



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΡΓΩΝ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Παρασκευάς Τσαγγαράτος

Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΡΓΩΝ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Παρασκευάς Τσαγγαράτος

Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την Τριμελή Επιτροπή στις : /..... /.....

Υπογραφές

Τσαγγαράτος Παρασκευάς, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Παρασκευά Τσαγγαράτο για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε, καθώς και για την συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της παρούσας εργασίας, όπως και για το απεριόριστο ενδιαφέρον του, την πολύτιμη βοήθειά του, για την μετάδοση ανεκτίμητης αξίας γνώσεων σε θέματα που αφορούσαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Τον ευγνωμονώ από καρδιάς για την κατανόηση και την προθυμία του να λύσει τις όποιες απορίες μου σε τεχνικά θέματα που αφορούσαν στο λογισμικό ArcGIS, συντελώντας έτσι στη διεύρυνση του επιστημονικού μου ορίζοντα και στη βελτίωση της επιστημονικής μου κατάρτισης. Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο «ευχαριστώ» στους γονείς μου και την αδερφή μου για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	14
ABSTRACT	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1Ο.....	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ, ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	17
1.1.1 ΕΙΔΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ	18
1.1.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ	19
1.1.3 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	26
1.2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	29
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΔΕ).....	32
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΔΕ).....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2Ο.....	34
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	34
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	34
2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	35
2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ VARNES.....	36
2.3.1 ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ (FALLS)	37
2.3.2 ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ (TOPPLES).....	39
2.3.3 ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ (SLIDES).....	40
2.3.4 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΞΑΠΛΩΣΕΙΣ (LATERAL SPREADS)	43
2.3.5 ΡΟΕΣ (FLOWS)	46
2.3.6 ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (COMPLEX SLIDES)	49
2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	50

2.5 ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	52
2.6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	54
2.7 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	55
2.8 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟ ΑΠΟΨΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	57
2.9 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	59
2.10 Η ΣΥΝΘΕΤΗ ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	62
ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	62
3.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	62
3.1.1 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (LANDSLIDE INVENTORY MAP).....	63
3.1.2 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP) ..	64
3.1.3 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (LANDSLIDE HAZARD MAP)	67
3.1.4 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (LANDSLIDE RISK MAP)	69
3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	71
3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	72
3.3.1 ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	72
3.3.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο.....	75
ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	75
4.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	75
4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	76
4.3 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	77
4.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	79

4.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ – ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ..	86
4.6 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ	93
4.6.1 ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ	93
4.6.2 ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ	95
4.6.3 ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ	97
4.7 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	101
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	101
5.1 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	101
5.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	102
5.2.1 ΥΨΟΜΕΤΡΟ	103
5.2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΣΗ	104
5.2.3 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ	106
5.2.4 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	108
5.2.5 ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (PLAN CURVATURE) ...	110
5.2.6 ΚΑΘΕΤΗ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (PROFILE CURVATURE)	112
5.2.7 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	114
5.2.8 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΡΗΓΜΑΤΑ	115
5.2.9 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	117
5.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ “WEIGHT OF EVIDENCE” ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΕ ΣΤΗΝ ΔΕ	120
5.3.1 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	124
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ	124
6.1 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ - WEIGHT OF EVIDENCE	124
6.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο.....	135
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	137
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	137
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1: Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Zaruba και Mencl (1976).	36
Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση μετακίνησης πρηνών κατά Varnes (1978).	37
Πίνακας 2.3: Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης κατολισθήσεων (WP/WLI, 1995).	54
Πίνακας 2.4: Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (WP/WLI, 1995).	55
Πίνακας 2.5 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων σε διαφορετικές λιθολογικές ενότητες (Ζιούρκας, 1989).	59
Πίνακας 4.1: Λεκάνες απορροής κύριων ποταμών περιοχής μελέτης.	79
Πίνακας 4.2: Σταθμοί περιοχής μελέτης (Νίκας, 2004).	80
Πίνακας 4.3: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης(mm) για την περίοδο 1975-1999 (Νίκας, 2004).	81
Πίνακας 4.4: Ετήσια ύψη βροχόπτωσης(mm) (Νίκας, 2004).	83
Πίνακας 4.5: Διακύμανς ετήσιων ύψων βροχόπτωσης(mm).	85
Πίνακας 5.1: Κλάσεις υψομέτρων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	103
Πίνακας 5.2: Κλάσεις μορφολογικών κλίσεων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	105
Πίνακας 5.3: Κλάσεις διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	107
Πίνακας 5.4: Κλάσεις Τεχνικογεωλογικών ενοτήτων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	109
Πίνακας 5.5: Κλάσεις οριζόντιας καμπυλότητας με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	111
Πίνακας 5.6: Κλάσεις κάθετης καμπυλότητας με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	113

Πίνακας 5.7: Κλάσεις αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	114
Πίνακας 5.8: Κλάσεις αποστάσεων από ρήγματα με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	116
Πίνακας 5.9: Κλάσεις υδρολιθολογίας εδάφους με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.	119
Πίνακας 6.1: Συντελεστές C θεματικών ενοτήτων.	125
Πίνακας 6.2: Συντελεστές C θεματικών ενοτήτων.	126
Πίνακας 6.3: Συντελεστές C θεματικών ενοτήτων.	127
Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα εφαρμογής του μοντέλου πρόβλεψης στη περιοχή μελέτης. ..	131
Πίνακας 6.5: Ποσοστό του οδικού δικτύου με διαβάθμιση κατολισθητικής επιδεκτικότητας.	133

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Γράφημα 1.1: Καταγεγραμμένος αριθμός φυσικών καταστροφών ανά τύπο 1950-2022 (στοιχεία EM-DAT).	21
Γράφημα 1.2: Καταγεγραμμένος αριθμός θανάτων από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.	22
Γράφημα 1.3: Χωρική Διασπορά καταγεγραμμένων θανάτων από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.	22
Γράφημα 1.4: Αριθμός ανθρώπων που επηρεάζονται από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.	23
Γράφημα 1.5: Χωρική Διασπορά των ανθρώπων που επηρεάζονται από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.	23
Γράφημα 1.6: Κατανομή των φυσικών καταστροφών στο σύνολο των φυσικών καταστροφών για το έτος 2022 και του μέσου αριθμού τη χρονική περίοδο 2002-2021.	24

Γράφημα 1.7: Παγκόσμια Θερμοκρασιακή Διακύμανση Αριθμός Φυσικών Καταστροφών, 1900 – 2015 (Chrysafi and Tsangaratos, 2022).	26
Γράφημα 1.8: Διαχρονική αποτύπωση των οικονομικών απώλειων στο σύνολο των φυσικών καταστροφών για τα έτη 1900-2020 (% GDP).	27
Γράφημα 1.9: Χωρική διασπορά των οικονομικών απώλειων στο σύνολο των φυσικών καταστροφών για τα έτη 1900-2020 (% GDP).	28
Γράφημα 1.10: Συνολικός αριθμός θανάτων από φυσικές καταστροφές, για την περίοδο 2000-2018 (EM-DAT/CRED, 2018).	30
Γράφημα 1.11: Διακύμανση αριθμού θανάτων από κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1900-2023.	31
Γράφημα 1.12: Διακύμανση αριθμού ανθρώπων που έχουν επηρεαστεί από κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1900-2023.	31
Γράφημα 1.13: Διακύμανση οικονομικών απωλειών από κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1900-2023.	32

EIKONEΣ

Εικόνα 2.1: Κατάπτωση Βράχων.	38
Εικόνα 2.2: Ανατροπή βράχων.	40
Εικόνα 2.3: Περιστροφικές ολισθήσεις.	42
Εικόνα 2.4: Μεταθετικές ολισθήσεις.	43
Εικόνα 2.5: Πλευρική εξάπλωση.	45
Εικόνα 2.6: Ροή Κορημάτων (USGS, 2004).	48
Εικόνα 2.7: Ερπυσμός (USGS, 2004).	49
Εικόνα 2.8: Ονοματολογία περιστροφικής ολίσθησης (IAEG, Commission on Landslides, 1990).	50

Εικόνα 2.9: Χάρτης συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων στον Ελλαδικό Χώρο (Βασιλειάδης, 2010).....	58
Εικόνα 3.1: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας (Wilde et al., 2018).	67
Εικόνα 3.2: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας (Wilde et al., 2018).....	69
Εικόνα 3.3: Χάρτης Κατολισθητικής Δισκινδύνευσης (Ηλία, 2013).....	70
Εικόνα 4.1: Περιοχή μελέτης.	75
Εικόνα 4.2: Πληθυσμιακή πυκνότητα περιοχής μελέτης.	76
Εικόνα 4.3: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά περιοχής.....	77
Εικόνα 4.4: Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.	78
Εικόνα 4.5: Στατιστικές μετρικές για τα δεδομένα των σταθμών της περιοχής έρευνας.	83
Εικόνα 4.6: Τεκτονικός χάρτης Κορινθιακού κόλπου (Armijo et al., 1996).	87
Εικόνα 4.7: Πανοραμική άποψη της φυσικής λίμνης Τσιβλού (Τσαγκάς, 2011).	94
Εικόνα 4.8: Πανοραμική λήψη ανάντη του εγκαταλελειμμένου οικισμού Κουνινά (Τσαγκάς 2011).....	96
Εικόνα 4.9: Πανοραμική άποψη της κατολισθαίνουσας ζώνης από ελικόπτερο στην περιοχή Παναγοπούλας (Τσαγκάς, 2011).....	97
Εικόνα 4.10: Κατολίσθηση Ιουνίου στην επαρχιακή οδό Πούντας–Καλαβρύτων.....	99
Εικόνα 4.11: Κατολίσθηση Σεπτεμβρίου 2023 στην επαρχιακή οδό Πούντας-Καλαβρύτων.	100
Εικόνα 5.1: Χάρτης κατανομής της καταγεγραμμένων κατολισθητικών φαινομένων.....	102
Εικόνα 5.2: Χάρτης Υψομέτρου.	104
Εικόνα 5.3: Χάρτης Μορφολογικών Κλίσεων.....	106
Εικόνα 5.4: Χάρτης Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων.	108
Εικόνα 5.5: Χάρτης Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων.	110
Εικόνα 5.6: Χάρτης επιδεκτικότητας καμπυλότητας κάθετης στη διεύθυνση κλίσεων.	112
Εικόνα 5.7: Χάρτης επιδεκτικότητας καμπυλότητας παράλληλης στη διεύθυνση κλίσεων.	113

Εικόνα 5.8: Χάρτης Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο.	115
Εικόνα 5.9: Χάρτης Απόσταση από ρήγματα.	116
Εικόνα 5.10: Χάρτης Υδρολιθολογίας.	119
Εικόνα 6.1: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας βάση του μοντέλου WofE.....	129
Εικόνα 6.2: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας βάση του μοντέλου WofE.....	130
Εικόνα 6.3: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας βάση του μοντέλου ΙΔΑ (Κολοκοτρώνης, 2019).....	132
Εικόνα 6.4: Ζώνες επιδεκτικότητας επί του οδικού δικτύου	133

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κατολισθήσεις αποτελούν μια από τις πιο επικίνδυνες φυσικές καταστροφές σε ότι αφορά τη συχνότητα εμφάνισης και τη σοβαρότητα των ζημιών που προκαλούν, ενώ έχουν ως δυσμενές αποτέλεσμα την απώλεια ανθρώπινης ζωής και την καταστροφή οικονομικών δραστηριοτήτων και κοινωνικών υποδομών.

Αντικείμενο της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας (Δ.Ε.) αποτέλεσε η διερεύνηση των δυνατοτήτων χρήσης προγνωστικών χωρικών μοντέλων για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Συγκεκριμένα, κατά πρώτον εφαρμόστηκε η πιθανολογική τεχνική *Weight of Evidence* για την αξιολόγηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας μέσω ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών και κατά δεύτερον διερευνήθηκε το ενδεχόμενο ο τελικός χάρτης να αποτελέσει εργαλείο διαχείρισης κινδύνου. Περιοχή έρευνας και εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας αποτέλεσε τμήμα του νομού Αχαΐας. Σε ό,τι αφορά το προσδοκώμενο αποτέλεσμα, αποτέλεσε ο εντοπισμός περιοχών υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας καθώς και η σύνταξη προτάσεων για ενδεδειγμένους τρόπους αποτροπής και ανάσχεσης στην περίπτωση εκδήλωσης ενός κατολισθητικού συμβάντος. Η ολοκλήρωση της Δ.Ε. επιτεύχθηκε ακολουθώντας τα κάτωθι στάδια έρευνας:

- Συλλογή και αξιολόγηση βιβλιογραφικών εργασιών σχετικών με το φαινόμενο των κατολισθήσεων, τις μεθόδους διερεύνησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας καθώς και των επιπτώσεων που έχουν οι κατολισθήσεις στο περιβάλλον και τα έργα υποδομής.
- Διερεύνηση των γεωμορφολογικών, σεισμο-τεκτονικών χαρακτηριστικών, της γεωλογικής δομής, του υδρογραφικού δικτύου. Συγκέντρωση όλων των χωρικών δεδομένων και ψηφιοποίηση, όπου χρειαζόταν των σχετικών χαρτών για τη δημιουργία γεωχωρικής βάσης δεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΣΠ).
- Εφαρμογή στατιστικών και πιθανολογικών μοντέλων πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

- Δημιουργία τελικού χάρτου κατολισθητικής επιδεκτικότητας και ανάλυση των αποτελεσμάτων με τη σύνταξη συμπερασμάτων και σχετικών προτάσεων σε ότι αφορά τη διαχείριση των κατολισθητικών φαινομένων.

ABSTRACT

Landslides are one of the most dangerous natural disasters in terms of their frequency of occurrence and severity of damage, resulting in loss of life and destruction of economic activities and social infrastructure.

The aim of this thesis was to investigate the potential of using predictive spatial models for the assessment of the landslide susceptibility of geological formations. Specifically, the techniques and methods applied for the assessment of landslide susceptibility with the help of Geographical Information Systems (GIS) and how the resulting map can be a risk management tool were examined. A large part of the prefecture of Achaia was the area of investigation. In terms of the expected outcome, it is the identification of areas of high landslide susceptibility and the preparation of proposals for appropriate ways of prevention and containment in the event of a landslide event. The methods of data collection and the methodology applied were achieved in the following ways:

- Collection and review of literature on the phenomenon of landslides, the methods of investigation of landslide susceptibility and the effects of landslides on the environment and infrastructure projects.
- Investigation of the geomorphological, seismo-tectonic characteristics, the geological structure, the hydrographic network.
- Collection of all spatial data and digitization of relevant maps for the creation of a geospatial database in a Geographic Information Systems (GIS) environment.
- Application of statistical and Machine Learning models for the prediction of landslide susceptibility.
- Creation of a final map of landslide susceptibility and preparation of proposals for prevention and containment measures.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ, ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Ως **Φυσικός Κίνδυνος** (*natural hazard*) χαρακτηρίζεται μια φυσική διεργασία ή ένα φαινόμενο (πχ. σεισμός, ηφαιστειακή έκρηξη, πλημμύρα, καταιγίδα, ξηρασία, κατολίσθηση κλπ.) που συμβαίνει στη βιόσφαιρα, η οποία μπορεί να εξελιχθεί σε καταστροφικό γεγονός και να βλάψει ανθρώπους ή να καταστρέψει ιδιοκτησίες και περιουσιακά στοιχεία. Ως επί το πλείστον, οι φυσικοί κίνδυνοι που εξελίσσονται σε καταστροφικό γεγονός έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- εκδηλώνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα,
- τα αποτελέσματά τους είναι άμεσα,
- τα αποτελέσματά τους είναι ακούσια,
- δημιουργούν μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

Ένα φυσικό φαινόμενο αποτελεί φυσική καταστροφή (*natural disaster*) όταν το αποτέλεσμα της εκδήλωσής του προκαλεί καταστροφές τέτοιου μεγέθους που η πληγείσα κοινότητα δε μπορεί να ανακάμψει με χρήση των δικών της πόρων. Μια καταστροφή συνεπάγεται σημαντική αποδιοργάνωση στη λειτουργία μιας κοινωνίας, με εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές ή περιβαλλοντικές απώλειες. Ωστόσο ο όρος «φυσική καταστροφή» είναι σχετικά παραπλανητικός, διότι υποδηλώνει ότι οι καταστροφές αποτελούν ένα «σφάλμα της φύσης», μια «ανωμαλία». Στην πραγματικότητα, τα γεγονότα που νοούνται ως καταστροφές δεν αποτελούν καταστροφές χωρίς την συνύπαρξη του ανθρώπινου παράγοντα, η οποία συνδέεται με την ευπάθεια και τρωτότητα που αναπτύσσεται μέσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα, πχ. τον τόπο ή τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος κατασκευάζει μια κατοικία ή μία κρίσιμη υποδομή. Φυσικά γεγονότα όπως οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι, οι πλημμύρες, οι σεισμοί, τα κατολισθητικά φαινόμενα και οι μετακινήσεις εδαφών είναι στην

πραγματικότητα κίνδυνοι που έχουν τη δυνατότητα να βλάψουν τους ανθρώπους και να καταστρέψουν την ανθρώπινη ιδιοκτησία. Δεν θεωρούνται, όμως, όλα τα φυσικά φαινόμενα καταστροφές, αλλά μόνο εκείνα που έχουν αντίκτυπο στην ανθρώπινη κοινωνία. Αυτοί οι κίνδυνοι γίνονται καταστροφές μόνο όταν εμφανιστούν σε ευάλωτες κοινωνίες που δεν έχουν ή δε βρίσκουν τον τρόπο να αντιμετωπίσουν τους κινδύνους αυτούς. Θα πρέπει βέβαια να τονιστεί ότι οι φυσικές καταστροφές δεν είναι και δεν πρέπει να θεωρούνται ως το αναπόφευκτο αποτέλεσμα ενός φυσικού κινδύνου. Συνήθως, οι συνθήκες λειτουργίας μιας κοινωνίας είναι αυτές που δημιουργούν το υπόβαθρο ώστε ένας κίνδυνος να μετατραπεί σε καταστροφή, γεγονός το οποίο είναι συνάρτηση του πόσο επαρκώς μια κοινωνία μπορεί να προσαρμοστεί και να ανταποκριθεί στους κινδύνους που αντιμετωπίζει (Σαπουντζάκη και Δανδουλάκη, 2015).

Ένας από τους πλέον αποδεκτούς ορισμούς για τις φυσικές καταστροφές δόθηκε, το 2004, από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών για την Διεθνή Στρατηγική Μείωσης των Καταστροφών (United Nations / International Strategy for Disaster Reduction- UN/ISDR, 2004): *«Μια καταστροφή είναι ένα αιφνίδιο, καταστρεπτικό συμβάν που διαταράσσει σημαντικά μια κοινωνία ή ένα κοινωνικό σύνολο, προκαλώντας ανθρώπινες, υλικές, οικονομικές ή/και περιβαλλοντικές απώλειες, οι οποίες υπερβαίνουν την δυνατότητα της κοινωνίας ή του κοινωνικού συνόλου να τις αντιμετωπίσει».*

1.1.1 ΕΙΔΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Οι φυσικές καταστροφές διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς ή τεχνολογικές, δεδομένου ότι είναι αποτέλεσμα εκδήλωσης φυσικών ή τεχνολογικών δραστηριοτήτων αντίστοιχα, ικανών να προκαλέσουν βλάβες ή καταστροφές στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον. Συνοπτικά, όσον αφορά στους τεχνολογικούς κινδύνους και στις καταστροφές που συνήθως αυτοί προκαλούν, ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι αστοχίες μεγάλων τεχνικών έργων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μείωση του στρώματος του όζοντος και η ερημοποίηση (Μακρόπουλος, 2006). Οι φυσικές καταστροφές κατηγοριοποιούνται, βάσει του είδους του φυσικού κινδύνου που αποτέλεσε τη γενεσιουργό αιτία τους. Έτσι, σύμφωνα

με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization) και την παγκόσμια βάση δεδομένων EM-DAT (Emergency Events Database), οι φυσικές καταστροφές, διακρίνονται σε έξι (6) κατηγορίες:

- Γεωλογικές, όπως οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι κατολισθήσεις / μετακινήσεις ξηρής μάζας.
- Υδρολογικές, όπως οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις / μετακινήσεις υγρής μάζας (π.χ. χιονοστιβάδες).
- Μετεωρολογικές, όπως οι θύελλες και οι καταιγίδες.
- Κλιματολογικές, όπως οι ακραίες θερμοκρασίες, οι ξηρασίες και οι δασικές πυρκαγιές.
- Βιολογικές, όπως επιδημίες που προκαλούνται από την έκθεση των ζωντανών οργανισμών σε παθογόνους μικροοργανισμούς (π.χ. COVID-19).
- Κοσμικές, όπως πτώσεις μετεωριτών, αστεροειδών και διέλευση κομητών.

1.1.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

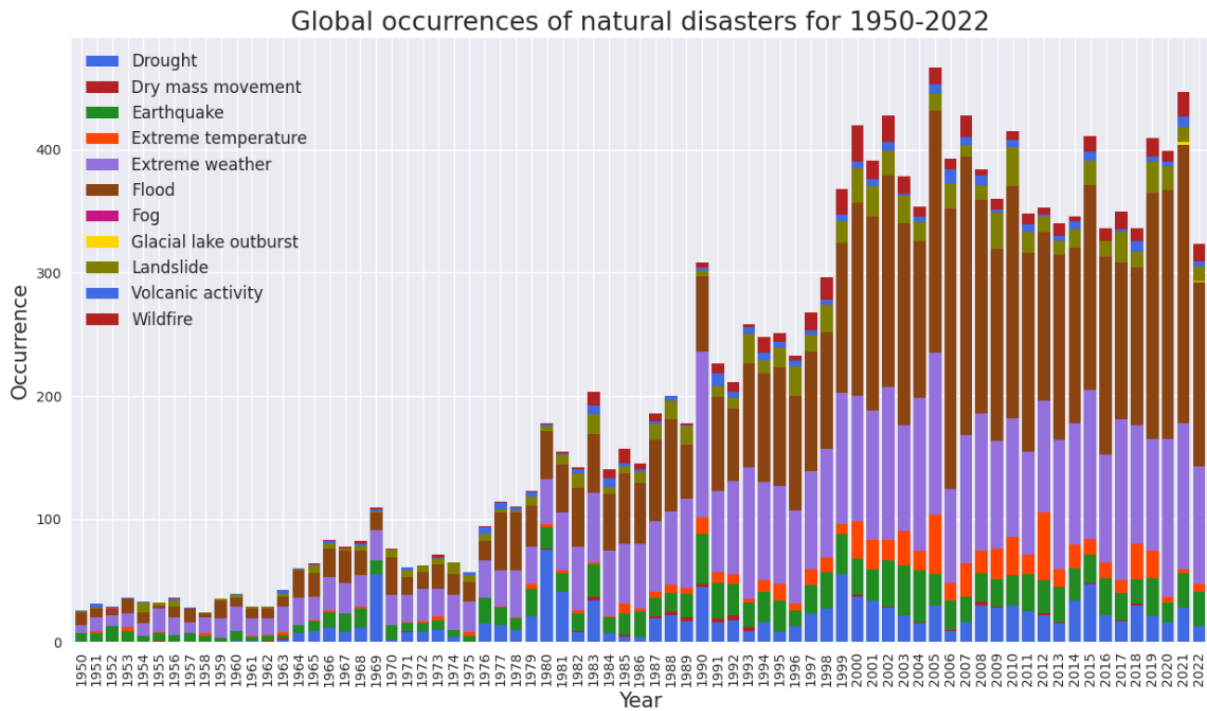
Οι φυσικές καταστροφές, που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομικές, δομικές και ανθρώπινες απώλειες σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και διεθνές επίπεδο. Σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Στρατηγικής του ΟΗΕ για τη μείωση του κινδύνου των καταστροφών, ο συνολικός απολογισμός των φυσικών καταστροφών της 30-ετίας 1980-2008 είναι:

- 2,1 εκατομμύρια νεκροί.
- 5,3 δισεκατομμύρια πληγέντες.
- 1,6 τρισεκατομμύρια \$ Η.Π.Α. οικονομική ζημιά.

Ο μεγαλύτερος αριθμός καταστροφών της 30-ετίας καταγράφεται στην Ασία (3.341 συμβάντα) και, ακολούθως, στην Αμερική (2.101 συμβάντα), την Αφρική (1.699 συμβάντα), την Ευρώπη (1.190 συμβάντα) και την Ωκεανία (380 συμβάντα). Οι υδρολογικές (πλημμύρες) και οι μετεωρολογικές καταστροφές (καταιγίδες) είναι, με διαφορά, οι

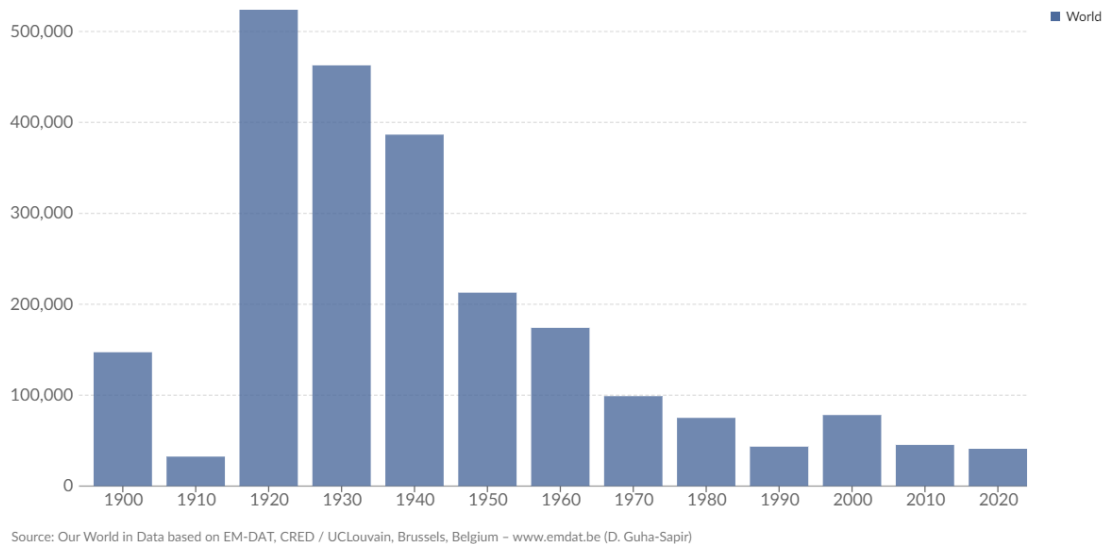
επικρατέστερες φυσικές καταστροφές παγκοσμίως με 2.887 και 2.381 συμβάντα αντίστοιχα, με κύρια περιοχή εμφάνισης την Ασία και την Αμερική. Ακολουθούν οι βιολογικές καταστροφές (επιδημίες) με 1.039 συμβάντα, με κυριότερη περιοχή εμφάνισης την Αφρική, οι γεωφυσικές καταστροφές (σεισμοί, ηφαίστεια) με κύρια περιοχή εμφάνισης την Ασία και οι κλιματολογικές καταστροφές (ακραίες θερμοκρασίες, ξηρασίες, πυρκαγιές). Αναφορικά με τις ανθρώπινες απώλειες, η Ασία συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό νεκρών και πληγέντων με πάνω από 1 εκατ. νεκρούς και πάνω από 4,5 δισ. πληγέντες, ακολουθούμενη, με μεγάλη διαφορά, από την Αφρική, την Αμερική, την Ευρώπη και την Ωκεανία. Εμφανίζει δε και τις μεγαλύτερες οικονομικές απώλειες, ακολουθούμενη από την Αμερική, με ελάχιστη διαφορά. Ο αριθμός των ανθρώπινων απωλειών από φυσικές καταστροφές ποικίλλει ανά γεωγραφική περιοχή. Το μεγαλύτερο μέρος των θανάτων στην Ασία είναι αποτέλεσμα κυρίως σεισμών και καταιγίδων, ενώ στην Αμερική είναι κυρίως αποτέλεσμα πλημμυρών και καταιγίδων (Γράφημα 1.2). Τα πράγματα διαφοροποιούνται στις άλλες τρεις ηπείρους, όπου μία κύρια αιτία αποτελεί σχεδόν καθολική πηγή θανάτων. Οι ακραίες θερμοκρασίες στην Ευρώπη ευθύνονται για 67% των θανάτων, οι ξηρασίες στην Αφρική για το 78% αυτών και οι σεισμοί στην Ωκεανία για το 55% αυτών.

Αναφορικά με τις οικονομικές απώλειες της υπό εξέταση 30-ετίας, μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζει η Ασία (671 δισ.) λόγω σεισμών και πλημμυρών, καθώς και η Αμερική (600 δισ.), σχεδόν αποκλειστικά λόγω καταιγίδων. Με μεγάλη διαφορά στον οικονομικό απολογισμό ακολουθεί η Ευρώπη (267 δισ.), με απώλειες λόγω πλημμυρών, καταιγίδων και σεισμών. Η Αφρική και η Ωκεανία έρχονται τελευταίες στη λίστα των οικονομικών απωλειών, με τεράστια διαφορά στην κλίμακα μεγέθους (~ 25 δισ. οικονομικές απώλειες έκαστος).



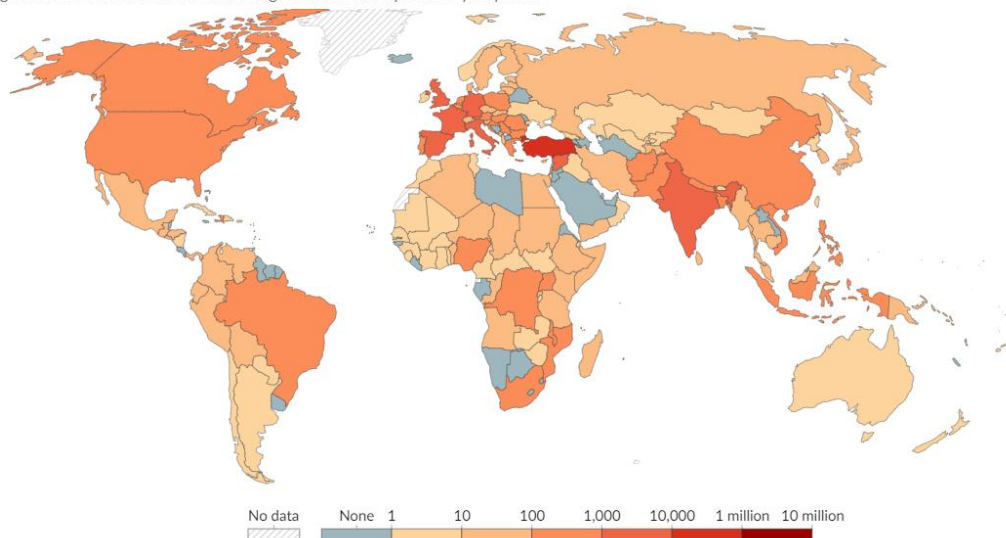
Γράφημα 1.1: Καταγεγραμμένος αριθμός φυσικών καταστροφών ανά τύπο 1950-2022 (στοιχεία EM-DAT).

Στο γράφημα (γράφημα 1.2) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι προκληθέντες θάνατοι στο σύνολο των φυσικών κινδύνων για τα έτη 1900-2020 σε παγκόσμια κλίμακα όπου περιλαμβάνονται όλα τα γεωφυσικά, μετεωρολογικά και κλιματικά γεγονότα, συμπεριλαμβανομένων των σεισμών, της ηφαιστειακής δραστηριότητας, των κατολισθήσεων, της ξηρασίας, των πυρκαγιών, των καταιγίδων και των πλημμυρών. Τα στοιχεία της δεκαετίας μετρώνται ως ο ετήσιος μέσος όρος για την δεκαετή περίοδο. Διαπιστώνει κανείς ότι υπάρχει μια πτωτική τάση των καταγεγραμμένων θανάτων, από την δεκαετία του 1920 μέχρι και το 2000, όπου τη δεκαετία 2000-2010 υπήρξε μια ισχυρή άνοδο. Σε ότι αφορά την χωρική διασπορά των καταγεγραμμένων θανάτων (γράφημα 1.3) που έμμεσα αποτυπώνουν και την χωρική διασπορά των φυσικών καταστροφικών συμβάντων, διαπιστώνεται η εξάπλωση σε όλες τις ηπείρους, με διαφορετική ωστόσο συχνότητα. Ασία, Ευρώπη και Αμερική αποτελούν τις τρεις πρώτες ηπείρους με τα περισσότερα και έπονται Αφρική και Ωκεανία.



Γράφημα 1.2: Καταγεγραμμένος αριθμός θανάτων από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.

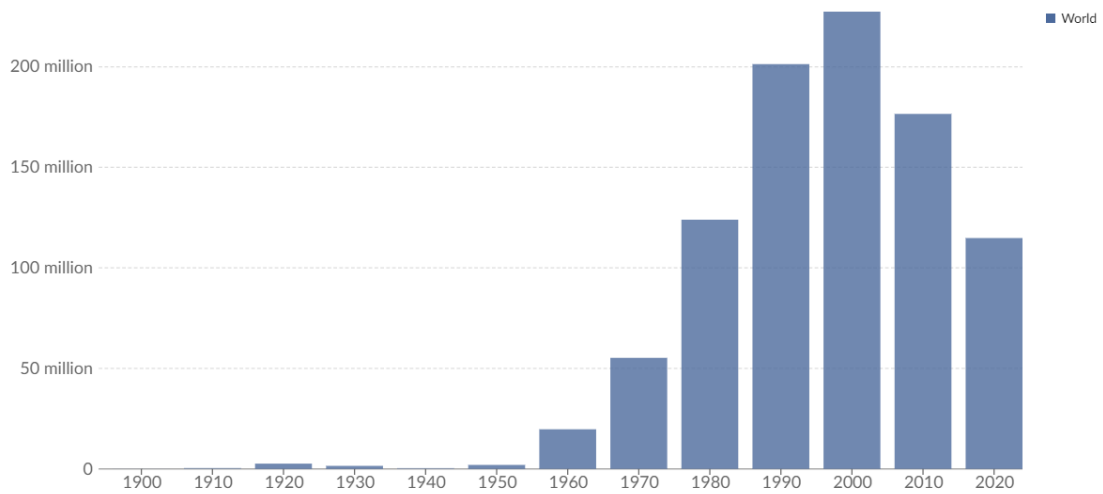
Disasters include all geophysical, meteorological and climate events including earthquakes, volcanic activity, landslides, drought, wildfires, storms, and flooding. Decadal figures are measured as the annual average over the subsequent ten-year period.



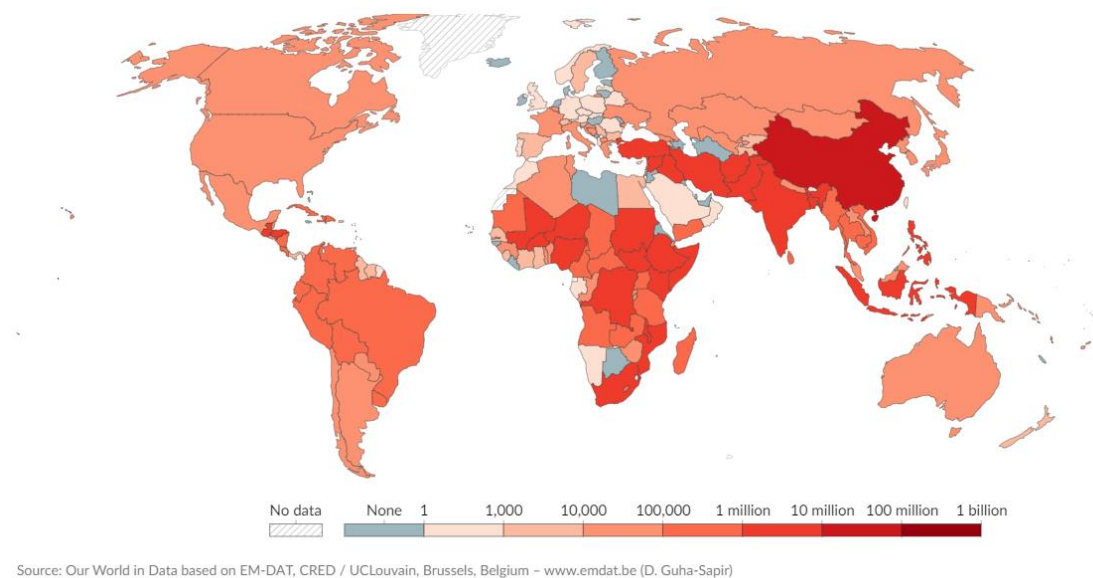
Γράφημα 1.3: Χωρική Διασπορά καταγεγραμμένων θανάτων από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.

Μια διαφορετική εικόνα παρουσιάζεται και όσο αφορά την εξέλιξη αλλά και χωρική κατανομή του αριθμού των ανθρώπων που επηρεάζονται από την εκδήλωση των φυσικών καταστροφών (γράφημα 1.4, 1.5). Αυξητική τάση από το 1960 έως τη δεκαετία του 2000 και στη συνέχεια μια πτωτική τάση, ενώ σε ότι αφορά τη παγκόσμια χωρική κατανομή,

διαπιστώνεται ότι Ασία και Αφρική κατατάσσονται στις δυο πρώτες θέσεις με την Αμερική, Ωκεανία και την Ευρώπη να έπονται.



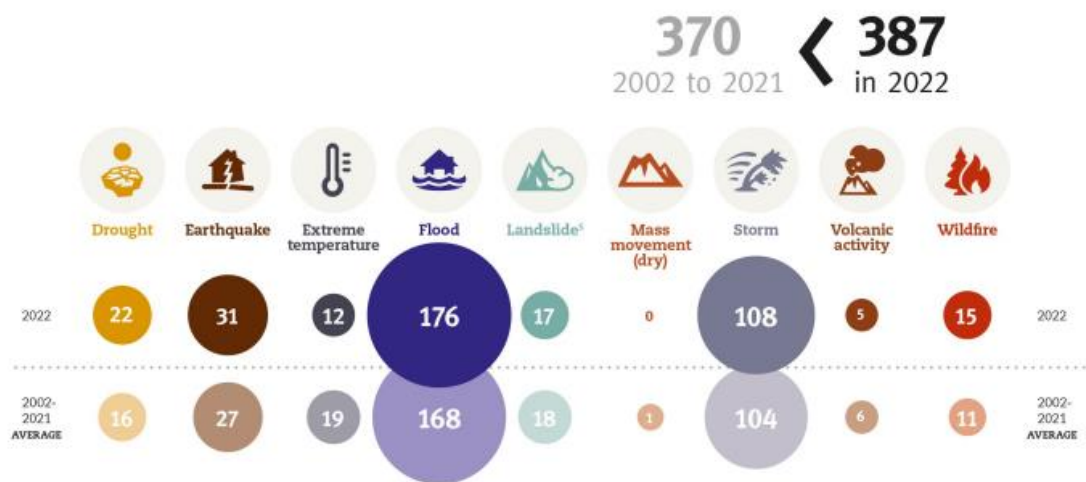
Γράφημα 1.4: Αριθμός ανθρώπων που επηρεάζονται από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.



Γράφημα 1.5: Χωρική Διασπορά των ανθρώπων που επηρεάζονται από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών 1900-2020.

Για το 2022, το EM-DAT κατέγραψε 387 φυσικούς κινδύνους και καταστροφές παγκοσμίως, μια ελάχιστη αύξηση σε σχέση με τη περίοδο 2002-2021 με μέσο ετήσιο αριθμό

370, με αποτέλεσμα 30.704 θανάτους, και επηρεάζοντας 185 εκατομμύρια ανθρώπους (γράφημα 1.6). Για το έτος 2022, οι οικονομικές απώλειες ανήλθαν σε περίπου 223,8 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Συγκεκριμένα, τα κύματα καύσωνα προκάλεσαν πάνω από 16.000 θανάτους στην Ευρώπη, ενώ η ξηρασία έπληξε 88,9 εκατομμύρια ανθρώπους στην Αφρική. Ο τυφώνας Ίαν προκάλεσε μόνος του ζημιές που ξεπέρασαν τα 100 δισεκατομμύρια δολάρια στην Αμερική. Ο ανθρώπινος και οικονομικός αντίκτυπος των καταστροφών ήταν σχετικά υψηλότερος στην Αφρική, π.χ., με 16,4 % του μεριδίου των θανάτων σε σύγκριση με 3,8 % τις προηγούμενες δύο δεκαετίες. Ήταν σχετικά χαμηλότερο στην Ασία παρά το γεγονός ότι η Ασία γνώρισε μερικές από τις πιο δυσμενείς φυσικές καταστροφές για το έτος 2022 (EM-DAT, 2023).



