



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Μοντελοποίηση κατολισθητικής επιδεκτικότητας με τη
χρήση σύγχρονων τεχνικών χωρικής ανάλυσης. Η
περίπτωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστάσιος Μπαλαμπάνης

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούνιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Μοντελοποίηση κατολισθητικής επιδεκτικότητας με τη
χρήση σύγχρονων τεχνικών χωρικής ανάλυσης. Η
περίπτωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστάσιος Μπαλαμπάνης

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 30/06/2020

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ε.Μ.Π.
(Υπογραφή)

Κωνσταντίνος Αθανασάς, Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Μ.Π. (Υπογραφή)

Παρασκευάς Τσαγγαράτος, Ε.ΔΙ.Π., Ε.Μ.Π. (Υπογραφή)

Ευχαριστίες

Θα ήθελα θερμά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Λουπασάκη Κωνσταντίνο, για την επιλογή του θέματος της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με κάτι τόσο ενδιαφέρον, καθώς επίσης και για τη καθοδήγηση και τη στήριξη του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κύριο Τσαγγαράτο Παρασκευά, μέλος Ε.Δι.Π, για τον χρόνο που διέθεσε, για τις γνώσεις που μοιράστηκε μαζί μου πάνω σε θέματα σχετικά με τα προγράμματα GIS, για την άμεση απόκριση του σε κάθε μου απορία, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του, αλλά και την πίστη του σε εμένα.

Τέλος, θα ήθελα από τα βάθη της καρδιάς μου να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που όλα αυτά τα χρόνια με στηρίζουν σε κάθε μου προσπάθεια με κάθε δυνατό τρόπο.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια του δέκατου (10^{ου}) εξαμήνου φοίτησης στο πρόγραμμα σπουδών του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας των γεωλογικών σχηματισμών σε περιοχή της Ηπείρου και συγκεκριμένα στην λεκάνη απορροής του Αράχθου ποταμού, καθώς και η δημιουργία του σχετικού χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Ακόμα, πραγματοποιούνται χωρικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαδρομής διαφυγής, στην περίπτωση ενός κατολισθητικού συμβάντος, της εύρεσης των κοντινότερων υποδομών υποστήριξης, καθώς και της χωροθέτησης βέλτιστων περιοχών εξυπηρέτησης.

Οι εμφανίσεις κατολισθήσεων οφείλονται συνήθως σε παράγοντες όπως οι απότομες κλίσεις των πρανών, τα φαινόμενα διάβρωσης, οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (π.χ. η κατασκευή οδικού δικτύου), τα κλιματικά χαρακτηριστικά και οι βροχοπτώσεις, τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών, καθώς και τα φυσικά φαινόμενα, όπως οι σεισμοί. Όπως γίνεται κατανοητό, υπάρχει μια πληθώρα παραγόντων που συμβάλουν στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης.

Στο πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκε ένα αρχείο κατολισθήσεων, που περιλαμβάνει 204 κατολισθήσεις, οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (α) στο αρχείο εκπαίδευσης, με 143 κατολισθήσεις και (β) στο αρχείο επαλήθευσης, με 61 κατολισθήσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέχθηκαν επτά (7) παράγοντες – μεταβλητές, οι οποίες είναι το υψόμετρο, η κλίση των πρανών, η διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, η γεωλογία, η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και η απόσταση από το οδικό δίκτυο και κατασκευάστηκαν οι χάρτες επιδεκτικότητας της κάθε μεταβλητής με πλέγμα 20x20 km. Στη συνέχεια, μέσω της μεθόδου Λόγων Συχνότητας (*Frequency Ratio*), πραγματοποιήθηκε η στάθμιση κάθε μεταβλητής και ακολούθως δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής έρευνας. Η αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου Λόγου Συχνότητας (*FR*) βασίστηκε στον υπολογισμό της περιοχής κάτω από την καμπύλη εκπαίδευσης και πρόβλεψης (AUC).

Στο δεύτερο μέρος, θεωρώντας επτά (7) υποψήφιες πόλεις και χωριά ως περιοχές εξυπηρέτησης, εφαρμόζοντας την επέκταση «*Network Analyst*» πραγματοποιήθηκε χωρική ανάλυση για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής διαφυγής στην περίπτωση ενός κατολισθητικού συμβάντος, την εύρεση των κοντινότερων υποδομών υποστήριξης, καθώς και για την χωροθέτηση των βέλτιστων περιοχών εξυπηρέτησης.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων έδειξαν πως, περίπου, το 16,3% της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται από υψηλή και πολύ υψηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα, ενώ ακόμα, οι τιμές των καμπυλών AUC για το αρχείο εκπαίδευσης (0,7728) και επαλήθευσης (0,8077), αποδεικνύουν ότι το μοντέλο πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας με χρήση της μεθόδου *FR*, κατέχει πολύ καλή απόδοση. Ακόμα, το μοντέλο *Network Analyst*, βασισμένο στις τιμές κατολισθητικής επιδεκτικότητας, έδειξε ότι οι δύο βέλτιστες τοποθεσίες εγκαταστάσεων πρέπει να τοποθετηθούν στις πόλεις Καλέντζι και Τρίστενο, καθώς αυτές οι δύο θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τις πιο επιρρεπείς σε κατολισθήσεις περιοχές στο συντομότερο χρονικό διάστημα.

Abstract

This dissertation was conducted during the 10th semester of study in the curriculum of Mining and Metallurgical Engineering department at the National Technical University of Athens. The purpose of the following work is the assessment of landslide susceptibility of geological formations in an area of Epirus landslides was estimated for the West Pelion area with the use of Geographic Information Systems (G.I.S.). Furthermore, an analysis of the optimal escape route is performed, in the event of a landslide, as well as, finding the nearest support infrastructure and the location of optimal service areas.

Landslides are usually occurred, due to factors such as steep slopes, erosion, anthropogenic interventions (e.g. road construction), climate and rainfall characteristics, geological and geomorphological characteristics of formations, and natural phenomena such as earthquakes. Understandably, there are a significant number of factors that contribute to a landslide.

In the first part of this dissertation, a landslide file is created, which includes 204 incidents. This landslide file is divided into two categories: (a) the training file, with 143 incidents and (b) in the validation file, with 61 incidents. Subsequently, seven (7) factors of landslide occurrence were selected, which are altitude, slope inclination, morphological slope direction, compound topographic index, geology, distance from the hydrographic network and distance from road network and the landslide susceptibility maps of each variable, with a 20x20 km grid, were constructed. Then, through the *Frequency Ratio* method, each variable was weighted and then the final landslide susceptibility map of the research area was created. The evaluation of the performance *Frequency Ratio* model (FR) was based on the calculation of the area the success and predictive curve (AUC).

In the second part, considering seven (7) candidate towns and villages as service areas, implementing the "Network Analyst" extension, a spatial analysis was performed in order to find the optimal escape route, in an event of a landslide, to find the nearest support infrastructure, and to find the location of the optimal service areas.

The results of the above showed that approximately 16.3% of the research area is characterized by high and very high susceptible, while also the prices of AUC curves for the training file (0.7728) and verification (0.8077), prove that the landslide

susceptibility prediction model, using the FR method, performs very well. Also, the Network Analyst model, based on landslide susceptible values, showed that the two optimal service areas should be located in the cities of Kalentzi and Tristeno, as these two could serve the most landslide prone areas in the shortest time.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	6
Κατάλογος Εικόνων.....	12
Κατάλογος Πινάκων.....	16
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
1.1 Φυσικές Καταστροφές και Κατολισθητικά Φαινόμενα.....	18
1.2 Διαχείριση του φαινομένου των κατολισθήσεων.....	21
1.3 Αντικείμενο και διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	22
2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	24
2.1 Ορισμός Κατολισθήσεων.....	24
2.2 Ταξινόμηση Κατολισθήσεων.....	25
2.2.1 Εισαγωγή.....	25
2.2.2 Ταξινόμηση με βάση τον τύπο μετακίνησης.....	25
2.2.3 Ταξινόμηση με βάση την ταχύτητα.....	30
2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.....	31
2.4 Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο.....	32
2.4.1 Παραδείγματα κατολισθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο.....	35
3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	39
3.1 Εισαγωγή - Ορισμός.....	39
3.2 Βασικά μέρη και Εφαρμογές των Γ.Σ.Π.....	40
3.2.1 Βασικά μέρη των Γ.Σ.Π.....	40
3.2.2 Εφαρμογές των Γ.Π.Σ.....	41
3.3 Κατηγορίες γεωγραφικών δεδομένων.....	42
3.4 Ψηφιδωτή και διανυσματική αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων.....	44

3.4.1	Ψηφιδωτή αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων (Raster)	44
3.4.2	Διανυσματικά δεδομένα (τύπου Vector)	45
3.5	Γ.Π.Σ. και κατολισθητικά φαινόμενα	45
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	49
4.1	Εκτίμηση κινδύνου κατολισθήσεων	49
4.1.1	Αρχές ζωνοποίησης επικινδυνότητας και επιδεκτικότητας.....	49
4.1.2	Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων (Landslide Susceptibility Map)	50
4.1.3	Χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων (Landslide Hazard Map).....	50
4.1.4	Χάρτης διακινδύνευσης κατολισθήσεων (Landslide Risk Maps)	51
4.2	Μέθοδοι εκτίμησης επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα.....	51
4.2.1	Ανάλυση βασισμένη στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών, ποιοτικές και ημι – ποιοτικές μέθοδοι	52
4.2.2	Ανάλυση βασισμένη στη γνώση που εξάγεται από Βάσεις Δεδομένων	54
4.2.3	Μέθοδοι στατιστικής και πιθανολογικής ανάλυσης – Ποσοτικές μέθοδοι	56
4.2.4	Υβριδικές μέθοδοι αποτίμησης της επιδεκτικότητας.....	58
5	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	59
5.1	Επιπτώσεις κατολισθητικών φαινομένων	59
5.1.1	Κοινωνικές επιπτώσεις κατολισθητικών φαινομένων	59
5.1.2	Οικονομικές επιπτώσεις των κατολισθητικών κινήσεων.....	60
5.2	Μέθοδοι αποτροπής και ανασχεσης κατολισθητικών φαινομένων	61
5.2.1	Μέθοδοι αποτροπής	61
5.2.2	Μέθοδοι Ανάσχεσης	67
6	ΑΝΑΠΤΥΧΘΕΙΣΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	70
6.1	Γενικά Στοιχεία	70

6.2	Αρχείο κατολισθήσεων	72
6.3	Επιλογή παραγόντων.....	72
6.4	Μέθοδος Λόγων Συχνοτήτων (<i>Frequency Ratio</i>).....	74
6.4.1	Εφαρμογή της μεθόδου	74
6.4.2	Εκτίμηση της προγνωστικής απόδοσης της μεθόδου	75
6.5	Ανάλυση δικτύων μέσω της επέκτασης Network Analyst.....	76
6.5.1	Γενικά Στοιχεία.....	76
6.5.2	Εύρεση βέλτιστης διαδρομής (<i>Route Analysis</i>).....	77
6.5.3	Εύρεση κοντινότερης εγκατάστασης (<i>Closest Facility Analysis</i>)	78
6.5.4	Κατανομή τοποθεσίας βέλτιστων εγκαταστάσεων (<i>Location – Allocation</i>).....	79
7	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΧΘΕΙΣΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	80
7.1	Ορισμός περιοχής έρευνας	80
7.2	Γεωλογικά στοιχεία ευρύτερης περιοχής	81
7.2.1	Ιόνιος ζώνη	82
7.2.2	Ζώνη Γαβρόβου	84
7.2.3	Ζώνη της Πίνδου.....	85
7.2.4	Σύνθετο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου - Τεκτονικό κάλυμμα οφιολίθων	87
7.2.5	Γεωλογικά στοιχεία στενής περιοχής έρευνας	87
7.3	Τεκτονικές επαφές και σεισμικό καθεστώς της περιοχής της Ηπείρου	89
7.4	Μορφολογικά στοιχεία Ηπείρου.....	90
7.4.1	Μορφολογία της περιοχής έρευνας.....	90
7.5	Κλιματολογικά στοιχεία του διαμερίσματος της Ηπείρου	92
7.6	Χρήσεις γης του διαμερίσματος της Ηπείρου	94
7.7	Υδρολογικά στοιχεία του διαμερίσματος της Ηπείρου.....	95
7.7.1	Γενικά υδρογραφικά στοιχεία.....	95

7.7.2	Υδρολογικές λεκάνες	95
7.8	Κατολισθητικά φαινόμενα στην ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου.....	97
7.9	Αρχείο κατολισθήσεων	100
7.10	Επιλογή Παραγόντων	101
7.10.1	Υψόμετρο (<i>Elevation</i>).....	101
7.10.2	Κλίση πρανών (<i>Slope</i>).....	102
7.10.3	Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων (<i>Aspect</i>).....	102
7.10.4	Δείκτης Ποσοτικοποίησης της Υγρασίας (<i>Compound Topographic Index</i>)	103
7.10.5	Γεωλογικά Χαρακτηριστικά (<i>Geology</i>)	103
7.10.6	Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο (<i>Distance to Rivers</i>).....	104
7.10.7	Απόσταση από το οδικό δίκτυο (<i>Distance to Roads</i>).....	105
7.11	Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με χρήση της μεθόδου Λόγου Συχνοτήτων.....	115
7.12	Εκτίμηση της αξιοπιστίας της μεθόδου Λόγου Συχνοτήτων (F.R.).....	128
7.12.1	Εκτίμηση της βάσης εκπαίδευσης	129
7.12.2	Εκτίμηση της βάσης ελέγχου – επαλήθευσης	131
7.13	Ανάλυση δικτύων μέσω της επέκτασης Network Analyst	134
7.13.1	Υπολογισμός της βέλτιστης διαδρομής (<i>Route Analysis</i>)	136
7.13.2	Εύρεση κοντινότερης εγκατάστασης (<i>Closest Facility Analysis</i>)	138
7.13.3	Εύρεση τοποθεσίας βέλτιστων εγκαταστάσεων (<i>Location – Allocation</i>).	138
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	144
8.1	Συμπεράσματα	144
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	149

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 "Ταξινόμηση Φυσικών Καταστροφών" (EM-DAT).....	18
Εικόνα 1.2 " Χάρτης καταμέτρησης φυσικών καταστροφών για το εύρος ετών απο 1900 έως 2019" (EMDAT, 2019)	19
Εικόνα 1.3" Διάγραμμα καταμέτρησης θανάτων σχετιζόμενων με τις κατολισθήσεις για το εύρος τιμών 1909 έως 2019" (EMDAT, 2019)	19
Εικόνα 1.4 "Χάρτης παγκόσμιας κατανομή κινδύνου θνησιμότητας από κατολισθήσεις" (Ritchie & Roser, 2019).....	20
Εικόνα 1.5 " Διάγραμμα καταμέτρησης θανάτων σχετιζόμενων με κατολισθητικά φαινόμενα στην Ελλάδα και στον κόσμο" (Ritchie & Roser, 2019)	21
Εικόνα 2.1"Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης" (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).....	29
Εικόνα 2.2 "Χάρτης Γεωτεκτονικών Ζωνών Ελλάδος" (Koukis & Koutsoyiannis, 1997).....	33
Εικόνα 2.3 "Χάρτης συχνοτήτων κατολισθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο" (Βασιλειάδης, 2010).....	35
Εικόνα 2.4 "Απεικόνιση της θέσης κατολίσθησης στη λίμνη Τσιβλού" (Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κλειτορίας - Ακράτας, 2017).....	35
Εικόνα 2.5"Γενική άποψη του Μικρού Χωριού (α) πριν την εκδήλωση του κατολισθητικού φαινομένου (β) μετά την εκδήλωση του φαινομένου" (Ρόζος & Αποστολίδης, 2004)	36
Εικόνα 2.6 "Αεροφωτογραφία της κατολίσθησης της Μαλακάσας" (Καρβουνίδης, Ντούνιας , & Μπαρδάνης, 2005)	37
Εικόνα 2.7 "Απεικόνιση της κατολίσθησης των Τεμπών" (Λέκκας Ε. , 2009).....	37
Εικόνα 2.8 "Απεικόνιση της κατολίσθησης στον οικισμό "Ροπωτό" Τρικάλων" (The Top, 2016).....	38
Εικόνα 2.9 "Κατολίσθηση στο χωριό Πλωμάρι Λέσβου (ΕΛΑΦΡΟΣ, 2018)".....	38
Εικόνα 3.1 "Αποτελέσματα αναπαράστασης Raster με τη χρήση (Α) του κανόνα του μεγαλύτερου μεριδίου και (Β) του κανόνα του κέντρου"	44
Εικόνα 3.2 "Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης σε κατολισθητικά φαινόμενα στην λεκάνη "Zab" στο Ιράν" (Shahabi, Ahmad, & Hashim, 2014).....	48
Εικόνα 5.1 "Επιφανειακή τάφρος συλλογής υδάτων" (Λέκκας Ε. , 2000).....	62

Εικόνα 5.2 “Σκαρίφημα υπόγειων και επιφανειακών αποστραγγίσεων πρανούς” (Χρηστάρας, 2011).....	63
Εικόνα 5.3 “Σκαρίφημα εφαρμογής μεθόδου ψύξης εδάφους με χρήση υγρού αζώτου” (Rahman, 2015).....	64
Εικόνα 5.4 “Ενδεικτική απεικόνιση αγκύρωσης πρανούς” (Sinorock, 2015).....	65
Εικόνα 5.5 “Απεικόνιση χρήσης τοίχου απο συρματοκιβώτια σε συνδυασμό με άκαμπτο τοίχο από σκυρόδεμα για την αντιστήριξη πρανούς” (MacCafferri, 2017) ..	66
Εικόνα 5.6 “Ενδεικτική απεικόνιση εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε απότομο βραχώδες πρανές” (INACCÉS, 2007). ..	67
Εικόνα 5.7 “Απεικόνιση φράχτη ανάσχεσης κατολισθήσεων” (Terra Nova, 2016) ..	68
Εικόνα 5.8 “Απεικόνιση σκέπαστρου σε οδικό δίκτυο”. (Λέκκας, 2000) ..	69
Εικόνα 6.1 "Ροόγραμμα απεικόνισης της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την κατασκευή χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας και για την χωρική ανάλυση μέσω της επέκτασης Network Analyst" ..	71
Εικόνα 6.2 "Απεικόνιση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ τριών σημείων (stops)" (ESRI, 2010) ..	78
Εικόνα 6.3 "Εύρεση των κοντινότερων πυροσβεστικών σταθμών στο επιλεγμένο σημείο" (ESRI, 2010).....	79
Εικόνα 6.4 "Παράδειγμα απεικόνισης των βέλτιστων τοποθεσιών που εξυπηρετούν τα σημεία ζήτησης" (ESRI, 2010) ..	79
Εικόνα 7.1 “Αποτύπωση της περιοχής έρευνας” (Πηγή: Google Earth) ..	80
Εικόνα 7.2 “Γεωλογικοί σχηματισμοί Ηπείρου” (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένο κατά Ζίνδρος, 2000) ..	81
Εικόνα 7.3 “Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης” (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένο κατά Βόνιτσα 2000) ..	82
Εικόνα 7.4 “Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Γαβρόβου” (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένο κατά Ραπτόπουλο, 2000) ..	85
Εικόνα 7.5 “Τυπική στρωματογραφική στήλη της ζώνης της Πίνδου” (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένο κατά Μυρόφυλο 2000).....	86
Εικόνα 7.6 "Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής έρευνας" ..	88
Εικόνα 7.7 "Μορφολογία της περιοχής έρευνας" ..	91
Εικόνα 7.8 "Διαχωρισμός του διαμερίσματος της Ηπείρου ως προς την βροχόπτωση" (Νικολάου, 2010) ..	92

Εικόνα 7.9 "Διάγραμμα υψών βροχής του έτους 2019για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς στη περιοχή έρευνας"	93
Εικόνα 7.10 "Αποτύπωση χρήσεων γης του διαμερίσματος της Ηπείρου" (Τασιούλας, 2018).....	94
Εικόνα 7.11 Χάρτης αποτύπωσης υδρολογικών λεκανών του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, 2017).....	96
Εικόνα 7.12 "Διάρρηξη του κεντρικού δρόμου του χωριού "Μουζακαίοι"" (Τσίγκα & Μάλλη, 2013).....	97
Εικόνα 7.13 " Κατολίσθηση στη παλαιά εθνική οδό Ιωαννίνων - Μετσόβου" (Αυτοδιοίκηση, 2018).....	98
Εικόνα 7.14 "Απεικόνιση της κατολίσθησης στη περιοχή "Μαυρολάγκαδο"" (Συρρακιώτης, 2013).....	98
Εικόνα 7.15 "Απεικόνιση της κατολίσθησης στο οδικό δίκτυο προς τον οικισμό "Συρράκο"" (Newsit, 2017)	99
Εικόνα 7.16 "Χάρτης αποτύπωσης κατολισθήσεων".....	100
Εικόνα 7.17 "Χάρτης κλίσεων πρανών (Slope)"	106
Εικόνα 7.18 "Χάρτης διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων (Aspect)".....	107
Εικόνα 7.19 "Χάρτης C.T.I"	108
Εικόνα 7.20 "Χάρτης ζωνοποίησης υψομέτρου (Elevation)"	109
Εικόνα 7.21 "Χάρτης ζωνοποίησης διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων (Aspect)"	110
Εικόνα 7.22 " Χάρτης ζωνοποίησης κλίσεων πρανών (Slope)".....	111
Εικόνα 7.23 "Χάρτης ζωνοποίησης του C.T.I"	112
Εικόνα 7.24 "Χάρτης ζωνοποίησης απόστασης από το οδικό δίκτυο (Distance to roads)".....	113
Εικόνα 7.25 "Χάρτης ζωνοποίησης απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο (Distance to rivers)"	114
Εικόνα 7.26 " Ραβδογράμματα στατιστικών μεγεθών κατολισθήσεων ανά παράγοντα (α)Υψόμετρο, (β)Κλίση πρανών, (γ)Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, (δ)Δείκτης C.T.I".....	118
Εικόνα 7.27 "Ραβδογράμματα στατιστικών μεγεθών κατολισθήσεων ανά παράγοντα (α) Γεωλογία, (β) Απόσταση απο υδρογραφικό δίκτυο, (γ) Απόσταση απο οδικό δίκτυο"	119

Εικόνα 7.28 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων (Aspect)"	120
Εικόνα 7.29 " Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας υψομέτρου (Elevation)" ...	121
Εικόνα 7.30 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας της γεωλογίας της περιοχής (Geology)"	122
Εικόνα 7.31 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας κλίσεων πρανών (Slope)" ..	123
Εικόνα 7.32 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας του C.T.I"	124
Εικόνα 7.33 " Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση απο το υδρογραφικό δίκτυο (Distance to rivers)	125
Εικόνα 7.34 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση απο οδικό δίκτυο (Distance to roads)"	126
Εικόνα 7.35 "Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων στη περιοχή έρευνας"	127
Εικόνα 7.36 "Χάρτης κατηγοριοποίησης της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της περιοχής έρευνας"	128
Εικόνα 7.37 "Ραβδόγραμμα αποτελεσμάτων της μεθόδου F.R. της βάσης εκπαίδευσης"	130
Εικόνα 7.38 "Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης εκπαίδευσης"	130
Εικόνα 7.39 "Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης της βάσης εκπαίδευσης"	131
Εικόνα 7.40"Ραβδόγραμμα αποτελεσμάτων της μεθόδου F.R. της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης".....	132
Εικόνα 7.41 "Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης".....	133
Εικόνα 7.42 "Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης" ...	133
Εικόνα 7.43 "Διαγράμματα στατιστικών μεγεθών κατολισθήσεων επί του οδικού δικτύου"	135
Εικόνα 7.44 "Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων επί του οδικού δικτύου".....	136
Εικόνα 7.45 " Χάρτης βέλτιστης διαδρομής σε περίπτωση κατολίσθησης για το 1ο σενάριο"	139
Εικόνα 7.46 "Χάρτης βέλτιστης διαδρομής σε περίπτωση κατολίσθησης για το 2ο σενάριο".....	140
Εικόνα 7.47 "Χάρτης βέλτιστης διαδρομής σε περίπτωση κατολίσθησης για το 3ο σενάριο".....	141
Εικόνα 7.48 "Χάρτης αποτελεσμάτων ανάλυσης κοντινότερης απόστασης"	142

Εικόνα 7.49 " Χάρτης επιλογής των βέλτιστων περιοχών για δημιουργία εγκαταστάσεων".....143

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 "Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes" (Varnes, 1978)**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Πίνακας 2 " Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα τους" (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996)..... 30

Πίνακας 3 "Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης" (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996)..... 30

Πίνακας 4 "Δεδομένα βροχόπτωσης για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας του έτους 2019" 93

Πίνακας 5 "Κλάσεις υψόμετρου και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν στη περιοχή"101

Πίνακας 6 "Κλάσεις κλίσεων και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν στη περιοχή"102

Πίνακας 7 "Κλάσεις διευθύνσεων και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν στη περιοχή"103

Πίνακας 8 "Τιμές CTI σε συνδυασμό με το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν"103

Πίνακας 9 "Γεωλογικοί σχηματισμοί και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν"104

Πίνακας 10 "Απόσταση απο υδρογραφικό δίκτυο σε συνδυασμό με το (%) ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν"104

Πίνακας 11 "Απόσταση απο οδικό δίκτυο σε συνδυασμό με το (%) ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν"105

Πίνακας 12 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας του υψομέτρου" ...115

Πίνακας 13 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας της κλίσης"115

Πίνακας 14 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας των διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων"116

Πίνακας 15 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας του C.T.I"116

Πίνακας 16 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας της γεωλογίας"116

Πίνακας 17 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση απο το υδρογραφικό δίκτυο"117

Πίνακας 18 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση απο το οδικό δίκτυο".....	117
Πίνακας 19 "Στοιχεία υπολογισμού επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης εκπαίδευσης".....	129
Πίνακας 20 "Στοιχεία υπολογισμού επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης"	132
Πίνακας 21 "Στοιχεία υπολογισμού επιδεκτικότητας της έκτασης που καταλαμβάνει το οδικό δίκτυο"	135

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Φυσικές Καταστροφές και Κατολισθητικά Φαινόμενα

Τις τελευταίες δεκαετίες οι απώλειες, τόσο σε ανθρώπινο όσο και σε οικονομικό επίπεδο, που οφείλονται σε φυσικές καταστροφές (όπως οι πλημμύρες, οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις κ.α.), ακολουθούν αυξητική πορεία. Παρολαυτά, ο χαρακτηρισμός «φυσικές καταστροφές» δεν αντικατοπτρίζει εξολοκλήρου τα ακραία αυτά φαινόμενα, αλλά προκύπτει με βάση τις συνέπειες του φαινομένου απέναντι στην ανθρώπινη ύπαρξη. Γενικότερα, η εκδήλωση ενός ακραίου φαινομένου αποτελεί έναν φυσικό κίνδυνο, που ενδεχομένως να προκαλέσει μια φυσική καταστροφή.

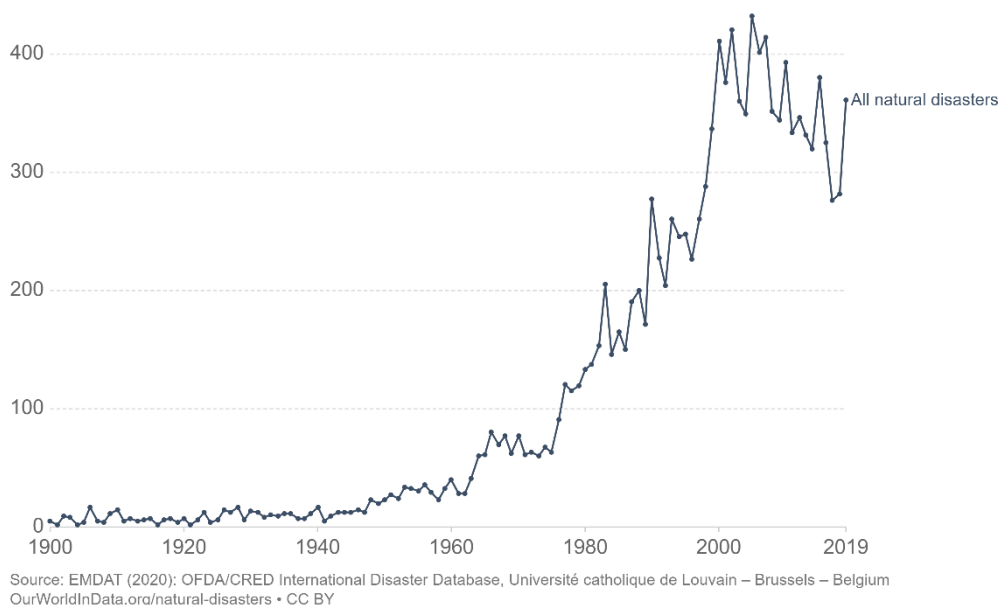
Μια τυπολογική ταξινόμηση των φυσικών καταστροφών όπως παρουσιάζεται από την οργάνωση της Παγκόσμιας Βάσης Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών, δίνεται στον Πίνακα 1. Διαχωρίζονται πέντε (5) κατηγορίες: Βιολογικές, Γεωφυσικές, Υδρολογικές, Μετεωρολογικές, Κλιματολογικές.



Εικόνα 1.1 "Ταξινόμηση Φυσικών Καταστροφών" (EM-DAT)

Ανάμεσα στις Γεωφυσικές και Υδρολογικές φυσικές καταστροφές συγκαταλέγονται: οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι κατολισθήσεις, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι διαβρώσεις

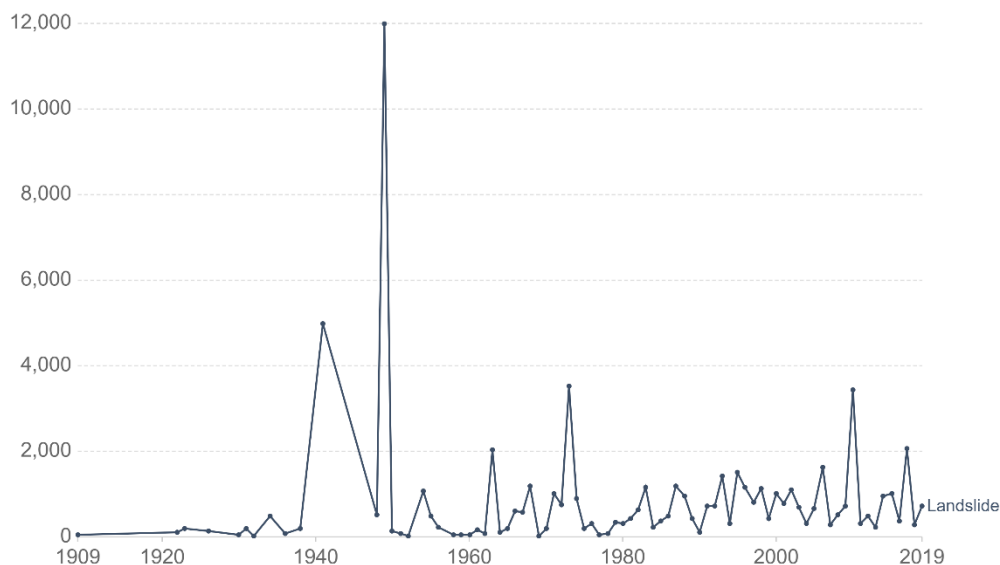
των ακτών, οι καθιζήσεις κ.α. Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Βάσης Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών για το έτος 2019, καταγράφηκαν 361 φυσικές καταστροφές με 11.719 ανθρώπινες απώλειες (Ritchie & Roser, 2019), όπως



Εικόνα 1.2 " Χάρτης καταμέτρησης φυσικών καταστροφών για το εύρος ετών από 1900 έως 2019" (EMDAT, 2019)

αποτυπώνεται και στην Εικόνα 1.1.

Ανάμεσα στις φυσικές καταστροφές, οι κατολισθήσεις είναι απο τις πιο διαδεδομένες και πιο συχνά εμφανιζόμενες στον κόσμο, με πολύ σημαντικές επιπτώσεις ως προς την ανθρώπινη ζωή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2, που αποτυπώνει τους παγκόσμιους θανάτους που σχετίζονται με κάποιο κατολισθητικό φαινόμενο. Ο κίνδυνος θνησιμότητας από τις κατολισθήσεις αυξάνεται σε περιοχές με απότομο ανάγλυφο,



Εικόνα 1.3" Διάγραμμα καταμέτρησης θανάτων σχετιζόμενων με τις κατολισθήσεις για το εύρος τιμών 1909 έως 2019" (EMDAT, 2019)

όπως οι περιοχές κοντά στην οροσειρά των Άνδεων ή των Ιμαλαίων, όπως αποτυπώνεται από την *Εικόνα 1.3*. Οι κύριοι λόγοι για την αύξηση της συχνότητας καταστροφών από κατολισθήσεις είναι η αύξηση της ευαισθησίας της επιφάνειας του εδάφους ως προς την ευστάθεια, αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης των φυσικών πόρων και της αποδάσωσης, ενώ ακόμα η αλλαγή του κλίματος και η εμφάνιση

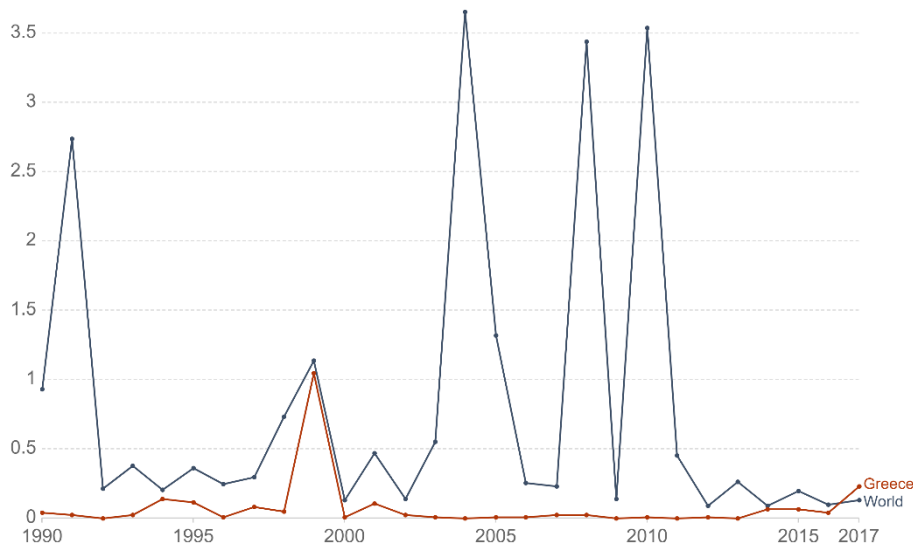


Εικόνα 1.4 "Χάρτης παγκόσμιας κατανομής κινδύνου θνησιμότητας από κατολισθήσεις" (Ritchie & Roser, 2019)

περισσότερων ακραίων καιρικών συνθηκών μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην παρατηρούμενη αύξηση αυτή.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται πως η γνώση του κινδύνου κατολισθήσεων σε μία περιοχή και η απεικόνισή του σε χάρτες, είναι μία καθοριστικής σημασίας εργασία για τον σχεδιασμό τεχνικών έργων, την ανάπτυξη αστικού σχεδιασμού και τη βέλτιστη επιλογή χρήσεων γης.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα των κατολισθήσεων είναι αρκετά έντονο, συχνά όμως δεν αναδεικνύεται ως ιδιαίτερος φυσικός κίνδυνος δεδομένου ότι καλύπτεται πολλές φορές όσον αφορά στις δυσμενείς επιπτώσεις του από άλλους φυσικούς κινδύνους (π.χ. σεισμούς, πλημμύρες, διαβρώσεις) ή εντάσσεται στο πλαίσιο μελέτης, κατασκευής και λειτουργίας των διάφορων τεχνικών έργων ή άλλων σχεδιασμών. Το μέγεθος του προβλήματος γίνεται αντιληπτό και από τις *Εικόνες 1.3* και *1.4*. Στη πρώτη, η Ελλάδα εμφανίζεται να βρίσκεται στη ζώνη μεσαίου κινδύνου θνησιμότητας, ενώ στη δεύτερη αποτυπώνονται οι θάνατοι σχετιζόμενοι με κάποιο κατολισθητικό φαινόμενο στην Ελλάδα και στον κόσμο.



Εικόνα 1.5 " Διάγραμμα καταμέτρησης θανάτων σχετιζόμενων με κατολισθητικά φαινόμενα στην Ελλάδα και στον κόσμο" (Ritchie & Roser, 2019)

1.2 Διαχείριση του φαινομένου των κατολισθήσεων

Από τα τέλη του περασμένου αιώνα οι επιστήμονες στράφηκαν προς την ανάπτυξη στρατηγικών για την πρόβλεψη και τη μείωση των επιπτώσεων που έχουν τα κατολισθητικά φαινόμενα, σε αντίθεση με το παρελθόν όπου η αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, στηριζόταν σε στρατηγικές που είχαν να κάνουν με την εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης και μόνο. Έτσι, οι ενέργειες όλων των εμπλεκόμενων φορέων, συντονίζονται με βάση τους στόχους που τέθηκαν από την ομάδα εργασίας της *UNESCO* κατά την δεκαετία του 90΄και αφορούν:

- 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 της σχετικής με τις φυσικές καταστροφές,
- στην προσαρμογή αναπτυξιακού σχεδιασμού για το ευρύτερο περιβάλλον που κινδυνεύει,
- στην ανάπτυξη υποδομών έγκαιρης προειδοποίησης και στη δημιουργία στρατηγικών αντιμετώπισης των φυσικών καταστροφών.

(WP/WLI, 1994)

1.3 Αντικείμενο και διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η αποτύπωση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας των γεωλογικών σχηματισμών στη λεκάνη απορροής του Αράχθου ποταμού, στην Ήπειρο, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Ακόμα, πραγματοποιούνται χωρικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαδρομής διαφυγής, στην περίπτωση ενός κατολισθητικού συμβάντος, της εύρεσης των κοντινότερων υποδομών υποστήριξης, καθώς και της χωροθέτησης βέλτιστων περιοχών εξυπηρέτησης.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο (1^ο) κεφάλαιο γίνεται αναφορά για το σύνολο των φυσικών καταστροφών, για τις επιπτώσεις που προκαλούνται από αυτά, καθώς και για το πώς δύναται να διαχειριστούν τέτοια φαινόμενα.

Το δεύτερο (2^ο) κεφάλαιο αναφέρεται στα κατολισθητικά φαινόμενα. Παρουσιάζονται οι ταξινομήσεις, που έχουν προταθεί και εδραιωθεί, με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους. Αναφέρονται, επίσης, οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, καθώς και γίνεται λόγος για την έκταση του φαινομένου στον Ελλαδικό χώρο.

Στο τρίτο (3^ο) κεφάλαιο παρουσιάζονται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.). Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές λειτουργίας τους και στις εφαρμογές τους στα κατολισθητικά φαινόμενα, ενώ, ακόμα, δίνονται πληροφορίες σχετικές με τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

Στο τέταρτο (4^ο) κεφάλαιο γίνεται λόγος για την εκτίμηση της επικινδυνότητας εκδήλωσης μια κατολίσθησης, ενώ ακόμα παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της ζωνοποίησης της επικινδυνότητας μέσω της κατασκευής χαρτών. Επίσης, γίνεται ανάλυση των μεθόδων εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα.

Στο πέμπτο (5^ο) κεφάλαιο περιγράφονται οι επιπτώσεις των κατολισθητικών φαινομένων, καθώς και διάφοροι τρόποι αποτροπής και ανάσχεσης αυτών των φαινομένων.

Στο έκτο (6^ο) κεφάλαιο περιγράφεται η αναπτυχθείσα μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία περιλαμβάνει την στατιστική ανάλυση με χρήση της μεθόδου λόγων συχνοτήτων (*Frequency Ratio*), καθώς και την ανάλυση δικτύων.

Στο έβδομο (7^ο) κεφάλαιο γίνεται ο ορισμός της περιοχής έρευνας της παρούσας εργασίας και περιγράφονται τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας. Ακόμα, πραγματοποιείται η εφαρμογή της αναπτυχθείσας μεθοδολογικής προσέγγισης και αποτυπώνεται ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της περιοχής.

Το όγδοο (8^ο) κεφάλαιο αποτελεί το τελικό κεφάλαιο της εργασίας και περιλαμβάνει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που έχουν διαπιστωθεί από τα προηγούμενα κεφάλαια.

2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.1 Ορισμός Κατολισθήσεων

Με τον όρο «κατολίσθηση» νοείται η μετακίνηση μάζας γεωλογικού σχηματισμού, που εκδηλώνεται σε επιφάνειες/πρανή υπό την επίδραση της βαρύτητας, όταν αυτή υπερβαίνει τη δύναμη της τριβής που αναπτύσσει το υλικό με το πρανές. Η μετακίνηση αυτή πρακτικά οφείλεται σε αστοχία του πρανούς κατά μια συγκεκριμένη επιφάνεια ή συνδυασμό επιφανειών και είναι αποτέλεσμα στατικών ή δυναμικών ή συνδυασμού αυτών φορτίων, που οδηγεί στην υπέρβαση της δύναμης της βαρύτητας. Μέσω της εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων, τα πρανή που αστοχούν, οδηγούνται σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας και έτσι πραγματοποιούνται μεταβολές στη γεωμορφολογία του εδάφους.

Με το πέρασμα των ετών, πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να αποδώσουν τον όρο «κατολίσθηση» και ό,τι αυτός περιλαμβάνει, με τους επικρατέστερους να είναι οι παρακάτω:

- Ο *Terzaghi* το 1950 θεωρεί ως κατολίσθηση «*μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού (residual) εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω*».
- Οι *Zarumba* και *Mencl* το 1969 ορίζουν ως κατολίσθηση «*μια γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια*».
- Ο *Varnes* το 1978 εισάγει τον όρο «μετακίνηση μαζών» αντί του όρου «κατολίσθηση» και κατ' αυτόν τον τρόπο στο φαινόμενο των κατολισθήσεων συμπεριλαμβάνεται κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως με τον παραπάνω όρο δεν περιλαμβάνονται στις κατολισθήσεις φαινόμενα όπως οι καθιζήσεις, οι χιονοστιβάδες και οι μετακινήσεις του πάγου.
- Ο *Cruden* το 1991 ορίζει ως κατολίσθηση «*την κίνηση μιας μάζας βράχου, εδάφους ή κορωμάτων προς τα κατόντη ενός πρανούς*».

Από το 1978 μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως ο ορισμός που απέδωσε ο *Varnes*, παρόλες τις προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί ώστε να αποδοθεί στο

φαινόμενο ένας ακόμα πιο γενικός ορισμός, ο οποίος να περιλαμβάνει και τα φαινόμενα των καθιζήσεων και των καταρρεύσεων.

(Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

2.2 Ταξινόμηση Κατολισθήσεων

2.2.1 Εισαγωγή

Για τη ταξινόμηση των κατολισθήσεων έχουν προταθεί, κατά καιρούς, διάφορα συστήματα ταξινόμησης, τα οποία λαμβάνουν υπόψιν κατά κύριο λόγο παραμέτρους, όπως:

- τον τύπο – είδος του υλικού κατολίστεσης,
- την περιεχόμενη υγρασία του κατολισθαίνοντος υλικού,
- τον τύπο της κίνησης (κατάπτωση, ολίσθηση κ.α.),
- το αίτιο της κίνησης (σεισμός, ανθρώπινος παράγοντας κ.α.).

2.2.2 Ταξινόμηση με βάση τον τύπο μετακίνησης

Οι *Zaruba* και *Mencl* απέδωσαν το 1969 ένα σύστημα ταξινόμησης, σύμφωνα με το οποίο διακρίνονται τέσσερις (4) κύριες κατηγορίες μετακινήσεις πρανών ανάλογα με τη σύσταση των μετακινούμενων υλικών, οι οποίες υποδιαιρούνται περαιτέρω ανάλογα με τον χαρακτήρα του γεωλογικού σχηματισμού και τον τύπο της μετακίνησης. Οι κύριες κατηγορίες του συστήματος αυτού είναι οι ακόλουθες:

1. Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων.
2. Μετακινήσεις στα αργιλικά εδάφη και πετρώματα.
3. Μετακινήσεις συμπαγών πετρωμάτων.
4. Ειδικοί τύποι μετακίνησης (όπως η εδαφική ροή λόγω παγετού).

Ο *Varnes* το 1978 απέδωσε ένα νέο σύστημα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, σύμφωνα με το οποίο περιλαμβάνονται όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή, εκτός των καθιζήσεων. Το σύστημα αυτό στηρίχθηκε σε δύο (2) παραμέτρους:

1. Στο τύπο μετακίνησης.
2. Στο είδος του μετακινούμενου υλικού.

Σύμφωνα με αυτό το σύστημα ταξινόμησης, κάθε κατολίστεση μπορεί να αποδοθεί με δύο μόνο λέξεις, από τις οποίες η πρώτη θα περιγράφει τον τύπο της κίνησης και η

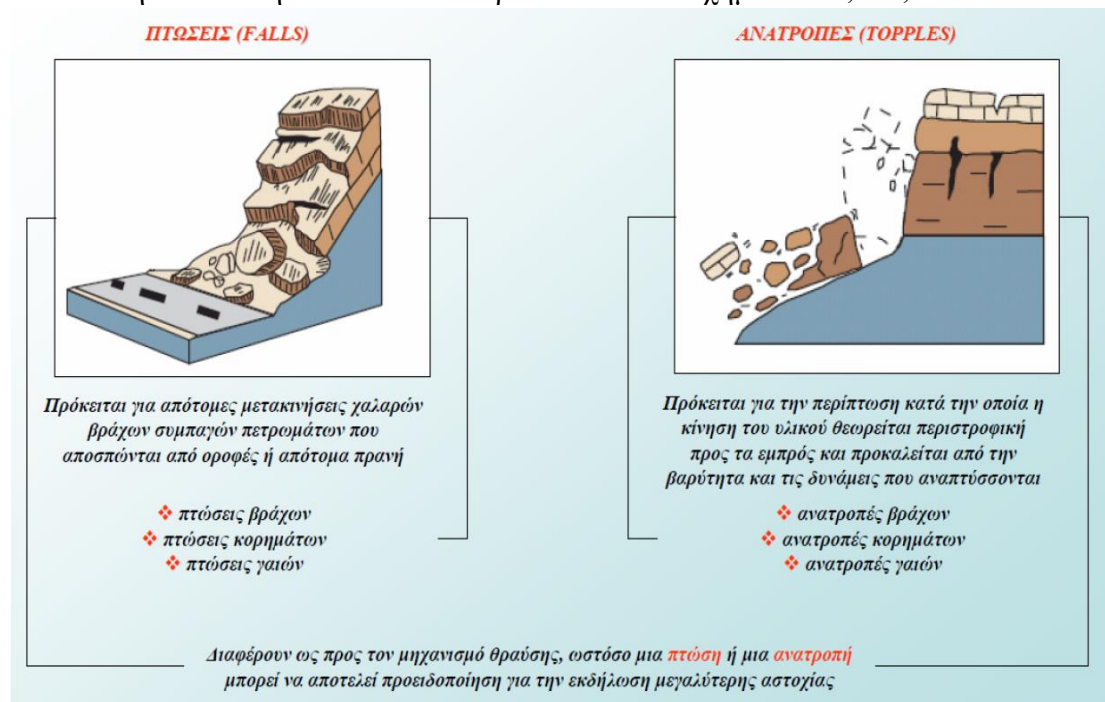
δεύτερη το είδος του υλικού που κατολισθαίνει. Η ακριβής ταξινόμηση δίνεται στον

Πίνακα 1.

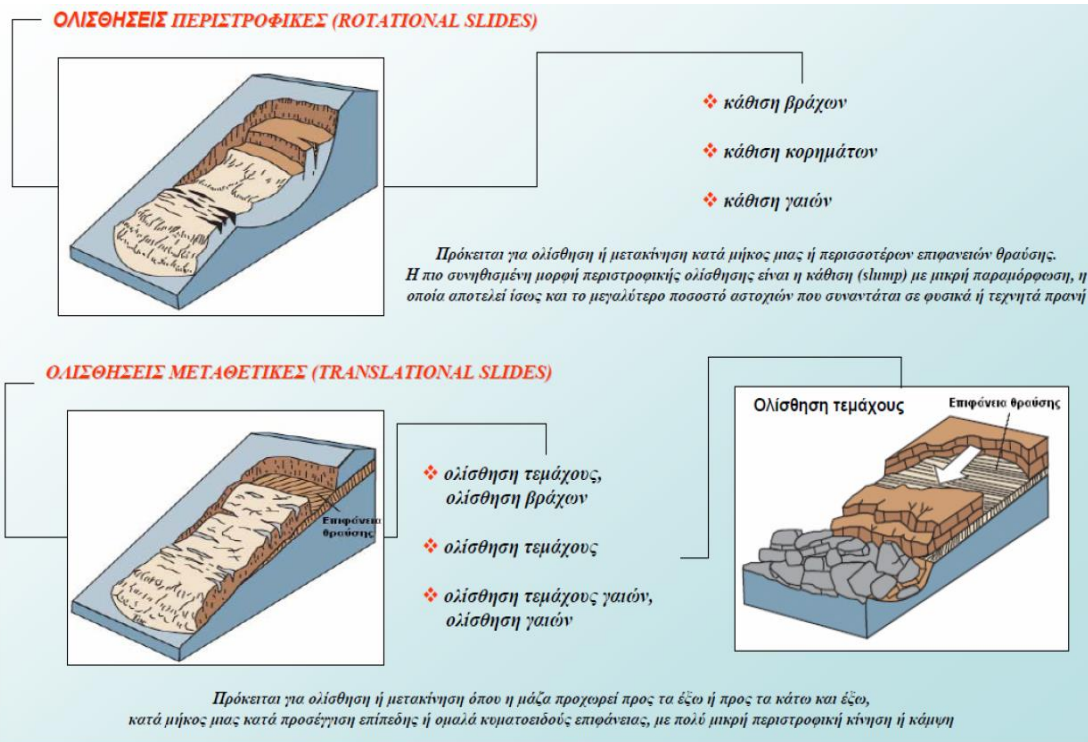
Πίνακας 1 “Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes” (Varnes, 1978)

Τύπος Μετακίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού		
		Βραχώδες Υπόβαθρο	Μηχανικά εδάφη	
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Κατάπτωση		Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική ολίσθηση γαιών
Πλευρική Εξάπλωση		Πλευρική Εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών
Ροή		Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
			(ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετη		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων		

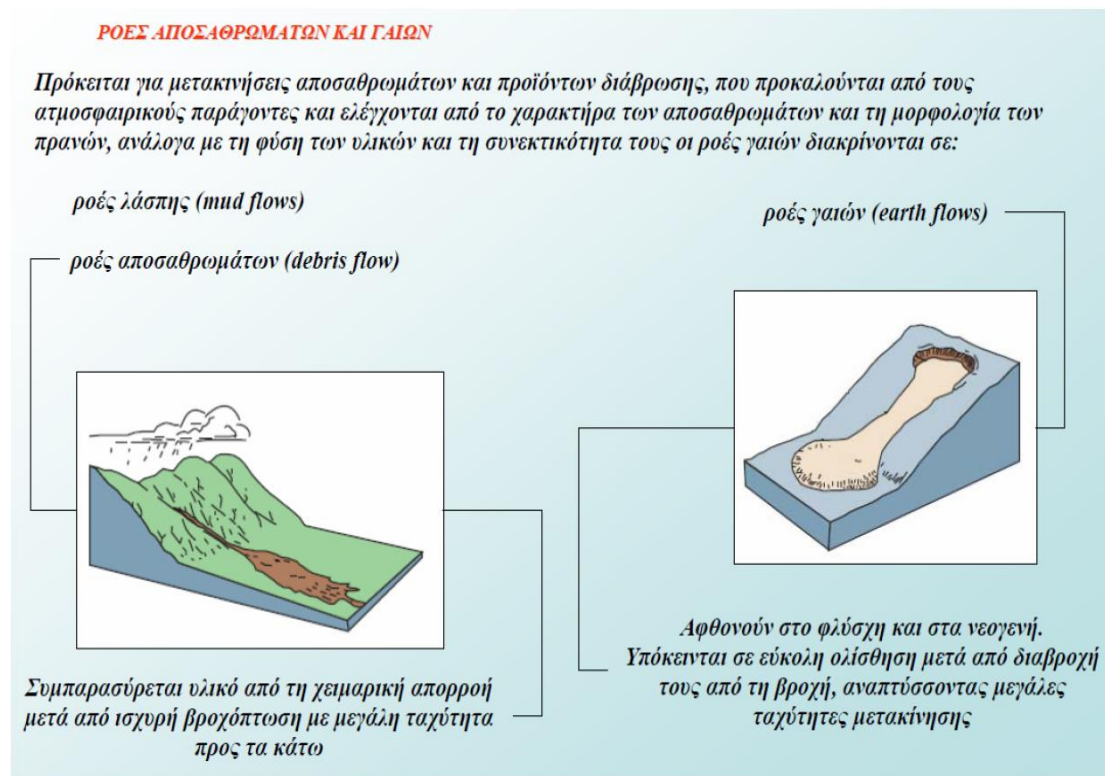
Η τελική μορφή του προαναφερθέντος συστήματος ταξινόμησης του Varnes (1978) αποδόθηκε το 1996 από τους Cruden & Varnes και περιλαμβάνει τα είδη των κατολισθητικών κινήσεων που αναπαριστώνται στα σχήματα 2.1, 2.2, 2.3 και 2.4:



Σχήμα 2.1 “Πτώσεις και Ανατροπές” (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996, Τροποποιημένα από Τσαγγαράτος, 2012)



Σχήμα 2.2 “Περιστροφικές και Μεταθετικές Ολισθήσεις” (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996, Τροποποιημένα απο Τσαγγαράτος, 2012)



Σχήμα 2.3 “Ροές Γαιών και Αποσαθρωμένων” (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996, Τροποποιημένα απο Τσαγγαράτος, 2012)

ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ



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

Επικρατεί η πλευρική διάταση που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές

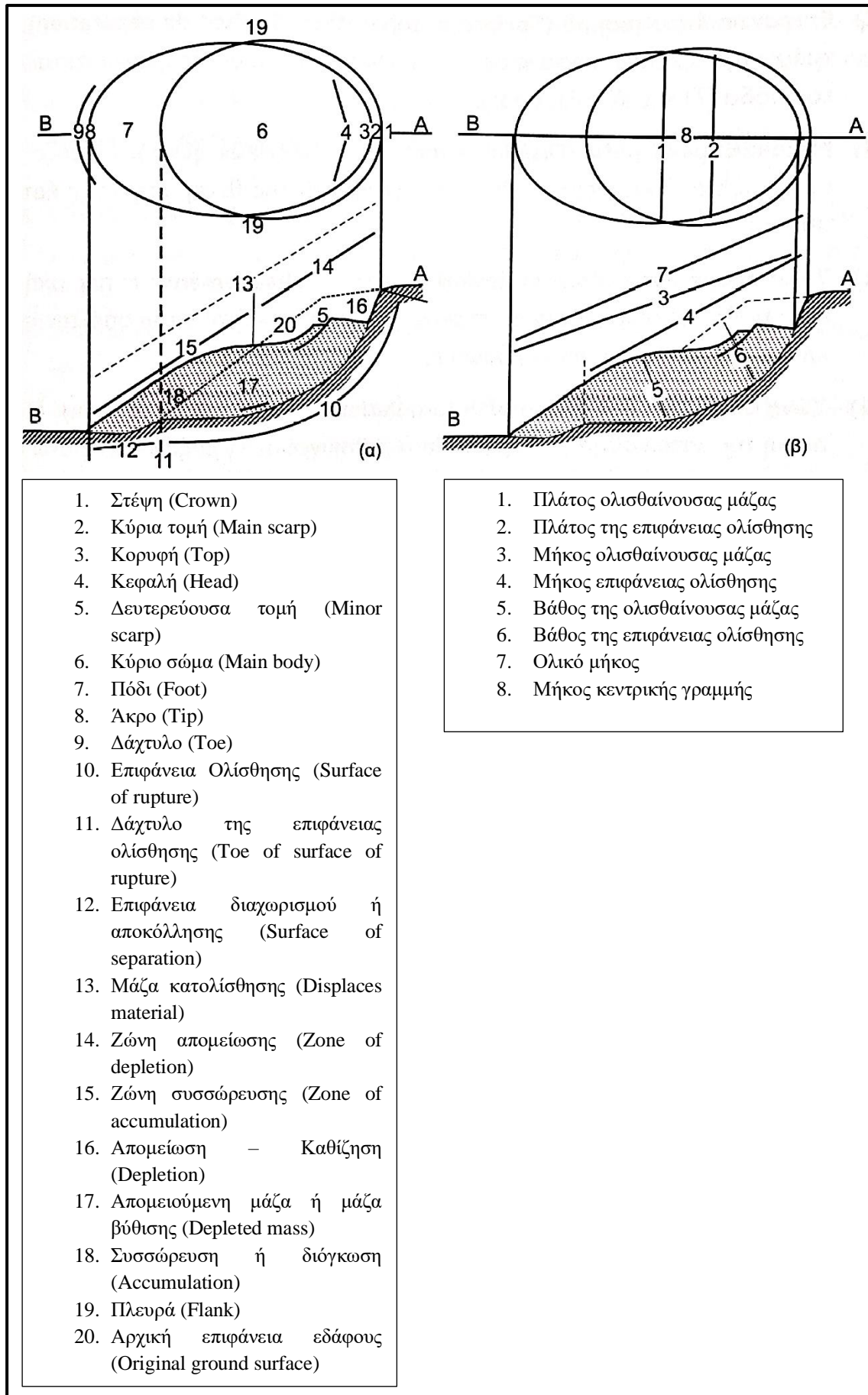
Θεωρούνται ως ο τύπος των κατολισθήσεων με την εκδήλωση μερικών από τα πιο καταστροφικά φαινόμενα μετακίνησης πρηνών, σε απώλειες ζωής και καταστροφής περιουσιών

Διακρίνονται δυο τύποι πλευρικών εκτάσεων:

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

Σχήμα 2.4 “Πλευρικές Εκτάσεις” (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996, Τροποποιημένα από Τσαγγαράτος, 2012)

Το έτος 1990 η Διεθνής Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG) πρότεινε ένα πρότυπο διάγραμμα στο οποίο αποτυπώνονται όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας περιστροφικής κατολίσθησης, καθώς και η λεπτομερής ονοματολογία αυτών. Το διάγραμμα στηρίχθηκε στη αρχική ταξινόμηση που είχε αποδώσει ο Varnes (1978) και σε γενικές γραμμές τη συμπληρώνει. Σε αυτό αποτυπώνονται με σαφήνεια το απότομο βύθισμα της επιφάνειας του τοπογραφικού της περιοχής στο ανώτερο τμήμα του, που ορίζεται από την κύρια τομή, η οποία δημιουργήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας, καθώς και το κύριο σώμα της κατολίσθησης. Ο καθορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας κατολίσθησης είναι σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση του όγκου της κατολισθαίνουσας μάζας. Αυτή η πληροφορία έχει ιδιαίτερη βαρύτητα κατά τη μελέτη και σχεδίαση των μέτρων αποκατάστασης και αντιμετώπισης του φαινομένου. Αξίζει να τονιστεί πως, πλέον, το διάγραμμα χρησιμοποιείται για τη περιγραφή όλων των κατολισθητικών φαινομένων σε γενικότερο πλαίσιο. Το διάγραμμα αυτό αποτυπώνεται στην *Εικόνα 2.1*, που ακολουθεί.



