



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Φιλιππίδης Αλέξαντρος
Γεωλόγος**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΠΗΛΙΟΥ, Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**ΜΑΡΟΥΚΙΑΝ Χ., Καθηγητής (Επιβλέπων)
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ Κ., Καθηγήτρια
ΓΚΟΥΡΝΕΛΟΣ Θ., Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ
ΜΑΙΟΣ 2015**

Στον Λέανδρο και στην Αριάδνη

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης με τίτλο "Εκτίμηση κατολισθητικής επικινδυνότητας της περιοχής του Πηλίου, Ν. Μαγνησίας" εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωγραφία και Περιβάλλον», του τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Στην τριμελή επιτροπή ορισθήκαν ο Καθηγητής Μαρουκιάν Χαμπίκ (ως Επιβλέπων), η Καθηγήτρια Παπαδοπούλου-Βруνιώτη Κυριακή και ο Καθηγητής Γκουρνέλος Θεόδωρος.

Από το σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Χαμπίκ Μαρουκιάν για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την συνεχή καθοδήγηση, τις εύστοχες υποδείξεις, διορθώσεις και επιστημονικές συμβουλές του.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στην Καθηγήτρια κ. Κυριακή Παπαδοπούλου για τις επιστημονικές συμβουλές και την μετάδοση της εμπειρίας της, που συνέβαλλαν τα μέγιστα στη διαμόρφωση της μεταπτυχιακής διατριβής.

Ειλικρινές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Καθηγητή κ. Θεόδωρο Γκουρνέλο για την βοήθεια και υποστήριξη, που μου παρείχε καθώς και τις εποικοδομητικές επιστημονικές συμβουλές.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον προσφάτως αποθανών Αν. Καθηγητή κ. Γεώργιο Σκίανη για την κριτική ματιά και τις χρήσιμες παρατηρήσεις.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Καθηγήτρια κ. Καλλιόπη Γάκη για την κριτική ανάγνωση τις υποδείξεις και τις ουσιώδεις επισημάνσεις.

Ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να κάνω στην Δρ. Σκυλοδήμου Χαρίκλεια, μέλος Ε.ΔΙ.Π. του Τομέα Γεωγραφίας & Κλιματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την βοήθεια κατά την διάρκεια της εργασίας υπαίθρου, για τις πολύτιμες συμβουλές και εύστοχες παρατηρήσεις πάνω στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και την συνεχή υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε καθ'όλη την διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στον Δρ. Γεώργιο Μπαθρέλλο, μέλος Ε.ΔΙ.Π. του Τομέα Γεωγραφίας & Κλιματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την βοήθεια κατά την διάρκεια της εργασίας υπαίθρου, για τις ουσιώδεις επισημάνσεις πάνω στα κατολισθητικά φαινόμενα και την κριτική ανάγνωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στους γονείς μου και στις αδερφές μου για την συνεχή συμπαράσταση και υποστήριξη και για το κουράγιο που μου προσέφεραν σε κάθε δύσκολη στιγμή.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην γυναίκα μου και τα παιδιά μου που μόνο με την αμέριστη βοήθεια, συμπαράσταση και κατανόηση τους μπόρεσε να έρθει εις πέρας αυτό το εγχείρημα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		1
	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
	ABSTRACT	8
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	11
1.1	Γενικά	11
1.2	Ορισμός των κατολισθήσεων	11
1.3	Τα κύρια τμήματα μιας κατολίσθησης	12
1.4	Ταξινόμηση των κατολισθήσεων	14
1.4.1	Ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων βάση του τύπου μετακίνησης κατά Varnes (1978)	16
1.4.2	Ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων βάση του τύπου του μετακινούμενου υλικού κατά Varnes (1978)	18
1.5	Οι παράγοντες που επιδρούν στα κατολισθητικά φαινόμενα	18
1.6	Κατολισθήσεις στην Ελλάδα	21
1.7	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και κατολισθήσεις	23
1.7.1	Ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης	23
1.7.2	Ποσοτικές μέθοδοι ανάλυσης	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	26
2.1	Γενικά για περιοχή μελέτης	26
2.2	Φυσικογεωγραφικά στοιχεία	27
2.2.1	Γεωγραφία	27
2.2.2	Μορφολογία	29
2.2.3	Χρήσεις Γης – Προστατευόμενες περιοχές	31
2.2.4	Υδρογραφικό δίκτυο	34
2.2.5	Κλιματικά στοιχεία	37
2.3	Γεωτεκτονικά στοιχεία	38
2.3.1	Λιθοστρωματογραφία	38
2.3.2	Τεκτονική-Σεισμικότητα	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	45
3.1	Δεδομένα	45
3.2	Παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων	47
3.2.1	Λιθολογία	47
3.2.2	Τεκτονικά στοιχεία	50
3.2.3	Μορφολογικές κλίσεις (Slope)	50
3.2.4	Προσανατολισμός των πρανών (Aspect)	51
3.2.5	Υδρογραφικό δίκτυο	51
3.2.6	Οδικό δίκτυο	54
3.2.7	Χρήσεις Γης	56
3.2.8	Βροχοπτώσεις	58
3.3	Εκτίμηση της επικινδυνότητας σε κατολίσθηση	60

3.4	Δημιουργία χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	63
4.1	Οι θέσεις των κατολισθήσεων	63
4.2	Λιθολογία	76
4.3	Τεκτονικά στοιχεία	80
4.4	Μορφολογικές κλίσεις (Slope)	84
4.5	Προσανατολισμός των πρανών (Aspect)	88
4.6	Υδρογραφικό δίκτυο	93
4.7	Οδικό δίκτυο	97
4.8	Χρήσεις Γης	101
4.9	Βροχοπτώσεις	103
4.10	Εύρεση του κατολισθητικού κινδύνου	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	116
5.1	Σύγκριση των 2 μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας	117
5.2	Επικύρωση των αποτελεσμάτων με την Καμπύλη Λειτουργικών Χαρακτηριστικών, (Receiver Operating Characteristics, ROC)	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	125
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	128

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή του Πηλίου (Νομού Μαγνησίας), ειδικά οι αστικές περιοχές και το οδικό δίκτυο, έχουν επηρεαστεί πολλές φορές, κατά το παρελθόν, από κατολισθήσεις. Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι η δημιουργία χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας για την περιοχή μελέτης με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι θέσεις των κατολισθήσεων διαπιστωθήκαν μέσω της μελέτης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας και των εργασιών υπαίθρου. Για την δημιουργία του χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, 8 παράγοντες ενεργοποίησης κατολίσθησης ληφθήκαν υπόψη. Αυτοί οι παράγοντες είναι, η γεωλογία και οι ζώνες επιρροής των ρηγμάτων, οι μορφολογικές κλίσεις και ο προσανατολισμός των πρανών, οι ζώνες επιρροής του υδρογραφικού και του οδικού δικτύου, οι χρήσεις γης και οι βροχοπτώσεις. Η επιλογή αυτών των παραγόντων έγινε με βάση την, παρατηρηθείσα στην ύπαιθρο, συνάφεια αυτών με την ύπαρξη κατολισθήσεων. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας για τον κάθε παράγοντα πραγματοποιήθηκε με την χρήση του μοντέλου του Λόγου Συχνότητας. Ο συνολικός δείκτης επικινδυνότητας για όλους τους παράγοντες κατηγοριοποιήθηκε σε 4 διαβαθμίσεις επικινδυνότητας με την μέθοδο της κανονικής τμηματοποίησης (quantile). Από τον χάρτη κατολισθητικού κινδύνου που δημιουργήθηκε παρατηρείται ότι, οι υψηλότερες τιμές του δείκτη επικινδυνότητας παρουσιάζονται στο βορειοανατολικό κομμάτι της περιοχής όπου βρίσκονται οι οικισμοί της Τσαγκαράδας, Κισσού, Ζαγοράς και Πουρίου. Στην περιοχή αυτή επικρατούν τα σχιστολιθικά πετρώματα, υψηλότερες βροχοπτώσεις και μεγαλύτερες μορφολογικές κλίσεις. Οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη επικινδυνότητας παρουσιάζονται στην κεντρική και νότια περιοχή του Πηλίου όπου βρίσκονται οι οικισμοί του Νεοχωρίου, Αφετών, Μηλίνας. Στην περιοχή αυτή υπάρχει μεγάλη παρουσία μαρμάρων, το ύψος των βροχοπτώσεων παρουσιάζεται χαμηλότερο και οι μορφολογικές κλίσεις είναι επίσης μικρότερες. Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και την ποσοτική εκτίμηση της δυνατότητας πρόβλεψης των κατολισθήσεων, χρησιμοποιήθηκαν τυχαίες θέσεις κατολισθήσεων, που δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας. Οι κατολισθήσεις που δεν είχαν ληφθεί υπόψη και τα αποτελέσματα του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία της Καμπύλης Λειτουργικών Χαρακτηριστικών, (Receiver Operating Characteristics, ROC) και την μέτρηση του Εμβαδού Κάτω από την Καμπύλη (Area Under Curve, AUC). Η ακρίβεια που παρατηρήθηκε είναι ίση με 78,2%. Ο παραχθείς χάρτης επικινδυνότητας μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμος στην υπόδειξη περιοχών και δρόμων επιρρεπών σε μελλοντικές κατολισθήσεις. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να ληφθούν ορθότερες αποφάσεις πάνω στον σχεδιασμό των χρήσεων Γής και μεγάλων κατασκευαστικών έργων.

ABSTRACT

In the past the area of Pilio (county of Magnesia), especially the urban areas and the road network, has been repeatedly affected during the past, by landslides. The purpose of this study is to produce a landslide susceptibility map for the study area by using Geographic Information Systems (GIS). The landslide locations were identified using past references and field surveys. There are 8 landslide inducing parameters considered for the completion of the landslide susceptibility map. These parameters are geology and distance from lineaments, slope and aspect, distance from streams and roads, land uses and precipitation amount. The selection of these factors was based on the observed correlation with landslide occurrence in the study area. Landslide susceptibility was then analyzed, using all these landslide occurrence factors, by employing the Frequency Ratio model. The Landslide Susceptibility Index was graded into four classes using the Quantile method. From the created landslide susceptibility map can be observed that the highest rates of Landslide Susceptibility are observed in the northeastern part of the area where the communities of Tsangarada, Kissos, Zagora and Pouri are settled. In this area the lithological formation of schist is prevailing, the precipitation amount is higher and the slopes are steep. Whereas the lowest rates of Landslide Susceptibility are observed in the central and southern Pilio where the communities of Neochori, Afetais and Milina are the most common. In this area the lithological formation of marbles is present, the precipitation amount is lower and the slopes are more gentle. For the verification of the analysis results and the estimation of the accuracy of the landslides prediction, random landslides have been used that they had been excluded from the landslide susceptibility analysis. These random landslides along with the results of the landslide susceptibility analysis have been used in order to perform a ROC (Receiver Operating Characteristics) curve analysis and to estimate the AUC (Area Under Curve). The observed accuracy is equal to 78,2%. The produced map can be very useful by identifying roads and areas prone to future landslides. In this way, correct decisions for future land use and major construction projects can be made.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων στο όρος Πήλιο πραγματοποιήθηκε με την επί τόπου διαπίστωση των φαινομένων κατά τα έτη 2013 και 2014. Στην συνέχεια τα δεδομένα των εργασιών υπαίθρου επεξεργαστήκαν μέσω του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) και η επικινδυνότητα σε κατολίσθηση εκτιμήθηκε με την χρήση του στατιστικού δείκτη Λόγος Συχνότητας (ΛΣ).

Η επιλογή της περιοχής έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- το διαχρονικά εκτεταμένο πρόβλημα, που παρουσιάζει το Πήλιο σε κατολισθητικά φαινόμενα
- την πληθώρα των βιβλιογραφικών αναφορών, με την πρώτη μελέτη να έχει πραγματοποιήθηκε στην περιοχή από το ΙΓΜΕ το 1946 (Μαρίνος, 1946) και
- την απουσία χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας που να εστιάζει στην περιοχή και να περιλαμβάνει στην μελέτη και τα πλέον πρόσφατα κατολισθητικά φαινόμενα.

Η σπάνια ομορφιά του φυσικού περιβάλλοντος του Πηλίου εκτιμήθηκε από πολύ νωρίς από τον άνθρωπο. Πίσω όμως από την ομορφιά του τοπίου βρίσκεται η απειλή των φυσικών καταστροφών μιας και η περιοχή κατατάσσεται ως μια από τις πρώτες στον Ελλαδικό χώρο σε κατολισθητική επικινδυνότητα (Ζιούρκας & Κούκης, 1992).

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο από την άλλη όμως τις περισσότερες φορές η παρουσία του ανθρώπου αποτελεί τον καταλύτη για την κλιμάκωση του φαινομένου.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περιοχή επικεντρώνεται στους ορεινούς οικισμούς και το οδικό δίκτυο. Η εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας επικουρεί στον ορθότερο προγραμματισμό των τεχνικών έργων και των κατασκευών, στο μετριασμό των επιπτώσεων και συμβάλλει στην περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται βιβλιογραφικά το φυσικό φαινόμενο των κατολισθήσεων, οι παράγοντες, που τις ενεργοποιούν, και οι μέθοδοι ανάλυσης των κατολισθήσεων μέσω των ΓΣΠ.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η βιβλιογραφική παρουσίαση των φυσικογεωγραφικών και γεωτεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία, που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας, η οποία περιγράφει τη χωρική

διάσταση στην εκδήλωση των κατολισθήσεων. Για την εύρεση της επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε ο στατιστικός δείκτης "Λόγος Συχνότητας" (Frequency Ratio).

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση των παραγόντων, που επιδρούν στην εμφάνιση κατολισθήσεων και υπολογίζεται ο δείκτης επικινδυνότητας με δύο αριθμητικές μεθόδους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των δύο μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας με την μέθοδο των αθροιστικών συχνοτήτων και η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο της Μη Παραμετρικής Μεθόδου Στατιστικής Ανάλυσης ROC (Receiver Operating Characteristics). Για να οριστεί ποσοτικά η αξιοπιστία υπολογίστηκε το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη, Area Under Curve (AUC).

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, που προέκυψαν από την πραγματοποιηθείσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

1.1 Γενικά

Οι κατολισθήσεις παρότι αποτελούν φυσικό φαινόμενο το οποίο έχει καθοριστικό ρόλο στην δημιουργία και μετατροπή του Γήινου αναγλύφου αποτελεί λόγω της σφοδρότητας του έναν από τους βασικούς παράγοντες απώλειας των ανθρώπινων ζωών και των περιουσιών με σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις.

Η παγκόσμια μεταβολή των κλιματικών παραγόντων με την αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων έχει προκαλέσει αύξηση της συχνότητας και του κόστους των κατολισθήσεων τα τελευταία 40 χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο με συνεπακόλουθη την αύξηση της έκθεσης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε κίνδυνο και την ενίσχυση του κόστους των κατολισθήσεων (Rosenzweig et al., 2007).

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται, δημιουργούνται νέα αστικά κέντρα, τα τεχνικά έργα εξαπλώνονται με ταχύ ρυθμό με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση των φαινομένων αστάθειας τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά πρηνή (επιχώματα, φράγματα). Τα αίτια των κατολισθήσεων μπορεί να είναι κάθε φορά διαφορετικά αλλά στην έναρξη του φαινομένου η αλλαγή του φυσικού περιβάλλοντος από τον άνθρωπο παίζει πρωτεύοντα ρόλο, (Parry et al., 2007).

1.2 Ορισμός των κατολισθήσεων

Ο ορισμός της κατολίσθησης έχει αποδοθεί από πολλούς συγγραφείς.

- Ο Terzaghi (1950) ορίζει την κατολίσθηση ως μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, εναπομείναντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρηνούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.
- Ο Thornbury (1954) χρησιμοποιεί τον όρο κατολίσθηση για να περιλάβει μια ευρεία ομάδα κινήσεων μάζας (mass movements). Το διαχωριστικό γνώρισμα των κατολισθήσεων από τις υπόλοιπες κινήσεις είναι η ταχύτερη κίνηση και η μικρότερη περιεχόμενη υγρασία.
- Οι Leopold et al (1964) τοποθετούν τις κατολισθήσεις σε έναν ευρύτερο όρο, τις κινήσεις μαζών. Οι κατολισθήσεις και οι πτώσεις (falls) παρουσιάζονται ως κινήσεις διακριτών τεμαχίων ενώ οι ροές (flows) εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία και προκαλούν εσωτερική παραμόρφωση όλων των συνιστωσών της αρχικής μάζας-πετρώματος.

- Οι Zaruba & Mencl (1969) ορίζουν την κατολίσθηση ως μια γρήγορη κίνηση που κινητοποιείται από την ολίσθηση πετρωμάτων ενός τμήματος πρηνούς, το οποίο διαχωρίζεται από το υπολειπόμενο σταθερό τμήμα από μια καλά καθορισμένη επιφάνεια.

- Ο Coates (1977) εντάσσει τις κατολισθήσεις σε μια κατηγορία φαινομένων που υπάγονται στο γενικότερο φαινόμενο της κίνησης μαζών, όπου η βαρύτητα είναι η δύναμη με τον πρωτεύοντα ρόλο.

- Ο Varnes (1978) προτείνει τον όρο κίνηση πρηνούς αντί του όρου μετακίνηση μάζας, ο οποίος δεν συνάγει κάποιας μορφής διεργασία. Ορίζει την κατολίσθηση ως μια, προς τα κάτω και προς τα έξω, κίνηση πρηνών υπό την επίδραση της βαρύτητας, που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό.

Ο όρος κατολίσθηση (landslide) χρησιμοποιείται, μετά από ευρεία χρήση τόσο στην καθομιλουμένη όσο και σε επιστημονικά κείμενα, τώρα πια και επίσημα από την διεθνή κοινότητα των γεωτεχνικών επιστημόνων (IAEG, ISSMFE, ISRM) περιλαμβάνοντας πλην της ολίσθησης όλο το εύρος των αστοχιών που εκδηλώνονται σε πρηνή, δηλαδή ερπυσμούς, ολισθήσεις, ροές, ανατροπές, καταπτώσεις, σε ξηρά και θάλασσα.

Από πλευράς εννοιολογικού περιεχομένου ο όρος "κατολίσθηση" ταυτίζεται με τους χρησιμοποιούμενους δόκιμους και επίσης γενικούς όρους "κατολισθητικά φαινόμενα" (landslide events), "κινήσεις μάζας" (mass movements) και "μετακινήσεις πρηνών" (slope movements). Για την διάκριση σε επιμέρους τύπους και την άρση της γενικότητας-πολυσημίας γίνεται η χρήση αντιπροσωπευτικών τεχνικογεωλογικών όρων (Σκιάς, 1998).

1.3 Τα κύρια τμήματα μιας κατολίσθησης

Για την μελέτη και την σχεδίαση των μέτρων αποκατάστασης και αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων είναι βασικής σημασίας ο καθορισμός των μορφολογικών χαρακτηριστικών της κατολισθαίνουσας μάζας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας σύνθετης κατολίσθησης κατά Cruden & Varnes (1996) φαίνονται στο σχήμα 1.3.1 και είναι:

-Στέψη (Crown)

Εκεί βρίσκεται το υλικό που δεν έχει υποστεί μετατόπιση και βρίσκεται δίπλα από τα υψηλότερα σημεία της κύριας κατακρήμνισης.

-Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp)

Η επιφάνεια αδιατάρακτου πετρώματος γύρω από την επιφάνεια της μετακίνησης.

-Κορυφή (Top)

Το ψηλότερο σημείο επαφής μεταξύ του μετακινημένου υλικού και της κύριας κατακρήμνισης.

-Κεφαλή (Head)

Το ανώτερο μέρος της κατολίσθησης αποτελούμενο από τα ανώτερα τμήματα της ολισθαίνουσας μάζας κατά μήκος της επαφής, ανάμεσα στο μετακινημένο υλικό και την κύρια κατακρήμνιση.

-Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (Minor scarp)

Είναι η απότομη επιφάνεια υλικού που μετατοπίστηκε και προκύπτει από διαφορικές κινήσεις εντός της ολισθαίνουσας μάζας.

-Κύριο σώμα (Main body)

Τμήμα του μετατοπισθέντος υλικού που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια θραύσης.

-Πόδας (Foot)

Το τμήμα της κατολίσθησης το οποίο έχει μετακινηθεί πέρα από το "δάκτυλο της επιφάνειας θραύσης" και υπέρκειται της αρχικής εδαφικής επιφάνειας.

-Αιχμή (Tip)

Το πιο απομακρυσμένο σημείο από την κορυφή της κατολίσθησης το οποίο βρίσκεται στον πόδα.

-Δάκτυλος Ποδός (Toe)

Το χαμηλότερο, συνήθως καμπύλου σχήματος, περιθώριο του υλικού της κατολίσθησης που έχει μετατοπισθεί.

-Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture)

Η προέκταση της επιφάνειας της ουλής κάτω από το μετατοπισθέν υλικό.

-Δάκτυλο της επιφάνειας θραύσης (Toe of surface of rupture)

Διατομή, συχνά θαμμένη, που σχηματίζεται ανάμεσα στο κατώτερο μέρος της επιφάνειας θραύσης και την αρχική εδαφική επιφάνεια.

- Επιφάνεια διαχωρισμού (Surface of separation)

Η επιφάνεια εκατέρωθεν της οποίας λαμβάνει χώρα η μετατόπιση.

-Μετατοπισμένα υλικά (Displaced material)

Τα υλικά που μετατοπίζονται από την αρχική τους θέση στο πραινές.

-Ζώνη απομείωσης (Zone of depletion)

Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία το μετατοπισμένο υλικό βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους.

-Ζώνη συσσώρευσης (Zone of accumulation)

-Πλευρά (Flank)

-Αρχική επιφάνεια εδάφους (Original ground surface)

1.4 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων

14

Ο Varnes (1978) προτείνει ένα σύστημα ταξινόμησης στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλων των ειδών οι κινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν στα πρανή αφήνοντας χωρίς να συμπεριλαμβάνει τις κινήσεις που αφορούν τις καθιζήσεις.

Η ταξινόμηση βασίζεται σε δύο κύρια κριτήρια στον **τύπο μετακίνησης** και στον **τύπο του μετακινούμενου υλικού**. Στον πίνακα 1.4 δίνεται η υποδιαίρεση των τύπων μετακίνησης και υλικού κατά Varnes (1978) όπως αποδίδεται από τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2007).

Πίνακας 1.4: Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes (1978) (απόδοση στα Ελληνικά από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

Τύπος μετακίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού		
		Βραχώδεις 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	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
			Ερπυσμός εδάφους	
Σύνθετη μετακίνηση		Συνδυασμός 2 ή περισσότερων τύπων μετακίνησης		

1.4.1 Ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων βάση του τύπου μετακίνησης κατά Varnes (1978)

Οι τύποι μετακίνησης διακρίνονται σύμφωνα με τον Varnes (1978) σε καταπτώσεις, ανατροπές, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις και ροές-ερπυσμούς (σχήμα 1.4.1.).

I) Καταπτώσεις (Falls)

Όταν έχουμε την αποκόλληση τμήματος εδάφους ή βράχου, συνήθως από απότομο πρηνές, κατά μήκος επιφάνειας με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή. Το υλικό κινείται με αναπήδηση ή με κύλιση.

II) Ανατροπές (Topples)

Κίνηση τεμαχών βραχομάζας που περιστρέφονται γύρω από ένα σημείο που βρίσκεται κάτω από το κέντρο βάρους του τεμάχους. Όταν αποχωρίζονται τα τεμάχη, αναπηδούν και πέφτουν προς τα κατόντη του πρηνούς.

III) Ολισθήσεις (Slides)

Η προς τα κάτω κίνηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας που λαμβάνει χώρα κατά μήκος επιφανειών θραύσης ή λεπτών ζωνών διάτμησης. Η ολίσθηση κατά Varnes χωρίζεται σε περιστροφική και μεταθετική.

-περιστροφική όταν η κίνηση γίνεται κατά μήκος μιας κεκλιμένης επιφάνειας αστοχίας, η οποία είναι κοίλη προς τα πάνω.

-μεταθετική όταν η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας θραύσης.

Η μεταθετική ολίσθηση είναι συνήθως μικρότερου βάθους από την περιστροφική.

IV) Πλευρικές εξαπλώσεις (Spreads)

Κίνηση η οποία συνίσταται από πλευρικές εκτάσεις συνεκτικών υλικών επί λιγότερο συνεκτικών. Διακρίνονται σε εκτάσεις βράχων και εκτάσεις ρευστοποίησης. Η έκταση βράχων παρατηρείται όταν ισχυρά διαρρηγμένες βραχώδεις μάζες καθιζάνουν στο λιγότερο συνεκτικό υπόβαθρο. Η έκταση ρευστοποίησης προκαλείται σε αργίλους και ιλύες η οποίες καθώς μειώνεται η συνεκτικότητά τους παραμορφώνεται η δομή τους.

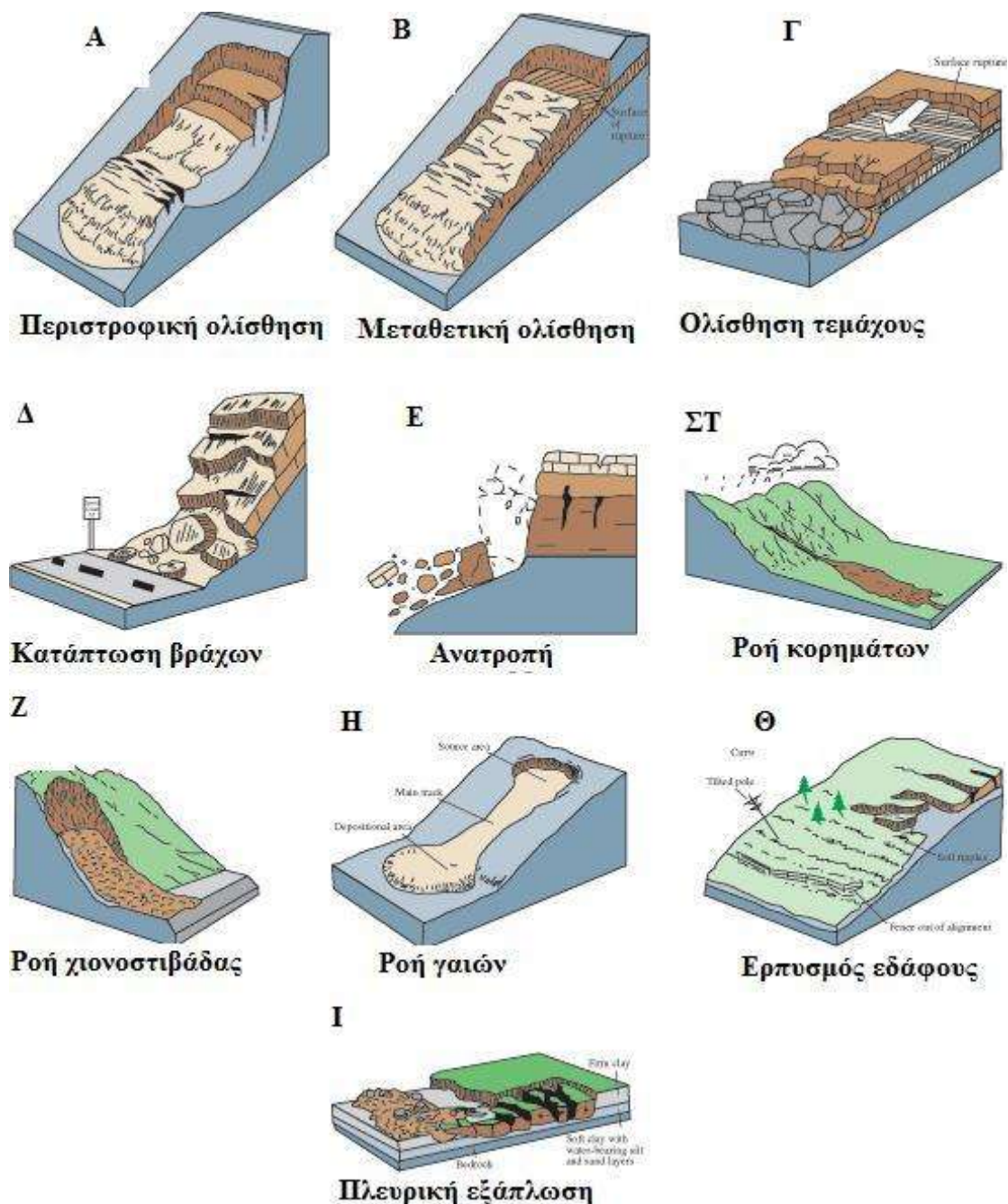
V) Ροές (Flows)

Συνεχή κίνηση του υλικού στον χώρο με τις επιφάνειες διάτμησης να είναι μικρής έκτασης και να μην διατηρούνται. Από πλευρά κινηματικής η κίνηση προσομοιάζει στην ιξώδη ροή.

VI) Σύνηκτη (Complex)

Περιέχονται όλες οι κινήσεις που είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού 2 ή και περισσότερων από τις υπόλοιπες κατηγορίες.

Καθότι οι συνθήκες στην ύπαιθρο διαφοροποιούνται και οι ενότητες των πετρωμάτων δεν είναι πάντα ομοιογενείς οι περισσότερες κατολισθήσεις κατά την έναρξη τους ή κατά την περαιτέρω κλιμάκωσή τους μπορούν να παρουσιάσουν διαφορετικούς και πιο σύνθετους τρόπους κίνησης (Dikau et al, 1996).



Σχήμα 1.4.1: Ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων βάσει του τύπου μετακίνησης κατά Varnes (1978) (τροποποίηση από USGS, 2004).

1.4.2 Ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων βάση του τύπου του μετακινούμενου υλικού κατά Varnes (1978)

Οι τύποι του μετακινούμενου υλικού χωρίζονται σε κινήσεις που εκδηλώνονται στο βραχώδες υπόβαθρο, στους χονδρόκοκκους εδαφικούς σχηματισμούς (κορήματα) και στους λεπτόκοκκους εδαφικούς σχηματισμούς (γαίες).

I) Βραχώδες υπόβαθρο

Πρόκειται για βραχώδη μάζα η οποία πριν την μετακίνηση της από την φυσική της θέση ήταν ένα σκληρό συνεκτικό πέτρωμα.

II) Κορήματα

Περιλαμβάνουν τα εδαφικά υλικά που περιέχουν 20-80% χονδρόκοκκων υλικών με μέγεθος μεγαλύτερο από τα 2 χλστ. (χαλίκια, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθοι) με το υπόλοιπο να είναι μικρότερο των 2 χλστ.

III) Γαίες

Εδαφικά υλικά που το 80% της μάζας τους είναι μικρότερο των 2 χλστ. (άργιλος, ιλύς, άμμος).

IV) Έδαφος

Χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων που έχουν προέλθει από την αποσάθρωση και μεταφορά του μητρικού πετρώματος ή από την δημιουργία μανδύα αποσάθρωσης πάνω από το πέτρωμα.

1.5 Οι παράγοντες που επιδρούν στα κατολισθητικά φαινόμενα

Για την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου συμβάλλουν πολλοί παράγοντες αλλά ο παράγοντας ενεργοποίησης είναι ουσιαστικά ένας. Τα αίτια είναι λοιπόν αυτά που καθορίζουν την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου σε μια συγκεκριμένη θέση και στιγμή ενώ το έναυσμα είναι το μοναδικό γεγονός που ενεργοποιεί την κατολίσθηση. Τα αίτια που προκαλούν την κατολίσθηση μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν αλλά ο παράγοντας ενεργοποίησης πολλές φορές δεν είναι εύκολος να εκτιμηθεί (Τσαγγαράτος, 2012).

Σύμφωνα με τους Tsagaratos et al. (2005) η εκδήλωση μιας κατολίσθησης συνήθως συνδέεται με την διατάραξη της ευστάθειας και την κίνηση των πρανών. Η κίνηση του πρανούς οφείλεται είτε στην μεταβολή της διατμητικής αντοχής του πρανούς (αύξηση της διατμητικής τάσης ή μείωση της ενεργής κανονικής τάσης) είτε λόγω της μείωσης της αντίστασης στην κίνηση ως αποτέλεσμα της μείωσης της διατμητικής αντοχής των γεωυλικών.

Σύμφωνα με τον Ρόζο (2007) οι κατολισθήσεις εκδηλώνονται σε σχηματισμούς που θα βρεθούν σε κατάσταση οριακής ισορροπίας όταν επιδράσουν σε αυτούς δυνάμεις από εξωτερικά ή εσωτερικά αίτια ή συνδυασμένες. Οι παράγοντες που επιδρούν στις κατολισθήσεις χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς σχετίζονται με τη γεωτεκτονική εξέλιξη και τη λιθολογική διάρθρωση ενώ οι δευτερογενείς με την γεωμηχανική συμπεριφορά.

Οι πρωτογενείς παράγοντες συνδέονται με φυσικές διεργασίες (γεωλογική δομή, τεκτονισμός, λιθολογία) ενώ οι δευτερογενείς παράγοντες αποτελούν το αίτιο μείωσης της ευστάθειας και το έναυσμα της αστοχίας ως αποτέλεσμα είτε φυσικών διεργασιών (διάβρωση, αποσάθρωση, μεταβολές του νερού των πόρων) είτε ανθρωπογενούς επέμβασης (αποψιλώσεις, υπερφόρτιση ή εκσκαφή του πρανούς, δονήσεις).

Η ομάδα εργασίας της UNESCO για την παγκόσμια καταγραφή των κατολισθήσεων (WP/WLI, 1994) συμπεραίνει ότι ο όρος "αίτια των κατολισθήσεων" δεν αποδίδει σωστά την έκταση του φαινομένου και προτείνουν τον όρο "συνθήκες και διεργασίες" για να αποδοθεί η αλλαγή στο καθεστώς ισορροπίας ενός φυσικού ή τεχνητού πρανούς. Σύμφωνα με την ομάδα εργασίας οι παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία μιας κατολίσθησης εξαρτώνται από τις εδαφικές συνθήκες, τις γεωμορφολογικές, φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες (πίνακας 1.5).

Πίνακας 1.5: Παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία κατολίσθησης σύμφωνα με το WP/WLI 1994 (απόδοση στα ελληνικά από Κούκη & Σαμπτακάκη, 2007).

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
	1	Πλαστικό, χαμηλής αντοχής, υλικό
	2	Ευαίσθητο υλικό
	3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση
	4	Αποσαθρωμένο υλικό
	5	Διατμημένο υλικό
	6	Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό
	7	Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)
	8	Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)
	9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
	10	Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία
	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	11	Τεκτονική ανύψωση
	12	Ανύψωση λόγω ηφαιστειών
	13	Επίδραση παγετώνων
	14	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρानού
	15	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρानού
	16	Διάβρωση της βάσης του πρानού από παγετώνα
	17	Διάβρωση των πλευρών του πρानού
	18	Εσωτερική διάβρωση
	19	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρानού
	20	Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση, κ.τ.λ.)
	ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	21	Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
	22	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
	23	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
	24	Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων
	25	Σεισμοί
	26	Εκρήξεις ηφαιστειών
	27	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστειών
	28	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
	29	Αποσάθρωση λόγω παγετού
	30	Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών
	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	31	Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρानού
	32	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανού
	33	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες
	34	Άρδευση
	35	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
	36	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)
	37	Αποφίλωση
	38	Λατομεία και μεταλλεία
	39	Δημιουργία χωματερών
	40	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, κ.τ.λ.)
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΝΑΥΣΜΑΤΟΣ	ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
	1	Πλαστικό, χαμηλής αντοχής, υλικό
	2	Ευαίσθητο υλικό
	3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση
	4	Αποσαθρωμένο υλικό
	5	Διατμημένο υλικό
	6	Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό
	7	Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)
	8	Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)
	9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
	10	Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία
	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	11	Τεκτονική ανύψωση
	12	Ανύψωση λόγω ηφαιστειών
	13	Επίδραση παγετώνων
	14	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρानού
	15	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανού
	16	Διάβρωση της βάσης του πρανού από παγετώνα
	17	Διάβρωση των πλευρών του πρανού
	18	Εσωτερική διάβρωση
	19	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανού
	20	Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση, κ.τ.λ.)
	ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	21	Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
	22	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
	23	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
	24	Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων
	25	Σεισμοί
	26	Εκρήξεις ηφαιστειών
	27	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστειών
	28	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
	29	Αποσάθρωση λόγω παγετού
	30	Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών
	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	31	Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανού
	32	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανού
	33	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες
	34	Άρδευση
	35	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
	36	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)
	37	Αποφίλωση
	38	Λατομεία και μεταλλεία
	39	Δημιουργία χωματερών
	40	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, κ.τ.λ.)

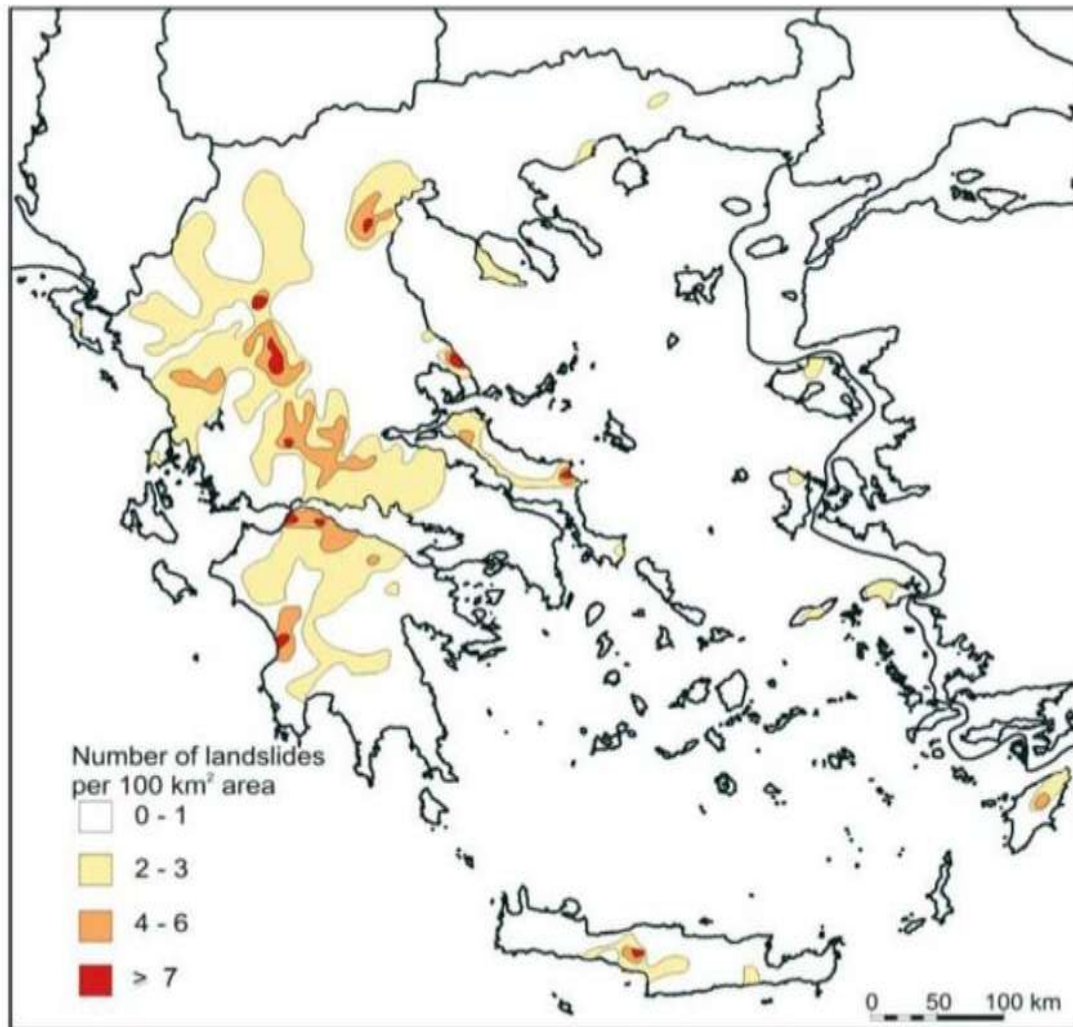
1.6 Κατολισθήσεις στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα οι κατολισθήσεις είναι ένα συχνό φυσικό φαινόμενο του οποίου τα άμεσα και έμμεσα αποτελέσματα συνδέονται με πολυδάπανες καταστροφές και απώλεια ανθρωπίνων ζωών.

Οι Κούκης & Ρόζος (1982) διαχωρίζουν τον Ελληνικό χώρο σε τρεις διακριτές ενότητες, βάση της κατανομής και συχνότητας των κατολισθητικών τάσεων, την Δυτική, Κεντρική και Ανατολική. Στις τρεις αυτές ενότητες οι σχηματισμοί εντάσσονται σε γεωτεκτονικές ζώνες με χαρακτηριστική γεωμηχανική συμπεριφορά που οφείλεται στην γεωτεκτονική εξέλιξη και στις αποσαθρωτικές και διαβρωτικές διεργασίες.

Οι μεγαλύτερες και πιο συχνά εκδηλούμενες κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο εμφανίζονται κυρίως στην Κεντρική και Δυτική Ελλάδα. Συνδυάζονται με μια σειρά παραγόντων ευνοϊκών για την εκδήλωση κατολισθήσεων. Η λιθολογική σύσταση, η τεκτονική δομή, η έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα (Γεωτεκτονικές ζώνες Πίνδου, Γαβρόβου και Ιόνια) σε συνδυασμό με το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των κλιματικών παραμέτρων (απότομες και μεγάλου ύψους βροχοπτώσεις, παρατεταμένες χιονοπτώσεις, μεγάλης διάρκειας παγετός) είναι οι παράγοντες που έχουν διαμόρφωση κατάλληλες συνθήκες για την συχνή εκδήλωση κατολισθήσεων σε ευρεία κλίμακα και ένταση δημιουργώντας κατά επανάληψη προβλήματα (Κούκης & Ρόζος, 1982, Koukis et al., 2005, Βασιλειάδης, 2010).

Οι Koukis et al. (2005), μέτρησαν την συχνότητα των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο (σχήμα 1.6) με τις μεγαλύτερες τιμές να συναντώνται στις περιοχές κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου, στη Βόρεια και Δυτική Πελοπόννησο, στο νομό Πιερίας, στο Βορειοανατολικό Πήλιο, στην κεντρική Κρήτη και στην κεντρική και Βορειοδυτική Εύβοια.



Σχήμα 1.6: Χάρτης συχνότητας κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο με τον αριθμό των φαινομένων ανά 100 χλμ², από Koukis et al. (2005).

Σύμφωνα με τους Κούκη & Ζιούρκα (1989), οι δέκα κυριότερες αίτιες εκδήλωσης κατολισθήσεων στην Ελλάδα με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους είναι:

1. Η διάβρωση από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
2. Η αύξηση νερού των πόρων
3. Η υφή των υλικών του πρσανούς
4. Η λιθολογική σύσταση των πρσανών
5. Οι βροχοπτώσεις
6. Η φυσική αποσύνθεση (αποσάθρωση) των κοκκωδών πετρωμάτων
7. Η γεωμετρία του πρσανούς (προσανατολισμός και κλίση)
8. Η αποσύνθεση των αργίλων

9. Η εναλλαγή περατών και αδιαπέρατων πετρωμάτων

10. Οι δονήσεις ανθρωπογενούς προέλευσης

1.7 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και κατολισθήσεις

Τα ΓΣΠ είναι ένα σύνολο υλικού, λογισμικού, διαδικασιών και εργαλείων μέσω των οποίων γίνεται η διαχείριση, παρουσίαση, ανάλυση και αποθήκευση δεδομένων που εμπεριέχουν την έννοια της γεωγραφικής κατανομής (Βαϊόπουλος κ.ά., 2006).