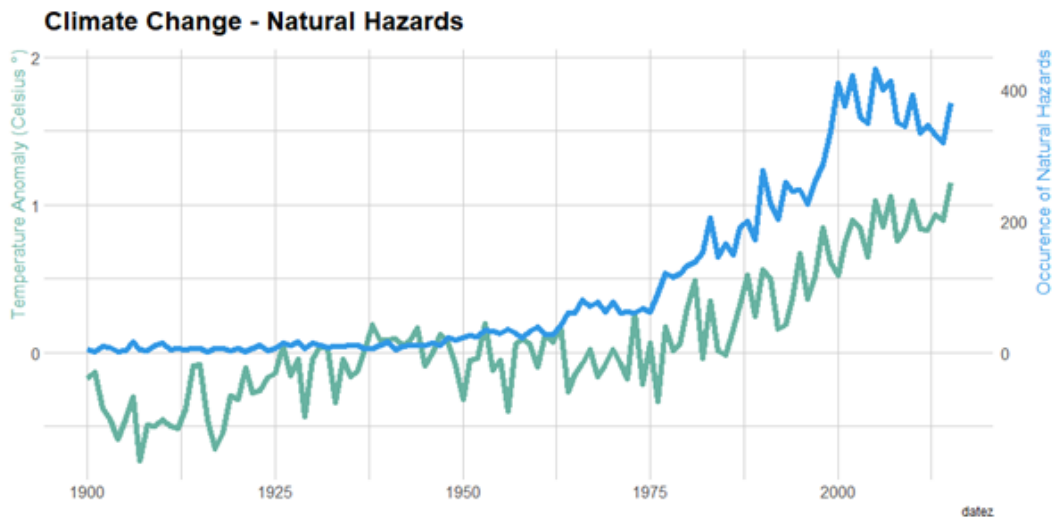
Γράφημα 1.6: Κατανομή των φυσικών καταστροφών στο σύνολο των φυσικών καταστροφών για το έτος 2022 και του μέσου αριθμού τη χρονική περίοδο 2002-2021.

Εξετάζοντας την εξέλιξη των φυσικών καταστροφών στο χρόνο, σύμφωνα με το «Κέντρο Έρευνας για την Επιδημιολογία των Καταστροφών (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED))» και τη βάση δεδομένων EM-DAT, ο αριθμός των καταγεγραμμένων καταστροφών εμφανίζει συνεχή, και μεγάλη, ανοδική τάση έως και το 2000.

Εκείνο που διαφαίνεται από την στατιστική ανάλυση που αποτυπώνεται στα προηγούμενα γραφήματα είναι ότι η εκδήλωση φυσικών καταστροφών αποτελεί ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο μέγεθος, το οποίο ακολουθεί κατά κύριο λόγο καθοδικές τάσεις με κάποιες εξάρσεις που οφείλονται σε συγκεκριμένα ιδιαίτερα μεγάλα σε ένταση καταστροφικά φαινόμενα. Οι επιπτώσεις που έχουν οι φυσικές καταστροφές στο ανθρώπινο και φυσικό περιβάλλον, έχει να

κάνει κυρίως από την ετοιμότητα μιας κοινωνίας για την αντιμετώπιση τους. Διαφοροποιούνται ανάλογα με τον είδος της καταστροφής και τις ιδιαίτερες συνθήκες που επιβάλλει κάθε φυσική καταστροφή. Παράγοντες όπως οι δυνατότητες πρόληψης, προστασίας, αντιμετώπισης και αποκατάστασης επίσης επηρεάζουν το βαθμό των επιπτώσεων. Η τρωτότητα του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται σε κίνδυνο και άλλοι παράγοντες όπως το επίπεδο ανάπτυξης και οι συνθήκες αστικοποίησης επίσης επηρεάζουν τις επιπτώσεις έναντι των φυσικών καταστροφών. Αυτές οι μεταβολές εμφανίζουν γεωγραφικές διαφοροποιήσεις, καθώς οι περιφερειακές και τοπικές συνθήκες επηρεάζουν τον τρόπο που αντιμετωπίζονται και αντιδρούν οι κοινωνίες σε φυσικές καταστροφές.

Ως προς τα αίτια η πλειονότητα των ερευνητών θεωρούν ότι η αύξηση των φυσικών καταστροφών καθορίζεται από μια σειρά από παράγοντες που περιλαμβάνουν (UNDRR, 2009; Mystik et al., 2016; Ward et al., 2016): τις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, όπου δεδομένης της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω των ανθράκινων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θεωρείται ότι συμβάλει στην αύξηση της συχνότητας και την έντασης των κλιματικών φαινομένων, όπως η έκρηξη τυφών, οι πλημμύρες, οι ξηρασίες και οι πυρκαγιές. Σύμφωνα με τους Chrysafi and Tsangaratos (2022), με δεδομένα που αφορούν την διακύμανση στις παγκόσμιες θερμοκρασίες για την περίοδο 1850-2015 και τα δεδομένα φυσικών κινδύνων για την περίοδο 1900-2018, διαπιστώνουν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ τους, η οποία εν μέρει μπορεί να δικαιολογηθεί από την καλύτερη ανίχνευση και καταγραφή των φυσικών καταστροφών (Γράφημα 1.7).



Γράφημα 1.7: Παγκόσμια Θερμοκρασιακή Διακύμανση Αριθμός Φυσικών Καταστροφών, 1900 – 2015 (Chrysafi and Tsangaratos, 2022).

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού έχει οδηγήσει στην ανέγερση οικιστικών περιοχών σε πιο ευάλωτες περιοχές, αυξάνοντας τον αριθμό των ανθρώπων που εκτίθενται σε φυσικούς κινδύνους. Παράλληλα, η αύξηση των αστικών περιοχών και η μετατόπιση από την υπαίθρο στις πόλεις μπορεί να αυξήσει την εκτίθεση σε καταστροφικά φαινόμενα, καθώς οι αστικές περιοχές συχνά καταλαμβάνουν περιοχές που προηγουμένως λειτουργούσαν ως φυσικοί εκτροπέις.

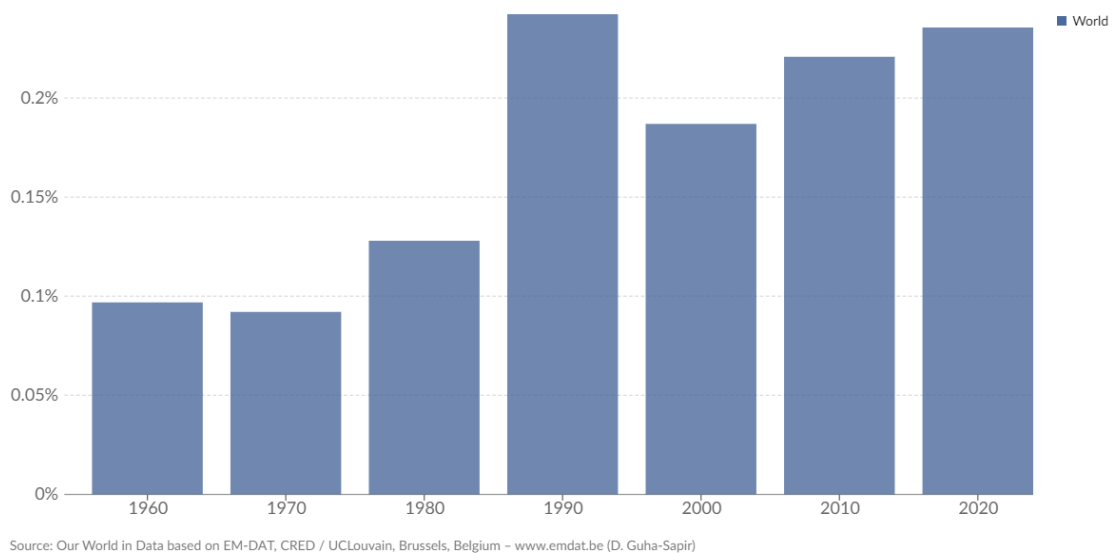
1.1.3 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Οι φτωχότερες και αναπτυσσόμενες χώρες συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπινων απωλειών. Βάσει στοιχείων του 2005, κατά μέσο όρο, 30 φορές περισσότεροι άνθρωποι (περίπου 13 φορές περισσότεροι άνθρωποι ανά καταστροφή) σκοτώθηκαν στις αναπτυσσόμενες χώρες, σε σχέση με τις αναπτυγμένες.

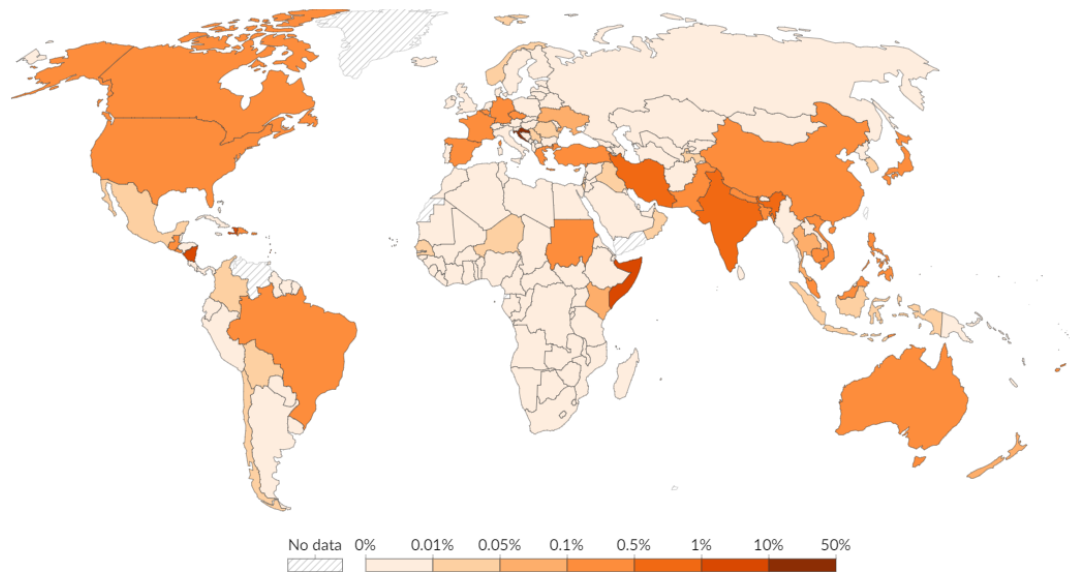
Από οικονομικής άποψης, οι βιομηχανικές χώρες τείνουν να παρουσιάζουν μεγαλύτερες οικονομικές απώλειες (σε απόλυτους αριθμούς δολαρίων), παρόλο που ο συνολικός

αντίκτυπος στην οικονομία, ως ποσοστό του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) είναι μικρότερος ή αμελητέος. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, αν ληφθούν υπ' όψιν οι δαπανηρές υποδομές των πλουσίων χωρών. Έτσι, σε αναπτυγμένες χώρες όπως πχ. ο Καναδάς, ο αριθμός των θανάτων είναι συνήθως μικρός, αλλά οι οικονομικές επιπτώσεις μεγάλες. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες βιώνουν συχνά ένα μεγάλο αριθμό θανάτων, αλλά μικρότερες οικονομικές επιπτώσεις, σε απόλυτους, αν όχι σχετικούς αριθμούς. Οι καταστροφές όμως στις χώρες αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Η ανάκαμψη συχνά είναι αργή ή αδύνατη λόγω έλλειψης μηχανισμών ασφάλισης ή κυβερνητικών προγραμμάτων ανάκαμψης/ενίσχυσης.

Σε ότι αφορά τη διαχρονική αποτύπωση των οικονομικών απωλειών στο σύνολο των φυσικών καταστροφών από τη δεκαετία του 1990 παρουσιάζεται αύξηση του ποσοστού και διατήρηση του ποσοστού απωλειών σε μια αρκετά υψηλή τιμή της τάξης του 0.25-0.30% του ολικού GDP (γράφημα 1.8, 1.9). Σε ότι αφορά τη παγκόσμια χωρική κατανομή, διαπιστώνεται ότι Ασία, Ωκεανία και Αμερική Αφρική κατατάσσονται στις τρεις πρώτες ημειpeύρους με την Αφρική και Ευρώπη να έπονται.



Γράφημα 1.8: Διαχρονική αποτύπωση των οικονομικών απώλειων στο σύνολο των φυσικών καταστροφών για τα έτη 1960-2020 (% GDP).



Γράφημα 1.9: Χωρική διασπορά των οικονομικών απώλειων στο σύνολο των φυσικών καταστροφών για τα έτη 1900-2020 (% GDP).

Επίσης, δυσανάλογα πολλά από τα θύματα φυσικών καταστροφών είναι άνθρωποι που ανήκουν σε χαμηλότερες τάξεις εισοδήματος. Γενικότερα, η φτώχεια αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα τρωτότητας σε φυσικές καταστροφές. Οι φτωχές κοινωνίες είναι πιθανότερο να διαβιούν σε επικίνδυνες τοποθεσίες, όπως πλημμυρικές περιοχές, όχθες ποταμών, απότομες πλαγιές, οικισμούς με πρόχειρες κατασκευές ή ακατάλληλα υλικά για υποδομές και στέγαση. Στο ίδιο πλαίσιο, η εφαρμογή αμφίβολων γεωργικών πρακτικών που συχνά συναντάται σε φτωχές και αγροτικές περιοχές έχει ως αποτέλεσμα τοπικές οικολογικές και περιβαλλοντικές αλλαγές, οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν κίνδυνο. Για παράδειγμα, η αποψίλωση των δασών προκειμένου να εξασφαλιστεί χώρος για γεωργική παραγωγή συχνά οδηγεί σε διάβρωση του εδάφους, σε απώλεια θρεπτικών συστατικών και τελικά στην περιθωριοποίηση της γεωργίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τέτοιες διαδικασίες μπορούν να οδηγήσουν άμεσα στη δημιουργία νέων συνθηκών κινδύνου από πλημμύρα, ξηρασία, πυρκαγιά ή κατολίσθηση.

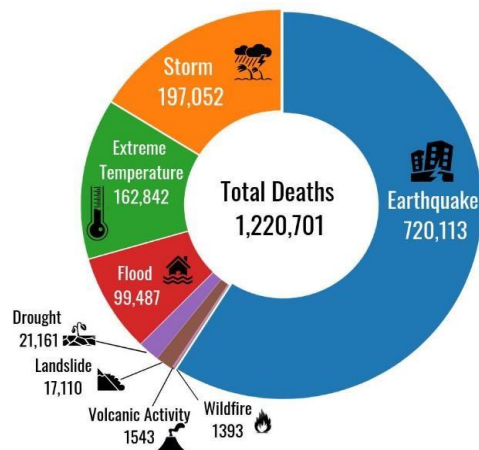
Το Πλαίσιο Sendai για τη Μείωση του Κινδύνου Καταστροφών 2015-2030 αντιπροσωπεύει σημαντικές παγκόσμιες προσπάθειες που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών. Αναδεικνύει ποσοτικούς στόχους που περιλαμβάνουν τη μείωση ανθρώπινων απωλειών και πληττόμενων, τη μείωση του κόστους βλαβών και των ζημιών σε

κρίσιμες υποδομές. Επίσης, προωθεί τη δημιουργία εθνικών στρατηγικών αντιμετώπισης καταστροφών, διεθνής συνεργασίας για την υποστήριξη αναπτυσσόμενων χωρών, και την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων προειδοποίησης. Αυτό το πλαίσιο, παρότι μη δεσμευτικό, αποτελεί σημαντική πρωτοβουλία που ακολουθεί το αντίστοιχο Πλαίσιο Χιόγκο. Καθιερώνει μια συστηματική προσέγγιση για τη μείωση του κινδύνου καταστροφών και την αύξηση της ανθεκτικότητας, αναδεικνύοντας προτεραιότητες όπως η κατανόηση του κινδύνου, η ενίσχυση της διακυβέρνησης, η επένδυση στην ανθεκτικότητα και η προετοιμασία για αποτελεσματική αντιμετώπιση καταστροφών. Μέσω αυτών των προσπαθειών, επιδιώκεται η προστασία ζωής και περιουσιών κατά των φυσικών καταστροφών και η προαγωγή της βιώσιμης ανάκαμψης και ανοικοδόμησης μετά από αυτές.

1.2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

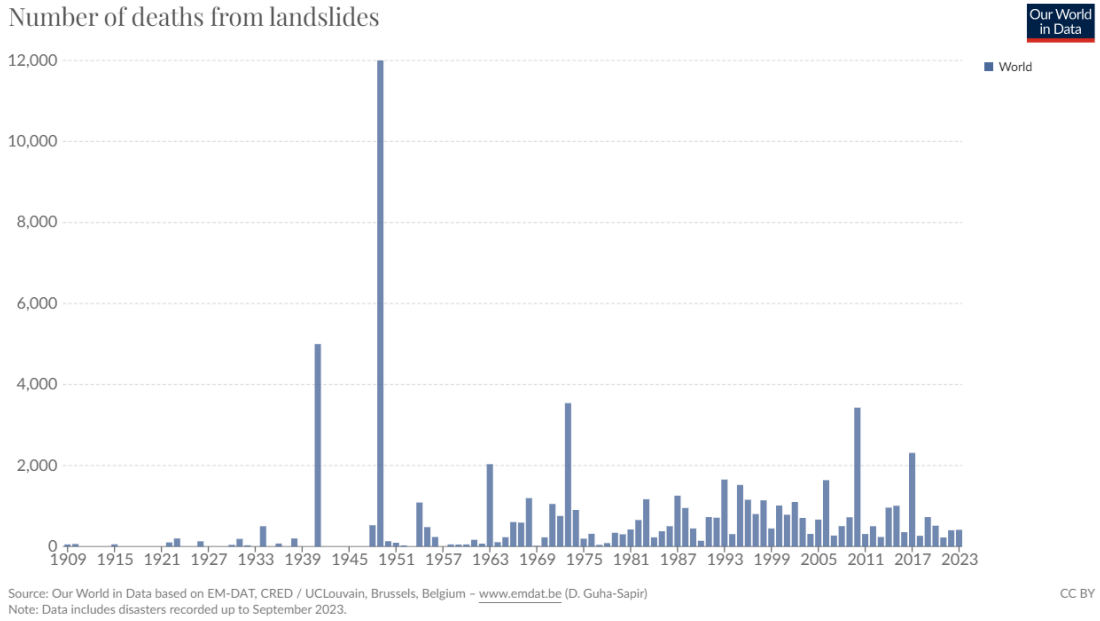
Οι κατολισθήσεις, οι οποίες ανήκουν στο πεδίο των υδρολογικών και γεωλογικών καταστροφών, συνιστούν μαζί με τους σεισμούς, τις ηφαιστειακές εκρήξεις, τις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές καθώς και τις πλημμύρες, τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές και αποτελούν βασική αιτία απώλειας ανθρώπινων ζωών καθώς και περιουσιών, με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Η συχνότητα των κατολισθήσεων, σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες, έχει ανοδική πορεία. Οι βασικοί λόγοι για αυτή την ανοδική πορεία, είναι η αύξηση της ευπάθειας της επιφάνειας του εδάφους ως αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης των φυσικών πόρων, αλλά και της μεγαλύτερης τρωτότητας του εκτεθειμένου πληθυσμού ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης της αστικοποίησης και της ανεξέλεγκτης χρήσης γης. Επιπροσθέτως, η εκδήλωση περισσότερων ακραίων καιρικών φαινομένων, γεγονός το οποίο οφείλεται στην κλιματική αλλαγή, συμβάλλει ως παράγοντας για την εκδήλωση αστοχιών. Αν και οι κατολισθήσεις εμφανίζονται συχνότερα σε σχέση με άλλα καταστροφικά φαινόμενα, ταξινομούνται σε χαμηλή θέση, όσον αφορά τον αριθμό των θανατηφόρων περιστατικών. Για τον 21^ο αιώνα έχουν καταγραφεί 17.110 θάνατοι, δηλαδή μόλις το 1,4% των συνολικών θανάτων από φυσικές καταστροφές, όπως φαίνεται στο Γράφημα 1.10. Ωστόσο, θεωρείται ότι ο αριθμός των θυμάτων από κατολισθητικά φαινόμενα, συχνά

υποεκτιμάται μιας και υπάρχει πάντα συσχέτιση με τον πρωταρχικό παράγοντα που προκάλεσε την καταστροφή (π.χ. ένας σεισμός) και όχι με τον παράγοντα που ήταν η αιτία του θανάτου. Το ίδιο ισχύει και για τις επιπτώσεις που έχουν οι κατολισθήσεις στην κοινωνία και στο περιβάλλον, μιας και θεωρούνται ότι είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας ενεργοποίησης άλλων φαινομένων, όπως είναι οι σεισμικές δονήσεις, οι ηφαιστειακές εκρήξεις καθώς και οι πλημμύρες. Συνεπώς, οι επιπτώσεις τους συνεκτιμώνται κατά την αποτίμηση των αποτελεσμάτων των κύριων φαινομένων (Schauster, 1996).

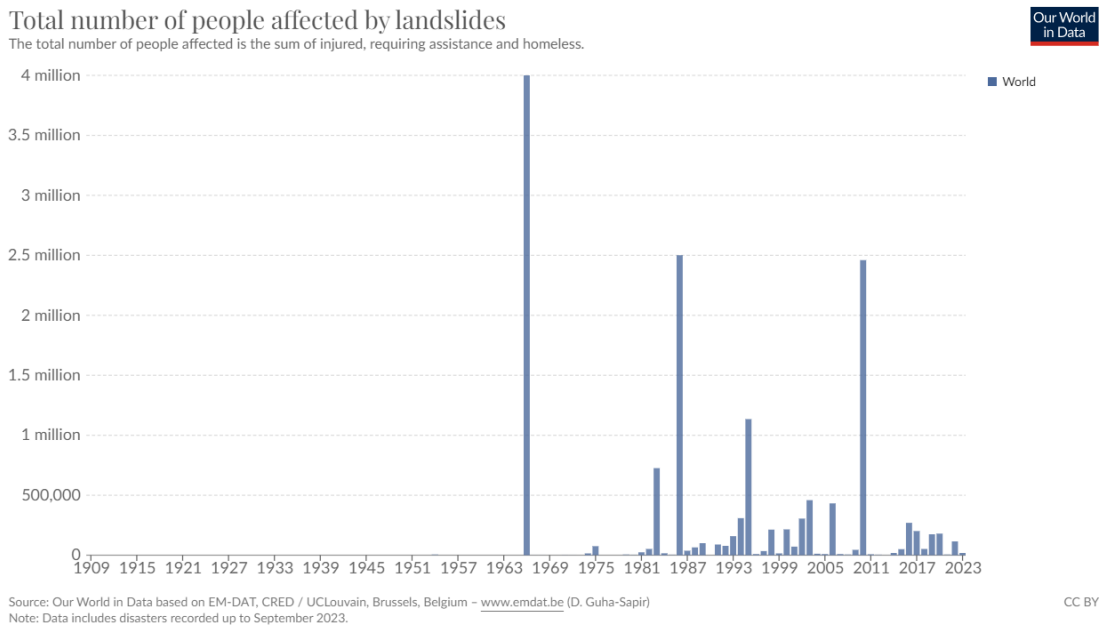


Γράφημα 1.10: Συνολικός αριθμός θανάτων από φυσικές καταστροφές, για την περίοδο 2000-2018 (EM-DAT/CRED, 2018).

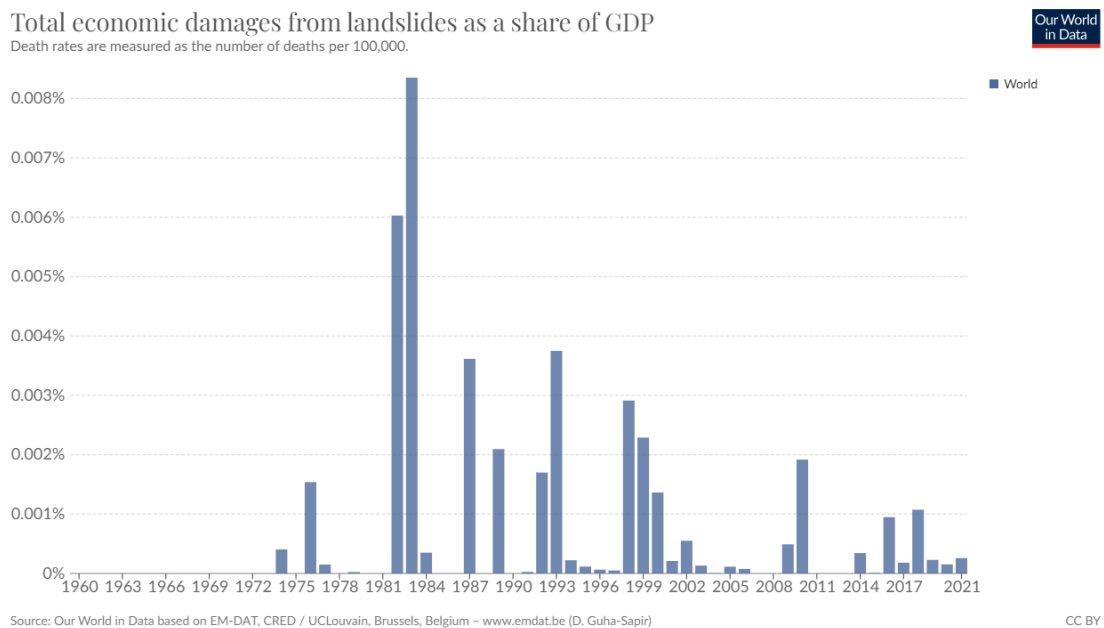
Στο γράφημα (γράφημα 1.11) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι προκληθέντες θάνατοι στο που οφείλονται στις κατολισθήσεις, όπου διαπιστώνει κανείς ότι υπάρχει μια συνεχή καταγραφή με διακυμάνσεις σχεδόν σε όλες τις δεκαετίες από το 1950 και έπειτα. Ανάλογες τάσεις αποτυπώνονται και στα μεγέθη που σχετίζονται με τους αριθμούς των ανθρώπων που έχουν επηρεαστεί από τα κατολισθητικά φαινόμενα καθώς και των οικονομικών απωλειών (γραφήματα 1.12, 1.13). Και εδώ διακρίνει κανείς ότι μεμονωμένα συμβάντα συμβάλλουν στην διαμόρφωση των σχετικών μεγεθών, δυσχεραίνοντας την όποια εκτίμηση για την εξέλιξη των προσπαθειών μετρίωσης των επιπτώσεων από κατολισθητικά φαινόμενα.



Γράφημα 1.11: Διακύμανση αριθμού θανάτων από κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1900-2023.



Γράφημα 1.12: Διακύμανση αριθμού ανθρώπων που έχουν επηρεαστεί από κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1900-2023.



Γράφημα 1.13: Διακύμανση οικονομικών απωλειών από κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1900-2023.

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΔΕ)

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας (ΔΕ) είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων χρήσης προγνωστικών χωρικών μοντέλων για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Συγκεκριμένα, θα εξεταστούν οι τεχνικές και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και πως ο τελικός χάρτης που θα προκύψει δύναται να αποτελέσει εργαλείο διαχείρισης κινδύνου. Σε ό,τι αφορά το προσδοκώμενο αποτέλεσμα, αποτελεί τον εντοπισμό περιοχών υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας καθώς συναξιολογώντας την επίδραση των φαινομένων σε έργα υποδομής, όπως το οδικό δίκτυο. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε η πιθανολογική τεχνική *Weight of Evidence* για την αξιολόγηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας μέσω ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών με περιοχή έρευνας και εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας τμήμα του νομού Αχαΐας. Σε ό,τι αφορά το προσδοκώμενο αποτέλεσμα, αποτέλεσε ο εντοπισμός περιοχών υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας

καθώς και ο αντίστοιχος εντοπισμός θέσεων του οδικού δικτύου που θα πρέπει να αποτελέσουν αντικείμενο λεπτομερέστερης έρευνας.

1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΔΕ)

Η παρούσα ΔΕ αναπτύσσεται σε επτά κεφάλαια, συνολικά. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή, στην οποία παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία για τους φυσικούς κινδύνους και τις φυσικές καταστροφές καθώς και τα κατολισθητικά φαινόμενα, ο σκοπός και το αντικείμενο της ΔΕ καθώς και συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων που δομούν την ΔΕ. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται οι βασικοί ορισμοί που αφορούν τα κατολισθητικά φαινόμενα, οι μέθοδοι ταξινόμησης, οι παράγοντες που προκαλούν την εκδήλωσή τους καθώς και τρόποι πρόληψής τους. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι διερεύνησης και παρακολούθησης καθώς και οι επτώσεις από την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε στην ΔΕ. Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται εφαρμογή της μεθοδολογικής προσέγγισης και δίνονται τα σχετικά αποτελέσματα, ενώ στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο αξιολογούνται τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, και παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Κατολισθήσεις ονομάζονται οι οποιοσδήποτε μετακινήσεις εδαφικών μαζών και πετρωμάτων ασχέτως μορφής, εκτάσεως και γενεσιουργών αιτίων, που λαμβάνουν χώρα σε φυσικές επιφάνειες με απότομες κλίσεις και σε πρηνή ορυγμάτων, υπό την επίδραση της βαρύτητας, άλλοτε απότομα με καταστροφικές συνέπειες και άλλοτε με μικρή ταχύτητα (Ι.Κουμαντάκης-Κεφάλαια τεχνικής γεωλογίας, 1984). Η κατολίσθηση προκαλείται από τις κινήσεις πρηνών, στα οποία αστοχία συμβαίνει κατά μια συγκεκριμένη επιφάνεια ή κατά συνδυασμό επιφανειών. Σε ό,τι αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μίας κατολίσθησης, διακρίνεται με σαφήνεια το απότομο βύθισμα του ανάγλυφου στο ανώτερο τμήμα, καθώς και το κύριο σώμα της κατολίσθησης. Το κύριο σώμα της κατολίσθησης, αφού κινηθεί προς τα κάτω και έξω, συσσωρεύεται στη θέση στην οποία η κινητική του ενέργεια μηδενίστηκε, στο χαμηλότερο σημείο του κύριου σώματος της κατολίσθησης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα στοιχεία, που βοηθούν στην εκτίμηση του όγκου της μάζας που κινείται, εκτίμηση η οποία αξιοποιείται κατά την μελέτη και την σχεδίαση μέτρων αποκατάστασης και αντιμετώπισης του φαινομένου των κατολισθήσεων (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Οι μηχανισμοί που ενεργοποιούν μία κατολίσθηση ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μηχανισμοί που προκαλούνται από τους εξωγενείς παράγοντες και είναι υπεύθυνοι για την αύξηση της διατμητικής αντοχής, ενώ στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν αυτοί που προκαλούνται από ενδογενείς παράγοντες και είναι υπεύθυνοι για την ελάττωση της διατμητικής αντοχής (Terzaghi, 1950). Η κίνηση της μάζας, εξαιτίας της βαρύτητας, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κίνδυνο για τις περιουσίες, αλλά και για τις ανθρώπινες ζωές. Η αντοχή της μάζας του πρηνούς είναι επακόλουθο της συνοχής, δηλαδή από το πόσο καλά είναι συγκολλημένη η μάζα και από την εσωτερική τριβή, δηλαδή την

αντίσταση που φέρουν οι κόκκοι της μάζας να κινηθούν. Όσον αφορά τον πρώτο μηχανισμό, όταν η δύναμη της βαρύτητας ξεπεράσει την διατμητική αντοχή της μάζας, τότε η μάζα θα κινηθεί προς τα κατάντη. Αυτή η κίνηση της μάζας επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις με την προσθήκη επιπλέον φορτίου στο πρανές ή την μεταβολή της γεωμετρίας του πρανούς, είτε ως αποτέλεσμα διεργασιών εξέλιξης του ανάγλυφου. Ο μηχανισμός ενεργοποίησης που προκαλείται από ενδογενείς παράγοντες (δεύτερος μηχανισμός ενεργοποίησης) ελαττώνει την διατμητική αντοχή, με την αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων και με την ελάττωση της γωνίας τριβής (Ηλία, 2013).

2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Μέχρι σήμερα, έχει προταθεί, από πολλούς ερευνητές, ένας μεγάλος αριθμός ταξινομήσεων για την περιγραφή των κατολισθήσεων. Τα πρώτα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων προτάθηκαν από τους Sharpe (1939) και Terzaghi (1950) τα οποία βασίζονταν στον τύπο και την ταχύτητα κίνησης, στον τύπο του υλικού, καθώς και στην περιεχόμενη υγρασία. Ακολούθησαν, (α) ο Ersinke (1973), ο οποίος ταξινόμησε τις κατολισθήσεις με βάση την ενεργότητά τους και κατά συνέπεια με βάση τις επιπτώσεις που πιθανώς να έχουν σε τεχνικά έργα, (β) οι Zaruba και Mencl (1967) οι οποίοι κατέταξαν τις κατολισθήσεις ανάλογα με το ιδιομορφίες των πετρωμάτων και κυρίως τον τύπο της μετακίνησης (Πίνακας 2.1), και (γ) ο Coates (1977) ο οποίος πρότεινε ορισμένες προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την ταξινόμηση μιας εδαφικής κίνησης στις κατολισθήσεις και που είχαν να κάνουν με το υλικό μετακίνησης και τον τύπο κίνησης (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Πίνακας 2.1: Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Zaruba και Mencl (1976).

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

Ο Varnes (1978) προτείνει ένα σύστημα ταξινόμησης, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλων των ειδών οι κινήσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρηνή, αφήνοντας εκτός περιγραφής τις κινήσεις που αφορούν τις καθιζήσεις. Η ταξινόμηση που προτείνει ο Varnes στηρίζεται σε δυο (2) κύρια κριτήρια, τον τύπο της κίνησης και τον τύπο της μάζας που κινείται και είναι το πλέον διεθνώς αποδεκτό και χρησιμοποιείται ευρέως.

2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ VARNES

Το σύστημα ταξινόμησης του Varnes, διακρίνεται στα κάτωθι είδη μετακινήσεων: **καταπτώσεις (falls)**, **ανατροπές (topples)**, **ολισθήσεις (slides)**, **πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)**, **ροές (flows)** και **σύνθετες μετακινήσεις (complex slides)**. Στον Πίνακα 2.2, δίνεται η πρόσφατη υποδιαίρεση, η οποία στηρίχθηκε αρχικά, στις ταξινομήσεις κατά Varnes (1978), και Hutchinson (1988) και αναπτύχθηκε περαιτέρω στα πλαίσια του

προγράμματος EPOCH, ενός προγράμματος για την μελέτη των κατολισθήσεων στην Ευρώπη.

Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978).

Τύπος Μετακίνησης			Τύπος Γεωλικών		
			Βραχομάζα	Γαϊώδη υλικά	
				Κυρίως Αδρόκοκκα	Κυρίως Λεπτόκοκκα
Κατάπτωση			Βραχοκαταπτώσεις	Καταπτ. Κορημάτων	Καταπτ. Φυσ. Εδάφους
Ανατροπή			Ανατροπή Βραχοτεμαχών	Ανατροπή Κορημάτων	Ανατροπή Φυσ. Εδάφους
Ολίσθηση	Περιστροφική	Μικρή Κλίμακα	Περιστρ. Ολίσθ. Βραχομάζας	(Περιστρ. Ολίσθ. Κορημάτων)	Ολίσθηση Φυσ. Εδάφους
	Επίπεδη (Μετάθεσης)	Μεγάλη Κλίμακα	Επίπεδη/Σφηνοειδής Ολίσθ. Βραχοτεμαχών	Επίπ. Ολίσθ. επί επιφάνειας	Επίπ. Ολίσθ. επί βαθειάς επιφ. αδυναμίας
			Μεγάλης / Μικρής Κλίμακας	Κορημάτων	Ολίσθ. Φυσ. Εδάφους Μεγ. Κλίμακας
Πλευρική Εξάπλωση			Πλ. Εξάπλωση βροχοτεμαχών	Πλ. Εξάπλωση Κορημάτων	Πλ. Εξάπλωση Φυσ. Εδάφους
Ροή			Ροή βραχομάζας (βαθύς ερπυσμός)	Ροή Φυσ. Κορημάτων	Ροή Φυσ. Εδάφους
			(εδαφικός ερπυσμός)		
Σύνθετη με Συνδυαστική παρουσία δύο ή περισσότερων Τύπων Μετακίνησης					

Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των μετακινήσεων όπως αποτυπώνονται στην ταξινόμηση Varnes.

2.3.1 ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ (FALLS)

Αναφορικά με τις καταπτώσεις, θεωρούνται αποκόλληση τμήματος βραχομάζας ή και συνεκτικού εδαφικού σχηματισμού, από απότομο πρανές και κατά μήκος μιας επιφάνειας, όπου υφίσταται ελάχιστη ή μηδενική διατμητική μετατόπιση. Η κατάπτωση μιας μάζας δύναται να συμβεί με ταχύτητες που χαρακτηρίζονται από πολύ έως και εξαιρετικά γρήγορες, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις προηγούνται μικρότερες μετακινήσεις οι οποίες συσσωρευτικά οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό

πέτρωμα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007). Το φαινόμενο των καταπτώσεων είναι συνηθισμένο κυρίως σε απότομα πρανή πολύ συνεκτικών εδαφών ή βράχων, ενώ διακρίνονται τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις καταπτώσεων. (α) καταπτώσεις βράχων (*rock falls*) (Εικόνα 2.1), όπου η μάζα που μετακινείται αποτελεί βραχώδες σχηματισμός, καταπτώσεις κορημάτων (*debris falls*) όπου η μάζα που μετακινείται αποτελεί κορήματα, δηλαδή θραύσματα που έχουν δημιουργηθεί πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης και (γ) καταπτώσεις γαιών (*earth falls*) ένας τύπος κατάπτωσης αρκετά σπάνια, όπου χαρακτηρίζει κυρίως μετακινήσεις υλικών που σχετίζονται με τους δυο προηγούμενους τύπους μετακίνησης.



A rockfall/slide that occurred in Clear Creek Canyon, Colorado, USA, in 2005, closing the canyon to traffic for a number of weeks. The photograph also shows an example of a rock curtain, a barrier commonly applied over hazardous rock faces (right center of photograph). (Photograph by Colorado Geological Survey.)

Εικόνα 2.1: Κατάπτωση Βράχων.

2.3.2 ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ (TOPPLES)

Κατά την ανατροπή, προκύπτει μια κίνηση προς τα έξω περιστροφής της αποσπώμενης μάζας, γύρω από ένα σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Η ανατροπή προκαλείται κυρίως από την επίδραση της βαρύτητας και των δυνάμεων που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια, καθώς και από την επίδραση του νερού, όπως οι υδροστατικές πιέσεις και ο παγετός, που μπορεί να εισχωρήσει στις ασυνέχειες και τις ρωγμές. Ανάλογα με τη γεωμετρία του πρανούς και της μετακινούμενης μάζας, καθώς και την επιφάνεια αποκόλλησης, η ανατροπή μπορεί να οδηγήσει είτε σε πτώση είτε σε ολίσθηση. Η ταχύτητα μετακίνησης μπορεί να είναι εξαιρετικά αργή στα αρχικά στάδια και να επιταχύνεται στα τελευταία στάδια.

Αυτό το φαινόμενο εκδηλώνεται κυρίως σε βραχώδη πρανή, ενώ η ανατροπή των κορημάτων και των γαιών είναι πολύ σπάνια, κατά συμβαίνει κύριο λόγο είτε λόγω φυσικών διεργασιών, όπως η διάβρωση, είτε εξαιτίας ανθρώπινης επέμβασης.



Photograph of block toppling at Fort St. John, British Columbia, Canada.
(Photograph by G. Bianchi Fasani.)

Εικόνα 2.2: Ανατροπή βράχων.

2.3.3 ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ (SLIDES)

Στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση-θραύση του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών, εντός των ορίων μιας σχετικά στενής ζώνης. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική ή ακαριαία ανάλογα με την πρόοδο της διατμητικής τάσης. Σε βραχώδεις σχηματισμούς η επιφάνεια αστοχίας ταυτίζεται με καλά διαμορφωμένες επιφάνειες ασυνεχειών. Τέλος η μετακινούμενη μάζα μπορεί να παραμείνει ενιαία κατά την ολίσθηση ή να διαχωριστεί σε μικρότερες ανεξάρτητα κινούμενες μάζες. Ο Varnes (1978) διαχώρισε τις ολισθήσεις σε περιστροφικές και μεταθετικές, ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και το μηχανισμό μετακίνησης.