Εικόνα 2.1 "Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης" (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

2.2.3 Ταξινόμηση με βάση την ταχύτητα

Η ταχύτητα μετακίνησης μιας κατολισθήσεως αποτελεί παράμετρο, που σχετίζεται άμεσα με τις συνέπειες, που προκύπτουν, τόσο σε ανθρώπινες απώλειες, όσο και σε γενικότερες καταστροφές. Η πρώτη ταξινόμηση των κατολισθήσεων, ανάλογα με την ταχύτητά τους, προτάθηκε από τον Varnes (1978). Στους Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται η τροποποιημένη ταξινόμηση των κατολισθήσεων από τους Varnes και Cruden (1996), καθώς και οι πιθανές βλάβες, που δύναται να προκληθούν.

Πίνακας 2 " Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα τους" (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996)

Κατηγορία Ταχύτητας Μετακίνησης	Περιγραφή	Ταχύτητα (mm/sec)	Τυπική Ταχύτητα
1	Εξαιρετικά αργή	$<5 \cdot 10^{-7}$	<15 mm/year
2	Πολύ αργή	$5 \cdot 10^{-7}$	15 mm/year
3	Αργή	$5 \cdot 10^{-5}$	1,6 m/year
4	Μέτρια	$5 \cdot 10^{-3}$	13 m/month
5	Γρήγορη	$5 \cdot 10^{-1}$	1,8 m/hr
6	Πολύ γρήγορη	$5 \cdot 10^1$	3 m/min
7	Εξαιρετικά γρήγορη	$>5 \cdot 10^3$	>5 m/sec

Πίνακας 3 "Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης" (Varnes, 1978 ; Cruden & Varnes, 1996)

Κατηγορία ταχύτητας μετακίνησης	Πιθανές βλάβες
1	Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με μετρήσεις από ειδικά όργανα, λόγω του μικρού μεγέθους. Δεν προκαλούνται βλάβες στις κατασκευές, αν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα
2	Ελάχιστες βλάβες, ορισμένες από τις μόνιμες κατασκευές παραμένουν ανέπαφες
3	Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση
4	Μερικές προσωρινές και ανθεκτικές εγκαταστάσεις είναι δυνατόν να διατηρηθούν
5	Οι υποδομές πλήττονται από μεγάλες βλάβες, όμως καθίσταται ασφαλής η απομάκρυνση των πολιτών
6	Περιορισμένος χρόνος για απομάκρυνση όλων των πολιτών, με συνέπεια μερικού θανάτους
7	Καταστροφές κτηρίων λόγω πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι

2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων

Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης οφείλεται σε συνδυασμένη δράση πολλών και διαφορετικών, μεταξύ τους, παραγόντων. Αυτοί προκαλούν διατάραξη στην ισορροπία του πρανού, με αποτέλεσμα την αστοχία και τη μετακίνηση του. Μερικοί από τους παράγοντες επιδρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι αυτοί που συμβάλουν ώστε το πρανές να είναι ευάλωτο στην αστοχία, ενώ άλλοι επιδρούν περιοδικά και αποτελούν το έναυσμα, δηλαδή το μοναδικό γεγονός που ενεργοποιεί την εκδήλωση του φαινομένου.

Σύμφωνα με την *Ομάδα Εργασίας της UNESCO για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων* (WP/WLI, 1994), ο όρος «*αίτια των κατολισθήσεων*» δεν είναι ικανός να αποδώσει με ακρίβεια την έκταση του φαινομένου. Έτσι, προτείνουν την αντικατάστασή του, από τους όρους «*συνθήκες*» και «*διεργασίες*», οι οποίες οδηγούν στην αλλαγή του καθεστώτος ισορροπίας ενός φυσικού ή τεχνητού πρανού. Κατά την επιτροπή, οι παράγοντες αυτοί ταξινομούνται σε τέσσερις (4) κατηγορίες, ανάλογα με τη προέλευση τους. Αυτές είναι:

1. *Εδαφικές συνθήκες (ground conditions)*. Αφορούν παράγοντες που αναφέρονται στα γενικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών ή της βραχομάζας, όπως ο βαθμός αποσάθρωσης, ο βαθμός διάτμησης κ.α.
2. *Γεωμορφολογικές διεργασίες (geomorphological processes)*. Οι παράγοντες αυτοί αναφέρονται στις μεταβολές της γεωμορφολογίας του εδάφους, όπως η τεκτονική ανύψωση, η ποτάμια διάβρωση της βάσης των πρανών κ.α.
3. *Φυσικές διεργασίες (physical processes)*. Αναφέρονται στους παράγοντες που αφορούν τον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο, όπως η έντονη βροχόπτωση, οι σεισμοί, το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού κ.α.
4. *Ανθρωπογενείς διεργασίες (man – made processes)*. Αφορούν παράγοντες που μπορούν να εκτιμηθούν από επιτόπου παρατηρήσεις και καταγραφές, όπως εκσκαφές στο πόδι του πρανού, τεχνητές δονήσεις από μηχανήματα ή κυκλοφορία κ.α.

2.4 Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο

Η Ελλάδα αποτελεί τμήμα του Αλπικού συστήματος ορογένεσης, το οποίο διακρίνεται από τα υπόλοιπα, διότι είναι το πιο πρόσφατο γεωλογικά ορογενετικό σύστημα που έδρασε κατά το Μεσοζωικό – Καινοζωικό αιώνα και έδωσε όλες τις μεγάλες οροσειρές, όπως τις Άλπεις και τα Ιμαλάια. Έτσι λοιπόν, σε μια ενεργή γεωτεκτονικά περιοχή, με σύνθετη δομή και έντονη τεκτονική καταπόνηση, δε θα μπορούσαν να λείπουν φαινόμενα όπως οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις κ.α.

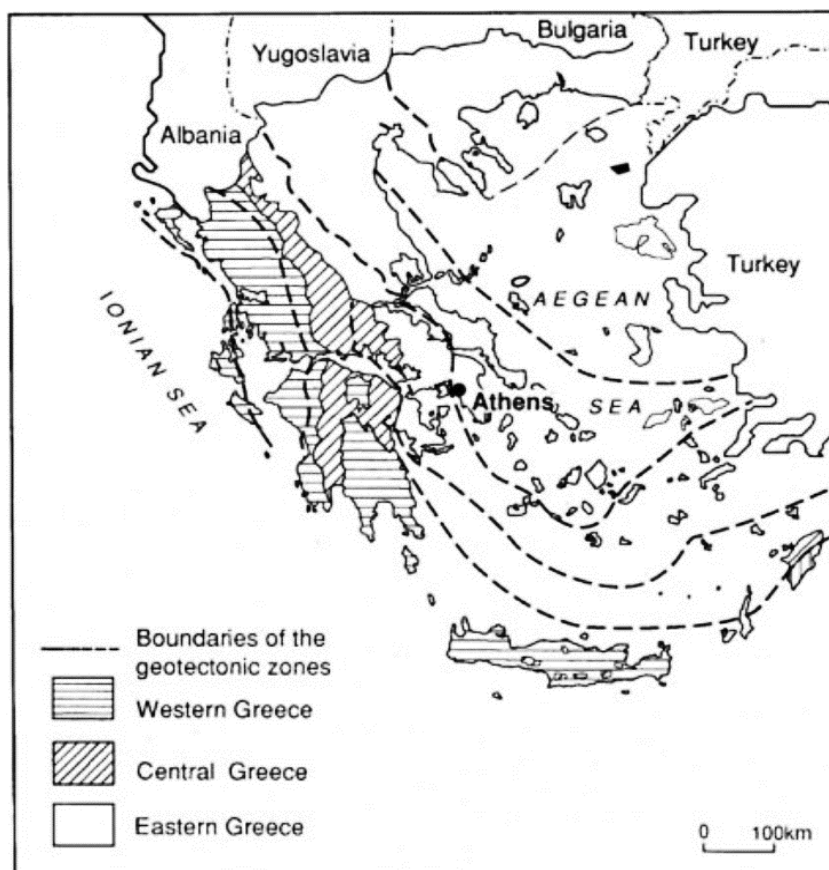
Το παραπάνω γεγονός επαληθεύεται τόσο από τις καταγραφές του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), όσο και από το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ). Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτών των υπηρεσιών, το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθητικών κινήσεων εμφανίζονται σε οικιστικές περιοχές και οδικούς άξονες, δηλαδή σε περιοχές με έντονες ανθρωπογενείς επιδράσεις. Το πρόβλημα παρουσιάζεται εντονότερο στην Κεντρική και Δυτική Ελλάδα αλλά και σε περιοχές των νομών Πιερίας, Ηλείας, Μαγνησίας και Εύβοιας. (Ηλια, 2013)

Οι Κούκης και Ρόζος (1982), λαμβάνοντας υπόψιν τους την χωρική κατανομή και τη συχνότητα των κατολισθητικών τάσεων, διέκριναν τον Ελλαδικό χώρο σε τρεις σαφείς ενότητες: την *Δυτική*, την *Κεντρική* και την *Ανατολική*, με τους σχηματισμούς να εντάσσονται σε γεωτεκτονικές ζώνες με χαρακτηριστική γεωμηχανική συμπεριφορά, απόκτημα της γεωτεκτονικής εξέλιξης και των αποσαθρωτικών και διαβρωτικών διεργασιών. Οι τρεις ενότητες αποτυπώνονται στην *Εικόνα 2.2*.

Οι περισσότερες και μεγαλύτερες κατολισθήσεις που εκδηλώθηκαν ή εκδηλώνονται στον Ελληνικό χώρο, αποτελούν, κατά κύριο λόγο, ευαίσθητες γεωλογικά ζώνες και εντοπίζονται ιδιαίτερα στην *Δυτική* και *Κεντρική* ενότητα, όπου οι διάφοροι παράγοντες όπως η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών, η δράση των τεκτονικών - νεοτεκτονικών δυνάμεων, το τοπογραφικό ανάγλυφο και οι κλιματικοί παράγοντες (απότομες και μεγάλου ύψους ροές, παρατεταμένες χιονοπτώσεις και μεγάλης διάρκειας παγετός), έχουν διαμορφώσει συνθήκες κατάλληλες για την εκδήλωση κατολισθήσεων και μάλιστα σε ευρεία κλίμακα, ώστε να δημιουργούν σοβαρά προβλήματα. (Κούκης Γ. , 1980)

Από τα παραπάνω παρατηρείται πως στην *Ανατολική* ενότητα καταγράφεται η μικρότερη συχνότητα κατολισθητικών φαινομένων, λόγω του ότι οι γεωλογικοί

σχηματισμοί που τη δομούν, χαρακτηρίζονται από βελτιωμένες γεωτεχνικές ιδιότητες, συγκριτικά με τις άλλες δύο ενότητες. Πιο συγκεκριμένα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί αυτής της ενότητας παρουσιάζονται περισσότερο συμπαγείς και συνεκτικοί με μεγάλο πάχος και ομοιόμορφη κατανομή γεωτεχνικών χαρακτηριστικών. Οι αστοχίες αυτής της ενότητας εμφανίζονται κυρίως στον μανδύα αποσάθρωσης των γενέσιων, σχιστογενέσιων και γρανιτογενεσιών, αλλά και σε ζώνες που καταλαμβάνονται από νεογενή πετρώματα, λεπτομερούς κυρίως φάσεως, όπως μάργες κ.α. (Ηλια, 2013).



Εικόνα 2.2 “Χάρτης Γεωτεκτονικών Ζωνών Ελλάδος” (Koukis & Koutsoyiannis, 1997)

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

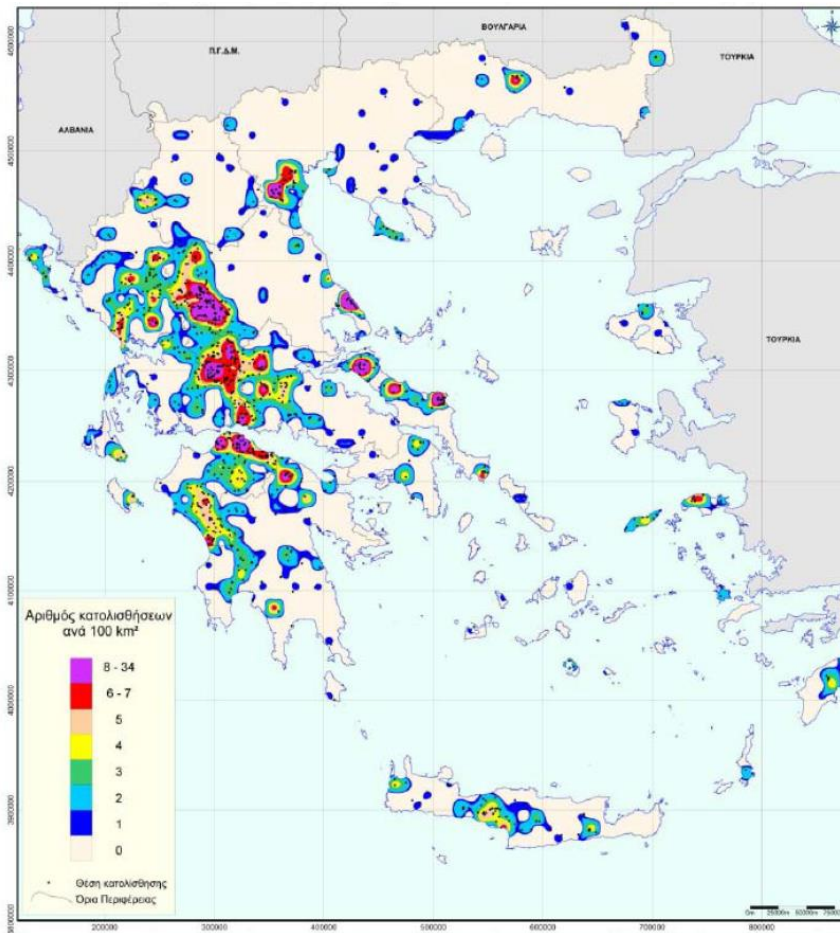
- Γεωλογικούς σχηματισμούς υψηλότερης μηχανικής αντοχής που καλύπτουν σχηματισμούς με μικρότερη μηχανική αντοχή. Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάσσονται οι συμπαγείς σχηματισμοί, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλή διατμητική αντοχή, παρουσιάζουν αντίσταση στη διάβρωση και επιτρέπουν τη δημιουργία πρανών με μεγάλη μορφολογική κλίση.

- Εναλλαγές στρωμάτων που έχουν διαφορετικές τιμές παραμέτρων μηχανικής αντοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων σχηματισμών αποτελεί ο φλύσχης, όπου οι κατολισθήσεις εννοούνται περαιτέρω εξαιτίας της επιλεκτικής δράσης των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών συνθηκών.
- Δομές που επηρεάζονται από την τεκτονική δραστηριότητα. Αφορά τους σχηματισμούς οι οποίοι παρουσιάζονται να έχουν χαλαρωμένη δομή από αυτή που παρουσιάζουν οι υποκείμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί.

Μια από τις πρώτες συστηματικές ερευνητικές εργασίες επί του φαινομένου των κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο ήταν αυτή του Ζιούρκα (1989), ο οποίος αποτύπωσε την κατολισθητική επιδεκτικότητα του συνόλου των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην Ελλάδα. Ο Ζιούρκας εκτίμησε ότι, η συχνότητα των εκδηλωμένων κατολισθήσεων φτάνει το 36% στην λιθολογική ενότητα του φλύσχη, το 30% στην ενότητα που περιλαμβάνει τα νεογενή και τις μολλασικές εμφανίσεις, το 16% στις τεταρτογενείς αποθέσεις, όπου συμμετέχουν κυρίως τα πλευρικά κορήματα των κλιτύων, ενώ σε μικρό ποσοστό εντοπίζονται κατολισθητικά φαινόμενα στις ενότητες των μεταμορφωμένων σχιστώδων πετρωμάτων, των ανθρακικών και των ηφαιστειακών πετρωμάτων (Ηλια, 2013).

Αποτυπώνοντας τη στατιστική προσέγγιση και δίνοντας τη χωρική διάσταση του φαινομένου των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο, ο Βασιλειάδης (2010) παρουσίασε μια αποτύπωση της γεωγραφικής κατανομής των κατολισθήσεων, όπου διακρίνονται σαφώς περιοχές με αυξημένη πυκνότητα κατολισθητικών συμβάντων. Η αποτύπωση αυτή παρουσιάζεται στην *Εικόνα 2.3*.

Σε γενικές γραμμές, η γεωλογική και γεωμορφολογική πολυμορφία με τις μεγάλες κλίσεις, την έντονη τεκτονική παραμόρφωση και την υψηλή σεισμικότητα, εξηγούν τον μεγάλο αριθμό κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο. Ιδιαίτερα οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, οδηγούν σε αποψίλωση των δασών και σε αφαίρεση της υποστήριξης των πρανών, με αποτέλεσμα, μόνο κατά μήκος του οδικού δικτύου, να έχουν καταγραφεί πάνω από 500 περιπτώσεις αστοχίας τα τελευταία 50 χρόνια (Ηλια, 2013).



Εικόνα 2.3 “Χάρτης συχνοτήτων κατολισθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο” (Βασιλειάδης, 2010)

2.4.1 Παραδείγματα κατολισθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο.

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, το φαινόμενο των κατολισθήσεων είναι ένα γεγονός που μαστίζει τον Ελλαδικό χώρο, σε ολόκληρη την έκταση του, εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου συμβάντος αποτελεί η γέννηση της

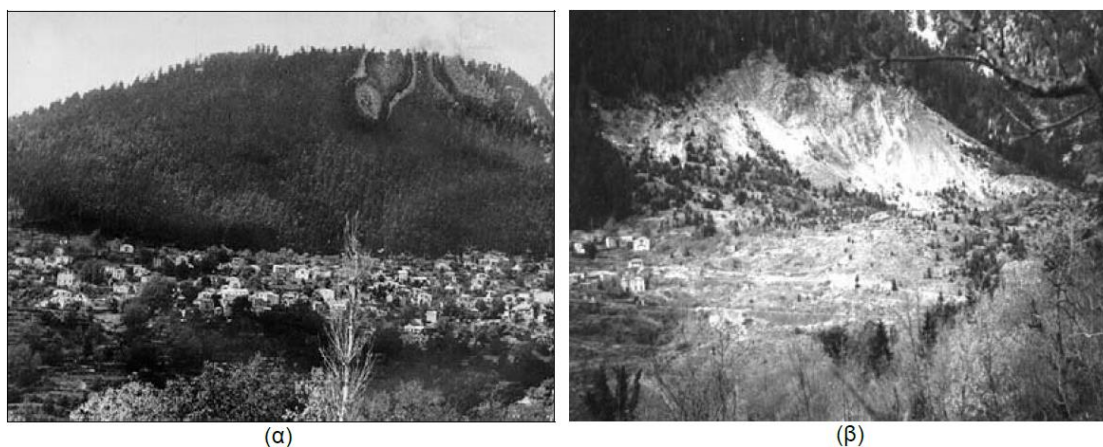
λίμνης Τσιβλού στον νομό Αχαΐας στις 24 Μαρτίου 1913, καθώς τα υλικά της κατολίπησης έφραξαν τα νερά του ποταμού Κράθη, αλλά και όλων των παραποτάμων του. Αποτέλεσμα αυτού του κατολισθητικού φαινομένου ήταν η ολοκληρωτική



Εικόνα 2.4 "Απεικόνιση της θέσης κατολίπησης στη λίμνη Τσιβλού" (Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κλειτορίας - Ακράτας, 2017)

καταστροφή του χωριού Συλίβαινα, καθώς και η εγκατάλειψη του οικισμού Τσιβλός (Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κλειτορίας - Ακράτας, 2017). Τα αποτυπώματα της κατολίσθησης είναι εμφανή μέχρι και σήμερα, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 2.4*.

Ένα ακόμα παράδειγμα τέτοιου φαινομένου, αποτελεί η περίπτωση της κατολίσθησης στο Μικρό Χωριό Ευρυτανίας στις 13 Ιανουαρίου 1963. Το αποτέλεσμα αυτής της κατολίσθησης ήταν η ολοκληρωτική καταστροφή μεγάλου μέρους του χωριού, καθώς και ο θάνατος δεκατριών (13) κάτοικων, ενώ όλοι οι κάτοικοι του χωριού αναγκάστηκαν να το εγκαταλείψουν (Ευρυτανικά Νέα, 2020). Στην *Εικόνα 2.5* δίνεται η απεικόνιση του χωριού πριν και μετά το κατολισθητικό γεγονός.



Εικόνα 2.5 "Γενική άποψη του Μικρού Χωριού (α) πριν την εκδήλωση του κατολισθητικού φαινομένου (β) μετά την εκδήλωση του φαινομένου" (Ρόζος & Αποστολίδης, 2004)

Στα νεότερα έτη έχουν καταγραφεί, εξίσου, πολλά κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία, ωστόσο έχουν ως αποτέλεσμα, κυρίως, υλικές καταστροφές, όπως καταστροφή οδικού δικτύου και οικισμών. Βέβαια, αυτό δεν σημαίνει πως οι κατολισθήσεις αυτές καθίστανται αδιάφορες, καθώς δυσχεραίνεται το έργο των συνεργείων για τον απεγκλωβισμό του οδικού δικτύου και τη παροχή βοήθειας προς τους πληγέντες οικισμούς. Παράδειγμα τέτοιων φαινομένων αποτελεί η κατολίσθηση της Μαλακάσας (*Εικόνα 2.6*) το έτος 1995, η οποία αποτελεί κατολίσθηση που έγινε επί προϋπάρχουσας επιφάνειας ολίσθησης με σημαντικές καταστροφές στην Εθνική Οδό Αθηνών - Λαμίας και την σιδηροδρομική γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης. Η εκδήλωση της προκάλεσε σημαντικότερες υλικές ζημιές και την διακοπή – έστω προσωρινά - των μετακινήσεων επί του οδικού και σιδηροδρομικού άξονα στο σημείο της κατολίσθησης .



Εικόνα 2.6 "Αεροφωτογραφία της κατολίσθησης της Μαλακάσας" (Καρβουνίδης, Ντούνιας , & Μπαρδάνης, 2005)

Ένα ακόμα παράδειγμα κατολίσθησης στα νεότερα έτη, αποτελεί η κατολίσθηση στα Τέμπη, τον Δεκέμβριο του 2009, όπου 500 τόνοι βράχων έφραξαν την εθνική οδό Αθηνών - Θεσσαλονίκης. Η κατολίσθηση ήταν αποτέλεσμα της έντονης βροχόπτωσης και είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο του αρχιμηχανικού της Σήραγγας των Τεμπών. Απεικόνιση της εν λόγω κατολίσθησης εμφανίζεται στην *Εικόνα 2.7*. (Λέκκας Ε. , 2009)



Εικόνα 2.7 "Απεικόνιση της κατολίσθησης των Τεμπών" (Λέκκας Ε. , 2009)

Μια ακόμα περίπτωση σύγχρονης κατολίσθησης εντοπίζεται στον οικισμό «Ροπωτό» των Τρικάλων. Αυτός αποτελούσε έναν οικισμό 650 κάτοικων με σοβαρό και χρόνιο πρόβλημα κατολίσθησης. Το πρόβλημα είχε αρχικά διαγνωστεί το 1963, με την εγκατάλειψη του, ωστόσο, να συμβαίνει το 2010, όπου μετά από έντονες βροχοπτώσεις, τα σπίτια του κεντρικού οικισμού υπέστησαν σοβαρές ζημιές και αρκετές οικογένειες τα εκκένωσαν. Απεικόνιση του φαινομένου γίνεται στην *Εικόνα 2.8*. (The Toc, 2016)



Εικόνα 2.8 "Απεικόνιση της κατολίσθησης στον οικισμό "Ροπωτό" Τρικάλων" (The Toc, 2016)

Ακόμα, πρόσφατο παράδειγμα του φαινομένου, αποτελεί, η κατάπτωση βράχων στον οικισμό Πλωμάρι Λέσβου στις 24 Νοεμβρίου 2018, κατά το οποίο καταστράφηκαν δεκατέσσερα (14) σπίτια (Ελαφρός, 2018), Απεικόνιση αυτού του συμβάν αποτυπώνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.9 "Κατολίσθηση στο χωριό Πλωμάρι Λέσβου (ΕΛΑΦΡΟΣ, 2018)"

3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

3.1 Εισαγωγή - Ορισμός

Tα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) αποτελούν σύνθετα συστήματα που απαρτίζονται από εργαλεία συλλογής, αποθήκευσης, ανάκτησης, ανάλυσης και απόδοσης χωρικών και μη – χωρικών δεδομένων.

Ο όρος «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών» - *Geographic Information Systems* (GIS) – εισήχθη για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία τη δεκαετία του '60 από τον Άγγλο Γεωγράφο *R.Tomlinson*. Σκοπός του *R.Tomlinson* ήταν να περιγράψει ένα Σύστημα Ανάλυσης Χαρτογραφικών Δεδομένων που αφορούσε τη διαχείριση δεδομένων χρήσεων γης και αναπτύχθηκε για την Καναδική κυβέρνηση (*Canada Geographic Information System, CGIS*). (Τσαγγαράτος, 2012)

Παρά την περισσότερο από 60 χρόνια παρουσία τους, δεν υπάρχει ένας σαφής και κοινά αποδεκτός ορισμός που να περιγράφει με ακρίβεια τι είναι τα Γ.Σ.Π. Ανάλογα με την εφαρμογή την οποία εκτελούν τα Γ.Σ.Π. και το υπόβαθρο των ερευνητών που τον προτείνουν, αποδίδεται και ένας διαφορετικός ορισμός. Είναι ευρέως αποδεκτά ως ένα μεθοδολογικό εργαλείο διερεύνησης, όπου κάθε επιστήμη προσφέρει τη δική της προσέγγιση (Κουτσόπουλος, 1994)

Μερικοί από τους ορισμούς που έχουν αποδοθεί με το πέρασμα των ετών είναι οι ακόλουθοι είναι οι ακόλουθοι:

- Κατά τον *Burrough* (1986) ως Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ορίζεται «ένα δυναμικό σύνολο από εργαλεία, για τη συλλογή, αποθήκευση, μετασχηματισμό, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για συγκεκριμένους σκοπούς.»
- Ο *Aronoff* (1989) ορίζει τα Γ.Σ.Π. σαν «μία Βάση Χωρικών Δεδομένων η οποία περιέχει όλες εκείνες τις διαδικασίες που απαιτούνται για την αποθήκευση και διαχείριση γεω-αναφερόμενων δεδομένων».
- Ο *Maguire* (1991) αποδίδει ότι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (*Geographic Information System ,GIS*) «είναι ένα οργανωμένο σύστημα μηχανολογικού υλικού και λογισμικού κατάλληλο για την συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση, επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση όλων των τύπων των γεωγραφικών πληροφοριών»

- Επεκτείνοντας τον ορισμό του *Burrough* (1986), ο *Κουτσόπουλος* (2005) όρισε ότι ένα «Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών μηχανημάτων (*hardware*), λογισμικών συστημάτων (*software*), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον».

Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν τα Γ.Σ.Π. περιστρέφονται γύρω από τρεις (3) άξονες:

- την εισαγωγή, επαλήθευση και αποθήκευση δεδομένων
- την δυνατότητα χωρικής ανάλυσης, έχοντας ως κύριο στόχο την χωρική διάσταση των στοιχείων
- τη δημιουργία βάσης δεδομένων

Η δημιουργία βάσης δεδομένων δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να διαχειρίζεται, να επεξεργάζεται και να μετασχηματίζει τα δεδομένα που έχει εισαγάγει και αποθηκεύσει, με απώτερο σκοπό τόσο την ανάλυσή τους, όσο και την απόδοση και παρουσίαση αυτών. Η βάση δεδομένων αποτελείται από πληροφοριακά επίπεδα, τα οποία είτε είναι επεξεργασμένα (όπως η γεωλογία μιας περιοχής), είτε δεν είναι (όπως η τοπογραφία μιας περιοχής) και σχετίζονται με μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Θεμέλιος λίθος των Γ.Σ.Π. αποτελούν τα γεωγραφικά ή χωρικά δεδομένα που χρησιμεύουν στην αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου. Περιέχουν στοιχεία για τη θέση των δεδομένων που παρατηρούνται στο πραγματικό κόσμο, όσον αφορά ένα οριοθετημένο σύστημα συντεταγμένων, τα χαρακτηριστικά αυτών των δεδομένων, καθώς και στοιχεία για την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ τους, η οποία περιγράφει τον τρόπο σύνδεσής αυτών των δεδομένων.

3.2 Βασικά μέρη και Εφαρμογές των Γ.Σ.Π.

3.2.1 Βασικά μέρη των Γ.Σ.Π.

Ένα Γ.Σ.Π. περιγράφει δεδομένα χώρου και χρόνου και υποστηρίζεται από μηχανικό υπολογιστικό εξοπλισμό και κατάλληλο λογισμικό. Ένα τέτοιο σύστημα συνίσταται από τέσσερα (4) κύρια υποσυστήματα (Τσαγγαράτος, 2012):

- ένα υποσύστημα εισαγωγής δεδομένων, που συγκεντρώνει και προ – επεξεργάζεται χωρικά στοιχεία, με δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από διαφορετικές πηγές πληροφόρησης,
- ένα υποσύστημα αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων, που οργανώνει τα χωρικά στοιχεία με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνεται τόσο η ανάκτηση και η επικαιροποίηση δεδομένων, όσο και η επεξεργασία τους,
- ένα υποσύστημα διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων, το οποίο αποτελεί το κεντρικό εργαλείο του Γ.Σ.Π.,
- ένα υποσύστημα παραγωγής δεδομένων εξόδου, από το οποίο τα δεδομένα παρουσιάζονται με διάφορες μορφές, όπως χάρτες ή πίνακες κ.α.

3.2.2 Εφαρμογές των Γ.Π.Σ.

Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τα Γ.Σ.Π. για μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, όπως στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος και των πόρων του, στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέας υποδομής για οικισμούς, στις θαλάσσιες και επίγειες μεταφορές, σε δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, όπου διευκολύνεται η παρακολούθηση και διαχείρισή τους, ακόμα και στη μελέτη και αναγνώριση μοτίβων εξάπλωσης μολυσματικών ασθενειών. (Τσαγγαράτος, 2012)

Στη πράξη, έχει αποδειχθεί με τα χρόνια, πως τα Γ.Σ.Π. παρουσιάζονται ως τα ιδανικά μέσα εκεί όπου υπάρχει η ανάγκη για τη διαχείριση και επεξεργασία χωρικών – γεωγραφικών πληροφοριών, που συνδέονται με ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες. Αυτά αποτελούν ένα σύνολο χαρτογραφικών εργαλείων, που βρίσκονται σε δυναμική επικοινωνία με μία βάση δεδομένων, καθιστώντας τα, κατ’ αυτό τον τρόπο, ιδανικά εργαλεία αποθήκευσης και ανάλυσης.

Σύμφωνα με τους *Bonham – Carter* (1994), οι βασικές εφαρμογές των Γ.Σ.Π. στην επιστήμη της γεωλογίας, μπορούν να χωριστούν σε πέντε (5) κατηγορίες (Τσαγγαράτος, 2012):

- χαρτογράφηση επικινδυνότητας (*hazard mapping*), που περιλαμβάνει την παραγωγή χαρτών επικινδυνότητας, κατολισθήσεων, χαρτών επικινδυνότητας ως προς την εκδήλωση τσουνάμι κ.α.
- επιλογή καταλληλότητας χώρων για συγκεκριμένες χρήσεις,
- εκτίμηση πλουτοπαραγωγικών πηγών,

- διερεύνηση πιθανών συσχετίσεων και αιτιών μεταξύ δομημένων και μη δομημένων συνόλων πληροφορίας,

3.3 Κατηγορίες γεωγραφικών δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, τα γεωγραφικά δεδομένα των Γ.Σ.Π. οργανώνονται σε χωρικές βάσεις δεδομένων έτσι ώστε, αφενός να διευκολύνεται η διαχείρισή τους και αφετέρου να υποστηρίζονται διάφορες εφαρμογές. Σε αυτές τις χωρικές βάσεις δεδομένων εμπεριέχονται στοιχεία από διάφορες πηγές. Ο όρος χωρική βάση δεδομένων (Spatial Database) περιλαμβάνει το σύνολο των γεωγραφικών δεδομένων, το οποίο καταγράφεται για μια συγκεκριμένη περιοχή στο πλαίσιο ανάπτυξης ενός Γ.Σ.Π. Τα γεωγραφικά δεδομένα αποτελούνται από *γεωγραφικές οντότητες* (Entities), δηλαδή γεωγραφικά αντικείμενα ή φαινόμενα. Μέσα σε ένα Γ.Σ.Π., στις οντότητες αυτές ανατίθενται τιμές, οι οποίες αναφέρονται στη *χωρική*, τη *θεματική*, και *χρονική* τους διάσταση, καθώς και στην *ταυτότητα* αναγνώρισής τους. Ένα επιπρόσθετο στοιχείο με ιδιαίτερη σημασία είναι και η καταγραφή πληροφοριών για τα ίδια τα δεδομένα (Μεταδεδομένα) (Tomlinson, 2003).

3.3.1.1 Χωρική διάσταση

Τα *χωρικά χαρακτηριστικά* των γεωγραφικών οντοτήτων σχετίζονται κυρίως με τα στοιχεία της μορφής και θέσης τους στο χώρο, καθώς και τις χωρικές τους σχέσεις. Ο προσδιορισμός της θέσης στις γεωγραφικές οντότητες, μπορεί να γίνει είτε με άμεση αναφορά σε ένα σύστημα αναφοράς (όπως είναι για παράδειγμα το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς), είτε έμμεσα (π.χ. σχετική θέση με άλλες, χωρικά καθορισμένες, οντότητες). Οι *χωρικές σχέσεις* των γεωγραφικών οντοτήτων προσδιορίζονται με βάση συσχετισμούς τους με άλλες οντότητες. Για παράδειγμα για τις γεωγραφικές οντότητες «*Δήμοι και κοινότητες της Ελλάδας*», καταγράφεται η χωρική σχέση «*γειτονία*» μεταξύ των οντοτήτων. Εκτός από τα παραπάνω βασικά χωρικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων, ορίζεται ακόμη ο τρόπος απεικόνισης - αναπαράστασής τους (γραφικά χωρικά δεδομένα) καθώς και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (π.χ. έκταση και περίμετρος επιφανειακών δεδομένων) (Tomlinson, 2003).

3.3.1.2 Θεματική διάσταση

Η ανάθεση τιμών στις *θεματικές ιδιότητες* των γεωγραφικών οντοτήτων έχει ως κύριο στόχο την καταγραφή των χαρακτηριστικών τους. Τα περιγραφικά χαρακτηριστικά

αναφέρονται σε ιδιότητες είτε ποιοτικού είτε ποσοτικού χαρακτήρα. Για παράδειγμα η ιδιότητα "κάλυψη γης" μπορεί να πάρει περιγραφές της μορφής "Αστική", "Δασική", "Αγροτική" κλπ (ταξινόμηση ποιοτικού χαρακτήρα) ενώ η ιδιότητα "μήκος σε μέτρα τμημάτων οδικού άξονα" τιμές της μορφής "350", "500" (ποσοτική ταξινόμηση) (Tomlinson, 2003).

3.3.1.3 Χρονική διάσταση

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η χρονική διάσταση των γεωγραφικών δεδομένων. Ειδικά για τις εφαρμογές που εστιάζουν σε κοινωνικά φαινόμενα και ανθρώπινες δραστηριότητες, η σημασία της χρονικής διάστασης είναι πολύ μεγάλη, αφού συχνά είναι χρήσιμη η καταγραφή της δυναμικής εξέλιξης χωρικών φαινομένων και προτύπων. Πιο συγκεκριμένα, στις γεωγραφικές οντότητες ανατίθενται τιμές σχετικές με σημαντικές χρονικές στιγμές ή χρονικά διαστήματα (π.χ. η ημερομηνία κατασκευής ενός κτίσματος, η διάρκεια ενός σημαντικού γεγονότος κ.α.), με την εξέλιξή τους (π.χ. εξέλιξη της ανεργίας στον ελληνικό χώρο κατά την τελευταία δεκαετία, εξάπλωση των συνόρων ενός κράτους), καθώς και τις χρονικές τους σχέσεις. Η σημασία της χρονικής διάστασης των γεωγραφικών δεδομένων δεν θα πρέπει να υποβαθμίζεται, αφού χώρος και χρόνος είναι δύο έννοιες άρρηκτα συνδεδεμένες (Tomlinson, 2003).

3.3.1.4 Μεταδεδομένα

Εκτός από τα περιγραφικά στοιχεία, τα οποία αναφέρονται στα γεωγραφικά αντικείμενα ή φαινόμενα της χωρικής βάσης δεδομένων, αυτή θα πρέπει να περιέχει και πληροφορίες για το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων. Οι πληροφορίες αυτές (μεταδεδομένα - metadata) περιγράφουν το περιεχόμενο, την ποιότητα, την κατάσταση και άλλα χαρακτηριστικά των δεδομένων. Τα μεταδεδομένα αποτελούν έναν απλό μηχανισμό τεκμηρίωσης για υπάρχοντα σύνολα δεδομένων και για το σκοπό δημιουργίας τους. Σε γενικές γραμμές, τα μεταδεδομένα πληροφορούν για τα στοιχεία ταυτοποίησης των δεδομένων, τον τρόπο οργάνωσης των χωρικών δεδομένων, το είδος και τα χαρακτηριστικά των περιγραφών, το ιστορικό δημιουργίας και αναθεωρήσεων των δεδομένων, την ποιότητα των δεδομένων, την πρόσβαση και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, καθώς και τον συντάκτη και το χρόνο δημιουργίας των ίδιων των μεταδεδομένων. Η τήρηση τους είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιπτώσεις δημιουργίας χωρικών βάσεων δεδομένων από υπηρεσίες και οργανισμούς, αφού αφενός χρησιμοποιούνται εσωτερικά παρέχοντας πληροφορίες για το καθεστώς των

δεδομένων, αφετέρου ενημερώνουν μελλοντικούς χρήστες των δεδομένων για βασικούς περιορισμούς και πιθανές μελλοντικές χρήσεις τους (Tomlinson, 2003).

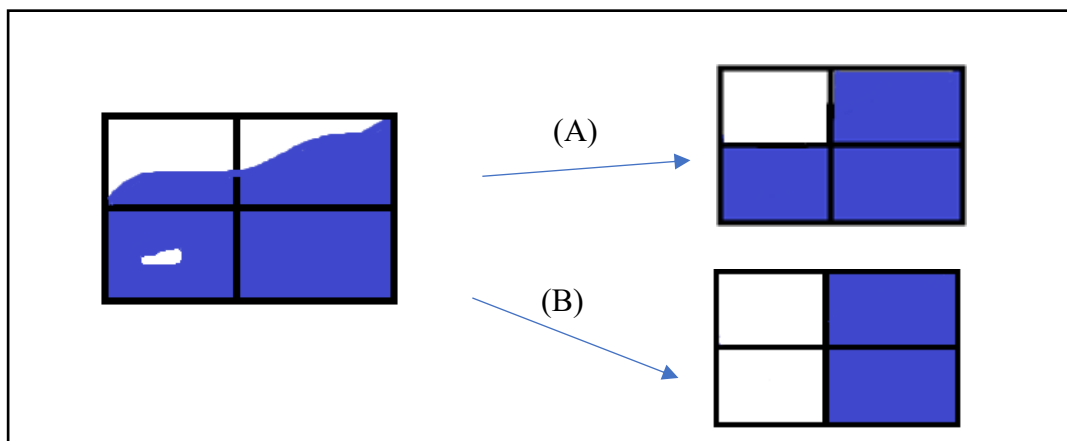
3.4 Ψηφιδωτή και διανυσματική αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων

3.4.1 Ψηφιδωτή αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων (Raster)

Στην ψηφιδωτή αναπαράσταση, ο χώρος διαιρείται σε μια διάταξη ορθογωνίων (συνήθως τετραγώνων) κελιών. Όλες οι γεωγραφικές διακυμάνσεις εκφράζονται στη συνέχεια με την ανάθεση χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων σε αυτά τα κελιά. Τα κελιά συνήθως ονομάζονται «Cell». Η ψηφιδωτή αναπαράσταση (Raster) διαιρεί τον κόσμο σε διατάξεις κελιών και αναθέτει χαρακτηριστικά ή ιδιότητες σε αυτά τα κελιά.

Μια από τις πιο συνηθισμένες μορφές δεδομένων «Raster», προέρχεται από τους δορυφόρους τηλεπισκόπησης, οι οποίοι αποτυπώνουν πληροφορίες σε αυτή τη μορφή και τις στέλνουν στη γη για διανομή και ανάλυση. Άλλα παρόμοια δεδομένα μπορούν να παραχθούν από αισθητήρες τοποθετημένους σε αεροσκάφη. Η απεικόνιση ποικίλλει και εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση, η οποία εκφράζεται με το μήκος της πλευράς ενός κελιού, όπως αυτό μετριέται στο έδαφος.

Αξίζει να σημειωθεί πως όταν οι πληροφορίες αναπαρίστανται σε μορφή «Raster», χάνονται όλες οι λεπτομέρειες των διακυμάνσεων μέσα στα κελιά και το κελί παίρνει μία μοναδική τιμή. Υπάρχουν δύο κανόνες, σύμφωνα με τους οποίους ένα κελί παίρνει μια τιμή. Ο πρώτος κανόνας ορίζει ότι το δεδομένο με τη μεγαλύτερη πληροφορία σε ένα κελί, «κερδίζει» το κελί. Ο δεύτερος κανόνας ορίζει πως όποιο δεδομένο κατέχει το κέντρο του κάθε κελιού, κατέχει και το αντίστοιχο κελί. Οι δύο κανόνες αποτυπώνονται στην *Εικόνα 3.1*.



Εικόνα 3.1 “Αποτελέσματα αναπαράστασης Raster με τη χρήση (A) του κανόνα του μεγαλύτερου μεριδίου και (B) του κανόνα του κέντρου”

3.4.2 Διανυσματικά δεδομένα (τύπου Vector)

Σε μια διανυσματική αναπαράσταση όλες οι γραμμές αποτυπώνονται ως σημεία, τα οποία συνδέονται με ευθείες γραμμές. Βέβαια, κάποια προγράμματα GIS επιτρέπουν τη σύνδεση των σημείων με καμπύλες αντί για ευθείες, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις η προσέγγιση των καμπυλών πρέπει να γίνει με αύξηση της πυκνότητας των σημείων. Μια επιφάνεια αποτυπώνεται ως μια σειρά σημείων ή κορυφών (vertices) συνδεδεμένων με ευθείες. Οι ευθείες ακμές μεταξύ των κορυφών εξηγούν γιατί στη διανυσματική αναπαράσταση οι επιφάνειες συχνά ονομάζονται πολύγωνα, και στη γλώσσα των συστημάτων GIS οι όροι «πολύγωνο» και «επιφάνεια» χρησιμοποιούνται συχνά ως συνώνυμοι. Οι μικτές γραμμές αποτυπώνονται με τον ίδιο τρόπο, και ο όρος πολύγραμμο (polyline) επινοήθηκε για να περιγράψει μια καμπύλη που αναπαρίσταται μια σειρά ευθύγραμμων τμημάτων που συνδέουν κορυφές.

Για να αποτυπωθεί ένα επιφανειακό αντικείμενο σε διανυσματική μορφή, απαιτείται μόνο να καθοριστούν οι θέσεις των σημείων, που αποτελούν τις κορυφές ενός πολυγώνου. Αυτό φαίνεται απλό και μάλιστα πολύ πιο αποδοτικό από μια αναπαράσταση Raster, η οποία θα απαιτούσε να δημιουργήσουμε έναν κατάλογο όλων των κελιών που απαρτίζουν την περιοχή.

3.5 Γ.Σ.Π. και κατολισθητικά φαινόμενα

Η πρώτη χρήση των Γ.Σ.Π. στο ερευνητικό πεδίο των φυσικών καταστροφών πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 80' και θεωρήθηκε ως μια ιδιαίτερα πρωτοποριακή μέθοδος. Ωστόσο, την δεκαετία εκείνη, τα Γ.Σ.Π. περιορίζονταν περισσότερο στη χρήση ως εργαλεία απεικόνισης και προβολής της πληροφορίας που αποκτήθηκε, παρά ως μια τεχνική ικανή να διαχειριστεί την πληροφορία και να παράγει νέα γνώση. Η λειτουργία των Γ.Σ.Π. παρουσίαζε ιδιαίτερες δυσκολίες λόγω της τεχνολογικής υστέρησης της τότε εποχής (Carrara et al., 1999).

Η τεχνολογική εξέλιξη μετέτρεψε τα Γ.Σ.Π. σε ιδανικά εργαλεία στην εκτίμηση του κινδύνου εκδήλωσης φυσικών καταστροφών, λόγω του ότι συνδυάζουν την ικανότητα της χωρικής ανάλυσης, τις μεθόδους προσομοίωσης και την επικοινωνία με σχεσιακές βάσεις δεδομένων (Ferentinou & Sakellariou, 2003).

Για την επιτυχή εφαρμογή των Γ.Σ.Π. στις μελέτες τις σχετικές με τα κατολισθητικά φαινόμενα θα πρέπει να ισχύουν τα εξής (Τσαγγαράτος, 2012):

- Τα αρχικά δεδομένα να είναι ακριβή και συμβατά μεταξύ τους. Μια οποιαδήποτε εφαρμογή Γ.Σ.Π. που σχετίζεται με την εκτίμηση κινδύνου, θα πρέπει να συνοδεύεται από γεωλογική χαρτογράφηση και σημαντικές υπαίθριες έρευνες.
- Τα αρχικά δεδομένα και η εξαγόμενη πληροφορία από αυτά να έχουν διαμορφωθεί κάτω από κοινά πρότυπα.
- Να πραγματοποιείται συνεχής τροφοδοσία της βάσης δεδομένων με νέα δεδομένα και σχετικά στοιχεία.

Παραδείγματα εφαρμογής των Γ.Σ.Π. στην Ελληνική βιβλιογραφία αποτελούν οι διδακτορικές διατριβές:

- του Ευριπίδη Βασιλειάδη (2010), σκοπός της οποίας αποτέλεσε η συγκριτική έρευνα του κινδύνου των κατολισθήσεων και η δημιουργία ενός μοντέλου εκτίμησης του κινδύνου των κατολισθήσεων για τον ελλαδικό χώρο, χρησιμοποιώντας τα Γ.Σ.Π., καθώς και μεθοδολογίες πληροφορικής και υπολογιστικής μηχανικής.
- της Αικατερίνης – Παρασκευής Κάβουρα (2017), σκοπός της οποίας αποτέλεσε η διερεύνηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων σε επιλεγμένη περιοχή της Δυτικής Ελλάδας, με μεθόδους που επιτρέπουν τον ποσοτικό προσδιορισμό της, καθώς και η ανάλυση των σχέσεων που συνδέουν τα φαινόμενα κατολισθήσεων με παράγοντες που συμβάλλουν στην ενεργοποίησή τους
- του Δημήτριου Τσάγκα (2011), σκοπός της οποίας αποτέλεσε η κατανόηση του φαινομένου των κινήσεων βαρύτητας στην Βόρεια Πελοπόννησο και η επεξεργασία και επιμέρους ανάλυση των κυριότερων μεταβλητών που υπεισέρχονται στην εκδήλωση του εν λόγω φαινομένου, προκειμένου να προσδιοριστεί η χωρική κατανομή των ζωνών υψηλής τρωτότητας και επικινδυνότητας του φαινομένου.