Από την δεκαετία του 70΄ και ειδικά τα τελευταία 20 χρόνια η χρήση των ΓΣΠ έχει προσφέρει τρομερή δυναμικότητα στην έρευνα των κατολισθήσεων και την προσπάθεια μετριασμού των συνεπειών τους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα από την χρήση των ΓΣΠ στην ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων και στην εκτίμηση της επικινδυνότητας είναι:

- Η ελαχιστοποίηση του χρόνου για την ανάλυση των πολυάριθμων δεδομένων της κατολίσθησης και την παραγωγή των τελικών χαρτών.
- Η απόκτηση και διαχείριση νέων δεδομένων μέσω της επεξεργασίας των ήδη υπαρχόντων (παράδειγμα η απόκτηση του χάρτη της διεύθυνσης των πρηνών από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους).
- Η δυνατότητα να εφαρμόζονται πολλές μέθοδοι ανάλυσης των δεδομένων που θα καταλήξουν σε διαφορετικά αποτελέσματα και έτσι με την αξιολόγηση τους να έχουμε και την επιλογή του βέλτιστου τελικού αποτελέσματος.
- Η ευκολία ανατροφοδότησης και μετατροπής των αρχικών δεδομένων και των συνεπαγόμενων αποτελεσμάτων .

Ο ποιο κρίσιμος παράγοντας για την ακρίβεια των συμπερασμάτων είναι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την ανάλυση των κατολισθήσεων. Οι μέθοδοι σύμφωνα με τους Aleotti & Chowdhury (1999) χωρίζονται σε **Ποιοτικές (Qualitative)** και **Ποσοτικές (Quantitative)** (σχήμα 1.7).

1.7.1 Ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης

Οι ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης των κατολισθήσεων κατά Aleotti & Chowdhury (1999) είναι:

-Γεωμορφολογική ανάλυση (*field geomorphological analysis*)

Αποτελεί την απλούστερη μέθοδο ανάλυσης, στηρίζεται στην εργασία υπαίθρου και βασίζεται στις γνώσεις και την κρίση του Γεωεπιστήμονα για τον

προσδιορισμό της επικινδυνότητας της περιοχής. Τα ΓΣΠ χρησιμεύουν επικουρικά για την σχεδίαση των δεδομένων του πεδίου.

-Χρήση δεικτών ή παραμετρικών χαρτών (use of index or parameter maps)

Βασίζεται στην κρίση του ερευνητή και στην εργασία υπαίθρου που έχει πραγματοποιηθεί για την απόδοση συντελεστών βαρύτητας στους παράγοντες δραστηριοποίησης της κατολισθήσεως. Είναι σύνηθες η μεταβολή των δεικτών βαρύτητας αν τα αποτελέσματα δεν συμπίπτουν με τα δεδομένα από την άσκηση υπαίθρου. Χωρίζεται στην **υπέρθεση χαρτών-δεικτών (combination or overlay of index maps)** και στα **λογικά αναλυτικά μοντέλα (logical analytical models)**.

1.7.2 Ποσοτικές μέθοδοι ανάλυσης

Οι ποσοτικές μέθοδοι ανάλυσης των κατολισθήσεων κατά Aleotti & Chowdhury (1999) είναι:

-Στατιστική ανάλυση (statistical analysis)

Βασίζεται στον στατιστικό προσδιορισμό των παραγόντων που προκάλεσαν μια κατολισθήση κάνοντας την παραδοχή ότι οι συνδυασμοί των παραγόντων που έδρασαν στο παρελθόν για την δημιουργία κατολισθήσεως θα είναι οι ίδιοι και στο μέλλον. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μεσαίας κλίμακας έρευνες. Χωρίζεται στην **διμεταβλητή ανάλυση (bivariate analysis)** και στην **πολυμεταβλητή ανάλυση (multivariate analysis)**.

-Γεωτεχνικές προσεγγίσεις (geotechnical engineering approaches)

Χωρίζονται στην **I)Ντετερμινιστική ανάλυση (deterministic analysis)** και τη **II)Πιθανολογική προσέγγιση (probabilistic approach)**.

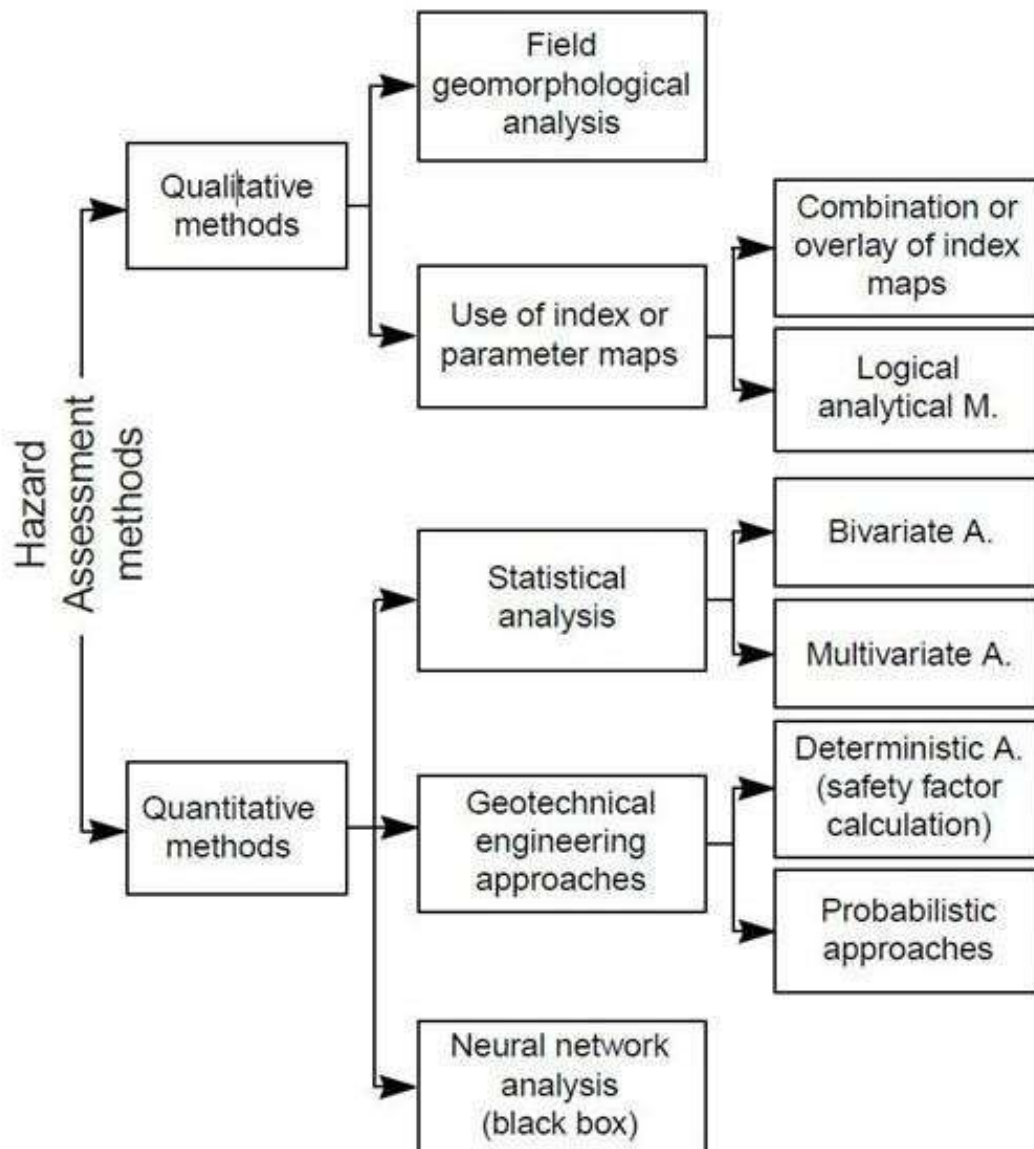
I) Η Ντετερμινιστική ανάλυση (deterministic analysis) χρησιμοποιεί τα γεωτεχνικά δεδομένα της περιοχής και ειδικά μοντέλα ευστάθειας των πρανών για την εύρεση του συντελεστή ευστάθειας ο οποίος εκφράζει την σταθερότητα του πρανού. Εφαρμόζεται συνήθως για σχεδιασμό τεχνικών έργων σε μικρές περιοχές.

II) Η Πιθανολογική προσέγγιση (probabilistic approach) βασίζεται στις σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων και των κατολισθήσεων και χρησιμοποιεί την θεωρία των πιθανοτήτων παρέχοντας μια συστηματική διαδικασία για την ποσοτική αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στις τιμές των παραμέτρων.

-Ανάλυση νευρωνικών δικτύων (neural network analysis)

Χρησιμοποιούν πολύπλοκες μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ των παραγόντων που ενεργοποιούν τις κατολισθήσεις και την κατανομή των κατολισθήσεων. Η ιδιαιτερότητα των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων είναι ότι λειτουργούν με

τρόπο ώστε να μπορούν να εκπαιδευτούν, να αναγνωρίζουν πρότυπα, να ταξινομούν δεδομένα, να εκτιμούν προβλέψεις για μελλοντικά γεγονότα και να επιδεικνύουν αφαιρετική ικανότητα. Για την διαμόρφωση των ΤΝΔ πρέπει να γίνει τροφοδότηση του συστήματος με παραδείγματα τα οποία να περιγράφουν το φαινόμενο που μελετάται με πληροφορίες για τις παραμέτρους (συνεχείς μεταβλητές) αλλά και για το αποτέλεσμα που προκύπτει (Φερεντίνου, 2004).



Σχήμα 1.7: Ταξινόμηση μεθόδων προσδιορισμού του κινδύνου κατολισθήσεων (Aleotti & Chowdhury, 1999).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά για περιοχή μελέτης

Η περιοχή του Πηλίου έχει πληγεί κατ' επανάληψη από κατολισθήσεις και πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τα αίτια και τις αφορμές και έχουν προτείνει μεθόδους μετριασμού και ανάσχεσης των φαινομένων (Μαρίνος, 1946, Ελευθερίου, 1969, Ορφανός, 1971, Χατζηνάκος, 1989, Μπέλλας, 2004).

Ο νομός Μαγνησίας και ειδικότερα η περιοχή του Πηλίου με την σπάνια ομορφιά του φυσικού του τοπίου εκτιμήθηκε από την αρχαιότητα. Οι δοξασίες, οι μύθοι και η ιστορία αυτής της τόσο ξεχωριστής περιοχής απλώνονται στα βάθη των αιώνων.

Το Πήλιο ήταν το ορμητήριο των κενταύρων, όπου εκεί στην σχολή του Κένταυρου Χείρωνα διαπαιδαγωγήθηκαν οι μεγαλύτεροι ήρωες της μυθολογίας ο Αχιλλέας, ο Ιάσωνας, ο Ασκληπιός και άλλοι πολλοί (σχήμα 2.1).

Από την Ιωλκό του Πηλίου πριν 3500 χιλιάδες χρόνια ξεκίνησε η Αργοναυτική εκστρατεία. Στο Πήλιο έγινε ο γάμος του Πηλέα και της Θέτιδας, γονείς του ομηρικού Αχιλλέα. Κατά τον γάμο αυτό μάλιστα διαδραματίστηκε και το περιστατικό που αποτέλεσε την αφορμή του Τρωικού Πολέμου: η απνομομή του μήλου από τον Πάρη στην θεά Αφροδίτη, γεγονός που εξόργισε τις θεές Ήρα και Αθηνά.



Σχήμα 2.1: Ο Πηλέας παραδίδει τον Αχιλλέα στο Χείρωνα, Αττική ερυθρόμορφη στάμνα.

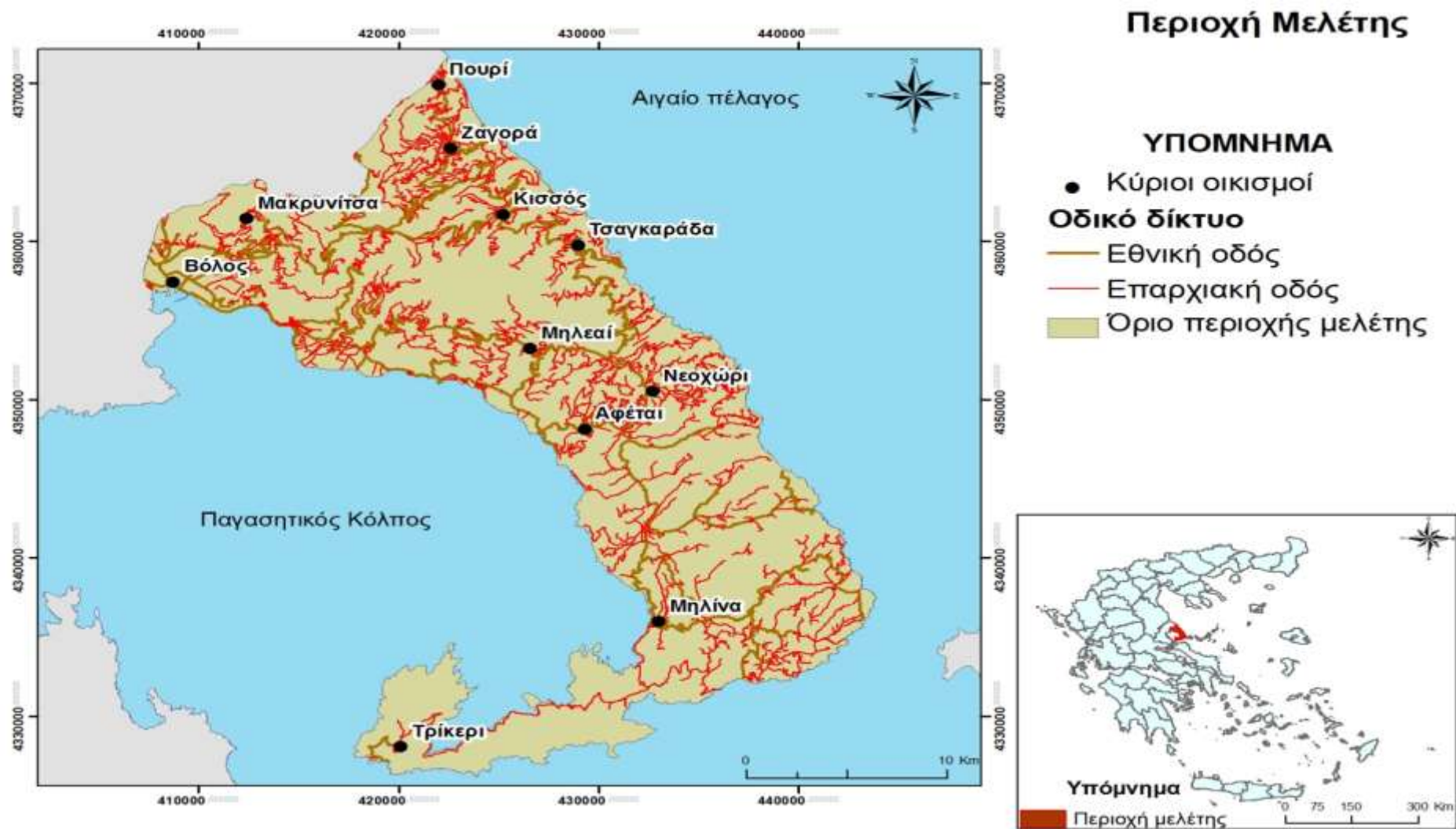
Την σημερινή εποχή το Πήλιο αναπτύσσεται συνεχώς έχοντας στερεούς άξονες ανάπτυξης τον Τουρισμό και την γεωργία. Με την ένταξη του Πηλίου στο δίκτυο Natura 2000 καταβάλλεται όλο και μεγαλύτερη προσπάθεια η ανάπτυξη να γίνει με σεβασμό στο περιβάλλον. Η μελέτη της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων μπορεί να συνδράμει ενεργά προς τον καλύτερο σχεδιασμό των έργων και τον μετριασμό της επίδρασης των φυσικών κινδύνων.

2.2 Φυσικογεωγραφικά στοιχεία

2.2.1 Γεωγραφία

Το Πήλιο είναι όρος του Νομού Μαγνησίας και βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Θεσσαλίας αλλά και του Νομού. Το σχήμα του ορεινού όγκου είναι επίμηκες με τον μεγάλο άξονα να έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, το μήκος αυτού του άξονα φτάνει τα 30χλμ ενώ το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 8χλμ. Η υψηλότερη κορυφή του βρίσκεται προς τη Βόρεια πλευρά του βουνού στη θέση Πουριανός Σταυρός έχει ύψος 1624μ. Άλλες υψηλές κορυφές του Πηλίου είναι το Κοτρώνι 1550 μ., Πλεσίδι 1547μ., Αηδονάκι 1537μ. και οι Αγριόλευκες 1470μ. Ανατολικά το Πήλιο βρέχεται από το Αιγαίο πέλαγος και ΝΔ από τη θάλασσα του Παγασητικού.

Για την περιοχή που πραγματοποιήθηκε η έρευνα χρησιμοποιήθηκε βόρεια ως φυσικό όριο ο υδροκρίτης της Ζαγοράς και του Βόλου, νότια οι ακτές του Τρίκερι, ανατολικά το όριο των ακτών με το Αιγαίο Πέλαγος και δυτικά το όριο των ακτών με τον Παγασητικό κόλπο (σχήμα 2.2.1.1). Στην περιοχή αυτή, παρουσιάζονται και από την βιβλιογραφία η μεγαλύτερη συχνότητα σε κατολισθήσεις.



Σχήμα 2.2.1.1: Χάρτης με την περιοχή μελέτης.

2.2.2 Μορφολογία

Η χερσόνησος της Μαγνησίας έχει ανάγλυφο κυρίως ημιορεινό και ορεινό ενώ χαρακτηρίζεται από την γειτνίασή της με το Αιγαίο και την ύπαρξη του ορεινού όγκου του Πηλίου. Το όρος Πήλιο με το επίμηκες σχήμα, δημιουργεί φυσικό φράγμα αποκόπτοντας την επικοινωνία του κόλπου του Παγασητικού με την θαλάσσια λεκάνη του Βορείου Αιγαίου.

Το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο που παρατηρείται έχει προέλθει από γεωδυναμικά φαινόμενα που έχουν δράσει κατά το παρελθόν αλλά και λόγω νεότερων τεκτονικών κινήσεων. Λόγω του ενεργού τεκτονισμού το ανάγλυφο μεταβάλλεται έντονα από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι ύψος πολλών εκατοντάδων μέτρων. Το εντονότερο ανάγλυφο παρατηρείται στο βόρειο τμήμα του ορεινού όγκου και σταδιακά μειώνεται προς τα νότια. Οι ακτές του Πηλίου βρισκόμενες εντός μεγάλων ρηξιγενών ζωνών παρουσιάζονται πολυσχιδείς σχηματίζοντας μεγάλο αριθμό ακρωτηρίων και μικρών ή μεγάλων κόλπων ή όρμων (Γαλανάκης, 1997).

Η δημιουργία του χάρτη υψομέτρου της περιοχής (Σχήμα 2.2.2.1) βασίστηκε στην χρήση των τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και συγκεκριμένα στα τοπογραφικά φύλλα, κλίμακας 1:50.000 Βόλος, Ζαγορά, Αργαλαστή, Σκίαθος, Συκή.

Μέσω των τοπογραφικών χαρτών δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής με την χρήση του ArcGIS, με μέγεθος ψηφίδας (pixel) 20x20 μ., το οποίο απεικονίζει το ανάγλυφο της περιοχής. Όπως παρατηρούμε και από τον χάρτη του σχήματος 2.2.2.1 οι μεγαλύτερες τιμές υψομέτρου παρατηρούνται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής εκεί που βρίσκεται και το κεντρικό κομμάτι του ορεινού όγκου του Πηλίου.



Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ▲ Κύριες κορυφές Πηλίου
- Κύριοι οικισμοί

Υψομετρο (m)

	0 - 200
	200 - 400
	400 - 600
	600 - 800
	800 - 1000
	1000 - 1200
	1200 - 1400
	1400 - 1600

Σχήμα 2.2.2.1: Η μορφολογία της Περιοχής μελέτης βάση του Ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM).

2.2.3 Χρήσεις Γης – Προστατευόμενες περιοχές

Οι μεταβολές του αναγλύφου και οι μεγάλες υψομετρικές διαφορές στο νομό διαμορφώνουν τέσσερις κατηγορίες τοπίου (Βαβίζος κ.ά. 1996):

- Ορεινό τοπίο με κυρίαρχη τη δασική βλάστηση.
- Ημιορεινό, όπου παρατηρείται μίξη χαμηλής και αραιής δασικής βλάστησης με φρυγανότοπους και με καλλιέργειες.
- Αγροτικό τοπίο με κυρίαρχες τις δενδρώδεις καλλιέργειες.
- Αγροτικό με κυρίαρχες τις αροτραίες καλλιέργειες (πεδινές περιοχές).

Το ορεινό τμήμα του νομού καταλαμβάνει το 32% της συνολικής έκτασής του, το ημιορεινό το 47% , ενώ το πεδινό το 21%.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ για την δεκαετία 1990-2000 με τελευταία ενημέρωση τον Ιούνιο του 2010 καταρτίστηκε ο παρακάτω πίνακας (πίνακας 2.1.3) με τις χρήσεις Γης για τον Νομό Μαγνησίας.

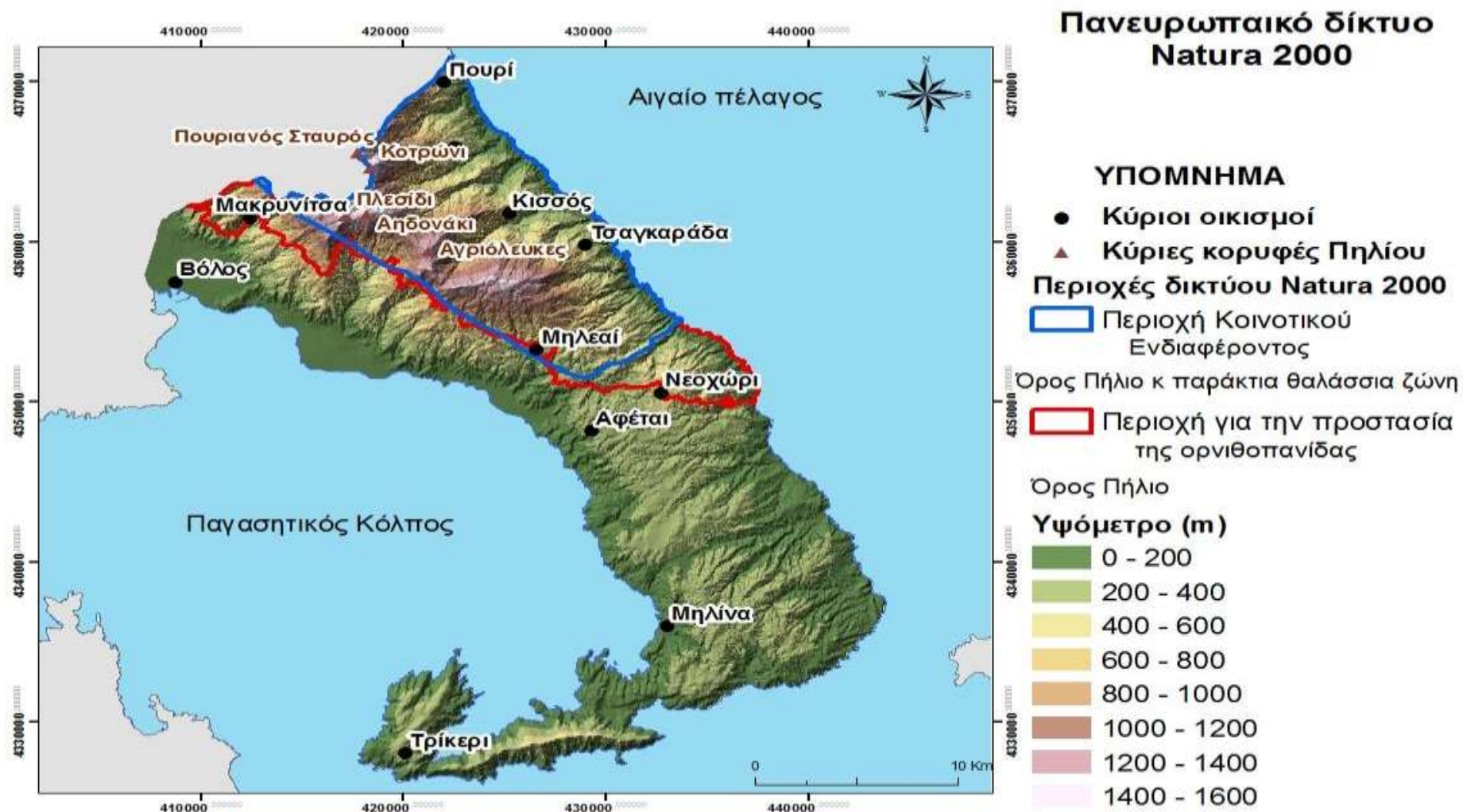
Πίνακας 2.2.3: Χρήσεις Γης Νομού Μαγνησίας (Πηγή ΕΣΥΕ, επεξεργασία ΝΑΜ, 2005).

Χρήσεις Γης	Ποσοστό επι του συνόλου %
Καλλιεργούμενη-αγροαπαυόμενη γη	34,1
Δάση	19,2
Βοσκότοποι (δημόσιοι, κοινοτικοί, ιδιωτικοί)	41,5
Οικισμοί –κτίρια-δρόμοι	4,14
Νερά	0,9
Λοιπά	0,2

Το όρος Πήλιο, η παραλία του οικισμού Χόρτου, η Βυζίτσα, το Τρίκερι και η Τσαγκαράδα έχουν χαρακτηριστεί ως Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους με τις Υπουργικές Αποφάσεις αντίστοιχα Φ31/24512/1858/3.5.76, 10988/16.5.67, Φ31/2206/201/19.4.76, 10977/16.5.67, 10977/16.5.67.

Επίσης πολύ σημαντικό θεωρείται ότι το όρος Πήλιο με τις παρακείμενες ζώνες έχει συμπεριληφθεί σε ένα Ευρωπαϊκό συνεκτικό οικολογικό δίκτυο ειδικών ζωνών, το δίκτυο "Natura 2000". Με την προσθήκη του Πηλίου στο δίκτυο θα πρέπει το κράτος, σύμφωνα με το άρθρο 6 της οδηγίας 92/43, να λαμβάνει μέτρα ώστε να αποτρέπεται η υποβάθμιση της περιοχής. Επίσης βάση της ΚΥΑ 69269/5387/1990 θα πρέπει κάθε νέο έργο ή δραστηριότητα μέσα στις περιοχές αυτές να διασφαλίζει την προστασία και διατήρηση των ειδών προτεραιότητας και των τύπων οικοτόπων.

Το «Όρος Πήλιο και η παράκτια θαλάσσια ζώνη» που έχει συμπεριληφθεί στο Δίκτυο "Natura 2000" (χάρτης του σχήματος 2.2.3.1) περιλαμβάνει 19 τύπους οικοτόπων, οι οποίοι περιλαμβάνουν θαλάσσιες και παράκτιες περιοχές, περιοχές εσωτερικών υδάτων και δάση. Η οικολογική αξία της περιοχής οφείλεται στην ποικιλία βιοτόπων με καλή έως άριστη δομή και κατάσταση διατήρησης που υποστηρίζουν πλούσιες σε είδη κοινωνίες. Η περιοχή συνδυάζει την πυκνή δασική και μακία βλάστηση καθώς και τους παράκτιους και θαλάσσιους βιότοπους του Αιγαίου (NAM, 2005).



Σχήμα 2.2.3.1: Τμήμα του πανευρωπαϊκού Δικτύου Natura 2000 στο Πήλιο, με τις 2 υποκατηγορίες οικοτόπων.

2.2.4 Υδρογραφικό δίκτυο

Στην Μαγνησία το υδρογραφικό δίκτυο αποστραγγίζει λεκάνες απορροής με έκταση περίπου 1506 χλμ², η πυκνότητα του δικτύου είναι υψηλή ιδιαίτερα στις λεκάνες που ο σχιστόλιθος με πολύ μικρή περατότητα αποτελεί το βασικό πέτρωμα. Η πυκνότητα του δικτύου μειώνεται στα βόρεια και βορειοδυτικά της χερσονήσου όπου επικρατούν τα μακροπερατά μάρμαρα και μικροπερατοί ιζηματογενείς σχηματισμοί (NAM, 2005).

Το υδρογραφικό δίκτυο εκβάλλει στα δυτικά στον Παγασητικό κόλπο και στα ανατολικά στο Αιγαίο (NAM, 2005). Το επίμηκες σχήμα του Πηλίου σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου σε μικρούς και επιμήκεις χειμάρους, οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγές. Οι διευθύνσεις των υδροκριτικών γραμμών και πολλοί κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου ακολουθούν παράλληλη διεύθυνση με την διεύθυνση προσφάτων ρηγμάτων και σε πολλές περιπτώσεις ταυτίζονται. Οι έντονες μορφολογικές κλίσεις του Πηλίου σε συνδυασμό με τον ευδιάβρωτο σχιστόλιθο που κυριαρχεί και διαβρώνεται έντονα κατά βάθος δεν έχουν επιτρέψει την δημιουργία ποτάμιων αναβαθμίδων (Γαλανάκης, 1997).

Οι απότομες μορφολογικές κλίσεις, το μικρό μήκος των ρεμάτων σε συνδυασμό με την επικράτηση του σχετικά αδιαπέρατου σχιστόλιθου προκαλούν ταχεία εκφόρτιση των ρεμάτων. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την εκδήλωση πλημμυρών στις χαμηλές παράκτιες περιοχές που βρίσκονται πάνω σε προσχώσεις και δεν υπάρχει καθορισμένη κοίτη για την απορροή των ρεμάτων (Αγριά, Κάτω Λεχώνια και Μηλίνα) (ANEM, 2012).

Η πλειοψηφία των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου της Μαγνησίας δεν είναι συνεχούς ροής και παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα χειμαρικότητας. Κάποια υδατορεματα τροφοδοτούνται από πηγές όπως το Κακόρεμα, Μέγα, Φελούκα, Κισσιώτικο, Βρύχωνας, Κουφάλας, Κακοσκάλι και Πλατανόραμα (Βαβίζος κ.ά., 1996). Το μόνο ποτάμι που διατρέχει τον νομό Μαγνησίας είναι ο Ποταμός Ενιπέας (για 10 χλμ) και αποτελεί φυσικό όριο με τον νομό Λαρίσης.

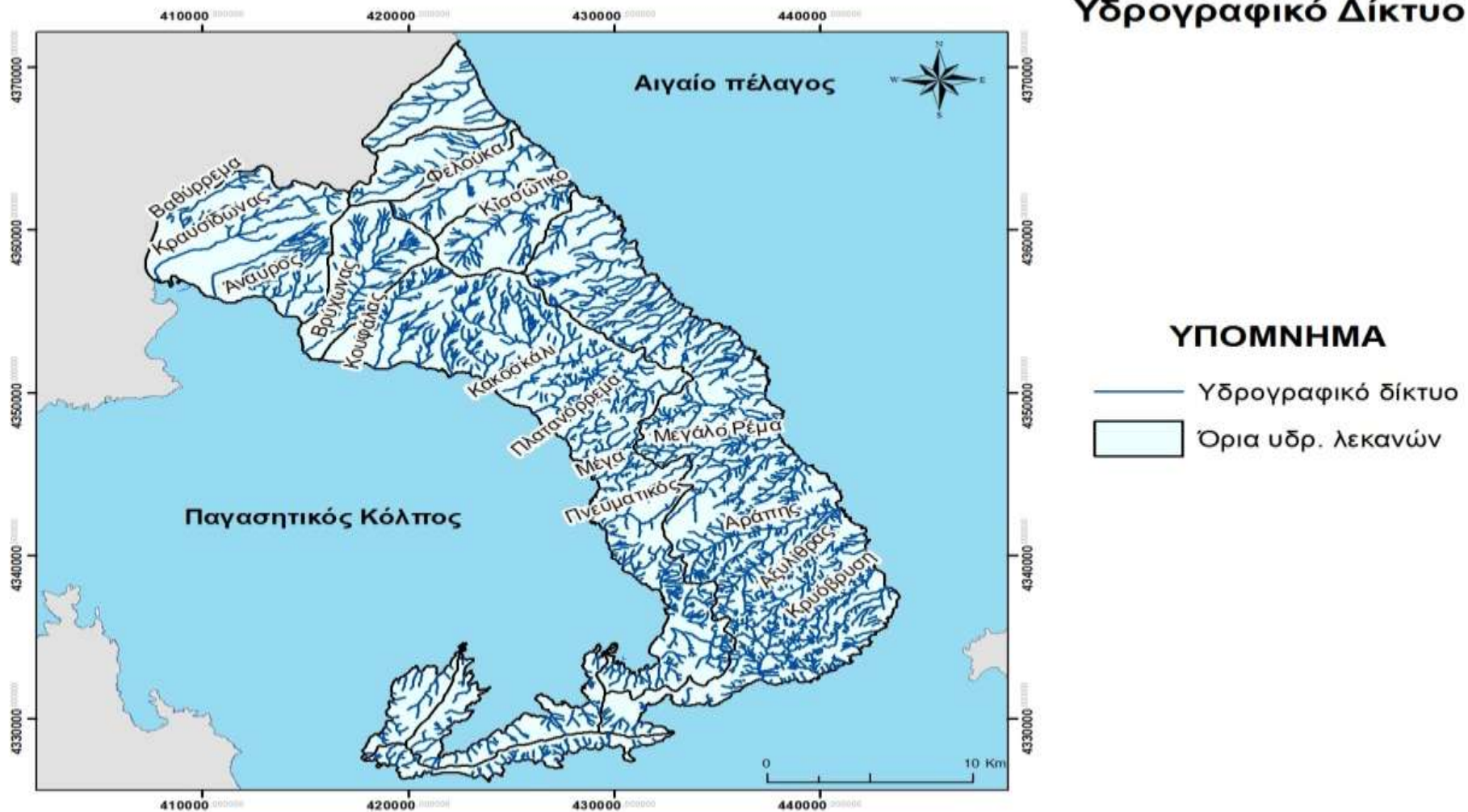
Οι σημαντικότεροι χείμαρροι που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης (πίνακας 2.2.4) είναι οι ακόλουθοι: Άναυρος (Βόλος), Κραυσίδωνας (Βόλος), Βαθύρρεμα (Φυτόκο), Βρύχωνας (Άγιος Λαυρέντιος), Κουφάλας (Άγιος Βλάσιος), Πλατανόρρεμα (Αφέτες), Πνευματικός (Αργαλαστή), Αράπης (Αργαλαστή), Αξυλίθρας (Προμύρι), Κρυόβρυση (Προμύρι), Χαλόρρεμα (Πλατανιάς), Κισσώτικο (Κισσός), Φελούκα (Ανήλιο) και Μεγάλο Ρέμα (Συκή), Μέγα Ρέμα (Κισσός), Κακόρεμα (Προμύρι), Ροδιάς (Αργαλαστή), Κακοσκάλι (Καλά Νερά) (σχήμα 2.2.4.1). Παρατηρώντας τον χάρτη του σχήματος 2.2.4.1 παρατηρούμε ότι τα ρέματα του νοτίου τμήματος της περιοχής (Αράπης, Αξυλίθρας, Κρυόβρυση) παρουσιάζουν μετατόπιση του υδροκρίτη προς τα Δ.

Αυτό οφείλεται κατά αρχήν στην αλλαγή της μορφολογίας με μείωση των κλίσεων, στην αλλαγή της λιθολογίας με αύξηση της παρουσίας των μαρμάρων και στην ενεργό τεκτονική με την έντονη παρουσία ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή.

Πίνακας 2.2.4: Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής (ANEM, 2012).

Ονομασία υδατορέματος	Εμβαδόν λεκάνης (χλμ ²)	Εκτιμώμενη απορροή (Χ10 ⁶ m ³ /a)	Περιοχή εκφόρτισης
ΚΑΚΟΡΕΜΑ	12,5	0,8	Αιγαίο Πέλαγος
ΜΕΓΑ	19,2	2,8	Αιγαίο Πέλαγος
ΦΕΛΟΥΚΑ	16,4	2,4	Αιγαίο Πέλαγος
ΚΙΣΣΩΤΙΚΟ	24,2	3,6	Αιγαίο Πέλαγος
ΚΡΑΥΣΙΔΩΝΑΣ	31,3	2,9	Κόλπος Βόλου
ΒΡΥΧΩΝΑΣ	36,8	4,7	Όρμος Αγιάς
ΚΟΥΦΑΛΑΣ	14,9	1,9	Όρμος Πλατανίδια
ΚΑΚΟΣΚΑΛΙ	22,6	3,9	Όρμος Καλών Νερών
ΠΛΑΤΑΝΟΡΕΜΑ	21,6	2,4	Όρμος Καλών Νερών
ΡΟΔΙΑΣ	16,4	1,7	Παγασητικός Κόλπος
ΑΡΑΠΗΣ	32,8	3,2	Αιγαίο Πέλαγος

Στην περιοχή του Πηλίου έχουμε την δημιουργία πολλών πηγών οι οποίες δημιουργούνται χάρη στον συνδυασμό του μεγάλου ύψους των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, του υψηλού δείκτη κατέισδυσης των πετρωμάτων και της πυκνής βλάστησης. Από την υδρομάστευση των πηγών γίνεται κατά κύριο λόγο η υδροληψία σε σχεδόν όλα τα δημοτικά διαμερίσματα και οικισμούς (NAM, 2005). Στις πεδινές εκτάσεις που η ανάγκη για παροχή νερού για αγροτική χρήση είναι αυξημένη χρησιμοποιούνται κατά κόρον οι γεωτρήσεις.



Σχήμα 2.2.4.1: Υδρογραφικό δίκτυο με τις υδρογραφικές υπολεκάνες.

2.2.5. Κλιματικά στοιχεία

Στην περιοχή της Μαγνησίας υπάρχει ένα πυκνό δίκτυο καταγραφής μετεωρολογικών δεδομένων. Οι σταθμοί που επιλέχτηκαν ήταν του Βόλου, της Αγχιάλου, της Μακρυνίτσας, της Σκιάθου, του Στεφανοβικείου και της Ιστιαίας. Τα βροχομετρικά δεδομένα για τους σταθμούς Αγχιάλος, Ιστιαία, Μακρυνίτσα και Στεφανοβίκειο προέρχονται από την διαχειριστική μελέτη υδατικών πόρων λεκάνης απορροής του ποταμού Πηνειού, ΥΠΕΧΩΔΕ (2006), με περίοδο καταγραφής βροχομετρικών δεδομένων από το 1980 έως το 2000. Για τον σταθμό του Βόλου από τους Ναλμπάντη & Κουτσογιάννη (1997) και για τον σταθμό της Σκιάθου από Ε.Μ.Υ., (2010) με περίοδο καταγραφής βροχομετρικών δεδομένων από το 1980 έως το 2001. Οι τιμές του μέσου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης του κάθε σταθμού παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.5.

Πίνακας 2.2.5: Μετεωρολογικοί σταθμοί και μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης.

Σταθμός	Υπηρεσία	Υψόμετρο (μ.)	Μέσο ετήσιο Ύψος βροχόπτωσης (χλστ.)
Βόλος	ΕΜΥ	7	466,8
Αγχιάλος	ΕΜΥ	15	464,6
Μακρυνίτσα	ΥΠΕΧΩΔΕ	690	793,2
Στεφανοβίκειο	ΥΠΓΕ	54	496,8
Σκιάθος	ΕΜΥ	9.5	642,9
Ιστιαία	ΥΠΕΧΩΔΕ	45	700,3

Σύμφωνα με την μελέτη της ΝΑΜ (2005) η περιοχή του Πηλίου με τα παραλία της παρουσιάζει λόγω της έντονης εναλλαγής του ανάγλυφου σημαντικές και απότομες αλλαγές του κλίματος. Το μικρόκlima επίσης υφίσταται διαφοροποιήσεις λόγω της έντονης τοπογραφίας και των ισχυρών ανέμων που συνήθως προέρχονται από το Αιγαίο Πέλαγος.

Στην περιοχή μπορούν να διακριθούν δυο διακριτές περιοχές με διαφορετικούς κλιματικούς παράγοντες.

Το βόρειο και το ανατολικό τμήμα του Πηλίου, όπου το κλίμα κυμαίνεται από παραθαλάσσιο ως ορεινό. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι χαμηλότερη. Η σχετική υγρασία και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι υψηλότερα ενώ οι άνεμοι που επικρατούν είναι οι Βόρειοι (ΕΑΑ, σταθμοί Ζαγοράς και Μακρυνίτσας).

Στο νότιο και δυτικό τμήμα του Πηλίου, η θερμοκρασία παρουσιάζεται ελαφρώς υψηλότερη ενώ η σχετική υγρασία και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι χαμηλότερα. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι Βόρειοι από τον Οκτώβριο

ως τον Απρίλιο και Νότιοι κατά τους θερινούς μήνες (ΕΑΑ, σταθμός Αργαλαστής).

2.3 Γεωτεκτονικά στοιχεία

Η περιοχή του Πηλίου και γενικότερα ο χώρος της Μαγνησίας παρουσιάζει πολύ έντονο ενδιαφέρον από άποψη γεωλογική κοιτασματολογική, τεκτονική και σεισμολογική και από πολύ νωρίς προκάλεσε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Πρώτοι την περιοχή του Πηλίου από πετρογραφική άποψη την μελέτησαν ο Georgiades (1937, 1942, 1954) και ο Τάταρης (1960, 1971). Ο Μαρίνος (1954) και οι Μαρίνος κ.ά. (1957, 1962) έκαναν τις πρώτες γεωλογικές χαρτογραφήσεις σε κλίμακα 1:50000. Με την γεωλογία του Αλπικού υποβάθρου ασχολήθηκαν οι Schneider (1962) και Ferriere (1973, 1976, 1977).

2.3.1 Λιθοστρωματογραφία

Από γεωτεκτονική άποψη η περιοχή μελέτης ανήκει στις εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες και πιο συγκεκριμένα στην Πελαγονική ζώνη η οποία καθιερώθηκε από τους Bruhn (1956) και Aubouin (1957). Στην Πελαγονική ενότητα υπάρχουν μεταμορφωμένα πετρώματα παλαιοζωικής ηλικίας και ιζηματογενείς σχηματισμούς του μεσοζωικού να υπέρκεινται των μεταμορφωμένων παλαιοζωικών μαζών τις Δυτικής Μακεδονίας, Ανατολικής Θεσσαλίας και Βόρειας Εύβοιας (Μουντράκης, 1983).

Τα αλπικά πετρώματα της ζώνης που εμφανίζονται στην περιοχή είναι (Γαλανάκης, 1997; Κατσικάτσος κ.ά., 1983) (πίνακας 2.3.1):

-Γνεύσιοι, Αμφιβολίτες, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και κατά θέσεις στα ανώτερα μέλη ενστρώσεις μαρμάρων και σιπολινών του Παλαιοζωικού.

-Σχιστόλιθοι (αμφιβολιτικοί, μαρμαρυγικοί, επιδοιτικοί, Χαλαζιακοί), φυλλίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι-μάρμαρα ηλικίας μεταβατικής του Περμίου στο Μέσο-Άνω Τριαδικό.

-Ανθρακικά ιζήματα και φλύσχης του Κρητιδικού-Παλαιογενούς που περιλαμβάνουν:

α) Ασβεστόλιθους λεπτοπλακώδεις κλαστικούς έως μαργαικούς, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και πηλίτες του Άλβιου-Κενομανίου.

β) Επικλυσιογενείς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους του Κενομανίου-Μέσο Σενωνίου.

Τα μάρμαρα και οι σχιστόλιθοι που αναπτύσσονται στην περιοχή έχουν εκμεταλλευτεί από τον άνθρωπο εντατικά ανά τους αιώνες και η εκμετάλλευση συνεχίζεται και σήμερα καθιστώντας τον νομό τρίτο σε όλη την χώρα στην παραγωγή μαρμάρου και πλάκες επιστρώσεων (ANEM, 2012).

Τα μεταλλικά που απαντώνται στο Πήλιο είναι Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας (Γαλανάκης, 1997, Κατσικάτσος κ.ά., 1986).

