



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών
Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Γεωπληροφορικής

Πτυχιακή Εργασία: «Χαρτογράφηση της κατολισθητικής τρωτότητας κεντρικού τμήματος του Ρεθύμνου με τη Μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης, (Analytical Hierarchy Process, AHP)».



Πτυχιακή Εργασία

Θεοδώρα Γεωργακοπούλου

Χανιά 2014

©



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών
Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Γεωπληροφορικής

Πτυχιακή Εργασία: «Χαρτογράφηση της κατολισθητικής τρωτότητας κεντρικού τμήματος του Ρεθύμνου με τη Μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης, (Analytical Hierarchy Process, AHP)».

Πτυχιακή Εργασία

Θεοδώρα Γεωργακοπούλου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δρ. Κούλη Μαρία, (Ph.D.)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να επισημάνω την απέραντη ευγνωμοσύνη και αγάπη μου στον πατέρα μου Δημήτρη, τη μητέρα μου Αναστασία και την αδελφή μου Ελένη, για την αμέριστη και ανιδιοτελή υποστήριξή τους σε όλες μου τις επιλογές. Οφείλω να εκφράσω το σεβασμό μου στο πρόσωπό τους γιατί η στάση και η αξιοπρέπειά τους απέναντι στη ζωή αποτελεί πρότυπο για εμένα και φυσικά γιατί αποτελούν το θεμέλιο λίθο σε όλα όσα έχω καταφέρει.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ' βαθέων για μία ακόμα φορά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Δρ. Κούλη Μαρία για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε για την περάτωση της παρούσας πτυχιακής αλλά και για την εμπιστοσύνη της στο πρόσωπο μου σε όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Οι σημαντικές υποδείξεις και συμβουλές της υπήρξαν καθοριστικές για τα μετέπειτα στάδια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Η διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση", Πράξη Αρχιμήδης ΙΙΙ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και εθνικούς πόρους (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς 2007-2013).



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες3

Περίληψη7

Abstract8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγικές έννοιες

Εισαγωγή9

1.1 Ποσοτικές Μέθοδοι9

1.2 Ποιοτικές Μέθοδοι9

1.3 Τηλεπισκόπηση10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

2.1 Χαρτογραφία11

2.2 Ιστορική εξέλιξη της Χαρτογραφίας11

2.3 Κλάδοι της Χαρτογραφίας13

2.3.1 Θεματική Χαρτογραφία13

2.3.2 Αναλυτική Χαρτογραφία.....13

2.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....13

2.4.1 Τα δεδομένα σε ένα ΓΣΠ16

2.4.2 Ψηφιακή αναπαράσταση – δομή δεδομένων.....17

2.4.3 Χωρικά δεδομένα.....18

2.4.4 Περιγραφικά δεδομένα.....18

2.4.5 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (ΨΜΕ).....20

2.4.5.1 Τύποι δεδομένων για χαρτογράφηση και ανάλυση ΨΜΕ.....20

2.4.6 Εφαρμογές των ΓΣΠ23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Περιοχή Μελέτης

3.1 Περιοχή Μελέτης25

3.2 Στρωματογραφία της περιοχής μελέτης29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κατολισθητικά φαινόμενα

4.1 Γενικά32

4.2 Ορισμοί κατολισθήσεων33

4.3 Ονοματολογία	34
4.4 Ταξινόμηση κατολισθήσεων.....	36
4.5 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων.....	37
4.5.1 Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων.....	38
4.6 Μέτρα αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Προετοιμασία θεματικών επιπέδων

5.1 Δεδομένα και μεθοδολογία	42
5.2 Προετοιμασία θεματικών επιπέδων.....	43
5.2.1 Γεωλογικές ενότητες	44
5.2.2 Απόσταση από τα ρήγματα και τις επωθήσεις.....	44
5.2.3 Κλίση των πρανών	46
5.2.4 Προσανατολισμός των πρανών.....	47
5.2.5 Καμπυλότητα των πρανών	48
5.2.6 Ύψόμετρο.....	49
5.2.7 Απόσταση από τα ποτάμια	50
5.2.8 Χρήσεις γης.....	51
5.2.9 Απόσταση από τους δρόμους.....	53
5.2.10 Ύψος βροχοπτώσεων	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Υπολογισμός δείκτη κατολισθητικής τρωτότητας