Παραδείγματα εφαρμογής των Γ.Σ.Π. στη παγκόσμια βιβλιογραφία αποτελούν οι επιστημονικές εργασίες:

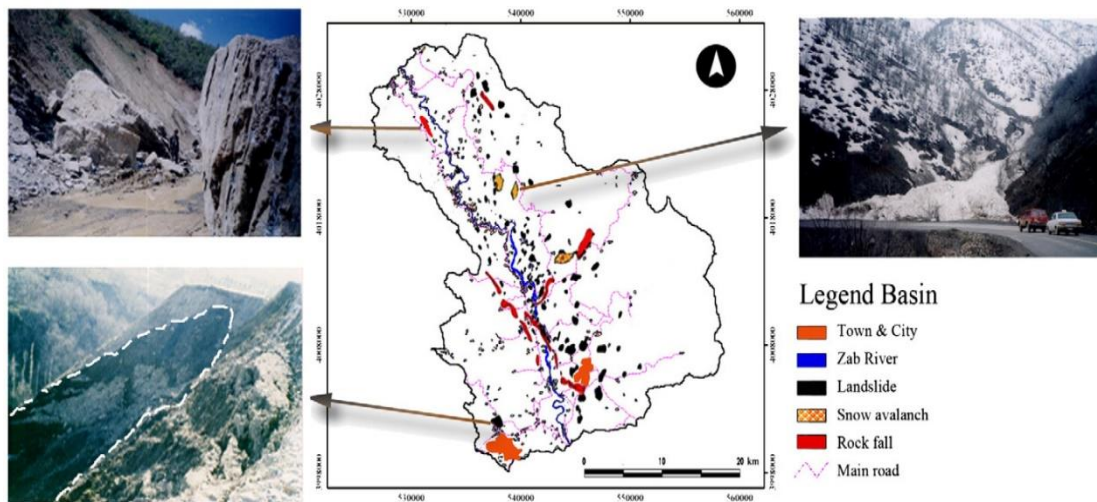
- των Berhane G. et al. (2020), οι οποίοι με τη χρήση των Γ.Σ.Π., επεξεργάστηκαν κατολισθητικά δεδομένα και δημιούργησαν έναν χάρτη επιδεκτικότητας, ο οποίος μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη και τον

μετριάσμο των καταστροφών και των κινδύνων, που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις, αλλά ακόμα και στον μελλοντικό σχεδιασμό χρήσης γης.

- των Yalcin A. et al. (2011), στόχος της οποίας αποτέλεσε η αξιολόγηση της ευαισθησίας της εμφάνισης κατολισθήσεων στην επαρχία της Τραπεζούντας, που βρίσκεται στη βορειοανατολική Τουρκία, με την ενσωμάτωση πέντε (5) διαφορετικών μεθόδων σε ένα Γ.Σ.Π.
- των Shahabi H. et al (2014), σκοπός της οποίας αποτέλεσε η σύγκριση των μοντέλων χαρτογράφησης κατολισθητικής επιδεκτικότητας της λογιστικής παλινδρόμησης (LR), της αναλυτικής διαδικασίας ιεραρχίας (AHP) και του λόγου συχνοτήτων (FR), που εφαρμόζονται στην κεντρική λεκάνη «Zab» του Ιράν. Οι χάρτες που προκύπτουν, μέσω των Γ.Σ.Π., είναι χρήσιμοι για τον περιφερειακό χωροταξικό σχεδιασμό, καθώς και για τον σχεδιασμό της κάλυψης γης.

Πολλά από τα προαναφερθέντα παραδείγματα για να δημιουργήσουν ένα αρχείο κατολισθήσεων εφαρμόζουν τις αρχές της τηλεπισκόπησης. Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η παρατήρηση της επιφάνειας της Γης είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών), οι οποίοι είναι ικανοί να ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και να την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι είτε σε τεχνητούς δορυφόρους, που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, είτε να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα, όπως αεροσκάφη ή και ελικόπτερα (Καρτάλης & Φείδας, 2008).

Όπως γίνεται κατανοητό, οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τους τηλεπισκοπικούς ανιχνευτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια απλή απεικόνιση ενός τμήματος της επιφάνειας του πλανήτη έως τον υπολογισμό μεταβολής του ανάγλυφου μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Στην περίπτωση των κατολισθητικών φαινομένων, με την χρήση των αρχών της τηλεπισκόπησης καθίσταται δυνατή η μέτρηση της έκτασης των κατολισθητικών συμβάντων μιας περιοχής, καθώς επίσης και ο εντοπισμός τέτοιων φαινομένων, που συνέβησαν σε παλαιότερα χρόνια, συμβάλλοντας έτσι στην πληρέστερη καταγραφή τους. Στην *Εικόνα 3.2* αποτυπώνεται μια εφαρμογή των αρχών της τηλεπισκόπησης στην καταγραφή της έκτασης των κατολισθητικών φαινομένων στην λεκάνη «Zab» στο Ιράν, από τους Shahabi H. et al. (2014).



Εικόνα 3.2 "Εφαρμογή της τηλεπισκόπησης σε κατολισθητικά φαινόμενα στην λεκάνη "Zab" στο Ιράν" (Shahabi, Ahmad, & Hashim, 2014)

4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

4.1 Εκτίμηση κινδύνου κατολισθήσεων

4.1.1 Αρχές ζωνοποίησης επικινδυνότητας και επιδεκτικότητας

Η επικινδυνότητα έναντι φυσικών καταστροφών αποτελεί σημαντικό μέρος της διαχείρισης φυσικών κινδύνων – καταστροφών. Στόχος είναι η πρόβλεψη της χωρικής και χρονικής πιθανότητας εκδήλωσης φυσικών καταστροφικών φαινομένων, η αξιολόγηση των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων και η μείωση των κινδύνων με την ανάπτυξη νέων σχεδίων υποδομών και επιμόρφωσης.

Σύμφωνα με τον Brabb (1984), ο όρος *επιδεκτικότητα κατολισθήσεων (Susceptibility)* αναφέρεται στη «δυνατότητα να συμβεί κατολίσθηση σε μια περιοχή στηριζόμενοι στις τοπικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή (γεωλογία, γεωμορφολογία, φυσικές διεργασίες)». Στον όρο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας χρόνου και κατ' επέκταση όταν χρησιμοποιείται δε παρέχει πληροφορίες για το πότε μπορεί να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση. Ακόμα, δε περιέχει πληροφορίες που να σχετίζονται με το μέγεθος της κατολίσθησης. Χρησιμοποιείται κυρίως για να προσδιορίσει τη χωρική κατανομή των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για την εκδήλωση του φαινομένου με στόχο τη δημιουργία ζωνών επιρρεπών προς κατολίσθηση.

Ο Varnes όρισε το 1984 την έννοια της *επικινδυνότητας κατολισθήσεων (Landslide Hazard)*, ως τη πιθανότητα εμφάνισης ενός κατολισθητικού φαινομένου σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σε μια δεδομένη περιοχή. Ο παραπάνω ορισμός περιλαμβάνει δυο (2) συνιστώσες, το χώρο και το χρόνο. Η πρώτη παράμετρος (χώρος) προσδιορίζει τις περιοχές, οι οποίες είναι επιδεκτικές στη δημιουργία συνθηκών αστοχίας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ η δεύτερη παράμετρος (χρονική) προσδιορίζει τη χρονική στιγμή εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων σε μια δεδομένη περιοχή.

Ως *ζωνοποίηση* χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία, σε μια χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των θέσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες τιμές επιδεκτικότητας. Μια περιοχή θεωρείται πιθανή για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων όταν οι εδαφικές συνθήκες της

περιοχής αυτής μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά με μια περιοχή όπου έχει εκδηλωθεί αστοχία στο παρελθόν (Van Westen, Rengers , & Terlien, 1997).

4.1.2 Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων (Landslide Susceptibility Map)

Οι χάρτες επιδεκτικότητας και οι αντίστοιχες μελέτες σχετίζονται με την κατανόηση της επιρροής των προαπαιτούμενων φυσικών παραγόντων, που αποτελούν την αιτία για την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Οι χάρτες αυτοί περιγράφουν το πού είναι πιθανό να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση, συσχετίζοντας παράγοντες που συνέβαλαν στην εκδήλωση παλαιότερων κατολισθήσεων. Η επιδεκτικότητα λαμβάνει διάφορους ποιοτικούς χαρακτηρισμούς, όπως υψηλή, μέση ή χαμηλή επιδεκτικότητα, που εκφράζουν το μέγεθος της επίδρασης της. (Τσαγγαράτος, 2012; Shahri, Spross, Johansson, & Larsson, 2019)

Η δημιουργία των χαρτών επιδεκτικότητας, στηρίζεται στην υιοθέτηση δυο (2) παραδοχών (Fell, et al., 2008):

- οι γεωλογικές αστοχίες του παρελθόντος και του παρόντος, αποτελούν δεδομένα για την πρόβλεψη μελλοντικών αστοχιών,
- οι γεωλογικές αστοχίες εκδηλώνονται στις ίδιες γεωλογικές, γεωμορφολογικές υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες.

Βασική αρχή των χαρτών επιδεκτικότητας αποτελεί ο καθορισμός των συσχετίσεων μεταξύ των κατολισθήσεων και της τοπογραφίας, της γεωλογίας, της υδρολογίας και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της προς έρευνα περιοχής, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η χρονική διάσταση του φαινομένου (Fell, et al., 2008).

4.1.3 Χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων (Landslide Hazard Map)

Ως κίνδυνος ορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης ενός φαινομένου, το οποίο δυνητικά θα μπορούσε να είναι καταστροφικό και το οποίο αναμένεται ότι θα συμβεί εντός μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. (Τσαγγαράτος, 2012)

Οι χάρτες επικινδυνότητας απεικονίζουν την πιθανότητα να συμβούν κατολισθήσεις σε μια δοσμένη περιοχή, αλλά ακόμα, παρουσιάζουν και την έκταση της περιοχής που μπορεί να επηρεαστεί από μια κατολίσθηση. Οι χάρτες αυτοί παραθέτουν τόσο τους κύριους παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης, όσο και εκτιμήσεις για εναυσματικά γεγονότα που μπορεί να πυροδοτήσουν ένα

κατολισθητικό συμβάν (όπως σεισμοί, εκτεταμένες βροχοπτώσεις κ.α.). (Nefeslioglu & Gorum, 2020)

4.1.4 Χάρτης διακινδύνευσης κατολισθήσεων (Landslide Risk Maps)

Ο όρος διακινδύνευση (*risk*) περιέχει την έννοια να συμβεί στην πραγματικότητα ένας συγκεκριμένος κίνδυνος. Η διακινδύνευση συνιστά την πραγματική έκθεση οποιουδήποτε στοιχείου που έχει αξία για τον άνθρωπο σε κάποιον κίνδυνο, θεωρούμενη ως ένας συνδυασμός πιθανότητας και απώλειας (Τσαγγαράτος, 2012). Επομένως, θα μπορούσε να διατυπωθεί πως ο κίνδυνος υφίσταται ανεξάρτητα από την παρουσία ανθρώπων, ενώ η διακινδύνευση προσδιορίζεται μόνο όταν κάποιο ανθρωπογενές στοιχείο εκτίθεται (Μισθός, 2009). Μπορεί να διακριθεί σε:

- i. *συνολική διακινδύνευση*, που αφορά τον αναμενόμενο αριθμό θυμάτων, βλαβών, επιπτώσεων σε οικονομία που οφείλονται σε ένα καταστροφικό φυσικό φαινόμενο
- ii. *ειδική διακινδύνευση*, που αφορά τον αναμενόμενο βαθμό μιας μόνο φυσικής απώλειας (π.χ. βλάβες) από ένα φυσικό φαινόμενο.

Σύμφωνα και με τα παραπάνω, οι χάρτες διακινδύνευσης απεικονίζουν τις δυνητικές κατολισθήσεις σε μια περιοχή και τις αναμενόμενες απώλειες περιουσιών ή ζωής που θα προκύψουν από την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων. Σύμφωνα με τον *Flageollet (1996)* ένας ιδανικός χάρτης διακινδύνευσης θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες σχετικές με τη χωρική κατανομή, τον τύπο, το μέγεθος και την ισχύ, την ταχύτητα, την απόσταση μετακίνησης, για τις προβλεπόμενες κατολισθήσεις σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Εν κατακλείδι, οι χάρτες διακινδύνευσης αποτελούν σημαντικά εργαλεία, μέσω των οποίων οι ερευνητές μπορούν να προβλέψουν και να μειώσουν τις επιπτώσεις που προκαλούν τα κατολισθητικά φαινόμενα.

4.2 Μέθοδοι εκτίμησης επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα

Οι μέθοδοι εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα περιλαμβάνουν τεχνικές και μεθόδους ποιοτικής, ημι - ποσοτικής και ποσοτικής ανάλυσης και τεχνικών μοντελοποίησης. Η επιδεκτικότητα υπολογίζεται με δύο τρόπους :

- με μεθόδους ανάλυσης πεδίου

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

και διακρίνονται κυρίως σε μεθόδους και τεχνικές που βασίζονται στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών. Ακόμα υπάρχει περίπτωση να διακριθούν σε τεχνικές και μεθόδους που βασίζονται στην στατιστική ή πιθανολογική ανάλυση ή ακολουθούν ντετερμινιστικά μοντέλα για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας (Aleotti & Chowdhury, 1999; Fell, et al., 2008).

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

1. Ανάλυση βασισμένη στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών, ποιοτικές και ημι- ποιοτικές μέθοδοι.
2. Ανάλυση βασισμένη στη γνώση που αποκτάται από την επεξεργασία δεδομένων - ποσοτικές μέθοδοι.
3. Υβριδικές μέθοδοι που συνδυάζουν τις ανώτερες κατηγορίες.

4.2.1 Ανάλυση βασισμένη στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών, ποιοτικές και ημι – ποιοτικές μέθοδοι

Σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται οι μέθοδοι που βασίζονται πλήρως ή μερικώς στην εμπειρία και την γνώση των ειδικών. Αξίζει να σημειωθεί πως η ύπαρξη των ειδικών οδηγεί συχνά στην αμφισβήτηση της υποκειμενικότητας, της ακρίβειας και της αξιοπιστίας ορισμένων παραμέτρων που επιδρούν στην εκδήλωση του φαινομένου. Οι παραλλαγές των μεθόδων που παρουσιάζονται, έχουν να κάνουν με την υλοποίηση της απόδοσης των συντελεστών βαρύτητας και της επιλογής των κυριότερων μεταβλητών που επιδρούν στην εκδήλωση γεωλογικών αστοχιών. (Τσαγγαράτος, 2012)

4.2.1.1 Γεωμορφολογική ανάλυση πεδίου

Αποτελεί μέθοδο για ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας όπου τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) χρησιμοποιούνται μόνο ως σχεδιαστικά εργαλεία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την εμπειρία και την γνώση, αφού ο προσδιορισμός και η ζωνοποίηση των δυνητικά πιθανόν για αστοχία περιοχών

βασίζεται κυρίως στην γνώση και την εμπειρία του ειδικού που είναι στο σημείο έρευνας της περιοχής. Οι εργασίες των *Carmassi et al. (1992)*, *Cardinali et al. (2002)*, *Reichenbach et al. (2005)*, *Mantovani et al. (2010)* αποτελούν παραδείγματα εφαρμογής αυτής της μεθόδου.

4.2.1.2 Μέθοδος υπέρθεσης χαρτών βάρους – Χάρτες παραμετρικών δεικτών

Αποτελεί μέθοδο για ζωνοποίηση περιοχών μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται μόνο ως συστήματα υπέρθεσης χαρτών βάρους και την εκτέλεση βασικών λειτουργιών χωρικής ανάλυσης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την εμπειρία και τη γνώση, όπως και η γεωμορφολογική μέθοδος, ενώ διαφέρει από αυτή στο ότι προχωρά στο διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε ζώνες επιδεκτικότητας.

Κατά τους *Soeters & Van Westen (1996)* στη μέθοδο αυτή, αρχικά, γίνεται η επιλογή των μεταβλητών που επιδρούν στο σύστημα και στη συνέχεια αποδίδονται συντελεστές βαρύτητας για κάθε έναν από αυτούς. Ακολούθως, για κάθε μεταβλητή δημιουργείται ένας αριθμός σχετικών κλάσεων και αποδίδονται συντελεστές βαρύτητας για την κάθε κλάση. Τέλος, πραγματοποιείται υπέρθεση των χαρτών βάρους για κάθε μεταβλητή και δημιουργείται ο τελικός χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι κατηγορίες του βαθμού επιδεκτικότητας.

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

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

όπου, *LSI*: ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας,

W_j, η βαρύτητα της παράμετρον *j*,

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

n: ο αριθμός των παραμέτρων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου WLC αποτελεί η διατριβή του Βασιλειάδη (2010), ο οποίος προχώρησε στη δημιουργία ενός μοντέλου εκτίμησης επικινδυνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε σε δέκα (10) παράγοντες, από τους οποίους, οι κυριότεροι είναι οι μορφολογικές κλίσεις των πρανών, τα φαινόμενα διάβρωσης, οι ανθρωπογενείς

παρεμβάσεις (π.χ. η κατασκευή του οδικού δικτύου), και τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών. Στη συνέχεια, πραγματοποίησε στάθμιση του κινδύνου κατολίσθησης για κάθε μία μεταβλητή, χρησιμοποιώντας τη συχνότητα εμφάνισης, σύμφωνα με τις καταγεγραμμένες περιπτώσεις. Τελικά, μέσω της παραπάνω στάθμισης, σε κάθε παράγοντα αντιστοιχίζεται ένας συντελεστής βαρύτητας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην παραπάνω εξίσωση για τον υπολογισμό του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

4.2.1.3 Λογικά αναλυτικά μοντέλα

Αποτελεί μέθοδο για τον χαρακτηρισμό περιοχών μεγάλης κλίμακας όπου τα Γ.Σ.Π. δεν αξιοποιούνται και η όποια συμμετοχή τους έχει να κάνει με τη σύνταξη ενός χάρτου καταγραφής. Η μέθοδος στοχεύει στην επαλήθευση της γνώσης και της εμπειρίας, που αποκτάται από τους ειδικούς, μέσω της αντιπαραβολής των πραγματικών μετρήσιμων δεδομένων, ενόργανων ή μη, στο πεδίο έρευνας. Έτσι, αν τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσα από την γνώση και την εμπειρία δεν συμπίπτουν με τις μετρήσεις του πεδίου, το σύστημα επαναπροσδιορίζεται δημιουργώντας διαφορετικές συσχετίσεις και επιλέγοντας διαφορετικές μεταβλητές. Ουσιαστικά, αποτελεί μια τεχνική διαδοχικών δοκιμών και προσεγγίσεων, *trial and error procedure*. (Τσαγγαράτος, 2012)

4.2.2 Ανάλυση βασισμένη στη γνώση που εξάγεται από Βάσεις Δεδομένων

Στη συγκεκριμένη κατηγορία υπόκεινται οι μέθοδοι που η ανάλυση τους βασίζεται στην γνώση των τεχνικών και των μεθόδων, που εφαρμόζονται στη μηχανική μάθηση και τη στατιστική ανάλυση / εξόρυξη δεδομένων, καθώς και στα αποτελέσματα που εξάγονται από τις βάσεις δεδομένων. (Τσαγγαράτος, 2012)

4.2.2.1 Ανάλυση βασισμένη στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (T.N.Δ.)

Με την μέθοδο των T.N.Δ αποδίδονται ικανοποιητικές προβλέψεις κατολισθητικών φαινομένων ακόμη και όταν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι αβέβαια, αφού τα T.N.Δ. διαθέτουν κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυση των κατολισθήσεων. Τα μοντέλα T.N.Δ. διακρίνονται σε :

1. δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης,
2. δίκτυα συνάρτησης ακτινικής βάσης,
3. αυτο-οργανούμενους χάρτες (Self-Organizing Maps),
4. επαναληπτικά δίκτυα,

5. στοχαστικά νευρωνικά δίκτυα,

6. αρθρωτά νευρωνικά δίκτυα

Τέλος, τα Τ.Ν.Δ. θεωρούνται κατάλληλα εργαλεία για τη μοντελοποίηση της πολύπλοκης συμπεριφοράς και μεταβλητότητας που οι περισσότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν (Aleotti, Balzelli, & De Marchi, 1996; Mayoraz, Cornu, & Vulliet, 1996; Σακελλαρίου & Ηλίας, 1997; Dehnavi et al., 2015).

4.2.2.2 Ανάλυση βασισμένη στην Ασαφή Λογική

Η μέθοδος αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια ημι-ποσοτική μέθοδο, καθώς συνδυάζει την εμπειρία και την γνώση, με τη χρήση της θεωρίας των ασαφών συνόλων για την ζωνοποίηση περιοχών επιδεκτικών σε γεωλογικές αστοχίες (Τσαγγαράτος, 2012).

Κατά τον Zadeh (1965, 1968) η θεωρία των ασαφών συνόλων χαρακτηρίζεται ως η πλέον κατάλληλη για την ερμηνεία της αβεβαιότητας και της πολυπλοκότητας, αφού αυτή σχετίζεται με την ύπαρξη περιορισμένου αριθμού δεομένων που δεν επιτρέπει τη χρήση συμβατικών στατιστικών μεθόδων, καθώς και του γεγονότος ότι αρκετοί από τους παράγοντες δεν οριοθετούνται επακριβώς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της μεθόδου αυτής παρουσιάζονται στις εργασίες των Juang et al.,(1992), Ercanoglu & Gokceoglu, (2002,2004), Pistocchi et al., (2002), Pradhan et al.,(2009).

4.2.2.3 Ανάλυση βασισμένη στα Δένδρα Απόφασης

Κύρια χρήση της παρούσας μεθόδου αποτελεί η ταξινόμηση και η πρόβλεψη της επιδεκτικότητας έναντι γεωλογικών αστοχιών, καθώς και για την κατηγοριοποίηση περιοχών μεγάλης και μεσαίας κλίμακας, όπου τα Γ.Σ.Π. αποτελούν ως επί το πλείστον εργαλεία μοντελοποίησης και χωρικής ανάλυσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της μεθόδου αυτής αποτελούν οι εργασίες των Nefeslioglu et al. (2010) και Hwang et al. (2009).

4.2.2.4 Ανάλυση βασισμένη στον Συλλογισμό κατά Περίπτωση

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση περιοχών μεγάλης κλίμακας, όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται μόνο για την σύνταξη ενός χάρτη καταγραφής. Η μέθοδος αυτή έχει ως αρχή την επαναληπτική ανάκτηση περιπτώσεων από μια βάση, που περιλαμβάνει κωδικοποιημένες τέτοιες περιπτώσεις και οι οποίες σχετίζονται με την περίπτωση που πρόκειται να αντιμετωπιστεί (Aamodt, 1994). Ακόμα, η παρούσα μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αρχική εκτίμηση της κατάστασης και να προτείνει λύσεις επ' αυτού με βάση την εμπειρία.

Βασική προϋπόθεση για την αξιοπιστία της μεθόδου είναι η ύπαρξη μεγάλου αριθμού δεδομένων και η διασφάλιση ικανοποιητικής ποιότητας αυτών (Τσαγγαράτος, 2012). Τέλος, μια ακόμη καινοτομία της μεθοδολογίας που παρουσίασε ο Toll (2008) στην εργασία του, ήταν η αποθήκευση των παρατηρήσεων αξιοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού *Extensible Markup Language* (XML). Χαρακτηριστικά παραδείγματα για τη συγκεκριμένη μέθοδο αποτελούν οι εργασίες των *Fyson & Toll (2008)* και *Toll (2008)*.

4.2.3 Μέθοδοι στατιστικής και πιθανολογικής ανάλυσης – Ποσοτικές μέθοδοι

Οι μέθοδοι αυτοί στηρίζονται στις συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που προσδιορίζουν το φαινόμενο των κατολισθήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη χωρική διασπορά παλαιότερων καταγεγραμμένων αστοχιών. Η στατιστική προσέγγιση περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση των ήδη υπάρχοντων κατολισθήσεων, καθώς και όλων των μεταβλητών που συνδέονται έμμεσα ή άμεσα με την εκάστοτε αστοχία και αποσκοπεί στην εξαγωγή των στατιστικών συσχετίσεων μεταξύ των προαναφερθέντων παραγόντων και της επίδρασης τους στην γεωλογική αστοχία (Τσαγγαράτος, 2012).

4.2.3.1 Στατιστική Ανάλυση

Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί μερικώς την εμπειρία και τη γνώση, και επιχειρεί να διαμορφώσει με βάση τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων τις όποιες συσχετίσεις. Κατά την εφαρμογή των μεθόδων της στατιστικής, συγκρίνονται η χωρική διασπορά των γεωλογικών αστοχιών με τις συνθήκες που επικρατούν (Τσαγγαράτος, 2012).

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα με χρήση άλλων μεθόδων των Γ.Σ.Π., γεγονός που την καθιστά να χρησιμοποιείται αρκετά συχνά τα τελευταία χρόνια (Τσαγγαράτος, 2012). Όμως, κατά τον *Van Western (2003)*, η μέθοδος αυτή ακολουθείται και από πολλά μειονεκτήματα όπως ο συνεχής και συστηματικός προσδιορισμός των παραγόντων που σχετίζονται με τα κατολισθητικά φαινόμενα και η απλοποίηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις και απόκτηση μόνο των παραγόντων που καθίσταται σχετικά εύκολο να χαρτογραφηθούν κ.α.

4.2.3.1.1 Ανάλυση δυο μεταβλητών

Η μέθοδος αυτή θεωρείται κατάλληλη για τη ζωνοποίηση περιοχών μικρής και μεσαίας κλίμακας, όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται ως κύρια εργαλεία χωρικής ανάλυσης. Σε

αυτήν τη μέθοδο, εμφανίζεται ο κίνδυνος της υποκειμενικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από τις μεταβλητές του συστήματος, ενώ, επίσης, τις περισσότερες φορές οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή οι κατολισθήσεις μελετώνται ποιοτικά. Αρχικά πραγματοποιείται η εισαγωγή των παραγόντων, οι οποίοι συμβάλλουν στην εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου σε ένα Γ.Σ.Π. και έπειτα χωρίζονται σε κατηγορίες και συσχετίζονται με έναν χάρτη απογραφής κατολισθήσεων. Τέλος, μέσω της πυκνότητας των κατολισθήσεων υπολογίζεται ο συντελεστής βαρύτητας για όλες τις κατηγορίες κάθε παράγοντα (Jimenez-Peralvarez, Irigaray, El Hamdouni, & Chacon, 2009).

Σχετικές εργασίες εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι των (Sarkar, Kanungo, Patra, & Kumar, 2008), (Suzen & Doyuran, 2004) και (Nandi & Shakoor, 2010).

4.2.3.1.2 Ανάλυση πολλών μεταβλητών

Στην ανάλυση πολλών μεταβλητών, οι παράμετροι των κατολισθήσεων αναλύονται με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (logistic regression) ή με τη μέθοδο της διαχωριστικής ανάλυσης (discriminant analysis). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ημι-ποσοτική μέθοδος WLC, η οποία αναφέρθηκε προωτέρω.

4.2.3.2 Λογιστική Παλινδρόμηση (Logistic Regression)

Η λογιστική παλινδρόμηση (*Logistic Regression*) περιγράφει την σχέση μιας κατηγορικής¹, αληθούς / ψευδούς ή δυαδικής εξαρτώμενης μεταβλητής. Η μέθοδος αυτή είναι μια μέθοδος πολύ - παραγοντικής στατιστικής ανάλυσης (*multivariate statistical analysis*) που χρησιμοποιεί ένα σύνολο ανεξαρτήτων μεταβλητών (*independent variables*), με σκοπό τη διερεύνηση μιας εξαρτημένης μεταβλητής (*dependent variable*). Βασική αρχή της λογιστικής παλινδρόμησης είναι η δίτιμη φύση της εξαρτημένης μεταβλητής (Menard, 1995 ; Lombardo & Mai, 2018).

4.2.3.3 Ντετερμινιστική Ανάλυση

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει όλες τις συμβατικές μεθόδους, οι οποίες εφαρμόζουν τη θεωρία και τις αρχές της κλασικής θεωρίας ευστάθειας πρανών. Σε αυτήν την μέθοδο ο κίνδυνος κατολισθήσεων προσδιορίζεται από τα γεωτεχνικά δεδομένα της περιοχής μελέτης και για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας περιοχών μεγάλης

¹ Περιγραφική μεταβλητή (*Nominal Scale*)

κλίμακας, τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται ως συστήματα χωρικής ανάλυσης και διεξαγωγής σεναρίων. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται τόσο σε ομοιογενή, όσο και σε ανομοιογενή πρηνή και χαρακτηρίζεται, σε γενικό πλαίσιο, ως μια απλή μέθοδος. (Sakellariou & Ferentinou, 2003 ; Corominas & Santacana, 2003 ; Xie et al., 2004 ; Das et al., 2009).

4.2.4 Υβριδικές μέθοδοι αποτίμησης της επιδεκτικότητας

Στη συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσονται όλες εκείνες οι τεχνικές, οι οποίες εκμεταλλεύονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των μεθόδων που έχουν αναφερθεί ανωτέρω, δημιουργώντας έτσι νέες υβριδικές μεθόδους.

Παράδειγμα υβριδικής μεθόδου εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις αποτελεί η μελέτη των *Melchiorre et al.* (2008). Για την ανάπτυξη αυτής της μεθόδου, οι συγγραφείς συνδύασαν την τεχνολογία των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων μαζί με αλγόριθμους συσταδοποίησης και το αποτέλεσμα αυτών προέκυψε μέσω ενός Γ.Σ.Π. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος *k-means* για τη ταξινόμηση των περιοχών σε συστάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά. Για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, τα διαθέσιμα δεδομένα χωρίστηκαν σε δεδομένα εκπαίδευσης, ελέγχου και επικύρωσης. Στη συνέχεια, τα δεδομένα εκπαίδευσης εισάγονταν σε ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο «*MLP*», όπου κάνοντας χρήση του αλγορίθμου *Levenberg - Marquardt* και εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές για την βελτιστοποίηση του μοντέλου, προέκυψε ο σχετικός χαρακτηρισμός επιδεκτικότητας. Τέλος, τα δεδομένα εξόδου εισάγονταν σε ένα Γ.Σ.Π. δημιουργώντας μια συνεχόμενη επιφάνεια στην οποία αποτυπώνονταν η επιδεκτικότητα της περιοχής έρευνας σε κατολισθητικά φαινόμενα.

5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

5.1 Επιπτώσεις κατολισθητικών φαινομένων

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).

5.1.1 Κοινωνικές επιπτώσεις κατολισθητικών φαινομένων

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).

5.1.2 Οικονομικές επιπτώσεις των κατολισθητικών κινήσεων

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 σύννητες, 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 κατολίστησης 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.
- Αντικατάσταση τεχνικών έργων, οδικού δικτύου, δικτύου ύδρευσης κ.α.

5.2 Μέθοδοι αποτροπής και ανάσχεσης κατολισθητικών φαινομένων

Για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων, έχουν προταθεί κατά καιρούς ένας μεγάλος αριθμός από μεμονωμένα μέτρα ή συνδυασμός αυτών, άλλα με μικρή και άλλα με μεγάλη αποτελεσματικότητα. Για την σωστή επιλογή ενός μέτρου ή συνδυασμού αυτών, απαιτείται η διερεύνηση των αιτίων που προκάλεσαν τη κατολίσθηση ή που συνέβαλαν ενεργά στην πρόκληση της. Πιο συγκεκριμένα, για την διερεύνηση μιας κατολισθητικής κίνησης, υπάρχουν τέσσερις (4) βασικοί παράγοντες που είναι καίριας σημασίας. Αυτοί είναι (Λέκκας, 2000):

- ✓ Η γνώση της γεωλογικής δομής της περιοχής που συνέβη το κατολισθητικό συμβάν.
- ✓ Η γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής και της συμπεριφοράς του υπόγειου νερού.
- ✓ Η γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών των πετρωμάτων τα οποία υπάρχουν τόσο στην κατολισθαίνουσα μάζα, όσο και στη τριγύρω περιοχή.
- ✓ Ο προσδιορισμός των επιφανειών ολίσθησης και γενικότερα ο γεωμετρικός καθορισμός στο χώρο, των χαρακτηριστικών και τμημάτων της κατολισθαίνουσας μάζας.

Στις παραγράφους που ακολουθούν, δίνονται παραδείγματα μέτρων αντιμετώπισης και αποτροπής των κατολισθητικών κινήσεων.

5.2.1 Μέθοδοι αποτροπής

Ο όρος «μέθοδος αποτροπής» αναφέρεται στις ενέργειες που απαιτούνται για την πρόληψη και παρεμπόδιση εμφάνισης ενός κατολισθητικού συμβάντος.

5.2.1.1 Επιφανειακή αποστράγγιση

Η επιφανειακή αποστράγγιση έχει σκοπό την απομάκρυνση των υδάτων από μια ασταθή γεωλογική μάζα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της επιφανειακής αποστράγγισης επιδιώκεται να ελαχιστοποιηθούν οι ποσότητες νερού, οι οποίες είτε λιμνάζουν στην ασταθή μάζα, είτε κατεισδύουν στη μάζα αυτή, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι



Εικόνα 5.1 “Επιφανειακή τάφρος συλλογής υδάτων” (Λέκκας Ε., 2000)

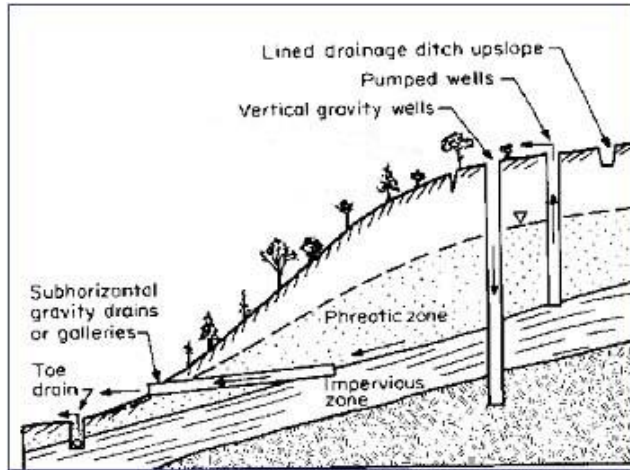
ασκούμενες πιέσεις. Τα έργα επιφανειακής αποστράγγισης, συνηθέστερα, έχουν εφαρμογή σε κατολισθήσεις εδαφικών υλικών, ενώ η επιλογή τους πραγματοποιείται, κυρίως, λόγω του μειωμένου κόστους τους και της ευκολίας της κατασκευής τους. Γενικότερα, τα έργα της επιφανειακής αποστράγγισης ποικίλουν, με τα πιο κοινά να είναι τα ακόλουθα (Λέκκας, 2000):

- Κατασκευή περιφερειακής τάφρου συλλογής υδάτων, ώστε τα ύδατα να μην εισέρχονται στο κύριο μέρος της κατολισθαίνουσας μάζας.
- Κατασκευή τάφρων απορροής έξω από την επικίνδυνη περιοχή, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των υδάτων σε μια απόσταση από την ασταθή μάζα.
- Εξομάλυνση της επιφάνειας της κατολισθαίνουσας μάζας, ώστε να πραγματοποιείται ελεύθερα η κίνηση του νερού πάνω στην επιφάνεια.

5.2.1.2 Υπόγεια αποστράγγιση

Μέσω της υπόγειας αποστράγγισης επιδιώκεται η μείωση των υπόγειων υδάτων, που κυκλοφορούν ή υπάρχουν στην κατολισθαίνουσα μάζα και στις επιφάνειες ολίσθησης αυτών. Η μείωση των υπόγειων υδάτων οδηγεί σε αύξηση της τριβής μεταξύ των επιφανειών ολίσθησης, αύξηση της αντοχής της κατολισθαίνουσας μάζας κ.α. Οι πιο κοινές εφαρμογές υπόγειας αποστράγγισης είναι (Λέκκας, 2000):

- Αντληση ποσοτήτων νερού από φρέατα και γεωτρήσεις.
- Κατασκευή οριζόντιων ή κεκλιμένων γεωτρήσεων. Μέσω αυτών, διευκολύνεται η έξοδος του νερού με ελεύθερη ροή από την κατολισθαίνουσα μάζα.
- Κατασκευής κεκλιμένων στραγγιστηριών.



Εικόνα 5.2 “Σκαρίφημα υπόγειων και επιφανειακών αποστραγγίσεων πρανούς” (Χρηστάρας, 2011)

Τα

στραγγιστήρια αυτά λειτουργούν όπως οι κεκλιμένες γεωτρήσεις, με μόνη διαφορά ότι αυτά κατασκευάζονται είτε πλαστικό είτε χάλυβα.

- Κατασκευής σήραγγων αποστράγγισης. Οι σήραγγες αυτές έχουν μέτριου μεγέθους διατομή και κατασκευάζεται σε λίγες περιπτώσεις, καθώς το κόστος είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Ακόμα, συνηθίζεται, μαζί με τις σήραγγες αυτές να κατασκευάζονται και κεκλιμένα στραγγιστήρια.

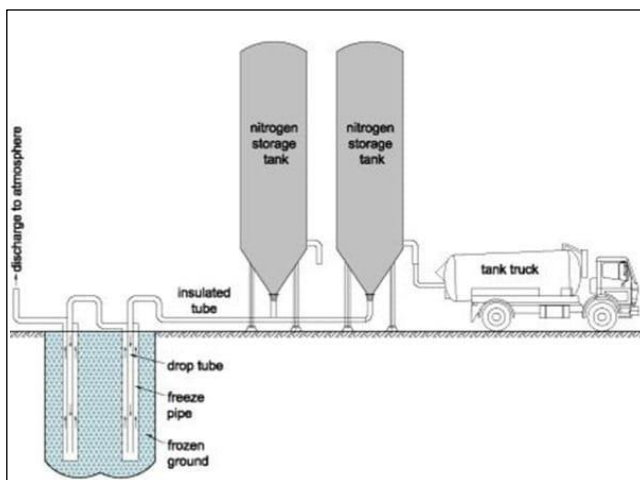
5.2.1.3 Διαμόρφωση πρανούς

Στη συγκεκριμένη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται μια σειρά μέτρων, που αποσκοπούν στην ελάττωση της κλίσης του πρανούς. Πιο συγκεκριμένα, στα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνονται η απομάκρυνση ενός τμήματος της μάζας που έχει μετακινηθεί ή πρόκειται να μετακινηθεί και η δημιουργία αναβαθμίδων και αντηρίδων. Η διαμόρφωση πρανούς εφαρμόζεται πολύ συχνά σε εδαφικά πρανή, αλλά όταν απαιτείται, βρίσκει λειτουργία και σε βραχώδη πρανή.

Η διαμόρφωση του πρανούς με αναβαθμούς πρέπει να εφαρμόζεται σε συνδυασμό και με άλλα μέτρα, όπως η κατασκευή συλλεκτήριων τάφρων επιφανειακών υδάτων, που να τα απομακρύνει μακριά από την επικίνδυνη ζώνη, καθώς και η κατασκευή υποστηρικτικών πλεγμάτων από οριζόντιους και κατακόρυφους πασσάλους στα κεκλιμένα ή κατακόρυφα τμήματα των αναβαθμών (Λέκκας, 2000).

5.2.1.4 Θέρμανση – Ψύξη

Οι δύο τεχνικές αυτές προσδίδουν στα εδάφη στα οποία εφαρμόζονται παροδική ή και μόνιμη βελτίωση της γεωτεχνικής τους συμπεριφοράς. Αυτές οι μέθοδοι έχουν εφαρμογή κυρίως σε ειδικές περιπτώσεις για την αντιμετώπιση κατολισθητικών φαινομένων, καθώς έχουν τεράστιο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, ενώ ακόμα απαιτούν και ειδικευμένο προσωπικό (Λέκκας, 2000).



Εικόνα 5.3 “Σκαρίφημα εφαρμογής μεθόδου ψύξης εδάφους με χρήση υγρού αζώτου” (Rahman, 2015)

Οι τεχνικές σταθεροποίησης εδαφών με ψύξη εφαρμόζονται σε όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς και κύριο σκοπό τους αποτελεί η παροδική βελτίωση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς των σχηματισμών, μέσω της μετατροπής του νερού των πόρων – ρωγμών σε πάγο. Με τη μέθοδο αυτή προκαλείται στερεοποίηση των σχηματισμών, αφού ο δημιουργούμενος πάγος λειτουργεί ως συγκολλητικό υλικό, ενώ ακόμα παρουσιάζει και μηδενική περατότητα. Η εφαρμογή της μεθόδου επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία ψυκτικού υγρού εντός δικτύου αγωγών, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι μέσα σε γεωτρήσεις. Το ψυκτικό υγρό μπορεί να είναι είτε υγρό αζώτο είτε μια παγωμένη άλμη.

Οι τεχνικές σταθεροποίησης εδαφών με θέρμανση εφαρμόζονται ως επί το πλείστον σε λεπτομερείς σχηματισμούς (π.χ. άργιλοι και ιλύες) και προκαλούν τόσο παροδική, όσο και μόνιμη βελτίωση της γεωτεχνικής τους συμπεριφοράς, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη θερμοκρασία. Ουσιαστικά, με την μέθοδο αυτή πραγματοποιείται η ξήρανση των εδαφών, ενώ όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, προκαλείται ανακρυστάλλωση των ορυκτών συστατικών των εδαφών αυτών και κατ’ αυτόν τον τρόπο στερεοποιούνται. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η διάνοιξη γεωτρήσεων, μέσα από τις οποίες διοχετεύεται στα εδάφη η θέρμανση, με τη χρήση είτε καυσαερίων, είτε ηλεκτρικού ρεύματος με ηλεκτρόδια γραφίτη.

5.2.1.5 Αγκυρώσεις εδαφικών και βραχωδών πρανών

Οι τεχνικές αγκύρωσης εφαρμόζονται σε περιπτώσεις που επιδιώκεται να συγκρατηθεί η μάζα του σχηματισμού στη θέση της. Η αγκύρωση πρέπει να γίνεται σε υγιείς και σχετικά σταθερό πέτρωμα, πέρα από την επιφάνεια θραύσης/ολίσθησης ή την αναμενόμενη επιφάνεια θραύσης/ολίσθησης. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και ένεμα, το οποίο προσδίδει καλύτερα αποτελέσματα στο «δέσιμο» του αγκυρίου στο περιβάλλον πέτρωμα. Κύριος στόχος της τεχνικής αυτής είναι η αύξηση της θλιπτικής ορθής τάσης, με αποτέλεσμα την μείωση των κινδύνων μετακίνησης (Λέκκας, 2000).



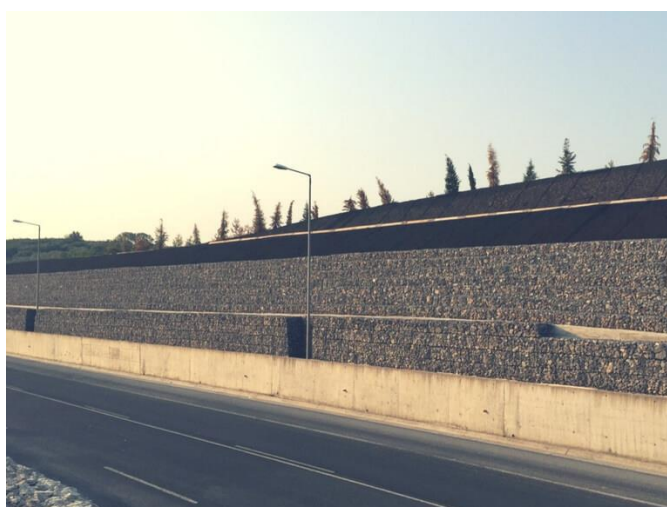
Εικόνα 5.4 “Ενδεικτική απεικόνιση αγκύρωσης πρανούς” (Sinorock, 2015)

Στις αγκυρώσεις εδαφικών πρανών τα αγκύρια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως αγκύρια καλωδίου με μήκος που μπορεί να φτάνει και τα 50 m. Ακόμα, σε αυτούς τους σχηματισμούς, επειδή η πλάκα του αγκυρίου δεν αρκεί, κατασκευάζεται σκυροδετημένη πλάκα, μέσω της οποίας μεταβιβάζονται τα φορτία στον σχηματισμό.

Στις αγκυρώσεις βραχωδών πρανών τα αγκύρια μπορούν να εγκατασταθούν τόσο κεκλιμένα, όσο και κάθετα. Αξίζει να σημειωθεί, πως τα κάθετα αγκύρια δεν συμβάλουν στην αύξηση της τάσης του βραχώδους πρανούς, αλλά η εγκατάστασή τους αποσκοπεί στην προένταση του πρανούς πριν την έναρξη της εκσκαφής.

5.2.1.6 Τοίχοι αντιστήριξης

Η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης αποτελεί ένα σύνθετο μέτρο για τη συγκράτηση και τη στήριξη επιφανειακών μαζών, το οποίο εφαρμόζεται συνήθως κατά μήκος του οδικού δικτύου. Οι τοίχοι αντιστήριξης κατασκευάζονται με ποικίλες διαστάσεις, ανάλογα με τη φύση και τη μορφολογία των γεωυλικών που πρόκειται να



Εικόνα 5.5 “Απεικόνιση χρήσης τοίχου απο συρματοκιβώτια σε συνδυασμό με άκαμπτο τοίχο από σκυρόδεμα για την αντιστήριξη πρανούς” (MacCafferri, 2017)

συγκρατηθούν. Σημειώνεται πως οι διαστάσεις έχουν άμεση επίδραση στη συνολική αντοχή των τοίχων. Εξίσου σημαντικό ρόλο στην αντοχή των τοίχων κατέχουν και ο τρόπος και τα υλικά κατασκευής τους (Λέκκας, 2000).

Η θεμελίωση των τοίχων αντιστήριξης πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε σε υγιές υπόβαθρο, καθώς οι ωθήσεις που δέχονται από τα γεωυλικά, ενδέχεται να προκαλέσουν αστοχία στη θεμελίωση, η οποία οδηγεί σε ολική αστοχία του τοίχου. Ακόμα, ιδιαίτερη φροντίδα θα πρέπει να δίνεται στην αποστράγγιση των ανάντι μαζών, ώστε να μειώνονται οι ωθήσεις που δέχεται ο τοίχος (Λέκκας, 2000).

Γενικότερα, έχουν επικρατήσει τρεις (3) τύποι τοίχων αντιστήριξης, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους:

- a) Άκαμπτοι με σκυρόδεμα,
- b) Ήμι - άκαμπτοι με λιθοδομές,
- c) Εύκαμπτοι με συρματοκιβώτια.

Η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, υπό περιπτώσεις, μπορεί να προσφέρει κι άλλες λειτουργίες για την ανάσχεση κατολισθητικών φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, ένας τοίχος από συρματοκιβώτια μπορεί να προσδώσει μια επιπλέον επιφόρτιση στον πόδα μια κατολίστεσης, αποτρέποντας την μετακίνηση των μαζών προς τα κατάντι.

5.2.1.7 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το συγκεκριμένο μέτρο χρησιμοποιείται συνήθως σε απότομα βραχώδη πρανή και έχει ως κύριο στόχο την συγκράτηση μικροτεμαχίων, τα οποία, δυνητικά, θα αποκολληθούν και θα καταπέσουν. Βέβαια, με την εφαρμογή του συγκεκριμένου μέτρου επιδιώκεται και η προφύλαξη των πετρωμάτων του πρανούς από τα επιφανειακά ύδατα, τα οποία εισχωρούν στη μάζα του και προκαλούν έντονη διάβρωση (Λέκκας Ε. , 2000).

Η εκτόξευση του σκυροδέματος, ως επί το πλείστον, εφαρμόζεται σε συνδυασμό και με άλλες μεθόδους ανάσχεσης. Πιο συγκεκριμένα, πριν την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος,



πραγματοποιείται απολέπιση και φρεζάρισμα του πρανούς,

Εικόνα 5.6 “Ενδεικτική απεικόνιση εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε απότομο βραχώδες πρανές” (INACCÉS, 2007).

για να απομακρυνθούν διαβρωμένα τμήματα του και στη συνέχεια, τοποθετείται το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε συνδυασμό με συρμάτινα δίχτυα συγκράτησης και αγκυρώσεις. Το πάχος του σκυροδέματος κυμαίνεται από 5 έως 20 εκατοστά (Λέκκας, 2000).

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει μικρό σχετικά κόστος εφαρμογής και πιο συνήθης εφαρμογή του αποτελεί η σταθεροποίηση τεχνητών βραχωδών πρανών σε αυτοκινητοδρόμους, σιδηροδρομικές γραμμές ή ακόμα και όπου κατασκευάζονται μεγάλα τεχνικά έργα (Λέκκας, 2000).

5.2.2 Μέθοδοι Ανάσχεσης

Με τον όρο «ανάσχεση» ορίζονται όλες εκείνες οι ενέργειες, που απαιτούνται για την συγκράτηση και την επιτυχή αντιμετώπιση ενός κινδύνου. Συνεπώς, ως «μέθοδοι ανάσχεσης» των κατολισθήσεων θεωρούνται όλες εκείνες οι μέθοδοι, που επιτυγχάνουν τη συγκράτηση και αντιμετώπιση ενός κατολισθητικού φαινομένου.

5.2.2.1 Τάφροι παγίδευσης

Η κατασκευή τάφρων παγίδευσης αποτελεί την απλούστερη κατασκευή ανάσχεσης καταπτώσεων βραχωδών πρανών. Αυτά έχουν εφαρμογή κυρίως σε οδικές αρτηρίες

και σιδηροδρομικές γραμμές. Οι τάφροι κατασκευάζονται στη βάση του πρανούς και έχουν τραπεζοειδή διατομή. Το πλάτος και το βάθος τους καθορίζονται κυρίως από το ύψος και τη κλίση του πρανούς, ενώ ακόμα πρέπει να συνυπολογίζεται η βλάστηση καθώς και η φύση των υλικών που πρόκειται να δεχτούν.

5.2.2.2 Αναχώματα ανάσχεσης

Τα αναχώματα ανάσχεσης αποτελούν συμπαγή εμπόδια, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να σταματούν τους κυλιόμενους ή αναπηδώντες βράχους και αποτελούν, σε πολλές περιπτώσεις, τα οικονομικότερα μέσα ανάσχεσης καταπτώσεων. Ακόμα, έχουν τη δυνατότητα να παραλαμβάνουν πολύ μεγάλης ενέργειας κρούσεις, οι οποίες μπορεί να είναι και επαναλαμβανόμενες. Οι διαστάσεις των αναχωμάτων εξαρτώνται άμεσα από την ενέργεια κρούσης, η οποία προκύπτει από ο ύψος και τη κλίση του πρανούς, καθώς και από το μέγιστο μέγεθος και αριθμό των επισφαλών τεμαχίων. Για την εγκατάσταση τους απαιτούν μεγάλη έκταση και το γεγονός αυτό αποτελεί το βασικό μειονέκτημα τους. Τέλος, τα αναχώματα κατασκευάζονται συνήθως από συρματοκιβώτια και οπλισμένη γη, ενώ ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και φυσικά διαθέσιμα υλικά της ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης (Λέκκας, 2000).

5.2.2.3 Φράχτες ανάσχεσης

Η κατασκευή φραχτών ανάσχεσης έχει ανάλογο σκοπό με αυτόν της κατασκευής ενός αναχώματος. Αυτοί αποτελούνται από μεταλλικά ελάσματα – πασσάλους, οι οποίοι μεταξύ τους φέρουν μεταλλικό δίκτυο. Το δίκτυο αυτό σχεδιάζεται ώστε να παραλάβει ενέργεια από 500 έως 5000 kJ. Για την επιλογή και τον σχεδιασμό του κατάλληλου φράχτη πρέπει να είναι γνωστά



Εικόνα 5.7 “Απεικόνιση φράχτη ανάσχεσης κατολισθήσεων” (Terra Nova, 2016)

δεδομένα για το ύψος του πρανούς και για τη μέγιστη ενέργεια πρόσκρουσης. Αξίζει να σημειωθεί πως σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του φράχτη ανάσχεσης αποτελεί και η θέση εγκατάστασης του. Τέλος, οι φράχτες ανάσχεσης κατέχουν σημαντικό

πλεονέκτημα έναντι των αναχώματα στο ότι είναι αρκετά πιο εύκαμπτοι (Λέκκας, 2000).

5.2.2.4 Υπόστεγα – Σήραγγες

Τα υπόστεγα αποτελούν μια από τις έσχατες λύσεις για την ανάσχεση των κατολισθητικών φαινομένων. Αυτά κατασκευάζονται κατά μήκος οδικών αρτηριών και σιδηροδρομικών γραμμών για την προφύλαξη από καταπτώσεις. Αποτελούν ιδιαίτερα δαπανηρές, αλλά ταυτόχρονα μεγάλης αντοχής κατασκευές, οι οποίες κατασκευάζονται όταν κανένα άλλο μέτρο δεν είναι αποδοτικό.



Εικόνα 5.8 “Απεικόνιση σκέπαστρου σε οδικό δίκτυο”. (Λέκκας, 2000)

Όπως τα υπόστεγα, έτσι και η κατασκευή σηράγγων αποτελεί μια από τις τελευταίες λύσεις έναντι των κατολισθητικών φαινομένων. Αποτελούν ιδιαίτερα δαπανηρά έργα, των οποίων ο κύριος σκοπός είναι η προστασία οδικών και σιδηροδρομικών γραμμών. Πολύ συχνός τρόπος κατασκευής των σηράγγων αυτών είναι με τη μέθοδο Cut and Cover, σύμφωνα με την οποία εκσκάβεται ένα μέρος του πρανούς, κατασκευάζεται η σήραγγα και στη συνέχεια για τη προστασία της, επιχωματώνεται ώστε η κλίση του πρανούς να γίνει πιο ήπια, αλλά και να χρησιμοποιηθεί το βάρος των υλικών της επιχωμάτωσης ως μέσο αντιστήριξης του πρανούς (Λέκκας, 2000).

