύνου.

Σε ότι αφορά τα ντετερμινιστικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται, το Infinite Slope Model (ISM), συνιστά ενδεχομένως το πιο διαδεδομένο σε εφαρμογή ντετερμινιστικό μοντέλο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα στατικό μοντέλο επί του οποίου προσδιορίζεται η σταθερότητα και όπου οι τοπικές συνθήκες ευστάθειας του πρανούς καθορίζονται από την εκάστοτε τοπική εξίσωση ισορροπίας επί της πιθανής επιφάνειας αστοχίας. Ορισμένα μοντέλα συνδυάζουν το Infinite Slope Model (ISM) με περισσότερο ή και με λιγότερο πολύπλοκα υδρολογικά μοντέλα (Dietrich et al. 1995, Terlien et al. 1995).

Επίσης, το Shallow landsliding stability model (SHALSTAB), αποτελεί ντετερμινιστικό μοντέλο που συνδυάζει υδρολογικά μοντέλα με τον νόμο αστοχίας του "Mohr-Coulomb" και στοχεύει στην εκτίμηση της ευστάθειας των πρανών βασιζόμενο στην ελάχιστη ποσότητα βροχόπτωσης που απαιτείται ως έναυσμα των κατολισθητικών φαινομένων (Bolt. 1975, Dietrich et al. 2001). Απαιτεί δεδομένα που προέρχονται από την ανάλυση ψηφιακών αρχείων υψομέτρου (DEM) και αντιπροσωπευτικές τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων όπως της πυκνότητας, της εσωτερικής γωνίας τριβής και του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα. Το μοντέλο υπολογίζει την πίεση των πόρων για σταθερή κατάσταση ροής, υποθέτοντας μηδενική εδαφική συνοχή εξαιτίας της χωρικής ετερογένειας. Τέλος, το Stability index mapping (SINMAP), λογίζεται ως παρόμοιο με το προηγούμενο μοντέλο (Dietrich et al. 2001).

3.6.2.2.2. Πιθανολογική προσέγγιση

Στη δεύτερη υποκατηγορία των γεωτεχνικών & μηχανικών προσεγγίσεων απαντάται η πιθανολογική προσέγγιση η οποία βασίζεται κατά κύριο λόγο στις σχέσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στην κάθε παράμετρο και στη διανομή των κατολισθητικών γεγονότων, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της ευστάθειας των πρανών εν συγκρίσει με τον συντελεστή ασφάλειας που προκύπτει από τη ντετερμινιστική ανάλυση. Το πλεονέκτημα της αυτό παράγεται από το γεγονός ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση, πέραν του ότι λαμβάνει υπόψη αμφότερες τις χωρικές και χρονικές διαφοροποιήσεις των ιδιοτήτων από τα βραχώδη πρανή, επιπλέον μπορεί και υπολογίζει με σχετική ευκολία τις διακυμάνσεις της πίεσης των υπόγειων υδάτων παρόλο που αυτή μεταβάλλεται συνεχώς σε συνάρτηση με τις κλιματικές συνθήκες και τις εποχικές διακυμάνσεις. Με άλλα λόγια, μπορεί και συμβάλει καθοριστικά στην εξάλειψη της αβεβαιότητας των τιμών των παραμέτρων η οποία αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση ευστάθειας των πρανών και στις γεωλογικές αστοχίες.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι ως "λογική" αυτής της μεθόδου νοείται η παραγωγή μιας συστηματικής διαδικασίας για την ποσοτική αντιμετώπιση των παραπάνω αβεβαιοτήτων κάνοντας στην ουσία χρήση της θεωρίας των πιθανοτήτων. Επιπλέον, συνυπολογίζεται ότι βάσει της εργασίας των Chowdhury & Flentje (2003), στην περίπτωση ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών, η εν λόγω θεωρία (των πιθανοτήτων) εκφράζεται μέσω του δείκτη αξιοπιστίας και της πιθανότητας αστοχίας.

Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα που αντλούνται από τη διεθνή βιβλιογραφία και στα οποία γίνεται εφαρμογή της πιθανολογικής προσέγγισης για την ανάλυση της ευστάθειας βραχωδών πρανών και για τη δημιουργία χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας αποτελούν οι μελέτες των Jibson et al. (2000) με την περιοχή μελέτης στην Καλιφόρνια, των Dussauge-Peisser et al. (2002) με περιοχή μελέτης στις Γαλλικές Άλπεις καθώς και των Pathak et al. (2006) με περιοχή έρευνας στο Νεπάλ. Καταληκτικά αναφέρεται ότι η μελέτη των Liu & Wu (2008) στην οποία έγινε χρήση πιθανολογικής προσέγγισης, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας για μια συνολική έκταση 1 km^2 (κατά προσέγγιση), σε προκαλούμενες από βροχές «ρηχές» κατολισθήσεις στην Ταϊβάν.

3.6.2.3. Ανάλυση μέσω νευρωνικών δικτύων

Η ανάλυση μέσω τεχνητών νευρωτικών δικτύων, η οποία μάλιστα αναπτύσσεται και χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα τα τελευταία χρόνια, θεωρείται ως ένα κατάλληλο εργαλείο για την επεξεργασία και ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων αφού αποδίδονται ικανοποιητικές προβλέψεις ακόμη κι όταν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι αβέβαια. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη μοντελοποίηση της πολύπλοκης συμπεριφοράς (μεταβλητότητας) των γεωλογικών σχηματισμών (Aleotti et al. 1996, Mayoraz et al. 1996). Η φιλοσοφία της παρούσης μεθόδου είναι παρόμοια με έναν αριθμό συμβατικών στατιστικών μοντέλων με την έννοια ότι σε όλες τις περιπτώσεις επιχειρείται η κατανόηση στη σχέση μεταξύ ενός ιστορικού συνόλου μοντέλων εισόδου και ενός μοντέλου εξόδου κατά αντιστοιχία.

Εν αντιθέσει όμως με τις συμβατικές εμπειρικές και στατιστικές τεχνικές - μεθόδους, μιας και αυτές απαιτούν εκ των προτέρων γνώση της φύσεως των συσχετίσεων ανάμεσα στα δεδομένα, στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δεν απαιτείται να είναι γνωστή η φύση των συσχετίσεων αλλά ούτε και η φυσική τους ερμηνεία (Σακελλαρίου & Φερεντίνου, 2005). Διευκρινίζεται δε ότι οι περισσότερες συμβατικές τεχνικές λαμβάνουν ως "παραδοχή" την ανεξαρτησία των μεταβλητών του συστήματος. Παρ' όλα αυτά, εκ του αποτελέσματος αποδεικνύεται ότι τέτοιου είδους υποθέσεις δεν επαληθεύονται, καθώς τις περισσότερες φορές η κατάσταση «απλοποιείται» και αυξάνεται το ποσοστό αβεβαιότητας στις προβλέψεις που πραγματοποιεί το σύστημα (Yang & Rosenbaum, 2002). Η κατά κανόνα διαδικασία για την ανάλυση του κατολισθητικού κινδύνου ή της επιδεκτικότητας έναντι των κατολισθήσεων που βασίζεται στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks) απαρτίζεται από πέντε (5) στάδια, όπως αυτά άλλωστε αποτυπώνονται εν συνεχεία του κειμένου (Aleotti & Chowdhury, 1996).

a. Απόδοση των βαρών στους εμπλεκόμενους παράγοντες.
b. Επιλογή των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου.
c. Υπολογισμός των δεδομένων εξόδου και σύγκριση με τα αναμενόμενα αποτελέσματα.
d. Υπολογισμός σφάλματος και αλλαγή των αρχικών βαρών (εφόσον υφίσταται σφάλμα).
e. Επανάληψη των ανωτέρω ενεργειών έως ότου υπάρχει σύγκλιση των αποτελεσμάτων.

3.7. Η ωφελιμότητα των εργαλείων ανάλυσης στις κατολισθήσεις

Όπως άλλωστε διατυπώνεται και στην ενότητα με τίτλο "Η εφαρμογή των GIS στις κατολισθήσεις", τα τελευταία έτη πραγματοποιείται εκτεταμένη χρήση των συστημάτων αυτών, καθώς τόσο η ευκολία στη συλλογή, την επεξεργασία και την ενημέρωση των δεδομένων σε ένα τέτοιο λογισμικό περιβάλλον όσο και η ανάπτυξη των διαφόρων προγραμμάτων και εφαρμογών, έχουν αυξήσει σε αισθητά μεγάλο βαθμό την παραγωγή χαρτών που σχετίζονται με τις γεωλογικές αστοχίες και δη με φαινόμενο των κατολισθήσεων. Ωστόσο, ανεξαρτήτως από αυτά τα σαφή πλεονεκτήματα, σημαντικά προβλήματα στη χαρτογραφία των κατολισθητικών συμβάντων δεν έχουν ακόμη επιλυθεί. Ένα τέτοιο μείζον ζήτημα συνιστά η ανεπάρκεια συλλογής έγκυρων δεδομένων καθώς και η χαρτογράφηση των γενεσιουργών παραγόντων του κατολισθητικού φαινομένου όπως επίσης και η «αβεβαιότητα» που εμπεριέχεται.

Η συμβολή των παραδοσιακών στατιστικών τεχνικών επικεντρώνεται στη δυνατότητα μελέτης και ανάλυσης των σχέσεων ανάμεσα σε έναν ή περισσότερους αιτιώδεις παράγοντες και στην εκδήλωση τέτοιων φαινομένων αστοχίας. Ως κύρια ιδέα αυτών των τεχνικών λογίζεται η εκτίμηση μελλοντικών κατολισθητικών γεγονότων λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες εκείνες οι οποίες κατά το πρόσφατο παρελθόν προκάλεσαν τέτοιου είδους συμβάντα. Με δύο λόγια, στηρίζονται στην κοινή παραδοχή της ανάλυσης των κατολισθήσεων ότι "το παρελθόν και το παρόν αποτελούν την πρόγνωση για το μέλλον". Εντούτοις, η πλειοψηφία των φυσικών καταστροφών συμπεριλαμβανομένων και των κατολισθήσεων συνιστούν πολύπλοκα φαινόμενα των οποίων οι μηχανισμοί λειτουργίας δεν έχουν ακόμη κατανοηθεί πλήρως. Η εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ των γενεσιουργών παραγόντων κάποιοι είναι μερικώς γνωστοί ενώ άλλοι εντελώς άγνωστοι (Melchiorre et al. 2006).

Έτσι, συμπεραίνεται ότι με βάση τα προαναφερθέντα θέματα, η πρόβλεψη των κατολισθήσεων οφείλει να βασίζεται σε άγνωστες, πολύπλοκες, μη-γραμμικές σχέσεις μεταξύ των γενεσιουργών παραγόντων και της κατανομής των εκδηλωθέντων γεγονότων, αφού μέσω των παραγόντων αποφαίνεται το αίτιο της επιρροής και μέσω των συμβάντων πραγματοποιείται η επαλήθευση. Η ικανότητα στην εκμάθηση των μη-γραμμικών συναρτήσεων από τα δεδομένα αποτελεί ένα καθοριστικό σημείο για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος ταξινόμησης των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε φαινόμενα αστοχίας.

Η ικανότητα αυτή διαπιστώνεται μέσα από την τεχνολογική εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), καθώς διαμορφώνει ένα νέο «τοπίο» στην αντιμετώπιση τέτοιων ζητημάτων ενώ παράλληλα επιβεβαιώνει ότι τα εν λόγω συστήματα αποτελούν ιδανικά εργαλεία στην εκτίμηση του κινδύνου, δεδομένου του γεγονότος ότι μπορούν να συνδυάζουν την ικανότητα χωρικής ανάλυσης με τις μεθόδους προσομοίωσης και να επικοινωνούν με σχεσιακές βάσεις δεδομένων. Συνεπώς, μέσω των σύγχρονων ερευνητικών κατευθύνσεων επιδιώκεται η εξ ολοκλήρου ενσωμάτωση των τεχνικών και των μεθόδων που απορρέουν τόσο από την τεχνητή νοημοσύνη όσο και από τα έμπειρα συστήματα εντός του περιβάλλοντος Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002).

Συνοψίζοντας και έχοντας ως παραδοχή ότι η αβεβαιότητα είναι ένας αστάθμητος παράγοντας που συνοδεύει πάντοτε τα κατολισθητικά φαινόμενα ως προς την εκδήλωση τους, οι διαδικασίες της λήψης των αποφάσεων καθώς επίσης και του σχεδιασμού, συγκροτούν μια υπεύθυνη εργασία. Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μεθόδων και εργαλείων πρόβλεψης των φυσικών κινδύνων είναι διαθέσιμος στους καθ' ύλην αρμόδιους, οι οποίοι ασχολούνται με τις συγκεκριμένες διενέργειες. Η γνώση σχετικά με την πιθανότητα εμφάνισης, την χρονική περίοδο εκδήλωσης του γεγονότος και την ένταση της φυσικής καταστροφής, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη για τον μετριασμό της, για τον προληπτικό σχεδιασμό έργων και την εκτίμηση της ποσότητας των ενδεχόμενων ζημιών και απωλειών που μπορεί να προκαλέσει.

Η απόκτηση της γνώσης αυτής απαιτεί την αντιμετώπιση σημαντικών ζητημάτων και προϋποθέτει πλήρη κατανόηση των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωση ενός φυσικού κινδύνου. Επιπλέον, τόσο η ανανέωση όσο και η ενσωμάτωση νέων σχετικών δεδομένων κρίνεται επιβεβλημένη ώστε να καταγράφονται οι δυναμικές αλλαγές που διενεργούνται στο περιβάλλον. Αναγνωρίζοντας την αδυναμία των παραδοσιακών μεθόδων στην επίλυση τέτοιων ζητημάτων οι ειδικοί έχουν στρέψει τα τελευταία χρόνια τις έρευνές τους στη χρήση συνδυαστικών μεθόδων και τεχνικών που σχετίζονται από τη μία μεριά με την εξόρυξη γνώσης μέσω της τεχνητής νοημοσύνης (όπως είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα), και από την άλλη μεριά στην προσομοίωση μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων και μέσω δυνατότητας βελτίωσης των μοντέλων πρόβλεψης κατόπιν αξιολόγησης που επιτυγχάνεται με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Nasri, 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Επί του παρόντος κεφαλαίου επιδιώκεται μια προσεγγιστική θεώρηση και συνοπτική επισκόπηση της υπό εξέταση περιοχής η οποία είναι ο Δήμος Αγράφων. Ο εν λόγω δήμος ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Ευρυτανίας της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας και συστάθηκε το 2011 κατόπιν συνενώσεως των τωρινών Δημοτικών Ενοτήτων Αγράφων, Απεραντίων, Ασπροποτάμου, Βίνιανης και Φραγκίστας, βάσει των διατάξεων του προγράμματος «Καλλικράτης», ενώ η έδρα του Δήμου είναι το Κερασοχώρι.

Επιχειρείται αναλυτική παρουσίαση των γεωλογικών γνωρισμάτων τα οποία αποτελούν κύρια στοιχεία της περιοχής έρευνας, χαρακτηρίζοντάς την αφενός μεν ως προς τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται (περιλαμβάνοντας τη λιθολογία και την υδρολογία των πετρωμάτων της), αφετέρου δε ως προς το σεισμοτεκτονικό καθεστώς που επικρατεί, τις κλιματικές συνθήκες καθώς επίσης και όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που εμπλέκονται ως παράγοντες συνεπίδρασης άμεσα ή έμμεσα στην εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών με απόρροια τις κατολισθήσεις και την μετακίνηση των μαζών.

Με αυτόν τον τρόπο καλύπτεται ουσιαστικά στο ευρύτερο φάσμα του ολόκληρο το γεωλογικό πλαίσιο της περιοχής, αντανακλώντας τόσο τις υφιστάμενες επικρατούσες συνθήκες και φυσικές διεργασίες αυτής, όσο και τις όποιες ιδιαιτερότητες που την χαρακτηρίζουν αναδεικνύοντας έτσι ταυτόχρονα τις κατολισθητικές πτυχές, εν είδει μηχανισμού γένεσης του φαινομένου, αλλά και τις παραμέτρους που ενέχουν ζωτικής σημασίας ρόλο στην εξελικτική πορεία του φαινομένου, αποκρυπτογραφώντας το.

Αρχικώς παρουσιάζονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, αποδίδοντας το ιδιαίτερο ανάγλυφο με τις μεγάλες εκτάσεις των ορεινών όγκων της, αποτυπώνοντας παράλληλα με τον κατά το δυνατόν πληρέστερο και τον πλέον κατανοητό τρόπο τη γεωλογική σύσταση και δομή κατά μήκος του Δήμου Αγράφων δημιουργώντας έτσι πιο «ξεκάθαρη» εικόνα σχετικά με τη γεωλογία. Εν συνεχεία πραγματοποιείται περιγραφή του υδρομετεωρολογικού καθεστώτος, των κλιματολογικών στοιχείων, των σεισμικών και τεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής, αλλά και των χρήσεων γης συναρτήσει πάντοτε της ανθρωπογενούς παρεμβάσεως, η οποία επιδρά καταλυτικά στην βλάστηση.

4.2. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

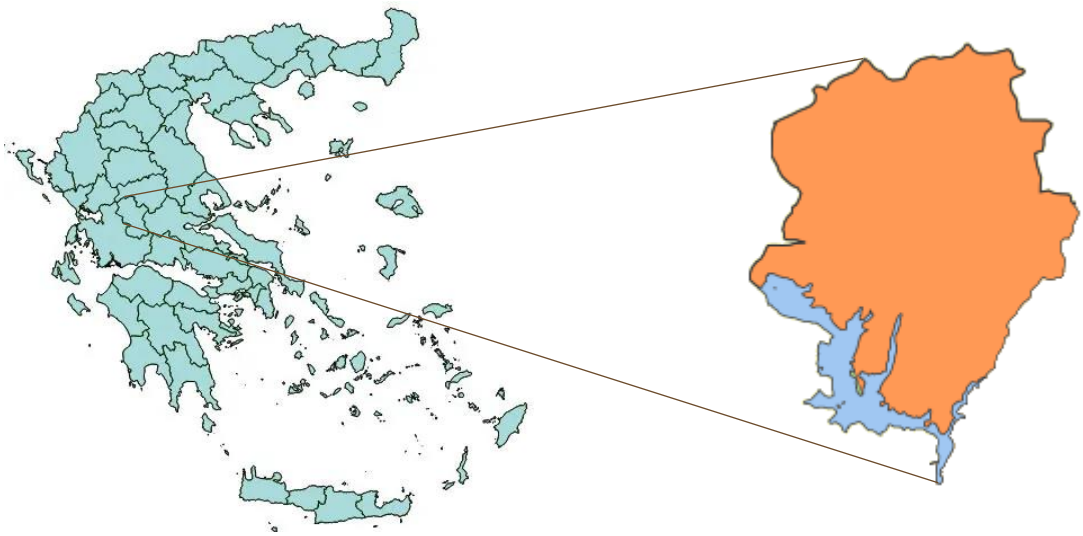
Οι γεωμορφολογικές συνθήκες και ιδιαιτέρως η γενικότερη μορφολογική εικόνα του Ελλαδικού χώρου λογίζεται ως αρκετά πολύπλοκη, αποτέλεσμα το οποίο συνεπάγεται εκ των ορογενετικών κινήσεων που έχουν εκδηλωθεί και πιο συγκεκριμένα του οριζοντίου και κατακόρυφου διαμελισμού του χώρου αυτού κατά την εξέλιξη της γεωλογικής του ιστορίας. Ειδικότερα, σχετικά με το ανάγλυφο της χώρας μας, κάνοντας έναν σύντομο διαχωρισμό σε ζώνες (πεδινή & ορεινή), εύκολα γίνεται η διαπίστωση ότι παρουσιάζει έναν έντονα ορεινό χαρακτήρα καθώς οι πεδινές περιοχές, δηλαδή εκείνες με υψόμετρο μικρότερο των διακοσίων μέτρων (200 μ.) αντιστοιχούν σε ποσοστό 34,6% ενώ οι ορεινές περιοχές της επικράτειας κατέχουν το εναπομένον ποσοστό το οποίο ανέρχεται σε 65,4% (Παταργιάς, 1998).

Ο πρωταρχικός ρόλος της μορφογένεσης αποδίδεται στην ενεργό τεκτονική δράση αφού οι ανοδικές κινήσεις προκαλούν την ανύψωση του βασικού επιπέδου του υδρογραφικού δικτύου με συνεπαγόμενο αποτέλεσμα τους εντατικότερους ρυθμούς διαβρώσεως. Επιπρόσθετα, πολύ σημαντική λογίζεται και η συμβολή εξωγενών παραγόντων στη συνολική διαμόρφωση του αναγλύφου της χώρας, όπως είναι για παράδειγμα η δράση των παγετώνων κατά τη γεωλογική περίοδο του Πλειστόκαινου, αλλά και η διαβρωτική ενέργεια των επιφανειακών νερών ή και η δράση των κυμάτων της θάλασσας στο πέρασμα των αιώνων. Ωστόσο στις μέρες μας τον κυριότερο ρόλο στη διαμόρφωση του αναγλύφου φαίνεται να ενέχουν οι επιφανειακές υδάτινες απορροές οι οποίες στην πλειονότητά τους χαρακτηρίζονται από δριμύ χειμαρρικό χαρακτήρα. Έτσι, πέραν της αρχικής συμβολής στη διαμόρφωση του μορφολογικού αναγλύφου επιδρά άμεσα και στην εξέλιξή του μέσω της διάβρωσης εξαιτίας του νερού που απορρέει.

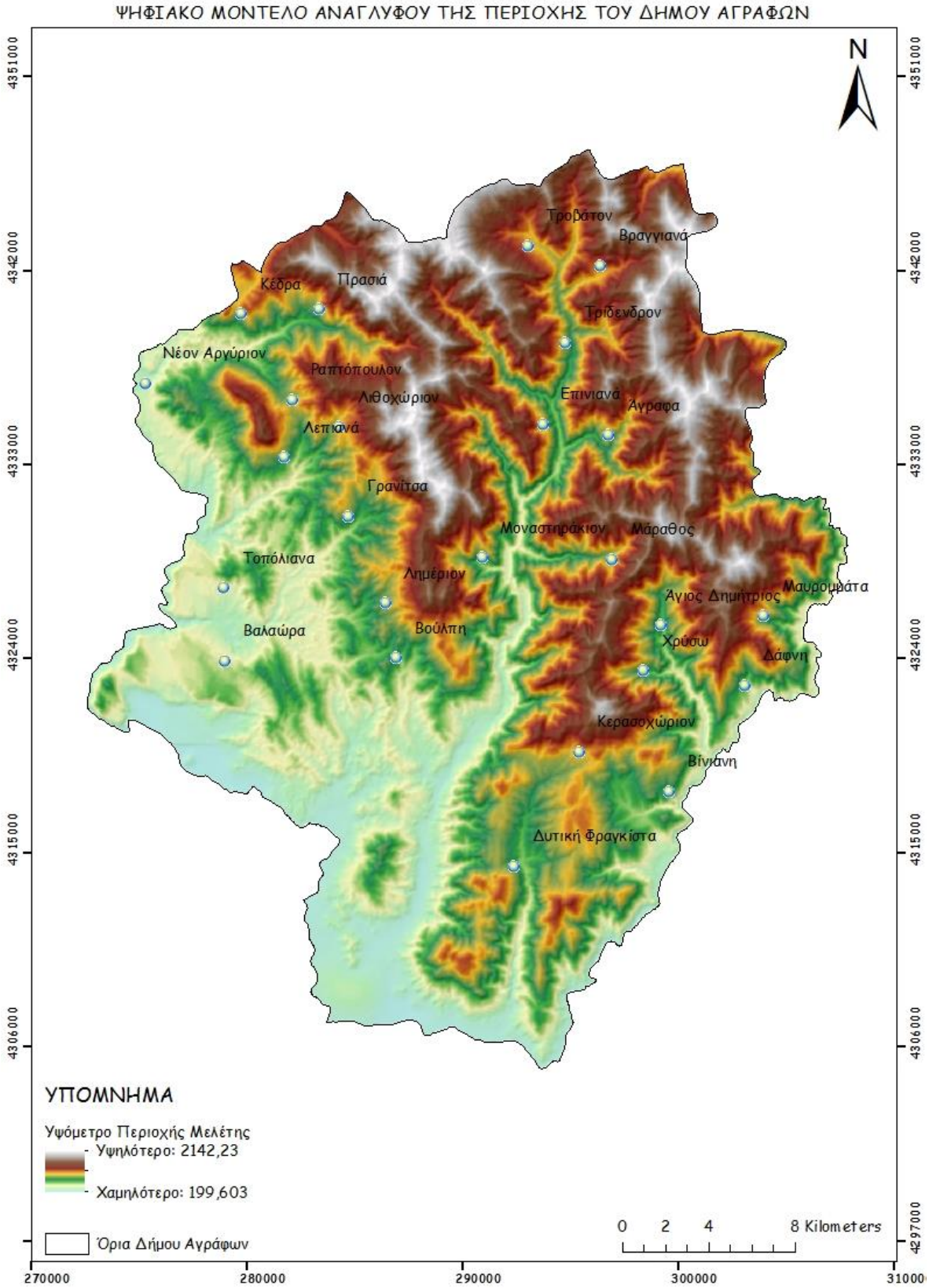
Αναλυτικότερα, ο Δήμος Αγράφων παρουσιάζει εντονότατο υψομετρικό ανάγλυφο, όπως αυτό άλλωστε αποτυπώνεται και μέσω του αντίστοιχου χάρτη στο **Σχήμα 4.2** έχοντας μέσο υψόμετρο τα 878 μέτρα και η μέση κλίση του προσδιορίζεται σε 22,55°. Η γεωμορφολογική εικόνα της υπό εξέταση περιοχής συνιστά αποτέλεσμα αφενός της λιθολογικής σύστασής της και αφετέρου της συνδυασμένης δράσης των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών διεργασιών. Συν τοις άλλοις, οι σχηματισμοί από τους οποίους συγκροτείται αποτελούν μέρος του συγκροτήματος της Πίνδου με διεύθυνση αξόνων των οροσειρών βορειοδυτική - νοτιοανατολική (ΒΔ-ΝΑ). Αξιοσημείωτη καθίσταται κι η ιδιαίτερα ορεινή μορφολογική συγκρότηση της περιοχής η οποία μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά ακόμη και τα 2.000 μέτρα.

Σε ότι αφορά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, διαπιστώνεται ότι είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών αποδεικνύοντας έτσι τον άμεσο συσχετισμό με την υδροπερατότητά τους. Ως εκ τούτου η λεπτομερής σύνδεση των μερών του υδρογραφικού δικτύου προϊδεάζει για τη μικρή υδροπερατότητα των πετρωμάτων και των σχηματισμών, εν αντιθέσει με το λεπτής υφής δίκτυο όπου παρουσιάζει αυξημένη υδροπερατότητα (Καλλέργης, 1970). Συγκεκριμένα, το ανατολικό τμήμα του Νομού Ευρυτανίας αποτελείται κυρίως από αργιλικής σύστασης σχηματισμούς (δεδομένης της επικράτησης του φλύσχη της Πίνδου), ενώ στο δυτικό τμήμα της περιοχής κυριαρχεί ο φλύσχης της γεωτεκτονικής ζώνης (ενότητας) Γαβρόβου-Τρίπολης ο οποίος χαρακτηρίζεται από έντονη αδρομερή σύσταση. Συν τοις άλλοις, στους περισσότερους εκ των υδρογραφικών βραχιόνων εμφανίζεται σημαντική υποσκαφή σε βάθος, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια γενικότερης μορφής «επικίνδυνη κατάσταση», αφού η υποσκαφή αυτή ελλοχεύει ως συνθήκη υπονόμευσης των πρανών.

Συμπερασματικά, δύναται να ειπωθεί ότι η υπάρχουσα εδαφική σύσταση συνδυαζόμενη με τα πρανή των οποίων οι κλίσεις παρουσιάζονται απότομες, δημιουργούν ευνοϊκότερο κλίμα ανάπτυξης μανδύα αποσάθρωσης μεγάλου πάχους στην ευρύτερη περιοχή, συμβάλλοντας έτι περαιτέρω στην εκδήλωση γεωλογικών αστοχιών. Εν κατακλείδι, συνεκτιμώντας τις προαναφερθείσες αναφορές αποφαίνεται ότι το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας, παράγει τις πλέον κατάλληλες προϋποθέσεις για την ενεργοποίηση του μηχανισμού των αστοχιών και την εμφάνιση του κατολισθητικού φαινομένου. Στο **Σχήμα 4.1** κάτωθι αντανακλάται επισκοπικά η θέση του Δήμου Αγράφων στον Ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 4.1 Γενική άποψη της ευρισκομένης θέσεως για την περιοχή έρευνας (Πηγή: Διαδίκτυο)



Σχήμα 4.2 Μορφολογική απεικόνιση της περιοχής έρευνας (ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου)

4.2.1. Υψόμετρο

Το υψόμετρο της κάθε περιοχής συνιστά συμπέρασμα της τεκτονικής δράσης και των διαβρωτικών διεργασιών που πραγματοποιήθηκαν κατά το παρελθόν και συνεχίζουν να πραγματοποιούνται μέχρι και σήμερα στην περιοχή αυτή συμβάλλοντας έμμεσα στην πρόκληση των κατολισθητικών κινήσεων και γενικότερα των γεωλογικών αστοχιών. Μέσω της παραμέτρου του υψομέτρου, διαμορφώνεται και ελέγχεται η δράση των κλιματολογικών παραγόντων ασκώντας έτσι με άμεσο τρόπο επιρροή τόσο στις βροχοπτώσεις όσο και στην υγρασία, στον παγετό, όπως ακόμη και στη διαφορά θερμοκρασιακών μεταβολών οι οποίες σημειώνονται στην εκάστοτε υπό εξέταση περιοχή μελέτης (Κούκης, 1970).

Έτσι, η υψιστάμενη μορφή ενός πρανούς ή και μίας περιοχής είναι το συνιστάμενο αποτέλεσμα όλων των γεωλογικών και κλιματολογικών διεργασιών που εκδηλώνονται στο πέρασμα του χρόνου, όπως αυτό άλλωστε αποτυπώνεται συμπερασματικά στην Ενότητα 4.2 "Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά". Κατά συνέπεια, το υψόμετρο συνίσταται ως μία υπολογίσιμη παράμετρος η οποία όχι μόνο συμβάλλει στην εκδήλωση του κατολισθητικού φαινομένου, αλλά χρήζει ταυτοχρόνως άξια της προσοχής του μελετητή για περαιτέρω έρευνα και για στατιστικές αναλύσεις που θα του αποδώσουν τις υψομετρικές ζώνες κινδύνου μέσα από ένα ικανοποιητικά αντιπροσωπευτικό δείγμα καταγεγραμμένων συμβάντων. Επιπροσθέτως, φυσικό επακόλουθο της επιρροής των κλιματικών παραγόντων που σχετίζονται με το υψόμετρο, αποτελούν η ύπαρξη, το είδος κι η πυκνότητα της βλάστησης, γεγονός που επιβεβαιώνει για ακόμη μία φορά την συσχετιζόμενη εμπλοκή και τη συνδυαστική αλληλεξάρτηση της παρούσης παραμέτρου με μια σειρά από άλλες των οποίων η συμμετοχή οφείλει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

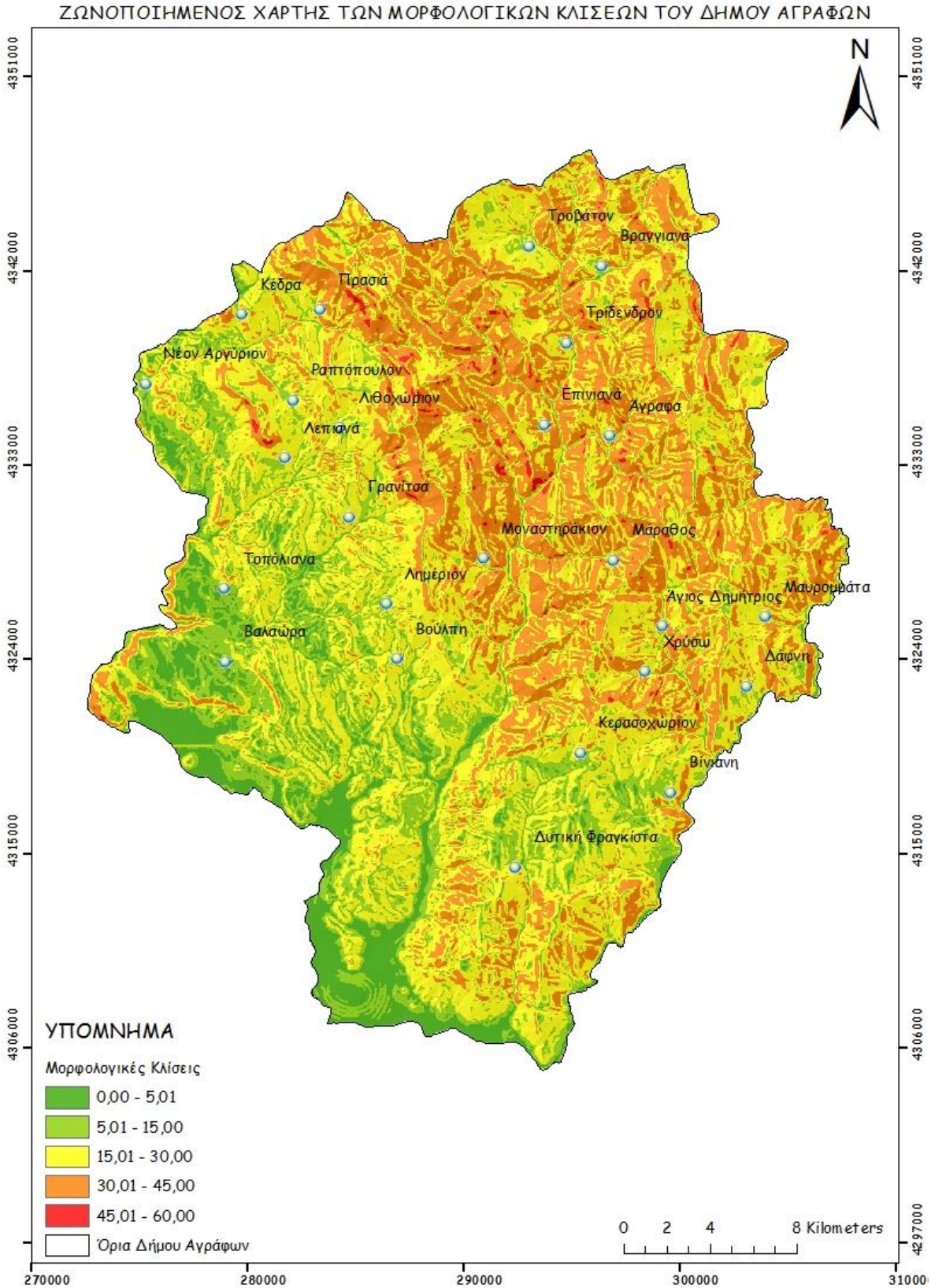
Αναφορικά με την περιοχή του Δήμου Αγράφων, προκειμένου να καταδειχθεί το υψόμετρο στο οποίο εκδηλώνονται τα περισσότερα κατολισθητικά γεγονότα, πραγματοποιείται ομαδοποίηση (ζωνοποίηση) του εντονότατου υψομετρικού αναγλύφου. Συνεπώς, η χωρική ανάλυση και η στατιστική επεξεργασία του παράγοντα υψομέτρου κατορθώνεται επί του κεφαλαίου "εφαρμογή της μεθοδολογίας" και στην αντίστοιχη ενότητα. Αξίζει κλείνοντας να σημειωθεί χαρακτηριστικά, ότι για υψόμετρο μεγαλύτερο των 2.000 μέτρων, η λιθολογική σύσταση δεν «προσφέρεται» για την εμφάνιση του φαινομένου των κατολισθήσεων παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μειωμένο το πάχος του μανδύα αποσάθρωσης λόγω της ευνόητης μετακύλισης των σχετικών υλικών σε επίπεδο χαμηλότερο από αυτό που προαναφέρεται.

4.2.2. Μορφολογικές κλίσεις

Η ευστάθεια των πρανών και συνεπώς το φαινόμενο των κατολισθήσεων, όντας ένα μείζον ζήτημα το οποίο ταλανίζει την επιστημονική γεωλογική κοινότητα καθώς αυτό εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο των ακραίων φυσικών κινδύνων (καταστροφών), καταλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα γεωεπιστημών. Ως εκ τούτου, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι συνιστά από τα πιο σημαντικά κεφάλαια της εδαφομηχανικής και της βραχομηχανικής με το οποίο απασχολούνται εκτεταμένα επιστήμονες και ερευνητές τόσο της εγχώριας όσο και της διεθνούς κοινότητας, θέτοντας ως απώτερο στόχο τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός πρανούς και την τελική εκδήλωση των επικείμενων αστοχιών όπου καταληκτικώς επιφέρουν την μετακίνηση της μάζας του.

Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι σε περίπτωση που το έδαφος βρίσκεται υπό κλίση τότε υπάρχει μια εδαφική βαρυτική συνιστώσα που έχει την τάση να παρασύρει τη μάζα του εδάφους προς τα κάτω. Ο λόγος που το πρανές "αντιστέκεται" και δεν μετακινείται (αστοχεί), είναι η αντοχή του σε διάτμηση. Το παρόν απλοϊκό μοντέλο συνιστά τη βάση για την κατανόηση του θέματος σχετικά με την ευστάθεια των πρανών. Τουτέστιν, αναφορικά με την ευστάθεια των πρανών, η κλίση αυτών διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση ενός κατολισθητικού συμβάντος και σε συνδυασμό αφενός με την αντοχή τους και αφετέρου με τη διάρρηξη των υλικών από τα οποία δομούνται, σηματοδοτεί εμμέσως πλην σαφώς την πιθανότητα εκδήλωσης ενός τέτοιου φαινομένου. Θεωρείται πιθανό να εμφανίζεται ευστάθεια σε πρανή με απότομη κλίση που αποτελούνται από υγιή βραχομάζα, εν αντιθέσει με την περίπτωση ομαλών κλιτύων που καταλαμβάνονται από αργίλους, όπου σημειώνονται τάσεις αστοχίας.

Πιο συγκεκριμένα, η κλίση σε ένα πρανές είναι καθοριστικής σημασίας για τη σχέση ανάμεσα στον συντελεστή ασφαλείας και στη γωνία τριβής του. Άλλωστε, το κυριότερο αίτιο που οδηγεί στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας μετά την εκδήλωση της αστοχίας, είναι η ευνοϊκή μεταβολή της γεωμετρίας του πρανούς. Στη γεωμετρία περιλαμβάνονται η κλίση, ο προσανατολισμός, το ύψος και η κοιλότητα επιφάνειας. Έτσι, έπειτα από συσχετίσεις της κλίσης ενός πρανούς και του αντίστοιχου συντελεστή ασφαλείας του, στοχεύοντας στη διαπίστωση της ποσοτικής επιρροής, συμπεραίνεται ότι όσο πιο μικρή είναι η κλίση του τόσο μεγαλύτερη η επιρροή μεταβολής της γεωμετρίας στην αύξηση του συντελεστή. Ακολουθεί το **Σχήμα 4.3** των "ζωνοποιημένων" μορφολογικών κλίσεων της υπό εξέταση περιοχής.



Σχήμα 4.3 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής μελέτης σε ζώνες

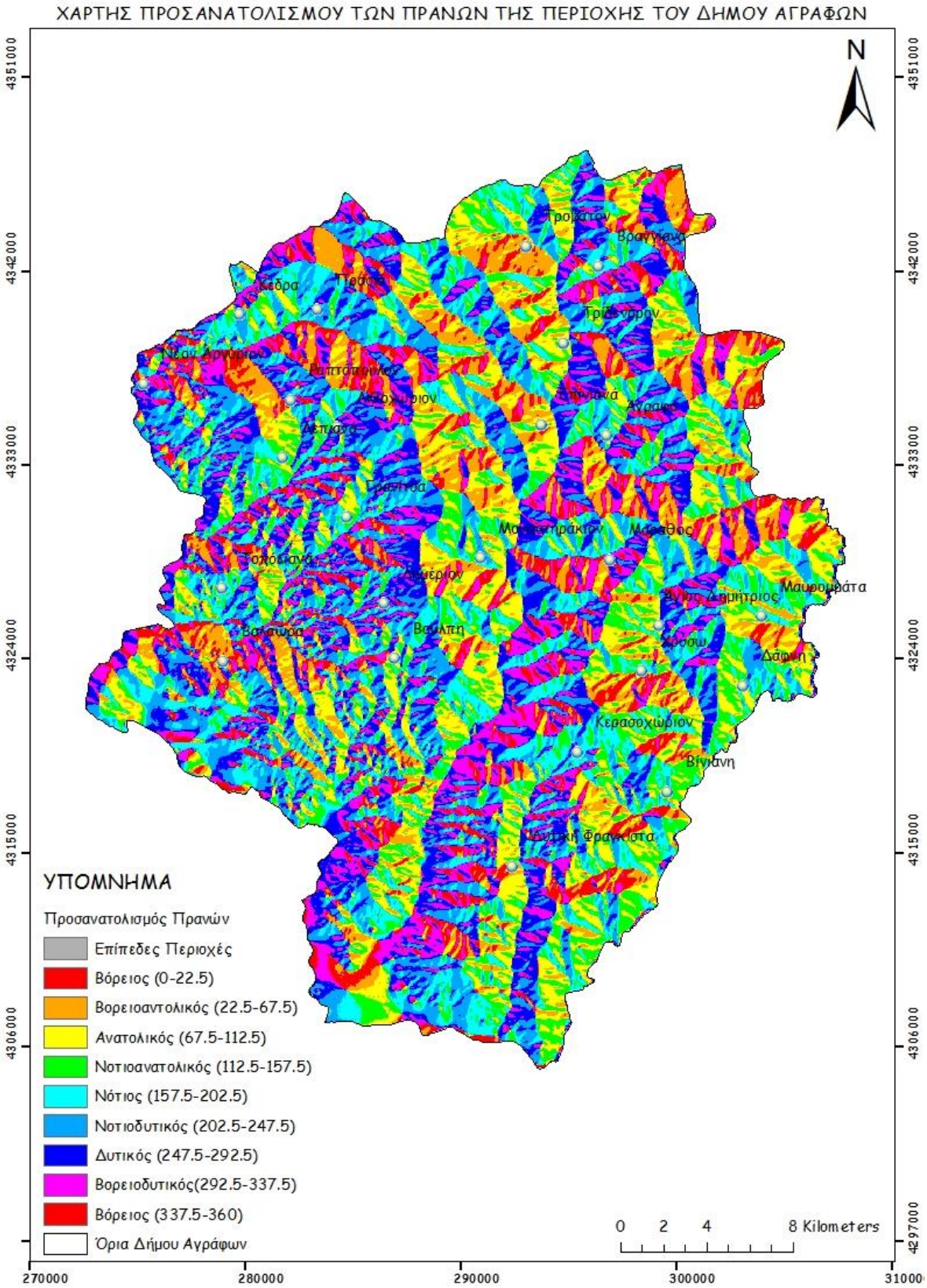
4.2.3. Προσανατολισμός των πρανών

Αναντίρρητα, ένα ακόμη επιπλέον σημαντικό στοιχείο το οποίο επιδρά στην εκδήλωση του φαινομένου των κατολισθήσεων και που συγκαταλέγεται στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών γνωρισμάτων της εξεταζόμενης περιοχής, αποτελώντας συνάμα ξεχωριστή παράμετρο στην εκτίμηση και στον προσδιορισμό της κατολισθητικής επικινδυνότητας, είναι ο προσανατολισμός των πρανών. Άλλωστε, σε ότι αφορά τον προσανατολισμό των πρανών του Δήμου Αγράφων, αυτός μόνο τυχαίος δεν δύναται να χαρακτηριστεί, αλλά ως το αποτέλεσμα του τεκτονικού καθεστώτος που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή, όπως επίσης και κλιματικού συστήματος και της διάβρωσης. Συνεπώς και η παράμετρος αυτή χρήζει ξεχωριστής διερεύνησης αποδίδοντάς τη δέουσα σημασία που της αναλογεί.

Επίσης, αξιοσημείωτο λογίζεται το γεγονός ότι πέραν της προαναφερθείσας επιρροής που "ασκεί" η διεύθυνση των πρανών, εξίσου σπουδαία καθίσταται η σημασία της κλίσης των στρωμάτων ως προς τα πρανή αφού διαπιστώνεται ότι η ομόρροπη σε σχέση με το πρανές κλίση των στρωμάτων, ενισχύει τη δράση των κατολισθητικών φαινομένων. Επισημαίνεται δε, ότι με τον προσανατολισμό των πρανών συνδέονται άμεσα τόσο η γεωμετρία των γεωλογικών στρωμάτων όσο και η ένταση των κλιματικών όρων, οι αποσαθρωτικές διαδικασίες, καθώς και η πυκνότητα της βλάστησης (Carrara et al. 1995). Τέλος, στον **Πίνακα 4.1** που παρατίθεται, αποδίδονται στοιχεία που αφορούν την συχνότητα των κατολισθητικών συμβάντων με βάση τον προσανατολισμό των στρωμάτων ως προς τα πρανή όπου εκδηλώνονται γεωλογικές αστοχίες. Σημειώνεται ότι τα εν λόγω δεδομένα απαρτίζονται από στοιχεία τα οποία συλλέχθηκαν από προγενέστερες έρευνες καθώς και από κάποιες πρωτογενείς καταγραφές. Επιπροσθέτως, στο **Σχήμα 4.4** αποτυπώνεται ο προσανατολισμός των πρανών του Δήμου Αγράφων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΣΥΜΒΑΝΤΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (%)
Προσανατολισμός των στρωμάτων ως προς το πρανές	Αντίρροπη	Αντίθετη	32	25,60
	Διαγώνια	Οριζόντια	29	23,20
	Ομόρροπη	Όμοια	58	46,40
	Επιφανειακή	Παράλληλη (<1,5μ)	6	4,80

Πίνακας 4.1 Συχνότητα κατολισθήσεων βάσει της διεύθυνσης στρωμάτων 1967 - 2017 (Πηγή: ΙΓΜΕ)



Σχήμα 4.4 Χάρτης προσανατολισμού των πρανών της περιοχής μελέτης

4.3. Υδρομετεωρολογικό καθεστώς

Κατά γενική ομολογία οι χώρες που βρίσκονται στις ακτές της Μεσογείου εμφανίζουν τον ίδιο τύπο κλίματος ο οποίος χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από βροχοπτώσεις την ψυχρή περίοδο του έτους και ανομβρία με υψηλές θερμοκρασίες κατά την περίοδο των θερινών μηνών. Ειδικά στον Ελλαδικό χώρο με δεδομένη την ιδιαίτερη τοπογραφική διαμόρφωση του μορφολογικού αναγλύφου καθώς και της εναλλαγής ανάμεσα σε ξηρά και σε θάλασσα, παρουσιάζονται κατά τόπους μεγάλες κλιματικές διαφοροποιήσεις. Ως εκ τούτου, η γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης επιτυγχάνεται είτε με τη χάραξη των ισοπληθών της βροχής (ισοϋέτιες ή ισόβροχες καμπύλες), είτε με χρωματικές κλίμακες.

Η ανάλυση των ετήσιων βροχομετρικών δεδομένων της χώρας των τελευταίων χρόνων, δείχνει ότι οι βροχοπτώσεις σε μέσους όρους και για ορισμένες περιοχές υπερβαίνουν κάθε χρόνο τα 3.000 χιλιοστά, τη στιγμή που σε άλλες περιοχές είναι μικρότερες των 50 χιλιοστών. Έτσι, ως κάθε άλλο παρά απρόσμενη λογίζεται η πολυπλοκότητα της προαναφερθείσης κατανομής, αφού αυτή ελέγχεται από τον συνδυασμό ενός πλήθους μορφολογικών, θερμικών όπως επίσης και δυναμικών παραγόντων.

Επισημαίνεται σχετικώς, ότι το ετήσιο ύψος βροχής ελαττώνεται με διεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά, ενώ κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και από τα βόρεια προς τα νότια της χώρας μας. Επιπλέον, "εξακριβώνεται" τρόπον τινά η απόλυτη ταύτιση των βροχομετρικών καμπυλών (ζωνών) που βρίσκονται σε πλήρη αντιστοιχία τόσο με το μορφολογικό ανάγλυφο όσο και με την γενικότερη διάταξη των κύριων οροσειρών. Αξίζει σε αυτό το σημείο να ειπωθεί ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στην επικράτεια μεταβάλλεται από έτος σε έτος, ενώ αναφορικά με την ένταση των βροχοπτώσεων αυτή διαφοροποιείται συναρτήσει τόσο της θέσης της όσο και της εποχής στην οποία εκδηλώνεται.

Οι υδρομετεωρολογικοί παράγοντες, όπως είναι για παράδειγμα τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, οι άνεμοι και η θερμοκρασία του αέρα ή του εδάφους, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη σταθερότητα των γεωλογικών σχηματισμών κάθε περιοχής, γεγονός που δε δύναται επ' ουδενί λόγω να αποτελέσει εξαίρεση και για την υπό εξέταση περιοχή του Δήμου Αγράφων. Σχετικά με μια ευρύτερη κατάταξη της περιοχής μελέτης (μιας και ακολουθεί εκτενέστερη περιγραφή στις επόμενες υποενότητες), αυτή κατατάσσεται στην «ορεινή ζώνη» της κλιματικής διαίρεσης του Ελλαδικού χώρου, όπου σε αυτήν περιλαμβάνονται οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι οι οποίοι χαρακτηρίζουν ευρύτερα τον Νομό Ευρυτανίας.

Τα κυρίαρχα στοιχεία που απαντώνται στην παρούσα κλιματική ζώνη συγκροτούν ένα σκηνικό με άσχημες κλιματολογικές συνθήκες αποδίδοντας τραχύ χειμώνα και ανομβρία κατά τη θερινή περίοδο. Επιπρόσθετα, οι κλιματικές αλλοιώσεις συμπεριλαμβανομένων των παρατεταμένων και των έντονων βροχοπτώσεων είναι αντιστοίχως ανάλογες ως προς την αύξηση του υψομέτρου, η περίοδος με τις χιονοπτώσεις είναι μεγάλη, ενώ άξιες αναφοράς λογίζονται και οι εαρινές καταιγίδες όντας άφθονες. Η ευστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών και οι γενικότερες τεχνικογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής εξαρτώνται άμεσα τόσο από τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων (ως εκείνο το αποτέλεσμα της λιθολογικής σύστασης αλλά και της γεωτεκτονικής εξέλιξης αυτών), όσο και από το υδρομετεωρολογικό καθεστώς και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην κάθε περιοχή.

Επίσης, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αέρα που έχουν μεγάλο εύρος εις αμφότερα ημερήσιο ή και εποχιακό επίπεδο, επηρεάζουν αρνητικά και σε μεγάλο βαθμό τους γεωλογικούς σχηματισμούς οδηγώντας έτσι τα πετρώματα σε διαδοχική διόγκωση και συρρίκνωση, αναπτύσσοντας ταυτόχρονα διαφορετικές εσωτερικές τάσεις μέσω των οποίων επέρχεται καταστροφή των ιστών τους καθώς επίσης και ρωγματώσεις με έκδηλη την πιθανότητα αποκόλλησης τεμαχίων. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας η διαστολή περιορίζεται στο εξωτερικό τμήμα των πετρωμάτων εξαιτίας του μικρού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Κατά συνέπεια, με δεδομένη την υπάρχουσα διαφορά διαστολής ευνοείται η δημιουργία ρωγμών με διεύθυνση παράλληλη της επιφάνειας των πετρωμάτων. Όσον αφορά τη μείωση της θερμοκρασίας, το εξωτερικό τμήμα των σχηματισμών είναι και πάλι αυτό το οποίο επιδέχεται γρηγορότερα τη μεταβολή αφού το εσωτερικό του τμήμα διατηρείται θερμότερο.

Αποτέλεσμα αυτής της διαφορικής συρρίκνωσης συνίσταται η δημιουργία κάθετων (του γεωλογικού σχηματισμού) ρωγμών, όπου αυτή υφίσταται. Οι σχηματισμοί που πλήττονται περισσότερο είναι τα πετρώματα με ετερογενή σύσταση ενώ συνέπεια των προαναφερθέντων ρωγμών αποτελεί και η διευκόλυνση εισχώρησης και κυκλοφορίας των υδάτων, μεταβάλλοντας το μέτρο οξύτητας (γνωστό ως "pH") του πετρώματος με αύξηση της διαλυτικής του ικανότητας, επιφέροντας με τον τρόπο αυτό τη χημική αποσάθρωση των εν λόγω πετρωμάτων. Στη συνέχεια του κειμένου και συγκεκριμένα στις ακόλουθες υποενότητες, πραγματοποιείται λεπτομερή αναφορά των κλιματολογικών δεδομένων της υπό εξέτασης περιοχής του Δήμου Αγράφων, αποτυπώνοντας έτσι κάποιες στατιστικές συσχετίσεις.

4.3.1. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Ο Δήμος Αγράφων, καθώς αυτός άλλωστε χαρακτηρίζεται από το έντονα ορεινό γεωμορφολογικό του ανάγλυφο, υφίσταται σημαντικότατα την επίδραση των υδρομετεωρολογικών παραγόντων και κυρίως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων τα οποία διαβρώνουν τα πρανή. Μάλιστα, σε αρκετές περιοχές συγκρατούνται μεγάλες ποσότητες υδάτων αυξάνοντας το βάρος των μαζών και ευνοώντας με τον τρόπο αυτό την έναρξη του μηχανισμού εκδήλωσης κατολισθητικών γεγονότων και αστοχιών. Έτσι, αναφορικά με τις ποσότητες νερού που προέρχονται από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα το ενδιαφέρον της εκάστοτε περιοχής εστιάζεται στον υδάτινο όγκο που φτάνει στην επιφάνεια της υπό διάφορες μορφές. Συνηθέστερα, με τον όρο "ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα" νοείται το σύνολο των διαφόρων μορφών ύδατος, το οποίο είτε είναι εξαρχής νερό, είτε αυτό μετατρέπεται μεταγενέστερα σε αυτή τη μορφή. Ως εκ τούτου, τα κατακρημνίσματα διακρίνονται σε βροχή, χιόνι, χαλάζι και ομίχλη.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και συγκεκριμένα οι βροχοπτώσεις συνιστούν έναν από τους πλέον σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση των γεωλογικών αστοχιών. Βέβαια, η βροχόπτωση αποτελεί ως εξωτερικός συντελεστής έναυσμα (ή ένα από τα εναύσματα εκδήλωσης του φαινομένου των κατολισθήσεων), καθώς σύμφωνα με τον Terzaghi (1950) το νερό της βροχόπτωσης ασκεί επίδραση σε γεωλογικούς σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται είτε από έντονη υδροπερατότητα είτε από "ευκολία" στη διείσδυση των υδάτων λόγω ενδεχόμενης αποσάθρωσης που έχουν υποστεί. Ειδικότερα, η διαδικασία της προαναφερθείσης επιδράσεως έχει ως εξής. Αρχικά το νερό εισέρχεται στο εσωτερικό της «υπό κατολίσθηση μάζας», δημιουργώντας αύξηση της πίεσης των πόρων και εσωτερική διάβρωση με συνέπεια σε αρκετές περιπτώσεις την αύξηση του όγκου αυτής. Παράλληλα αυξάνεται το βάρος της μάζας του εδάφους επιδεινώνοντας έτι περαιτέρω την υπάρχουσα αστάθεια. Επιπλέον, η επιφανειακή ροή του ύδατος υποσκάπτει τη βάση στήριξης του πρανούς (δηλ. τον πόδα), ενώ λειτουργεί και ως λιπαντικό στοιχείο στο επίπεδο ολίσθησης μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο σημαντικά τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ του σταθερού πετρώματος και του αποσαθρωμένου μανδύα.