Σε αυτό τον τύπο, η μετακίνηση εκδηλώνεται εξαιτίας διατμητικής παραμόρφωσης και θραύσης του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών που περιορίζονται στα όρια μιας σχετικά στενής ζώνης. Η μετακίνηση της μάζας μπορεί να είναι είτε προοδευτική είτε ακαριαία, και επηρεάζεται από την εξέλιξη της διατμητικής τάσης. Σημειώνεται ότι σε βραχώδεις σχηματισμούς, η επιφάνεια αστοχίας συνήθως συμπίπτει με καλά καθορισμένες επιφάνειες ασυνεχειών. Η μετακίνηση μπορεί να διακριθεί σε περιστροφική ή μεταθετική ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και τον μηχανισμό μετακίνησης.

Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides)

Οι περιστροφικές ολισθήσεις εκδηλώνονται κατά μήκος κοίλων επιφανειών προς τα πάνω, και συνήθως συνοδεύονται από μικρή παραμόρφωση στο σώμα της μετακινούμενης μάζας. Κατά τη διάρκεια μιας περιστροφικής ολίσθησης, το ανώτερο τμήμα της μάζας κινείται σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω με μια μικρή κάμψη προς τα πίσω λόγω της περιστροφικής κίνησης, ενώ στη βάση της μάζας παρατηρείται ανύψωση. Η περιστροφική ολίσθηση καλύπτει συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό των αστοχιών σε φυσικά ή τεχνητά πρανή. Έχει παρατηρηθεί ποιο συχνά σε ομοιογενή εδαφικά υλικά και συνήθως το μήκος της περιστροφικής ολίσθησης είναι 3 με 7 φορές το βάθος της αστοχίας. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η περιστροφική ολίσθηση αντιπροσωπεύει σημαντική πηγή αστοχιών, ιδίως σε περιοχές με συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες (Εικόνα 2.3).



Photograph of a rotational landslide which occurred in New Zealand. The green curve at center left is the scarp (the area where the ground has failed). The hummocky ground at bottom right (in shadow) is the toe of the landslide (red line). This is called a rotational landslide as the earth has moved from left to right on a curved sliding surface. The direction and axis of rotation are also depicted. (Photograph by Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, updated September 21, 2007.)

Εικόνα 2.3: Περιστροφικές ολισθήσεις.

Μεταθετικές ολισθήσεις (*translational slides*)

Η μεταθετική ολίσθηση πραγματοποιείται κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας και είτε μετακινείται προς τα έξω είτε προς τα κάτω και προς τα έξω. Σε αντίθεση με τις περιστροφικές ολισθήσεις, οι μεταθετικές ολισθήσεις δεν εμφανίζουν την τάση για σταδιακή εξισορρόπηση της ασταθούς μάζας, καθώς η επιφάνεια ολίσθησης είναι επίπεδη. Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι συνήθως πιο αβαθείς από τις περιστροφικές και το μήκος τους συνήθως υπερβαίνει το δεκαπλάσιο του βάθους τους. Σε βραχώδεις σχηματισμούς, η εμφάνιση μεταθετικών ολισθήσεων συνδέεται συνήθως με την παρουσία ασυνεχειών, όπως ρωγμών και διακλασεών, ενώ σε εδαφικούς σχηματισμούς, η κίνηση συνδέεται με τη λιθολογία των υποκείμενων εδαφικών στρωμάτων. Οι μεταθετικές ολισθήσεις που συμβαίνουν κατά μήκος μιας συγκεκριμένης ασυνέχειας σε βραχώδεις σχηματισμούς, ονομάζονται ολισθήσεις τεμαχίων ή επίπεδες ολισθήσεις, ενώ όταν η ολίσθηση συμβαίνει πάνω σε δύο τεμνόμενες επιφάνειες ασυνεχειών, χαρακτηρίζεται ως σφηνοειδής ολίσθηση.



A translatational landslide that occurred in 2001 in the Beatton River Valley, British Columbia, Canada. (Photograph by Réjean Couture, Canada Geological Survey.)

Εικόνα 2.4: Μεταθετικές ολισθήσεις.

2.3.4 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΞΑΠΛΩΣΕΙΣ (LATERAL SPREADS)

Ως πλευρικές εξαπλώσεις αναφέρονται οι μετακινήσεις που χαρακτηρίζονται από την εξάπλωση ενός συμπαγούς πετρώματος ή μάζας εδάφους πάνω από μαλακά υλικά. Οι μετακινήσεις αυτές ευνοούνται από την παρουσία διατμητικών και εφελκυστικών ρωγμών. Κατηγορούνται συνήθως σε δύο κατηγορίες:

Εξάπλωση τεμαχών (block spreads)

Αυτού του είδους μετακινήσεις εκδηλώνονται σε βραχώδεις σχηματισμούς που βρίσκονται υπεράνω ασθενέστερων σχηματισμών και χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη κατακόρυφων ρωγμών που διαχωρίζουν τους δύο σχηματισμούς. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα κομμάτια του υπερκείμενου σχηματισμού συνθλίβουν το υποκείμενο στρώμα και συνήθως

καλύπτουν τις ρωγμές που δημιουργούνται σε αυτήν τη διαδικασία. Η μετακίνηση κατανέμεται σε όλη τη μεγάλη μάζα που εκτείνεται, και συνήθως εξελίσσεται πολύ αργά.

Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads)

Αυτού του είδους μετακινήσεις εκδηλώνονται κυρίως σε ευαίσθητες αργίλους και ιλύες, οι οποίες έχουν χάσει την αντοχή τους και η δομή τους έχει καταστραφεί. Η θραύση που συμβαίνει είναι συνήθως βαθμιαία, ξεκινώντας από μια μικρή περιοχή και στη συνέχεια εξαπλώνεται με μεγάλη έως πολύ μεγάλη ταχύτητα, χωρίς προειδοποίηση. Συχνά, η αρχική θραύση εκδηλώνεται ως εκτεταμένη καθίζηση, ενώ η προοδευτική εξάπλωσή της εξελίσσεται προς τα πίσω, έως τη στέψη της αστοχίας. Οι αιτίες που προκαλούν αυτά τα φαινόμενα περιλαμβάνουν: Αυξημένη πίεση του νερού στους πόρους λόγω έντονων βροχοπτώσεων και λιώσιμο του χιονιού, σεισμικές δονήσεις που μπορούν να εκδηλωθούν και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως εκσκαφές και η επιβολή φορτίσεων στο έδαφος, που μπορούν να αλλάξουν την σταθερότητα του εδάφους. Οι μετακινήσεις αυτές μπορούν να είναι επικίνδυνες και προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στις δομές και στο περιβάλλον, και είναι σημαντικό να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης και παρακολούθησης σε περιοχές με υψηλό κίνδυνο.



Photograph of lateral spread damage to a roadway as a result of the 1989 Loma Prieta, California, USA, earthquake. (Photograph by Steve Ellen, U.S. Geological Survey.)

Εικόνα 2.5: Πλευρική εξάπλωση.

Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads)

Αυτά τα φαινόμενα αναφέρονται στις έντονες παραμορφώσεις, συχνά υπό μορφή κάμψης, που εμφανίζονται σε οριζόντια σκληρά και διερρηγμένα πετρώματα που υπέρκεινται μεγάλου πάχους στρωμάτων σκληρών ρωγματωμένων αργίλων ή μαλακών σχιστολίθων. Τα φαινόμενα αυτά περιλαμβάνουν έντονες παραμορφώσεις και ανύψωση του υποβάθρου, γνωστές και ως αναθόλωση. Υπάρχουν διάφορα είδη σύνθετων πλευρικών εξαπλώσεων, ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις ο μηχανισμός πίσω από αυτές τις μετακινήσεις δεν είναι πλήρως κατανοητός. Οι παραμορφώσεις αυτές είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διάφορων πετρωμάτων και στρωμάτων που αποτελούν το υπόβαθρο, καθώς και των διαρρήξεων και ρωγμών στον υπόκειμενο σχηματισμό. Σημιώνεται ότι τέτοιου είδους γεωλογικά φαινόμενα απαιτούν λεπτομερείς γεωλογικές μελέτες και αναλύσεις για την κατανόηση του μηχανισμού της μετακίνησης και την ανάληψη μέτρων πρόληψης εκ των

προτέρων, καθώς αυτές οι περιοχές μπορεί να είναι επικίνδυνες για τις κατοικίες και το υποδομές.

2.3.5 ΡΟΕΣ (FLOWS)

Τα φαινόμενα αυτά εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά, με τη μετακινούμενη μάζα να υφίσταται έντονες παραμορφώσεις. Διακρίνονται σε υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές και διαφέρουν από τις ολισθήσεις στο ότι δεν υπάρχει καλώς διαμορφωμένες επιφάνειες ολίσθησης αλλά και στην έντονη παραμόρφωση της μετακινούμενης μάζας. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, διακρίνονται σε:

Ροές βραχώδους υποβάθρου (rock flow)

Αυτές οι εξαιρετικά αργές παραμορφώσεις χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι εξελίσσονται εξαιρετικά αργά και διακριτικά, και δεν παρατηρείται συγκεκριμένη μετατόπιση κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας. Οι παραμορφώσεις αυτές προκαλούνται από πλαστική παραμόρφωση των υλικών.

Ροές κορημάτων (debris flow)

Πρόκειται για μετακινήσεις ξηρών έως και υγρών εδαφικών αδρομερών υλικών. Σε αυτή τη περίπτωση, η παραμόρφωση της μετακινούμενης μάζας είναι μεγάλη και οι επιφάνειες ολίσθησης δεν είναι ορατές, με αποτέλεσμα, το όριο ανάμεσα στη μετακινούμενη μάζα και στο υλικό που δε μετακινείται να είναι σαφές και να εντοπίζεται εύκολα (Σχήμα 2.8). Στην περίπτωση ροής, χωρίς την παρουσία νερού, που συμβαίνει σε πρηνή με απότομες κλίσεις, ονομάζεται «ξηρή ροή κορημάτων». Όταν όμως έχουμε εξαιρετικά γρήγορη ροή κορημάτων, που εκδηλώνεται σε υλικά με αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό τα οποία συμπαρασύρουν μεγάλη ποσότητα χαλαρών υλικών, το φαινόμενο ονομάζεται «χιονοστιβάδα κορημάτων» (debris avalanche).

Πρόκειται για μετακινήσεις όπου τα εδαφικά υλικά μετακινούνται σε μορφή ξηρής ή υγρής ροής, με σημαντική παραμόρφωση της μετακινούμενης μάζας. Σε αυτές τις

περιπτώσεις, οι επιφάνειες ολίσθησης είναι δύσκολο να οριστούν με σαφήνεια, καθώς η παραμόρφωση του εδάφους είναι έντονη και δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ της μετακινούμενης μάζας και του περιβάλλοντος υλικού. Συγκεκριμένα, όταν η ροή συμβαίνει χωρίς την παρουσία νερού και εκδηλώνεται σε πρανή με απότομες κλίσεις, αυτή ονομάζεται "ξηρή ροή κορημάτων." Όταν η ροή είναι εξαιρετικά γρήγορη και συμβαίνει σε υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, το φαινόμενο ονομάζεται "χιονοστιβάδα κορημάτων" (debris avalanche). Σε αυτήν την περίπτωση, το νερό λειτουργεί ως λιπαντικό, επιτρέποντας στα κορεσμένα υλικά να ολισθαίνουν με μεγάλη ταχύτητα, συχνά παρασύροντας μεγάλες ποσότητες χαλαρών υλικών.

Αυτά τα φαινόμενα συνήθως σχετίζονται με απότομες κλίσεις και είναι επικίνδυνα λόγω της ταχείας κίνησής τους και της μεγάλης ενέργειας που αναπτύσσεται κατά την μετακίνησή τους.

Ροές γαιών (earth flow)

Κυρίως πρόκειται για ροές εδαφικών υλικών με περιεκτικότητα άμμου, ιλύς και άργιλου τουλάχιστον 50% που συμβαίνουν κατά την διάρκεια της διαδικασίας αποσάθρωσης του εδάφους (ροές αποσαθρωμάτων). Η ταχύτητα και η μορφή της ροής διαφοροποιούνται ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας των υλικών και την περιεκτικότητά τους σε λεπτομερή υλικά. Όταν το ποσοστό υγρασίας είναι πολύ υψηλό, οι κινήσεις είναι εξαιρετικά γρήγορες και αναφέρονται ως ροές λάσπης ή λασποροές (mud flow) (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Ροή Κορημάτων (USGS, 2004).

Οι αργές ροές που εμφανίζονται στα επιφανειακά στρώματα του εδαφικού μανδύα ή στο μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων χαρακτηρίζονται ως "ερπυσμοί" (creep), σύμφωνα με τον Varnes (Εικόνα 2.7). Οι ερπυσμοί είναι γενικά ένα επιφανειακό φαινόμενο που εξελίσσεται συνεχώς και προκαλεί σταδιακές παραμορφώσεις. Η μετακίνηση συνήθως περιορίζεται σε μικρό βάθος, είναι της τάξης των εκατοστών (εκατοστά) αλλά ενίοτε μπορεί να φτάσει μέχρι 2-3 μέτρα. Στο σώμα των κινούμενων μαζών, συνήθως παρατηρούνται κυματοειδείς παραμορφώσεις και πιθανόν να λείπουν ρωγμές και αποκολλήσεις. Το φαινόμενο ανιχνεύεται με την κλίση των δέντρων, στηλών ή ακόμα και από τη σχετική θέση των γεωλογικών οριζόντων.



This photograph shows the effects of creep, in an area near East Sussex, United Kingdom, called the Chalk Grasslands. Steep slopes of thin soil over marine chalk deposits, develop a ribbed pattern of grass-covered horizontal steps that are 0.3 to 0.6 meter (1 to 2 feet) high. Although subsequently made more distinct by cattle and sheep walking along them, these terraces (commonly known as sheep tracks) were formed by the gradual, creeping movement of soil downhill. (Photograph by Ian Alexander.)

Εικόνα 2.7: Ερπυσμός (USGS, 2004).

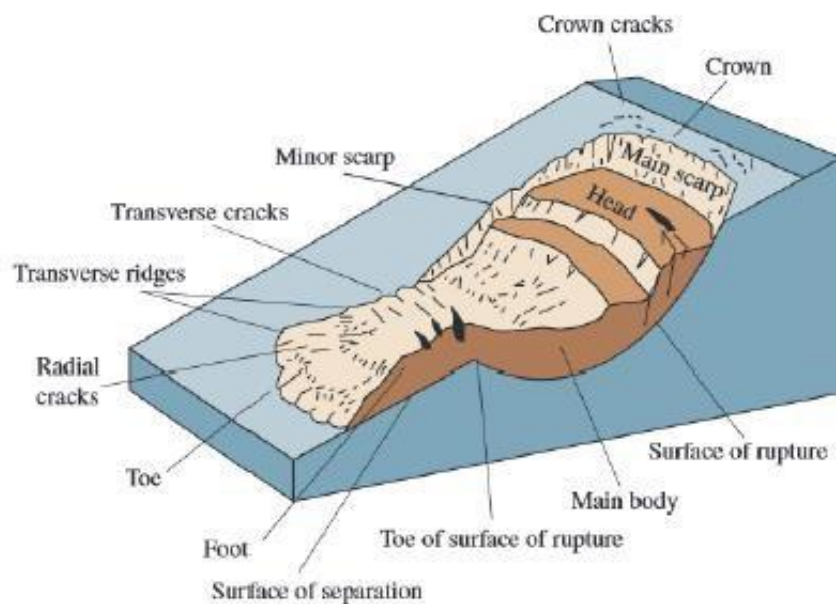
2.3.6 ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (COMPLEX SLIDES)

Πρόκειται για μια συνδυαστική μετακίνηση που συμβαίνει είτε σε διάφορα τμήματα της κινούμενης μάζας είτε κατά τη διάρκεια διαφόρων σταδίων της μετακίνησης. Όταν διαφορετικοί τύποι μετακινήσεων λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα σε διάφορες περιοχές της μάζας που κινείται, τότε αναφέρονται ως σύνθετες συνδυαστικές μετακινήσεις (composite slide). Όταν η μετακίνηση μεταβαίνει από μια μορφή σε άλλη κατά τη διάρκεια της εξέλιξής της, τότε χαρακτηρίζεται ως σύνθετη μετακίνηση (complex motion).

2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Ανεξάρτητα από τα αίτια που προκαλούν τις κατολισθήσεις, σε αυτές παρατηρούνται τα ίδια γενικά χαρακτηριστικά. Πριν από τη μετακίνηση, στο επάνω τμήμα της μάζας του πρανούς, η οποία πρόκειται να κατολισθήσει, δημιουργούνται εφελκυστικές ρωγμές. Κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης, το επάνω μέρος της μετακινούμενης μάζας υποχωρεί, βουλιάζει και το κάτω διογκώνεται. Συνεπώς, αν η αρχική επιφάνεια του πρανούς ήταν επίπεδη, μετά την κατολίσθηση, η τομή της επιφάνειας του εδάφους, κατά μήκος του άξονα της κατολίσθησης θα έχει τη μορφή σχήματος S. Το σχήμα της κατολίσθησης εξαρτάται από τον τύπο του υλικού που μετακινήθηκε. Το μέγεθος από τις διαστάσεις της επιφάνειας του πρανούς και από το πάχος της μάζας που αποκολλάται και μετακινείται (Σακελλαρίου, 2008).

Το 1978, ο Varnes πρότεινε ένα διάγραμμα (Εικόνα 2.8), το οποίο απεικονίζει το ιδεατό σχέδιο μιας περιστροφικής ολίσθησης. Η ορολογία που χρησιμοποιείται στο παρακάτω σχήμα δόθηκε από τον ίδιο τον Varnes και αποτέλεσε τη βάση για την περιγραφή μιας κατολισθητικής κίνησης.



Εικόνα 2.8: Ονοματολογία περιστροφικής ολίσθησης (IAEG, Commission on Landslides, 1990).

Το 1990 η Επιτροπή Κατολισθήσεων του Παγκόσμιου Οργανισμού Τεχνικής Γεωλογίας και Περιβάλλοντος (International Association for Engineering Geology and the Environment - IAEG) περιέγραψε λεπτομερώς τα τυπικά χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων, με βάση ένα ιδεατό σχέδιο μιας περιγραφικής ολίσθησης που παρουσίασε ο Varnes (1978) η οποία έχει ως εξής:

Στέψη (Crown): Το σχεδόν αμετακίνητο υλικό, δίπλα στα ψηλότερα σημεία της κύριας κλιτύος.

Κύρια Κατακρήμνιση (Main scarp): η απότομη επιφάνεια στο ανώτερο σημείο της κατολίσθησης, η οποία προκαλείται από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.

Κεφαλή (Head): Τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής του μετατιθέμενου υλικού και της κύριας κατακρήμνισης.

Δευτερεύουσα Κατακρήμνιση (Minor scarp): Η απότομη επιφάνεια του μετατιθέμενου υλικού της κατολίσθησης, που προκλήθηκε από τις διαφορικές κινήσεις στο εσωτερικό του.

Κύριο Σώμα (Main Body): Το τμήμα του μετατιθέμενου υλικού της κατολίσθησης το οποίο υπέρκειται της επιφάνειας αστοχίας μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και του πόδα της επιφάνειας αστοχίας.

Πόδας (Foot): Το τμήμα της κατολίσθησης το οποίο μετακινήθηκε μπροστά από το μέτωπο της επιφάνειας αστοχίας και υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.

Δάκτυλος ποδός (Toe): Το χαμηλότερο όριο του ποδός. Είναι συνήθως κυρτό.

Επιφάνεια θραύσης (Surface of rupture): Η προβολή της επιφάνειας της κύριας κατακρήμνισης κάτω από το μετατιθέμενο υλικό της κατολίσθησης.

Μέτωπο της επιφάνειας θραύσης (Toe of surface of rupture): Η τομή μεταξύ του κατώτερου σημείου της επιφάνειας θραύσης και της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.

Επιφάνεια αποκόλλησης (Surface of separation): Το τμήμα της αρχικής επιφάνειας του εδάφους το οποίο υπερκαλύπτεται από το πόδι της κατολίσθησης.

2.5 ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην έρευνα και τη μελέτη των κατολισθήσεων είναι ο προσδιορισμός της ενεργότητας της κατολίσθησης που σύμφωνα με την ομάδα εργασίας της UNESCO (WP/WLI,1993) πρότεινε ως απαραίτητες παραμέτρους για τον προσδιορισμό της ενεργότητας των κατολισθήσεων, τις παρακάτω:

Καθεστώς ενεργότητας (state of activity).

Αναφέρεται στο χρονικό των μετακινήσεων. Έτσι οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε ενεργές, ανενεργές και προϊστορικές. Ως **ενεργές** (active), χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις που παρουσιάζουν σύγχρονες μετακινήσεις και αναγνωρίζονται σχετικά εύκολα διότι οι επιφάνεια αστοχίας δεν έχει αλλοιωθεί σημαντικά από τις διεργασίες της επιφανειακής αποσάθρωσης και διάβρωσης. Ως **ανενεργές** (inactive), χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις, οι οποίες θεωρούνται χωρίς σημάδια μετακινήσεων για χρονικό διάστημα περισσότερο από ένα έτος. Στις περιπτώσεις όπου οι γεωπεριβαλλοντικοί παράγοντες και οι συνθήκες οι οποίες συνετέλεσαν στην αρχική εκδήλωση της κατολίσθησης εξακολουθούν να δρουν τότε η κατολίσθηση περιγράφεται ως **κατολίσθηση σε λανθάνουσα κατάσταση** (dormant). Αντίθετα, αν οι συνθήκες δεν είναι πλέον ίδιες με αυτές που προκάλεσαν την αρχική κατολίσθηση, τότε η κατολίσθηση περιγράφεται ως **ενεργοποιήσιμη κατολίσθηση** (abandoned). Τέλος, οι κατολισθήσεις οι οποίες δεν έχουν ενεργοποιηθεί για πάρα πολλά χρόνια, περιγράφονται ως παλαιές ή προϊστορικές (relict).

Κατανομή ενεργότητας (distribution of activity).

Σε ότι αφορά την κατανομή ενεργότητας, χαρακτηρίζει ποια τμήματα της κατολίσθησης μετακινούνται και διακρίνεται σε προωθούμενη (advancing), ανάδρομη (retrogressive), διευρυνόμενη (widening) και προοδευτική (progressive). Ως προωθούμενη χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις όπου καταγράφεται επέκτασή της προς τα κατάντι, δηλαδή προς την κατεύθυνση της γενικότερης μετακίνησης. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το σώμα της κατολίσθησης επεκτείνονται προς τα ανάντι, αντίθετα της κατεύθυνσης της γενικότερης μετακίνησης, τότε περιγράφεται ως ανάδρομη. Ως διευρυνόμενη περιγράφεται μια

κατολίσθηση όταν η επέκταση γίνεται σε μια ή και στις δυο πλευρές της και τέλος ως προοδευτική (progressive), περιγράφονται οι κατολισθήσεις που συνεχώς αυξάνει τις διαστάσεις της. Η χρήση του όρου προοδευτική ωστόσο, δε συνιστάται διότι συγχέεται με τη περίπτωση της προοδευτικής θραύσης, η οποία σχετίζεται με την ψαθυρή συμπεριφορά ορισμένων σκληρών εδαφών. Έτσι προτιμάται η χρήση του όρου μεγεθυνόμενη (enlarging) κατολίσθηση.

Τύπος ενεργότητας (type of activity).

Μέσω αυτού, καθορίζεται ο τρόπος που εκδηλώνονται οι διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στην ίδια κατολισθαίνουσα μάζα. Έτσι με βάση τον τύπο της ενεργότητας, οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε σύνθετες, διαδοχικές, πολλαπλές και απλές.

Σύνθετη (composite or complex)

Χαρακτηρίζεται η κατολίσθηση, κατά την οποία γίνονται διαφορετικού τύπου μετακινήσεις σε διαφορετικές περιοχές της κατολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές ταυτόχρονα (Cruden και Varnes 1996).

Πολλαπλή (multiple)

Χαρακτηρίζεται μια κατολίσθηση, η οποία εμφανίζει επαναλαμβανόμενες κινήσεις του ίδιου τύπου με επέκταση της επιφάνειας θραύσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η νέα μετακινούμενη μάζα είναι σε επαφή με την προηγούμενη ενώ πολλές φορές έχουν κοινό τμήμα των επιφανειών θραύσης.

Διαδοχικές (successive)

Χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τις πολλαπλές μόνο που στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει επικάλυψη του υλικού της μιας με το υλικό της άλλης, και κάθε μια αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση.

Απλές (single)

Χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις, οι οποίες σε αντίθεση με τις σύνθετες, εκδηλώνονται πάντα με έναν τύπο μετακίνησης, χωρίς η μάζα που ολισθαίνει να διαχωρίζεται.

2.6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Η ταχύτητα μιας μετακίνησης είναι μια παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις που έχει μια κατολίσθηση σε ανθρώπινες ζωές, βλάβες κτηρίων και τεχνικών έργων. Η πρώτη ταξινόμηση των κατολισθήσεων ανάλογα με την ταχύτητά τους προτάθηκε από τον Varnes το 1978. Η πιο πρόσφατη ωστόσο δόθηκε από την ομάδα εργασίας της UNESCO, το 1995 (WP/WLI 1995), και δίνεται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης κατολισθήσεων (WP/WLI, 1995).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
7	Εξαιρετικά γρήγορη	> 5 m/sec
6	Πολύ γρήγορη	> 3m/min
5	Γρήγορη	> 1.8 m/hr
4	Μέτρια	> 13m/month
3	Αργή	> 1.6m/year
2	Πολύ αργή	> 16mm/year
1	Εξαιρετικά αργή	< 16mm/year

Ωστόσο, ο προσδιορισμός της ταχύτητας μετακίνησης ενός κατολισθητικού φαινομένου αποτελεί μια πάρα πολύ δύσκολη διαδικασία και αυτό οφείλεται στο ότι αναπτύσσεται διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα στάδια εξέλιξής της ή ακόμα και στα διάφορα τμήματά της. Ο προσδιορισμός της ταχύτητας, γίνεται κόμη πιο δύσκολος όταν πρόκειται για σύνθετες κατολισθήσεις αφού κάθε τύπος μπορεί να έχει τη δική του ταχύτητα.

Οι επιπτώσεις που έχει μια κατολίσθηση επιβαρύνονται σημαντικά από την αύξηση της ταχύτητας μετακίνησης, αφού οι πιο γρήγορες κατολισθήσεις προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες σε ζωές και περιουσίες, σε σχέση με τις πιο αργές. Οι πιθανές βλάβες που μπορούν

να προκληθούν από κατολισθήσεις, σύμφωνα με τις επτά κατηγορίες ταχύτητας, δίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4: Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (WP/WLI, 1995).

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

2.7 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης απαιτεί μια αλληλουχία γεγονότων που υποκινούνται από διάφορες αιτίες και επηρεάζουν τις συνθήκες ισορροπίας του υποκείμενου υλικού. Αυτά τα γεγονότα χαρακτηρίζονται ως "αιτίες" της κατολίσθησης, ενώ ο παράγοντας που οδηγεί στην έναρξη της μετακίνησης του υλικού χαρακτηρίζεται ως "εναυσματικός παράγοντας" (triggering factor). Σύμφωνα με την ταξινόμηση του Varnes το 1978, οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση κατολισθήσεων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

Παράγοντες που αυξάνουν την αναπτυσσόμενη διατμητική τάση: Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης που επιδρά πάνω στο υλικό. Μπορεί να περιλαμβάνουν αλλαγές στη γεωμετρία της πλαγιάς, επιφορτίσεις λόγω κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και άλλους παρόμοιους παράγοντες.

Παράγοντες που μειώνουν την διατμητική αντοχή του υλικού: Αυτοί οι παράγοντες μειώνουν την διατμητική αντοχή του υλικού και καθιστούν τη μάζα πιο ευάλωτη στην κατολίσθηση. Παραδείγματα περιλαμβάνουν δομική αστάθεια, ορυκτολογική σύσταση που είναι ευάλωτη σε υγρασία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο αποστάθρωσης: Αυτοί οι παράγοντες συντελούν στη μείωση της συγκράτησης του υλικού και συνιστούν την πιθανότητα να επιδεινωθεί η κατάσταση ισορροπίας του πρανού και να προκληθεί κατολίσθηση. Παραδείγματα περιλαμβάνουν αποσάθρωση του υλικού και διάβρωση.

Οι παράγοντες αυτοί επιδρούν στην ισορροπία του πρανού και μπορούν να οδηγήσουν στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης. Η αναγνώριση και αξιολόγηση αυτών των παραγόντων είναι σημαντική για την πρόβλεψη και την πρόληψη κατολισθήσεων, καθώς κάθε παράγοντας μπορεί να προσφέρει στην κατανόηση του φαινομένου και την εκτίμηση του κινδύνου. Ανάλογα με την προέλευσή τους, οι παράγοντες αυτοί διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

Εδαφικές συνθήκες (Ground Conditions): Αναφέρονται στα γενικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών του εδάφους ή της βραχομάζας. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τον τύπο και τη σύσταση του εδάφους, την υγρασία του, την παρουσία διαρρήξεων ασυνεχειών, κ.λπ.

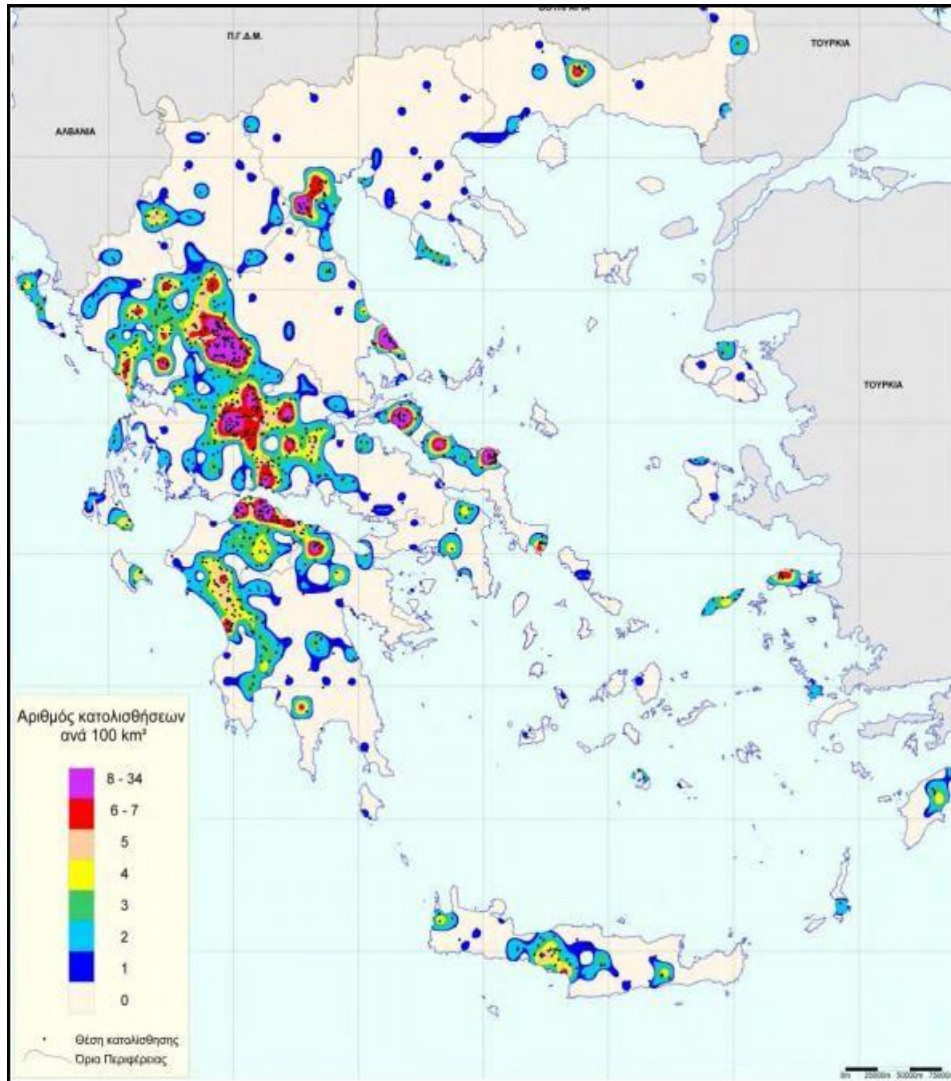
Γεωμορφολογικές διεργασίες (Geomorphological Processes): Αναφέρονται στις μεταβολές της μορφολογίας του εδάφους.

Φυσικές διεργασίες (Physical Processes): Αναφέρονται στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο και περιλαμβάνουν φυσικά γεγονότα που μπορούν να επηρεάσουν την εκδήλωση κατολισθήσεων, όπως σεισμοί, βροχοπτώσεις και καταιγίδες.

Ανθρωπογενείς διεργασίες (Man-made Processes): Αφορούν την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στην ευρύτερη περιοχή και περιλαμβάνουν την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως ανοικοδόμηση, αποψίλωση δασών, κατασκευές υποδομών κ.λπ.

2.8 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟ ΑΠΟΨΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στην Ελλάδα, οι περισσότερες και μεγαλύτερες κατολισθήσεις που έχουν εκδηλωθεί αποτελούν, κατά κύριο λόγο, ζώνες παλαιότερης ενεργοποίησης και οφείλονται κυρίως στις γεωλογικές και κλιματικές διεργασίες που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Έτσι, η λιθολογική σύσταση του Ελλαδικού χώρου, η σχετικά μικρή ηλικία των περισσότερων σχηματισμών, η δράση πρόσφατων τεκτονικών δυνάμεων, η γεωμορφολογική εξέλιξη και οι ακραίες βροχοπτώσεις δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση συχνών αστοχιών σε πρηνή. Ένας ακόμη βασικός παράγοντας, για τον οποίο οφείλεται ένας μεγάλος αριθμός κατολισθήσεων στην Ελλάδα, είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι κατολισθήσεις, όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα 2.9, αποτελούν ένα σύνθετο φαινόμενο, κυρίως στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της χώρας, όπου το μορφολογικό ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από την παρουσία ψηλών οροσειρών με απότομες πλαγιές, που δημιουργήθηκαν από την πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα σε συνδυασμό με τις αποσθρωτικές διαδικασίες. Επιπλέον, οι περιοχές αυτές καταλαμβάνονται από γεωλογικούς σχηματισμούς που είναι πολύ επιρρεπείς σε κατολισθήσεις, όπως ο φλύσχης, οι χαλαροί τεταρτογενείς σχηματισμοί και οι νεογενείς σχηματισμοί.



Εικόνα 2.9: Χάρτης συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων στον Ελλαδικό Χώρο (Βασιλειάδης, 2010).

Κατά τον Ζιούρκα (1989), ο οποίος αποτύπωσε με τη χρήση στατιστικών δεικτών τη θεωρητική προσέγγιση σε ότι αφορά την κατολισθητική επιδεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών, η συχνότητα των εκδηλωμένων κατολισθήσεων στην Ελλάδα, φτάνει το 36% στην λιθολογική ενότητα του Φλύσχη, το 30% στην ενότητα που περιλαμβάνει τα Νεογενή και τις Μολλασικές εμφανίσεις. Ακολουθούν με 16% οι τεταρτογενείς αποθέσεις, όπου συμμετέχουν κυρίως τα πλευρικά κορήματα των κλιτύων, ενώ σε μικρό ποσοστό εντοπίζονται κατολισθητικά φαινόμενα στις ενότητες των μεταμορφωμένων σχιστωδών, ανθρακικών και των ηφαιστειακών πετρωμάτων (Πίνακας 2.5).

Πίνακας 2.5 Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων σε διαφορετικές λιθολογικές ενότητες (Ζιούρκας, 1989).

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

2.9 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Ήδη από τη δεκαετία του '90, υπήρξε έντονο ενδιαφέρον στη διεθνή επιστημονική κοινότητα για τη διερεύνηση των κατολισθητικών φαινομένων, κυρίως λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τις κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις, αλλά και την αυξανόμενη πίεση όσον αφορά την ανάπτυξη και την αστικοποίηση του περιβάλλοντος (Aleotti & Chowdhury, 1999). Η ανακήρυξη από τα Ηνωμένα Έθνη, της δεκαετίας του 1990-2000, ως δεκαετία για τη μείωση των φυσικών καταστροφών (International Decade for Natural Disaster Reduction - IDNDR), είχε θετική επίπτωση στην ενθάρρυνση της επιστημονικής κοινότητας και όλων των εμπλεκόμενων φορέων για την εξεύρεση λύσεων σχετικών με το πρόβλημα των φυσικών καταστροφών. Οι ενέργειες πλέον όλων των εμπλεκόμενων φορέων συντονίζονται με βάση τους στόχους που τέθηκαν από την ομάδα εργασίας της UNESCO κατά τη δεκαετία του '90 και αφορούν (United Nation, 1990-2000):

- Στην πρόβλεψη, και ουσιαστικά στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας απέναντι σε φυσικούς κινδύνους.
- Στην αξιολόγηση της πιθανότητας εκδήλωσης ενός φυσικού κινδύνου.
- Στην αξιολόγηση της έκθεσης σε κίνδυνο των κοινωνιών και του περιβάλλοντος.
- Στη διάχυση της πληροφορίας σχετικά με τις φυσικές καταστροφές.
- Στην προσαρμογή αναπτυξιακού σχεδιασμού για το ευρύτερο περιβάλλον που κινδυνεύει.

2.10 Η ΣΥΝΘΕΤΗ ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Το φαινόμενο των κατολισθητικών κινήσεων παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα, καθώς είναι ένα χαοτικό σύστημα που επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Οι περισσότερες πληροφορίες προέρχονται από τη φύση και τη γεωλογία του περιβάλλοντος, καθιστώντας δύσκολη την εφαρμογή ελέγχου και πειραματικής ανάλυσης. Η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κατολισθήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιβεβαίωση θεωρητικών παραδοχών παρά από πειραματικές διαδικασίες, όπως συμβαίνει σε άλλους επιστημονικούς τομείς. Η εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης κατολισθήσεων σε μια περιοχή είναι δύσκολη, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως γεωλογία, τεκτονική, υδρολογία, κλίμα, τοπογραφία, εδαφολογία, χρήση γης και ανθρώπινη δραστηριότητα. Σύμφωνα με τους Aleotti & Chowdhury (1999), υπάρχουν τρεις κύριες ιδιαιτερότητες που απαιτούν προσεκτική διερεύνηση κατά την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης και πρόβλεψης κατολισθητικών φαινομένων:

Ασυνεχής φύση: Οι κατολισθητικές αστοχίες παρουσιάζουν ασυνεχή εκδήλωση στο χρόνο και το χώρο. Αυτό σημαίνει ότι είναι δύσκολο να προβλεφθεί πότε και πού θα συμβούν κατολισθητικά φαινόμενα.

Δυσκολία στην αναγνώριση των αιτών: Η αναγνώριση των ακριβών αιτών και μηχανισμών που ενεργοποιούν τις κατολισθητικές αστοχίες είναι περίπλοκη, και συχνά περιέχει

αβεβαιότητες. Επίσης, η ανάλυση της σχέσης μεταξύ αιτίων και αποτελεσμάτων είναι προβληματική.

Έλλειψη ιστορικών στοιχείων: Η έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τη συχνότητα των γεωμορφολογικών διεργασιών που προετοιμάζουν τις συνθήκες για κατολισθήσεις καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη της εκδήλωσης αστοχιών.

Αυτές οι ιδιαιτερότητες επισημαίνουν την πολυπλοκότητα της ανάλυσης και πρόβλεψης κατολισθητικών φαινομένων και την ανάγκη για προσεκτική μελέτη και διασταύρωση πολλών παραγόντων για να κατανοήσουμε αυτά τα φαινόμενα.

Σύμφωνα με τον Van Westen (1997), η διαδικασία εκτίμησης της επικινδυνότητας κατά την εμπειρική ανάλυση κατολισθήσεων περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

Δημιουργία χάρτη καταγραφής κατολισθήσεων: Σε αυτό το στάδιο δημιουργείται ένας χάρτης που απεικονίζει την τοποθεσία όπου έχουν σημειωθεί προηγούμενες κατολισθήσεις.

Αναγνώριση και χαρτογράφηση γεωλογικών και γεωμορφολογικών παραγόντων: Πραγματοποιείται η αναγνώριση και χαρτογράφηση ενός συνόλου παραγόντων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την εκδήλωση κατολισθήσεων, όπως γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Εκτίμηση σπουδαιότητας κάθε παράγοντα: Για κάθε παράγοντα ανατίθεται ένας συντελεστής βαρύτητας, καθορίζοντας έτσι τον βαθμό σημασίας του σε σχέση με την εκδήλωση κατολισθήσεων.

Συνεκτίμηση παραγόντων: Οι παράγοντες συνυπολογίζονται προκειμένου να καθοριστεί ένας δείκτης που αντιπροσωπεύει τον βαθμό επικινδυνότητας για την εκδήλωση κατολισθήσεων.