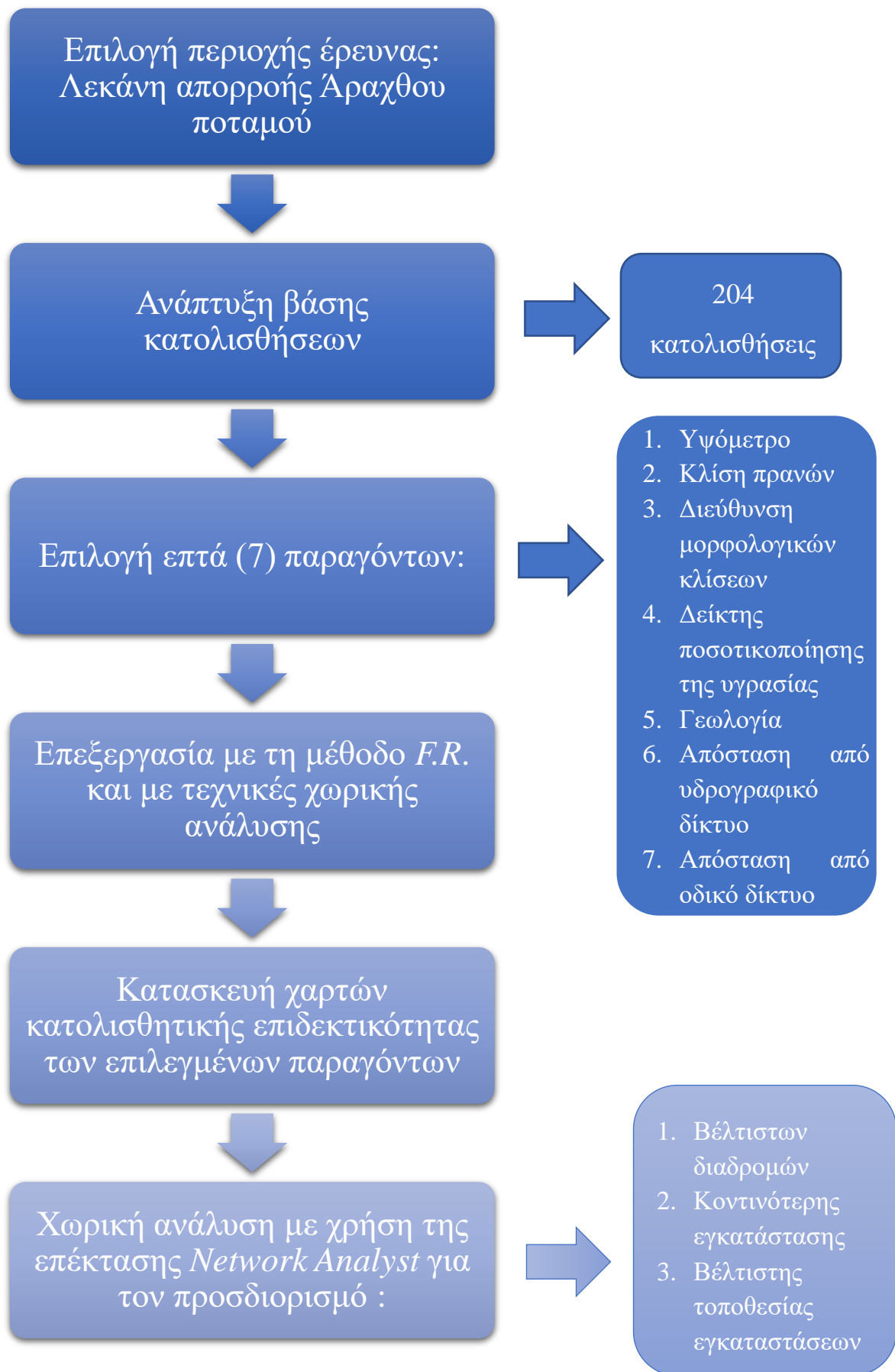
6 ΑΝΑΠΤΥΧΘΕΙΣΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

6.1 Γενικά Στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, καθώς επίσης και η ακολουθούμενη διαδικασία για την εύρεση της βέλτιστης ακολουθούμενης διαδρομής και την εύρεση της κοντινότερης εγκατάστασης σε περίπτωση που ένα κατολισθητικό φαινόμενο εμποδίζει την ομαλή εκκένωση ενός οικισμού μέσω του οδικού δικτύου. Ακόμα, θα αναλυθεί η διαδικασία μέσω της οποίας εντοπίζονται οι βέλτιστες από άποψη ταχύτερης απόκρισης εγκαταστάσεις παροχής βοήθειας, οι οποίες θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τα σημεία ζήτησης (πιθανές θέσεις εκδήλωσης κατολισθητικών συμβάντων), τα οποία υπάρχουν σε ολόκληρη τη περιοχή έρευνας.

Για την επιτυχή ολοκλήρωση των ανωτέρω διαδικασιών πρωτεύων λόγο έχει η δημιουργία ενός αρχείου απογραφής κατολισθήσεων καθώς και η επιλογή των παραγόντων που συμβάλλουν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων και ακολούθως, με χρήση της στατιστικής μεθόδου *λόγων συχνοτήτων* (*FR*) και την αξιοποίηση τεχνικών χωρικής ανάλυσης, προσδιορίζεται η κατολισθητική επιδεκτικότητα. Στη συνέχεια, έχοντας γνωστή την επιδεκτικότητα της περιοχής δύναται να προσδιοριστούν οι εγκαταστάσεις που ικανοποιούν τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν στην παράγραφο που προηγήθηκε.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας αξιοποιήθηκαν τα προγράμματα ArcMap 10.3 της εταιρείας ESRI, καθώς και το πρόγραμμα Excel της σουίτας του Microsoft Office. Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία, τόσο των επιμέρους, όσο και του τελικού χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων, καθώς και για την εφαρμογή χωρικής ανάλυσης στη περιοχή έρευνας, ενώ μέσω του δεύτερου πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων, που προέκυψαν από την ανάλυση μέσω του ArcMap, για τον υπολογισμό των κατάλληλων μεγεθών για να εφαρμοστεί η μέθοδος *λόγων συχνοτήτων*.



Εικόνα 6.1 "Ροόγραμμα απεικόνισης της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την κατασκευή χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας και για την χωρική ανάλυση μέσω της επέκτασης *Network Analyst*"

6.2 Αρχείο κατολισθήσεων

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο απογραφής 204 διαφορετικών κατολισθήσεων, οι οποίες έχουν εκδηλωθεί στην περιοχή έρευνας (όπως αυτή αναλύεται στο Κεφάλαιο 7) κατά τα προηγούμενα χρόνια.

Η συγκέντρωση, επεξεργασία και καταγραφή των κατολισθήσεων αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία και βασικό στάδιο στη διερεύνηση της επιδεκτικότητας (susceptibility) των κατολισθήσεων. Τα αρχεία απογραφής κατολισθήσεων αποτελούν την πιο απλή μορφή χαρτογράφησης κατολισθήσεων καθώς περιλαμβάνουν την ακριβή θέση, αλλά και επιπρόσθετα στοιχεία που αφορούν την έκταση και την ημερομηνία εκδήλωσης της κάθε κατολίστησης (Κάβουρα, 2017).

6.3 Επιλογή παραγόντων

Γενικά, σε μια δεδομένη περιοχή, υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί συνδυασμοί αιτιολογικών παραγόντων, οι οποίοι συνδέονται με την έναυση κατολισθητικών φαινομένων. Ως εκ τούτου, λόγω του πλήθους των παραγόντων αυτών, καθίσταται δύσκολη η παροχή αυστηρών κανόνων ή κατευθυντήριων γραμμών σχετικά με τον τύπο δεδομένων ή παραγόντων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Berhane, et al., 2020). Η απόφαση για την επιλογή συγκεκριμένων παραγόντων στηρίζεται κυρίως:

- Στην ευχέρεια πρόσβασης στις διάφορες πηγές πληροφόρησης.
- Στη σπουδαιότητα των ήδη χρησιμοποιούμενων παραγόντων, όπως κρίνεται από τους διάφορους ερευνητές.

Για τη παρούσα διπλωματική εργασία, οι παράγοντες που επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη του μοντέλου επιδεκτικότητας είναι οι ακόλουθοι:

1. Υψόμετρο (Elevation):

Το υψόμετρο είναι χρήσιμο για να ταξινομήσει το τοπικό ανάγλυφο και να εντοπίσει σημεία μέγιστου και ελάχιστου ύψους μέσα σε εδάφη. Το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM) δημιουργείται από τα πρωτογενή στοιχεία των ισοϋψών καμπυλών ανά 25m, τα οποία προήλθαν από τον διαδικτυακό ιστότοπο OpenDEM (OpenDEM, 2019).

2. Κλίση πρανών (Slope):

Η κλίση θεωρείται ένας από τους κυριότερους παράγοντες ελέγχου στον σχηματισμό κατολισθήσεων και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως στον υπολογισμό της κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Shahabi, Ahmad, & Hashim, 2014).

3. Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων (Aspect):

Η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων αποτελεί έναν παράγοντα που δεν επιδρά άμεσα στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων, αλλά η διεύθυνση κλίσης συνδέεται με το φαινόμενο, κυρίως με την επίδραση της έκθεσης των πρανών σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, π.χ. διάρκεια ηλιακού φωτός, ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία κ.α., αλλά και διαφορετικών συνθηκών ανάπτυξης βλάστησης (Berhane, et al., 2020 ; Yalcin et al., 2011)

4. Δείκτης ποσοτικοποίησης της υγρασίας (Compound Topographic Index):

Ο Δείκτης Ποσοτικοποίησης της Υγρασίας (Compound Topographic Index ή CTI) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απεικονίσει πτυχές των υδρολογικών συστημάτων. Από αυτό συμπεραίνεται πως το CTI συνδέεται άμεσα με την υγρασία του εδάφους. Αποτελεί έναν δείκτη υγρασίας σταθερής κατάστασης, και έτσι σε επίπεδες περιοχές λαμβάνει μεγάλες τιμές, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να θεωρηθεί ως μεταβλητή. Περιοχές με χαμηλές τιμές CTI αντιπροσωπεύουν μέρη με μικρές λεκάνες απορροής και απότομες πλαγιές ή λόφους, ενώ περιοχές με υψηλές τιμές CTI αντιπροσωπεύουν μέρη με μεγάλες λεκάνες απορροής και ήπιες πλαγιές. (Yang, et al., 2005)

5. Γεωλογικά χαρακτηριστικά (Geology):

Η γεωλογία και οι λιθολογικές ενότητες αποτελούν τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που ελέγχουν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων σε ότι αφορά τον τύπο, την ένταση και την επανάληψη (Fell, et al., 2008 ; Shahabi, Ahmad, & Hashim, 2014 ; Berhane, et al., 2020 ; Yalcin et al., 2011). Τα γεωλογικά δεδομένα για τη περιοχή έρευνας της παρούσας διπλωματικής προήλθαν από τον γεωλογικό χάρτη του τομέα υδατικών πόρων και περιβάλλοντος του Ι.Γ.Μ.Ε., που αφορά το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου (05). (Ι.Γ.Μ.Ε, 2000)

6. Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο (Distance to rivers):

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής επηρεάζεται άμεσα από παράγοντες, όπως το μορφολογικό ανάγλυφο, η λιθολογική σύσταση, οι

τεκτονικοί παράγοντες, οι κλιματολογικές συνθήκες κ.α. Περιοχές με πυκνότερα αναπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο υποδηλώνουν τον έντονο κερματισμό των σχηματισμών και τη δημιουργία αζονικών διαβρώσεων. Απ' την άλλη μεριά η ανάπτυξη αραιού υδρογραφικού δικτύου υποδηλώνει μεγαλύτερη σταθερότητα των λεκανών. (Berhane, et al., 2020 ; Shahabi, Ahmad, & Hashim, 2014 ; Yalcin, et al., 2011).

7. Απόσταση από το οδικό δίκτυο (Distance to roads):

Το οδικό δίκτυο αποτελεί παράγοντα ανθρωπογενούς παρέμβασης. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων. Οι εκτεταμένες εκσκαφές, η εφαρμογή εξωτερικών φορτίων και η απομάκρυνση της βλάστησης είναι οι πιο συνήθεις ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά μήκος του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του και οδηγούν σε αύξηση της επίδρασης του στην εκδήλωση κατολισθήσεων. (Shahabi, Ahmad, & Hashim, 2014 ; Βασιλειάδης, 2010 ; Yalcin, et al., 2011).

Για τη διαχείριση των δεδομένων αυτών στην εκτίμηση της επιδεκτικότητας απαιτείται η ταξινόμησή τους σε κλάσεις, εάν πρόκειται για συνεχείς τιμές ή κατηγορίες, εάν πρόκειται για περιγραφικά δεδομένα.

Στις περιπτώσεις που μία παράμετρος εκφράζεται ως μια συνεχή επιφάνεια χωρίς διακριτά όρια και με αριθμητική διαφοροποίηση, θα πρέπει να προσδιοριστούν κλάσεις με διακριτά όρια εντός των οποίων ταξινομούνται οι τιμές της παραμέτρου. Η επιλογή του αριθμού και των ορίων των κλάσεων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους και εξαρτάται κάθε φορά από τις ανάγκες της έρευνας ή την κρίση του ερευνητή, αλλά και προδιαγραφές και κανόνες που μπορεί να τις καθορίζουν.

6.4 Μέθοδος Λόγων Συχνοτήτων (*Frequency Ratio*)

6.4.1 Εφαρμογή της μεθόδου

Με την εφαρμογή της μεθόδου Λόγων Συχνοτήτων (FR) το σύνολο των κατολισθήσεων κατανέμεται κάθε φορά για κάθε έναν παράγοντα διαφορετικά στις επιμέρους κλάσεις. Αποτελεί ένα μέγεθος, που αγνοεί τη συνύπαρξη άλλων παραγόντων και δεν κρίνεται η σπουδαιότητα του κάθε παράγοντα από το αποτέλεσμα που προκύπτει. Στόχος της μεθόδου είναι η διαμόρφωση των επιμέρους παραμέτρων,

που αναφέρθηκαν ανωτέρω, με βάση την συχνότητα εμφάνισης των κατολισθήσεων ανά κλάση, ώστε όλες οι παράμετροι να έχουν κοινό σύστημα αναφοράς.

Αφότου υπολογιστούν οι παράμετροι κάθε κλάσης για όλους τους επιλεγμένους παράγοντες, αυτοί εισάγονται σε κατάλληλο πρόγραμμα Γ.Σ.Π. και με τη χρήση διαδικασιών χωρικής ανάλυσης δημιουργείται χάρτης, που αποτυπώνει την επιρροή των επιλεγμένων παραγόντων ως προς την εμφάνιση κατολισθήσεων. Μόλις ολοκληρωθούν οι επιμέρους χάρτες επιρροής για όλους τους παράγοντες, δημιουργείται ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις.

Χρησιμοποιώντας όρους στατιστικής, η μέθοδος αυτή εκφράζεται μέσω της *Σχετικής Συχνότητας*. Υποθέτοντας ότι $\chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_n$ είναι οι κλάσεις ενός παράγοντα X , που αφορά τις κατολισθήσεις ενός δείγματος μεγέθους n , τότε στην τιμή χ_1 αντιστοιχίζεται η απόλυτη συχνότητα ν_1 (frequency), δηλαδή ο φυσικός αριθμός που δείχνει πόσες φορές η τιμή χ_1 του εξεταζόμενου παράγοντα X , εμφανίζεται στο σύνολο των παρατηρήσεων. Το σύνολο των συχνοτήτων προκύπτει ίσο με το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή $\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n$. Τελικά προκύπτει πως η Σχετική Συχνότητα (LF - Landslide Frequency) είναι:

$$LF = \frac{\nu_i}{n} \%$$

Το μοντέλο *Λόγου Συχνοτήτων* (Frequency Ratio model - FR) χρησιμοποιείται ευρύτατα στη διεθνή βιβλιογραφία, λόγω της εύκολης εφαρμογής του σε περιπτώσεις που διατίθεται ολοκληρωμένη βάση δεδομένων κατολισθήσεων με πολλούς παράγοντες. Αξίζει να σημειωθεί, ακόμα, πως η εφαρμογή του δεν έχει ούτε ιδιαίτερες απαιτήσεις σε γνώσεις στατιστικής αλλά ούτε και στον τρόπο υπολογισμού.

(Shah, et al., 2018).

6.4.2 Εκτίμηση της προγνωστικής απόδοσης της μεθόδου

Η φάση αυτή αποτελεί το τελικό στάδιο της μεθόδου Λόγου Συχνοτήτων (FR) και σε αυτήν εκτιμάται η χωρική προγνωστική απόδοση του μοντέλου με την χρήση των καμπυλών Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δείκτη (Receiver Operating Characteristic, ROC), καθώς και μέσω της εκτίμησης της σχετικής πυκνότητας των κατολισθητικών συμβάντων σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν οι ζώνες κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

Η πρώτη εκτίμηση του μοντέλου έχει να κάνει με την χωρική του απόδοση. Γι' αυτήν αξιοποιείται η βάση εκπαίδευσης, καθώς και η βάση ελέγχου-επαλήθευσης. Μέσω της βάσης εκπαίδευσης εκτιμάται η απόδοση του μοντέλου να μαθαίνει, ενώ αξιοποιώντας την βάση ελέγχου-εκπαίδευσης εκτιμάται η προγνωστική απόδοση του μοντέλου.

Με την χρήση κατάλληλης μαθηματικής συνάρτησης διαμορφώνεται το σχετικό διάγραμμα που παρουσιάζει την καμπύλη ROC, όπου στον άξονα Y αντιστοιχεί το αθροιστικό ποσοστό της έκτασης των κλάσεων του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας και στον άξονα X το αθροιστικό ποσοστό των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων. Ακολούθως, υπολογίζεται το ποσοστό της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη ROC, το οποίο αντιστοιχεί στην απόδοση του μοντέλου να μαθαίνει.

(Κάβουρα, 2017)

6.5 Ανάλυση δικτύων μέσω της επέκτασης Network Analyst

6.5.1 Γενικά Στοιχεία

Το «*Network Analyst*» αποτελεί ένα προϊόν επέκτασης του προγράμματος *ArcGIS*, μέσω του οποίου δύναται να πραγματοποιηθούν χωρικές αναλύσεις σε συστήματα μεταφορών. Οι αναλύσεις που μπορούν να επιτευχθούν περιλαμβάνουν την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, την παροχή κατευθυντήριων οδηγιών, την εύρεση της κοντινότερης εγκατάστασης, καθώς και την εύρεση μιας ή παραπάνω εγκατάστασης ως την καταλληλότερη για την εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου αριθμού σημείων ζήτησης (ESRI, 2020).

Μέσω της επέκτασης αυτής δύναται να κατασκευαστούν άμεσα και αποτελεσματικά συστήματα μεταφορών για την εξυπηρέτηση του κοινού, τόσο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όσο και περιπτώσεις αποσυμφόρησης της κίνησης.

Παράδειγμα εφαρμογής της εν λόγω επέκτασης, αποτελεί η μελέτη των *Gülden et al (2004)* και η μελέτη του *Pasha (2006)*, μέσω των οποίων σχεδιάστηκαν πιθανές διαδρομές ασθενοφόρων για τη μεταφορά ασθενών προς τα νοσοκομεία με τη μικρότερη πιθανότητα περεταίρω επιβάρυνσής της υγείας τους, λόγω καθυστερημένης περίθαλψης.

Μια ακόμα μελέτη, που χρησιμοποιεί την επέκταση, είναι αυτή των *Tang & Wannemacher (2005)*. Μέσω αυτής οπτικοποιούνται τα σημεία με έντονη κίνηση του οδικού δικτύου της περιοχής Buffalo της Νέας Υόρκης, καθώς και οι δίοδοι που

μπορούν να ακολουθηθούν για να διευθετηθεί το μποτιλιάρισμα. Βασικός σκοπός αυτής της μελέτης είναι η ομαλή εκκένωση της εν λόγω περιοχής, μέσω της παραπάνω διαδικασίας, σε μια περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όπως μια πυρκαγιά. Έτσι, αν ακολουθηθεί η ανάλυση αυτή, θα κινδυνεύσουν πολύ λιγότεροι πολίτες.

Ένα ακόμα παράδειγμα εφαρμογής της επέκτασης αποτελεί η μελέτη των *Akay & Kakol (2014)*. Οι ερευνητές αυτοί διενήργησαν μια ανάλυση, η οποία προσδιορίζει τη βέλτιστη διαδρομή που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος μεταφοράς δασικών προϊόντων από δέκα (10) σημεία μονάδων συγκομιδής προς δύο (2) κέντρα αποθήκευσης στη νοτιοανατολική Τουρκία.

Στο πλαίσιο εφαρμογής της επέκτασης σε φαινόμενα φυσικών καταστροφών, έχουν διενεργηθεί δύο (2) μελέτες, οι οποίες αφορούν την απομάκρυνση του πληθυσμού σε περίπτωση ενός τσουνάμι. Η πρώτη μελέτη, των *Faisal Ashara, Dilanthi Amaratunga & Richard Haigh (2018)* διενεργεί ανάλυση για την εύρεση της καλύτερης τοποθεσίας και διαδρομής, μεταξύ τριών περιπτώσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν ένα, δύο και τρία καταφύγια, σε περίπτωση που χτυπηθεί η πόλη Padang από ένα τσουνάμι. Στη δεύτερη μελέτη των *Seda Salap, Aykut Ayça, Zuhul Akyürek, Ahmet Cevdet Yalçınır (2011)* πραγματοποιείται ανάλυση για τον εντοπισμό των κτηρίων και των οδών που θα πλημμυρίσουν και δεν θα είναι ικανοί να εξυπηρετήσουν το κοινό ως οδοί εκκένωσης, καθώς και την εύρεση των βέλτιστων ακολουθούμενων διαδρομών εκκένωσης.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό το μεγάλο εύρος εφαρμογής την εν λόγω επέκτασης, καθώς μπορούν να μελετηθούν πολλά και διαφορετικά μεταξύ τους αντικείμενα, από την διευθέτηση της κίνησης μιας πυκνοκατοικημένης περιοχής, μέχρι και τον προσδιορισμό των βέλτιστων διαδρομών για τη διάσωση και μεταφορά πολιτών σε περίπτωση που συμβεί ένα καταστροφικό φαινόμενο.

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι δεν βρέθηκε αντίστοιχη εφαρμογή της εν λόγω επέκτασης που να αφορά κατολισθητικά φαινόμενα.

6.5.2 Εύρεση βέλτιστης διαδρομής (Route Analysis)

Μέσω της εντολής αυτής πραγματοποιείται επίλυση από την επέκταση Network Analyst, η οποία οδηγεί σε οριοθέτηση μιας διαδρομής, της οποίας τα χαρακτηριστικά ποικίλουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε προβλήματος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εύρεσης βέλτιστης διαδρομής είναι ως προς τον χρόνο ή την κίνηση ή ακόμα και ως προς την καλαισθησία ενός τοπίου. Αξίζει να σημειωθεί πως μέσω της

εν λόγω εντολής, δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής στάσεων (stops) στο μοντέλο επίλυσης (ESRI, 2020).

Η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, στη παρούσα εργασία, περιλαμβάνει την επιλογή εκείνης της διαδρομής, η οποία εφόσον συμβεί ένα κατολισθητικό φαινόμενο στο οδικό δίκτυο και εγκλωβιστεί ένας οικισμός, να είναι η χρονικά πιο γρήγορη, με σκοπό την συντομότερη άφιξη του συνεργείου διάσωσης στο σημείο.

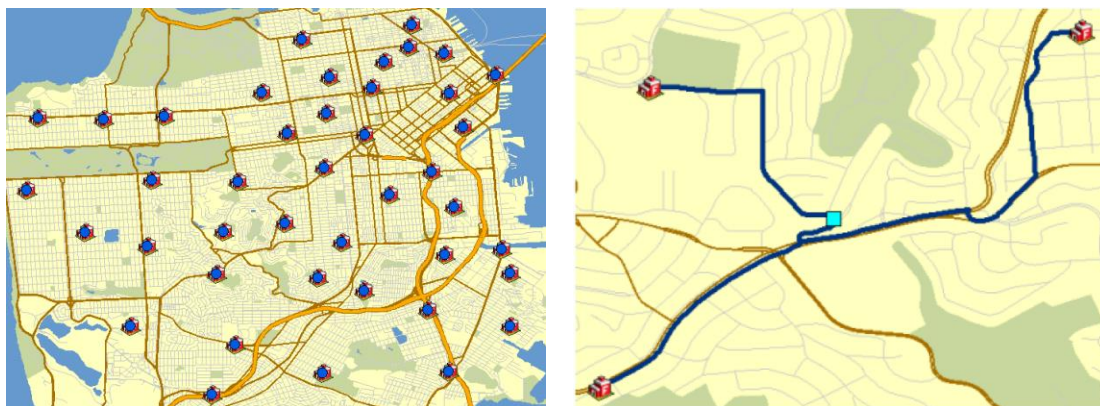


Εικόνα 6.2 "Απεικόνιση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ τριών σημείων (stops)" (ESRI, 2010)

6.5.3 Εύρεση κοντινότερης εγκατάστασης (*Closest Facility Analysis*)

Μέσω της συγκεκριμένης εντολής υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ συμβάντων και εγκαταστάσεων και κατ' αυτόν τον τρόπο, καθορίζονται αυτά που είναι σε κοντινότερη απόσταση μεταξύ τους. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής συγκεκριμένων περιορισμών, όπως η απόσταση μεταξύ των εγκαταστάσεων και των συμβάντων ή ακόμα και μέγιστο χρονικό όριο άφιξης από μια εγκατάσταση σε ένα συμβάν (ESRI, 2020).

Αξίζει να σημειωθεί πως πριν την επίλυση της συγκεκριμένης εντολής, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής περαιτέρω περιορισμών. Ενδεικτικά δύο περιορισμοί που μπορούν να εισαχθούν είναι η επιλογή συγκεκριμένης ώρας της ημέρας που επρόκειτο να ακολουθεί η διαδρομή και η εισαγωγή στοιχείων αυξημένης ή μηδενικής κίνησης, για να υπολογιστεί η απόκλιση στους χρόνους άφιξης (ESRI, 2020).



Εικόνα 6.3 "Εύρεση των κοντινότερων πυροσβεστικών σταθμών στο επιλεγμένο σημείο" (ESRI, 2010)

6.5.4 Κατανομή τοποθεσίας βέλτιστων εγκαταστάσεων (*Location – Allocation*)

Μέσω της εντολής αυτής καθορίζεται η καλύτερη τοποθεσία για μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις που μπορούν να εξυπηρετήσουν ένα δεδομένο σύνολο σημείων ζήτησης.

Η βέλτιστη τοποθεσία (ή τοποθεσίες) υπολογίζεται με τη χρήση κατάλληλων αλγόριθμων σε ένα Γ.Σ.Π. Υπάρχουν δύο παράμετροι στην διαδικασία για την εύρεση των βέλτιστων εγκαταστάσεων,. Ο πρώτος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της καλύτερης τοποθεσίας προσφοράς (Ανάλυση τοποθεσίας) και ο δεύτερος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της τοποθεσίας προσφοράς, στην οποία πρέπει να εκχωρηθεί κάθε σημείο ζήτησης.

Η κατανομή τοποθεσίας βέλτιστων εγκαταστάσεων μπορεί να λαμβάνει υπόψη παράγοντες, όπως ο αριθμός των διαθέσιμων εγκαταστάσεων, το κόστος τους και η μέγιστη σύνθετη αντίσταση από μια εγκατάσταση σε ένα σημείο εξυπηρέτησης προκειμένου να αντιστοιχιστεί το σημείο σε μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις (ESRI, 2020).

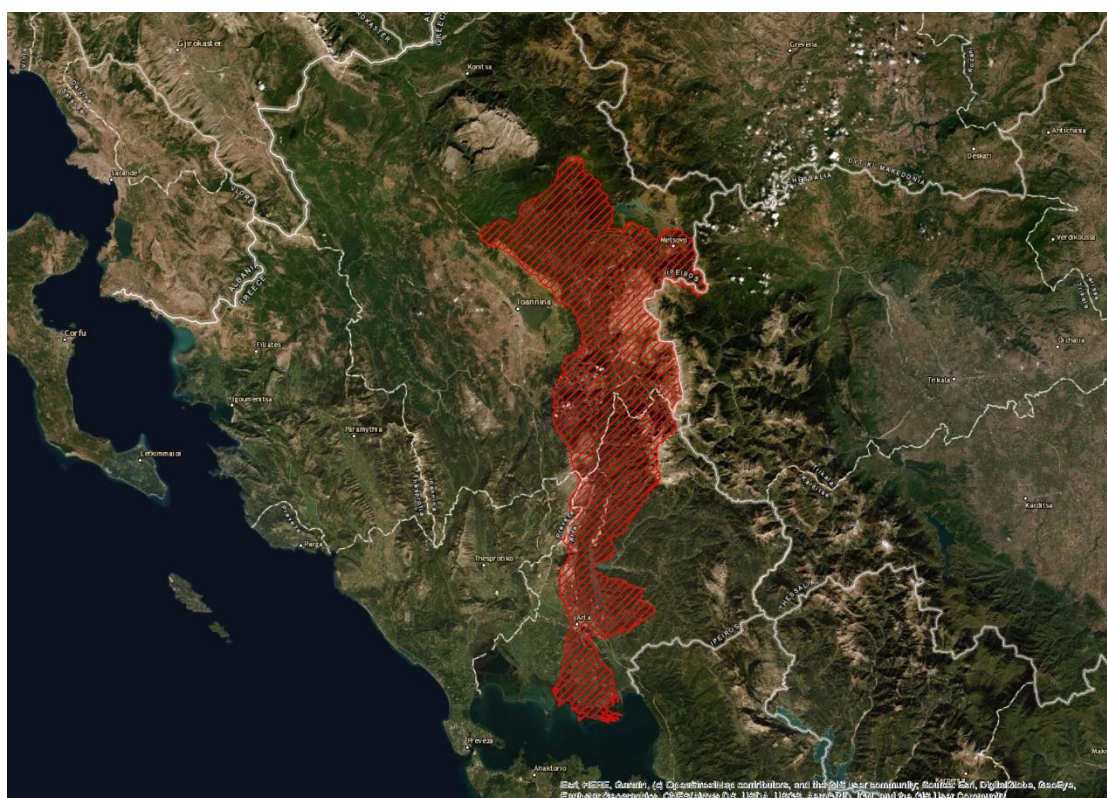


Εικόνα 6.4 "Παράδειγμα απεικόνισης των βέλτιστων τοποθεσιών που εξυπηρετούν τα σημεία ζήτησης" (ESRI, 2010)

7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΧΘΕΙΣΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

7.1 Ορισμός περιοχής έρευνας

Η περιοχή έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η λεκάνη απορροής του Αράχθου ποταμού, η οποία βρίσκεται στο ευρύτερο γεωγραφικό διαμέρισμα της Ηπείρου, στην Ελλάδα, και περικλείει τμήματα από τους νομούς Άρτας και Ιωαννίνων, όπως απεικονίζεται και στην *Εικόνα 7.1*. Στην εικόνα αυτή είναι διακριτά τα όρια των νομών, καθώς και οι βασικές πόλεις αυτών. Ο



Εικόνα 7.1 “Αποτύπωση της περιοχής έρευνας” (Πηγή: Google Earth)

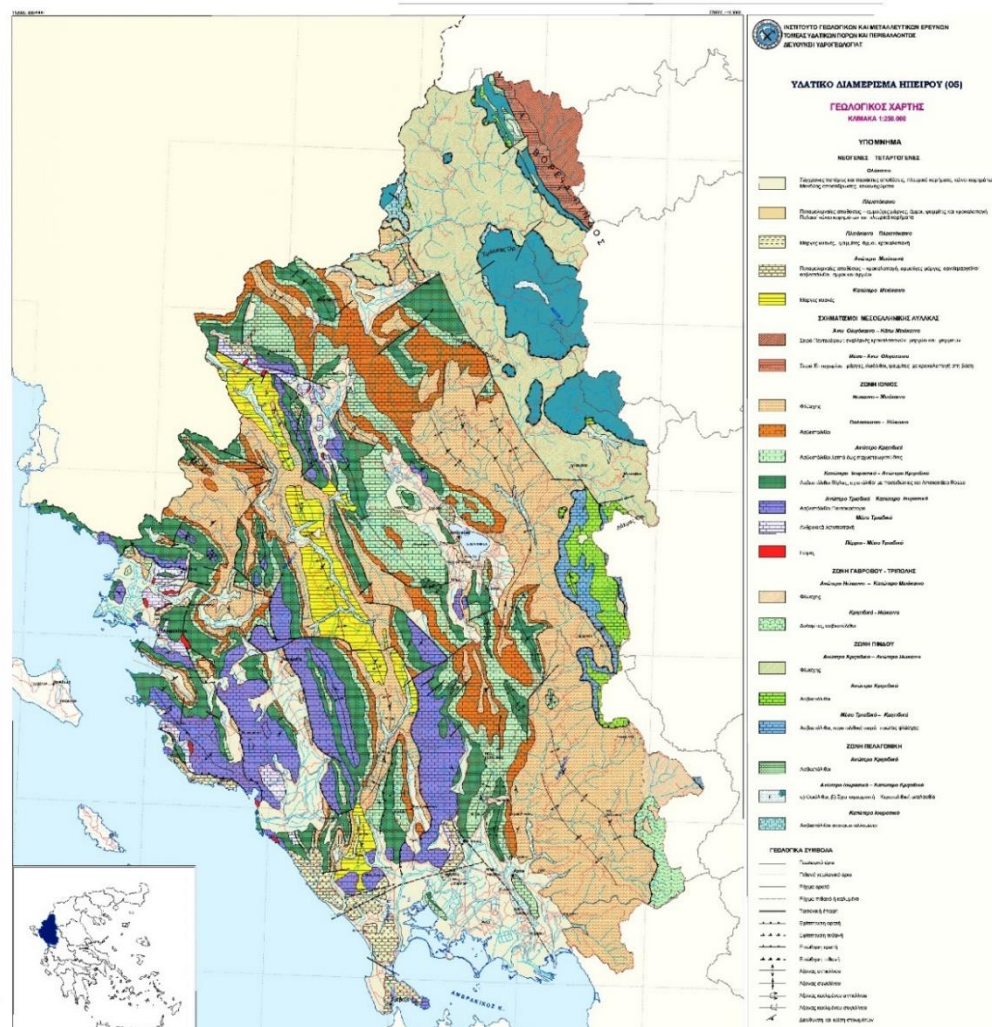
πληθυσμός ολόκληρου του διαμερίσματος σύμφωνα με τη τελευταία απογραφή της ΕΣΥΕ του 2011 ανέρχεται στις 336.856 κατοίκους, από τους οποίους οι 167.696 βρίσκονται στη πόλη των Ιωαννίνων.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή έρευνας είναι αποτέλεσμα σύμπτυξης μιας κύριας λεκάνης απορροής και μιας υπολεκάνης αυτής. Μια λεκάνη απορροής είναι μία περιοχή της επιφάνειας του εδάφους, η οποία συγκεντρώνει ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται σε ένα κεντρικό σύστημα (π.χ. ποτάμια, χείμαρροι κ.α.). Οι λεκάνες απορροής, που περιλαμβάνονται, είναι αυτές του

«Αράχθου» (κύρια λεκάνη) και του «Μετσοβίτικου» (υπολεκάνη). Η συνολική έκταση, που καταλαμβάνει η περιοχή έρευνας είναι περίπου 2.150 km². Συγκρίνοντας την, με την έκταση ολόκληρης της Ηπείρου, που είναι περίπου 9.980 km², συμπεραίνεται πως η περιοχή έρευνας αποτελεί το 21,5 % της συνολικής έκτασης του διαμερίσματος της Ηπείρου.

7.2 Γεωλογικά στοιχεία ευρύτερης περιοχής

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, που απαρτίζουν την γεωλογική ενότητα της Ηπείρου, είναι ιζήματα των εξωτερικών γεωτεκτονικών ενότητων της Ιονίου, της Πίνδου και της ζώνης Γαβρόβου. Πιο συγκεκριμένα, η Ιόνιος ζώνη καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση στην ενότητα της Ηπείρου, η ζώνη Γαβρόβου εμφανίζεται στα νοτιοανατολικά, ενώ η ζώνη της Πίνδου εκτείνεται στα ανατολικά, με κατεύθυνση από βορά προς νότο, με τη μορφή τεκτονικού καλύμματος προωθημένου στις ζώνες Γαβρόβου και Ιονίου (Μουντράκης, 2010). Η ευρύτερη γεωλογική κατανομή αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.2*. Σημειώνεται πως η περιοχή έρευνας κυριαρχείται από δύο (2) γεωτεκτονικές

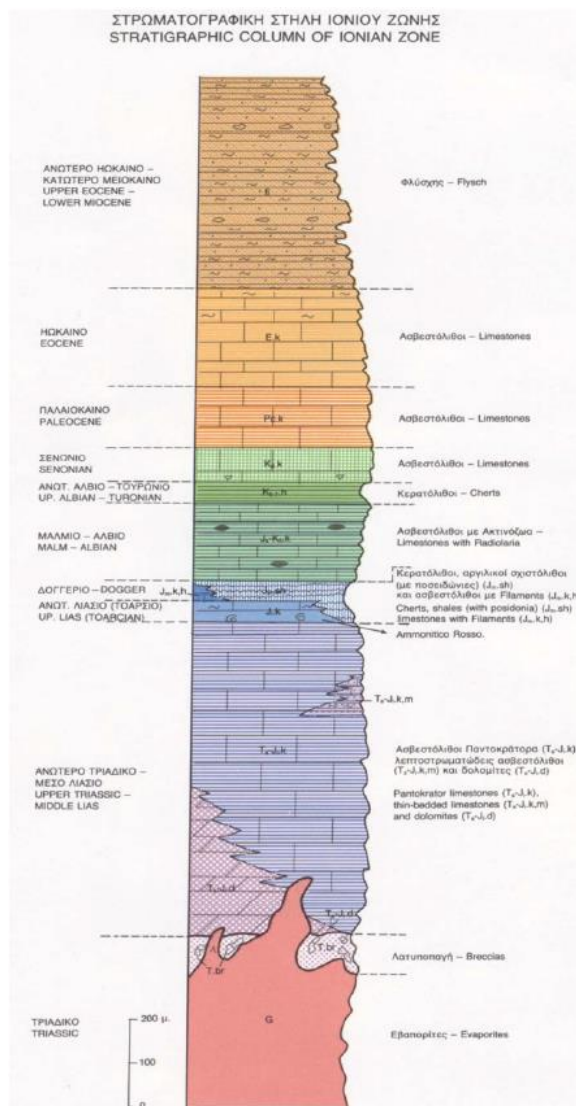


Εικόνα 7.2 "Γεωλογικοί σχηματισμοί Ηπείρου" (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένη κατά Ζινδρος, 2000)

ζώνες, την ζώνη Γαβρόβου και τη ζώνη της Πίνδου. Στις επόμενες παραγράφους, παραθέτονται λεπτομέρειες για τη κάθε επιμέρους γεωλογική ενότητα, που υπάρχει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Ηπείρου.

7.2.1 Ιόνιος ζώνη

Η Ιόνιος ζώνη απαρτίζεται από τρεις (3) κύριες στρωματογραφικές ενότητες. Οι ενότητες αυτές αποτελούνται από εβαπορίτες στην βάση, αποτελούμενοι από γύψους και τριαδικά λατυποπαγή, ακολουθούν οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, ενώ τέλος υπάρχει η ζώνη του φλύσχ. Σημειώνεται πως τη στρωματογραφική ακολουθία συμπληρώνουν οι νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί. Μια τυπική απεικόνιση της στρωματογραφικής στήλης της Ιονίου ζώνη απεικονίζεται στην *Εικόνα 7.3* (Μουντράκης, 2010).



Εικόνα 7.3 “Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης” (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένο κατά Βόνιτσα 2000)

7.2.1.1 Εβαπορίτες

Οι εβαπορίτες, όπως αναφέρθηκε, αποτελούν την βάση της ζώνης και αποτελούνται, ως επί το πλείστον, από γύψους. Βέβαια, συχνή είναι και η παρουσία γύψων στα μέτωπα των επωθήσεων και των επιπεύσεων, γεγονός που καταδεικνύει τη συμμετοχή τους στη διαμόρφωση των τεκτονικών δομών της ζώνης αυτής. Το πάχος των εβαποριτών δεν ξεπερνά τα 3.000 μέτρα, σύμφωνα με δεδομένα γεωτρήσεων της περιοχής. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως, τόσο η μεγάλη εξάπλωση των εβαποριτών, όσο και το μεγάλο πάχος τους, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αυτοί σχηματίστηκαν σε μια τεράστια θαλάσσια λεκάνη εξάτμισης (Μουντράκης, 2010).

7.2.1.2 Ασβεστολιθικοί σχηματισμοί

Όπως έχει αναφερθεί ανωτέρω, τον σχηματισμό των εβαποριτών ακολουθούν ασβεστολιθικοί σχηματισμοί. Από αυτά τα ασβεστολιθικά ιζήματα, τα παλαιότερα χαρακτηρίζονται από ανοιχτόχρωμους δολομίτες, με έντονη επίδραση τεκτονισμού, τα οποία, όσο μειώνεται το βάθος, μεταβαίνουν σε συμπαγείς, παχυστρωματώδεις, άσπρους ασβεστόλιθους. Σημειώνεται πως όσο πιο πρόσφατη είναι η γένεση της στρώσης του ασβεστόλιθου, τόσο μειώνεται και το πάχος της στρώσης του. Αυτοί οι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι είναι γνωστοί βιβλιογραφικά και με την ονομασία «ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα» (Μουντράκης, 2010)

Έχει παρατηρηθεί, πως πάνω από το στρώμα των «ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα», για πάχος που κυμαίνεται από 50 – 200 m, βρίσκονται είτε στρώσεις ασβεστόλιθων ερυθροϊώδους χρώματος, είτε πυριτικοί σχιστόλιθοι εναλλασσόμενοι με μαργαϊκούς λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, διαταράσσοντας την ομοιόμορφη κατανομή των ασβεστολιθικών σχηματισμών. Τέλος, πάνω από αυτούς τους σχηματισμούς ακολουθούν πελαγικοί ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, από τους οποίους ξεχωρίζουν οι πολύχρωμοι και λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Βίγλας, στους οποίους εμφανίζονται ενδιαστρώσεις και άλλες ακανόνιστες μορφές πυριτολίθων (Μουντράκης, 2010).

7.2.1.3 Ζώνη του Φλύσχη

Η μετάβαση από τη ζώνη των ασβεστολιθικών σχηματισμών προς τη ζώνη του Φλύσχη, πραγματοποιείται βαθμιαία και παρατηρείται μέσω της ύπαρξης μεταβατικών σχηματισμών, όπως λεπτές στρώσεις από λευκότεφρους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους

και ιλυόλιθους, στους οποίους παρεμβάλλονται συμπαγείς ορίζοντες χονδρόκοκκων ψαμμιτών (Μουντράκης, 2010).

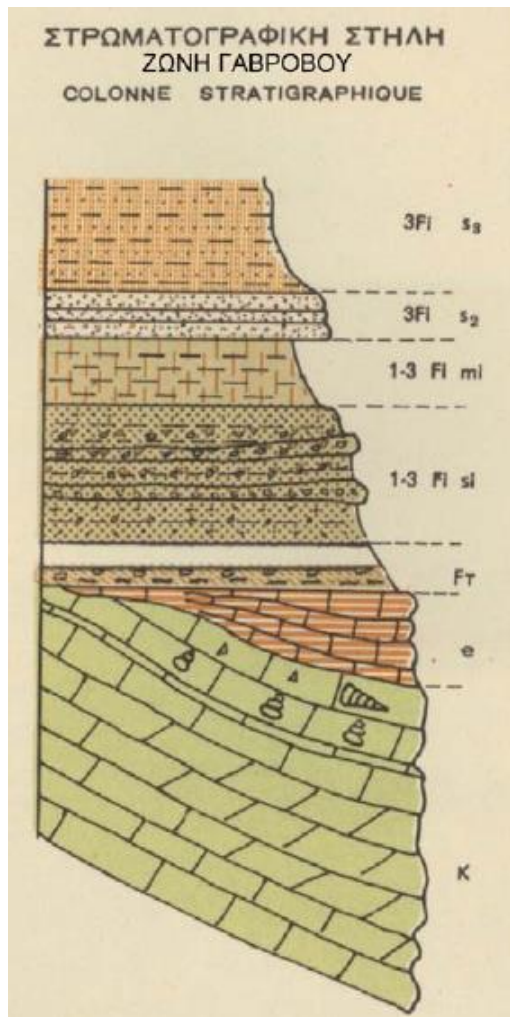
Γενικότερα, η ζώνη του φλύσχη αποτελεί ένα σύνολο κλαστικών σχηματισμών, οι οποίοι αποτέθηκαν σε θαλάσσιο περιβάλλον, στο οποίο εισήλθαν μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών από την αναδύομενη στεριά. Λόγω της διακύμανσης της ποσότητας των φερτών υλικών από σημείο σε σημείο στο παραπάνω θαλάσσιο περιβάλλον, αλλά και λόγω των επικρατουσών διεργασιών ιζηματογένεσης, τα στρώματα του φλύσχη παρουσιάζουν λιθοστρωματογραφική πολυμορφία. Πιο συγκεκριμένα, τα στρώματα του φλύσχη αποτελούνται από εναλλαγές πηλιτών, αμμούχων αργίλων, αργίλων και ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Τα πάχη του στρώματος του φλύσχη είναι μεταβλητά, με τα μεγαλύτερα να ξεπερνούν τα 2000 m (Μουντράκης, 2010).

7.2.2 Ζώνη Γαβρόβου

Η ζώνη Γαβρόβου κυριαρχεί στο νοτιοανατολικό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη υδροφόρων της περιοχής, λόγω των ανθρακικών σχηματισμών που αυτή περιλαμβάνει (Μουντράκης, 2010).

Ο χώρος απόθεσης των ιζημάτων της ζώνης Γαβρόβου έχει διαπιστωθεί πως ήταν μια μεγάλη υποθαλάσσια τράπεζα ανάμεσα στις θαλάσσιες περιοχές του Ιονίου και της Πίνδου. Σε αυτή την τράπεζα πραγματοποιήθηκε νηρητική και υφαλογόνα ιζηματογένεση, δίνοντας ασβεστόλιθους και δολομίτες, οι οποίοι κατέχουν τοπικές διαφοροποιήσεις λόγω συνιζηματογενούς τεκτονισμού. Έχει παρατηρηθεί πως η ανθρακική ιζηματογένεση ήταν συνεχής και μετά το πέρας της ξεκίνησε η απόθεση του φλύσχη. Η ενιαία απόθεση του φλύσχη διακόπτεται από παρεμβολές μικρών βωξιτικών στρωμάτων (Μουντράκης, 2010).

Τέλος, στη ζώνη Γαβρόβου ο ορογενετικός τεκτονισμός που πραγματοποιήθηκε, οδήγησε στην πτύχωση των σχηματισμών με ώθηση προς τα δυτικά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στη δημιουργία μεγάλης αντικλινικής δομής (Μουντράκης, 2010). Η τυπική απεικόνιση της στρωματογραφίας της ζώνης Γαβρόβου παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.4*.

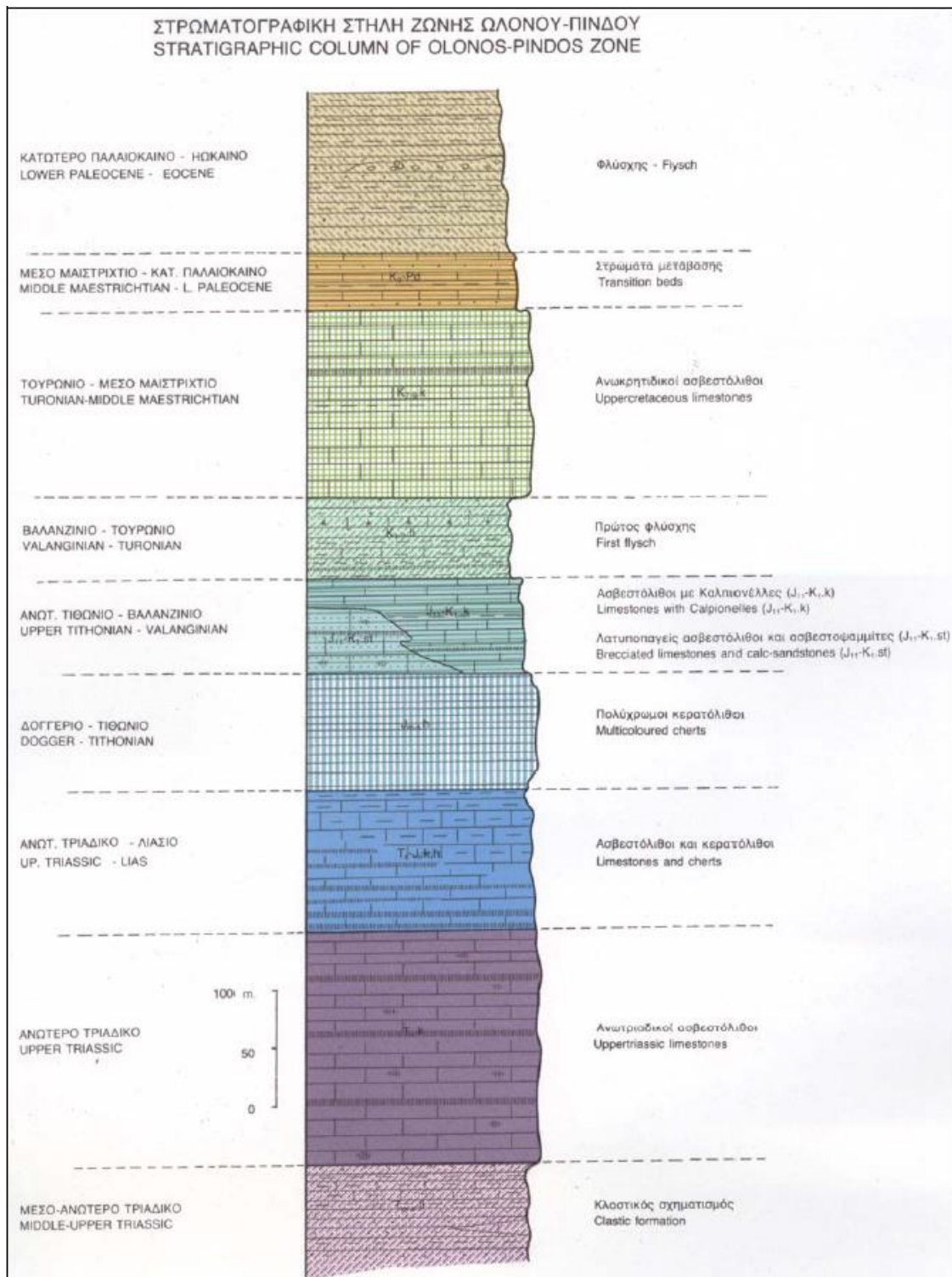


Εικόνα 7.4 “Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Γαβρόβου” (Ι.Γ.Μ.Ε., Τροποποιημένο κατά Ραπτόπουλο, 2000)

7.2.3 Ζώνη της Πίνδου

Η ζώνη της Πίνδου εκτείνεται στο ανατολικό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου και συγκροτούν το ομώνυμο ορεινό σύμπλεγμα. Ο χώρος της Πίνδου αποτελούσε μια βαθιά υποθαλάσσια λεκάνη και οι σχηματισμοί που προήλθαν από αυτήν επωθήθηκαν προς τα δυτικά, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο τεκτονικό κάλυμμα (Μουντράκης, 2010). Μια τυπική στρωματογραφική ακολουθία παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.5*.

Οι σχηματισμοί της ζώνης της Πίνδου χαρακτηρίζονται από αυξημένη πλαστικότητα και ως εκ τούτου, είναι έντονα πτυχωμένοι και λεπιωμένοι. Η σημερινή δομή της ζώνης αυτής κυριαρχείται από πολλές πτυχές, με αρκετά μέτωπα εσωτερικών επιπεύσεων και ανάστροφων ρηγμάτων (Μουντράκης, 2010).