6.1 Περιγραφή μεθόδου.....	56
6.2 Μαθηματική έκφραση της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης	56
6.3 Βαθμονομημένοι χάρτες τρωτότητας θεματικών επιπέδων.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Τελικός κατολισθητικός χάρτης.....73

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....76

REFERENCES.....77

Περίληψη:

Το κεντρικό κομμάτι του Νομού Ρεθύμνου, στο νησί της Κρήτης, στην Ελλάδα, πάσχει από σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα λόγω της πολύπλοκης γεωλογικής και γεωμορφολογικής δομής, η οποία διαρκώς μεταβάλλεται λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Πραγματοποιείται λοιπόν μελέτη, βάση της οποίας εφαρμόζεται η Αναλυτική Μέθοδος Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP), για την ανάλυση της κατολισθητικής ευαισθησίας στην περιοχή αυτή. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, συνυπολογίζονται κάποιοι βασικοί παράγοντες, ο οποίος κατά γενική ομολογία θεωρείται ότι έχουν καταλυτική επίδραση στο φαινόμενο των κατολισθήσεων. Αυτοί λοιπόν είναι, οι γεωλογικοί σχηματισμοί, οι χρήσεις γης, οι βροχοπτώσεις, η απόσταση από τους δρόμους-τα ρήγματα-τις επωθήσεις-τα ποτάμια, η κλίση των πρανών, το υψόμετρο, ο προσανατολισμός των πρανών καθώς και η καμπυλότητα- κυρτότητα του εδάφους.

Ο κύριος σκοπός αυτής της μελέτης είναι να αναπτυχθεί και να υποστηριχθεί ένα σύστημα λήψης αποφάσεων υπό τη διαρκή παρακολούθηση της εξέλιξης της περιοχής μελέτης, συνθέτοντας συμπληρωματικά χαρτών εκτίμησης της κατολισθητικής ευαισθησίας- τρωτότητας για αυτή. Για το λόγο αυτό πολλές τεχνικές την Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης υιοθετήθηκαν μέσα στο περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information Systems, GIS). Τα αποτελέσματα επικυρώθηκαν μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων με τις ήδη τεκμηριωμένες κατολισθήσεις που είχαν αποτιμηθεί στην περιοχή στην οποία και διεξάγεται η μελέτη. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν, αφενός ότι ο χάρτης κατολισθητικής ευαισθησίας ο οποίος κατασκευάστηκε, βρίσκεται σε συμφωνία με παλαιότερα κατολισθητικά φαινόμενα και ως εκ τούτου αποτελεί αξιόπιστη πηγή για μελλοντική χρήση και αφετέρου ότι ο συνδυασμός της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης με την Τηλεπισκόπηση καθώς και ορισμένες τεχνικές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορούν να υποστηρίξουν μηχανικές- γεωλογικές μελέτες οι οποίες αφορούν την κατολισθητική ευαισθησία ευπαθών περιοχών.

Abstract

The central part of Rethymnon Prefecture, Crete Island, suffers from severe landslide phenomena because of its geological and geomorphological settings alternated by the human activities. This research applies the analytical hierarchy process (AHP) method for landslide susceptibility analysis in the study area. The following landslide conditioning factors were selected, geology, landuse, rainfall, distance from roads, distance from faults- thrusts, distance from streams , slope, altitude, slope aspect and slope shape.

The main purpose of this study is to develop a decision support and continuous monitoring system of the area, by composing landslide hazard and risk maps. For this reason several approaches of the AHP method were adopted in a Geographic Information Systems (GIS) environment. The results were validated through their comparison with pre-existing landslide occurrences for the same area. The results indicate that, the predicted susceptibility map is in good agreement with the past landslide occurrences and therefore the map is trustworthy for future uses. It also suggests that the combination of AHP method coupled with Remote Sensing and GIS techniques can support engineering geological studies concerning vulnerability of hazardous areas.