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την καλύτερη αντιμετώπιση και πρόβλεψη των κατολισθητικών φαινομένων με βάση τους γεωλογικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες που τους επηρεάζουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

3.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Ο Varnes, το 1984, πρότεινε έναν ορισμό του κινδύνου στα κατολισθητικά φαινόμενα, ο οποίος βασίζεται σε δύο βασικές συνιστώσες: τον χώρο και τον χρόνο. Σύμφωνα με αυτόν, ο κίνδυνος αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά ζημιολογικού κατολισθητικού φαινομένου σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και περιοχή. Επιπλέον, η ζωνοποίηση αναφέρεται στην οριοθέτηση και ταξινόμηση τμημάτων της επιφάνειας της γης με βάση τον υπαρκτό ή δυνητικό κίνδυνο από κατολισθήσεις, επιτρέποντας την κατηγοριοποίηση περιοχών ανάλογα με τον κίνδυνο.

Οι χάρτες αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την παρουσίαση πληροφοριών που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις. Υπάρχουν διάφορα είδη χαρτών κατολισθήσεων, προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις και την έκταση της μελέτης. Η επιλογή της κατάλληλης κλίμακας συνδέεται με την έκταση της περιοχής που μελετάται και τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων δεδομένων για την αξιολόγηση του κινδύνου.

Η Διεθνής Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG) καθόρισε το 1976 διάφορες κλίμακες εργασίας για την εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου, περιλαμβάνοντας τις εξής: Εθνική Κλίμακα (λιγότερο από 1:1.000.000), Περιφερειακή Κλίμακα (1:100.000 - 1:500.000), Μέση Κλίμακα (1:25.000 - 1:50.000) και Μεγάλη Κλίμακα (1:5.000 - 1:15.000). Η επιλογή της κατάλληλης κλίμακας εξαρτάται από την έκταση της περιοχής που εξετάζεται και τη

διαθεσιμότητα χρήσιμων δεδομένων που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του κινδύνου, όπως αναφέρεται από τον Βασιλειάδη (2010).

3.1.1 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (LANDSLIDE INVENTORY MAP)

Οι χάρτες καταγραφής κατολισθήσεων έχουν ως κύριο στόχο να παρουσιάσουν τη χωρική κατανομή, τον τύπο και τον αριθμό των κατολισθήσεων που έχουν συμβεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή στο παρελθόν. Η δημιουργία ενός τυπικού χάρτη απογραφής κατολισθήσεων βασίζεται στην ερμηνεία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και στην υπαίθρια παρατήρηση, καθώς και στην αξιολόγηση ιστορικής βάσης δεδομένων με προγενέστερα κατολισθητικά συμβάντα. Παρόλο που ο χάρτης απογραφής κατολισθήσεων δεν παρέχει πληροφορίες για τον χρονικό παράγοντα και δεν μπορεί να προβλέψει τη χρονική μεταβολή στην κατανομή των κατολισθήσεων, παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες για την παραγωγή χαρτών επιδεκτικότητας και επικινδυνότητας. Με βάση αυτούς τους χάρτες, μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις για τον κίνδυνο και την επικινδυνότητα της περιοχής όσον αφορά τις κατολισθήσεις. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των χαρτών απογραφής κατολισθήσεων περιλαμβάνουν υπαίθριες εργασίες χαρτογράφησης, την ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, την ανάλυση του εδάφους και των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και τη χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (ΓΠΣ) και γεωχωρικών αναλύσεων. Η συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία αυτών των δεδομένων συμβάλλει στην αποτύπωση της ιστορίας των κατολισθήσεων σε μια περιοχή και στην κατανόηση της επικινδυνότητας τους (Hervas & Bobrowski 2009, Τσαγγαράτος 2012).

3.1.2 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP)

Οι χάρτες επιδεκτικότητας απαντούν στο ερώτημα "πού" είναι πιθανό να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες που έχουν συμβάλει στην εμφάνιση παλαιότερων κατολισθήσεων. Η επιδεκτικότητα χαρακτηρίζεται ποιοτικά, συνήθως ως υψηλή, μέση ή χαμηλή επιδεκτικότητα, και η διαβάθμισή της στην κλίμακα συνήθως βασίζεται σε παρατηρήσεις και εμπειρικά κριτήρια. Για να δημιουργηθεί ένας χάρτης επιδεκτικότητας, ακολουθούνται δύο βασικές παραδοχές (Fell et al., 2008). Καταρχάς, οι γεωλογικές αστοχίες που έχουν συμβεί στο παρελθόν αποτελούν χρήσιμα δεδομένα για την πρόβλεψη μελλοντικών αστοχιών. Δηλαδή, περιοχές που έχουν ήδη καταλισθήσει στο παρελθόν είναι πιθανό να εκδηλώσουν νέες κατολισθήσεις στο μέλλον. Δεύτερον, περιοχές με παρόμοιες γεωλογικές, κλιματολογικές, γεωμορφολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες με περιοχές που έχουν κατολισθήσει στο παρελθόν, είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν κίνδυνο κατολίσθησης στο μέλλον.

Για τη δημιουργία των χαρτών επιδεκτικότητας, χρησιμοποιούνται χωρικά χαρακτηριστικά από προηγούμενα κατολισθητικά συμβάντα, οι οποίες μας επιτρέπουν να εκτιμήσουμε τη μελλοντική συμπεριφορά της περιοχής όσον αφορά τον κίνδυνο κατολίσθησης. Η βασική αρχή πίσω από τους χάρτες επιδεκτικότητας είναι η ανάδειξη της σχέσης μεταξύ των κατολισθήσεων και διάφορων παραγόντων, όπως η γεωλογία, το σεισμο-τεκτονικό καθεστώς, η υδρολογία και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Καθώς οι χάρτες επιδεκτικότητας δεν λαμβάνουν υπόψη τον χρονικό παράγοντα, δεν παρέχουν πληροφορίες για το πότε θα συμβούν οι κατολισθήσεις, αλλά βοηθούν στην κατανόηση της περιοχής που είναι επιρρεπής σε κατολισθήσεις.

Η εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας αποτελεί σύνθετη διαδικασία που βασίζεται στην αξιολόγηση διαφόρων παραμέτρων και χαρακτηριστικών της περιοχής υπό μελέτη. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, και οι περισσότερες από αυτές βασίζονται σε μια

συνδυασμένη προσέγγιση ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων. Οι μέθοδοι εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

Ποιοτικές και Ημι-ποιοτικές μέθοδοι: Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών. Συχνά χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αρκετά ποσοτικά δεδομένα. Οι ερευνητές και εμπειρογνώμονες παρατηρούν τις κατολισθήσεις και τις χαρτογραφούν, αξιολογώντας τις γεωλογικές συνθήκες, τις τοπογραφικές συνθήκες, τις κλιματικές συνθήκες και άλλες παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις.

Ποσοτικές μέθοδοι: Οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται στη γνώση που προκύπτει από την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν μαθηματικά και υπολογιστικά μοντέλα για τον υπολογισμό και τη χαρτογράφηση του κινδύνου κατολισθήσεων, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους όπως η γεωλογία, η τοπογραφία, η υδρολογία, και άλλοι παράγοντες.

Υβριδικές μέθοδοι: Αυτές οι μέθοδοι συνδυάζουν τις ποιοτικές και ποσοτικές προσεγγίσεις. Χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν τις περιοχές με κατολισθήσεις χρησιμοποιώντας διάφορες παραμέτρους και δεδομένα, προσπαθώντας να προσεγγίσουν τον κίνδυνο με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα δεδομένων, την πολυπλοκότητα της περιοχής και τον στόχο της μελέτης. Συνήθως, οι πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις επιτυγχάνονται όταν χρησιμοποιούνται συνδυασμοί διαφορετικών μεθόδων για να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες και περιορισμοί.

Ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1 παρήχθη από το ερευνητικό Ευρωπαϊκό πρόγραμμα ELSUS v2 και αποτελεί ένα εργαλείο που παρέχει πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων σε διάφορες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτός ο χάρτης δημιουργήθηκε με τη χρήση διάφορων πηγών δεδομένων και μεθοδολογιών, συμπεριλαμβανομένων του υψόμετρου/μορφολογίας, των κλιματολογικών συνθηκών, της μορφολογικής κλίσης, της λιθολογίας και των δεδομένων χρήσεων γης. Σημαντικό στοιχείο για τη δημιουργία αυτού του χάρτη ήταν η χρήση μιας μεγάλης βάσης δεδομένων που περιείχε περισσότερες από 149.000

κατολισθήσεις από όλη την Ευρώπη. Αυτές οι πληροφορίες βοήθησαν στον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης κατολισθήσεων σε διάφορες περιοχές και παρείχαν σημαντική είσοδο για τη μοντελοποίηση και την αξιολόγηση του κινδύνου. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο χάρτης καλύπτει όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εκτός από τη Μάλτα και άλλες γειτονικές χώρες, και αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση και την αντιμετώπιση του κινδύνου κατολισθήσεων στην ευρωπαϊκή ήπειρο (Wilde et al., 2018).

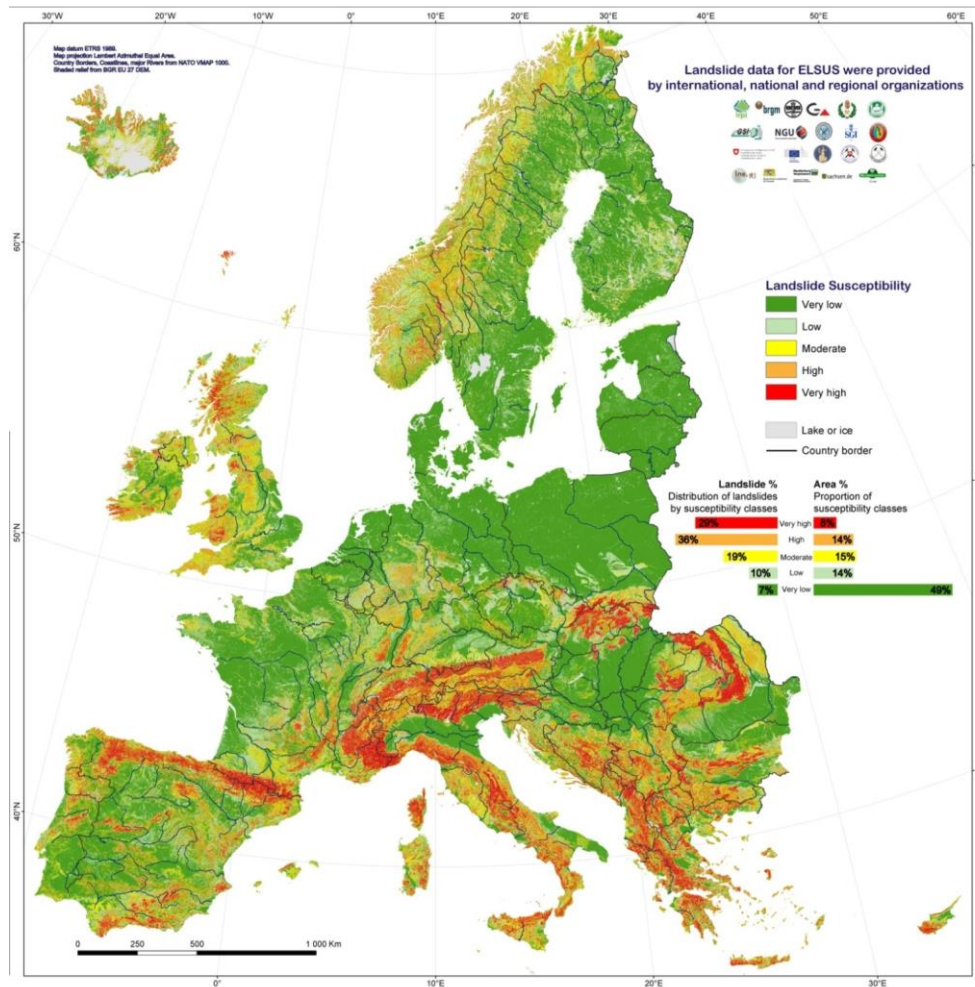
Η δημιουργία του χάρτη από το ερευνητικό πρόγραμμα ELSUS βασίστηκε σε μια συνδυαστική μοντελοποίηση που χρησιμοποίησε διάφορες μεθόδους και κριτήρια για τον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης κατολισθήσεων. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν:

Χωρικές αξιολογήσεις πολλαπλών κριτηρίων (Spatial Multi-Criteria Evaluations, SMCE): Αυτή η μέθοδος συνδύασε πολλαπλά κριτήρια, όπως το υψόμετρο, η μορφολογική κλίση, η λιθολογία και τα δεδομένα χρήσης γης, για να αξιολογήσει τον κίνδυνο κατολίσθησης σε διάφορες περιοχές.

Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process - AHP): Η μέθοδος AHP χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό της σημαντικότητας στις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο. Αυτό βοήθησε στον πιο ακριβή και συστηματικό υπολογισμό της κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

Στατιστική μέθοδος του λόγου των συχνοτήτων (Frequency Ratio): Αυτή η μέθοδος αξιολογεί την κατολισθητική επιδεκτικότητα βάσει της συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων στις διαμορφωμένες κατηγορίες κάθε μεταβλητής που χρησιμοποιήθηκε από το μοντέλο. Παρέχει μια πρακτική και αποτελεσματική προσέγγιση για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας.

Η συνδυαστική προσέγγιση επέτρεψε στο πρόγραμμα ELSUS να δημιουργήσει έναν χάρτη που λαμβάνει υπόψη πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με την κατολισθητική επιδεκτικότητα και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τις περιοχές αυτές στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Εικόνα 3.1: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας (Wilde et al., 2018).

Ο τελικός χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας έχει μια διαβάθμιση πέντε επιπέδων, πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή, και πολύ υψηλή και το μέγεθος του φατνίου είναι τα 200μ.

3.1.3 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (LANDSLIDE HAZARD MAP)

Οι χάρτες κατολισθητικού κινδύνου απεικονίζουν την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων σε μια συγκεκριμένη περιοχή για ένα ορισμένο χρονικό

διάστημα (π.χ. 5, 10, 50 έτη). Ο κίνδυνος ορίζεται ως η πιθανότητα εμφάνισης ενός εν δυνάμει καταστροφικού φαινομένου έντασης (i) που αναμένεται να συμβεί κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (t). Η μαθηματική έκφραση του ορισμού δίνεται από τη σχέση: $Hit = f(His, ti)$

Σε αυτήν την σχέση, το His αναφέρεται στην επιδεκτικότητα της περιοχής έρευνας στο συγκεκριμένο φυσικό κίνδυνο, ενώ το ti αντιστοιχεί στον ενεργοποιητικό παράγοντα που περιλαμβάνει την πιθανοτική διάσταση της χρονικής πρόβλεψης. Από αυτόν τον ορισμό προκύπτει πως ο χάρτης κατολισθητικού κινδύνου συνδυάζει τις πληροφορίες για την επιδεκτικότητα της περιοχής σε σχέση με τον συγκεκριμένο φυσικό κίνδυνο (π.χ. κατολισθήσεις) με την πιθανότητα του κινδύνου να εκδηλωθεί κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (Εικόνα 3.2). Οι χάρτες κατολισθητικού κινδύνου είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ασφάλεια και την προστασία των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, την προστασία του περιβάλλοντος και την πολεοδομική προγραμματισμό. Επιτρέπουν την ταξινόμηση των περιοχών σύμφωνα με τον κίνδυνο και βοηθούν στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ασφαλών και ανθεκτικών υποδομών (Ηλίας, 2000).

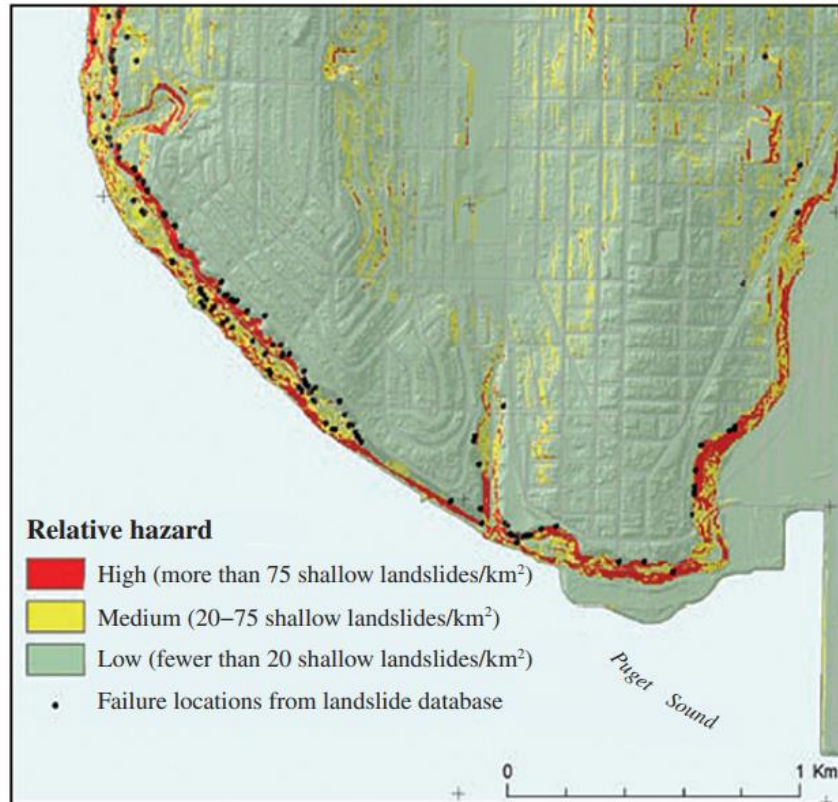


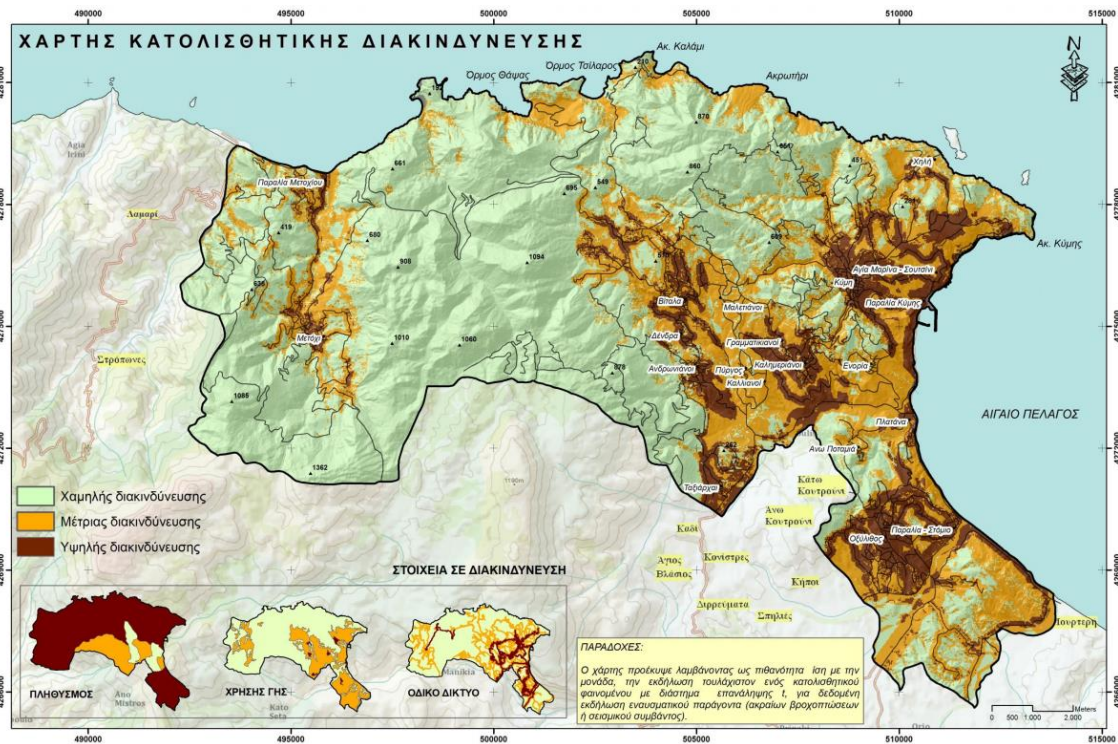
Figure B3. Portion of shallow landslide hazard map showing part of the Magnolia area of the city of Seattle, Washington, USA. (km² is notation for square kilometers.)

Εικόνα 3.2: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας (Wilde et al., 2018).

3.1.4 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (LANDSLIDE RISK MAP)

Οι χάρτες κατολισθητικής διακινδύνευσης περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με το ετήσιο εκτιμώμενο κόστος κατολισθήσεων σε μια υπό μελέτη περιοχή και συνδυάζουν τον κίνδυνο εκδήλωσης κατολίσθησης με τις πιθανές συνέπειες σε περίπτωση κατολίσθησης, όπως θάνατοι, ζημιές σε περιουσίες και υποδομές, και διακοπή υπηρεσιών. Η δημιουργία χαρτών κατολισθητικής διακινδύνευσης είναι λιγότερο συνηθισμένη από τους χάρτες κατολισθητικής επιδεκτικότητας ή επικινδυνότητας, διότι συχνά δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για να υπολογιστεί ακριβώς ο κίνδυνος και η τρωτότητα της περιοχής. Για τον

προσδιορισμό της διακινδύνευσης, απαιτείται ο υπολογισμός της τρωτότητας των στοιχείων που διακινδυνεύονται, από τα οποία προκύπτουν η ειδική διακινδύνευση (πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσης συγκεκριμένων σημείων) και η ολική διακινδύνευση (συνολική κίνδυνος στην περιοχή). Οι πληροφορίες για τις πιθανές συνέπειες και τις αξιολογήσεις κατολισθήσεων είναι απαραίτητες για την κατανόηση της συνολικής διακινδύνευσης. Οι χάρτες κατολισθητικής διακινδύνευσης αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την ανάλυση κινδύνου και τη λήψη προληπτικών μέτρων για την αντιμετώπιση του κινδύνου κατολισθήσεων σε ευάλωτες περιοχές. Στο χάρτη που ακολουθεί, απεικονίζεται ένας χάρτης κατολισθητικής διακινδύνευσης, λαμβάνοντας ως παράγοντες σε διακινδύνευση τα πληθυσμιακά στοιχεία, της χρήσης γης καθώς και το οδικό δίκτυο για την περιοχή της Κύμης, Ευβοίας (Ηλία, 2013) (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Χάρτης Κατολισθητικής Διακινδύνευσης (Ηλία, 2013).

3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Σε ότι αφορά τα σύγχρονα μέσα για τη διερεύνηση και παρακολούθηση των κατολισθητικών φαινομένων, καθώς και τις δυνατότητες που προσφέρονται για προειδοποίηση ενόψει της εκδήλωσής τους σημειώνεται το μεγάλο εύρος δυνατοτήτων που υπάρχουν και που εξασφαλίζουν την ακριβή παρακολούθηση της εξέλιξης των φαινομένων.

Τοπογραφικές Αποτυπώσεις. Σε αυτές περιγράφονται οι σύγχρονες μέθοδοι τοπογραφίας που περιλαμβάνουν τη χρήση δορυφορικής γεωδαισίας, της τεχνολογίας GNSS (παγκόσμια συστήματα πλοήγησης), των ραντάρ InSAR (διαφορική συμβολομετρία ραντάρ) και τη χρήση LiDAR (Light Detection and Ranging) για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων του εδάφους.

Τηλεπισκοπική Αναγνώριση και Παρακολούθηση. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι προηγμένες τηλεπισκοπικές μέθοδοι, όπως η (διαφορική) συμβολομετρία ραντάρ (D-InSAR), που επιτρέπουν την παρακολούθηση και ανίχνευση διαφορικής υποχώρησης στην επιφάνεια της γης με χρήση δορυφόρων.

Χρήση UAVs / Drones. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα αυτόνομα αεροχημάτα (UAVs / Drones) που βοηθούν στην άμεση επισκόπηση της περιοχής και τη λήψη αεροφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Αυτό το μέσο παρέχει ευελιξία και δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων σε δυσπρόσιτες περιοχές.

Γεωτεχνικά όργανα παρακολούθησης. Τα πιο σύγχρονα από αυτά τα όργανα και συστήματα είναι πλήρως αυτόματα και επιτρέπουν τη συγκέντρωση δεδομένων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε κεντρικό σύστημα και μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο σε επιβλέποντες, συνήθως μέσω ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα αποστολής συναγερμού σε περίπτωση υπερβολικών παραμορφώσεων, προκειμένου να ενημερώνονται οι υπεύθυνοι ή οι αρχές πολιτικής προστασίας για τυχόν κινδύνους.

3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Οι κατολισθητικές κινήσεις αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα καταστροφικά γεωλογικά φαινόμενα στη σύγχρονη εποχή. Τα αποτελέσματα των κινήσεων αυτών έχουν σοβαρές επιπτώσεις τόσο σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, όσο και στο γενικότερο γεωλογικό περιβάλλον στο οποίο εκδηλώνονται.

Πιο συγκεκριμένα, ως επί των πλείστον, το αποτέλεσμα αυτών των κινήσεων αφορά τον αποκλεισμό οικισμών και την έμφραξη του οδικού δικτύου, ενώ ακόμα, άμεσα επηρεάζεται και η οικονομία, αφού για την απομάκρυνση της κατολισθαίνουσας μάζας και την απόφραξη του οδικού δικτύου, απαιτείται να δαπανηθεί ένα σημαντικό χρηματικό ποσό.

Στον Ελλαδικό χώρο, είναι γεγονός, πως το φαινόμενο των κατολισθήσεων αντιμετωπίζεται επιφανειακά και όχι με τις πραγματικές του διαστάσεις, δηλαδή σαν ένα αυτοτελές πολυμεταβλητό γεωλογικό φαινόμενο. Επακόλουθο αυτού είναι η συστηματική απουσία της πρόληψης και των σημαντικών πλεονεκτημάτων που απορρέουν από αυτή (Τσάγκας, 2011).

3.3.1 ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Οι κοινωνικές επιπτώσεις χωρίζονται σε δύο (2) υποκατηγορίες, στις πρωτεύουσες και τις δευτερεύουσες, ανάλογα με την σοβαρότητα της βλάβης που προξενείται.

Στις πρωτεύουσες κοινωνικές συνέπειες εντάσσονται τα ανθρώπινα θύματα, οι τραυματισμοί, η απώλεια εισοδήματος ή ευκαιριών εργασίας. Οι κάτοικοι των κατεστραμμένων περιοχών καταλήγουν να μην εργάζονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα (εβδομάδες ή μήνες), ενώ ακόμα τα μέσα παραγωγής αδρανούν.

Οι δευτερεύουσες συνέπειες συμπεριλαμβάνουν τις ασθένειες ή τις μόνιμες αναπηρίες, ψυχολογικές συνέπειες, τον ψυχολογικό αντίκτυπο του πιθανού τραυματισμού και της

κατάστασης σοκ και πανικού. Επίσης, πολιτικές συνέπειες από την απώλεια κοινωνικής συνοχής λόγω αποδιοργάνωσης της κοινότητας, την πολιτική αστάθεια εκεί όπου η αντίδραση της κυβέρνησης μετά την καταστροφή θεωρείται ανεπαρκής.

Τέλος, προκαλούνται μεταναστεύσεις πληθυσμών από τις πληγείσες περιοχές και επανεγκατάστασή τους. Μεγάλες είναι και οι πολιτισμικές συνέπειες από την εξαφάνιση ολόκληρων μνημείων και παραδοσιακών στοιχείων σε περιοχές που πλήττονται επανειλημμένως από φυσικές καταστροφές (Τσάγκας, 2011).

3.3.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Οι οικονομικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν όλες τις συνέπειες, λόγω ενός κατολισθητικού φαινομένου κα έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια χρημάτων, άμεσα ή έμμεσα. Για παράδειγμα, η καταστροφή υποδομών εμπορίου και βιομηχανίας (π.χ. λιμάνια, εργοστάσια κ.α.), έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια χρημάτων από την απρόσμενη διακοπή των εργασιών, οπότε και έχουν άμεση οικονομική επίπτωση στη κοινωνία. Η απώλεια ή ο τραυματισμός πολιτών, έχει ως αποτέλεσμα μείωση του παραγωγικού χρόνου και ως εκ τούτου μείωση της παραγωγικότητας. Έτσι, κατ' αυτόν τον τρόπο, επηρεάζεται η οικονομία με έμμεσο τρόπο (Τσάγκας, 2011).

Ακόμα, οι καταστροφές που θα προξενήσει η κατολισθητική κίνηση σε λειτουργικές και υποστηρικτικές δομές για την διαβίωση των πολιτών, θα οδηγήσουν σε άμεσες οικονομικές απώλειες της πολιτείας, ώστε να πραγματοποιήσει την επισκευή τους. Τέτοιες καταστροφές μπορεί να είναι η αστοχία δικτύων ύδρευσης ή αποχέτευσης, η καταστροφή δικτύων ηλεκτροδότησης, ή το πιο σύνηθες, καταστροφή του οδικού δικτύου (Τσάγκας, 2011).

Το τελευταίο επιδιώκεται να αποδειχθεί μέσω της μελέτης των *Donnini et al. (2017)*, στην οποία εκτιμάται το συνολικό κόστος επιδιόρθωσης του οδικού δικτύου σε δύο περιοχές της Ιταλίας, μια στη κεντρική και μια στη νότια Ιταλία, το οποίο έχει καταστραφεί λόγω ενός κατολισθητικού συμβάντος. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο γενικό συμπέρασμα ότι όσο

σημαντικός είναι ο δρόμος για τη περιοχή, τόσο αυξάνεται το κόστος απομάκρυνσης των υλικών της κατολίσθησης και της πλήρους επιδιόρθωσης του (Donnini, και συν., 2017).

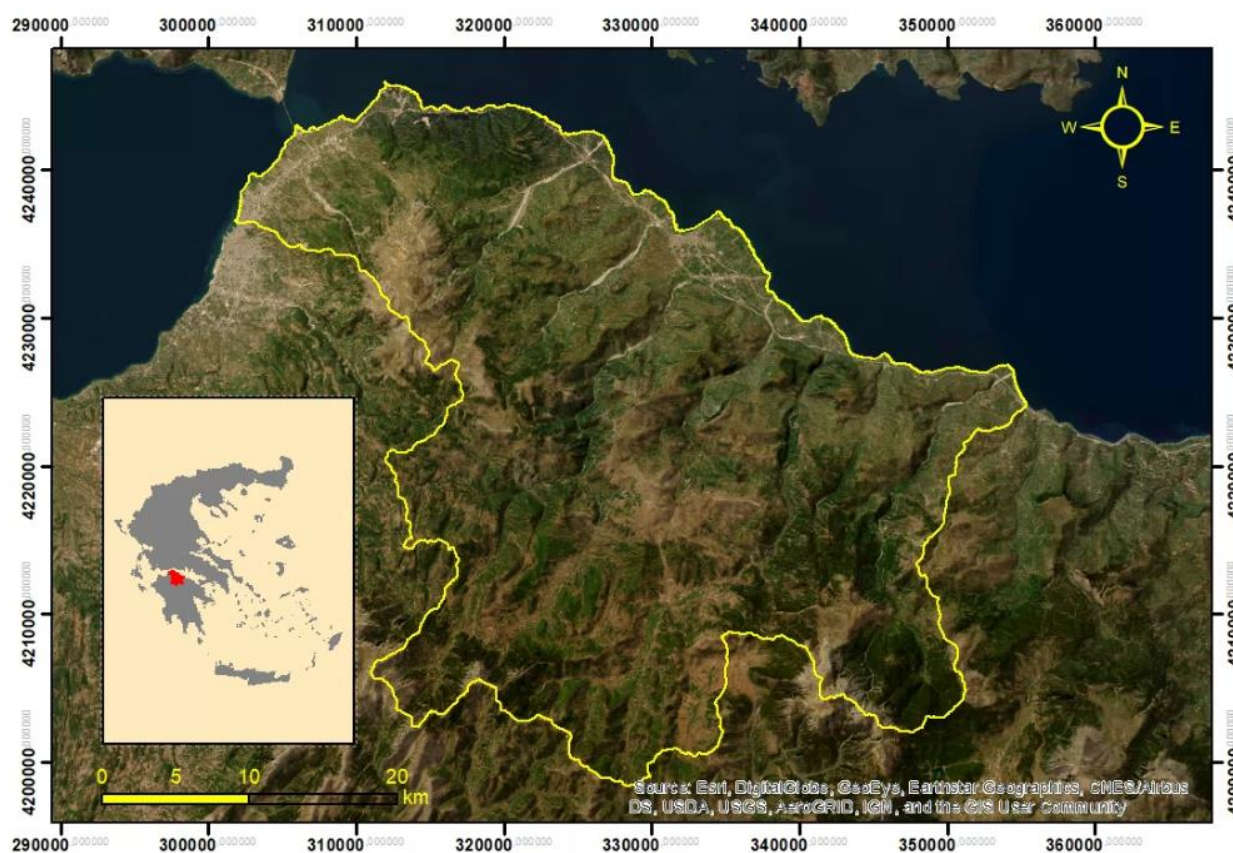
Εν κατακλείδι, σε γενικό πλαίσιο, η οικονομική επιβάρυνση λόγω κατολισθήσεων αφορά κυρίως τα ακόλουθα (Τσάγκας, 2011): Μετεγκατάσταση οικισμού που κρίθηκε μη βιώσιμος, αποζημίωση κατεστραμμένων οικιών και βοηθητικών χώρων αυτών και αντικατάσταση τεχνικών έργων, οδικού δικτύου, δικτύου ύδρευσης κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4Ο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

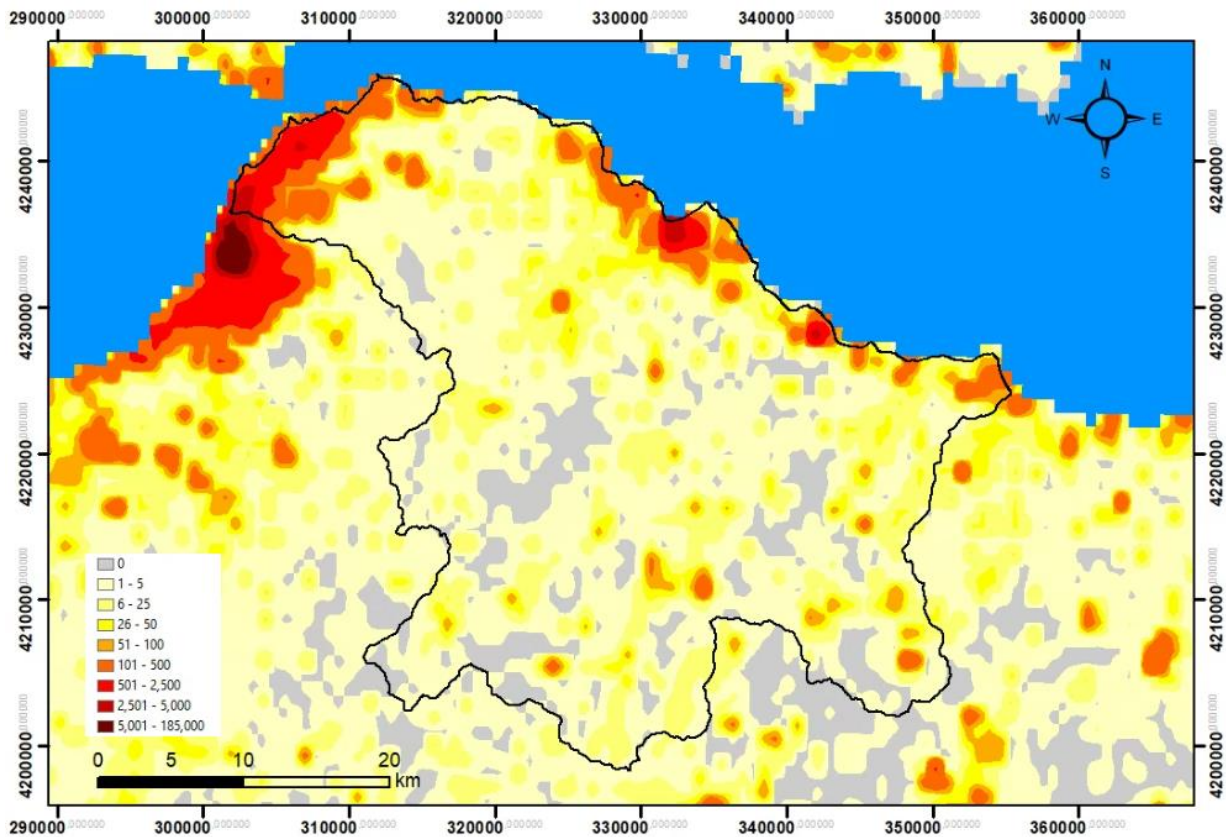
4.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή υπό μελέτη καλύπτει το βορειοανατολικό τμήμα του νομού Αχαΐας στην Ελλάδα. Αυτή η περιοχή αποτελεί το 40,2% του συνολικού εδάφους του νομού, με συνολική έκταση 1.316,6 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το βόρειο τμήμα της περιοχής συνορεύει με τον Κορινθιακό Κόλπο σε όλο του το μήκος, ενώ ένα μικρό τμήμα στα βορειοδυτικά βρέχεται από τον Πατραϊκό Κόλπο. Οι δύο κόλποι συνδέονται μεταξύ τους μέσω του στενού του Ρίου-Αντιρρίου (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Περιοχή μελέτης.

Τα ανατολικά, δυτικά και νότια τμήματα της περιοχής καλύπτονται από τον υπόλοιπο νομό της Αχαΐας, ενώ μια μικρή έκταση της περιοχής στα νοτιοανατολικά εφάπτεται με τον νομό της Κορινθίας. Σε ότι αφορά τον πληθυσμό, ο νομός της Αχαΐας καταγράφει 305.979 άτομα (απογραφή 2022) με ιδιαίτερα σημαντική διασπορά του πληθυσμού όπως απεικονίζεται στο σχετικό χάρτη (Εικόνα 4.2).

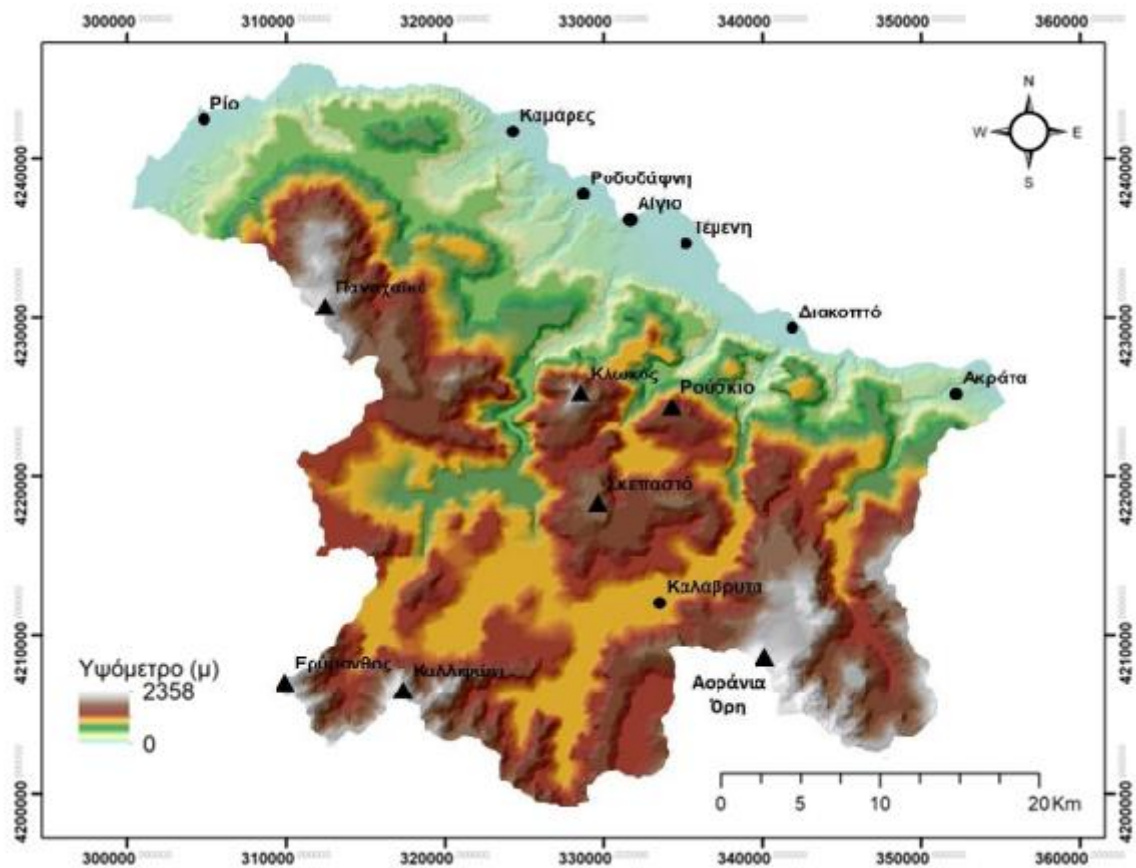


Εικόνα 4.2: Πληθυσμιακή πυκνότητα περιοχής μελέτης.