Τα νεογενή βρίσκονται σε πολύ μικρές και αποκομμένες μεταξύ τους θέσεις και κατά κύριο λόγο στις νοτιοανατολικές ακτές του Πηλίου. Αποτέθηκαν κατά την διάρκεια του Πλειοκαίνου, είναι κατά βάση λιμναίας και ποταμοχειμάριας φάσης και έχουν υπολειμματικό χαρακτήρα.

Κατά θέσεις εμφανίζονται κροκαλοπαγή βάσης τα οποία είναι ποταμοχειμάριας προέλευσης και εμφανίζουν γρήγορες πλευρικές μεταβάσεις και μικρές τραβερτινοειδείς αποθέσεις εντός του σχηματισμού.

Υπερκείμενος στα κροκαλοπαγή βάσης αναπτύσσεται σχηματισμός λιμναίων αργιλικών μαργών με λεπτές ενστρώσεις λιγνιτών, ηλικίας Κάτω Πλειόκαινου.

Μάργες, των οποίων η ιζηματογένεση συνεχίστηκε και κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο,. Σε διάστημα ημιξηρασίας είχαμε την δημιουργία ενστρώσεων ασβεστομικριτικών πετρωμάτων της φάσης "caliche".

Τα τεταρτογενή της περιοχής είναι καθαρά χερσαίας προέλευσης και καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση. Αποτελούνται κυρίως από κώνους κορημάτων, λατυποπαγή και πλευρικά κορήματα.

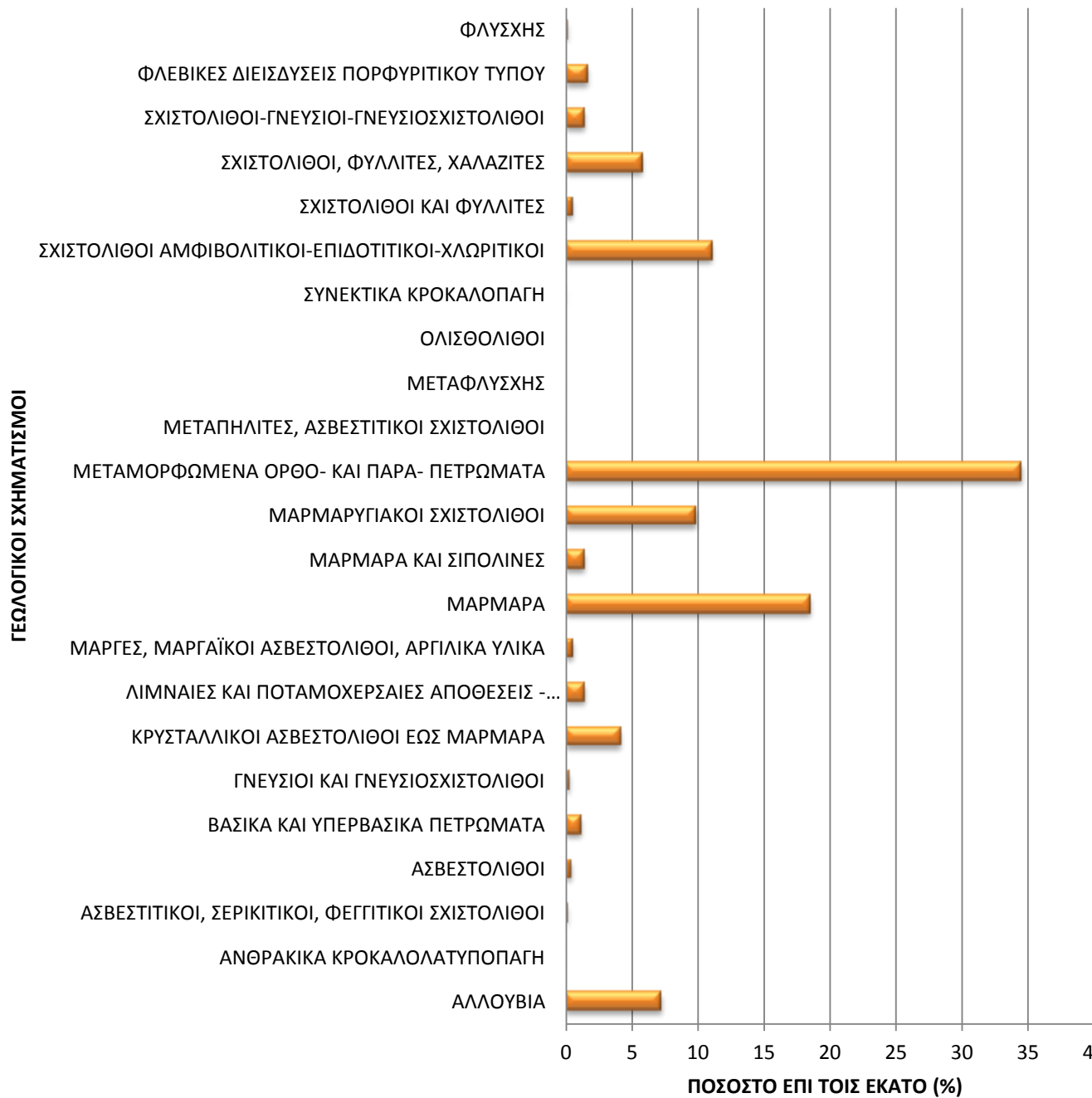
Πίνακας 2.3.1: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής βάση των γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., 1978.

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Ηλικία σχηματισμού	Γεωτεκτονική ζώνη
Αλλούβια	Ολόκαινο	Μεταλλικά
Λιμναίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις-κροκαλοπαγή	Πλειόκαινο	Μεταλλικά
Μάργες-μαργαίοι ασβεστόλιθοι-αργιλικά υλικά	Πλειόκαινο	Μεταλλικά
Φλεβικές διεισδύσεις πορφυρικού τύπου	Ηώκαινο	Όξινες Φλεβικές διεισδύσεις
Ανθρακικά κροκαλολατυποπαγή	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Ασβεστόλιθοι	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι έως μάρμαρα	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Μεταπηλίτες-ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Μεταφλύσχης	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Ολισθόλιθοι	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική

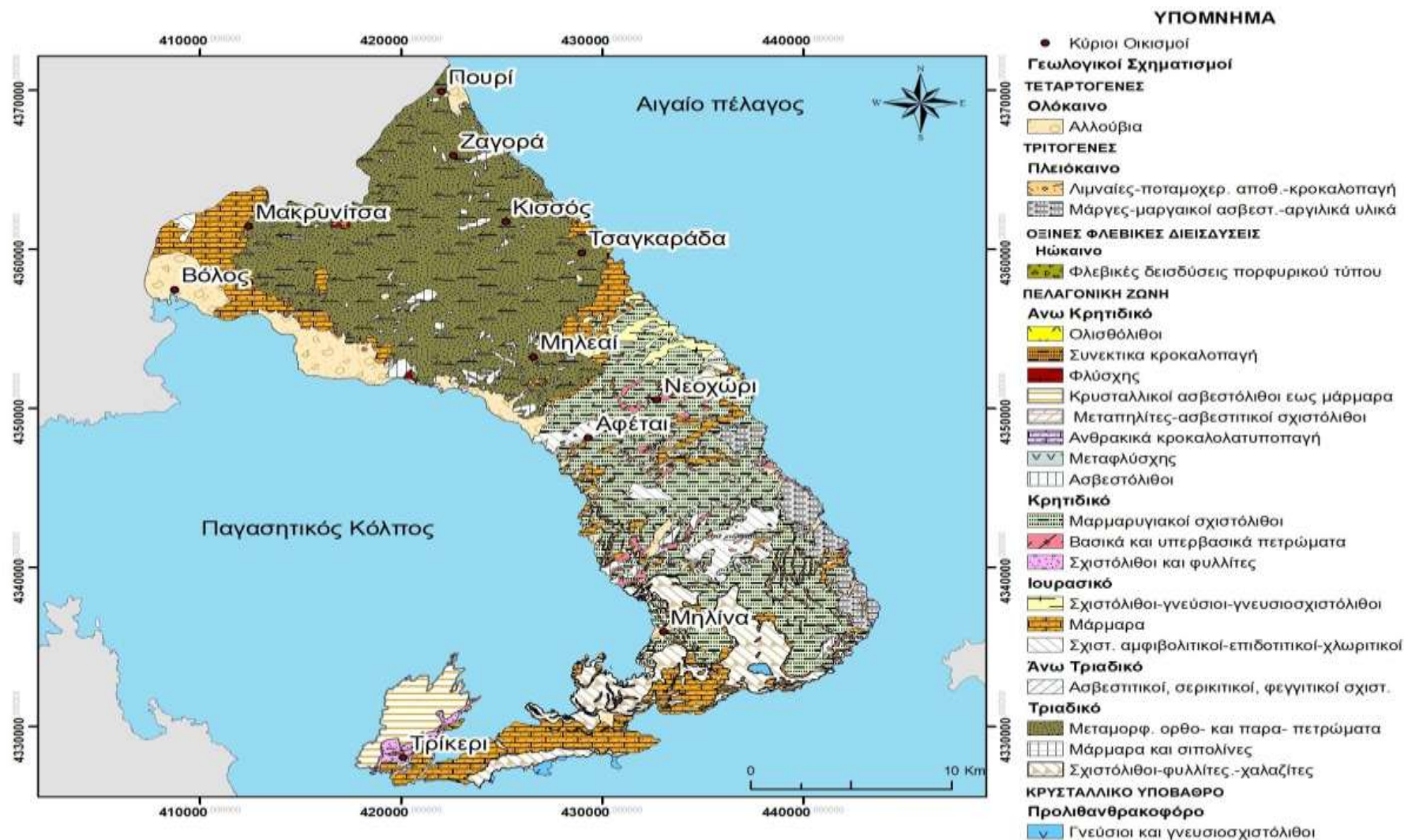
Συνεκτικά κροκαλοπαγή	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Φλύσξης	Άνω Κρητιδικό	Πελαγονική
Βασικά και υπερβασικά πετρώματα	Κρητιδικό	Πελαγονική
Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι	Κρητιδικό	Πελαγονική
Σχιστόλιθοι και φυλλίτες	Κρητιδικό	Πελαγονική
Μάρμαρα	Ιουρασικό	Πελαγονική
Σχιστόλιθοι αμφιβολιτικοί-επιδοιτικοί-χλωριτικοί	Ιουρασικό	Πελαγονική
Σχιστόλιθοι-γνεύσιοι-γνευσιοσχιστόλιθοι	Ιουρασικό	Πελαγονική
Ασβεστιτικοί, σερικιτικοί, φεγγιτικοί σχιστόλιθοι	Άνω Τριαδικό	Πελαγονική
Μάρμαρα και σιπολίνες	Τριαδικό	Πελαγονική
Μεταμορφωμένα ορθο- και παρα- πετρώματα	Τριαδικό	Πελαγονική
Σχιστόλιθοι-φυλλίτες.-χαλαζίτες	Τριαδικό	Πελαγονική
Γνεύσιοι και γνευσιοσχιστόλιθοι	Προλιθανθρακοφόρο	Κρυσταλλικό υπόβαθρο

Για την δημιουργία του χάρτη Γεωλογικών σχηματισμών (χάρτης του σχήματος 2.3.1.2) της περιοχής έγινε χρήση των Γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ και συγκεκριμένα τα φύλλα Βόλος, Αργαλαστή και Ζαγορά. Στο σχήμα 2.3.1.1 παρουσιάζεται γράφημα όπου παρουσιάζεται το ποσοστό εμφάνισης του κάθε σχηματισμού, επί της συνολικής έκτασης των σχηματισμών, στην περιοχή μελέτης. Ο υπολογισμός της έκτασης του κάθε σχηματισμού πραγματοποιήθηκε με την ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών και την εύρεση της έκτασης που εμφανίζεται ο κάθε σχηματισμός επί της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης.

Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της έκτασης που καταλαμβάνουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί



Σχήμα 2.3.1.1: Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της έκτασης που καταλαμβάνουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 2.3.1.2: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης.

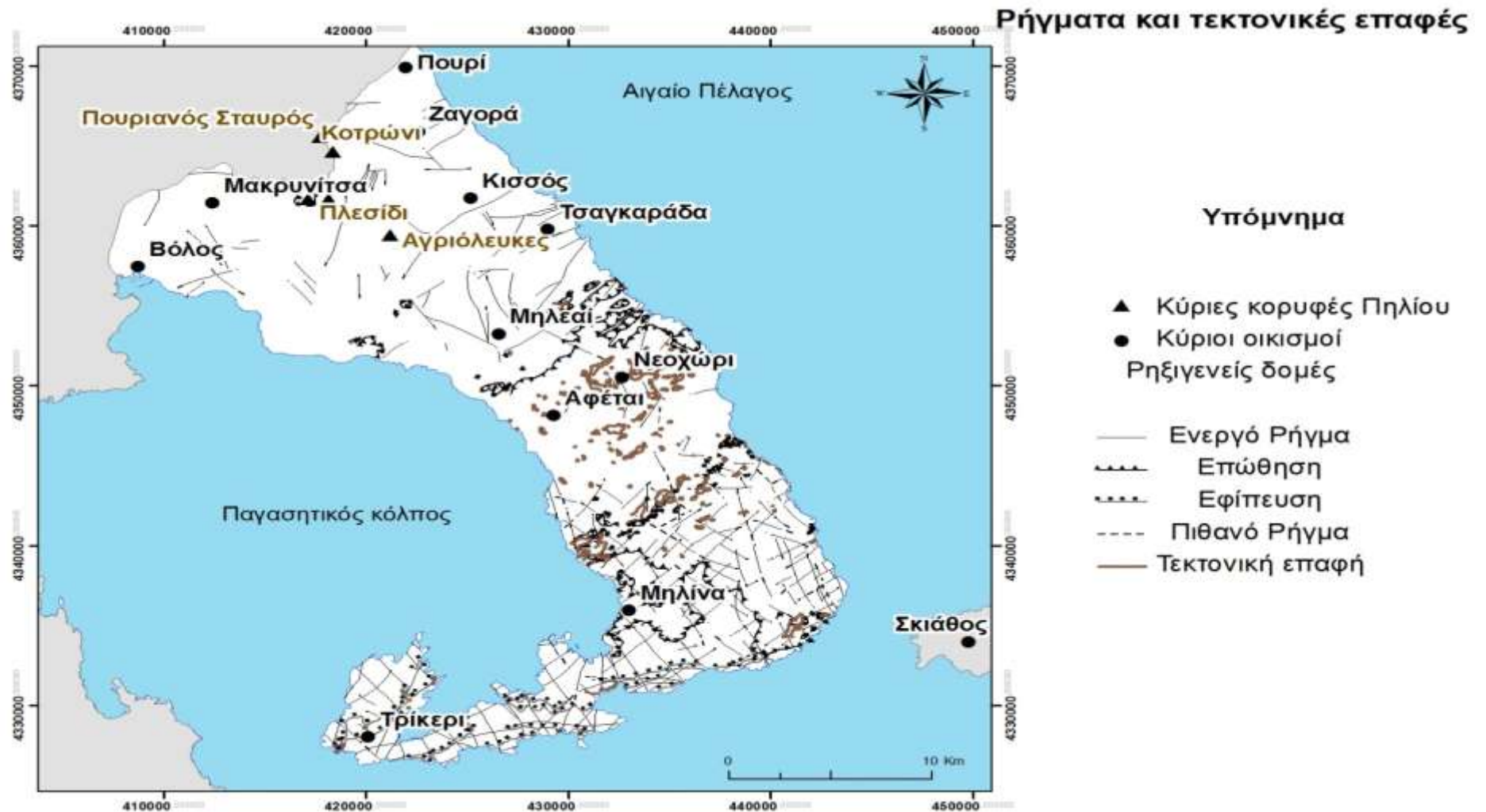
2.3.2 Τεκτονική-Σεισμικότητα

Η περιοχή μελέτης εμφανίζεται έντονα τεκτονισμένη, έχοντας πλούσια νεοτεκτονική δράση (Πιτιλάκης κ.ά., 2010) (σχήμα 2.3.2.1). Τα διαρρηκτικά συστήματα που κατακερμάτισαν έντονα την περιοχή λειτούργησαν μετά την ολοκλήρωση του αλπικού κύκλου ορογένεσης σχηματίζοντας συστήματα τεκτονικών κεράτων και βυθισμάτων. Συγκεκριμένα παρατηρείται το βύθισμα του Αλμυρού–Παγασητικού και το τεκτονικό κέρασ της Όρθρυς με γενική διεύθυνση Α-Δ, το τεκτονικό κέρασ του Πηλίου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και το βύθισμα του δίαυλου Ωρεών-Τρικεριού με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ.

Οι κύριες διευθύνσεις των τεκτονικών ρηγμάτων της περιοχής ακολουθούν τις εξής 4 κύριες ομάδες (Γαλανάκης, 1997): ΒΑ-ΝΔ, ΑΒΑ-ΔΝΔ (ρήγμα Νέας Αγχιάλου), ΔΒΔ-ΑΝΑ, ΒΒΔ-ΝΝΑ.

Οι Πιτιλάκης κ.ά. (2010) με βάση την τεκτονική μελέτη του Mercier et al. (1976) αναφέρουν ότι η τεκτονική της ευρύτερης περιοχής είναι παρόμοια με την τεκτονική του νοτίου Αιγαίου με τα κανονικά, εφελκυστικά ρήγματα με την μικρή οριζόντια συνιστώσα. Οι κύριες νεοτεκτονικές δομές της περιοχής είναι η σεισμική ζώνη της Νέας Αγχιάλου, των Φαρσάλων και του Πηλίου. Το ρήγμα της Νέας Αγχιάλου είναι αυτό που έδωσε το σεισμό Μεγέθους 6,5 Ρίχτερ τον Ιούλιο του 1980. Οι πηγές που μπορούν να προκαλέσουν τους μεγαλύτερους σεισμούς στην περιοχή είναι το ρήγμα της Ν. Αγχιάλου, των Φαρσάλων και του Πηλίου (Πιτιλάκης κ.ά., 2010).

Από την μελέτη του σεισμικού καταλόγου της Ελλάδας (Παπαζάχος & Παπαζάζου, 2003) και από τα σεισμολογικά δεδομένα για την περιοχή προκύπτει ότι όλη η περιοχή του Νομού Μαγνησίας βρίσκεται σε ζώνη υψηλής σεισμικής δράσης. Ο μεγαλύτερος γνωστός σεισμός στον Νομό ήταν τον Μάρτιο του 1957 στο Βελεστίνο με μέγεθος 6,8. Ενώ μακροσεισμικά έχει μετρηθεί για το 1905 σεισμός μεγέθους 10 της κλίμακας Mercalli. Στην περιοχή έχουν καταγραφεί 12 σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο του 6, ενώ έχουν αναφερθεί 5 θύματα από σεισμούς για το χρονικό διάστημα 1743-1980 (Μουτσοκάπας κ.ά., 2010).



Σχήμα 2.3.2.1: Τεκτονικές δομές της περιοχής μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δεδομένα

Η κατολίσθηση είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο αποτελεί τμήμα του γεωμορφολογικού κύκλου κατά την αέναη διαμόρφωση του τοπογραφικού αναγλύφου. Οι κατολισθήσεις συνδέονται άμεσα με την ανθρώπινη δραστηριότητα γιατί αφενός μεν οι ανθρώπινες κατασκευές αποτελούν τις περισσότερες φορές την αφορμή για την έναρξη του φαινομένου αφετέρου δε οι καταστροφικές τους συνέπειες επηρεάζουν άμεσα τον άνθρωπο (Μπαθρέλλος & Σκυλοδήμου, 2006).

Για την εκδήλωση της κατολίσθησης συνήθως συντείνουν πολλοί παράγοντες οι πιο συνήθεις είναι η γεωλογική δομή, η λιθολογική σύσταση, ο τεκτονισμός, η διάβρωση, η μορφολογία του εδάφους, οι κλιματικές συνθήκες και φυσικά η καθοριστική τις περισσότερες φορές επίδραση του ανθρώπου. Η δράση των παραγόντων προκαλεί αύξηση της αστάθειας και την έναρξη του κατολισθητικού φαινομένου.

Η περιοχή που πραγματοποιήθηκε η μελέτη έχει παρουσιάσει επανηλειμένα προβλήματα από κατολισθητικά φαινόμενα με τις περισσότερες καταστροφές να έχουν λάβει χώρα στο οδικό δίκτυο και στους ορεινούς οικισμούς του ΒΑ Πηλίου. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων και η δημιουργία θεματικών χαρτών με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου θα έχει σημαντικά οφέλη στην περιοχή λόγω του καλύτερου σχεδιασμού των τεχνικών έργων και του μετριασμού των καταστροφικών συνεπειών του φαινομένου (Μπαθρέλλος & Σκυλοδήμου, 2008; Μπαθρέλλος κ.α., 2010; Bathrellos et al., 2012).

Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας στην περιοχή του Πηλίου πραγματοποιήθηκε η εύρεση του δείκτη επικινδυνότητας της περιοχής με την χρήση του στατιστικού δείκτη "Λόγος Συχνότητας" (Frequency Ratio). Για τις ανάγκες του υπολογισμού του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των κατολισθήσεων από την εργασία υπαίθρου, μελετήθηκαν οι παράγοντες που κινητοποιούν τα φαινόμενα και η επεξεργασία έγινε με το ΓΣΠ μέσω του οποίου υπολογίστηκε ο βαθμός επίδρασης του κάθε παράγοντα και ο τελικός υπολογισμός της διαβάθμισης της επικινδυνότητας στην περιοχή.

Αναλυτικά τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της περιοχής ήταν:

- Βιβλιογραφικά δεδομένα.

- Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000. Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη της περιοχής μελέτης ήταν τα ακόλουθα: Αργαλαστή, Βόλος, Ζαγορά, Σκιάθος και Συκή.
- Γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα γεωλογικά φύλλα Αργαλαστή, Βόλος και Ζαγορά.

Τα προβλήματα από τις κατολισθήσεις στο όρος Πήλιο είναι ένα μακράινο φαινόμενο και έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές ειδικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Η πρώτη μελέτη που εξετάζει τα προβλήματα των κατολισθήσεων στο Πήλιο, και πιο συγκεκριμένα στο Ανήλιο, είναι του Μαρίνου (1946). Πριν την εργασία υπαίθρου προηγήθηκε η μελέτη όλων των προηγούμενων δημοσιεύσεων και μελετών που έχει διενεργήσει το ΙΓΜΕ σε όλες τις πληγείσες περιοχές των Δήμων και κοινοτήτων κατά τα παρελθόντα χρόνια. Στις μελέτες αυτές εκτός από το ότι υποδεικνύονται οι ακριβείς θέσεις των κατολισθήσεων γίνεται επίσης αναφορά των παραγόντων που έδρασαν για την κινητοποίηση του φαινομένου καθώς επίσης προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης των φαινομένων. Οι μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Κυνηγαλάκη & Χατζηνάκος, 1991, Χατζηνάκος, 1989, Αποστολίδης & Χατζηνάκος, 1989, Ελευθερίου & Χατζηνάκος, 1987, Τζίτζιρας, 1980, Κούκης, 1980, Ελευθερίου, 1985, Ορφανός, 1971, Αγγελίδης κ.ά., 1996; Τζίτζιρας, 2002, Μπέλλας, 2003, Βότσογλου, 2003, Μπέλλας, 2004, Μπέλλας, 2010.

Για την ψηφιοποίηση μέσω του ArcGIS του οδικού δικτύου, του υδρογραφικού δικτύου και τον χάρτη ισοϋψών χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού σε κλίμακα 1:50.000.

Για την ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών και των τεκτονικών επαφών και ρηγμάτων έγινε χρήση γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε. σε κλίμακα 1:50.000.

Η εργασία υπαίθρου πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια των ετών 2013-2014. Κατά την διάρκεια της έγινε αρχικά έλεγχος των κατολισθήσεων, που είχαν αναφερθεί παλαιότερα στην περιοχή, αν είναι ακόμα ενεργές. Στην συνέχεια χαρτογραφήθηκαν όλες οι καινούριες κατολισθήσεις (με μήκος στέψης άνω των 5 μέτρων). Οι περισσότερες κατολισθήσεις (παλαιότερες και καινούριες) διαπιστώθηκε ότι βρισκόταν κατά μήκος του οδικού άξονα και εντός των οικιστικών περιοχών. Συνολικά χαρτογραφήθηκαν 386 κατολισθήσεις και ψηφιοποιήθηκαν ως πολύγωνα με το λογισμικό πακέτο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ArcGIS. Από τα συνολικά κατολισθητικά φαινόμενα που διαπιστώθηκαν αφαιρέθηκε με τυχαία επιλογή ένα 10% των συνολικών κατολισθήσεων το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον τελικό έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου επικινδυνότητας.

3.2 Παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων

Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων βάση των συμπερασμάτων της εργασίας υπαίθρου και της μελέτης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας για την περιοχή. Οι παράγοντες αυτοί είναι: η λιθολογία, η τεκτονική δραστηριότητα, οι μορφολογικές κλίσεις, ο προσανατολισμός των κλιτύων, το υδρογραφικό δίκτυο, το οδικό δίκτυο, οι χρήσεις γης και οι βροχοπτώσεις. Στην συνέχεια θα αναλυθεί ο κάθε παράγοντας ξεχωριστά.

3.2.1 Λιθολογία

Μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης είναι η λιθολογική σύσταση και δομή των πετρωμάτων της περιοχής (Κούκης & Ρόζος, 1982, Δημόπουλος, 1986, Στουρνάρας, 1989). Η μικρή διατμητική αντοχή των πετρωμάτων που οδηγεί στην εκδήλωση κατολισθητικού φαινομένου μπορεί να οφείλεται στην:

- Εναλλαγή πετρωμάτων με διαφορετικές φυσικές-μηχανικές παραμέτρους.
- Λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων, των οποίων η διατμητική αντοχή μπορεί να είναι μικρή λόγω της αρχικής σύστασης και υφής του πετρώματος είτε λόγω κάποιας δευτερογενούς μεταβολής στη σύσταση.
- Πρωτογενή δομή των πετρωμάτων (στρώσεις, ασυμφωνίες, κατακόρυφες και πλευρικές μεταβάσεις).
- Ύπαρξη ζωνών που χαρακτηρίζονται από έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα (Κούκης & Ρόζος, 1982).

Οι σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή ληφθήκαν από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. Στην συνέχεια για να μελετηθεί η επίδραση των σχηματισμών στην εκδήλωση των κατολισθήσεων έγινε ο διαχωρισμός τους με βάση τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά (Κούκης & Ρόζος, 1982) σε ενοποιημένες κατηγορίες οι οποίες είναι:

-Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Παρουσιάζουν μεταβολή των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους ανάλογα με την λιθολογική σύσταση και κοκκομετρία, ενώ η γεωμηχανική συμπεριφορά τους ελέγχεται από τα ανωτέρω αλλά και από το πάχος των αποθέσεων και την κλίση του εδάφους. Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί παρουσιάζουν ταχείες πλευρικές μεταβολές στη λιθολογική

σύσταση, οι οποίες προκαλούν, σε μακροκλίμακα, ισχυρή ανισοτροπία στη μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού (Ρόζος, 2005).

-Νεογενείς σχηματισμοί

Σχηματισμοί οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλή συνεκτικότητα εμφανίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην κατασκευή τεχνικών έργων. Η πιθανή παρουσία διογκούμενων αργιλικών ορυκτών, προκαλεί φαινόμενα διόγκωσης και συρρίκνωσης σε συχνή επανάληψη, με τελικό αποτέλεσμα την χαλάρωση ή και την καταστροφή της δομής του πετρώματος.

Η μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού είναι συνάρτηση της φάσεως που επικρατεί και της εξελίξεως αυτής πλευρικά και κατακόρυφα, του τεκτονισμού, της μορφολογίας και των υδρογεωλογικών συνθηκών. Σε περίπτωση εναλλαγών, όπου έχουμε ανομοιομορφία του υλικού, μανδύα αποσαθρώσεως σημαντικού πάχους ή θεμελίωση εμφανίζει μεγάλες δυσκολίες (Ρόζος, 2005).

-Ανθρακικά πετρώματα

Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή δευτερογενή περατότητα και υψηλές τιμές μηχανικών αντοχών του πετρώματος, ενώ η συμπεριφορά της βραχομάζας είναι συνήθως ικανοποιητική για την θεμελίωση τεχνικών έργων. Αστοχίες στα πρηνή παρατηρούνται συνήθως ως καταπτώσεις βραχωδών μαζών στις περιπτώσεις ισχυρών κλίσεων και αυξημένης δευτερογενούς χαλάρωσης της βραχομάζας ή διατάραξης της φυσικής ισορροπίας και δυναμικών φορτίσεων (Ρόζος, 2005).

-Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα

Παρουσιάζουν κατά κανόνα υψηλές μηχανικές αντοχές και καλή συμπεριφορά στις θεμελιώσεις τεχνικών έργων. Στα φυσικά και τεχνητά πρηνή εξασφαλίζονται συνθήκες ευστάθειας, ακόμη και με ισχυρές κλίσεις, με την επιφύλαξη των περιπτώσεων όπου η πυκνή τοπικά διάρρηξη και ο δυσμενής προσανατολισμός των ασυνεχειών, σε συνδυασμό με τις υποσκαφές, δεν προκαλούν αποκολλήσεις και καταπτώσεις βραχωδών μαζών.

Σπανίως μπορούν να παρατηρηθούν ολισθήσεις και μετακινήσεις μαζών σε περιορισμένη έκταση λόγω της παρουσίας αποσαθρωμένων σχιστολιθικών ενστρωσεων σε συνδυασμό με τη δράση του νερού κατά μήκος αυτών και την ομόρροπη κλίση των ασυνεχειών (Ρόζος, 2005).

-Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα

Φυλλίτες συνήθως σερικιτικοί, ασβεστιτικοί, χλωριτικοί και σπανιότερα επιδοιτικοί σχιστόλιθοι. χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης. Είναι σχηματισμοί

επιρρεπείς στην αποσάρθρωση λόγω στο ότι καλύπτονται συχνά από χαλαρό εδαφικό μανδύα σημαντικού πάχους. Σε υγιή κατάσταση οι φυλλιτικοί σχηματισμοί (ιδιαίτερα οι πλούσιοι σε πυριτικά και ασβεστίτικα στοιχεία) χαρακτηρίζονται από υψηλές μηχανικές αντοχές και ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει επίδραση δευτερογενών διεργασιών (ορυκτολογικές εξαλλοιώσεις με σχηματισμό αργιλικών ορυκτών, ισχυρή δράση των αποσθρωτικών παραγόντων, τεκτονική καταπόνηση) οι φυλλιτικοί σχηματισμοί πολύ συχνά εμφανίζουν έντονη αστάθεια και χαλάρωση μέχρι σημαντικού βάθους, με σοβαρό υποβιβασμό των μηχανικών αντοχών, ιδιαίτερα της διατμητικής αντοχής. Τα σοβαρότερα κατολισθητικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα κατά μήκος επιφανειών αδυναμίας των φυλλιτικών στρωμάτων (Ρόζος, 2005).

-Μεταμορφωμένα πετρώματα

Στεγανοί σχηματισμοί με τέλεια σχιστότητα και μεγάλο πάχος, με χαρακτηριστική ομοιογένεια και ικανοποιητική ομοιόμορφη συμπεριφορά σε στατικές και δυναμικές φορτίσεις. Σε υγιή κατάσταση χαρακτηρίζονται από υψηλές μηχανικές αντοχές. Παρ' αυτά οι περισσότεροι λιθολογικοί τύποι είναι εύαποσάθρωτοι και καλύπτονται από χαλαρό εδαφικό μανδύα κυμαινόμενου πάχους. Η γεωμηχανική συμπεριφορά και οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από την ένταση και την έκταση των δευτερογενών διεργασιών (ενδογενών και εξωγενών), που συνδέονται οπωσδήποτε με την αρχική λιθολογική σύσταση. Οι ενδογενείς διεργασίες εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης οδηγούν συχνά στην εμφάνιση χαλαρωμένου πετρώματος σε σημαντική βάθος (πολλές φορές μη αναμενόμενα) και μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση σοβαρών αστοχιών (Ρόζος, 2005).

-Βασικά και Υπερβασικά πετρώματα

Έχουν μικρή ανάπτυξη ιδιαίτερα στο χώρο του κεντρικού Πηλίου. Συχνά εμφανίζονται στα ανώτερα τμήματα έντονα εξαλλοιωμένοι και αποσθρωμένοι, καλυπτόμενοι από παχύ μανδύα αποσάθρωσης. Είναι γενικά στεγανοί σχηματισμοί, οι έντονα όμως διαρρηγμένες ζώνες παρουσιάζουν αυξημένη περατότητα. Τα φυσικά πρηνή παραμένουν ευσταθή και με ισχυρές κλίσεις, ενώ οι εδαφικές κινήσεις συνήθως περιορίζονται στο μανδύα και είναι τοπικής κλίμακας. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της μηχανικής συμπεριφοράς είναι η εμφάνιση εντός της βραχομάζας λείων επιφανειών κατά μήκος ζωνών διαρρήξεων ή διακλάσεων και η ανάπτυξη τάσεων ολίσθησης τοπικού συνήθως χαρακτήρα (Ρόζος, 2005).

Ο κάθε σχηματισμός του χάρτη αρχικώς ψηφιοποιήθηκε ως πολυγωνική ενότητα και κατόπιν έγινε η κατηγοριοποίηση του με βάση τεχνικογεωλογικά του χαρακτηριστικά.

3.2.2 Τεκτονικά στοιχεία

Η επίδραση της τεκτονικής στην εκδήλωση της κατολίσθησης είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς προκαλεί μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων μέσω της υποβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας, φέρνοντας σε επαφή σχηματισμούς διαφορετικών μηχανικών χαρακτηριστικών, δημιουργώντας επιφάνειες ασυνέχειας και επιδρώντας στις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη μορφολογία (Varnes, 1984; Μπαθρέλλος, 2005; Ρόζος, 2007; Τσαγγαράτος, 2012). Συνεπακόλουθα η δημιουργία ζωνών επιρροής εκατέρωθεν των τεκτονικών χαρακτηριστικών, ρηγμάτων, επιπτώσεων και επωθήσεων, κρίνεται απαραίτητη για την εύρεση της επικινδυνότητας της περιοχής σε κατολίσθηση.

Για να διερευνηθεί η επίδραση των τεκτονικών επαφών στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων καταρτιστήκαν ζώνες επιρροής, σε αποστάσεις των 50, 100, 150, 200 και >200 μ. γύρω από τις τεκτονικές γραμμές.

3.2.3 Μορφολογικές κλίσεις (Slope)

Η υψομετρική πληροφορία για την περιοχή μελέτης λήφθηκε από τις ισοϋψείς καμπύλες, με ισοδιάσταση 20 μ., των τοπογραφικών χαρτών της περιοχής.

Η ανάλυση της πληροφορίας, που παρέχεται στους τοπογραφικούς χάρτες, πραγματοποιήθηκε με την επεξεργασία των δεδομένων από το ArcGIS μέσω της χρήσης της μεθόδου επεξεργασίας χωρικών δεδομένων των Τριγωνικών Δικτύων Αναγλύφου (TIN, Triangulate Irregular Network). Το TIN είναι μια αναπαράσταση με δομικά στοιχεία επίπεδα τα οποία καθορίζονται από τρία σημεία στο χώρο. Ο προσδιορισμός του υψομέτρου γίνεται μέσω της γραμμικής παρεμβολής των 3 σημείων. Από το TIN έγινε η τελική σύνθεση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (αναγλύφου) ή Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (DTM ή DEM). Με την χρήση του DEM, μπορεί να γίνει η σύνθεση και η αναπαράσταση των διαφόρων τοπογραφικών μεταβλητών. Η σύνθεση του DEM στην παρούσα εργασία έγινε με σκοπό την εύρεση της κλίσης και του προσανατολισμού των πρανών, παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Rozos et al., 2008).

Σύμφωνα με τους McDermid & Franklin (1995) οι κατολισθήσεις εμφανίζονται συχνότερα στις απότομες μορφολογικές κλίσεις εξαιτίας του γεγονότος ότι με την αύξηση της κλίσης του πρανούς προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της διατμητικής τάσης, της κατακόρυφης συνιστώσας του βάρους.

Η εύρεση των μορφολογικών κλίσεων της περιοχής δημιουργήθηκε, στο περιβάλλον του ArcGIS, μέσω του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου

Εδάφους. Το αρχείο της κλίσης των πρηνών είναι σε μορφή raster με μέγεθος ψηφίδας (pixel) 20x20 μ.

Οι μορφολογικές κλίσεις της περιοχής υπολογιστήκαν σε μοίρες, με εύρος τιμών από 0 έως 72 μοίρες, και ομαδοποιήθηκαν στις εξής 5 κατηγορίες, < 5°, 5-15°, 15-30°, 30-45°, >45°.

3.2.4 Προσανατολισμός των πρηνών (Aspect)

Ο προσανατολισμός (αζιμούθιο) των πρηνών είναι ένας από τους παράγοντες που πρέπει να εξετάζεται καθώς επηρεάζει έμμεσα τα κατολισθητικά φαινόμενα. Διαφορετικός προσανατολισμός των πρηνών συνεπάγεται διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες (διάρκεια και ένταση ηλιακού φωτός, ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία, κ.λπ.) και συνεπακόλουθα διαφορετικό είδος και πυκνότητα βλάστησης, με την βλάστηση να επηρεάζει άμεσα την ευστάθεια του πρηνούς (Bohnam, 1994, Cevik & Topal, 2003).

Ο χάρτης που αποδίδει τον προσανατολισμό των πρηνών στην περιοχή μελέτης δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του εργαλείου aspect του ArcGIS. Η λειτουργία aspect ουσιαστικά υπολογίζει την διεύθυνση της κλίσης. Οι τιμές του αρχείου που προκύπτει με την εφαρμογή του είναι ο προσανατολισμός της κεκλιμένης επιφάνειας εκφρασμένος σε μοίρες.

Ο προσανατολισμός των πρηνών ομαδοποιήθηκε στις εξής κατηγορίες: 0°-45°, 46°-90°, 91°-135°, 136°-180°, 181°-225°, 226°-280°, 281°-315°, 316°-360°.

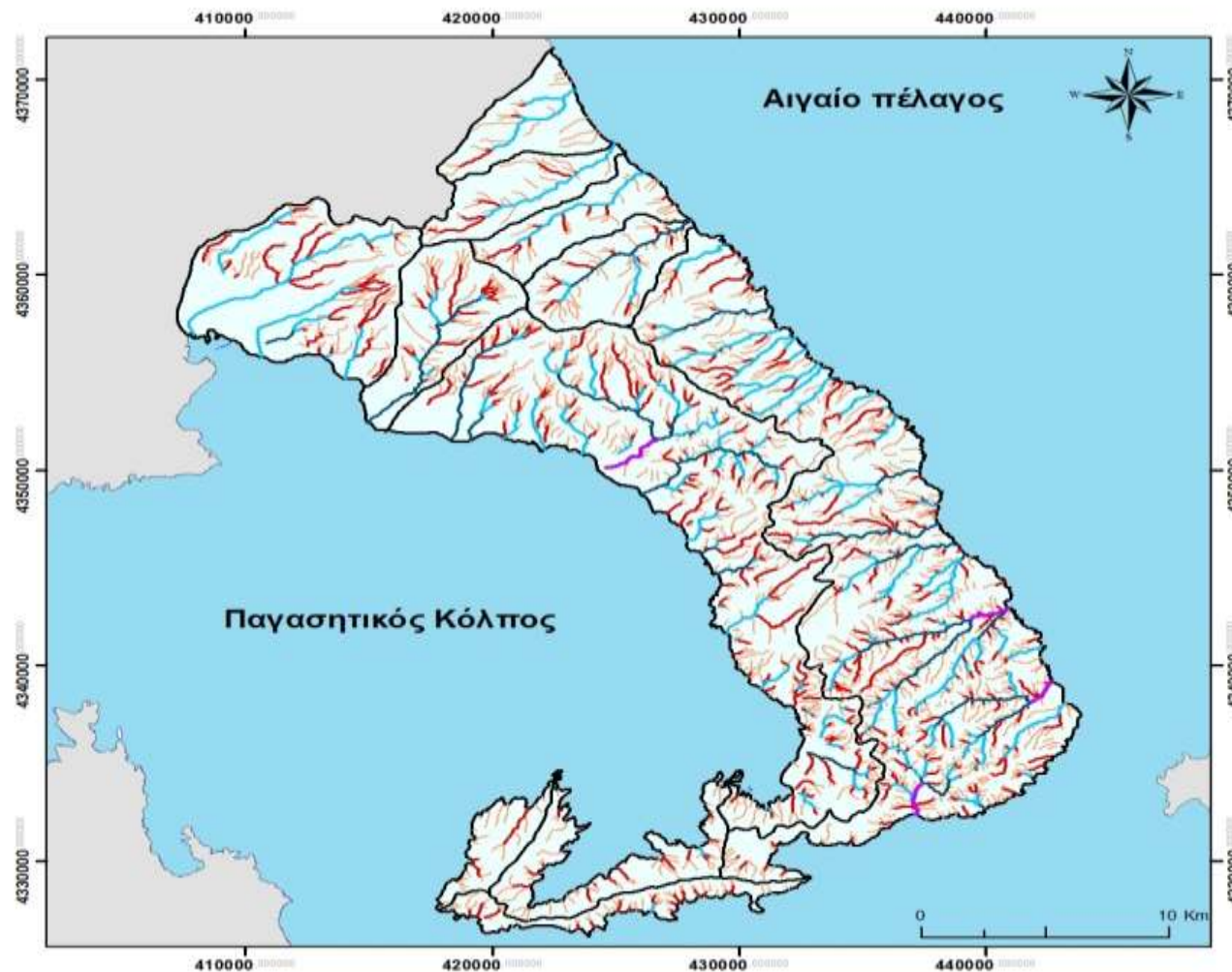
3.2.5 Υδρογραφικό δίκτυο

Οι αποστάσεις από τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου είναι από τους σημαντικούς παράγοντες ενεργοποίησης κατολισθήσεων καθώς περιοχές με έντονη μορφολογική ροή και πυκνό αποστραγγιστικό δίκτυο με βαθιές κοιλάδες εμφανίζουν μεγάλη επικινδυνότητα σε κατολίσθηση (Dai et al., 2002, Kamberis et al., 2012). Η κυκλοφορία του νερού στους ποταμούς και χειμάρους έχει έντονη διαβρωτική ενέργεια, προκαλώντας υποσκαφές και στην συνέχεια μετακινήσεις των ασταθών μαζών (Λέκκας, 2000, Skilodimou et al., 2003, Migiros et al., 2011).

Για την διερεύνηση της επίδρασης του υδρογραφικού δικτύου στο Πήλιο έγινε η ψηφιοποίηση του από τους τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής σε κλίμακα 1:50.000. Στην συνέχεια έγινε η κατάταξη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου βάση της κατάταξης κατά Strahler (1957) (σχήμα 3.2.5.1).

Από την καταγραφή και την κατάταξη σε κλάδους του δικτύου παρατηρούμε ότι αναπτύσσεται σε μικρούς και επιμήκεις κλάδους με μεγάλη ανάπτυξη των μικρών τάξεων και ισχνή παρουσία των μεγάλων τάξεων (οι κλάδοι φτάνουν μέχρι και την 5 τάξη). Η αιτία για αυτή την ανάπτυξη του δικτύου αποτελεί το έντονο ανάγλυφο και το επίμηκες σχήμα του Πηλίου.

Στην συνέχεια έγινε μέσω του ArcGIS η δημιουργία ζωνών επιρροής γύρω από όλους τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Οι ζώνες αυτές σχηματιστήκαν για τις αποστάσεις 50, 100, 150, 200 και >200 μέτρων.



Υδρογραφικό Δίκτυο

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ταξινόμηση κατά Strahler

1ης τάξης

2ης τάξης

3ης τάξης

4ης τάξης

5ης τάξης

Όρια υδρ. λεκανών

Σχήμα 3.2.5.1: Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, χωρισμένο σε κλάδους κατά Strahler (1957).