Συνεπώς, η ακριβής γνώση των βροχομετρικών δεδομένων της περιοχής, συνιστά ένα σημαντικότατο στοιχείο στην κατεύθυνση προσδιορισμού του βαθμού επικινδυνότητας έναντι των κατολισθήσεων.

4.3.2. Βροχομετρικά δεδομένα

Ο βροχομετρικός χαρακτήρας της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από την ξηρότητα που επικρατεί κατά τη θερινή περίοδο καθώς και τον «περιορισμό» της περιόδου των βροχοπτώσεων κατά κύριο λόγο τον χειμώνα και μέρος αυτών κατά τις εποχές του φθινοπώρου και της άνοιξης. Έτσι, το έτος διακρίνεται σε δύο (2) μέρη, το βροχερό και το ξηρό. Ο εν λόγω βροχομετρικός χαρακτήρας συναντάται κυρίως στη Νότια Ελλάδα αφού στο Βόρειο τμήμα της επικράτειας η κατάσταση τείνει να γίνεται τα τελευταία χρόνια πιο ομαλοποιημένη. Σε ότι αφορά τη διανομή της βροχής, είναι καλύτερα διαβαθμισμένη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, όμως κοινή παραδοχή συνιστά το γεγονός ότι σε πολλά μέρη της Ελλάδας υφίστανται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των καταγεγραμμένων ποσοτήτων του όγκου βροχής.

Όπως συμβαίνει στις συνηθέστερες μετρήσεις, οι οποίες αναφέρονται ως επί το πλείστον στη βροχή, το χιόνι και το χαλάζι, έτσι και στα παρόντα βροχομετρικά δεδομένα (όπου αφορούν την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας) πραγματοποιείται η ίδια μέτρηση καλύπτοντας έτσι ταυτόχρονα την γενικότερη απόδοση του ορισμού "υετός". Σε μια γενικότερη κατεύθυνση, η οποία στοχεύει στο να εστιάσει και να αναλύσει με το βέλτιστο δυνατό τρόπο τους παράγοντες-συντελεστές που εμπλέκονται στο κατολισθητικό φαινόμενο, επιχειρείται η παρούσα προσέγγιση των βροχοπτώσεων της περιοχής έρευνας, καθώς η καθοριστικής σημασίας συμβολή που ενέχει στο φαινόμενο, θεωρείται αδιάψευστη.

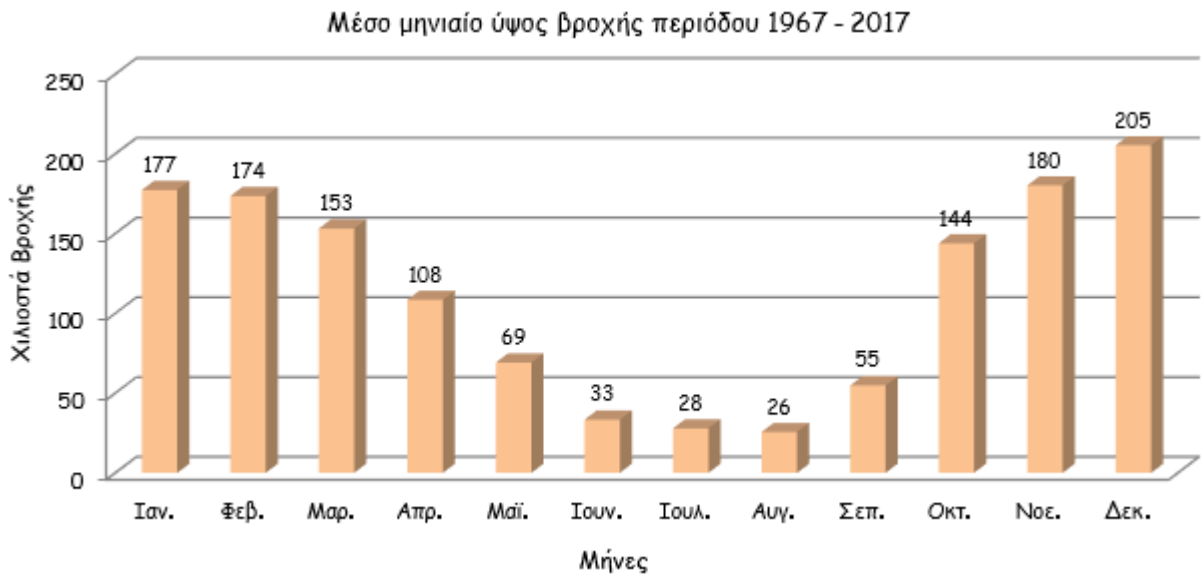
Το υπάρχον εγκατεστημένο δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, αποτελούμενο από τρεις (3) μετεωρολογικούς σταθμούς για το Νομό Ευρυτανίας, σε συνδυασμό με τα στοιχεία των τεχνικών εκθέσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), όπως επίσης και τις δημοσιευμένες έρευνες της εξεταζόμενης περιοχής, παράγουν τα κάτωθι στατιστικά στοιχεία του **Πίνακα 4.2** σχετικά με τα ποσοστά των κατολισθήσεων στις αντίστοιχες βροχομετρικές βαθμίδες.

Προς αποφυγή παρερμηνειών διευκρινίζεται ότι στα ιστογράμματα και τους πίνακες που ακολουθούν στη συνέχεια του κειμένου, χρησιμοποιείται το μέσο ετήσιο ύψος βροχής. Επιπλέον, από τον πίνακα προκύπτει ότι σχεδόν το σύνολο των κατολισθητικών γεγονότων εμφανίζεται στη βροχομετρική ζώνη μεταξύ 1.200 και 1.800 χιλιοστών βροχής. Σε ποσοστό προηγείται η βαθμίδα με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 1.400 – 1.600 χιλιοστά με 34,4% και ακολουθεί η βαθμίδα 1.200 – 1.400 χιλιοστά με 25,6%.

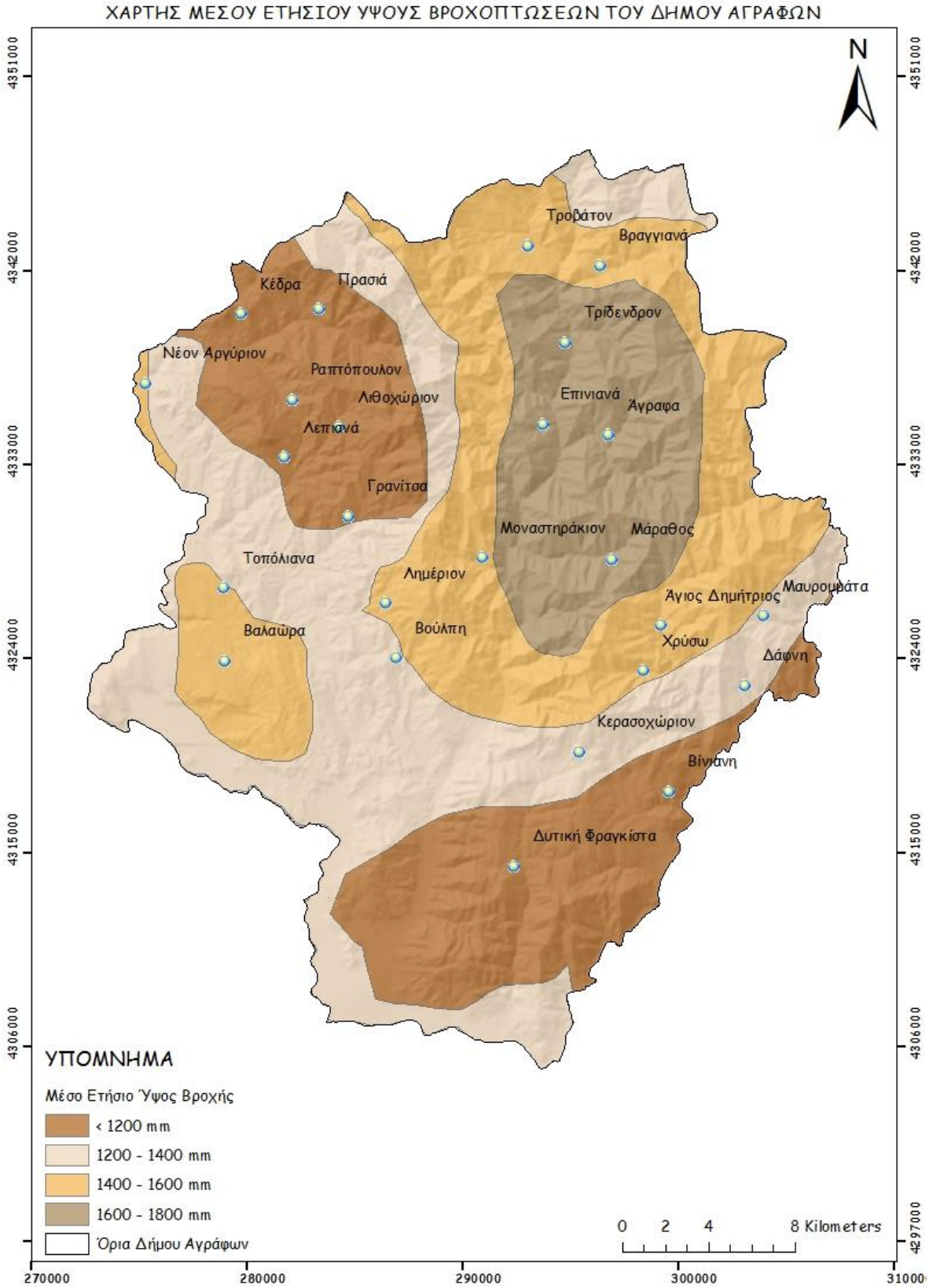
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΑΘΜΙΔΑ (mm)	ΣΥΜΒΑΝΤΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (%)
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής	<1000	3	2,40
	1000 - 1200	8	6,40
	1200 - 1400	32	25,60
	1400 - 1600	43	34,40
	1600 - 1800	28	22,40
	>1800	11	8,80

Πίνακας 4.2 Κατανομή κατολισθήσεων συναρτήσει του μέσου ύψους βροχής 1967 - 2017 (Πηγή: ΙΓΜΕ)

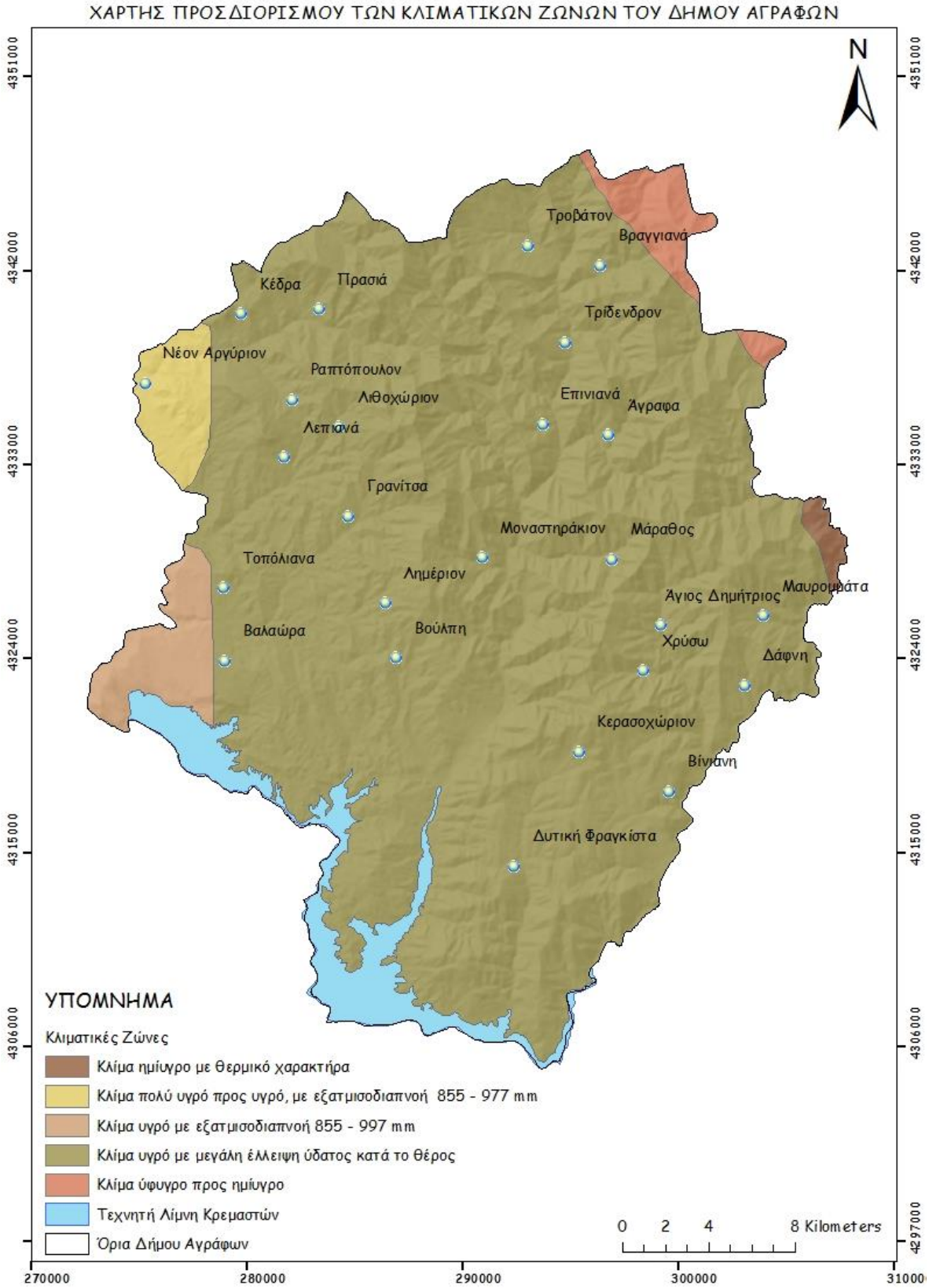
Εν τέλει, στο **Σχήμα 4.5** που ακολουθεί, δίνονται σε διάγραμμα συγκεντρωτικά οι μέσες μηνιαίες τιμές ύψους βροχής της ευρύτερης περιοχής του Νομού Ευρυτανίας καλύπτοντας περίοδο πεντηκονταετίας (από το 1967 έως και το 2017), ενώ ακολούθως πρώτα στο **Σχήμα 4.6** αποτυπώνονται σε παραγόμενο χάρτη οι βροχομετρικές βαθμίδες της περιοχής και μετέπειτα στο **Σχήμα 4.7** παρατίθεται ομοίως ένας επιπλέον χάρτης επί του οποίου αντικατοπτρίζονται οι κλιματικές ζώνες για τον Δήμο Αγράφων. Αξιοσημείωτο, μέσω του κάτωθι διαγράμματος καθίσταται το γεγονός ότι αποφαίνεται μια μακρά υγρή περίοδος από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Απρίλιο, αφού η μέση μηνιαία τιμή για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο δεν «πέφτει» κάτω από τα 100 χιλιοστά, ενώ οι μέγιστες τιμές είναι τον Δεκέμβριο.



Σχήμα 4.5 Μέσες μηνιαίες τιμές ύψους βροχής του Νομού Ευρυτανίας για την περίοδο 1967 - 2017



Σχήμα 4.6 Χάρτης μέσου ετήσιου ύψους βροχοπτώσεων της περιοχής



Σχήμα 4.7 Χάρτης προσδιορισμού των κλιματικών ζωνών για τον Δήμο Αγράφων

4.3.3. Θερμοκρασία αέρα

Σε πλήρη αντιστοιχία με την ευρεία ποικιλία κλιμάτων που απαντώνται στον Ελλαδικό χώρο το ίδιο σκηνικό επικρατεί και σε ότι αφορά τη θερμοκρασία αέρα αφού από περιοχή σε περιοχή εμφανίζονται μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές. Μάλιστα σε κάποιες από αυτές τις περιοχές η ύπαρξη οροσειρών παρεμποδίζει την είσοδο των βορείων ανέμων δημιουργώντας έτσι ουσιαστικά κλίμα θερμότερο του κανονικού, αυξάνοντας παράλληλα τη μέση θερμοκρασία των εν λόγω περιοχών. Στην εκ διαμέτρου αντίθετη κατάσταση η έκθεση ενός τόπου σε ψυχρές αέριες μάζες καθιστά το κλίμα ηπιότερο του κανονικού επηρεάζοντας σημαντικά το ανάγλυφο που εκτίθεται σε αυτά τα ψυχρά ρεύματα, καθώς οι άνεμοι σε συνδυασμό με τις μεγάλες ποσότητες βροχής, δημιουργούν τραχείς και απότομες πλαγιές.

Σε γενικές γραμμές η θερμοκρασία που κυριαρχεί στη χώρα μας περιλαμβάνεται μεταξύ των ετήσιων ισόθερμων των 14,5°C και 19,5°C παρουσιάζοντας μεταξύ των δύο (2) άκρων ετήσιων ισόθερμων διαφορά της τάξης των πέντε (5) βαθμών της κλίμακας Κελσίου. Σημειώνεται ότι οι μέσες ετήσιες ισόθερμες ακολουθούν ως επί το πλείστον διάταξη κατά γεωγραφικό πλάτος κάποιας θερμομετρικής υπεροχής των ακτών της Δυτικής Ελλάδος και των Ιονίων Νήσων, εν συγκρίσει με την υπόλοιπη χώρα. Κατά την χειμερινή περίοδο το γεωγραφικό πλάτος αποτελεί τον κύριο ρυθμιστή διανομής της θερμοκρασίας, ενώ την θερινή περίοδο αλλάζει από τη διανομή ξηράς και θάλασσας (Ζιούρκας, 1989).

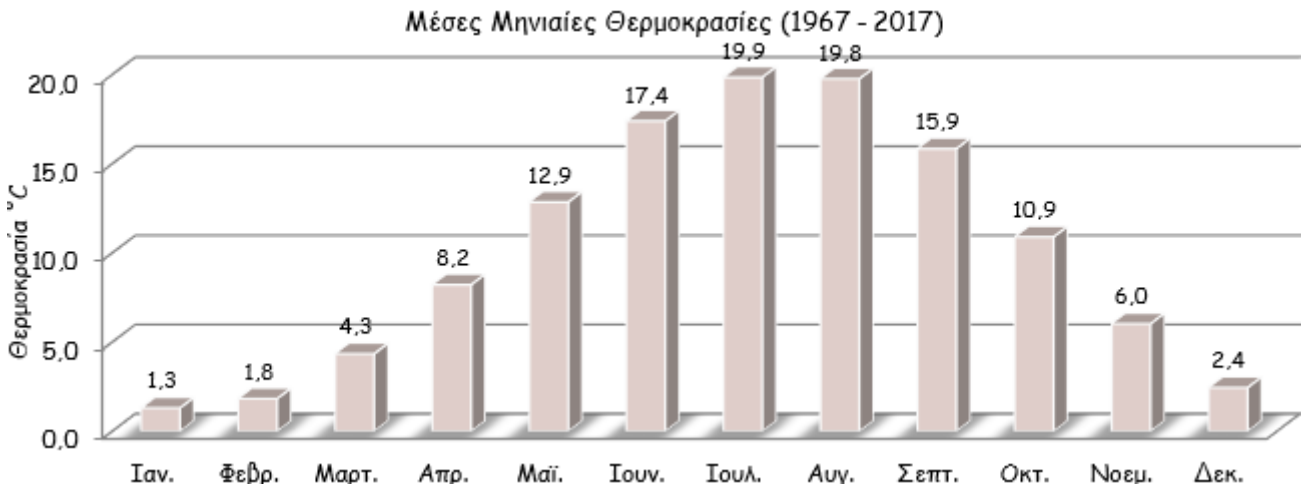
Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα θεωρείται απλή έχοντας μία ελάχιστη τιμή συνήθως τον μήνα Ιανουάριο και μία μέγιστη τιμή που παρουσιάζεται τον Ιούλιο, το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος εμφανίζεται με μεγάλες διαφορές ανά περιοχή. Έτσι η Βόρεια Ελλάδα και συγκεκριμένα η Θράκη, η Μακεδονία, η Θεσσαλία και ένα μέρος της Ηπείρου έχουν μέσο ετήσιο εύρος μικρότερο των 20,0°C ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της επικράτειας το ετήσιο θερμοκρασιακό «πλαίσιο» κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές των 13,5°C (ελάχιστη) έως την τιμή των 20,5°C (μέγιστη).

Ειδικότερα σε ότι αφορά τον Δήμο Αγράφων, ο οποίος αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, το μέσο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος περιόδου 1967 - 2017 αντανακλάται με την τιμή των 10,1°C έχοντας ως μέση μηνιαία μέγιστη τιμή τους 23,2°C και καταγράφεται τον Ιούλιο του 1988 ενώ ως ελάχιστη μέση μηνιαία τιμή τους -4,1°C για τον μήνα Φεβρουάριο του 2003.

Ακολούθως του κείμενου και συγκεκριμένα στον **Πίνακα 4.3** αποτυπώνονται αναλυτικότερα οι μέσες μηνιαίες τιμές της περιόδου 2008 - 2017, ενώ αντίστοιχα στο **Σχήμα 4.8** εικονίζεται το ιστόγραμμα με τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της περιόδου 1967 - 2017. Σημειώνεται ότι δεν παρατίθενται τα στοιχεία όλων των μηνών και όλων των χρόνων για την προαναφερόμενη περίοδο όπως συμβαίνει για την δεκαετή περίοδο καθώς δεν κρίνεται αναγκαία, ούτε ωφέλιμη η αναγραφή αυτού του μεγάλου όγκου των δεδομένων. Η άντληση των θερμοκρασιακών στοιχείων γίνεται από τον Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό (ΕΛΓΟ) "Δήμητρα", που συνιστά το πρώην Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ).

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1ος	1,9	1,4	1,2	2,8	-0,7	2,5	4,7	2,2	3,6	-0,1
2ος	2,0	-0,4	3,0	3,1	1,2	4,4	5,3	2,2	7,2	4,4
3ος	6,5	3,5	4,8	4,6	5,4	6,6	6,3	5,7	6,2	6,9
4ος	10,0	7,7	8,5	8,4	9,9	10,3	9,3	8,5	11,9	9,1
5ος	13,9	14,6	13,7	12,5	13,0	15,1	12,6	14,4	12,4	13,6
6ος	18,8	17,9	16,4	16,8	19,0	17,3	16,9	16,6	18,3	17,9
7ος	21,3	21,1	19,0	19,9	21,7	19,6	18,7	20,8	20,1	19,6
8ος	21,8	20,7	21,7	20,4	19,7	20,6	19,4	20,3	19,6	20,5
9ος	15,2	15,5	14,9	17,3	15,9	16,1	15,8	17,7	15,1	15,8
10ος	10,9	11,5	9,0	8,8	12,6	11,3	11,3	12,4	11,3	10,1
11ος	6,7	9,4	9,9	4,0	8,4	7,7	7,0	7,6	6,9	6,9
12ος	1,9	6,6	4,2	3,5	3,1	2,2	4,5	1,8	1,6	3,9
Μ.Ο.	10,9	10,8	10,5	10,2	10,8	11,1	11,0	10,9	11,2	10,7

Πίνακας 4.3 Μέσες μηνιαίες & μέσες ετήσιες θερμοκρασιακές τιμές περιόδου 2008 - 2017 (Πηγή: ΕΛΓΟ)



Σχήμα 4.8 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα για την περίοδο 1967 - 2017 (Πηγή: ΕΛΓΟ)

4.4. Γεωλογικές & υδρογεωλογικές συνθήκες

4.4.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής

Η περιοχή του Δήμου Αγράφων αποτελεί τμήμα της οροσειράς της Πίνδου καταλαμβάνοντας το νότιο τμήμα αυτής. Πιο συγκεκριμένα τα ιζήματα που συνιστούν τη γενικότερη γεωλογική δομή της περιοχής δύναται σε γενικές γραμμές να διακριθούν σύμφωνα με τους Ελευθερίου & Παταργιά (1998) ως εξής:

i. Σχηματισμοί Ανώτερης Τριαδικής Περιόδου

Πρόκειται για μία ακολουθία η οποία συγκροτείται από εναλλαγές ανάμεσα σε στρώσεις κερατόλιθων, πλακωδών ασβεστόλιθων και μαργαϊκών σχιστόλιθων, διακρινόμενη σε τρεις (3) ορίζοντες. Στη βάση της ακολουθίας ο πρώτος κατά σειρά ορίζοντας αποτελείται από αλλεπάλληλες ασβεστολιθικές και κερατολιθικές διαστρώσεις που έχουν πάχος από 10 έως 20 εκατοστά, ενώ μεταξύ των διαστρώσεων παρεμβάλλονται λεπτές στρώσεις υποπράσινων μαργών πάχους από 2 έως 5 εκατοστά. Ο δεύτερος ορίζοντας, ο οποίος επικάθεται του προηγουμένου, αποτελείται από στρώσεις ραδιολαριτών με πάχος μεταξύ 10 και 20 εκατοστά. Το χρώμα που εμφανίζουν οι ραδιολαρίτες είναι ερυθρό και ανάμεσά τους σημειώνονται λεπτές στρώσεις υποπράσινων μαργαϊκών σχιστολίθων. Τέλος, όσον αφορά αυτήν την ακολουθία, ο τρίτος κατά σειρά ορίζοντας απαρτίζεται από στρωματώδεις ασβεστόλιθους με πάχος από 20 έως 50 εκατοστά, οι οποίοι εν συνεχεία υπόκεινται μετάπτωσης που επιφέρει μείωση των στρωμάτων τους, μετατρέποντας τους κατ' αυτόν τον τρόπο σε λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους κι έχοντας ανάμεσά τους μικρές μαργαϊκές στρώσεις. Έτσι, κλείνει μία ακολουθία όπου περιλαμβάνει σχηματισμούς της Ανώτερης Τριαδικής περιόδου με την ιζηματογένεση προς τα πάνω να συνεχίζεται κανονικά από τα ιζήματα της Ιουρασικής περιόδου, όπως αυτά άλλωστε περιγράφονται ακολούθως.

ii. Σχηματισμοί Ιουρασικής Περιόδου

Ουσιαστικά, το μέλος αυτό χαρακτηρίζεται από την μειωμένη συμμετοχή ασβεστολιθικής φάσης με επικράτηση της ραδιολαριτικής. Η μετάβαση από την Ανώτερη Τριαδική περίοδο στην Ιουρασική, πραγματοποιείται με έναν ορίζοντα που αποτελείται από πλακώδεις ασβεστόλιθους οι οποίοι είναι ισχυρώς πυριτιωμένοι, δηλαδή κρυσταλλοποιημένοι ασβεστόλιθοι με έντονη την παρουσία πυριτίου.

Το πάχος του εν λόγω ορίζοντα εκτιμάται περί τα είκοσι δύο (22) μέτρα. Εν συνεχεία η ασβεστολιθική φάση εξαλείφεται και η παρουσία των ραδιολαριτών είναι αυτή που πραγματοποιεί την εμφάνιση της με ένα μέσο πάχος της τάξης των 200 μέτρων. Η αναφερόμενη ραδιολαριτική φάση αποτελείται από ενστρώσεις πυριτόλιθων πάχους δέκα (10) εκατοστών και χρώματος ερυθρωπού ή υποπράσινου. Επιπλέον, εντός του ορίζοντα παρεμβάλλονται κατά αραιά διαστήματα ασβεστολιθικές στρώσεις με πάχος 10 - 15 εκατοστά. Εν κατακλείδι, αναφορικά με τους σχηματισμούς της Ιουρασικής περιόδου, απαντώνται κάποιες εναλλαγές πυριτόλιθων με ασβεστόλιθους σε μικρές στρώσεις, ενώ ακολουθεί ένα σύστημα εναλλαγών πολύχρωμων μαργών και ψαμμιτών οι οποίοι περιλαμβάνουν κερατολιθικές στρώσεις συνολικού πάχους 50 μέτρων, σχηματισμός γνωστός και ως "Πρώτος φλύσχης της Πίνδου".

iii. Σχηματισμοί Ανώτερης Κρητιδικής Περιόδου

Στην παρούσα φάση (ακολουθία), απαντώνται ιζήματα τα οποία συγκροτούν μία ομάδα πετρωμάτων και που λιθολογικά διακρίνονται σε δύο (2) ορίζοντες. Σχετικά με τον πρώτο ορίζοντα που αποτελεί και τη μετάβαση των σχηματισμών από την Ιουρασική περίοδο στην Ανώτερη Κρητιδική, αυτός σε ότι αφορά τη σύστασή του, περιλαμβάνει στρώσεις από πελαγικούς ασβεστολίθους που φέρουν πάχος όχι μεγαλύτερο των 15 εκατοστών και μεταξύ των οποίων εμπεριέχονται στρώσεις πυριτόλιθων ερυθρωπού χρώματος. Το συνολικό πάχος της παρούσης ζώνης ανέρχεται περίπου στα 150 μέτρα. Στη συνέχεια ο ακόλουθος ορίζοντας, συνιστώντας αφενός μεν το ανώτερο τμήμα των σχηματισμών της Κρητιδικής περιόδου, αφετέρου δε τη μεταβατική ζώνη προς τον φλύσχη της Πίνδου, αποτελείται από μία σειρά μαργαϊκών ασβεστολίθων - σχιστολίθων, κι από ψαμμίτες συνολικού πάχους 50 μέτρων.

iv. Σχηματισμοί Παλαιογενούς Περιόδου

Στην ανώτερη μεταβατική ζώνη επικάθεται ο φλύσχης της Πίνδου ο οποίος χρονολογείται περί της εποχής του Ηωκαίνου. Εδώ διακρίνονται δύο (2) φάσεις που εναλλάσσονται μεταξύ τους σε οριζόντιες διαστρώσεις. Στη μία διακρίνονται λεπτόκοκκοι συμπαγείς ψαμμίτες και στην άλλη αργιλομαργαϊκοί σχιστόλιθοι. Εις τα ανώτερα μέλη του φλύσχη η ψαμμιτική φάση εξαλείφεται προοδευτικά και ως εκ τούτου υφίσταται επικράτηση της αργιλομαργαϊκής. Τέλος, δυτικά της ζώνης της Πίνδου εμφανίζεται ο φλύσχης Γαβρόβου - Τρίπολης ο οποίος αποτελείται από εναλλαγές κυανών μαργών, λεπτόκοκκων ψαμμιτών καθώς και κροκαλοπαγών. Ο σχηματισμός εκτιμάται σε ηλικία Ηωκαίνου και Ολιγοκαίνου.

4.4.2. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά σχηματισμών

Έχοντας δεδομένο ότι η πλειοψηφία των μετακινήσεων που παρατηρούνται στις γεωλογικές μάζες για την περιοχή έρευνας, ανήκουν στον σχηματισμό του φλύσχη, δικαιωματικά πραγματοποιείται μια εκτενέστερη αναφορά στις μηχανικές του ιδιότητες, προσπαθώντας έτσι ουσιαστικά να επιτευχθεί μια πιο ολιστική προσέγγιση τόσο ως προς το γενικότερο φαινόμενο των κατολισθήσεων όσο και στην ειδικότερη εξέταση του σχηματισμού αυτού, αφού φαίνεται να είναι πιο επιρρεπής και πιο επιδεκτικός στο να αστοχεί. Συνεπώς, αδιαμφισβήτητο καθίσταται το γεγονός ότι η ευρύτερη προσέγγιση ενός ζητήματος (εν προκειμένω του κατολισθητικού μηχανισμού), επέρχεται κατά κύριο λόγο όταν το θέμα αυτό χωριστεί σε επιμέρους μικρότερα πεδία τα οποία δύναται με μεγαλύτερη ευκολία να αναλυθούν και να επεξεργαστούν περαιτέρω, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα πολύτιμης γνώσης στον ερευνητή.

Ο όρος "φλύσχης" αποδίδεται στον Ελβετό γεωλόγο Bernhard Studer και προέρχεται από τον γερμανικό όρο "fliessen" που σημαίνει ροή, δείχνοντας έτσι πιθανώς και υπονοώντας την αυξημένη συχνότητα ή την επαναληψιμότητα των κατολισθήσεων στις περιοχές που δομούνται από αυτόν τον σχηματισμό. Ο φλύσχης αποτελείται από διαφορετικά κλαστικά ιζήματα, ο σχηματισμός των οποίων πραγματοποιήθηκε κατά την ορογένεση. Έτσι η δημιουργία του ταυτίζεται χρονικά με το τέλος της ιζηματογένεσης σε μια τάφρο και πριν την "παροξυσμική" φάση της πτύχωσης. Αναφορικά με τα κλαστικά υλικά του, αυτά προέρχονται από την διάβρωση των προγενέστερων γειτονικών οροσειρών.

Επιπροσθέτως, άξια αναφοράς κρίνεται η ύπαρξη των περιοδικών εναλλαγών από ψαμμιτικούς και πηλιτικούς λεπτόκοκκους ορίζοντες που χαρακτηρίζουν τον φλύσχη, με την πιθανότητα αντί των πηλιτών να εμφανίζονται ενίοτε είτε αργιλικοί σχιστόλιθοι είτε και μάργες. Επίσης, στη σύσταση του ψαμμίτη είναι πιθανό να περιέχονται κροκαλοπαγή (στα ανώτερα στρώματά του), ενώ σε πιο σπάνιες περιπτώσεις περιλαμβάνονται ενστρώσεις από ασβεστόλιθους στα κατώτερα στρώματα. Το πάχος των λεπτόκοκκων οριζόντων είναι της τάξης των μερικών εκατοστών και είναι δυνατό να ανέρχεται μέχρι μερικά μέτρα. Συν τοις άλλοις, κρίνεται πιθανή η εμφάνιση πυκνών στρωσιγενών επιφανειών από τους σχηματισμούς των σχιστόλιθων και των ιλυόλιθων. Ωστόσο, λόγω αυτής της στρωσιγένειας, αμφότεροι οι προαναφερθέντες σχηματισμοί θεωρούνται ως τα πλέον «αδύναμα» μέλη του φλύσχη.

Όσον αφορά το συνολικό πάχος του σχηματισμού του φλύσχη αυτό κυμαίνεται συνήθως από δεκάδες έως κάποια εκατοντάδες μέτρα, ενώ κατά τόπους εμφανίζονται αυξομειώσεις του πάχους λόγω της διάβρωσής του, ή ακόμη και λόγω ενδεχόμενων επωθήσεων. Επιπλέον, εκτός των εμπεριεχομένων εναλλασσόμενων λιθολογικών τύπων στον φλύσχη συχνά ο εν λόγω σχηματισμός επηρεάζεται αφενός μεν από την ύπαρξη των κανονικών και ανάστροφων ρηγμάτων, αφετέρου δε από τους ισχυρούς τεκτονισμούς που επιδέχεται. Συνολικά, οι ανωτέρω επισημάνσεις οδηγούν σε "μερική" υποβάθμιση της ποιότητας των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της φλυσχικής βραχόμαζας που ως αποτέλεσμα αυτής της υποβάθμισης συνεπάγεται η καταπόνηση του υλικού, δηλαδή μία διαρρηγμένη βραχομάζα.

Από γεωτεχνικής σκοπιάς, σχετικά με τους σχηματισμούς που απαντώνται στην υπό εξέταση περιοχή του Δήμου Αγράφων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις εξής πέντε (5) παρατηρήσεις - παραδοχές:

a. Η ετερογένεια η οποία παρουσιάζεται σε κάποιους σχηματισμούς με δεδομένο το γεγονός της εναλλαγής των ανθεκτικών και μη ανθεκτικών μελών που περιλαμβάνονται σε αυτούς.
b. Η τεκτονική καταπόνηση και η ρωγμάτωση με την υφιστάμενη ύπαρξη των διαρρήξεων αλλά και των ασυνεχειών, συνέπεια των οποίων συνιστά η εμφάνιση του φλύσχη ως εδαφικό υλικό.
c. Η ανισοτροπία και η διακύμανση των τιμών ακόμη και εντός της ίδιας λιθοφάσης ανάλογα με την διάβρωση που έχει υποστεί ο σχηματισμός, τον βαθμό αποσάθρωσης και το βάθος της.
d. Η διαπερατότητα του φλύσχη όπου γενικά είναι πολύ χαμηλή, όμως εξαιτίας της «εύκολης» αποσάθρωσης (και κατ' επέκταση της υποβαθμίσεως κάποιων μελών του), διευκολύνεται η εμφάνιση δευτερογενούς διαπερατότητας, συμβάλλοντας έτσι ακόμη περισσότερο αρνητικά.
e. Η συχνή παρουσία των αργιλικών ορυκτών στην περιοχή μελέτης και στην ευρύτερη περιοχή.

Συγκεντρωτικά, οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις και παραδοχές, συμβάλλουν με καθοριστικό τρόπο στην συμπεριφορά των σχηματισμών προσδίδοντας ιδιάζουσα γεωτεχνική απόκριση αυτών, ιδίως σε ότι σχετίζεται με την γεωτεχνική συμπεριφορά του φλύσχη, όντας "επιδεικτικότερος" στις αστοχίες. Αδιαμφισβήτητα στην απόκριση αυτή προσμετράται και συνεκτιμάται το περιεχόμενο ποσοστό των ψαμμιτών ή των πηλιτών, το πάχος των στρωμάτων, ο τρόπος που εναλλάσσονται, το είδος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών (καθώς αυτά παρουσιάζουν είτε διόγκωση είτε συρρίκνωση κατά τις φάσεις ύγρανσης και ξήρανσης), το μέγεθος των κόκκων αλλά και η υφή της συνδετικής τους ύλης.

Η πηλιτική φάση του φλύσχη παρουσιάζει ασήμαντο πρωτογενές πορώδες ωστόσο αναπτύσσει κατά τόπους δευτερογενές, όπως άλλωστε ήδη αναφέρεται πιο πάνω. Επίσης, η μηχανική συμπεριφορά του δεν είναι σταθερή έχοντας μεγάλες διακυμάνσεις αφού μπορεί να ξεκινά από εκείνη του βράχου υψηλών αντοχών (με επικράτηση ψαμμιτών ή κροκαλοπαγών) και να φτάνει έως τη συμπεριφορά του συνεκτικού εδάφους χαρακτηριζόμενος από ασυνέχειες με επικράτηση του αργιλικού σχιστόλιθου. Ωστόσο, η ενδιάμεση κατάσταση είναι και η πλέον συνηθέστερη, ενώ απόρροια του ταχέως ρυθμού διάβρωσης αποτελεί η ύπαρξη μανδυών αποσάθρωσης μεγάλου πάχους, κάτι που σε καμία περίπτωση δεν προξενεί «έκπληξη». Εν τέλει, το "αρνητικό τοπίο" της συμπεριφοράς του φλύσχη έρχονται να επιβαρύνουν τα εκτεταμένα κορήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μειωμένη διατμητική αντοχή και αυξημένη υδροπερατότητα κάνοντας έτσι ευκολότερη την εκδήλωση κατολισθητικών γεγονότων.

Από την άλλη μεριά έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει τόσο η εσωτερική όσο και η εξωτερική γεωμετρία των στρωμάτων. Έτσι, στην αργιλοπηλιτική λιθοφάση των μαλακών στρωμάτων εξετάζονται μια σειρά από παραμέτρους όπως είναι η περιεκτικότητα τους σε ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$), η παραμένουσα αντοχή τους, η έλξη μεταξύ των σωματιδίων, η πίεση των πόρων αλλά και πως αυτοί επηρεάζονται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η γεωμετρία των ασυνεχειών, η αντοχή σε χαλάρωση (γνωστή και ως δείκτης χαλάρωσης), το αργιλικό κλάσμα, καθώς και τα επιβαλλόμενα φορτία. Βάσει των ανωτέρω εξεταζόμενων παραμέτρων αποδεικνύεται το μέγεθος της πολυπλοκότητας του τεχνικογεωλογικού συστήματος του Δήμου Αγράφων και δη της φλυσχικής βραχόμαζας. Σχετικά με τα σκληρά στρώματα (ψαμμιτοκροκαλοπαγή), σημαντική λογίζεται η περιεκτικότητα αυτών σε αργιλικό υλικό, η εσωτερική διάβρωση που έχουν υποστεί ή υφίστανται, καθώς και η περιγραφή των συστημάτων διακλαδώσεων.

Καταληκτικά επισημαίνεται ότι σε γενικές γραμμές οι δυσμενέστερες συνθήκες παρατηρούνται κυρίως εκεί όπου επικρατούν οι λεπτές εναλλαγές και δευτερευόντως στις εναλλαγές των στρωμάτων που είναι ομόρροπες με τη διεύθυνση του πρανούς και την κλίση των στρωμάτων. Το σημείο στο οποίο επικεντρώνεται το ενδιαφέρον των ερευνητών είναι η αντοχή του συνόλου και όχι του μεμονωμένου μέλους, ιδίως μάλιστα όταν αυτό δεν έχει μεγάλο πάχος. Οι ασβεστόλιθοι της περιοχής έρευνας είναι πλακώδεις σε εναλλαγές με σχιστόλιθους, λεπτοπλακώδεις με ενστρώσεις φλυσχικών φάσεων και πηλιτών. Τέλος, ως στατιστική επισήμανση αξίζει να ειπωθεί ότι ο φλύσχης αν και καλύπτει μόνο το 8,5% της επιφανείας του Ελλαδικού χώρου συγκεντρώνει το 38,6% των κατολισθητικών καταγραφών.

4.4.3. Συχνότητα κατολισθήσεων βάσει λιθολογίας

Ως μία εκ των καθοριστικών παραμέτρων για την εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών, και δη του κατολισθητικού φαινομένου, λογίζεται η λιθολογική σύσταση και η δομή των σχηματισμών οι οποίοι καλύπτουν το ευρύτερο γεωλογικό φάσμα μιας περιοχής (Terzaghi 1950, Varnes 1984). Στοιχεία που αφορούν στη συχνότητα εκδήλωσης του κατολισθητικού μηχανισμού και τα οποία βασίζονται σε καταγεγραμμένα περιστατικά της περιόδου 1967 - 2017 και σχετίζονται με τη λιθολογική σύσταση των σχηματισμών που απαντώνται στο Νομό Ευρυτανίας δίδονται στον παρατιθέμενο **Πίνακα 4.4** κάτωθι.

Επιπλέον, στον ίδιο πίνακα γίνεται αναφορά στα αντίστοιχα ποσοστά έκτασης που καλύπτει η κάθε λιθολογική ενότητα σε επίπεδο επικράτειας, δηλαδή συνολικά στον Ελλαδικό χώρο. Από τα εν λόγω στοιχεία αποδίδεται ευκρινώς η μεγάλη τάση εμφάνισης των κατολισθήσεων σε σχηματισμούς οι οποίοι καλύπτονται από ενότητες του φλύσχη καταλαμβάνοντας ποσοστό που ανέρχεται στο 41,6% ενώ το αντίστοιχο ποσοστό σε εθνικό επίπεδο ανέρχεται σε 38,6% βάσει στοιχείων που αντλούνται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) κι αφορούν την ίδια περίοδο καταγραφών.

Παράμετρος	Ενότητα	Έκταση (km^2)	Συμβάντα	Συχνότητα (%)
Λιθολογική σύσταση & δομή σχηματισμών	Πρόσφατες αποθέσεις	30,50 km^2	20	16,00%
	Ασβεστολιθικά πετρώματα	386,19 km^2	23	18,40%
	Φλυσχικοί σχηματισμοί	313,86 km^2	52	41,60%
	Μεταβατικά στρώματα	8,28 km^2	6	4,80%
	Κερατολιθικά πετρώματα	94,55 km^2	12	9,60%
	Ιλυολιθικά πετρώματα	9,26 km^2	7	5,60%
	Εκρηξιγενή πετρώματα	25,77 km^2	5	4,00%

Πίνακας 4.4 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων βάσει λιθολογικών ενοτήτων (Πηγή: ΙΓΜΕ & Βιβλ.)

4.4.4. Υδρογεωλογική συμπεριφορά σχηματισμών

Έπειτα από μια επισκοπική εξέταση με την σύντομη περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που απαντώνται σε όλη την έκταση της περιοχής του Δήμου Αγράφων, επί της παρούσης υποενότητας ακολουθεί η υδρογεωλογική διερεύνηση των εν λόγω σχηματισμών καθώς ο τρόπος «συμπεριφοράς» των πετρωμάτων και κατά πόσο αυτά επιτρέπουν στο νερό να εισρεύσει στο εσωτερικό τους συνιστά σημαντική παράμετρο συνεπίδρασης των γεωλογικών αστοχιών και των κατολισθητικών φαινομένων.

Συνεπώς, οι προαναφερόμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί, εξεταζόμενοι από υδρογεωλογικής πλευράς διακρίνονται σε τρεις (3) κύριες κατηγορίες, έχοντας ως εξής: α) υδροπερατοί, β) ημιπερατοί και γ) αδιαπέρατοι. Με τη σειρά που αναφέρονται, οι υδροπερατοί σχηματισμοί συγκροτούνται ως επί το πλείστον από ασβεστόλιθους, πλευρικά κορήματα, όπως επίσης και από κροκαλοπαγή. Οι ημιπερατοί σχηματισμοί αποτελούνται από τον ψαμμίτη του φλύσχη, τις λεπτομερείς αλλουβιακές αποθέσεις και από τον ελουβιακό μανδύα του φλύσχη ή της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης. Επίσης η ελαττωμένη υδροπερατότητα του ελουβιακού μανδύα (ο οποίος παρεμπιπτόντως παρουσιάζει σημαντικό πορώδες) έχει ως αρνητική συνέπεια την συγκράτηση ενός σημαντικού ποσοστού από το νερό που εισέρχεται.

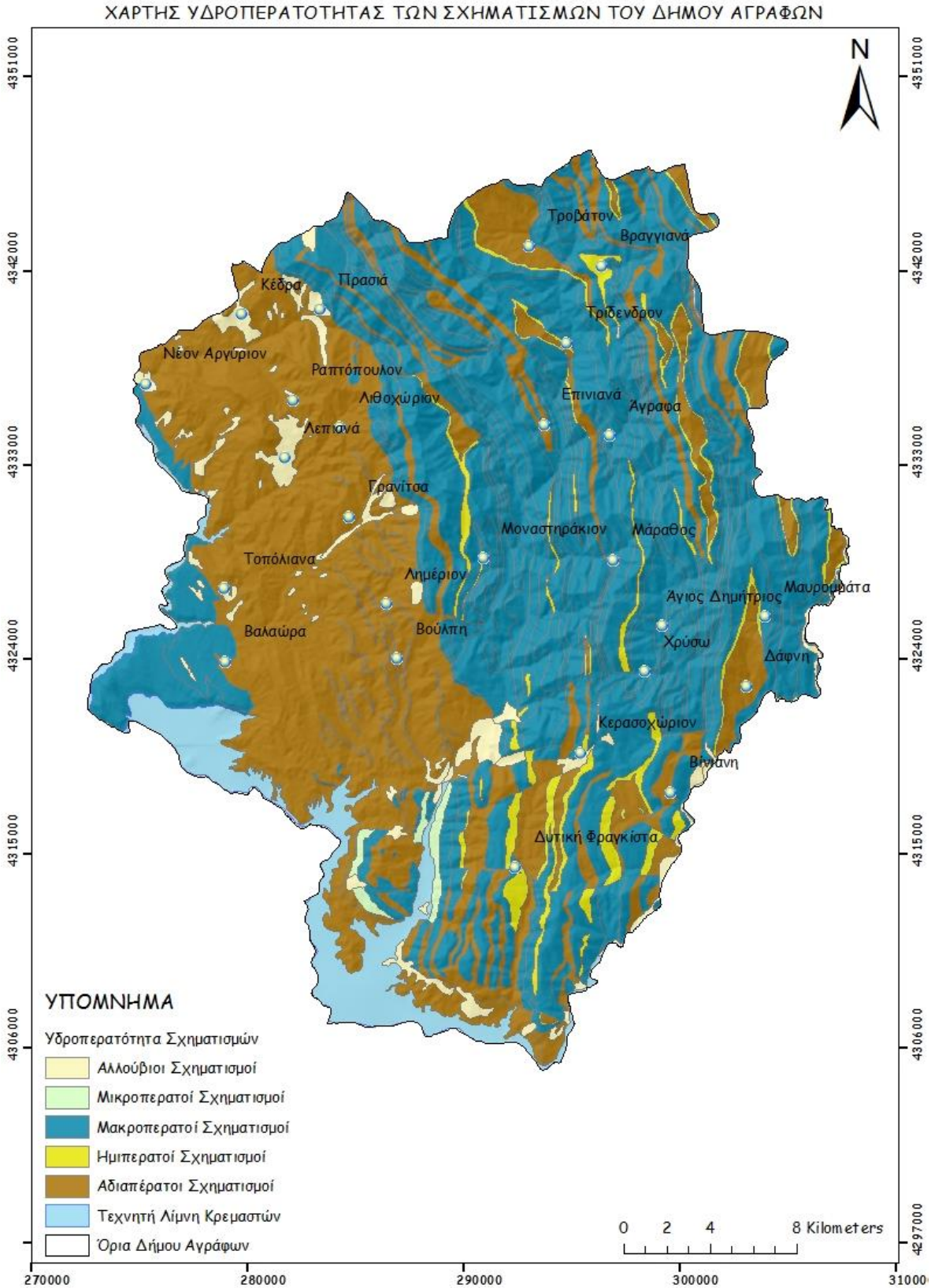
Συγκεκριμένα από πλευράς υδροπερατότητας, τόσο οι ασβεστόλιθοι όσο και οι βαθύτεροι ορίζοντες των μεταβατικών στρωμάτων προς τον φλύσχη με επικράτηση ανθρακικών ιζημάτων χαρακτηρίζονται ως «δευτερογενώς» περατοί σχηματισμοί κυρίως λόγω του κατακερματισμού τους. Επιπρόσθετα, ως περατοί σχηματισμοί θεωρούνται τόσο οι αναμοχλευμένες μάζες λόγω παλαιοτέρων κατολισθητικών συμβάντων, όσο και τα κορήματα και τα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης καθώς αυτά προέρχονται από τις φυσικές φθορές των ψαμμιτικών φάσεων του φλύσχη που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή.

Στον αντίποδα, εντελώς διαφορετικό είναι το σκηνικό που κυριαρχεί στους ανώτερους ορίζοντες της ζώνης μετάβασης όπου εκεί επικρατούν αμφότεροι οι σχηματισμοί των μαργαϊκών και σχιστολιθικών φάσεων, αλλά και ο σχηματισμός του φλύσχη στο σύνολό του. Τα πετρώματα αυτά χαρακτηρίζονται ως γεωλογικοί σχηματισμοί με πολύ χαμηλή περατότητα έως πρακτικά "στεγανά", χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η παρουσία μιας ανεπαίσθητα μικρής δυναμικότητας υδροφόρων στις θέσεις εκείνες που υφίστανται μεγάλου πάχους ψαμμιτικοί πάγκοι συνιστώντας τμήματα των σχηματισμών του φλύσχη.

Βάσει των ανωτέρω επισημάνσεων εύλογα διαπιστώνεται ότι το ποσοστό κατείσδυσης είναι αυξημένο στους ασβεστόλιθους της περιοχής και στους βαθύτερους ορίζοντες των μεταβατικών στρωμάτων, στους ψαμμιτικούς ορίζοντες του φλύσχη και στους νεότερους υδροπερατούς σχηματισμούς, κυρίως όμως στις αναμοχλευμένες γεωλογικές μάζες των παλαιών ολισθήσεων και στα κορήματα. Αντίθετα, το ποσοστό κατείσδυσης είναι ισχνό στη φάση των αργιλικών σχιστολίθων - ιλυολίθων του φλύσχη.

Η ανωτέρω υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών που δομούν την υπό εξέταση περιοχή σε συνδυασμό με τα πολύ υψηλά μεγέθη βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων που παρατηρούνται, έχουν σαν αποτέλεσμα τη διαμόρφωση εποχιακών υδροφόρων οριζόντων στα μεγάλου πάχους κορήματα και αποσαθρώματα, αλλά και στους ψαμμίτες του φλύσχη, που εκφορτίζονται με τη μορφή εκροών ή ακόμη και πηγών νερού. Η παρουσία του μεταβαλλόμενου αυτού υδροφόρου ορίζοντα βοηθά στην απόπλυση των λεπτομερών υλικών όπως και στη μείωση των διατμητικών αντοχών με αποτέλεσμα την εποχιακή αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αστάθεια τμημάτων των πρανών και ιδιαίτερα κάτω από δυναμική φόρτιση, δηλαδή σε περιπτώσεις σεισμικών δράσεων. Κάτωθι στο **Σχήμα 4.9** απεικονίζεται ο χάρτης υδρογεωλογίας των σχηματισμών του Δήμου Αγράφων.