4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο νομός Αχαΐας, θεωρείται ως ένας από τους πιο ορεινούς νομούς της χώρας, αφού περίπου το 60% της συνολικής του έκτασης θεωρείται ορεινό. Από τους κυριότερους ορεινούς όγκους που εμφανίζονται στην περιοχή της ΔΕ, διακρίνονται το Παναχαϊκό, στο

βόρειο και κεντρικό τμήμα (1926m), ο Ερύμανθος ή Ωλονός (2224m) και τα Αροάνια Όρη ή Χέλμος (2358m) (Εικόνα 4.3).

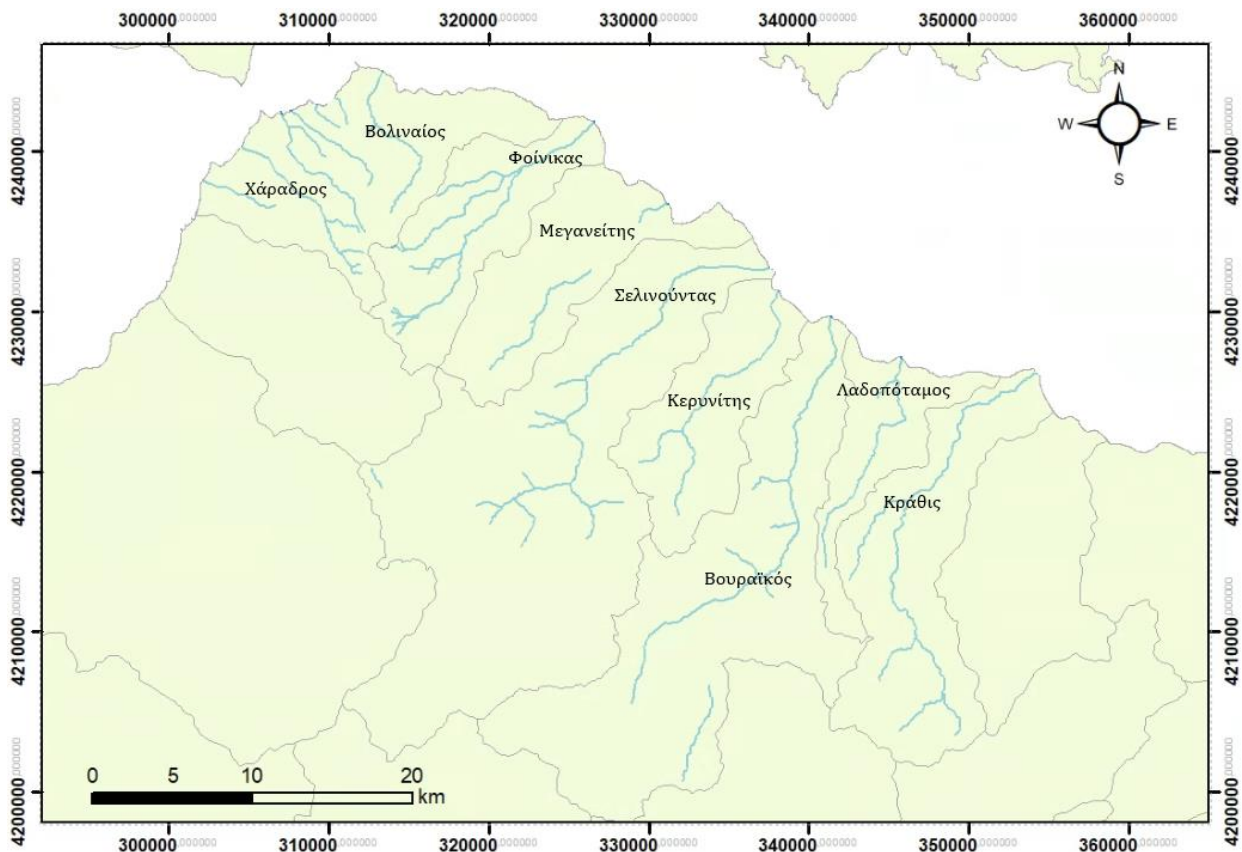


Εικόνα 4.3: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά περιοχής.

4.3 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως καλά ανεπτυγμένο, με την πλειονότητα των υδρορεμάτων να χαρακτηρίζονται ως περιοδικής ροής (Τσαγκάς, 2011). Επιπλέον, υπάρχει έντονη διακυμάνση των ροών σε συνδυασμό με την νεοτεκτονική δραστηριότητα, που έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων προς τις ακτές. Αυτά τα ιζήματα συνεχώς διαβρώνουν τις πιο πρόσφατες γεωλογικές σχηματισμούς της περιοχής (Ρόζος, 1989). Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει ένα σύνολο ποταμών και χειμάρρων που ρέουν από ανατολικά προς δυτικά και εκβάλλουν στον Κορινθιακό Κόλπο.

Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι οι ποταμοί Κράθις, Λαδοπόταμος, Βουραϊκός, και Κερυνίτης, που αποστραγγίζουν το βόρειο τμήμα του όρους Χέλμου. Επίσης, υπάρχουν οι ποταμοί Σελινούντας, Μεγανείτας και Φοίνικας, που αποστραγγίζουν το βόρειο τμήμα του όρους Παναχαϊκό και εκβάλλουν επίσης στον Κορινθιακό Κόλπο. Επιπροσθέτως, στην περιοχή υπάρχουν και μικροί ποταμοί-χείμαρροι, όπως ο Βολιναίος ποταμός που εκβάλλει κοντά στον Ψαθοπύργο στον Κορινθιακό Κόλπο, καθώς και ο Χάραδρος χείμαρρος που εκβάλλει κοντά στο Ρίο στον Πατραϊκό Κόλπο (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.

Όλοι αυτοί οι ποταμοί σχηματίζουν δέλτα σε μορφή κώνων ριπιδίων, κάτι που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της παροχής υλικών, της διάχυσης αυτών υλικών από θαλάσσια ρεύματα, αλλά και της ταχύτητας των ανοδικών ή καθοδικών ροών στις περιοχές εκβολής (Νίκας, 2004) (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Λεκάνες απορροής κύριων ποταμών περιοχής μελέτης.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΚΥΡΙΟΣ ΠΟΤΑΜΟΣ	ΈΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΧΛΜ)
1	Βολιναίος	149
2	Φοίνικας	97,4
3	Μεγανείτας	107
4	Σελινούντας	373
5	Κερυνίτης	98,3
6	Βουραϊκός	273
7	Λαδοπόταμος	63,9
8	Κράθις	155

4.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την γεωγραφική της θέση. Στα παράκτια τμήματα, το κλίμα χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, με μέση ετήσια θερμοκρασία περίπου 17-18 βαθμούς Κελσίου, ενώ στο εσωτερικό και το ορεινό τμήμα του νομού, υπάρχει χαρακτηρίζεται κατά βάση ως ηπειρωτικό κλίμα, με ψυχρότερους χειμώνες και δροσερότερα καλοκαίρια. Οι ορεινές περιοχές χαρακτηρίζονται από περισσότερες βροχοπτώσεις, κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Για τη μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών στην περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης που καταγράφηκαν από διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς στην περιοχή από το 1975 έως το 1999 (Νίκας, 2004). Οι σταθμοί από τους οποίους καταγράφηκαν τα δεδομένα αναφέρονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Σταθμοί περιοχής μελέτης (Νίκας, 2004).

Σταθμός	Υψόμετρο(m)	Φορέας
Αίγιο	64	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)
Πάτρα	1	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)
Καλάβρυτα	731	Δημόσια επιχείριση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)
Κούτελη	890	Δημόσια επιχείριση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)
Κ.Βλασία	800	Δημόσια επιχείριση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)
Λεόντειο	740	Δημόσια επιχείριση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)
Κερπίνη	1100	Δημόσια επιχείριση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)
Ακράτα	160	Υπουργείο δημοσίων έργων (ΥΠ.ΔΕ., σημερινό Υ.Π.ΕΝ.)
Δροσάτο	864	Υπουργείο δημοσίων έργων (ΥΠ.ΔΕ., σημερινό Υ.Π.ΕΝ.)

Τα διαθέσιμα στοιχεία για τις βροχοπτώσεις προέρχονται από τις παρατηρήσεις των σταθμών της περιοχής (Πίνακας 4.3) για χρονικό διάστημα 25 ετών (1975-1999) (Κολοκοτρώνης, 2019).

Πίνακας 4.3: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης(mm) για την περίοδο 1975-1999 (Νίκας, 2004).

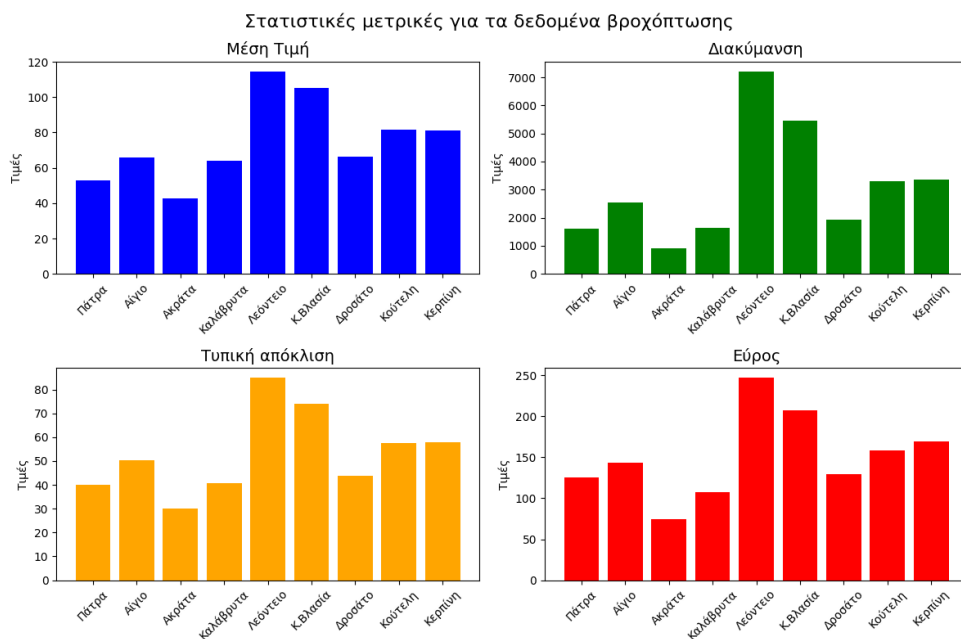
Μήνας	Πάτρα	Αίγιο	Ακράτα	Καλάβρυτα	Λεόντειο	Κ.Βλασία	Δροσάτο	Κούτελη	Κερπίνη	Μέση τιμή
Ιανουάριος	73.70	106.80	73.80	105.30	176.80	174.80	89.00	133.30	132.60	118.5
Φεβρουάριος	71.60	98.40	70.10	82.50	165.90	151.30	84.80	121.30	119.50	107.3
Μάρτιος	60.80	81.10	61.80	63.50	123.60	122.00	83.80	107.20	101.00	89.4
Απρίλιος	48.10	59.30	50.60	88.30	125.80	102.10	69.30	79.00	77.70	77.8
Μάιος	27.60	33.20	24.80	31.30	66.10	55.40	40.40	47.40	42.50	41
Ιούνιος	9.00	10.80	9.20	15.00	22.00	19.50	16.90	19.40	18.00	15.5
Ιούλιος	6.80	4.40	2.50	19.50	9.80	23.10	10.60	14.40	11.90	11.4
Αύγουστος	7.30	9.10	5.70	18.10	15.60	27.30	19.50	21.10	18.00	15.7
Σεπτέμβριος	24.70	19.90	9.90	23.60	45.50	44.80	30.40	27.70	30.90	28.6
Οκτώβριος	64.40	85.10	49.60	83.30	124.60	103.00	74.30	73.00	83.40	82.3
Νοέμβριος	132.10	147.70	77.40	114.00	239.80	213.60	140.10	164.50	155.30	153.8
Δεκέμβριος	105.80	134.10	74.40	122.70	256.80	226.60	135.00	172.70	181.70	156.6
Μέση Τιμή	52.66	65.83	42.48	63.93	114.36	105.29	66.17	81.75	81.04	
Τυπική απόκλιση	40.04	50.4	30.01	40.62	84.85	73.88	43.79	57.43	57.94	
Διακύμανση	1603.41	2540.41	900.42	1649.66	7198.91	5457.82	1917.77	3297.84	3357.04	
Εύρος	125.3	143.3	74.9	107.7	247	207.1	129.5	158.3	169.8	

Σε σχέση με τους μήνες με τις μέγιστες και ελάχιστες βροχοπτώσεις για το σύνολο των σταθμών, αυτοί είναι ο Δεκέμβριος (156.6 mm) και ο Ιούλιος (11.4mm), αντίστοιχα. Με βάση τις μετρικές που υπολογίστηκαν για τους σταθμούς, μπορούμε να αντλήσουμε τις παρακάτω πληροφορίες:

Σταθερότητα ή μεταβλητότητα βροχόπτωσης κατά μήνα: Οι σταθμοί με μικρή τυπική απόκλιση και διακύμανση έχουν περίπου σταθερές τιμές βροχόπτωσης κατά τους μήνες. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της βροχόπτωσης είναι κοντά στο ίδιο επίπεδο για διαδοχικούς μήνες. Οι σταθμοί με μεγάλες τιμές διακύμανσης και τυπικής απόκλισης έχουν μεγάλες αλλαγές στη βροχόπτωση μεταξύ των μηνών. Αυτό υποδηλώνει μεγάλη μεταβλητότητα και διαφορές στις τιμές βροχόπτωσης κατά τους διάφορους μήνες.

Εύρος τιμών βροχόπτωσης ανά μήνα: Μικρό εύρος υποδεικνύει ότι οι τιμές βροχόπτωσης είναι κοντά σε αντίστοιχο επίπεδο για κάθε μήνα, και δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Μεγάλο εύρος υποδεικνύει ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις τιμές βροχόπτωσης μεταξύ των μηνών, και μπορεί να υπάρχουν περιόδοι με έντονη βροχόπτωση και περιόδοι με ελάχιστη βροχόπτωση.

Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, μπορούμε να ανιχνεύσουμε προτύπα ή τάσεις στις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για κάθε σταθμό. Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών σταθμών, μπορούμε επίσης να αναγνωρίσουμε περιοχές που είναι πιο σταθερές ή πιο μεταβλητές όσον αφορά τη βροχόπτωση. Βάσει των τιμών που εκτιμήθηκαν για την περιοχή έρευνας, βλέπουμε ότι ο σταθμός με το μικρότερο εύρος είναι η Ακράτα με 74.90, ενώ ο σταθμός με το μεγαλύτερο εύρος είναι ο Λεόντειο με 247.00. Αυτό υποδεικνύει ότι οι τιμές βροχόπτωσης για την Ακράτα είναι σχετικά σταθερές κατά μήνα, ενώ για το Λεόντειο υπάρχει μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις τιμές βροχόπτωσης ανά μήνα. Συγκρίνοντας τους σταθμούς, βλέπουμε επίσης ότι οι Πάτρα, Καλάβρυτα, Δροσάτο και Κούτελη έχουν παρόμοια εύρη βροχόπτωσης, ενώ οι Αίγιο, Κ.Βλασία και Κερπίνη έχουν μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις τιμές βροχόπτωσης μεταξύ των μηνών. Συγκρίνοντας τις τιμές διακύμανσης μεταξύ των σταθμών, παρατηρούμε ότι η Ακράτα έχει το μικρότερο εύρος και τη μικρότερη τιμή διακύμανσης, υποδεικνύοντας πιο ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης. Από την άλλη πλευρά, ο σταθμός Λεόντειο έχει πολύ υψηλή τιμή διακύμανσης (7198.91), που υποδεικνύει σημαντικές αλλαγές στις τιμές βροχόπτωσης μεταξύ των μηνών. Αυτό μπορεί να σημαίνει πιο ασταθές κλίμα με μεγάλες διαφορές στην ποσότητα βροχόπτωσης ανάλογα με την εποχή του έτους. Ενδιάμεσες τιμές διακύμανσης παρουσιάζουν οι υπόλοιποι σταθμοί. Ο σταθμός Ακράτας έχει μικρή τιμή τυπικής απόκλισης (30.01), υποδεικνύοντας ότι οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης είναι σχετικά σταθερές κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό μπορεί να σημαίνει πιο ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης σε αυτήν την περιοχή. Οι σταθμοί Αίγιο, Πάτρα, Καλάβρυτα, Κ.Βλασία, Δροσάτο, Κούτελη και Κερπίνη έχουν μέτριες τιμές τυπικής απόκλισης περίπου στα 50-75, υποδεικνύοντας μια μέτρια διαφοροποίηση των τιμών βροχόπτωσης. Αυτό μπορεί να υποδεικνύει ότι οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης έχουν μια μέτρια διακύμανση, χωρίς ιδιαίτερες ακραίες τιμές. Αντίθετα, ο σταθμός Λεόντειο ξεχωρίζει με υψηλή τιμή τυπικής απόκλισης (84.85), που υποδεικνύει μεγάλη μεταβλητότητα και αστάθεια στις τιμές βροχόπτωσης κατά μήνα. Αυτό μπορεί να υποδεικνύει ότι οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, με την περιοχή να εκτίθεται σε ακραίες και ασταθείς κλιματολογικές συνθήκες (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Στατιστικές μετρικές για τα δεδομένα των σταθμών της περιοχής έρευνας.

Τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4 και 4.5. Από την επεξεργασία των στοιχείων των πινάκων διαπιστώνεται μια ελαφρά τάση ελάττωσης στο μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε όλους τους σταθμούς της περιοχής έρευνας.

Επιπροσθέτως, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι σταθμοί, οι οποίοι βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης.

Πίνακας 4.4: Ετήσια ύψη βροχόπτωσης(mm) (Νίκας, 2004).

Έτος	Πάτρα	Αίγιο	Ακράτα	Καλάβρυτα	Λεόντειο	Κ.Βλασία	Δροσάτο	Κούτελη	Κερπίνη
1975	584,6	814,8	479,6	1049,4	1249,6	1251,3	866,1	916,8	973,7
1976	708,4	735,5	920,3	1047,7	1505,8	1242,8	735	1015,1	937,1
1977	511,5	787,6	373,4	680,1	1018,3	928,4	564,2	623,4	769,9
1978	863,8	1092	842,9	1022,1	1891,6	1666,5	1211,3	1174,9	1483,9
1979	890,4	795,3	1084,6	1503,6	1723,7	1924	1193,1	1481,3	1442,7

1980	808,4	1002,4	898,6	1326,8	1792,7	1983	992,1	1461,2	1440,1
1981	855,9	1089,5	559,4	958,3	2471	1986,2	1108,3	1536,4	1551,1
1982	697,8	982	874,7	757,6	1769,3	1424	795,4	831,4	990,6
1983	531,5	724,2	695,7	842,2	1413,2	1145,6	803,5	940,6	792,8
1984	563,7	772,2	666,7	646,8	1162,8	1263,5	619,7	933,3	867,5
1985	596,8	895,4	597,7	537,2	1258,3	1237,1	629,6	868,9	916,1
1986	730,2	858,5	470,4	571,9	1659,5	1340	855,1	1058,5	1041,6
1987	686,6	1014	369,2	821,7	1404,7	1289	786,2	818,1	1098
1988	651,4	865,5	406,2	705,6	1386,4	1218,4	594,3	935,9	971,2
1989	379,5	521,4	257,3	263,4	957,9	733,2	631,5	562	578,4
1990	574,8	785,3	348	816	1113,6	1057	823,2	939,3	923,1
1991	467,5	721,6	365,5	752,1	1158,3	943,9	723,2	911,5	968,6
1992	369	443,3	197,9	486	894,5	895,6	514,7	700,1	526,4
1993	599,7	790,2	322,6	478,3	1219,2	947,6	835,5	788,8	608,4
1994	502,9	737,9	302,1	691,7	1058,8	1273,7	709,3	684,8	827,9
1995	646,8	600,2	299,6	857,9	1203,1	1289,2	825,2	1053,5	950,4
1996	780,4	689,4	349	156,5	1417,2	1220,4	807,2	1153,3	872,5
1997	455	668,1	378,1	484,8	947,1	764,5	582,9	831,7	829,8
1998	542	623,4	304,7	696,1	1003,1	1081,3	694,9	907,9	809
1999	799,6	733,8	382,2	1027,1	1323,4	1481,9	948,1	1397,6	1145
Μέση τιμή	631,9	789,8	509,9	767,2	1364,1	1263,5	794	981,1	972,6

Πίνακας 4.5: Διακόμανς ετήσιων ύψων βροχόπτωσης(mm).

Σταθμός	Διακόμανση
Πάτρα	-6.59 mm/έτος
Αίγιο	-12.03 mm/έτος
Ακράτα	-23.55 mm/έτος
Καλάβρυτα	-21.53 mm/έτος
Λεόντειο	-25.27 mm/έτος
Κ.Βλασία	-20.10 mm/έτος
Δροσάτο	-8.34 mm/έτος
Κούτελη	-6.43 mm/έτος
Κερπίνη	-15.64 mm/έτος

Βασισμένο στα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις διαχρονικές τάσεις ανά σταθμό, μπορούμε να κάνουμε τα εξής συμπεράσματα:

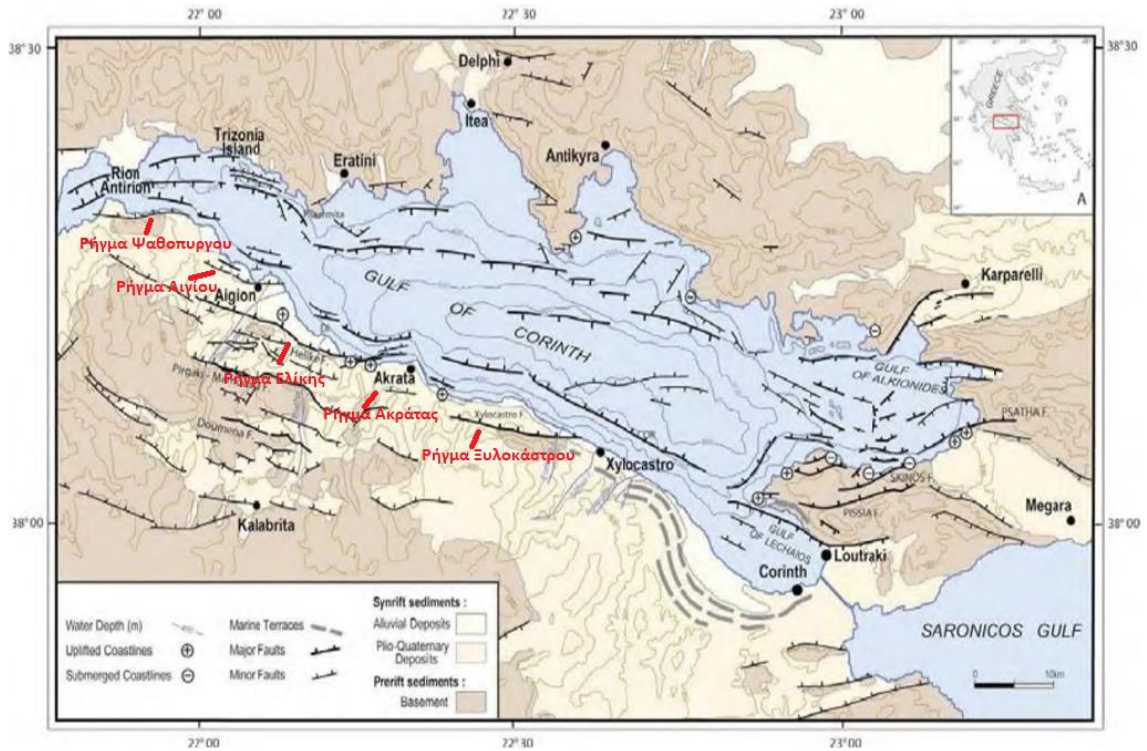
- Οι διαχρονικές τάσεις ανά σταθμό δείχνουν την μεταβολή της βροχόπτωσης σε χρονική βάση (ανά έτος) για κάθε περιοχή.
- Οι τάσεις είναι αρνητικές για όλους τους σταθμούς, που υποδεικνύει μια τάση μείωσης της βροχόπτωσης στις περισσότερες περιοχές κατά τα τελευταία έτη.
- Οι σταθμοί με τις υψηλότερες αρνητικές τάσεις (Λεόντειο, Ακράτα, Καλάβρυτα και Κ.Βλασία) έχουν τις μεγαλύτερες μειώσεις στην βροχόπτωση.
- Οι σταθμοί Πάτρα, Δροσάτο και Κούτελη έχουν τις μικρότερες αρνητικές τάσεις, δηλαδή η μείωση της βροχόπτωσης σε αυτές τις περιοχές είναι μικρότερη σε σύγκριση με τους άλλους σταθμούς.

- Παρόλο που όλες οι περιοχές δείχνουν μείωση στη βροχόπτωση, οι διαφορές στις τάσεις ανάμεσα στους σταθμούς υποδεικνύουν ότι η μείωση αυτή δεν είναι ομοιόμορφη και μπορεί να επηρεάζει διαφορετικά κάθε περιοχή.

4.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ – ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σύμφωνα με τον Τσάγκα (2011) η περιοχή έρευνας αποτελείται κυρίως από γεωλογικούς σχηματισμούς ιζηματογενούς προέλευσης. Αυτοί οι σχηματισμοί ανήκουν σε δύο βασικές γεωτεκτονικές ενότητες: την ενότητα της Τρίπολης, η οποία είναι σχετικά αυτόχθονη, και την ενότητα της Πίνδου, η οποία είναι τεκτονικά υπερκείμενη (επωθημένη). Συγκεκριμένα, καλύπτεται με αλπικούς σχηματισμούς από τις ενότητες της Πίνδου και της Τρίπολης, οι οποίοι είναι σχετικά παλαιοί. Αυτοί οι σχηματισμοί υπερκαλύπτονται σε ορισμένες θέσεις από νεότερους σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς, οι οποίοι αποτέθηκαν ασύμφωνα μετά την αλπική πτύχωση. Αυτή η ασύμφωνη απόθεση υποδηλώνει ότι οι νεότεροι σχηματισμοί αποτέθηκαν μετά την δημιουργία των αλπικών σχηματισμών και δείχνουν τη συνέχιση των γεωλογικών διαδικασιών στην περιοχή.

Από τεκτονικής άποψης η γενική εικόνα της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται από τη δράση εφαπτομενικών τεκτονικών κινήσεων διεύθυνσης από ανατολικά προς τα δυτικά (Α-Δ) κατά το τέλος του Μειόκαινου που έχει ως αποτέλεσμα την επώθηση προς τα δυτικά της ζώνης της Πίνδου επί της ζώνης της Τρίπολης με τη μορφή καλύμματος (Doutsos et al., 2000). Τα σημαντικότερα ενεργά ρήγματα του Κορινθιακού κόλπου γενικού προσανατολισμού ανατολής – δύσης Α-Δ είναι του Ψαθόπυργου, του Αιγίου, της Ελίκης, της Ακράτας και του Ξυλοκάστρου (Εικόνα 4.6). Τα ρήγματα της Ελίκης και του Αιγίου έχουν προκαλέσει την εκδήλωση σεισμικών φαινομένων κατά το παρελθόν ενώ άλλα όπως η ρηξιγενής ζώνη του Ψαθόπυργου εξαιτίας της δράσης και της ενεργότητας των ρηγμάτων αποτελεί το έναυσμα για κατολισθητικά φαινόμενα.



Εικόνα 4.6: Τεκτονικός χάρτης Κορινθιακού κόλπου (Armijo et al., 1996).

Ο νομός Αχαΐας κατατάσσεται στη ζώνη II της σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με το χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2000 και με την τροποποίησή του το 2003 η περιοχή κατατάσσεται στη ζώνη II σεισμικής επιτάχυνσης $A = 0,24 \text{ g}$ ($A = a * g$, όπου a : ο συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης και g : επιτάχυνση της βαρύτητας). Ο Ελλαδικός χώρος ταξινομείται σε τρεις ζώνες σύμφωνα με την εδαφική σεισμική επιτάχυνση : Ζώνη I με $a = 0.16$, Ζώνη II με $a = 0.24$, Ζώνη III με $a = 0.36$. Η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής προκαλεί την εκδήλωση κατολισθήσεων οι οποίες θεωρούνται ως συνσεισμικά φαινόμενα που εξαρτώνται από τα ενεργά ρήγματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η κατολίσθηση στη θέση Παναγοπούλα που συνδέεται με σεισμικό φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα η παρακολούθηση της ζώνης κατολίστεσης και η καταγραφή μετρήσεων των μετακινήσεων στον πόδα με αποκλισιόμετρα έδειξε αλλαγές στο ρυθμό μετακίνησης ύστερα από το μεγάλο σεισμό του Αιγίου το 1995 (Koukis et al. 2009). Τέλος έχουν διαπιστωθεί και άλλες ρηξιγενείς ζώνες όπως του Ψαθόπυργου, του Διακοπτού, της Ροδινής, της Ακράτας που έχουν συνδεθεί με την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Τσαγκάς, 2011).

Σε ότι αφορά τη ανάπτυξη των διαφόρων τεχνικογεωλογικών ενοτήτων στην περιοχή, διακρίνονται οι εξής (Ρόζος, 1989):

Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις

Αποτελούνται από αργίλους, ιλύς, πηλοί και άμμοι ποταμολιμναίας προέλευσης, αργιλομιγείς άμμοι αιολικής προέλευσης και αποσαθρώματα παλαιότερων σχηματισμών. Υλικά με καλή διαβάθμιση, μέτριο έως χαμηλό πορώδες, μικρή υδροπερατότητα ($10^{-2} - 10^{-4}$ cm/sec) και χαμηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα (0,75 - 1,5 kg/cm²).

Χαλαρές αδρομερείς αποθέσεις

Αποτελούνται από κροκάλες και χάλικες ποικίλου μεγέθους, με μεγάλη εξάπλωση στο βόρειο και το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου είτε καλύπτουν τις κοίτες ποταμών και χειμάρρων, είτε σχηματίζουν εκτεταμένα ριπίδια. Επίσης πλευρικά κορήματα, κυρίως ασβεστολιθικά, που εντοπίζονται στους πρόποδες πρανών με πολύ μεγάλη κλίση, καθώς και κώνοι κορημάτων. Πρόκειται για χονδρόκοκκους σχηματισμούς με ελάχιστο ποσοστό άμμου και λεπτομερών υλικών (αργιλοϊλύς ή και αμμοϊλύς). Χαρακτηρίζονται από υψηλό πορώδες, μεγάλη υδροπερατότητα ($10^0 - 10^{-2}$ cm/sec) και σημαντική φέρουσα ικανότητα (2 - 8 kg/cm²).

Χαλαρές αποιέσεις μικτών φάσεων

Αποτελείται από ποικίλης σύστασης και κοκκομετρίας υλικά (αργιλοϊλύες, πηλοί, άμμοι, ψηφίδες και χάλικες) με ταχείες μεταβολές των φάσεων κατά την οριζόντια και κατακόρυφη ανάπτυξη. Αποτελούν σύγχρονες προσχώσεις ή και αποθέσεις κοιλάδων και είναι κυμαινόμενου πάχους, από μερικά μέτρα έως αρκετές δεκάδες μέτρα. Χαρακτηρίζονται από μέση έως υψηλή υδροπερατότητα ($10^{-2} - 10^{-4}$ cm/sec) και ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα (1,5 - 6 kg/cm²).

Συνεκτικοί σχηματισμοί μικτών φάσεων

Πρόκειται για χαλαρά έως ημισυνεκτικά κροκαλοπαγή, αργιλομαργαϊκά υλικά, άμμους με ασθενή διαγένεση και βραχώδη θραύσματα με κόκκινο πηλό, σα συνδετικό υλικό

(λατυποπαγή). Είναι ετερογενείς σχηματισμοί με συχνές εναλλαγές των φάσεων και το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά μέτρα, μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα. Χαρακτηρίζονται από ευρεία διακύμανση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών καθώς και της υδροπερατότητας.

Νεογενείς σχηματισμοί (πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα)

Αδρομερή ιζήματα

Αποτελούνται από κροκαλοπαγή, συνήθως ισχυρά συγκολλημένα, τα οποία κατά θέσεις έχουν μέτρια συνεκτικότητα. Πρόκειται για πολυγενή σχηματισμό, με κροκάλες διαφόρων μεγεθών μέχρι 20cm. Η προέλευσή τους ποικίλει και μπορεί να είναι ασβεστολιθική ή κερατολιθική ή ψαμμιτική. Η συνδετική ύλη είναι ασβεστοψαμμιτική. Παρουσιάζουν μεγάλη εξάπλωση στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα ($10^{-1} - 10^{-3}$ cm/sec) στους ανώτερους ορίζοντες (ζώνη ισχυρού κερματισμού) και χαμηλή (10^{-5} cm/sec) στους βαθύτερους (υγιείς) ορίζοντες. Η φέρουσα ικανότητα στους ανώτερους ορίζοντες δεν είναι σταθερή αλλά κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Τέλος η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη κυμαίνεται ανάλογα με το βαθμό συνεκτικότητας από 60 έως 600kg/cm². Παρόλο που αποτελούν βραχώδη σχηματισμό με υψηλές μηχανικές αντοχές και αυξημένη αντίσταση στη διάβρωση και την αποσάθρωση, συνήθως παρουσιάζουν υψηλή διάρρηξη με αποτέλεσμα την εκδήλωση αποκολλήσεων κυρίως στα απότομα πρανή καθώς και ολισθήσεων στις ζώνες αστάθειας των πρανών.

Λεπτομερή ιζήματα

Πρόκειται για σχηματισμούς οι οποίοι χαρακτηρίζονται για την εκδήλωση κατολισθητικών κινήσεων, εδαφικών ροών και ερπυσμών. Συνίσταται από αργίλους, μάργες και λεπτόκοκκους έως μεσόκοκκους άμμους με ποικίλο βαθμό διαγένεσης και εναλλαγές των παραπάνω υλικών. Στα ανώτερα μέλη συμμετέχουν μικρού πάχους ενστρώσεις κροκαλοπαγών, με μέτρια έως ισχυρή συνεκτικότητα, ενώ στα κατώτερα μέλη παρατηρούνται κατά θέσεις διάσπαρτες κροκάλες. Χαρακτηρίζονται ως μέτρια συνεκτικοί ή συνεκτικοί σχηματισμοί. Η περατότητά τους κυμαίνεται από 10^{-2} m/sec (άμμοι) έως 10^{-6} m/sec (αργιλομαργαϊκοί ορίζοντες), ευνοώντας έτσι την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων.

Όσον αφορά τη μηχανική συμπεριφορά, αυτή παρουσιάζει ευρεία διακύμανση. Για παράδειγμα στους λεπτομερέστερους ορίζοντες, η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 0,2 - 25 kg/cm², ενώ οι παράμετροι διατμητικής αντοχής είναι $c=0 - 2,9 \text{ kg/cm}^2$ και $\phi=5^\circ - 58^\circ$. Το ορατό πάχος του σχηματισμού ξεπερνά τα 400m.

Υπόβαθρο

Φλύσχης Δυτικής Ελλάδος

Πρόκειται για ιζήματα με μέτρια έως ισχυρή πτύχωση και συνήθως έντονες μορφολογικές συνθήκες, αποτελούμενα από ψαμμίτες, ιλυόλιθους, ιλυούχους ψαμμίτες, αργιλομάργες και κροκαλοπαγή σε εναλλαγές με επικράτηση της μιας ή της άλλης φάσης ανάλογα την περιοχή. Καλύπτονται συχνά από παχύ μανδύα αποσάθρωσης (1-5m.). Καταλαμβάνει πολύ μεγάλη έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού ενώ στη περιοχή μελέτης ένα πάρα πολύ μικρό τμήμα στο νότιο περιθώριο. Η φέρουσα ικανότητα μπορεί να κυμαίνεται από 4 - 40 kg/cm², ενώ η υδροπερατότητα από 10⁻² έως 10⁻⁸ cm/sec.

Φλύσχης Κεντρικής Ελλάδος

Εμφανίζει τυπική ψαμμιτοπηλιτική μορφή και αποτελείται από ψαμμίτες και ιλυόλιθους, συνολικού πάχους 500m. Πρόκειται για ιζήματα έντονα πτυχωμένα και καταπονημένα από την τεκτονική των λεπίων και εφιππεύσεων που μερικές φορές έχει προκαλέσει τη δυναμική τους μεταμόρφωση (π.χ. περιοχές Άνω Διακοπτού και Άνω Ρου Σελινούντα). Τις περισσότερες φορές δημιουργούν απότομα πρανή και καλύπτονται στην περίπτωση επιφανειακής εκδήλωσης των ιλυόλιθων, από σχετικά παχύ μανδύα αποσάθρωσης. Οι ψαμμίτες είναι συνήθως λεπτόκοκκοι-μεσόκοκκοι, ισχυρά συνεκτικοί και έντονα κερματισμένοι και χαρακτηρίζονται από αυξημένη δευτερογενή περατότητα (10⁻³ - 10⁻⁵ cm/sec) και υψηλή φέρουσα ικανότητα (20 - 40 kg/cm³). Οι ιλυόλιθοι αναπτύσσονται σε παχείς ορίζοντες και συνήθως είναι πολύ συνεκτικοί. Πρόκειται για αδιαπέρατο σχηματισμό ($K=10^{-7}-10^{-10} \text{ cm/sec}$) και φέρουσα ικανότητα 6 - 20 kg/cm².

Γενικά τα ιζήματα του φλύσχη της Κεντρικής Ελλάδας εμφανίζουν έντονη τεκτονική καταπόνηση, η οποία σε συνδυασμό με τη λιθολογική σύσταση, την έντονη μορφολογία καθώς και την αυξημένη βροχόπτωση, ευνοούν τη συχνή εκδήλωση κατολισθητικών

κινήσεων, που πλήττουν το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς της περιοχής, με σοβαρές συνήθως επιπτώσεις. Πρόκειται για περιστροφικές ή μεταθετικές ολισθήσεις και ερπυσμούς του μανδύα, που εκδηλώνονται κυρίως στους ιλύολιθους, καθώς και καταπτώσεις ή ολισθήσεις βράχων, κυρίως στους ψαμμίτες.

Ασβεστόλιθοι Ηώκαινου-Κρητιδικού Δυτικής Ελλάδος

Πρόκειται για λεπτοπλακώδεις έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους, με κατά θέσεις κονδύλους ή λεπτές ενστρώσεις πυριτόλιθων. Χαρακτηρίζονται από αδρή πτύχωση και το πάχος τους κυμαίνεται από 150m έως πολλές εκατοντάδες μέτρα. Στη περιοχή μελέτης εντοπίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα και καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση. Σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζονται από πολύ καλούς γεωμηχανικούς δείκτες, όπως πυκνότητα 2,6 - 2,7 gr/cm³, μέτρο ελαστικότητας 3 - 6 x 10⁵ kg/cm², υψηλή φέρουσα ικανότητα 40 - 50 kg/cm² και δευτερογενή υδροπερατότητα μεταξύ 10⁻³ - 10⁻⁵ cm/sec.

Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού Κεντρικής Ελλάδος

Πρόκειται για τον σχηματισμό με την μεγαλύτερη έκταση σε ότι αφορά την περιοχή μελέτης σε περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και έντονη πτύχωση. Αποτελείται από λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους, με λεπτές ενστρώσεις ή κονδύλους κερατόλιθων καθώς και σπάνιες αργιλικές ή ιλυολιθικές ενστρώσεις. Μπορούν να χαρακτηριστούν ως ιδιαίτερα επικίνδυνοι οι έντονα κερματισμένοι και πτυχωμένοι ορίζοντες στα απότομα πρηνή τεκτονικών τάφρων, που βρίσκονται σε γεωδυναμική εξέλιξη, όπου υπάρχει έντονη σεισμικότητα (π.χ. Κορινθιακός Κόλπος). Έτσι στους συγκεκριμένους σχηματισμούς εκδηλώνονται οι σοβαρότερες και μεγάλης έκτασης κατολισθήσεις, κατά μήκος προετοιμασμένων επιφανειών ολίσθησης ή και ζωνών αδυναμίας (π.χ. κατολίσθηση Παναγοπούλας) με σοβαρές επιπτώσεις στα διάφορα τεχνικά έργα και κυρίως στο οδικό δίκτυο.

Ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού Κεντρικής Ελλάδος

Εντοπίζονται στο ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης και συνιστούν ασβεστόλιθους και εναλλαγές ασβεστόλιθων, κερατόλιθων και ψαμμιτοΐλυολίθων. Εμφανίζονται κερματισμένοι και καταπονημένοι εξαιτίας έντονης τεκτονικής δραστηριότητας. Εμφανίζουν μέτρια

υδροπερατότητα ($10^{-3} - 10^{-5}$ cm/sec), το μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται μεταξύ 5 και 8×10^5 kg/cm², η σχετική πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 2.6 gr/cm³, και αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα 30-50 kg/cm².

Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι – Δολομίτες Ιουρασικού-Κρητιδικού

Εντοπίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και συνιστούν λεπτοπλακώδη δολομιτικούς ασβεστολίθους, με ισχυρό κερματισμό. Σε γενικές γραμμές θεωρούνται ευσταθείς σχηματισμοί με ικανοποιητικούς δείκτες πυκνότητας 2,7 - 2,9 gr/cm³, μέτρου ελαστικότητας $0,5 - 0,73 \times 10^6$ kg/cm², αναμενόμενης φέρουσας ικανότητας 40-60 kg/cm² και υδροπερατότητας $10^{-5} - 10^{-8}$ cm/sec.

Σχιστόλιθοι-Ψαμμίτες-Κερατόλιθοι

Αποτελεί βραχώδη σχηματισμό που συνίσταται από εναλλαγές ίλυολίθων, κερατολίθων, ψαμμιτών και ασβεστολίθων με παρεμβολές ηφαιστειακών τόφφων κατά θέσεις. Εμφανίζουν έντονη καταπόνηση και ισχυρό κερματισμό με πυκνότητα 2,5 - 2,8 gr/cm³, μέτρο ελαστικότητας $0,5 - 4 \times 10^5$ kg/cm², και μικρή υδροπερατότητα ($K=10^{-7} - 10^{-9}$ cm/sec).

Τεκτονοϊζηματογενές σύμπλεγμα

Δεν καλύπτει μεγάλο τμήμα της περιοχής, αποτελείται από ασβεστολιθικά τεμάχια με κροκάλες και ογκόλιθους διαφόρων οριζόντων καθώς και εκρηξιγενή πετρώματα με ψαμμιτοίλυολιθικό συνδετικό υλικό, έχοντας κατά βάση μειωμένες αντοχές.

Ημμεταμορωμένο υπόβαθρο (φυλλίτες)

Μικρή εμφάνιση στη περιοχή Ζαρούχλας-Λίμνης Τσιβλού, όπου στις ζώνες δημιουργίας μανδύα αποσάθρωσης είναι δυνατόν να εκδηλωθούν ερπυσμοί ή και ροές εδαφικών υλικών. Σε γενικές γραμμές θεωρείται σχηματισμός με πολύ ικανοποιητικούς μηχανικούς δείκτες και είναι πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί.

Ηφαιστειακά πετρώματα (λάβες)

Αποτελούν μικρές εμφανίσεις μέσα στο σχηματισμό των φυλλιτών Ζαρούχλας-Τσιβλού, όπου εντοπίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και χαρακτηρίζονται από πολύ καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, με τους εξής δείκτες: πυκνότητα 2,6 - 2,7 gr/cm³,

μέτρο ελαστικότητας $0,6 - 1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, μικρή υδροπερατότητα ($K=10^{-5}-10^{-9} \text{ cm/sec}$) και υψηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα ($30-60 \text{ kg/cm}^2$).

4.6 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στις παραπάνω έρευνες, τα κατολισθητικά φαινόμενα που έχουμε καταγράψει στην εν λόγω περιοχή έρευνας του νομού Αχαΐας δύναται να ομαδοποιηθούν με αποκλειστικό κριτήριο την γεωγραφική τους κατανομή σε τρεις περιοχές:

A. Η πρώτη περιλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του νομού, όπου τα σημαντικότερα προβλήματα παρουσιάζονται στην ευρύτερη περιοχή των οικισμών Πλατάνου, Βαλιμής, και Τσιβλού.

B. Η δεύτερη περιλαμβάνει το κεντρικό τμήμα του νομού, όπου τα σημαντικότερα φαινόμενα εκδηλώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή των οικισμών Κουνινάς και Γραΐκας.

Γ. Η τελευταία περιλαμβάνει το δυτικό τμήμα του νομού, όπου τα σημαντικότερα φαινόμενα εκδηλώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή των οικισμών Σαλμενικού και Ζήριας.

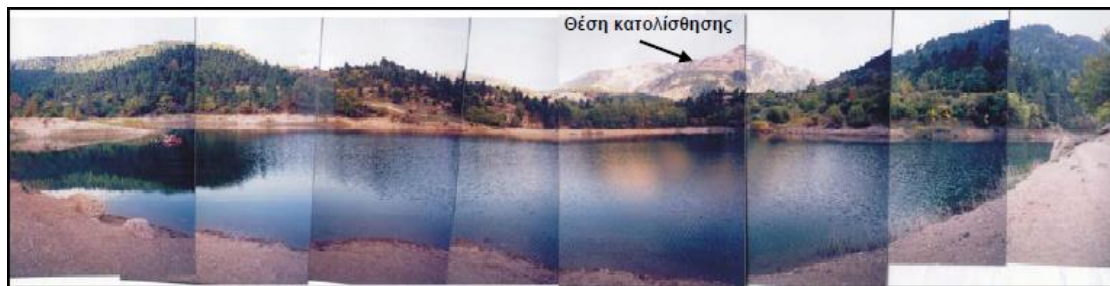
4.6.1 ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ

Ιδιαίτερος σημαντικά ήταν τα κατολισθητικά φαινόμενα στην κοινότητα της Βαλιμής που διακρίνονται σε παλαιότερα και νεώτερα (Βετούλης, 1973). Τα παλαιότερα, τα οποία κρίνονται και ως πιο σοβαρά, σημειώθηκαν το 1910 στον κεντρικό οικισμό της περιοχής με συνέπεια την σταδιακή εγκατάλειψή του. Η θέση εκδήλωσής τους είναι ευδιάκριτη ακόμα και σήμερα (στις κατώτερες θέσεις του οικισμού είναι εμφανείς οι αναβαθμίδες που προκλήθηκαν από τα εν λόγω φαινόμενα), ενώ η γενική τους εικόνα (μικρές προελάσεις στο μέτωπό τους) μαρτυρά την ενεργοποίησή τους, ιδιαίτερα, κατά τους χειμερινούς μήνες.

Τα νεώτερα σημειώθηκαν κατά τη δεκαετία του 1950 και έπληξαν τον συνοικισμό “Άνω Γειτονιά” προκαλώντας την ερήμωση του 80% των οικιών του. Ως αίτια θεωρήθηκε ο εμποτισμός του αργιλικής σύστασης μανδύα αποσάθρωσης των Νεογενών από την πηγή “Ελιά” (παροχής 6m³/h), καθώς και οι εργασίες διάνοιξης της οδού προς Ζαρούχλα.

Επιπρόσθετα, στον συνοικισμό Πέρα Μεριά καταγράφηκαν κατολισθητικά φαινόμενα στο ακραίο τμήμα του, με συνέπεια να εγκαταληφθούν οι παρακείμενες στο φρύδι της κατολίσθησης οικίες, ενώ η κατολισθαίνουσα ζώνη φαίνεται να έχει σταθεροποιηθεί.

Ιδιαίτερα καταστροφική χαρακτηρίζεται η κατολίσθηση που εκδηλώθηκε στις 22 Μαρτίου 1913 καθότι είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο τεσσάρων ανθρώπων, την ολική καταστροφή του οικισμού Συλίβαινας και τμήμα του οικισμού Τσιβλός. Τα υλικά της κατολίσθησης έφραξαν την ροή του π. Κράθη με αποτέλεσμα να σχηματιστούν δύο λίμνες, εκ των οποίων η μια με την πάροδο του χρόνου αποστραγγίστηκε, ενώ η δεύτερη (λίμνη Τσιβλού) υφίσταται έως σήμερα με σταθερό βάθος περί τα 80m (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7: Πανοραμική άποψη της φυσικής λίμνης Τσιβλού (Τσαγκάς, 2011).

Εξίσου μεγάλων διαστάσεων χαρακτηρίζεται και η κατολίσθηση που έχει εκδηλωθεί στον οικισμό Πλάτανος, όπου σύμφωνα με αποτελέσματα γεωτεχνικής έρευνας (ερευνητικές γεωτρήσεις με τοποθέτηση γεωτεχνικών οργάνων–κλισιομέτρων) σημειώνεται μικρή μετακίνηση.

4.6.2 ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ

Τα πρώτα κατολισθητικά φαινόμενα σημειώθηκαν στον οικισμό Κουνινά το 1906 στο νοτιοδυτικό άκρο του οικισμού. Ήταν σημαντικών διαστάσεων με άλμα περί τα 7m στην κεφαλή και προκάλεσαν την ολική κατάρρευση οχτώ πλινθόκτιστων οικιών.

Ακολούθησαν το 1925 φαινόμενα καθιζήσεων στο βορειοδυτικό τμήμα του οικισμού, με συνέπεια την δημιουργία ρωγμών σε πολλές οικίες και την κατάρρευση πέντε εξ' αυτών.

Νέα φαινόμενα καθιζήσεων εκδηλώθηκαν το 1931 σε μήκος 500m στο βορειοανατολικό τμήμα του οικισμού, εμφανίζοντας άλμα 1.5 μέτρου και προκαλώντας την κατάρρευση τριών οικιών, αλλά και την πρόκληση σημαντικών ρωγμών σε άλλες είκοσι. Έκτοτε, και ιδιαίτερα κατά την βροχερή περίοδο, εκδηλώνονταν φαινόμενα καθιζήσεων που επηρέασαν το 90% των οικημάτων (ρωγμές στην τοιχοποιία και υποχώρηση θεμελίων).

Ως βασικό αίτιο θεωρήθηκε η ύπαρξη υπόγειου υδάτινου ορίζοντα στο επίπεδο θεμελίωσης των περισσότερων κατοικιών (0.5m-1.5m), ο οποίος δημιουργείται μεταξύ του μανδύα αποσάθρωσης των σχιστοκερατολίθων και του υγιούς γεωλογικού υποβάθρου.

Γυάλινοι μάρτυρες τοποθετούμενοι σε ρωγμές των οικιών έσπαζαν, με συνέπεια το φαινόμενο να θεωρείται πως ήταν σε βραδεία αλλά συνεχή εξέλιξη με παροξυσμούς κατά τα έτη 1906, 1925 και 1931 (Παπάκης, 1955).

Εκτιμήθηκε ότι ήταν αδύνατον να ληφθεί οποιοδήποτε μέτρο για την αποτελεσματική ανάσχεση των φαινομένων, οπότε και αποφασίστηκε η μεταφορά του οικισμού σε γεωλογικά ασφαλέστερη περιοχή (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8: Πανοραμική λήψη ανάντη του εγκαταλελειμμένου οικισμού Κουρινά (Τσαγκάς 2011).

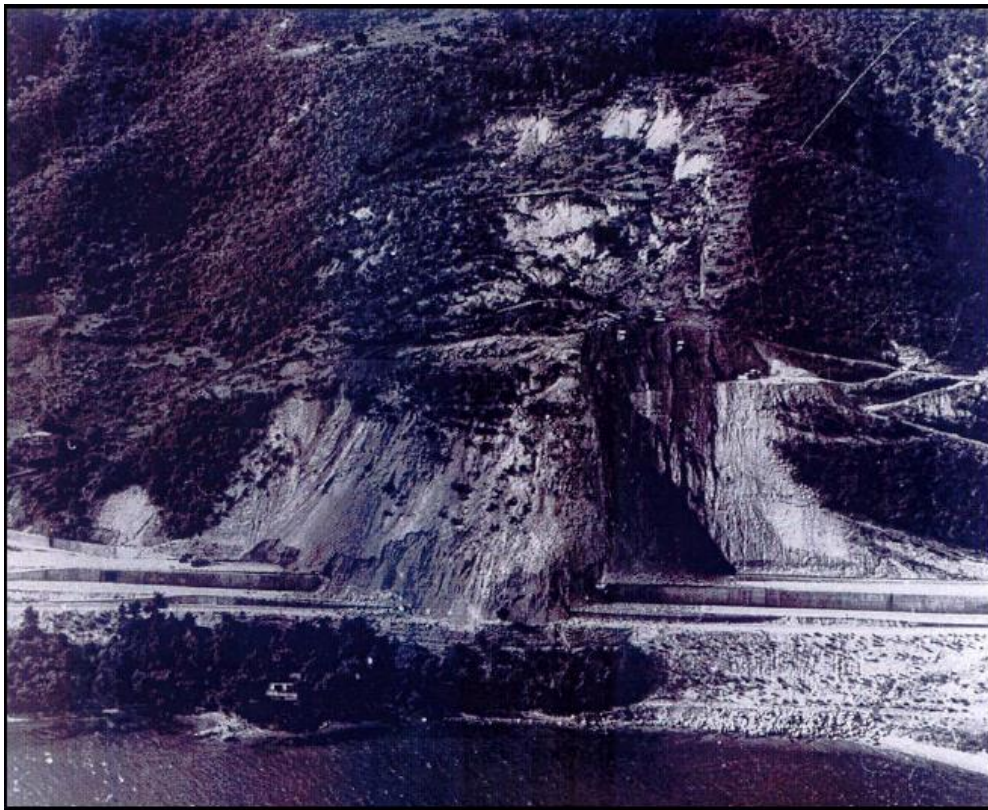
Στη θέση Παναγοπούλα παρατηρήθηκαν το 1971 επιφανειακές εκφορτίσεις ύδατος σε διάφορες θέσεις, που σε συνδυασμό με την εμφάνιση ρωγμών σημαντικού βάθους, παράλληλων με τον άξονα της Εθνικής Οδού και σε απόσταση περί τα 100 μέτρα από αυτήν, χαρακτηρίστηκαν ως πρόδρομα φαινόμενα της μεγάλης κατολίσθησης που εκδηλώθηκε αργότερα την ίδια χρονιά.

Η κεφαλή της υπολογίστηκε περί τα 350 μέτρα ανάντη του άξονα της Εθνικής Οδού (απόλυτο υψόμετρο +200 μέτρα), ενώ ο σημαντικός όγκος υλικών που ολίσθησε κάλυψε τις δύο Εθνικές Οδούς και τμήμα της Σιδηροδρομικής Γραμμής Κορίνθου–Πατρών, χωρίς να υπάρχουν σαφείς πληροφορίες για την έκταση και γεωμετρία του επιπέδου ολίσθησης.

Άμεση συνέπεια ήταν η διακοπή της οδικής και σιδηροδρομικής επικοινωνίας για περισσότερο από δύο χρόνια, διάστημα στο οποίο η συγκοινωνία διεξάγονταν αποκλειστικά μέσω θαλάσσης, με την χρήση πλωτών μέσων (ferry boat), χρησιμοποιώντας μώλους που κατασκευάστηκαν ειδικά για τον σκοπό αυτό.

Νέα κατολίσθηση εκδηλώθηκε τον Μάιο του 1971 σε συνέχεια του ανατολικού άκρου της προηγούμενης, η οποία αποδόθηκε στις χωματουργικές εργασίες διαμόρφωσης των πρανών της πρώτης κατολίσθησης, όπου η ανεξέλεγκτη απομάκρυνση–επαναπόθεση των κατολισθέντων υλικών επιβάρυναν καταλυτικά την ανάντη περιοχή της νέας ολίσθησης. Συγκριτικά ήταν μικρότερης έκτασης (εύρος 130 μέτρων περίπου), με την κεφαλή της να υπολογίζεται περί τα 60 μέτρα ανάντη του άξονα της Εθνικής Οδού και τον πόδα της να φθάνει έως τον παραλιακό δρόμο, προκαλώντας εκτεταμένες ρωγμές ανοίγματος έως 1.5

μέτρο στη θέση της Κάτω Διάβασης της Εθνικής Οδού, μετακινήσεις τεχνικών, βλάβες σε εξοχική κατοικία της παραλίας, κ.λ.π. Ακολούθησαν τοπικής σημασίας μικροολισθήσεις στο υπόλοιπο 1971 αλλά και το 1972, που οδήγησαν στην λήψη σειράς μέτρων ανάσχεσης του φαινομένου (δίκτυο επενδεδυμένων αποχετευτικών τάφρων, υποοριζόντιες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις, εξομάλυνση της κλίσης των πρανών, απομάκρυνση των χαλαρών-κατολισθέντων υλικών, κ.λ.π), με αποτέλεσμα την ανακούφιση και προσωρινή σταθεροποίηση της περιοχής ανάντη της Εθνικής Οδού (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9: Πανοραμική άποψη της κατολισθαίνουσας ζώνης από ελικόπτερο στην περιοχή Παναγοπούλας (Τσαγκάς, 2011).

4.6.3 ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ

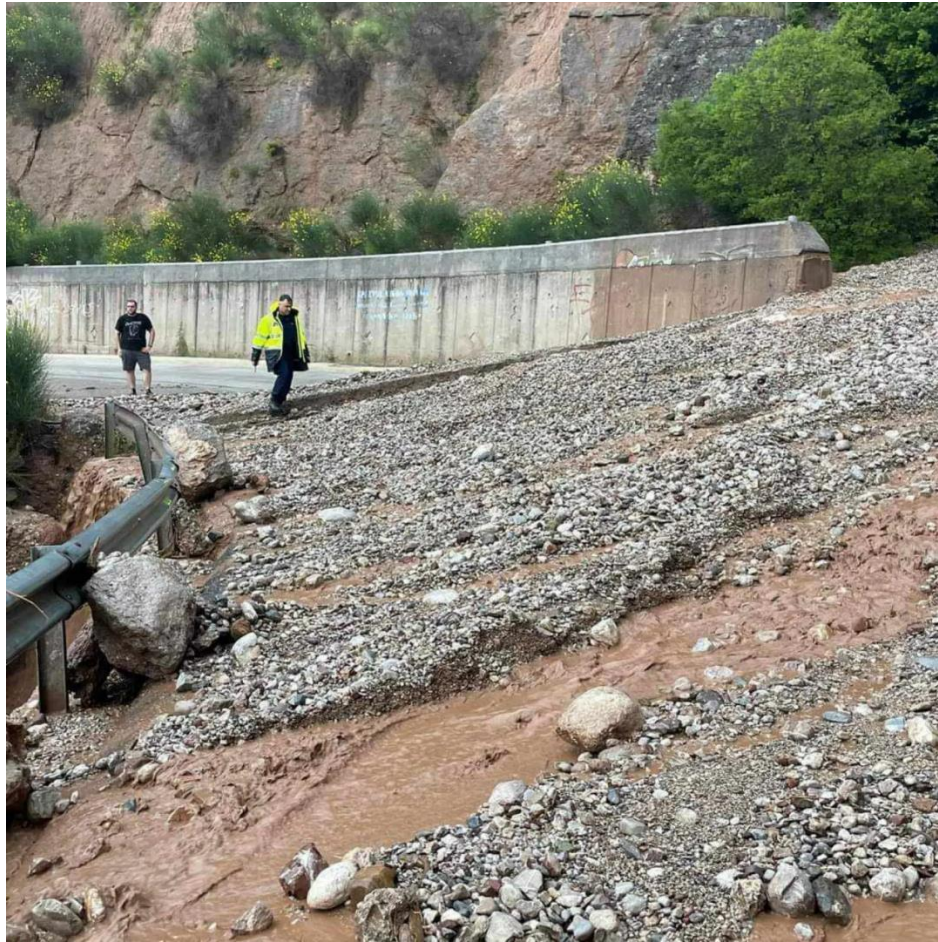
Σημαντικά κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώθηκαν λόγω έντονων βροχοπτώσεων τον Ιανουάριο του 1996 σε οικοπεδική έκταση που διαμορφώνονταν σε δύο μικρούς αναβαθμούς

στη θέση Μαγούλα του οικισμού Κάτω Καστρισιού (Ρόζος, 1996). Πρόκειται για παράλληλες ρηχές ολισθήσεις που επηρέασαν τα Πλειο-Πλειστοκαινικά αργιλομαργαϊκά ιζήματα και στους δύο αναβαθμούς του οικοπέδου, ενώ προκάλεσαν την υποσκαφή και ρωγμάτωση βοηθητικού χώρου παρακείμενης οικίας. Ως κύριες αιτίες εκδήλωσης του φαινομένου θεωρήθηκαν οι συνεχείς εμποτισμοί των ιζημάτων του ολισθαίνοντος πρανούς, λόγω της ανεξέλεγκτης ροής των οικιακών λυμάτων και της έλλειψης αποστράγγισης των όμβριων υδάτων.

4.7 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την επιδεκτικότητα της περιοχής χαρακτηριστικό παράδειγμα προβλήματος αφορά τον δρόμο που συνδέει την Πούντα με τα Καλάβρυτα, περνώντας μέσα από το φαράγγι του Βουραϊκού. Ο δρόμος αυτός έχει μεγάλες κλίσεις και αποτελεί κοινό προορισμό για τουρίστες, με αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει συχνή εμφάνιση κατολισθήσεων, και παρά την ύπαρξη έργων αντιστήριξης, η ασφάλεια των οδηγών και η λειτουργία της κυκλοφορίας απειλούνται. Κατά τη διάρκεια ισχυρή βροχόπτωσης υπήρξαν μεγάλα προβλήματα που σχετίζονταν με το κλείσιμο του δρόμου και τον αποκλεισμό χωριών μετά από μια καταγίδα στις 23 Αυγούστου 2022.

Παρόμοια κατάσταση υπήρξε και τον Ιούνιο του 2023 όταν ο δρόμος παρέμεινε κλειστός για αρκετές ώρες καθώς λόγω βροχόπτωσης που σημειώθηκε νωρίτερα στην περιοχή, φερτά υλικά κάλυψαν την εν λόγω οδό με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η διέλευση οχημάτων (Εκόνα 4.10).



Εικόνα 4.10: Κατολίσθηση Ιουνίου στην επαρχιακή οδό Πούντας–Καλαβρύτων.

Ακόμα πιο πρόσφατο περιστατικό σημειώθηκε από την κακοκαιρία «Elias» που χτύπησε την Ελλάδα στα τέλη Σεπτεμβρίου του 2023 θέτωντας εκ νέου εκτός υπηρεσίας την επαρχιακή οδό Πούντας-Καλαβρύτων (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Κατολίσθηση Σεπτεμβρίου 2023 στην επαρχιακή οδό Πούντας-Καλαβρύτων.

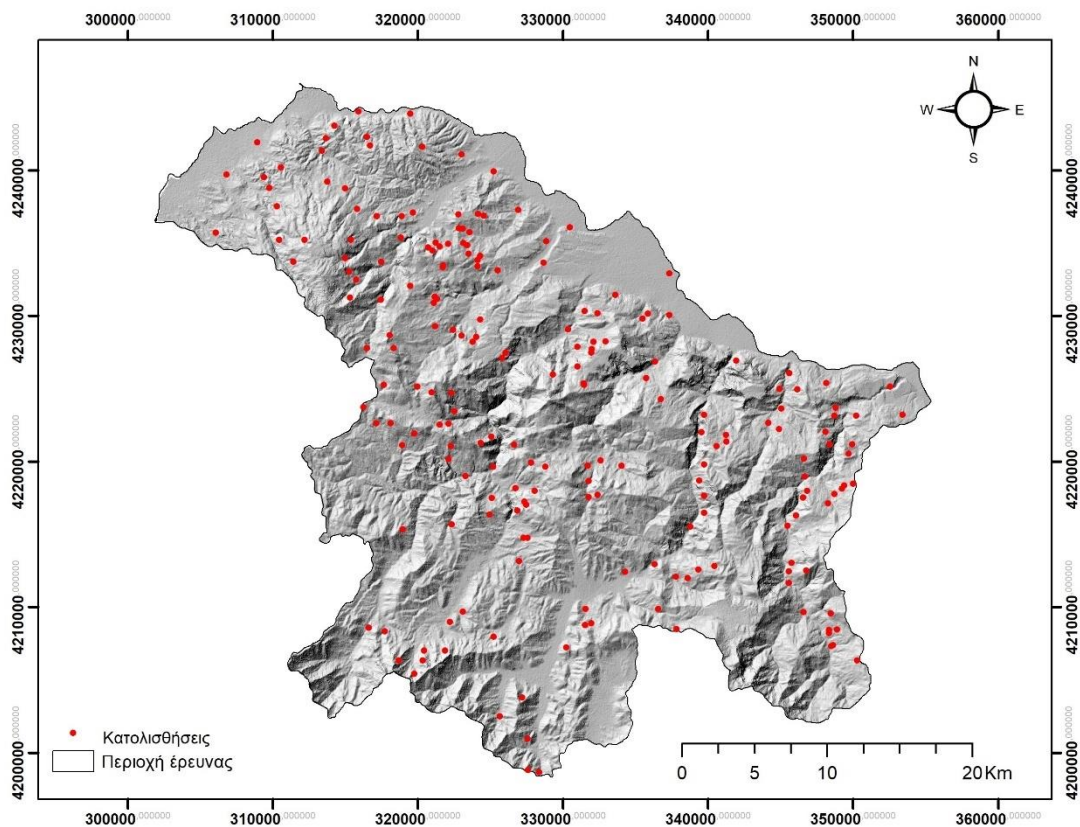
Παρομοίως στην επαρχιακή οδό Ακράτας-Ζαρούχλας, παρατηρούνται κατά καιρούς έντονα φαινόμενα κατολισθήσεων. Ο δρόμος αυτός συνδέει τα ορεινά χωριά της Αχαΐας με την παραλιακή κωμόπολη της Ακράτας. Σε αντίθεση με τον δρόμο Πούντας-Καλαβρύτων, στον οποίο έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας και ανάσχεσης των κατολισθήσεων, στον δρόμο Ακράτας-Ζαρούχλας δεν έχουν ληφθεί τα ίδια μέτρα. Ως αποτέλεσμα, παρατηρούνται συχνές κατολισθήσεις, προκαλώντας το κλείσιμο του δρόμου για πολύ καιρό και αποκλείοντας πολλά ορεινά χωριά και οικισμούς. Η κατάσταση επιδεινώνεται κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, όπως φαίνεται σε εικόνα από μια κατολίσθηση που συνέβη στις 25 Νοεμβρίου 2021 και ανάγκασε τον δρόμο να παραμείνει κλειστός για περίπου 20 ημέρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

5.1 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σε ότι αφορά τα διαθέσιμα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, αποτελούνται από ένα σύνολο προηγούμενων κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή που συλλέχθηκε από προγενέστερες μελέτες, καθώς και ένα σύνολο από μεταβλητές που περιγράφουν τις γεωμορφολογικές, γεωλογικές, υδρολογικές και σεισμο-τεκτονικές συνθήκες της περιοχής. Αναλυτικά, συλλέχθηκαν και αποτυπώθηκαν σε περιβάλλον GIS 210 θέσεις αστοχίας, οι οποίες έχουν καταγραφεί στην περιοχή, για την περίοδο 1913-2022. Οι θέσεις αυτές καταχωρήθηκαν σε σχετικό αρχείο, ως σημειακές οντότητες (points). Ο χάρτης που ακολουθεί παρουσιάζει τη χωρική διασπορά των κατολισθήσεων (Εικόνα 5.1). Μπορεί να διακρίνει κανείς την σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή των φαινομένων σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Σε ότι αφορά τις μεταβλητές, επιλέχθηκαν εννέα μεταβλητές, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής: υψόμετρο, μορφολογικές κλίσεις, διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, καμπυλότητα κάθετη στη επιφάνεια, καμπυλότητα παράλληλα στην επιφάνεια, απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, απόσταση από τα τεκτονικά στοιχεία, τεχνικογεωλογικές ενότητες, υδρολιθολογικές ενότητες.



Εικόνα 5.1: Χάρτης κατανομής της καταγεγραμμένων κατολισθητικών φαινομένων.

5.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των μεταβλητών που αξιοποιήθηκαν δίνοντας στοιχεία για την διάκρισή τους σε κατηγορίες, στατιστικά στοιχεία σε ότι αφορά την συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων εντός των κλάσεων στις οποίες διακρίνονται οι μεταβλητές και τέλος η χωρική τους κατανομή.

5.2.1 ΥΨΟΜΕΤΡΟ

Το υψόμετρο της περιοχής, ταξινομήθηκε σε πέντε κλάσεις (Εικόνα 5.2): 16-330m, 330-685m, 685-1020m, 1020-1384m, και υψόμετρα μεγαλύτερα από 1384m. Η στατιστική κατανομή των κλάσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1, με πάνω από 50 % της έκτασης της περιοχής μελέτης να χαρακτηρίζεται από υψόμετρα πάνω από 685 μέτρα.

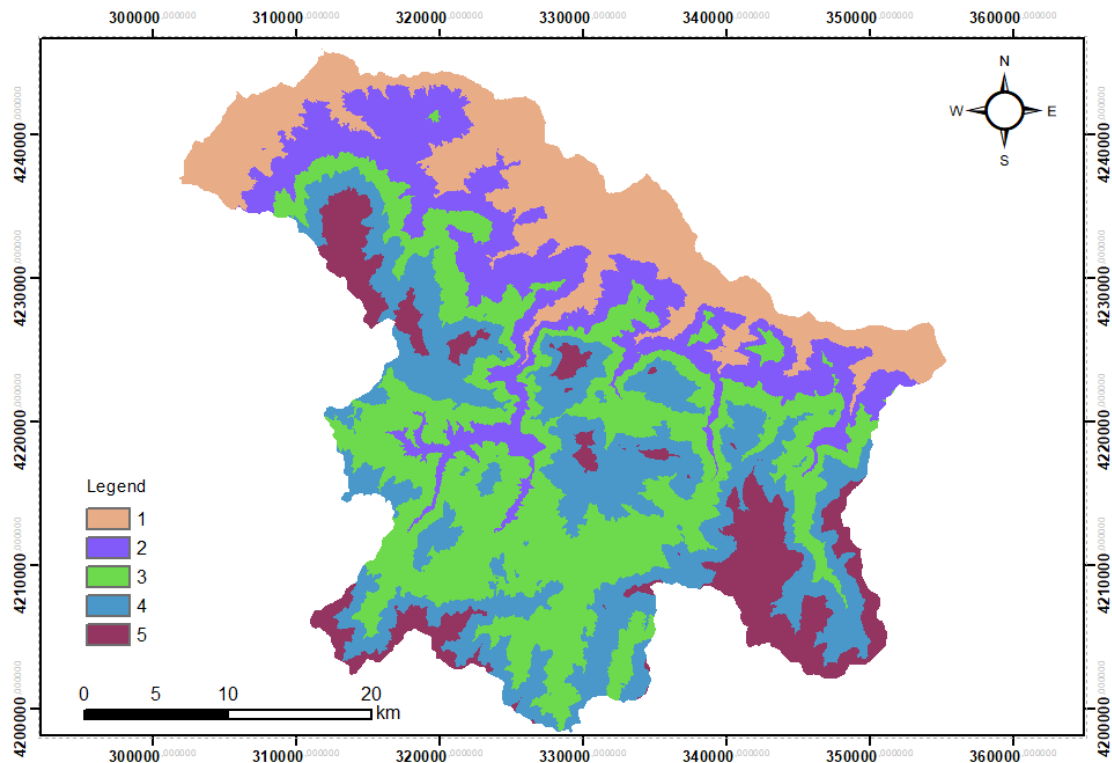
Πίνακας 5.1: Κλάσεις υψομέτρων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Υψόμετρο(m)	Ποσοστό κατολισθήσεων(%)	Έκταση κλάσης (%)
1	16-330	14,3	18,16
2	330-685	27,6	17,1
3	685-1020	36,66	30,25
4	1020-1384	16,2	24,15
5	>1384	5,2	10,3
Σύνολο		100	100

Από την στατιστική επεξεργασία προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη έκταση στη περιοχή καταλαμβάνουν περιοχές με υψόμετρο 685-1020m (30,25%) και στην ίδια περιοχή καταγράφεται και το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθήσεων (36,66%).

Έχει συμβεί ένας σημαντικός αριθμός κατολισθήσεων στις παράκτιες περιοχές, όπου το υψόμετρο είναι κάτω από 330 μέτρα. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι σε αυτές τις περιοχές έχει αναπτυχθεί ένα μεγάλο μέρος του οδικού δικτύου, καθώς και πολλοί οικισμοί. Αντίθετα, στις κατηγορίες 4 (1020-1384 μέτρα) και 5 (> 1384 μέτρα), παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του ποσοστού κατολισθήσεων. Ένα κύριο αίτιο αυτής της μείωσης

μπορεί να είναι το γεγονός ότι σε υψηλά υψόμετρα συναντώνται υγιή και πυκνά πετρώματα, καθώς και ένα λεπτό στρώμα αποσάθρωσης. Αυτά τα χαρακτηριστικά δεν δημιουργούν τις συνθήκες που ευνοούν την εκδήλωση κατολισθήσεων. Επιπλέον, σε αυτές τις περιοχές, ο αριθμός των οικισμών είναι μικρότερος σε σύγκριση με τις παράκτιες περιοχές και το οδικό δίκτυο είναι λιγότερο ανεπτυγμένο (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Χάρτης Υψόμετρον.

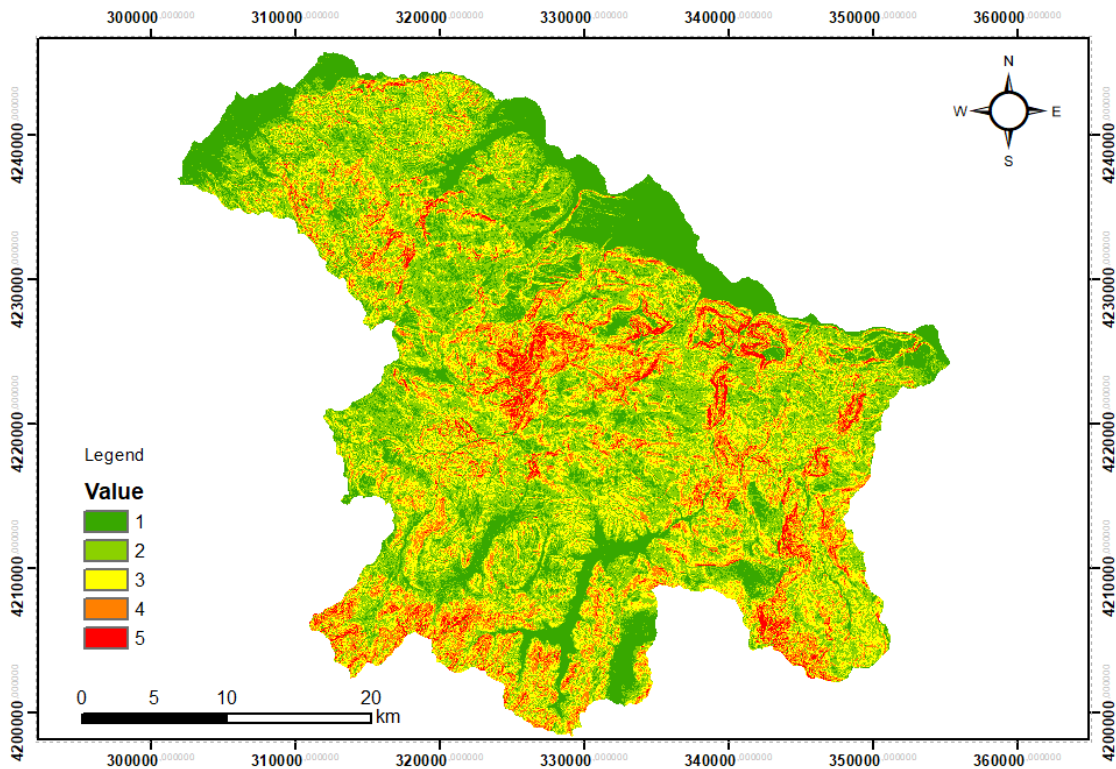
5.2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΣΗ

Η κλίση του εδάφους θεωρείται σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην ευστάθεια ενός πρανούς, με πρανή με απότομη κλίση, να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πιθανότητα να παρουσιάζουν φαινόμενα αστοχιών. Η παράμετρος μορφολογική κλίση ταξινομήθηκε σε τέσσερις κατηγορίες: $0^{\circ} - 10^{\circ}$, $10^{\circ} - 20^{\circ}$, $20^{\circ} - 30^{\circ}$, $30^{\circ} - 40^{\circ}$ και κλίσεις μεγαλύτερες από 40° (Εικόνα 5.3, Πίνακα 5.2).

Πίνακας 5.2: Κλάσεις μορφολογικών κλίσεων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Μορφολογική κλίση(°)	Ποσοστό κατολισθήσεων(%)	Έκταση κλάσης (%)
1	0-10	12,85	22,2
2	10-20	30	33
3	20-30	30,47	28,63
4	30-40	19	12,33
5	>40	7,6	3,8
Σύνολο		100	100

Διαπιστώνεται, ότι την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν περιοχές με κλίση 20-30° (28,63%), στις οποίες έχει εκδηλωθεί και το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων (30,47%) (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3: Χάρτης Μορφολογικών Κλίσεων.

5.2.3 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ

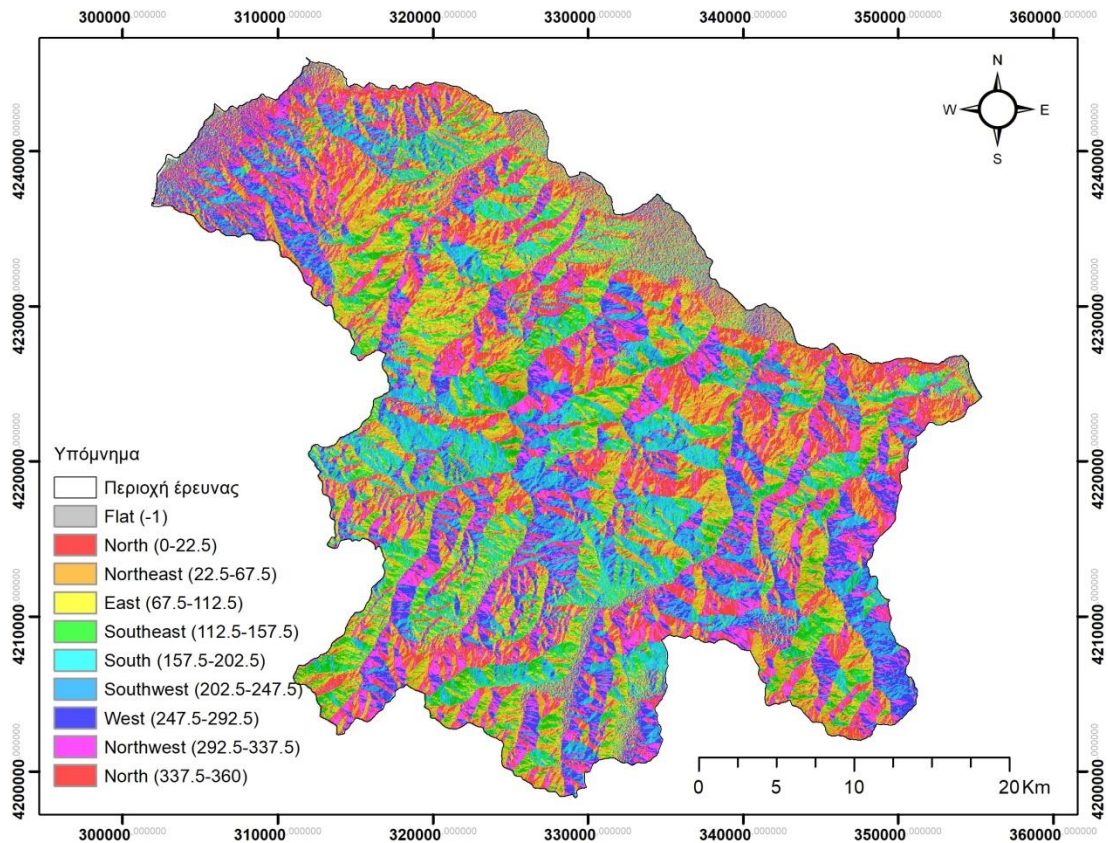
Ο προσανατολισμός των πρανών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση αστοχιών, μιας και συνδέεται με την επίδραση των κλιματικών και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων που διαμορφώνουν συνθήκες ευνοϊκές ή μη για την εκδήλωση κατολισθήσεων.