Εικόνα 7.5 “Τυπική στρωματογραφική στήλη της ζώνης της Πίνδου” (Ι.Γ.Μ.Ε, Τροποποιημένο κατά Μυρόφυλο 2000)

7.2.4 Σύνθετο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου - Τεκτονικό κάλυμμα οφιολίθων

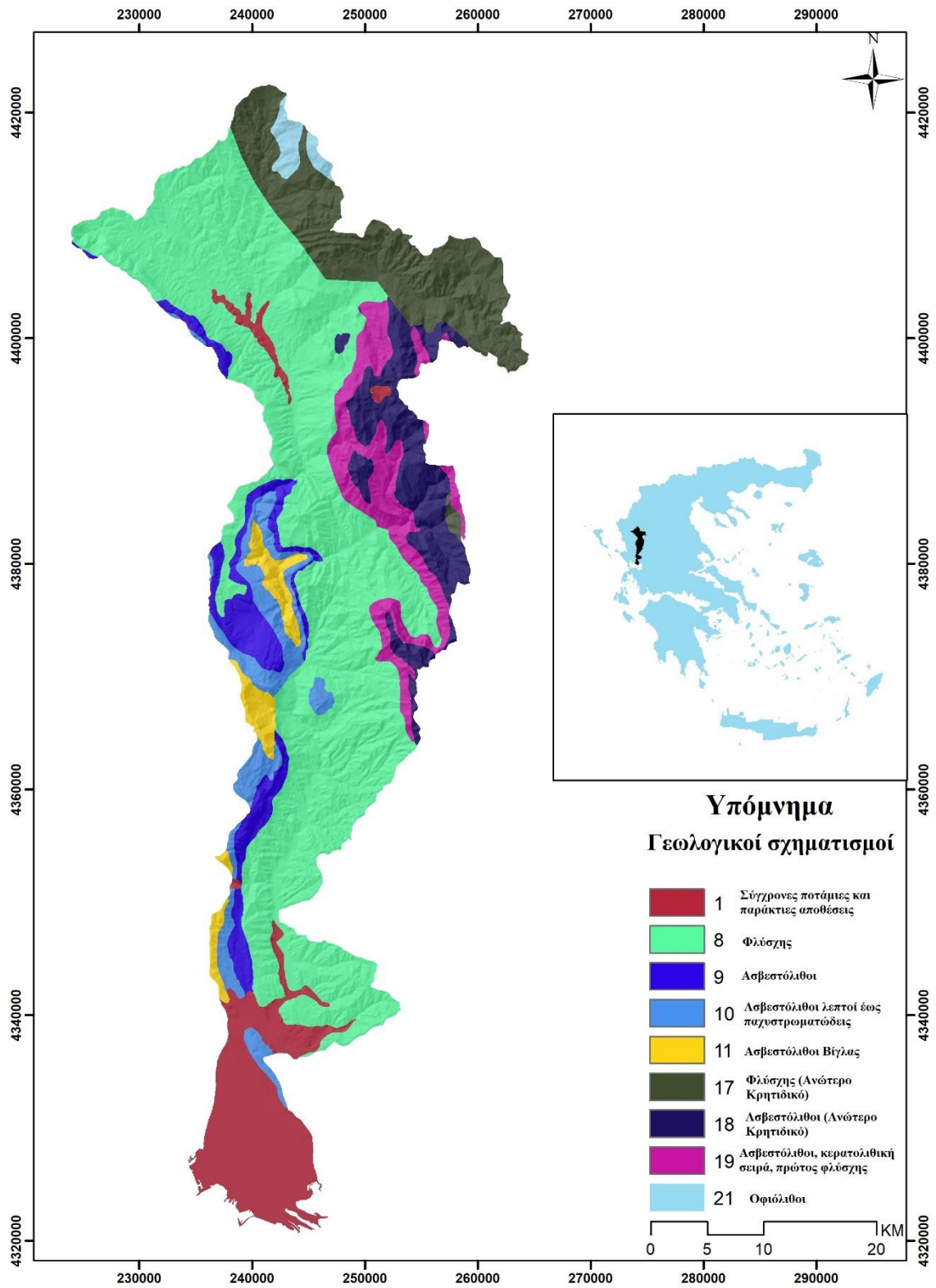
Πάνω στον δεύτερο φλύσχη της Πίνδου έχει επωθηθεί το τεκτονικό κάλυμμα. Το τεκτονικό κάλυμμα αυτό χαρακτηρίζεται από μια σύνθετη πετρολογική και γεωλογική ενότητα, η οποία δυσχεραίνεται ακόμα περισσότερο λόγω της πολύπλοκης τεκτονικής δραστηριότητας (Μουντράκης, 2010). Το σύνθετο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου από την κορυφή προς τη βάση αποτελείται από:

- Την επικλυσιγενή σειρά, που περιλαμβάνει κυρίως κλαστικούς ασβεστόλιθους
- Το οφιολιθικό σύμπλεγμα, το οποίο περιλαμβάνει υπερβασικά και βασικά οφιολιθικά πετρώματα, όπως περιδοτίτες, βασάλτες κ.α.
- Τον σχηματισμό του Μίγματος της Πίνδου, που αποτελείται κυρίως από κερατόλιθους και σερπεντίνες κ.α., οι οποίοι παρεμβάλλονται σαν τεκτονικά έγκλειστα μέσα σε σχιστόλιθους, μάργες και ψαμμίτες.

Από τους παραπάνω σχηματισμούς, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σύμπλεγμα των οφιολίθων, καθώς σύμφωνα με τον Δ. Μουντράκη (2010), αυτό φαίνεται να αποτελεί γεωλογικό πρόβλημα. Κατά γενική ομολογία, απόρροια της επώθησης των οφιολίθων πάνω στη ζώνη της Πίνδου, αποτελεί η δημιουργία έντονου τεκτονισμού του συμπλέγματος αυτού.

7.2.5 Γεωλογικά στοιχεία στενής περιοχής έρευνας

Στην *Εικόνα 7.6* εμφανίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαρτίζουν την περιοχή έρευνας. Στην εικόνα αυτή είναι εμφανές πως ο επικρατέστερος γεωλογικός σχηματισμός είναι αυτός του *φλύσχη*, ο οποίος με όλες του τις διαφορετικές χρονολογικά εμφανίσεις αποτελεί το 61% της συνολικής έκτασης της δεδομένης περιοχής. Ακολούθως, ο επόμενος επικρατέστερος σχηματισμός είναι αυτός του *μανδύα αποσάθρωσης*, που περιλαμβάνει τις όλες τις σύγχρονες ποτάμιες και παραθαλάσσιες αποθέσεις και απαρτίζει το 10% της συνολικής έκτασης. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται κυρίως στη νότια πλευρά της περιοχής. Αξίζει να σημειωθεί πως στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται πέντε (5) διαφορετικές μορφές ασβεστόλιθου, ανάλογα με τη χρονολογία δημιουργίας, και καλύπτουν συνολικά το 27,15% της περιοχής έρευνας. Τέλος, εμφανίζεται σε ποσοστό 1% ο σχηματισμός των οφιολίθων, κυρίως στην βόρεια πλευρά της περιοχής.



Εικόνα 7.6 "Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής έρευνας"

7.3 Τεκτονικές επαφές και σεισμικό καθεστώς της περιοχής της Ηπείρου

Κατά κύριο λόγο, η νεοτεκτονική δραστηριότητα του διαμερίσματος της Ηπείρου, είναι αποτέλεσμα της σύγκλισης των τεκτονικών πλακών κατά μήκος του Ελληνικού τόξου. Η περιοχή κυριαρχείται από ένα εκτεταμένο πεδίο συμπίεσης, το οποίο διακόπτεται, μόνο, από σύντομες περιόδους εφελκυσμού (Μουντράκης, 2010).

Σε γενικό πλαίσιο, οι τεκτονικές δομές που κυριαρχούν στην ευρύτερη περιοχή είναι σύγκλινα, στα οποία έχουν διατηρηθεί ιζήματα του φλύσχη και νεογενείς σχηματισμοί, καθώς και αντίκλινα, τα οποία δομούνται από ασβεστόλιθους. Στα ανατολικά σκέλη των αντικλίνων παρατηρείται είτε κανονική μετάβαση από τα ασβεστολιθικά στα φλυσχικά ιζήματα είτε διακοπές από κανονικά ρήγματα. Στα δυτικά σκέλη των αντικλίνων εμφανίζεται αναστροφή της στρωματογραφικής σειράς, με εφίπευση φλυσχικών ιζημάτων από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και διείδυση γύψων μέσα στα ανάστροφα ρήγματα (Μουντράκης, 2010).

Οι σημαντικότερες τεκτονικές δομές που κυριαρχούν στην Ήπειρο και είναι αποτέλεσμα της παλαιό και νεοτεκτονικής δραστηριότητας, από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι (Τσίγκα & Μάλλη, 2013):

- Το μεγάλο σύγκλινο Ηπείρου – Ακαρνανίας που δέχεται κυρίως την επώθηση του τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου.
- Το μονόκλινο του ορεινού όγκου της Τύμφης.
- Το τεκτονικό βύθισμα της Κόνιτσας.
- Το μεγάλο αντίκλινο Ξεροβουνίου- Μιτσικελίου – Νεμέρτσικας.
- Το αντικλινόριο Λούρου – Ιωαννίνων.
- Τα αντίκλινα Θεσπρωτικού – Κουρέντων – Κασιδιάρη.
- Το μεγάλο σύγκλινο Λάκκας Σουλίου – Βοτσαρά.
- Το αντικλινόριο Σουλίου – Παραμυθιάς – Μουργκάνας.
- Το σύγκλινο Παραμυθιάς.
- Το αντίκλινο Μαργαριτίου.
- Το μικρό σύγκλινο Μαργαριτίου.
- Η εφίπευμένη ενότητα της Πάργας.
- Το τεκτονικό βύθισμα της λεκάνης του Αμβρακικού κόλπου.

Γενικά, η ευρύτερη περιοχή δεν εμφανίζει πολλούς σεισμούς μεγάλου μεγέθους στην κλίμακα Richter. Οι περισσότεροι έχουν ως επίκεντρο τον θαλάσσιο χώρο του Ιονίου, ενώ ελάχιστοι έχουν το επίκεντρό τους στην ηπειρωτική Ελλάδα. Σε γενικό πλαίσιο παρατηρείται ότι οι σεισμοί που δεσπόζουν στην περιοχή είναι κυρίως μεγεθών της τάξης των 4,5 έως 5 στην κλίμακα Richter, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει ότι εκλείπουν οι μεγαλύτερου μεγέθους σεισμοί (Κυριακίδου, 2019).

7.4 Μορφολογικά στοιχεία Ηπείρου

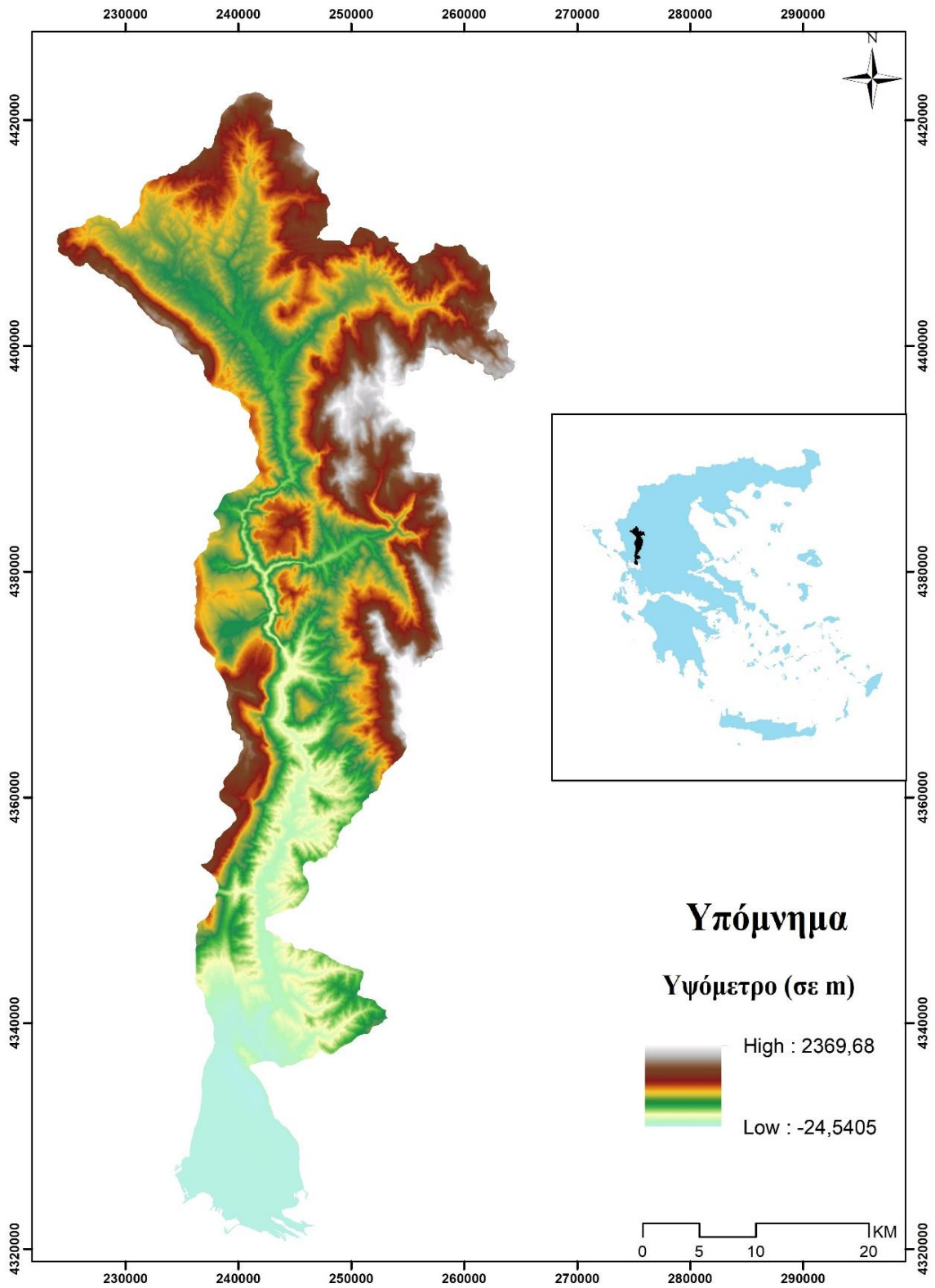
Η ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου αποτελεί ένα από τα πλέον ορεινά διαμερίσματα της Ελλάδος, καθώς το 70% της επιφάνειας του χαρακτηρίζεται ως ορεινή περιοχή με απότομα πρανή και μεγάλες κλίσεις. Σχεδόν όλες οι οροσειρές, που αναπτύσσονται στο διαμέρισμα της Ηπείρου, έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, η οποία συμπίπτει με αυτή των μεγάλων γεωλογικών δομών του διαμερίσματος. Οι πιο γνωστές οροσειρές του διαμερίσματος είναι τα Αθαμανικά όρη (ή όρη Τζουμέρκα) και το όρος «Σμόλικας». (Νικολάου, 2010).

7.4.1 Μορφολογία της περιοχής έρευνας

Από την *Εικόνα 7.7* παρατηρείται πως η ευρύτερη περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από μεγάλα υψόμετρα, με μέγιστο αυτό των 2369 m στα ανατολικά. Γενικότερα, στη περιοχή έρευνας επικρατεί σχετικά ορεινό ανάγλυφο, αφού το 46% της περιοχής έχει υψόμετρο που κυμαίνεται από 600 έως 1200 m. Πιο συγκεκριμένα, το μέσο υψόμετρο της περιοχής έχει τιμή τα 818,25 m.

Αξίζει να σημειωθεί πως το 17% της περιοχής έρευνας έχει υψόμετρο μικρότερο από 300 m και εντοπίζεται κυρίως στα νότια της περιοχής, καθώς εκεί παρατηρείται η εκβολή των ποταμών της ευρύτερης περιοχής. Ακόμα, ένα ακόμα 17% της περιοχής έχει υψόμετρο, το οποίο κυμαίνεται από 300 – 600 m. Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως το 34% της έκτασης της εν λόγω περιοχής έχει σχετικά ήπιο ανάγλυφο.

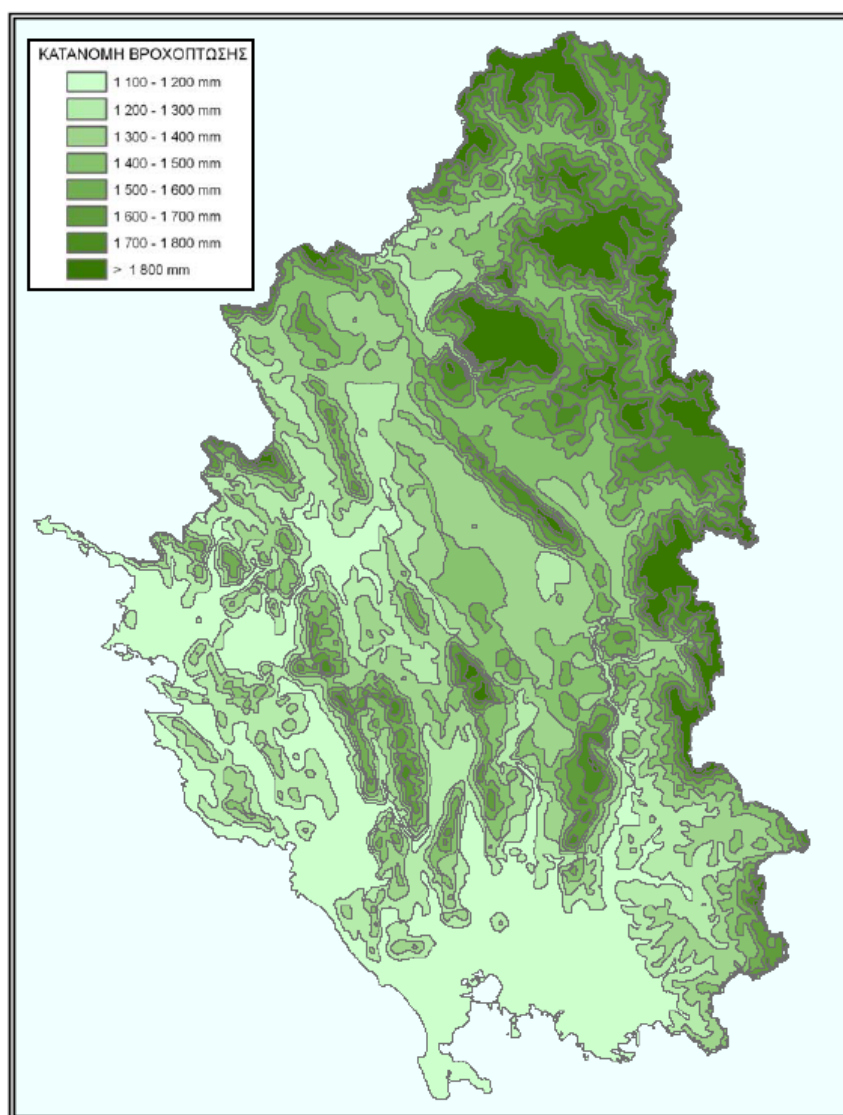
Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η περιοχή έρευνας αποτελείται τόσο από απότομο, όσο και από ήπιο ανάγλυφο. Λαμβάνοντας υπόψιν και τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής, συμπεραίνεται πως το ήπιο ανάγλυφο σχετίζεται με τους σχηματισμούς των σύγχρονων ποτάμιων και παράκτιων αποθέσεων, ενώ το ανάγλυφο που καταλαμβάνει τη περισσότερη έκταση, σχετίζεται, ως επί το πλείστον, με τον σχηματισμό του φλύσχη.



Εικόνα 7.7 "Μορφολογία της περιοχής έρευνας"

7.5 Κλιματολογικά στοιχεία του διαμερίσματος της Ηπείρου

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Ηπείρου διαφέρει ως προς τα επιμέρους χαρακτηριστικά του από τόπο σε τόπο. Χαρακτηρίζεται ως μεταβατικό μεταξύ του εύκρατου και του μεσογειακού. Οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζονται από το ανάγλυφο του εδάφους, το οποίο έχει τόσο πολύ ορεινές όσο και πεδινές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, οι πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές έχουν ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια, ενώ οι ηπειρωτικές περιοχές χαρακτηρίζονται από βαρύν χειμώνες, με έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις και δροσερά καλοκαίρια (Τασιούλας, 2018).



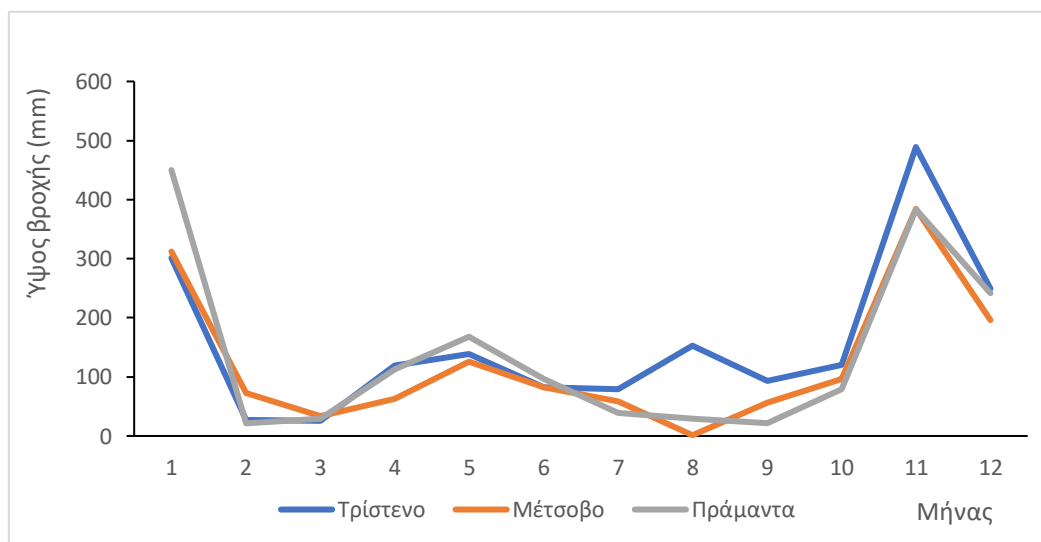
Εικόνα 7.8 "Διαχωρισμός του διαμερίσματος της Ηπείρου ως προς την βροχόπτωση"
(Νικολάου, 2010)

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις, που θεωρούνται από τις μεγαλύτερες στην Ελλάδα. Αυτές, ετησίως, κυμαίνονται μεταξύ 1000 - 1200 mm στα πεδινά, ενώ, σε πολλές των περιπτώσεων ξεπερνούν τα 1800 mm στα ορεινά. Τα

παραπάνω αποτυπώνονται στην *Εικόνα 7.8* (Νικολάου, 2010). Προς επαλήθευση των ανωτέρω, παρακάτω παρατίθεται ο *Πίνακας 5*, καθώς και το σχετικό διάγραμμα του, που περιλαμβάνουν όλα τα δεδομένα βροχόπτωσης κάθε μήνα του έτους 2019 για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς στις πόλεις Τρίστενο, Μέτσοβο και Πράμαντα, που βρίσκονται στη περιοχή έρευνας (meteo.gr, 2019).

Πίνακας 4 "Δεδομένα βροχόπτωσης για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας του έτους 2019"

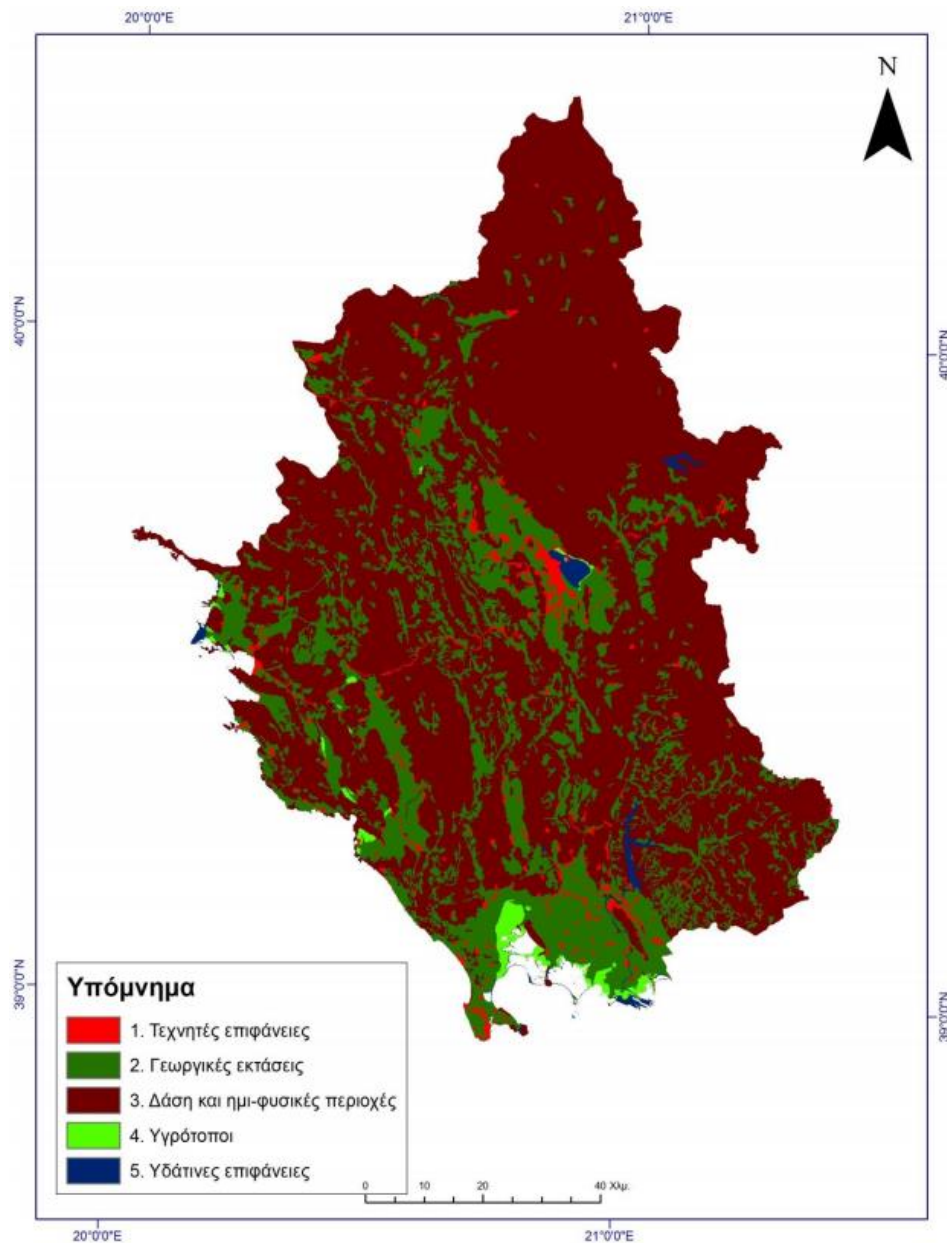
Ύψος Βροχής (mm)			
Μήνας	Τρίστενο	Μέτσοβο	Πράμαντα
1	301,4	311,8	450
2	27,2	72,8	21,4
3	25,6	34	28,8
4	119,5	62,4	113,2
5	138,8	125,4	167,8
6	82,4	82,6	96,8
7	79,6	58,8	38,6
8	152,5	1,2	28,9
9	92,8	56	21,6
10	119,8	96,7	79,6
11	489	384,4	384
12	248,8	196,2	241,6
ΣΥΝΟΛΟ	1877,4	1482,3	1672,3



Εικόνα 7.9 "Διάγραμμα υψών βροχής του έτους 2019 για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς στη περιοχή έρευνας"

7.6 Χρήσεις γης του διαμερίσματος της Ηπείρου

Σύμφωνα με την μελέτη του *M. Τασιούλα* (2018), η περιοχή του διαμερίσματος διαχωρίζεται σε πέντε (5) κατηγορίες ανάλογα με την χρήση για την οποία χρησιμοποιείται, όπως αποτυπώνεται και στην *Εικόνα 7.10*.



Εικόνα 7.10 "Αποτύπωση χρήσεων γης του διαμερίσματος της Ηπείρου" (Τασιούλας, 2018)

Αυτές είναι:

- Τεχνητές επιφάνειες
- Γεωργικές εκτάσεις
- Δάση και ημι-φυσικές περιοχές
- Υγρότοποι

➤ Υδάτινες επιφάνειες

Συμπεραίνεται έτσι, πως το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης του διαμερίσματος καλύπτεται από δάση και ημι-φυσικές περιοχές, ενώ σημαντική έκταση καταλαμβάνουν και οι γεωργικές εκτάσεις (Τασιούλας, 2018).

7.7 Υδρολογικά στοιχεία του διαμερίσματος της Ηπείρου

7.7.1 Γενικά υδρογραφικά στοιχεία

Το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου περιλαμβάνει τη πλειοψηφία των νομών της Περιφέρειας Ηπείρου, ενώ ακόμα περιλαμβάνει και ορισμένα τμήματα της Περιφέρειας της Δυτική Μακεδονίας, που ανήκουν στην υδρολογική λεκάνη Αώου, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια (Νικολάου, 2010).

Το υδρογραφικό δίκτυο του διαμερίσματος της Ηπείρου εμφανίζει ποικιλία μορφών και πυκνότητας, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη μεγάλης ποικιλίας γεωλογικών και μορφολογικών ενοτήτων. Ως επί το πλείστον, αυξημένη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου εμφανίζεται σε περιοχές, στις οποίες υπάρχουν αδιαπέρατοι σχηματισμοί, όπως είναι ο φλύσχος και οι μάργες. Αντίθετα, μειωμένη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου εμφανίζεται σε περιοχές, στις οποίες κυριαρχούν καρστικά έγκοιλα, μέσα στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς (Νικολάου, 2010).

7.7.2 Υδρολογικές λεκάνες

Στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου υπάρχουν, συνολικά, επτά (7) υδρολογικές λεκάνες, οι οποίες είναι η λεκάνη του Αώου, του Καλαμά, του Αράχθου, των Ιωαννίνων, του Αχέροντα και του Δρίνου. Στην εικόνα 6.7 παρουσιάζεται η απεικόνιση τους.

7.7.2.1 Λεκάνη Αράχθου

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει για την λεκάνη του Αράχθου, καθώς αυτή περιλαμβάνεται, σχεδόν εξ' ολοκλήρου, στην περιοχή έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ο ποταμός Άραχθος αποτελεί τον μεγαλύτερο ποταμό της Ηπείρου, με συνολική επιφάνεια λεκάνης απορροής, περίπου 2.160 km². Ολόκληρη η λεκάνη του Αράχθου αναπτύσσεται, ως επί το πλείστον, στον σχηματισμό του φλύσχη της περιοχής εκείνης. Η λεκάνη του Αράχθου εκτείνεται στο ανατολικό τμήμα του διαμερίσματος της Ηπείρου και αποτελείται από τέσσερεις (4) υπολεκάνες των ποταμών:

- Μετσοβίτικου,
- Ζαγορίτικου,
- Καλαρύτικου και
- Καλεντίνη



Εικόνα 7.11 Χάρτης αποτύπωσης υδρολογικών λεκανών του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, 2017).

Στη δυτική πλευρά της λεκάνης αυτής, το μήκος των ρεμάτων, που συνδέονται με τον ποταμό δεν ξεπερνά τα 5 km και είναι κλάδοι πρώτης (1^{ης}) τάξης. Σημειώνεται πως κλάδο πρώτης (1^{ης}) τάξης αποτελούν οι μικρότεροι κλάδοι του δικτύου, οι οποίοι δεν δέχονται τα νερά κανενός μικρότερου κλάδου, αλλά μόνο τα επιφανειακά νερά. Στην ανατολική πλευρά της λεκάνης, σε αντίθεση, υπάρχει πλήθος κλάδων, καθώς και η κύρια ανάπτυξη της υδρολογική λεκάνης. Καθοριστικό ρόλο στην κατανομή αυτή, κατέχει η λιθολογική σύσταση και η τεκτονική δραστηριότητα, αφού στη δυτική πλευρά της λεκάνης του Αράχθου αναπτύσσονται ανθρακικοί σχηματισμοί, στους οποίους πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο, η κατείδυση των υδάτων (Νικολάου, 2010).

7.8 Κατολισθητικά φαινόμενα στην ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου

Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Ηπείρου αποτελεί ένα από τα κύρια σημεία εκδήλωσης σωρείας κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο, λόγω των παραμέτρων εκδήλωσης που συναθροίζονται στην δεδομένη περιοχή. Οι κατολισθήσεις αποτελούν διαχρονικό πρόβλημα για τη περιοχή, όπως αποτυπώνονται σε καταγραφές παλαιότερες από το 1967, οι οποίες συχνά οδηγούσαν τους κατοίκους να μεταναστεύσουν σε άλλους οικισμούς. Κατά κύριο λόγο, οι κατολισθήσεις στη περιοχή εμφανίζονται μετά από μεγάλης έντασης βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης (Τσίγκα & Μάλλη, 2013).

Παράδειγμα τέτοιου φαινομένου αποτελούν οι κατολισθήσεις στο χωριό «Μουζακαίου», Ιωαννίνων, που συνέβησαν τον Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 2010. Αποτέλεσμα αυτών ήταν, κυρίως, η καταστροφή αποθηκών και κατοικιών, ενώ σημαντικές βλάβες σημειώθηκαν και στα δίκτυα ύδρευσης και ηλεκτροδότησης, καθώς και στο οδικό δίκτυο (Τσίγκα & Μάλλη, 2013).



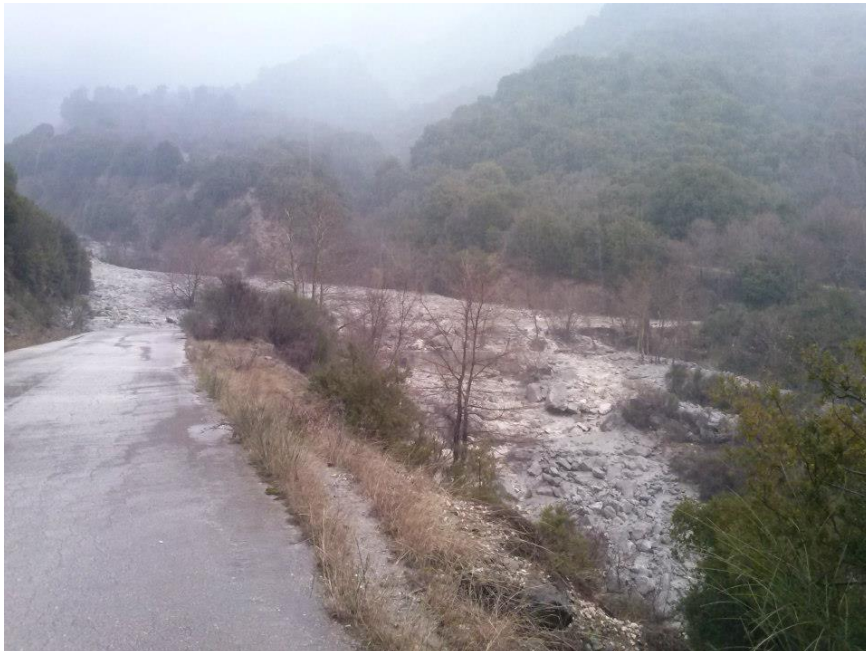
Εικόνα 7.12 "Διάρρηξη του κεντρικού δρόμου του χωριού "Μουζακαίοι"" (Τσίγκα & Μάλλη, 2013)

Ακόμα ένα συμβάν κατολίσθησης αποτελεί η αποκόλληση βράχων στη παλαιά εθνική οδό Ιωαννίνων – Μετσόβου, κοντά στον οικισμό Βοτονόσι, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την μερική καταστροφή και έμφραξη σημαντικής οδικής αρτηρίας της περιοχής, καλύπτοντάς τέσσερα (4) χιλιόμετρα αυτής, όπως περιγράφει η διαδικτυακή τοποθεσία «Αυτοδιοίκηση» (2018).



Εικόνα 7.13 " Κατολίσθηση στη παλαιά εθνική οδό Ιωαννίνων - Μετσόβου" (Αυτοδιοίκηση, 2018)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί και η κατολίσθηση στη περιοχή «Μαυρολάγκαδο» στο δήμο Βόρειων Τζουμέρκων τον Μάριο του 2013, έναυση της οποίας αποτέλεσε η ισχυρή βροχόπτωση που είχε προηγηθεί. Από το κατολισθητικό αυτό φαινόμενο αποκόπηκε η κυκλοφορία προς τους οικισμούς «Προσήλιο», «Συρράκο» και «Καλαρρύτες» (Συρρακιώτης, 2013).



Εικόνα 7.14 "Απεικόνιση της κατολίσθησης στη περιοχή "Μαυρολάγκαδο"" (Συρρακιώτης, 2013)

Τελευταίο παράδειγμα εμφάνισης κατολισθητικού φαινομένου στη περιοχή, αποτελεί η κατάπτωση βράχων τον Μάιο του 2017, έξω από τον οικισμό «Συρράκο» Ιωαννίνων,

με αποτέλεσμα την έμφραξη του οδικού δικτύου που οδηγεί στον εν λόγω οικισμό. Εναυσματικός παράγοντας για τη κατάπτωση αυτή αποτέλεσε η έντονη βροχόπτωση, που είχε προηγηθεί τις περασμένες μέρες (Newsit, 2017).

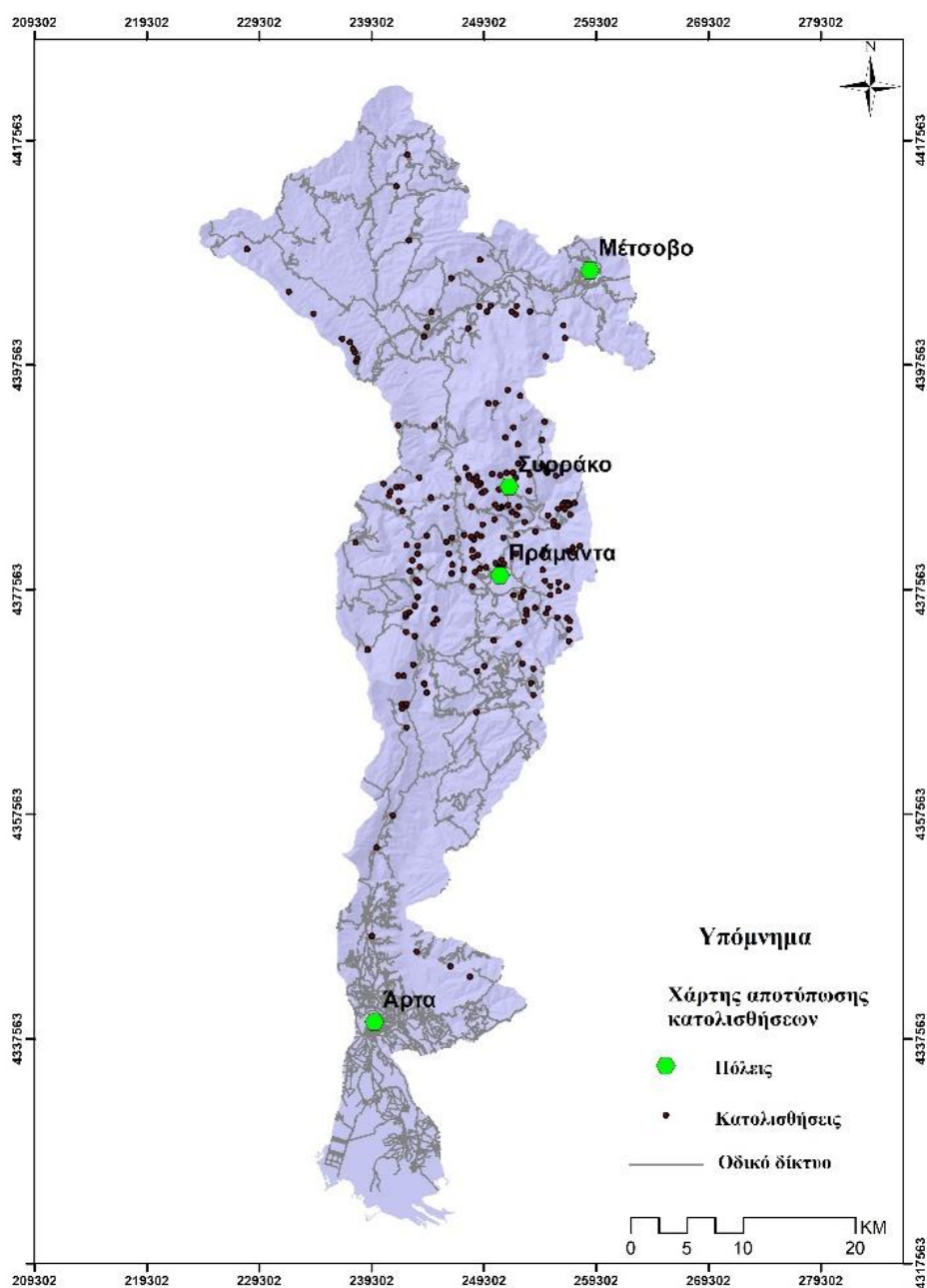


Εικόνα 7.15 "Απεικόνιση της κατολίσθησης στο οδικό δίκτυο προς τον οικισμό "Συρράκο"" (Newsit, 2017)

7.9 Αρχείο κατολισθήσεων

Εντός της περιοχής αυτής, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, καταγράφηκαν συνολικά 204 κατολισθήσεις. Η αποτύπωση αυτών παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.16*. Πηγές αναζήτησης των κατολισθήσεων αποτέλεσαν τα εξής:

- Παλαιότερα αρχεία καταγραφής κατολισθήσεων (ΚΕΔΕ κα)
- Τεχνικές Εκθέσεις και Μελέτες
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.)



Εικόνα 7.16 "Χάρτης αποτύπωσης κατολισθήσεων"

7.10 Επιλογή Παραγόντων

Οι παράγοντες που επιλέχτηκαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη του μοντέλου επιδεκτικότητας, όπως περιεγράφηκαν στο *Κεφάλαιο 6.3* είναι οι εξής επτά (7):

1. Υψόμετρο
2. Κλίση των πρανών
3. Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων
4. Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (C.T.I)
5. Γεωλογία της περιοχής έρευνας
6. Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο
7. Απόσταση από το οδικό δίκτυο

Για την απεικόνιση των δεδομένων των παραπάνω παραγόντων, αλλά και για την απεικόνιση των κατηγοριών του κάθε ένα παράγοντα, κατασκευάζονται οι αντίστοιχοι χάρτες, των οποίων τα δεδομένα επεξηγούνται στις επόμενες παραγράφους. Οι χάρτες παρατίθεται συγκεντρωτικά στο τέλος του παρόντος υποκεφαλαίου.

7.10.1 Υψόμετρο (*Elevation*)

Το DEM δημιουργήθηκε με την χρήση της υπορουτίνας «Topo to Raster» με διαστάσεις κελίου 20x20m. Η υψομετρική διαβάθμιση του εδάφους της περιοχής έρευνας παρατίθεται στην *Εικόνα 7.7*. Με βάση αυτή συμπεραίνεται πως το μέσο ύψος έχει τιμή τα 818,25 m, με τυπική απόκλιση 510,97 m.

Ακολούθως, το υψόμετρο διαχωρίζεται σε οκτώ (8) διαφορετικές κλάσεις. Οι κλάσεις αυτές μαζί με το ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν αποτυπώνονται στον *Πίνακα 5*.

Πίνακας 5 "Κλάσεις υψόμετρου και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν στη περιοχή"

Κλάσεις υψόμετρου (m)	Ποσοστό έκτασης (%)
< 300	17,24
300 - 600	17,20
600 - 900	24,67
900 - 1200	22,00

1200 - 1500	7,93
1500 - 1800	6,96
1800 - 2100	3,59
> 2100	0,42

7.10.2 Κλίση πρανών (*Slope*)

Ο παράγοντας κλίση αναφέρεται στην τοπογραφική κλίση του πρανού της κατολίσθησης που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DEM). Η κλίση των πρανών διαχωρίζεται σε πέντε (5) κατηγορίες, οι οποίες μαζί με την έκταση που καταλαμβάνουν αποτυπώνονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 "Κλάσεις κλίσεων και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν στη περιοχή"

Κλάσεις κλίσεων (°)	Ποσοστό επιφάνειας(%)
< 10	27,34
11 - 20	36,34
21 - 30	24,65
31 - 40	9,29
> 40	2,38

Από τον χάρτη των κλίσεων παρατηρείται πως η μέγιστη κλίση των πρανών είναι 67,43°, η ελάχιστη είναι 0°, ενώ η μέση κλίση του τοπογραφικού ανάγλυφου έχει τιμή 16,72°, με τυπική απόκλιση της τάξης των 10,69°.

7.10.3 Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων (*Aspect*)

Η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων χωρίζονται σε εννέα (9) κατηγορίες, οι οποίες αποτυπώνονται στον επόμενο πίνακα, σε συνδυασμό με το επί τοις εκατό (%) ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν. Από τον συγκεκριμένο χάρτη υπολογίζεται πως η μέση διεύθυνση των πρανών έχει τη τιμή των 182,27° και έτσι βρίσκεται στη κατηγορία South (S), με τυπική απόκλιση 97,54°.

Πίνακας 7 "Κλάσεις διευθύνσεων και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν στη περιοχή"

Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων	Ποσοστό έκτασης(%)
Flat	0,0002
N	8,62
NE	11,81
E	12,76
SE	12,09
S	12,44
SW	16,33
W	14,64
NW	11,31

7.10.4 Δείκτης Ποσοτικοποίησης της Υγρασίας (*Compound Topographic Index*)

Ο συγκεκριμένος δείκτης κατηγοριοποιείται σε τρεις (3) κλάσεις, ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει στην περιοχή έρευνας. Αυτές αποτυπώνονται στον επόμενο πίνακα. Από τον παραγόμενο χάρτη συμπεραίνεται πως η μέγιστη τιμή του είναι 25,39 , η ελάχιστη είναι 3,61, ενώ η μέση τιμή του δείκτη αυτού για τη περιοχή είναι 8,02. Από τα παραπάνω είναι αντιληπτό το γεγονός ότι η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από περιοχές με απότομες πλαγιές, γεγονός που επαληθεύεται και από τον χάρτη τοπογραφικού ανάγλυφου.

Πίνακας 8 "Τιμές CTI σε συνδυασμό με το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν"

CTI	Ποσοστό έκτασης (%)
3,6 - 7,6	85,7
7,6 - 11,21	14,2
11,21 - 25,39	0,1

7.10.5 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά (*Geology*)

Στην περιοχή της έρευνας μας διαπιστώθηκαν σχηματισμοί με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά και σχηματισμοί που καλύπτουν άλλους μικρότερης αντοχής. Ο

χάρτης με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.6*.

Στη συγκεκριμένη παράμετρο η κατηγοριοποίηση έχει εννέα (9) κλάσεις, όσοι είναι, δηλαδή, και οι διαφορετικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στη στενή περιοχή έρευνας. Στον πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί αυτοί σε συνδυασμό με το επί τοις εκατό (%) ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν.

Πίνακας 9 "Γεωλογικοί σχηματισμοί και το (%) ποσοστό που καταλαμβάνουν"

Γεωλογικός Σχηματισμός	Ποσοστό έκτασης (%)
Σύγχρονες παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις	10,54
Φλύσχης	49,18
Ασβεστόλιθος	5,39
Ασβεστόλιθοι λεπτοί έως παχυστρωματώδεις	5,15
Ασβεστόλιθοι Βίγλας	2,60
Φλύσχης (Ανώτερο Κρητιδικό)	12,08
Ασβεστόλιθοι (Ανώτερο Κρητιδικό)	7,41
Ασβεστόλιθοι, Κερατολιθική σειρά, Πρώτος Φλύσχης	6,61
Οφιόλιθοι	1,04

7.10.6 Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο (*Distance to Rivers*)

Για τη συγκεκριμένη παράμετρο απαιτήθηκε η κατηγοριοποίηση της σε τέσσερις (4) διαφορετικές κλάσεις, οι οποίες φαίνονται στον *Πίνακα 10*.

Πίνακας 10 "Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο σε συνδυασμό με το (%) ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν"

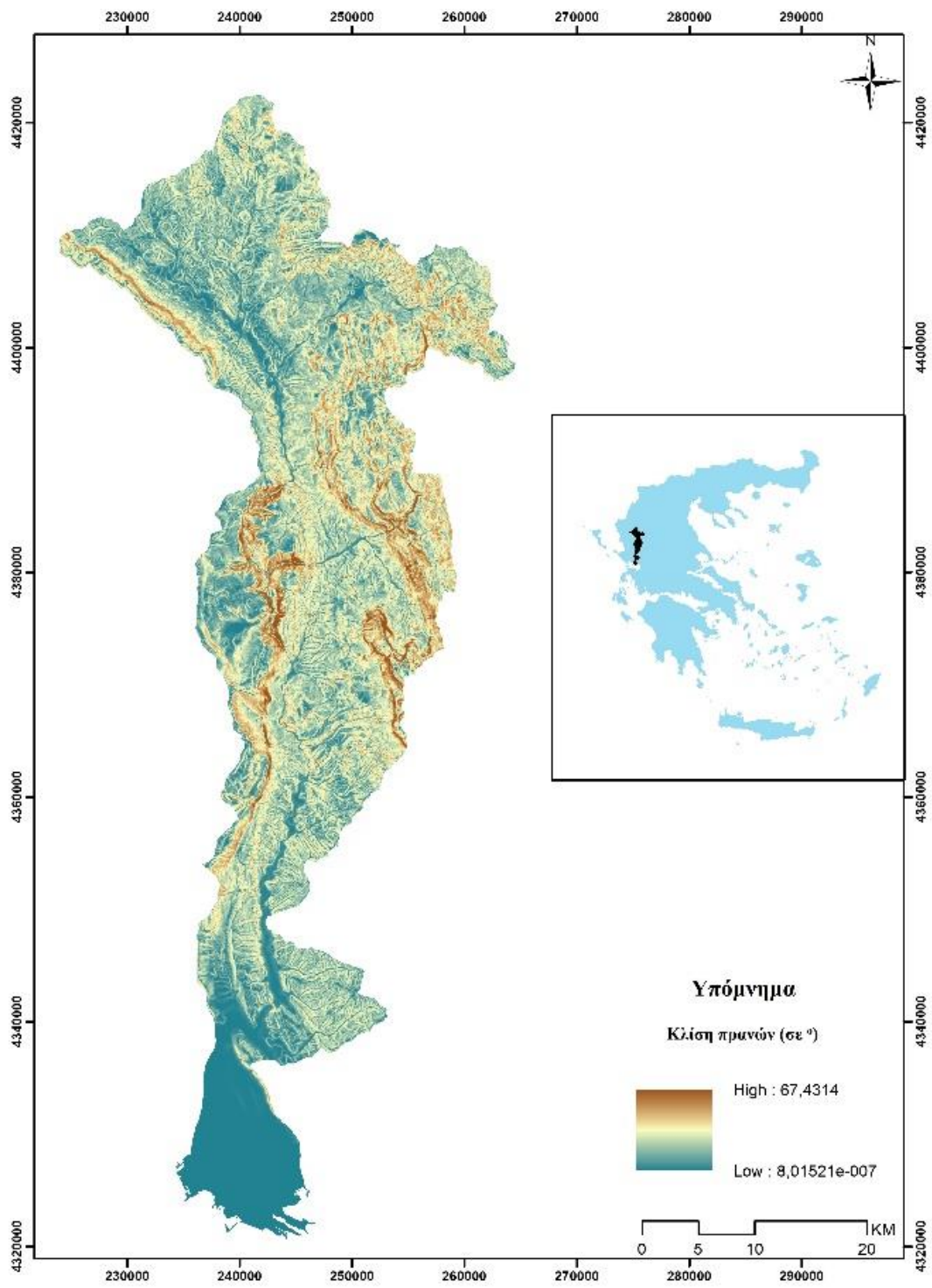
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο (m)	Ποσοστό έκτασης (%)
0 - 50	6,20
51 - 100	6,16
101 - 150	5,72
> 150	81,92

7.10.7 Απόσταση από το οδικό δίκτυο (*Distance to Roads*)

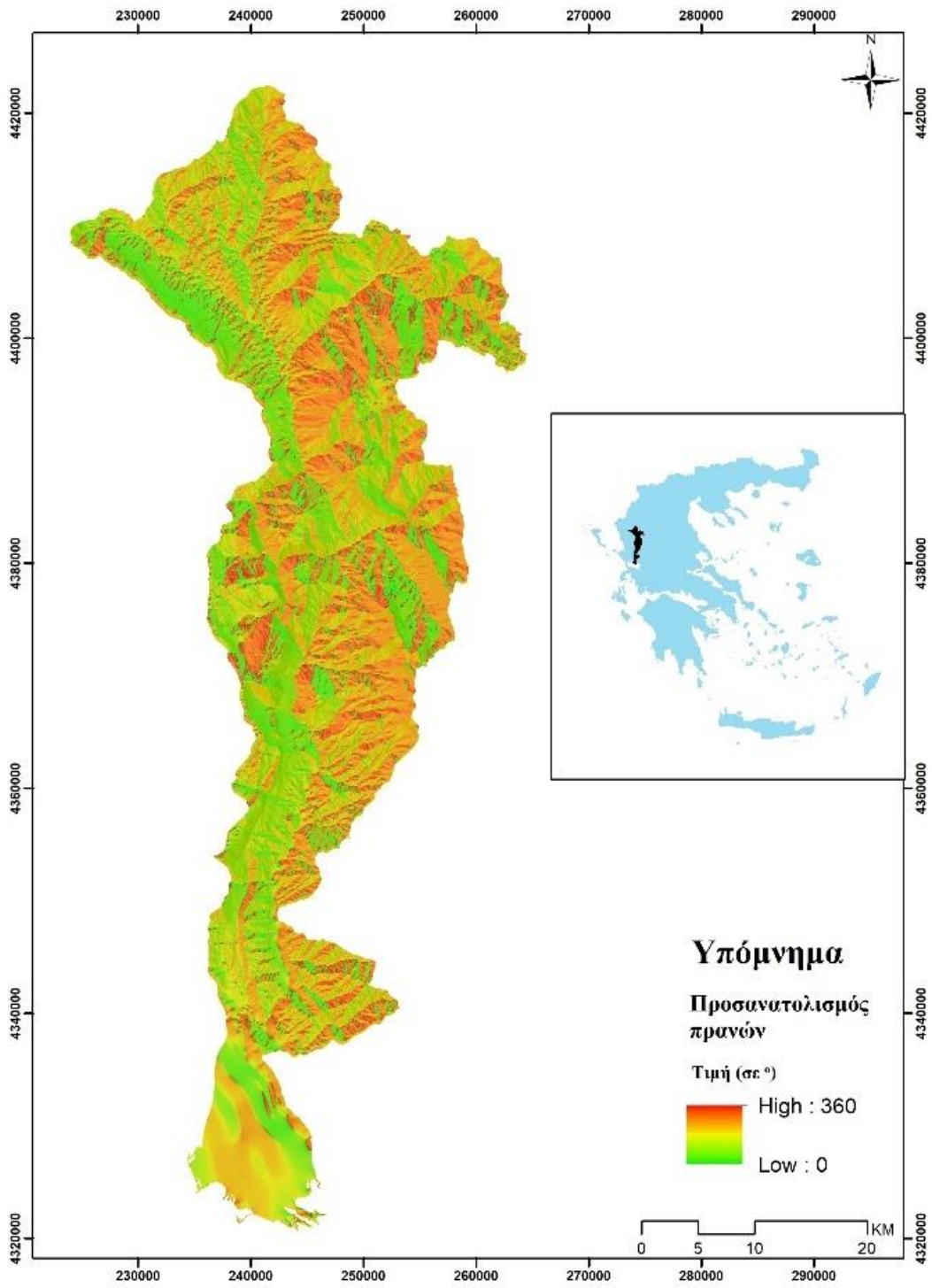
Ο συγκεκριμένος παράγοντας διαχωρίζεται σε τέσσερις (4) κλάσεις, ανάλογα με την απόσταση από το οδικό δίκτυο, οι οποίες μαζί με την έκταση που καταλαμβάνουν αποτυπώνονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11 "Απόσταση απο οδικό δίκτυο σε συνδυασμό με το (%) ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν"