3.2.6 Οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο αποτελεί βασικό παράγοντα ενεργοποίησης των κατολισθήσεων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την μελέτη της επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις μιας περιοχής (Mancini et al, 2010). Οι εκσκαφές, η εφαρμογή εξωτερικών φορτίων και η απομάκρυνση της βλάστησης είναι οι ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά μήκος του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του και επιδρούν στην ευστάθεια των πρανών και είναι υπεύθυνες για την ενεργοποίηση κατολισθήσεων και για το λόγο αυτό το οδικό δίκτυο και οι ζώνες επιρροής γύρω από αυτό πρέπει να εκτιμώνται κατά την ανάλυση της επικινδυνότητας (WP/WLI, 1994). Για τον σκοπό αυτό έγινε η ψηφιοποίηση όλου του οδικού άξονα του Πηλίου συμπεριλαμβανομένου και των κοινοτικών και αγροτικών δρόμων (σχήμα 3.2.6.1).

Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν οι ζώνες επιρροής των δρόμων σε αποστάσεις 50, 100, 150, 200 και >200 μ. γύρω από αυτούς.



Οδικό δίκτυο

Υπόμνημα

- ▲ Κύριες κορυφές Πηλίου
 - Κύριοι οικισμοί
- Τύπος οδικού δικτύου
- Εθνική οδός
 - Επαρχιακή οδός
 - Κοινοτική οδός

Σχήμα 3.2.6.1: Οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.

3.2.7 Χρήσεις γης

Η μελέτη της διαφοροποίησης των κατολισθήσεων ανάλογα με την χρήση της γης στην περιοχή είναι απαραίτητη, καθώς η ανθρωπογενής παρέμβαση συνδέεται άμεσα με τη δημιουργία κατολισθητικών φαινομένων. Η κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων σε ασταθείς σχηματισμούς ή σε απότομα πρανή, η αποψίλωση δασικών εκτάσεων, η διαφοροποίηση του τύπου βλάστησης συμβάλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Κούκης & Ρόζος, 1982; Bathrellos et al., 2013; Rozos et al., 2013).

Τα δεδομένα προήλθαν από το πρόγραμμα κάλυψης γης Corine Land Cover 2000, το οποίο αποτελεί μέρος της πανευρωπαϊκής βάσης δεδομένων χρήσεων γης. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει την Πανευρωπαϊκή χαρτογράφηση των χρήσεων / κάλυψης γης σε κλίμακα 1:100.000. Το σχέδιο Land Corine για την περιοχή του Πηλίου αποτυπώνεται στον χάρτη του σχήματος 3.2.7.1, όπως δημιουργήθηκε μέσω της ψηφιοποίησης στο ArcGIS.

Οι χρήσεις γης για την περιοχή ταξινομήθηκαν σε 5 κατηγορίες βάση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους.

-Κατηγορία με αραιή βλάστηση που περιλαμβάνει εκτάσεις με λίγη ή καθόλου βλάστηση και αποτεφρωμένες εκτάσεις.

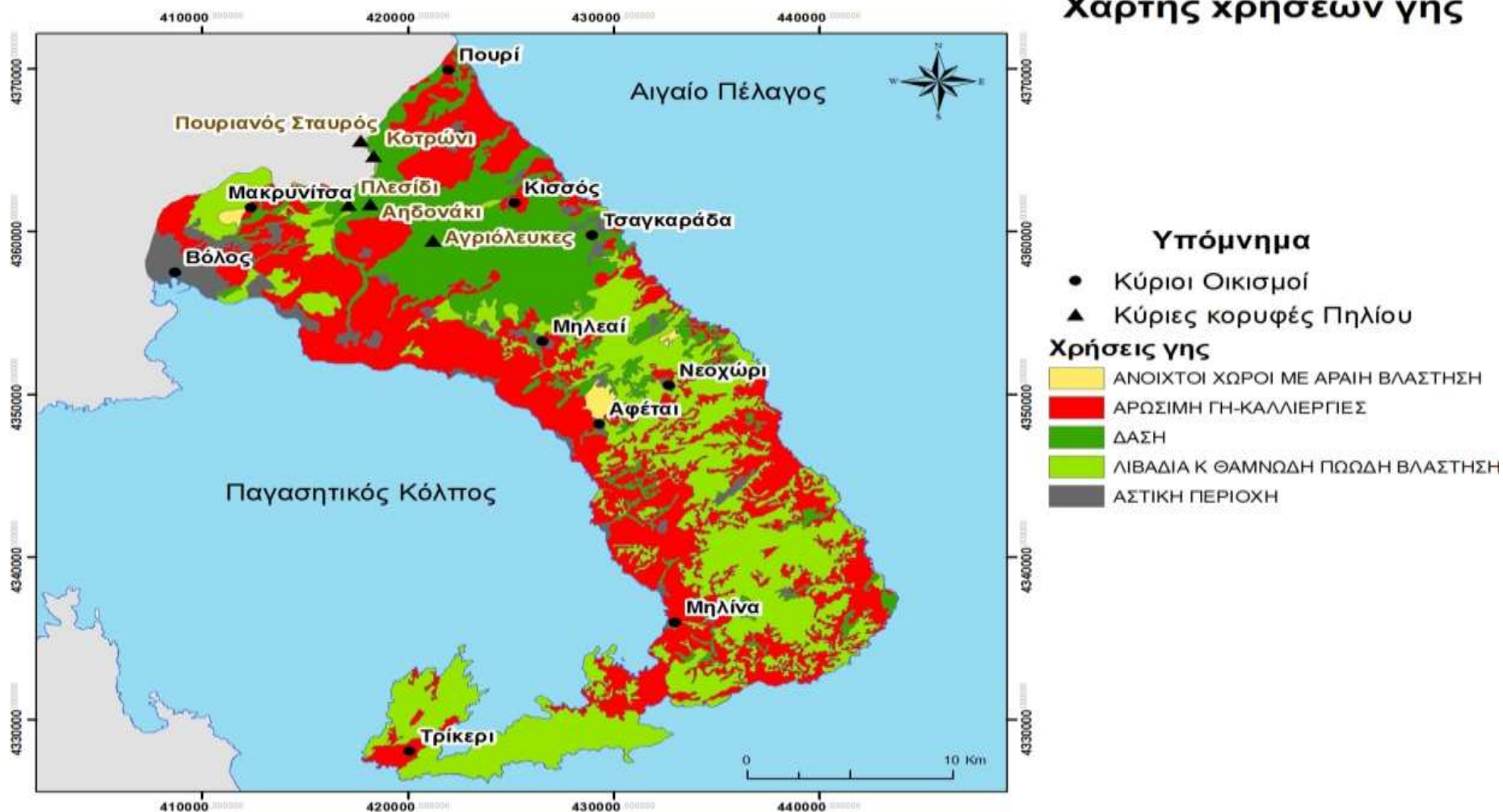
-Κατηγορία με καλλιέργειες που περιλαμβάνει μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, ελαιώνες, οπωροφόρα δένδρα, φυτείες με σαρκώδεις καρπούς, σύνθετες καλλιέργειες και Γή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης.

-Κατηγορία δάση, περιλαμβάνει δάσος πλατύφυλλων και δάσος κωνοφόρων.

-Κατηγορία λιβάδια που περιλαμβάνει λιβάδια, φυσικούς βοσκότοπους, σκληροφυλλική βλάστηση και μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις.

-Κατηγορία αστική περιοχή, όπου περιλαμβάνεται συνεχής και ασυνεχής αστικός ιστός, βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες, χώροι οικοδόμησης, χώροι εξορύξεως ορυκτών και ζώνες λιμένων.

Για την κάθε κατηγορία χρήσης γης δημιουργήθηκαν στο ArcGIS τα αντίστοιχα πολύγωνα.



Σχήμα 3.2.7.1: Χρήσεις γης βάση του Corine Land Cover 2000.

3.2.8 Βροχοπτώσεις

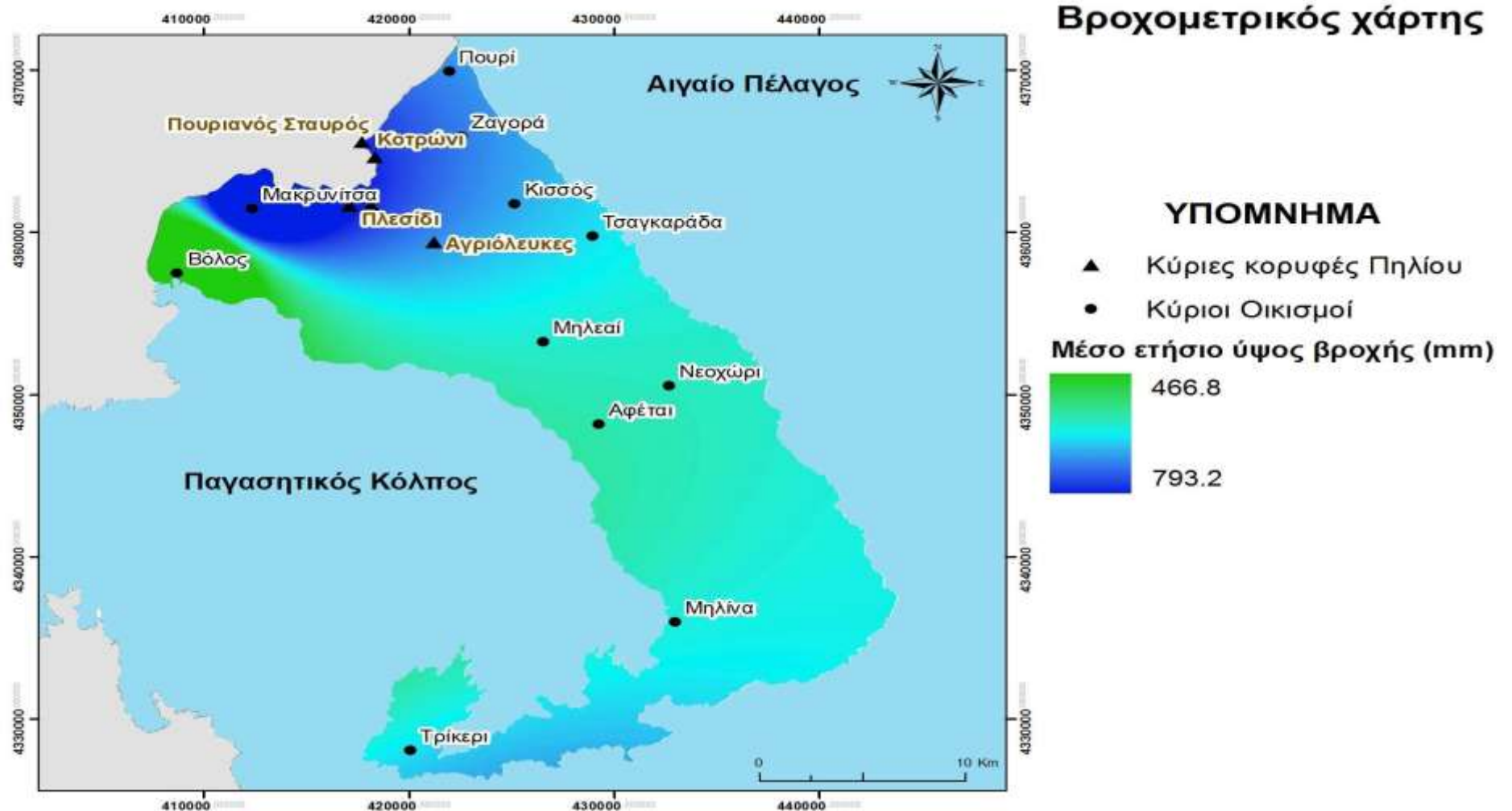
Η συμμετοχή των βροχοπτώσεων στο φαινόμενο της κατολίσθησης είναι πολύπτυχη, και παίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση των κατολισθήσεων (WP/WLI, 1994). Το νερό επιφανειακό και υπόγειο, παίζει καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση κατολισθήσεων με τον κορεσμό και τη φόρτιση των υλικών, τη δημιουργία υδροστατικών πιέσεων, την αυξομείωση της πίεσης των πόρων, την εσωτερική διάβρωση τις υποσκαφές, τις διαβρωτικές – αποσαθρωτικές διεργασίες, τη χαλάρωση των πετρωμάτων κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας με τη συνεχή διεύρυνση και μεταβολή του όγκου στην περίπτωση δημιουργίας παγετού κλπ (Rozos et al., 2008).

Σύμφωνα με τους Dai et al. (2002) οι υψηλές και ραγδαίες βροχοπτώσεις αποτελούν έναυσμα για την έναρξη του φαινομένου.

Για την δημιουργία του χάρτη επίδρασης των κατακρημνισμάτων στην περιοχή μας ληφθήκαν οι τιμές των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων από 5 βροχομετρικούς σταθμούς που περικλείουν την περιοχή μελέτης.

Στην συνέχεια με την μέθοδο παρεμβολής Inverse Distance Weighted (IDW) έγινε εκτίμηση των ποσών βροχόπτωσης που δέχεται η περιοχή μελέτης (σχήμα 3.2.8.1). Η μέθοδος παρεμβολής IDW υποθέτει ότι σημεία τα οποία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο είναι περισσότερο όμοια σε σχέση με σημεία που είναι απομακρυσμένα μεταξύ τους. Προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή σε μια άγνωστη περιοχή, η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη της, τις τιμές των σημείων που βρίσκονται περιμετρικά. Τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στην ζητούμενη τιμή έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα από όσα βρίσκονται πιο μακριά. Η επίδραση κάθε σημείου είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης από τη ζητούμενη τιμή.

Οι μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης που υπολογίστηκαν για την περιοχή έχουν εύρος τιμών από 470 έως 790 χλστ. και η ταξινόμηση τους έγινε σε 5 κατηγορίες βάση του ύψους βροχόπτωσης.



Σχήμα 3.2.8.1: Βροχομετρικός χάρτης βάση της μεθόδου παρεμβολής *Inverse Distance Weighted (IDW)*.

3.3 Εκτίμηση της επικινδυνότητας σε κατολίσθηση (landslide susceptibility)

Η επικινδυνότητα ως όρος περιγράφει τις περιοχές στις οποίες δραστηριοποιούνται αυτοί οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την ενεργοποίηση ενός φυσικού κινδύνου και άρα είναι επιδεκτικές φυσικής καταστροφής (Lee & Pradhan, 2006).

Την εκτίμηση της επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις σε μια περιοχή έχουν προσεγγίσει πολύ ερευνητές για τον Ελληνικό χώρο με τα έντονα κατολισθητικά φαινόμενα.

- Οι Ladas et al., (2007) εκτίμησαν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις σε περιοχή του νομού Μεσσηνίας με την πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων.
- Οι Bathrellos et al., (2009) εκτίμησαν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στο ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικά μοντέλα ένα στατιστικό και ένα λογικό.
- Ο Βασιλειάδης, (2010) εκτίμησε την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στον Ελλαδικό χώρο με μια ημι-ποσοτική μέθοδο ανάλυσης κινδύνου, την προσέγγιση σταθμισμένων γραμμικών συνδυασμών (weighted linear combination - WLC).⁴⁵
- Οι Ferentinou et al., (2010) εκτίμησαν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στην Ηπειρωτική Ελλάδα, την Εύβοια και την Κρήτη χρησιμοποιώντας την μέθοδο των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και τον στατιστικό δείκτη λόγος συχνότητας.
- Οι Ilia et al., (2010) εκτίμησαν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στην Κύμη Ευβοίας βασισμένοι σε στατιστική μέθοδο.
- Οι Rozos et al., (2010) εκτίμησαν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στο ανατολικό τμήμα του Νομού Αχαΐας με την αναλυτική διαδικασία ιεράρχησης.
- Οι Chalkias et al., (2011) για την εκτίμηση της επικινδυνότητας στις κατολισθήσεις στην Πελοπόννησο χρησιμοποίησαν τη γεωγραφική σταθμισμένη παλινδρόμηση και την τυπική λογιστική παλινδρόμηση.
- Οι Gemitzi et al., (2011), για την εκτίμηση της επικινδυνότητας στις κατολισθήσεις του ορεινού τμήματος του νομού Ξάνθης χρησιμοποίησαν μεθοδολογία η οποία συνδυάζει την παραγοντική ανάλυση με μια μέθοδο ασαφούς λογικής.
- Οι Rozos et al., (2011), για να εκτιμήσουν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στο ΒΑ τμήμα του νομού Αχαΐας χρησιμοποίησαν 2 διαφορετικές τεχνικές ανάλυσης για να συγκρίνουν τα αποτελέσματά τους, το

σύστημα μηχανικής βράχων (rock engineering system – RES) και την αναλυτική διαδικασία ιεράρχησης.

- Οι Parathanassiou et al., (2012), για να διαπιστώσουν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις στον Νομό Λευκάδας χρησιμοποίησαν μια διμεταβλητή στατιστική ανάλυση.

- Οι Sabatakakis et al., (2012), για να βρουν την επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις για όλη την Ελλάδα συνδύασαν την παραγοντική ανάλυση και την σχετική συχνότητα των κατολισθήσεων.

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας σε κατολίσθηση για την περιοχή του Πηλίου πραγματοποιήθηκε με την χρήση του στατιστικού δείκτη “Λόγος Συχνότητας” (Frequency Ratio). Αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους και εύχρηστους δείκτες της στατιστικής ανάλυσης. Η εφαρμογή του δείκτη βασίζεται στην παραδοχή ότι οι παράγοντες που ενεργοποίησαν, σε μια καθορισμένη περιοχή, μια κατολίσθηση στο παρελθόν θα είναι οι ίδιοι που θα ενεργοποιήσουν και κατολίσθηση και στο μέλλον. Με αυτή την παραδοχή η σχέση ανάμεσα σε κατολισθήσεις που έχουν λάβει χώρα σε μια περιοχή και τους παράγοντες που τις κινητοποιούν, μπορεί να διαχωριστεί από την σχέση ανάμεσα σε μια περιοχή που δεν έχουμε φαινόμενα, με τους παράγοντες που κινητοποιούν τις κατολισθήσεις (Lee & Pradhan, 2006). Ο Λόγος Συχνότητας χρησιμοποιήθηκε για να οριστεί αυτή η σχέση ποσοτικά.

Ο Λόγος Συχνότητας είναι η λόγος της περιοχής όπου έχουμε παρουσία κατολισθήσεων σε σχέση με ολόκληρη την περιοχή μελέτης, όπως επίσης είναι ο λόγος της πιθανότητας να συμβεί μια κατολίσθηση σε σχέση με το να μην συμβεί εξαρτώμενης από έναν παράγοντα κινητοποίησης. Συνεπακόλουθα όσο μεγαλύτερος είναι ο Λόγος Συχνότητας από την μονάδα, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση που έχει ο κάθε παράγοντας στην πραγματοποίηση του κατολισθητικού φαινομένου και όσο μικρότερος ο λόγος από την μονάδα τόσο μικρότερη η επίδραση.

Για να υπολογιστεί ο Λόγος Συχνότητας κατασκευαστήκαν πίνακες για τον κάθε παράγοντα ενεργοποίησης κατολίσθησης. Στην συνέχεια υπολογίστηκε για την κάθε κατηγορία του κάθε παράγοντα η συχνότητα ύπαρξης ή μη ύπαρξης κατολισθητικού φαινομένου και το ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής που αντιστοιχεί στην κάθε κατηγορία του παράγοντα.

$$FR = (K_{aX} / K_{\text{συν}X}) / (\Pi_{aX} / \Pi_{\text{συν}X})$$

Όπου:

K_{aX}: ο αριθμός των κατολισθήσεων που αντιστοιχούν στην κατηγορία α του παράγοντα X.

K_{συνX}: οι συνολικές κατολισθήσεις που εμφανίζονται λόγω του παράγοντα X.

ΠαΧ: η επιφάνεια που καλύπτει η κατηγορία α του παράγοντα Χ.

ΠσυνΧ: η συνολική επιφάνεια του παράγοντα Χ.

3.4 Δημιουργία χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας

Από τις τιμές του Λόγου Συχνότητας για τον κάθε παράγοντα δημιουργήθηκαν ψηφιδωτοί χάρτες περιοχών επιρρεπών σε κατολισθήσεις για κάθε έναν παράγοντα ξεχωριστά. Όλοι οι χάρτες δημιουργήθηκαν ως ψηφιδωτά (raster) αρχεία με μέγεθος κυψελίδας (pixel) 20x20 μέτρα. Στην συνέχεια με την χρήση του αλγορίθμου raster calculator του ArcGIS έγιναν αριθμητικές πράξεις, με 2 μεθόδους, μεταξύ των τιμών του Λόγου Συχνότητας του κάθε παράγοντα για τον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας.

Στην πρώτη περίπτωση έγινε η άθροιση των τιμών του λόγου συχνότητας όλων των παραγόντων, ενώ στην δεύτερη περίπτωση ο κάθε παράγοντας πολλαπλασιάστηκε με την τιμή του λόγου συχνότητας που του αντιστοιχεί και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η άθροιση.

Για να ελεγχθεί ποιά μέθοδος από τις 2 παράγει το καλύτερο αποτέλεσμα, έγινε η δημιουργία καμπυλών αθροιστικής συχνότητας με τα αποτελέσματα της κάθε μεθόδου και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η σύγκριση τους.

Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων επιλέχτηκε η μέθοδος ανάλυσης "Καμπύλη Λειτουργικών Χαρακτηριστικών" (Receiver Operating Characteristics, ROC). Από την "Καμπύλη Λειτουργικών Χαρακτηριστικών" μπορεί να γίνει μια ποσοτική και αξιόπιστη εκτίμηση κατά πόσον τα παραγόμενα αποτελέσματα για την κατολισθητική επικινδυνότητα της περιοχής ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Οι θέσεις των κατολισθήσεων

Από την εργασία υπαίθρου που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκαν 386 θέσεις με κατολισθήσεις, με κάποιες χαρακτηριστικές να παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (σχήματα 4.1.1-4.1.20). Τα τοπωνύμια και οι κοινότητες που αναφέρονται στα σχήματα 4.1.1- 4.1.20 παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1.22. Το ελάχιστο μήκος για την καταγραφή μιας κατολίσθησης ορίστηκε τα 5 μέτρα. Από τις 386 κατολισθήσεις που καταγραφήκαν οι 347 (σχήμα 4.1.21) χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του δείκτη επικινδυνότητας και οι υπόλοιπες 39 για την τελική επιβεβαίωση της ορθότητας των αποτελεσμάτων.

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων παρατηρείται στους ορεινούς οικισμούς, κατά μήκος του ορεινού οδικού δικτύου και κατά βάση σε σχιστολιθικούς σχηματισμούς.

Για την χρήση των κατολισθήσεων στην ανάλυση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση των κατολισθήσεων ως πολυγωνικές οντότητες στο περιβάλλον του ArcGIS. Στην συνέχεια έγινε η μετατροπή των πολυγώνων των κατολισθήσεων από διανυσματική (vector) μορφή σε ψηφιδωτή μορφή (Raster) με μέγεθος ψηφίδας (pixel) 20x20 μέτρα.

Για την εύρεση του Λόγου Συχνότητας μετρήθηκε η αναλογία των κατολισθήσεων που αντιστοιχούν στην κάθε παράμετρο και στην συνέχεια διαιρέθηκε με την αναλογία της κάθε παραμέτρου, για τον κάθε παράγοντα. Οι τιμές του λόγου συχνότητας που είναι μεγαλύτερες της μονάδας υποδεικνύουν ότι η αντίστοιχη παράμετρος έχει αυξημένη επίδραση στην δημιουργία κατολίσθησης άρα και στην κατολισθητική επικινδυνότητα. Όσο μεγαλύτερες οι τιμές του Λόγου Συχνότητας από την μονάδα τόσο μεγαλύτερη η κατολισθητική επικινδυνότητα.



Σχήμα 4.1.1: Κατολίσθηση N-A της θέσης Μακρυράχη στον δρόμο Λαύκο Προμύρι.



Σχήμα 4.1.2: Φωτογραφία ερπυσμού εδάφους ανατολικά της θέσης Αλικόπετρα στον δρόμο Πορταριά Χάνια.



Σχήμα 4.1.3: Κατολίσθηση Ανατολικά της θέσης Αλικόπετρα στον δρόμο Πορταριά-Χάνια και αντιστήριξη με συρματοκιβώτια.



Σχήμα 4.1.4: Φωτογραφία κατολίσθησης και αστοχία του οδοστρώματος Νότια της θέσης Πυργάκι στον δρόμο Πορταριά Χάνια.



Σχήμα 4.1.5: Κατολίσθηση Νότια της θέσης Σκοπιές στην Δυτική είσοδο των Χανίων που αντιμετωπίζεται με τοιχίο αντιστήριξης.



Σχήμα 4.1.6: Εμφάνιση κατολίσθησης στον δρόμο Χανιά Κισσός Ν-Α της θέσης Αγριονίδι και αντιστήριξη με συρματοκιβώτια.



Σχήμα 4.1.7: Εμφάνιση κατολίσθησης στον δρόμο Χανιά Κισσός και αντιστήριξη με συρματοκιβώτια.



Σχήμα 4.1.8: Θέση με κατολίσθηση στον δρόμο Χανιά Κισσός.



Σχήμα 4.1.9: Κατολίσθηση και κατάπτωση βράχων στον δρόμο Ξουρίχτι Καλαμάκι Βόρεια της θέσης Βλάχος.



Σχήμα 4.1.10: Κατολίσθηση στην Νότια έξοδο του χωριού Λαύκος.



Σχήμα 4.1.11: Κατολίσθηση στην είσοδο του χωριού Αφέτες πίσω από τον αγροτικό συνεταιρισμό της κοινότητας.



Σχήμα 4.1.12: Κατολίσθηση στην θέση Καρδαράς, στον δρόμο Άνω Λεχώνια - Άγιος Βλάσης.



Σχήμα 4.1.13: Κατολίσθηση και κατάπτωση βράχων Βόρεια της θέσης Άνυδρο επί του δρόμου Βυζίτσα Πινακάτες.



Σχήμα 4.1.14: Κατολίσθηση νότια του χωριού Λαύκος.



Σχήμα 4.1.15: Κατολισθητικά φαινόμενα στην νότια είσοδο της κοινότητας του Καλαμακίου.



Σχήμα 4.1.16: Κατολίσθηση στο χωριό Πουρί και τοιχία για την αντιστήριξη των πρανών.



Σχήμα 4.1.17:. Κατά μήκος του δρόμου Χανιά Ζαγορά αστοχία του οδοστρώματος που προκαλείται από κατολισθήσεις.



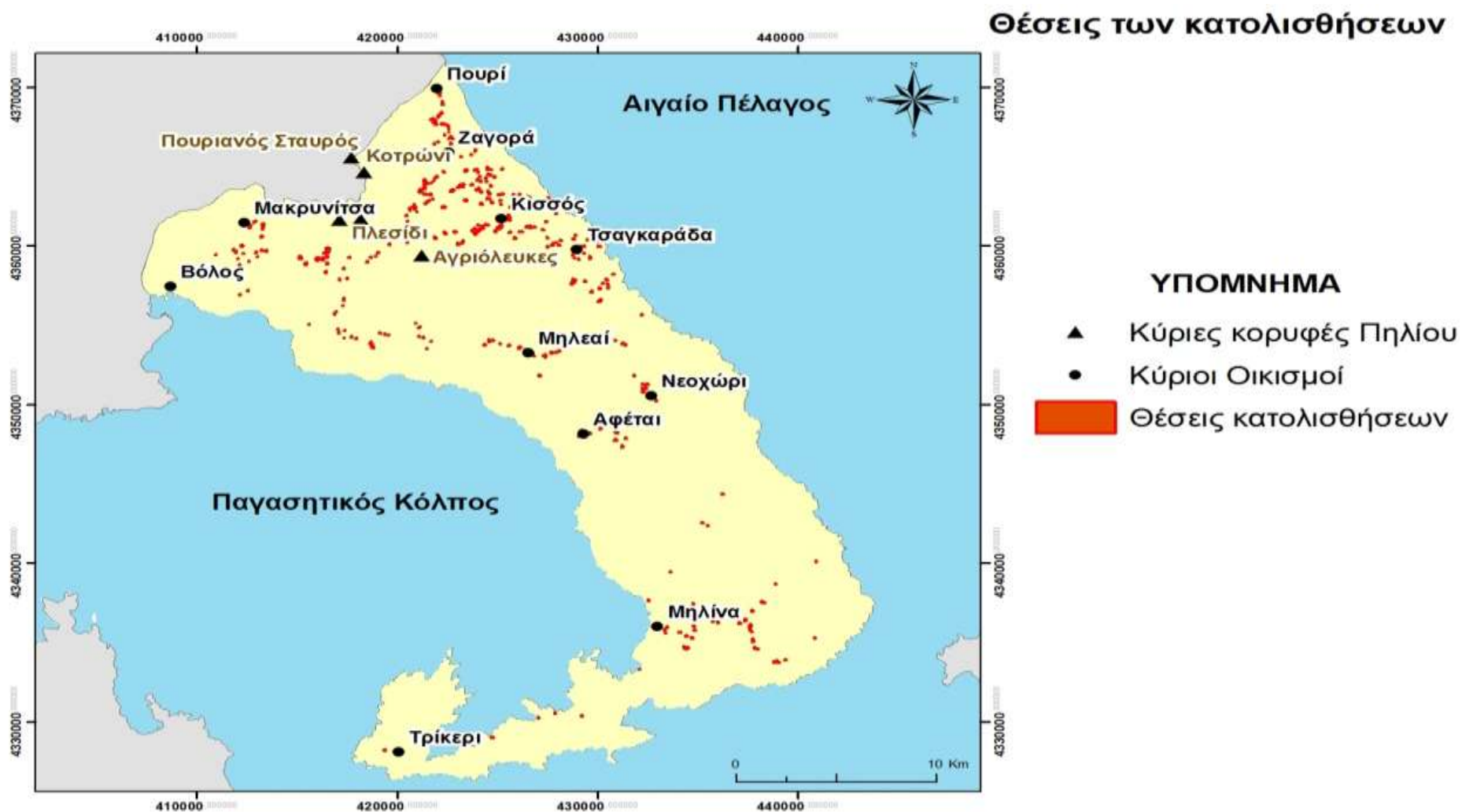
Σχήμα 4.1.18: Κατολίσθηση στα πρανή της θέσης Κορυφή στον δρόμο Χανιά-Κισσός.



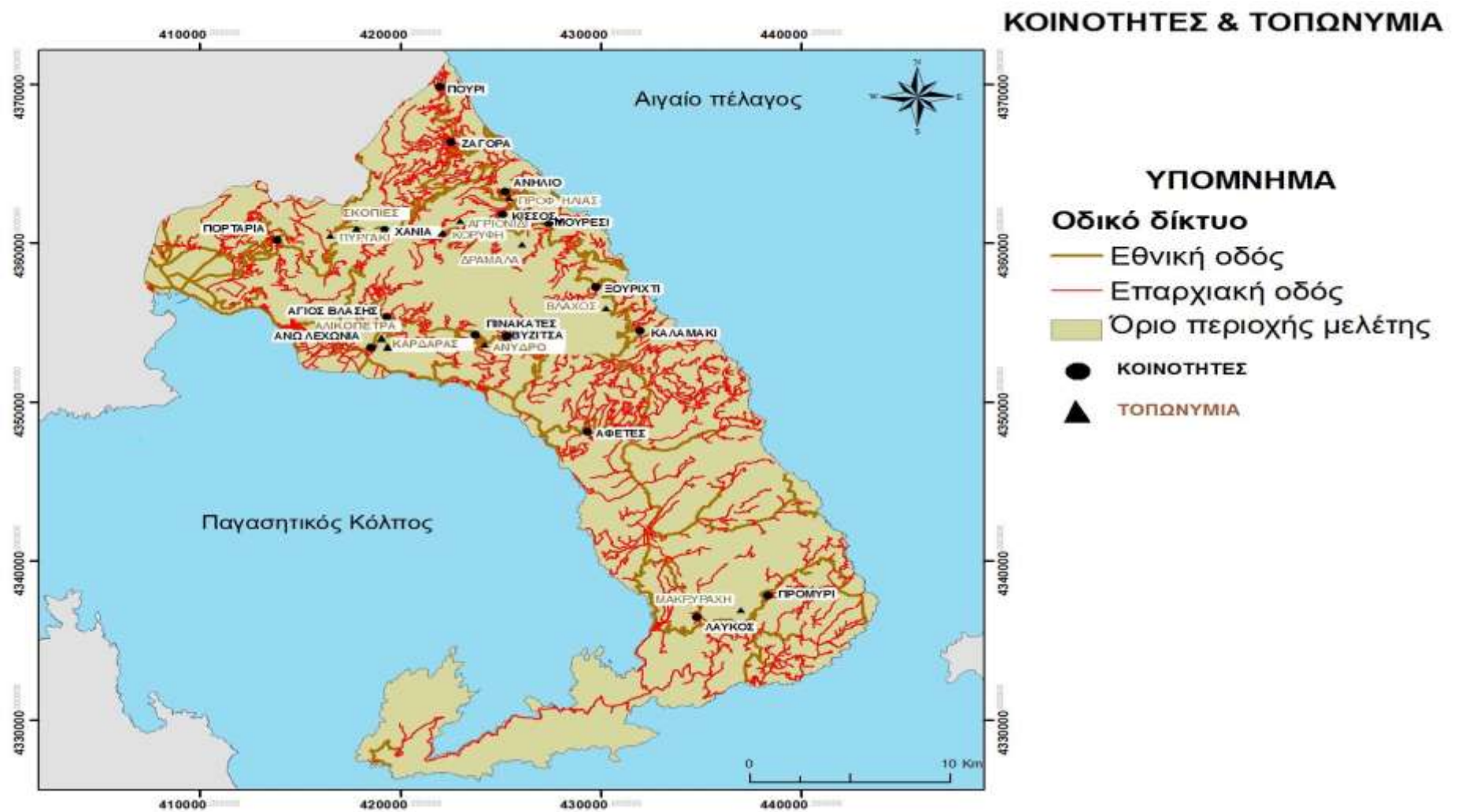
Σχήμα 4.1.19: Ερπυστικά φαινόμενα στην έξοδο του Ανήλιου προς Κισσό στην θέση Προφήτης Ηλίας.



Σχήμα 4.1.20: Κατολίσθηση και κατάπτωση βράχων στα πρανή ανάντη του δρόμου Κισσός Μούρεσι δυτικά του ρέματος Δραμάλα.



Σχήμα 4.1.21: Χάρτης με τις θέσεις των κατολισθήσεων.



Σχήμα 4.1.22: Χάρτης με τις κοινότητες και τα τοπωνύμια που αναφέρονται στα σχήματα 4.1.1 - 4.1.20.

4.2 Λιθολογία

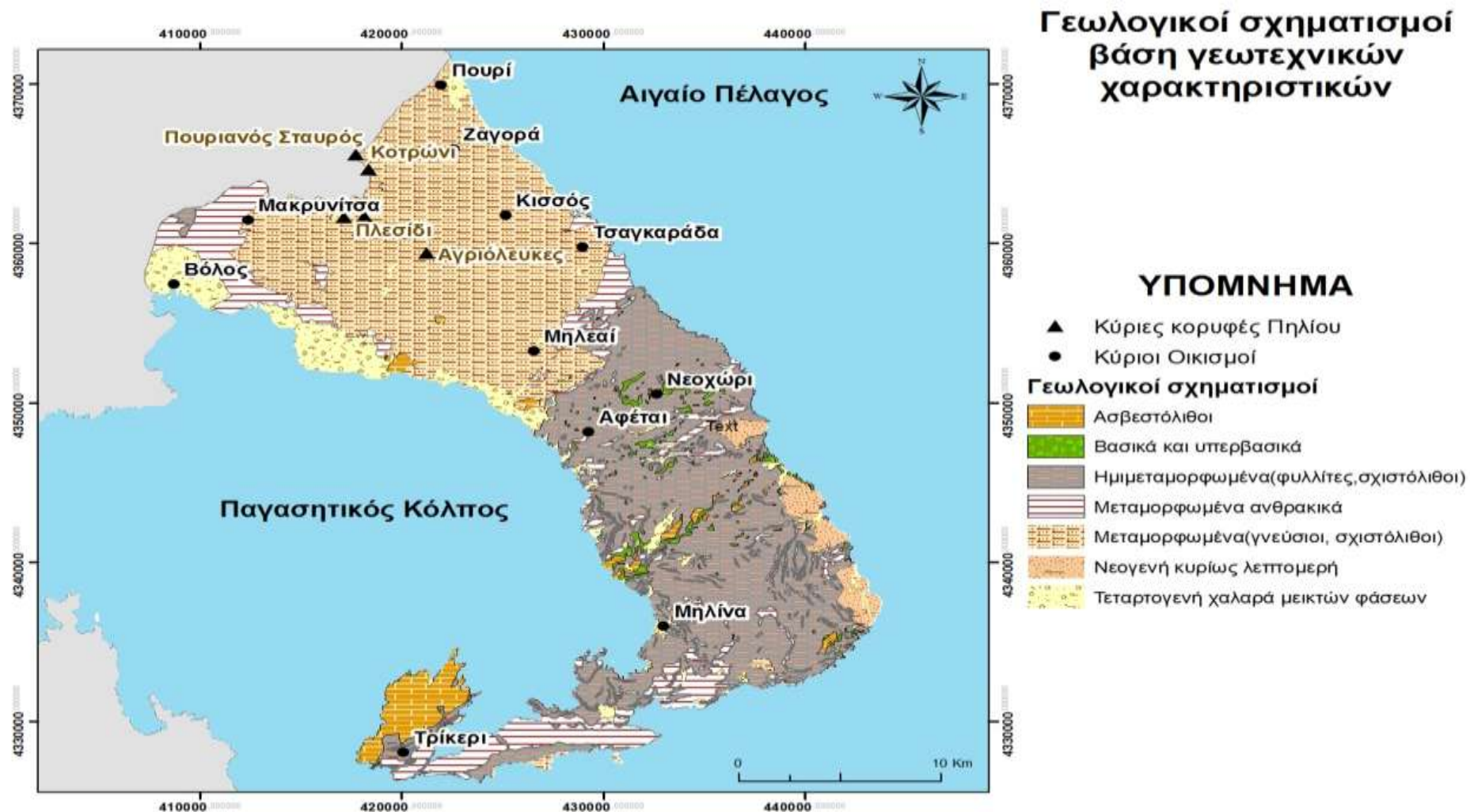
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί διαχωρίστηκαν με βάση τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά (Κούκης & Ρόζος, 1982) σε επτά κατηγορίες (σχήμα 4.2.1): Ασβεστόλιθοι, Βασικά και Υπερβασικά, Ημιμεταμορφωμένα (φυλλίτες-σχιστόλιθοι), Μεταμορφωμένα ανθρακικά, Μεταμορφωμένα (γνεύσιοι-σχιστόλιθοι), Νεογενή και Τεταρτογενή.

Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στο κάθε σχηματισμό, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας του κάθε σχηματισμού (ο λόγος εμφάνισης κατολισθήσεων στον σχηματισμό επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει ο σχηματισμός επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας του κάθε σχηματισμού, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για τον κάθε σχηματισμό και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.2.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων στον κάθε γεωλογικό σχηματισμό.

-Στο σχήμα 4.2.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης του κάθε σχηματισμού στην περιοχή μελέτης.

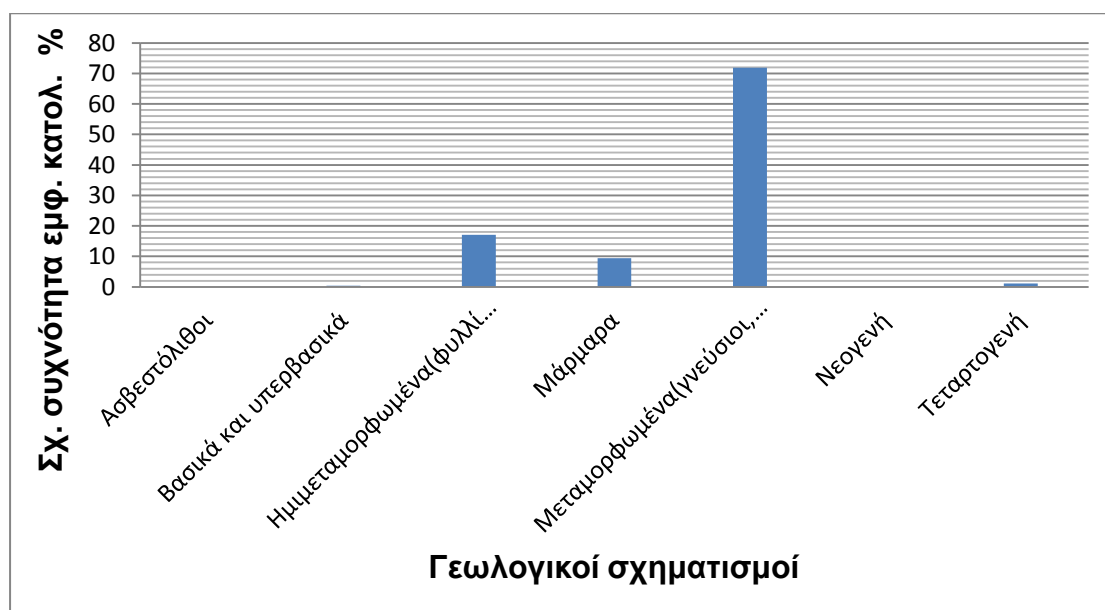
-Στο σχήμα 4.2.4 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για τον κάθε σχηματισμό.



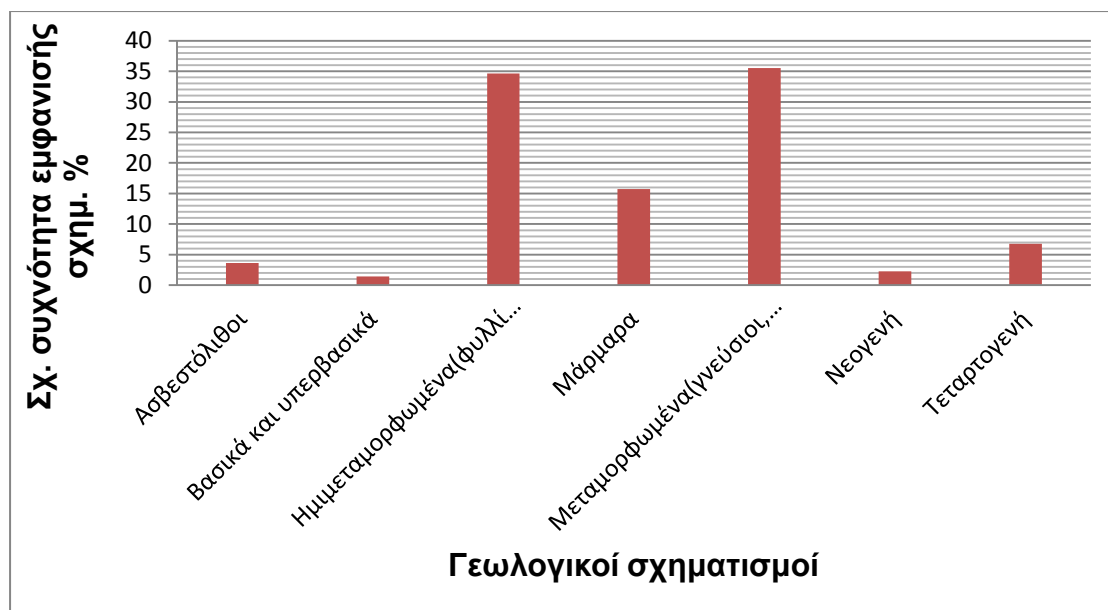
Σχήμα 4.2.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί ομαδοποιημένοι βάση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών.

Πίνακας 4.2: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας του κάθε σχηματισμού, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για τον κάθε σχηματισμό και Λόγος Συχνότητας των γεωλογικών σχηματισμών.