Στο βόρειο ημισφαίριο, και συγκεκριμένα στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπου συμπεριλαμβάνεται και η Ελλάδα, ο προσανατολισμός των πρανών παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση αστοχιών. Συγκεκριμένα, πρανά που κλίνουν προς τα βόρεια (βορειοδυτικά και βορειοανατολικά) θεωρούνται ότι είναι πιο επιρρεπή σε κατολισθήσεις. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των ψυχρότερων και υγρότερων συνθηκών που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές, που ευνοούν τη συσσώρευση της υγρασίας στο έδαφος και τη διατήρησή της. Σε πρανή με προσανατολισμό προς τα νότια (νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά) αναμένεται να

έχουμε χαμηλότερη συχνότητα κατολισθήσεων, καθώς οι συνθήκες είναι συνήθως πιο ξηρές (Guzzetti et al., 1999). Η μεταβλητή διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων κατηγοροποιήθηκε σε εννέα κλάσεις (Εικόνα 5.4): Επίπεδη (-1°), Βόρεια (0-22,5°/337,5°-360°), Βορειοανατολική (22,5°-67,5°), Ανατολική (67,5°-112,5°), Νοτιοανατολική (112,5°-157,5°), Νότια (157,5°-202,5°), Νοτιοδυτική (202,5°-247,5°), Δυτική (247,5°- 292,5°), Βορειοδυτική (292,5°- 337,5°) (Εικόνα 5.4, Πίνακα 5.3).

Πίνακας 5.3: Κλάσεις διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων(°)	Ποσοστό κατολισθήσεων(%)	Έκταση κλάσης(%)
1	Επίπεδη (-1)	0,00	0,90
2	Βόρεια (0-22,5/337,5-360)	19,00	15,60
3	Βορειοανατολική (22,5-67,5)	12,85	14,90
4	Ανατολική (67,5-112,5)	10,00	13,25
5	Νοτιοανατολική (112,5-157,5)	11,90	11,90
6	Νότια (157,5-202,5)	7,14	9,17
7	Νοτιοδυτική (202,5-247,5)	4,76	9,30
8	Δυτική (247,5-292,5)	15,70	10,78
9	Βορειοδυτική (292,5-337,5)	18,57	14,10
Σύνολο		100	100



Εικόνα 5.4: Χάρτης Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων.

Η μεγαλύτερη έκταση στη περιοχή, καταλαμβάνουν πρανή με Βόρειο προσανατολισμό (15,6%) όπου εμφανίζεται και ο μεγαλύτερος αριθμός αστοχιών με ποσοστό 19%.

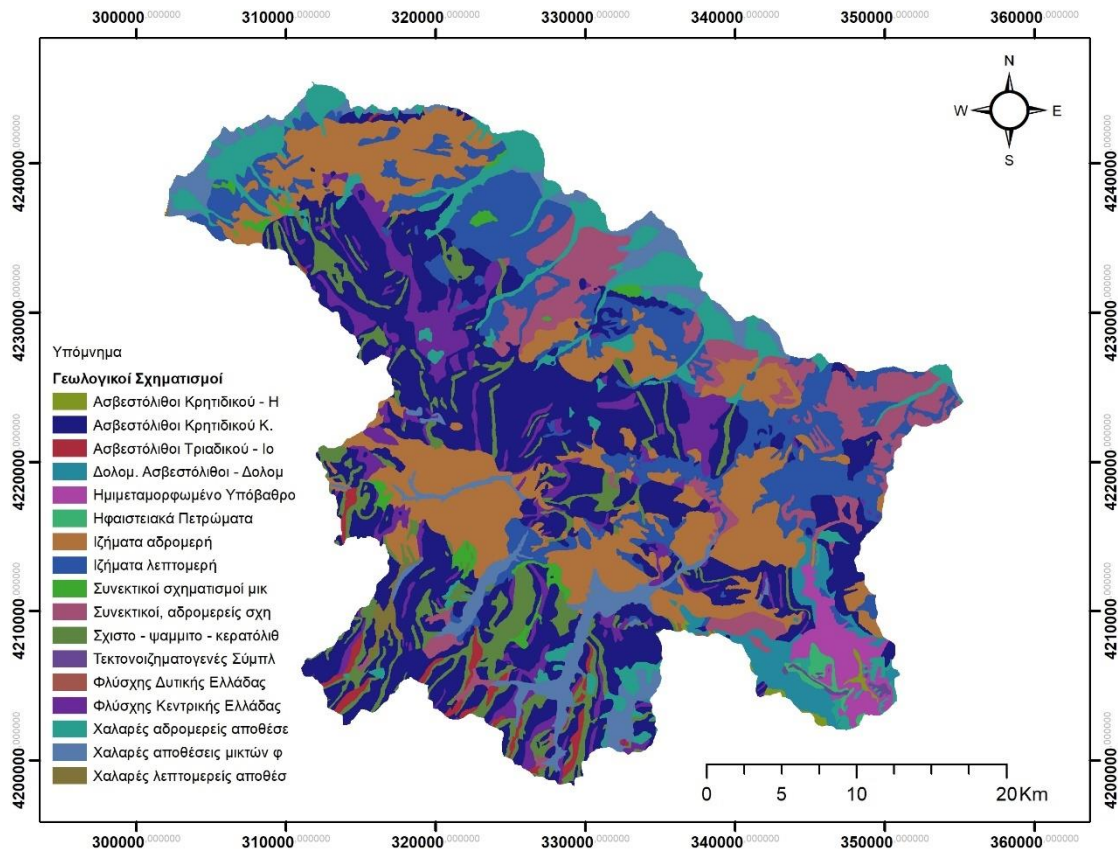
5.2.4 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Η λιθολογία αποτελεί μια από τις πιο καθοριστικές παραμέτρους σε ότι έχει να κάνει με την εκδήλωση κατολισθήσεων (Ρόζος, 1989). Στοιχεία για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες έχουν ήδη δοθεί ενώ μια πληρέστερη εικόνα της κατανομής τους δίνεται στον Πίνακα 5.4 και στην Εικόνα 5.5. Η τεχνικογεωλογική ενότητα, που καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, είναι οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της ενότητας Πίνδου (27,5%), και ακολουθούν τα αδρομερή, κροκαλοπαγή, και λεπτομερή ιζήματα, μάργες, (18,60% και 13,44 %). ενώ μεγάλη έκταση καταλαμβάνουν οι σχηματισμοί του Νεογενούς. Το μεγαλύτερο ποσοστό των

αστοχίων διαπιστώνεται στους ασβεστόλιθους Κρητιδικού κεντρικής Ελλάδας (26,66%), ενώ ακολουθούν ο σχηματισμός Λεπτομερών ιζημάτων του Νεογενούς (Μάργες) με ποσοστό 21,9% και τα αδρομερή ιζήματα με ποσοστό 17,1%.

Πίνακας 5.4: Κλάσεις Τεχνικογεωλογικών ενοτήτων με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Τεχνικογεωλογική ενότητα	Ποσοστό κατολισθήσεων(%)	Έκταση κλάσης(%)
1	Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις	0.00	0.33
2	Χαλαρές αδρομερείς αποθέσεις	5.70	7.60
3	Χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων	0.90	5.56
4	Συνεκτικοί, αδρομερείς σχηματισμοί	6.66	7.24
5	Συνεκτικοί σχηματισμοί μικτών φάσεων	1.90	1.00
6	Αδρομερή Ιζήματα	17.10	18.60
7	Λεπτομερή Ιζήματα	21.90	13.44
8	Φλύσχης δυτικής Ελλάδας	0.00	0.02
9	Φλύσχης κεντρικής Ελλάδας	5.70	6.10
10	Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού Δ.Ελλάδας	0.00	0.23
11	Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού Κ.Ελλάδας	26.66	27.50
12	Ασβεστόλιθοι Τριαδικού - Ιουρασικού	0.00	1.00
13	Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι - Δολομίτες	0.47	2.00
14	Σχιστόλιθοι-Ψαμμίτες-Κερατόλιθοι	3.80	6.86
15	Τεκτονοϊζηματογενές Σύμπλεγμα	7.60	0.14
16	Ημμεταμορφωμένο Υπόβαθρο	0.00	1.85
17	Ηφαιστειακά πετρώματα	0.95	0.36
Σύνολο		100	100



Εικόνα 5.5: Χάρτης Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων.

5.2.5 ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (PLAN CURVATURE)

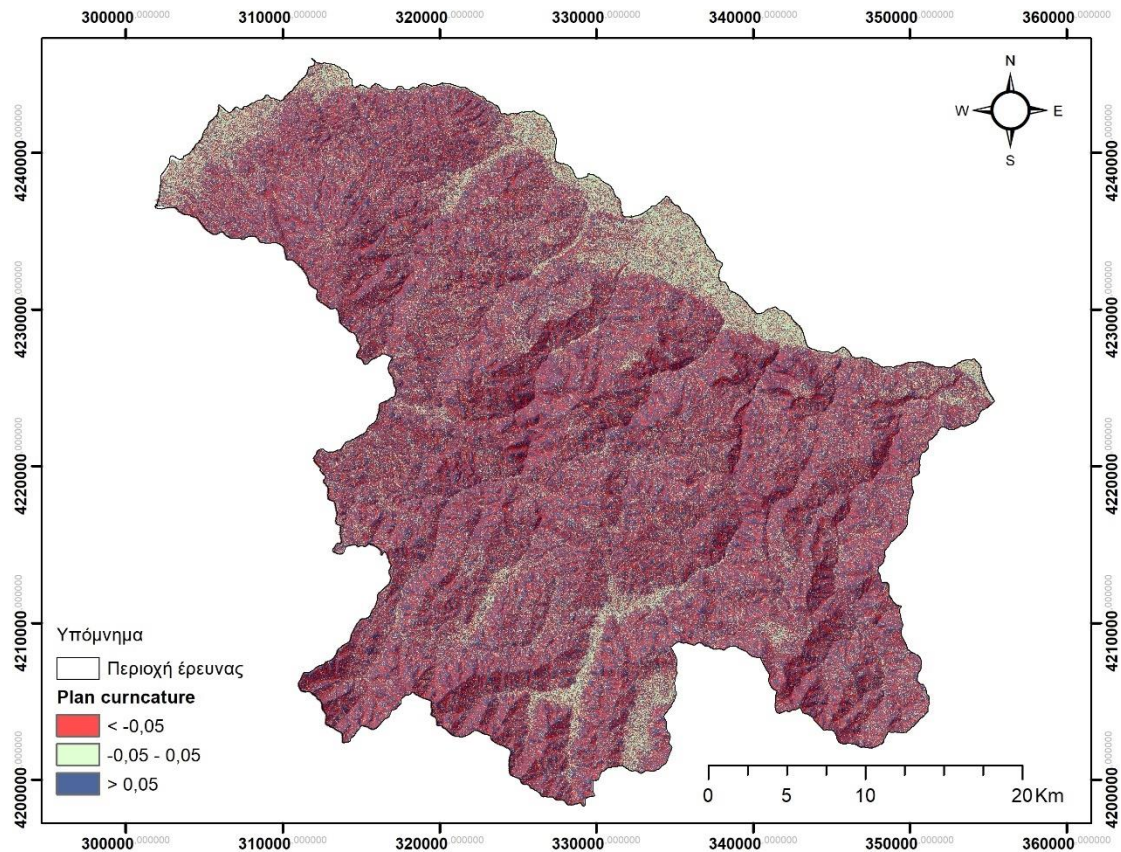
Η καμπυλότητα επιπέδου (plan curvature) είναι η καμπυλότητα της πλαγιάς σε οριζόντιο επίπεδο. Οι λοφοπλαγιές μπορούν να υποδιαιρεθούν σε περιοχές με κοίλη καμπυλότητα επιπέδου προς τα έξω, που ονομάζονται κοιλότητες, σε κυρτές καμπυλότητας επιπέδου προς τα έξω, που ονομάζονται μύτες και σε ευθείες γραμμές που ονομάζονται επίπεδες περιοχές. Η στατιστική ανάλυση του συνόλου δεδομένων καμπυλότητας επιπέδου και κατολισθήσεων δείχνει ότι οι πλαγιές με καμπυλότητα επιπέδου έχουν μεγάλη πιθανότητα για κατολισθήσεις. Η πιθανότητα αυτή μειώνεται καθώς οι πλαγιές γίνονται πιο κοίλες ή κυρτές. Οι κοιλότητες έχουν ελαφρώς υψηλότερη πιθανότητα για κατολισθήσεις από ό,τι οι μύτες. Η μεταβλητή

αυτή χωρίστηκε και αυτή σε 3 κλάσεις (< -0.05 , $-0.05 - +0.05$, >0.05). Ο πίνακας παρουσιάζει την κατανομή των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων. Η συχνότητα των κατολισθήσεων για την καμπυλότητα κάθετη στη διεύθυνση των κλίσεων εντοπίστηκε μεγαλύτερη στο εύρος τιμών >0.05 .

Πίνακας 5.5: Κλάσεις οριζόντιας καμπυλότητας με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Οριζόντια καμπυλότητα στην διεύθυνση κλίσης	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Έκταση κλάσης
1	$<-0,05$	40,95	40,26
2	$-0,05 - 0,05$	19,52	18,16
3	$>0,05$	39,52	41,58
Σύνολο		100	100

Παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα πως το μεγαλύτερο μέρος των αστοχιών εντοπίζεται στις κλάσεις 1 και 3, όπου παρατηρούνται μεγάλες κλίσεις, με σχεδόν ίσα ποσοστά και σε συχνότητα κατολισθήσεων αλλά και σε μέγεθος έκτασης με όλα τα ποσοστά να είναι κοντά στο 40%.



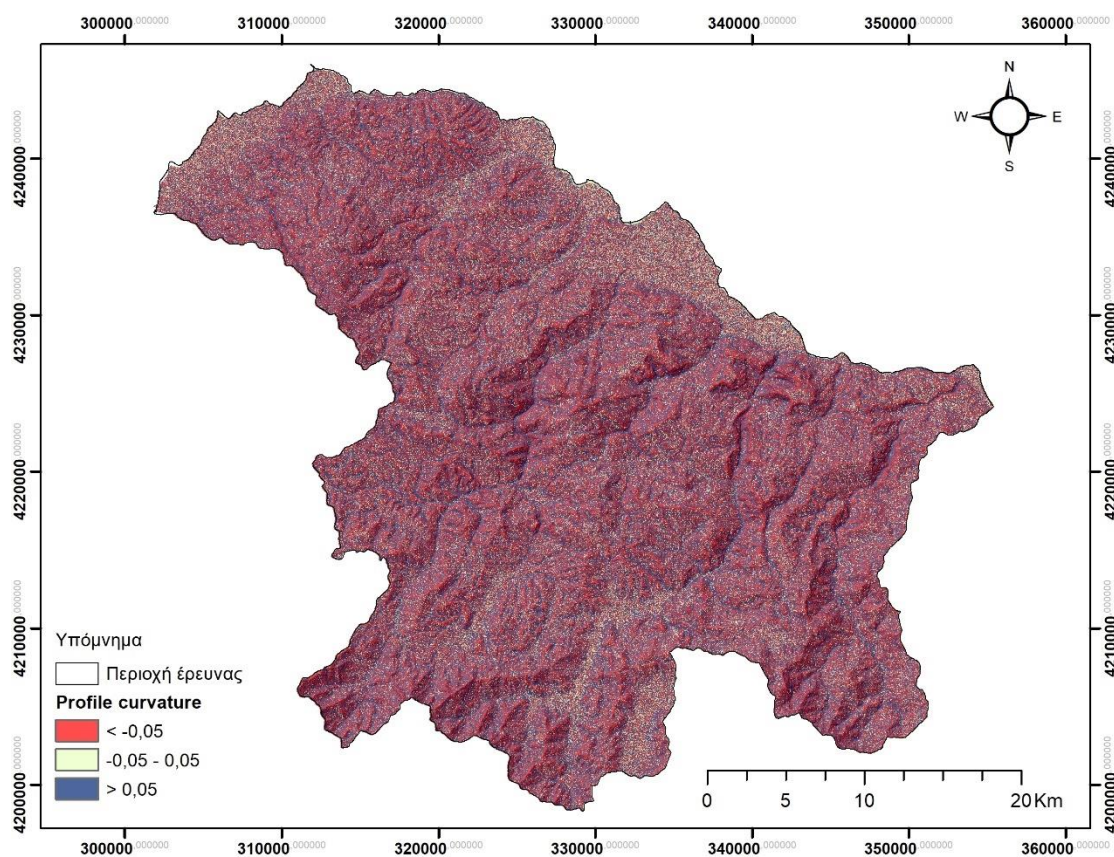
Εικόνα 5.6: Χάρτης επιδεικτικότητας καμπυλότητας κάθετης στη διεύθυνση κλίσεων.

5.2.6 ΚΑΘΕΤΗ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (PROFILE CURVATURE)

Η μεταβλητή καμπυλότητα κάθετη στη διεύθυνση των κλίσεων χωρίστηκε και αυτή σε 3 κλάσεις (< -0.05 , $-0.05 - +0.05$, >0.06). Ο πίνακας παρουσιάζει την κατανομή των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων. Η συχνότητα των κατολισθήσεων αντίστοιχα για την καμπυλότητα κάθετη στη διεύθυνση των κλίσεων (plan curvature) εντοπίστηκε μεγαλύτερη στο εύρος τιμών >0.05 .

Πίνακας 5.6: Κλάσεις κάθετης καμπυλότητας με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Κάθετη καμπυλότητα στην διεύθυνση κλίσης	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Έκταση κλάσης
1	<-0,05	39,05	41,95
2	-0,05 – 0,05	13,81	14,62
3	>0,05	47,14	43,42
Σύνολο		100	100



Εικόνα 5.7: Χάρτης επιδεικτικότητας καμπυλότητας παράλληλης στη διεύθυνση κλίσεων.

5.2.7 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

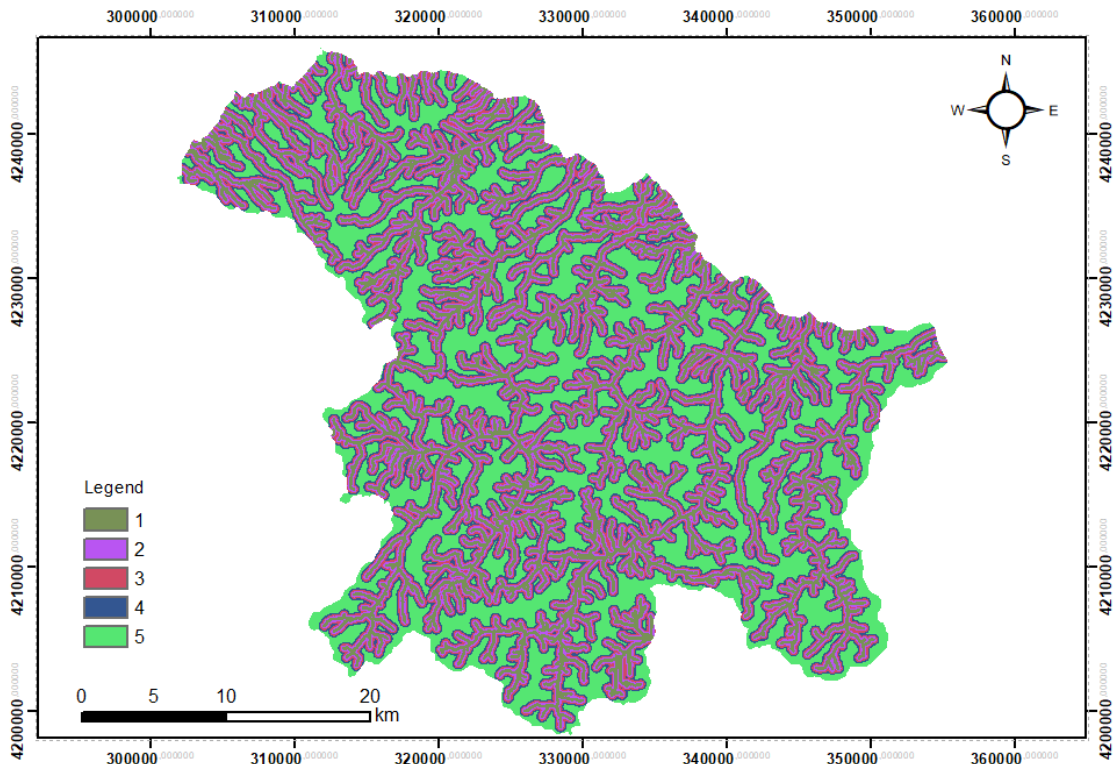
Παράγοντα ενεργοποίησης κατολισθήσεων αποτελεί συχνά και η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Η ευστάθεια ενός πρανούς επηρεάζεται άμεσα από τον βαθμό κορεσμού του περιβάλλοντος εδάφους. Η κυκλοφορία του νερού στους ποταμούς και χειμάρρους έχει έντονη διαβρωτική ενέργεια, προκαλώντας υποσκαφές και στην συνέχεια μετακινήσεις των ασταθών μαζών (Dai et al 2001, Saha et al, 2002). Δημιουργήθηκαν 5 ζώνες επιρροής που χαρακτηρίζουν την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και είναι οι εξής: 0-100m, 100-200m, 200-300m, 300-400m και αποστάσεις μεγαλύτερες των 400m.

Πίνακας 5.7: Κλάσεις αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο (m)	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Έκταση κλάσης
1	0-100	21,90	21,15
2	100-200	18,10	18,17
3	200-300	14,76	15,86
4	300-400	14,29	13,57
5	>400	30,95	31,25
Σύνολο		100	100

Σε ότι αφορά την κλάση που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση, αυτή είναι η κλάση 5 (>400m), έχοντας ποσοστό επιφανειακής κάλυψης 31,25%, ενώ οι υπόλοιπες κλάσεις συμμετέχουν στη δόμηση της περιοχής έρευνας με ποσοστό που κυμαίνεται από 13,57-21,15%.

Κατά τη στατιστική επεξεργασία και χωρική συσχέτιση των κατολισθήσεων με το Θεματικό Επίπεδο Απόστασης από το Υδρογραφικό Δίκτυο προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των αστοχιών εντοπίζεται στην 5η κλάση, με ποσοστό 30,95% το οποίο αντιστοιχεί σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 400m από το υδρογραφικό δίκτυο (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8: Χάρτης Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο.

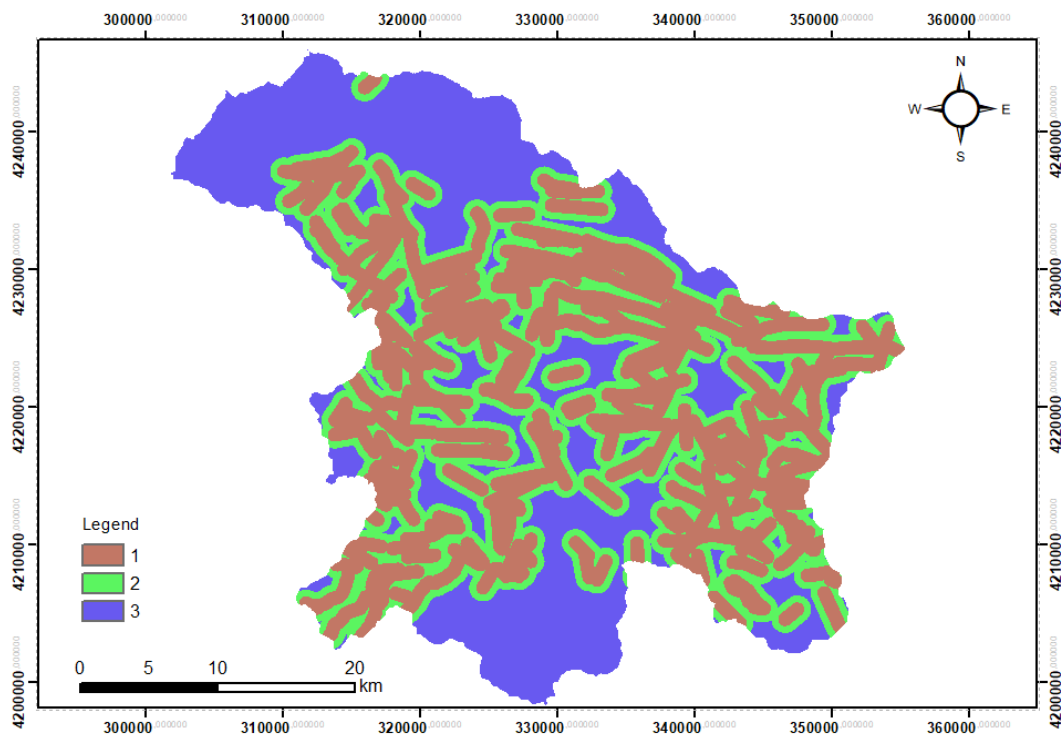
5.2.8 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΡΗΓΜΑΤΑ

Η ύπαρξη ρηξιγενούς ζώνης επιδρά σε συνδυασμό με τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη μορφολογία μιας περιοχής στη διαμόρφωση συνθηκών ευνοϊκών για αστοχία (Rozos et al. 2007, Τσαγγαράτος 2012). Σε γενικές γραμμές, οι περιοχές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από ρήγματα, θεωρούνται περιοχές με αυξημένη πιθανότητα αστοχίας. Διαμορφώθηκαν 3 κατηγορίες απόστασης (<500m, 500-1000m, >1000m), όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.9 και στον Πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Κλάσεις αποστάσεων από ρήγματα με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Απόσταση από ρήγματα (m)	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Έκταση κλάσης
1	<500	51,43	43,96
2	500-1000	24,29	23,46
3	>1000	24,29	32,58
Σύνολο		100	100

Διαπιστώνεται ότι περιοχές με απόσταση από ρήγματα μικρότερη από 500m, ποσοστό επιφανειακής κάλυψης 43,96%, καταγράφει το μεγαλύτερο αριθμό κατολισθήσεων με ποσοστό 51,43% (Εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9: Χάρτης Απόσταση από ρήγματα.

5.2.9 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών είναι συνάρτηση της λιθολογικής τους σύστασης, του βαθμού διαγένεσης, του τεκτονισμού, του βαθμού καρστικοποίησης (για τους ανθρακικούς σχηματισμούς) και αποσάθρωσης που έχουν υποστεί. Κατά συνέπεια, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή περατότητάς τους (k) και τον τύπο του πορώδους τους (Σπ. Λέκκας, 1984), οι γεωλογικοί σχηματισμοί από υδρολιθολογική άποψη κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες ώστε να υπάρξει και ανάλυση των αστοχιών που εντοπίζονται σε αυτές:

Υδροπερατούς

- μικροπερατούς σχηματισμούς, με συντελεστή περατότητας $k \geq 10^{-5}$ m/sec και πρωτογενές πορώδες (κοκκώδεις σχηματισμοί).
- μακροπερατούς σχηματισμούς, με συντελεστή περατότητας $k \geq 10^{-5}$ m/sec και δευτερογενές πορώδες, κυρίως διακλάσεις και έγκοιλα (καρστ)

Ημιπερατούς σχηματισμούς

- με συντελεστή περατότητας $10^{-7} \leq k \leq 10^{-5}$ m/sec

Στεγανούς σχηματισμούς,

- με συντελεστή περατότητας $k \leq 10^{-7}$ m/sec

Βάσει της ανωτέρω κατάταξης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή έρευνας, ανάλογα με την υδρολιθική συμπεριφορά τους χαρακτηρίζονται ως ακολούθως:

A. Μακροπερατοί Σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται το σύνολο των ασβεστολίθων των γεωτεκτονικών ενοτήτων Πίνδου και Τρίπολης, τα Πλειαστοκαινικά λατυποπαγή (pt) και τα κροκαλοπαγή (mg) του Νεογενούς, τα οποία επιτρέπουν την κίνηση του νερού μέσω του δευτερογενούς πορώδους τους (διαρρήξεις, καρστικά έγκοιλα, κλπ.) και παρουσιάζουν μεγάλη περατότητα.

B. Μικροπερατοί Σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι αλλουβιακές αποθέσεις (al), ο ελουβιακός μανδύας (el), τα πλευρικά κορήματα (sc), οι κώνοι κορημάτων (cs) και οι θαλάσσιες αναβαθμίδες (tm) του Τεταρτογενούς, που εντοπίζεται σε αρκετές θέσεις στην περιοχή έρευνας. Οι σχηματισμοί αυτοί συνίστανται από άμμο με ιλύ και άργιλο, η οποία τοπικά περιέχει ψηφίδες-χάλικες ποικίλης σύστασης σε κυμαινόμενο ποσοστό (al, el), αλλά και κροκάλες έως μικρούς ογκόλιθους, ποικίλης σύστασης, αρκετά καλά συγκολλημένες με αμμώδη συγκολλητική ύλη (sc, cs).

Στο σύνολό τους χαρακτηρίζονται ως μικροπερατοί σχηματισμοί, ενώ τοπικά δύναται να χαρακτηριστούν και ως ημιπερατοί, αναλόγως του ποσοστού του λεπτόκοκκου αργιλικού κλάσματος που περιέχουν. Η κίνηση του ύδατος εντός των εν λόγω σχηματισμών γίνεται διαμέσω του πρωτογενούς πορώδους.

Γ. Ημιπερατοί Σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται ραδιολαρίτες (ra) και οι ασβεστόλιθοι με κερατολίθους (fa) της γεωτεκτονικής ενότητας της Πίνδου, καθώς και τα βασικά εκρηξιγενή πετρώματα (v) της γεωτεκτονικής ενότητας της Τρίπολης. Η κυκλοφορία του ύδατος εντός των ανωτέρω σχηματισμών είναι δυνατή μέσω του δευτερογενούς πορώδους, λόγω των τοπικών τεκτονικών συνθηκών.

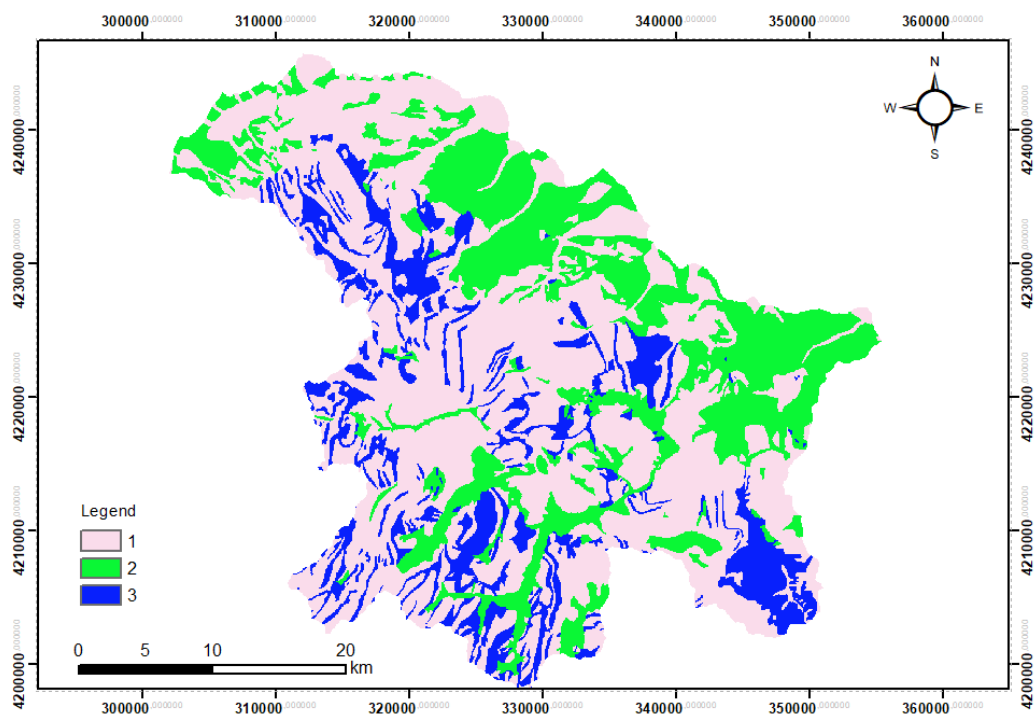
Δ. Στεγανοί Σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι μάργες (ml) του Νεογενούς, οι φλυσχικοί σχηματισμοί (fo, ft) των δύο γεωτεκτονικών ενοτήτων, καθώς και ο σχηματισμός του φυλλίτη (ph) της ημιμεταμορφωμένης βάσης της Τρίπολης, οι οποίοι θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, την μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή έρευνας, περισσότερο από την μισή κιάλας, καλύπτει η κλάση 1 των υδροπερατών σχηματισμών με ποσοστό 57,32% και εκεί εντοπίζουμε και τον μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών με ποσοστό 54,29%.

Πίνακας 5.9: Κλάσεις υδρολιθολογίας εδάφους με το αντίστοιχο ποσοστό κατολισθήσεων καθώς και την έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση στην περιοχή.

Κλάση	Υδρολιθολογία	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Έκταση κλάσης
1	Υδροπερατοί σχηματισμοί	54,29	57,32
2	Ημιπερατοί σχηματισμοί	31,43	27,32
3	Στεγανοί σχηματισμοί	14,29	15,35
Σύνολο		100	100



Εικόνα 5.10: Χάρτης Υδρολιθολογίας.

5.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ “WEIGHT OF EVIDENCE” ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΕ ΣΤΗΝ ΔΕ

Η μέθοδος "Weight of evidence" (WoE) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και αξιολόγηση κινδύνου, συμπεριλαμβανομένου και του κινδύνου κατολισθήσεων. Πρόκειται για μια τεχνική στατιστικής που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της ανεπαρκούς πληροφόρησης κατά την λήψη αποφάσεων. Στην περίπτωση των κατολισθήσεων, η μέθοδος WoE χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τη συσχέτιση μεταξύ διάφορων παραμέτρων και της εμφάνισης κατολισθήσεων. Συγκεκριμένα, αξιολογείται πώς η παρουσία κάποιων παραμέτρων (π.χ. γεωλογικοί σχηματισμοί, κλίση εδάφους, υδρολογικές συνθήκες κ.λπ.) επηρεάζει την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων σε μια περιοχή. Η μέθοδος Weight of Evidence (WofE) είναι ένα ποσοτικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη μιας υπόθεσης ή πρόβλεψης με βάση τα χωρικά δεδομένα. Αρχικά, αναπτύχθηκε για μη χωρικές εφαρμογές και συγκεκριμένα για ιατρικές διαγνωστικές εφαρμογές. Σε αυτές τις εφαρμογές, τα "στοιχεία" αντιστοιχούν σε ομάδες συμπτωμάτων και η "υπόθεση" στην πρόταση "ο ασθενής νοσεί έχοντας την ασθένεια X". Η μέθοδος WofE χρησιμοποιεί ζεύγη δεικτών βαρύτητας για κάθε σύμπτωμα, έναν για την παρουσία του και έναν για την απουσία του συμπτώματος. Οι δείκτες βαρύτητας υπολογίζονται με βάση την εκτιμώμενη συσχέτιση μεταξύ του συμπτώματος και του μοτίβου της ασθένειας που διαμορφώνεται σε μια ομάδα ασθενών.

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου Weight of Evidence (WofE) σε μελέτες κατολισθητικής επιδεκτικότητας είναι η ύπαρξη των παρακάτω στοιχείων:

Χάρτης καταγραφής κατολισθήσεων: Αυτός είναι ο χάρτης που περιέχει τις πληροφορίες σχετικά με τα κατολισθητικά συμβάντα που έχουν εντοπιστεί προηγουμένως. Οι κατολισθήσεις πρέπει να έχουν καταγραφεί ως σημειακά αντικείμενα στον χάρτη.

Προγνωστικές μεταβλητές: Αυτές είναι οι μεταβλητές που υποθέτουμε ότι επηρεάζουν την εμφάνιση των κατολισθήσεων. Ανάλογα με τον σκοπό της μελέτης, αυτές οι μεταβλητές μπορεί να είναι γεωλογικά, γεωμορφολογικά, υδρολογικά, κλιματολογικά, ή άλλες παράμετροι που μπορούν να συσχετιστούν με την εμφάνιση κατολισθήσεων.

Κάθε μεταβλητή έχει διακριτές κατηγορίες και για κάθε κατηγορία εκτιμούνται οι διάφοροι συντελεστές βαρύτητας με την μέθοδο WofE. Οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίζονται με βάση τον αριθμό των κατολισθήσεων που εμφανίζονται σε κάθε κατηγορία και σύγκρισή τους με τον αναμενόμενο αριθμό κατολισθήσεων ανά κατηγορία (μέσω της καταγραφής κατολισθήσεων και των προγνωστικών μεταβλητών). Συγκεκριμένα, για κάθε προγνωστική μεταβλητή καταγράφονται οι διάφορες κατηγορίες που υπάρχουν για τη συγκεκριμένη μεταβλητή (π.χ., για τη γεωλογία: ασβεστόλιθος, γρανίτης, σχιστόλιθος, κλπ.) και υπολογίζεται ο αριθμός των κατολισθήσεων που ανήκουν σε κάθε κατηγορία (π.χ., πόσες κατολισθήσεις συμβαίνουν στον ασβεστόλιθο, πόσες στον γρανίτη, κλπ.).

Σε μια περιοχή στην οποία καταγράφονται πλήθος κατολισθήσεων, (L) η εκ των προτέρων πιθανότητα μιας αστοχίας ανά επιφάνεια P(L) υπολογίζεται ως το συνολικό πλήθος αστοχιών που καταγράφηκαν στο παρελθόν κάτω από παρόμοιες συνθήκες προς τη συνολική επιφάνεια έρευνας (A).

$$P\{L\} = \frac{N\{L\}}{N\{A\}}$$

Ο Bonham-Carter (1994) χρησιμοποιεί τους δείκτες βαρύτητας W^+ (θετικός) και W^- (αρνητικός) για τη μεταβλητή-στοιχείο (B) προκειμένου να δώσει πληροφορίες για την ύπαρξη θετικής ή αρνητικής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών και της χωρικής κατανομής των κατολισθήσεων. Η συνδυαστική χρήση των δεικτών W^+ και W^- πραγματοποιείται ως εξής:

$$W^+ = \ln \frac{P\{B|L\}}{P\{B|\bar{L}\}}$$

$$W^- = \ln \frac{P\{\bar{B}|L\}}{P\{\bar{B}|\bar{L}\}}$$

Ο δείκτης W^+ δίνει πληροφορίες για τη θετική συσχέτιση, ενώ ο δείκτης W^- για την αρνητική συσχέτιση.

Ο δείκτης αντίθεσης (Contrast, C) χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τη χωρική συσχέτιση μεταξύ των κατολισθητικών συμβάντων (L) και της μεταβλητής-στοιχείου (B). Αποτυπώνει το πόσο σημαντικό είναι η κατηγορία της μεταβλητής για το μοντέλο. Ο δείκτης αντίθεσης υπολογίζεται από τη διαφορά των δεικτών βαρύτητας W^+ και W^- που έχουν υπολογιστεί για τη μεταβλητή-στοιχείο (B). Συγκεκριμένα, η αντίθεση (C) υπολογίζεται ως εξής:

$$C = W^+ - W^-$$

Θετική τιμή του δείκτη αντίθεσης ($C > 0$): Όταν ο δείκτης βαρύτητας W^+ είναι θετικός και ο δείκτης βαρύτητας W^- είναι αρνητικός, αυτό σημαίνει πως περισσότερα κατολισθητικά φαινόμενα εμφανίζονται εντός του Θεματικού Επιπέδου Πληροφοριών της μεταβλητής-στοιχείου (B) από όσα αναμένονται λόγω τυχαιότητας. Αυτό υποδηλώνει θετική χωρική συσχέτιση μεταξύ των κατολισθητικών φαινομένων (L) και της μεταβλητής-στοιχείου (B).

Αρνητική τιμή του δείκτη αντίθεσης ($C < 0$): Όταν ο δείκτης βαρύτητας W^+ είναι αρνητικός και ο δείκτης βαρύτητας W^- είναι θετικός, αυτό υποδηλώνει ότι λιγότερα κατολισθητικά φαινόμενα εμφανίζονται εντός του ΘΕΠ της μεταβλητής-στοιχείου (B) από όσα αναμένονται λόγω τυχαιότητας. Αυτό υποδηλώνει αρνητική χωρική συσχέτιση μεταξύ των κατολισθητικών φαινομένων (L) και της μεταβλητής-στοιχείου (B).