Εισαγωγή:

Οι κατολισθήσεις θεωρείται ότι είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα και αυτό λόγω των ανθρώπινων απωλειών αλλά και των εκτεταμένων ζημιών που επιφέρουν στο πέρασμα τους ανά τον κόσμο. Κατολισθητική τρωτότητα ορίζεται ως η ροπή που έχει το έδαφος ώστε να αποδώσει σφάλμα στην κλίση των πρανών και συνήθως εκφράζεται χαρτογραφικά με την κατασκευή κατολισθητικών χαρτών, τέτοιων ώστε να απεικονίζονται στο περιεχόμενό τους περιοχές που είναι πολύ πιθανό να βιώσουν διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα στο μέλλον, συσχετίζοντας κάποιους βασικούς κατολισθητικούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα μελέτη οι παράγοντες οι οποίοι λήφθησαν υπόψη είναι οι εξής, η γεωλογία, οι ποικίλες χρήσεις της γης, οι βροχοπτώσεις, η απόσταση από τους δρόμους- τα ρήγματα- τις ωθήσεις- τα ποτάμια, η κλίση, ο προσανατολισμός και η κυρτότητα των πρανών καθώς και η σχετική υγρασία.

Σημαντική παράμετρο για τη δημιουργία αξιόπιστων χαρτών κατολισθητικής ευαυσθησίας, αποτελεί τόσο η ποιότητα όσο και η ποσότητα των διαθέσιμων δεδομένων, αλλά και η επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών. Η διαδικασία για τη δημιουργία αυτών των χαρτών, συναποτελείται από διάφορες προσεγγιστικές μεθόδους, οι οποίες γενικά κατηγοριοποιούνται ως ποιοτικές, ημι-ποσοτικές και ποσοτικές.

1.1 Ποσοτικές Μέθοδοι:

Πιο αναλυτικά, οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται σε μαθηματικές εκφράσεις συσχέτισης κατολισθητικών παραγόντων αλλά και τις ίδιες τις κατολισθήσεις. Εν αντιθέσει, οι ποιοτικές μέθοδοι βασίζονται σε εμπειριστατωμένες απόψεις εμπειρογνώμων. Οι βασικοί τύποι ποσοτικών μεθόδων χρησιμοποιούν κατολισθητικούς δείκτες προκειμένου να αναγνωρίσουν περιοχές με παρόμοια γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, οι οποίες και χαρακτηρίζονται ευαίσθητες όσον αφορά τις κατολισθήσεις.

1.2 Ποιοτικές Μέθοδοι:

Υπάρχουν ωστόσο ποιοτικές μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούν διαδικασίες στάθμισης και απόδοσης βαρυτήτων που είναι γνωστές και ως ημι-ποσοτικές μέθοδοι. Σε αυτό το είδος υπάγεται τόσο η Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης (AHP: Analytical Hierarchy Process) όσο και ο Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός (WLC: Weighted Linear Combination).

1.3 Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing):

Επιπροσθέτως χρησιμοποιήθηκαν και τεχνικές της Τηλεπισκόπησης στην ανάλυση της κατολισθητικής τρωτότητας μέσα σε ένα πλαίσιο ανάπτυξης και επεξεργασίας κατολισθητικών χαρτών. Δορυφορικές εικόνες οι οποίες εξάγονται με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης, προσφέρουν μια γρήγορη και παράλληλα οικονομική εναλλακτική προκειμένου να καταγραφούν οι κατολισθήσεις σε μεγάλες και δυσπρόσιτες περιοχές. Η παροχή καθαρών εικόνων, για ερευνητικά έργα σε λειτουργία, είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες για την περιοχή ενδιαφέροντός μας.