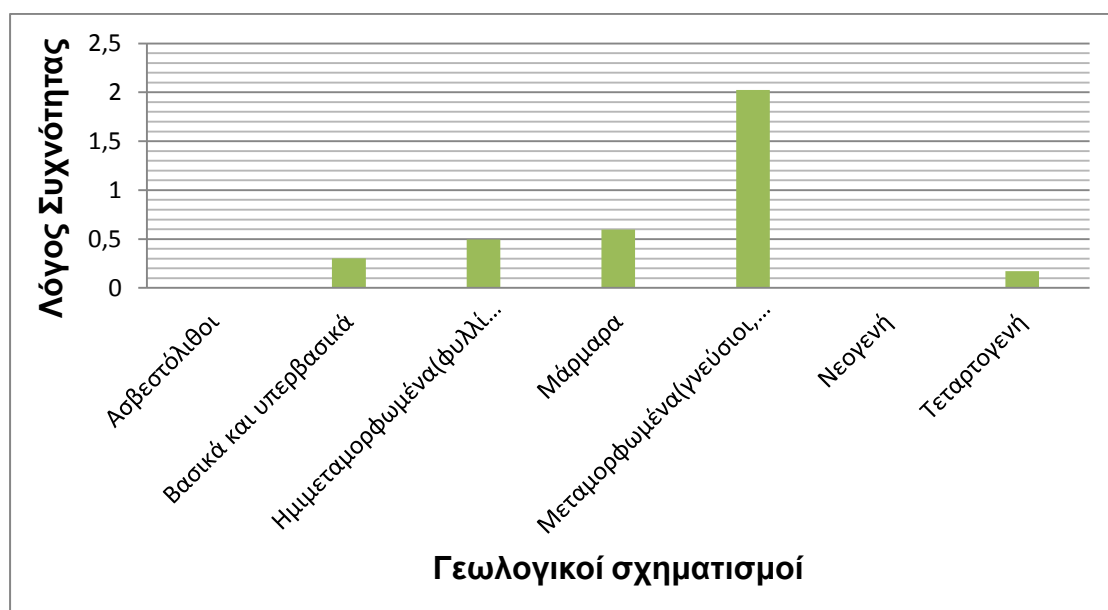
Λιθολογία	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
Ασβεστόλιθοι	52379	3,62	0	0,00	0,00
Βασικά και υπερβασικά	20794	1,44	12	0,43	0,30
Ημιμεταμορφωμένα	501222	34,65	474	17,12	0,49
Μάρμαρα	227290	15,71	260	9,39	0,60
Μεταμορφωμένα	514104	35,54	1991	71,90	2,02
Νεογενή	32744	2,26	0	0,00	0,00
Τεταρτογενή	97911	6,77	32	1,16	0,17



Σχήμα 4.2.2: Η σχετική συχνότητα της εμφάνισης κατολισθήσεων στον κάθε σχηματισμό.



Σχήμα 4.2.3: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης του κάθε σχηματισμού στην περιοχή.



Σχήμα 4.2.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για τον κάθε σχηματισμό.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης των αποτελεσμάτων παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη στην περιοχή μελέτης την παρουσιάζει ο σχηματισμός των ημιμεταμορφωμένων (φυλλίτες, σχιστόλιθοι) με 35%. Μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων παρουσιάζουν τα μεταμορφωμένα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι) με 72%. Η μέγιστη τιμή του Λόγου Συχνότητας παρουσιάζεται για τα μεταμορφωμένα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι) και είναι ίση με 2. Ο συνολικός Λόγος Συχνότητας για τους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι

ίσος με 3,6. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν αυτό που παρατηρήθηκε και στην ύπαιθρο, ότι ο σχιστόλιθος με τον παχύ μανδύα αποσάρθρωσης που δημιουργεί, έχει μεγάλη επικινδυνότητα για την παρουσίαση κατολίσθησης.

4.3 Τεκτονικά στοιχεία

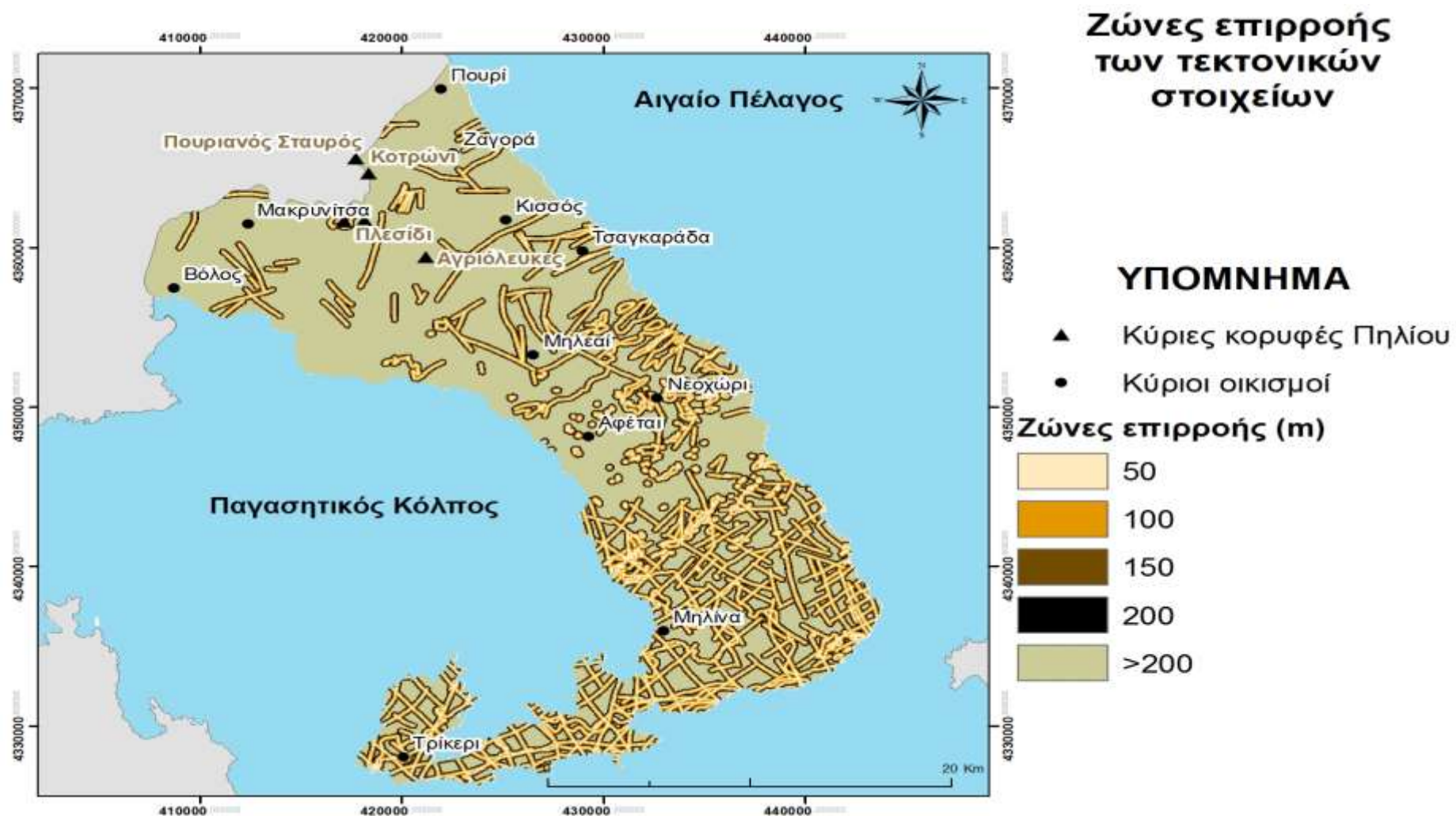
Για την δημιουργία του χάρτη των ρηγμάτων και των τεκτονικών επαφών της περιοχής έγινε χρήση των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ και συγκεκριμένα τα φύλλα Βόλος, Αργαλαστή και Ζαγορά. Γύρω από τα ρήγματα και τις τεκτονικές επαφές καταρτίστηκαν ζώνες επιρροής των 50, 100, 150, 200 και μεγαλύτερης των 200 μ. (χάρτης του σχήματος 4.3.1)

Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε ζώνη επιρροής των τεκτονικών στοιχείων, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας της κάθε ζώνης επιρροής (ο λόγος εμφάνισης κατολισθήσεων στην ζώνη επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε ζώνη επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.3.1 παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε ζώνης επιρροής, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε ζώνη και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.3.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων στην κάθε ζώνη επιρροής των τεκτονικών στοιχείων.

-Στο σχήμα 4.3.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε ζώνης επιρροής στην περιοχή μελέτης.

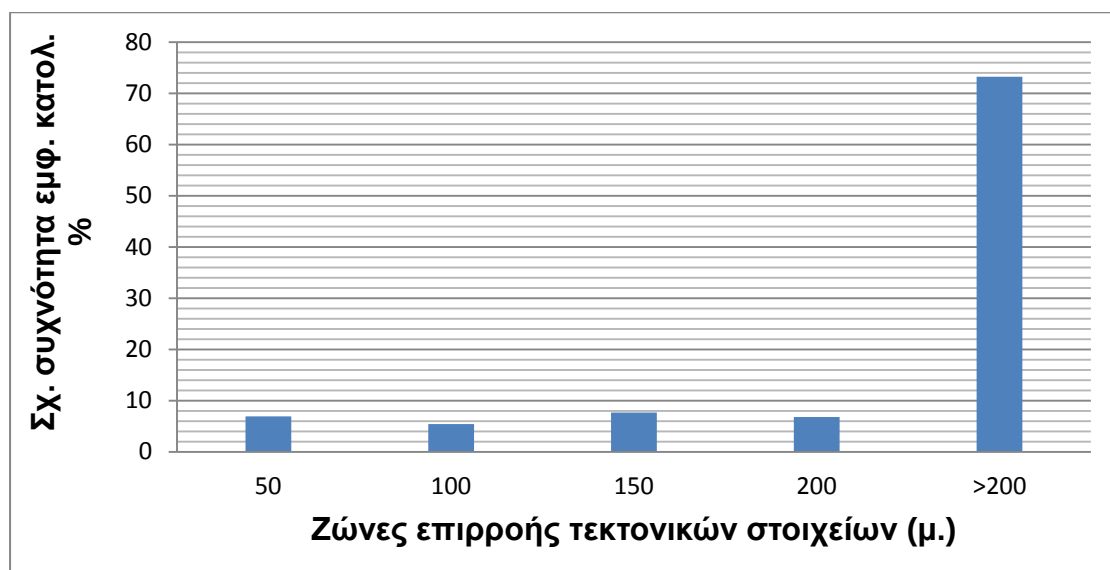
-Στο σχήμα 4.3.4 παρουσιάζεται η τιμή του λόγου συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε ζώνη επιρροής.



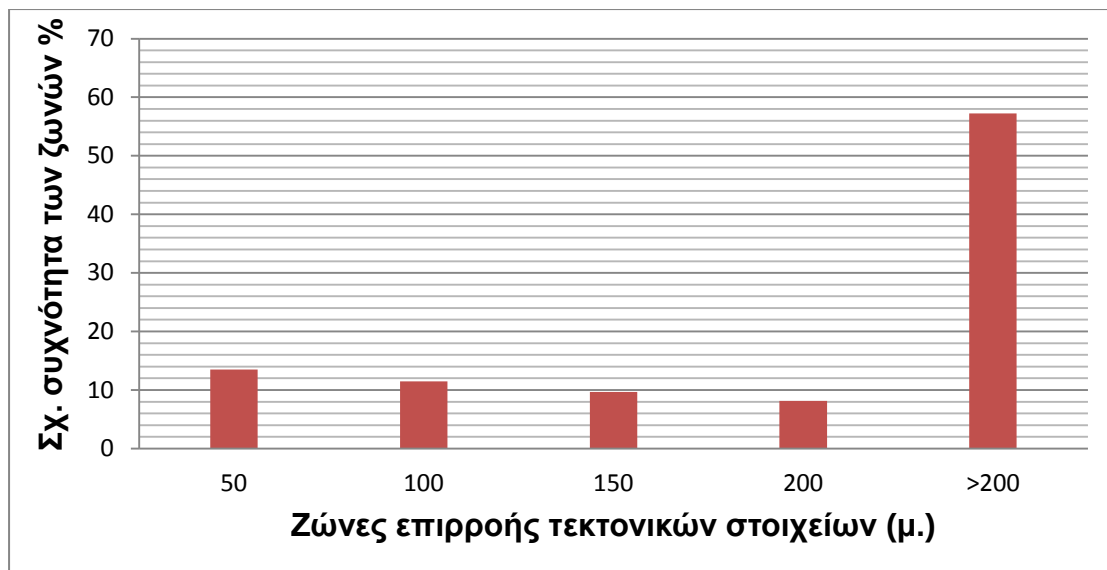
Σχήμα 4.3.1: Τεκτονικά στοιχεία με τις ζώνες επιρροής των 50 100 150 200 και >200 μ.

Πίνακας 4.3.1: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε ζώνης, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε ζώνη και Λόγος Συχνότητας των ζωνών επιρροής των τεκτονικών στοιχείων.

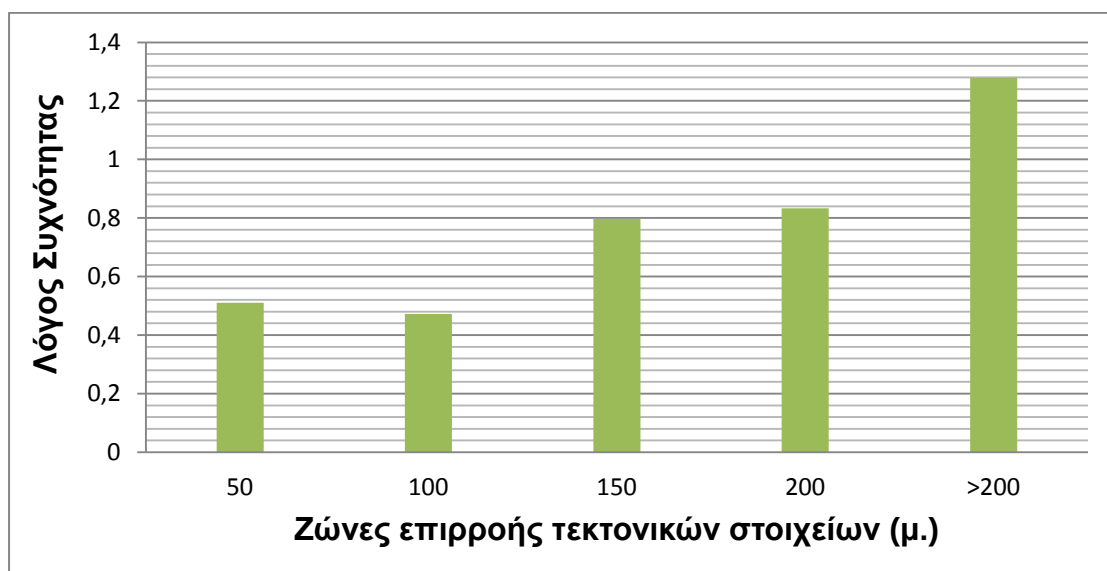
Ζώνες επιρροής (μ.)	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
50	195301	13,50	191	6,90	0,51
100	166006	11,48	150	5,42	0,47
150	139670	9,66	213	7,69	0,80
200	117946	8,15	188	6,79	0,83
>200	827610	57,21	2027	73,20	1,28



Σχήμα 4.3.2: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων στην κάθε ζώνη επιρροής των τεκτονικών στοιχείων.



Σχήμα 4.3.3: Η σχ. συχνότητα εμφάνισης της κάθε ζώνης επιρροής των τεκτονικών στοιχείων.



Σχήμα 4.3.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε ζώνη επιρροής των τεκτονικών στοιχείων.

Από την διερεύνηση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι την μεγαλύτερη επιφάνεια, ίση με 57% την καλύπτει η ζώνη που αντιστοιχεί σε απόσταση μεγαλύτερη από 200 μέτρα από τα τεκτονικά στοιχεία, παρομοίως στην ζώνη αυτή βρίσκονται και οι περισσότερες κατολισθήσεις, ίσες με 73%. Ο Λόγος Συχνότητας παρουσιάζει πολύ μικρές τιμές για τις πλησιέστερες στα ρήγματα ζώνες και αυξάνει σταδιακά με τη ζώνη των 200 μέτρων να πλησιάζει το 1, και με μεγαλύτερη τιμή ίση με 1,3 στην ζώνη πάνω από 200 μέτρα. Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για όλες τις ζώνες είναι ίση με 3,9. Επειδή με αυτά τα αποτελέσματα δεν φαίνεται ξεκάθαρη η επίδραση των ρηγμάτων έγινε ανάλυση χωρίς να υπολογίζεται ο χώρος που αναλογεί στην ζώνη πάνω από

τα 200 μέτρα και τα αποτελέσματα ήταν παρεμφερή μεν με μεγαλύτερες τιμές για τον λόγο συχνότητας δε (πίνακας 4.3.2).

Πίνακας 4.3.2: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε ζώνη επιρροής των τεκτονικών στοιχείων.

Ζώνες επιρροής (μ.)	Λόγος Συχνότητας
50	0,83
100	0,79
150	1,2
200	1,34

Ο λόγος συχνότητας είναι μεγαλύτερος στην κοντινή απόσταση και μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε. Οι μεγάλες τιμές του ΛΣ στις μεγάλες ζώνες επιρροής οφείλεται στο ότι, επειδή τα τεκτονικά στοιχεία, στις περισσότερες των περιπτώσεων, βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις, με την αύξηση της ακτίνας της ζώνης επιρροής, οι ζώνες επιρροής από παρακείμενα τεκτονικά στοιχεία συμπίπτουν και έτσι ο Λόγος Συχνότητας εμφανίζεται αυξημένος (περισσότερες κατολισθήσεις σε μικρότερη επιφάνεια).

4.4 Μορφολογικές κλίσεις (Slope)

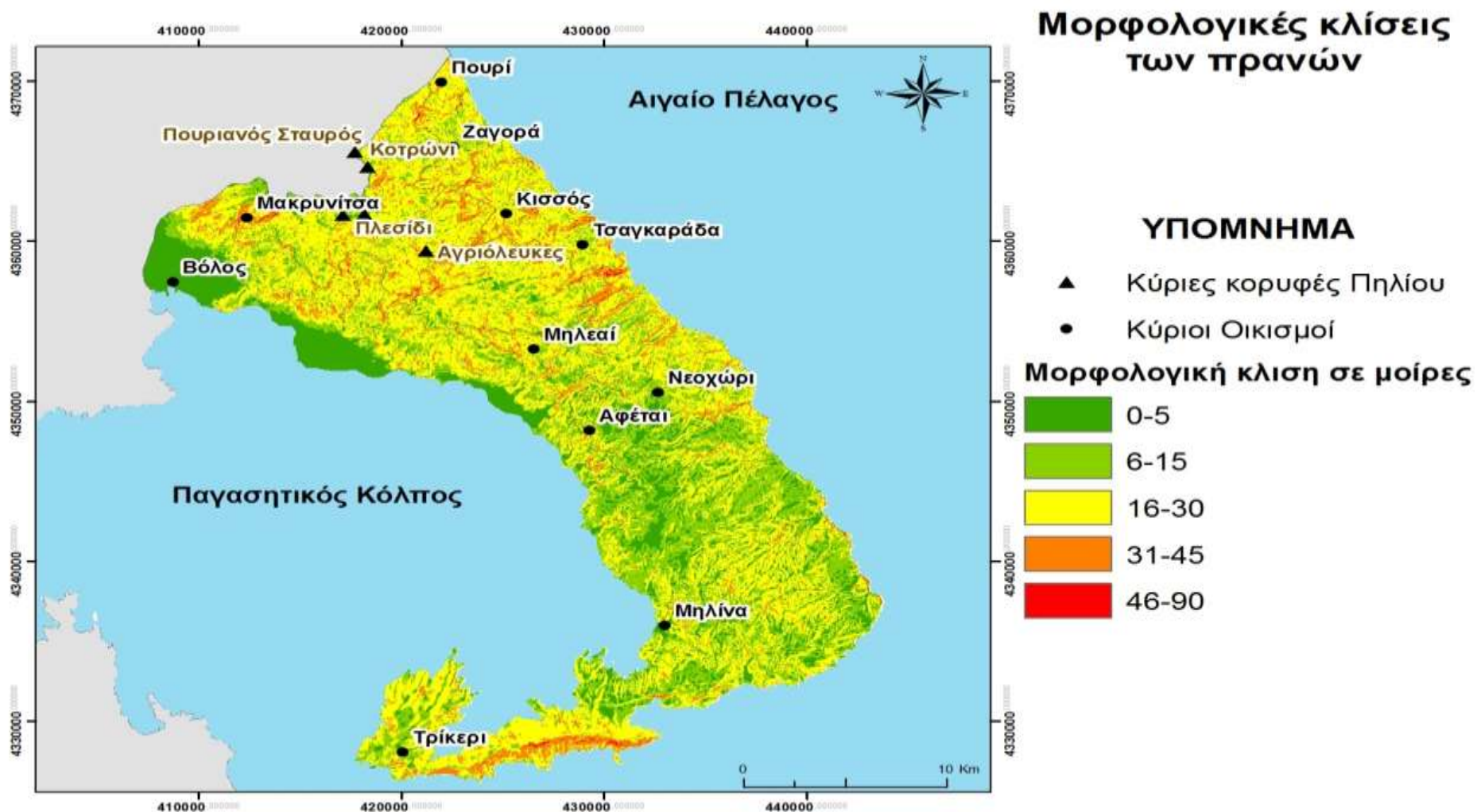
Οι μορφολογικές κλίσεις προέρχονται από την επεξεργασία του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου και δημιουργήθηκαν 5 κατηγορίες κλίσης (σε μοίρες): ομαδοποιήθηκαν στις εξής 5 κατηγορίες, $< 5^{\circ}$, $5-15^{\circ}$, $15-30^{\circ}$, $30-45^{\circ}$, $>45^{\circ}$. (σχήμα 4.4.1).

Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε κατηγορία κλίσης, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20×20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας για την κάθε κατηγορία κλίσης (ο λόγος εμφάνισης κατολισθήσεων στην κάθε κατηγορία κλίσης επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλίσης επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε κατηγορίας κλίσης, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε κατηγορία κλίσης και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.4.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων στην κάθε κατηγορία μορφολογικής κλίσης.

-Στο σχήμα 4.4.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε κατηγορίας κλίσης στην περιοχή μελέτης.

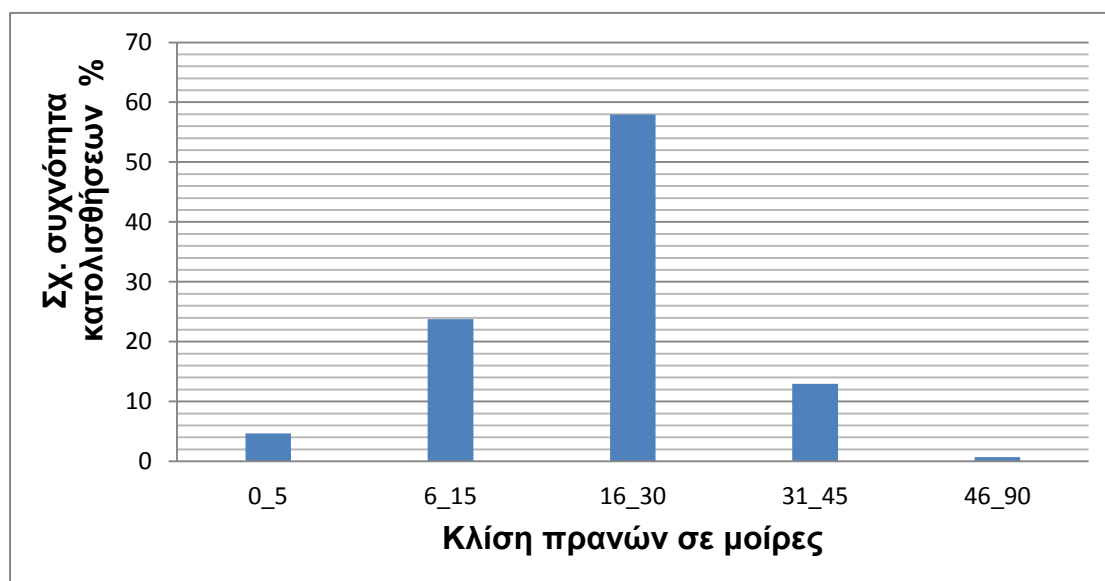
-Στο σχήμα 4.4.4 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε κατηγορία κλίσης.



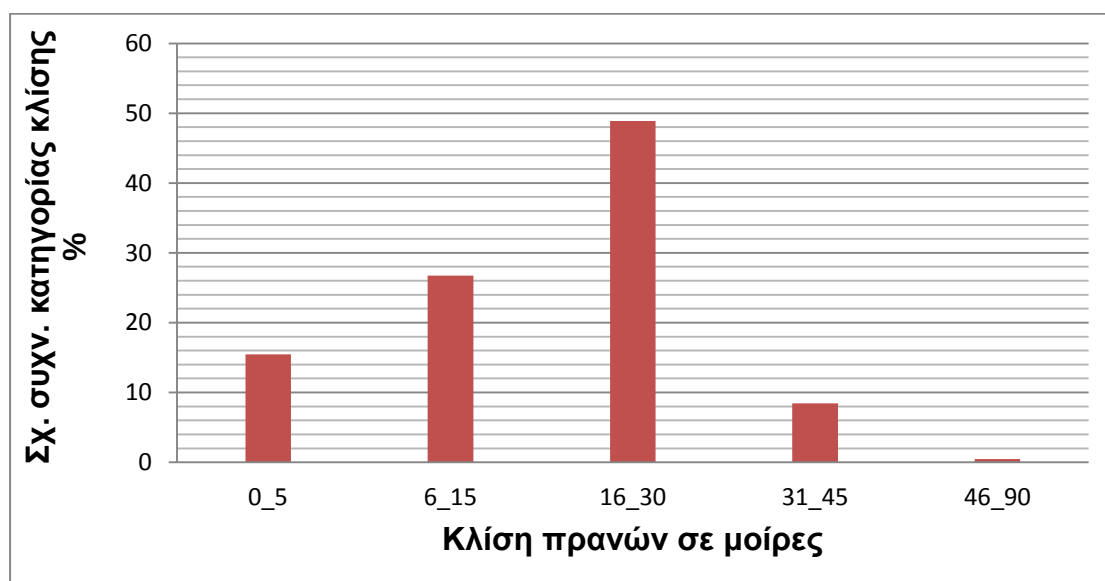
Σχήμα 4.4.1: Μορφολογικές κλίσεις των πρανών ομαδοποιημένες σε 5 κατηγορίες βάση της κλίσης.

Πίνακας 4.4: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε κατηγορίας κλίσης, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε κλίση και Λόγος Συχνότητας.

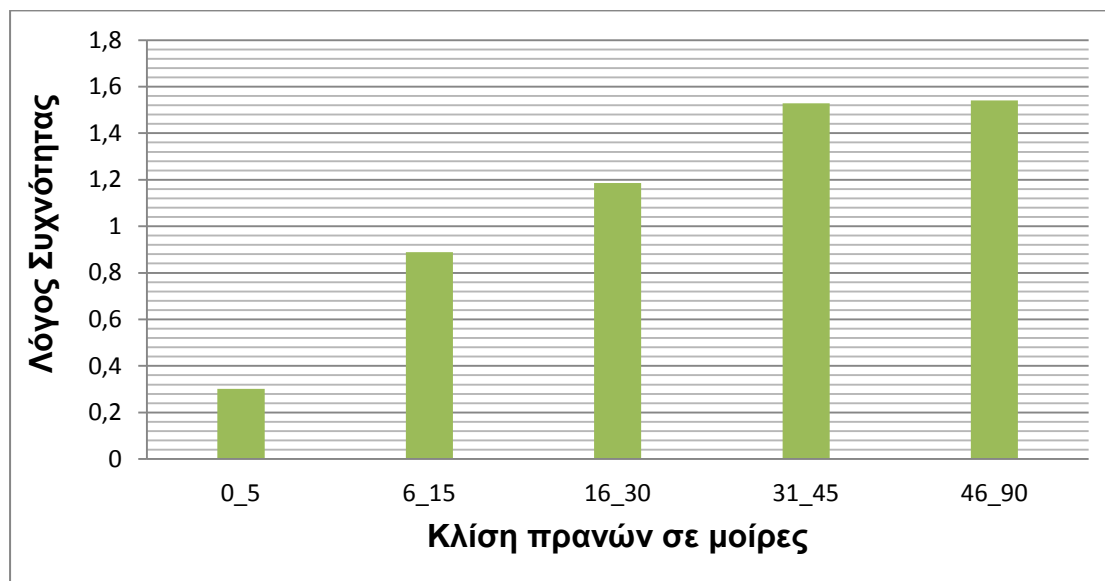
Κλίση Πρανών (°)	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
0-5	223817	15,47	129	4,66	0,30
6-15	386896	26,75	658	23,76	0,89
16-30	706909	48,87	1605	57,96	1,19
31-45	122366	8,46	358	12,93	1,53
46-90	6441	0,45	19	0,69	1,54



Σχήμα 4.4.2: Η σχετική συχνότητα της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία μορφολογικής κλίσης.



Σχήμα 4.4.3: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορία μορφολογικής κλίσης.



Σχήμα 4.4.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε κατηγορία μορφολογικής κλίσης.

Στην περιοχή μελέτης οι μεγαλύτερες κλίσεις παρατηρούνται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής. Από τα σχετικά διαγράμματα βλέπουμε τα πρανή τα οποία καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση, 49%, στην περιοχή είναι αυτά με κλίση 16 μέχρι 30 μοίρες, επίσης από 16 μέχρι 30 μοίρες έχουμε το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων, 58%, ενώ όσο αυξάνεται η κλίση των πρανών έχουμε αύξηση του Λόγου Συχνότητας άρα και η επικινδυνότητα σε κατολίσθηση αυξάνει. Τον μεγαλύτερο Λόγο Συχνότητας παρουσιάζει η κλάση με 46 μοίρες και πάνω, με τιμή 1,54. Ο συνολικός Λόγος Συχνότητας της κατηγορίας της κλίσης των πρανών είναι ίσος με 5,4. Οπότε συμπεραίνεται ότι με την αύξηση της κλίσης έχουμε αύξηση του κίνδυνου κατολίσθησης στην περιοχή.

4.5 Προσανατολισμός των πρανών (Aspect)

Ο προσανατολισμός των πρανών προέρχεται από την επεξεργασία του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου και δημιουργήθηκαν 8 κατηγορίες διεύθυνσης (σε μοίρες). Οι κατηγορίες προσανατολισμού των πρανών είναι: 0°-45°, 46°-90°, 91°-135°, 136°-180°, 181°-225°, 226°-280°, 281°-315°, 316°-360° (σχήμα 4.5.1).

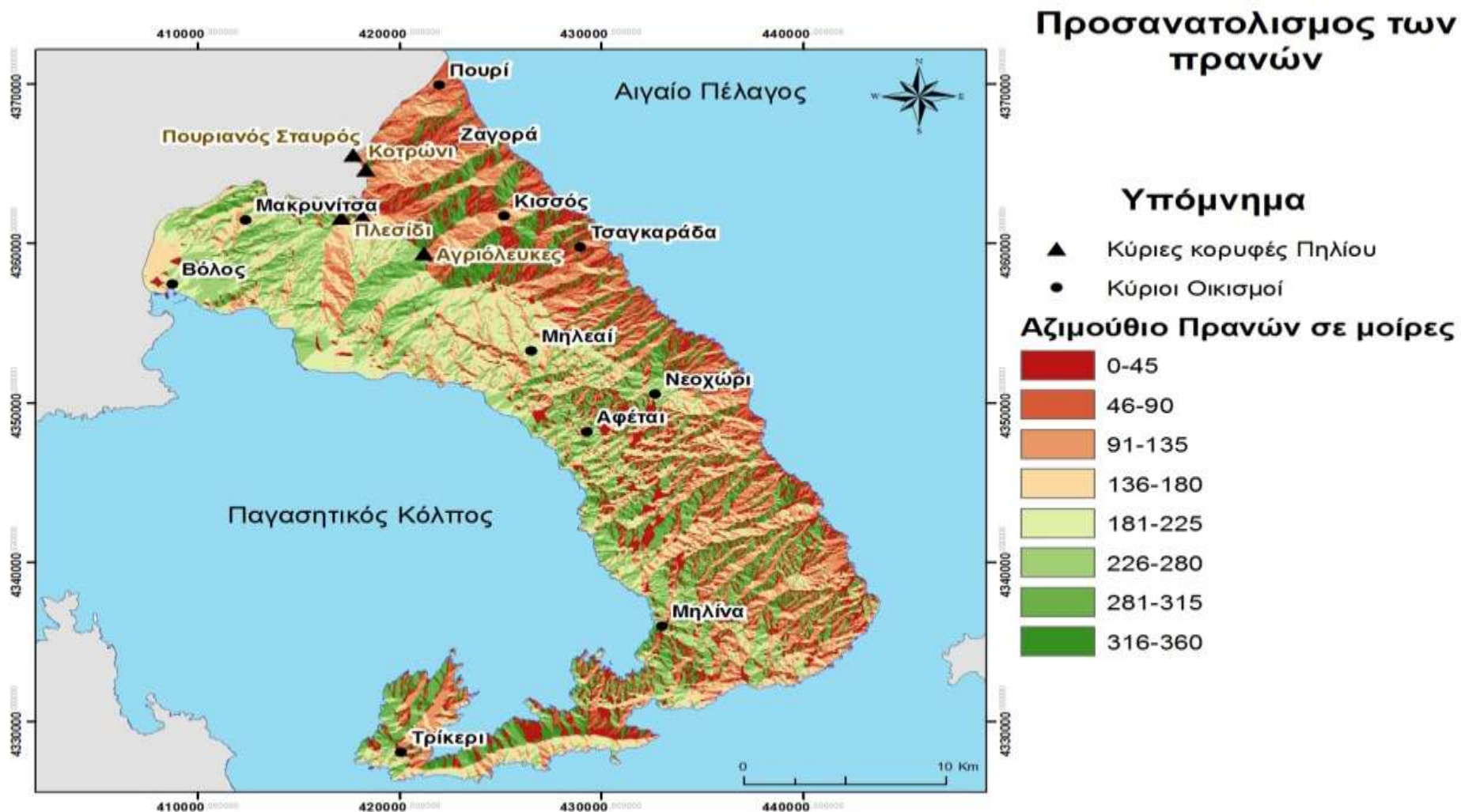
Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε κατηγορία προσανατολισμού, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μ.). Στην

συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας για την κάθε κατηγορία (ο λόγος εμφάνισης κατολισθήσεων στην κατηγορία προσανατολισμού επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία προσανατολισμού επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η επιφάνεια και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε κατηγορίας προσανατολισμού, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε κατηγορία προσανατολισμού και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.5.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία προσανατολισμού των πρηνών.

-Στο σχήμα 4.5.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε κατηγορίας προσανατολισμού στην περιοχή μελέτης.

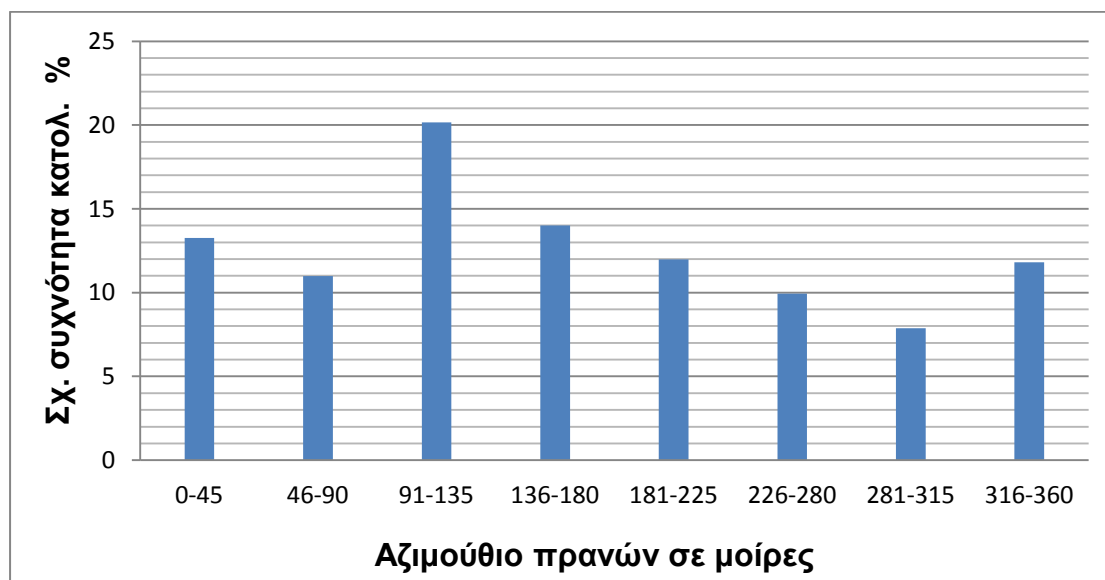
-Στο σχήμα 4.5.4 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε κατηγορία προσανατολισμού.



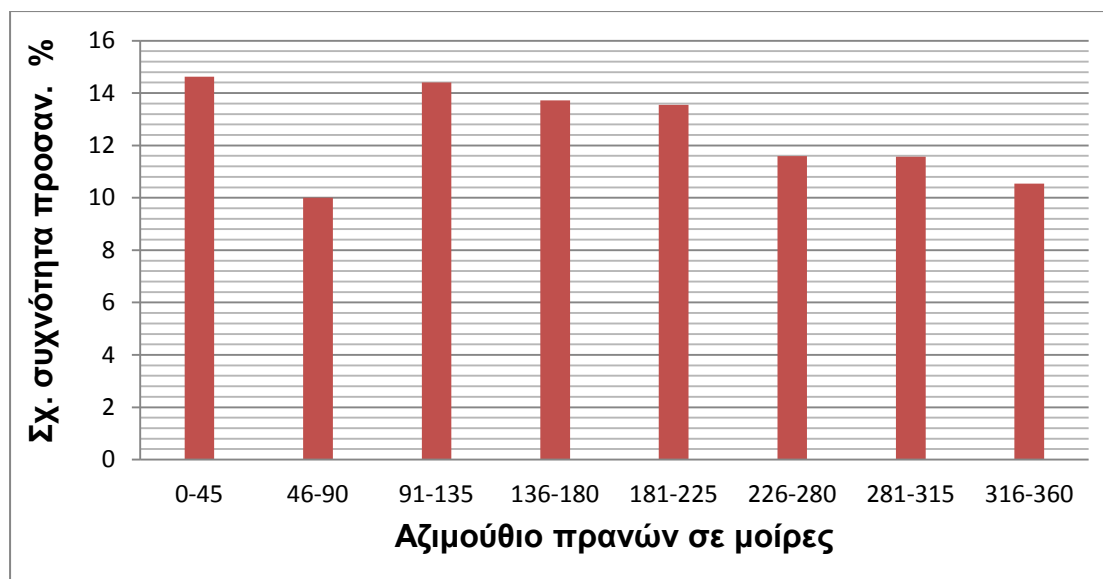
Σχήμα 4.5.1: Προσανατολισμός των πρανών με τις τιμές ομαδοποιημένες σε 8 κλάσεις βάση της διεύθυνσης.

Πίνακας 4.5: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε κατηγορίας προσανατολισμού, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε κατηγορία προσανατολισμού και Λόγος Συχνότητας.

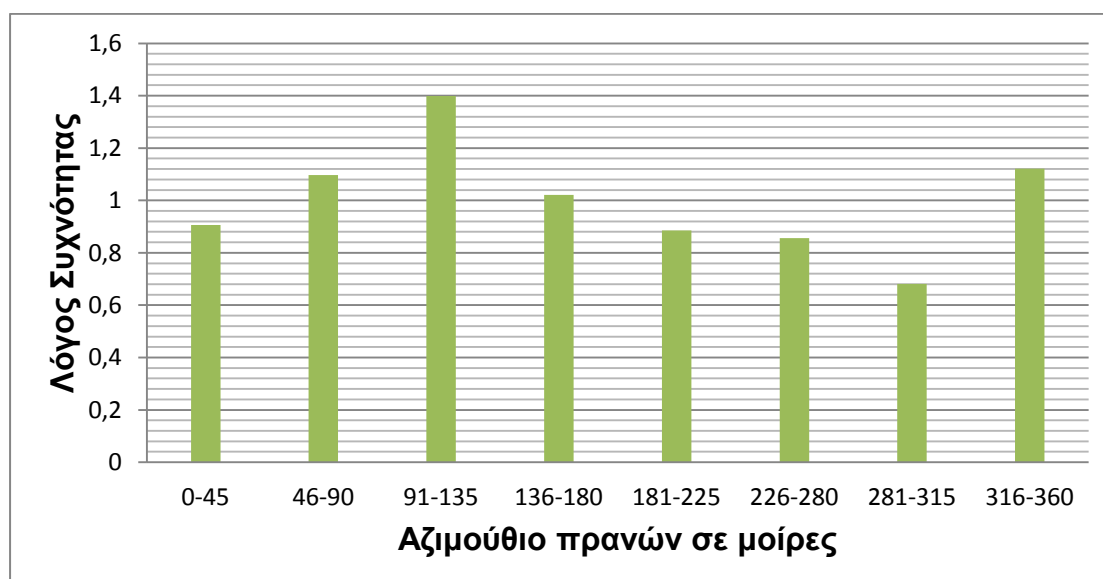
Αζιμούθιο πρανών (^ο)	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
0-45	211521	14,62	367	13,25	0,91
46-90	144738	10,01	304	10,98	1,10
91-135	208281	14,40	558	20,15	1,40
136-180	198451	13,72	388	14,01	1,02
181-225	195986	13,55	332	11,99	0,88
226-280	167755	11,60	275	9,93	0,86
281-315	167289	11,57	218	7,87	0,68
316-360	152408	10,54	327	11,81	1,12



Σχήμα 4.5.2: Η σχετική συχνότητα της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία προσανατολισμού των πρανών.



Σχήμα 4.5.3: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορίας προσανατολισμού των πρανών.



Σχήμα 4.5.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε κατηγορία προσανατολισμού των πρανών.

Βάση της μελέτης της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας (NAM, 2005) στην περιοχή του Πηλίου τα Ανατολικά πρανά δέχονται μεγαλύτερο ποσό ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, έχουν περισσότερη υγρασία και περισσότερες ημέρες με χιονοκάλυψη. Από τα σχετικά διαγράμματα εμφανίζεται ότι τα πρανά τα οποία καταλαμβάνουν τον περισσότερο χώρο, 14,6%, στην περιοχή είναι αυτά με προσανατολισμό 0⁰-45⁰. Από 91 μέχρι 135 μοίρες υπολογίστηκε το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων, 20%, ενώ η μέγιστη τιμή του Λόγου Συχνότητας παρατηρείται πάλι για τον προσανατολισμό των 91⁰-135⁰ και είναι ίση με 1,4. ο συνολικός Λόγος Συχνότητας της κατηγορίας του προσανατολισμού των πρανών είναι ίσος με

8. Άρα από τα Ανατολικά-Νοτιοανατολικά έχουμε μεγαλύτερη ευαισθησία στην κατολίσθηση λόγω των αυξημένων ποσών βροχόπτωσης και υγρασίας.