Δείκτης αντίθεσης κοντά στο μηδέν ($C \approx 0$): Αν ο δείκτης αντίθεσης πλησιάζει το μηδέν, αυτό υποδηλώνει ότι το ΣΧΑΕ (σημειακά χωρικά αντικείμενα εκπαίδευσης) είναι χωρικά ασυσχέτιστο με το συγκεκριμένο ΘΕΠΣ (θεματικό επίπεδο πληροφοριών). Δηλαδή, η μεταβλητή-στοιχείο (B) δεν έχει σημαντική επίδραση στην κατανομή των κατολισθήσεων και είναι ανεξάρτητη από αυτές. Οι τιμές του δείκτη αντίθεσης μας δίνουν σημαντική πληροφορία για τη χωρική διανομή των κατολισθήσεων και τη σχέση τους με τις μεταβλητές-στοιχεία που μελετούμε.

Η μέθοδος Weight of Evidence (WofE) υποθέτει την υπό όρους ανεξαρτησία μεταξύ των προγνωστικών μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση της κάθε μεταβλητής στην πιθανότητα εμφάνισης του συμβάντος (σε αυτήν την περίπτωση, των κατολισθήσεων) θεωρείται ανεξάρτητη από την επίδραση οποιασδήποτε άλλης μεταβλητής. Ωστόσο, στην

πραγματικότητα, είναι σπάνιο να έχουμε απόλυτη ανεξαρτησία μεταξύ των μεταβλητών. Συνήθως, οι μεταβλητές μπορεί να είναι κάπως συσχετισμένες μεταξύ τους, και αυτό μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Επομένως, συνήθως υποθέτουμε την υπόθεση της ανεξαρτησίας για να εφαρμόσουμε την μέθοδο WofE.

5.3.1 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για την τελική εκτίμηση του δείκτη της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, αθροίζονται οι αντιθέσεις που υπολογίστηκαν για κάθε κλάση i της κάθε μεταβλητής j σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$LSI = \sum_{j=1}^n C_j$$

Όπου C_j , ο δείκτης αντίθεσης j , την τελική εκτίμηση και n : ο αριθμός των μεταβλητών.

Για την απεικόνιση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας με περισσότερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια, ο Landslide Susceptibility Index (LSI), δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας, κατηγοριοποιείται σε πέντε κατηγορίες με βάση τις τεχνικές κατηγοριοποίησης του λογισμικού πακέτου ArcMap 10.3. Οι πέντε κατηγορίες αντιπροσωπεύουν ποιοτικά χαρακτηριστικά της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και παρέχουν μια κλιμακωτή διαβάθμιση του βαθμού επιδεκτικότητας, ξεκινώντας από πολύ χαμηλό και καταλήγοντας σε πολύ υψηλό βαθμό επιδεκτικότητας. Με αυτόν τον τρόπο, ο δείκτης LSI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσει την επιδεκτικότητα σε κάποιο πεδίο, π.χ. για τον κίνδυνο κατολίσθησης σε μια περιοχή. Η κατηγοριοποίηση των τιμών καθιστά πιο ευανάγνωστο και κατανοητό τον δείκτη, καθώς μετατρέπει τις ποσοτικές τιμές σε ποιοτικά χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν το επίπεδο κινδύνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 60

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ - WEIGHT OF EVIDENCE

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας η οποία βασίστηκε στην μέθοδο *Weight of Evidence*. Κατά την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων και σε σχέση με την σπουδαιότητα των παραμέτρων σε ότι αφορά την εκδήλωση κατολισθήσεων εκτιμήθηκε ο συντελεστής αντίθεσης (C). Όπως έχει ειπωθεί ο συντελεστής C αναδεικνύει ποια κλάση για κάθε παράμετρο παρουσιάζει την μεγαλύτερη πιθανότητα, να αποτελεί χώρος εκδήλωσης κατολισθήσεων. Ο συνδυασμός του κάθε συντελεστή C από όλες τις θεματικές μας ενότητες είναι ο τρόπος με τον οποίο καταλήγουμε στον τελικό χάρτη επιδεκτικότητας. Στους επόμενους πίνακες βλέπουμε αναλυτικά τον συντελεστή C για την κάθε κλάση, και για όλες τις παραμέτρους.

Ένα πρώτο σχόλιο για το συντελεστή C είναι ότι σε κάποιες περιπτώσεις διαπιστώνουμε πως ο μεγαλύτερος συντελεστής C δεν συμπίπτει πάντα με την κλάση όπου εντοπίζεται και το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων. Αυτό εξηγείται πολύ απλά αν κανείς σκεφτεί πως σε μια κλάση X υπάρχει 30% ποσοστό κατολισθήσεων από τις συνολικές και το ποσοστό έκτασης αυτής αναλογεί σε 25%, ενώ σε κάποια άλλη κλάση το ποσοστό των κατολισθήσεων είναι 20% αλλά η έκταση κλάσης είναι 5%, μπορούμε εύκολα να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο η επικινδυνότητα στην δεύτερη κλάση είναι πολύ μεγαλύτερη παρόλο που το ποσοστό κατολισθήσεων είναι μεγαλύτερο. Πιο συγκεκριμένα, στο υψόμετρο, ενώ οι περισσότερες κατολισθήσεις παρατηρούνται στην 3^η κλάση, αντίθετως ο συντελεστής C είναι μεγαλύτερος στην 2^η κλάση, καθόσον το ποσοστό των κατολισθήσεων σε αυτήν είναι πολύ μεγάλο ως προς το ποσοστό έκτασης. Με την ίδια ακριβώς λογική ο μεγαλύτερος συντελεστής C εμφανίζεται σε διαφορετική κλάση από ότι το μεγαλύτερο ποσοστό

κατολισθήσεων στις περισσότερες θεματικές ενότητες με μόνες εξαιρέσεις την απόσταση από τα ρήγματα και την παράλληλη καμπυλότητα (plan curvature).

Πίνακας 6.1: Συντελεστές C θεματικών ενότητων.

Μεταβλητή	Κλάσεις	Συντελεστής C
Υψόμετρο	16-330	-0,2867
	330-685	0,6131
	685-1020	0,2888
	1020-1384	-0,5002
	>1384	-0,7304
Μορφολογία κλίσεων	0-10	-0,6588
	10-20	-0,1402
	20-30	0,0886
	30-40	0,5143
	>40	0,7345
Διεύθυνση κλίσεων	Επίπεδη	-0,7199
	Βόρεια	0,2400
	Βορειοανατολική	-0,1728
	Ανατολική	-0,3186
	Νοτιοανατολική	0,0014
	Νότια	-0,2731
	Νοτιοδυτική	-0,7199

<i>Κάθετη καμπυλότητα</i>	Δυτική	0,4333
	Βορειοδυτική	0,3278
	<-0,05	0,0287
	-0,05 - (+0,05)	0,0895
	>0,05	-0,0855
<i>Παράλληλη καμπυλότητα</i>	< -0,05	0,1206
	-0,05 - (+0,05)	-0,0668
	> 0,05	0,1502

Πίνακας 6.2: Συντελεστές C θεματικών ενοτήτων.

<i>Μεταβλητή</i>	<i>Κλάσεις</i>	<i>Συντελεστής C</i>
<i>Απόσταση από ρήγματα</i>	<500	0,3000
	500-1000	0,0454
	>1000	-0,4098
<i>Υδρογραφικό δίκτυο</i>	0-100	0,4490
	100-200	-0,0048
	200-300	-0,0849
	300-400	0,0598
	>400	-0,0141

Πίνακας 6.3: Συντελεστές C θεματικών ενότητων.

Μεταβλητή	Κλάσεις	Συντελεστής C
Υδρολιθολογία	Υδροπερατοί σχηματισμοί	-0,1232
	Ημιπερατοί σχηματισμοί	0,1981
	Στεγανοί σχηματισμοί	0,1095
Τεχνικογεωλογικές ενότητες	Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις	-0,8000
	Χαλαρές αδρομερείς αποθέσεις	0,3072
	Χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων	0,2865
	Συνεκτικοί, αδρομερείς σχηματισμοί	0,9000
	Συνεκτικοί σχηματισμοί μικτών φάσεων	0,6615
	Αδρομερή Ιζήματα	0,7223
	Λεπτομερή Ιζήματα	2,1504
	Φλύσσης δυτικής Ελλάδας	-0,8000
	Φλύσσης κεντρικής Ελλάδας	1,5870
	Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού Δ.Ελλάδας	-0,8000
	Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού Κ.Ελλάδας	0,7519

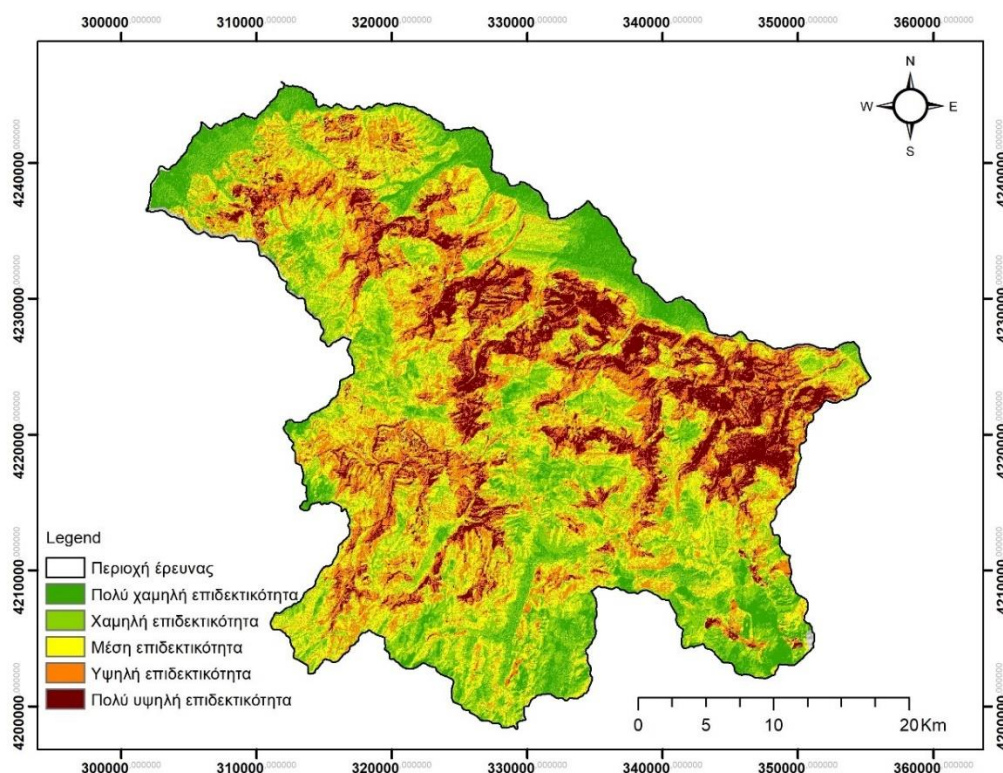
Ασβεστόλιθοι Τριαδικού Ιουρασικού	-	-0,8000
Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι Δολομίτες	-	-0,8000
Σχιστόλιθοι-Ψαμμίτες-Κερατόλιθοι		0,2521
Τεκτονοϊζηματογενές Σύμπλεγμα		-0,8000
Ημιμεταμορφωμένο Υπόβαθρο		-0,8000
Ηφαιστειακά πετρώματα		-0,8000

Σύμφωνα με τον Κολοκοτρώνη (2019), και μέσω του μοντέλου πρόβλεψης ΑΙΔ, προέκυψε ότι η σημαντικότερη παράμετρος είναι η γεωλογία και ακολουθούν η μορφολογική κλίση, το οδικό δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο, τα τεκτονικά στοιχεία, το υψόμετρο και η διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο *Weight of Evidence*, όπου τις υψηλότερες τιμές κατέχουν οι κλάσεις που ανήκουν στις τεχνικογεωλογικές ενότητες, την μορφολογική κλίση..

Σύμφωνα με τον Τσαγκά (2011) το υψόμετρο θεωρείται ο καθοριστικός γεωμορφολογικός παράγοντας για την εκδήλωση κατολισθήσεων ενώ η κλίση του εδάφους δεν θεωρείται ότι συμβάλει από μόνη της στην εκδήλωση μιας κατολίστησης αλλά συνδυαστικά καθώς δρα μαζί με άλλους παράγοντες. Ο Τσαγκάς (2011) θεωρεί σημαντικό παράγοντα την σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών με το μεγαλύτερο ποσοστό αστοχιών να οφείλεται σε ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

6.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

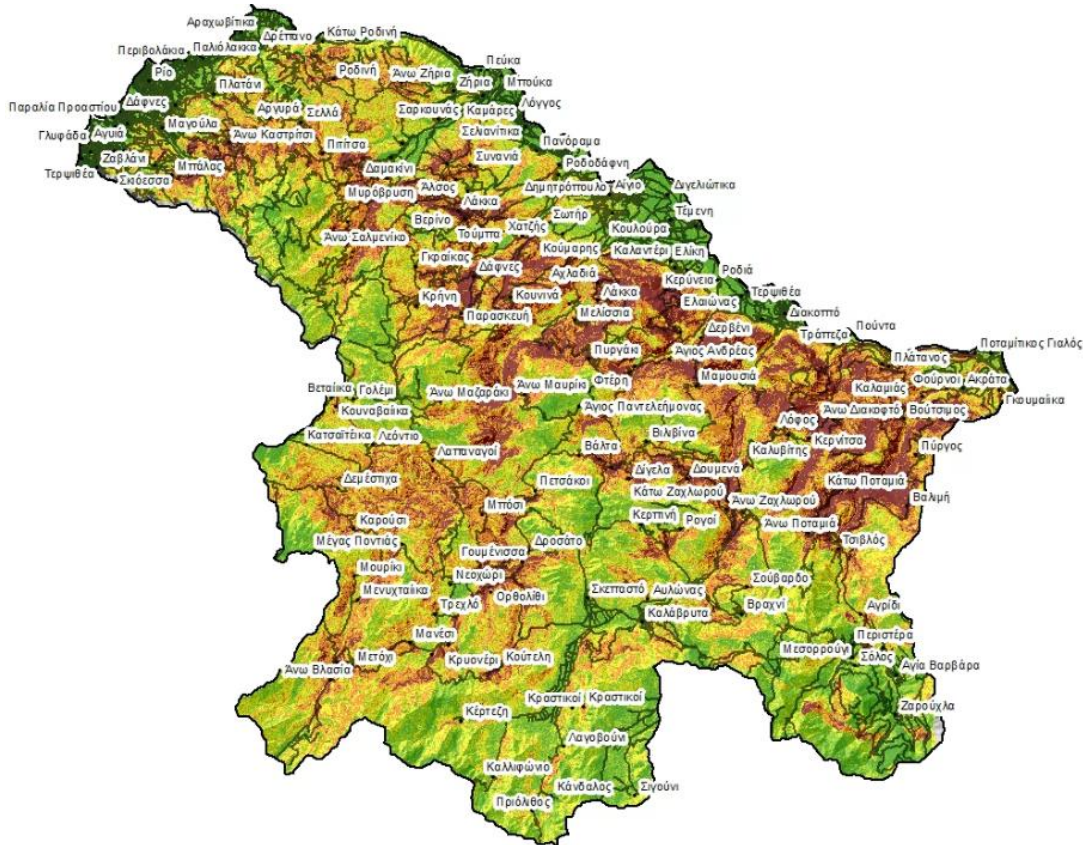
Ο προσδιορισμός της επιδεκτικότητας για κατολισθήσεις έγινε με τη μέθοδο *Weight of Evidence* όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας. Ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας διαχωρίζεται σε πέντε κατηγορίες για την διακριτή παρουσίαση της διαβάθμισης της περιοχής. Οι ζώνες οι οποίες διαμορφώθηκαν είναι οι εξής: Πολύ χαμηλή, Χαμηλή, Μέτρια, Υψηλή και Πολύ υψηλή. Όσον αφορά την κατανομή των ζωνών, οι περιοχές πολύ υψηλής επιδεκτικότητας εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο και στο ανατολικό τμήμα. Αντίθετα, οι περιοχές πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας εντοπίζονται κυρίως στο νότιο και το δυτικό τμήμα.



Εικόνα 6.1: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας βάση του μοντέλου WofE.

Συγκεκριμένα, διαπιστώνεται στην ευρύτερη περιοχή βορειοανατολικά της περιοχής έρευνας και στους οικισμούς Ακράτας - Βαλιμής, διαπιστώνεται υψηλή επιδεκτικότητα κάτι που συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Τσαγκά (2011) ο οποίος σημειώνει κατά τις επί τόπου παρατηρήσεις στην περιοχή έρευνας σημαντικά κατολισθητικά φαινόμενα κατά μήκος της

Επαρχιακής Οδού Ακράτας – Βαλιμής, καθώς και επισφαλείς συνθήκες ισορροπίας. Μια ακόμη πολύ υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας θέση εντοπίζεται στην ανατολική κοίτη του ποταμού Σελινούντα, και περιλαμβάνει τους οικισμούς Μελίσσια, Λάκκα, Αχλαδέα, Πυργάκι και Φτέρη.



Εκόνα 6.2: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας βάση του μοντέλου WofE.

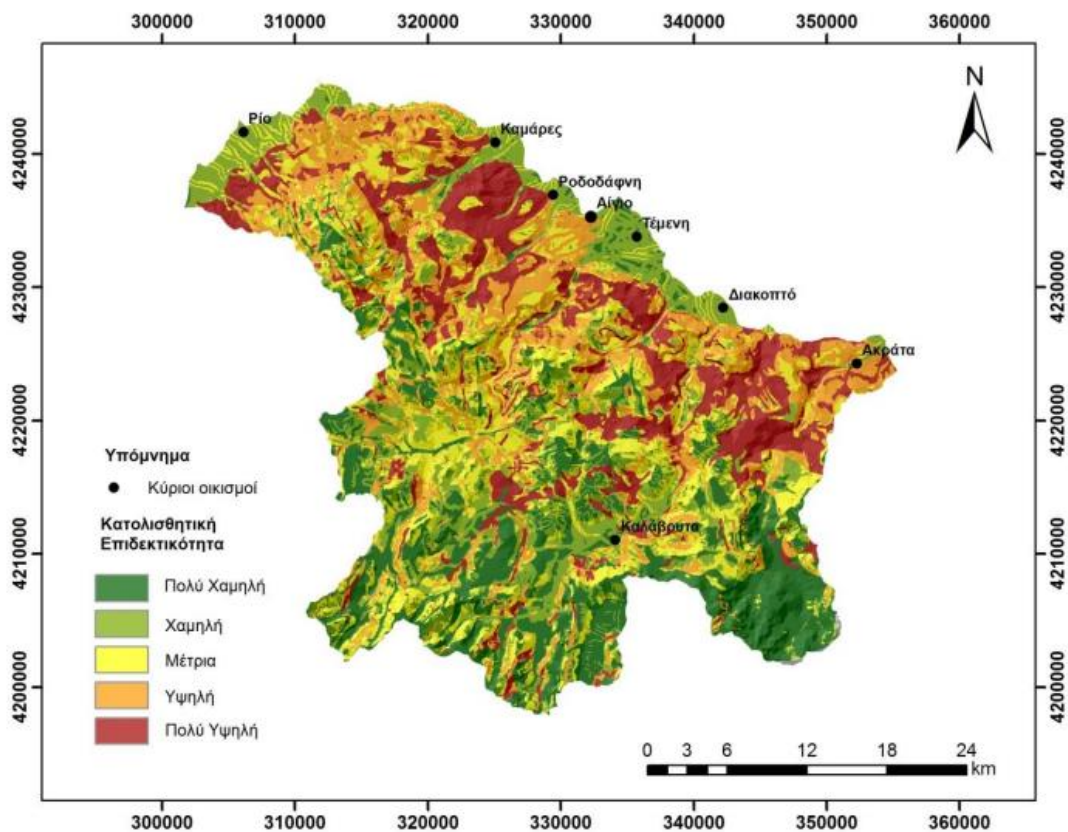
Η περιοχή γύρω από τον οικισμό Μελίσσια χαρακτηρίζεται από παρακατοκόρυφα πρηνή μεγάλου ύψους και δομούνται κατά βάση από συνεκτικά Πλειο – Πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή, παρουσιάζοντας υψηλό κίνδυνο κατολισθήσεων κατά τον Τσαγκά (2011). Επόμενη θέση υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας περιλαμβάνει τους οικισμούς Κούμαρη, Κουνινά, Δάφνες και Παρασκευή, η οποία χαρακτηρίζεται και αυτή από παρακατακόρυφα πρηνή μεγάλου ύψους τα οποία δομούνται από συνεκτικά ψηφιοκροκαλοπαγή. Μια ακόμη θέση υψηλής επιδεκτικότητας εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή περιμετρικά του όρους Αγιαννιώτικο, όπου αναπτύσσονται οι οικισμοί Τούμπα, Λάκκα, Μυρόβρυση, Άλσος, και Συνανά οι οποίοι έχουν πληγεί επανειλημμένα από σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα.

Τα στατιστικά στοιχεία των διαμορφούμενων ζωνών κατολισθητικής επιδεκτικότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5, όπου παρατηρείται ότι η διαφοροποίηση της ποσοστιαίας αναλογίας τους είναι πολύ μικρή. Στον σχετικό πίνακα διαπιστώνεται ότι οι δυο τελευταίες ζώνες (υψηλή και πολύ υψηλή επιδεκτικότητα) παρουσιάζουν αθροιστικά σχετική πυκνότητα της τάξης του 85.15%, με 63,56 στην υψηλή ζώνη, γεγονός που θεωρείται ότι επιβεβαιώνει την ορθότητα του μοντέλου πρόβλεψης.

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα εφαρμογής του μοντέλου πρόβλεψης στη περιοχή μελέτης.

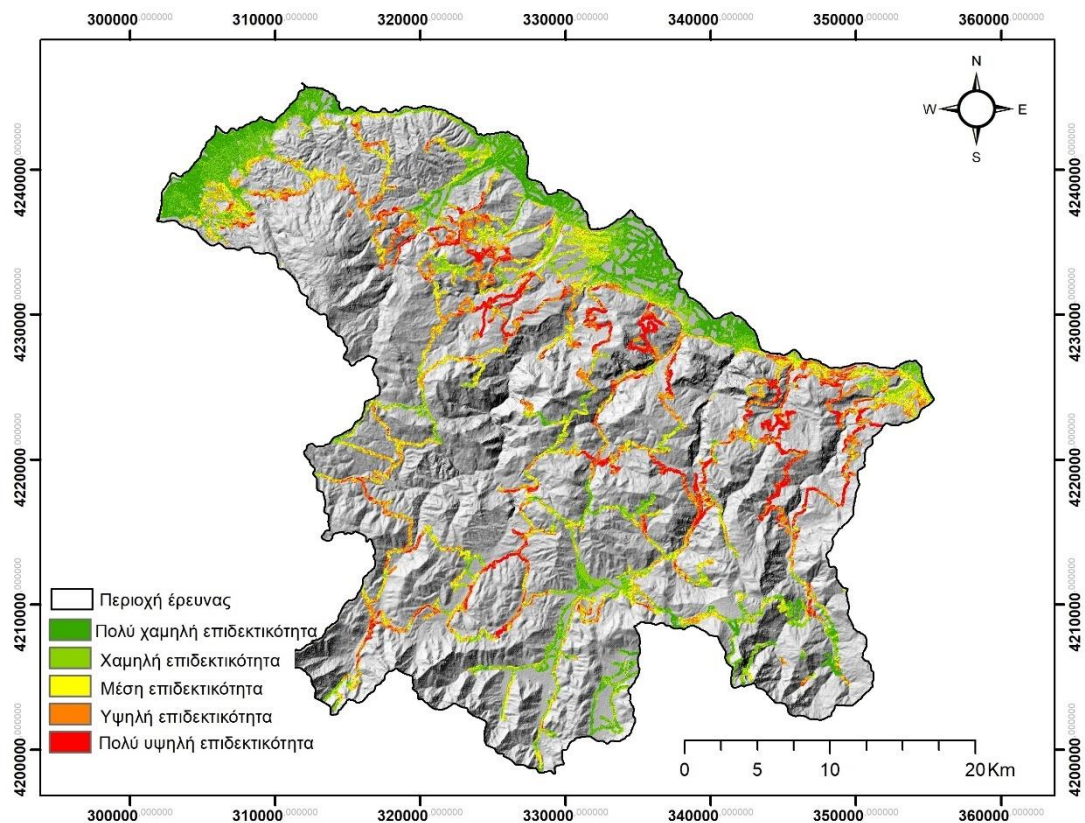
Επιδεκτικότητα	Έκταση κλάσης (%)	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα
Πολύ χαμηλή	21,23	2,39	0,12	2,41
Χαμηλή	24,45	2,87	0,14	2,85
Μέτρια	21,99	9,57	0,48	9,58
Υψηλή	20,15	22,01	1,08	21,59
Πολύ Υψηλή	12,18	63,16	3,18	63,56
Σύνολο	100	100	5,01	100

Όπως έχει αναφερθεί στην ίδια περιοχή πραγματοποιήθηκε το 2019 σχετική ΔΕ όπου διαπιστώθηκε μια παρόμοια κατανομή της κατολισθητικής επιδεκτικότητας όπως αυτή υπολογίστηκε από τη μέθοδο Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Κολοκοτρώνης, 2019). Συγκεκριμένα, οι δυο τελευταίες ζώνες παρουσιάζουν αθροιστικά σχετική πυκνότητα της τάξης του 83,53%. Οι δυο μελέτες διαφέρουν αισθητά στη σχετική πυκνότητα της υψηλής κλάσης όπου στην εν λόγω μελέτη διαμορφώνεται σε 51,00%. Όπως αποτυπώνεται και στον σχετικό χάρτη (Εικόνα 6.3), υπάρχει διαφοροποίηση και στη χωρική κατανομή της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, ειδικότερα στα κεντρικά και νότια της περιοχής έρευνας.



Εικόνα 6.3: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας βάση του μοντέλου IAA (Κολοκοτρώνης, 2019).

Στη συνέχεια επιχειρείται η διαμόρφωση χάρτου σχετικού με τις ενδεχόμενες επιπτώσεις των κατολισθητικών φαινομένων επί του οδικού δικτύου (Εικόνα 6.4, Πίνακας 6.5). Ο χάρτης διαμορφώθηκε σε πέντε κατηγορίες διαβάθμισης από πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή έως πολύ υψηλή επιδεκτικότητα. Η κατηγορία πολύ υψηλή επιδεκτικότητα, φτάνει το 12.18% του οδικού δικτύου της περιοχής έρευνας, με το αντίστοιχο ποσοστό της υψηλής επιδεκτικότητας στο 20.15%. Το 21.99% από μέτρια επιδεκτικότητα, το 24.45% από χαμηλή επιδεκτικότητα και το υπόλοιπο 21.23% από πολύ χαμηλή επιδεκτικότητα.



Εικόνα 6.4: Ζώνες επιδεκτικότητας επί του οδικού δικτύου

Σύμφωνα με το μοντέλο, ιδιαίτερα προβλήματα θα αντιμετωπίσουν οι οδικοί επαρχιακοί άξονες, Ακράτας – Βαλιμής, Αίγιο – Κουνινά, Αίγιο – Δάφνες, Σελινούντα – Αχλαδιά, Αίγιο – Μελίσσια και Μελίσσια – Πυργάκι - Πτέρη.

Πίνακας 6.5: Ποσοστό του οδικού δικτύου με διαβάθμιση κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

<i>Επιδεκτικότητα</i>	<i>Έκταση κλάσης (%)</i>
<i>Πολύ χαμηλή</i>	21,23
<i>Χαμηλή</i>	24,45
<i>Μέτρια</i>	21,99
<i>Υψηλή</i>	20,15
<i>Πολύ Υψηλή</i>	12,18
<i>Σύνολο</i>	100

Η δυσμενής κατάσταση του οδικού δικτύου μετά από κυρίως έντονες βροχοπτώσεις επιβεβαιώνεται από τα συνεχή δημοσιεύματα που αναρτώνται στο διαδίκτυο για αποκλεισμό οικισμών ή παρεμπόδιση και εκτροπή κυκλοφορίας που συμβαίνει συχνά στους επαρχιακούς οδικούς άξονες του νομού Αχαΐας. Σύμφωνα με τον Τσαγκά (2011) εκτιμάται ότι τα κατολισθητικά φαινόμενα που αναμένεται να εκδηλωθούν έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις θα επηρεάσουν τμήματα του οδικού δικτύου της περιοχής όπου δομούνται κυρίως από την αποσαθρωμένη φάση των λιθολογικών σχηματισμών (μάργες, κροκαλοπαγή, φλύσχης, κ.λ.π) προκαλώντας είτε αβαθείς ολισθήσεις, είτε λασποροές, ενίοτε και με σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Ο ίδιος ερευνητής, επισημαίνει ότι δύναται να εκδηλωθούν και κατολισθητικά φαινόμενα λόγω τεκτονικών αιτιών, επηρεάζοντας κυρίως τους ασβεστολίθους του αλπικού υποβάθρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7Ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναλύθηκε εκτενώς η έννοια των κατολισθητικών φαινομένων και εν συνεχεία έγινε εμβάθυνση στην κατολισθητική επιδεκτικότητα και στις επιπτώσεις που είχαν αυτές σε έργα υποδομής στο Βορειοανατολικό κομμάτι του Νομού Αχαΐας με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, με απώτερο σκοπό την σύνταξη επιμέρους χαρτών επιδεκτικότητας στην περιοχή αυτή.

Όσον αφορά την περιοχή έρευνας, δημιουργήθηκε βάση δεδομένων η οποία απαρτίζεται από τις κατολισθήσεις που έχουν καταγραφεί διαχρονικά εκεί καθώς και μια σειρά από παραμέτρους. Στην υπό μελέτη περιοχή καταγράφηκαν 210 κατολισθήσεις, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο και στο ανατολικό της τμήμα.

Οι κατολισθήσεις δεν αποτελούν μονοσήμαντα φαινόμενα, αλλά η εκδήλωσή τους προκαλείται από την συνεπίδραση πολλών παραγόντων. Για τον λόγο αυτό, εξετάστηκαν ως προς τον ρόλο που παίζουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων οι παρακάτω παράμετροι: υψόμετρο, μορφολογία κλίσεων, διεύθυνση κλίσεων, παράλληλη και κάθετη στη μέγιστη διεύθυνση των κλίσεων, απόσταση από ρήγματα, απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, υδρολιθολογία και οι τεχνικογεωλογικές ενότητες. Από την σχετική ανάλυση προέκυψε ότι για την παράμετρο του υψομέτρου η πιο επιδεκτική σε κατολισθήσεις ήταν η κατηγορία 685 -1020m), για την παράμετρο μορφολογική κλίση η κατηγορία 20° -30°, για την παράμετρο διεύθυνση μορφολογικής κλίσης τα πρανή που προσανατολίζονται Βόρεια και για την παράμετρο που σχετίζεται με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες η πιο επιδεκτική σε κατολισθήσεις βρέθηκε ότι είναι η ενότητα Λεπτομερή ιζήματα.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες υπολογίσαμε τον συντελεστή αντίθεσης C, της μεθόδου *Weight Of Evidence*, ο οποίος μας έδωσε μια καλή κατεύθυνση ως προς το ποια

τιμήματα της περιοχής έρευνας είναι τα πιο επιδεκτικά. Μέσα από αυτή την διαδικασία διαπιστώθηκε ότι μείζων ρόλο στην εκδήλωση κατολισθήσεων παίζουν η λιθολογία και η μορφολογική κλίση.

Ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας που δημιουργήθηκε με την μέθοδο *Weight of Evidence* διαμορφώθηκε σε πέντε κατηγορίες τα ποσοστά της έκτασης των οποίων έχουν ως εξής: Πολύ Χαμηλή 21,23%, Χαμηλή 24,45%, Μέτρια 21,99, Υψηλή 20,15% και Πολύ Υψηλή 12,18%. Οι δυο τελευταίες ζώνες (υψηλή και πολύ υψηλή επιδεκτικότητα) παρουσιάζουν αθροιστικά σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων της τάξης του 85.15%, με 63,56 στην υψηλή ζώνη, γεγονός που θεωρείται ότι επιβεβαιώνει την ορθότητα του μοντέλου πρόβλεψης.

Μελετώντας και τον χάρτη επιδεκτικότητας επί του οδικού δικτύου, χαρακτηρίζεται ως δυσλειτουργικό κατά κύριο λόγο στον ορεινό όγκο της περιοχής μελέτης καθώς και στο Βόρειο και το Ανατολικό κομμάτι της περιοχής έρευνας. Προβλήματα αναμένεται να παρουσιαστούν στους οδικούς επαρχιακούς άξονες, Ακράτας – Βαλιμής, Αίγιο – Κουνινά, Αίγιο – Δάφνες, Σελινούντα – Αχλαδία, Αίγιο – Μελίσσια και Μελίσσια – Πυργάκι - Πτέρη.

Αξιολογώντας τα όσα ειπώθηκα και αναλύθηκαν στην παρούσα ΔΕ η σύνθετη γεωμορφολογία της περιοχής με την ύπαρξη μεγάλων σχετικά μορφολογικών κλίσεων και στενών απότομων πεδιάδων, σε συνδυασμό με την λιθολογία της περιοχής, ευνοούν τις συνθήκες για τη δημιουργία ασταθών πρανών. Το σεισμοτεκτονικό καθεστώς και τα σχετικά μεγάλα ύψη βροχής θεωρούνται ως κύριοι εναυσματικοί παράγοντες των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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
- Ηλίας Π., 2000. Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτίμησης επικινδυνότητας με χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική σχολή
- Ηλία Ι., 2013. Τεχνικογεωλογικά Χαρακτηριστικά των Μαργών στην ευρεία περιοχή της Κύμης και η επίδρασή τους στις Κατασκευές Τεχνικών Έργων - Προβλημάτων και Αντιμετώπισή τους, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.
- Κολοκοτρώνης Β., 2019. Διερεύνηση κατολισθητικής επιδεκτικότητας και επικινδυνότητας σε περιοχές της Βορειοδυτικής Πελοποννήσου. Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.
- Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης Ν., 2007. Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Μουντράκης Δ., 2010, Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Νίκας Κ., 2004. Υδρογεωλογικές συνθήκες ΒΑ τμήματος νομού Αχαΐας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας
- Ρόζος Δ., 1989. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο νομό Αχαΐας – Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των Πλειοπλειστοκαινικών Ιζημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας

- Σαπουντζάκη Κ., Δανδουλάκη Μ., 2015. «Κίνδυνοι και Καταστροφές – Έννοιες και Εργαλεία Αξιολόγησης, Προστασίας, Διαχείρισης». Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα (www.kallipos.gr)
- Τσαγγαράτος Π., 2012. Διερεύνηση της Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς των Γεωλογικών Σχηματισμών με τη χρήση Πληροφοριακών Συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.
- Τσάγκας Δ., 2011. Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις και κινήσεις βαρύτητας στη Βόρεια Πελοπόννησο. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Κ.Π.Α., Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Almazbek T., 2016, Assessment of landslide hazard in the environmental hotspot areas of the Kyrgyz Tien-Shan: Spatial analysis and Numeric modeling. PhD thesis, Universite de Liege, Belgium
- 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. *Engineering Geology* 81(4):432-445, DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.08.004
- Bolstad, P., 2005, GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems, Eider Press, Third Edition, pp.620
- Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., 1999. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard, *Natural Hazards* 20 (2–3):117–135
- Choi J., Oh H.J., Lee H.J., Lee C., Lee S., 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS. *Engineering Geology*, 124 (1):12-23. DOI: 10.1016/j.enggeo.2011.09.011
- Crovelli, R.A., 2000. Probability models for estimation of number and costs of landslides. U.S. Geological Survey Open-File Report 2000-249, 17p.

- Doutsos T., Kokkalas S., 2001, Stress and deformation in the Aegean region. *Journal of Structural Geology* 23(2):455-472, DOI: 10.1016/50191-8141(00)00119-X
- Doutsos T., Koukouvelas I., Poulimenos G., Kokkalas S., Xypolias P., Skourlis K., 2000, An exhumation model of the South Peloponnesus, Greece. *International Journal of Earth Sciences*, 89 (2):350-365, DOI: 10.1007/5005310000087
- Ercanoglu M., Gokceoglu C., 2002, Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach, *Environmental Geology*, 41:720-730, DOI: 10.1007/s00254-001-0454-2
- Ercanoglu 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(3-4):229-250, DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.06.001
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4): 85-98, DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.014
- Ganas A., Chousianitis K., Batsi E., Kolligri M., Agalos A., Chouliaras G., Makropoulos K., 2013, The January 2010 Efpalio Earthquakes (Gulf of Corinth, Central Greece): Earthquake interactions and blind normal faulting. *Journal of Seismology*, 17(2):465-484
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M. and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31 :181–216.
- Hervas J., Bobrowsky P., 2009, Mapping: Inventories, Susceptibility, Hazards and Risk. In: Sassa K., Canuti P., (Eds.), *Landslides – Disaster Risk Reduction*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, pp. 321-349
- Jackson J.A., Gagnepain J., Houseman G., King G.C.P., Papadimitriou P., Soufleris C., Virieux J., 1982, Seismicity, normal faulting, and the geomorphological development of the Gulf of Corinth (Greece): the Corinth earthquakes of February and March 1981. *Earth and Planetary Science Letters* 57(2):377-397, DOI: 10.1016/0012-821X(82)90158-3
- Ladas I., Fountoylis I., Mariolakos I., 2007. Using GIS & Multicriteria Decision analysis in landslide susceptibility mapping - a case study in Messinia prefecture area (SW Peloponnesus, Greece)

- Lee S., Pradhan B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1):33-41, DOI: 10.1007/s10346-006-0047-y
- Lykousis V., Sakellariou D., Moretti I., Kaberi H., 2007, Late Quaternary basin evolution of the Gulf of Corinth: Sequence, stratigraphy, sedimentation, fault-slip and subsidence rates. *Tectonophysics* 440, 29-51, DOI: 10.1016/j.tecto.2006.11.007
- Mezughi T.H., Akhir J.M., Rafek A.G., Abdullah I., 2011. Landslide Susceptibility Assessment using Frequency Ratio model Applied to an Area along the E-W Highway (Gerik-Jeli). *American Journal of Environmental Sciences*, 7(1): 43-50, DOI: 10.3844/ajessp.2011.43.50
- Moradi M., Bazayr M.H., Mohammadi Y., 2012. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena city, Iran. *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2(7)6715-6723
- Moretti I., Sakellariou D., Lykousis V., Micarelli L., 2003, The Gulf of Corinth: an active half graben? *Journal of Geodynamics* 36(1):323-340, DOI: 10.1016/50264-3707(03)00053-X
- Rozos D., Bathrellos G.D., Skillodimou H.D., 2011. Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: A case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 63 (1):49-63. DOI: 10.1007/s12665-010-0687-z
- Saaty, T.L, 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, NY, McGraw Hill.
- Saaty, T.L, 1986. Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 32, 841-855
- Stefatos A., Papatheodorou G., Ferentinos G, Leeder M., Collier R., 2002, Seismic reflection imaging of active offshore faults in the Gulf of Corinth: Their seismotectonic significance. *Basin Research* 14(4):487-502, DOI: 10.1046/j.1365-2117.2002.00176.x
- Santacana N., Baeza C., Corominas J., De Paz A., Marturia J., 2003. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La

- Wilde, M., Gunther A., Reinchenbach, P., Malet J-P, Hervas J., 2018. Pan-European landslide susceptibility mapping: ELSUS Version 2, *Journal of Maps*, 14(2), 97-104
- Lai, J., Lortie, C. J., Muenchen, R. A., Yang, J., and Ma, K., 2019. Evaluating the popularity of R in ecology. *Ecosphere* 10 (1):e02567, <https://doi.org/10.1002/ecs2.2567>
- Mysiak, J., Surminski, S., Thieken, A., Mechler, R., and Aerts, J., 2016. Brief communication: Sendai framework for disaster risk reduction – success or warning sign for Paris?, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 2189–2193, <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2189-2016>.
- Rutgersson, A., Kjellström, E., Haapala, J., Stendel, M., Danilovich, I., Drews, M., Jylhä, K., Kujala, P., Larsén, X. G., Halsnæs, K., Lehtonen, I., Luomaranta, A., Nilsson, E., Olsson, T., Särkkä, J., Tuomi, L., and Wasmund, N., 2022. Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 251–301, <https://doi.org/10.5194/esd-13-251-2022>
- UNDRR, 2009. Global Assessment Report 2009. Risk and Poverty in a Changing Climate. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. UN Office for Disaster Risk Reduction, Geneva
- Ward, P. J., Blauhut, V., Bloemendaal, N., Daniell, J. E., de Ruiter, M. C., Duncan, M. J., Emberson, R., Jenkins, S. F., Kirschbaum, D., Kunz, M., Mohr, S., Muis, S., Riddell, G. A., Schäfer, A., Stanley, T., Veldkamp, T. I. E., and Winsemius, H. C., 2020: Review article: Natural hazard risk assessments at the global scale, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 1069–1096, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1069-2020>