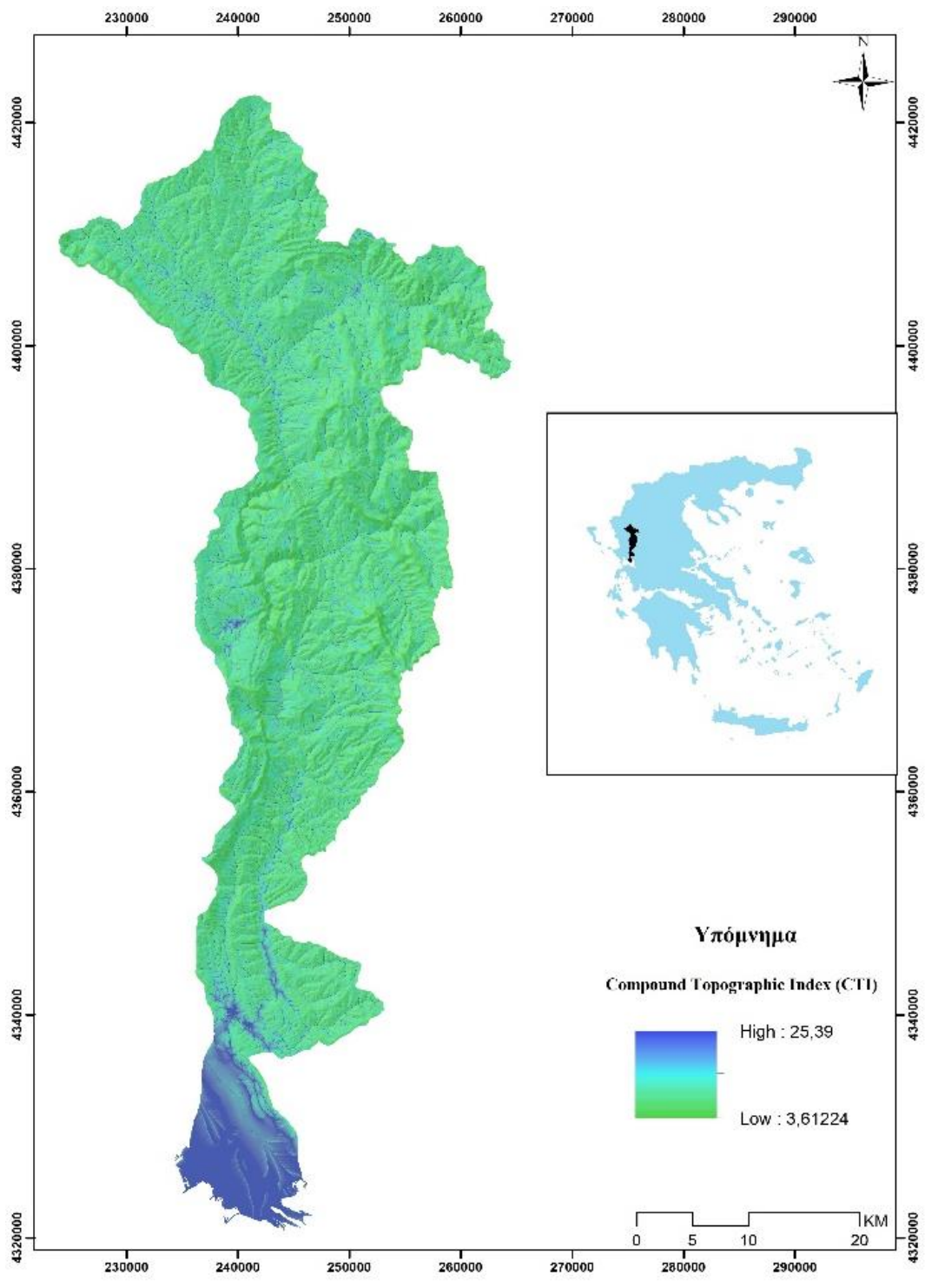
Απόσταση από το οδικό δίκτυο (m)	Ποσοστό έκτασης (%)
0 - 50	11,54
51 - 100	8,51
101-150	6,82
>150	73,14



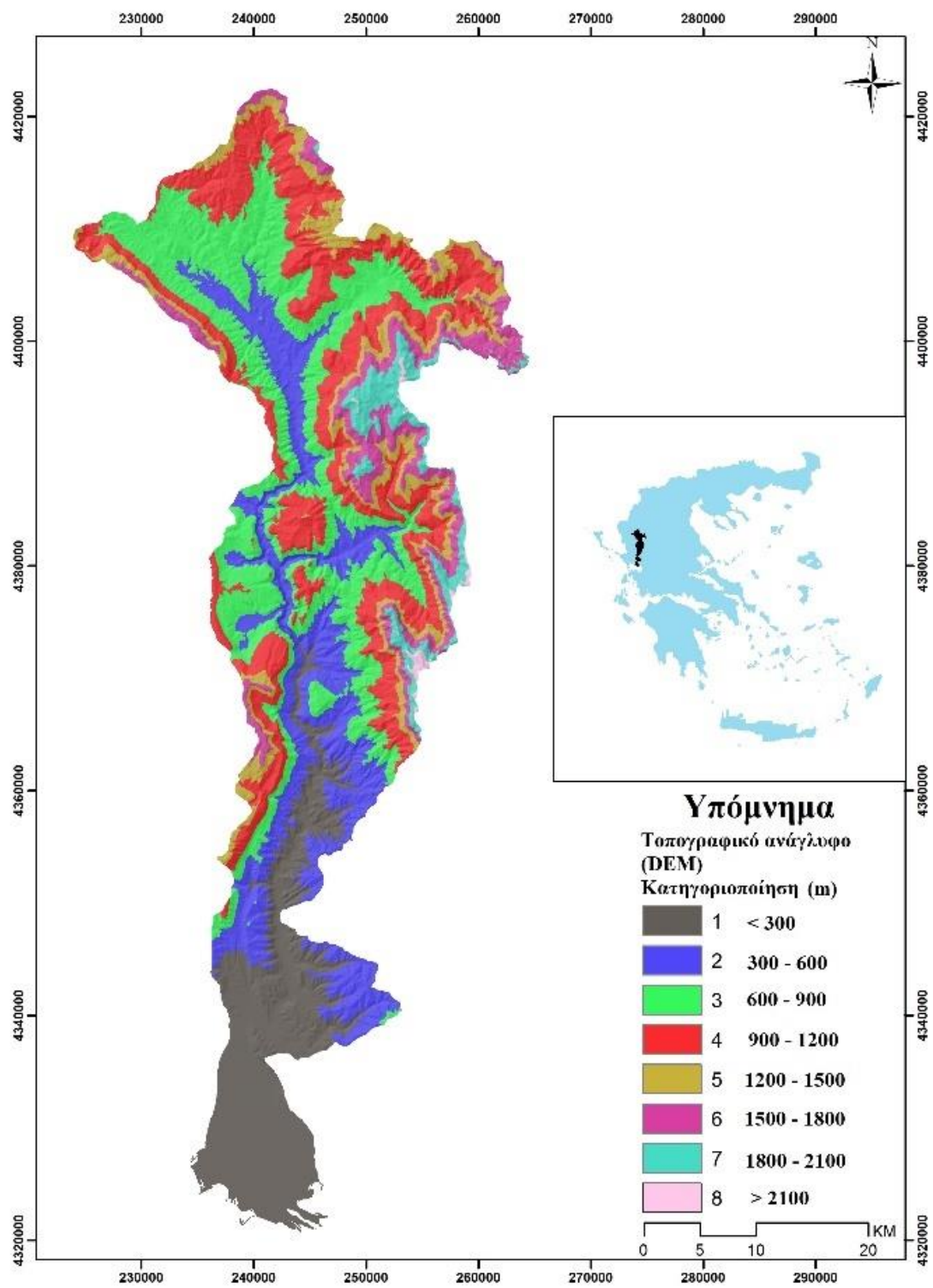
Εικόνα 7.17 "Χάρτης κλίσεων πρανών (Slope)"



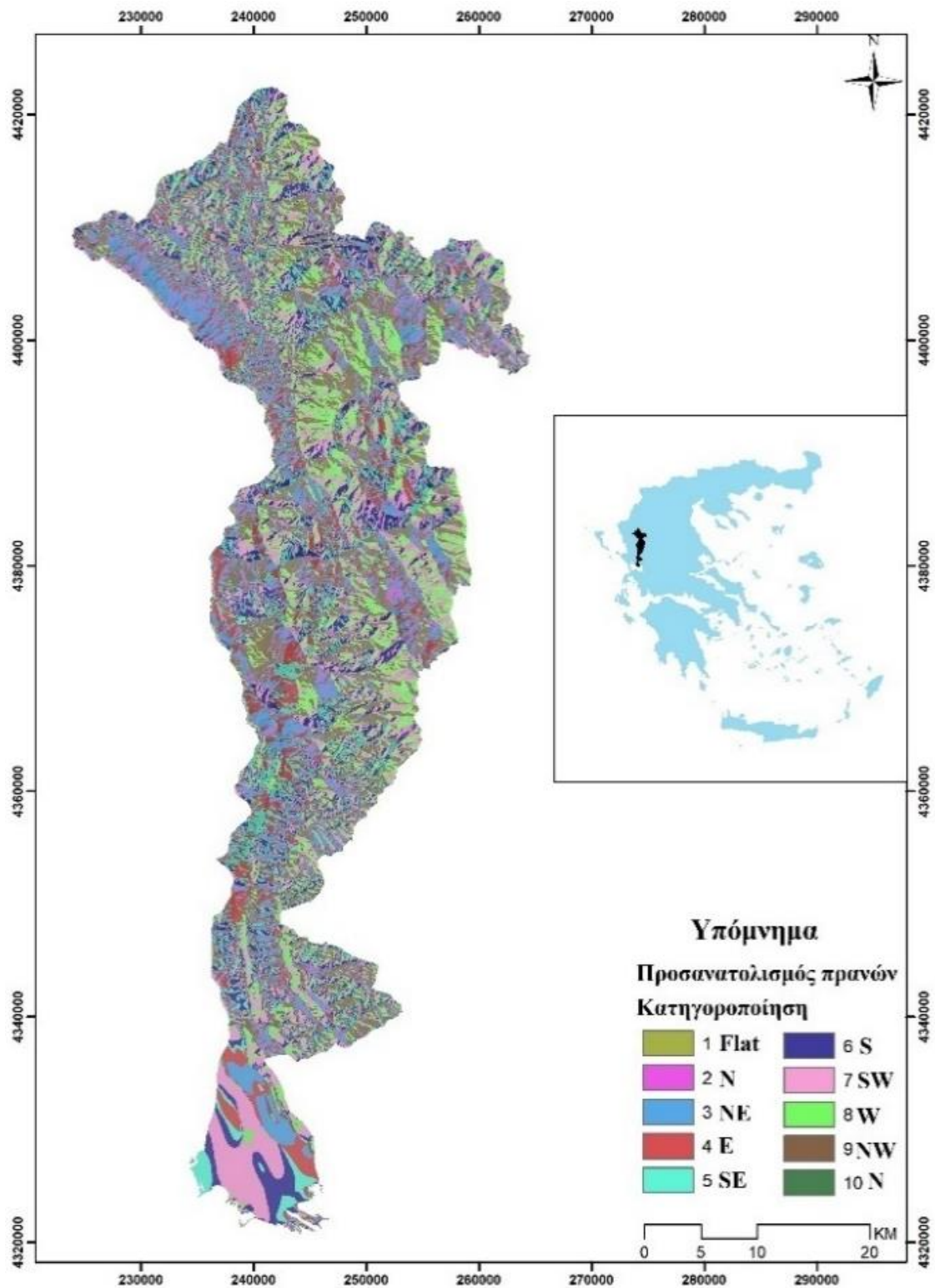
Εικόνα 7.18 "Χάρτης διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων (Aspect)"



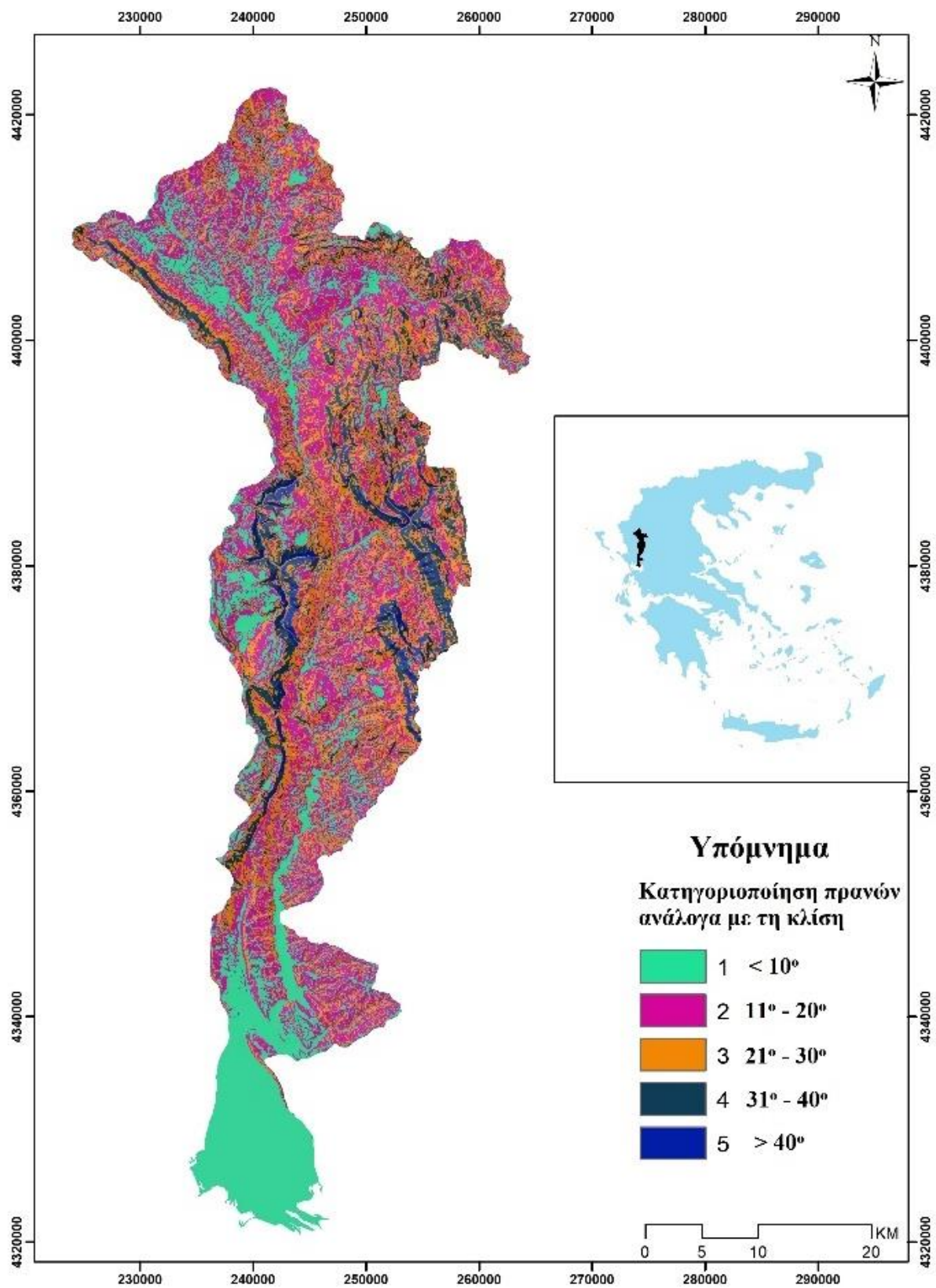
Εικόνα 7.19 "Χάρτης C.T.I"



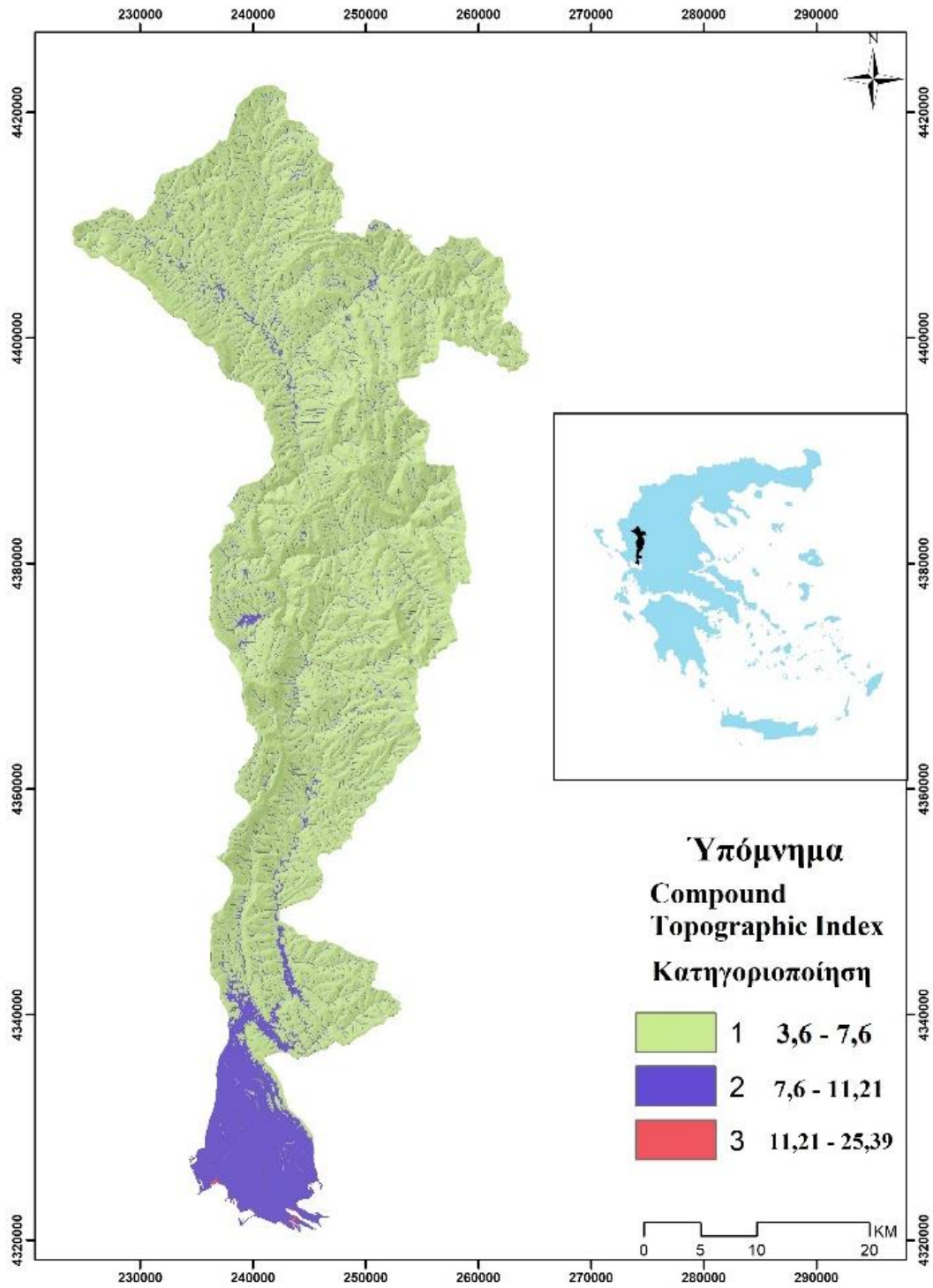
Εικόνα 7.20 "Χάρτης ζωνοποίησης υψομέτρου (Elevation)"



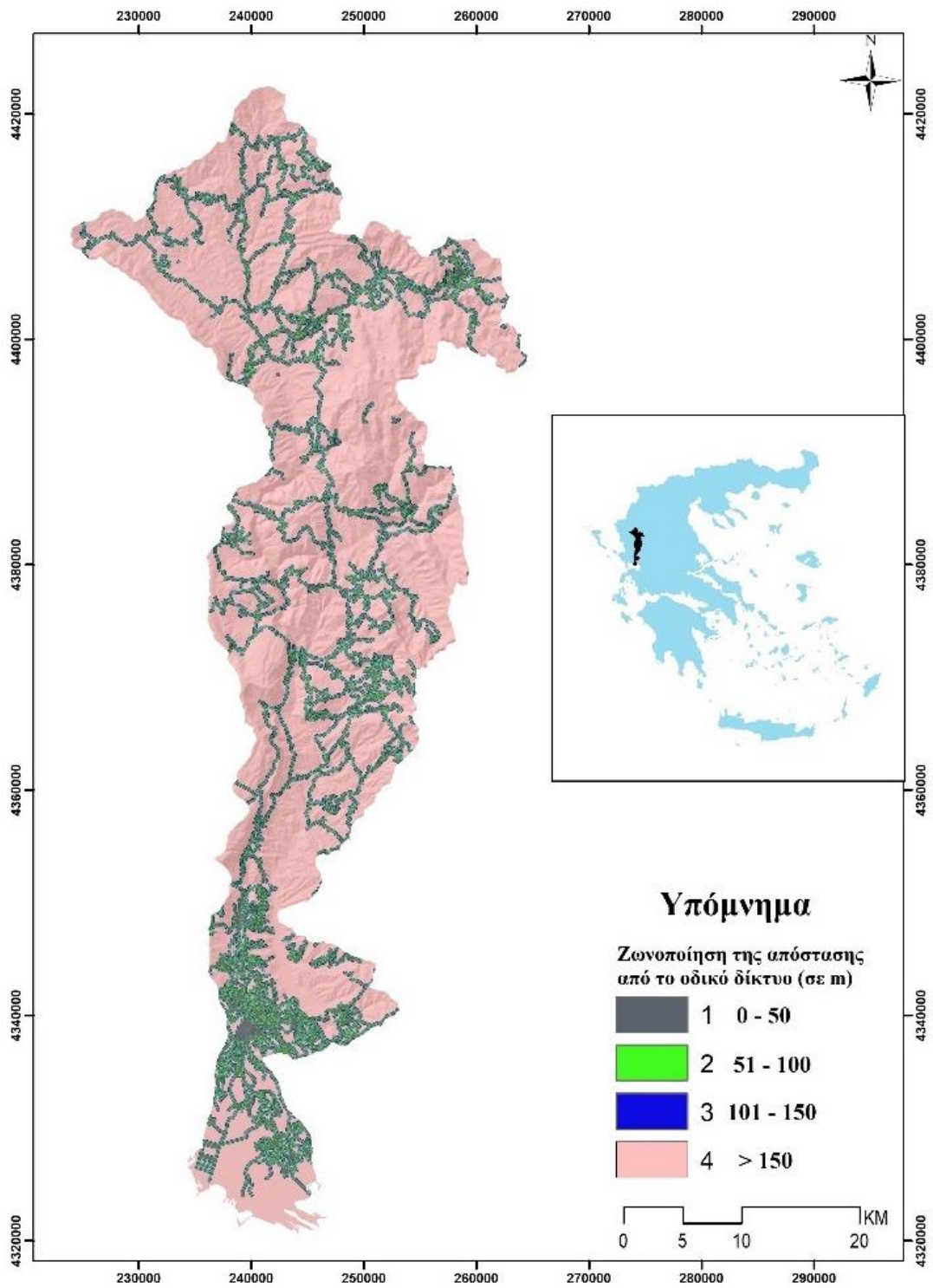
Εικόνα 7.21 "Χάρτης ζωνοποίησης διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων (Aspect)"



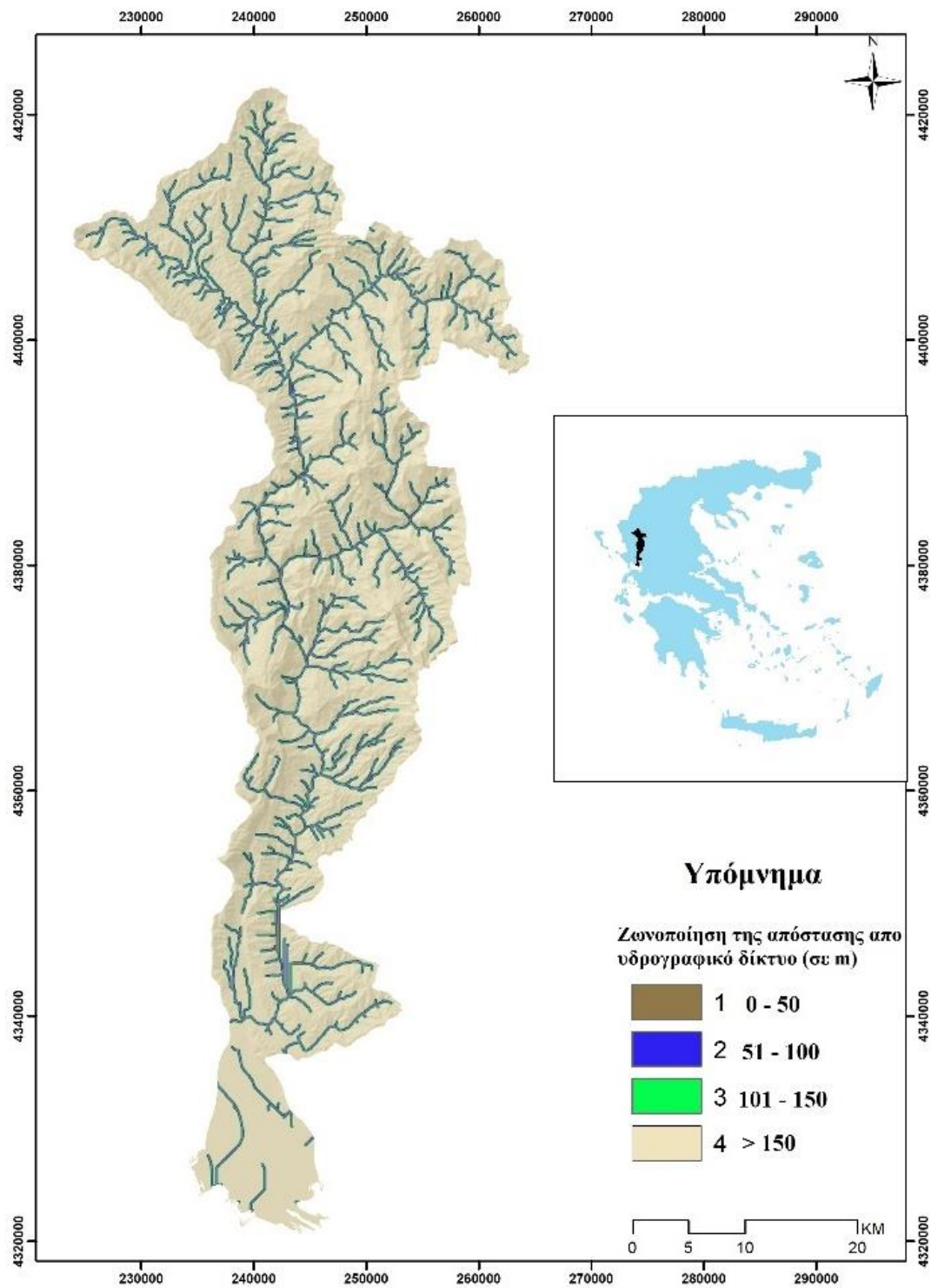
Εικόνα 7.22 " Χάρτης ζωνοποίησης κλίσεων πρανών (Slope)"



Εικόνα 7.23 "Χάρτης ζωνοποίησης του C.T.I"



Εικόνα 7.24 "Χάρτης ζωνοποίησης απόστασης από το οδικό δίκτυο (Distance to roads)"



Εικόνα 7.25 "Χάρτης ζωνοποίησης απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο (Distance to rivers)"

7.11 Κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με χρήση της μεθόδου Λόγου Συχνοτήτων

Για την εφαρμογή των μεθόδων εκτίμησης της επιδεκτικότητας με τη χρήση του Λόγου Συχνοτήτων (FR) απαιτείται η κατασκευή κατάλληλων πινάκων, οι οποίοι θα συγκεντρώνουν τις τιμές των μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κάθε δείκτη ανά κλάση του κάθε παράγοντα. Οι τιμές των πινάκων, ακολούθως, αποτυπώνονται σε κατάλληλο διάγραμμα. Οι επιμέρους πίνακες, καθώς και τα διαγράμματα αυτών, αποδίδονται στην συνέχεια της παραγράφου.

Στη συνέχεια, με χρήση των τιμών του Λόγου Συχνότητας, κάθε παράγοντα, δημιουργείται ένας χάρτης, ο οποίος εμφανίζει τις περιοχές εκείνες που εμφανίζουν την μεγαλύτερη επιδεκτικότητα για την εμφάνιση κατολισθήσεων ανά παράγοντα. Τέλος, γίνεται «ένωση» του κάθε επιμέρους χάρτη σε έναν, ο οποίος αποτελεί και τον χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της περιοχής.

Πίνακας 12 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας του υψομέτρου"

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (Elevation)								
A/A	Κλάσεις υψομέτρου (m)	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	(%)	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
1	<300	661307	17,238	5	2,45	0,1422	0,0174	1,74
2	300-600	659718	17,197	34	16,67	0,9692	0,1185	11,85
3	600-900	946352	24,668	50	24,51	0,9936	0,1215	12,15
4	900-1200	844031	22,001	46	22,55	1,0249	0,1253	12,53
5	1200-1500	304040	7,925	32	15,69	1,9793	0,2421	24,21
6	1500-1800	267003	6,960	30	14,71	2,1130	0,2584	25,84
7	1800-2100	137914	3,595	7	3,43	0,9545	0,1167	11,67
8	2100<	15965	0,416	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ		3836330		204		8,1766		

Πίνακας 13 ""Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας της κλίσης"

ΚΛΙΣΗ (Slope)								
A/A	Κλάσεις κλίσεων	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	(%)	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
1	<10	1048897	27,34	17	8,33	0,3048	0,017328	1,73
2	11-20	1394156	36,34	32	15,69	0,4316	0,02454	2,45

3	21-30	945514	24,65	44	21,57	0,8751	0,049754	4,98
4	31-40	356527	9,29	45	22,06	2,3736	0,134947	13,49
5	>40	91236	2,38	66	32,35	13,6039	0,77343	77,34
ΣΥΝΟΛΟ		3836330		204		17,5891		

Πίνακας 14 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας των διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων"

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ (Aspect)								
A/A	Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	(%)	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
1	Flat	6	0,00	6	2,94	0	0	0
2	N	330531	8,62	22	10,78	1,2517	0,1598	15,98
3	NE	453274	11,82	35	17,16	1,4521	0,1853	18,53
4	E	489652	12,76	20	9,80	0,7681	0,0980	9,80
5	SE	463901	12,09	24	11,76	0,9729	0,1242	12,42
6	S	477291	12,44	33	16,18	1,3002	0,1659	16,59
7	SW	626378	16,33	41	20,10	1,2309	0,1571	15,71
8	W	561543	14,64	14	6,86	0,4688	0,0598	5,98
9	NW	433743	11,31	9	4,41	0,3902	0,0498	4,98
ΣΥΝΟΛΟ		3836319		204		7,8350		

Πίνακας 15 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας του C.T.I"

COMPOUND TOPOGRAPHIC INDEX (C.T.I)								
A/A	C.T.I	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	%	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
1	3,6 - 7,6	3288391	85,72	195	95,59	1,1152	0,7822	78,22
2	7,6 - 11,21	545012	14,21	9	4,41	0,3105	0,2178	21,78
3	11,21 - 25,39	2927	0,08	0		0,00	0	
ΣΥΝΟΛΟ		3836330		204		1,43		

Πίνακας 16 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας της γεωλογίας"

ΓΕΩΛΟΓΙΑ (Geology)								
A/A	Γεωλογικός Σχηματισμός	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	%	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)

1	Σύγχρονες παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις	404210	10,54	1	0,49	0,046509	0,00	0,40
2	Φλύσχη	1886215	49,18	74	36,27	0,737544	0,06	6,41
3	Ασβεστόλιθος	206636	5,39	14	6,86	1,273707	0,11	11,07
4	Ασβεστόλιθοι λεπτοί έως παχυστρωματώδεις	197551	5,15	14	6,86	1,332282	0,12	11,58
5	Ασβεστόλιθοι Βίγλας	99587	2,60	6	2,94	1,13265	0,10	9,85
6	Φλύσχη (Ανώτερο Κρητιδικό)	463386	12,08	4	1,96	0,16228	0,01	1,41
7	Ασβεστόλιθοι (Ανώτερο Κρητιδικό)	284130	7,41	41	20,10	2,712777	0,24	23,58
8	Ασβεστόλιθοι, Κερατολιθική σειρά, Πρώτος Φλύσχη	253428	6,61	49	24,02	3,634869	0,32	31,60
9	Οφιόλιθοι	39964	1,04	1	0,49	0,470412	0,04	4,09
ΣΥΝΟΛΟ		3835107		204		11,50303		

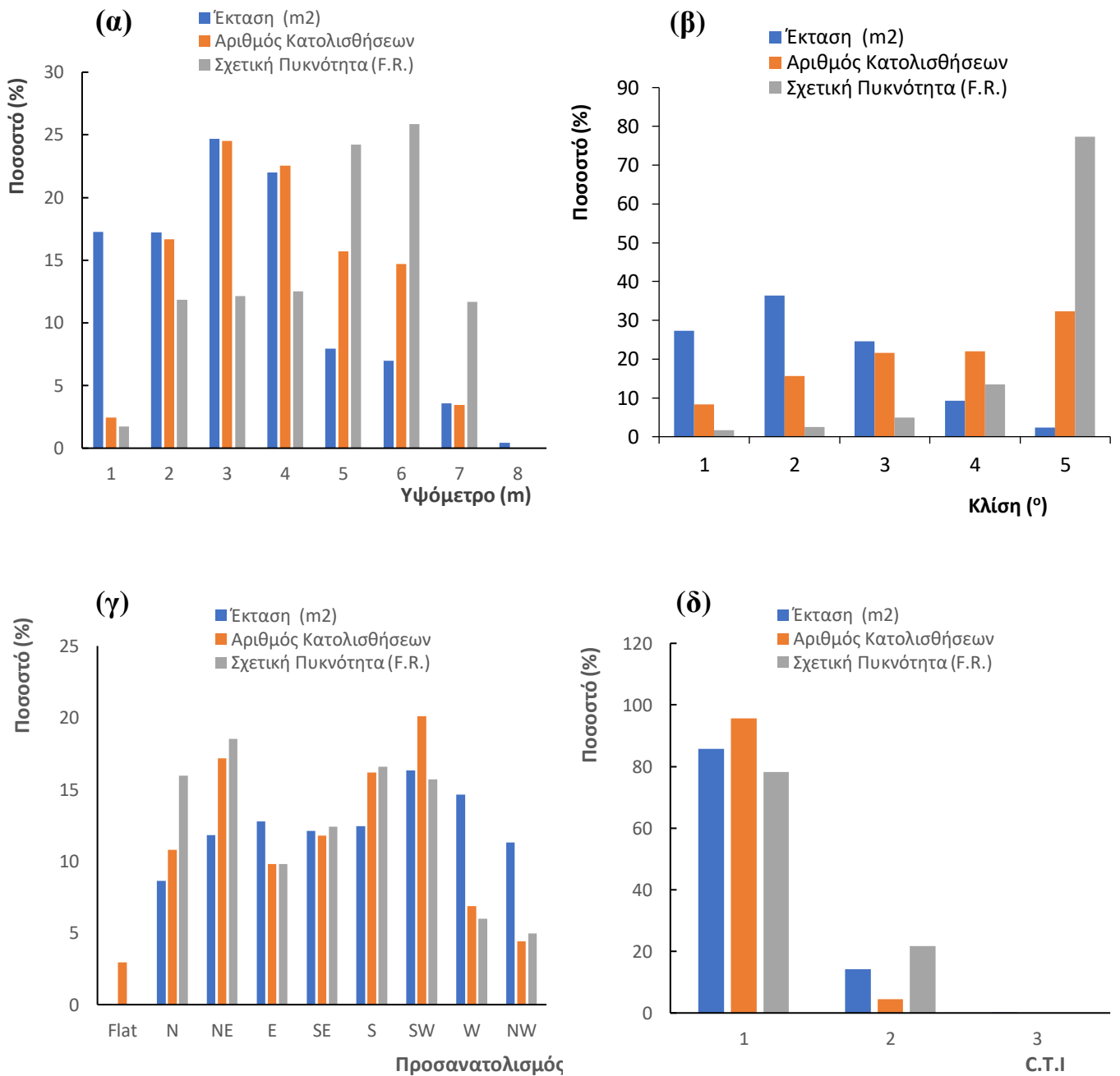
Πίνακας 17 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο"

ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (Distance to Rivers)								
A/A	Κλάσεις απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	%	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
1	0 - 50	237764	6,20	6	2,94	0,4746	0,13	12,67
2	51 -100	236265	6,16	11	5,39	0,8755	0,23	23,38
3	101 - 150	219423	5,72	16	7,84	1,3713	0,37	36,62
4	>150	3142835	81,92	171	83,82	1,0232	0,27	27,32
ΣΥΝΟΛΟ		3836287		204		3,74		

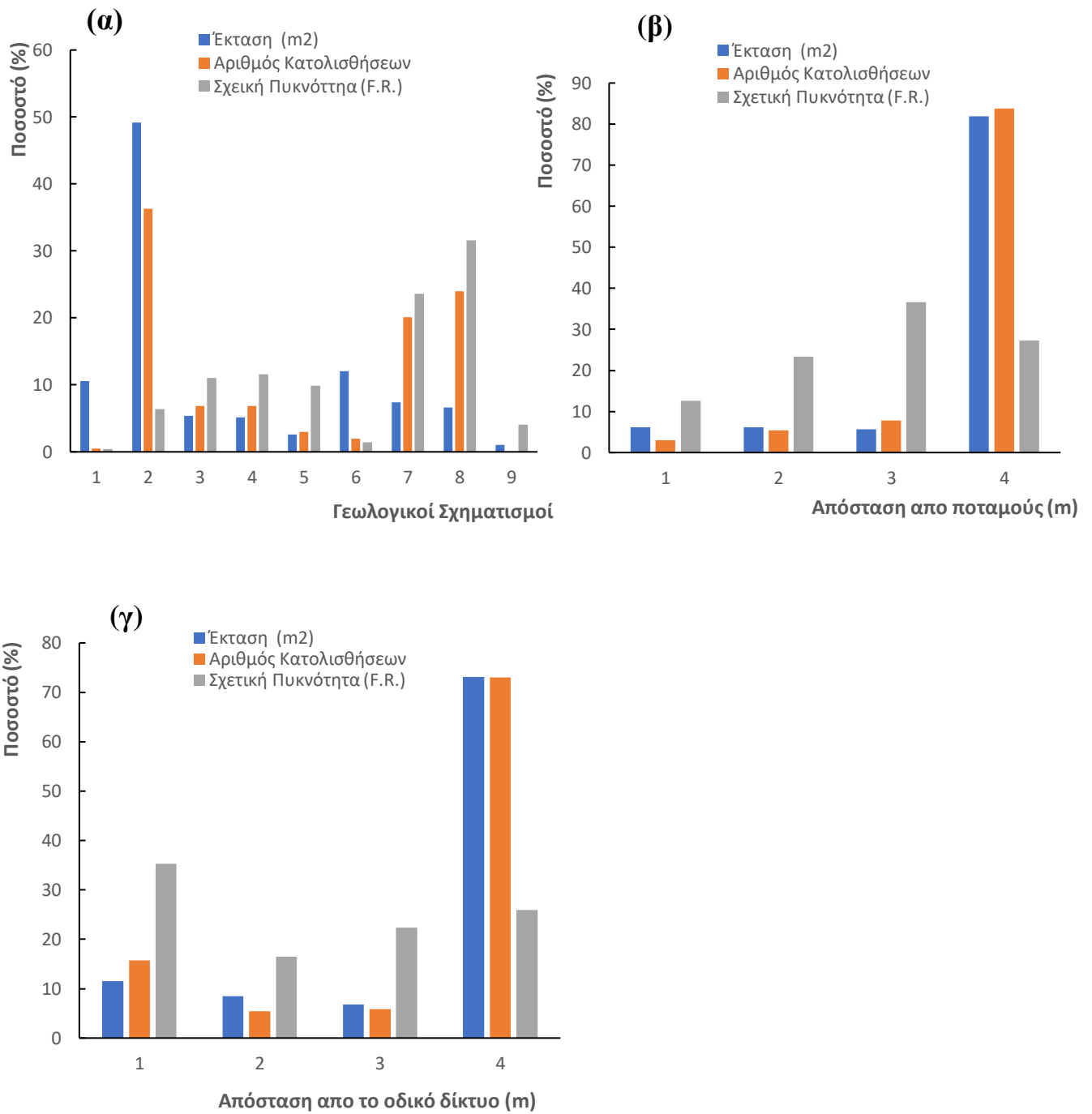
Πίνακας 18 "Στοιχεία υπολογισμού του δείκτη επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση από το οδικό δίκτυο"

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (Distance to Roads)								
A/A	Απόσταση από το οδικό δίκτυο (m)	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	%	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
1	0 - 50	442618	11,54	32	15,69	1,359571	0,35	35,27
2	51 - 100	326295	8,51	11	5,39	0,633962	0,16	16,44

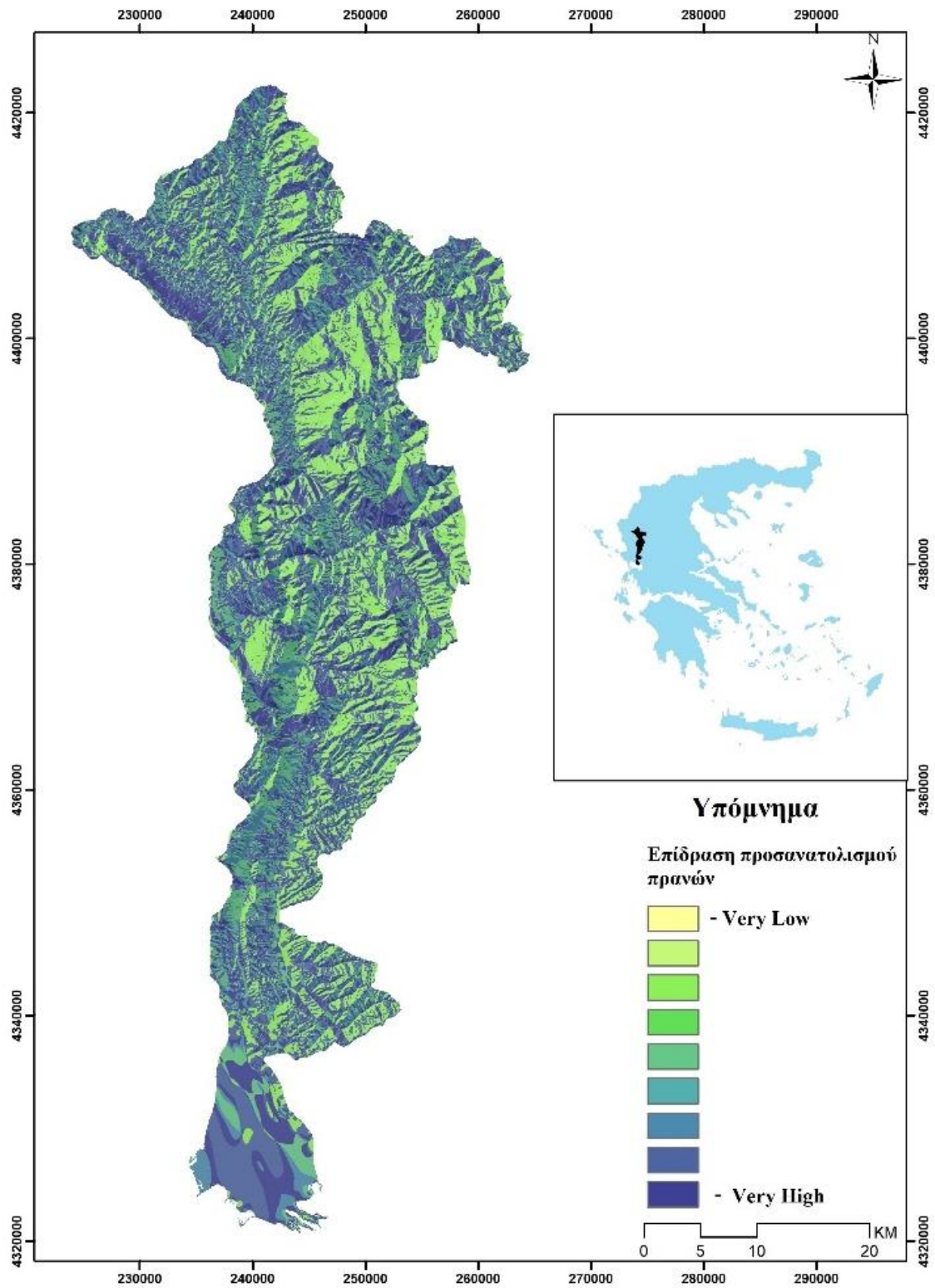
3	101-150	261466	6,82	12	5,88	0,863072	0,22	22,39
4	>150	2805909	73,14	149	73,04	0,998605	0,26	25,90
ΣΥΝΟΛΟ		3836288		204		3,85521		



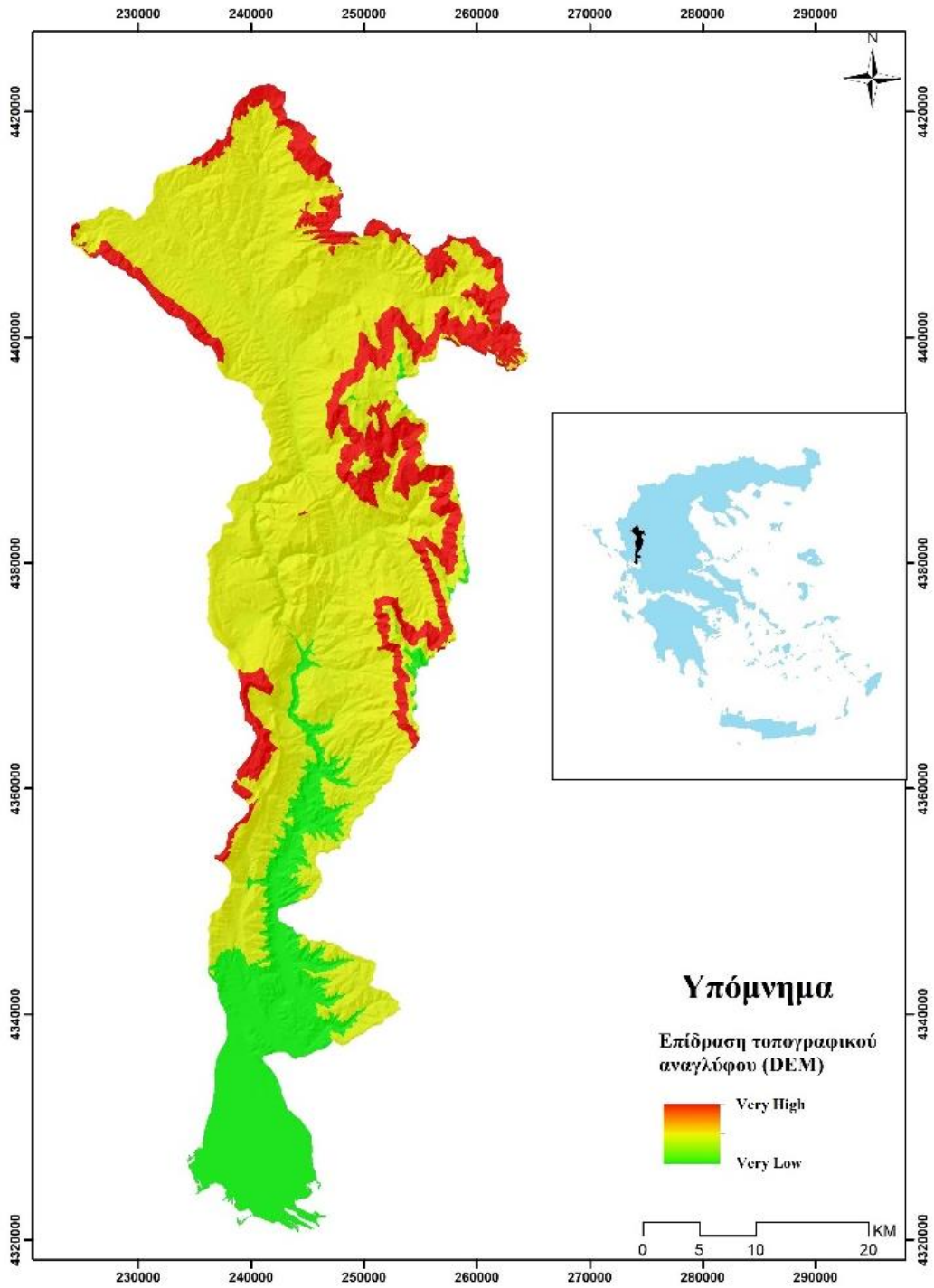
Εικόνα 7.26 " Ραβδογράμματα στατιστικών μεγεθών κατολισθήσεων ανά παράγοντα (α)Υψόμετρο, (β)Κλίση πρανών, (γ)Διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, (δ)Δείκτης C.T.I"



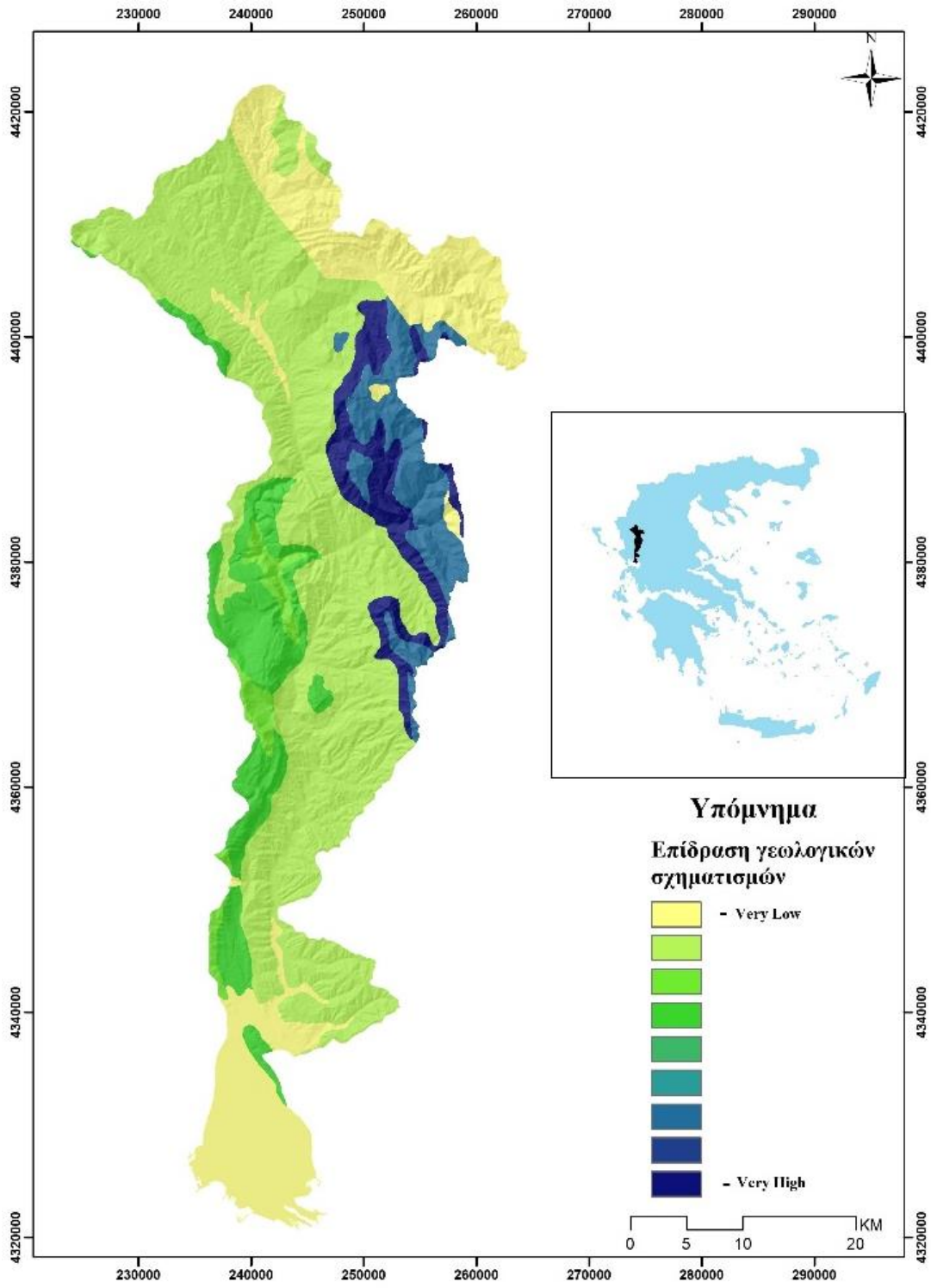
Εικόνα 7.27 "Ραβδογράμματα στατιστικών μεγεθών κατολισθήσεων ανά παράγοντα (α) Γεωλογία, (β) Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, (γ) Απόσταση από οδικό δίκτυο"