4.6 Υδρογραφικό δίκτυο

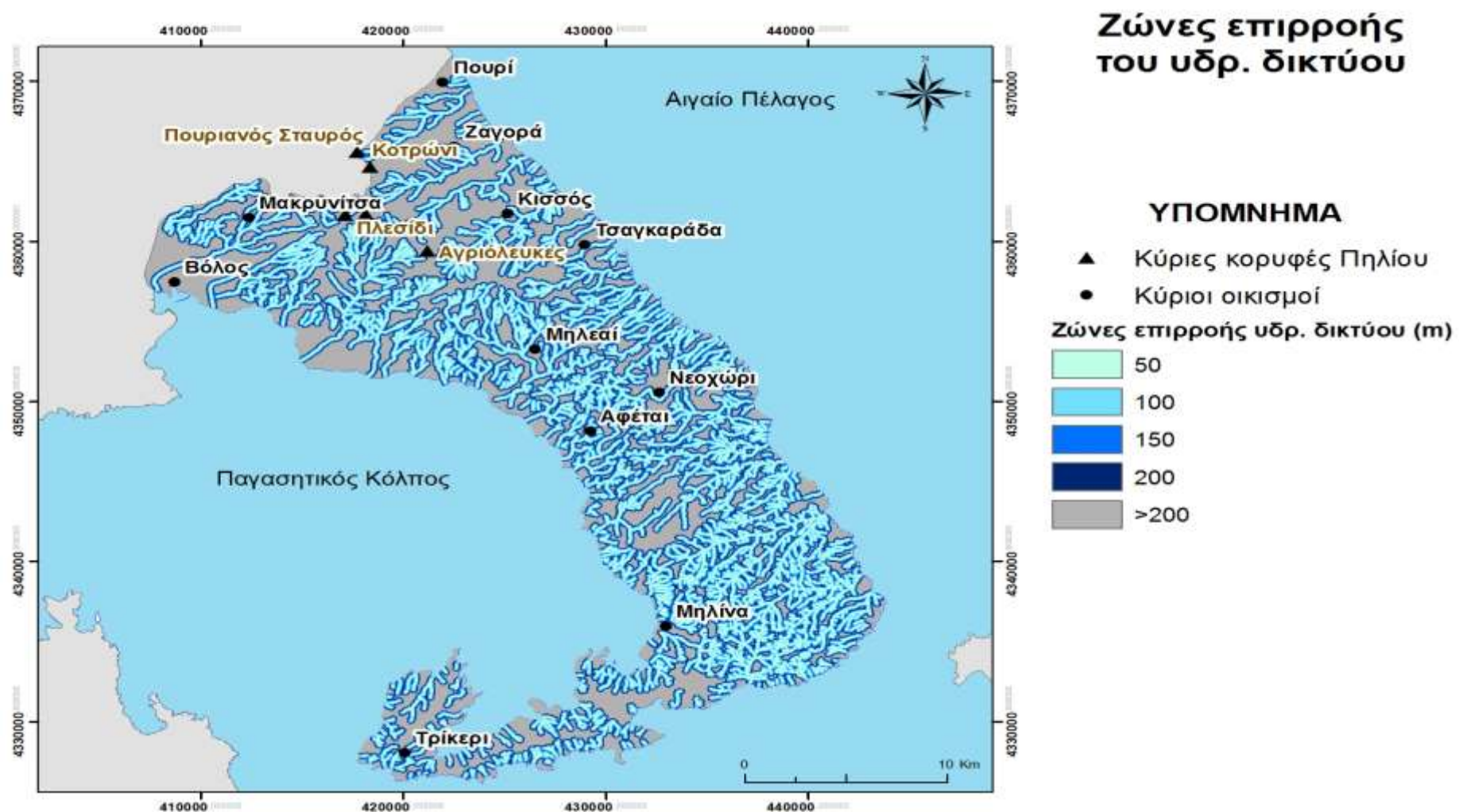
Για την ψηφιοποίηση των υδατορεμάτων και την δημιουργία του χάρτη του υδρογραφικού δικτύου και των υδρογραφικών λεκανών χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και πιο συγκεκριμένα τα φύλλα Βόλος, Ζαγορά, Αργαλαστή, Σκίαθος, Συκή. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν ζώνες επιρροής γύρω από τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου στις αποστάσεις των 50, 100, 150, 200 και μεγαλύτερη των 200 μέτρων (σχήμα 4.6.1).

Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε ζώνη επιρροής, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας για την κάθε ζώνη (ο λόγος των κατολισθήσεων της κάθε ζώνης επιρροής επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε ζώνη επιρροής επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε ζώνης επιρροής, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε ζώνη και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.6.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε ζώνη επιρροής του υδρογραφικού δικτύου.

-Στο σχήμα 4.6.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε ζώνης επιρροής στην περιοχή μελέτης.

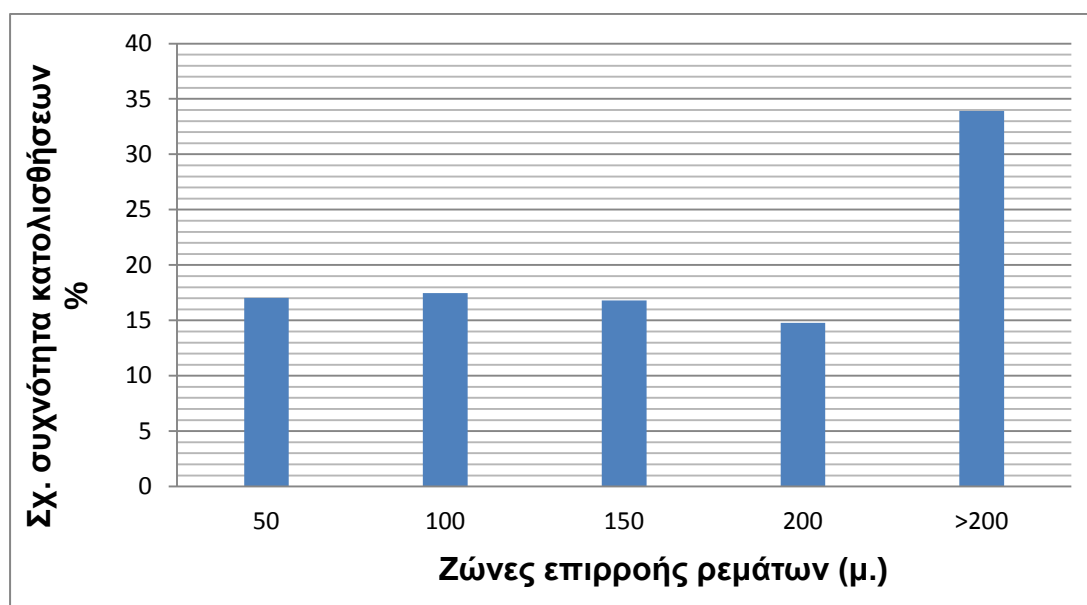
-Στο σχήμα 4.6.4 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε ζώνη επιρροής του υδρογραφικού δικτύου.



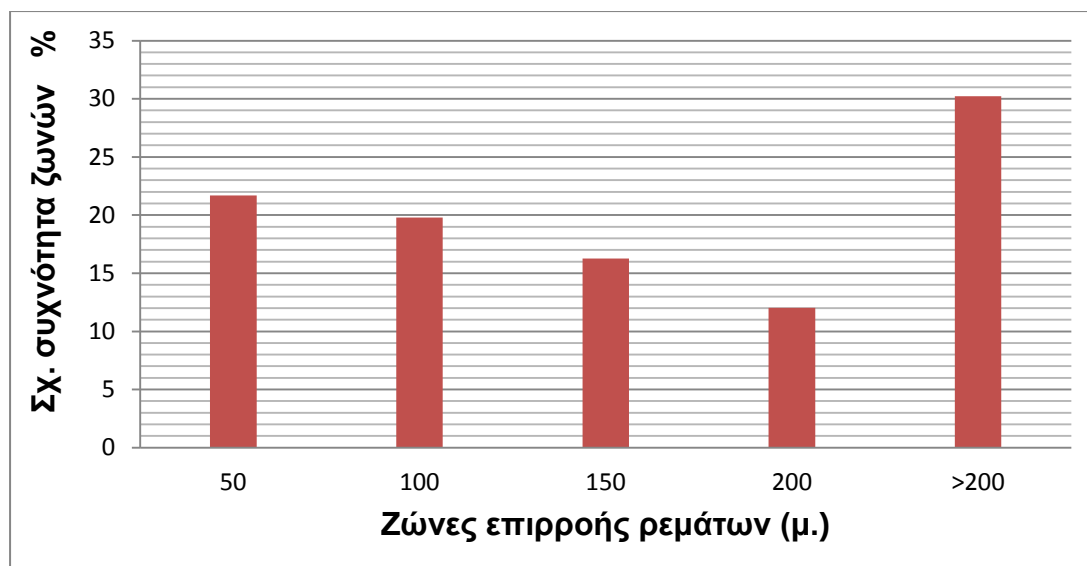
Σχήμα 4.6.1: Υδρογραφικό δίκτυο με τις ζώνες επιρροής των 50, 100, 150, 200 και >200 μέτρων.

Πίνακας 4.6: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε ζώνης, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε ζώνη και Λόγος Συχνότητας των ζωνών επιρροής του υδρογραφικού δικτύου.

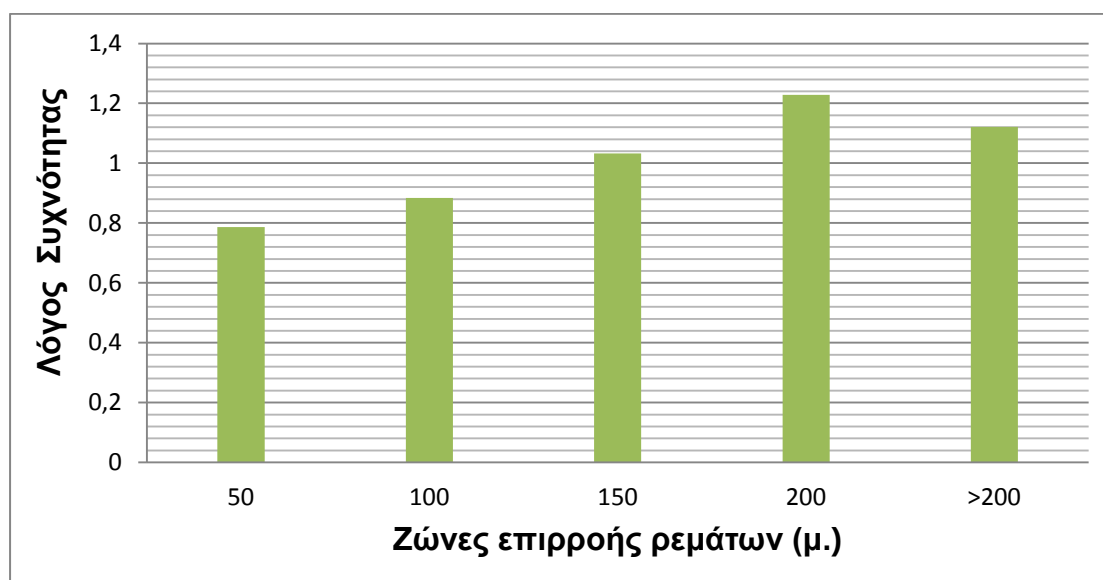
Ζώνες επιρροής ρεμάτων (μ.)	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
50	313719	21,69	472	17,05	0,79
100	286173	19,78	484	17,48	0,88
150	235354	16,27	465	16,79	1,03
200	173998	12,03	409	14,77	1,23
>200	437289	30,23	939	33,91	1,12



Σχήμα 4.6.2: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε ζώνη επιρροής του υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 4.6.3: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε ζώνη επιρροής του υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 4.6.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε ζώνη επιρροής του υδρογραφικού δικτύου.

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι την μεγαλύτερη επιφάνεια, την καλύπτει η ζώνη επιρροής σε απόσταση άνω των 200 μέτρων και είναι ίση με 30%. Περισσότερες κατολισθήσεις εμφανίζει επίσης η ζώνη επιρροής, σε απόσταση άνω των 200 μέτρων, με 33%. Ο Λόγος Συχνότητας είναι κοντά στο 1 για όλες τις ζώνες επιρροής και κορυφώνεται στην ζώνη επιρροής των 200 μέτρων με τιμή 1,2. Το σύνολο του Λόγου Συχνότητας είναι 5,1.

4.7 Οδικό δίκτυο

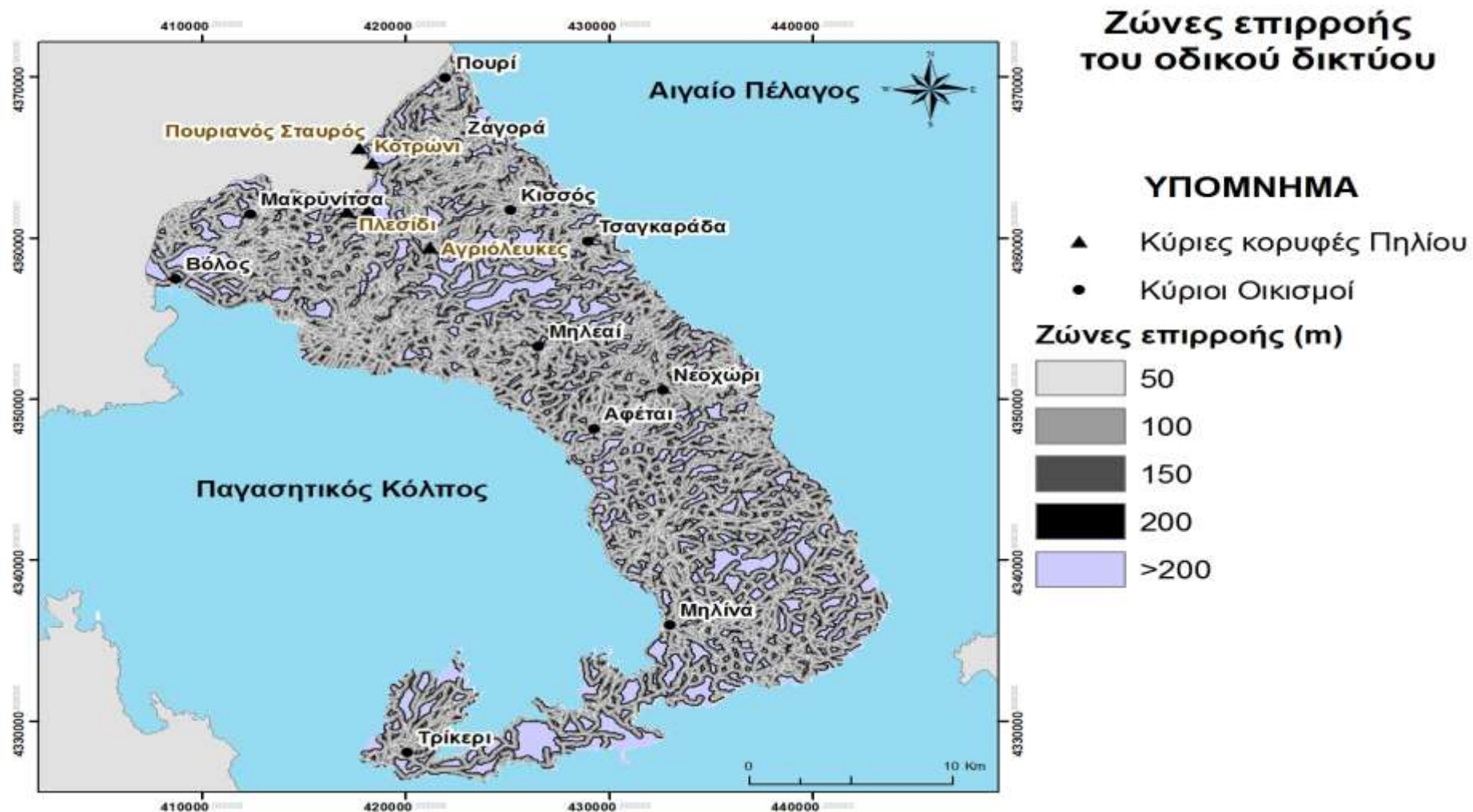
Για την ψηφιοποίηση των δρόμων και την δημιουργία του χάρτη του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και πιο συγκεκριμένα τα φύλλα Βόλος, Ζαγορά, Αργαλαστή, Σκίαθος, Συκή. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν ζώνες επιρροής γύρω από τους δρόμους στις αποστάσεις των 50, 100, 150, 200 και μεγαλύτερη των 200 μέτρων (σχήμα 4.7.1).

Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας για την κάθε ζώνη (ο λόγος των κατολισθήσεων της κάθε ζώνης επιρροής επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε ζώνη επιρροής επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.7 παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε ζώνης επιρροής του οδικού δικτύου, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε ζώνη και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.7.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου.

-Στο σχήμα 4.7.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε ζώνης επιρροής στην περιοχή μελέτης.

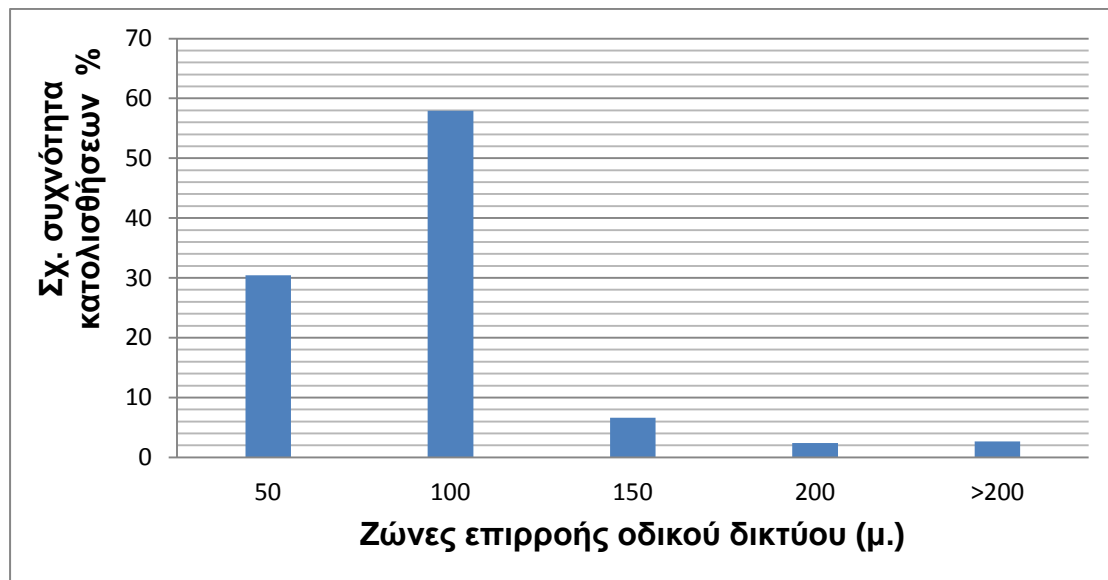
-Στο σχήμα 4.7.4 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου.



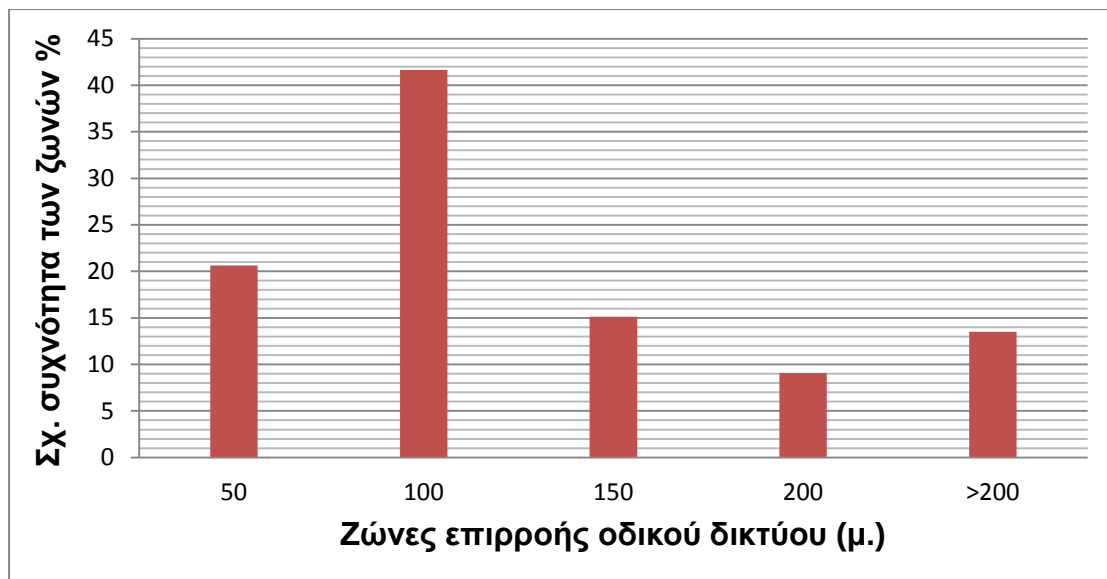
Σχήμα 4.7.1: Οδικό δίκτυο με τις ζώνες επιρροής των δρόμων σε αποστάσεις 50, 100, 150, 200 και >200 μ.

Πίνακας 4.7: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε ζώνης, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε ζώνη και Λόγος Συχνότητας των ζωνών επιρροής του οδικού δικτύου.

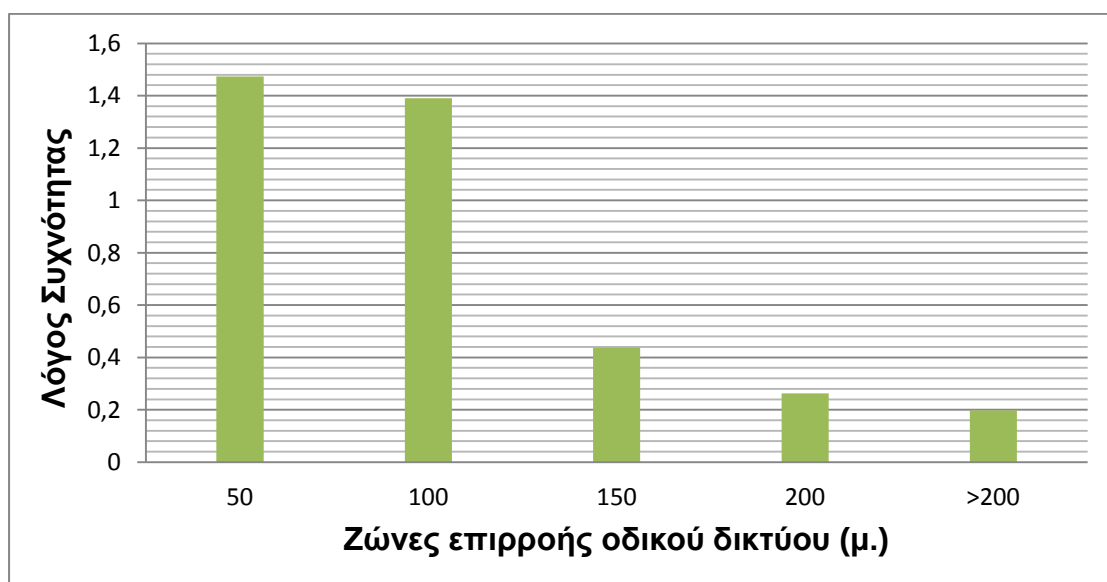
Ζώνες επιρροής (μ.)	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
50	298545	20,64	842	30,41	1,47
100	602573	41,66	1604	57,93	1,39
150	218678	15,12	183	6,61	0,44
200	131348	9,08	66	2,38	0,26
>200	195389	13,51	74	2,67	0,20



Σχήμα 4.7.2: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου.



Σχήμα 4.7.3: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου.



Σχήμα 4.7.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η ζώνη των 100 μέτρων έχει την μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση με 42%, ενώ μεγαλύτερη συχνότητα κατολισθήσεων παρατηρείται επίσης στην ζώνη των 100 μέτρων και ισούται με 58%. Ο Λόγος Συχνότητας είναι μέγιστος στην πλησιέστερη ζώνη (50μ.) από τον οδικό άξονα, ίση με 1,47, και βαίνει μειούμενη με αύξηση της απόστασης από τον οδικό άξονα. Η συνολική τιμή που παίρνει ο Λόγος Συχνότητας για τις ζώνες επιρροής του οδικού άξονα είναι ίσος με 3,8. Παρατηρείται μια πολύ έντονη επίδραση του οδικού άξονα στις κατολισθήσεις. Αυτό οφείλεται αφενός μεν στο ότι τα περισσότερα φαινόμενα που κατεγράφησαν ήταν παρακείμενα του οδικού δικτύου, αφετέρου δε το οδικό

δίκτυο διαταράσσει την συνέχεια και ευστάθεια των πρυνών και επιτελεί καταλυτικό κομμάτι για την έναρξη και κλιμάκωση των κατολισθητικών φαινομένων.

4.8 Χρήσεις γης

Τα δεδομένα για τις χρήσεις γης της περιοχής προήλθαν από το πρόγραμμα κάλυψης γης Corine Land Cover 2000. Η κατηγοριοποίηση πραγματοποιήθηκε σε 5 κατηγορίες βάση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους: Περιοχή με Αραιή Βλάστηση, με Καλλιέργειες, με Δάση, με Λιβάδια και Αστική Περιοχή.

Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε κατηγορία χρήσης γης, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας για την κάθε κατηγορία (ο λόγος των κατολισθήσεων της κάθε κατηγορίας επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.8 παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε κατηγορίας χρήσεις γης, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε κατηγορία και ο Λόγος Συχνότητας.

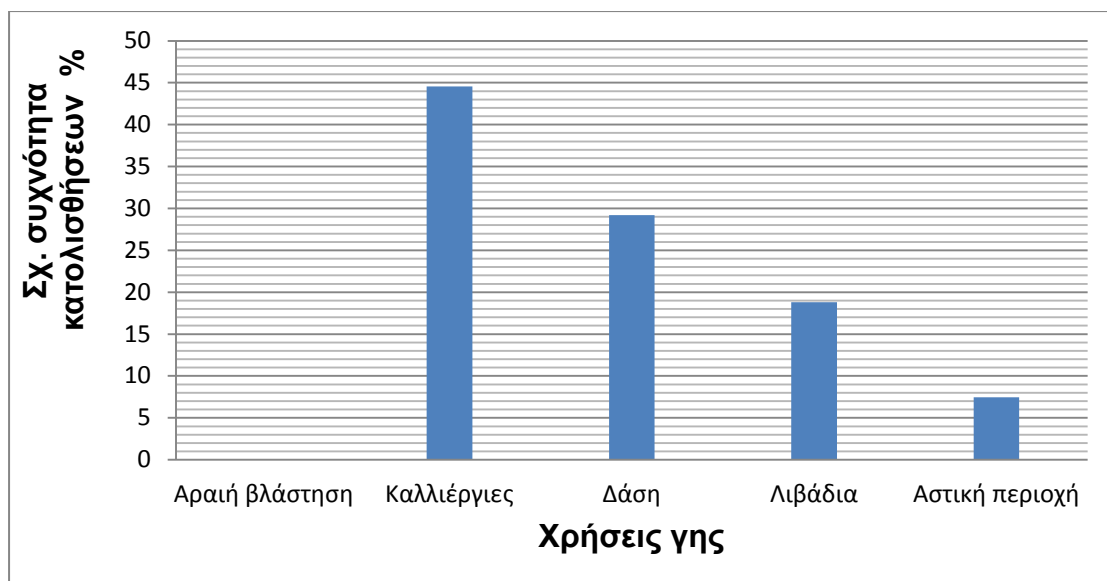
-Στο σχήμα 4.8.1 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία χρήσης γης.

-Στο σχήμα 4.8.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε κατηγορίας στην περιοχή μελέτης.

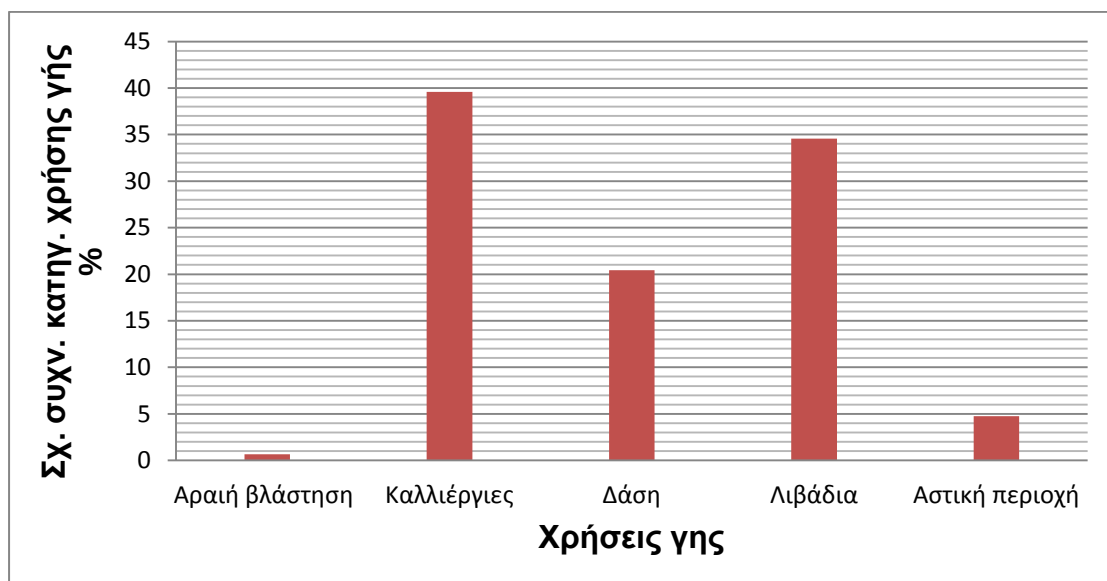
-Στο σχήμα 4.8.3 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε κατηγορίας χρήσης γης.

Πίνακας 4.8: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε κατηγορίας χρήσης γης, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε κατηγορία και Λόγος Συχνότητας.

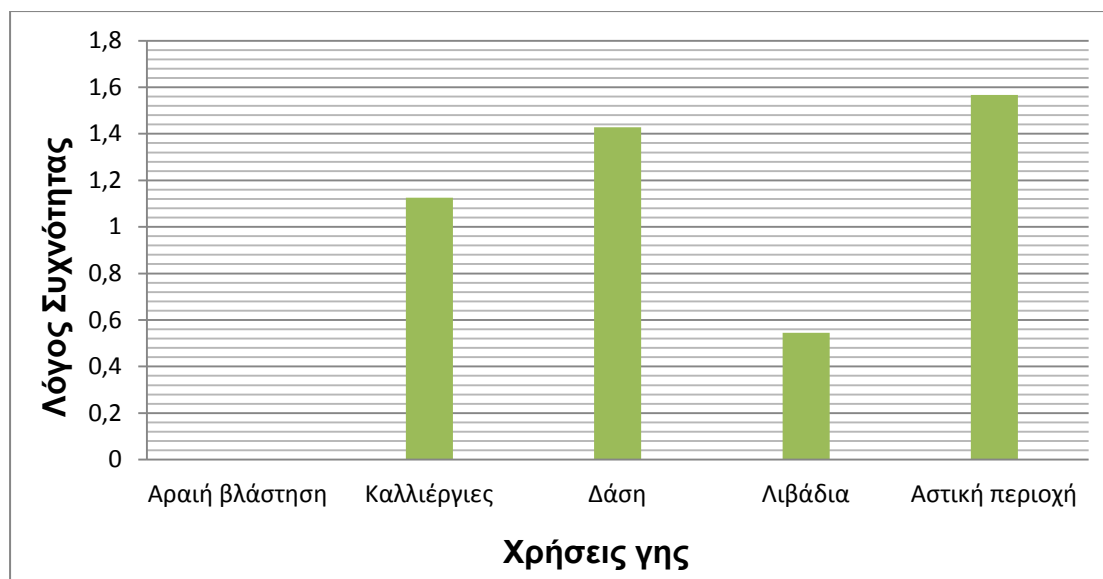
Χρήσεις γής	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
Αραιή βλάστηση	9684	0,67	0	0,00	0,00
Καλλιέργειες	570571	39,59	1234	44,56	1,13
Δάση	294480	20,43	808	29,18	1,43
Λιβάδια	497981	34,55	521	18,82	0,54
Αστική Περ.	68442	4,75	206	7,44	1,57



Σχήμα 4.8.1: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία χρήσης γης.



Σχήμα 4.8.2: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορία χρήσης γης.



Σχήμα 4.8.3: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε κατηγορία χρήσης Γής.

Από την ανάλυση των διαγραμμάτων διαπιστώνουμε ότι οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν την μεγαλύτερη εξάπλωση στην περιοχή μελέτης με ποσοστό 39,6%, περισσότερες κατολισθήσεις εμφανίζονται στις καλλιέργειες με 44,6%, ενώ ο Λόγος Συχνότητας είναι μεγαλύτερος στα δάση με 1,43. Ο συνολικός Λόγος Συχνότητας των χρήσεων Γής είναι ίσος με 4,7. Τα αποτελέσματα εξηγούνται εάν λάβουμε υπόψη το ότι, η περιοχή που έχει χαρακτηριστεί ως δασώδης αποτελείται από απότομα και δενδροκαλυμμένα πρανή στα οποία έχουμε την μεγαλύτερη πυκνότητα οικισμών με πυκνό οδικό δίκτυο, κάτι που συνεπακόλουθα αυξάνει τον κίνδυνο κατολίσθησης.

4.9 Βροχοπτώσεις

Τα βροχομετρικά δεδομένα προήλθαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Βόλου, της Αγχιάλου, της Μακρυνίτσας, της Σκιάθου, του Στεφανοβικείου και της Ιστιαίας. Οι μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης που υπολογίστηκαν για την περιοχή με την μέθοδο παρεμβολής Inverse Distance Weighted (IDW) και παρουσιάζουν εύρος τιμών από 470 έως 790 χιλ. Η ταξινόμηση των τιμών βροχόπτωσης έγινε σε 5 κατηγορίες βάση του ύψους βροχόπτωσης: 470 -530, 531-590, 591-650, 651-710 και 711-790 χιλ. (σχήμα 4.9.1).

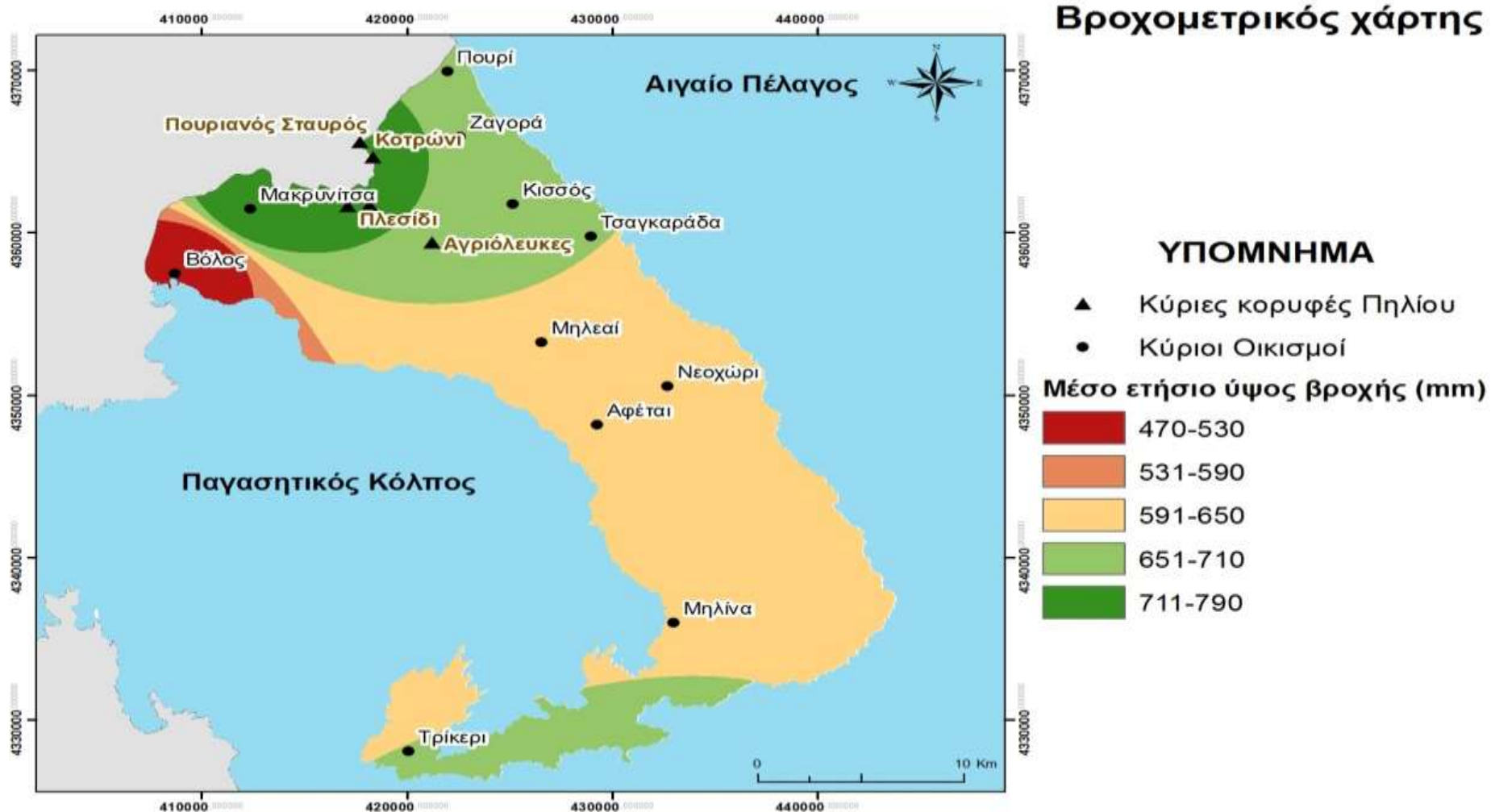
Η επιφάνεια που καταλαμβάνει και ο αριθμός των κατολισθήσεων που αναλογεί, στην κάθε κατηγορία βροχόπτωσης, υπολογίστηκε μέσω του αλγόριθμου zonal statistics του ArcGIS (με μέγεθος ψηφίδας 20x20 μέτρα). Στην συνέχεια μετρήθηκε ο Λόγος Συχνότητας για την κάθε κατηγορία (ο λόγος των κατολισθήσεων της κάθε κατηγορίας επί του συνόλου των κατολισθήσεων προς τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία επί της συνολικής επιφάνειας της περιοχής). Στον πίνακα 4.9

παρουσιάζεται η επιφάνεια (pixel) και η σχετική συχνότητα της καλυπτόμενης επιφάνειας της κάθε κατηγορίας βροχόπτωσης, η περιοχή (pixel) που κατολισθαίνει και η σχετική συχνότητα της κατολισθαίνουσας περιοχής για την κάθε κατηγορία και ο Λόγος Συχνότητας.

-Στο σχήμα 4.9.2 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία βροχόπτωσης.

-Στο σχήμα 4.9.3 παρουσιάζεται η σχετική συχνότητα, επί τοις 100, της εμφάνισης της κάθε κατηγορίας στην περιοχή μελέτης.

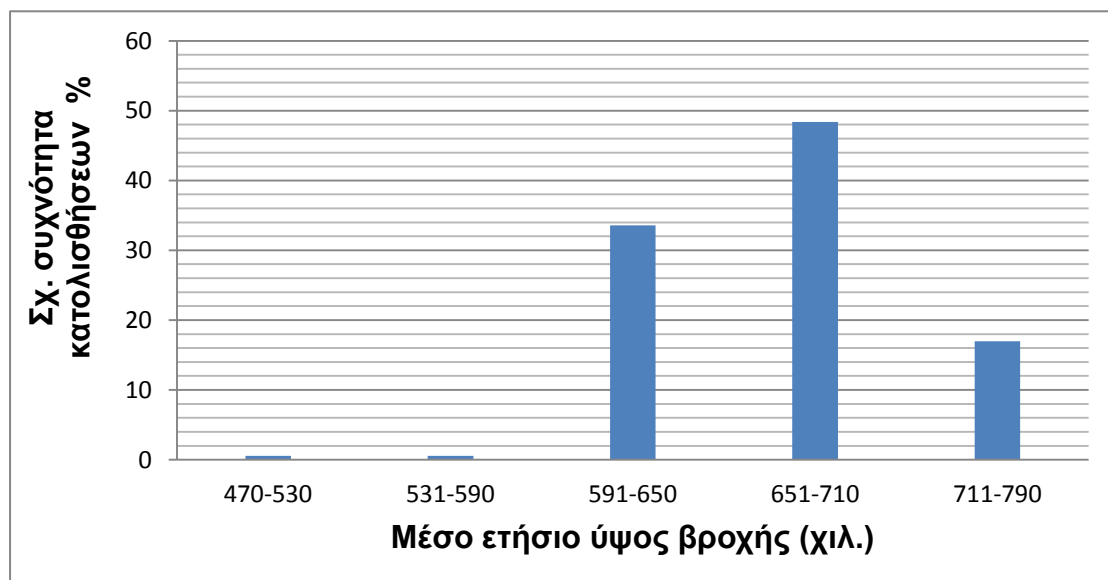
-Στο σχήμα 4.9.4 παρουσιάζεται η τιμή του Λόγου Συχνότητας όπως υπολογίστηκε για την κάθε κατηγορία βροχόπτωσης.



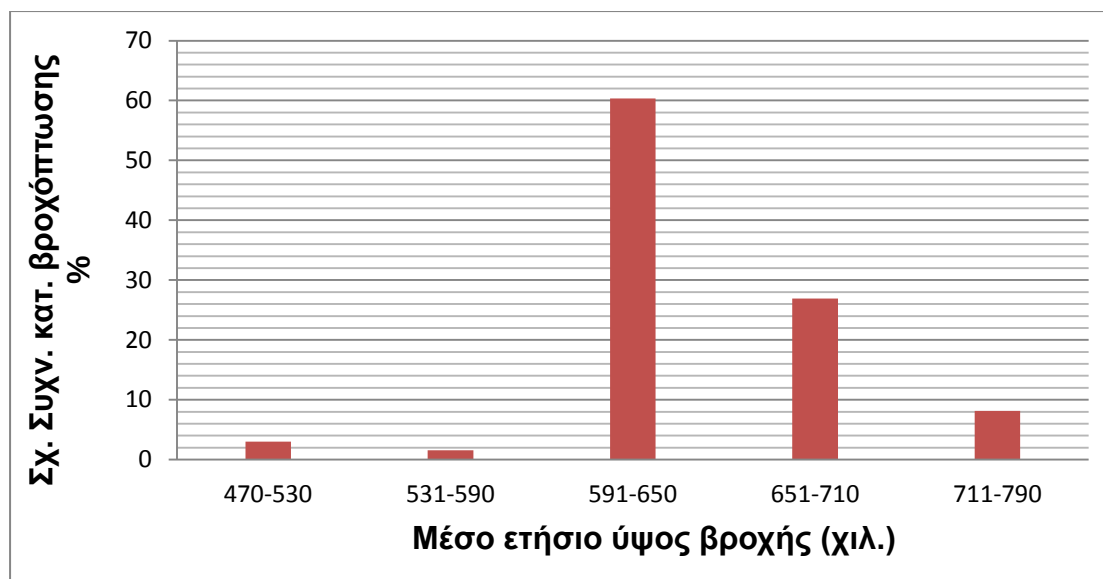
Σχήμα 4.9.1: Ο βροχομετρικός χάρτης της περιοχής με πέντε κατηγορίες βροχόπτωσης.

Πίνακας 4.9: Καλυπτόμενη επιφάνεια και σχετική συχνότητα της καλ. επιφάνειας της κάθε κατηγορίας βροχόπτωσης, κατολισθαίνουσα περιοχή και σχ. συχνότητα της κατολ. περιοχής για την κάθε κατηγορία και Λόγος Συχνότητας.