Συμπερασματικά, από την παρούσα υποενότητα δύναται να εξαχθεί μετά βεβαιότητας ότι ο ρόλος της περατότητας των σχηματισμών σε συνάρτηση με την «σφοδρότητα» των έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης, είναι μείζονος σημασίας για την εκδήλωση μιας γεωλογικής αστοχίας, συνιστώντας "αναπόσπαστο κομμάτι" του φαινομένου των κατολισθήσεων. Συν τοις άλλοις, και καθώς η συμμετοχή των βροχοπτώσεων ενέχει πολλαπλό ρόλο στα γεγονότα αυτά όντας ενδεχομένως ένας από τους πιο κρίσιμους εξωτερικούς παράγοντες, μπορεί να θεωρηθεί ότι αλληλοεπιδρά άμεσα με τις φυσικές διεργασίες που εκτυλίσσονται στο έδαφος και στα βαθύτερα στρώματα αυτού, ιδίως μάλιστα με τον παράγοντα της διάβρωσης αλλά και της αποσάθρωσης. Τούτο συμβαίνει καθώς τα επιφανειακά ρέοντα νερά προερχόμενα από τις απότομες και έντονης διάρκειας βροχοπτώσεις διαβρώνουν και υποσκάπτουν τους πόδες των πρανών κατά μήκος των ποταμών και των χειμάρρων ενώ η ποσότητα που κατεισδύει αυξάνει την πίεση των πόρων προκαλώντας με τον τρόπο αυτό εσωτερική διάβρωση, είτε ακόμη και διόγκωση των αργιλικών υλικών, φορτίζοντας με το βάρος του έτι περαιτέρω την ασταθή μάζα, η οποία καθίσταται πιο επιδεκτικότερη προς κατολίσθηση.



Σχήμα 4.9 Χάρτης υδρογεωλογικής περατότητας των σχηματισμών του Δήμου Αγράφων

4.5. Σεισμική δραστηριότητα

Ο Ελληνικός χώρος βρίσκεται στο όριο της επαφής και σύγκλισης ανάμεσα στην Αφρικανική με την Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα κι ως αποτέλεσμα αυτού λογίζεται η ενεργώς έντονη τεκτονική η οποία μάλιστα επιφέρει κινήσεις και παραμορφώσεις του γήινου φλοιού και συγκεκριμένα μια μεγάλη σεισμικότητα στη χώρα. Επιπλέον, ως συνέπεια της θέσης αυτής του Ελληνικού χώρου θεωρείται και η παραμόρφωση των πετρωμάτων όπου συναντάται σε μεγάλο μέρος των γεωλογικών σχηματισμών. Κατά τους Jacobshagen et al. (1978), οι σημερινές μετατοπίσεις που παρατηρούνται στον Ελληνικό χώρο συνιστούν βαθμίδα εξέλιξης στη σειρά των ορογενετικών γεγονότων που δραστηριοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της Ιουρασικής περιόδου, ειδικότερα μεταξύ των εποχών Δογγέριου και Μάλμιου.

Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας, σύμφωνα με τα στοιχεία που αντλούνται από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, δύναται να χαρακτηριστεί ότι ανήκει σε μικρής έως μέτριας σεισμικής επικινδυνότητας περιοχή επί της οποίας σύμφωνα με τις απαραίτητες στατιστικές επεξεργασίες και αναλύσεις, προκύπτει ότι η πιθανότητα εκδήλωσης για σεισμό μεγαλύτερο ή ίσο της τάξης των έξι (6) βαθμών της κλίμακας Richter, λογίζεται πολύ μικρή.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι με βάση τις τροποποιήσεις του χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού 2003 (ΝΕΑΚ 2003), η περιοχή έρευνας εντάσσεται εξ ολοκλήρου στη Ζώνη ΙΙ, εν αντιθέσει με τον παλαιότερο κανονισμό ο οποίος χώριζε την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας σε δύο (2) ζώνες. Στον **Πίνακα 4.5** που παρατίθεται στη συνέχεια του κειμένου συνοψίζονται και αποτυπώνονται οι μεγαλύτεροι σε ένταση σεισμοί οι οποίοι έχουν ποτέ καταγραφεί στην περιοχή μέχρι το 2017 και το επίκεντρο των οποίων είναι εντός ορίων του Νομού.

Κλείνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο των σεισμικών δραστηριοτήτων μιας περιοχής, με σκοπό την πληρέστερη εικόνα και κατ' επέκταση την πιο ολοκληρωμένη ανάλυση και ερμηνεία της σεισμικής επικινδυνότητας για την εκάστοτε περιοχή, πέραν των τεκτονικών στοιχείων της και των καταγεγραμμένων συμβάντων τα οποία αμφότερα θεωρούνται δεδομένα προς αξιοποίηση κάποιων πρώτων συμπερασμάτων, οφείλεται να λαμβάνεται υπόψη αφενός μεν η μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση αφετέρου δε, στοιχεία όπως η επικρατούσα περίοδος και η διάρκεια της εδαφικής κίνησης.

Ημερομηνία	Ώρα	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Εστιακό Βάθος	Μέγεθος Σεισμού	Επικεντρική Απόσταση
11/09/2017	16:20:15	39.15	21.53	8,0 km	4,9 R	23,2 km
14/05/2017	04:46:06	38.91	21.91	24,0 km	4,1 R	20,2 km
04/05/2016	08:40:45	38.90	21.75	20,0 km	4,0 R	10,7 km
04/10/2011	09:26:28	39.18	21.60	20,0 km	4,3 R	23,0 km
03/08/2010	07:40:04	38.87	21.40	22,0 km	4,1 R	29,0 km
04/12/2009	09:34:16	38.88	21.91	18,0 km	4,3 R	21,8 km
25/10/2008	14:36:24	38.78	21.91	20,0 km	4,1 R	29,5 km
11/12/2004	21:03:19	39.24	21.68	15,0 km	4,2 R	28,1 km
09/03/1997	11:36:32	38.84	21.55	5,0 km	4,0 R	20,9 km
09/04/1990	04:56:39	38.85	21.92	1,0 km	4,0 R	24,5 km
24/07/1984	14:50:33	38.83	21.83	11,0 km	4,3 R	20,9 km
18/04/1984	04:39:38	38.83	21.98	24,0 km	4,1 R	30,0 km
01/09/1978	22:46:14	39.10	21.50	33,0 km	4,3 R	21,2 km
27/04/1978	08:33:27	39.00	21.90	33,0 km	4,5 R	17,4 km
30/11/1970	09:48:59	39.10	21.90	10,0 km	4,3 R	21,4 km
18/08/1970	17:40:15	39.00	21.90	10,0 km	4,1 R	17,4 km
17/02/1970	04:51:03	39.10	21.40	10,0 km	4,1 R	28,7 km
16/05/1969	07:27:01	38.90	21.70	10,0 km	4,3 R	9,8 km
14/04/1969	05:11:40	38.80	21.90	10,0 km	4,0 R	27,2 km
10/12/1968	11:28:32	39.00	21.40	10,0 km	4,5 R	25,9 km
13/10/1967	19:28:45	38.90	21.60	10,0 km	4,0 R	13,0 km
08/09/1967	09:51:40	38.90	21.50	10,0 km	4,0 R	19,8 km
11/08/1966	04:34:12	38.80	21.70	10,0 km	4,2 R	20,9 km
24/07/1966	01:32:48	38.90	22.00	10,0 km	4,4 R	27,8 km
20/07/1966	10:16:02	39.00	21.50	10,0 km	4,1 R	17,2 km
15/07/1966	23:50:07	38.90	21.45	10,0 km	4,2 R	23,7 km
24/06/1966	22:34:24	38.70	21.60	10,0 km	4,4 R	33,2 km
11/06/1966	10:21:52	38.80	21.50	10,0 km	4,2 R	27,1 km
18/04/1966	09:59:15	39.00	21.50	10,0 km	4,3 R	17,2 km
13/03/1966	19:35:49	39.00	21.60	10,0 km	4,4 R	8,7 km
06/02/1966	13:24:32	39.20	21.50	10,0 km	4,0 R	29,2 km
05/02/1966	02:57:58	39.00	21.90	10,0 km	5,2 R	17,4 km
05/02/1966	02:11:02	39.20	21.50	10,0 km	4,7 R	29,2 km
05/02/1966	02:01:42	39.10	21.60	10,0 km	5,9 R	15,1 km

Πίνακας 4.5 Οι μεγαλύτεροι σε ένταση σεισμοί εντός ορίων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Γεωδυναμικό Ινστ.)

4.6. Χρήση – κάλυψη γης

Η χρήση – κάλυψη γης και κατά συνέπεια η συνολικότερη ανθρωπογενής παρέμβαση και επίδραση στη βλάστηση του εδάφους, σε συνδυασμό με άλλες φυσικές διεργασίες όπως επί παραδείγματι τις έντονες βροχοπτώσεις ή ακόμη και την σεισμική δραστηριότητα, συχνά επιδρούν ταυτόχρονα ως παράγοντες εναύσματος προκαλώντας έτσι την ενεργοποίηση γεωλογικών διεργασιών οι οποίες τελικώς οδηγούν στην εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών. Η φυσιολογική εξέλιξη του εδάφους, η φυσική διάβρωση, η ρυθμική εξισορρόπηση των διάφορων μηχανισμών απογύμνωσης (λόγω απόπλυσης τους εδάφους) και τέλος η διαμόρφωση του μορφολογικού αναγλύφου, συνιστούν ενέργειες που επιτυγχάνονται μόνο σε συνθήκες κανονικής φυτοκάλυψης. Ως εκ τούτου, η εκτεταμένη και αλόγιστη πολλές φορές χρήση της γης, μόνο αρνητικό αντίκτυπο μπορεί να επιφέρει τόσο ως προς το περιβάλλον όσο και ως προς τον ίδιο τον άνθρωπο καθώς αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το φαινόμενο των κατολισθήσεων.

Η προαναφερθείσα φυσική ισορροπία του περιβάλλοντος έρχεται ουσιαστικά να ανατραπεί μέσω της ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση, καταστρέφοντας έτσι τις διάφορες μορφές φυτοκάλυψης, με αποτέλεσμα την επιταχυνόμενη απορροή των υδάτων και την ταχύτερη διάβρωση του εδάφους που με τη σειρά τους συμβάλλουν σε περαιτέρω απόσπαση και μεταφορά γαιομαζών προς τα κατάντη. Συνήθως την καταστροφή των πυκνόφυτων εκτάσεων και των δασών, οι οποίες συμβαίνουν ως επί το πλείστον είτε λόγω υπερβολικής βόσκησης είτε λόγω εκχέρσωσης και πυρκαγιών, δεν διαδέχεται ο φυσικός λειμώνας (ποώδης φυτοκοινωνία), αλλά τα γνωστά μονοετή χορτολίβαδα που προσφέρουν ανεπαρκή προστασία κατά της διάβρωσης. Ως αποτέλεσμα όλων των ανωτέρω διεργασιών, ιδιαιτέρως εύκολη καθίσταται η υπέρβαση της φάσης του παροξυσμού και η είσοδος στη φάση της απογύμνωσης.

Διαφοροποίηση στη βλάστηση είναι δυνατόν να υφίσταται ή να προκληθεί λόγω των περιβαλλοντικών αλλαγών, της εκτροφής των ζώων, των ασθενειών της χλωρίδας, αλλά κατά κύριο λόγο εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Παρεμβάσεις όπως η υλοτόμηση, οι πυρκαγιές και η αντικατάσταση των δασικών με χορτολιβαδικές εκτάσεις λογίζονται ως καταστρεπτικές, μη αναστρέψιμες ενέργειες. Έτσι, η σταθερότητα των πρανών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε αλλαγές όπως η κάλυψη της βλάστησης. Τέλος να σημειωθεί ότι η ύπαρξη βλάστησης που καλύπτει μία περιοχή θεωρείται ζωτικής σημασίας αποτελώντας μείζον παράγοντα που εμπλέκεται στην ευστάθεια πρανών (Montgomery et al. 2000).

Στη συνέχεια και αφού πρώτα συγκεντρώνονται όλα εκείνα τα απαραίτητα στοιχεία για περαιτέρω επεξεργασία, πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των επεξεργασμένων πλέον δεδομένων με σκοπό την αποτύπωση της συχνότητας κατανομής στα κατολισθητικά γεγονότα έχοντας βάση τον βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης της χλωρίδας (βλάστησης) που αφορά την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας. Έτσι, όπως αντανακλάται και στον **Πίνακα 4.6** ο οποίος παρατίθεται μετά το κείμενο, διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη συχνότητα γεωλογικών αστοχιών εντοπίζεται στα σημεία εκείνα που η ανθρωπογενής επίδραση στη βλάστηση έχει συμβάλλει με καθοριστικό τρόπο στην εκδήλωση του κατολισθητικού φαινομένου διαδραματίζοντας παράλληλα σημαντικό παράγοντα της εξέλιξης αυτού. Επισημαίνεται δε, ότι οι καταγραφές αντλούνται από παλαιότερες μελέτες και από τεχνικογεωλογικές εκθέσεις του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών και από πρωτογενείς καταγραφές.

Παράμετρος	Χαρακτηρισμός	Συμβάντα	Συχνότητα (%)
Βαθμός ανθρωπογενούς επίδρασης	Γυμνές περιοχές	33	26,40%
	Ποολίβαδα-Χορτολίβαδα	12	9,60%
	Καλλιεργήσιμες εκτάσεις	14	11,20%
	Ασθενής επίδραση	5	4,00%
	Μέτρια επίδραση	19	15,20%
	Έντονη επίδραση	42	33,60%

Πίνακας 4.6 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων βάσει ανθρωπογενούς επίδρασης (Πηγή: ΙΓΜΕ & Βιβλ.)

Ωστόσο, η παραπάνω στατιστική αποτύπωση σε καμία περίπτωση δεν αποδεικνύει το αντίθετο, ότι δηλαδή η ύπαρξη της βλάστησης δρα πάντοτε ως ανασταλτικός παράγοντας στην εμφάνιση αστοχιών. Αυτό άλλωστε συμπεραίνεται μιας και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις και μεταβολές, στις περισσότερες των περιπτώσεων συμβάλλουν στην "εξελικτική διαδικασία" του φαινομένου ως επιταχυνόμενο μέσο αυτής παρά ως η παράμετρος εκείνη η οποία αποτελεί εξ ολοκλήρου τον κύκλο μορφογένεσης που επιδρά μονομερώς σε μία εκ τοις πράγμασι αναπόφευκτη φυσική δράση, όπως αυτή της κατολίσθησης. Συνεπώς, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου υφίσταται η ύπαρξη βλάστησης, απλά καθυστερεί την εκδήλωση του φαινομένου παρέχοντας έτσι την προσωρινή ευκαιρία για τη λήψη πρόσθετων μέτρων προστασίας με σκοπό την επιμήκυνση του χρόνου για ένα συμβάν αναμενόμενο και μη αναστρέψιμο.

4.7. Εδαφική διάβρωση

Το φαινόμενο της διάβρωσης ανεξαρτήτως της αιτίας (ή των αιτιών) που την προκάλεσε, συνιστά σε γενικές γραμμές παράγοντα ο οποίος χωρίς αμφισβήτηση αυξάνει την διατμητική τάση των πρανών. Συν τοις άλλοις, ο βαθμός της διάβρωσης αποτελεί πιθανότατα έναν από τους σημαντικότερους συντελεστές στους οποίους αποδίδεται η εκδήλωση μεγάλου αριθμού κατολισθήσεων τόσο δρώντας συνδυαστικά, όσο και ξεχωριστά. Τα συνηθέστερα είδη διάβρωσης είναι η επιφανειακή, η χειμάρρια, η υπόγεια και η παράκτια. Επιδεικτικότερες λογίζονται οι περιοχές που αποτελούνται από χαλαρούς εδαφικούς σχηματισμούς αφού οι βραχώδεις περιοχές είναι λιγότερο διαβρώσιμες από τις υπόλοιπες. Κατά τον Derruau σε εύκρατα κλίματα οι μισγάγγειες είναι η έδρα των γραμμικών διαβρώσεων ενώ οι κλιτείς υφίστανται επιφανειακή διάβρωση έχοντας ως καταστρεπτικό αποτέλεσμα την διάλυση του εδαφικού τους καλύμματος με φυσικό συνεπακόλουθο την απογύμνωση των κλιτύων από το έδαφος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διάβρωση εκφράζει σε μέγιστο βαθμό το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης δύο (2) βασικών φυσικών παραμέτρων. Αυτές είναι το επιφανειακό γεωλογικό υλικό της περιοχής και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με έμφαση στις βροχοπτώσεις. Επομένως, τα χαρακτηριστικά των εν λόγω παραμέτρων καθορίζουν την ένταση και την κατανομή του διαβρωτικού φαινομένου στο μορφολογικό ανάγλυφο. Διευκρινίζεται πως η διάβρωση του γήινου αναγλύφου λειτουργεί μέσω των πολύπλοκων μηχανισμών απόσπασης και μετακίνησης του εδαφικού υλικού (προϊόν των πρωτογενών αποσαθρωτικών μηχανισμών) που προκαλείται κυρίως από τη μηχανική και τη χημική επίδραση του νερού (κυρίως επιφανειακού αλλά και του υπογείου), καθώς και σε πολύ μικρότερο βαθμό από τη δράση του ανέμου και των παγετώνων. Επισημαίνεται δε ότι από τα αλληλεξαρτώμενα μορφογενετικά φαινόμενα αστάθειας η μεγαλύτερη ποσότητα γεωλογικού υλικού (κυρίως μάλιστα γόνιμου εδάφους) διακινείται σε μέση ετήσια βάση από το φαινόμενο της διάβρωσης. Πιο αναλυτικά, ο διαβρωτικός μηχανισμός διακρίνεται στις εξής διαδοχικές φάσεις, όπου περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως: Αρχικά πραγματοποιείται η απόσπαση του χαλαρού μηχανικά, αποσαθρωμένου υλικού, ενώ επέρχεται φθορά και κερματισμός του μετακινούμενου υλικού από την επικείμενη πρόσκρουση στην επιφάνεια. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της μετακίνησης, συντελείται αμοιβαία φθορά των δομικών λίθων του υλικού, ενώ τελικά γίνεται η μεταφορά του υλικού μέσω της διαβρώσεως όπου βέβαια αυτή υφίσταται.

Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα του διαβρωτικού φαινομένου, γίνονται εμφανή στις περιοχές εκείνες όπου υφίσταται προχωρημένο στάδιο της απομάκρυνσης του προστατευτικού εδαφικού καλύμματος (γνωστός και ως μανδύας αποσάθρωσης) ενώ η επιφάνεια διασχίζεται από μικρά ή και μεγαλύτερα αυλάκια, όπως επίσης και από χαραδρώσεις που αποκαλύπτουν σταδιακά το εσωτερικό υπόβαθρο. Έτσι, η σοβαρότητα των αρνητικών επιπτώσεων της διάβρωσης του εδάφους εξαρτάται αφενός από την ποσότητα του υλικού που αποσπάται και αφετέρου από την ικανότητα των διαβρωτικών μέσων να το μεταφέρουν. Σε ότι αφορά την διακύμανση της έντασης του φαινομένου για την περιοχή έρευνας, σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, αυτή συναρτάται της «επενέργειας» του κλιματικού παράγοντα.

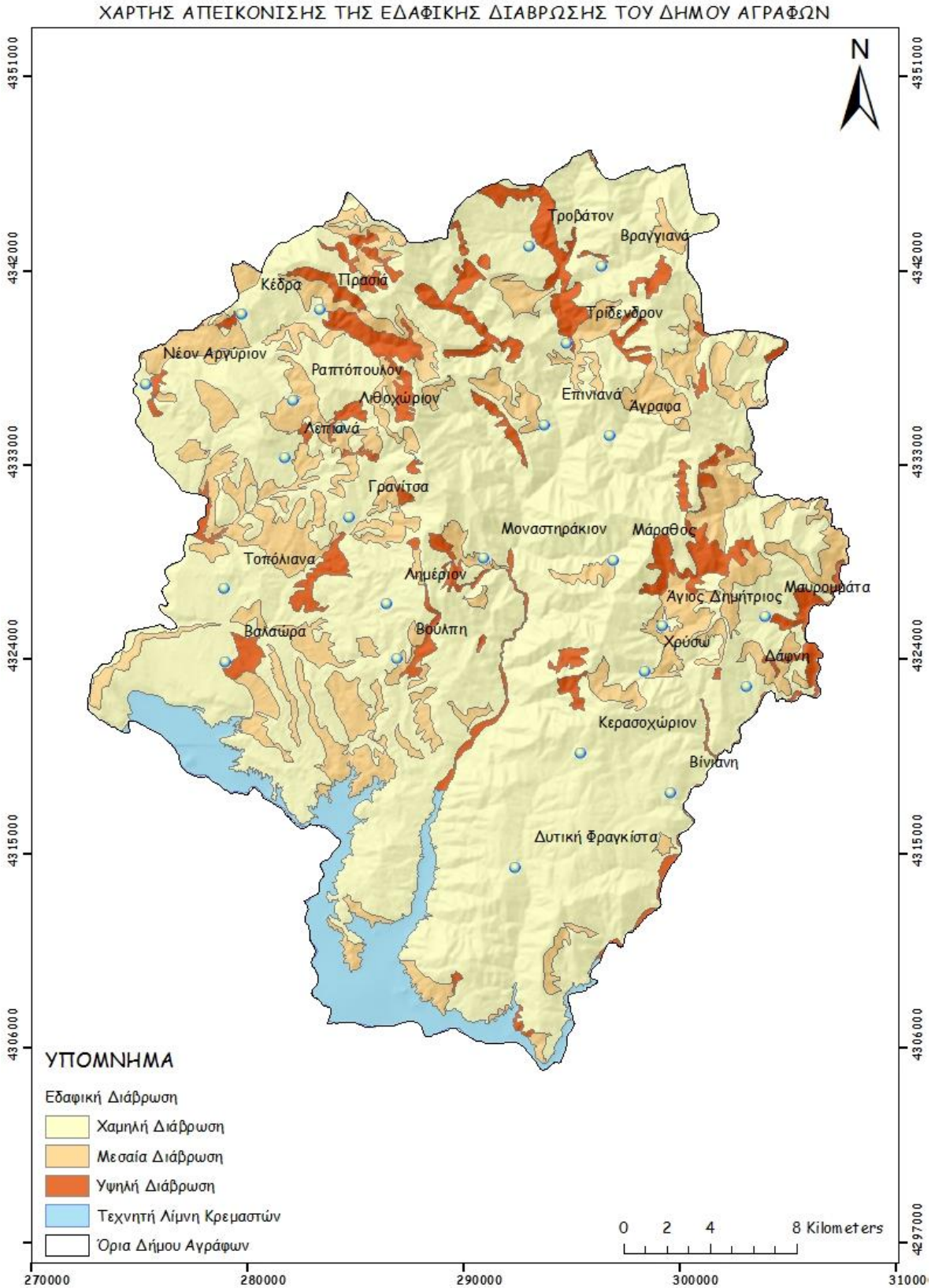
Κατηγοριοποιώντας τη διάβρωση σε δύο (2) κύριες κατηγορίες, γίνεται διάκριση αυτής σε κανονική ή φυσική, και σε ακανόνιστη ή αλλιώς επιταχυνόμενη διάβρωση (Οικονόμου & Νάκος, 1990). Αναφορικά με την κανονική διάβρωση αποτελεί μια συνεχή γεωλογική διεργασία που συμβαίνει υπό την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών όταν το έδαφος και η βλάστηση δεν έχουν διαταραχθεί από εξωγενή (ανθρωπογενή) παρέμβαση. Σε αυτή την περίπτωση, οι απώλειες του εδάφους είναι σχετικά μικρές της τάξης των 50 κιλών ανά έτος κι ως εκ τούτου το φαινόμενο από πρακτικής άποψης δε θεωρείται επιζήμιο. Σχετικά τώρα με την ακανόνιστη διάβρωση, αυτή εκδηλώνεται σε περιοχές όπου τόσο το έδαφος όσο και η βλάστηση έχουν υποστεί τις συνέπειες της ανθρωπογενούς επίδρασης, όπως είναι για παράδειγμα οι πυρκαγιές, οι εκχερσώσεις, οι επιχωματώσεις, η βοσκή, η αλόγιστη υλοτόμηση και οι καλλιέργειες. Εν συγκρίσει με την περίπτωση της κανονικής, η ακανόνιστη διάβρωση εξαπλώνεται με σαφώς ταχύτερο ρυθμό, ωστόσο παρατηρούνται διαφοροποιήσεις βάσει του κλίματος που επικρατεί.

Σημειώνεται ότι ο προαναφερόμενος τύπος της ακανόνιστης διάβρωσης, υποδιαιρείται σε περαιτέρω κατηγορίες και αυτές είναι οι ακόλουθες: α) επιφανειακή, β) αυλακωτή, γ) χαραδρωτική (Νάκος, 1991). Έτσι εν πρώτοις, ως επιφανειακή διάβρωση συνίσταται η περίπτωση κατά την οποία τα απορρέοντα ύδατα αποσπούν και συμπαρασύρουν βαθμιαία και με ομοιόμορφο τρόπο, λεπτά στρώματα εδάφους από όλη την έκταση μιας επιφάνειας, ενώ ποσοτικά η διάβρωση που επηρεάζει το έδαφος λογίζεται ως «μικρής κλίμακας» αφού το μέγεθος εξαρτάται κυρίως από την εδαφική σύσταση και τη δομή του καθώς επίσης κι από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Με την παρούσα κατηγορία διάβρωσης, δεν μεταβάλλεται η γενική διαμόρφωση της επιφάνειας και συνεπώς τα αποτελέσματά της δε γίνονται άμεσα αντιληπτά, με την εμφάνισή του να εντοπίζεται σε ευπαθείς σχηματισμούς (νεογενή, φλύσχης).

Στην επόμενη κατηγορία, ως αυλακωτή διάβρωση χαρακτηρίζεται εκείνη που δημιουργείται από τα ρέοντα ύδατα σε πλήθος μικρών και σχετικά αβαθών αυλακιών (μέχρι ένα μέτρο), στην επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης, τα οποία ωστόσο δύναται να εξαλειφθούν με την άροση. Τέτοιου είδους αυλάκια είναι ως επί το πλείστον τριγωνικής διατομής με οξεία γωνία, ενώ η μορφή της εν λόγω κατηγορίας συνιστά συνήθως το αποτέλεσμα ενός πολύ έντονου και επιφανειακού χαρακτήρα του φαινομένου αποτελώντας παράλληλα (άτυπα) κανόνα μιας πρόδρομης κατάστασης της αντίστοιχης χαραδρωτικής διάβρωσης, όπου περιγράφεται ως η μορφή κατά την οποία δημιουργούνται μεγάλες και βαθιές χαράδρες (μεγαλύτερες του ενός μέτρου) κατά τη διεύθυνση ροής, οι οποίες δεν είναι δυνατό να εξαφανιστούν με την άροση. Πιο συγκεκριμένα, το βάθους τους κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 5 και των 15 μέτρων ενώ σπανιότερα φτάνει και σε βάθη έως τα 30 μέτρα. Η διατομή των χαραδρών είναι τριγωνικής μορφής με αμβλεία γωνία και ενίοτε σχηματίζονται μικτές διατομές τριγωνικού και υοειδούς σχήματος, ιδίως στους ευπαθείς ορυκτολογικά σχηματισμούς. Το είδος αυτής της διάβρωσης αποτελεί κατά κανόνα την πιο διαδεδομένη μορφή των χειμαρρικών ρευμάτων ενώ η δημιουργία της κατορθώνεται εκεί όπου το ανάγλυφο ευνοεί την συγκέντρωση κάποιας σημαντικής ποσότητας ομβρίων υδάτων ή και την κίνηση της βρόχινης ποσότητας με σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Στο **Σχήμα 4.10** παρατίθεται ο χάρτης εδαφικής διάβρωσης για την περιοχή του Δήμου Αγράφων.

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα, άξιο αναφοράς κρίνεται το γεγονός πως σε ότι αφορά την διάβρωση των κοιτών (η οποία άλλωστε περιγράφεται λεπτομερώς) συνιστώντας ουσιαστικά το αποτέλεσμα του συνεχή υποβιβασμού της στάθμης των επιφανειακών υδάτων καθώς ακόμη και της διεύρυνσης του πυθμένα των υδατορεμάτων, έχει ως επακόλουθη συνέπεια τη μεταβολή της εξωτερικής μορφής και της γενικότερης στατικής του ολισθαίνοντος χώρου τον οποίο περιβάλλει εξαιτίας των ακολούθων:

- Δυσμενείς μετατοπίσεις στα κέντρα βάρη των υπερκείμενων γεωμαζών (σχηματισμών), όπου συνήθως οφείλεται σε ανθρώπινες παρεμβάσεις και δη στις υποσκαφές στους πόδες πρανών.
- Αύξηση του ύψους και κατ' επέκταση του βάρους των γεωλογικών μαζών που τείνουν προς κατολίσθηση, λόγω του υποβιβασμού στα επίπεδα των πυθμένων στις κοίτες των ποταμών.
- Αύξηση των κλίσεων των πρανών, έτι περαιτέρω των φυσικών και "αναμενόμενων" κλίσεων.



Σχήμα 4.10 Χάρτης απεικόνισης της εδαφικής διάβρωσης του Δήμου Αγράφων

4.8. Μανδύας αποσάθρωσης

Πληθώρα φυσικών φαινομένων, όπως επί παραδείγματι η εξάτμιση από τις μεγάλες υδάτινες λεκάνες, η δημιουργία παγετώνων, οι άνεμοι και οι βροχοπτώσεις, έχουν σαν πηγή ενέργειας τον ήλιο. Τόσο η κίνηση των υδάτων της βροχής προς τα χαμηλότερα, όσο και η μετακίνηση βράχων προς τα κατάντη οφείλονται στη δύναμη της βαρύτητας. Επί της παρούσης υποενότητας εξετάζονται συνοπτικά όλοι εκείνοι οι παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στον "θρυμματισμό" και την "χαλάρωση" της συνοχής των πετρωμάτων. Έτσι με τον όρο αποσάθρωση νοείται το σύνολο των όποιων διεργασιών που συντελούν στην καταστροφή των πετρωμάτων εξαιτίας κυρίως της έκθεσής τους κοντά στην επιφάνεια της γης.

Η καταστροφή των πετρωμάτων γίνεται άλλοτε με επίδραση της φυσικής ή της μηχανικής ενέργειας κι άλλοτε με την επίδραση της χημικής ενέργειας. Συνεπώς, διακρίνονται δύο (2) κύριες κατηγορίες της αποσάθρωσης, η φυσική και η χημική, οι οποίες σε εξαιρετικά ελάχιστες περιπτώσεις συμβαίνουν χωριστά, προκαλώντας διαφορετικά αποτελέσματα στα πετρώματα που επιδρούν. Διευκρινίζεται ότι η επικράτηση της μίας ή της άλλης κατηγορίας οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ δύναται να ειπωθεί ότι η μηχανική αποσάθρωση «ανοίγει» τον δρόμο προς τη χημική.

Τα προϊόντα της αποσάθρωσης μπορούν να παραμείνουν στη θέση όπου δημιουργήθηκαν ή και να μετακινηθούν προς τα κατάντη με τη δράση της βαρύτητας ή αλλιώς μεταφερόμενα από κάποιο υγρό στοιχείο, όπως είναι το τρεχούμενο νερό, ο άνεμος και λοιπά. Στην περίπτωση που τα προϊόντα αυτά παραμείνουν στη θέση τους, τότε δημιουργείται ένας μανδύας ο οποίος καλύπτει το υγιές πέτρωμα.

Ο μανδύας αυτός ονομάζεται μανδύας αποσάθρωσης και τα υλικά του αποτελούν κατάλληλο υλικό για τη δημιουργία εδάφους. Στις περιπτώσεις όπου ο μανδύας αποσάθρωσης δεν έχει μεγάλο πάχος τότε είναι δυνατόν να εμφανίζονται στην επιφάνεια υγιή τμήματα του υποκείμενου πετρώματος. Αν κάποιο μέρος των αποσαθρωμένων υλικών μεταφερθούν προς τα κατάντη λόγω της βαρύτητας, τότε τα υλικά αυτά αποτίθενται στη βάση της κοιλάδας και ονομάζονται κολλούβια. Αν τα υλικά αυτά μεταφερθούν με κάποιο υγρό μέσο τότε καλούνται αλλούβια, ενώ στην περίπτωση όπου τα υλικά της αποσάθρωσης όχι μόνο μεταφερθούν αλλά ταυτόχρονα αποτεθούν μέσα σε ένα υγρό μέσο, τότε λέγονται ιζήματα. Σε κάθε περίπτωση, ο μανδύας αποσάθρωσης ευνοεί τις γεωλογικές αστοχίες και τις κατολισθήσεις.

Αναλυτικότερα, κατά τη φυσική αποσάθρωση διαταράσσονται τόσο η συνοχή όσο και οι μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών, ενώ αποτέλεσμα των αποσαθρωτικών διεργασιών αποτελεί η δημιουργία μανδύα αποσάθρωσης στον οποίο είναι δυνατή η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων μικρής κλίμακας και επιφανειακού χαρακτήρα. Η εμφάνιση των εν λόγω συμβάντων πιθανολογείται ακόμη και σε πρανή με μικρή σχετικά κλίση των οποίων η γεωλογική σύσταση και δομή μπορεί να εμφανίζει μια "μη κατολισθητική τάση" αποτελούμενη από συνεκτικά πετρώματα. Αυτό συμβαίνει διότι ο μανδύας αποσάθρωσης έχει υποβαθμισμένες τις τιμές των μηχανικών παραμέτρων του πρανούς συγκριτικά με εκείνες του μητρικού πετρώματος όπου προέρχεται, κάνοντάς το να συμπεριφέρεται σαν εντελώς διαφορετικός σχηματισμός εντός της υπάρχουσας λιθολογικής ενότητας όπου και ανήκει.

Επιπλέον, σημειώνεται ότι το πάχος του μανδύα αποσάθρωσης είναι συνιστάμενο αποτέλεσμα τριών (3) συντελεστών. Αυτοί οι συντελεστές είναι: α) η λιθολογία, β) η δράση των κλιματικών παραγόντων και γ) ο λόγος ανάμεσα στην επιφανειακή διάβρωση προς την αποσάθρωση. Έτσι, διαπιστώνεται ότι ένα μεγάλο ποσοστό των κατολισθήσεων εκδηλώνεται σε περιοχές με μεγάλο πάχος μανδύα ο οποίος είναι της τάξης του 1,50 έως 3,00 μέτρα και αυτό συμβαίνει καθώς το συγκεκριμένο εύρος είναι το πλέον σύνηθες για τους μανδύες που υφίστανται στην περιοχή του Δήμου Αγράφων. Αναφορικά τώρα με τη δυνατότητα χαλάρωσης των πετρωμάτων και την επικείμενη καταστροφή της δομής τους λόγω αποσαθρωτικών διεργασιών, στον **Πίνακα 4.7** που ακολουθεί αποδίδεται η κατανομή των τιμών που αφορούν τις υδρομετεωρολογικές παραμέτρους κάθε υψομετρικής βαθμίδας λαμβάνοντας παράλληλα μια πρώτη εικόνα της αναμενόμενης έντασης του φαινομένου της αποσάθρωσης (Κωτούλας, 1998).

Υψομετρικές βαθμίδες (m)	Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα	Ετήσιο εύρος θερμοκρασίας (°C)	Ετήσιος αριθμός ημερών με <10mm	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)
200 – 600 m	13,6 - 16,1 °C	29,0 - 30,0°C	23 – 30 ημέρες	761 - 1050 mm
600 – 1000 m	10,8 - 13,6 °C	30,0 - 30,7 °C	31 - 37 ημέρες	1050 - 1320 mm
1000 – 1500 m	7,5 - 10,8 °C	30,7 - 31,8 °C	38 - 46 ημέρες	1320 - 1680 mm
1500 – 2000 m	4,3 - 7,5 °C	31,8 - 33,0 °C	47 - 55 ημέρες	1680 - 2020 mm
> 2000 m	< 4,3 °C	> 33,0 °C	> 55 ημέρες	> 2020 mm

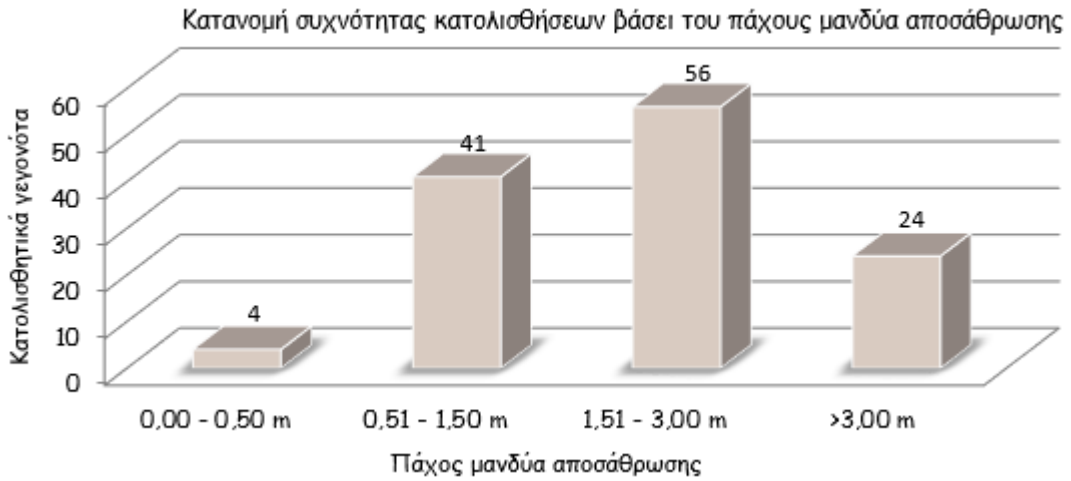
Πίνακας 4.7 Κατανομή τιμών των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων ανά υψόμετρο (Κωτούλας, 1998)

Συν τοις άλλοις, αξιοσημείωτος είναι ο ρόλος ο οποίος διαδραματίζει ο μανδύας αποσάθρωσης ως το φυσικό εμπόδιο εκείνο όπου διακινεί τα επιφανειακά ύδατα εσωτερικά της φλυσχικής βραχομάζας σε συνάρτηση με την επιφανειακή εξάπλωση της αργιλοπηλιτικής φάσης και από το υλικό της οποίας προέρχεται το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας του. Έτσι, η παρουσία του μανδύα αυτού μειώνει τον ρυθμό και την ένταση των αποσαθρωτικών μηχανισμών, επομένως επιβραδύνει τη συναρτώμενη με τους μηχανισμούς της μηχανικής υποβάθμισης (χαλάρωσης) του υποκείμενου φλυσχικού συστήματος.

Εντούτοις, το κύριο υλικό αργιλικής φύσης του αποσαθρωμένου μανδύα, σε συνδυασμό με τη δράση του εισερχόμενου βρόχινου νερού, ευνοεί την συχνά παρατηρούμενη εκδήλωση των επιφανειακών φαινομένων αστάθειας (κυρίως μάλιστα των περιστροφικών ολισθήσεων), όταν ο μανδύας αυτός είναι το επιφανειακό στρώμα έστω και μικρής κλίσης φλυσχικού πρανούς. Τέλος στον **Πίνακα 4.8** δίνονται τα ποσοστά κατολισθήσεων που εκδηλώνονται σε αποσαθρωμένα τμήματα για διάφορα υψομετρικά βάθη, ενώ στο **Σχήμα 4.11** αντανακλάται το αντίστοιχο ιστόγραμμα της ποσόστωσης των συχνοτήτων.

Παράμετρος	Υποδιαίρεση	Χαρακτηρισμός	Συμβάντα	Συχνότητα (%)
Πάχος Μανδύα Αποσάθρωσης	0,0 m - 0,5 m	Πολύ Μικρό	4	3,20%
	0,5 m - 1,5 m	Μικρό	41	32,80%
	1,5 m - 3,0 m	Μέτριο	56	44,80%
	>3,0 m	Μεγάλο	24	19,20%

Πίνακας 4.8 Συχνότητα κατολισθήσεων βάσει πάχους μανδύα αποσάθρωσης 1967 - 2017 (Πηγή: ΙΓΜΕ)



Σχήμα 4.11 Ιστόγραμμα καταγραφής συμβάντων συναρτήσει του πάχους μανδύα αποσάθρωσης

4.9. Κατολισθητικά χαρακτηριστικά Δήμου Αγράφων

Με την παρούσα ενότητα επιτυγχάνεται η ολοκλήρωση του κεφαλαίου κατά το οποίο διερευνώνται όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά στοιχεία της περιοχής μελέτης που σχετίζονται (άλλο λιγότερο και άλλο περισσότερο) με την εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών καθώς αυτά εμπλέκονται άμεσα ή έμμεσα με τον μηχανισμό των κατολισθήσεων. Τέτοια στοιχεία, όπως άλλωστε περιγράφονται στις παραπάνω ενότητες, μπορεί να είναι η γεωλογία της υπό εξέταση περιοχής με έμφαση στην λιθολογία και την υδροπερατότητα των πετρωμάτων, το μορφολογικό ανάγλυφο με ιδιαίτερη βαρύτητα στις κλίσεις των γεωλογικών σχηματισμών, τον προσανατολισμό των πρανών ή και το υψόμετρο τους, οι χρήσεις γης, η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής, είτε ακόμη και το υφιστάμενο υδρομετεωρολογικό καθεστώς με ξεχωριστή μνεία στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα κυρίως δε στις παρατεταμένες βροχοπτώσεις.

Έτσι, σε όλο το κεφάλαιο πραγματοποιείται η συνοπτική (πλην όμως περιεκτική) απόδοση του τρόπου σύνδεσης ανάμεσα στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του Δήμου Αγράφων και του φαινομένου των κατολισθήσεων, τη συχνότητα όπου αυτό παρουσιάζεται συνηθέστερα, τον τρόπο με τον οποίο εκδηλώνεται και τους παράγοντες οι οποίοι διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση αυτών.

Εν συντομία, η κατά το δυνατόν πληρέστερη προσέγγιση του κατολισθητικού ζητήματος, συνοψίζεται στις ακόλουθες αξιοσημείωτες παρατηρήσεις. Οι συνηθέστερες μορφές κατολίσθησης στα φλυσχικά πρανή είναι θραύσεις και αβαθείς ολισθήσεις στη ζώνη κερματισμού & αποσάθρωσης. Περιστροφικές στα αργιλομαργαϊκά υλικά και επίπεδες στρωματοειδείς στον ασβεστόλιθο. Ωστόσο, παρατηρείται το φαινόμενο καταπτώσεων και σφήνας σε σχηματισμούς όπως είναι ο σκληρός ψαμμίτης, οι ιλυόλιθοι καθώς επίσης και σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Τέλος, ροές και ρεύματα κάνουν την εμφάνισή τους σε αργιλοπηλιτικά κορήματα έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις όπως και σάρες σε κερματισμένες μάζες, ενώ κατά καιρούς έχουν σημειωθεί μεγάλου βαθμού θραύσεις, κυκλοειδείς ολισθήσεις αλλά και επίπεδες μεταθετικές που αφορούν την επαφή ψαμμιτικών και ιλυολιθικών πάγκων (Ζιούρκας, 1990).

Στη συνέχεια του κειμένου αποδίδονται τα στοιχεία εκείνα όπου έπειτα από τη συλλογή τους γίνεται επεξεργασία αυτών, με σκοπό την αποτύπωσή τους ως προς τον τύπο που αστοχούν (μετακινούνται). Επ' αυτού διευκρινίζεται ότι τα συλλεχθέντα δεδομένα συνίστανται από τη συγκομιδή στοιχείων του ΙΓΜΕ, καθώς και από τις προγενέστερες εργασίες του κ. Ζιούρκα (1989) και του κ. Παταργιά (1998).

Έτσι, σε μια προσπάθεια συγκεκριμενοποίησης του τύπου αστοχίας μετακινήσεων που λαμβάνει χώρα στην περιοχή μελέτης κατά την τελευταία εξηκονταετία (1967 - 2017), παρατηρείται ότι οι σύνθετες μετακινήσεις είναι ο τύπος μετακίνησης όπου εκδηλώνονται τα περισσότερα γεγονότα καταγράφοντας μάλιστα ποσοστό της τάξης του 30,40%. Πιο συγκεκριμένα, η πλειονότητα των συμβάντων υπό μορφή σύνθετης κατολίσθησης εμφανίζονται κυρίως με κατάπτωση και ολίσθηση, ενώ επιπροσθέτως υψηλά ποσοστά αστοχιών σημειώνει ο τύπος αστοχίας ερπυσμού ο οποίος κατά κύριο λόγο εκδηλώνεται σε μετακινήσεις επιφανειακών υλικών, με ποσοστό που ανέρχεται σε 24,80% επί των παρατηρούμενων κατολισθήσεων. Σημειώνεται ότι το αντίστοιχο ποσοστό ερπυσμού σε πανελλήνιο επίπεδο είναι ίσο με 24%, σύμφωνα με τα δεδομένα του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).

Οι τύποι μετακίνησης αναφέρονται συναρτήσει της φύσεως του μετακινούμενου υλικού όπου σύμφωνα με τους Zaruba & Mencl διακρίνονται σε τρεις (3) λιθολογικές ενότητες οι οποίες έχουν ως εξής: α) τεταρτογενή (επιφανειακές χαλαρές αποθέσεις), β) τριτογενή αργιλομαργαϊκά ιζήματα (νεογενή) και γ) βραχώδεις σχηματισμοί. Εν συνεχεία στον **Πίνακα 4.9** που ακολουθεί, αντανακλώνται οι τύποι των κατολισθητικών κινήσεων με τα αντίστοιχα καταγεγραμμένα συμβάντα και τα ανάλογα ποσοστά. Γίνεται σαφές ότι ο κατωτέρω πίνακας περιλαμβάνει όλο το φάσμα που αφορά τον τύπο υλικού δηλαδή τις μετακινήσεις χαλαρών τεταρτογενών αποθέσεων, τις αστοχίες αργιλομαργαϊκών ιζημάτων, όπως και τους βραχώδεις σχηματισμούς. Οι συχνότητες εμφάνισης του φαινομένου αντιστοιχούν σε 45,65% για τεταρτογενείς αποθέσεις˙ σε 41,20% για νεογενή & φλύσχη και σε 13,15% για τα βραχώδη εδάφη.

Παράμετρος	Τύπος μετακίνησης	Καταγεγραμμένα συμβάντα	Συχνότητα (%)
Τύπος Κατολισθητικής Κίνησης	Ροή εδάφους	10	8,00%
	Ερπυσμός	31	24,80%
	Ρεύματα εδάφους	3	2,40%
	Ρεύματα λάσπης	4	3,20%
	Ρεύματα κορημάτων	8	6,40%
	Σύνθετες	38	30,40%
	Περιστροφικές	8	6,40%
	Μεταθετικές	5	4,00%
	Σφηνοειδείς	4	3,20%
	Καταπτώσεις	14	11,20%

Πίνακας 4.9 Συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων βάσει τύπου μετακίνησης 1967 – 2017 (Πηγή: ΙΓΜΕ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΤΑΔΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

5.1. Επισκόπηση κεφαλαίου

Ένα βήμα πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας και αφού πρώτα επετεύχθη αφενός μεν η ανάλυση των εργαλείων που χρησιμοποιούνται, αφετέρου δε η διερεύνηση της περιοχής μελέτης ως προς τα στοιχεία εκείνα που συνδέονται με το φαινόμενο των κατολισθήσεων, στο παρόν κεφάλαιο όπως αυτό άλλωστε προϊδεάζει και ο τίτλος του, γίνεται περιγραφή της προεργασίας η οποία πραγματοποιείται στο πλαίσιο του σχεδιασμού εν όψει της επικείμενης χρήσης της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Πιο συγκεκριμένα κατορθώνεται η επιλογή των τελικών παραγόντων που καταληκτικά επιλέγονται για την παραγωγή του χάρτη κινδύνου έναντι κατολισθήσεων. Η επιλογή αυτή αποτελεί μία εκ των ων ουκ άνευ διαδικασία, η οποία μάλιστα ενέχει καθοριστικής σημασίας ρόλο στην επιτυχή εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και μάλιστα των επιρρεπών (προς γεωλογική αστοχία) θέσεων.

Επιπλέον, επί του παρόντος κεφαλαίου πραγματεύονται και αναδεικνύονται οι τρόποι εκείνοι κατά τους οποίους έπειτα από την απαραίτητη συγκομιδή των συλλεχθέντων δεδομένων, επακολουθούν οι μείζονος σπουδαιότητας διενέργειες, ήτοι η εισαγωγή, η μετατροπή και η μοντελοποίηση τους, ούτως ώστε η μετέπειτα περαιτέρω επεξεργασία να λειτουργήσει "ευεργετικά" στην ορθότερη εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου τόσο επί θεωρητικού υποβάθρου, όσο ενδεχομένως και επί του πρακτέου.

Έτσι αφού αρχικώς πραγματοποιηθεί μια επισκοπική παρουσίαση της χρησιμοποιούμενης μεθόδου, δηλαδή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, εν συνεχεία επιδιώκεται η ολοκληρωμένη "σκιαγράφηση" του τρόπου προετοιμασίας των στοιχείων και δεδομένων τα οποία αμφότερα μετατρέπονται σε πολύτιμες πληροφορίες. Ως εκ τούτου, διατυπώνονται βήμα προς βήμα όλες οι αναγκαίες διαδικασίες, έχοντας ως στόχο τη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου και την ολιστική προσέγγιση του φαινομένου. Ουσιαστικά, έπειτα από τις απαραίτητες στατιστικές επεξεργασίες και συσχετίσεις των μεταβλητών και των παραμέτρων που εμπλέκονται στον κατολισθητικό μηχανισμό, στοχεύετε η ζωνοποίηση των επιδεικτικότερων κατολισθητικών σημείων, όπως και η ορθότερη δυνατή ιεράρχηση των κλάσεων με καθορισμένα πρότυπα συνδυάζοντας τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

5.2. Μεθοδολογικό πλαίσιο

5.2.1. Διαδικασία λήψης αποφάσεων

Αναντίρρητα, η ορθότητα των αποφάσεων που λαμβάνονται από τους ανθρώπους σε κάθε επίπεδο και αφορούν πάσης φύσεως δραστηριότητες (ειδικότερα τις κοινωνικές και οικονομικές), εξαρτώνται εν πολλοίς από την παρουσία ή αντίστοιχα την απουσία κατάλληλου μεθοδολογικού πλαισίου, ιδίως μάλιστα όταν αυτές υποστηρίζονται από υπολογιστικά συστήματα. Το μοντέλο το οποίο προτάθηκε από τον Simon (1960), διακρίνει τη διαδικασία λήψης απόφασης σε τρεις (3) φάσεις εμπεριέχοντας τη φάση της υλοποίησης, και "φαίνεται" ότι ενδεχομένως αποτελεί την πιο γενικευμένη μορφή λήψης αποφάσεων αφού εμπεριέχει το σύνολο των επιμέρους προσεγγίσεων (Keenan, 2003). Συγκεκριμένα οι διαδικασίες που εμπλέκονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και αφορούν κάθε φάση στοχεύουν:

- Φάση διερεύνησης. Σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται εξονυχιστική διερεύνηση τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον και αναζητούνται καταστάσεις για τις οποίες δύναται να ληφθούν αποφάσεις. Έπειτα γίνεται συλλογή των δεδομένων, εφόσον βέβαια αυτά είναι διαθέσιμα και ελέγχονται ως προς την εγκυρότητά τους και την πηγή προέλευσής τους.
- Φάση σχεδιασμού. Επιτυγχάνεται μία σειρά διενεργειών όπου περιλαμβάνονται κατ' ελάχιστο η συστηματική θεώρηση του προβλήματος, η ανάπτυξη των μοντέλων για την υποστήριξη της τελικής απόφασης, ο καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης, όπως επίσης και τα εναλλακτικά σενάρια της ανάλυσης, για την περίπτωση που δεν αποδοθούν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.
- Φάση επιλογής. Στην παρούσα φάση και ανάλογα με τις αποδόσεις των εναλλακτικών σεναρίων του μοντέλου απόφασης, γίνεται η επιλογή εκείνη που θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις της ανάλυσης. Το σενάριο το οποίο προκρίνεται από τη διαδικασία του σχεδιασμού, υπόκειται σε ανάλυση ευαισθησίας ούτως ώστε να διερευνηθεί η σταθερότητά του στις όποιες μεταβολές.
- Φάση υλοποίησης. Αφορά στην εφαρμογή του εναλλακτικού σεναρίου που τελικώς επιλέγεται. Προσδιορίζεται η σκοπιμότητα για την εφαρμογή της πρότασης και επιχειρείται η διασφάλιση συναίνεσης, ιδιαίτερα όταν εμπλέκονται διάφορες επιστημονικές ομάδες με κάποια συνάφεια.

Τονίζεται ότι η υλοποίηση των φάσεων διαδικασίας λήψης απόφασης ακολουθεί αμφίδρομη διαδρομή.

5.2.2. Δομή των προβλημάτων απόφασης

Αναφορικά με τις αποφάσεις ως ενέργειες, αυτές πραγματοποιούνται από έναν ή και περισσότερους ανθρώπους με στόχο την επιλογή ενός τρόπου δράσης μέσα από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών. Ειδικότερα, οι αποφάσεις ονομάζονται "προγραμματιζόμενες" όταν οι τρεις (3) πρώτες φάσεις της διαδικασίας υποστήριξης είναι δομημένες. Αντιθέτως, στις "μη προγραμματιζόμενες" αποφάσεις είναι αδύνατο να διατυπωθεί πλήρως το πρόβλημα και ουσιαστικά υπάρχει αδυναμία ανάπτυξης μοντέλων για την επίλυσή τους (Αναγνωστόπουλος, 2000). Ωστόσο, επικρατέστερη είναι σήμερα ως προς την κατηγοριοποίηση των αποφάσεων η διάκριση των Keen and Morton (1978), σύμφωνα με τους οποίους οι αποφάσεις διακρίνονται σε τρεις (3) κατηγορίες, όπως αυτές άλλωστε αναφέρονται ως ακολούθως:

1. Δομημένες λέγονται οι αποφάσεις για τη λήψη των οποίων έχουν αναπτυχθεί σαφή μοντέλα επίλυσης και οι διαδικασίες των οποίων υποστηρίζονται πλήρως από ηλεκτρονικό υπολογιστή.
2. Ημιδομημένες καλούνται οι αποφάσεις που λαμβάνονται με τη συμμετοχή στη διαδικασία των ληπτών απόφασης και τη συνδρομή των υπολογιστικών συστημάτων για την υποστήριξη αυτή.
3. Αδόμητες ονομάζονται οι αποφάσεις οι οποίες για διάφορους λόγους (όχι όμως ανούσιους) λαμβάνονται αποκλειστικά από τους λήπτες απόφασης, ήτοι τους χρήστες των συστημάτων.