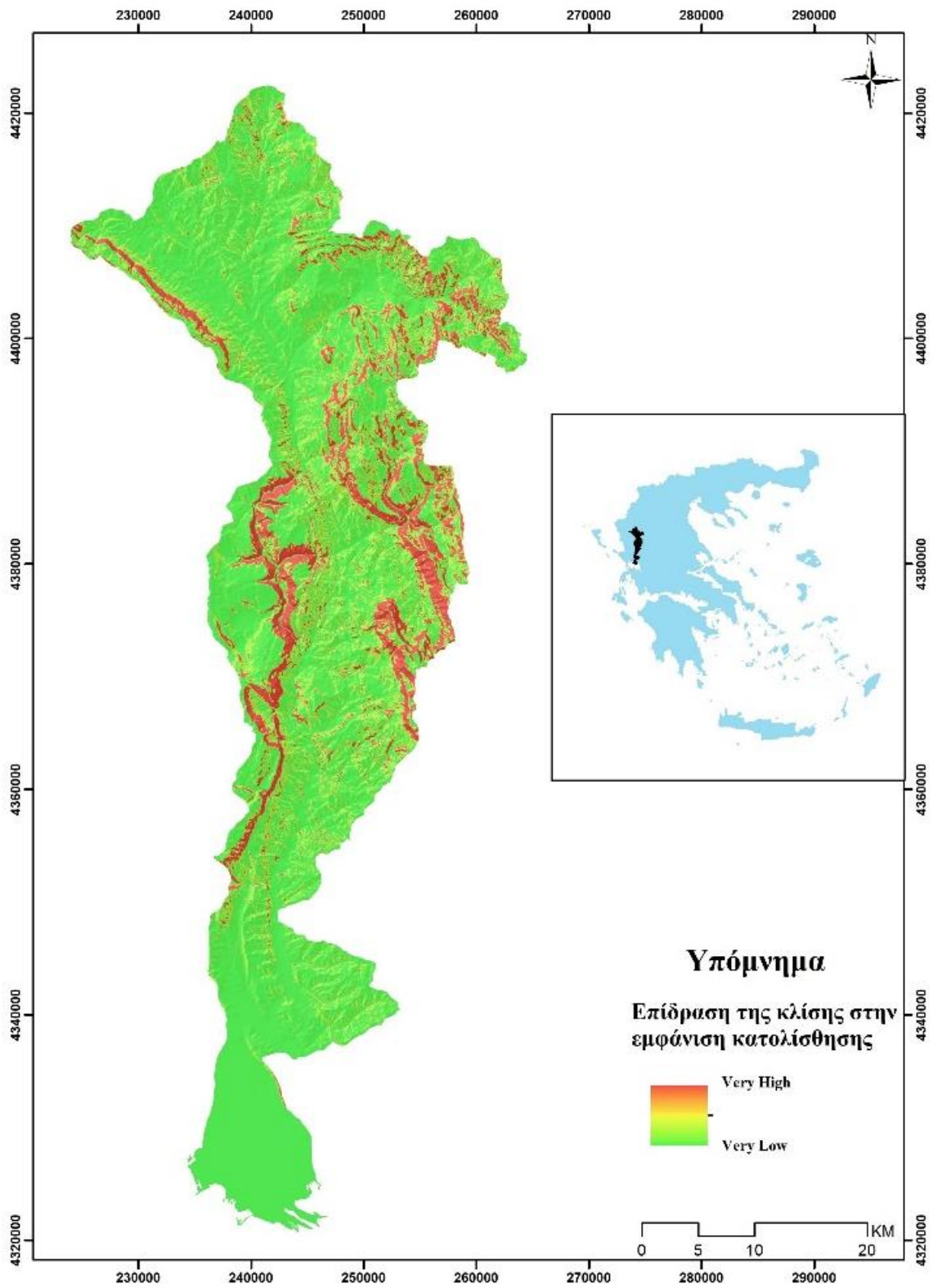
Εικόνα 7.28 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων (Aspect)"



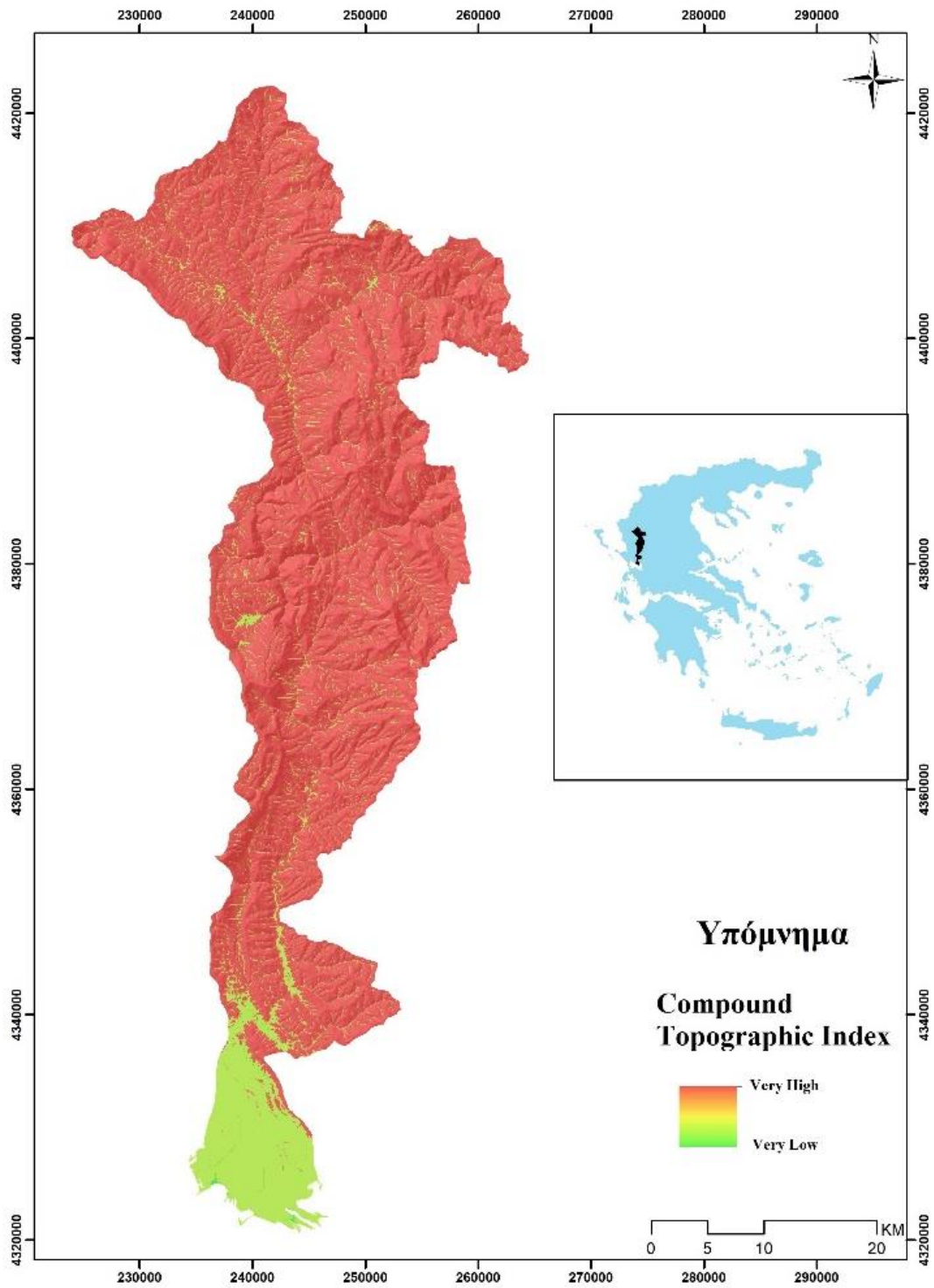
Εικόνα 7.29 " Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας υψομέτρου (Elevation)"



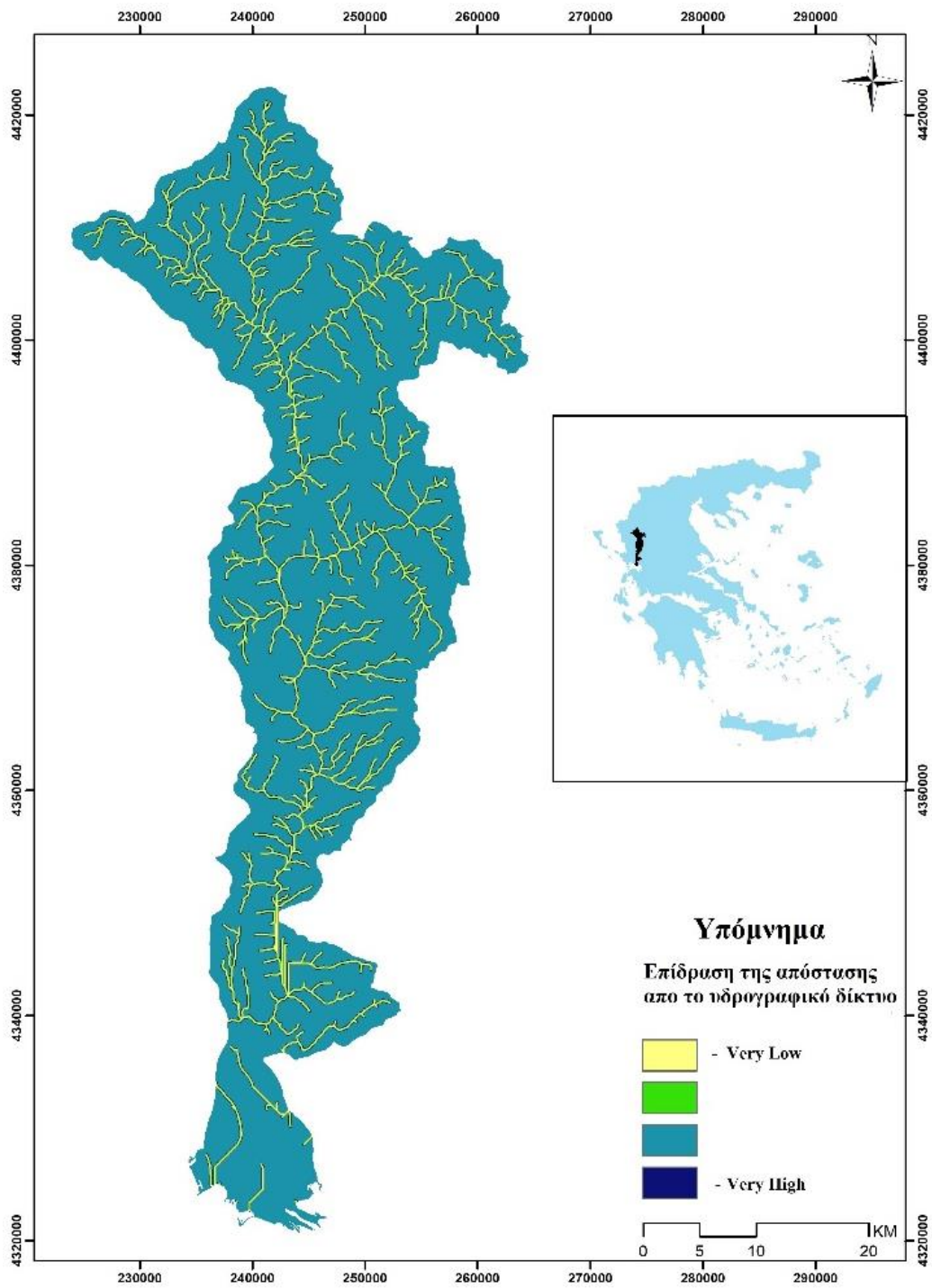
Εικόνα 7.30 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας της γεωλογίας της περιοχής (Geology)"



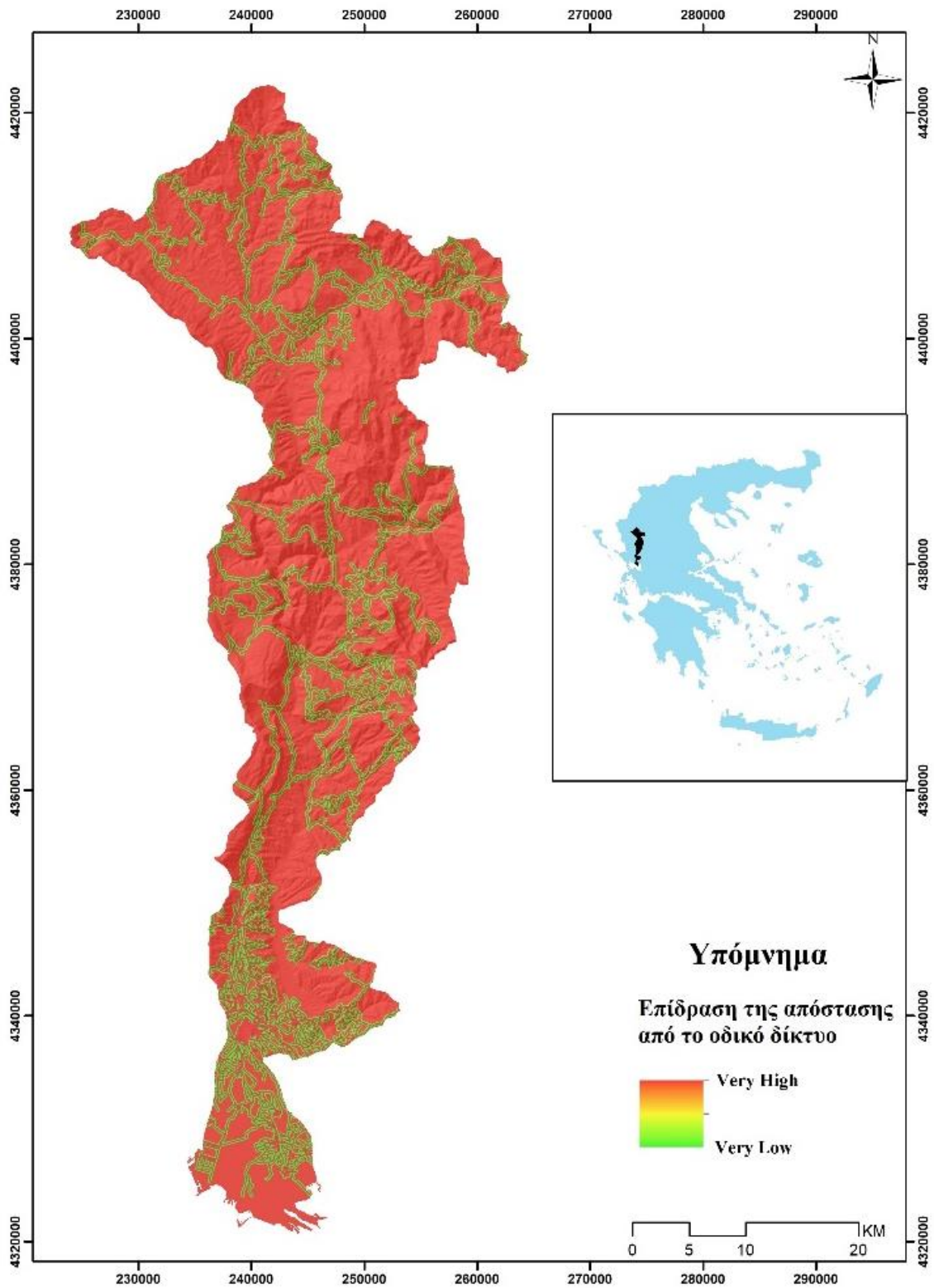
Εικόνα 7.31 "Χάρτης κατολιθθτικής επιδεικτικότητας κλίσεων πρανών (Slope)"



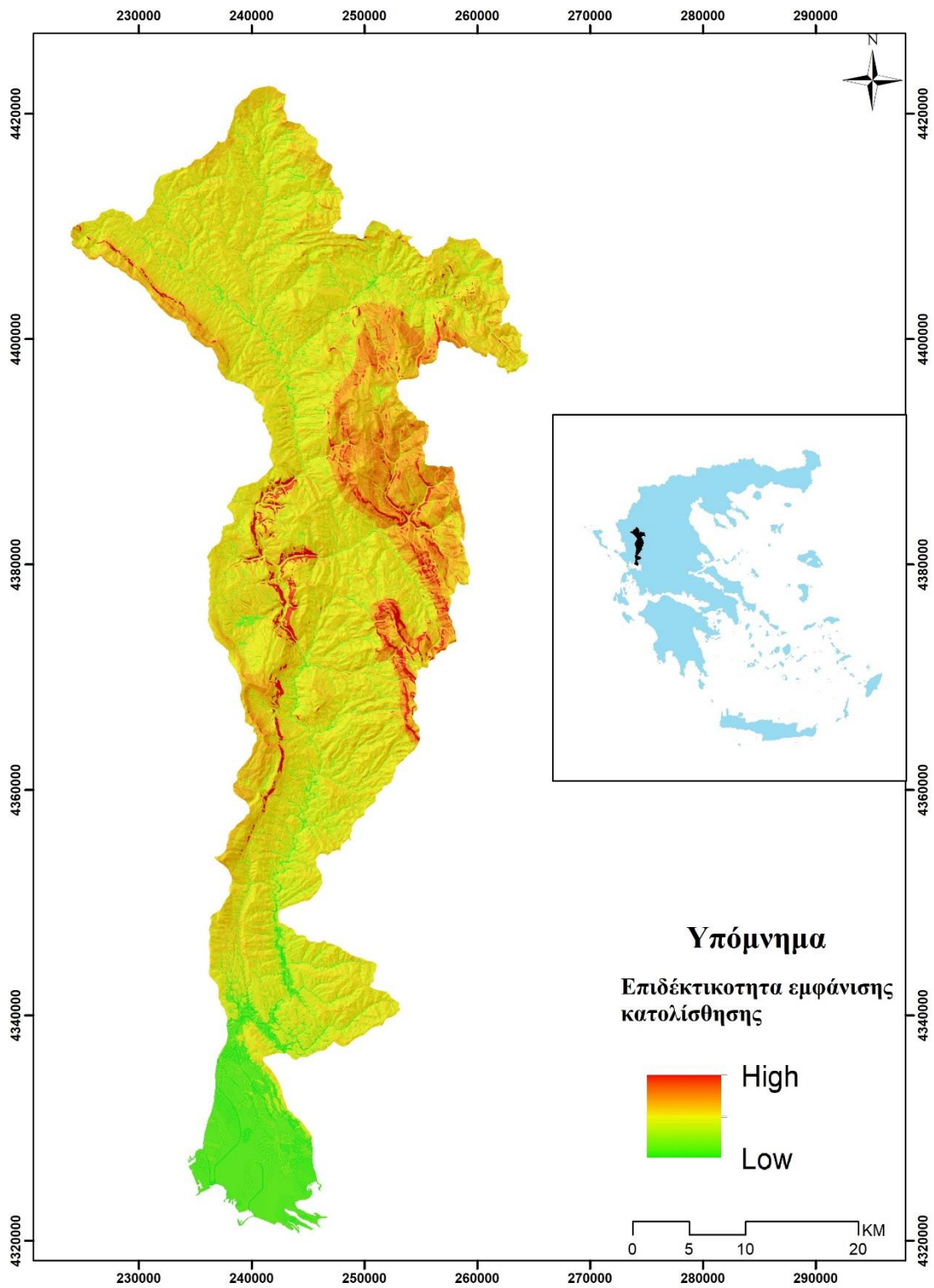
Εικόνα 7.32 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας του C.T.I"



Εικόνα 7.33 " Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση απο το υδρογραφικό δίκτυο (Distance to rivers)



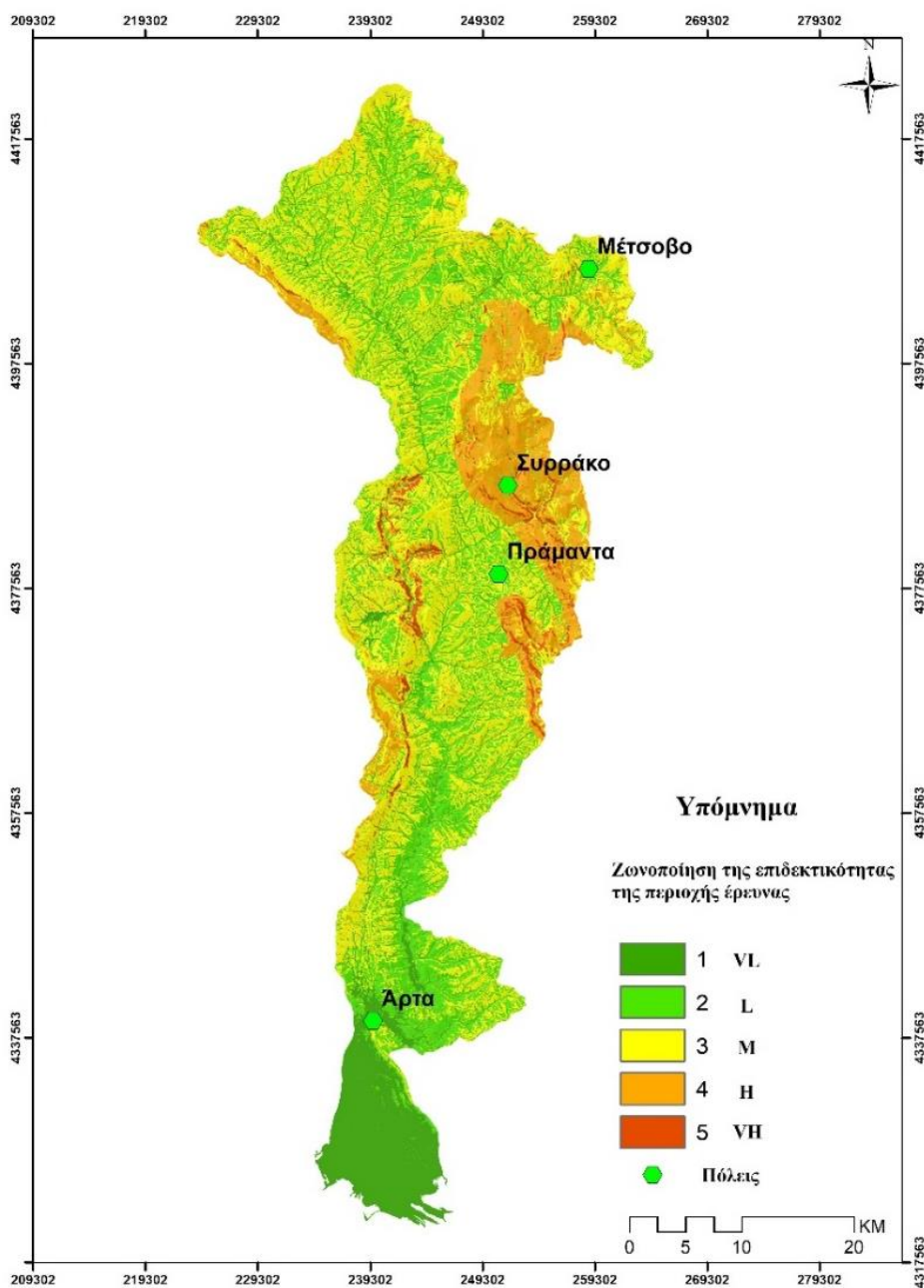
Εικόνα 7.34 "Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ανάλογα με την απόσταση απο οδικό δίκτυο (Distance to roads)"



Εικόνα 7.35 "Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων στη περιοχή έρευνας"

7.12 Εκτίμηση της αξιοπιστίας της μεθόδου Λόγου Συχνοτήτων (F.R.)

Όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 6.4.2 η αξιοπιστία του μοντέλου ελέγχεται χρησιμοποιώντας τις γνωστές 204 θέσεις κατολισθήσεων, διαιρώντας τες σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αποτελεί την βάση εκπαίδευσης (*train*) και απαρτίζεται από 143 κατολισθήσεις, ενώ η δεύτερη αποτελεί την βάση ελέγχου - επαλήθευσης (*test*) και απαρτίζεται από 61 κατολισθήσεις. Για να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση της μεθόδου, πρωταρχικό στάδιο αποτελεί η δημιουργία ενός χάρτη ζωνοποίησης του χάρτη επιδεκτικότητας. Ο νέος αυτός χάρτης περιέχει πέντε (5) κατηγορίες επιδεκτικότητας και παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.36*.



Εικόνα 7.36 "Χάρτης κατηγοριοποίησης της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της περιοχής έρευνας"

Οι πέντε (5) κατηγορίες επιδεκτικότητας, που εμφανίζονται, είναι οι εξής:

- Πολύ Χαμηλή – Very Low (VL)
- Χαμηλή – Low (L)
- Μέση – Medium (M)
- Υψηλή – High (H)
- Πολύ Υψηλή – Very High (VH)

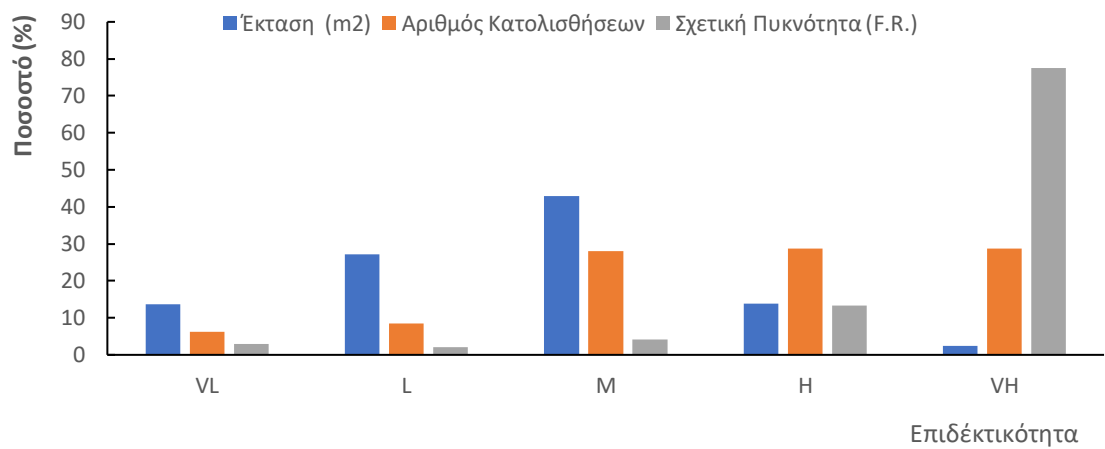
Στη συνέχεια, αποτυπώνονται οι πίνακες δεδομένων και οι χάρτες επιδεκτικότητας κατολισθήσεων, τόσο για τη βάση εκπαίδευσης, όσο και για τη βάση ελέγχου – επαλήθευσης. Ακολουθώντας, τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με τις αντίστοιχες καμπύλες ROC για την τελική εκτίμηση της αξιοπιστίας του μοντέλου.

7.12.1 Εκτίμηση της βάσης εκπαίδευσης

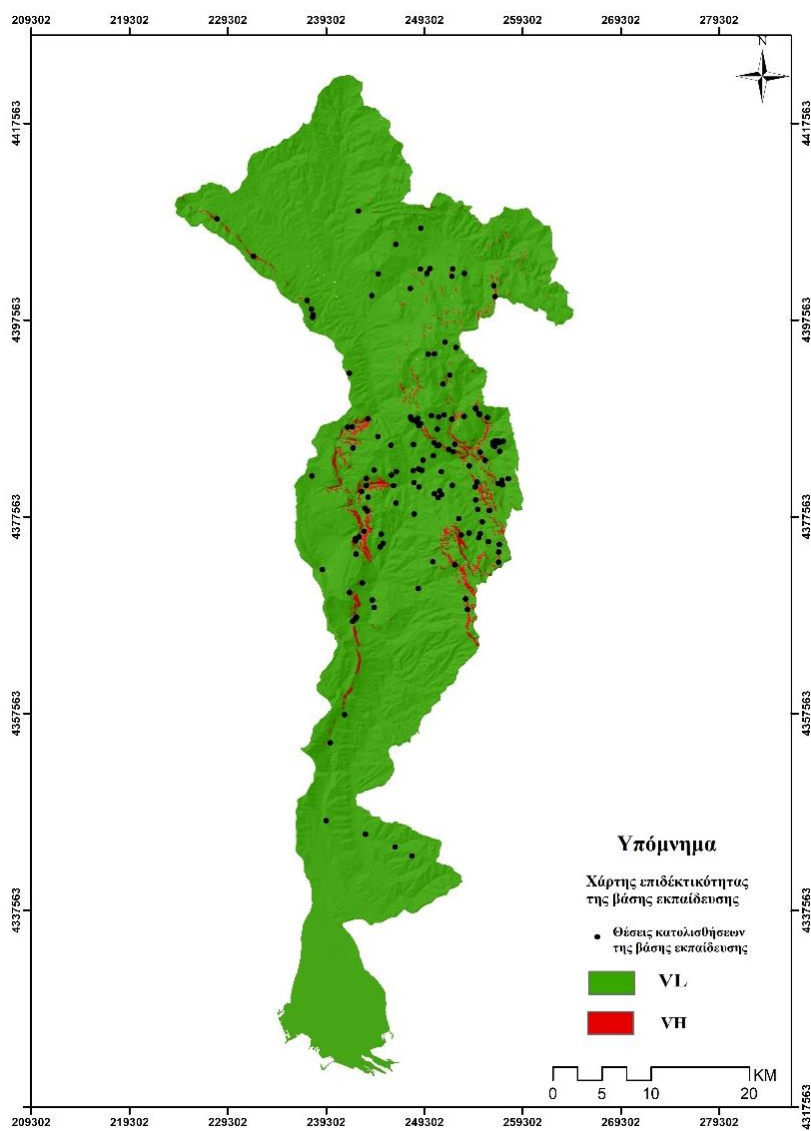
Παρατηρώντας τον Πίνακα 19, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το μοντέλο κατέχει αυξημένη απόδοση εκπαίδευσης. Αυτό γίνεται κατανοητό καθώς στη τελευταία στήλη του εν λόγω πίνακα, το άθροισμα των ποσοστών των σχετικών συχνοτήτων για την υψηλή (*High*) και τη πολύ υψηλή (*Very High*) επιδεκτικότητα της συγκεκριμένης βάσης έχει αποτέλεσμα περίπου 91%. Το μεγάλο ποσοστό αυτό υποδηλώνει ότι η βάση εκπαίδευσης έχει δημιουργηθεί με αρκετή ακρίβεια, συνεπώς και οι χάρτες επιδεκτικότητας που παράγονται από τα δεδομένα αυτά, θα είναι εξίσου ακριβής.

Πίνακας 19 "Στοιχεία υπολογισμού επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης εκπαίδευσης"

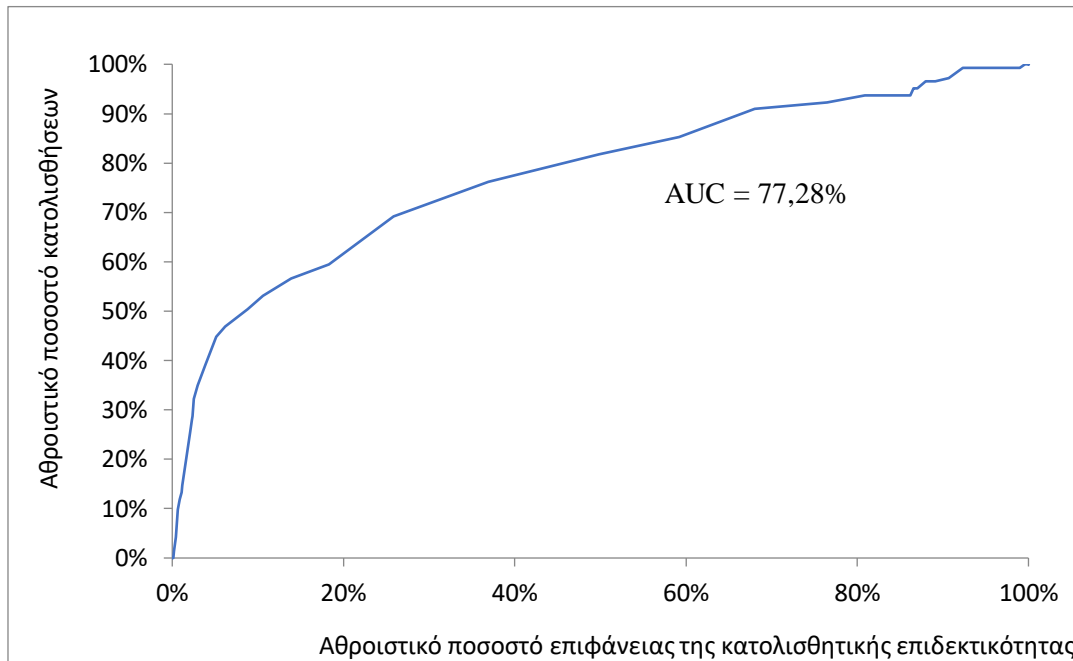
ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ							
Κλάσεις	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	(%)	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
VL	523933	13,68007	9	6,293706	0,460064	0,029651	2,965123
L	1038370	27,11219	12	8,391608	0,309514	0,019948	1,994826
M	1643163	42,90354	40	27,97203	0,651975	0,04202	4,201993
H	533193	13,92185	41	28,67133	2,059448	0,132732	13,27319
VH	91242	2,382359	41	28,67133	12,03485	0,775649	77,56486
Σύνολο	3829901		143		15,51585		



Εικόνα 7.37 "Ραβδόγραμμα αποτελεσμάτων της μεθόδου F.R. της βάσης εκπαίδευσης"



Εικόνα 7.38 "Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης εκπαίδευσης"



Εικόνα 7.39 "Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης της βάσης εκπαίδευσης"

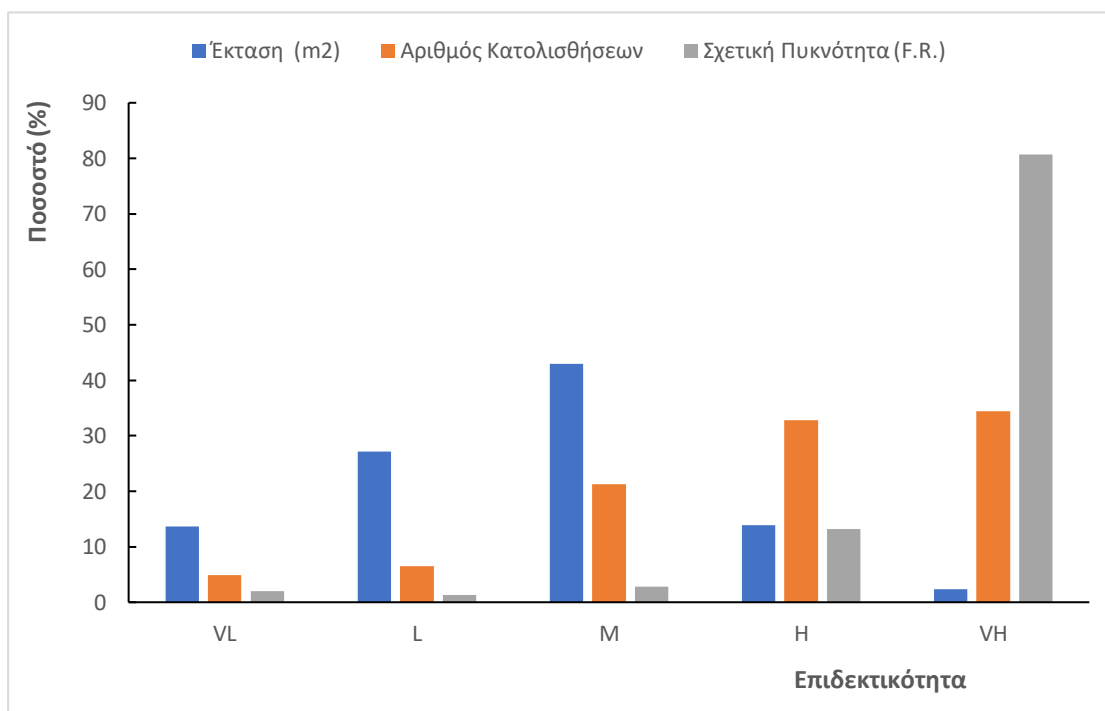
Για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου με βάση τις καμπύλες ROC, υπολογίζεται ο λόγος του εμβαδού της περιοχής που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη προς το εμβαδόν όλου του διαγράμματος. Το υψηλό ποσοστό της καμπύλης αυτής δείχνει κατά πόσο τα αποτελέσματα της μεθόδου ήταν ακριβή και γι' αυτό το σκοπό ο λόγος πρέπει να είναι υψηλός, ώστε να εξάγονται ασφαλή αποτελέσματα. Το ποσοστό της εν λόγω καμπύλης για τη βάση εκπαίδευσης, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 7.39*, είναι 77,28%, γεγονός που επιβεβαιώνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της μεθόδου.

7.12.2 Εκτίμηση της βάσης ελέγχου – επαλήθευσης

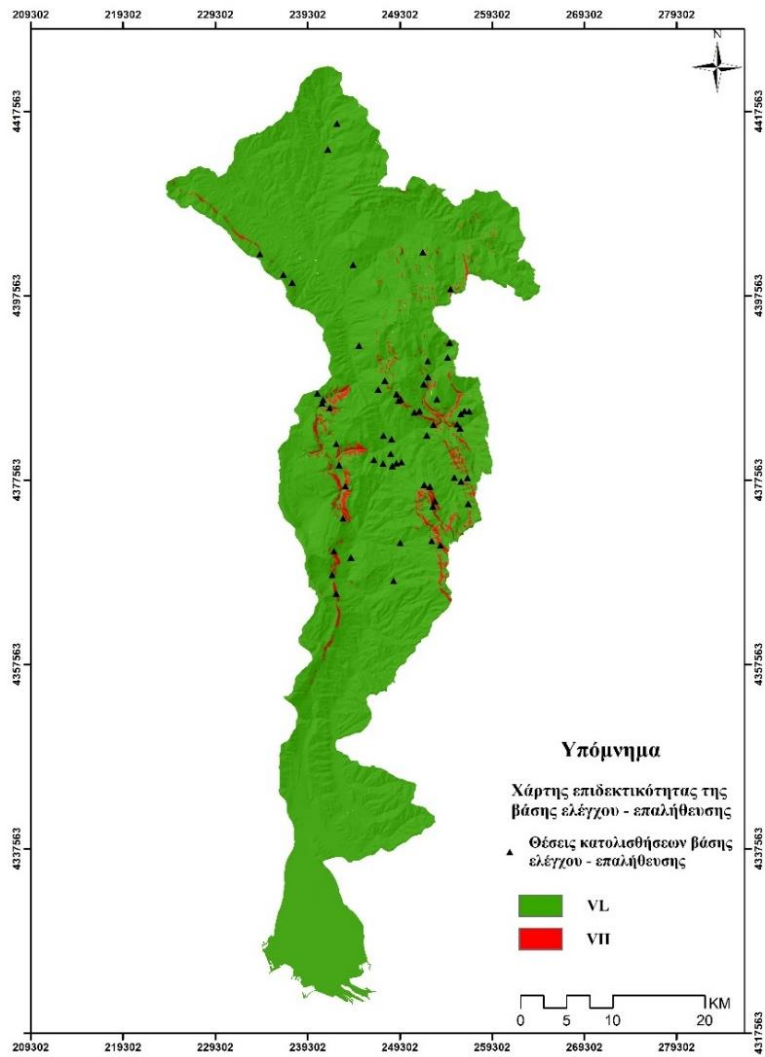
Παρατηρώντας τον *Πίνακα 20*, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το μοντέλο κατέχει αυξημένη απόδοση επαλήθευσης, καθώς στη τελευταία στήλη του συγκεκριμένου πίνακα, όπως και στη περίπτωση της βάσης εκπαίδευσης, το άθροισμα των ποσοστών των σχετικών συχνοτήτων για την υψηλή (*High*) και τη πολύ υψηλή (*Very High*) επιδεκτικότητα της συγκεκριμένης βάσης έχει αποτέλεσμα περίπου 94%. Έτσι, συμπεραίνεται πως, λόγω του μεγάλου ποσοστού, η βάση ελέγχου – επαλήθευσης έχει αυξημένη ακρίβεια πρόγνωσης, συνεπώς και οι χάρτες επιδεκτικότητας που παράγονται από τα δεδομένα αυτά, θα έχουν εξίσου αυξημένη ακρίβεια πρόγνωσης.

Πίνακας 20 "Στοιχεία υπολογισμού επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης"

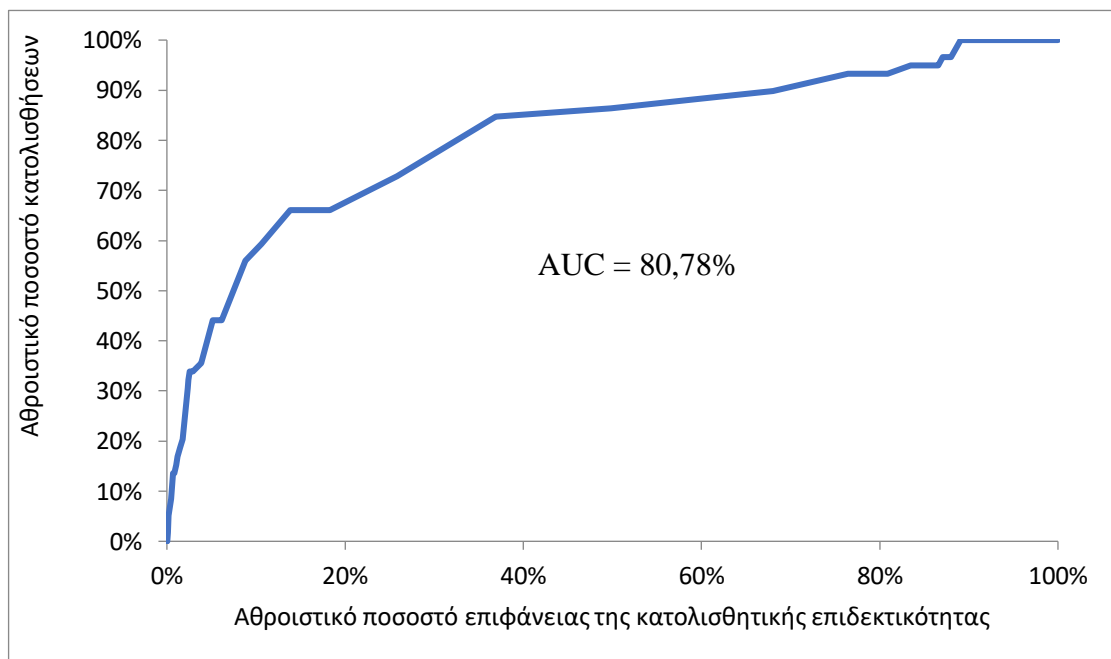
ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ							
Κλάσεις	Έκταση (m ²)	(%)	Αριθμός κατολισθήσεων	(%)	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
VL	523933	13,68007	3	4,918033	0,359504	0,02008	2,007992
L	1038370	27,11219	4	6,557377	0,241861	0,013509	1,350903
M	1643163	42,90354	13	21,31148	0,49673	0,027745	2,774464
H	533193	13,92185	20	32,78689	2,355067	0,131541	13,15412
VH	91242	2,382359	21	34,42623	14,45048	0,807125	80,71252
Σύνολο	3829901		61		17,90364		



Εικόνα 7.40 "Ραβδόγραμμα αποτελεσμάτων της μεθόδου F.R. της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης"



Εικόνα 7.41 "Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης"



Εικόνα 7.42 "Καμπύλη επιτυχούς εκτίμησης της βάσης ελέγχου - επαλήθευσης"

Με χρήση της καμπύλης ROC συμπεραίνεται ότι το ποσοστό της εν λόγω καμπύλης της βάσης ελέγχου – επαλήθευσης, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7.42*, είναι 80,78%, γεγονός που επιβεβαιώνει την ακρίβεια της πρόγνωσης της μεθόδου.

7.13 Ανάλυση δικτύων μέσω της επέκτασης Network Analyst

Για την επίτευξη της χωρικής ανάλυσης με χρήση της εν λόγω επέκτασης, απαιτείται η κατασκευή ενός χάρτη επιδεκτικότητας του οδικού δικτύου σε κατολισθήσεις, καθώς και ο ορισμός τοποθεσιών που ενδείκνυνται για να κατασκευαστούν σταθμοί εξυπηρέτησης, οι οποίοι θα επεμβαίνουν σε περίπτωση κατολισθητικού συμβάντος στην περιοχή έρευνας. Αυτοί θα περιλαμβάνουν όλα τα αναγκαία χωματουργικά οχήματα για τον καθαρισμό των δρόμων από τα υλικά της κατολίπησης, καθώς και οχήματα πυρόσβεσης και μικρά ασθενοφόρα για τη παροχή πρώτων βοηθειών. Οι τοποθεσίες αυτές αποτελούν οικισμούς, χωριά και πόλεις της περιοχής που εξετάζεται στην παρούσα εργασία και είναι οι εξής:

- Τρίστενο
- Μέτσοβο
- Ματσούκι
- Μελισσουργοί
- Καλέντζι
- Άρτα

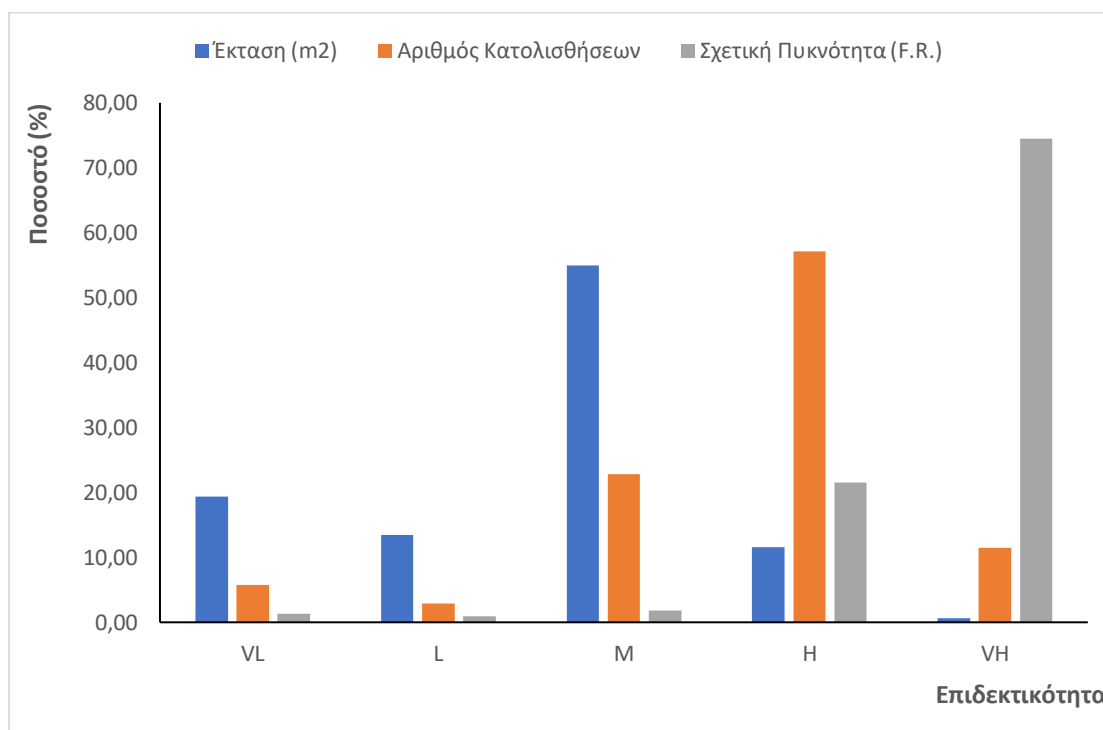
Για τη δημιουργία του χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων του οδικού δικτύου απαιτείται η υπέρθεση αυτού που παρουσιάζει το οδικό δίκτυο, όπως παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.16*, καθώς και αυτού που παρουσιάζει τη κατηγοριοποίηση της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων της περιοχής έρευνας, ο οποίος αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.36*. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην παρακάτω *Εικόνα 7.44*.

Για την ανάλυση του χάρτη αυτού σημειώνεται πως εξετάζεται η έκταση της περιοχής που καταλαμβάνει το οδικό δίκτυο σε ολόκληρη της περιοχής έρευνας. Ο χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων του οδικού δικτύου διαχωρίζεται σε πέντε (5) κατηγορίες, ανάλογα με την ένταση της επιδεκτικότητας, όπως φαίνεται στον *Πίνακα 21*.

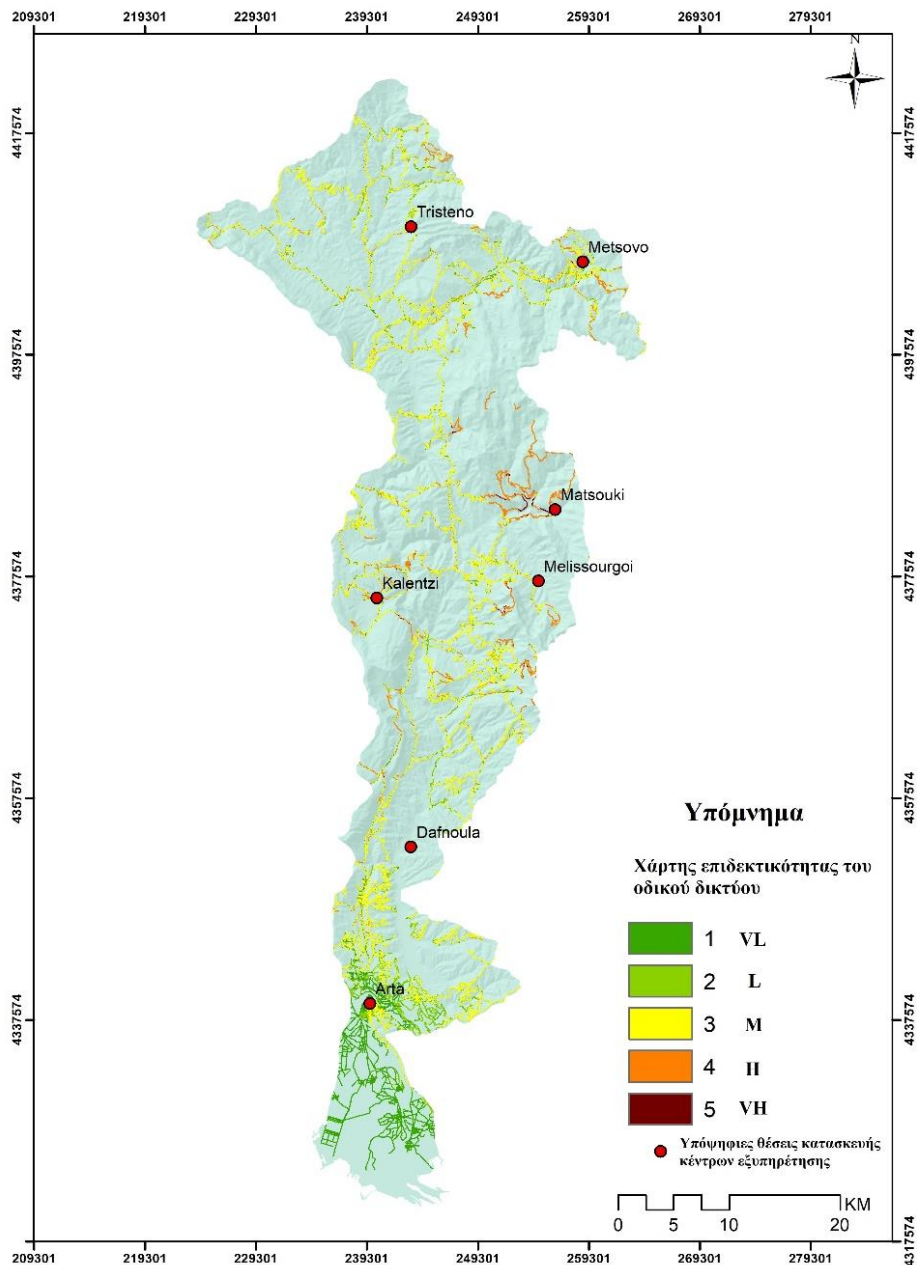
Πίνακας 21 ""Στοιχεία υπολογισμού επιδεκτικότητας της έκτασης που καταλαμβάνει το οδικό δίκτυο""

ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ							
A/A	Έκταση (m ²)	(%)	Συχνότητα	%	Πυκνότητα	Σχετική Πυκνότητα (FR)	(%)
VL	85653	19,37	2	5,71	0,29	0,01	1,29
L	59280	13,41	1	2,86	0,21	0,01	0,93
M	242977	54,96	8	22,86	0,42	0,02	1,81
H	51218	11,59	20	57,14	4,93	0,22	21,51
VH	2959	0,67	4	11,43	17,07	0,74	74,46
	442087		35		22,93		

Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, το γεγονός ότι ενώ το σύνολο των κατολισθήσεων που εξετάζονται είναι 204, στον συγκεκριμένο χάρτη παρατηρούνται μόλις 35. Αυτό συμβαίνει διότι, για την ανάλυση του συγκεκριμένου χάρτη, λαμβάνονται υπόψιν μόνο όσες κατολισθήσεις έχουν συμβεί επί του οδικού δικτύου. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει το ακόλουθο ραβδόγραμμα, που παρουσιάζει τις πληροφορίες του Πίνακα 22.



Εικόνα 7.43 ""Διαγράμματα στατιστικών μεγεθών κατολισθήσεων επί του οδικού δικτύου""



Εικόνα 7.44 "Χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων επί του οδικού δικτύου"

7.13.1 Υπολογισμός της βέλτιστης διαδρομής (*Route Analysis*)

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, μέσω της εύρεσης βέλτιστης διαδρομής, επιτυγχάνεται η επιλογή εκείνης της διαδρομής, η οποία εφόσον συμβεί ένα κατολισθητικό φαινόμενο στο οδικό δίκτυο και εγκλωβιστεί ένας οικισμός, να είναι χρονικά πιο γρήγορη, με σκοπό την συντομότερη άφιξη του συνεργείου διάσωσης στο σημείο. Στη παρούσα εργασία θα εξεταστούν τρία (3) διαφορετικά σενάρια, τα οποία βασίζονται στον χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων του οδικού δικτύου. Ως

αφετηρία των σεναρίων αυτών, θέτεται ένα από τα επτά (7) σημεία, τα οποία προτείνονται ως κέντρα εξυπηρέτησης σε περίπτωση κατολισθητικού συμβάντος.

7.13.1.1 Σενάριο 1^ο: Διαδρομή Μέτσοβο - Καλαρρύτες

Στο παρόν σενάριο θεωρείται ως αφετηρία ο οικισμός Μέτσοβο και ως προορισμός το χωριό Καλαρρύτες. Η επιλογή των δύο αυτών οικισμών έγινε, καθώς αφενός ο πρώτος αποτελεί μια σημαντική κωμόπολη της περιοχής, ενώ ακόμα χαρακτηρίζεται ως ένας από τους κυριότερους τουριστικούς προορισμούς της περιοχής και συνεπώς αποτελεί ορμητήριο για μεγάλο αριθμό πληθυσμού και αφετέρου ο δεύτερος βρίσκεται σε περιοχή αυξημένης επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις και αποτελεί εξίσου σημαντικό τουριστικό προορισμό της περιοχής.