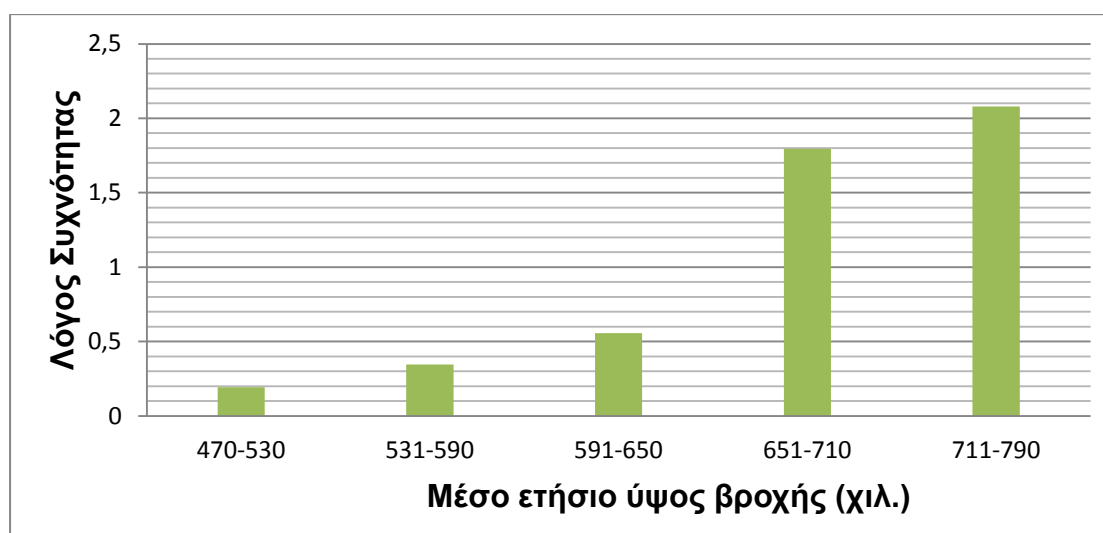
Μέσο ετήσιο ύψος βροχ. (χιλ.)	Καλ. επ. (pixel)	Σχ. συχ. καλ. επιφ. (%)	Κατολ. περ. (pixel)	Σχ. συχ. κατολ. περ. (%)	Λόγος Συχνότητας
470-530	43537	3,01	16	0,58	0,19
531-590	22636	1,56	15	0,54	0,35
591-650	872851	60,34	929	33,55	0,56
651-710	389385	26,92	1339	48,36	1,80
711-790	118119	8,17	470	16,97	2,08



Σχήμα 4.9.2: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων για την κάθε κατηγορία βροχόπτωσης.



Σχήμα 4.9.3: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορίας βροχόπτωσης.



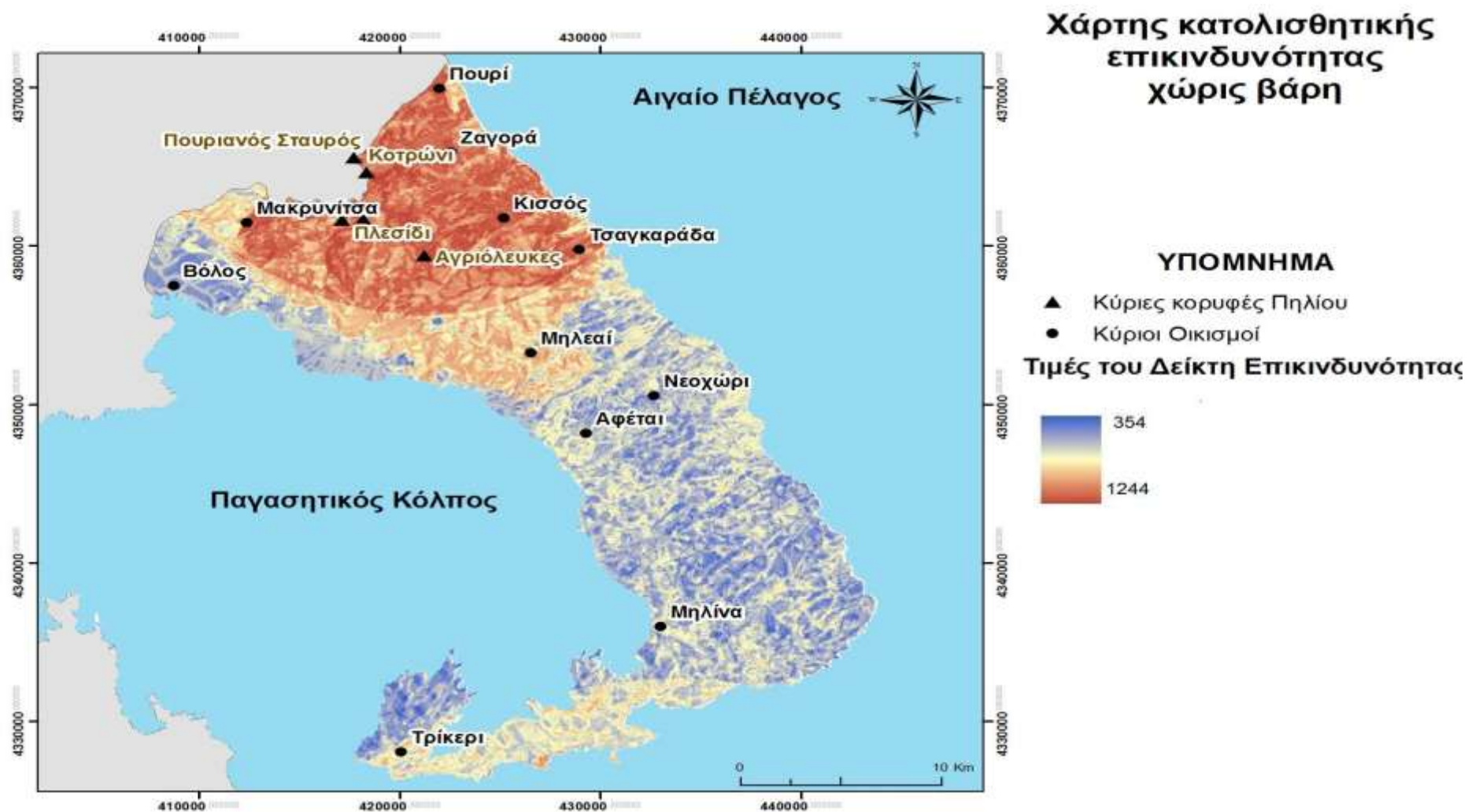
Σχήμα 4.9.4: Η τιμή του Λόγου Συχνότητας για την κάθε κατηγορία βροχόπτωσης.

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη επιφάνεια της περιοχή μελέτης 60% δέχεται κατά μέσο όρο ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ίσα με 591-650χιλ. Οι περισσότερες κατολισθήσεις, 48%, συναντιόνται εκεί που έχει βροχοπτώσεις με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 651-710χιλ. ενώ ο Λόγος Συχνότητας παίρνει την μέγιστη τιμή του ίση με 2,1 στην κλάση με το μεγαλύτερο ποσό βροχόπτωσης. Ο συνολικός Λόγος Συχνότητας για τον παράγοντα της βροχόπτωσης είναι ίσος με 5. Μέσω της μελέτης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων συμπεραίνεται μια ξεκάθαρη αύξηση των κατολισθήσεων σε περιοχές με αυξημένα ποσά βροχόπτωσης.

Συνεπακόλουθα η αύξηση της βροχόπτωσης επιδρά στην αύξηση των κατολισθητικών φαινομένων.

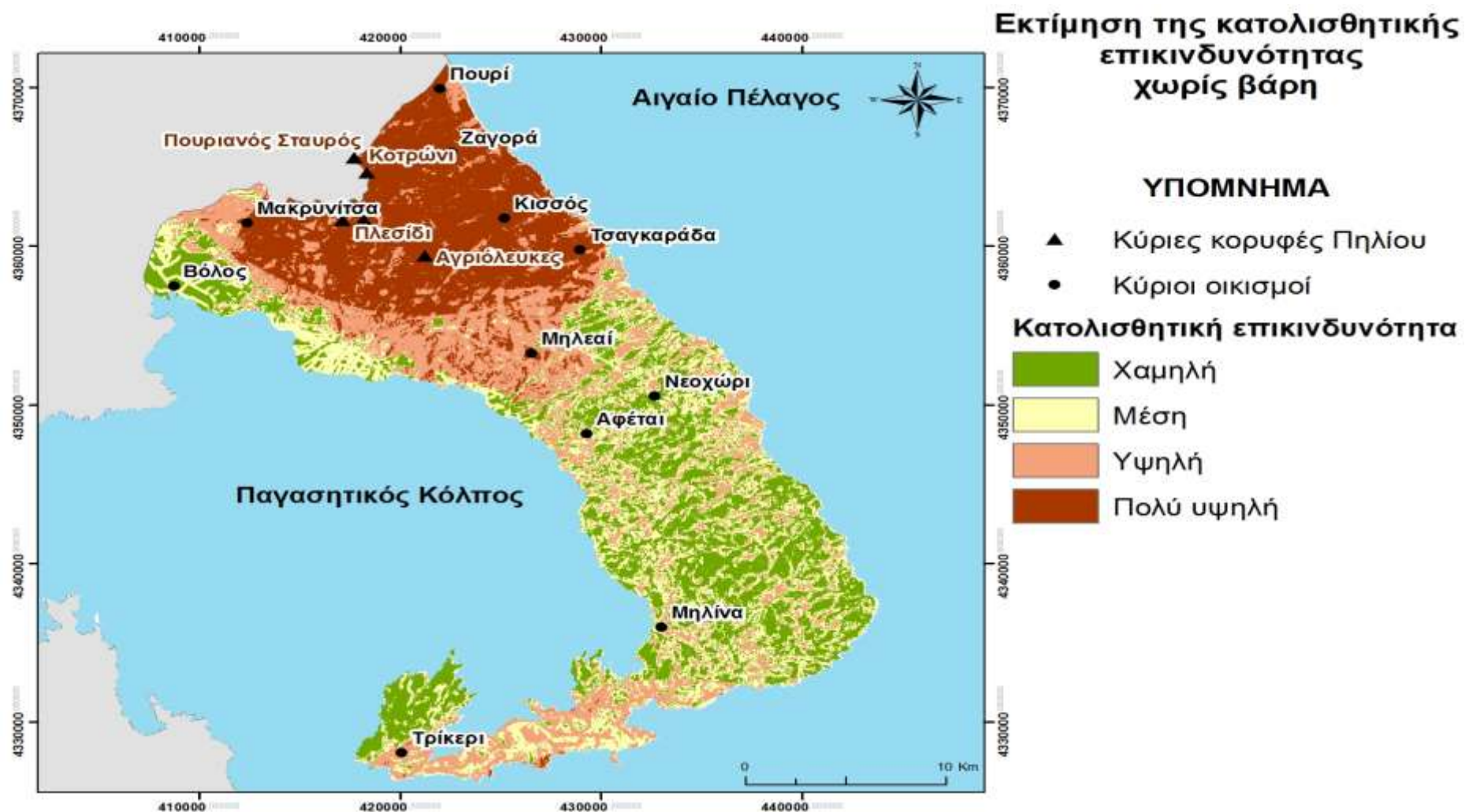
4.10 Εύρεση του κατολισθητικού κινδύνου

Για την διαπίστωση της κατολισθητικής επικινδυνότητας στην περιοχή πραγματοποιήθηκε η σύνθεση του χάρτη επικινδυνότητας, από την αλληλοσυσχέτιση και επικάλυψη των τιμών του Λόγου Συχνότητας που προέκυψαν για τον κάθε παράγοντα. Με την εύρεση του δείκτη επικινδυνότητας προσδιορίζονται οι περιοχές οι οποίες είναι επιδεκτικές στη διαμόρφωση συνθηκών αστοχίας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι αριθμητικές πράξεις μεταξύ των ψηφιδωτών αρχείων, με τις τιμές του Λόγου Συχνότητας, για τον κάθε παράγοντα πραγματοποιήθηκαν μέσω της εφαρμογής (αλγόριθμος) raster calculator του ArcGIS. Για την ευκολία της χρήσης των δεδομένων ο Λόγος Συχνότητας του κάθε παράγοντα πολλαπλασιάστηκε με το 100 και στρογγυλοποιήθηκε ώστε η ανάλυση των δεδομένων και οι τιμές του δείκτη επικινδυνότητας να είναι ακέραιοι αριθμοί χωρίς δεκαδικά. Τα ψηφιδωτά αρχεία με τις ακέραιες τιμές του Λόγου Συχνότητας, για τον κάθε παράγοντα ξεχωριστά, προστεθήκαν μεταξύ τους μέσω της εφαρμογής raster calculator και προέκυψε ένα εύρος τιμών από 354 έως 1244 που αποτελεί τον δείκτη επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις για την περιοχή (σχήμα 4.10.1).



Σχήμα 4.10.1: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας με συνεχείς τιμές.

Για την κατηγοριοποίηση σε κλάσεις επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος κανονικής τμηματοποίησης (quantile) (Ayalew & Yamagishi, 2005, Papadopolou et al., 2013). Η μέθοδος κανονικής τμηματοποίησης είναι κατάλληλη για δεδομένα που διαφοροποιούνται ως προς την κλίμακα τάξης αλλά έχει το μειονέκτημα της τοποθέτησης στοιχείων με διαφορά στις τιμές σε παρόμοιες κλάσεις (Ayalew & Yamagishi, 2005). Με την μέθοδο της κανονικής τμηματοποίησης πραγματοποιήθηκε η υποδιαίρεση του συνόλου των δεδομένων σε ομάδες με ίσο αριθμό μελών (παρόμοια pixel έκτασης περιοχής) και τα αριθμητικά δεδομένα του δείκτη επικινδυνότητας διατάχθηκαν κατά αύξουσα σειρά. Σύμφωνα με την μέθοδο η περιοχή χωρίστηκε σε 4 ζώνες βάση της επικινδυνότητας για κατολίσθηση, Πολύ υψηλή, Υψηλή, Μέση, Χαμηλή (σχήμα 4.10.2). Αυτή η μέθοδος επιλέχτηκε μετά από συνεχείς δοκιμές δεδομένου ότι παρουσίαζε τα καλύτερα αποτελέσματα από τις υπόλοιπες μεθόδους κατηγοριοποίησης στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την επικινδυνότητα του κάθε σημείου συγκρινόμενη με την διασπορά των κατολισθήσεων στην περιοχή.



Σχήμα 4.10.2: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας με ζώνες επικινδυνότητας.

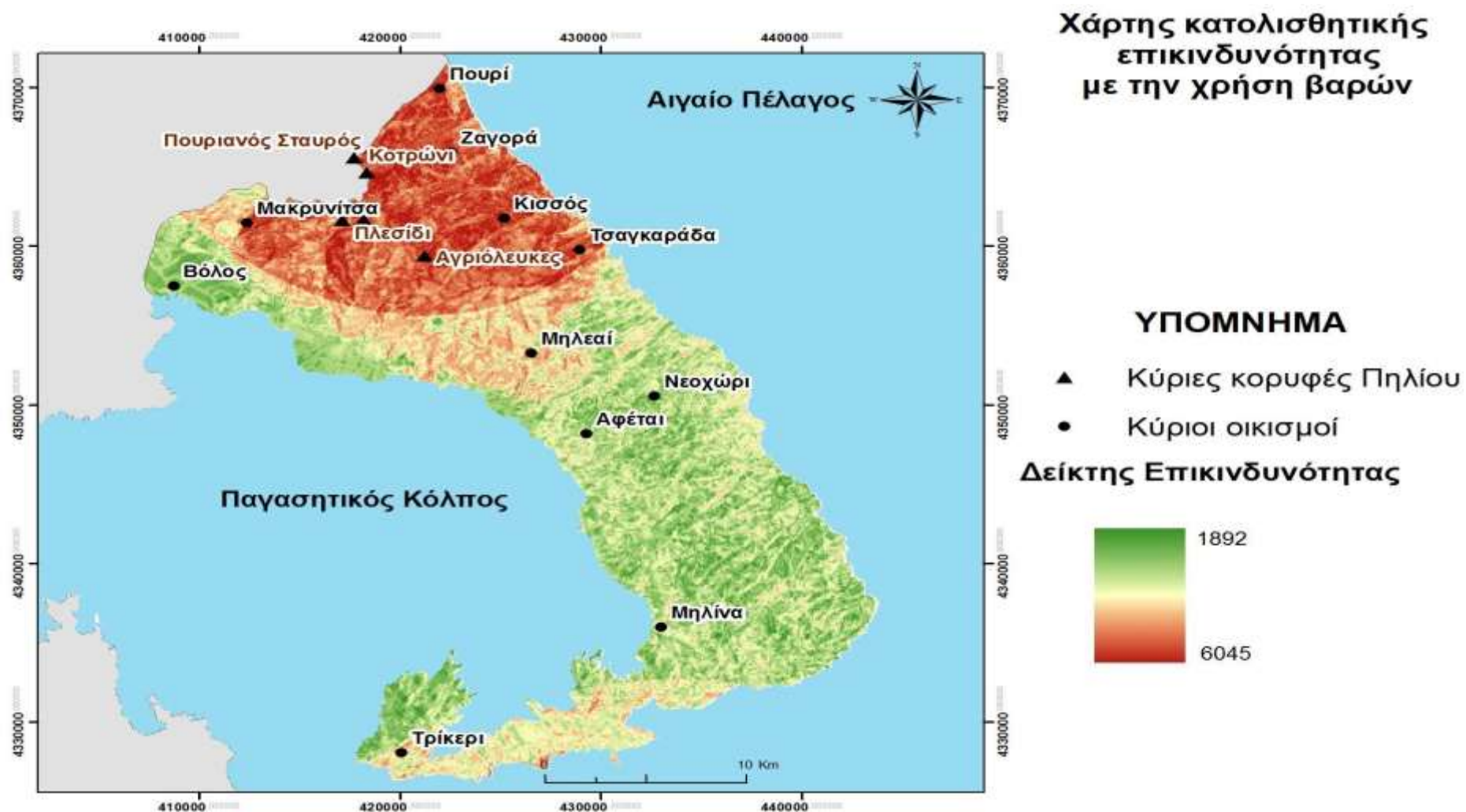
Οι τιμές που έχει η κάθε ζώνη είναι 354-658 για την χαμηλή, 659-754 για την μέση, 755-959 για την υψηλή, 960-1244 για την πολύ υψηλή επικινδυνότητα. Η περιοχή που έχει δείκτη χαμηλής επικινδυνότητας καταλαμβάνει το 25% της επιφάνειας και 5,5% του συνόλου των κατολισθήσεων. Η περιοχή με δείκτη μέσης επικινδυνότητας καταλαμβάνει 25,2% της περιοχής και έχει το 12,4% των κατολισθήσεων. Η περιοχή υψηλής επικινδυνότητας αποτελεί το 25% της επιφάνειας και έχει το 15,1% των κατολισθήσεων. Η περιοχή πολύ υψηλής επικινδυνότητας αποτελεί το 24,8 % της επιφάνειας και έχει το 67% των κατολισθήσεων 9 (πίνακας 4.10.1).

Πίνακας 4.10.1: Καλυπτόμενη επιφάνεια και κατολισθαίνουσα περιοχή για τον κάθε δείκτη επικινδυνότητας.

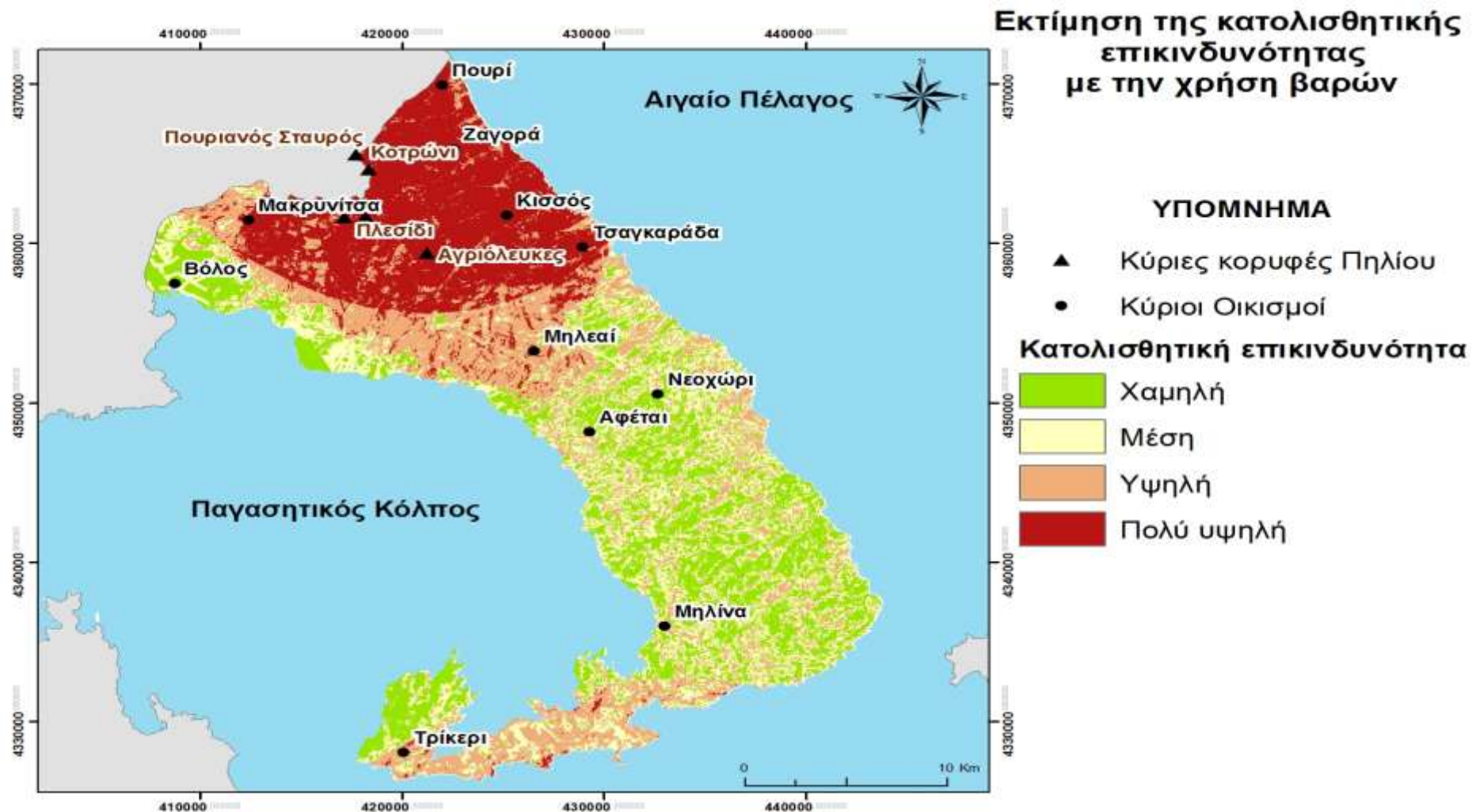
Δείκτης επικινδ.	Εύρος τιμών δείκτη επικ.	Καλ. επ. (pixel)	Ποσοστό περιοχής	Κατολ. περ. (pixel)	Ποσοστό κατολισθήσεων
Χαμηλός	354-658	359958	25%	153	5,50%
Μέσος	659-754	362561	25,20%	343	12,40%
Υψηλός	755-959	359121	25%	418	15,10%
Πολύ υψηλός	960-1244	357755	24,8%	1855	67%

Για την πληρέστερη ανάλυση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε και ένας δεύτερος τρόπος ανάλυσης των αποτελεσμάτων που βασίζεται στην χρήση βαρών για την εύρεση του δείκτη επικινδυνότητας. Τα βάρη υπολογιστήκαν από τις τιμές του Λόγου Συχνότητας για τον κάθε παράγοντα κινητοποίησης κατολίσθησης. Βάση του ότι όσο μεγαλύτερος ο Λόγος Συχνότητας τόσο μεγαλύτερη η επικινδυνότητα σε κατολίσθηση (Rozos et al., 2011). Το βάρος του κάθε παράγοντα, ισούται με το άθροισμα των τιμών του ΛΣ του κάθε παράγοντα. Με την χρήση των βαρών έγινε ξανά η συσχέτιση των ψηφιδωτών αρχείων με την χρήση της εφαρμογής (αλγόριθμος) raster calculator του ArcGIS. Για την βέλτιστη χρήση των δεδομένων ο Λόγος Συχνότητας του κάθε παράγοντα πολλαπλασιάστηκε με το 100 και στρογγυλοποιήθηκε. Στην συνέχεια το βάρος του κάθε παράγοντα πολλαπλασιάστηκε με τις ακέραιες τιμές του Λόγου Συχνότητας, για τον κάθε παράγοντα. Τα γινόμενα του ΛΣ με τα Βάρη για όλους τους παράγοντες προστέθηκαν για την εύρεση του δείκτη επικινδυνότητας. Οι τιμές του δείκτη που προέκυψαν είναι συνεχείς με εύρος από τις 1892 έως τις 6045 μονάδες (σχήμα 4.10.3).

Η κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων σε 4 διαβαθμίσεις επικινδυνότητας (Χαμηλή, Μέτρια, Υψηλή, Πολύ Υψηλή) πραγματοποιήθηκε ξανά βάση της μεθόδου κανονικής τμηματοποίησης (quantile). Οι κλάσεις που δημιουργήθηκαν είναι οι 1892-3307 με δείκτη Χαμηλό, 3308-3756 με δείκτη Μέσο, 3757-4591 με δείκτη Υψηλό και 4592-6045 με δείκτη Πολύ Υψηλό (σχήμα 4.10.4).



Σχήμα 4.10.3: Εκτίμηση του δείκτη επικινδυνότητας με την χρήση βαρών.



Σχήμα 4.10.4: Εκτίμηση της επικινδυνότητας με την χρήση βαρών και διακριτές ζώνες επικινδυνότητας.

Βάση των αποτελεσμάτων για τον δείκτη επικινδυνότητας με την χρήση βαρών προκύπτει ότι η περιοχή που έχει δείκτη χαμηλής επικινδυνότητας καταλαμβάνει το 25% της επιφάνειας και 6,2% του συνόλου των κατολισθήσεων. Η περιοχή με δείκτη μέσης επικινδυνότητας καταλαμβάνει 25% της περιοχής και έχει το 13,2% των κατολισθήσεων. Η περιοχή υψηλής επικινδυνότητας αποτελεί το 25% της επιφάνειας και έχει το 15,3% των κατολισθήσεων. Η περιοχή πολύ υψηλής επικινδυνότητας αποτελεί το 25% της επιφάνειας και έχει το 65,3% των κατολισθήσεων (πίνακας 4.10.2).

Πίνακας 4.10.2: Καλυπτόμενη επιφάνεια και κατολισθαίνουσα περιοχή για τον κάθε δείκτη επικινδυνότητας.

Δείκτης επικινδυνότητας	Εύρος τιμών δείκτη	Καλ. επ. (pixel)	Ποσοστό περιοχής	Κατολ. περ. (pixel)	Ποσοστό κατολισθήσεων
Χαμηλός	1892-3307	359890	25%	171	6,20%
Μέσος	3308-3756	359899	25%	367	13,20%
Υψηλός	3757-4591	359823	25%	425	15,30%
Πολύ υψηλός	4592-6045	359783	25%	1806	65,30%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Σύγκριση των δύο μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας

Η σύγκριση μεταξύ των 2 μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας πραγματοποιήθηκε με την διερεύνηση της κατανομής των κατολισθήσεων για τις διάφορες τιμές του δείκτη και την δημιουργία των καμπυλών αθροιστικής συχνότητας (Lee et al., 2004)

Αρχικώς έγινε η κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη επικινδυνότητας σε 12 κλάσεις με την μέθοδο κανονικής τμηματοποίησης (quantile). Το εύρος των τιμών του δείκτη επικινδυνότητας στην μέθοδο Χωρίς Βάρη είναι 354-1244 ενώ Με Βάρη είναι 1892-6045.

Η κατηγοριοποίηση στις 4 κλάσεις επικινδυνότητας (Χαμηλή, Μέση, Υψηλή, Πολύ Υψηλή) είχε πραγματοποιηθεί επίσης με την μέθοδο κανονικής τμηματοποίησης (quantile). Με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων έχουμε μεγαλύτερη διασπορά του αριθμού κατολισθήσεων στις διάφορες κλάσεις. Οι κλάσεις αυξηθήκαν σε 12 γιατί υπήρχε πολύ καλή συσχέτιση των ορίων των 4 κλάσεων επικινδυνότητας (πίνακες 5.1.2, 5.1.4) με τα όρια των 12 (πίνακες 5.1.1, 5.1.3) (στις 12 κλάσεις, τα όρια ανά 3 κλάσεις συμπίπτουν με τα όρια των 4 κλάσεων επικινδυνότητας)

Στην συνέχεια υπολογίστηκε για τις 12 κλάσεις ο αριθμός των κατολισθήσεων που αντιστοιχούν στην κάθε κλάση και υπολογίστηκε η συχνότητα και η αθροιστική συχνότητα των κατολισθήσεων ανά κλάση. Από τις αθροιστικές συχνότητες των κατολισθήσεων και με κοινό άξονα του X τις 12 κλάσεις παρήχθησαν οι καμπύλες αθροιστικών συχνοτήτων (Σχήμα 5.1.1) για την μέθοδο Χωρίς Βάρη (XB) και Με βάρη (MB).

Πίνακας 5.1.1: Κατανομή των κατολισθήσεων στην κάθε κλάση επικινδυνότητας (Χωρίς την χρήση βαρών).

Κλάσεις	Τιμές των κλάσεων	Κατολισθ. Περ. (pixel)	Συχνότητα %	Αθροιστ. Συχν. %
1	354-573	26	0,9	0,94
2	574-621	75	2,7	3,6
3	622-658	58	2,1	5,7
4	659-689	113	4,1	9,8
5	690-719	109	3,9	13,8
6	720-754	116	4,2	18
7	755-802	174	6,3	24
8	803-883	117	4,2	28
9	884-959	130	4,7	33
10	960-1032	437	15,8	49
11	1033-1102	601	21,7	70
12	1103-1244	813	29,4	100

Πίνακας 5.1.2: Τα εύρη τιμών για τους 4 δείκτες επικινδυνότητας (Χωρίς την χρήση βαρών).

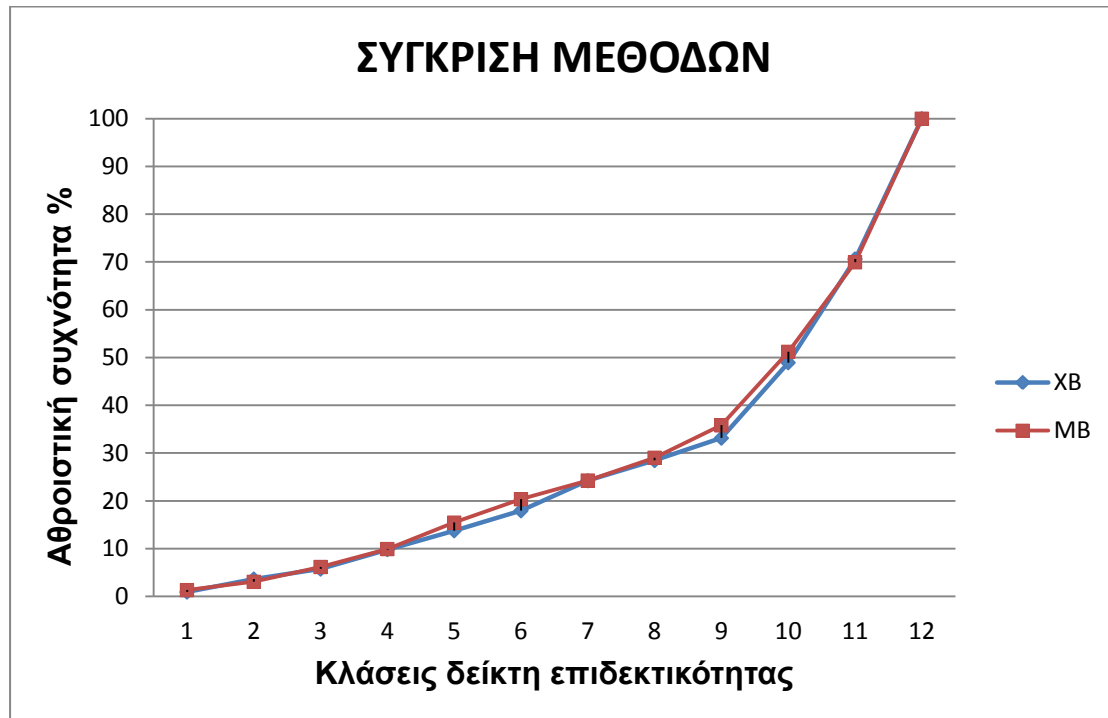
Δείκτης επικινδυνότητας	Εύρος τιμών δείκτη
Χαμηλός	354-658
Μέσος	659-754
Υψηλός	755-959
Πολύ υψηλός	960-1244

Πίνακας 5.1.3: Κατανομή των κατολισθήσεων στην κάθε κλάση επικινδυνότητας (Με την χρήση βαρών).

Κλάσεις	Τιμές των κλάσεων	Κατολισθ. Περ. (pixel)	Συχνότητα %	Αθροιστ. Συχν. %
1	1892-2930	37	1,3	1,3
2	2931-3141	48	1,7	3
3	3142-3303	86	3,1	6,2
4	3304-3449	104	3,8	9,9
5	3450-3611	153	5,5	15,5
6	3612-3790	136	4,9	20,4
7	3791-4001	108	3,9	24,3
8	4002-4309	132	4,8	29
9	4310-4634	188	6,8	36
10	4635-4958	426	15,4	51
11	4959-5234	519	18,7	70
12	5235-6045	832	30,1	100

Πίνακας 5.1.4: Τα εύρη τιμών για τους 4 δείκτες επικινδυνότητας (Με την χρήση βαρών).

Δείκτης επικινδυνότητας	Εύρος τιμών δείκτη
Χαμηλός	1892-3307
Μέσος	3308-3756
Υψηλός	3757-4591
Πολύ υψηλός	4592-6045



Σχήμα 5.1.1: Οι παραχθέν καμπύλες αθροιστικής συχνότητας της κατανομής των κατολισθήσεων, στους δείκτες επιδεκτικότητας, για την μέθοδο Με και Χωρίς Βάρη .

Από τις καμπύλες αθροιστικών συχνοτήτων (σχήμα 5.1.1) βλέπουμε ότι και οι 2 μέθοδοι επιβεβαιώνουν πολύ καλά την ύπαρξη των κατολισθήσεων στην περιοχή και υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων για τον δείκτη επικινδυνότητας και την ύπαρξη των κατολισθήσεων. Στην περίπτωση χωρίς την χρήση βαρών και χαμηλό δείκτη επικινδυνότητας (τιμές 354-658) στην περιοχή αυτή υπάρχει παρουσία του 5,7% των κατολισθήσεων ενώ στις περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα και πολύ υψηλή επικινδυνότητα (755-1244) συναντάται το 82% των κατολισθήσεων. Με την χρήση βαρών, στις περιοχές με τον χαμηλό δείκτη επικινδυνότητας (τιμές 1892-3303) υπάρχει παρουσία του 6,2% των κατολισθήσεων ενώ στις περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα και πολύ υψηλή επικινδυνότητα (3791-6045) συναντάται το 79,6% των κατολισθήσεων.

Για την περαιτέρω σύγκριση των δύο μεθόδων παρατηρούμε ότι με την μέθοδο Χωρίς Βάρη συναντάμε μικρότερο αθροιστικό ποσοστό κατολισθήσεων για χαμηλή (5,7%) και μέση επικινδυνότητα (18%), σε σχέση με την μέθοδο Με Βάρη, 6,2% και 20,4% αντίστοιχα. Αντίστοιχα και τα ποσοστά της εμφάνισης κατολισθήσεων, για τους υψηλότερους δείκτες επικινδυνότητας, θα είναι στην περίπτωση της χρήσης της μεθόδου Χωρίς Βάρη έναντι της Με Βάρη, μεγαλύτερα. Συνεπακόλουθα η μέθοδος Χωρίς Βάρη παρουσιάζει ακριβέστερα αποτελέσματα σε σύγκριση με την μέθοδο Με Βάρη απεικονίζοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανομή των κατολισθήσεων στους επιμέρους δείκτες επικινδυνότητας.

Από την αξιολόγηση των δεδομένων προκύπτει ότι και οι 2 μέθοδοι αξιολογούν εξίσου καλά την επικινδυνότητα της περιοχής σε κατολισθήσεις. Τα αποτελέσματα που δίνουν για την κατανομή των κατολισθήσεων στους διάφορους δείκτες επικινδυνότητας διαφέρουν σε μικρό ποσοστό. Για την επικύρωση των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος και αυτή είναι η Χωρίς Βάρη καθώς προσομοιάζει καλύτερα τις συνθήκες στην ύπαιθρο αποτυπώνοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια την ύπαρξη των κατολισθήσεων στις περιοχές με υψηλότερη επικινδυνότητα σε κατολίσθηση.

5.2 Επικύρωση των αποτελεσμάτων με την Καμπύλη Λειτουργικών Χαρακτηριστικών (Receiver Operating Characteristics)

Για την πιστοποίηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων και της ορθότητας του μοντέλου είναι απαραίτητη η επικύρωση των αποτελεσμάτων. Για την επικύρωση των αποτελεσμάτων έγινε η χρήση της ανάλυσης "Καμπύλη Λειτουργικών Χαρακτηριστικών" (Receiver Operating Characteristics, ROC).

Η ανάλυση ROC θεωρείται κατάλληλη μέθοδος για την επικύρωση της μεθόδου και την εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων (Hanley & McNeil, 1982, Kouli et al., 2014, Van Den Eeckhaut et al., 2009).

Η ανάλυση ROC χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά κατά την διάρκεια του Β παγκοσμίου πολέμου από τους Βρετανούς για την ανίχνευση εχθρικών αεροπλάνων. Μέσω της ROC ανάλυσης γινόταν μια εκτίμηση κατά πόσον το ηχητικό σήμα που ανίχνευαν τα ραντάρ ήταν μια πιθανή απειλή ή ένας τυχαίος θόρυβος (π.χ. σμήνος πτηνών). Στην συνέχεια στην δεκαετία του 50 προτάθηκαν από τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Peterson, Birdsall και Fox, Peterson et al. (1954), ως γραφική μέθοδος μέτρησης της ποιότητας λήψης σήματος από ένα δέκτη σε ατελή διαγνωστικά συστήματα. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε από πολλούς επιστημονικούς κλάδους και ιδιαίτερα από την ιατρική για την ακρίβεια που προσφέρει στους διαγνωστικούς ελέγχους. Τα

τελευταία χρόνια η χρησιμοποιείται ευρύτατα στους τομείς της μηχανικής εκμάθησης και της εξόρυξης δεδομένων.

Η ROC ανάλυση ερευνά την σχέση ανάμεσα στην **Ευαισθησία (sensitivity)** και την **Ειδικότητα (specificity)** ενός δυαδικού ταξινομητή. Ένας δυαδικός ταξινομητής μπορεί να δώσει τέσσερα δυνατά αποτελέσματα. Σε περιστατικό το οποίο είναι θετικό και ταξινομείται ως θετικό, υπολογίζεται ως Αληθώς Θετικό ΑΘ (True Positive, TP), αν ταξινομείται ως αρνητικό τότε θεωρείται Ψευδώς Αρνητικό, ΨΑ (False Negative, FN). Αντίστοιχα ένα αρνητικό περιστατικό που ταξινομείται ως αρνητικό τότε είναι Αληθώς Αρνητικό, ΑΑ (True Negative, TN), αν ταξινομηθεί ως θετικό είναι Ψευδώς Θετικό, ΨΘ (False Positive, FP). Η καμπύλη ROC είναι το γράφημα της συμμεταβολής των ζευγών Ψευδώς Θετικό και Αληθώς Θετικό.

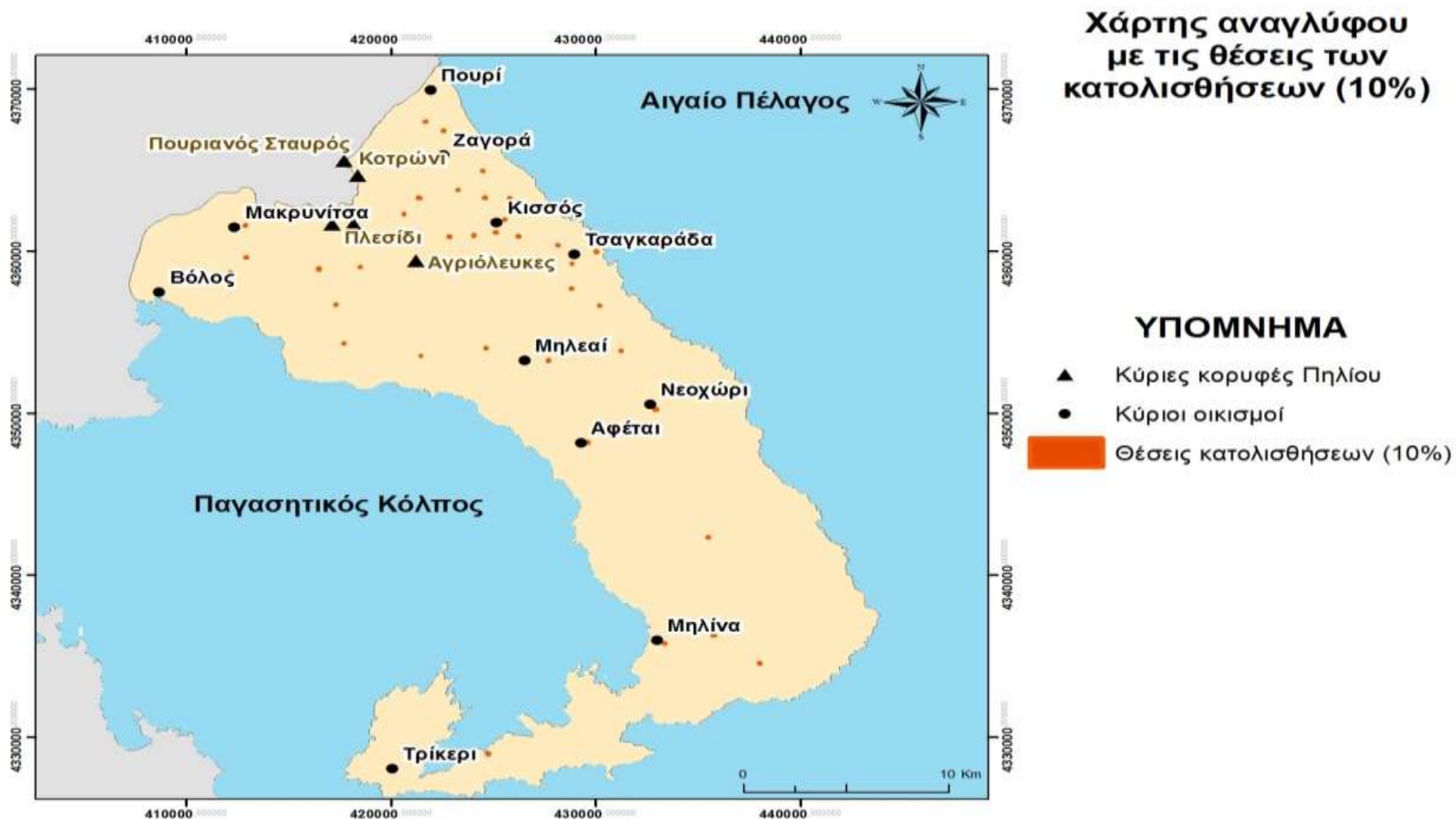
-Ευαισθησία=ΑΘ/ΑΘ+ΨΑ. Η Ευαισθησία είναι ίση με το πηλίκο της διαίρεσης των Αληθώς Θετικά με το άθροισμα των Αληθώς Θετικά με τα Ψευδώς Αρνητικά. Αντιπροσωπεύει την ικανότητα του μοντέλου να ανιχνεύει τις περιοχές με ύπαρξη κατολισθήσεων δηλαδή τα Αληθώς Θετικά. Καλή ευαισθησία >60% υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει καλή ικανότητα στην διάκριση της ύπαρξης και μη ύπαρξης κατολισθήσεων.

-Ειδικότητα=ΑΑ/ΑΑ+ΨΘ. Η Ειδικότητα ισούται με το πηλίκο της διαίρεσης των Αληθώς Αρνητικών με το άθροισμα των Αληθώς Αρνητικών με τα Ψευδώς Θετικά. Αντιπροσωπεύει την ικανότητα του μοντέλου να ανιχνεύει τις περιοχές που δεν επηρεάζονται από κατολισθήσεις δηλαδή περιστατικά Αληθώς Αρνητικά. Καλή ειδικότητα > 60% υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει καλή ικανότητα στην διάκριση των περιοχών που δεν παρατηρείται η ύπαρξη κατολισθήσεων σε σχέση με αυτές που παρατηρείται.