Η αλματώδης εξέλιξη στις τεχνολογίες, τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και λογισμικού, και η ώθηση που έδωσαν σε επιστημονικούς τομείς όπως η Επιχειρησιακή Έρευνα και οι επιστήμες της συμπεριφοράς, δημιούργησαν τις προϋποθέσεις διαμόρφωσης συγκροτημένων πλαισίων εργασίας για την υποστήριξη των αποφάσεων (Ματσατσίνης, 2000). Τα συστήματα αυτά, γνωστά ως Συστήματα Υποστήριξης των Αποφάσεων, αποτελούν διαδραστικά υπολογιστικά συστήματα που επιτρέπουν στους αποφασίζοντες να αξιοποιούν τα δεδομένα για την επίλυση ημιδομημένων προβλημάτων απόφασης (Turban, 1993). Εξαιτίας του πλήθους των εφαρμογών, των λογισμικών αλλά και λοιπών προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί, δεν έχει καταστεί δυνατό να διατυπωθεί ένας πλήρως αποδεκτός ορισμός των ΣΥΑ. Ως πλέον αποδεκτός ορισμός των εν λόγω συστημάτων είναι ο εξής: Τα ΣΥΑ συνδυάζουν τις νοητικές ικανότητες των ατόμων και τις ικανότητες των υπολογιστών με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των αποφάσεων. Στηρίζονται στους υπολογιστές και παρέχουν υποστήριξη στους λήπτες απόφασης όταν εκείνοι αντιμετωπίζουν θέματα στα ημιδομημένα προβλήματα απόφασης (Keen & Morton, 1978).

5.2.3. *Ο παράγοντας της πολυπλοκότητας*

Σε μια προσπάθεια ερμήνευσης και επεξήγησης της πολυκριτηριακής ανάλυσης, όντας ούτως ή άλλως μια «σύνθετη» διαδικασία, αφού πρώτα παρουσιάστηκαν τα βήματα που ακολουθούνται στη λήψη μιας απόφασης και κατόπιν αποδόθηκε η σύντομη παρουσίαση της δομής ενός προβλήματος, στην παρούσα υποενότητα αναφέρεται ο εμπεριεχόμενος, πάντοτε υπολογίσιμος, παράγοντας της πολυπλοκότητας. Ο εν λόγω παράγοντας υφίσταται σε κάθε πρόβλημα απόφασης και συνδέεται με τρεις (3) θεμελιώδεις παραμέτρους, οι οποίες μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις είναι αλληλένδετες και αυτές έχουν ως εξής:

i. Η παράμετρος της αβεβαιότητας η οποία μάλιστα εμπλέκεται στις περισσότερες διαδικασίες.
ii. Η ύπαρξη πολλαπλών κριτηρίων όπου συνήθως είτε διακριτοποιούνται είτε ομαδοποιούνται.
iii. Οι προτιμήσεις του ατόμου το οποίο λαμβάνει τις αποφάσεις καθώς είναι και ο τελικός κριτής.

Επιπλέον, μία ιδιαιτέρως κρίσιμη παράμετρος η οποία συμβάλλει στην αύξηση της πολυπλοκότητας κάθε απόφασης, είναι η ύπαρξη πολλαπλών εμπλεκόμενων φορέων, εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων που παράγονται μεταξύ τους σε επίπεδο αφενός των στόχων που θέτονται αφετέρου των επιδιώξεων.

Συνοψίζοντας ως προς την διαδικασία της απόφασης, δύναται να ειπωθεί ότι συνιστά το αποτέλεσμα της σύγκλισης μιας μεθοδευμένης ακολουθίας ενεργειών. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής διαδραματίζονται διάφορα γεγονότα, όπως είναι η συλλογή πληροφοριών που αφορούν στο πρόβλημα της απόφασης, η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, η σύγκρουση συμφερόντων ή ακόμη και η "διάσπαση" του όλου προβλήματος σε επιμέρους μικρότερα προβλήματα με σκοπό την διευκόλυνση επίλυσής του ακολουθώντας μια ορθολογική τακτική αντιμετώπισής του (Σίσκος, 2008).

Σχετικά με την έννοια του εμπλεκόμενου φορέα ή εταίρου, ορίζεται ως εκείνο το άτομο ή το συλλογικό όργανο το οποίο είτε άμεσα είτε έμμεσα επηρεάζει τη διαδικασία της απόφασης μέσω του συστήματος προτιμήσεων που υιοθετεί. Η επίδραση του εμπλεκόμενου φορέα στη διαδικασία της απόφασης μπορεί να είναι "πρώτου βαθμού" ως αποτέλεσμα των ενεργειών του ή "δεύτερου βαθμού" ως αποτέλεσμα της πίεσης που ενδεχομένως να ασκεί σε άλλους φορείς οι οποίοι εμπλέκονται (Banville et al., 1993). Έτσι, ως εμπλεκόμενοι φορείς σε μια διαδικασία απόφασης λογίζονται οι εξής: α) το άτομο που παίρνει τις αποφάσεις, β) ο αναλυτής των διαδικασιών, γ) ο ενδεχόμενος μεσολαβητής και δ) τα τρίτα μέρη.

Ειδικότερα, σε ότι αφορά το άτομο που λαμβάνει τις αποφάσεις, ορίζεται ως εκείνος ο εμπλεκόμενος φορέας του οποίου οι στόχοι, οι περιορισμοί, καθώς και το σύστημα προτιμήσεων, καθορίζουν ευθέως την εξέλιξη και τελική έκβαση της διαδικασίας απόφασης. Επισημαίνεται δε ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ο "αποφασίζων" συνιστά μια ακόμα πιο ασαφή οντότητα ή φορέα. Ακόμα όμως και όταν αυτός προσδιοριστεί είναι πολύ πιθανό να εκφράσει συγκεχυμένες και αντικρουόμενες προτιμήσεις οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά την διαδικασία υποστήριξης της απόφασης (Roy, 1996).

Από την άλλη μεριά, το έργο ενός αναλυτή είναι γενικά επιτελικό και συνίσταται στο να υποστηρίζει ανθρώπους στη λήψη αποφάσεων, χωρίς ωστόσο να υποκαθιστά το ρόλο του αποφασίζοντος. Για τον λόγο αυτό η δραστηριότητα ενός αναλυτή αναφέρεται ως «η υποστήριξη αποφάσεων» (Σίσκος, 2008). Συν τοις άλλοις η υποστήριξη των όποιων αποφάσεων συνιστά τη δραστηριότητα κάποιου, ο οποίος χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα (λιγότερο ή περισσότερο μορφοποιημένα) συμβάλλει στην εξαγωγή απαντήσεων σε ερωτήματα που θέτει ένας εμπλεκόμενος, κυρίως ο αποφασίζων, σε μια διαδικασία απόφασης. Τα εν λόγω ερωτήματα έχουν να κάνουν ως επί το πλείστον με την ποιότητα της απόφασης καθώς επίσης και με την τεκμηρίωση της υπεροχής της, έναντι των άλλων αποφάσεων (Roy, 1996).

Αναφορικά τώρα με τον μεσολαβητή, αυτός ενεργεί μεταξύ του αποφασίζοντος και του αναλυτή όπου σε ρόλο «εξουσιοδοτημένου συμβούλου» του αποφασίζοντος συμβάλλει για την αποτελεσματικότερη επικοινωνία ανάμεσα στα δύο (2) μέρη. Σε αρκετές περιπτώσεις, ο αποφασίζων δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τον αναλυτή και ο μεσολαβητής αναλαμβάνει να παρουσιάσει σε αυτόν τα χαρακτηριστικά του προβλήματος, λαμβάνοντας μέριμνα προκειμένου να εξασφαλιστούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα και πληροφορίες που θα απαιτηθούν επιβλέποντας παράλληλα συνολικά την διαδικασία υποστήριξης για λογαριασμό του αποφασίζοντος. Έτσι, ο ρόλος του μεσολαβητή είναι ιδιαίτερα κρίσιμος αφού είτε για τις περιπτώσεις που οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος δεν είναι επαρκώς συγκεκριμένες, είτε ακόμη σε περιπτώσεις που τα απαιτούμενα δεδομένα ως είσοδοι στη διαδικασία της απόφασης είναι ελλιπή ή ασαφή, θα πρέπει να συνεργήσει με τον αναλυτή προκειμένου να ξεπεραστεί κάθε δυσχέρεια.

Ως τρίτα μέρη σε μια διαδικασία απόφασης, αναφέρονται εκείνοι οι εμπλεκόμενοι φορείς οι οποίοι δεν συμμετέχουν με ενεργό ρόλο σε αυτή, αλλά των οποίων το σύστημα προτιμήσεων θα πρέπει σε κάποιο βαθμό να συνεκτιμηθεί μιας και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την τελική απόφαση (Sfez, 1973).

5.2.4. Πολυκριτηριακή ανάλυση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων αποτελεί έναν "εξελιγμένο χώρο" της επιστημονικής έρευνας ο οποίος κατά τις τελευταίες τρεις (3) δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποτέλεσε η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση των πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης. Κατά την προσπάθεια όμως εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων - παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο ορισμένες φορές "αποθαρρύνει" τους αποφασίζοντες και αναλυτές από την υιοθέτηση αυτής της πιο ρεαλιστικής προσέγγισης. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο της επικείμενης σύνθεσης όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

Έτσι ομολογουμένως, ο τρόπος αντιμετώπισης του προαναφερθέντος προβλήματος, συνιστά το κύριο αντικείμενο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Εντούτοις, η βασική σημαντική διαφορά της πολυκριτηριακής ανάλυσης από τις άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις, δεν είναι η απλή σύνθεση όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος, μιας και αυτή πραγματοποιείται και μέσω άλλων μεθοδολογικών προσεγγίσεων, αλλά η επίτευξη της αναγκαίας "σύνθεσης" υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης των αποφάσεων και του συστήματος προτιμήσεων & αξιών, το οποίο άλλωστε χρησιμοποιεί ο αποφασίζων. Το εν λόγω χαρακτηριστικό αποδίδει ιδιαίτερη σημασία στο χώρο της λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, όπως εύλογα γίνεται κατανοητό, το αποτέλεσμα της όποιας ανάλυσης πραγματοποιείται με σκοπό την αντιμετώπιση ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων, έχει τελικό αποδέκτη τον ίδιο τον αποφασίζοντα. Συνεπώς, η ανάπτυξη υποδειγμάτων λήψης αποφάσεων μέσω μεθοδολογικών προσεγγίσεων που δεν είναι σε θέση να ενσωματώσουν τον αποφασίζοντα και τις προτιμήσεις του στη διαδικασία ανάπτυξης των υποδειγμάτων αυτών, ουσιαστικά προσδίδουν στον αποφασίζοντα έναν "παθητικό ρόλο", ο οποίος περιορίζεται στην παρακολούθηση και εφαρμογή των αποτελεσμάτων από μαθηματικά υποδείγματα.

Ο κύριος στόχος δεν είναι να ανακαλύψουμε μία λύση, αλλά να δημιουργήσουμε ή να κατασκευάσουμε κάτι το οποίο να θεωρείται ικανό να βοηθήσει κάποιον ενδιαφερόμενο να λάβει μέρος στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων, αποφασίζοντας πάντα βάσει των τελικών επιδιωκόμενων στόχων (Roy, 1994).

5.2.5. Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process ή AHP) αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα εργαλεία λήψης αποφάσεων. Ως πρώτο βήμα της διαδικασίας λογίζεται η διαμόρφωση μίας ιεραρχίας που αντικατοπτρίζει το πρόβλημα σχετικά με το οποίο πρέπει να ληφθεί μία απόφαση. Το δεύτερο βήμα είναι ο σχηματισμός των πινάκων κατά ζεύγη συγκρίσεων ή αλλιώς πινάκων AHP, επί των οποίων αποτυπώνονται οι κρίσεις του αποφασίζοντα ανά ζεύγη των υπό εξέταση στοιχείων ενώ το επόμενο βήμα συνιστά τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων των στοιχείων του πίνακα AHP.

Συγκεκριμένα, από τη δεκαετία του '80 έχει παρατηρηθεί η ανάγκη για την ανάπτυξη μεθόδων λήψης αποφάσεων προκειμένου να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να έχει ληφθεί (από τον αποφασίζοντα) κάποια λανθασμένη απόφαση σύμφωνα πάντοτε κάθε φορά με τα δεδομένα αλλά και τις παραμέτρους που την επηρεάζουν. Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία λήψης αποφάσεων περιέχει τα κάτωθι βήματα:

1. Οργάνωση ενός προβλήματος σε μία ιεραρχία ή σε ένα σύστημα με βρόγχους εξάρτησης.
2. Απόσπαση κρίσεων οι οποίες αντικατοπτρίζουν ιδέες, αισθήματα ή και συναισθήματα.
3. Απεικόνιση των προαναφερθέντων κρίσεων με αριθμούς που δηλώνουν βαρύτητα.
4. Χρήση αυτών των αριθμών για τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων στα στοιχεία.
5. Σύνθεση των αποτελεσμάτων για τον καθορισμού ενός γενικού αρχικά συμπεράσματος.
6. Ανάλυση της ευαισθησίας εφόσον αυτό απαιτείται και ενδεχόμενες αλλαγές των κρίσεων.

Κατά συνέπεια το "κτίσιμο" της ιεραρχίας, όπως άλλωστε αναφέρεται και στην αρχή της παρούσας υποενότητας, συνιστά το πρώτο βήμα στη διαδικασία λήψης μίας απόφασης. Μια ιεραρχία είναι ένας ιδιαίτερος τύπος συστήματος που βασίζεται στην υπόθεση ότι οι οντότητες που έχουν αναγνωριστεί, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε « μη συνδετικά σύνολα», με τις οντότητες μίας ομάδας να επηρεάζουν τις οντότητες μίας μόνο άλλης ομάδας και να επηρεάζονται από μόνο μία άλλη ομάδα (Saaty, 1994).

Να επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι τα επόμενα βήματα της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας, τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά σε παραπάνω παράγραφο, αναλύονται έτι περαιτέρω στην επόμενη υποενότητα με τον αντίστοιχο τίτλο αυτής, ενώ στη συνέχεια γίνεται αναφορά των πλεονεκτημάτων. Τέλος περιγράφονται σε ξεχωριστή κάθε φορά ενότητα οι απαιτούμενες ακολουθούμενες διαδικασίες.

5.2.5.1. Βήματα ανάπτυξης μεθόδου

Ο Thomas Saaty (1980) χρησιμοποίησε τις ιεραρχίες προκειμένου να αναπτύξει τη μέθοδο λήψης αποφάσεων αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας AHP (Analytic Hierarchy Process). Η μέθοδος AHP συνιστά μία δομή επίλυσης προβλημάτων. Αποτελεί μία μεθοδική διαδικασία για την απεικόνιση των στοιχείων οποιουδήποτε προβλήματος και στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία βρίσκει εφαρμογή για την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας. Ουσιαστικά, οργανώνει τη λήψη μίας απόφασης διασπώντας ένα πρόβλημα σε μικρότερα συστατικά του στοιχεία και έπειτα πραγματοποιεί κατά ζεύγη συγκρίσεις έχοντας σκοπό την ανάπτυξη προτεραιοτήτων σε κάθε ιεραρχία (Saaty, 1986).

Το συνολικό πρόβλημα, το οποίο εν προκειμένω είναι ο κατολισθητικός κίνδυνος, τοποθετείται στην κορυφή της ιεραρχίας ενώ στη συνέχεια ορίζονται τα χαμηλότερα επίπεδα ιεραρχίας συνθέτοντας τις παραμέτρους εκείνες που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με το εν λόγω φαινόμενο. Τυπικά, το δεύτερο επίπεδο, δηλαδή αυτό της σύνθεσης των παραμέτρων, μπορεί να αποτελείται από τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν προκειμένου να περιγράφεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ο κίνδυνος έναντι κατολισθήσεων, ενώ φυσικά δύναται να υπάρξουν και άλλα επίπεδα για την περαιτέρω επεξεργασία του προβλήματος όντας στην ουσία βήμα της κρίσης ή της διακριτικής ευχέρειας του αποφασίζοντος.

Να σημειωθεί ειρήσθω εν παρόδω ότι μία ιεραρχία συνιστά ένα αξιόπιστο μοντέλο μιας πραγματικής κατάστασης και παράλληλα αντιπροσωπεύει μία ανάλυση ανάμεσα στα σημαντικότερα στοιχεία αυτής και των σχέσεων που αναπτύσσονται. Ειδικότερα, σε ότι έχει να κάνει με τις αρχές αναγνώρισης κατά την επίλυση των προβλημάτων αυτές είναι τρεις (3). Πιο αναλυτικά είναι η αρχή της αποσύνθεσης, η αρχή των συγκριτικών κρίσεων και η αρχή της σύνθεσης προτεραιοτήτων και έχουν ως ακολούθως:

- Η αρχή της αποσύνθεσης σχετίζεται με την «δόμηση» της ιεραρχίας προκειμένου να γίνει ο εντοπισμός των βασικών στοιχείων του προβλήματος. Τα επίπεδα που προέρχονται από μία αποσύνθεση συγκροτούν ένα σημαντικό μέρος μέτρησης και επομένως αυτά που συνδέονται δεν πρέπει να διαφέρουν παραπάνω από μία ποιοτική τάξη σημασίας. Γενικά το κάτω μέρος στην πυραμίδα μιας ιεραρχίας περιλαμβάνει τους πόρους που πρόκειται να κατανεμηθούν ή διαφορετικά τις εναλλακτικές από τις οποίες ενδεχομένως να χρειαστεί να γίνει επιλογή.

- Η αρχή των συγκριτικών κρίσεων η οποία αφορά στη δημιουργία ενός πίνακα προκειμένου να πραγματοποιηθούν ανά ζεύγη οι συγκρίσεις της σχετικής σημασίας μεταξύ των στοιχείων του δευτέρου επίπεδου συναρτήσει του γενικού στόχου του πρώτου επιπέδου. Επιπρόσθετα, πίνακες συγκρίσεως χρησιμοποιούνται προκειμένου να εξακριβωθούν τα στοιχεία του τρίτου επιπέδου σε συνάρτηση με τα αντίστοιχα στοιχεία του δεύτερου επιπέδου, και ούτω καθεξής καθώς κατεβαίνουμε στην ιεραρχία. Η είσοδος κάθε πίνακα ανήκει σε μία θεμελιώδη κλίμακα που χρησιμοποιείται στις συγκρίσεις και εφαρμόζονται έτσι ώστε να παραχθεί μια αναλογία.
- Η αρχή της σύνθεσης των προτεραιοτήτων έγκειται ουσιαστικά στην σύνθεση της αναλογίας που προαναφέρεται. Οι προτεραιότητες συντίθενται από το δεύτερο μέρος της ιεραρχίας και κάτω πολλαπλασιάζοντας τις τοπικές προτεραιότητες με την προτεραιότητα του αντίστοιχου τους κριτηρίου στο ανώτερο επίπεδο και προσθέτοντας τες για κάθε στοιχείο σε ένα επίπεδο σύμφωνα με τα κριτήρια που επηρεάζει. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται η συνολική προτεραιότητα αυτού του στοιχείου η οποία έπειτα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τοπικών προτεραιοτήτων των στοιχείων εκείνων στο επίπεδο που είναι κάτω (Saaty,1986).

Με την μέθοδο AHP οι προτεραιότητες αποδίδονται στα στοιχεία των διαφόρων επιπέδων της ιεραρχίας ως εξής: δεδομένων των στοιχείων ενός επιπέδου μίας ιεραρχίας, έστω του τέταρτου, και ενός στοιχείου, e, του επόμενου υψηλότερου επιπέδου γίνεται σύγκριση των στοιχείων του επιπέδου 4 ανά δύο σε ό,τι αφορά τη δύναμη της επίδρασής τους στο στοιχείο e. Τα αποτελέσματα που αντανακλούν τη σύγκριση εισάγονται σε έναν πίνακα και το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί το ιδιοδιάνυσμα με τη μεγαλύτερη ιδιοτιμή. Το ιδιοδιάνυσμα παρέχει την κατάταξη προτεραιότητας και η ιδιοτιμή συνιστά το μέτρο συνέπειας της κρίσης. Γενικά με τον όρο συνέπεια εννοούμε ότι όταν έχουμε ένα βασικό ποσοστό δεδομένων μιας σειράς του πίνακα, όλα τα υπόλοιπα δεδομένα μπορούν να συναχθούν λογικά από αυτό. Σε ότι αφορά τις συγκρίσεις ανά δύο στοιχείων ως προς το συσχετισμό n δραστηριοτήτων έτσι ώστε κάθε μία να αντιπροσωπεύεται στα δεδομένα τουλάχιστον μία φορά, χρειαζόμαστε n-1 συγκρίσεις. Δηλαδή ο αριθμός των συγκρίσεων δίνεται από τον τύπο που παρατίθεται: Αριθμός συγκρίσεων= 1/2*n*(n-1). Σε μαθηματικούς όρους, υπολογίζεται το πρωτεύον ιδιοδιάνυσμα, ήτοι το ιδιοδιάνυσμα που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ιδιοτιμή (πρωτεύουσα ιδιοτιμή) και όταν αυτό το διάνυσμα κανονικοποιείται, γίνεται το διάνυσμα των προτεραιοτήτων (Saaty,1996).

5.2.5.2. Πλεονεκτήματα χρήσης μεθόδου

Μετά την ανάπτυξη της μεθόδου και τα βήματα αυτής, εν συνεχεία στην παρούσα υποενότητα γίνεται περιγραφή και σύντομη ανάλυση των πλεονεκτημάτων των ιεραρχιών όπως αναφέρονται παρακάτω:

- Η ιεραρχική απεικόνιση ενός συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει πώς οι αλλαγές των προτεραιοτήτων στα ανώτερα επίπεδα επηρεάζουν την προτεραιότητα των στοιχείων στα χαμηλότερα επίπεδα, επιτυγχάνοντας έτσι κάποιες συγκριτικές θεωρήσεις.
- Επίσης, οι ιεραρχίες προσφέρουν λεπτομερή πληροφόρηση για τη δομή και τη λειτουργία ενός συστήματος στα χαμηλότερα επίπεδα και παρέχουν μία γενική επισκόπηση των δραστών και των σκοπών τους στα ανώτερα επίπεδα. Συνεπώς οι περιορισμοί στα στοιχεία ενός επιπέδου απεικονίζονται καλύτερα στο επόμενο επίπεδο προκειμένου να βεβαιωθεί ότι ικανοποιούνται.
- Συν τοις άλλοις, τα φυσικά συστήματα είναι συναρμολογημένα ιεραρχικά, γεγονός το οποίο συνεπάγεται πως οι ιεραρχίες είναι σταθερές και ευέλικτες. Σταθερές σχετικά με το γεγονός ότι μικρές αλλαγές έχουν αντίστοιχα μικρή επίδραση, και ευέλικτες σε ότι αφορά το γεγονός ότι προσθέσεις σε μια καλά δομημένη ιεραρχία δεν διαταράσσουν την απόδοση (Saaty, 1996).

Κάτωθι, παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η γενική δομή που οφείλει να τηρεί μια ιεραρχία (Saaty, 1996):

1. Εν πρώτοις, οι τελικοί στόχοι οφείλουν να αναγνωρίζονται στην κορυφή της ιεραρχίας.
2. Δευτερευόντως οι υπο-στόχοι τοποθετούνται αμέσως από κάτω και συσχετίζονται.
3. Ακολούθως εισάγονται οι δυνάμεις που περιορίζουν τους δράστες στο κάτω επίπεδο.
4. Στην συνέχεια ακολουθεί η τοποθέτηση που αφορά το επίπεδο των δραστών της ιεραρχίας.
5. Προτελευταίο στάδιο είναι αναμφίβολα το επίπεδο των στόχων των παραπάνω δραστών.
6. Ενώ ως τελευταίο επίπεδο, συνίστανται οι εκτιμήσεις των δυνητικών εκβάσεων - σεναρίων.

Έτσι, συμπερασματικά διαπιστώνεται ότι η πολυκριτηριακή ανάλυση και δη η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP), διευκολύνει την αναπαράσταση των πολυδιάστατων προβλημάτων όντας άλλωστε ιδιαίτερα ευέλικτη ενώ επιπλέον επιτρέπει τη διαφορετική επίδραση των παραγόντων στο τελικό αποτέλεσμα. Τέλος, ως μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου λογίζεται η απλοποίηση των διαδικασιών όταν κρίνεται αναγκαία η αξιολόγηση μη μετρήσιμων μεγεθών όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

5.3. Προσέγγιση κατολισθητικού κινδύνου

Προτού πραγματοποιηθεί επιλογή των παραγόντων που επιδρούν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά για την εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών, κρίνεται ως "αναγκαία προϋπόθεση" η προσέγγιση του κατολισθητικού κινδύνου σε ευρύ μεθοδολογικό πλαίσιο, αποσκοπώντας ουσιαστικά στην εμπέδωση του φαινομένου όπως και στην έκφανση των αλληλοεπιδρώντων συνιστωσών. Έτσι, ένα κατολισθητικό συμβάν καταγράφεται ως μια ιδιαιτερότητα του χώρου έχοντας δεδομένη την επερχόμενη γεωλογική αστοχία και κατ' επέκταση την υφιστάμενη αλλαγή στο καθεστώς ισορροπίας της περιοχής όπου αυτή εκδηλώνεται. Η διατάραξη της ισορροπίας πραγματοποιείται κάτω από την επίδραση των μεταβλητών οι οποίες διαμορφώνουν ένα σαφώς καθορισμένο πλαίσιο σταθεροποιητικών έως εκείνης της στιγμής συνθηκών, ενώ η γενικότερη προσέγγιση της ακολουθούμενης μεθοδολογίας που αφορά τον κίνδυνο ή την επιδεκτικότητα έναντι κατολισθήσεων, βασίζεται στη θεώρηση ότι οι πανομοιότυπες συνθήκες αποδίδουν πανομοιότυπα αποτελέσματα και επίσης ότι τα κατολισθητικά συμβάντα έχουν την τάση να επανεμφανίζονται σε ίδιες θέσεις (ή τουλάχιστον σε θέσεις με παρόμοια στοιχεία). Με βάση αυτές τις θεωρήσεις και την παραδοχή τους, αλλά και εξετάζοντας τα γεγονότα που έχουν ήδη καταγραφεί, η εκτίμηση ομοιότητας αποτελεί μια κρίσιμη διεργασία, η οποία ωστόσο επιτυγχάνεται με ορθό τρόπο.

Αναλυτικότερα, σχετικά με τη μεθοδολογική προσέγγιση του κατολισθητικού κινδύνου και συνεπώς με το μοντέλο εκτίμησης το οποίο αναπτύσσεται στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, ακολουθείται μια ιεραρχική διαδικασία του φαινομένου εν συνόλω, αφού ταξινομούνται σε κλάσεις οι παράμετροι οι οποίες δρουν στην εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών, ενώ αποδίδοντάς τους τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας επέρχεται η μέγιστη δυνατή πληρέστερη αξιολόγηση του κινδύνου. Ως πρώτο μέλημα ορίζεται η θεμελιώδης διεργασία του "εμπλουτισμού" της κατολισθητικής βάσης δεδομένων, μιας και το κατολισθητικό ιστορικό της υπό εξέτασης περιοχής περιέχει ασάφειες ή και ελλείψεις αναφορικά με τις αστοχίες που έλαβαν χώρα τόσο ως προς το γεωλογικό υλικό όσο και ως προς τον χαρακτηρισμό τους ως ευσταθείς ή ασταθείς περιοχές, καθώς και τον τύπο αστοχίας τους. Συνοπτικά η όλη διαδικασία της ακολουθούμενης μεθοδολογίας περιγράφεται εν συντομία σε τρία (3) στάδια. Στο πρώτο στάδιο κατορθώνεται η απαραίτητη επεξεργασία δεδομένων, στο δεύτερο στάδιο εκτελούνται οι στατιστικές & χωρικές αναλύσεις και στο τρίτο στάδιο δομείται το μοντέλο πρόβλεψης.

5.4. Επιλογή κατολισθητικών παραγόντων

Η επιλογή των παραγόντων που επηρεάζουν το φαινόμενο των κατολισθήσεων συνιστά ενδεχομένως το κρισιμότερο βήμα του μεθοδολογικού πλαισίου αφού από εκεί θα κριθεί ουσιαστικά το αποτέλεσμα της εκτίμησης του κινδύνου. Έτσι, η ενότητα αυτή αναπτύσσεται έχοντας απώτερο σκοπό την ολιστική διαμόρφωση και ταυτόχρονα την πιο άρτια συμπληρωμένη εικόνα του σχεδίου στο οποίο βασίζεται και διαμορφώνεται η μεθοδολογία που ακολουθείται. Έτσι, επί της παρούσης πραγματοποιείται τόσο η επιλογή όσο και η ανάδειξη των παραγόντων που σχετίζονται με την εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών. Συγκεκριμένα, εξετάζονται όλες εκείνες οι ποιοτικές και ποσοτικές συνιστώσες οι οποίες καθίστανται υπεύθυνες για τον προσδιορισμό του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων και ενσωματώνονται στο μοντέλο εκτίμησης ώστε να επιτευχθεί πληρέστερη προσέγγιση στο ζήτημα των κατολισθήσεων.

Επιπλέον, με δεδομένο το γεγονός ότι η εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών συγκροτεί αποτέλεσμα της συνεπίδρασης περισσοτέρων του ενός παραγόντων που αρχικώς επηρεάζουν το πρανές και εν συνεχεία οδηγούν στην κατάλυση της ισορροπίας του επιφέροντας την θραύση και τη μετακίνησή του, τα αίτια αυτά δύναται να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες έχοντας ως κύριο στόχο την ορθή επιλογή τους μέσα από τη συγκεκριμενοποίηση τους. Η ευρεία ποικιλομορφία των μετακινήσεων αντανακλά την ετερογένεια που υφίσταται ανάμεσα στους παράγοντες που άλλος λιγότερο και άλλος περισσότερο διαταράσσουν την σταθερότητα των πρανών (Popescu, 1984). Συνεπώς, τα προαναφερθέντα αίτια έγκεινται σε: α) γεωλογικούς, β) γεωμορφολογικούς, γ) κλιματικούς και δ) ανθρωπογενείς παράγοντες.

Εντούτοις, ένας λογίζεται ο παράγοντας εκείνος που λειτουργεί καταλυτικά αποτελώντας το έναυσμα της μετακίνησης. Η λιθολογική σύσταση και η δομή των γεωλογικών σχηματισμών υπό τη συνέργεια των έντονων βροχοπτώσεων θεωρείται ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συμβάλλει καθοριστικά στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Η επιδεκτικότητα ορισμένων πετρωμάτων σε φαινόμενα αστάθειας, απόρροια της μειωμένης διατμητικής αντοχής, εξαρτάται συνήθως από την πρωταρχική δομή, είτε από τις αλλαγές που προκλήθηκαν εξαιτίας του μεγάλου ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Ενώ από δομικής πλευράς τα φαινόμενα αστάθειας εναπόκεινται ως επί το πλείστον στις στρώσεις, στην παρουσία ζωνών διάρρηξης, και στον προσανατολισμό των ασυνεχειών σε σχέση με το πρανές κυρίως όπου εναλλάσσονται ψαθυρά με συμπαγή και περατά με αδιαπέρατα πετρώματα.

Επιπρόσθετα αξίζει να σημειωθεί ότι ο έντονος και συνεχής διαποτισμός του γεωλογικού υποθέματος με νερό λόγω της αλλαγής στη στάθμη των υπογείων υδάτων από τις παρατεταμένες βροχοπτώσεις ή και από το λιώσιμο του χιονιού καθίσταται ως το πρωταρχικό αίτιο εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων, αφού αυτό συντελεί στη μείωση του συντελεστή τριβής και κατ' επέκταση της διατμητικής αντοχής. Έτσι, παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια των ετών με μεγάλο ύψος βροχής επιτείνεται η ένταση και η συχνότητα εμφάνισης του κατολισθητικού φαινομένου, "αντικατοπτρίζοντας" στην ουσία την ισχυρή συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ αυτών των φαινομένων και του ύψους, της έντασης και της διάρκειας των κατακρημνισμάτων σε συνδυασμό πάντα με το είδος του γεωλογικού υποθέματος.

Συν τοις άλλοις, μείζονος σπουδαιότητας ρόλο στην ευστάθεια των πρανών ενέχει τόσο το ύψος όσο και η κλίση των πρανών και των κλιτύων. Σύμφωνα με τον Κωτούλα (2001), οι κλιτύες με κλίση 2:3 διατηρούνται σταθερές. Οποιαδήποτε ενδεχόμενη αλλαγή στην κλίση ή και στο ύψος ενός πρανούς δύναται να προκληθεί είτε με έκπλυση του εδάφους είτε με αφαίρεση υλικών από τη βάση του πρανούς εξαιτίας διαβρωτικών φαινομένων είτε ακόμη και με τη δράση ηπειρογενετικών τεκτονικών κινήσεων επιφέροντας τελικά την μεταβολή στην ισορροπία των τάσεων του πετρώματος (Δημόπουλος, 2008).

Επίσης, στις περιοχές εκείνες όπου παρατηρείται μεταβολή της βλάστησης των πρανών, προκαλείται η ελάττωση της συνοχής τους, μιας και το ριζικό σύστημα της χλωρίδας στο σύνολό του συμβάλλει με καθοριστικό τρόπο στην εδαφική σταθερότητα και στην συγκράτηση των πετρωμάτων. Η μεταβολή της βλάστησης μπορεί να προκληθεί λόγω διαφόρων αιτιών, όπως επί παραδείγματι από πυρκαγιές ή εξαιτίας εκχερσώσεων των εδαφών. Αξίζει να διατυπωθεί ότι σε γενικές γραμμές η ύπαρξη πυκνής βλάστησης σε μια περιοχή λειτουργεί ως αποτρεπτικός παράγοντας έναντι κατολισθητικών κινήσεων.

Σύμφωνα με θεώρηση του Terzaghi (1950), σε κάθε ένα πρανές υπάρχουν δυνάμεις οι οποίες τείνουν να προωθήσουν την "προς τα κάτω κίνηση" και οι αντίθετες δυνάμεις που τείνουν να αντισταθούν στην δημιουργία της κίνησης αυτής. Ο ίδιος, διαχωρίζει τα αίτια σε «εξωτερικά» που οδηγούν στην αύξηση των διατμητικών τάσεων και αυτά είναι οι γεωμετρικές αλλαγές, η εκφόρτωση στον πόδα του πρανούς, η φόρτωση στην κορυφή του πρανούς, οι κραδασμοί, οι δονήσεις και οι αλλαγές στο υδατικό καθεστώς, και σε «εσωτερικά» αίτια τα οποία οδηγούν στην μείωση της διατμητικής αντοχής, όπως είναι για παράδειγμα η προοδευτική αστοχία, η αποσάθρωση, αλλά και η διάβρωση λόγω της διήθησης.

Παρόλα αυτά, ο Varnes (1978), τονίζει ότι υπάρχουν μια σειρά από εξωτερικά ή εσωτερικά αιτία που μπορούν να δρουν είτε μειώνοντας τη διατμητική αντοχή είτε αυξάνοντας τη διατμητική τάση. Έτσι, συμπεραίνεται ότι τα φαινόμενα των κατολισθήσεων είναι το συνιστάμενο αποτέλεσμα (απόρροια) της δράσης αμφότερων εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων (Varnes 1978, Costa and Baker 1981).

Ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου και αποτελεσματικού πλαισίου που αφορά την πρόληψη και την αντιμετώπιση των γεωλογικών αστοχιών λογίζεται ως επιτακτική ανάγκη για την ορθή αναγνώριση των αιτιών που τις προκαλούν και την κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας, η οποία προϋποθέτει την πολυδιάστατη γνώση των προκαταρκτικών παραγόντων και του εναύσματος κίνησης, όπως αυτοί άλλωστε περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2 - "Κινήσεις γεωλογικών μαζών". Η θεώρηση λοιπόν της εν λόγω διαδικασίας είναι δυνατό να συνοψιστεί στον καθορισμό των παραγόντων που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης και στη μείωση ή εξάλειψη της διατμητικής αντοχής (Κούκης, 2002).

Ως εκ τούτου, βάσει των ανωτέρω επισημάνσεων, οι παράγοντες εκείνοι που λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι οι εξής:

1. Η γεωλογία της υπό εξέταση περιοχής δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην ενότητα του φλύσχη.
2. Η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών και ιδίως τα πετρώματα μεγάλης υδροπερατότητας.
3. Η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο επισημαίνοντας τις θέσεις κοντά σε μεγάλα ρέματα.
4. Η μορφολογία της περιοχής και κυρίως οι υψομετρικές ζώνες που δείχνουν πιο επιρρεπείς.
5. Η απόσταση από τα τεκτονικά στοιχεία αφού διαπιστώνεται ότι οι σχηματισμοί επηρεάζονται.
6. Οι κλίσεις των πρανών και των στρωμάτων με βαρύτητα όπου υπάρχουν απότομες αλλαγές.
7. Οι χρήσεις γης καθώς και οι πάσης φύσεως ανθρώπινες δραστηριότητες που τις επηρεάζει.
8. Ο προσανατολισμός των πρανών επικεντρώνοντας και εστιάζοντας στα Βορειοδυτικά πρανή.
9. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με έμφαση στις μεγάλου όγκου ή παρατεταμένες βροχές.

Οι προαναφερθέντες παράγοντες αναλύονται έτι περαιτέρω στο κεφάλαιο όπου πραγματοποιείται η εφαρμογή της μεθοδολογίας, προσδιορίζοντας και επεξηγώντας σαφώς τους λόγους για τους οποίους επιλέγονται για την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου ενώ κατόπιν αυτών ακολουθεί η απόδοση των βαρών και η συσχέτιση ανά ζεύγη. Τέλος, σημειώνεται ότι το αρχείο κατολισθητικών γεγονότων επιτυγχάνεται έπειτα από αξιοποίηση των συλλεχθέντων στοιχείων του ΙΓΜΕ και άλλων εργασιών.

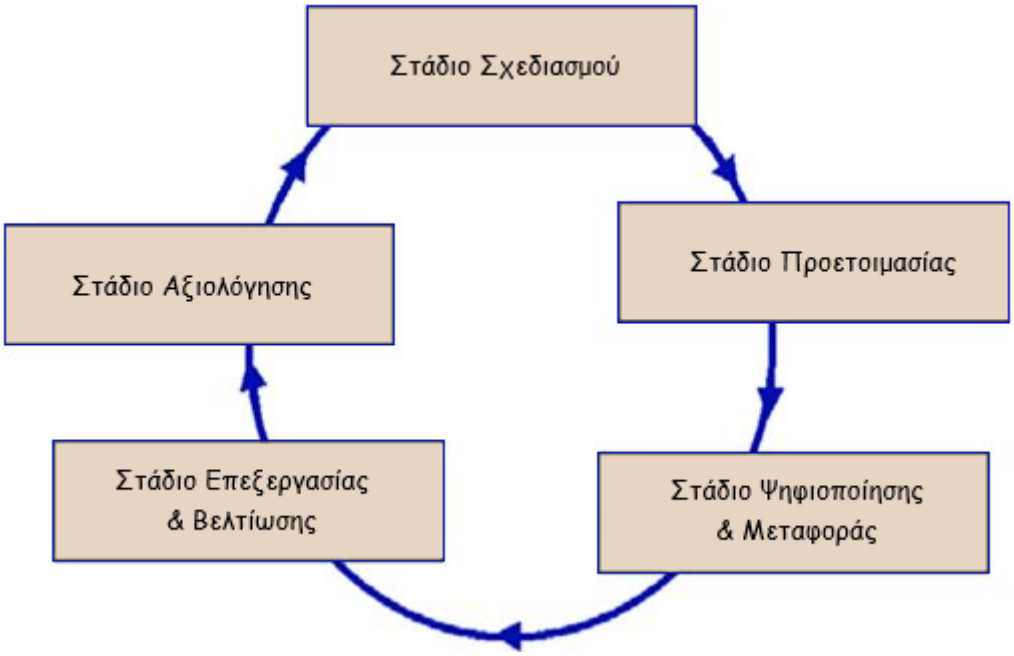
5.5. Θεματικά επίπεδα πληροφοριών

5.5.1. Προετοιμασία των δεδομένων

Το στάδιο της προεπεξεργασίας και διαχείρισης δεδομένων αποτελεί την αρχική φάση στη διαδικασία της εκτίμησης του κινδύνου ή της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθήσεων. Κάθε στάδιο επεξεργασίας ή διαμόρφωσης των στοιχείων τα οποία μετατρέπονται σε δεδομένα και εν συνεχεία σε πληροφορίες (μέσω των οποίων θα αποκτηθεί η πολυπόθητη γνώση), είναι βαρύνουσας σημασίας και ευλόγως απαιτείται να αποδίδεται η δέουσα προσοχή σε κάθε ένα από αυτά ούτως ώστε να αποφεύγονται τα τυχόν λάθη και οι κακοτοπιές ή οι παραλείψεις και οι παρερμηνείες που θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα και θα αναγκάσουν να γίνει εκ νέου επανάληψη της συνολικής διαδικασίας από την αρχή.

Σχετικά με τη διαδικασία της συλλογής δεδομένων αυτή περιλαμβάνει μία σειρά από διαδοχικά στάδια. Ο σχεδιασμός είναι το πρώτο και σημαντικότερο στάδιο αφού αφορά ζητήματα όπως ο προσδιορισμός των απαιτήσεων, η συγκέντρωση πόρων, καθώς επίσης και η ανάπτυξη ενός σχεδίου. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το στάδιο της προετοιμασίας, το οποίο σχετίζεται με τις εργασίες υποδομής όπως είναι η προετοιμασία του εξοπλισμού που θα "υποδεχτεί" τα δεδομένα, αλλά και η αντιμετώπιση των πηγών κακής ή αμφιβόλου ποιότητας. Επόμενο στάδιο είναι εκείνο της ψηφιοποίησης, όπου κατά τη διάρκειά του κατορθώνονται οι απαραίτητες μετατροπές των αναλογικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, ενώ ακολούθως επιτυγχάνεται η μεταφορά τους, που συνιστά αναμφίβολα την πιο χρονοβόρα διαδικασία.

Μεταγενέστερο στάδιο είναι αυτό της επεξεργασίας και της βελτίωσης των δεδομένων και τελικώς το στάδιο της αξιολόγησης επί του οποίου εντοπίζονται τα σημεία όπου η διαδικασία ήταν επιτυχής ή ανεπιτυχής, αφενός μεν σε ποιοτικό κι αφετέρου δε σε ποσοτικό επίπεδο. Στο **Σχήμα 5.1** που ακολουθεί στη συνέχεια του κειμένου παρακάτω, αποτυπώνεται η συνολική διαδικασία της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που εισάγονται σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών προκειμένου να γίνει ο προσδιορισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας για τον Δήμο Αγράφων. Τα στάδια επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων, όπως αυτά άλλωστε παρουσιάζονται κάτωθι, είναι άρρηκτα συνδεδεμένα, αφού τροποποιώντας ένα από αυτά επέρχεται και στα υπόλοιπα αλλαγή.



Σχήμα 5.1 Στάδια διαδικασίας για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων

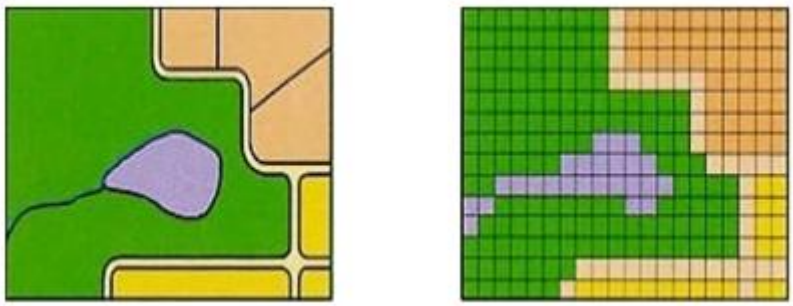
Αναφορικά με την έρευνα για το διαθέσιμο υλικό προς εισαγωγή των περιγραφικών δεδομένων στο περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), είναι δυνατό να συμπεριληφθεί μια πληθώρα από παλαιότερα αρχεία σε χάρτες, πίνακες και άλλου είδους υλικό σε πρωτογενή μορφή. Στην περίπτωση αυτή, οφείλεται πρωτίστως να γίνει ενδελεχής έλεγχος του υλικού που πρόκειται να καταχωρηθεί προϋποθέτοντας την ταξινόμηση και την προσαρμογή των στοιχείων. Το υλικό που τελικώς θα εισαχθεί οφείλει να βρίσκεται σε άριστη κατάσταση, αφού από τα δεδομένα αυτά εξαρτάται μεγάλο μέρος της τελικής εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου και η έκβαση των αποτελεσμάτων.

Έτσι, συναρτήσει των προαναφερθέντων ενεργειών, τα στοιχεία λαμβάνουν τέτοια μορφή ούτως ώστε να διευκολύνεται τόσο η "ταχεία" όσο και η "ορθή" εισαγωγή τους σύμφωνα με τη δομή των βάσεων. Καθώς λοιπόν ο βασικότερος στόχος κάνοντας χρήση των GIS είναι η μετατροπή των ακατέργαστων δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες, εύλογα θα πρέπει να υποστηρίζονται οι πιο κατάλληλες μορφές αναπαράστασης των γεωγραφικών δεδομένων, για όποια περαιτέρω επεξεργασία. Οι δύο (2) βασικοί τύποι μορφών είναι: α) η διανυσματική (vector) και β) η ψηφιδωτή μορφή ή μορφή κανάβου (raster). Στο **Σχήμα 5.2** το οποίο παρατίθεται στη συνέχεια του κειμένου, πραγματοποιείται μια αναπαράσταση των γεωγραφικών οντοτήτων με διανυσματική μορφή στα αριστερά και με ψηφιδωτή μορφή στα δεξιά.

Προσεγγίζοντας τα μοντέλα αναπαράστασης των χωρικών δεδομένων και σύμφωνα με την βασική αρχή του μοντέλου διανυσμάτων, ο πραγματικός κόσμος μπορεί να επιμεριστεί σε διακριτά γεωγραφικά αντικείμενα τα οποία ορίζονται με σαφήνεια έχοντας τη μορφή σημείων, γραμμών ή πολυγώνων, ενώ η χωρική διάσταση αυτών των αντικειμένων προσδιορίζεται με τη χρήση συντεταγμένων. Έτσι, κάθε σημείο της επιφάνειας της γης αντιστοιχεί μοναδικά με ένα ζεύγος ή και μία τριάδα αριθμών για ένα σύστημα συντεταγμένων, όπως είναι για παράδειγμα αυτές των "x, y, z" Καρτεσιανών συντεταγμένων. Οι τύποι αυτοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση γεωγραφικών οντοτήτων.

Ως εκ τούτου, ένα σημείο δύναται να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή ενός κτίσματος, μία γραμμή για την περιγραφή ενός δρόμου και ένα πολύγωνο για την αναπαράσταση μιας περιοχής. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά έτσι ώστε να δομηθούν σύνθετα χωρικά στοιχεία. Κάπου εδώ, αξίζει να σημειωθεί ότι η χωρική βάση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS), συχνά αποτελείται από διαφορετικά θεματικά επίπεδα πληροφοριών (layers) έχοντας διανυσματική ή ψηφιδωτή μορφή. Στην προκειμένη περίπτωση, η μοντελοποίηση των χωρικών δεδομένων βασίζεται σε μια οπτική η οποία αναλύει τον πραγματικό κόσμο σε αντικείμενα ή ακόμη και διακριτές οντότητες.

Σε ότι αφορά την αναπαράσταση των δεδομένων με το ψηφιδωτό μοντέλο, στηρίζεται στην εξέταση καθορισμένων περιοχών του πραγματικού κόσμου. Βάσει αυτής, ο χώρος διαιρείται σε διατεταγμένα δομικά στοιχεία τα οποία κατασκευάζουν πλέγματα. Τα εν λόγω δομικά στοιχεία καλούνται ψηφίδες ή κελιά (pixels or cells), έχοντας μορφή συνήθως τετράγωνη. Η θέση κάθε ψηφίδας καθορίζεται από τη στήλη και τη γραμμή στην οποία ανήκει, ενώ η έκταση την οποία «αντιπροσωπεύει» καθορίζει τη χωρική ανάλυση των δεδομένων. Η τοποθέτηση του στοιχείου καταγράφεται στην πλησιέστερη ψηφίδα.



Σχήμα 5.2 Αναπαράσταση διανυσματικού μοντέλου αριστερά και ψηφιδωτού δεξιά (Πηγή: Διαδίκτυο)

5.5.2. Δημιουργία βάσης δεδομένων

Η διαχείριση των περιγραφικών δεδομένων γίνεται με τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης βάσης δεδομένων (Database Management System). Στο στάδιο αυτό οι πληροφορίες ταξινομούνται και οργανώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η επανάκτησή τους, ή και ο συνδυασμός τους για την παραγωγή άλλων στοιχείων. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα διαχείρισης και επεξεργασίας τεράστιου όγκου αριθμού πληροφοριών η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Η χρήση μιας τέτοιας βάσης επιτρέπει την ανάκτηση και τη διατήρηση των πληροφοριών από κακή λειτουργία ή απότομη διακοπή λειτουργίας του σκληρού δίσκου ή από κακή λειτουργία του λογισμικού.

Επιπρόσθετα, η αποθήκευση γεωγραφικών πληροφοριών σε συστήματα διαχείρισης βάσης δεδομένων πλεονεκτεί έναντι της ενδεχόμενης αποθήκευσης σε αρχεία, τόσο εξαιτίας της μαζικής συγκέντρωσης των δεδομένων σε ένα σημείο (ελαττώνοντας με τον τρόπο αυτό την πιθανότητα επαναλήψεων), όσο και λόγω του κόστους συντήρησής τους, όντας μικρότερο ως "απόρροια" της οργανωμένης δομής τους.

Συν τοις άλλοις οι πολλαπλές εφαρμογές δύνανται να εξελίσσονται κάνοντας ταυτόχρονη χρήση των ίδιων δεδομένων. Έτσι, αφενός διευκολύνεται ο διαμοιρασμός των δεδομένων και αφετέρου δίνεται η δυνατότητα στη χρηστική γνώση να είναι "μεταφέρσιμη" μεταξύ εφαρμογών αφού η βάση δεδομένων παραμένει σταθερή. Συνέπεια των ανωτέρω αποτελεί ότι οι τυποποιημένοι κανόνες ασφαλείας και πρόσβασης στα δεδομένα μπορούν να εφαρμοστούν και να επιβληθούν, ενώ τα συστήματα διαχείρισης των βάσεων δεδομένων είναι πιο κατάλληλα για την εποπτεία των πολλαπλών σε αριθμό χρηστών οι οποίοι εργάζονται και διαχειρίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις μεγάλους όγκους πληροφοριών.

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ως βάση αποθήκευσης και οργάνωσης των δεδομένων, αναπτύσσεται ένα σχετικό γραφικό περιβάλλον διεπαφής του χρήστη (Graphical User Interface) όπου ως "βασικό" κεντρικό της σύστημα λογίζεται μια σχεσιακή βάση δεδομένων αλληλεπίδρασης. Η διεπαφή αυτή, πέραν του γεγονότος ότι χρησιμοποιείται για το σύνολο των διεργασιών της δημιουργίας και συντήρησης των βάσεων δεδομένων γενικά, συμβάλλει επίσης και στη διεργασία καθαρισμού & κανονικοποίησης των δεδομένων, όπως και στη δόμηση της πληροφορίας. Το εν λόγω εργαλείο ουσιαστικά διευκολύνει τη χρήση των εργαλείων που αξιοποιούνται μέσω GIS.

5.5.3. Κανονικοποίηση των δεδομένων

Μετά την επιτυχή διεκπεραίωση της δημιουργίας βάσεων δεδομένων ακολουθεί μία εξίσου σημαντική διεργασία αυτή της κανονικοποίησης και του «καθαρισμού» των δεδομένων. Προκειμένου λοιπόν ένας πίνακας να είναι αξιοποιήσιμος, θα πρέπει να περιλαμβάνονται σε αυτόν "τακτοποιημένα" δεδομένα, κάτι που ωστόσο δεν υφίσταται χωρίς τις απαραίτητες επεξεργασίες, ιδιαιτέρως μάλιστα όσον αφορά τα περιγραφικά δεδομένα. Ως επί το πλείστον, στα πρωτογενή δεδομένα περιλαμβάνονται σφάλματα, ασυνέχειες, ορθογραφικά λάθη, αναγραμματισμοί, σφάλματα στην υποδιαστολή, αλλά και γενικότερα δεν ακολουθείται μια συγκεκριμένη τυποποίηση καταγραφής, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι εφόσον τα προαναφερθέντα σφάλματα δεν τροποποιηθούν (διορθωθούν) επί της παρούσας φάσης, τότε αυτά θα μεταφέρονται καθ' όλη τη διαδικασία επεξεργασίας τους και κατ' επέκταση στη συνολική εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων, προκύπτοντας με τον τρόπο αυτό, μη αξιόπιστα αποτελέσματα. Για το συγκεκριμένο λόγο κρίνεται σκόπιμο κατά τη δημιουργία των πινάκων που θα ενταχθούν στο Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων, τα στοιχεία να υπόκεινται σε καθαρισμό και κανονικοποίηση.

Η κανονικοποίηση των δεδομένων αφορά τη διαδικασία εκείνη κατά την οποία τα δεδομένα ελέγχονται μεταξύ άλλων ως προς τη συστηματικότητα του τρόπου κωδικοποίησης των ονομάτων καθώς επίσης και των τιμών που περιλαμβάνουν την τήρηση μιας "ενιαίας τυποποίησης". Για παράδειγμα μία λεκτική κατηγοριοποίηση στις τιμές μίας στήλης σε ένα πίνακα αντικαθίσταται με αριθμούς που αντιστοιχούν στις γραμμές ενός δεύτερου πίνακα ο οποίος περιλαμβάνει τις κατηγορίες αυτές λεκτικά. Στο πλαίσιο της κανονικοποίησης των πινάκων που εφαρμόζονται για την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου, εκτελείται διάσπαση αυτών σε νέους και μικρότερους πίνακες, στους οποίους παρέχεται η δυνατότητα αφενός επίτευξης της σύνδεσής τους και αφετέρου της (εκ τοις πράγμασι) καλύτερης διαχείρισή τους.

Τέλος, ο καθαρισμός των δεδομένων είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας πίνακας ελέγχεται για την ύπαρξη προβλημάτων (όπως των ανωτέρω), ενώ ακολούθως γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις. Στην διεργασία αυτή, ο έλεγχος και η διόρθωση σε πίνακες πραγματοποιείται κυρίως χειρωνακτικά, ενώ όπου παρέχεται η δυνατότητα χρησιμοποιείται μαζικός έλεγχος με τη διατύπωση τυποποιημένων ερωτημάτων (queries) τα οποία απομονώνουν ζητήματα όπως οι κενές τιμές, ή το κόμμα αντί τελείας.