Τελικός στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η εφαρμογή της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης σε μια περιοχή εντός των γεωγραφικών ορίων του Ρεθύμνου στο νησί της Κρήτης, η οποία πλήττεται από σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα. Σημαντική κρίθηκε επίσης η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Προβολής (GIS) αλλά και της Τηλεπισκόπησης (RS) στη ζωνοποίηση της κατολισθητικής ευαισθησίας και ως εκ τούτου στο χωροταξικό σχεδιασμό.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ)

2.1 Χαρτογραφία:

Ονομάζεται ο επιστημονικός κλάδος της γεωγραφίας που περιλαμβάνει ένα σύνολο προσδιορισμένων μελετών, τεχνικών, ακόμη και καλλιτεχνικών εργασιών που αφορούν απεικονίσεις επάνω σε επίπεδη ή σφαιρική επιφάνεια, σε σμίκρυνση, ενός τμήματος ή όλης της γήινης επιφάνειας για τη σύνταξη και έκδοση χαρτών. Η εφαρμογή όλων αυτών των διεργασιών αποτελούν την έννοια της χαρτογράφησης, που γίνεται με διάφορες μεθόδους οι οποίες και ονομάζονται χαρτογραφικές προβολές. Η Χαρτογραφία σχετίζεται στενά με την επιστήμη της Γεωγραφίας, αφού οι χάρτες είναι ένα από τα κυριότερα μέσα παρουσίασης και μελέτης των γεωγραφικών δεδομένων.

2.2 Ιστορική εξέλιξη της Χαρτογραφίας:

Η κατασκευή χαρτών είναι μία από τις αρχαιότερες δραστηριότητες του ανθρώπου. Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους τα παλιότερα σχέδια που έχουν βρεθεί και που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν χάρτες χρονολογούνται ακόμα και 30.000 χρόνια πριν. Έχουν δε βρεθεί χαραγμένα σε σπηλιές, σε κομμάτια οστράκου ή σε κομμάτια οστών.

Ένα σημαντικότατο εύρημα της προϊστορικής περιόδου είναι ο χάρτης που βρέθηκε στον οικισμό του Τσατάλ Χογιούκ της Τουρκίας και χρονολογείται γύρω στο 7500 π.Χ.. Ο χάρτης έχει τη μορφή τοιχογραφίας, έχει μήκος περίπου τρία (3) μέτρα και απεικονίζει τον οικισμό σε κάτοψη καθώς και ένα γειτονικό ηφαίστειο. Κάτι ιδιαίτερα αξιοσημείωτο σχετικά με τον χάρτη αυτόν είναι η συμφωνία των όσων απεικονίζονται στον χάρτη με τα ευρήματα των αρχαιολογικών ανασκαφών.

Μια σημαντική εξέλιξη στην χαρτογραφία υπήρξε η εμφάνιση της γεωμετρίας. Άλλωστε η λέξη «γεωμετρία» είχε αρχικά την έννοια της «μέτρησης της γης».

Τα πρώτα δείγματα χαρτών που φαίνεται να κατασκευάστηκαν με τη χρήση κάποιων αρχών γεωμετρίας προέρχονται από την Βαβυλώνα. Τα σημαντικότερα ευρήματα εκείνης της περιόδου είναι ένα διάγραμμα που παρουσιάζει τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα (2300 π.Χ.) και ένας χαραγμένος χάρτης της ιερής πόλης Νιππούρ (14ος -12ος αιώνας π.Χ.).

Αξιόλογα ευρήματα προέρχονται ακόμα από την περιοχή της Αιγύπτου. Οι «τοπογράφοι» της εποχής έπρεπε κάθε φορά μετά τις πλημμύρες του Νείλου να επαναπροσδιορίζουν τα όρια των ιδιοκτησιών στο έδαφος. Η ανάγκη για ακρίβεια ώθησε

τους αρχαίους Αιγυπτίους στην επιβίωση τεχνικών που έδιναν αρκετά αξιόλογη ακρίβεια. Ωστόσο δεν έχουν βρεθεί δείγματα χαρτών, παρά μόνο σχέδια μεμονωμένων αγροτεμαχίων, με μία σημαντικότερη εξαίρεση: τον Πάπυρο του Τορίνο. Στον πάπυρο αυτό, που χρονολογείται στο 1300 π.Χ., απεικονίζονται οι θέσεις εξόρυξης χρυσού και Αργύρου στις περιοχές μεταξύ του Νείλου και της Ερυθράς Θάλασσας. Σημειώνονται ακόμα οι θέσεις διαμονής των εργατών, δρόμοι κ.ά. Ο χάρτης αυτός μπορεί κατά πολλούς να θεωρηθεί ο πρώτος γεωλογικός χάρτης της ιστορίας.