Ισχύει ότι Ευαισθησία=1-Ειδικότητα.

Μέσω της ROC ανάλυσης θα μπορέσει να γίνει μια ποσοτική εκτίμηση της δυνατότητας πρόβλεψης των κατολισθήσεων με το μοντέλο εκτίμησης της επικινδυνότητας που αναπτύχθηκε. (Van Den Eeckhaut et al., 2009). Για την ανάλυση ROC στην μέθοδο της εκτίμησης της επικινδυνότητας χωρίς την προσθήκη βαρών χρησιμοποιήθηκαν τυχαίες θέσεις κατολισθήσεων, που δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά την διερεύνηση του μοντέλου εκτίμησης την κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Οι κατολισθήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση είναι 38 και αντιστοιχούν στο 10% όλων των κατολισθήσεων που είχαν διαπιστωθεί στην περιοχή (χάρτης του σχήματος 5.2.1). Για την χρήση τους στην επικύρωση ψηφιοποιήθηκαν ως πολυγωνικές οντότητες και στην συνέχεια μετατραπήκανε σε ψηφιδωτή μορφή με μέγεθος ψηφίδας 20X20 μ. Σε ψηφιδωτή μορφή απαριθμούν 229 pixel.



Σχήμα 5.2.1: Οι θέσεις των κατολισθήσεων, που δεν ληφθήκαν υπόψη στο μοντέλο εκτίμησης της επικινδυνότητας.

Στην συνέχεια με την χρήση του zonal statistics βρέθηκε ο αριθμός των κατολισθήσεων που αντιστοιχεί στον κάθε δείκτη επικινδυνότητας. Με την μέθοδο του Quantile, που είχε γίνει ο διαχωρισμός στους δείκτες επικινδυνότητας, κάθε κλάση επικινδυνότητας έχει συγκεκριμένο και ανόμοιο εύρος τιμών του δείκτη επικινδυνότητας, έτσι ώστε η επιφανειακή εξάπλωση των κλάσεων να είναι ισόποση. Παράδειγμα σε 100 pixel χάρτη αντιστοιχούν από 25 pixel στην κάθε κλάση (Χαμηλή, Μέση, Υψηλή, Πολύ Υψηλή).

Με την χρήση του Zonal Statistics διαπιστώθηκε ότι στα 229 pixel κατολισθήσεων τα 6 είναι στον Χαμηλό δείκτη, τα 24 στο Μέσο δείκτη, τα 46 στον Υψηλό δείκτη και τα 153 στον Χαμηλό Δείκτη (πίνακας 5.2.1). Επίσης σε 229 pixel μιας τυχαίας περιοχής του χάρτη μπορούν να παρατηρηθούν 57 pixel με Χαμηλό Δείκτη, 58 με Μέσο, 57 με Υψηλό και 57 με Πολύ Υψηλό (1 pixel τοποθετήθηκε εσκεμμένα στα pixel της περιοχής με μέσο δείκτη, χωρίς να επηρεάζονται τα τελικά αποτελέσματα, για να συμπληρωθούν με ακέραιους αριθμούς όλοι οι δείκτες, ειδάλλως τα 229 pixel αντιστοιχούν σε 57, 25 για τον κάθε δείκτη.

Πίνακας 5.2.1: Κατανομή της κατολισθαίνουσας περιοχής στους δείκτες επικινδυνότητας.

Δείκτης Επικινδ.	Κατολισθ. Περ. (pixel)	Ποσοστό %
Χαμηλός	6	2,62
Μέσος	24	10,48
Υψηλός	46	20,09
Πολύ Υψηλός	153	66,81

Στην συνέχεια για να γίνει η ROC ανάλυση δημιουργήθηκε στο excel από τα δύο αυτά δεδομένα ένας πίνακας. Στον πίνακα αυτό περιλαμβάνονται τα 229 pixel περιοχής όπου δεν έχουμε παρουσία κατολισθήσεων και 229 pixel περιοχής όπου έχουμε την παρουσία κατολισθήσεων. Συνεπώς χωρίς να υπολογίζονται οι δείκτες επικινδυνότητας έχουμε 229 Αληθώς Αρνητικές περιπτώσεις και 229 Αληθώς Θετικές.

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης και την βέλτιστη ακρίβεια των αποτελεσμάτων, είναι απαραίτητη η σωστή επιλογή ενός συγκεκριμένου σημείου απόφασης, ως λειτουργικό σημείο του διαγνωστικού ελέγχου. Βάση του διαγνωστικού ελέγχου μπορεί να γίνει ο σωστός διαχωρισμός ανάμεσα στους δείκτες επικινδυνότητας όπου αναμένεται η ύπαρξη κατολίσθησης και σε αυτούς που δεν αναμένεται (επιλογή βέλτιστου σημείου απόφασης).

Για την εργασία αυτή επιλέχτηκε ένα αυστηρό κριτήριο επιλογής του σημείου απόφασης για την αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της ROC ανάλυσης (Swets, 1996). Βάση αυτού θεωρείται πιθανή η ύπαρξη κατολίσθησης εφόσον ο δείκτης επικινδυνότητας είναι Υψηλός και Πολύ Υψηλός. Αντίστοιχα θεωρείται ότι δεν θα εμφανιστεί κατολίσθηση σε περιοχή

με μέσο και χαμηλό δείκτη. Μια μέθοδος με πέντε δείκτες επικινδυνότητας και θεώρηση ότι το όριο μη ύπαρξης είναι από τον 2 δείκτη και κάτω, θα έδινε μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας, αλλά μεγαλύτερη δυσπιστία στο πού αναμένεται να εκδηλωθεί μελλοντικά μια κατολίσθηση.

Συνεπακόλουθα οι 4 κατηγορίες που διαμορφώνονται για την ROC ανάλυση, με την παραδοχή ότι αναμένουμε κατολίσθηση στο υψηλό-πολύ υψηλό δείκτη και μη κατολίσθηση στον χαμηλό- μέσο είναι οι εξής:

-Αληθώς θετικές (True Positive) Περιπτώσεις όπου έχουμε εμφάνιση κατολισθήσεων με υψηλό-πολύ υψηλό δείκτη (199 περιπτώσεις).

-Ψευδώς θετικές (False Positive) Μη ύπαρξη κατολισθήσεων σε περιοχή με δείκτη υψηλό-πολύ υψηλό (114 περιπτώσεις).

-Αληθώς Αρνητικές (True Negative) Περιπτώσεις όπου δεν εμφανίζεται κατολίσθηση με δείκτη χαμηλό-μεσαίο (115 περιπτώσεις).

-Ψευδώς Αρνητικές (False Negative) Ύπαρξη κατολισθήσεων σε χαμηλό-μέσο δείκτη (30 περιπτώσεις).

Αν το μοντέλο προέβλεπε τέλεια της κατολισθήσεις τότε όλες οι κατολισθήσεις θα έπρεπε να βρίσκονταν σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας (ΑΘ=229) ενόσω μια λάθος εφαρμογή θα περιλάμβανε περιοχές με χαμηλό δείκτη επικινδυνότητας να περιέχουν μεγάλο ποσοστό κατολισθήσεων.

Στην περίπτωση αυτή η ευαισθησία παρουσιάζει το ποσοστό των κατολισθήσεων που αληθώς βρίσκονται σε ζώνη υψηλής επικινδυνότητας (True Positive) ενώ η ειδικότητα είναι το ποσοστό της μη ύπαρξης κατολισθήσεων σε ζώνη χαμηλής επικινδυνότητας (True Negative) (Kouli et al, 2014). Ενόσω το διαχωριστικό όριο της σχέσης μεταξύ των αληθώς θετικών με τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα αποτελεί η καμπύλη ROC (Πετρόγλου & Σπάρος, 2004).

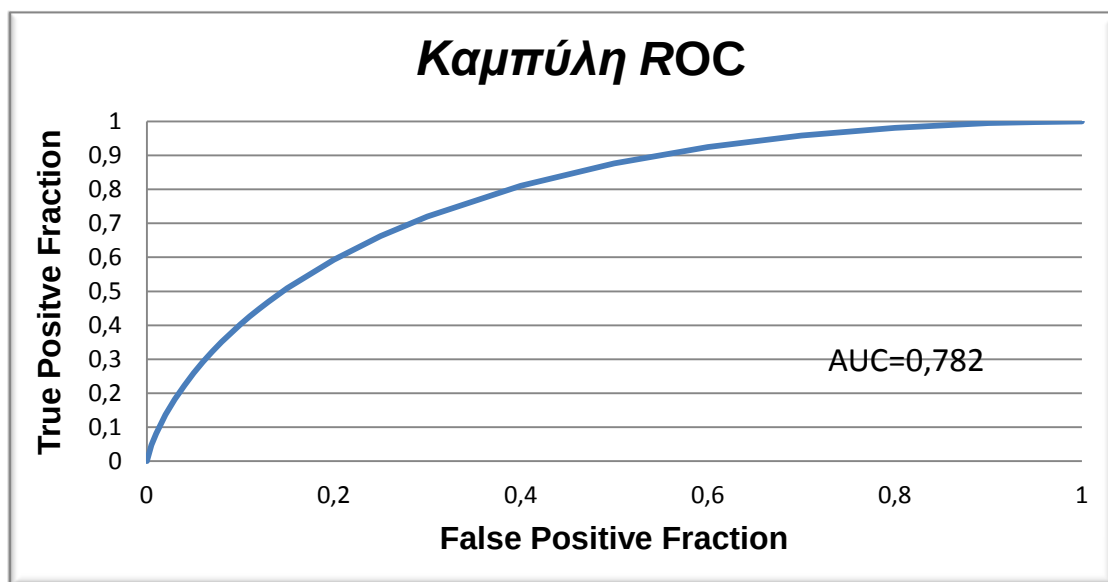
Την δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων και την δημιουργία της καμπύλης ROC την δίνουν όλα σχεδόν τα στατιστικά πακέτα που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Βέβαια για τον σκοπό αυτό διατίθενται ελεύθερα και διάφορα λογισμικά όπως για παράδειγμα του πανεπιστημίου του Chicago (λογισμικό LABROC) και του πανεπιστημίου του Johns Hopkins (λογισμικό JROCFIT και JLABROC4). Για την ευχρηστία και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το λογισμικό JROCFIT του πανεπιστημίου του Johns Hopkins.

Μέσω του λογισμικού υπολογιστήκαν τα χαρακτηριστικά της παραχθέν καμπύλης όπως επίσης πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της ειδικότητας και της ευαισθησίας και του AUC. Από τα $a, b, Z_j, j=1, \dots, n$ που προέκυψαν από το

λογισμικό JROCFIT πραγματοποιήθηκε, στο Microsoft Excel, η τελική χάραξη της ROC καμπύλης (σχήμα 5.2.2).

Ευαισθησία= 86,9%

Ειδικότητα= 50,2%



Σχήμα 5.2.2: Η καμπύλη ROC που δημιουργήθηκε για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

Η ποσοτική προσέγγιση της ακρίβειας του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με την μέτρηση του Εμβαδού Κάτω από την Καμπύλη (Area Under Curve, AUC) (Hanley & McNeil, 1982, Kouli et al., 2014, Πολυκρέτης κ.ά., 2013). Όσο μεγαλύτερο το εμβαδόν της καμπύλης τόσο καλύτερη η απόδοση της μεθόδου. Μία ιδανική μέθοδος πρόβλεψης θα έπαιρνε τιμή AUC ίση με 1, ενώ μια τυχαία προσαρμογή θα λάμβανε τιμές που θα έτειναν στο 0,5.

Στην δεδομένη καμπύλη το Εμβαδόν κάτω από την καμπύλη είναι ίσο με 0,782. Συνεπακόλουθα η ακρίβεια εκτίμησης της επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις στην περιοχή είναι ίση με 78,2 %, ποσοστό το οποίο κρίνεται ως πολύ ικανοποιητικό. Επίσης η τιμή που παίρνει η ευαισθησία είναι πολύ μεγάλη και υποδεικνύει την καλή πρόβλεψη των κατολισθήσεων σε περιοχές με υψηλό δείκτη επιδεκτικότητας. Η τιμή που λαμβάνει η ειδικότητα είναι χαμηλή κάτι που παρουσιάζει κακή πρόβλεψη της μη παρουσίας κατολισθήσεων σε περιοχή με χαμηλό δείκτη επιδεκτικότητας. Η χαμηλή τιμή της ειδικότητας μπορεί να εξηγηθεί από την αυξημένη τιμή της ευαισθησίας (Elwood, 1997, Bland, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε η προσπάθεια να καταγραφούν και να μελετηθούν τα κατολισθητικά φαινόμενα στο όρος Πήλιο. Με την διαπίστωση και επεξεργασία των παραγόντων που επιδρούν στην δραστηριοποίηση του φαινομένου, σε συνδυασμό με την χρήση του Γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών, έγινε η εκτίμηση της επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις για την περιοχή. Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής καταλήγει σε μια σειρά συμπερασμάτων και εκτιμήσεων για την περιοχή μελέτης, που αφορούν τους παράγοντες που επιδρούν περισσότερο στην δημιουργία και εξέλιξη του φυσικού φαινομένου, καθώς και στην ζωνοποίηση της επικινδυνότητας σε κατολίσθηση στην περιοχή.

Στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του Πηλίου οι κατολισθήσεις αποτελούν συχνό φαινόμενο το οποίο προκαλεί εκτεταμένες και πολυδάπανες καταστροφές. Οι περισσότερες καταστροφές στο Πήλιο έχουν λάβει χώρα στο οδικό δίκτυο και στους ορεινούς οικισμούς του ΒΑ Πηλίου. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων θα συνδράμει στον καλύτερο σχεδιασμό των τεχνικών έργων και στον μετριασμό των καταστροφικών συνεπειών του φαινομένου.

Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων μέσω του ΓΣΠ και έγινε χρήση του μοντέλου του στατιστικού δείκτη "Λόγος Συχνότητας" (Frequency Ratio) οποίος αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους και εύχρηστους δείκτες της στατιστικής ανάλυσης. Η εφαρμογή του δείκτη βασίζεται στην παραδοχή ότι οι παράγοντες που ενεργοποίησαν, σε μια καθορισμένη περιοχή, μια κατολίσθηση στο παρελθόν θα είναι οι ίδιοι που θα ενεργοποιήσουν και κατολίσθηση στο μέλλον.

Οι τιμές του Λόγου Συχνότητας που υπολογιστήκαν για τον κάθε παράγοντα είναι ενδεικτικές της επίδρασης του κάθε παράγοντα σε κατολισθητικό φαινόμενο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο Λόγος Συχνότητας από την μονάδα, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση, που έχει ο κάθε παράγοντας και ειδικότερα η κάθε κατηγορία παράγοντα, στην πραγματοποίηση του κατολισθητικού φαινομένου. Οι παράγοντες που επιδρούν στις κατολισθήσεις έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

- Η λιθολογία έχει Λόγο Συχνότητας 3,6, και το πέτρωμα με την μεγαλύτερη τιμή είναι τα μεταμορφωμένα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι) με τιμή ίση με 2.
- Τα τεκτονικά στοιχεία έχουν τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 3,9 και η ζώνη επιρροής με την μεγαλύτερη τιμή είναι η ζώνη μεγαλύτερη από 200 μ. με τιμή ίση με 1,3.

- Για τον παράγοντα μορφολογικές κλίσεις υπολογίστηκε τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 5,4 με την μεγαλύτερη τιμή ίση με 1,54 να παρουσιάζεται στην κλίση μεγαλύτερη από 46 μοίρες.
- Ο παράγοντας προσανατολισμός των πρηνών βρέθηκε να έχει τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 8 με την μεγαλύτερη τιμή (1,4) να εμφανίζεται σε προσανατολισμό 91° - 135° .
- Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 5,1 και η κατηγορία με την μεγαλύτερη τιμή (1,2) να είναι της ζώνης επιρροής των 200 μ.
- Το οδικό δίκτυο μετρήθηκε να έχει τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 3,8 με την μεγαλύτερη τιμή, ίση με 1,47, να εμφανίζεται στην κατηγορία της ζώνης επιρροής των 50 μ.
- Ο παράγοντας χρήσεις γής υπολογίστηκε πως έχει τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 4,7 και η κατηγορία με την μεγαλύτερη τιμή (1,43) παρουσιάζεται για τα δάση.
- Ο παράγοντας της βροχόπτωσης εμφανίζει τιμή Λόγου Συχνότητας ίση με 5 με την μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται, ίση με 2,1, στην κατηγορία που έχουμε τα μέγιστα ποσά βροχόπτωσης (711-790 χλστ.).

Συνεπακόλουθα συνάγεται το συμπέρασμα ότι στην περιοχή μελέτης την μεγαλύτερη επίδραση στα κατολισθητικά φαινόμενα την παρουσιάζει η βροχόπτωση (ΛΣ 2,1), η λιθολογία (ΛΣ 2), οι μορφολογικές κλίσεις (ΛΣ 1,54) και το οδικό δίκτυο (ΛΣ 1,47).

Ο τελικός χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας προέκυψε από τις αριθμητικές πράξεις μεταξύ των Λόγων Συχνότητας του κάθε παράγοντα. Οι τιμές του χάρτη παρουσιάζουν μια αριθμητική προσέγγιση της επικινδυνότητας σε κατολίσθηση του κάθε σημείου της περιοχής.

Από την μελέτη του χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας συμπεραίνουμε:

- Ότι ένα μεγάλο ποσοστό των κατολισθήσεων παρατηρείται στην ζώνη Υψηλής (25%) και Πολύ Υψηλής επικινδυνότητας (67%).
- Η Βόρεια και η Ανατολική περιοχή του Πηλίου που έχει μεγάλη οικιστική ανάπτυξη και πυκνότητα οδικού δικτύου παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές επικινδυνότητας. Συνεπακόλουθα η πιθανή εκδήλωση κατολίσθησης στην περιοχή αυτή θα έχει άμεσες οικονομικές απώλειες.

Για την επικύρωση των αποτελεσμάτων με την Καμπύλη Λειτουργικών Χαρακτηριστικών, (Receiver Operating Characteristics,) χρησιμοποιήθηκαν 38 κατολισθήσεις από την περιοχή (10% του συνόλου των κατολισθήσεων) που δεν είχαν ληφθεί υπόψη στην εφαρμογή του μοντέλου. Με την ROC ανάλυση και την μέτρηση του Εμβαδού Κάτω από την Καμπύλη (Area Under Curve, AUC) μπορεί να γίνει μια ποσοτική εκτίμηση της δυνατότητας πρόβλεψης των κατολισθήσεων και προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Το 67% των κατολισθήσεων παρατηρούνται σε περιοχή Πολύ Υψηλής επικινδυνότητας και το 20% σε ζώνη Υψηλής.
- Μόνο το 2% των κατολισθήσεων παρατηρείται σε ζώνη Χαμηλής επικινδυνότητας.
- Η ακρίβεια της μεθόδου που ακολουθήθηκε ισούται με 78,2%.

Συνεπακόλουθα η ανάλυση που ακολουθήθηκε για την μέτρηση της επικινδυνότητας στην περιοχή απεικονίζει με μεγάλη ακρίβεια την ύπαρξη των κατολισθήσεων και την επικινδυνότητα σε μελλοντική ενεργοποίηση του φαινομένου, με την παραδοχή ότι οι παράγοντες ενεργοποίησης που έδρασαν στο παρελθόν θα είναι παρόμοιοι με αυτούς που θα δράσουν στο μέλλον.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να φανούν χρήσιμα στον καλύτερο προγραμματισμό των τεχνικών έργων και κατασκευών στην περιοχή, στην καλύτερη ενημέρωση των πολιτών για τους πιθανούς κινδύνους και συνεπακόλουθα στον μετριασμό των επιπτώσεων των κατολισθητικών φαινομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγγελίδης, Χ., Ηλίας, Π., Κυνηγαλάκη, Μ. (1996): Γεωτεχνική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων περιοχής Βυζίτσας Ν. Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 7666 Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Αναπτυξιακή Εταιρεία Μαγνησίας (ANEM), (2012): *Μελέτη Επισήμανσης Τοπικών Προϊόντων Ποιότητας, Φορέας ανάθεσης: Αναπτυξιακή Εταιρεία Πηλίου, Πρόγραμμα Leader+, Βόλος*.
- Αποστολίδης, Ε., Χατζηνάκος, Ι. (1989): Έκθεση γεωτεχνικής εξέτασης στην κοινότητα Τσαγκαράδας Αν.Πηλίου, Ν.Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 5774, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Βαβίζος, Γ., Ζαννάκη Κ., Ζαφειρόπουλος, Δ. (1996): Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη της Χερσονήσου της Μαγνησίας, *Φορέας Ανάθεσης: Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Ανάδοχος: Γραφείο Μελετών Eco consultants, Αθήνα*.
- Βαϊόπουλος, Δ., Ευελπίδου, Ν., Βασιλόπουλος, Α., (2006): Σημειώσεις του Εργαστηρίου του Μαθήματος: Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, *Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα*.
- Βασιλειάδης, Ε. (2010): Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο. Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, *Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα*.
- Βότσογλου, Ν. (2003): Τεχνικογεωλογική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή του Δ.Δ.Νεοχωρίου, δήμου Αφειτών, Ν.Μαγνησίας, προγραμματική συμφωνία Κ.Ε.Δ.Κ.Ε.-Υ.Π.Ε.Σ.Δ.Δ.Α.-Ι.Γ.Μ.Ε., *Τεχνική Έκθεση Ε 9071, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Γαλανάκης, Δ. (1997): Νεοτεκτονική δομή και στρωματογραφία των νεογενών-τεταρτογενών ιζημάτων της λεκάνης Αλμυρού-Παγασητικού, Πηλίου, διαύλου Ωρέων-Τρικεριού και Μαλιακού, *Διδακτορική διατριβή, τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).(1971): Φύλλο Αργαλαστή, τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, Αθήνα.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).(1971): Φύλλο Συκή, τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, Αθήνα.

- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).(1985): Φύλλο Βόλος, τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, Αθήνα.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).(1986): Φύλλο Ζαγορά, τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, Αθήνα.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).(1986): Φύλλο Σκιάθου, τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, Αθήνα.
- Δημόπουλος, Γ. (1986): Τεχνική Γεωλογία με βασικές έννοιες βραχομηχανικής και γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Α.Π.Θ., σ. 244.
- Ελευθερίου, Α. (1969): Γεωτεχνική αναγνώρισις εις τον οικισμόν Μακρυρράχης Πηλίου, *Τεχνική Έκθεση Ε 1656, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Ελευθερίου, Α. (1985): Γεωτεχνική αναγνώριση των κατολισθητικών φαινομένων στις κοινότητες Τσαγκαράδα και Μακρινίτσα Ν.Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 4534, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Ελευθερίου, Α., Χατζηνάκος, Ι. (1987): Γεωτεχνική εξέταση των κατολισθητικών φαινομένων σε κοινότητες του Αν.Πηλίου Ν.Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 5109, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) (2010): Κλιματικά στοιχεία των Μετεωρολογικών Σταθμών Σκιάθου και Σκοπέλου.
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.) (2014): Κλιματικά στοιχεία των Μετεωρολογικών Σταθμών Αργαλαστής, Ζαγοράς και Μακρινίτσας.
- Ζιούρκας, Κ., Κούκης, Γ. (1992): Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας λόγω κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο και απεικόνιση της σε χάρτες μικρής και μέσης κλίμακας, Ορυκτός Πλούτος, τ. 77, σ. 9-30.
- Κατσικάτσος, Γ., Μυλωνάκης, Ι., Βιδάκης, Μ., Hecht, J., Παπαδέας, Γ. (1986): Φύλλο Βόλος, *Γεωλογικός Χάρτης, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ, Αθήνα*.
- Κατσικάτσος, Γ., Μυλωνάκης, Ι., Τριανταφύλλης Μ., Παπαδέας, Γ., Ψώνης Κ. (1983): Φύλλο Βελεστίνο, *Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ, Αθήνα*.
- Κατσικάτσος, Γ., Παπαδέας, Γ., Μυλωνάκης, Ι., Τριανταφύλλης Μ. (1987): Φύλλο Ζαγορά, *Γεωλογικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ, Αθήνα*.
- Κούκης, Γ. (1980): Γεωτεχνική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων στην κοινότητα Μακρυρράχης Πηλίου, *Τεχνική Έκθεση Ε 3095, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.

- 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, σ. 53-69.
- Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2007): Γεωλογία τεχνικών έργων, *Εκδ. Παπασωτηρίου*, σ. 623.
- Κούκης, Γ., Ζιούρκας, Κ. (1989): Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο-Στατιστική θεώρηση, *Ορυκτός πλούτος*, 58, σ. 39-58.
- Κυνηγαλάκη, Μ., Χατζηνάκος, Ι. (1991): Γεωτεχνική εξέταση στις κοινότητες Τσαγκαράδα και Νεοχώρι Ανατολικού Πηλίου νομού Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 6418, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Λέκκας, Ε. (2000): Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Αθήνα, *Εκδόσεις Access*.
- Μαρίνος, Γ. (1946): Γεωλογική έκθεσις περί των κατολισθήσεων εις το χωρίον Ανήλιον του Πηλίου του Ν.Μαγνησίας και Κάτω Κλήμα Σκοπέλου Ν.Μαγνησίας, *ΙΓΜΕ*.
- Μαρίνος, Γ. (1954): Γεωλογική μελέτη και χαρτογράφησης της Όρθρου. *Δελτίον Ινστιτούτου Γεωλογίας*, αρ. 1, 5.
- Μαρίνος, Γ., Αναστόπουλος, Ι., Μαράτος, Γ., Μελιδώνης, Ν., Ανδρονόπουλος, Β. (1957): Γεωλογικός χάρτης 1:50.000 τ.φ. "Ανάβρα" *ΙΓΜΕ Αθήνα*.
- Μαρίνος, Γ., Αναστόπουλος, Ι., Μαράτος, Γ., Μελιδώνης, Ν., Ανδρονόπουλος, Β. (1962): Γεωλογικός χάρτης 1:50.000 τ.φ. "Αλμυρός" *ΙΓΜΕ. Αθήνα*.
- Μίγκιρος, Γ., Τριανταφύλλης, Μ. (1999): Φύλλο Αργαλαστή, *Γεωλογικός χάρτης, κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ, Αθήνα*.
- Μουντράκης, Δ. (1983): Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων, *Πραγματεία για Υψηλές, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σ. 289.
- Μουσοκάπας, Π., Παπαθεοδώρου, Κ., Μάργαρης, Ν., Κλήμης, Σ. (2010): Μέθοδοι προεκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών: αξιολόγηση και εφαρμογή στο Νομό Μαγνησίας, *6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, 29/09 – 1/10 2010, Βόλος*.
- Μπαθρέλλος, Γ. (2005): Γεωλογική, Γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων-Δυτικής Θεσσαλίας, *Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα*.
- Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ. (2006): Γεωμορφολογικοί κίνδυνοι και καταστροφές, *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τ. 39 (3), σ. 96–103.

- Μπαθρέλλος, Γ.Δ., Σκυλοδήμου, Χ.Δ. (2008): Διερεύνηση κατολισθητικών κινδύνων στις τεχνικές κατασκευές. Περιοχή μελέτης: ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων (Δυτική Θεσσαλία), *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τ. 42 (1), σ. 119–128.
- Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ., Καλύβας, Δ. (2010): Χαρτογράφηση περιοχών επικινδύνων σε κατολισθήσεις με μοντέλα βασισμένα σε κανόνες λογικής. *Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία*, τ. 1, Αθήνα, σ. 138–148.
- Μπέλλας, Μ. (2003): Γεωτεχνική εξέταση κατολισθητικών φαινομένων στον δήμο Αγριάς Ν.Μαγνησίας, *προγραμματική σύμβαση Κ.Ε.Δ.Κ.Ε.-ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α.-Ι.Γ.Μ.Ε.*, *Τεχνική Έκθεση Ε 8984*, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Μπέλλας, Μ. (2004): Γεωτεχνική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων κατά μήκος των οδικών αξόνων των Δήμων Μουρεσίου και Ζαγοράς του Νομού Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 9427*, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Μπέλλας, Μ. (2010): Γεωλογική-Τεχνικογεωλογική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων στον Δρόμο Κίσσου-Χανίων Ν.Μαγνησίας, *Τεχνική Έκθεση Ε 10195*, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Ναλμπάντης, Ι., Κουτσογιάννης, Δ. (1997): Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας, *Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα*, Τεύχος 4, σ. 78.
- Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Μαγνησίας (ΝΑΜ) (2005): Στρατηγικό σχέδιο ανάπτυξης Μαγνησίας, Φορέας εκπόνησης: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα μηχανικών χωροταξίας, πολεοδομίας και περιφερειακής ανάπτυξης, Βόλος.
- Ορφανός, Γ. (1971): Επί της σημειωθείσης κατολισθήσεως εις θέσιν Λαβοστή περιοχής Ανακασιάς Βόλου, *Τεχνική Έκθεση Ε 1879*, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Παπαζάχος, Β., Παπαζάχου, Κ. (2003): Οι σεισμοί της Ελλάδος, *Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*, σ. 286.
- Πετρόγλου, Ν., Σπάρος, Λ. (2004): Καμπύλη ROC στη διαγνωστική έρευνα, *Εργαστήριο Κλινικής Επιδημιολογίας, Τμήμα Νοσηλευτικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αρχεία ελληνικής ιατρικής* 21(2), σ. 179-194.
- Πιπιάκης, Δ., Ραππάκης, Γ., Μάκρας, Α., Βελδεμίρη, Φ., Αναστασιάδης, Α., Χατζηνικολάου, Π. (2010): Γεωτεχνικός Χάρτης και Μικροζωνική Μελέτη Πολεοδομικού Συγκροτήματος Βόλου-Ν.Ιωνίας, *Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ*, 29/09 – 1/10 2010, Βόλος.

- Πολυκρέτης, Χ., Φερεντίνου, Μ., Χαλκιάς, Χ. (2013): Η χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για την χαρτογράφηση της επικινδυνότητας σε εκδήλωση κατολισθήσεων, *Πρακτικά 1ου Συνέδριο Χωρικής Ανάλυσης, Αθήνα*.
- Ρόζος, Δ. (2005): Εγχειρίδιο Τεχνικής Γεωλογίας Ι, *Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας Ι, Ηλεκτρονικές σημειώσεις, Διάλεξη 8, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σ. 40*.
- Ρόζος, Δ. (2007): Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι, από τον Αναπλ. Καθηγητή Δ. Ρόζο, για χρήση των φοιτητών του 7ου εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ στο μάθημα Τεχνικής Γεωλογίας Ι, *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σ. 325*.
- Σκιάς, Σ. (1998): Εκτίμηση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς και των φαινομένων αστάθειας: Η περίπτωση των σχηματισμών του φλύσχη της Δυτικής Ελλάδας, *Διδακτορική διατριβή ειδίκευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης*.
- Στουρνάρας, Γ. (1989): Σημειώσεις τεχνικής γεωλογίας, *Μέρος Β, Παν Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα, σ. 73*.
- Τάταρης, Α. (1960): Αι φλεβικά εκρηξιγενείς εμφανίσεις και η μεταλλογένεση εις το Ανατ. Πήλιον. *Διατριβή επί Διδακτορία, Αθήναι*.
- Τάταρης, Α. (1971): Οι βωξίται του Πηλίου (ΝΑ Θεσσαλία). Πρόδρομος ανακοίνωσης. *Δελτίο Ελλην. Γεωλ. Εταιρείας Τ. VII t. 2, σ. 137-154*.
- Τζίτζιρας, Α. (1980): Γεωτεχνική αναγνώριση των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή Βίγλα Ζαγοράς Πηλίου, *Τεχνική Έκθεση Ε 3227, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Τζίτζιρας, Α. (2002): Γεωτεχνική αναγνώριση κατολισθητικών φαινομένων σε περιοχή του δήμου Ιωλκού, Ν.Μαγνησία, *Προγραμματική συμφωνία Κ.ΕΔ..Κ.Ε. - ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α.. - Ι.Γ.Μ.Ε., Τεχνική Έκθεση Ε 8566, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.
- Τσαγγαράτος, Π. (2012): Διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων, *Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)*.
- ΥΠΕΧΩΔΕ (2006): Διαχειριστική μελέτη υδατικών πόρων λεκάνης απορροής π.Πηνειού, Ειδική υπηρεσία δημόσιων έργων, οδικών σηράγγων & υπόγειων έργων.
- Φερεντίνου, Μ. (2004): Εκτίμηση του Κινδύνου των Κατολισθήσεων με Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα σε Περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, *Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)*.

Χατζηνάκος, Ι. (1989): Γεωτεχνική εξέταση στην κοινότητα Κίσσου Αν.Πηλίου Ν.Μαγνησίας, Τεχνική Έκθεση 5905, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

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

Aubouin, J. (1957): Essai de Correlation Stratigraphique de la Grèce Occidentale. *Bul. Soc. Geol. France* 7: p. 281-304.

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

Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H.D., Papanastassiou, D., Chousianitis, K.G. (2012): Potential suitability for urban planning and industry development by using natural hazard maps and geological - geomorphological parameters. *Environmental Earth Sciences*, v. 66(2), p. 537–548.

Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H.D., Skianis, G.A., Chousianitis, K.G. (2013): Assessment of rural community and agricultural development using geomorphological-geological factors and GIS in the Trikala prefecture (Central Greece). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 27(2), p. 573-588.

Bathrellos, G. D., Kalivas, D. P., Skilodimou, H. D. (2009): GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban planning in Trikala, central Greece, *Estudios Geologicos* v. 65 (1), p. 49-65.

Bland, M., (2000): An Introduction to Medical Statistics. 3rd Edn. Oxford: Oxford University Press, p. 548.

Brunn H. (1956): Contribution a l' étude géologique du Pinde Septentrional et D' une Partie de la Macédonie occidentale, *Ann. Géol. Pays Héli.* 7: p.1-358

Bohnam, G. (1994): Geographical Information Systems for Geoscientists modeling with GIS, Pergamon, Ontario, Canada.

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

Chalkias, C., Kalogirou, S., Ferentinou, M. (2011): Global and Local statistical modeling for landslide susceptibility assessment, a comparative analysis,

- Proceedings of the 17th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, *Harokopio University, Athens, Greece*, p. 88-97.
- Coates, D. R., (1977): Landslide Perspectives, in Coates, D. R. (ed.), *Landslides, Reviews in Engineering Geology*, v. III, Geological Society of America, *Boulder, Colorado*, p. 3-28.
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996): Landslide types and processes, In: Turner, A.K., & Shuster, R.L., (ed.) *Landslides: Investigation and Mitigation, Transp Res Board, Spec. Rep. 247*, p 36-75.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y. (2002): Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64 (1), p. 65-87.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Ibsen M-L. (1996): *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. Wiley & Sons, Chichester*, p. 1-12.
- Elwood, M., (1998): *Critical Appraisal of Epidemiological Studies and Clinical Trials. 2nd Edn. Oxford: Oxford University Press*, p. 584.
- Ferentinou, M., Chalkias, C., Sakellariou, M., (2010): Landslide susceptibility mapping in national scale and preliminary risk analysis applying computational methods in a GIS environment», *9th Panellenic Conference of Geography*, p. 682-689.
- Ferrière, J. (1973): Données nouvelles sur le Crétacé supérieur de la zone pélagonienne en Thessalie méridionale-orientale (bordure occid. du Golfe de Volos, massif du Chalkodonio et du Pélion). *Ann. Soc. Géol. du Nord XCIII Lille*.
- Ferrière, J. (1976): Etude préliminaire d' un secteur des massif cristallins internes ("zone pélagonienne") la région de Volos, Grèce continentale orientale. *Bull, Soc. Géol. France (7) XVIII*n° 2, *Paris*, p. 265-272.
- Ferrière, J. (1977): Le secteur méridional du "masif métamorphique de Thessalie" le massif du Pélion et ses environs. *Proceed. VI. Collog. Geol. Aegean Regions, Athens*, p. 291-309.
- Gemitzi, A., Falalakis, G., Eskioglou, P., Petalas, C. (2011): Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzzy membership functions and GIS, *Global Nest Journal*, 13 (1), p. 28-40.
- Georgiades A., (1937): Contribution a l' étude du cristallo-phyllien du Pélion. *Prakt. Akad. Athenon*, 12, *Athens*, p. 60-70.
- Georgiades A., (1942): Tuff augitique métamorphisé ou la Phyllode augitique de Makrinitza. *Prakt. Akad. Ath.* 17, *Athens*, p.199-201.
- Georgiades A., (1954): Contribution a l' étude des granites de la Grèce du Nord. *Prakt. Akad. Athenon*, 29, *Athen*, p. 326-336.

- Hanley, J.A., McNeil, B.J. (1982): The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143 (1), p. 29–36.
- Hutchinson, J.N. (1968): Mass movement in encyclopedia of Geomorphology. Ed. R. W. Fairbridge. Reinhold, New York, p. 688-695.
- Ilia, I., Tsangaratos, P., Koumantakis, I., Rozos, D. (2010): Application of a Bayesian approach in GIS based model for evaluating landslide susceptibility: case study Kimi area, Euboea, Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress, Patra, vol. XLIII, No 3, p. 1590-1600.*
- Kamberis, E., Bathrellos, G.D., Kokinou, E., Skilodimou, H.D. (2012): “Correlation between the structural pattern and the development of the hydrographic network in the area of Western Thessaly basin (Greece)”. *Central European Journal of Geosciences*, v. 4(3), p. 416-424.
- Koukis, G., Sabatakakis, N., Nikolau, N., Loupasakis, C., (2005): Landslide Hazard Zonation in Greece. Proceedings of the Open Symposium on landslide risk analysis and sustainable disaster management by International Consortium on Landslides, Washington, USA, 13 – 14 October 2005, Chapter 37: p. 291 – 296.
- Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., Rozos, D., Valianatos, F. (2014): Comparing multi-criteria methods for landslide susceptibility mapping in Chania Prefecture, Crete Island, Greece, *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions Volume (1)*, p. 73-109.
- Ladas, I., Fountoulis, I., Mariolakos, I. (2007): Using GIS & Multicriteria Decision Analysis in landslide susceptibility mapping – case study in Messinia prefecture area (SW Peloponnesus, Greece), *Proceedings of the 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Athens, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XXXX/4, p. 1973-1985.*
- Lee, S. (2007): Landslide susceptibility mapping using an artificial neural network in the Gangneung area, Korea, *International Journal of Remote Sensing* v. 28, No. 21, p. 4763–4783
- Lee, S., Pradhan, B. (2006): Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia, *J. Earth Syst. Sci.* 115, No. 6, p. 661–672.
- Lee, S., Ryu J. H., Won J .S, Park H. J. (2004): Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network; *Engineering Geology* 71, p. 289–302.
- Leopold, B.L., Wolman, M.G., Miller, J.P. (1964): Fluvial processes in Geomorphology, San Francisco, *A series of Books in Geology*

- Mancini, F., Ceppi C., Ritrovato, G. (2010): GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area , Italy, *Nat. Hazards Earth syst. Sci.*,10, p. 1851-1864.
- McDermid, G., Franklin, S. (1995): Remote sensing and geomorphometric discrimination of slope processes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 101, p. 165–185.
- Mercier, J.L., Carey, E., Philip, H., Sorel, D., (1976): La neotectonique plio-quaternaire de l'arc egeen externe et de la mer Egee et ses relations avec la sismicite', *Tectonophysics, Bull. Soc. geol. Fr.*, 7, p. 355–372.
- Migiros, G., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Karamousalis, T. (2011): "Pinios (Peneus) River (Central Greece): Hydrological — Geomorphological elements and changes during the Quaternary. *Central European Journal of Geosciences*, v. 3(2), p. 215–228.
- Papadopoulou, K., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Kaviris, G., Makropoulos, K. (2013): Karst collapse susceptibility mapping considering peak ground acceleration in a rapidly growing urban area, *Engineering Geology* 158, p. 77–88.
- Papathanassiou, G., Valkaniotis, S., Ganas, A., Pavlides, S. (2012): GIS-based statistical analysis of the spatial distribution of earthquake-induced landslides in the island of Lefkada, Ionian Islands, Greece, *Landslides, Springer*, v. 10, Issue 6, p. 771-783.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden P.J., Hanson C.E. (2007): IPCC, Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 7-22.
- Peterson, W. W., Birdsall, T. G., Fox W. C. (1954): The Theory of Signal Detectability, *Trans. Professional Group on Information Theory, Inst. Radio Engrs.*, PGIT-4, p. 171-212.
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B., Tryjanowski, P. (2007): Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 79-131.
- Rozos, D., Bathrellos, D. G., Skilodimou, D. H.(2010): Landslide susceptibility mapping of the northeastern part of Achaia prefecture using analytical hierarchical process and GIS techniques, *Bulletin of the Geological Society*

- of Greece, *Proceedings of the 12th International Congress, Patra, v. XLIII, No 3, p. 1637-1646.*
- Rozos, D., Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D. (2011): Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: A case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece, *Environmental Earth Sciences*, 63 (1), p. 49-63.
- Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., Tsagaratos, P. (2008): An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. *Landslides*, v. 5 no 3, p. 261-270.
- Rozos, D., Skilodimou, H.D., Loupasakis C., Bathrellos G.D. (2013): "Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island, Greece". *Environmental Earth Sciences*, v. 70(7), p. 3255-3266.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S. (2012): «Landslide susceptibility zonation in Greece», *Natural Hazards* 65(1): p. 523 – 543.
- Schneider, H. E. (1962): Über den Thessalischen see. A.G.P.H., v. 12, 315-317.
- Skempton, A. W., Hutchinson, J. N. (1969): Stability of natural slopes and Embankment foundation. *Proc, 7th International conference on soil mechanics and foundation engineering, Mexico City, state of the art*, p. 291-340.
- Skilodimou, H., Livaditis, G., Bathrellos, G., Verikiou–Papaspiridakou, E. (2003): "Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: *a contribution to Urban Geomorphology*". *Geografiska Annaler, Series A*, v. 85(2), p. 197–204.
- Strahler, A.N. (1957): Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* 38: p. 913-920.
- Swets J.A. (1996): Signal detection theory and ROC analysis in psychology and diagnostics: *collected papers*, LEA publishers.
- Terzaghi, K. (1950): Mechanism of landslides, in Paige, S., Application of Geology to Engineering Practice, *Geological Society of America, New York*, p. 83-123.
- Thornbury, D.W. (1954): Principles of Geomorphology, *Department of Geology, Indiana university*.
- Tsagaratos, P., Koumantakis, J., Rozos, D. (2005): Landslide phenomena in granitic formation environments, geotechnical approach and classification,

Eastern Aegean islands of Ikaria and Naxos, Greece, *Geoline, International Symposium Geology and Linear Developments*

- Van Den Eeckhaut, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Rossi, M., Poesen, P. (2009): Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9: p. 507–521.
- Varnes, D. J. (1978): Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). *Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C.*, p. 11-33.
- Varnes, D. J., IAEG (1984): Commission on landslides and other mass movements, Landslide hazard zonation: A review of principles and practice, *UNESCO Press, Paris*.
- WP/WLI (1994): «A suggested method for reporting landslide causes». International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslide Inventory (Chairman M.E. Popescu) *Bull Eng Geol Env* 50(1): p. 71–74.
- WP/WLI, (1994): A suggested method for reporting landslides causes. Bull. Of the Int. Assos. *Engineering Geology*, 50, p. 51-58.
- Zaruba, Q., Mencl, V. (1969): Landslides and Their Control, *Elsevier, Amsterdam*, p. 205
- Zaruba, Q., Mencl, V. (1976): Developments in Geotechnical Engineering 10, *Engineering Geology, Elsevier, Amsterdam*, p. 504.

ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<http://meteovolos.gr/p.htm>

<http://metz-roc.uchicago.edu/>

http://www.greeklanguage.gr/Resources/ancient_greek/education/mythology/epic/record.html

<http://www.rad.jhmi.edu/>