5.5.4. *Οργάνωση των γεωγραφικών στοιχείων*

Κατόπιν εισαγωγής των στοιχείων στη γεωγραφική βάση δεδομένων, βάσει σχήματος που καθορίζεται από το μοντέλο των γεωγραφικών πληροφοριών, είναι συχνά απαιτούμενο να εκτελεστούν ορισμένες εργασίες προκειμένου να υποστηρίζεται αποτελεσματικότερα η διεξαγωγή των όποιων ερωτημάτων, αναλύσεων ή και χαρτογραφικών αποδόσεων. Τις εργασίες αυτές συνιστούν η δόμηση και η οργάνωση της γεωγραφικής πληροφορίας, στο σύνολό της. Οι κυριότερες τεχνικές οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τις γεωβάσεις είναι πρωτίστως η κατασκευή των ευρετηρίων αλλά και η δημιουργία της τοπολογίας.

Σε ότι αφορά τα ευρετήρια, αποτελούν ένα τρόπο επιτάχυνσης της πρόσβασης στα περιεχόμενα μιας βάσης δεδομένων. Επί της ουσίας, ένα ευρετήριο βάσης δεδομένων είναι μία διατεταγμένη λίστα που προκύπτει μέσα από τα δεδομένα ενός πίνακα, η οποία λίστα επιτρέπει την αποφυγή της πλήρους σάρωσης των δεδομένων, έως ότου εντοπιστεί η συγκεκριμένη πληροφορία όπου και αναζητείται. Τα ευρετήρια σε ένα Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, όπως τα απλά μονοδιάστατα ευρετήρια στα οποία τα δεδομένα διατάσσονται σε σειρά και χωρίζονται σε ομάδες συγκεκριμένου εύρους, μέχρι τα πιο πολύπλοκα ευρετήρια (χωρικά ευρετήρια) όπου είναι για περιπτώσεις γεωγραφικών στοιχείων όπως τα ευρετήρια πλέγματος που ο χώρος διαιρείται σε κελιά.

Τώρα, η δημιουργία της τοπολογίας σε διανυσματικά δεδομένα εκτελείται είτε μαζικά είτε διαδραστικά. Ο πρώτος τρόπος συσχετίζεται με τη χρήση εργαλείων μαζικής επεξεργασίας και χρησιμοποιείται για το κτίσιμο τοπολογίας σε δεδομένα CAD, τοπογραφήσεις, απλές οντότητες ή και άλλα μη-δομημένα διανυσματικά δεδομένα προερχόμενα από μη-τοπολογικά συστήματα. Η δημιουργία της τοπολογίας είναι συνήθως μία επαναλαμβανόμενη διαδικασία με πολλά περάσματα, καθώς ένα μόνο πέρασμα δεν δύναται να επιλύσει όλων των ειδών τα ζητήματα, απαιτώντας χειρωνακτικές διορθώσεις. Συνεπώς, ο διαδραστικός τρόπος εκτελείται δυναμικά κατά τη διάρκεια εισαγωγής νέων οντοτήτων στη βάση δεδομένων με τη χρήση λογισμικού GIS. Για παράδειγμα, στη φάση δημιουργίας νέων διανυσματικών οντοτήτων μέσω ενός εργαλείου διανυσματοποίησης, κατορθώνεται έλεγχος για κάθε μία από αυτές τις οντότητες χωριστά ως προς τους τοπολογικούς κανόνες που ισχύουν για τη βάση δεδομένων και μόνο όταν διαπιστωθεί εγκυρότητα καταχωρείται, ειδάλλως ακολουθείται η διαδικασία τροποποίησης.

5.5.5. Μεταβολή των δεδομένων

Ως τελευταία διαδικασία με ιδιαίτερα σημαντική συμβολή πριν τη δημιουργία των θεματικών επιπέδων πληροφοριών, συνίσταται η διεργασία της μεταβολής των δεδομένων. Αφού λοιπόν ακολουθήθηκε με σύνεση ολόκληρη η απαιτούμενη διαδικασία, η οποία βέβαια περιγράφεται στις παραπάνω υποενότητες και αφού επετεύχθη η ψηφιοποίηση των χωρικών δεδομένων, πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός των μεταβλητών που εξετάζονται σε τέτοια μορφή έτσι ώστε να είναι δυνατή η χωρική ανάλυσή τους. Οι χωρικοί μετασχηματισμοί που περιγράφονται στην παρούσα παράγραφο, αφενός μεν επιτρέπουν την αναγωγή των τιμών από τις φυσικές ή μηχανικές ιδιότητες που προσδιορίζουν είτε ένα εδαφικό είτε ένα βραχώδες δείγμα (αναφερόμενοι στα δειγματοληπτικά σημεία & σε ιδιότητες επιφάνειας) και αφετέρου διευκολύνουν την εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης. Έτσι, ως τελικό προϊόν παράγεται ένα χαρτογραφικό προϊόν με τη μορφή "υποβάθρου". Συγκεκριμένα, γίνεται απόδοση των θεματικών επιπέδων πληροφοριών κάθε φορά στην αντίστοιχα επιθυμητή μορφή (διανυσματική ή πλεγματική) κάνοντας εφικτή την περαιτέρω χωρική ανάλυση (επεξεργασία) τους μεμονωμένα ή και συνδυαστικά.

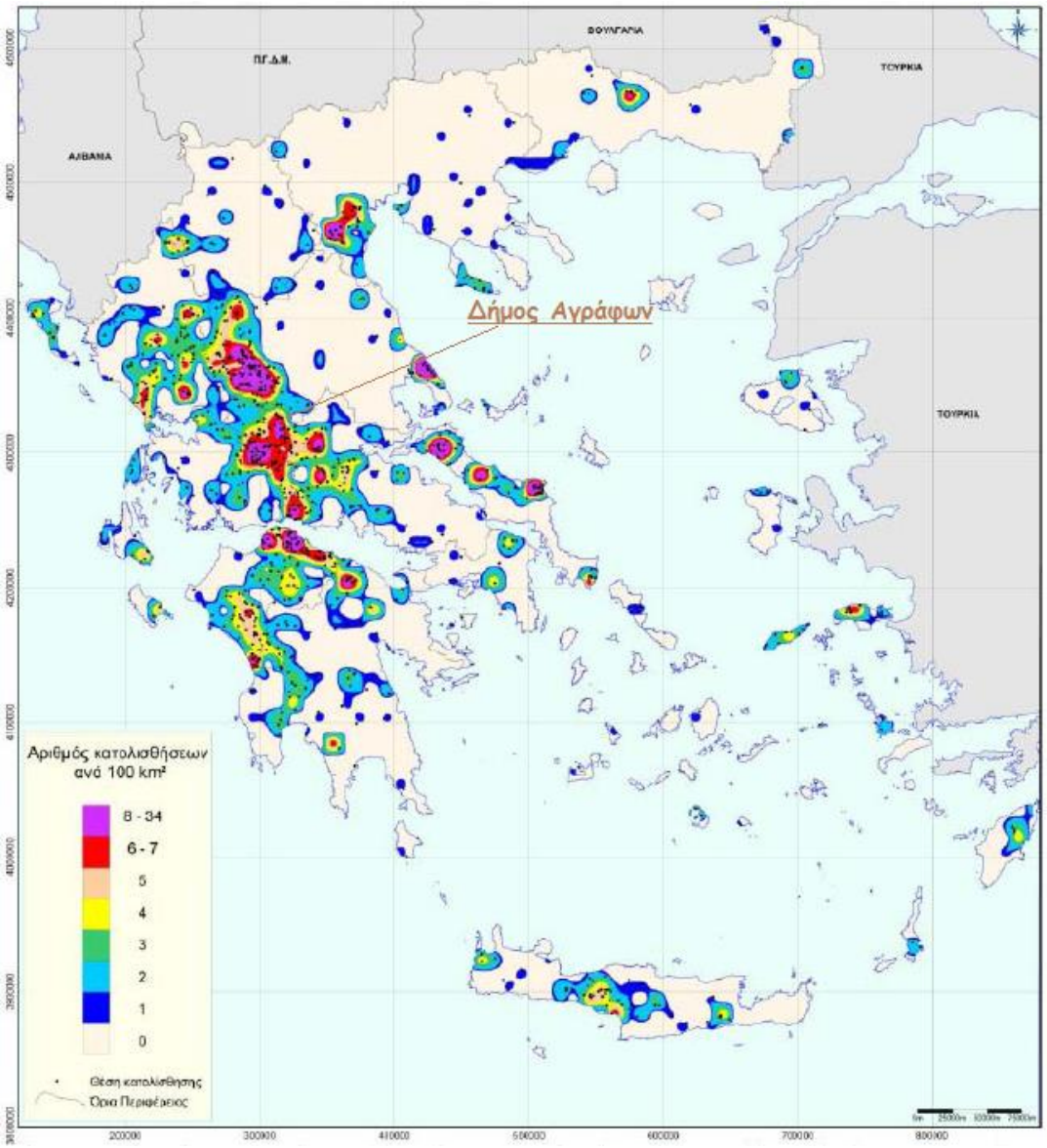
Οι συνηθέστεροι μετασχηματισμοί που βρίσκουν εφαρμογή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ο μετασχηματισμός σημείου σε πολυγωνική επιφάνεια, η μετατροπή σημείου ή γραμμής σε χάρτη πυκνότητας, ο μετασχηματισμός μιας επιφάνειας σε χάρτη πυκνότητας στιγμών και ο μετασχηματισμός ψηφιδωτής δομής σε διανυσματική μορφή ή και αντίστροφα. Στο πλαίσιο εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες ψηφιοποιήσεις μέσω χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) καθώς επίσης και χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) με σκοπό τη μετατροπή των δεδομένων σε διανυσματική μορφή και την εκτέλεση χωρικών αναλύσεων μέσω του προαναφερθέντος λογισμικού, παρέχοντας παράλληλα την δυνατότητα χρήσης των δεδομένων σε άλλα ευρείας χρήσης προγράμματα Χωρικών Συστημάτων Πληροφοριών. Το πρόγραμμα διαμορφώνει κάθε φορά και ανάλογα με τον τελικό αλγόριθμο τα διανύσματα εισόδου και τα αντίστοιχα εξόδου, σχηματίζοντας σε κάθε περίπτωση το αρχείο σε μορφή διανυσματική από αρχείο τύπου κειμένου ή και αντιστρόφως. Υλοποιείται μετατροπή των διανυσματικών δεδομένων σε μορφή ASCII. Η μορφή αυτή είναι η πιο κατάλληλη για τη διαχείριση δεδομένων αφού αφορούν τον αριθμό των στηλών & γραμμών του αρχείου και τις συντεταγμένες που ορίζουν τη χωρική διασπορά.

5.6. Στατιστική επεξεργασία

Μετά την ολοκλήρωση της φάσης του αρχικού σταδίου εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας και αφού ολοκληρωθεί με επιτυχία η προετοιμασία και η διαχείριση των συλλεχθέντων δεδομένων, εν συνεχεία ακολουθεί μια πρώτη στατιστική επεξεργασία (με τη μορφή αξιολόγησης) των έως τώρα αποτελεσμάτων. Να σημειωθεί ότι κρίνεται επιβεβλημένη η εκτίμηση των περιγραφικών στατιστικών μέτρων που χαρακτηρίζουν ποσοτικά την κατανομή των καταγεγραμμένων κατολισθητικών γεγονότων όπως επίσης και η πρόβλεψη των ενδεχόμενων συσχετίσεων ανάμεσα στις μεταβλητές και στις θέσεις που διαφαίνεται να είναι "κατολισθητικά επιρρεπείς" καθώς παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Ειδικότερα, έντονο είναι το ενδιαφέρον που παρουσιάζει τόσο ο χάρτης της κατανομής των θέσεων όπου εκδηλώνονται κατολισθήσεις στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο 1903 - 1998, όσο και η βάση κατολισθητικών δεδομένων όπου αφορά την ευρύτερη περιοχή έρευνας, δηλαδή το Νομό Ευρυτανίας. Έτσι στον μεν χάρτη όπως αυτός εμφανίζεται στο **Σχήμα 5.3** στη συνέχεια του κειμένου παρατηρείται η μεγάλη συχνότητα του φαινομένου στην υπό εξέταση περιοχή, ενώ αναφορικά με τη βάση δεδομένων των γεωλογικών αστοχιών στο **Σχήμα 5.4** η αυξητική τάση των περιστατικών της τελευταίας 15ετίας έγκειται στις κλιματολογικές συνθήκες οι οποίες έχουν αλλάξει άρδην με έντονα καιρικά φαινόμενα.

Εντούτοις, με δεδομένο το γεγονός ότι τα προαναφερθέντα συμπεράσματα αποτελούν απλώς και μόνο διαπιστώσεις, στην παρούσα φάση της στατιστικής ανάλυσης πραγματοποιείται η εκτέλεση των εξής συγκεκριμένων εργασιών. Έχοντας πάντα σαν στόχο την πληρέστερη κατανόηση του κατολισθητικού φαινομένου μέσα από στατιστικές συσχετίσεις των μεταβλητών - παραμέτρων που επιδρούν σε αυτό, επιτυγχάνεται η εκτίμηση των χαρακτηριστικών τιμών που δείχνουν το κέντρο των παρατηρήσεων, υπολογίζοντας έτσι τα κυριότερα μέτρα θέσης της στατιστικής. Επιπροσθέτως, εκτιμώνται τα μέτρα της διασποράς τα οποία καταδεικνύουν την κατανομή των τιμών των παρατηρήσεων σε σχέση με τις κεντρικές τιμές. Κοντολογίς, γίνεται υπολογισμός των ακόλουθων χαρακτηριστικών: α) του εύρους κατανομής, β) της διασποράς, γ) της τυπικής απόκλισης και τέλος δ) του συντελεστή μεταβλητότητας. Καταληκτικά αναφέρεται πως σε ότι σχετίζεται με τη στατιστική επεξεργασία και στο πλαίσιο χρήσης της πολυκριτηριακής ανάλυσης αναπτύσσεται η διαδικασία συσχέτισης μεταξύ δύο ή και περισσοτέρων μεταβλητών, εκτιμώντας έτσι τον "βαθμό αλληλεπίδρασης" των τιμών και την μεταξύ τους συνάφεια.



Σχήμα 5.3 Χάρτης κατανομής συχνότητας κατολισθήσεων Ελλαδικού χώρου (Βασιλειάδης, 2010)

Σχήμα 5.4 Αποτύπωση κατολισθητικών γεγονότων περιόδου 1917 - 2017 σε ιστόγραμμα (Πηγή: ΙΓΜΕ)

5.7. Χωρική ανάλυση

Με τον ορισμό χωρική ή γεωγραφική ανάλυση εννοείται κάθε εργασία η οποία επεμβαίνει στα χωρικά αντικείμενα προκειμένου να αποδοθούν νέες χαρτογραφικές ή περιγραφικές πληροφορίες. Συνεπώς μερικοί ερευνητές δεν περιλαμβάνουν στις χωρικές αναλύσεις τις επεμβάσεις εκείνες που αφορούν σε χωρικές πληροφορίες δίχως ταυτόχρονα να συμβαίνουν και χωρικές μεταβολές στα γεωγραφικά δεδομένα. Για παράδειγμα, τέτοιες χωρικές αναλύσεις είναι η διακριτοποίηση των κατηγοριών στα δεδομένα ενός χάρτη που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός καινούριου χάρτη, ή ακόμα και οι αριθμητικές πράξεις σε κάποιες από τις περιγραφικές ιδιότητες ενός χάρτη οι οποίες αποφέρουν την παραγωγή νέων πληροφοριών. Οι αναλύσεις αυτές λογίζονται ως "ζωτικής σημασίας", αφενός για την ολιστική προσέγγιση του κινδύνου και αφετέρου για τον συνολικότερο προσδιορισμό του φαινομένου. Αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) σε πληθώρα εφαρμογών της ευρύτερης γεωεπιστημονικής κοινότητας, έχει ως αποκλειστικό σκοπό τις χωρικές αναλύσεις για την παραγωγή νέων χαρτογραφικών ή περιγραφικών πληροφοριών.

Σχετικά με τις μεταβολές σε πίνακες της βάσης δεδομένων συνήθως παρουσιάζονται σε χάρτες που αποτελούν και τον αντικειμενικό σκοπό της ανάλυσης ή ενδιάμεσο στάδιο μίας πιο σύνθετης χωρικής επεξεργασίας. Η συνηθέστερη διαδικασία, η οποία μάλιστα απαιτείται να επαναληφθεί πολλές φορές για τις ανάγκες των εφαρμογών, είναι η προσθήκη ενός ή και περισσοτέρων πεδίων σε ένα πίνακα βάσης δεδομένων. Οι τιμές των εν λόγω πεδίων προέρχονται κατά κύριο λόγο είτε από αριθμητικές και στατιστικές πράξεις μεταξύ των υφισταμένων πεδίων, είτε από εξαγωγή νέων χαρτών οι οποίοι τροποποιήθηκαν με βάση τις εκάστοτε καθορισμένες συνθήκες, όπως επί παραδείγματι η αριθμητική αλλαγή των κλάσεων στον χάρτη μορφολογικών κλίσεων. Έτσι, με δεδομένο το γεγονός ότι οι χωρικές αναλύσεις δεν συνιστούν απλή διαδικασία ταξινόμησης, επιλέγεται ως "βασική στρατηγική" η διαίρεση του ζητήματος σε μικρότερα και πιο κατανοητά τμήματα, διασπώντας το πρόβλημα σε μικρές λύσεις και διευκολύνοντας τον χρήστη. Για τον λόγο αυτό διακρίνονται σε εκείνες τις αναλύσεις από όπου προκύπτουν μεταβολές σε πίνακες της βάσης δεδομένων και σε εκείνες μέσω των οποίων απορρέουν οι νέες χαρτογραφικές πληροφορίες. Οι προκείμενες χωρικές αναλύσεις διακρίνονται έτι περαιτέρω σε όσες αφορούν τους μεμονωμένους χάρτες, τα ζεύγη χαρτών και τα πολλά χαρτογραφικά επίπεδα.

Επιπροσθέτως, σε ότι αφορά τις χωρικές αναλύσεις που πραγματοποιούνται για την παραγωγή νέων χαρτογραφικών πληροφοριών, οι συνήθεις εφαρμογές αυτής της ομάδας συσχετίζονται με τη διάκριση κλάσεων, τάξεων ή και κατηγοριών των περιγραφικών πληροφοριών και την παραγωγή νέων χαρτών. Επισημαίνεται δε, ότι με τη διάκριση των τάξεων επιτυγχάνεται όχι μόνο οργάνωση των δεδομένων αλλά και η απλοποίηση των σύνθετων πληροφοριών. Η διαδικασία αυτή, στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) δύναται να λειτουργήσει τόσο με διάκριση χωρικών αντικειμένων σε κατηγορίες συναρτήσει μίας ή περισσοτέρων περιγραφικών πληροφοριών, όσο και με διάκριση της γεωγραφικής περιοχής σε κατηγορίες βάσει μιας ιδιότητας, όπως και με την κατηγοριοποίηση πληροφοριών με τιμές εκφραζόμενες από απόσταση, μέσα από τακτικές αριθμητικές ή αναλογίες (Βαλαδάκη - Πλέσσα, 2001).

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, εκτελούνται αμφότερες οι διεργασίες της χωρικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται διάκριση των κλάσεων σε χωρικά αντικείμενα τα οποία συνοδεύονται με πίνακες ταξινομημένων περιγραφικών πληροφοριών αποσκοπώντας στην επιτυχή απόδοση των χαρτών με την μέγιστη δυνατή πληροφορία. Επιπλέον, με ανάλογο τρόπο κατορθώνεται και η διαδικασία διακριτοποίησης της περιοχής έρευνας με βάση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων και γνωρισμάτων της, όπου περιλαμβάνονται γεωλογικά - γεωμορφολογικά στοιχεία, τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, κλιματικά - υδρομετεωρολογικά δεδομένα, καθώς επίσης το σεισμοτεκτονικό καθεστώς της ευρείας περιοχής αλλά και το ιστορικό των γεωλογικών αστοχιών. Ουσιαστικά, αναλύονται με ιεραρχικό τρόπο και βαθμονομούνται ταξινομημένα σε κλάσεις (ομάδες), όλοι εκείνοι οι παράγοντες οι οποίοι συνεπιδρούν, επηρεάζοντας την πρόκληση των κατολισθήσεων.

Εν κατακλείδι να σημειωθεί ότι στην εφαρμογή της μεθοδολογίας (στο επόμενο κεφάλαιο), οι κλάσεις καθορίζονται συνδυαστικά. Δηλαδή, το πλήθος των στοιχείων της κάθε κλάσης αποδίδει τη συχνότητα αυτής, ενώ οι πίνακες της συχνότητας είναι αυτοί που παρουσιάζουν το "εύρος" της εκάστοτε κλάσης. Η μέθοδος βάσει της οποίας διακρίνονται οι κατηγορίες εξαρτάται από το είδος των δεδομένων και από το ζητούμενο αποτέλεσμα. Ωστόσο, η τελική επιλογή των κλάσεων λαμβάνεται από την κρίση του ερευνητή και συγγραφέα της παρούσας εργασίας, ανάλογα με την κατανομή των τιμών και τον σκοπό της λαμβάνοντας όμως υπόψη τους συντελεστές και τις παραμέτρους από προγενέστερες μελέτες της περιοχής. Τέλος, δεδομένης της έμφασης που δίδεται στους υδρογεωλογικούς παράγοντες, η μέθοδος επαναλαμβάνεται χωρίς την συμμετοχή αυτών, επιδιώκοντας την αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων.

5.8. Επικαιροποίηση των στοιχείων

Τελευταίο στάδιο προτού την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης και του μοντέλου εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας, αποτελώντας ίσως το καθοριστικότερο σημείο στη συνολικότερη προσέγγιση και αποτίμηση αυτού του κινδύνου, βρίσκεται η τελική επιλογή των παραγόντων εκείνων (μεταβλητών) οι οποίοι θα εισέλθουν στο μοντέλο πρόβλεψης με απώτερο σκοπό τον κατά το δυνατό ορθότερο προσδιορισμό του κατολισθητικού φαινομένου και κατ' επέκταση των ασταθών περιοχών.

Με την παραδοχή ότι επιτυγχάνεται μια αρχική «προσέγγιση» για την ανάδειξη των παραγόντων που επιδρούν με καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών, η οποία πραγματοποιείται σε παραπάνω ενότητα του παρόντος κεφαλαίου και συγκεκριμένα στην 5.4 "Επιλογή κατολισθητικών παραγόντων", βασιζόμενη αφενός μεν σε αξιόπιστες δημοσιευμένες μελέτες, αφετέρου δε (όπως ήδη άλλωστε προαναφέρεται) στην κρίση του ερευνητή, η διεκπεραίωση της προκείμενης φάσης που δεν είναι άλλη από την επικαιροποίηση των μεταβλητών καθίσταται ελαφρώς "ηπιότερη". Έτσι, μετά από την εκτέλεση των απαραίτητων διεργασιών, όπου μέσα σε αυτές περιλαμβάνεται τόσο η διαδικασία της δημιουργίας των θεματικών επιπέδων πληροφοριών όσο και η χωρική ανάλυση (η οποία έπεται της στατιστικής ανάλυσης), απομένει πλέον η συγκεκριμενοποίηση - οριστικοποίηση των μεταβλητών.

Η διαδικασία της επιλογής των τελικών παραγόντων αξιώνεται έπειτα από τη διενέργεια πολλαπλών σεναρίων εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου, κάνοντας κάθε φορά συνδυασμούς με διαφορετικές παραμέτρους και αξιολογώντας παράλληλα τα αποτελέσματα με τις υφιστάμενες δεδομένες συνθήκες. Έτσι συνεκτιμώνται τα αποτελέσματα των θεματικών επιπέδων πληροφοριών, τα οποία έχουν ήδη αναπτυχθεί και συσχετίζονται τόσο με τα ευρισκόμενα στατιστικά μέτρα θέσης και διασποράς όσο και με τις προκύπτουσες χωρικές αναλύσεις. Επιπρόσθετα, έχοντας σαν υπόβαθρο την προγενέστερη γνώση και εμπειρία που αποκομίζεται μέσω προηγούμενων, διαθέσιμων μελετών αλλά και μέσω των επιτόπου ερευνών και καταγραφών που σημειώνονται καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, συμπληρώνεται ολοκληρωτικά η πολύπλοκη εικόνα των αστοχιών και μετακίνησης των γεωλογικών μαζών σε ένα ευρύτερο «κάδρο» το οποίο αφορά την εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων. Συναρτήσει των προαναφερθέντων και κατόπιν των απαραίτητων διενεργειών, αποφαίνεται ότι δεν εξαιρείται κανείς παράγοντας από τους αρχικώς επιλεγμένους και χρησιμοποιούνται όλοι κανονικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

6.1. Περιγραφή κεφαλαίου

Μετά από την επιτυχημένη ολοκλήρωση αφενός μεν της διερεύνησης στην υπό εξέταση περιοχή και δη των παραγόντων που εμπλέκονται στο κατολισθητικό φαινόμενο, αφετέρου δε των εργαλείων που χρησιμοποιούνται καθώς και του θεωρητικού μεθοδολογικού πλαισίου το οποίο μάλιστα αναπτύσσεται στο προηγούμενο κεφαλαίο, επί του παρόντος κεφαλαίου γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας κάνοντας χρήση πολυκριτηριακής μεθόδου με συντελεστές βάρους και της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας. Οι χάρτες που παράγονται από την κάθε τεχνική που χρησιμοποιείται «επιβεβαιώνεται» ως προς την ορθότητα του, αφού γίνεται υπέρθεση του με τον χάρτη στον οποίο απεικονίζονται τα καταγεγραμμένα κατολισθητικά γεγονότα της περιοχής, στοιχεία που λαμβάνονται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), καθώς επίσης και από παλαιότερες τεχνικές εκθέσεις και μελέτες. Επί αυτού δε, σημειώνεται ότι ο Νομός Ευρυτανίας γενικότερα, συνιστά μια περιοχή η οποία πλήττεται σε μεγάλο βαθμό από γεωλογικές αστοχίες και κατολισθητικά φαινόμενα, γεγονός που την καθιστά ως περιοχή ενδιαφέροντος για χρήση μεθόδων και τεχνικών που θα βοηθήσουν στην έγκυρη πρόληψη λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα στη σωστή χρονική στιγμή, αποφεύγοντας έτσι απώλειες και ζημιές.

Άρα, στο κεφάλαιο αυτό και στο πλαίσιο ανάπτυξης της μεθοδολογίας που ακολουθείται, επιχειρείται η βέλτιστη δυνατή απόδοση των παραγόντων που επιδρούν στις κατολισθητικές κινήσεις, με σκοπό την ανάδειξη των θέσεων που κρίνονται ως γεωλογικά ασταθείς, επιρρεπείς ή ακόμη και επιδεκτικές. Συνεπώς, αφού πρωτίστως επιτευχθούν οι απαραίτητες διεργασίες της συλλογής και αποθήκευσης των δεδομένων ούτως ώστε να διαμορφωθεί κατάλληλα η βάση επί της οποίας γίνονται οι αρμόζουσες αναλύσεις - επεξεργασίες, εν συνεχεία δημιουργούνται τα αντίστοιχα θεματικά επίπεδα πληροφοριών (layers), στα οποία θα αποδοθεί ο κατάλληλος συντελεστής βαρύτητας, ενώ παράλληλα θα γίνουν οι απαιτούμενες διασταυρώσεις ανά ζεύγη όπως άλλωστε προβλέπεται από την μέθοδος της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας. Κλείνοντας την αρχική εισαγωγική ενότητα να επισημανθεί ότι ως απόρροια της ορθής απόδοσης των ανωτέρω συνεπάγεται η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και των στοιχείων που προκύπτουν, καθώς κι οι παραγόμενοι χάρτες ανταποκρινόμενοι πιο κοντά στην πραγματικότητα.

6.2. Ακολουθούμενες διεργασίες

Αναφορικά με τις εργασίες που πραγματοποιούνται για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, αυτές όπως άλλωστε αναφέρεται και στο μεθοδολογικό πλαίσιο στο προηγούμενο κεφάλαιο, συνοψίζονται ως εξής: i) συλλογή, ii) αποθήκευση, iii) επεξεργασία, iv) ανάλυση των δεδομένων και v) δημιουργία του χάρτη έναντι κατολισθήσεων. Έτσι, τα εξαγόμενα συμπεράσματα συνιστούν αποτέλεσμα της αρτιότητας που ακολουθείται καθ' όλη τη διάρκεια της ανωτέρω διαδικασίας σε συνδυασμό πάντα με την επαλήθευση των στοιχείων που προκύπτουν από αξιόπιστες και έγκριτες μελέτες που έχουν εκπονηθεί κατά το παρελθόν, δεδομένα των οποίων χρησιμοποιούνται στη διαμόρφωση της βάσης δεδομένων καθώς επίσης και στα θεματικά επίπεδα πληροφοριών, τα οποία αναπτύσσονται στις παρακάτω ενότητες. Βασική πηγή πληροφόρησης και εμπλουτισμού της εν λόγω βάσης αποτέλεσε η λήψη γνώσης μέσα από πληροφορίες – καταγραφές οι οποίες αντλούνται από την βιβλιοθήκη του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) κυρίως από τεχνικογεωλογικές εκθέσεις και γεωτεχνικές έρευνες.

Επιπρόσθετα, ως αρωγός της προσπάθειας εμπλουτισμού της βάσης δεδομένων και κατ' επέκταση της συλλογής στοιχείων, λογίζεται η συμβολή της εργασίας "Ζωνοποίηση του βαθμού επικινδυνότητας από κατολισθητικά φαινόμενα στο Νομό Ευρυτανίας" των Παταργιά & Τσικούρα (2001) καθώς επίσης και η διδακτορική διατριβή του κ. Παταργιά με τίτλο: "Αποτίμηση βαθμού επικινδυνότητας εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων - Η περίπτωση του Νομού Ευρυτανίας" (1998). Συνυπολογίζοντας στα προαναφερθέντα τις υπαίθριες έρευνες και τις επιτόπιες καταγραφές, άμεσα συμπεραίνεται τόσο η πληρότητα των στοιχείων όσο και η εγκυρότητα των δεδομένων μέσω επικαιροποίησης των θέσεων αστοχίας. Συν τοις άλλοις, για τις εν λόγω περιοχές πραγματοποιείται αποτίμηση των υφισταμένων τεχνικογεωλογικών συνθηκών, όπως ακόμη και των "ιδιαίτερων" γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τους ενώ παράλληλα καταγράφονται νέες πιθανές θέσεις προς εκδήλωση κατολισθητικών συμβάντων.

Εν κατακλείδι, αφού πρωτίστως ολοκληρωθεί η συλλογή των στοιχείων, διαμορφώνεται η κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυσή τους μέχρι τη φάση της αποθήκευσης και την τελική απόδοση αυτών στις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων με την δέουσα σημασία, αφού ενδεχόμενο λάθος σε αυτό το σημείο θα «μεταφερθεί» έως τα τελικά αποτελέσματα. Εν συνεχεία περιγράφεται η διαδικασία της διαμόρφωσης βάσης δεδομένων καθώς και η ανάπτυξη των δημιουργηθέντων θεματικών επιπέδων πληροφοριών.

6.3. Δημιουργία υποβάθρων

Έπειτα από την επιτυχή διεκπεραίωση των διεργασιών οι οποίες αφορούν μια σειρά ενεργειών μεταξύ των οποίων αυτή της συλλογής κι αποθήκευσης των δεδομένων, και αφού σε αυτά πραγματοποιούνται οι κατάλληλες επεξεργασίες - τροποποιήσεις, ακολούθως σειρά έχει η διαμόρφωση βάσης δεδομένων και η δημιουργία των απαραίτητων θεματικών επιπέδων πληροφοριών συνιστώντας μία εκ των ων ουκ άνευ διαδικασία στην εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων και στην παραγωγή του χάρτη επιδεκτικότητας. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη φάση της συλλογής και προετοιμασίας των στοιχείων που αντλούνται, αυτά έχουν μορφή τυπωμένων χαρτών αποτελώντας γεωγραφικά διανυσματικά δεδομένα. Οι εν λόγω χάρτες αξιολογούνται ως προς το μέγεθος της χρησιμότητάς τους και για τις πληροφορίες που δύναται να εξάγουν ώστε τα στοιχεία αυτά να μετατραπούν σε πολύτιμη γνώση προς αξιοποίηση.

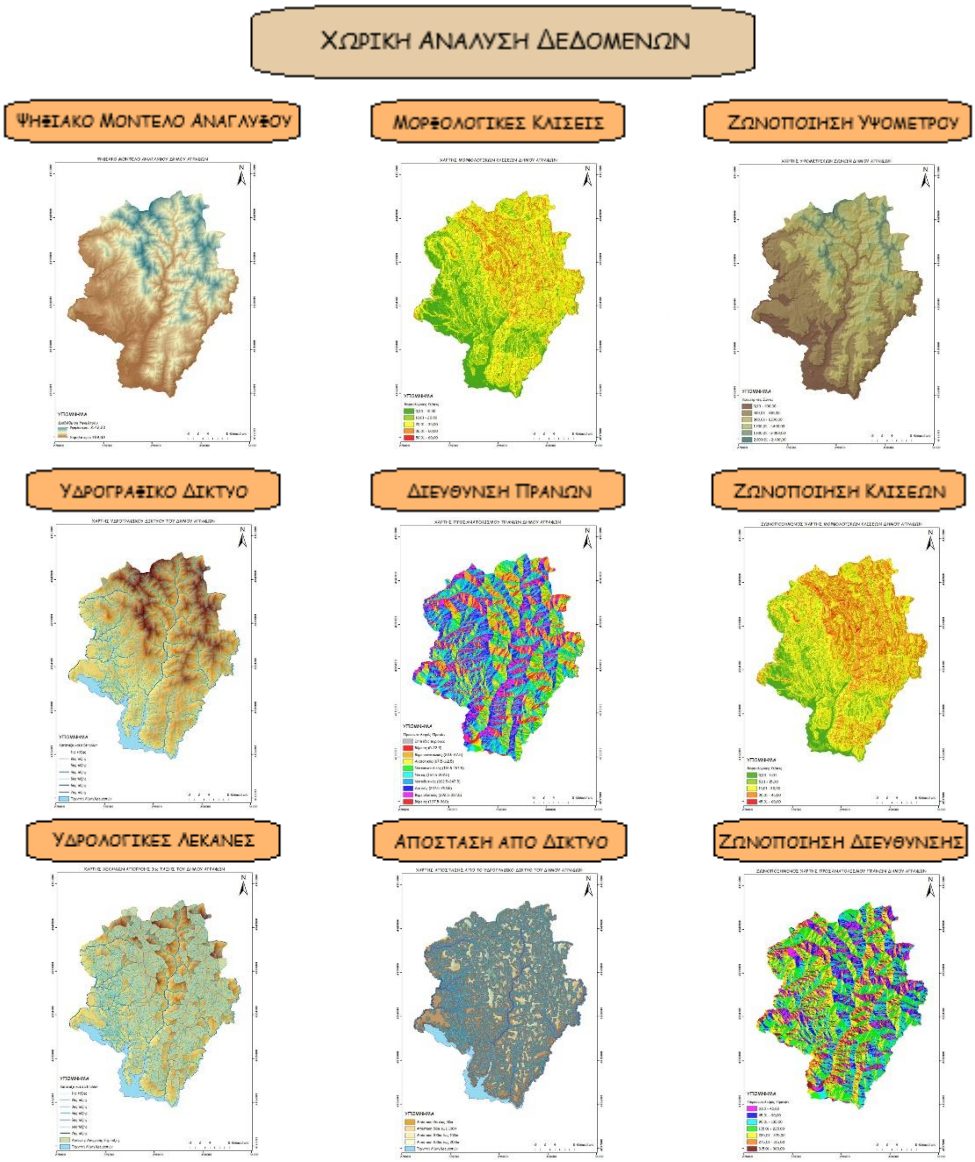
Αναλυτικότερα, οι χάρτες που χρησιμοποιούνται στη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, με απώτερο σκοπό αφενός στη λήψη δεδομένων και αφετέρου στην περαιτέρω ακριβέστερη διαμόρφωση των θεματικών επιπέδων πληροφοριών, είναι του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών, των χρήσεων γης, καθώς και των καταγεγραμμένων θέσεων όπου έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις. Από τους προαναφερόμενους χάρτες προκύπτουν τα παρακάτω θεματικά επίπεδα πληροφοριών, η δημιουργία των οποίων κρίνεται ως αναγκαίο στάδιο στη συνολική εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας του Δήμου Αγράφων. Έτσι, μέσω των αρχικών επιπέδων πληροφοριών διαμορφώνεται μια σειρά από επιπλέον επίπεδα, το σύνολο των οποίων καθίσταται ενδιάμεση λειτουργία με την οποία κατορθώνεται ορθότερη εκτίμηση του κινδύνου, ενώ ενδεικτικά αναφέρονται κάποια από τα βασικότερα θεματικά επίπεδα πληροφοριών.

a. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών υψομέτρου.
b. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών μορφολογίας (κλίσεων).
c. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών προσανατολισμού πρανών.
d. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών λιθολογικών σχηματισμών.
e. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών υδρογραφικού δικτύου.
f. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών λεκανών απορροής.
g. Θεματικό επίπεδο πληροφοριών τεκτονικών στοιχείων.

6.3.1. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων, καθώς επίσης και της στατιστικής επεξεργασίας αυτών, επιτυγχάνεται αρχικώς η δημιουργία ίσως του βασικότερου θεματικού επιπέδου πληροφοριών, αυτή του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου της περιοχής (digital elevation model - DEM). Στην παρούσα φάση πραγματοποιείται τόσο η μορφολογική όσο κι η υδρολογική ανάλυση της περιοχής που μελετάται, επιδιώκοντας έτσι ουσιαστικά τη δημιουργία νέων χαρτογραφικών προϊόντων τα οποία λογίζονται αναγκαία στην εκτίμηση μιας ορθότερης προσέγγισης του κινδύνου ή της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθητικών φαινομένων. Συγκεκριμένα, στο ευρύτερο φάσμα της μορφολογικής ανάλυσης του θεματικού επιπέδου αναγλύφου, αποδίδονται κάποιες περαιτέρω πληροφορίες όπου σχετίζονται με τις υψομετρικές διαβαθμισμένες ζώνες, τις μορφολογικές κλίσεις των πρανών, την διεύθυνσή τους δηλαδή τον προσανατολισμό τους και επίσης με την καμπυλότητα αυτών. Αντίστοιχα εξετάζοντας την υδρολογία του Δήμου Αγράφων, απορρέουν πληροφορίες που αφορούν το υδρογραφικό δίκτυο (με την αρίθμηση των κλάδων του δικτύου κατά Strahler), όπως ακόμη και στοιχεία των λεκανών απορροής (για λεκάνες από 3^{η} τάξη και πάνω) οι οποίες φυσικά προκύπτουν μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

Επιπρόσθετα, όπως είναι γνωστό και μεταξύ άλλων ήδη αναφέρεται, στον Δήμο Αγράφων εμφανίζεται εντονότατο υψομετρικό ανάγλυφο με απότομα πρανή. Συνέπεια τούτου, και προκειμένου να αποδοθεί η έντονη ανάγλυφη εικόνα της εξεταζόμενης περιοχής, για τις ανάγκες του αρχικού χαρτογραφικού προϊόντος (συγκεκριμένα για την κατηγοριοποίηση του θεματικού επιπέδου πληροφοριών υψομέτρου) πραγματοποιείται διαχωρισμός σε έξι (6) υψομετρικές ζώνες (βαθμίδες). Η διαμόρφωση των εν λόγω ζωνών κατορθώνεται έπειτα από συνεκτίμηση τόσο της διακύμανσης των τιμών υψομέτρου όσο και από την εμπειρία ειδικών μέσα από έρευνες, αντίστοιχες μελέτες, αλλά και σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές. Οι υψομετρικές ζώνες αναγλύφου που προκύπτουν έχουν ως ακολούθως: Η πρώτη ζώνη είναι μέχρι τα 400 μέτρα υψόμετρο, η δεύτερη ζώνη είναι από τα 400 έως και τα 800 μέτρα, η τρίτη ζώνη ξεκινάει από τα 800 μέτρα και φτάνει τα 1.200 μέτρα, και ακολουθείται αυτός ο "βηματισμός" ανά 400 μέτρα έως και την τελευταία ζώνη φτάνοντας τελικώς μέχρι τα 2.400 μέτρα. Στη συνέχεια του κειμένου και συγκεκριμένα στο **Σχήμα 6.1** αντικατοπτρίζεται συνοπτικά με σχεδιαστικό τρόπο η χωρική ανάλυση που περιγράφεται στην ανωτέρω παράγραφο με κάποια από τα προκύπτοντα στοιχεία.



Σχήμα 6.1 Συνοπτική παράθεση επιπέδων που απορρέουν από τη χωρική ανάλυση

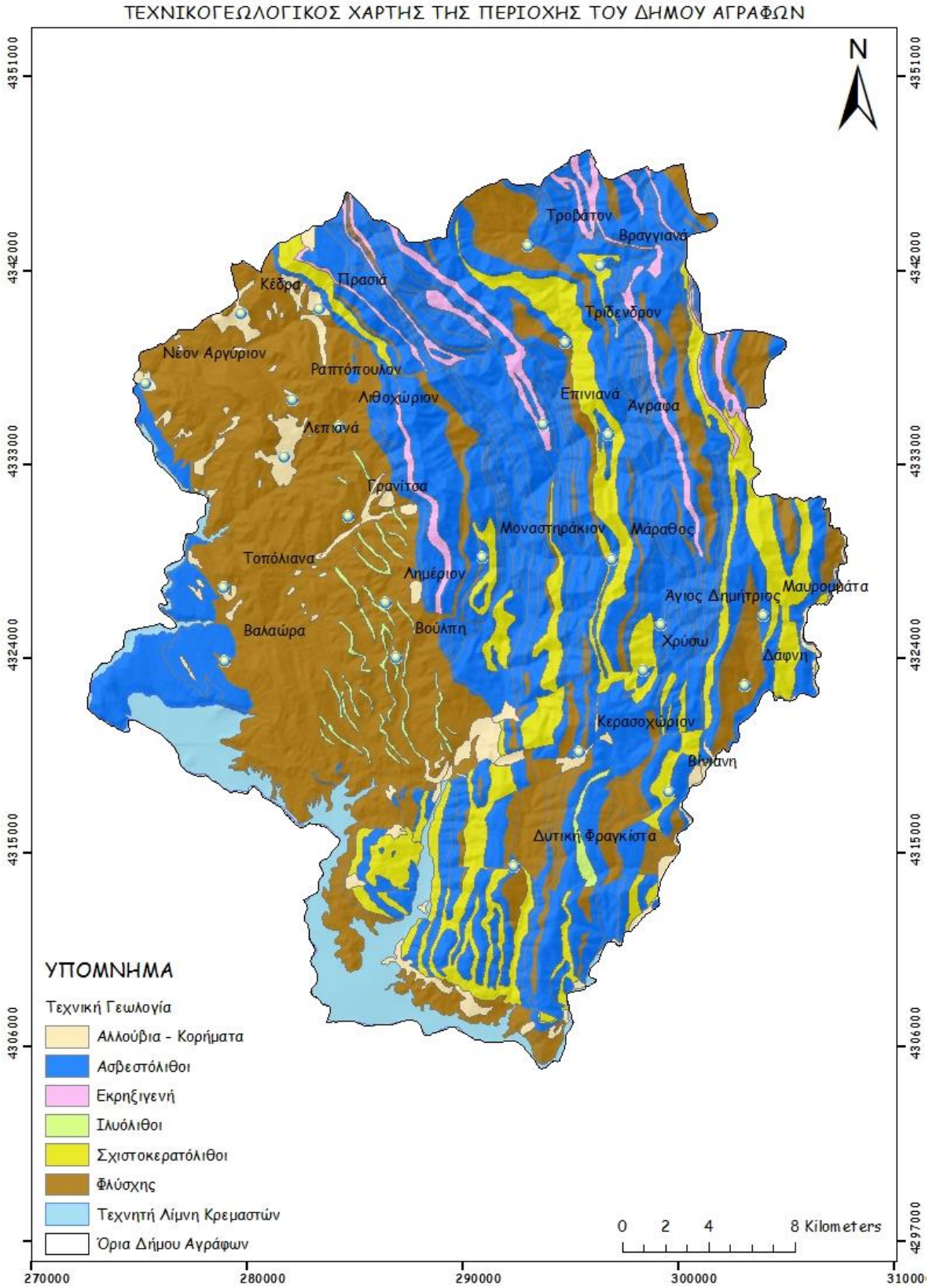
Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό από το ανωτέρω σχήμα, μέσω της δημιουργίας του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, ακολουθεί η παραγωγή σημαντικού αριθμού θεματικών επιπέδων πληροφοριών όπως είναι οι μορφολογικές κλίσεις, ο προσανατολισμός των πρανών, η κυρτότητα και καμπυλότητα του εδάφους. Συνεπώς, ο ακριβέστερος προσδιορισμός του αναγλύφου, που προέρχεται από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών με τη μικρότερη δυνατή απόσταση και την ταυτόχρονη τοποθέτηση υψομετρικών σημείων, αποδίδει ορθότερη αποτύπωση της περιοχής και κατ' επέκταση σωστότερα αποτελέσματα στην παραγωγή των μεταγενέστερων χαρτών. Το ανάγλυφο που εξάγεται από την παρούσα εργασία έχει παραχθεί με ψηφιοποίηση ισοϋψών ανά δέκα (10) μέτρα και με πλήθος τριγωνομετρικών σημείων.

6.3.2. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά

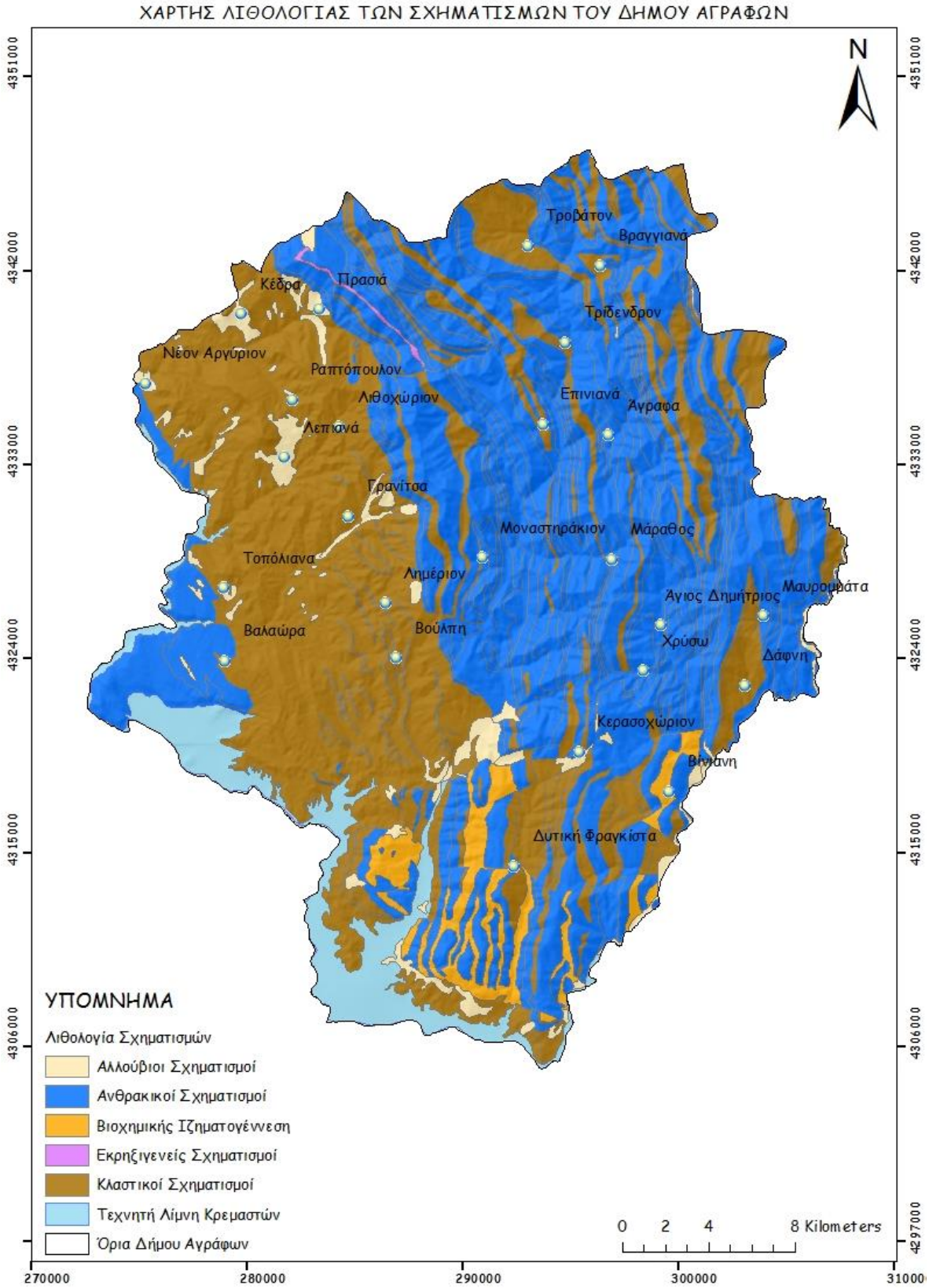
Σε κάθε περίπτωση στην οποία μελετάται τόσο ο κατολισθητικός κίνδυνος όσο και η επαναληψιμότητα αυτού του φαινομένου (κυρίως δε ως προς τις επιδεκτικές θέσεις) για την εκάστοτε περιοχή έρευνας και αναφορικά με τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της υπό εξέταση περιοχής, δύναται να ειπωθεί ότι συνιστούν συνολικά έναν σημαντικά υπολογίσιμο παράγοντα που συσχετίζεται εξ ολοκλήρου με τις γεωλογικές αστοχίες είτε ως προκαταρκτική αιτία είτε ως αιτία ενεργοποίησης του φαινομένου. Για τον λόγο αυτό άλλωστε, πραγματοποιείται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), η λεπτομερής θεώρηση των γεωλογικών σχηματισμών του Ελλαδικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωτεχνικές παραμέτρους σχεδιασμού, τις συνθήκες θεμελίωσης, τις αστοχίες των πρανών καθώς και τη συμπεριφορά τους σε περίπτωση σεισμικής δράσης, ενέργειες οι οποίες διαδέχονται την ταξινόμηση μέσα από τις απαραίτητες κατηγοριοποιήσεις αποδίδοντας έτσι τον γεωτεχνικό χάρτη της Ελλάδος εκδιδόμενος από το παραπάνω ινστιτούτο αποτελώντας πολύτιμο στοιχείο πληροφοριών.

Ως εκ τούτου, σχετικά με τη δημιουργία του θεματικού επιπέδου πληροφοριών "τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών" του Δήμου Αγράφων, στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία προηγείται η ψηφιοποίηση των κυριότερων λιθολογικών ενοτήτων η οποία επιτυγχάνεται μέσω των αντίστοιχων τεχνικογεωλογικών χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών. Στη συνέχεια απαιτείται και πραγματοποιείται η δημιουργία διανυσματικών αρχείων, που ουσιαστικά προσδιορίζουν μέσω των διαφορετικών πολυγωνικών οντοτήτων τα χαρακτηριστικά κάθε μίας τεχνικογεωλογικής ενότητας, οι οποίες συγκροτούν τη συνολική εικόνα της περιοχής. Επί του τελικού εξαχθέντος χάρτη περιλαμβάνονται επιπροσθέτως και διάφορες γραμμικές οντότητες που αντιπροσωπεύουν στοιχεία τεκτονισμού και ρηξιγενείς δομές όπως για παράδειγμα τα ρήγματα, οι εφιππεύσεις και οι επωθήσεις.

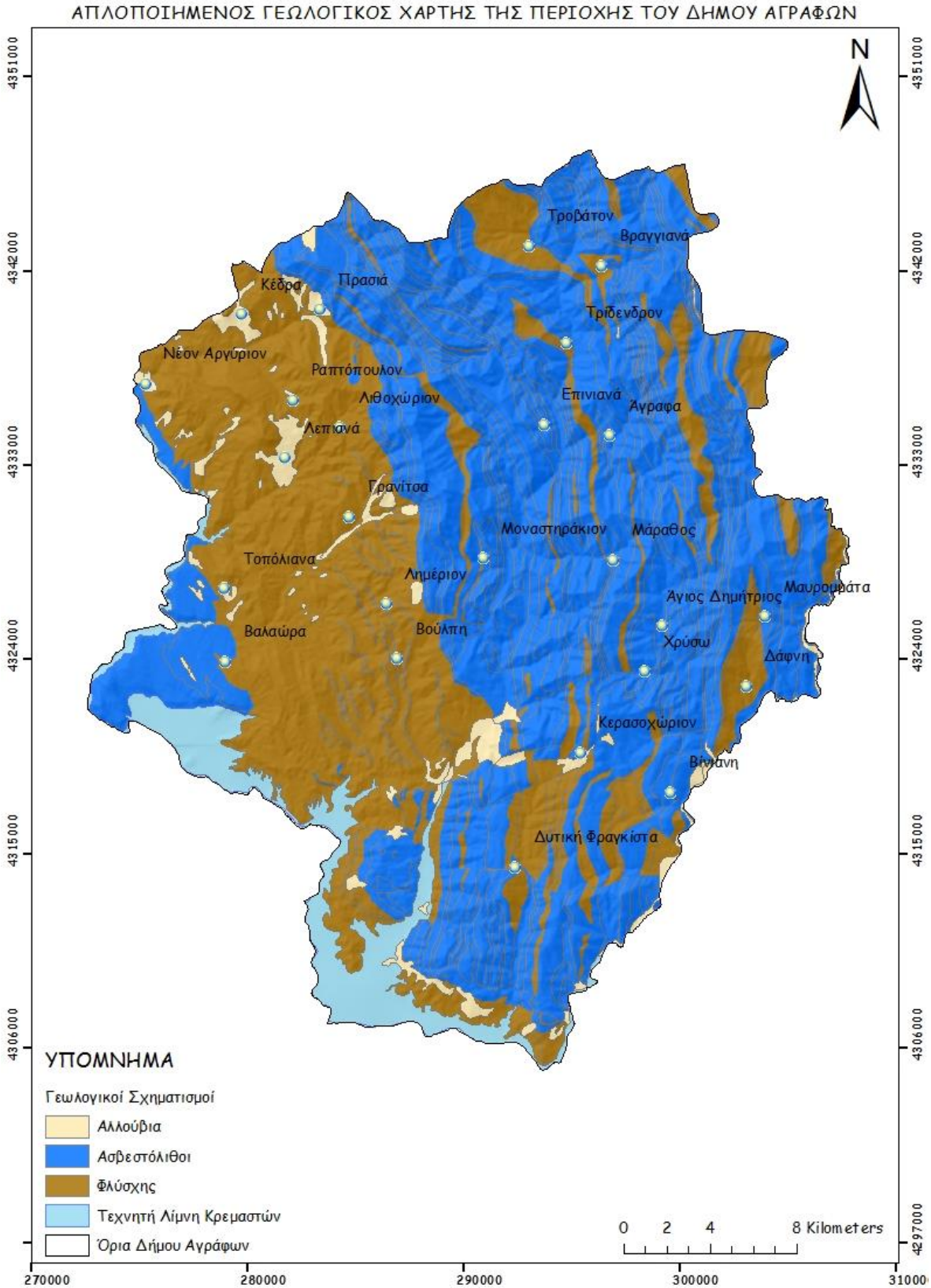
Εν συνεχεία επιτυγχάνεται η απαραίτητη χωρική ανάλυση του τεχνικογεωλογικού χάρτη **(Σχήμα 6.2)** κατά την οποία διαμορφώνονται τρία (3) περαιτέρω επίπεδα πληροφοριών, στα οποία προσδιορίζονται οι λιθολογικές ενότητες της περιοχής **(Σχήμα 6.3)**, η "ζωνοποίηση" των γεωλογικών σχηματισμών **(Σχήμα 6.4)** και η απόσταση από τα τεκτονικά στοιχεία **(Σχήμα 6.5)**. Επιπλέον, άξιο επισημάνσεως καθίσταται το γεγονός ότι για κάθε θεματικό επίπεδο γίνεται η απαιτούμενη διαμόρφωση βάσει της οποίας ταξινομούνται κι ιεραρχούνται ως προς τον κίνδυνο κατολισθήσεων οι προκύπτουσες κλάσεις.