Όπως αποτυπώνεται και στην *Εικόνα 7.45*, στην αρχική διαδρομή μεταξύ των δύο οικισμών θεωρείται πως συμβαίνει ένα κατολισθητικό γεγονός στο εικονιζόμενο σημείο, καθώς το οδικό δίκτυο στη συγκεκριμένη περιοχή έχει αυξημένο βαθμό κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της χιλιομετρικής απόστασης που απαιτείται για την μετάβαση από την αφετηρία προς τον προορισμό, από τα 63,4 χλμ. στα 67,2 χλμ. Παρατηρείται λοιπόν μια αύξηση κατά 5,66% της συνολικής διαδρομής.

7.13.1.2 Σενάριο 2^ο : Διαδρομή Άρτα – Συρράκο

Για το παρόν σενάριο θεωρείται ως αφετηρία η πόλη της Άρτας και ως προορισμός το χωριό Συρράκο. Η επιλογή των δύο αυτών οικισμών έγινε, καθώς η πόλη της Άρτας αποτελεί τη μεγαλύτερη πόλη της περιοχής έρευνας, ενώ ο οικισμός του Συρράκου βρίσκεται σε περιοχή αυξημένης επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις και αποτελεί σημαντικό τουριστικό προορισμό της περιοχής.

Η αρχική και τελική διαδρομή μεταξύ των δύο, καθώς και το σημείο ενδεχόμενης κατολίσθησης αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.46*. Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της χιλιομετρικής απόστασης που απαιτείται για την μετάβαση από την αφετηρία προς τον προορισμό, από τα 80,07 χλμ. στα 83,3 χλμ, η οποία αποτελεί αύξηση της τάξης του 3,88%.

7.13.1.3 Σενάριο 3^ο : Διαδρομή Τρίστενο – Πράμαντα

Για το παρόν σενάριο θεωρείται ως αφετηρία το χωριό Τρίστενο και ως προορισμός το χωριό Πράμαντα. Η επιλογή των δύο αυτών οικισμών έγινε, καθώς το χωριό Τρίστενο βρίσκεται στο βόριο άκρο της περιοχής έρευνας και αποτελεί μια υποψήφια θέση

κατασκευής κέντρου εξυπηρέτησης, ενώ ο οικισμός των Πραμάντων βρίσκεται σε περιοχή αυξημένης επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις και αποτελεί σημαντικό τουριστικό προορισμό της περιοχής. Η αρχική και τελική διαδρομή μεταξύ των δύο, καθώς και το σημείο ενδεχόμενης κατολίσθησης αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.47*.

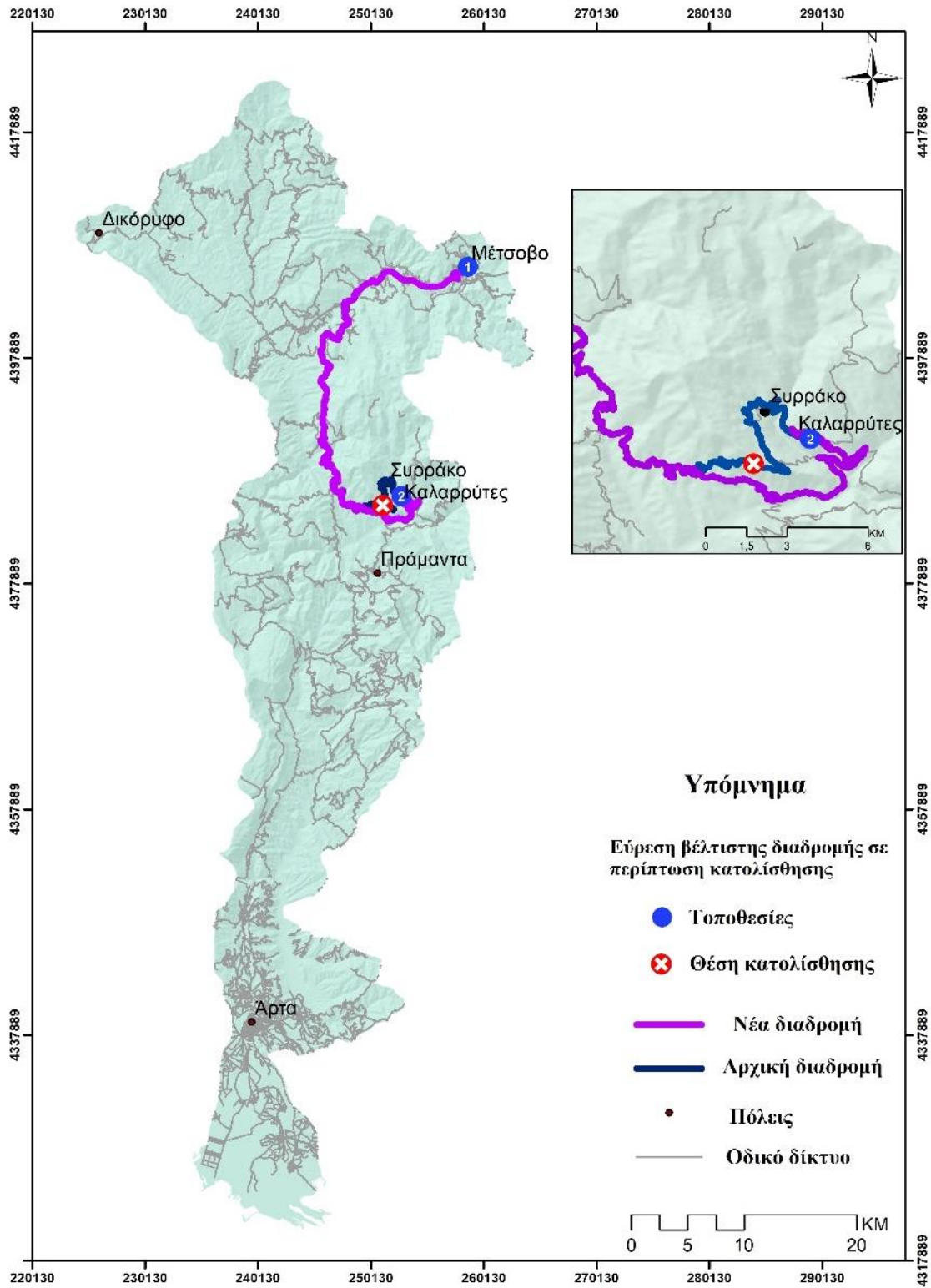
Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της χιλιομετρικής απόστασης που απαιτείται για την μετάβαση από την αφετηρία προς τον προορισμό, από τα 66,3 χλμ. στα 67,5 χλμ, δηλαδή αύξηση κατά 1,78%.

7.13.2 Εύρεση κοντινότερης εγκατάστασης (*Closest Facility Analysis*)

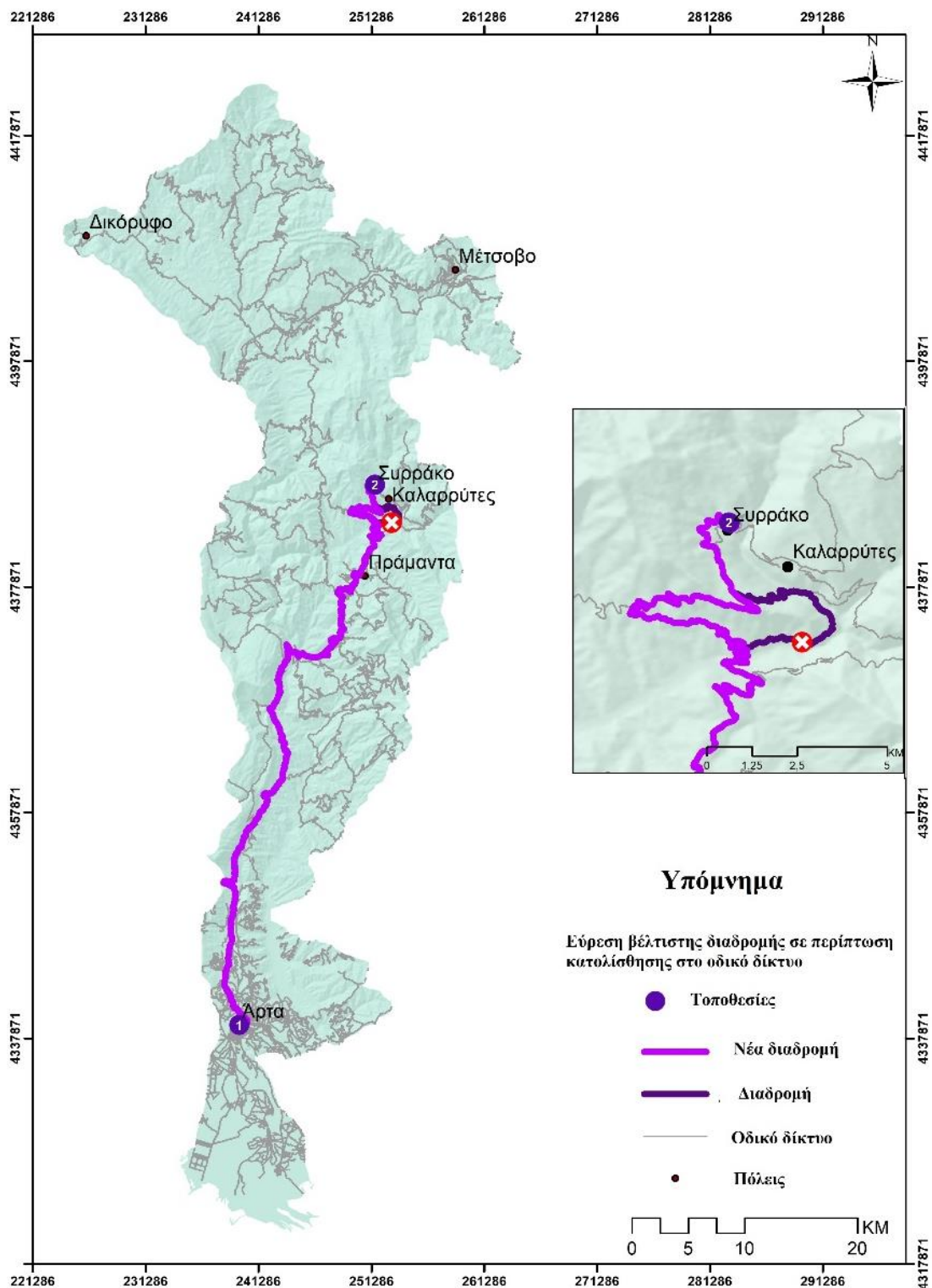
Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, με χρήση της συγκεκριμένης εντολής υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ συμβάντων και εγκαταστάσεων και κατ' αυτόν τον τρόπο καθορίζονται αυτά που είναι σε κοντινότερη απόσταση μεταξύ τους. Για τη συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν συνολικά είκοσι (20) κατολισθητικά φαινόμενα, από το σύνολο των 204 κατολισθήσεων, τα οποία είχαν τυχαίες θέσεις ως προς τις υποψήφιες εγκαταστάσεις. Από το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης ανάλυσης παρατηρείται πως όλες οι υποψήφιες εγκαταστάσεις είναι ικανές να φτάσουν σε συμβάντα, εκτός από αυτήν στον οικισμό «Δαφνούλα». Αυτό, πιθανότατα, οφείλεται στην απουσία καλά ορισμένου οδικού δικτύου της περιοχής που περικλείει τον οικισμό. Ο χάρτης που παρουσιάζει την επίλυση αυτή αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.48*.

7.13.3 Εύρεση τοποθεσίας βέλτιστων εγκαταστάσεων (*Location – Allocation*)

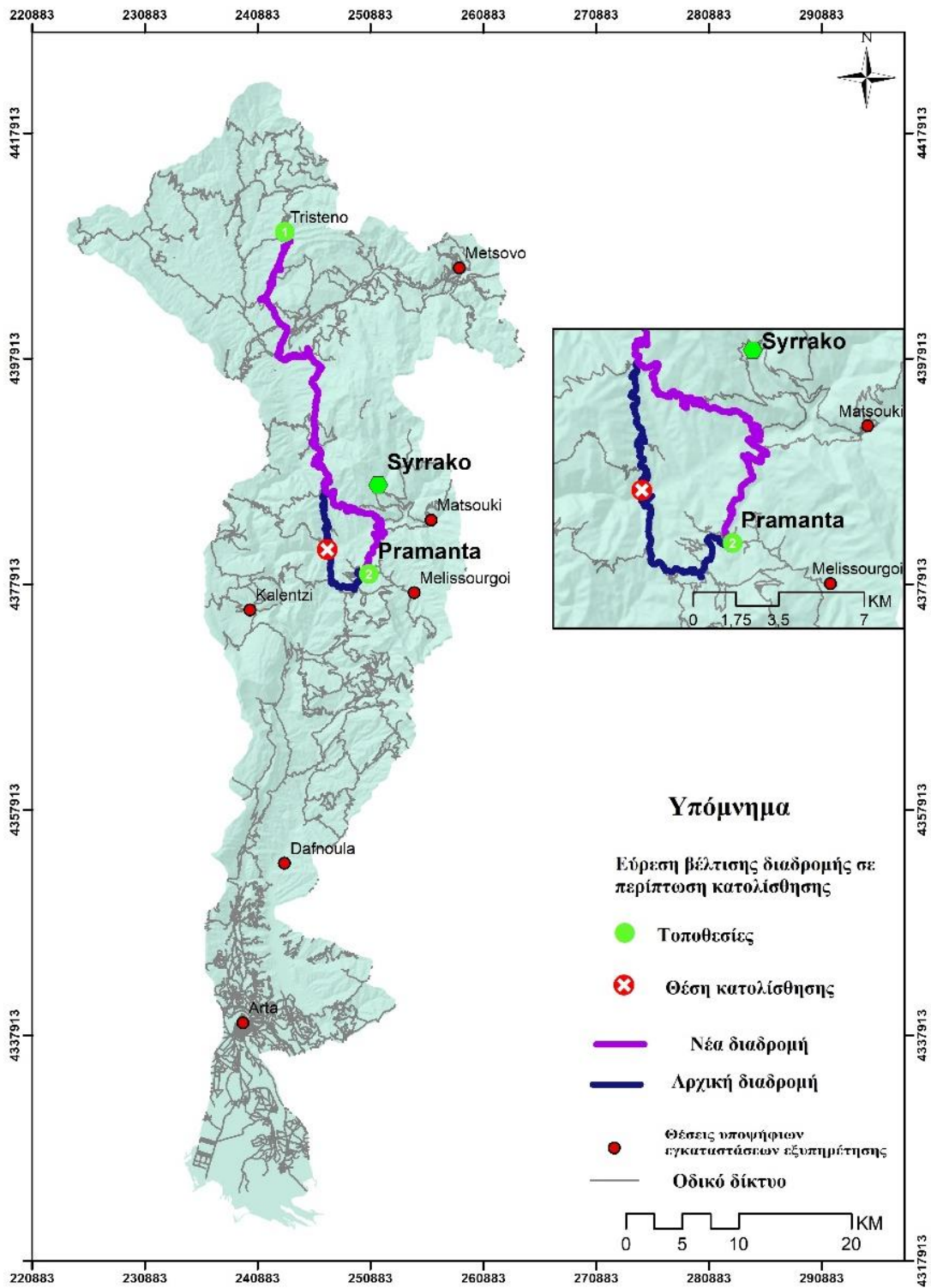
Με χρήση της συγκεκριμένης εντολής καθορίζεται η καλύτερη τοποθεσία για μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις, οι οποίες είναι ικανές να εξυπηρετήσουν ένα δεδομένο σύνολο σημείων ζήτησης. Η παρούσα ανάλυση θα καθορίσει δύο (2) θέσεις εξυπηρέτησης από το σύνολο των επτά (7), που έχουν αναφερθεί πρωτύτερα. Για την εφαρμογή της εντολής αυτής, σύμφωνα με την επιδεκτικότητα σε κατολισθήσεις, ορίζονται σημεία σε ολόκληρη τη περιοχή έρευνας, που υποδηλώνουν τη ζήτηση για την δημιουργία μιας εγκατάστασης σε κάθε σημείο. Με βάση τα σημεία αυτά και τη τοποθεσία των εγκαταστάσεων, επιλέγονται οι δύο (2) περιοχές που εξυπηρετούν τα περισσότερα σημεία ζήτησης, οι οποίες είναι στους οικισμούς «*Τρίστενο*» και «*Καλέντζι*». Το αποτέλεσμα της ανάλυσης αποτυπώνεται στην *Εικόνα 7.49*.



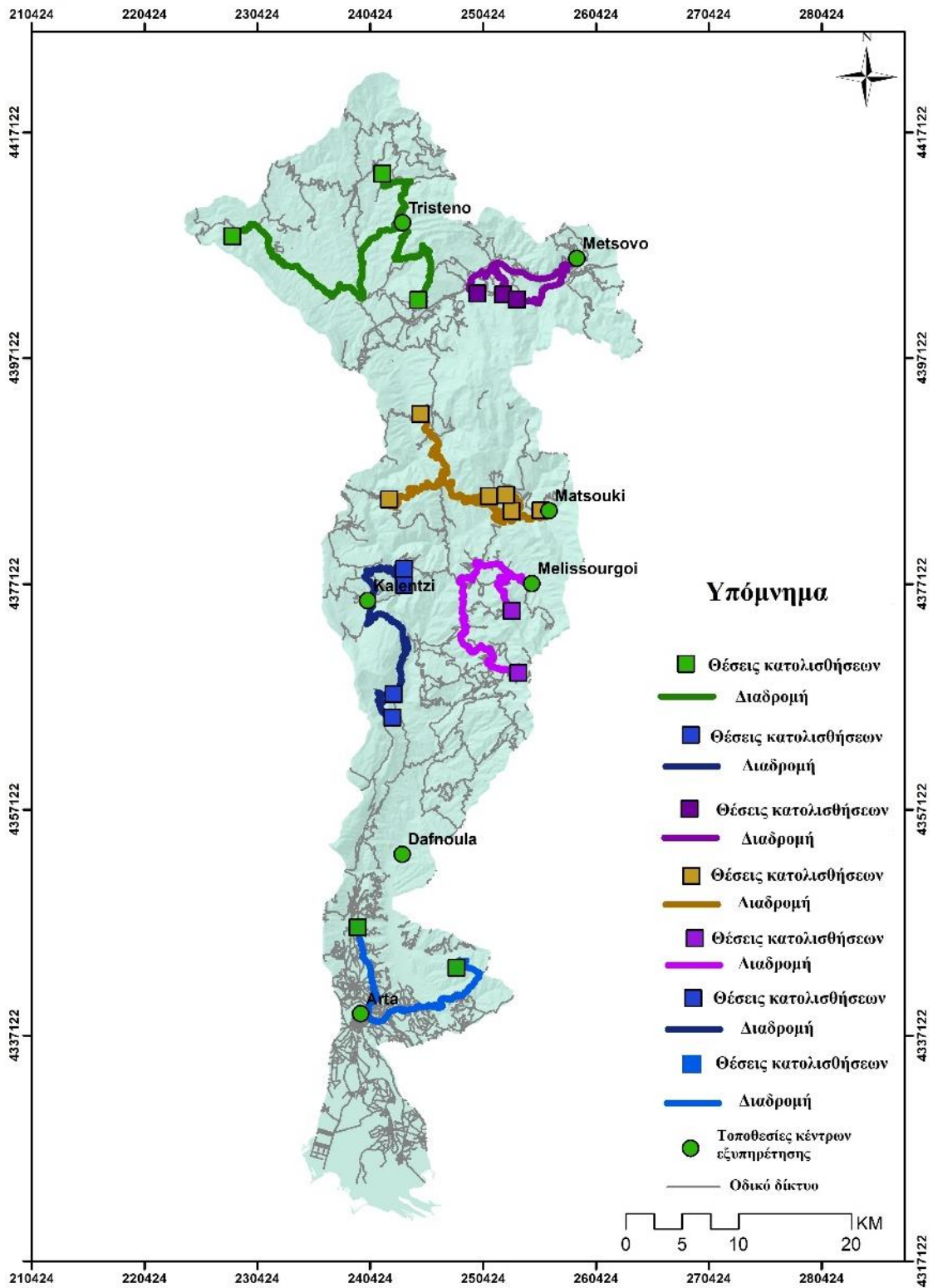
Εικόνα 7.45 " Χάρτης βέλτιστης διαδρομής σε περίπτωση κατολίθησης για το 1ο σενάριο"



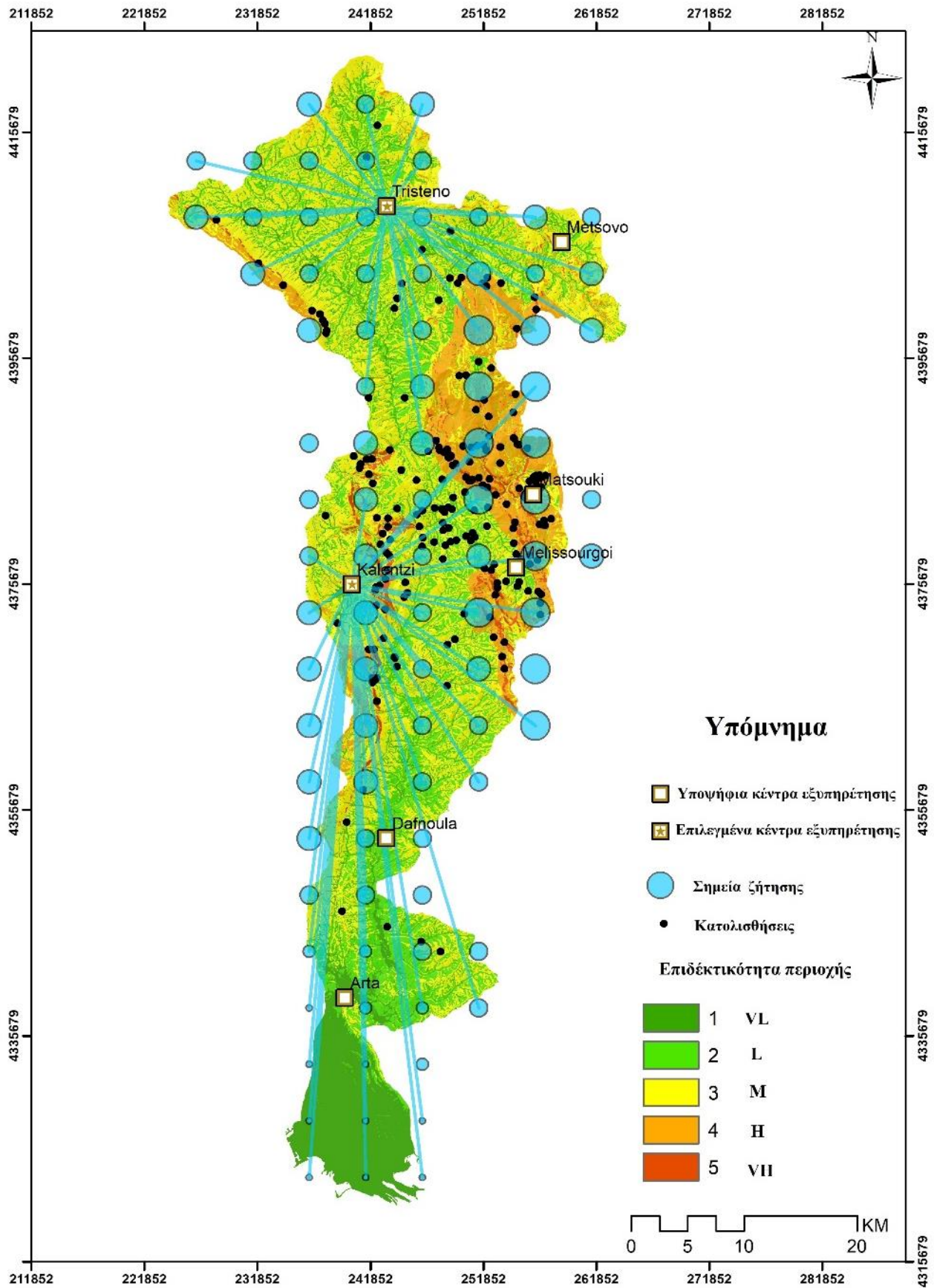
Εικόνα 7.46 "Χάρτης βέλτιστης διαδρομής σε περίπτωση κατολίσθησης για το 2ο σενάριο"



Εικόνα 7.47 "Χάρτης βέλτιστης διαδρομής σε περίπτωση κατολίθησης για το 3ο σενάριο"



Εικόνα 7.48 "Χάρτης αποτελεσμάτων ανάλυσης κοντινότερης απόστασης"



Εικόνα 7.49 " Χάρτης επιλογής των βέλτιστων περιοχών για δημιουργία εγκαταστάσεων"

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

8.1 Συμπεράσματα

Tο θέμα μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορούσε τον υπολογισμό της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων, θέμα το οποίο έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης και ανάλυσης πολλών εργασιών και ερευνών. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, επιλέχθηκε η στατιστική μέθοδος ανάλυσης λόγου συχνοτήτων (FR). Υπόθεση εργασίας αποτέλεσε η εκτίμηση της επιρροής του αριθμού των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της μεθόδου.

Ως περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε περιοχή της Ηπείρου, και συγκεκριμένα η λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, όπου και παράχθηκαν χάρτες κατολισθητικής επιδεκτικότητας, οριοθετώντας πέντε ζώνες διαβαθμισμένης επιδεκτικότητας (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μεσαία, υψηλή, πολύ υψηλή επιδεκτικότητα). Ως προς τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν, και οι οποίες επιλέχθηκαν μελετώντας κυρίως την κατάλληλη βιβλιογραφία, αυτές αφορούσαν:

- 1) το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου (DEM)
- 2) την κλίση
- 3) την διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων
- 4) την γεωλογία
- 5) τον τοπογραφικό δείκτη υγρασίας (C.T.I)
- 6) την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο
- 7) την απόσταση από το οδικό δίκτυο

Στη χωρική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας εισήχθησαν 204 επιβεβαιωμένες θέσεις εμφάνισης κατολισθήσεων, οι οποίες αντλήθηκαν από διάφορες πηγές, όπως έχει αναφερθεί.

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων εντοπίζεται σε υψόμετρο 600 – 900 m, με ποσοστό 24,51%. Παρατηρείται πως φαινόμενα κατολισθήσεων συμβαίνουν σε όλα τα υψόμετρα, με εξαίρεση τα πεδινά, δηλαδή με υψόμετρο < 300m, καθώς και στα πολύ ορεινά, με υψόμετρο που υπερβαίνει τα 2100 m.

Όσον αφορά τις μορφολογικές κλίσεις διαπιστώνεται ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις λαμβάνουν χώρα στην κατηγορία 5 ($> 40^\circ$) με ποσοστό 32,35% και

ακολουθεί η κατηγορία 4 (31° – 40°) με ποσοστό 22,06%, η κατηγορία 3 (21° – 30°) με ποσοστό 21,57%, η κατηγορία 2 (11° – 20°) και τέλος η κατηγορία 1 (< 10°) με ποσοστό 8,33%.

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων όσον αφορά την διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της κατηγορίας 7 (SW) με ποσοστό 20,1% και στην συνέχεια ακολουθεί η κατηγορία 3 (NE) με ποσοστό 17,16%, η κατηγορία 6 (S) με ποσοστό 16,18%. Σημειώνεται πως η κατηγορία με τον μικρότερο αριθμό κατολισθήσεων είναι η 1 (Flat) με ποσοστό 2,94%/.

Σε ότι αφορά τον τοπογραφικό δείκτη υγρασίας η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων εμφανίζεται στη κατηγορία 1 (3,6 – 7,6) με ποσοστό 95,59%. Ακολουθεί η κατηγορία 2 (7,6 – 11,21) με ποσοστό 4,41% και τέλος η κατηγορία 3 (11,21 – 25,39) με μηδενικό ποσοστό.

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων εντοπίζεται στον σχηματισμό του «Φλύσχη» της κατηγορίας 2, με ποσοστό 36,27%, καθώς στην περιοχή έρευνας η τεκτονική δραστηριότητα έχει προκαλέσει παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών και αύξηση του δευτερογενούς πορώδους των ψαμμιτικών στρώσεων του φλύσχη, με αποτέλεσμα τα επιφανειακά νερά να διηθούνται στις ψαμμιτικές στρώσεις και να υποβαθμίζουν τις μηχανικές ιδιότητες των ενδιάμεσων ιλυολίθων και αργίλων, το οποίο έχει ως επακόλουθο τη σημαντική μείωση της διατμητικής τους αντοχής (Τσίγκα & Μάλλη, 2013). Ακολούθως, οι επόμενοι σχηματισμοί που εμφανίζεται η πλειονότητα των κατολισθήσεων, είναι οι σχηματισμοί «Ασβεστόλιθοι, Κερατολιθική Σειρά, Πρώτος Φλύσχη» της κατηγορίας 9, με ποσοστό 24,02%. Αξίζει να σημειωθεί πως αυξημένο ποσοστό των κατολισθήσεων συμβαίνει και σε κάποιον από τους σχηματισμούς των ασβεστόλιθων (κατηγορίες 9, 10, 11 και 18), που κυριαρχούν στη περιοχή, ενώ οι λιγότερες κατολισθήσεις εμφανίζονται στους σχηματισμούς «Σύγχρονες παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις» της κατηγορίας 1 και «Οφιόλιθοι» της κατηγορίας 10, με ποσοστό 0,4% και 4,09% αντίστοιχα.

Σε ότι αφορά την ζώνη επιρροής σε απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο οι περισσότερες κατολισθήσεις εντοπίζονται στους σχηματισμούς της κατηγορίας 4 (>150m) με ποσοστό 83,82% και ακολουθεί η κατηγορία 3 (101 – 150 m) με ποσοστό 7,84%, η κατηγορία 2 (51 - 100m) με ποσοστό 5,39% και η κατηγορία 1 (< 50 m) με ποσοστό 2,94%.

Η πλειονότητα των κατολισθήσεων στη ζώνη επιρροής της απόστασης από το οδικό δίκτυο εντοπίζεται στην κατηγορία 4 (> 150m) με ποσοστό 73.04% και ακολουθεί η κατηγορία 1 (< 50 m) με ποσοστό 15.69%, η κατηγορία 3 (101 - 150m) με ποσοστό 5.88% και η κατηγορία 2 (51 – 100 m) με ποσοστό 5.39%.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω προκύπτει ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων. Οι επικίνδυνες περιοχές βρίσκονται ως επί το πλείστον στην ανατολική πλευρά της περιοχής έρευνας, ενώ ακόμα περιοχές αυξημένης επιδεκτικότητας εμφανίζονται και στη δυτική πλευρά.

Ακόμα, από τον συνδυασμό του τελικού χάρτη επιδεκτικότητας και του οδικού δικτύου της περιοχής, προκύπτει ο χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων επί του οδικού δικτύου. Σύμφωνα με αυτόν, προκύπτει πως η πλειονότητα της έκτασης του οδικού δικτύου, με ποσοστό 54,57%, έχει μέτρια επιδεκτικότητα (M) σε κατολισθήσεις. Στη συνέχεια, η μεγαλύτερη έκταση έχει πολύ χαμηλή επιδεκτικότητας (VL), με ποσοστό 19,37%. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί πως η έκταση του οδικού δικτύου που έχει πολύ υψηλή επιδεκτικότητα σε κατολισθήσεις, κατέχει μόλις το 0,67% της συνολικής έκτασης.

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων του χάρτη επιδεκτικότητας παρατηρούνται οι καμπύλες ROC. Από αυτές προκύπτει πως το μοντέλο έχει σωστά «εκπαιδευτεί» καθώς από την αντίστοιχη καμπύλη, το AUC έχει ποσοστό 77,3%. Ακόμα, προκύπτει πως το μοντέλο σωστά πρόβλεψε τις επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές, καθώς η αντίστοιχη καμπύλη ROC συγκεντρώνει το ποσοστό του 80,8%.

Συγκρίνοντας τη παρούσα διπλωματική εργασία, με άλλες διδακτορικές διατριβές και επιστημονικά άρθρα, επί του θέματος, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι επιλεγμένοι επτά (7) παράγοντες είναι επαρκείς για τη πρόβλεψη της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων στη περιοχή έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, αυτό επαληθεύεται από το γεγονός της χρήσης παρόμοιων παραγόντων (όπως το υψόμετρο, οι κλίσεις των πρανών, οι μορφολογικές διευθύνσεις, η γεωλογία κ.α.) με τις διδακτορικές διατριβές των *E. Βασιλειάδη (2010)*, *I. Ηλία (2013)*, *A. Κάβουρα (2017)*, καθώς και με τα επιστημονικά άρθρα των *Shahabi, Ahmad & Hashim (2014)*, *Ayalew, Yamagishi, Marui & Kanno (2005)*, *Berhane, et al. (2020)* και *Yalcin, et al. (2011)*.

Μέσω της μεμονωμένης σύγκρισης με τη διδακτορική διατριβή του *E. Βασιλειάδη (2010)*, η οποία παρουσιάζει την πρόβλεψη της κατολισθητικής επιδεκτικότητας

ολόκληρης της Ελλάδας, προκύπτουν παρεμφερή συμπεράσματα για τη περιοχή έρευνας που εξετάζεται από τη παρούσα διπλωματική εργασία, χωρίς, ωστόσο, να είναι πλήρως ταυτόσημα καθώς υπάρχει διαφοροποίηση ως προς την κατηγοριοποίηση των παραμέτρων μελέτης. Τόσο στη διδακτορική διατριβή, όσο και στη παρούσα διπλωματική η πλειονότητα των κατολισθήσεων εμφανίζονται σε υψόμετρο που δεν ξεπερνά τα 1200 m, όπως επίσης και ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθήσεων προκύπτει στον γεωλογικό σχηματισμό του φλύσχη.

Σε συνδυασμό με το επιστημονικό άρθρο των *Shahabi, Ahmad & Hashim (2014)*, το οποίο συγκρίνει τρεις (3) διαφορετικές μεθοδολογίες για τη πρόβλεψη της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, και με το επιστημονικό άρθρο των *Yalcin et al., (2011)*, το οποίο συγκρίνει τέσσερις (4) διαφορετικές μεθοδολογίες, συμπεραίνεται πως μέσω της μέθοδου των λόγων συχνότητας (*FR*) μπορεί να γίνει μια αρκετά ικανοποιητική ανάλυση και πρόβλεψη της κατολισθητικής επιδεκτικότητας μιας περιοχής. Αυτό συμβαίνει, καθώς για την ανάλυση με την προαναφερθείσα μέθοδο απαιτούνται να εισαχθούν απλούστερα δεδομένα.

Ειδικότερα, σύμφωνα με άρθρο των *Shahabi, Ahmad & Hashim (2014)*, η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων, της περιοχής έρευνας που εξετάζουν, συμβαίνουν σε περιοχές, όπου η κλίση των πρανών είναι μεγαλύτερη από 30°, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία τόσο με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής, όσο και με τα αποτελέσματα του άρθρου των *Yalcin, et al, (2011)*.

Με χρήση της επέκτασης χωρικής ανάλυσης «*Network Analyst*» προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες διαδρομές σε τρία (3) πιθανά σενάρια, καθώς και η απόσταση των κοντινότερων εγκαταστάσεων σε έναν αριθμό είκοσι (20) κατολισθήσεων. Τέλος, επιλέχθηκαν οι καταλληλότερες δύο (2), από τις επτά (7), τοποθεσίες για δημιουργία εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης, οι οποίες εξυπηρετούν τα περισσότερα σημεία ζήτησης. Αυτές είναι στους οικισμούς «*Τρίστενο*» και «*Καλέντζι*».

Όπως αναλύθηκε στη παράγραφο 6.5, γίνεται αντιληπτή η μεγάλη αξία που έχουν οι αναλύσεις, που παρέχει η επέκταση «*Network Analyst*», τόσο σε οικονομικό, όσο και σε βιοτικό επίπεδο. Κρίνεται αναγκαίο, λοιπόν, να συμβούν περισσότερες αναλύσεις με την εν λόγω επέκταση και σε επίπεδο φυσικών καταστροφών (όπως οι κατολισθήσεις), ώστε να πραγματοποιείται μια πιθανή πρόβλεψη και πρόληψη των σοβαρών συνεπειών του καταστροφικού φαινομένου. Αυτή η πρόβλεψη θα μπορούσε

να χρησιμοποιηθεί από τους διοικούντες μιας περιοχής, που θα πληχθεί από ένα καταστρεπτικό φυσικό φαινόμενο, ως σχέδιο εκκένωσης και κατ' αυτό τον τρόπο, η επίδραση του, τόσο στην περιοχή όσο και στη ζωή των κατοίκων, θα καθίσταται η ελάχιστη δυνατή.

Παρολαυτά, στη παγκόσμια βιβλιογραφία παρατηρείται έλλειψη αναλύσεων φυσικών καταστροφών με την εν λόγω επέκταση. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων των περιοχών, στις οποίες τα φαινόμενα αυτά συμβαίνουν, στη δυσκολία αποτύπωσης με σαφήνεια μελλοντικών θέσεων φυσικών καταστροφών, αλλά και στην μη κατανόηση της σημαντικότητας επιρροής που κατέχουν οι φυσικές καταστροφές στην ανθρώπινη ζωή και στο περιβάλλον.

Εν κατακλείδι, μπορεί να ειπωθεί πως τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών παρέχουν πλήθος εργαλείων ,φιλικά προς τον χρήστη , για τη συλλογή και την επεξεργασία χωρικών δεδομένων έτσι ώστε να εξάγει ένα πλήθος αποτελεσμάτων. Εν τούτοις πρέπει να υπάρχει η επιστημονική ματιά που θα κρίνει αυτά τα αποτελέσματα ως προς την ορθότητα και την ακρίβεια τους , θα τα εμπλουτίσει κάνοντας τις απαραίτητες διορθώσεις , επεμβάσεις, ελέγχους και θα οδηγήσει τελικά στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το εκάστοτε υπό μελέτη φαινόμενο.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aamodt, A. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues. Methodological Variations & System Approaches. Στο *AI Communications, Vol. 4 Nr. 1*.
- Akay, A., & Kakol, A. (2014). *Forest Transportation Planning by using GIS-based Decision Support System*. Kahramanmaras, Turkey: Kahramanmaras Sutcu Imam University.
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, (σσ. 21-44).
- Aleotti, P., Balzelli, P., & De Marchi, D. (1996). Le reti neurali nella valutazione della suscettibilita` da frana. Στο *Geologia tecnica e ambientale vol. 4*.
- Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publication.
- Ashar, F., Amaratunga, D., & Haigh, R. (2018). *Tsunami Evacuation Routes Using Network Analysis: A case study in Padang*. Huddersfield, UK: Procedia Engineering.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., & Kanno, T. (2005). Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology 81*, 432-445.
- Berhane, G., Kebede, M., Alfarah, N., Hagos, E., Grum, B., Giday, A., & Abera, T. (2020). Landslide susceptibility zonation mapping using GIS-based frequency ratio model with multi-class spatial data-sets in the Adwa-Adigrat mountain chains, northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*.
- Bonham - Carter, G. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*. Elsevier Science.
- Brabb, E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. *Proceedings 4th ISL*, (σσ. 307-324). Toronto.
- Burrough, P. (1986). Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. *Oxford University Press*, 193.

- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. Στο *Natural Hazards*.
- Corominas, J., & Santacana, N. (2003). Stability analysis of the Vallcebre translational slide, Eastern Pyrenees (Spain) by means of a GIS. *Nat Hazards* 30.
- Cruden, D. (1991). *A simple definition of a landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. Στο *Landslides: Investigation and Mitigation*.
- Das, I., Sahoo, S., Stein, A., & Hack, R. (2009). Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*, 627-637.
- Dehnavi, A., Aghdam, I., Pradam, B., & Varzamdeh, M. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis(SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system(ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 122-148.
- Donnini, M., Napolitano, E., Salvati, P., Ardizzone, F., Bucci, F., Fiorucci, F., . . . Guzzetti, F. (2017). Impact of event landslides on road networks: a statistical analysis of two Italian case studies. *Landslides*, 1521 -1535.
- EMDAT. (2019). *EMDAT*. Ανάκτηση από <https://www.emdat.be>
- EM-DAT. (χ.χ.). EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Brussels, Belgium. Ανάκτηση από <http://www.cred.be/emdat>
- Eracanoğlu, M., & Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Στο *Environmental Geology*.
- Eracanoğlu, M., & Gokceoglu, C. (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). Στο *Engineering Geology*.

- ESRI. (2010). *Network Analyst Tutorial*. ESRI.
- ESRI. (2020, Μάιος). *ArcGIS Desktop*. Ανάκτηση από Route Analysis: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/route.htm>
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Στο *Engineering Geology* (σσ. 85-98).
- Ferentinou, M., & Sakellariou, M. (2003). Slope Stability estimation using GIS. Στο *New paradigms in subsurface prediction: characterization of the shallow subsurface implications for the urban infrastructure and environmental assessment*.
- Fyson, M., & Toll, G. (2007). Case-based system for slope design. Στο *Computers and Geotechnics* (Τόμ. Volume 35).
- Gulden, B., Mumcuoglu, E., & Bayka, N. (2004). *A GIS System for ambulatory*. Ankara: METU.
- Hwang, S., Guevarra, F., & Yu, B. (2009). Slope failure prediction using a decision tree: A case of engineered slopes in South Korea. Στο *Engineering Geology, Volume 104*.
- IAEG Commission of Landslides. (1990). Suggested Nomenclature for Landslides. Στο *Engineering Geology*.
- INACCÉS. (2007). *INACCÉS*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2020, από <http://www.inaces.com/en/services/slopes/sprayed-concrete/>
- Jimenez-Peralvarez, D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., & Chacon, J. (2009). *Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS*.
- Juang, H., Lee, H., & Sheu, C. (1992). Mapping slope failure potential using fuzzy sets. Στο *Geotech. Eng. Div* (σσ. 475-493). ASCE.

- Koukis, G., & Koutsoyiannis, D. (1997, December). Ανάκτηση February 10, 2020, από https://www.researchgate.net/profile/Demetris_Koutsoyiannis/publication/288527732_Greece/links/5a58f93fa6fdcc67505bb19b/Greece.pdf
- Lombardo, L., & Mai, P. (2018). Presenting logistic regression-based landslide susceptibility results. *Engineering Geology*, 14-24.
- MacCaferri. (2017, Σεπτέμβριος). Ανάκτηση Φεβρουάριος 2020, από <https://www.maccaferri.com/gr/slope-protection-edessa/>
- Maguire, J., Goodchild, M., & Rhind, D. (1991). *Geographic Information Systems: Principles and Applications*.
- Mayoraz, F., Cornu, T., & Vulliet, L. (1996). Using neural networks to predict slope movements. *7th Proceedings International Symposium Landslides*, (σσ. 295-300).
- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., & Zanchi, A. (2008). Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology* 94.
- Menard, S. (1995). *Applied logistic regression analysis*. Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences series no. 07-106, Sage University.
- meteo.gr. (2019). *Meteo.gr*. Ανάκτηση από <http://meteosearch.meteo.gr/default.asp>
- Nandi, A., & Shakoor, A. (2010). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. Στο *Engineering Geology, Volume 110*.
- Nefeslioglu, A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A., & Duman, T. (2010). Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul. *Mathematical Problems in Engineering Volume 2010*. Istanbul.
- Nefeslioglu, H., & Gorum, T. (2020). The Use of Landslide Hazard Maps to Determine Mitigation Priorities in a Dam. *Land Use Policy*.
- Newsit. (2017, Μάιος). Ανάκτηση από Ήπειρος: Βράχια έκλεισαν το δρόμο προς το Συρράκο: <https://www.newsit.gr/topikes-eidhseis/ipeiros-vraxia-ekleisan-to-dromo-pros-to-syrrako/1026391/>

- OpenDEM. (2019, Δεκέμβριος). *OpenDEM*. Ανάκτηση από <http://www.opendem.info>
- Pasha, I. (2006). *Ambulance management system using GIS*. Linköping: Linköping University.
- Pistocchi, A., Luzi, L., & Napolitano, P. (2002). The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. Στο *Environmental Geology* 41.
- Pradhan, B., Lee, S., & Buchroithner, F. (2009). Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: a case study in Malaysia. Στο *Applied Geomatics* 1.
- Rahman, F. (2015). *The Constructor*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2020, από <https://theconstructor.org/geotechnical/ground-freezing-technique/16944/>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2019, November). *Our World in Data*. Ανάκτηση από Natural Disasters: <https://ourworldindata.org/natural-disasters#>
- Sakellariou, G., & Ferentinou, D. (χ.χ.). GIS-Based Estimation of Slope Stability. *Natural Hazards Review (ASCE)*.
- Salap, S., Ayca, A., Akyurek, Z., & Yalciner, A. (2011). *Tsunami Risk Analysis and Disaster Management by Using GIS: A Case Study in Southwest Turkey, Göcek Bay Area*. Ankara, Turkey: Middle East Technical University (METU).
- Sarkar, S., Kanungo, P., Patra, K., & Kumar, P. (2008). GIS Based Spatial Data Analysis for Landslide Susceptibility Mapping. *Journal of Mountain Science* 5.
- Shah, S., Shafique, M., Khan, M., Bacha, M., Calligaris, C., & Khan, H. (2018). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*.
- Shahabi, H., Ahmad, B., & Hashim, M. (2014, Ιούνιος). Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena*. Ανάκτηση από www.elsevier.com.

- Shahri, A., Spross, J., Johansson, F., & Larsson, S. (2019). Landslide Susceptibility Hazard Map in Southwest Sweden Using Artificial. *Catena*.
- Sinorock. (2015, Ιούλιος). *SINOROCK*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2020, από <https://www.soil-nailing.com/industry-news/the-matters-needing-attention-of-soil-nailing-design/>
- Soeters, R., & Van Westen, J. (1996). Slope instability recognition, analysis, and zonation. *National Research Council, Transportation Research Board*, (σσ. 129-177).
- Suzen, L., & Doyuran, V. (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey. Στο *Engineering Geology 71*.
- Tang, T., & Wannemacher, M. (2005). *GIS Simulation and Visualization of Community Evacuation Vulnerability in a Connected Geographic Network Model*. Buffalo, NY: Buffalo State College.
- Terra Nova. (2016). *Φράχτες Ανάσχεσης Βραχοπτώσεων*. Ανάκτηση 2020, από <http://www.terra-nova.gr/frachtes-anaschesis-vrachoptoseon/>
- Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. Στο S. Paige (Επιμ.), *Geology to Engineering Practice*. New York: Geological Society of America.
- The Toc. (2016, Φεβρουάριος). Ροπωτό Τρικάλων: Το χωριό-φάντασμα που κάνει το γύρο του κόσμου. Ελλάδα.
- Toll, G. (2008). International Data Exchange: The Future for Geo-engineering. *The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*. Goa, India.
- Tomlinson, R. (2003). *Thinking about GIS: Geography*.
- USGS. (χ.χ.). What is a landslide hazard map? U.S.A. Ανάκτηση Ιούνιος 2020
- Van Westen, J., & Terlien, M. (1996). An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS: a case study from Manizales (Colombia). Στο *Earth surface Process*.

- Van Westen, J., Rengers, N., & Terlien, M. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau* 86, 4004-4414.
- Van Westen, J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. Στο *Natural Hazards*.
- Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes. Στο *Landslides: Analysis and Control*. Washington: National Academy of Sciences.
- Varnes, D. (χ.χ.). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO.
- Voogd, H. (1983). *Multi-criteria Evaluations for Urban and Regional Planning*. London: Princeton University.
- WP/WLI. (1994). A Suggested Method for a Landslide Summary, Bull. of the Int. Assos. Στο *Engineering Geology*.
- Xie, M., Esaki, T., & Zhou, G. (2004). GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide. *Natural Hazards*.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A., & Yomralioglu, T. (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 274-287.
- Yang, X., Chapman, G., Young, M., & Gray, J. (2005). *Using Compound Topographic Index to Delineate Soil Landscape Facets from Digital Elevation Models for Comprehensive Coastal Assessment*. Parramatta NSW: New South Wales Department of Natural Resources (DNR).
- Zaruba, Q., & Mencl, V. (1969). *Landslides and their control*. Amsterdam: Elsevier.
- Αυτοδιοίκηση. (2018, Μάρτιος 24). *Μεγάλη κατολίσθηση στην Ιωαννίνων-Μετσόβου*. Ανάκτηση από <https://www.aftodioikisi.gr/ota/perifereies/megali-katolisthisi-stin-ioanninon-metsovou-thaftike-o-dromos-foto/?fbclid=IwAR1T13aAISE9N1D4PTEAnDyc1elqJHvm4SS69LulBmXMVdwa-HcayCdr8vs>

- Βασιλειάδης, Ε. (2010). *Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο. Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών*. Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ελαφρός, Ι. (2018, Δεκέμβριος 3). *Ο εφιάλης των κατολισθήσεων*. Ανάκτηση από Καθημερινή: <https://www.kathimerini.gr/998006/article/epikairothta/ellada/efialths-twn-katolis8hsewn>
- Ευρυτανικά Νέα. (2020, Ιανουάριος). *evrytanika.gr*. Ανάκτηση από https://www.evrytanika.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=1092908:2020-01-13-09-03-26&catid=66:2011-12-21-08-30-10&Itemid=170
- Ήλια, Ι. Κ. (2013). *Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των μαργών στην ευρεία περιοχή Κύμης και η επίδραση τους στις κατασκευές τεχνικών έργων - Προβλήματα και αντιμετώπιση τους*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (2000). *Γεωγραφική πύλη*. Ανάκτηση από <https://www.igme.gr/index.php/erevnitika-antikeimena/ydrogeologia>
- Κάβουρα, Α.-Π. (2017). *Ανάπτυξη μοντέλου επικινδυνότητας κατολισθήσεων σε περιοχή της δυτική Ελλάδα*. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Καρβουνίδης, Σ., Ντούνιας, Γ., & Μπαρδάνης, Μ. (2005). *Χαράσσοντας Οδούς Μέσα από Κατολισθήσεις*. Βόλος: 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας.
- Καρτάλης, Κ., & Φεΐδας, Χ. (2008). *Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης*. Αθήνα: ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ Β.
- Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κλειτορίας - Ακράτας. (2017, Ιανουάριος). Ανάκτηση Ιουνίου 2020, από <http://kpe-kleit.ach.sch.gr/index.html>
- Κούκης, Γ. (1980). Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο και η σημασία τους στην οδοποιία. *Δελτίο ΚΕΔΕ*, 106-149.
- Κούκης, Γ., & Ρόζος, Δ. (1982). Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. *Ορυκτός Πλούτος* 16, 53-97.

- Κούκης, Γ., & Σαμπατακάκης, Ν. (2007). *Γεωλογία τεχνικών έργων*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Κουτσόπουλος, Κ. (1994). *Γεωγραφικές μέθοδοι στη διαδικασία διεπιστημονικού περιφερειακού σχεδιασμού. "Επιστήμες και Περιβάλλον στα τέλη του Αιώνα"*. Αθήνα: Εναλλακτικές Εκδόσεις.
- Κουτσόπουλος, Κ. (2005). *Ολοκληρωμένη μεθοδολογική προσέγγιση της ανάπτυξης. Η περίπτωση των Γ.Σ.Π. Περιβάλλον και Ανάπτυξη. Διαλεκτικές σχέσεις και διεπιστημονικές προσεγγίσεις*. Αθήνα: Εναλλακτικές Εκδόσεις.
- Κυριακίδου, Α. (2019). *Τεχνικόγεωλογική Αποτύπωση Κατολίσθησης και Έρευνα επί των Συνθηκών Ευστάθειας στη Περιοχή Περιστέρι, Μετσόβου*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Λέκκας, Ε. (2000). *Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές*. Αθήνα: Access.
- Λέκκας, Ε. (2009, Δεκέμβριος). Δρ Ευθύμης Λέκκας. Ανάκτηση από <http://www.elekkas.gr/index.php/en/epistimoniko-ergo/scientificmissions/1642-tempi-2009>
- Μισθός, Μ. (2009). *Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γ.Σ.Π. στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών. Μελέτη Περίπτωσης: Η Τεχνική της Ανίχνευσης Μεταβολών στον Εντοπισμό Κατακλυσμένων Εκτάσεων από Ποτάμια Πλημμύρα*. Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μουντράκης, Δ. (2010). *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Νικολάου, Ε. (2010). *Υδρογεωλογική μελέτη: Υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου*. Πρέβεζα: Ι.Γ.Μ.Ε.
- Παύλου, Κ. (2011). *Σεισμική Δράση και Επαγόμενη Σεισμικότητα στον Ελληνικό Χώρο*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ρόζος, Δ., & Αποστολίδης, Ε. (2004). *ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΠΑΛΑΙΟ ΜΙΚΡΟ ΧΩΡΙΟ ΝΟΜΟΥ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: ΙΓΜΕ.

- Σακελλαρίου, Μ., & Ηλίας, Π. (1997). Εφαρμογή Νευρωνικών δικτύων στην εκτίμηση ευστάθειας πρανών. *3ο Πανελλήνιο Γεωτεχνικό συνέδριο*, (σσ. 43-48).
- Συρρακιώτης. (2013, Μάρτιος). *ΣΥΡΡΑΚΤΙΩΤΗΣ - SIRRAKIOTIS*. Ανάκτηση από Μεγάλη κατολίσθηση στο Μαυρολάγκαδο την περασμένη εβδομάδα: <http://sirrakiotis.blogspot.com/2013/03/video.html>
- Τασιούλας, Μ. (2018). *Χωροθέτηση Υδρομετεωρολογικών Σταθμών με Χρήση GIS στην Ήπειρο*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Τσαγγαράτος, Π. Π. (2012). *Διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Τσάγκας, Δ. (2011). *Γεωμορφολογικές Παρατηρήσεις και Κινήσεις Βαρύτητας στη Βόρεια Πελοπόννησο: περιοχή Ξυλόκαστρο - Διακοφτό*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τσίγκα, Α., & Μάλλη, Α. (2013). *Το Φαινόμενο της Κατολίσθησης στους Μουζακαίους Ιωαννίνων*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. (2017). *Πρώτη Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Αορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.
- Χρηστάρας, Β. (2011). *Εδαφομηχανική*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2020, από Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.: http://www.geo.auth.gr/883/chapt_6.htm