Κατά το 18^ο αιώνα, σημαντική αποδείχτηκε πως ήταν οι συστηματική χαρτογράφηση από τους Ρωμαίους χαρτογράφους, πράγμα το οποίο οδήγησε στην εξέλιξη της επιστήμης σε εθνικό επίπεδο πλέον και από οργανωμένα ινστιτούτα. Κατά το 19^ο αιώνα χρονολογείται η πρώτη προσπάθεια απογραφής των φυσικών πόρων καθώς επίσης και η αξιολόγηση αυτών.

Στη συνέχεια κατά τον 20^ο αιώνα λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας και των αλμάτων προόδου της πληροφορικής κατέστη δυνατή η δημιουργία βάσεων δεδομένων. Η έννοια της πληροφορίας είχε πλέον αποκτήσει δομή και μορφή και έτσι η δημιουργία μιας τέτοιας βάσης δεδομένων απαιτούσε την ύπαρξη και σύνδεση του είδους της πληροφορίας (περιγραφική πληροφορία) με τη γεωγραφική της θέση (χωρική πληροφορία). Λόγω της ανάγκης εισαγωγής, αποθήκευσης, ανάλυσης και απεικόνισης πολλαπλών πληροφοριών εφευρέθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα οποία αποτέλεσαν τη φυσική εξέλιξη ενός μεγάλου κομματιού της σύγχρονης πληροφορικής, αφού η χρήση σου βρίσκει εφαρμογή σε πάρα πολλά επιστημονικά πεδία. Το έτος 1967 αναπτύχθηκε το πρώτο παγκόσμια αληθινό λειτουργικό ΓΣΠ (GIS) στην Οντάβα του Καναδά και συγκεκριμένα στο Οντάριο στο ομοσπονδιακό Τμήμα Ενέργειας, Ορυχείων και Φυσικών Πόρων στο Οντάριο από τον Roger Tomlinson. Αυτή η πρώτη εκδοχή των Γ.Σ. Π ονομάστηκε 'Καναδικό GIS' (CGIS) και χρησιμοποιήθηκε για να αποθηκεύσει, να αναλύσει και να χειριστεί τα στοιχεία που εξάγονταν από την απογραφή γης του Καναδά.

Με τον τρόπο αυτό ήταν πλέον δυνατή η χαρτογράφηση πληροφοριών για τα εδάφη, τη γεωργία, τα δάση, των χρήσεων της γης σε κλίμακα 1:250.000. Παγκόσμια πλέον καθιερώθηκε ως το πρώτο Σύστημα (το CGIS) και αποτέλεσε μια βελτιωμένη μορφή των διαφόρων εφαρμογών της χαρτογράφησης, αφού παρείχε τη δυνατότητα επικάλυψης, μέτρησης και ψηφιοποίησης ενώ παράλληλα υποστήριζε ένα εθνικό σύστημα συντεταγμένων που επεκτάθηκε στην ήπειρο.

Τη δεκαετία του '90 το λειτουργικό CGIS ολοκληρώθηκε και δημιούργησε τη μεγαλύτερη βάση δεδομένων που αφορούσε τους πόρους του εδάφους του Καναδά. Παρόλο που το πρόγραμμα δεν υπήρξε ποτέ σε εμπορική μορφή, εντούτοις η ανάπτυξη της

πληροφορικής κέντρισε τους προμηθευτές να ενσωματώσουν πολλά από τα γνωρίσματά του. Η εξέλιξη αυτή μας οδήγησε σήμερα στην ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και στην εφαρμογή αυτών σε πολλά επιστημονικά πεδία, όπως στην τοπογραφία, τη φωτογραμμετρία, την Τηλεπισκόπηση, την ιατρικά κτλ.