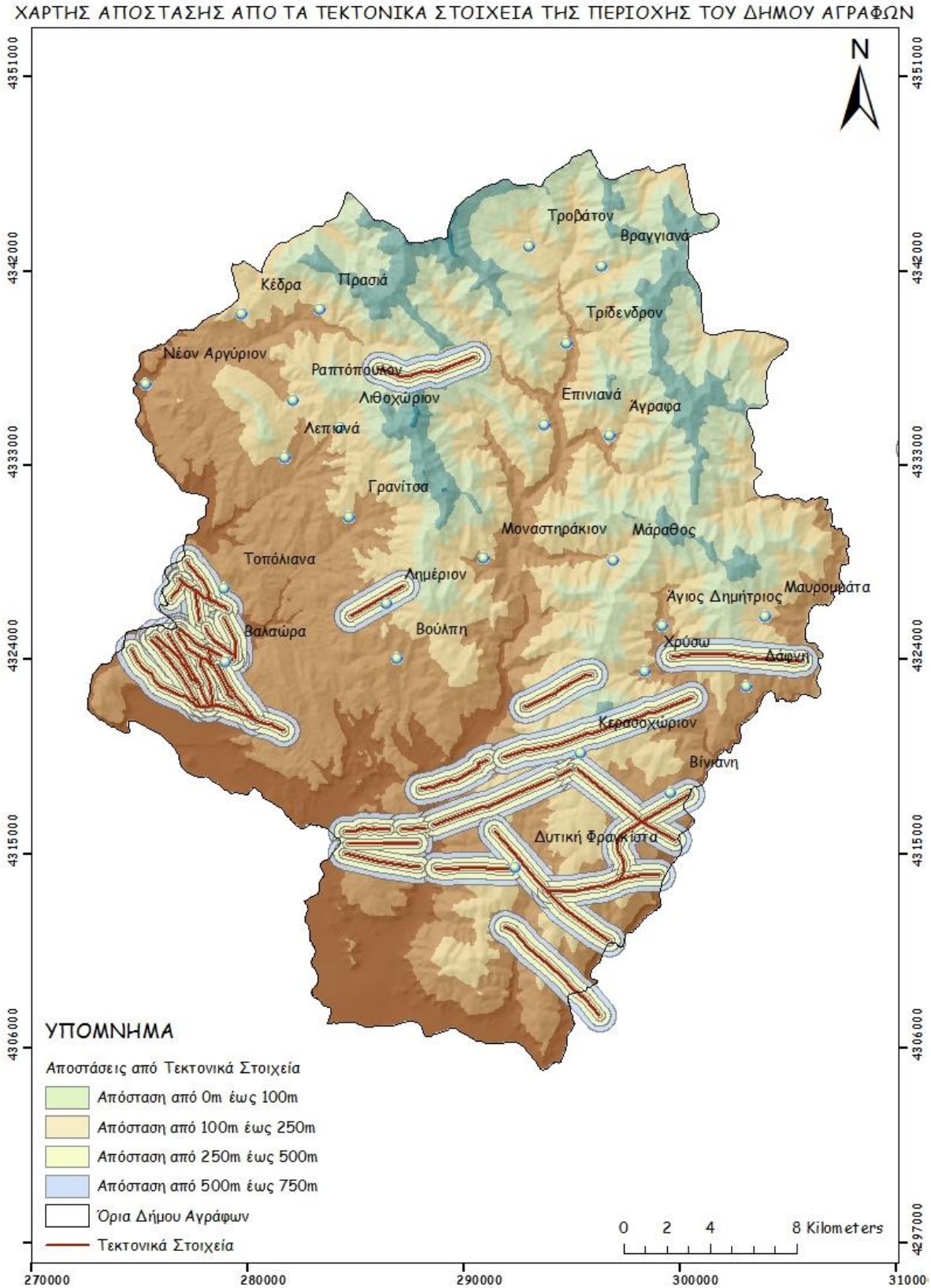
Σχήμα 6.2 Τεχνικογεωλογικός χάρτης της εξεταζόμενης περιοχής του Δήμου Αγράφων



Σχήμα 6.3 Χάρτης λιθολογικών ενοτήτων της εξεταζόμενης περιοχής του Δήμου Αγράφων



Σχήμα 6.4 Χάρτης ομαδοποιημένων σχηματισμών της εξεταζόμενης περιοχής του Δήμου Αγράφων

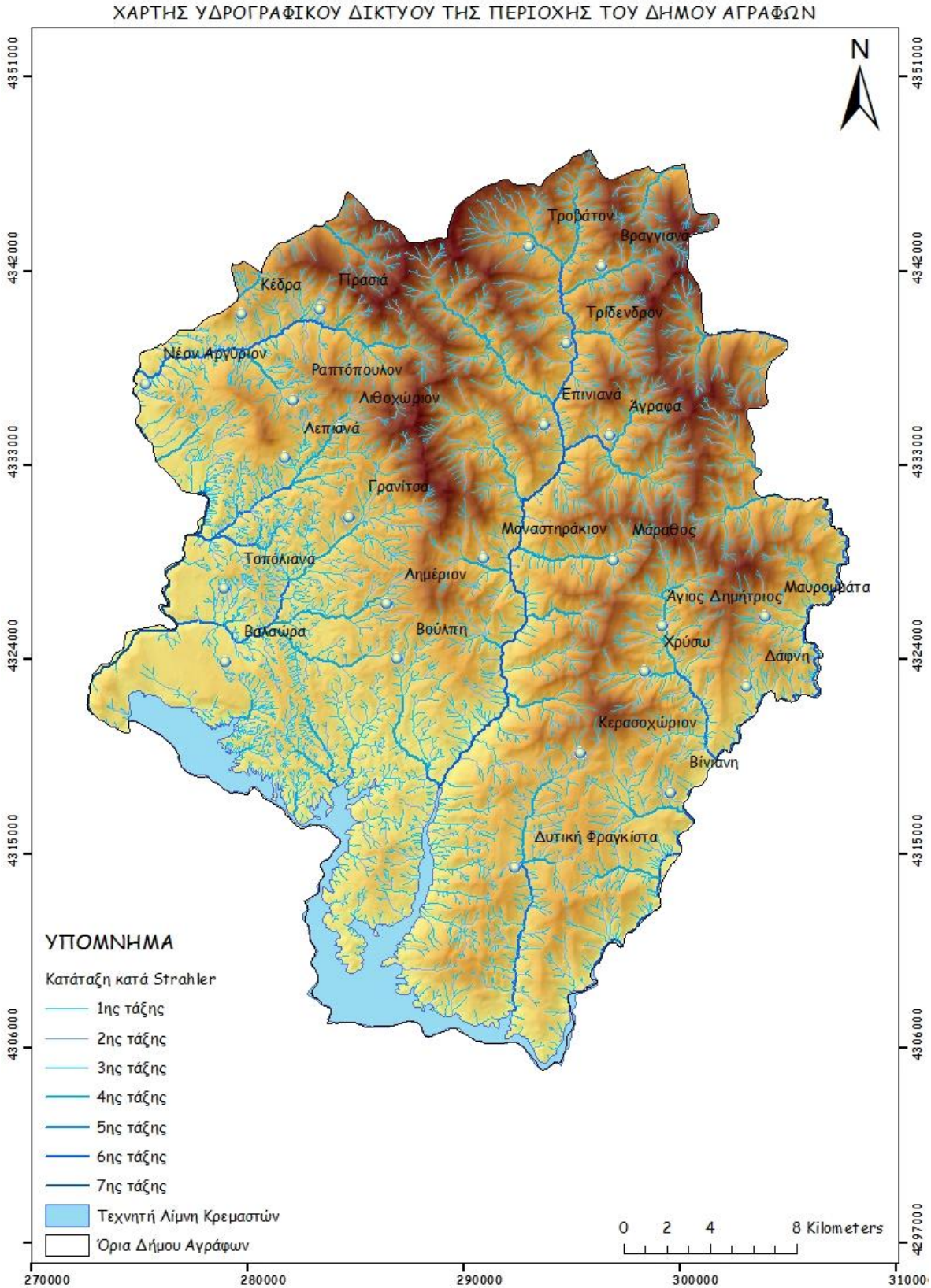


Σχήμα 6.5 Χάρτης απόστασης από τα τεκτονικά στοιχεία της περιοχής του Δήμου Αγράφων

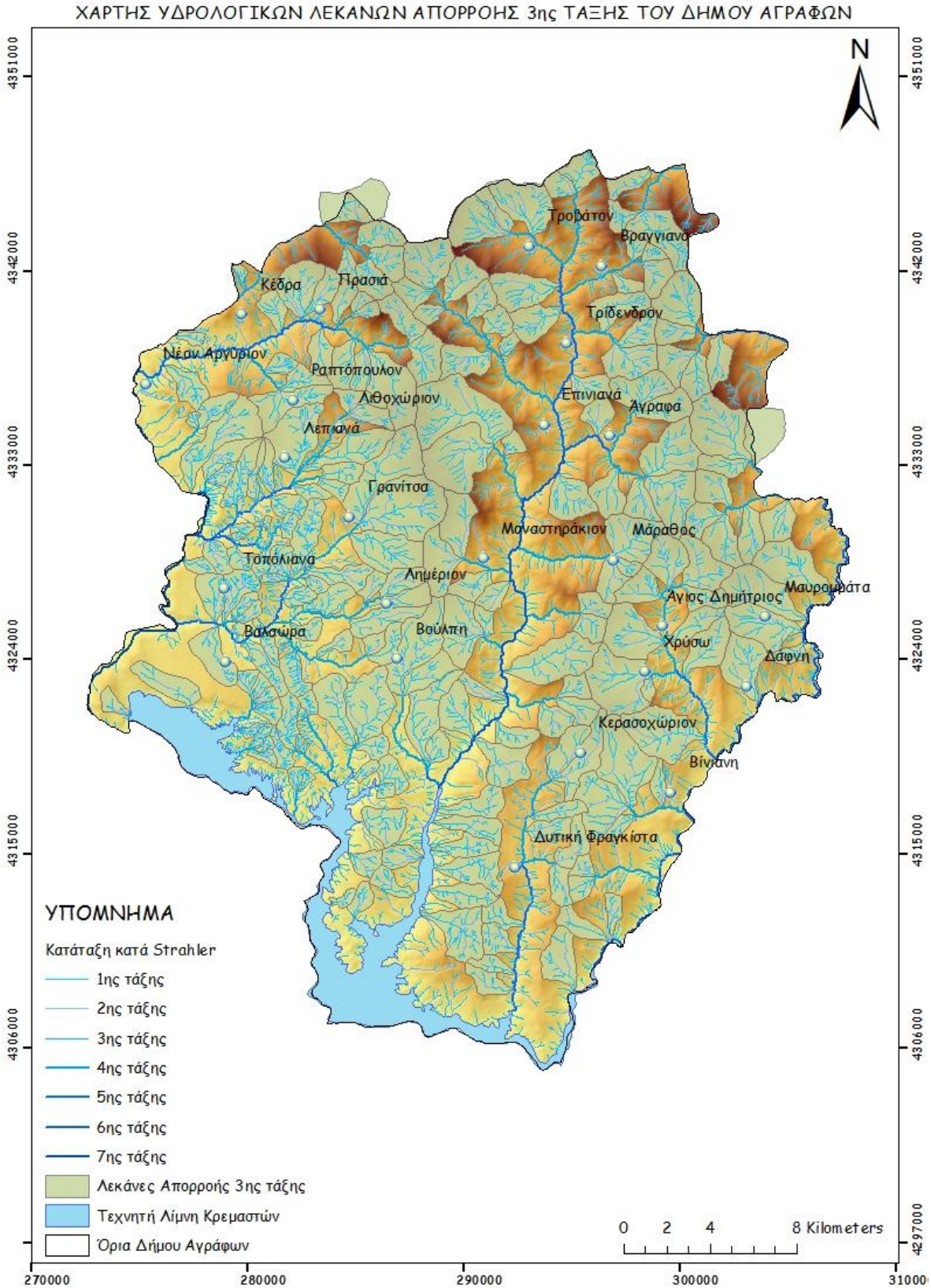
6.3.3. Υδρολογικά στοιχεία

Ενδεχομένως οι πιο πολυσήμαντοι παράγοντες που εμπλέκονται στα κατολισθητικά φαινόμενα είναι αυτοί που σχετίζονται με τα υδρολογικά στοιχεία της υπό εξέτασης περιοχής. Έτσι τα στοιχεία αυτά χρήζουν εμπεριστατωμένης μελέτης καθώς και ενδελεχούς διερεύνησης σε όλο το "φάσμα" τους και δεν πρέπει ουδόλως να αντιμετωπιστούν ως αμελητέα παράμετρος αφού συμβάλλουν με καθοριστικό τρόπο από την γένεση μέχρι το έναυσμα και την τελική εκδήλωση ενός κατολισθητικού γεγονότος. Συγκεκριμένα σε αυτά, πέραν της «εξέτασης» των υδάτων στην επιφάνεια του εδάφους, δύναται να ενταχθούν τόσο η υδρογεωλογία της περιοχής έρευνας όσο και τα στοιχεία της υδρομετεωρολογίας που αφορούν το Δήμο Αγράφων, συνιστώντας ουσιαστικά αναπόσπαστο κομμάτι χρήσιμων δεδομένων στην πρόβλεψη εμφάνισης γεωλογικών αστοχιών και στην κατολισθητική επικινδυνότητα γενικότερα. Συνεπώς, μέσω της εν λόγω υποενότητας απορρέουν πληροφορίες αφενός μεν για το υδρογραφικό δίκτυο του πεδίου ερευνών, αφετέρου δε για την περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς επίσης και για τα κλιματικά στοιχεία συμπεριλαμβανομένων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

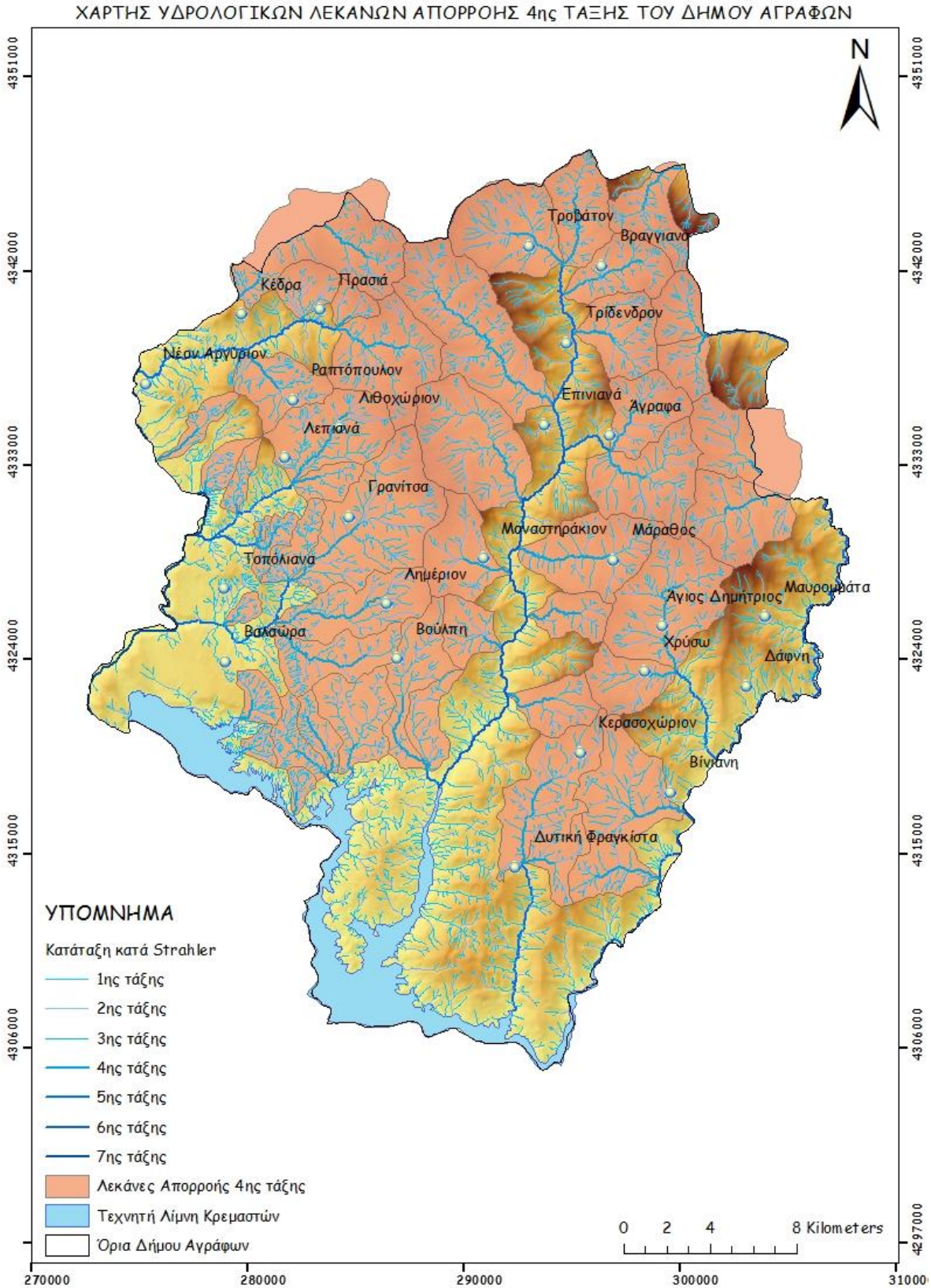
Πιο αναλυτικά, αφού πρωτίστως επιτευχθεί η ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης **(Σχήμα 6.6)**, η οποία βασιζεται σε γεωλογικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), δευτερευόντως έπεται η δημιουργία πολυγωνικών οντοτήτων των υδρολογικών λεκανών, για υδατορέματα (κλάδους ποταμών) που είναι μεγαλύτεροι η ίσοι της 3ης τάξης σε κατάταξη κατά Strahler. Ταυτόχρονα, προκύπτουν κάποια στατιστικά στοιχεία του πλήθους των ρεμάτων τα οποία και συγκρίνονται (ως μέσο ταυτοποίησης) με τα πιο πρόσφατα κατολισθητικά σημεία που έχουν καταγραφεί. Ένα ακόμη θεματικό επίπεδο πληροφοριών, το τρίτο κατά σειρά που αποδίδεται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, είναι αυτό της περατότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Το εν λόγω επίπεδο πληροφοριών με δεδομένο το ευρύ πεδίο στοιχείων το οποίο καταλαμβάνει, δύναται να ενταχθεί και σε άλλη ενότητα (όπως επί παραδείγματι σε αυτήν των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών), όμως ως πλέον αρμόζουσα λογίζεται η παρούσα ενότητα, μιας και η περατότητα συνδέεται πρωτίστως με την υδρολογία και δευτερευόντως με την καθ' αυτού τεχνική γεωλογία της περιοχής. Έτσι, παρατίθενται σε χάρτες η απεικόνιση των λεκανών απορροής ως εξής: 3ης τάξης **(Σχήμα 6.7)**, 4ης τάξης **(Σχήμα 6.8)**, 5ης τάξης **(Σχήμα 6.9)** και 6ης **(Σχήμα 6.10)**.



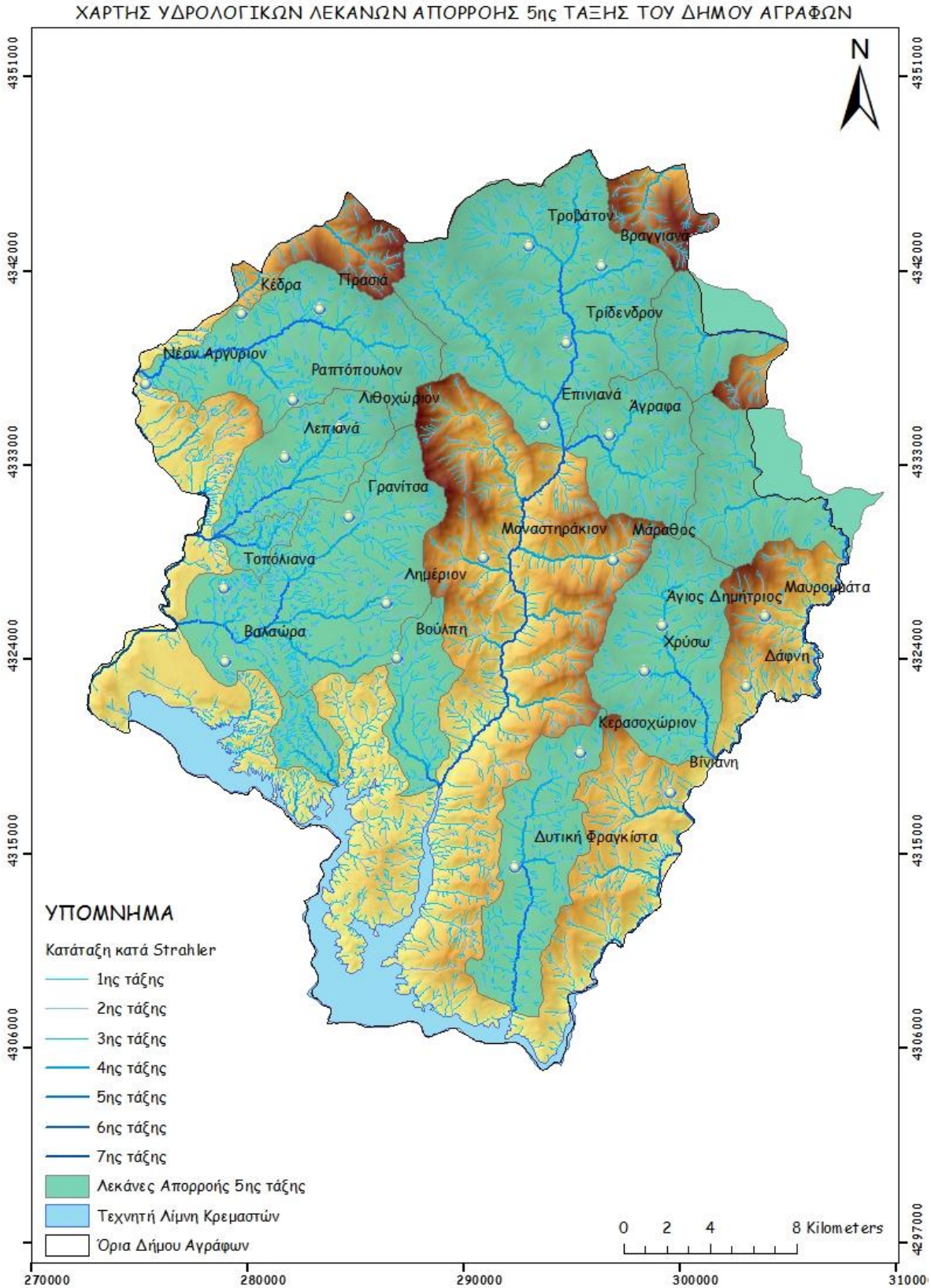
Σχήμα 6.6 Χάρτης υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης (κατάταξη κατά Strahler)



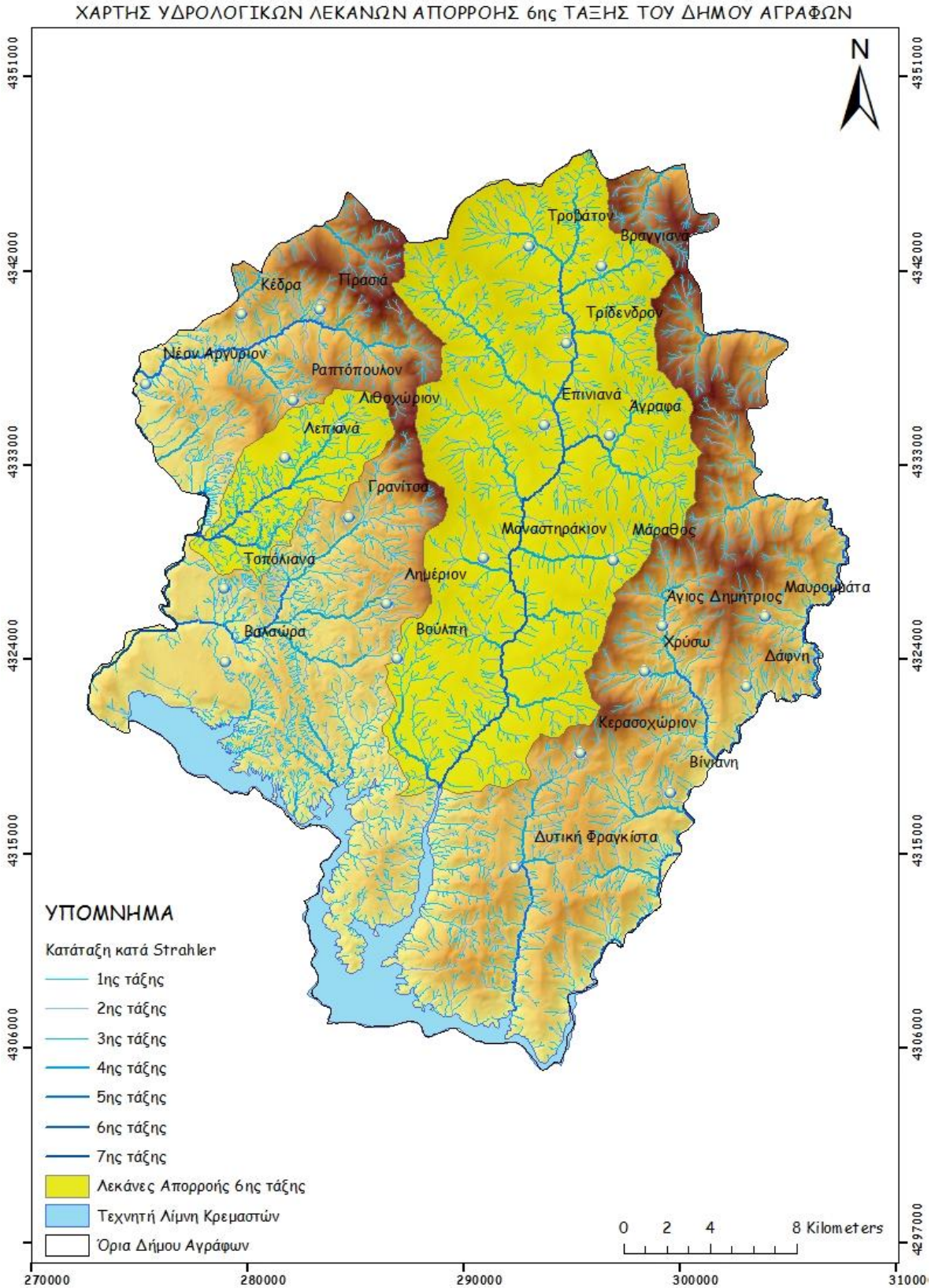
Σχήμα 6.7 Χάρτης των υδρολογικών λεκανών απορροής 3ης τάξης για την περιοχή μελέτης



Σχήμα 6.8 Χάρτης των υδρολογικών λεκανών απορροής 4ης τάξης για την περιοχή μελέτης



Σχήμα 6.9 Χάρτης των υδρολογικών λεκανών απορροής 5ης τάξης για την περιοχή μελέτης



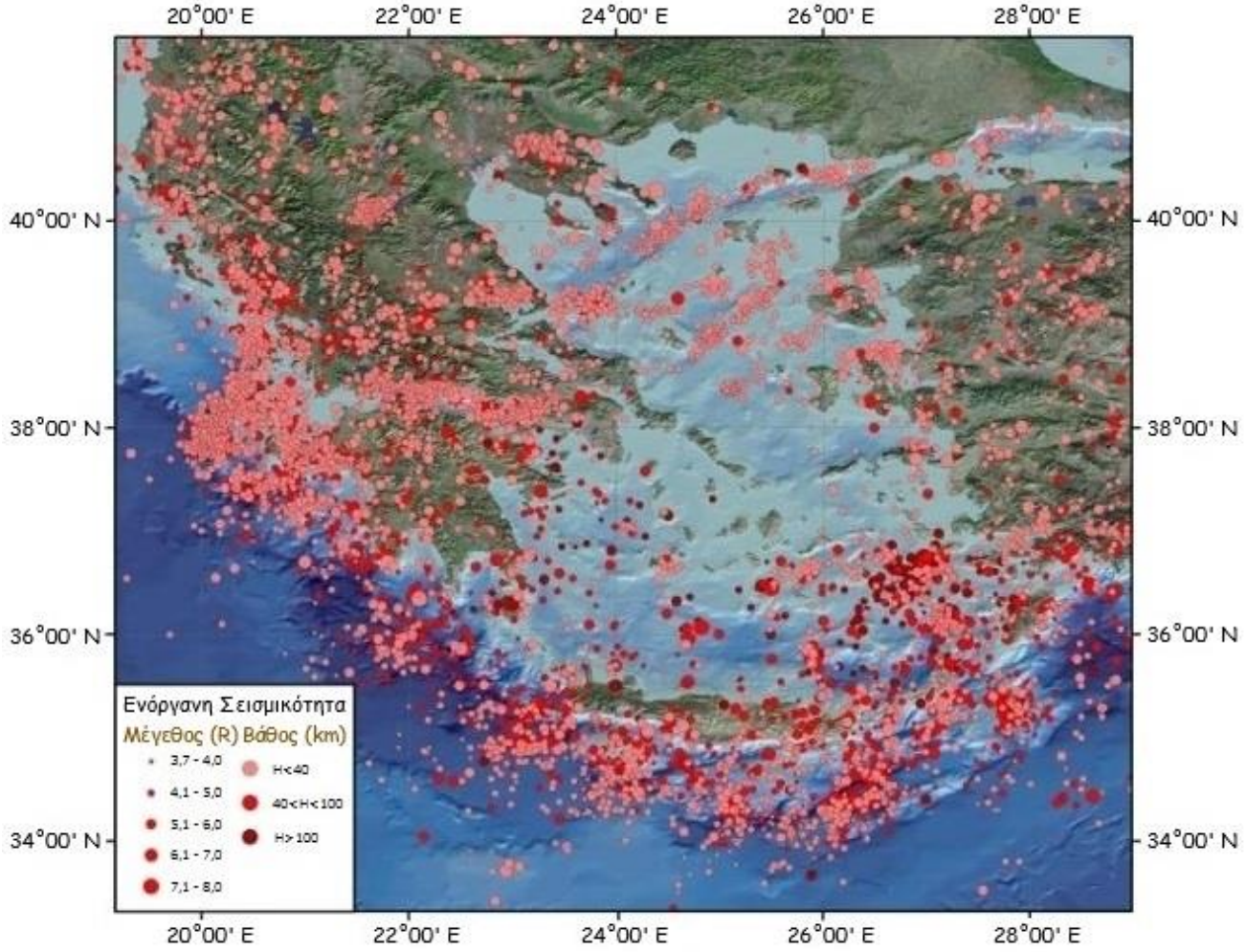
Σχήμα 6.10 Χάρτης των υδρολογικών λεκανών απορροής 6ης τάξης για την περιοχή μελέτης

6.3.4. Σεισμοτεκτονικό καθεστώς

Όπως γίνεται για κάθε ένα θεματικό επίπεδο πληροφοριών, έτσι και στην παρούσα περίπτωση η ορθή αποτύπωση των σεισμοτεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, δηλαδή η ακριβέστερη δυνατή ψηφιοποίηση των προαναφερθέντων στοιχείων σε περιβάλλον GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών), με ζητούμενο τη δημιουργία του αντίστοιχου θεματικού επιπέδου, θεωρείται ενέργεια μείζονος σημασίας και συνεπάγεται καλύτερα αποτελέσματα. Τούτο, συμβαίνει καθώς η συγκέντρωση των χαρακτηριστικών και των στοιχείων τα οποία σχετίζονται αφενός με τη σεισμική δραστηριότητα κι αφετέρου με το τεκτονικό καθεστώς, αποσκοπούν στην πληρέστερη κατανόηση της συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών όπου δομούν την υπό εξέταση περιοχή σε δυναμικές φορτίσεις, ενώ ταυτόχρονα παρέχονται σημαντικές ενδείξεις για τον βαθμό παραμόρφωσης των σχηματισμών αυτών.

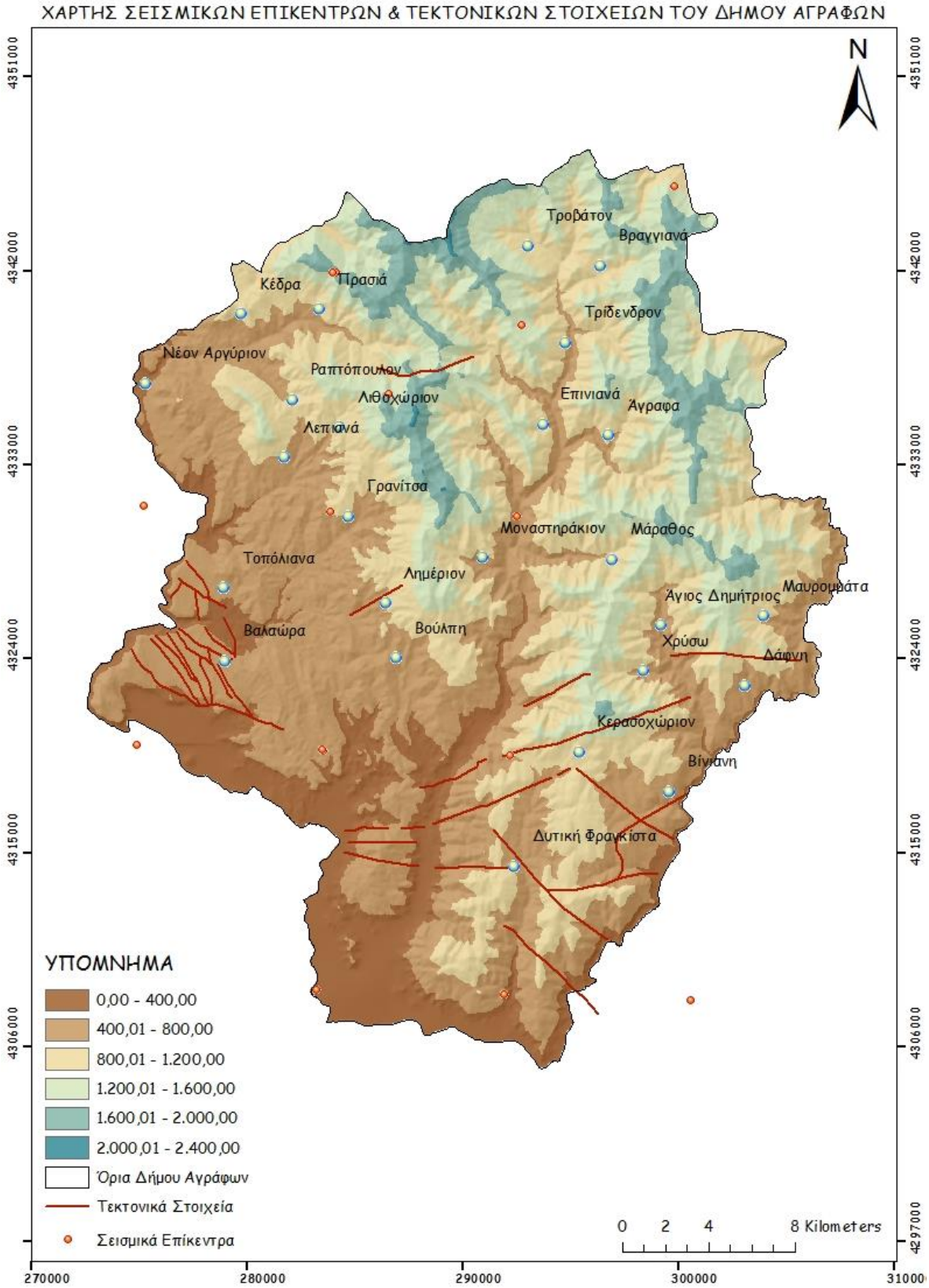
Σημειώνεται ότι η ενεργός τεκτονική μιας περιοχής προσδιορίζεται μέσα από την χωρική κατανομή των σεισμικών εστιών που καθορίζουν τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Επιπλέον, οφείλεται να προσμετρούνται και να συνυπολογίζονται τόσο οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμικών δράσεων όπου καθορίζουν τις τάσεις και τη διεύθυνση της κίνησης των πλακών, όσο και ο ρυθμός πρόκλησης της σεισμικής ροπής ο οποίος υπολογίζει τον βαθμό της παραμόρφωσης του φλοιού (Παπαζάχος, 2003). Ειδικότερα, σε ότι αφορά τον Δήμο Αγράφων και την ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζονται από μέτρια έως χαμηλή σεισμικότητα, ενώ περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη δραστηριότητα των σεισμών οι που έλαβαν χώρα κατά την τελευταία πεντηκονταετία, ήτοι 1967 - 2017 στην εξεταζόμενη περιοχή, αποδίδονται στο Κεφάλαιο 4 και συγκεκριμένα στην Ενότητα 4.5. με τίτλο "Σεισμική δραστηριότητα".

Ωστόσο, αξίζει να γίνει η επισήμανση ότι τα επίκεντρα των εν λόγω εδαφικών μετακινήσεων -και δη των σημαντικότερων γεγονότων που έχουν ποτέ καταγραφεί- παρουσιάζουν μια σχετική γεωγραφική κατανομή ως προς το εύρος του χώρου και δίχως να εμφανίζεται σημαντικά μεγάλη χωρική διασπορά. Η κατηγορία ΙΙ είναι αυτή στην οποία εντάσσεται η υπό εξέταση περιοχή, βάσει πάντοτε του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας (ΝΕΑΚ 2003), που εκδόθηκε για λογαριασμό της πολιτικής προστασίας της χώρας, έχοντας εδαφική επιτάχυνση ίση με α= 0,24g (g=9,81m/s^2 επιτάχυνση της βαρύτητας). Στο **Σχήμα 6.11** που ακολουθεί απεικονίζεται ο εγχώριος χάρτης σεισμικών επικέντρων με εστιακό βάθος μικρότερο από 60 χιλιόμετρα και μεγέθους μεγαλύτερο των 4,0 βαθμών της κλίμακας Richter.



Σχήμα 6.11 Χάρτης κατανομής των σεισμικών επικέντρων στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Γεωδυναμικό Ινστ.)

Αναμφισβήτητα, αμφότεροι οι παράμετροι της σεισμικότητας και των τεκτονικών στοιχείων σε κάθε περιοχή συμβάλλουν στην εκδήλωση των κατολισθητικών γεγονότων, ιδίως μάλιστα σε περιοχές όπου παρατηρούνται μεγάλες σεισμικές επιταχύνσεις κάτι που ωστόσο δεν υφίσταται στον Δήμο Αγράφων καθώς είναι χαμηλής σεισμικότητας και δεν υπάρχουν μεγάλα ενεργά ρήγματα στον ευρύτερο χώρο. Κατά συνέπεια, για τον ανωτέρω λόγο, ο παράγοντας των τεκτονικών στοιχείων ναι μεν λαμβάνεται υπόψη, ωστόσο του αποδίδεται "χαμηλής βαρύτητας" συντελεστής καθόσον δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την εμφάνιση του φαινομένου, εν αντιθέσει με την γεωλογία και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά. Εν συνεχεία του κειμένου, στο **Σχήμα 6.12**, παρατίθεται πρωτογενής χάρτης σεισμικών επικέντρων της υπό εξέταση περιοχής για επιφανειακούς σεισμούς μεγαλύτερους των 4,0 βαθμών της κλίμακας Richter με ψηφιοποιημένα τα τεκτονικά στοιχεία αυτής, δηλαδή ρήγματα, εφιππεύσεις και επωθήσεις.



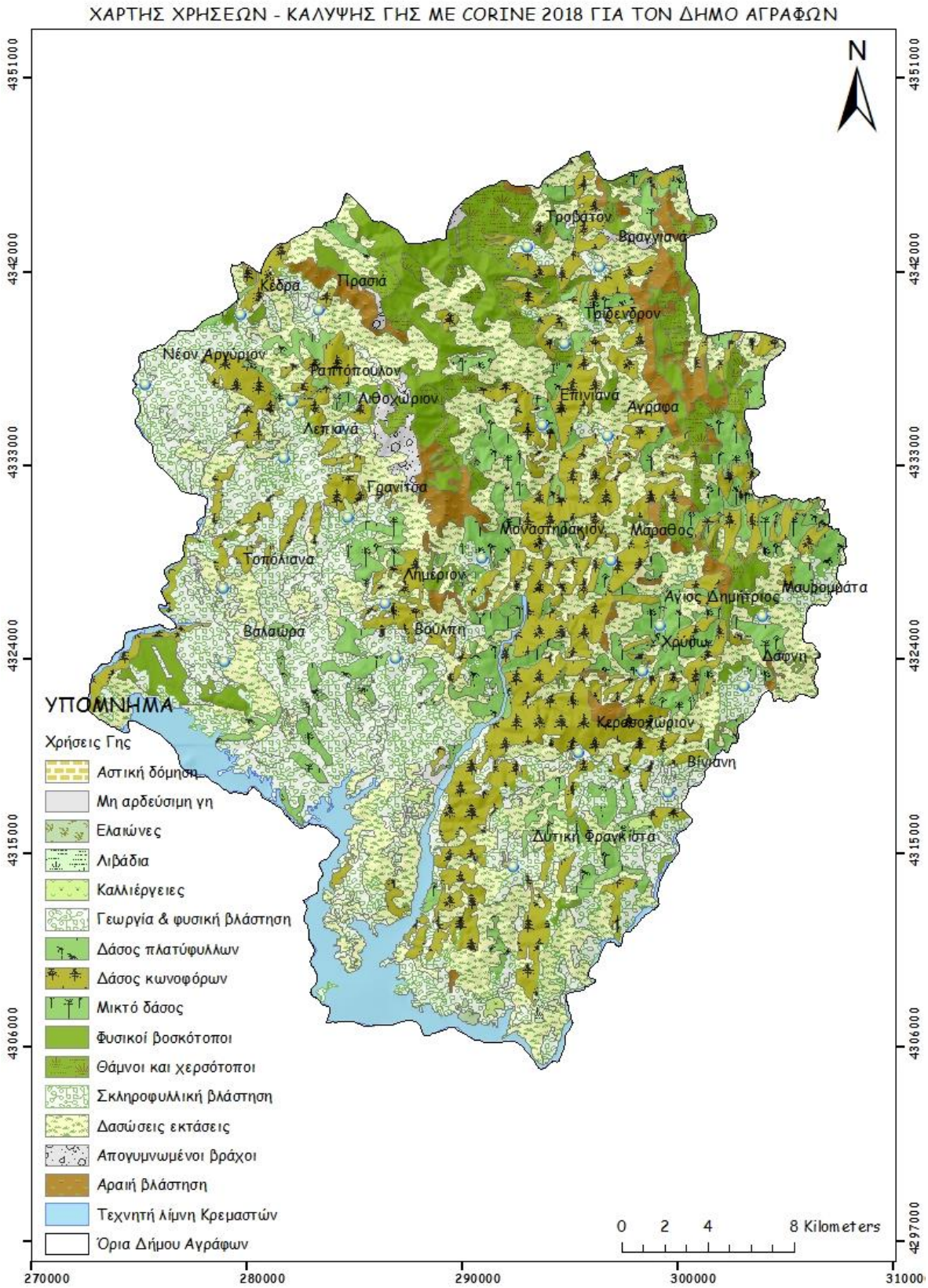
Σχήμα 6.12 Σεισμοτεκτονικός χάρτης με τα επίκεντρα μεγάλων σεισμών για τον Δήμο Αγράφων

6.3.5. Χρήση & κάλυψη γης

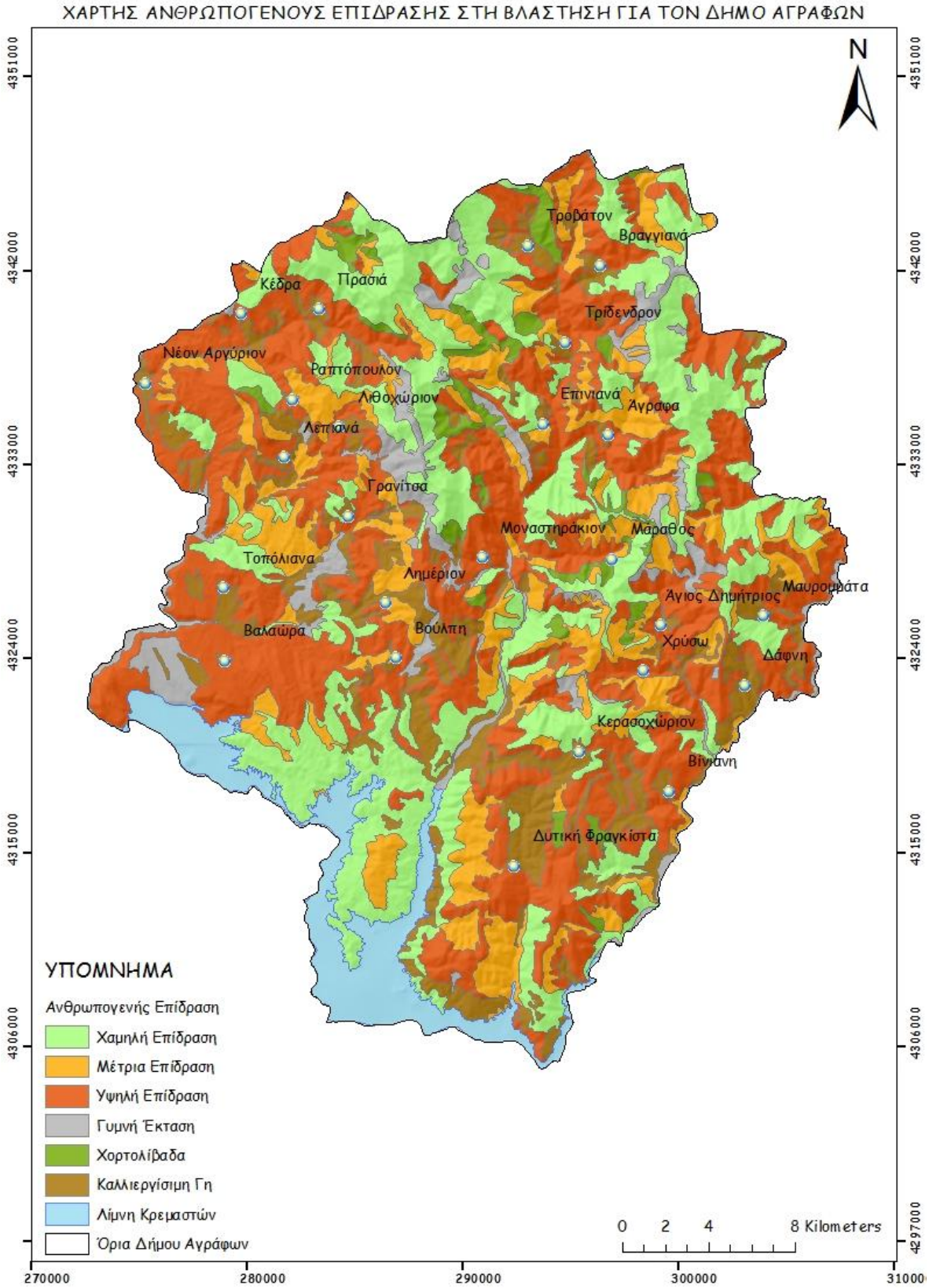
Αναφορικά με το παρόν θεματικό επίπεδο πληροφοριών, αφού αρχικά πραγματοποιείται η απαραίτητη ψηφιοποίηση των πολυγωνικών οντοτήτων οι οποίες αντανακλούν τις εκτάσεις του Δήμου Αγράφων, καθώς αυτές άλλωστε οριοθετούνται μέσα από το αρχείο προσδιορισμού του χάρτη δασικών ορίων της CORINE, ακολούθως επιδιώκεται ο ακριβής καθορισμός των ζωνών χρήσεως και κάλυψης γης, ενώ παράλληλα προκύπτουν πολύ σημαντικά στοιχεία τα οποία αφορούν άμεσα τόσο την εξέλιξη μιας γεωλογικής αστοχίας όσο και την γενικότερη λειτουργία εμφάνισης του μηχανισμού κατολισθήσεων. Επιπροσθέτως, λαμβάνοντας ως δεδομένο το γεγονός ότι το ριζικό σύστημα των φυτών (και κυρίως εκείνο των μεγάλων δέντρων), λειτουργεί ως αποτρεπτικός παράγοντας σε οποιαδήποτε ενδεχόμενη εμφάνιση της εν λόγω καταστρεπτικής ενέργειας, η σύνδεση ανάμεσα στη φυτοκάλυψη των πρανών και στην πιθανότητα εκδήλωσης μιας κατολίσθησης για την εκάστοτε περιοχή θεωρείται ως άρρηκτη.

Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος της ευρύτερης περιοχής, δηλαδή ολόκληρος ο Νομός Ευρυτανίας καλύπτεται από φυτοκάλυψη. Μολαταύτα δεν είναι καθόλου λίγα τα τμήματα των οποίων η βλάστηση είναι ελάχιστη έως και ανύπαρκτη. Αναλυτικότερα, τα τμήματα που χαρακτηρίζονται ως μη δασικές εκτάσεις ανέρχονται σε ποσοστό 18% επί της έκτασης όπου μελετάται. Από το υπόλοιπο ποσοστό η δασική έκταση ανέρχεται σε 70% και μόλις το 12% αυτής χαρακτηρίζεται ως καλλιεργήσιμη γη, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και μεγάλα τμήματα από φυσική βλάστηση. Με άλλα λόγια συμπεραίνεται ότι η ύπαρξη πυκνής βλάστησης και μεγάλων ριζικών συστημάτων θεωρείται μεγάλης σπουδαιότητας, αφού αποτελεί σημαντικό παράγοντα ο οποίος εμπλέκεται με άμεσο τρόπο σε προβλήματα ευστάθειας.

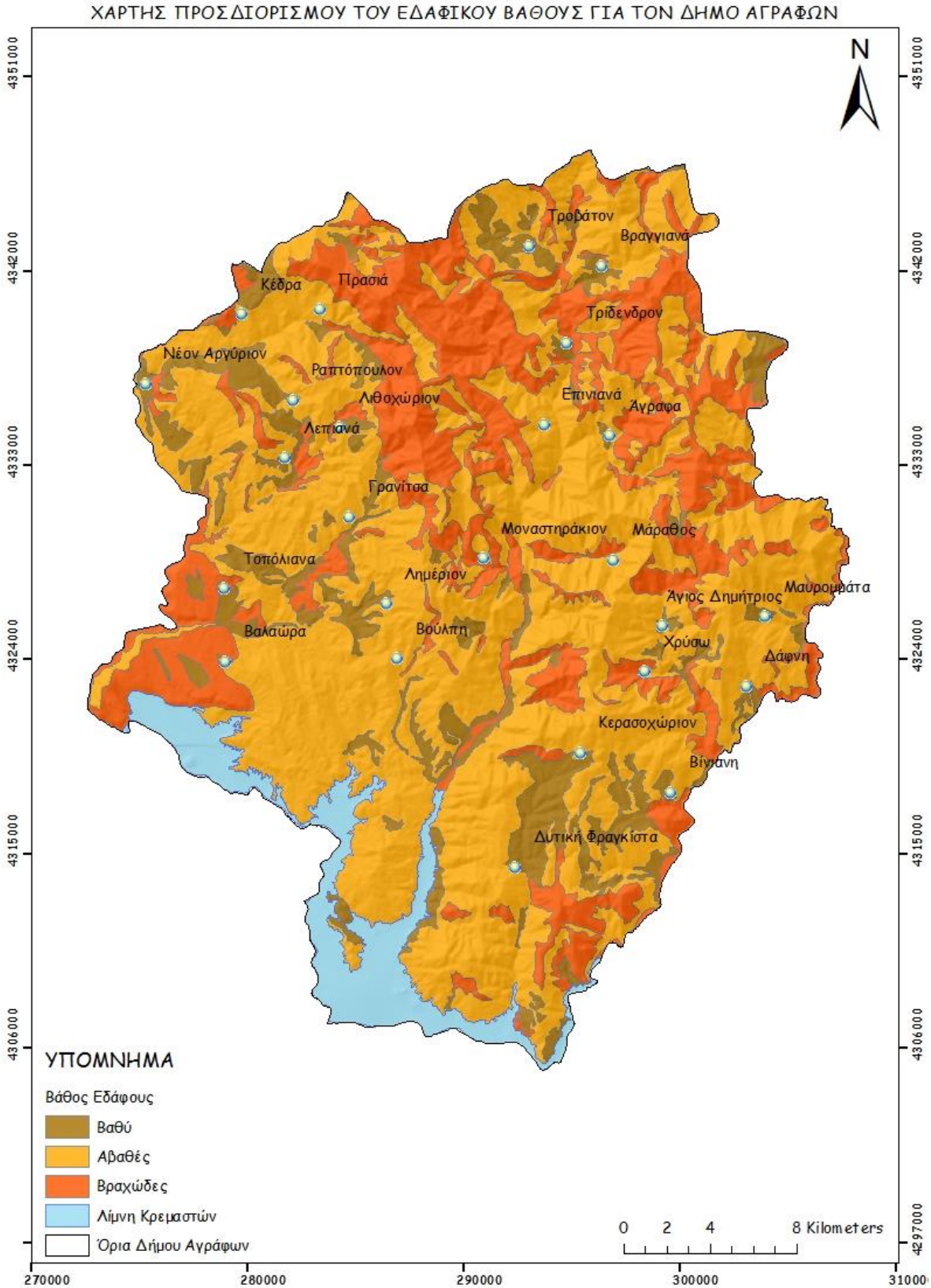
Στο **Σχήμα 6.13** που βρίσκεται στη συνέχεια του κειμένου, παρουσιάζεται η εικόνα του θεματικού επιπέδου πληροφοριών των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης, ενώ παράλειψη θα αποτελούσε η μη έκδοση του χάρτη ανθρωπογενούς επίδρασης του Δήμου Αγράφων, όπου και τελικώς αποδίδεται στο **Σχήμα 6.14**. Επ' αυτού αναφέρεται ότι πολύτιμος αρωγός της αποτύπωσης του τελευταίου κατά σειρά αναφοράς χάρτη ως μέσο απόδοσης στοιχείων και δεδομένων της περιοχής, στάθηκε ο Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός - ΕΛΓΟ "Δήμητρα", (πρώην Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας - ΕΘΙΑΓΕ). Συν τοις άλλοις βάσει του προαναφερθέντος οργανισμού παράγεται στο **Σχήμα 6.15** ο χάρτης βάθους εδάφους, που αν και δε χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κινδύνου, παρέχει σημαντικά στοιχεία.