2.3 Κλάδοι της Χαρτογραφίας:

2.3.1 Η Θεματική Χαρτογραφία είναι ο κλάδος της Χαρτογραφίας που έχει ως αντικείμενο τη σύνθεση θεματικών χαρτών. Το κύριο αντικείμενο της Θεματικής Χαρτογραφίας είναι η γραφική απεικόνιση και ειδικότερα η χαρτογραφική αναπαράσταση με κατάλληλες τεχνικές, φαινομένων που έχουν κατανομή στον γεωγραφικό χώρο, είτε αυτός είναι ο φυσικός είτε ο ανθρωπογενής. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να είναι καταγεγραμμένα μέσω ποιοτικών ή (κυρίως) ποσοτικών χαρακτηριστικών και μεγεθών. Η Θεματική Χαρτογραφία αποτελεί μια σειρά από καθαρά εφαρμοσμένες διαδικασίες και μεθοδολογίες. Μπορεί να θεωρηθεί και ως επιστήμη, εφόσον βασίζεται σε θεωρητικές επιστήμες όπως τα μαθηματικά, αλλά και ως τέχνη, αφού στόχος της είναι η ισορροπία μεταξύ της αισθητικής και της γρήγορης αντίληψης των φαινομένων που απεικονίζει ο θεματικός χάρτης.

2.3.2 Η Αναλυτική (ή Μαθηματική) Χαρτογραφία είναι ο κλάδος της Χαρτογραφίας που ασχολείται με την επίλυση χαρτογραφικών προβλημάτων χρησιμοποιώντας μαθηματικούς ή αναλυτικούς τρόπους. Ο όρος *μαθηματική χαρτογραφία* χρησιμοποιούνταν από παλιά, για να περιγραφεί ο κλάδος των μαθηματικών που ασχολήθηκε με το πρόβλημα των απεικονίσεων. Ο όρος *αναλυτική χαρτογραφία* χρησιμοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 από τον καθηγητή **Waldo Tobler**, γεωγράφο και χαρτογράφο στο πανεπιστήμιο του Μίτσιγκαν, ο οποίος και θεωρείται από πολλούς ο πατέρας της Αναλυτικής Χαρτογραφίας.

2.4 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS)

Το **Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ)**, γνωστό ευρέως και ως **G.I.S. Geographic Information Systems**, είναι ένα σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή του είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΓΣΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού

χαρακτήρα, να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο).

Τα ΓΣΠ είναι μια σχετικά καινούρια επιστημονική περιοχή, η οποία αποτελεί αντικείμενο πολλών φυσικών και κοινωνικών επιστημών που ασχολούνται με τη διεκπεραίωση χωρικών στοιχείων. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών μπορεί περιληπτικά να αποδοθεί ως εξής:

1. Γεωγραφικό: Το σύστημα αναφέρεται σε στοιχεία που σχετίζονται με τη γεωγραφική κλίμακα και αναφέρονται σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων σε θέσεις στην επιφάνεια της γης. Επομένως, οι χωρικές οντότητες και η γεωγραφική τους θέση αποτελούν το θεμέλιο λίθο του συστήματος.

2. Σύστημα: Είναι ένα περιβάλλον που επιτρέπει τη διαχείριση των στοιχείων καθώς και την αναζήτηση απαντήσεων σε ερωτήσεις που τίθενται. Στην πιο απλή του μορφή, ένα ΓΣΠ δε χρειάζεται την αυτοματοποίηση των Η/Υ (μια βιβλιοθήκη χαρτών και μια σειρά από εργαλεία της επιστήμης της Γεωγραφίας αρκούν), αλλά πρέπει να είναι μία ολοκληρωμένη σειρά από διαδικασίες για την εισαγωγή, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση των γεωγραφικών πληροφοριών.

Βέβαια, ένα τέτοιο σύστημα επιτυγχάνει τους στόχους του βέλτιστα.