Σχήμα 6.13 Χάρτης χρήσεων & κάλυψης γης του Δήμου Αγράφων βάσει του Corine 2018



Σχήμα 6.14 Χάρτης βαθμού ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση Δήμου Αγράφων



Σχήμα 6.15 Χάρτης βάθους του εδάφους για τον Δήμο Αγράφων (Πηγή: ΕΛΓΟ Δήμητρα)

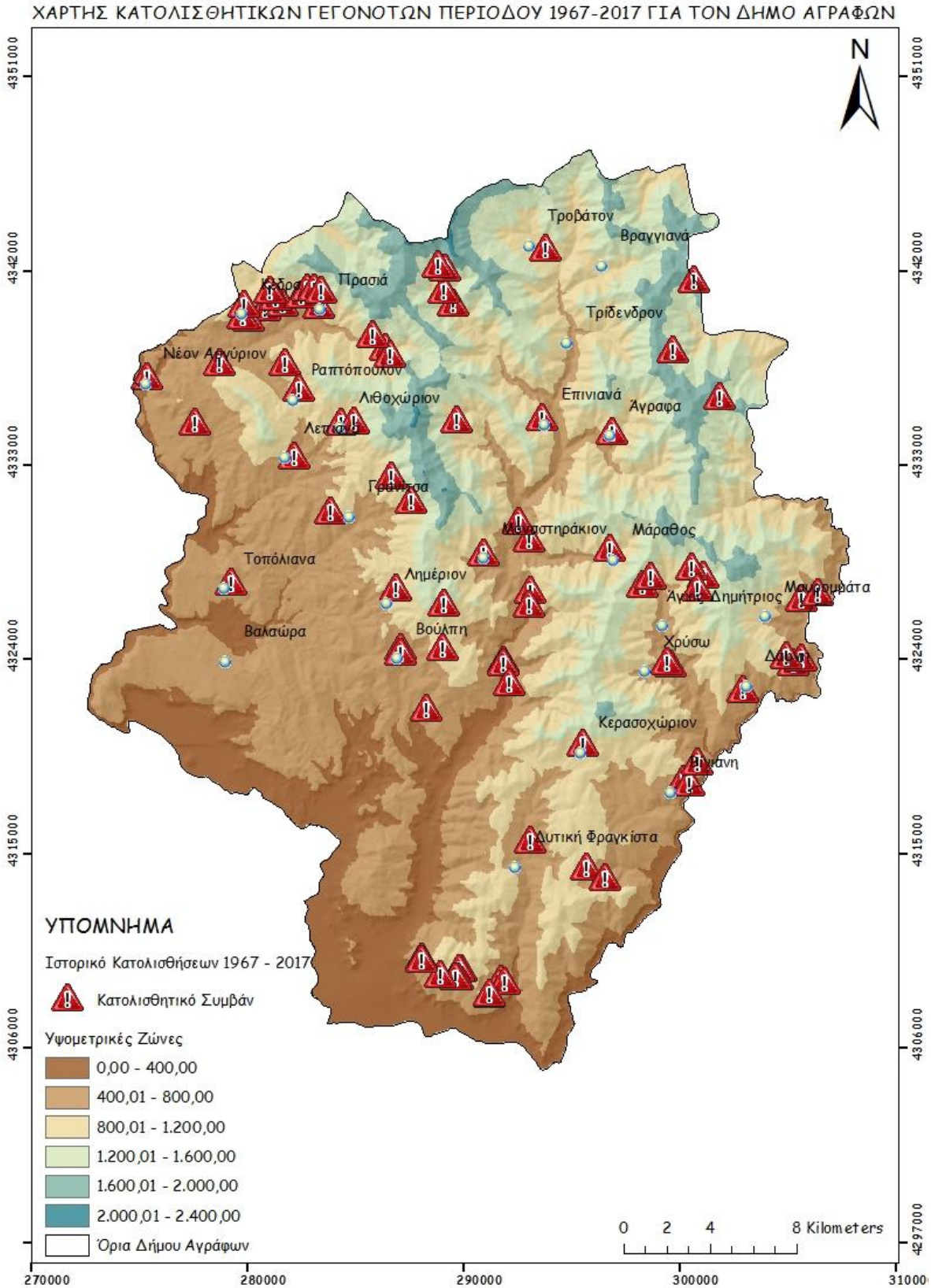
6.3.6. Κατολισθητική βάση δεδομένων

Εξίσου σημαντικό με τα υπόλοιπα θεματικά επίπεδα πληροφοριών -και ενδεχομένως χρηστικότερο- είναι το παρόν επίπεδο κι η δημιουργία του, αφού σε αυτό αποτυπώνονται τα κατολισθητικά συμβάντα σε σημειακές οντότητες στο κατάλληλα διαμορφωμένο περιβάλλον του GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών). Πραγματοποιούμενο μέσα από τη βάση καταγεγραμμένων κατολισθητικών γεγονότων η οποία διαμορφώνεται στη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνοντας τόσο τα πρωτογενή στοιχεία και τις τεχνικογεωλογικές εκθέσεις του ΙΓΜΕ, όσο και παλαιότερες βιβλιογραφικές μελέτες που αφορούν την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας, αποδίδεται ένα εξ ολοκλήρου εμπλουτισμένο θεματικό επίπεδο που περιλαμβάνει συνολικά 125 θέσεις αστοχίας και αφορούν μια περίοδο πεντηκονταετίας, ήτοι από το 1967 έως το 2017. Σημειώνεται ως παρατήρηση ότι πολλά από τα σημεία αστοχιών "συμπίπτουν" με άλλες καταγραφές ως προς τη θέση δείχνοντας ουσιαστικά πως το φαινόμενο ξανασυμβαίνει, αποδεικνύοντας την επαναληψιμότητα του.

Επιπλέον, αξίζει να επισημανθεί ότι όλοι οι τύποι των αστοχιών, εξεταζόμενοι ως προς την κίνησή τους, αφορούν αμφότερες τις υφιστάμενες λιθολογικές ενότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν είτε τη ζώνη κερματισμού και αποσάθρωσης των σχηματισμών υποβάθρου, είτε τις επιφανειακές χαλαρές αποθέσεις, ενώ συγκρίνοντας τους επικρατέστερους τύπους κατολισθητικής κίνησης **(Πίνακας 4.9)** για τον Δήμο Αγράφων με τους αντίστοιχους του Ελλαδικού χώρου, παρατηρείται μια σχετική ταύτιση ως προς την ιεράρχηση όπως επίσης και ως προς την κατάταξη των κινήσεων αυτών. Τελικώς, στο **Σχήμα 6.16** του κειμένου, αντανακλώνται οι θέσεις των κατολισθήσεων της περιόδου 1967 - 2017. Ακολουθεί ο **Πίνακας 6.1** όπου συνοψίζονται τα οκτώ (8) πιο «πρόσφατα» κατολισθητικά γεγονότα.

Α/Α Συμβάντος	Περιοχή Εκδήλωσης	Ημερομηνία Καταγραφής	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Υψόμετρο Περιοχής	Κλίση Εδάφους	Λιθολογική Ενότητα
1	Κερασοχώρι	21/12/2017	294247,42	4319476,45	1.080 μέτρα	29°	Φλύσχης
2	Γρανίτσα	02/12/2017	284904,07	4330115,18	780 μέτρα	28°	Αλλούβια
3	Ραπτόπουλο	30/11/2016	281451,06	4337161,58	1.030 μέτρα	37°	Φλύσχης
4	Άγραφα	03/11/2016	296303,35	4334192,02	850 μέτρα	34°	Φλύσχης
5	Λιθοχώρι	08/11/2015	285037,56	4334329,87	1.060 μέτρα	32°	Φλύσχης
6	Τροβάτο	20/02/2015	287958,99	4343727,81	970 μέτρα	26°	Φλύσχης
7	Λημέρι	02/02/2014	286512,25	4326864,77	790 μέτρα	23°	Φλύσχης
8	Βασιλέσι	27/01/2013	285380,37	4338767,19	960 μέτρα	29°	Φλύσχης

Πίνακας 6.1 Σύνοψη των πιο πρόσφατων -έως το 2017- κατολισθητικών συμβάντων (Πηγή: ΙΓΜΕ)



Σχήμα 6.16 Χάρτης απεικόνισης των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων για τον Δήμο Αγράφων

6.4. Επικαιροποίηση & διερεύνηση των στοιχείων

Μετά από την απαραίτητη επεξεργασία των δεδομένων, με τις αναγκαίες ψηφιοποιήσεις οντοτήτων και τις μετατροπές αρχείων (όπου αυτό χρειάστηκε) για την κατάλληλη διαχείρισή τους, με απώτερο στόχο την δημιουργία των θεματικών επιπέδων πληροφοριών (layers) βάσει των οποίων υλοποιείται η ανάπτυξη των μοντέλων εκτίμησης του κινδύνου έναντι γεωλογικών αστοχιών και κατ' επέκταση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας στον Δήμο Αγράφων, στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται ένα ακόμη σημαντικό στάδιο που αποτελεί συνάμα έναν ταυτόχρονο επανέλεγχο των δεδομένων που μετατράπηκαν σε προγενέστερο χρόνο σε πολύτιμα στοιχεία, ενημερώνοντας έτσι τη βάση δεδομένων με οποιαδήποτε τυχόν πρόσφατη αλλαγή, ενώ παράλληλα με την εν λόγω ενέργεια μελετώνται και διερευνώνται εκτενέστερα οι ήδη αναλυμένες πληροφορίες. Ουσιαστικά γίνεται μια επικαιροποίηση με ταυτόχρονο εμπλουτισμό του συνόλου εκπαίδευσης, όπου αργότερα χρησιμοποιείται στην διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας για την υπό εξέταση περιοχή.

Στην προαναφερθείσα διεργασία, δηλαδή αυτή της επικαιροποίησης και διερεύνησης των στοιχείων, μείζον βοηθητικό δεδομένο συνιστά η αποτύπωση των καταγεγραμμένων κατολισθητικών συμβάντων της περιόδου 1967 – 2017, χάρτης ο οποίος απεικονίζεται στην προηγούμενη υποενότητα και μέσω αυτού επαληθεύονται κατά κάποιο τρόπο τα παραγόμενα αποτελέσματα, δεδομένης της παραδοχής ότι οι γεωλογικές αστοχίες έχουν την τάση να εκδηλώνονται ή να επανεμφανίζονται σε ίδιες περίπου θέσεις, σε σημαντικά μεγάλο ποσοστό. Τα τελικώς χρησιμοποιηθέντα θεματικά επίπεδα είναι τα εξής:

1. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (υψόμετρο).
2. Μορφολογικές κλίσεις των πρανών.
3. Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής.
4. Υδρολιθολογία των σχηματισμών.
5. Προσανατολισμός των πρανών.
6. Χρήση και κάλυψη γης.
7. Μέσο ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων.
8. Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο.
9. Απόσταση από τα τεκτονικά στοιχεία.

6.5. Μοντέλα εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου

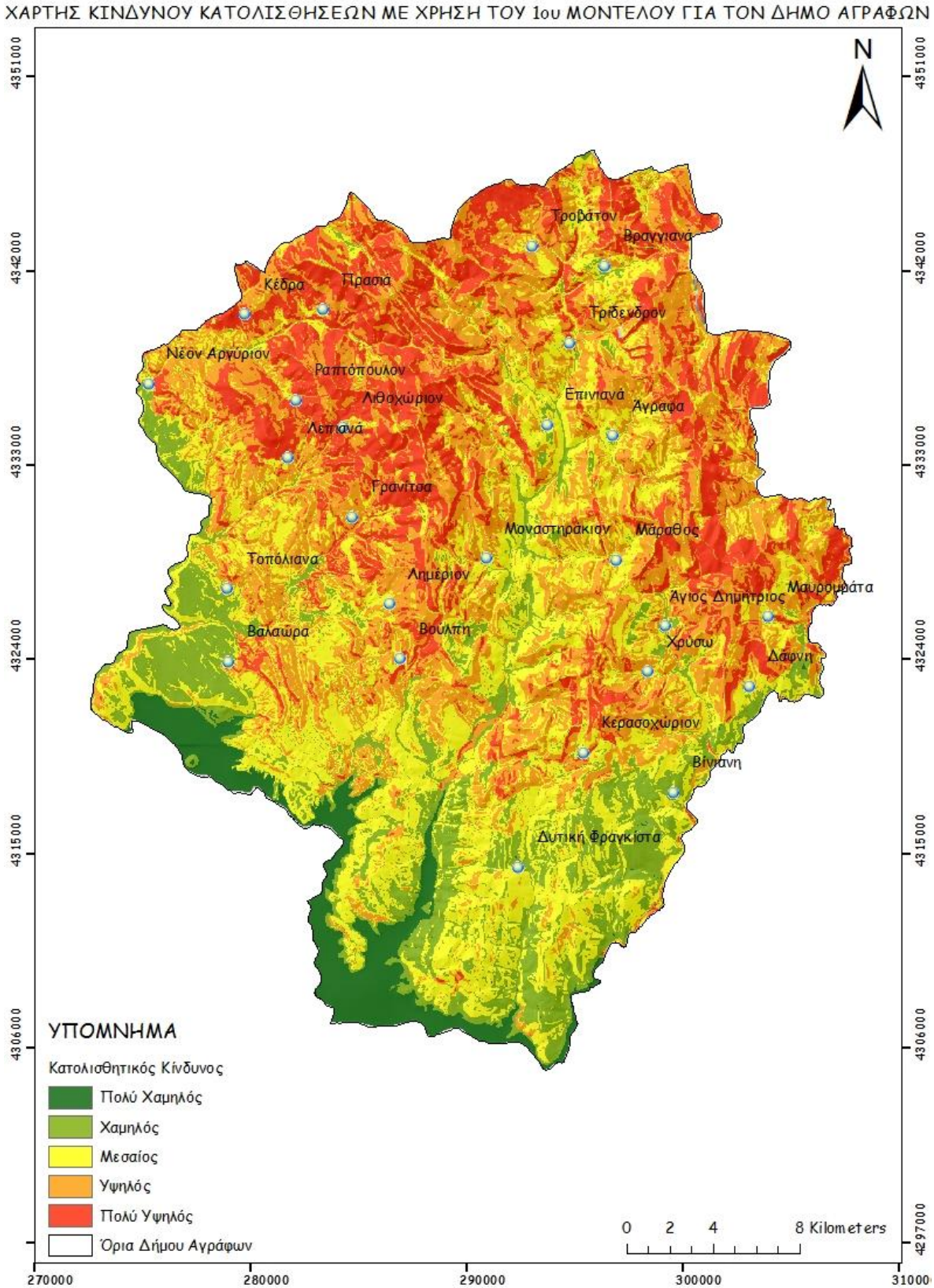
6.5.1. Πολυκριτηριακή ανάλυση με συντελεστές βάρους

Στην παρούσα μεθοδολογία πραγματοποιείται απόδοση των συντελεστών βαρύτητας για τα θεματικά επίπεδα πληροφοριών τα οποία λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση κατολισθητικής επικινδυνότητας. Αναφορικά με το θεωρητικό μέρος της παρούσας τεχνικής, αναπτύσσεται στο προηγούμενο κεφάλαιο της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, ενώ αξίζει επιπλέον να επισημανθεί ότι η κύρια διαφορά της εν λόγω μεθόδου με εκείνη της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (AHP), έγκειται στο γεγονός ότι εδώ οι συντελεστές βάρους δίνονται ανεξαρτήτως της μεταξύ τους συσχέτισης, θεωρώντας κατά την κρίση του ερευνητή ποιοι παράγοντες είναι σπουδαιότεροι και ποιοι εξ αυτών ήσσονος σημασίας. Εν συνεχεία του κειμένου παρατίθεται ο **Πίνακας 6.2** επί του οποίου εμφανίζονται συγκεντρωτικά οι παράγοντες βάσει των οποίων εκτιμάτε ο κίνδυνος έναντι κατολισθήσεων με τον κάθε συντελεστή βαρύτητας, οι "κατηγοριοποιημένες" κλάσεις των παραγόντων με την αντίστοιχη διαβάθμιση, καθώς επίσης και η ερευνητική πηγή μέσω της οποίας προέκυψε η εκάστοτε βαθμονόμηση των παραγόντων. Έπειτα, αφού ακολουθηθεί η διαδικασία όπως άλλωστε αυτό απαιτείται, στο **Σχήμα 6.17** του κειμένου απεικονίζεται ο χάρτης εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου συναρτήσει των συντελεστών βαρύτητας.

Παράγοντες κατολισθήσεων	Κατηγοριοποίηση των κλάσεων	Βαθμονόμηση των κλάσεων	Συντελεστές βαρύτητας	Σχόλια και παρατηρήσεις
Υψόμετρο	0 m – 400 m	1	1*0,9= 0,9	Ιεράρχηση των κλάσεων ανά 400 μέτρα και σε συνάρτηση με τις καταγεγραμμένες γεωαστοχίες
	400 m – 800 m	2	2*0,9= 1,8	
	800 m - 1.200 m	3	3*0,9= 2,7	
	1.200 m - 1.600 m	6	6*0,9= 5,4	
	1.600 m - 2.000 m	5	5*0,9= 4,5	
	2.000 m - 2.400 m	4	4*0,9= 3,6	
Κλίσεις	0,00° - 10,00°	1	1*1,1= 1,1	Βαθμονόμηση βάσει ιστορικού της περιοχής και της μελέτης των Κούκη & Ζιούρκα
	10,01° - 20,00°	2	2*1,1= 2,2	
	20,01° - 35,00°	4	4*1,1= 4,4	
	35,01° - 50,00°	5	5*1,1= 5,5	
	50,01° - 60,00°	3	3*1,1= 3,3	

Γεωλογία	Σχιστοκερατόλιθοι	1	1*1,3= 1,3	Κατηγοριοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας συναρτήσει της διεθνούς βιβλιογ.
	Ανθρακικά πετρώματα	2	2*1,3= 2,6	
	Μεταμορφωμένα πετρ.	3	3*1,3= 3,9	
	Φλυσχικοί σχηματισμοί	6	6*1,3= 7,8	
	Νεογενείς σχηματισμοί	5	5*1,3= 6,5	
	Πρόσφατες αποθέσεις	4	4*1,3= 5,2	
Υδρολιθολογία	Μακροπερατοί σχηματισμοί	1	1*1,2= 1,2	Διακριτοποίηση και ιεράρχηση των κλάσεων βάσει εκθέσεων του ΙΓΜΕ
	Μικροπερατοί σχηματισμοί	2	2*1,2= 2,4	
	Ημιπερατοί σχηματισμοί	3	3*1,2= 3,6	
	Αδιαπέρατοι σχηματισμοί	4	4*1,2= 4,8	
	Αλλουβιακοί σχηματισμοί	5	5*1,2= 6,0	
Διεύθυνση	Επίπεδες περιοχές	1	1*0,7= 0,7	Απόδοση βαρών στις κλάσεις σύμφωνα με την εργασία του Ρόζου (2008)
	Νοτιοανατολική (ΝΑ)	2	2*0,7= 1,4	
	Βορειοανατολική (ΒΑ)	3	3*0,7= 2,1	
	Νοτιοδυτική (ΝΔ)	4	4*0,7= 2,8	
	Βορειοδυτική (ΒΔ)	5	5*0,7= 3,5	
Χρήσεις γης	Κωνοφόρα - αείφυλλα	1	1*0,8= 0,8	Ιεράρχηση των κλάσεων με βάση κατολισθητικά στοιχεία της περιοχής μελέτης
	Φυλλοβόλα δέντρα	2	2*0,8= 1,6	
	Δενδρώδεις εκτάσεις	3	3*0,8= 2,4	
	Δομημένες περιοχές	4	4*0,8= 3,2	
	Γυμνά εδάφη (βράχοι)	5	5*0,8= 4,0	
Βροχοπτώσεις	0mm - 1.200mm	1	1*1,4= 1,4	Βαθμονόμηση των συντελεστών σε συνάρτηση με τις τεχνικογεωλογικ. εκθέσεις ΙΓΜΕ
	1.200mm - 1.400mm	2	2*1,4= 2,8	
	1.400mm - 1.600mm	3	3*1,4= 4,2	
	1.600mm - 1.800mm	4	4*1,4= 5,6	
	> 1.800mm	5	5*1,4= 7,0	
Απόσταση από υ/δ	0m-50m	4	4*0,8= 3,2	Διαμόρφωση των κλάσεων βάσει εργασίας του Ρόζου (2011)
	50m-100m	3	3*0,8= 2,4	
	100m-150m	2	3*0,8= 1,6	
	150m-200m	1	1*0,8= 0,8	
Απόσταση από τ/σ	0m-100m	4	4*0,8= 3,2	Προσαρμογή κατηγοριών και ταξινόμηση με βιβλ. κριτήρια
	100m-250m	3	3*0,8= 2,4	
	250m-500m	2	2*0,8= 1,6	
	500m-750m	1	1*0,8= 0,8	

Πίνακας 6.2 Προσδιορισμός κατολισθητικών παραγόντων & συντελεστών βάρους πολυκριτηριακής ανάλυσης



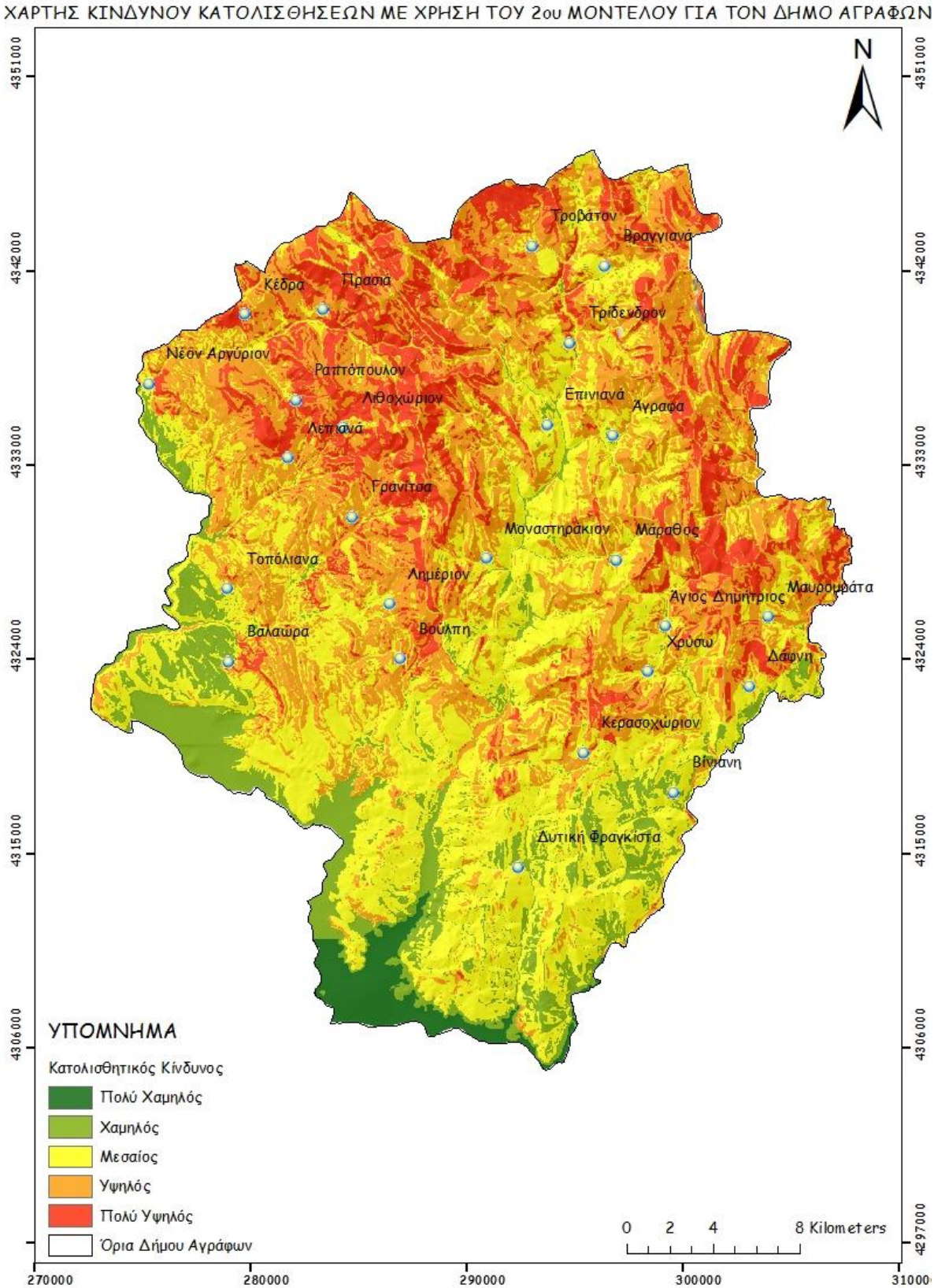
Σχήμα 6.17 Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου με συντελεστές βάρους για τον Δήμο Αγράφων

6.5.2. Μέθοδος αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας

Κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής κρίθηκε σκόπιμη η ανάπτυξη και μιας δεύτερης μεθοδολογίας, η οποία ναι μεν βασίζεται κι αυτή στην πολυκριτηριακή ανάλυση, ωστόσο συσχετίζει ανά ζεύγη και παράλληλα συγκρίνει τους παράγοντες - συντελεστές που τελικώς λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων στην υπό εξέταση περιοχή του Δήμου Αγράφων. Το θεωρητικό υπόβαθρο ανάπτυξης της παρούσης μεθοδολογίας περιγράφεται με αναλυτικό τρόπο στο προγενέστερο κεφάλαιο και πιο συγκεκριμένα στην Υποενότητα 5.2.5 που φέρει τίτλο "Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία". Η σκοπιμότητα της δημιουργίας μιας επιπλέον τεχνικής και κατ' επέκταση της παραγωγής ενός ακόμη χάρτη επί του οποίου θα αποδίδεται η κατολισθητική επικινδυνότητα, έγκειται στο γεγονός ότι αφενός μεν είναι προτιμότερο να υπάρχει μία περαιτέρω εκτίμηση της κατολισθητικής εικόνας της περιοχής μελέτης, αφετέρου δε συνιστά «επιβεβλημένη» διαδικασία κατά κάποιο τρόπο η ανάπτυξη ενός επιπρόσθετου μοντέλου καθώς η σύγκριση των αποτελεσμάτων και η ενδεχόμενη διαφοροποίησή τους σε μεγάλο ποσοστό υποδεικνύει ότι ένα από τα μοντέλα δεν έχει εκτελεστεί ορθά. Ακολούθως παρουσιάζεται ο **Πίνακας 6.3** με τους παράγοντες εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου και τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν μετά από τις ζευγαρωτές συγκρίσεις της μεθόδου AHP ενώ στο **Σχήμα 6.18** αντικατοπτρίζεται ο αποδιδόμενος χάρτης κινδύνου για τον Δήμο Αγράφων.

Κατολισθητικοί Παράγοντες	Υψόμετρο	Κλίσεις	Γεωλογία	Υδρολιθολογία	Διεύθυνση	Χρήσεις γης	Βροχοπτώσεις	Απόσταση από υ/δ	Απόσταση από τ/σ	Συντελεστές βάρους
Υψόμετρο	1,00	5,00	3,00	3,00	5,00	3,00	5,00	2,00	2,00	0,10
Κλίσεις	0,20	1,00	7,00	5,00	5,00	3,00	9,00	2,00	4,00	0,13
Γεωλογία	0,33	0,14	1,00	7,00	4,00	4,00	9,00	5,00	4,00	0,15
Υδρολιθολογία	0,33	0,20	0,14	1,00	2,00	4,00	7,00	6,00	3,00	0,15
Διεύθυνση	0,20	0,20	0,25	0,50	1,00	3,00	7,00	3,00	3,00	0,10
Χρήσεις γης	0,33	0,33	0,25	0,25	0,33	1,00	6,00	4,00	4,00	0,10
Βροχοπτώσεις	0,20	0,11	0,11	0,14	0,14	0,17	1,00	3,00	3,00	0,17
Απόσταση υ/δ	0,50	0,50	0,20	0,17	0,33	0,25	0,33	1,00	3,00	0,05
Απόσταση τ/σ	0,50	0,25	0,25	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	1,00	0,05

Πίνακας 6.3 Συγκρίσεις ανά ζεύγη παραγόντων με βάση την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP)



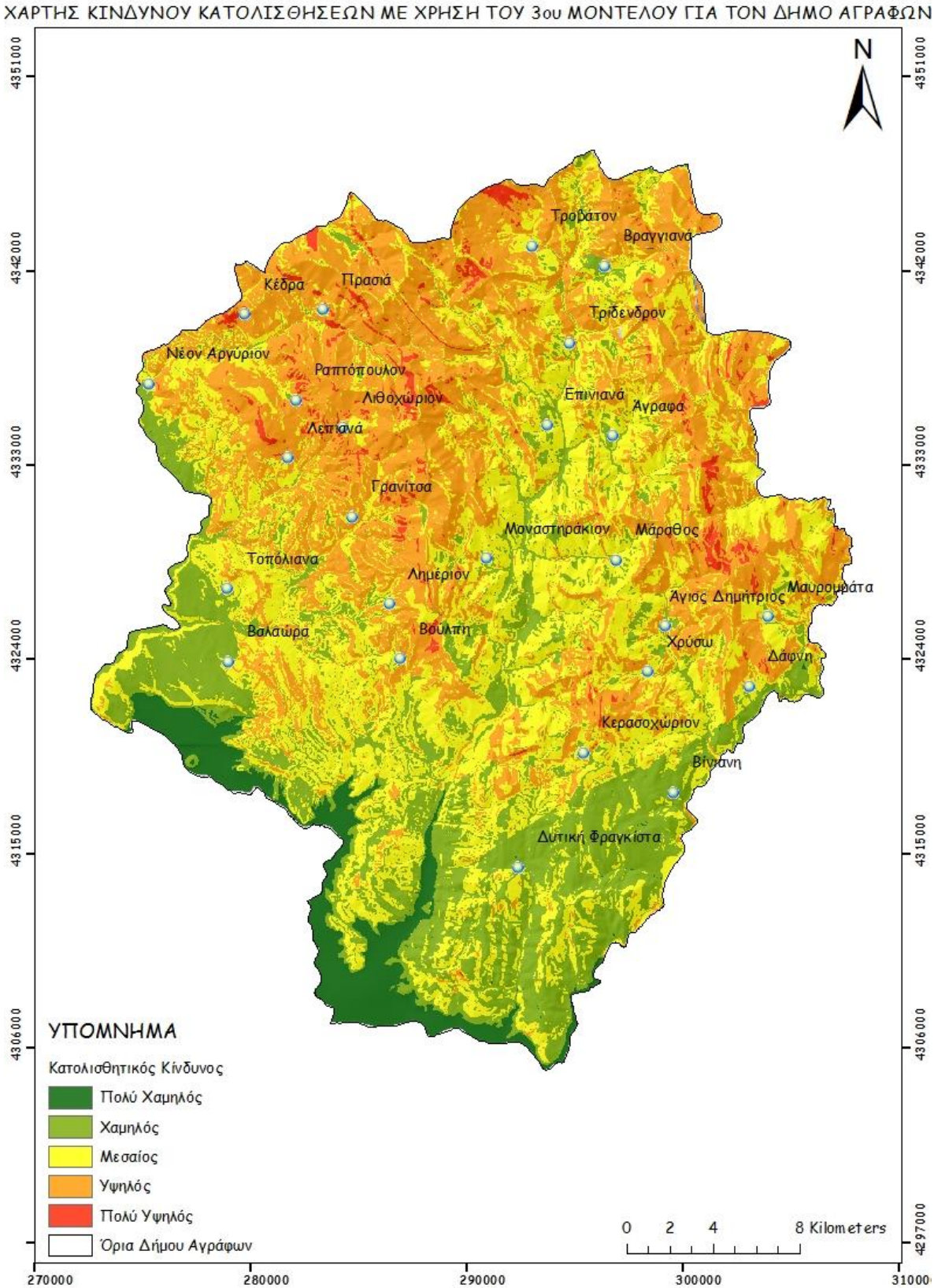
Σχήμα 6.18 Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου με χρήση Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

6.5.3. Χρήση μεθόδων χωρίς τη συμμετοχή υδρογεωλογικών παραγόντων

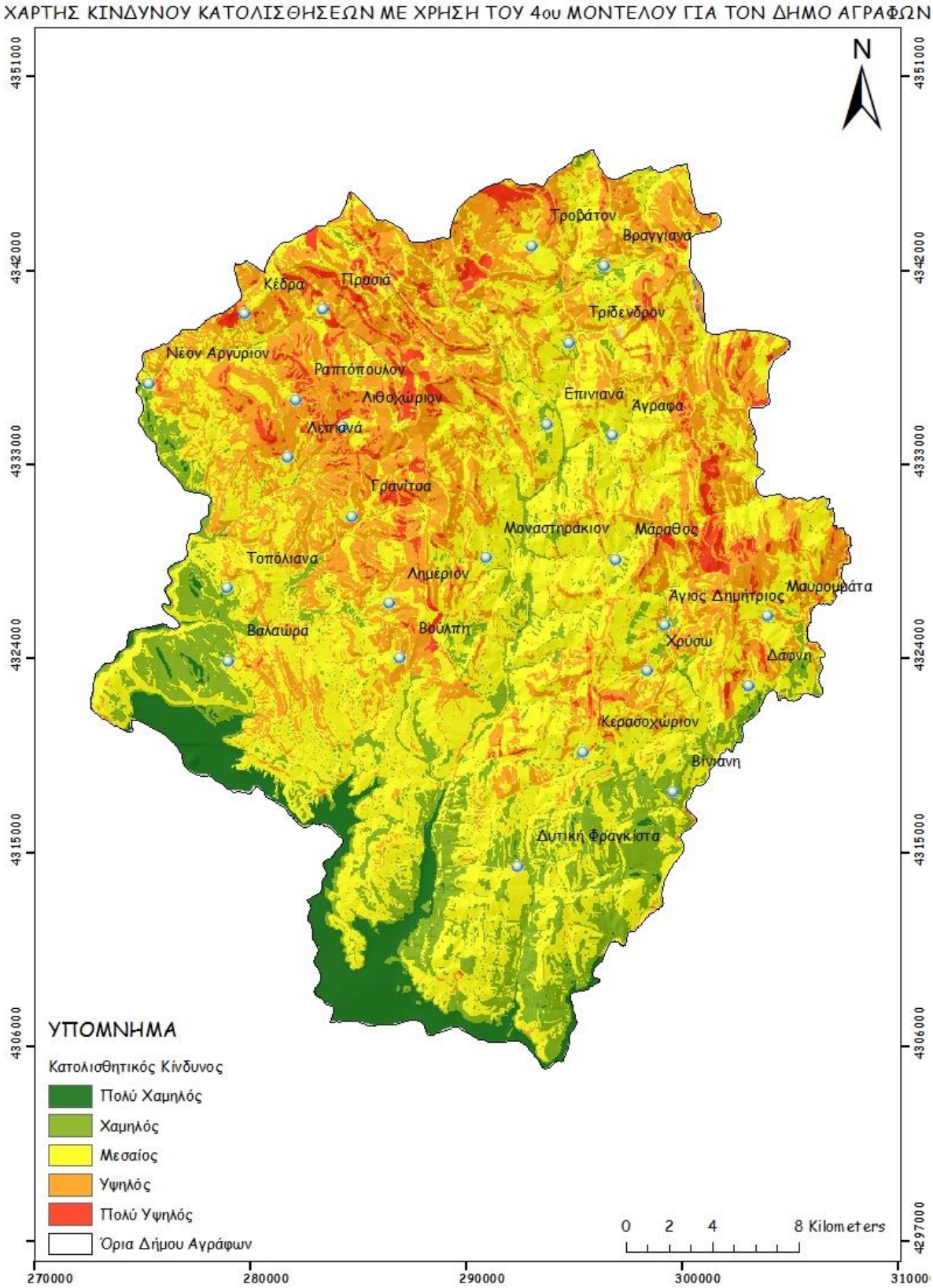
Στα τελευταία μοντέλα εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου για τον Δήμο Αγράφων, με σκοπό να αποδειχθεί έτι περαιτέρω και με περίτρανο τρόπο η σπουδαιότητα που ενέχουν στην εκδήλωση αυτού του φαινομένου οι υδρογεωλογικοί παράγοντες, γίνεται εφαρμογή των ίδιων ακριβώς μεθοδολογιών (δηλαδή της πολυκριτηριακής ανάλυσης με συντελεστές βάρους και χρήση της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας), επαληθεύοντας ουσιαστικά τα όσα έως τώρα έχουν λεχθεί σχετικά με την έμφαση στα υδρογεωλογικά στοιχεία που οφείλει κανείς να δίδει όταν εξετάζει τις κατολισθητικές μετακινήσεις. Επ' αυτού αξίζει να σημειωθεί ότι οι προαναφερόμενοι υδρογεωλογικοί παράγοντες, ήτοι η περατότητα των σχηματισμών καθώς επίσης και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (τα οποία αμφότερα δυνητικά επηρεάζουν και άλλες κατολισθητικές παραμέτρους όπως η βλάστηση και η διάβρωση του εδάφους), σε συνδυασμό με το κατακερματισμένο γεωλογικό υπόβαθρο της εξεταζόμενης περιοχής επιδρούν με «επιτελικό» ρόλο κατά την εξέλιξη του κατολισθητικού μηχανισμού από την γένεση έως την αστοχία.

Συν τοις άλλοις, στους υδρογεωλογικούς παράγοντες που συμβάλλουν αρνητικά στην εμφάνιση των κατολισθήσεων περιλαμβάνεται και η ύπαρξη υπογείων υδάτων σε βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες των οποίων υδάτων η κίνηση επηρεάζει τα στρώματα του υπεδάφους, αφού προσπαθώντας να βρούνε οδό διαφυγής πιέζουνε τα πλευρικά τοιχώματα επιφέροντας με τον τρόπο αυτό σημαντικές αλλαγές στη συνοχή και στη συνεκτικότητα των πετρωμάτων ή των σχηματισμών που συγκροτούν μια ενότητα.

Με βάση τα παραπάνω και εν είδει σύνοψης αναφορικά με τον μείζονα ρόλο που διαδραματίζουν οι υδρογεωλογικοί παράγοντες -ως άμεσα εμπλεκόμενοι συντελεστές- στην εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών, δύναται μετά βεβαιότητας να ειπωθεί ότι τόσο η υδατοπερατότητα των σχηματισμών της εκάστοτε περιοχής, η ύπαρξη των υπογείων υδάτων, όσο και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με ιδιαίτερη έμφαση στις έντονες και παρατεταμένης διάρκειας βροχοπτώσεις, συνιστούν αναμφιβόλως τους βασικότερους λόγους δημιουργίας μίας κατολίσθησης αποτελώντας είτε την γενεσιουργό αιτία του φαινομένου, είτε το τελικό έναυσμα αυτής. Η εν λόγω διαπίστωση προκύπτει αφενός μεν από τα αποτελέσματα της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, αφετέρου δε από έρευνες και μελέτες στις οποίες εξετάζονται οι κατολισθήσεις ως φυσικός κίνδυνος και εν δυνάμει καταστροφές. Επιπροσθέτως, πληθώρα τεχνικογεωλογικών εκθέσεων του ΙΓΜΕ, συνομολογούν τα λεγόμενα αυτά.



Σχήμα 6.19 Εκτίμηση κατολισθητικού κινδύνου χωρίς υδρογεωλογικούς παράγοντες με συντελεστές βάρους



Σχήμα 6.20 Εκτίμηση κατολισθητικού κινδύνου χωρίς υδρογεωλογικούς παράγοντες με χρήση AHP

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. Σύνοψη της μεταπτυχιακής διατριβής

Με το πέρας της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής και καθώς ακολουθήθηκε με προσήλωση μία εργασία η οποία δεν βασίζεται εξ ολοκλήρου σε θεωρητικά στοιχεία αλλά και σε έρευνα πεδίου (στο μέτρο που αυτό κατέστη εφικτό εντός ενός ακαδημαϊκού έτους), δύναται να εξαχθούν κάποια ασφαλή συμπεράσματα. Στο γενικότερο πλαίσιο εξέτασης του κατολισθητικού φαινομένου, εντάσσοντάς τες σε ένα ευρύ διεπιστημονικό φάσμα, συνιστά κοινή παραδοχή το γεγονός ότι οι γεωλογικές αστοχίες αποτελούν δυνητικό κίνδυνο με καταστροφικές συνέπειες τόσο για το φυσικό όσο και για το δομημένο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η προσομοίωσή του, δεδομένου του μεταβαλλόμενου καθεστώτος στο οποίο εκδηλώνονται, καθώς και της πολυπλοκότητας των εξελισσόμενων διεργασιών του, λογίζεται ως ένα στάδιο που είναι πρακτικά ανέφικτο ή ακόμη και μη ρεαλιστικό. Για τον λόγο αυτό, η "κατανόηση" του εξελικτικού μηχανισμού του, απαρτίζει αναπόσπαστο τμήμα στην πρόβλεψη κι αντιμετώπισή του, είτε με αποσόβηση του κινδύνου είτε με την κατάρτιση των κατάλληλων μέτρων για τη λήψη προστασίας.

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας του χαρακτήρα του εν λόγω φαινομένου και της διαφοροποίησης των μεθόδων διερεύνησής του, ανάλογα κάθε φορά την κλίμακα έρευνας, ο προσδιορισμός του κινδύνου έναντι κατολισθήσεων παραμένει πάντοτε ένα ζήτημα ανοικτό προς έρευνα. Επιπλέον, η δυσκολία ερμήνευσης και αποκρυπτογράφησης του φαινομένου, προέρχεται αφενός μεν από τη στοχαστικότητα της αφορμής (σεισμικές δράσεις & ύψος υετού), αφετέρου δε από τον συχνά «χαοτικό» χαρακτήρα του υλικού το οποίο κατολισθαίνει. Ο προσδιορισμός του κινδύνου των κατολισθητικών συμβάντων συνιστά επίσης σύνθετο πρόβλημα λόγω της πολυμεταβλητότητας του φυσικού συστήματος, όπως επίσης και εξαιτίας της δυσκολίας που αποδίδεται στον προσδιορισμό των απαραίτητων δεδομένων εισόδου τα οποία απαρτίζουν ενδεχομένως το σημαντικότερο μέρος στην διαδικασία της ανάλυσης (input data).

Επί της ουσίας, ως μείζον ζητούμενο για τη συγκεκριμενοποίηση του φαινομένου των γεωλογικών αστοχιών συνίσταται η ορθότερη δυνατή εκτίμηση των στοιχείων εκείνων τα οποία καθορίζουν την περιοχή όπου αναμένεται να λάβει χώρα το γεγονός, η αποσαφήνιση του μηχανισμού ενεργοποίησης και εναύσματος τέτοιων γεγονότων, αλλά και η χρονική περίοδος κατά την οποία θα πραγματοποιηθεί.

Κατά συνέπεια, ο παράγοντας της αβεβαιότητας η οποία περιέχεται σε ένα κατολισθητικό γεγονός, διακρίνεται έτι περαιτέρω σε αβεβαιότητα λόγω φυσικών μεταβλητών και αβεβαιότητα λόγω έλλειψης γνώσης. Αναφορικά με την αβεβαιότητα που έγκειται σε φυσικές μεταβλητές, αυτή προσδιορίζεται μέσω χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας ενώ η αβεβαιότητα λόγω έλλειψης γνώσης εμπεριέχει την υστέρηση επακριβή προσδιορισμού του φαινομένου εξαιτίας είτε αναξιόπιστων δεδομένων ή και πιθανού σφάλματος των στοχαστικών μεθόδων που χρησιμοποιεί το μοντέλο εκτίμησης του κινδύνου.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή η οποία φέρει τίτλο "Εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης για την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου με έμφαση στον ρόλο των υδρογεωλογικών παραγόντων. Η περίπτωση του Δήμου Αγράφων", μελετάται και εξετάζεται το κατολισθητικό φαινόμενο τόσο ως προς το μηχανισμό λειτουργίας του με ταυτόχρονο προσδιορισμό των παραγόντων και των διεργασιών που εμπλέκονται σε αυτό, όσο κι ως προς τη χωρική κυρίως επαναληψιμότητα του με την ανάδειξη των επιρρεπών θέσεων της προαναφερθείσης περιοχής. Έτσι, διερευνάται αφενός μεν η συσχέτιση των κατολισθητικών παραμέτρων (συνιστωσών), αφετέρου δε η αλληλεπίδρασή τους προσδιορίζοντας ουσιαστικά τον συντελεστή βαρύτητας που επιφέρει κάθε μία παράμετρος χωριστά στο φαινόμενο.

Με αφορμή τα παραπάνω, εκτός από τις βασικές μεθόδους εκτίμησης με χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης, ήτοι με συντελεστές βαρύτητας και με εφαρμογή της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας περιλαμβάνοντας όλες τους εμπλεκόμενους παράγοντες, αναπτύχθηκαν δύο (2) επιπλέον μοντέλα με τις ίδιες ακριβώς τεχνικές χωρίς ωστόσο να συνυπολογίζονται οι παράμετροι που σχετίζονται με την υδρογεωλογία και με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, δεδομένης της μεταξύ τους συνάφειας.

Το ζήτημα των παραγόντων οι οποίοι συνεπιδρούν στην εμφάνιση του φαινομένου, όπως επίσης και η ενδελεχής εξέταση του μηχανισμού γένεσης των κατολισθητικών συμβάντων, αποτελούν πρόκληση για έρευνα αφού τα επακριβή αίτια δεν έχουν διερευνηθεί πλήρως και κατανοηθεί σε απόλυτο βαθμό από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Η μελέτη αμφότερων των βασικών διεργασιών και του μηχανισμού εξέλιξης του φυσικού αυτού κινδύνου συνιστά αντικείμενο πολύτιμης έρευνας όπου κατά κύριο λόγο αποσκοπεί στο να οδηγήσει σε λεπτομερή διάγνωση μελλοντικών κινήσεων, καθορισμό ενεργοποίησης νέων κατολισθήσεων (αναδεικνύοντας τις κυρίαρχες παραμέτρους) και εν κατακλείδι στον μετριασμό έκτασης της καταστροφικότητάς τους, μέσω της λήψης έγκαιρων μέτρων στις κατάλληλες θέσεις.

7.2. Παραγόμενα στοιχεία και συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, ένα αρχικό στάδιο εκτίμησης του κινδύνου γεωλογικών αστοχιών σε μια περιοχή της κεντρικής Ελλάδας που βρίσκεται αντιμέτωπη με τέτοια φαινόμενα πολύ συχνά, έχει ολοκληρωθεί. Η γνώση της συμπεριφοράς των κατολισθήσεων (ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν) και η εμπειρία μέσω καταγεγραμμένου ιστορικού, μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο στην πρόληψη ή ακόμη και στην πρόβλεψή τους. Ακολούθως, στον **Πίνακα 7.1** παρατίθενται για όλα τα μοντέλα πρόβλεψης, οι αντίστοιχες εκτάσεις που καλύπτει κάθε κλάση (βαθμίδα) κινδύνου, ενώ επισημαίνονται συνοπτικά τα κυριότερα παραγόμενα συμπεράσματα που μπορούν να αποδοθούν με ασφάλεια από τη στατιστική επεξεργασία των καταγεγραμμένων συμβάντων καθώς και τη χωρική τους τοποθέτηση μέσα από τη χρήση των εργαλείων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

	Μοντέλο εκτίμησης με συντελεστές βάρους	Μοντέλο εκτίμησης συναρτήσει της AHP	Μοντέλο εκτίμησης με σ.β. χωρίς υδρ. παράγοντες	Μοντέλο εκτίμησης AHP χωρίς υδρ. παράγοντες
Πολύ Χαμηλός	43,797 km^2	19,801 km^2	43,797 km^2	49,131 km^2
Χαμηλός	126,148 km^2	94,237 km^2	198,295 km^2	129,497 km^2
Μεσαίος	270,605 km^2	343,753 km^2	333,173 km^2	437,520 km^2
Υψηλός	301,341 km^2	322,263 km^2	324,404 km^2	265,346 km^2
Πολύ Υψηλός	175,928 km^2	137,766 km^2	18,151 km^2	36,326 km^2

Πίνακας 7.1 Συνολική καταληφθείσα έκταση κλάσεων των μοντέλων εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου

Αποδίδονται συνολικά οι εξής τέσσερις (4) παρατηρήσεις ως κυρίαρχα εξαγόμενα συμπεράσματα:

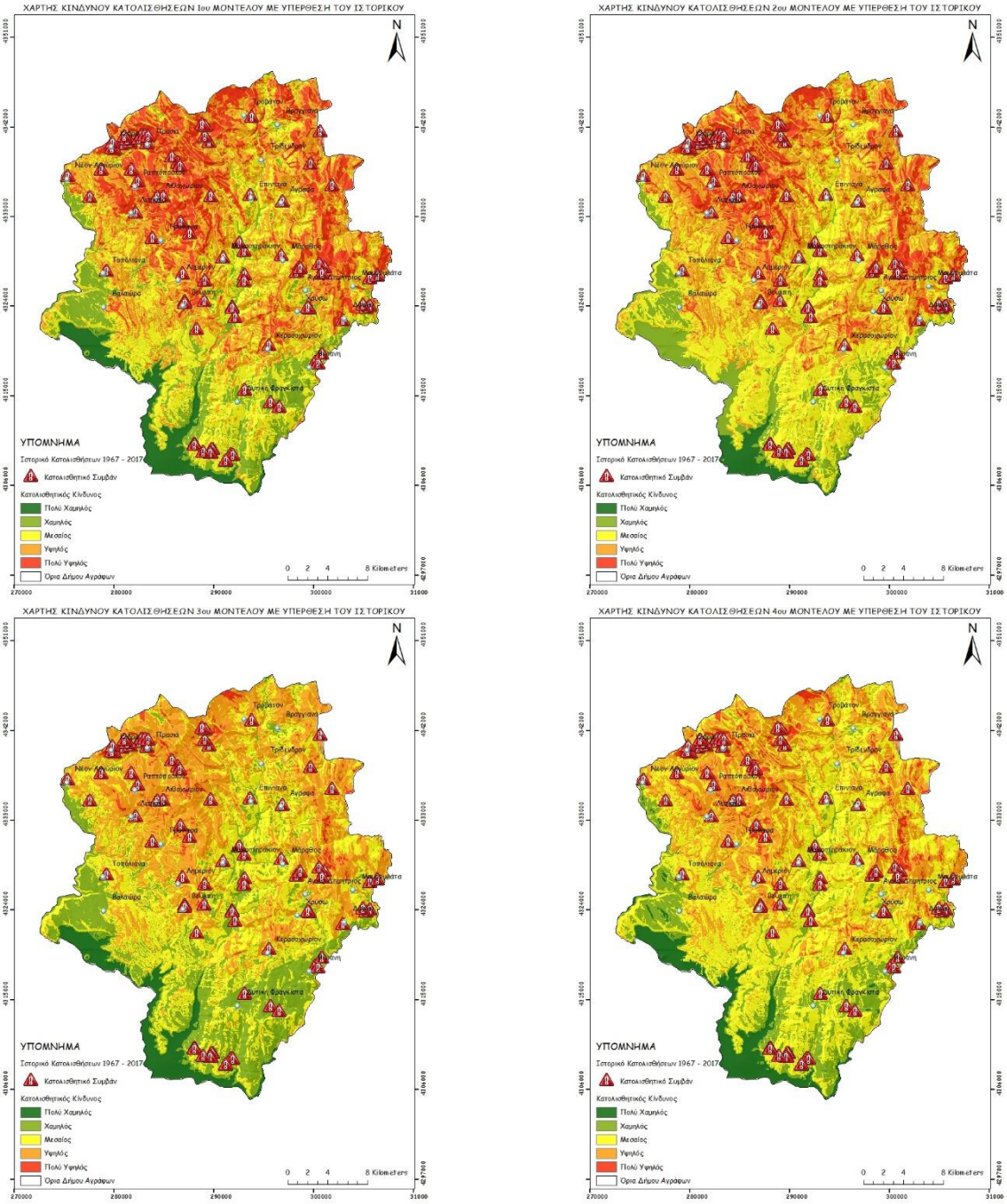
1. Οι έντονες και οι παρατεταμένες βροχοπτώσεις αλλάζουν άρδην το "κατολισθητικό τοπίο" στην περιοχή μελέτης όπως επίσης κι η υδροπερατότητα των σχηματισμών σε συνδυασμό με τα υπόγεια ύδατα των βαθύτερων υδροφόρων οριζόντων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση γεωλογικών αστοχιών με αποτέλεσμα τη συχνή παρουσία κατολισθήσεων.
2. Τα περισσότερα κατολισθητικά φαινόμενα ανεξαρτήτως υλικού παρουσιάζονται με σύνθετη μορφή έχοντας ποσοστό 30,40%, με τη μορφή ερπυσμού σε ποσοστό 24,80% και με τη μορφή καταπτώσεων με ποσοστό της τάξης του 11,20% ενώ τέλος ακολουθούν οι ροές εδάφους και οι περιστροφικές κινήσεις με ποσοστά που ανέρχονται σε 8,00% και 6,40% αντίστοιχα.