3. Πληροφοριών: Το σύστημα χρησιμοποιείται για να θέσει ερωτήσεις για τα στοιχεία της γεωγραφικής βάσης, λαμβάνοντας πληροφορίες για το γεωγραφικό κόσμο. Αυτό αντιπροσωπεύει τη γνωστή διαδικασία μετατροπής των δεδομένων σε πληροφορία.

Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΓΣΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά.

Η λειτουργία των Γ.Σ.Π. στηρίζεται σε μια βάση δεδομένων η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους χρήστες, για την κάλυψη πληροφοριακών αναγκών. Η βάση

αυτή, αποτελείται από μια σειρά **πληροφοριακών επιπέδων** (layers), τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή. Το κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα περιλαμβάνει είτε μη επεξεργασμένα δεδομένα όπως τοπογραφικά ή δορυφορικά, είτε θεματικές πληροφορίες όπως π.χ. στην περίπτωση του ΟΓΑ , την κατανομή διαφόρων καλλιεργειών, τις διάφορες ποικιλίες για συγκεκριμένα είδη δενδρωδών καλλιεργειών ή φυτειών κλπ.

Όλα τα παραπάνω αναφερθέντα είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα έτσι που να είναι δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων από αυτά, αναλόγως των αναγκών μας ως χρήστες.

Κύριος και αντικειμενικός σκοπός της δημιουργίας βάσεως δεδομένων (συλλογή και αποθήκευση data), πάντα σε ψηφιακή μορφή, είναι η συσχέτιση των διαφόρων γεγονότων και καταστάσεων τα οποία προηγουμένως αποτελούσαν ξεχωριστές ομάδες δεδομένων. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων στην ψηφιακή τους μορφή γίνεται με ειδικά λογισμικά G.I.S.



Εικόνα 2.1: Μοντέλο Σχεσιακής Βάσης δεδομένων διαφόρων θεματικών επιπέδων (layers).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν σαν κυρίαρχο στόχο τον χωρικό σχεδιασμό, χρησιμοποιούνται δηλαδή μέσα από πολλές προσεγγίσεις στη διατύπωση και αξιολόγηση πολιτικών προγραμμάτων και προγραμμάτων που αναφέρονται στο φυσικό ή περιβαλλοντικό σχεδιασμό, από τοπικό μέχρι εθνικό επίπεδο. Τα ΓΣΠ μολονότι απαιτούν διαχείριση της βάσης δεδομένων (data management) διαθέτουν μία σειρά από εργαλεία για τον μετασχηματισμό των στοιχείων, αναγκαίων για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων.

Πιο συγκεκριμένα, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αντιπροσωπεύουν ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση ανά πάσα στιγμή μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου. Σαν αποτέλεσμα, ένα ΓΣΠ έχει τη δυνατότητα να φέρει εις πέρας τις εξής δραστηριότητες:

- μπορεί να αποθηκεύσει, να διαχειριστεί και να ενσωματώνει ένα μεγάλο όγκο χωρικών στοιχείων.
- αποτελεί το πιο κατάλληλο εργαλείο χωρικής ανάλυσης, εστιαζόμενο ειδικά στη χωρική διάσωση των στοιχείων.
- αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό μηχανισμό για την επίλυση χωρικών προβλημάτων μέσα από την οργάνωση, διαχείριση και μετασχηματισμό μεγάλου όγκου στοιχείων, με τέτοιο τρόπο που η πληροφορία να είναι προσιτή σε όλους τους χρήστες.