3. Η πλειοψηφία εμφάνισης των καταγεγραμμένων κατολισθητικών συμβάντων λαμβάνουν χώρα σε μορφολογία που απαντώνται μέτριες κλίσεις δηλαδή από 15° έως 30°, όπου στην κλάση αυτή σημειώνονται κατά προσέγγιση η μία στις δύο αστοχίες, ενώ η αμέσως επόμενη ζώνη κλίσεων μεταξύ 30° και 45° σημειώνεται συχνότητα εμφάνισης μία στις τέσσερις αστοχίες.
4. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής που φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο την εξέλιξη τέτοιων γεγονότων είναι μεταξύ 1400 και 1600 χιλιοστών αφού σε αυτή τη βαθμίδα καταγράφεται ποσοστό της τάξης του 34,40% ενώ ακολουθεί η ζώνη μεταξύ των 1200 και 1400 χιλιοστών με ποσοστό 25,60% και εκείνη των 1600 έως 1800 με ποσοστό που φτάνει το 22,40%.

Επιπρόσθετα, μετά τη χαρτογραφική απεικόνιση των καταγεγραμμένων κατολισθητικών συμβάντων, του υδρογραφικού δικτύου, της βλάστησης και του γεωλογικού υποθέματος και τον υπολογισμό των μορφομετρικών και υδρογραφικών τους χαρακτηριστικών, όπως επίσης και την ανάλυση των αιτιών, όπως του μηχανισμού λειτουργίας των γεωλογικών αστοχιών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία:

a. Ο γεωλογικός σχηματισμός του φλύσχη που συγκροτεί κατά κύριο λόγο τις ορεινές λεκάνες απορροής της ευρύτερης περιοχής έρευνας αποτελεί "πρόσφορο" γεωλογικό υπόβαθρο για την εμφάνιση γεωλογικών μετακινήσεων και αστοχιών αφού συνιστά επιρρεπές υλικό.
b. Οι έντονες - παρατεταμένες βροχοπτώσεις, καθώς και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα εν συνόλω, οι οποίες καταγράφονται στο Δήμο Αγράφων, λογίζονται ως παράγοντας μείζονος σημασίας της κύριας δράσης του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων.
c. Οι υποσκαφές στους πόδες των πρανών, στις κοίτες χειμαρρικών ρευμάτων και οι έντονες διαβρώσεις, υποβαθμίζοντας την εδαφική σύσταση και τη συνεκτικότητα, καταστρέφουν τη στατική ισορροπία των πρανών δημιουργώντας χαραδρωσιγενείς και διογκωσιγενείς τάσεις.
d. Τέλος, η έντονη παρουσία ανθρωπογενούς επίδρασης προκαλεί μη αναστρέψιμες αλλοιώσεις στην ευστάθεια των πρανών, διαταράσσοντας σε κάθε περίπτωση την ισορροπία τους.

Βάσει των ανωτέρω, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι οι δυνατότητες ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για τη διαχείριση κινδύνου, δεν σταματούν σε καμία των περιπτώσεων στο ερευνητικό πλαίσιο και τη δοκιμασία στατιστικών μεθόδων εξαγωγής αποτελεσμάτων, αλλά είναι δυνατό να έχουν χαρακτήρα πρακτικό και εφαρμόσιμο τόσο στο στάδιο της πρόληψης (πρόβλεψη, ενημέρωση, άμεση επέμβαση) όσο και στο στάδιο της αποκατάστασης και αντιμετώπισης του φαινομένου βρίσκοντας ευρεία χρήση.



Σχήμα 7.1 Παραγόμενοι χάρτες κατολισθητικού κινδύνου με υπέρθεση των θέσεων ιστορικού

Στο ανωτέρω **Σχήμα 7.1** απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι τέσσερις (4) παραγόμενοι χάρτες κινδύνου έναντι κατολισθήσεων με υπέρθεση του κατολισθητικού ιστορικού της περιοχής για την περίοδο 1967 έως 2017. Εξ αυτού, εμφανέστατα καθίσταται σαφές η ορθότερη προσέγγιση του φαινομένου καθώς και η αποδιδόμενη ακρίβεια των μοντέλων στα οποία περιλαμβάνονται οι υδρογεωλογικοί παράγοντες. Συγκεκριμένα, τα μοντέλα 1 και 2 εμφανίζουν ποσοστά επαλήθευσης ίσα με 93% και 91% αντίστοιχα, εν αντιθέσει με τα μοντέλα 3 και 4 όπου τα ποσοστά επαλήθευσης ιστορικού ισούνται με 55% & 52%.

7.3. Θέματα για περαιτέρω έρευνα

Συναρτήσει της πραγματοποιθείσης μελέτης, δύναται να θεωρηθεί ότι μια σειρά από ζητήματα είναι διαθέσιμα για περαιτέρω έρευνα, όπου κι αυτά εν συνεχεία με τη σειρά τους θα αποδώσουν πολύτιμες πληροφορίες στην ευρύτερη επιστημονική κοινότητα, ως στοιχεία που απορρέουν και συσχετίζονται τόσο με τα κατολισθητικά φαινόμενα και τον μηχανισμό λειτουργίας αυτών, όσο και με την ορθότερη διαχείριση του εν λόγω φαινομένου στη φάση της έγκυρης πρόληψης και έγκαιρης αντιμετώπισης.

Έτσι αδιαμφησβήτητα, ενδιαφέρουσα προοπτική παρουσιάζει η διεξαγωγή μελλοντικών μελετών υπό το πρίσμα κι άλλων παραμέτρων που απασχολούν τον γεωτεχνικό πολιτικό μηχανικό, όπως είναι για παράδειγμα η πρόσθετη πίεση πόρων λόγω μεταβολής του εντατικού πεδίου, αφού η αποτροπή της εκδήλωσης γεωλογικών αστοχιών αφενός μεν σε επίπεδο λεκανών απορροής και αφετέρου δε σε επίπεδο διοικητικών ορίων ενός Δήμου ή Νομού, προϋποθέτει την κατάρτιση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διευθετήσεως για την εξουδετέρωση των αιτιών που πυροδοτούν την εκδήλωσή τους.

Μεγάλης σπουδαιότητας κρίνεται το ζήτημα που αφορά την περιορισμένη γνώση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στις φυσικές διεργασίες και στα φαινόμενα του περιβάλλοντος. Η εφαρμοσθείσα πρακτική αποσκοπούσε στην ποσοτικοποίηση της εν λόγω αλληλεπίδρασης λαμβάνοντας πρωτίστως υπόψη της το αποτέλεσμα αυτής, χωρίς ωστόσο να υφίσταται ενδελεχής και εις βάθος μελέτη στον μηχανισμό. Η ολιστική προσέγγιση του πολυδιάστατου αυτού φαινομένου με πληρέστερη μελέτη και ταυτόχρονη κατανόηση του μηχανισμού των κατολισθήσεων συνιστά πρόκληση για μελλοντική έρευνα, καθώς έτσι εξετάζονται οι κυριότερες πτυχές του εν λόγω ζητήματος, που δεν είναι άλλες από την διερεύνηση των μηχανισμών και συντελεστών κατάλυσης της ισορροπίας ενός πρανούς και την εκδήλωση πάσης φύσεως γεωλογικής αστοχίας και μετακίνησης, επιφέροντας μεγάλου όγκου ζημιές και καταστροφές.

Τέλος, οποιαδήποτε περαιτέρω εξέταση - διερεύνηση επί της οποίας θα υπάγεται η ενσωμάτωση των μεθόδων και των τεχνικών μηχανικής μάθησης, έχοντας απώτερο στόχο την εξόρυξη γνώσης μέσω προηγμένων υπολογιστικών συστημάτων, λογίζεται ως ενέργεια θεμιτή και άκρως ενδεικνυόμενη για την πραγμάτωση των ερευνητικών εργασιών που θα επικεντρώνονται στην ανάδειξη των θέσεων οι οποίες είναι επιρρεπείς για την εκδήλωση γεγονότων αστοχίας και κατολισθητικά επιδεκτικές.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abay A., Barbieri G., Landslide Susceptibility and Causative Factors Evaluation of the Landslide Area of Debresina in the Southwestern Afar Escarpment, Ethiopia. J. Earth Sci. Eng. 2012, 2, 133-144.

Ayalew L., Yamagishi H., Ugawa N., 2004, Landslide susceptibility mapping using GIS based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides 1(1):73-81.

Ayalew L., Yamagishi H., 2005, Application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology 2005, 65:15-31.

Akgun A., Dag S., Bulut F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. Environmental Geology, Vol. 54, pp. 1127-1143.

Aleotti P., Balzetti P., De Marchi, D., 1996. Le reti neurali nella valutazione della suscettibilita 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.

Aleotti P., 2004. A warning system for rainfall-induced shallow failures. Engineering Geology, 73 (3-4), pp. 247-265.

Antenucci J., Brown K., Croswell P., Kevany M., Archer H., 1991. Geographic Information Systems. A Guide to the Technology, Chapman & Hall, New York, pp. 7.

Argiris I., Benardos A., Zevgolis E., 2009. Quality Prediction of Fe-Ni Alloy Refined in OBM Converters with Artificial Neural Networks, Ορυκτός Πλούτος, Ιανουάριος - Μάρτιος 2009, no. 150, pp. 25-32.

Atkinson P., Massari R., 1998. Generalized linear modeling of landslide susceptibility in the central Apennines, Italy, Computers & Geosciences, 24, pp. 373-385.

Ayalew L., Yamagishi H., 2005. Application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65(1-2), pp. 15-31.

Ayalew L., Yamagishi H., Marui H., Kanno T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications. Eng. Geol. 81, pp. 432-445.

Baeza C., Corominas J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Processes & Landforms, Vol. 26, pp. 251-263.

Bardossy A., Fodor J., 2004. Evaluation of uncertainties and risks in Geology., Berlin, Heidelberg, London, New York, Springer-Verlag, pp.221.

Benardos A., Kaliampakos D., 2004a. Modelling TBM performance with artificial neural networks, Tunneling and Underground Space Technology, vol. 19, no. 6, pp. 597-605.

Benardos A., Kaliampakos, D.C., 2004b. A methodology for assessing geotechnical hazards for TBM tunneling - illustrated by the Athens Metro, Greece, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol. 41, no. 6, pp. 987-999.

Benet A., Benet D., 2004. Organizational survival in the new world, Butterworth-Heinemann, US, pp. 391.

Benoit G., 2002. Data Mining. In B. Cronin, Annual Review of Information Science and Technology (ARIST), Medford, NJ: Information Today for ASIST, vol. 36, pp. 265-310.

Berry J., Linoff G., 1996. Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Support. Jon Willey & Sons, Inc, pp. 643.

Bolstad P., 2005. GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems, Eider Press, Third Edition, pp. 620.

Bolt B., 1975. Geological Hazards. Verlag, New York: Springer, pp. 330.

Bonham-Carter G., 1994, Geographic information systems for Geoscientists, modeling with GIS. Pergamon, Oxford, 398 pp. Brabb, E.E., 1984. Innovative approaches to landslide hazard mapping. Proceedings of Fourth International. Symposium on Landslides, Toronto, pp. 307-324.

Brenning A., 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. Natural Hazards and Earth System Sciences 5, 853-862.

Bornovas J., 1974. Note on the Seismotectonics of Greece. Proceedings of the seminar on the seismotectonic map of the Balkan Region, Dubrovnik 1973, UNESCO, Skopje.

Brabb E., 1984. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. Proceedings of 4th International Symposium on Landslides, 1, pp. 307-324.

Breinman L., Friedman J., Olshen R., Stone C., 1984. Classification and Regression Trees. Wadsworth International Group, Belmont, California, USA, pp. 368.

Breinman L., 1996. Bagging Predictors. Machine Learning, vol. 24(2), pp. 123-140.

Brunsden D., 1984. Mudslides in Slope Instability (D. Brunsden and D.B. Prior), Wiley, Chichester, pp. 363-418.

Brunsden D., 1985. Landslide types, mechanisms, recognition, identification, in Landslides in the South Wales Coalfield, edited by C. S. Morgan, Proc. Symp. April 1-3, 1985, Polytechnic of Wales, pp. 19-28.

Bunchanan B., 2005. A (Very) Brief History of Artificial Intelligence. AI Magazine 26(4), pp. 53-60.

Burrough P., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment, Oxford University Press, Oxford, pp. 193.

Burrough P., McDonnell R., 1998. Principles of geographical information systems, Oxford University Press, pp. 333.

Caine N., 1980. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows, Geografiska Annaler, 62A, pp. 23-27.

Carrara A., Merenda L., 1976. Landslide Inventory in Northern Calabria, Southern Italy. Bulletin Geological Society of America, Vol. 87, pp. 1153-1162.

Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., 1999. Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard, Natural Hazards, Vol. 20 (2-3), pp. 117-135.

Castellanos A., Van Westen C., 2008. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba Geomorphology, 94: 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), pp. 949-962.

Chacon J., Irigaray C., Fernandez T., El Hamdouni R., 2006. Engineering geology maps: Landslides and geographical information systems. BOEG, 65(4), pp. 341-411.

Charniak E., McDermott D., 1985. Introduction to Artificial Intelligence. Reading, Mass.: Addison-Wesley, pp. 701

Cheeseman P., Stutz J., 1996. Bayesian classification (Auto class): theory and results. in U. Fayyad, G. Piatesky-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, eds. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. AAAI Press and MIT Press, Menlo Park, Ca, pp. 153-180.

Chen A., Leptoukh G., Kempler S., Di L. 2009.Visualization of Earth science data using Google Earth TM, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX, 2009.

Chowdhury R., Flentje P., 1998. Landslide Database for Landslide Hazard Assessment, Proceedings Second International Conference on Environmental Management (ICEM2), February 10-13th 1998, Wollongong, Australia, Elsevier (Oxford) Vol. 2, pp. 1229-1237.

Chung C., Fabbri A., 1993. The representation of geoscience information for data integration nonrenewable Resources, 2 (2), pp. 122-139.

Coates D., 1977. Landslide prospectives. In: Landslides (D.R. Coates) Geological Society of USA, pp. 3-38.

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

Cowen D., 1988. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54, 11, pp. 1551-1555.

Crozier M., 1986. Landslides - Causes, Consequences & Environment. Croom Helm, London, pp. 252.

Cruden D., 1991. A simple definition of a landslide. BOEG - Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 43(1), pp. 27-29.

Cruden D., Varnes D., 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Spec Rep 247, pp 36-75.

Dai F., Lee C., Ngai Y., 2002. Landslide risk assessment and management: An overview. Engineering Geology, 64 (1), pp. 65-87.

Davey-Wilson I.E., 1990. Knowledge representation using fact-segments. Micro-Computers in Civil Engineering. 5(3), pp. 245-250.

Deacon W., 1896. The Vyrnwy works for the water supply of Liverpool. Journal of the Institution of Civil Engineers, London, vol. 126, pp. 24-67.

Dearman W., Matula M., 1976. Environmental aspects of Engineering Geological Mapping. Bulletin of International Association for Engineering Geology, vol. 14., pp. 141-146.

DeGraff J., Romesburg H., 1980. Regional landslide susceptibility assessment for wild land management: matrix approach. In: Coates D., Vitek J., (Eds.) Thresholds in Geomorphology. George Allen and Unwin, London, pp. 401-414.

Deketh H.J., Rengers N., 1997. Special Lecture: The Role of Engineering Geology in Natural Hazard Reduction for Sustainable Development, International Symposium of the IAEG: Engineering Geology and the Environment, Athens, June, Balkema, Rotterdam v.4.

Dietrich W., Reiss R., Hsu M., Montgomery D., 1995. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. Hydrological Processes, 9, pp. 383-400.

Dietrich W., Bellugi D., Real de Asua R., 2001. Validation of the shallow landslide model, SHALSTAB, for forest management. Water science and Application, 2, pp. 195-227.

Dikau R., Brunsden D., Schrott L., Ibsen M., 1996. Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. Wiley & Sons, Chichester, pp. 274.

Duman T., Can T., Gokceoglu C., Nefeslioglu H., Sonmez H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. Environmental Geology vol. 51, pp. 241-256.

Dutton D., Conroy G., 1996. A review of machine learning. The Knowledge Engineering Review, 12, 4, pp. 341-367.

EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. http://www.cred.be/emdat

Eracanoglu M., Gokceoglu C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (North of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology, Vol. 41, pp. 720-730.

Eracanoglu M., Gokceoglu C., 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). Engineering Geology, 75, pp. 229-250.

Ermini L., Catani F., Casagli N., 2005. Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. Geomorphology vol. 66, pp. 327-343.

Farreel D., Minisker B., Tcheng, D., Searsmith D., Bohn J., Beckman D., 2007. Data mining to improve management and reduce costs of environmental remediation. Journal of Hydroinformatics vol. 9 no 2, pp. 107-121.

Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., 1996. Knowledge discovery and data mining: toward a unifying framework. In Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining KDD-96, Menlo Park: AAAI Press, pp. 82-88.

Fayyad, U., Chaudhuri S., Bradley P., 2000. Data mining and its role in database systems. Proceedings of the 26th VLDB Conference. Cairo, Egypt, Morgan Kaufmanu, 63, pp. 124.

Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Eng. Geology, 102 (3-4), pp. 85-98.

Ferentinou M., Sakellariou M., 2003. Slope Stability estimation using GIS, New paradigms in subsurface prediction: characterization of the shallow subsurface implications for the urban infrastructure and environmental assessment, eds Rosenbaum, S.M., Turner, A.K., pp. 135-140.

Ferentinou M., Sakellariou, M., 2005. Assessing landslide hazard on medium and large scales, using self-organizing maps, in "Landslide Risk Management", Joint 2005 International Conference on Landslide Risk Management/18th Annual Vancouver Geotechnical Society Symposium, Taylor and Francis, pp. 639-648.

Ferentinou M., Sakellariou M., 2007. Computational intelligence tools for the prediction of slope performance. Computers and Geotechnics 34, pp. 362-384.

Fu P., Sun J., 2010. Web GIS: Principles and Applications, ESRI Press, pp. 312.

Ganesh S., 2002. Data mining: Should it be included in the statistics curriculum? The 6th international conference on teaching statistics (ICOTS 6), Cape Town, South Africa.

Gee. M.D., 1991, Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, Landslides, Balkema, Rotterdam, 947-952.

Gemitzi A., Falalakis G., Eskioglou P., Petalas C., 2011. Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzzy membership functions and GIS. Volume 13, No 1, pp. 28-40.

Glade T., Anderson M., Crozier M., 2005. Landslide Hazard and Risk. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England, pp.802.

Gokceoglu C., Aksoy H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Engineering Geology, 44(1-4), pp. 147-161.

Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy. Geomorphology, 31, pp. 181-216.

Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., Cipolla F., Sebastani C., Galli M. and Salvati P., 2004. Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. Engineering Geology 73, pp. 229-245.

Guzzetti F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli M., Ardizzone F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology, 72 (1-4), pp. 272-299.

Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M., Stark C., 2008. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. Landslides 5(1), pp. 3-17.

Hagan M., Demuth H., Beale M., 1996. Neural Network Design, Boston, MA: PWS Publ., pp. 712.

Hansen A., 1984. Landslide hazard analysis. D. Brunsden, E. Prior (Eds.), Slope Instability, John Wiley & Sons, New York, pp. 523-602.

Han J., Kamber M., 2001. Data mining: concepts and techniques. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, Jim Gray, Series Editor Morgan Kaufmann Publishers, pp. 550.

Haykin S., 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, pp. 842.

Hudson J., 1992. Rock engineering systems. Theory and practice, Ellis Horwood series in Civil Engineering, pp. 185.

Hutchinson, J., 1968. Mass Movement. In Encyclopedia of Geomorphology. Ed. R. W. Fairbridge. Reinhold, New York. pp. 688-695.

Hutchinson J., 1988. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, in: Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, edited by: Bonnard, C., Balkema, Rotterdam, pp. 3-35.

Hutchinson J., CHANDLER, M. P., 1991. A preliminary landslide hazard zonation of the undercliff of the Isle of Wight. In Slope stability engineering, development and applications. Proc. Int. Conf. On Slope stability, Isle of Wight, 15-18 April (Ed. R. J. Chandler), Thomas Telford, pp. 197-206.

Hutchinson J., 1995. Keynote paper: Landslide hazard assessment. Proceedings 6th International Symposium on Landslides, Christchurch. Balkema, Rotterdam, pp. 1805-1841.

Hutton J., 1785. Theory of the earth; or an investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution and Restoration of Land upon the Globe. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, vol. I, Part II, pp.209-304, http://www.sacred-texts.com/earth/toe/index.htm

IAEG Commission on Landslides, 1990. Suggested Nomenclature for Landslides, Bull. Int. Assos. Of Engineering Geology, 441, pp. 13-16.

Ilia I., Rozos D., Perraki T., Tsangaratos P., 2009. Geotechnical and mineralogical properties of weak rocks from central Greece. Central European Journal of Geosciences. 1(4), pp. 431-442, DOI: 10.2478/v10085-009-0029-0.

Ilia I., Tsangaratos P., Koumantakis I., Rozos D., 2010. Application of a Bayesian approach in GIS based model for evaluating landslide susceptibility. Case study Kimi area, Euboea, Greece. 12th International Congress of the Geological Sosciety of Greece (GSG) May, No3, pp. 1590-1600.

Iovine G., 2008, Mud-flow and lava-flow susceptibility and hazard mapping through numerical modelling, GIS techniques, historical and geo-environmental analyses. In: Proceedingsof the iEMSs 4th biennial meeting, international congress on environmental modelling ANS software: integrating sciences and information technology for environmental assessment and decision making (2008), vol. 3, pp. 1447-1460.

Kanungo D., Arora M., Sarkar S., Gupta R., 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. Engineering Geology, Vol. 85, pp. 347-366.

Kawabata D., Bandibas J., 2009. Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN). Geomorphology, vol.113, (1-2), Publisher: Elsevier B.V., pp. 97-109.

Kayastha P., Dhital M., Smedt F., 2013, Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from Tinau watershed, West Nepal, Computers & Geosciences 52, 398-408.

Kohonen T., 1995. Self - Organizing Map, 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin, pp. 113.

Koukis G., Ziourkas C., 1991. Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. Bulletin of International Association of Engineering Geology (IAEG), 43, pp. 47-60.

Koukis G., Tsiambaos G., Sabatakakis N., 1997. Landslide movements in Greece: Engineering geological characteristics and environmental consequences. Proceedings International Symposium of Engineering Geology and the Environment, Athens, June 23-27(1), pp. 789-792.

Koumantakis I., Rozos D., Markantonis K., Tsagaratos P., 2005. Engineering geological conditions, related ground failures and proposed measures, along the part of Peloponnesian railway line, Greece. Proceedings of Intern. Symposium Geoline 2005, BRGM (Abstracts in Proc., papers in CD-ROM), Lyon France 2005.

Koumantakis I., Rozos D., Tsagaratos P., 2007: Underground space development in Attica County in relation with its geological structure. 11th ACUUS International Conference "Underground space: Expanding the Frontiers". V1, pp 221-229, Athens, Greece.

Kuonen D., 2004. Data mining and statistics: what is the connection? The Data Administration Newsletter, Published in TDAN.com.

Lan H., Zhou C., Wang L., Zhang H., Li R., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunan, China, Engineering Geology, 76, 1-2, pp. 109-128.

Lee S., Choi J., Min K., 2002. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model, Environmental Geology, vol. 43, pp. 120-131.

Lee S., Ryu J., Min K., Won J., 2003a. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. Earth Surface Processes & Landforms, Vol. 27, pp. 1361-1376.

Lee S., Ryu J., Min K., Won J., 2003b. Landslide susceptibility analysis using artificial neural network at Boun, Korea. Environmental Geology, Vol. 44, pp. 820-833.

Lee S., Ryu J., Min K., Won J., 2006. The application of neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea. Mathematical Geology, Vol.38, No. 2, pp. 199-220.

Leroi E., 1996. Landslide hazard - Risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In: 7th Proceedings International Symposium Landslides, Trondheim, 1, pp. 35-52.

Leibowitz J., 2003. The Knowledge Management Handbook, CRC Press LLC, pp. 328.

Lin C., Lee C.S., 1996. Neural Fuzzy Systems: A Neuro-fuzzy Synergism to Intelligent Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, pp. 797.

Lohninger H., 1999. Teach/Me - Data Analysis, Handbook; Springer-Verlag, Berlin, pp. 100.

Long N., 2008. Landslide susceptibility mapping of the mountainous area in a Luoi district, Thua Thien Hue province, Vietnam, Phd Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Faculty of Engineering, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, pp. 255.

Luzi L., Pergalani F., 2000. A correlation between slope failures and accelerometric parameters: the 26/09/1997 earthquake (Italy). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 20, pp. 301-313.

Mancini F., Ceppi C., Ritrovato G., 2010. GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, pp. 1851-1864.

Maharaj R., 1993. Landslide processes & landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from Staint Andrew, Jamaica, West Indies. Engineering Geology, 34, pp. 53-79.

Magliulo P., Di Lisio A., Russo F., 2009. Comparison of GIS-based methodologies for the landslide susceptibility assessment. GeoInformatica 13(3), pp. 253-265.

Malczewski J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, New York, pp. 392.

Marble D., Peuquet D., 1983. Geographic Information Systems and remote sensing. In Colwell R.N. (eds) Manual of Remote Sensing, Bethesda, MD: ASPDS.

Marston R., Miller M., Devkota L., 1998. Geoecology and mass movements in the Manaslu Ganesh and Langtang-Jural Himals, Nepal. Geomorphology 26, 139-150.

Martens H., Naes T., 1991: Multivariate Calibration. - Wiley, Chichester, pp. 438.

Masters T., 1993. Practical neural network recipes in C++. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc., pp. 493.

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.

Mehrotra K., Mohan C., Ranka S., 1997. Elements of Artificial Neural Networks. The MIT Press, Boston, pp. 344.

Melchiorre C., Matteucci M., Azzoni A., Zanchi A., 2008. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. Geomorphology 94, pp. 379-400.

Miller G., Todd P., Hedge S., 1989. Designing neural networks using genetic algorithms. In Scha er, J. D., editor, Proceedings of third International conference on Genetic Algorithms, pp. 379-384.

Miner A., Flentje P., Mazengarb C., Windle D., 2010. Landslide Recognition using LiDAR derived DEM Lessons learnt from selected Australian Examples. International Association of Engineering Geology and the Environment Congress. Auckland, 5-10 September 2010.

Miles S., Ho C., 1999. Applications and issues of GIS as tool for civil engineering modeling, Journal of computing in civil engineering, ASCE, Vol.13, No.3, pp. 144-161.

Mittal S., Singh M., Kapur P., Sharma B., Shamshi M., 2008, Design and development of instrument network for landslide monitoring, an issue an early warning. Journal of Scientific and Industrial research 67, 361-365.

Mitchell T., Carbonell J., Michalski (eds.), 1986. Machine Learning: A Guide to Current Research, Kluwer Academic Publishers, pp. 429.

Mitchell T., 1997. Machine Learning. McGraw-Hill, pp. 414.

Montgomery D., Dietrich W., 1994. A physically based model for the topographic control of shallow landsliding. Water Resources Research, 30 (4), pp. 1153-1171.

Montgomery D., Schmidt K., Greenberg H., Dietrich W., 2000. Forest clearing and region landsliding. Geology vol. 28, pp. 311-314.

Murthy S., 1998. Automatic construction of decision trees from data: A multidisciplinary survey. Data Mining and Knowledge Discovery, 2(4), pp. 345-389.

Nandi A., Shakoor A., 2008. Application of logistic regression model for slope instability prediction in Cuyahoga River Watershed, Ohio, USA. Georisk, Taylor & Francis Public., Vol. 2; no. 1, pp. 16-27.

Nandi A., Shakoor A., 2010. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, Engineering Geology, Volume 110, Issues 1–2, 10, pp.11-20.

Nawari N., Liang R., Nusairat J., 1999. Artificial intelligence techniques for the design and analysis of deep foundations, http://geotech.civeng.okstate.edu/ejge/ppr9909/index.html

Neaupane K., Achet S., 2004. Use of backpropagation neural network for landslide monitoring: a case study in the higher Himalaya. Engineering Geology 74, pp. 213-226.

Nielsen TH., Wrigth RH., Vlasic TC., Spangle WE., 1979, Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California. US geological survey professional paper 944.

Nilsson N., 1998. Artificial Intelligence: A New Synthesis, San Francisco: Morgan Kaufmann, pp. 514.

Nisbet R., Elder J., Miner G., 2009. Statistical Analysis & Data Mining Applications, Academic Press Publications, pp. 128-133.

Pachauri A., Pant M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes, Engineering Geology, vol. 32, pp. 81-100.

Pachayri A., Gupta P., Chander R., 1998. Landslide Zoning in a Part of the Garhwal Himalayas. Environmental Geology, 36 (3-4), pp. 325-334.

Panou K., Sofianos A., 2002 (a). A fuzzy multicriteria evaluation system for the assessment of tunnels vis a vis surface road: theoretical aspects - part I. Tunnelling and Underground Space Technology, 17, pp. 195-207.

Panou K., Sofianos A., 2002(b). A fuzzy multicriteria evaluation system for the assessment of tunnels vis a vis surface road: the WPMA case - part II. Tunnelling and Underground Space Technology, 17, pp. 209-219.

Papanikolaou D., Panagopoulos A., 1981. On the structural style of Southern Rhodope, Greece. Geol. Balcan., 11/3, pp. 13-22.

Papazachos B., Kiratzi A., Karakostas B., 1997. Toward a homogeneous moment magnitude determination in Greece and surrounding area. Bull. Seism. Soc. Am., vol.87, pp. 474-483.

Pasek J., 1973. Landslides and Other Mass Movements, Bulletin, International Association of Engineering Geology, 8, pp. 64-66.

Perriello Zampelli S., Bellucci Sessa E., Cavallaro M., 2012, Application of a GIS-aided method for the assessment of volcaniclastic soil sliding susceptibility to sample areas of Campania (Southern Italy). Natural Hazards 61(1):155-168.

Pidwimy M., 2006. Introduction to Geographic Information Systems. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. http://www.physicalgeography.net/fundamentals/2f.html

Popescu M., 1996. From Landslide Causes to Landslide Remediation, Special Lecture. Proc. 7th Int. Symposium on Landslides, Trondheim, 1, pp. 75-96.

Pradhan B., Lee S., 2009. Landslide risk analysis using artificial neural network model focusing on different training sites. International Journal of Physical Sciences 4 (1), pp. 1-15.

Quinlan J., 1993. C4.5: programs for machine learning. Morgan Kaufmann series in machine learning Representation and Reasoning Series. pp. 302.

Reichenbach P., Guzzetti F., Cardinali M., 1998. Map of sites historically affected by landslides and floods. The AVI project, 2nd edition, CNR GNDCI publication number 1998, Scale 1:1,200,000.

Remondo J., Gonzàlez-Diez A., Dìaz de Teràn J.R., Cendrero A., 2003. Landslides susceptibility models utilising spatial data analysis techniques. A case study from the lower Deba Valley, Guipùzcoa (Spain). Natural Hazards 30, 267-279.

Rezaei M., Khayyam M., Ahmadi M., Farajzadeh M., 2007. Mapping susceptibility landslide by using the weight-of-evidence model: a case study in Merek Valley, Iran. Journal of Applied Science, 7(22), pp. 3342-3355.

Rozos D., Markantonis K., Koumantakis I., 2005. A contribution to the study of landslide phenomena in Greek territory. Some cases from Attica, Boeotia and Euboea counties. Proceedings of International Symposium Geoline 2005, BRGM (Abstracts in Proc., papers in CD-ROM), Lyon France.

Rozos D., Tsagaratos P., Markantonis K., Skias S., 2006. An application of Rock Engineering System (RES) method for ranking the instability potential of natural slopes in Achaia County, Greece. Proc. of XIth International Congress of the Society for Mathematical Geology, S08-10, University of Liege Belgium.

Rozos D., Pyrgiotis L., Skias S., Tsagaratos P., 2008. An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. Landslides, Vol. 5 no3, pp. 261-270.

Saaty T., 1980. The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw Hill.

Saaty T., 1986. Axiomatic foundation of the AHP, Management Science, 32, pp.841-855.

Sakellariou M., Ferentinou M., 2001. GIS-Based Estimation of Slope Stability, Natural Hazards Review (ASCE), vol. 2, pp. 12-21.

Sakellariou M., Ferentinou M., 2005. A study of slope stability prediction using neural network. Geotechnical and Geological Engineering, vol. 23, pp. 419-445.

Salvati, P., Guzzetti F., Reichenbach, P., Cardinali M., Stark C., 2003.: Map of landslides and floods with human consequences in Italy, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche Publication n. 2822, scale 1:1,200,000.

Salvati P., Bianchi C., Rossi M., Guzzetti F., 2010. Societal landslide and flood risk in Italy Natural Hazards and Earth System Sciences, 10 (2010), pp. 465-483.

Sarkar S., Kanungo D.P., Patra A., Kumar P., 2008. GIS Based Spatial Data Analysis for Landslide Susceptibility Mapping. Journal of Mountain Science 5 (1), pp. 52-62.

Schuster R., 1996. Socioeconomic significance of landslides. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Editors), Landslides: Investigation and Mitigation. National Academic Press, Washington DC, Special Report, 247, pp.12-36.

Sharifi M., Rodriguez E., 2002. Design and development of a planning support system for policy formulation in water resources rehabilitation: the case of Alcazar De San Juan district in aquifer 23, La Mancha, Spain. In: Journal of Hydroinformatics, vol. 4(3), pp. 157-175.

Sharifi M., Van Keulen H., 1994. A decision support system for land use planning at farm enterprise level. In: Agricultural systems, vol.45(3), pp. 239-257.

Sharma L., Patel N., Ghose M., Debnath P., 2009. Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation—a case study in Sikkim, India, Arabian Journal of Geosciences DOI: 10.1007/s12517-010-0205-3, pp.11.

Shannon C., 1948. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal 27 (July and October): pp. 379-423, 623-656.

Sietsma J., Dow F., 1991. Creating artificial neural networks that generalize. Neural Networks, vol.4, pp. 67-79.

Simkowitz H., 1988. Transportation applications of geographic information systems. Computers, Environment and Urban Systems vol.12, pp. 253-71.

Skempton A., Hutchinson J., 1969. Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations. Proc.,7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, pp. 291-340.

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

Suzen M., Doyuran V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using GIS: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey. Eng. Geology 71 (3-4), pp. 303-321.

Terlien M., Van Asch T., Van Westen, C., 1995. Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishing, the Netherlands, pp. 57-77.

Terzaghi K., 1950. Mechanism of Landslides. In Application of Geology to Engineering Practice (S. Paige, ed.), Geological Society of America, New York, pp. 566.

Toll D., 1996. Artificial Intelligence Systems for geotechnical engineering with specific reference to the ground improvement, 10th European Young Geotechnical Engineers Conference Izmir, Turkey.

Toll D., 2008. International Data Exchange: The Future for Geo-engineering. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) 1-6 October, 2008, Goa, India.

Turrini M., Visintainer P., 1998. Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. Engineering Geology 50, pp. 255-265.

Tversky A., 1977. Features of similarity. Psychological Review, vol.84, pp. 327-352.

Tzamos A., Sofianos A., 2007. A correlation of four rock mass classification systems through their fabric indices. International Journal of Rock Mech. & Mining Sciences, 44, pp. 477-495.

UN DHA, 1992. Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management. UN DHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs), Geneva, December 1992.

UNESCO-WP/WLI, 1990. A suggested method for reporting a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 41, pp. 5-12.

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

Van Westen C., Terlien M., 1996. An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS: a case study from Manizales. Earth surface Process. Landforms, vol. 21, pp. 853-868.

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

Van Westen C., Asch T.W., Soeters R., 2006. Landslide hazard and risk zonation. Why is it still so difficult? Bull. Eng. Geol. Env., vol.65, pp.65-184.

Varnes D., 1978. Slope movements types and processes. R.L. Schuster, R.L. Krizek (Eds.), Landslides: Analysis and Control. Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 11-33.

Varnes D., & IAEG Commission on Landslides and Other Mass-Movements, 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, UNESCO Press, Paris.

Wang L J., Sawada K., Moriguchi S., 2013, Landslide susceptibility analysis with logistic re-gression model based on FCM sampling strategy, Computers & Geosciences 57, 81-92.

Westphal C., Blaxton T., 1998. Data mining solution. New York: John Wiley & Sons Inc., pp. 617.

Wieczorek G., 1984. Preparing a detailed landslide inventory map for hazard evaluation and reduction. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 16(3), pp. 337-342.

Wieczorek G., 1996. Landslide Triggering Mechanisms. Landslides Investigation and Mitigation. A. K. Turner and R. L. Schuster. Washington D.C, Transportation Research Board National Academy of Sciences. Special Report 247, pp. 76-90.

Winston P., 1992. Artificial Intelligence, Addison Wesley, 3rd edition, pp. 737.

Wood R., Curtis A., 2004. Geological prior information and its applications to geoscientific problems. Geological Society, London, Special Publications, vol. 239, pp. 1-14.

WP/WLI, International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1990. A Suggested Method for reporting a Landslide, Bull. of Int. Assos. Eng. Geol., 41, pp. 5-12.

WP/WLI, 1991. A Suggested Method for a Landslide Summary, Bull. of the Int. Assos. Engineering Geology, 43, pp. 101-110.

WP/WLI, 1994. A suggested method for reporting landslides causes. Bull. of the Int. Assos. Engineering Geology, 50, pp. 71-74.

Wu S., Shi L., Wang R., Tan C., Hu D., Mei Y., Xu R., 2001. Zonation of the landslide hazard in the fore reservoir region of the Three Gorges Project on the Yangtze River. Eng Geol, 59, pp. 51-58.

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

Yang Y., Rosenbaum M., 2002. The artificial neural network as a tool for assessing geotechnical properties. Geotechnical Geology Engineering vol.20, pp. 149-168.

Yau N., Yang J., 1998. Case-based reasoning in construction management. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 13, 2, pp. 143-150.

Yee P., Haykin S., 2001. Regularized Radial Basis Function Networks: Theory & Applications. J Wiley.

Yalcin A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen: Comparisons of results a confirmation, Catena, 72, pp. 1-12.

Zadeh L., 1965. Fuzzy sets. Information and Control 8 (3), pp. 338-353.

Zadeh L., 1968. Fuzzy algorithms. Information and Control 12 (2), pp. 94-102.

Zaruba Q., Mencl V., 1969. Landslides and their control 2nd edition, Elsevier, Amsterdam, pp. 205.

Zimmerman HJ., 1996, Fuzzy set theory and its applications. Kluwer, Massachusetts, 435 pp.

[κενή για λόγους εκτύπωσης]

ΕΓΧΩΡΙΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αποστολίδης Ε., Χατζηνάκος Ι., 1998. Έκθεση γεωτεχνικής εξέτασης στην κοινότητα της Μυρίκης Νομού Ευρυτανίας, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Αποστολίδης Ε., Κωνσταντοπούλου Γ., 1999. Γεωτεχνική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων σε θέσεις οδικών αξόνων στο Νομό Ευρυτανίας, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Αποστολίδης Ε., Πογιατζή Ε., 2000. Γεωτεχνική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων για το Δήμο Φουρνάς του Νομού Ευρυτανίας, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Αποστολίδης Ε., Πογιατζή Ε., 2000. Γεωτεχνική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων στον οικισμό Μεσοκώμης (Δομνίστας) Νομού Ευρυτανίας, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Αποστολίδης Ε., 1992. Γεωτεχνική εξέταση των εδαφικών συνθηκών θεμελίωσης στον παλαιό οικισμό του Μικρού Χωριού Ν. Ευρυτανίας. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ Τ-1687.

Αποστολίδης Ε., 1993. Γεωτεχνική εξέταση των εδαφικών συνθηκών θεμελίωσης σε τριάντα (30) κατολισθαίνοντες οικισμούς του Νομού Ευρυτανίας. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-1720.

Αποστολίδης Ε., Καρφάκης Ι., 2002. Γεωτεχνική εξέταση στον οικισμό της Καστανέας του Δήμου Προυσού Νομού Ευρυτανίας, Προγραμματική Συμφωνία ΚΕΔΚΕ-ΥΠΕΣΔΑΑ-ΙΓΜΕ.

Βαζιργιάννης Μ., Χαλκίδη Μ., 2003. Εξόρυξη Δεδομένων και Γνώσης από Βάσεις Δεδομένων και Παγκόσμιο Ιστό. Εκδόσεις Gutenberg, pp. 516.

Βαλαδάκη–Πλέσσα Α., 2001. Αξιοποίηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην επιλογή κριτηρίων καταλλήλων περιοχών για οικιστική ανάπτυξη, με γεωλογικά κριτήρια, στην κεντρική Εύβοια. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, XXXIV/5, pp. 1653-1661.

Βασιλειάδης Ε., 2010. Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο. Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών., Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, pp. 218.

Βετούλης Δ., 1963. Έκθεσις περί της κατολισθήσεως του χωρίου "Μικρόν Χωρίον" της Ευρυτανίας και τα εξ' αυτής καταστρεπτικά αποτελέσματα, ως και περί της προτεινόμενης νέας θέσεως. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-195.

Βετούλης Δ. ,1969. Γεωλογική έκθεσης επανεξετάσεως του εναπομείναντος εκ της κατολισθήσεως της 13-1-63 τμήματος του Παλαιού Μικρού Χωρίου Ευρυτανίας. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ- 526.

Βολιώτη Κ., 2009. Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας λόγω κατολισθήσεων στο χώρο της Ηπειρωτικής Ελλάδας

με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Απεικόνιση σε χάρτη μικρής κλίμακας. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2011. Πλήρης Κατάλογος Σεισμών από το 1964 μέχρι και σήμερα, http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/katalogoi-seismwn

Γεωργαλάς Γ., 1930. Κατολισθήσεις. Εγκυκλοπαίδεια, Pyrsos Go Ltd, Athens, Τομ. 14, pp. 167-196.

Γκάσιος Ε., 1979. Οδικές κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο. Δελτίο ΚΕΔΕ, 1979/3-4, pp. 167-196.

Δεβενέ Σ., 2004. "Διερεύνηση του παράγοντα των βροχοπτώσεων ως αίτιο κατολισθήσεων" Αθήνα, 10/2004, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ελευθερίου Α., 1982. Οι κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο και το πρόβλημα της αποκατάστασης των κατολισθαίνοντων οικισμών της Ελλάδος. Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Ελευθερίου Α., 1988. Έκθεση επανεξέτασης του Μικρού Χωριού (Παλαιός Οικισμός) Ν. Ευρυτανίας. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-1365.

Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία - Διεύθυνση Κλιματολογίας, 1999. Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ (περίοδος 1955-1997), Αθήνα, σελ. 260.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ-2000), ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, Αθήνα, σελ. 152, καθώς επίσης και τροποποιήσεις αυτού (ΕΑΚ-2003).

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

Ζιούρκας Κ., Κούκης Γ., 1989. Κατολισθητικά φαινόμενα στο Νομό Ευρυτανίας. Πολυμεταβλητή ανάλυση δεδομένων. Δελτίο ΚΕΔΕ, 1-2, pp.15-30.

Ζιούρκας Κ., Κούκης Γ., 1992. Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας λόγω κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο και απεικόνισή της σε χάρτες μικρής και μέσης κλίμακας. Ορυκτός Πλούτος, 77, pp. 9-29.

Ηλίας Π., 2000. Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτίμησης επικινδυνότητας με χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, pp. 552.

Καββαδάς Μ., Αλκαλάης Η., (1988) Σύγκριση Μεθόδων Ανάλυσης της Ευστάθεια Πρανών. Πρακτικά 1ου Πανελλήνιου Συνέδριου Γεωτεχνικής Μηχανικής, 1, 207-212.

Καραπιπέρης Ν., 1974. Η κατανομή των βροχοπτώσεων εις τον Ελληνικό χώρο. Δελτίον Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τόμος XI, τεύχος 1, Αθήνα, σελ. 1-27.

Καρράς Γ., 1973. Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδας κατά Thornthwaite. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, pp. 200.

Κούκης Γ., 1980. Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο και η σημασία τους στην οδοποιία. Δελτίο ΚΕΔΕ, 1980/2, pp. 106-149.

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

Κούκης Γ., Ζιούρκας Κ., 1989. Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο - Στατιστική Θεώρηση. Ορυκτός Πλούτος, 58, pp. 39-58.

Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., 2007. Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, pp. 575.

Κουμαντάκης Ι., 1975. Συμπεριφορά του φλύσχη εις έργα οδοποιίας. Δελτίο ΚΕΔΕ, 1975/3-4, pp. 99-133.

Κουμαντάκης Ι., 1985. Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας. Σημειώσεις για τους φοιτητές της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κουμαντάκης Ι., 1987. Κατολισθητικά φαινόμενα σε τμήματα της Εγνατίας οδού παρά τα Λουτρά Ελευθερών Καβάλας. Πρόταση γεωτεχνικής ταξινόμησης μολασσών. Δελτίο ΚΕΔΕ, pp.135-142.

Κουτσόπουλος Κ., 1994. Γεωγραφικές μέθοδοι στη διαδικασία του διεπιστημονικού περιφερειακού σχεδιασμού. "Επιστήμες και Περιβάλλον στα τέλη του Αιώνα". Εναλλακτικές Εκδόσεις, Αθήνα.

Κουτσόπουλος Κ., 2002. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών & Ανάλυση Χώρου. Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου 2002 (β΄ έκδοση 2005), pp. 417.

Κουτσόπουλος Κ., 2005. Ολοκληρωμένη μεθοδολογική προσέγγιση της ανάπτυξης. Η περίπτωση των Γ.Σ.Π. Περιβάλλον και Ανάπτυξη. Διαλεκτικές σχέσεις και διεπιστημονικές προσεγγίσεις., Επιμέλεια Δ.Ρόκος, Αθήνα Εναλλακτικές Εκδόσεις. pp. 211-226.

Κωνσταντοπούλου Γ., Πογιατζή Ε., (2003). Τεχνικογεωλογική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων σε περιοχές του δήμου Αχελώου Καρδίτσας, Προγραμματική Συμφωνία ΚΕΔΚΕ-ΥΠΕΣΔΑΑ-ΙΓΜΕ.

Κωτσιαντής Σ., 2005. Ομάδες ταξινομητών για την αύξηση της ακρίβειας των μεθόδων μηχανικής μάθησης και εξόρυξης γνώσης. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, pp. 249.

Λαλιώτη Β., Σπανού Ν., 2001. Καταγραφή, ανάλυση και αξιολόγηση των κατολισθητικών φαινομένων του ελλαδικού χώρου κατά την περίοδο 1991-1998. Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας εφαρμοσμένης Γεωλογίας & Γεωφυσικής, Τεχνική Γεωλογία.

Λέκκας Ε., Ανδρεαδάκης Ε., Γάσπαρης Ν., Λαμπρόπουλος Γ., (1997). Κατάταξη & χαρακτηρισμός επικινδυνότητας κατολισθητικών φαινομένων του νομού Θεσπρωτίας. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου συνέδριου γεωτεχνικής μηχανικής. Τ.Ε.Ε. Τόμος 1, σελ. 253-259.

Λιάκουρης Δ., (1991). Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά πετρωμάτων ορισμένων γεωλογικών ενοτήτων Εμπειρίες από τα φράγματα της ΔΕΗ. Πρακτικά ημερίδας Ελληνικής Επιτροπής Τεχνικής Γεωλογίας Γεωλογία και φράγματα - Εμπειρίες από τον Ελληνικό χώρο , σελ. 25-32.

Μαρίνος Γ., 1964. Αι κατολισθήσεις των εδαφών εις τα ορεινά μέρη της Ελλάδος ως παράγων καταστροφής των οικισμών. Σειρά εκδόσεων του Υπουργείου Ανοικοδόμησης, Αρ. 40, σελ. 40.

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

Μισθός Μ. 2009. Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γ.Σ.Π. στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών. Μελέτη Περίπτωσης: Η Τεχνική της Ανίχνευσης Μεταβολών στον Εντοπισμό Κατακλυσμένων Εκτάσεων από Ποτάμια Πλημμύρα. Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, pp. 340.

Μουγιάρης Ν., Κυνηγαλάκη Μ., 1995. Σεισμοτεκτονικός χάρτης του Νομού Ευρυτανίας, φύλλο Α': ζωνώδης κατανομή σύμφωνα με τους εγγενείς σεισμογεωλογικούς χαρακτήρες των σχηματισμών κλίμακας 1:100.000, φύλλο Β': γεωγραφική κατανομή σεισμικών επικέντρων κλίμακας 1:250.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα

Μπάτσου Ι., 2009. Η αστοχία των πρανών και κατολισθητικά φαινόμενα. Μηχανισμοί πρόκλησής τους και αντιμετώπιση. Μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης. Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών "Εφαρμοσμένης γεωγραφίας και διαχείρισης χώρου". Τμήμα Γεωγραφίας.

Μπλιώνα Μ., 2008. Ανάπτυξη βάσης δεδομένων κατολισθήσεων στον Ελληνικό Χώρο. Διατριβή ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον, Εφαρμοσμένη & Περιβαλλοντική Γεωλογία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, pp. 98.

Παταργιάς Π., 2001. Αίτια και αφορμές των κατολισθητικών φαινομένων στο Νομό Ευρυτανίας. Ορυκτός πλούτος 120.

Παταργιάς Π., Τσικούρας Β., 2001. Ζωνοποίηση βαθμού επικινδυνότητας από κατολισθητικά φαινόμενα στο Νομό Ευρυτανίας. Ορυκτός πλούτος 118.

Παταργιάς Π., Τσικούρας Β., Βασιλειάδης Ε., 1999. Εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης και της ανάλυσης ομάδων στον υπολογισμό του βαθμού επικινδυνότητας από κατολισθητικά φαινόμενα στο Νομό Ευρυτανίας. Επιστημονική έκδοση (Κ.Ε.Δ.Ε.). Τεύχος Ιανουάριος 1997 - Δεκέμβριος 1999. Σελ. 91-104.

Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., 1989. Οι σεισμοί της Ελλάδας, Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Παπανικολάου Δ., 1986. Η Γεωλογία της Ελλάδος, Εκδόσεις Επτάλοφος., pp. 240.

Πολυκρέτης Χ., 2010. Εφαρμογές Σ.Γ.Π. (Κατολισθήσεις): Εφαρμογή στην περιοχή Πελοποννήσου. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Γεωγραφίας. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Πολυκρέτης Χ., 2013. Ανάπτυξη μοντέλων εκτίμησης της επιδεκτικότητας για εκδήλωση κατολίσθησης με χρήση μεθόδων γεωπληροφορικής & τεχνητής νοημοσύνης. Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης. Εφαρμοσμένη γεωγραφία & διαχείριση του χώρου. Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Ρίσβα Ι., 2012. Διπλωματική Εργασία "Κατολισθητικές κινήσεις στην περιοχή Προυσού Ευρυτανίας". Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ρόζος, Δ. 2002. Τεχνικογεωλογική εξέταση εδαφικών αστοχιών στο Δ.Δ. Φαρσάλων του Δήμου Φαρσάλων, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Ρόζος Δ., Αποστολίδης, Ε. 2002. Τεχνικογεωλογική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων στον οικισμό Άνω Καλλιθέας του Δήμου Σπερχειάδος, Ν. Φθιώτιδας, Προγραμματική Συμφωνία ΚΕΔΚΕ-ΥΠΕΣΔΑΑ-ΙΓΜΕ.

Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε., 2002. Τεχνικογεωλογική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων στο Δ.Δ. Καναλιών Δήμου Σπερχειάδος Ν. Φθιώτιδας, Προγραμματική Συμφωνία ΚΕΔΚΕ-ΥΠΕΣΔΑΑ-ΙΓΜΕ.

Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε., 2002. Τεχνικογεωλογική διερεύνηση των αστοχιών πρανών στο Παλαιό Μικρό Χωριό νομού Ευρυτανίας για την ασφαλή οικιστική ανάπτυξη του. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΙΓΜΕ & Διεύθυνση Τεχνικής Γεωλογίας.

Σκαβάρας Π., 2009. Επεξεργασία και απεικόνιση βάσης δεδομένων κατολισθήσεων σε περιβάλλον Google Earth - Εφαρμογή στο Νομό Ευρυτανίας. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρον. Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Πυργιώτης Λ., 1997. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο Νομό Καρδίτσας. Κατολισθητικά φαινόμενα στους σχηματισμούς του φλύσχη. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, pp. 334.

Ρόζος Δ., Τσιαμπάος Γ., 1991. Η Τεχνικογεωλογική έρευνα στο πεδίο και στο εργαστήριο και η σπουδαιότητά της στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων. Πρακτικά Διήμερου Συμποσίου για τα 40 χρόνια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, pp. 279-291.

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

Σακελλαρίου Μ., Φερεντίνου Μ., Χαραλάμπους Σ., Ματζιάρης, Β., 2010. Ο κίνδυνος κατολισθήσεων και ο προσδιορισμός του με μεθόδους Γεωπληροφορικής. Πρόληψη και Διαχείριση των Φυσικών Καταστροφών. Ο Ρόλος του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού. Ειδικός τόμος, στη μνήμη του Πέτρου Βυθούλκα, Επιμέλεια. Γ. Τσακίρης, pp.136

Σκιάς Σ., 1998. Εκτίμηση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς και των φαινομένων αστάθειας: Η περίπτωση των σχηματισμών του φλύσχη της Δυτικής Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, pp. 425.

Τσαγγαράτος Π., 2012. Διερεύνηση τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Φερεντίνου Μ., 2004. Εκτίμηση του κίνδυνου κατολισθήσεων με νευρωνικά δίκτυα σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, pp. 337.

Χαραλάμπους Σ., 2003. Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση ευστάθειας φυσικών και τεχνητών πρανών έναντι στατικών και σεισμικών φορτίων σε περιβάλλον GIS, Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Χαραλάμπους Σ., 2006. Προγραμματισμός ελέγχου αστοχίας έναντι σφήνας και κατάπτωσης βραχοτεμαχίου σε Περιβάλλον ΓΣΠ. Διατριβή Ειδίκευσης. ΔΠΜΣ: "Γεωπληροφορική", Σχολή Αγρον. Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Ε., Πογιατζή Ε., Κυνηγαλάκη Μ., 1998. Γεωτεχνική έρευνα οικισμών του Νομού Ευρυτανίας. Έρευνα κατολισθητικών φαινομένων και τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση με οριοθέτηση οικισμών: Μικρού Χωριού, Τριποτάμου, Προυσού, Φουρνάς και Ψιανών. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-2010.