2.4.1 Τα Δεδομένα σε ένα ΓΣΠ:

Τα δεδομένα που εισάγονται στο ΓΣΠ αποτελούνται από χωρικές και περιγραφικές πληροφορίες. Οι χωρικές πληροφορίες αφορούν κατά κύριο λόγο το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται το ΓΣΠ. Οι ψηφιακοί χάρτες μπορούν να προκύψουν με διάφορους τρόπους, όπως π.χ. από επίγειες τοπογραφικές ή κτηματολογικές εργασίες, φωτογραμμετρικά δεδομένα, ψηφιοποίηση υπαρχόντων χάρτινων χαρτών κ.λπ. Οι περιγραφικές πληροφορίες συλλέγονται από υπάρχοντα ηλεκτρονικά ή συμβατικά αρχεία, εκθέσεις, συζητήσεις ή και από τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων. Η ακρίβεια, εγκυρότητα και επικαιρότητα των κάθε είδους πληροφοριών αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την επιτυχία ή την αποτυχία του έργου της δημιουργίας και της χρησιμοποίησης ενός ΓΣΠ. Μεγάλη σημασία για την αποτελεσματική χρήση ενός ΓΣΠ έχουν και οι δυνατότητες απεικόνισης των αποτελεσμάτων και της παραγωγής προϊόντων από την επεξεργασία των αποθηκευμένων σε αυτό πληροφοριών. Η πιο απλή περίπτωση είναι η απεικόνιση των αποτελεσμάτων με τη μορφή χαρτών και πινάκων στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ένα ολοκληρωμένο ΓΣΠ επιτρέπει τη σύνταξη θεματικών χαρτών, όπου με κατάλληλους συμβολισμούς δείχνονται τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των περιγραφικών πληροφοριών, την εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε ψηφιακή μορφή, σε format αναγνώσιμο από άλλα προγράμματα, την έξοδο αναλυτικών στατιστικών στοιχείων με τη μορφή αριθμών και διαγραμμάτων, τη δημιουργία νέων αρχείων με δευτερογενή στοιχεία και τη χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της χωρικής ανάλυσης σε εκθέσεις και αναλύσεις.

Η σωστή οργάνωση της μεθοδολογίας της εργασίας και η εκπαίδευση καθώς και η αποτελεσματική απόδοση του προσωπικού είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την επιτυχή έκβαση κάθε είδους εργασίας και εφαρμογής ενός ΓΣΠ.

Η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων σε ένα ΓΣΠ περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Βήμα 1^ο: Ανάλυση της εφαρμογής, σχεδιασμός των απαραίτητων περιεχομένων του ΓΣΠ και οργάνωση.
- Βήμα 2^ο: Εισαγωγή των χαρτογραφικών δεδομένων που θα αποτελέσουν το ψηφιακό υπόβαθρο του ΓΣΠ.
- Βήμα 3^ο: Έλεγχος και διόρθωση των χωρικών στοιχείων, ώστε να είναι δυνατός ο ορισμός της τοπολογίας χωρίς προβλήματα.
- Βήμα 4^ο: Μετασχηματισμός των διορθωμένων ψηφιακών δεδομένων, με σκοπό να αναφέρονται όλα στο ίδιο χαρτογραφικό σύστημα.
- Βήμα 5^ο: Μετατροπές της μορφής των γραφικών αρχείων, όπου απαιτείται και καθορισμός της τοπολογίας.
- Βήμα 6^ο: Έλεγχος ακρίβειας του ψηφιακού υποβάθρου του ΓΣΠ με την τοπολογία του.
- Βήμα 7^ο: Εισαγωγή των περιγραφικών δεδομένων.

2.4.2 Ψηφιακή αναπαράσταση- δομή δεδομένων:

Τα ΓΣΠ αναπαριστούν πραγματικά δεδομένα σε ψηφιακή μορφή. Για να είναι εφικτή μια τέτοιου είδους απεικόνιση, δηλαδή δρόμων, ποταμών, οικισμών κ.α. δημιουργείται ένα μοντέλο, βάσει κανόνων τοπολογίας που επιτρέπει την διαχείριση αυτών των πληροφοριών. Τα αντικείμενα στον πραγματικό χώρο μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Τα χωρικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα θέση, μορφή, σχέσεις, κ.λπ. και τα ποιοτικά ή θεματικά ή περιγραφικά δεδομένα που αφορούν τιμές και χαρακτηριστικά.

2.4.3 Χωρικά Δεδομένα

Ανάλογα με τις διαστάσεις τους στο χώρο, τα χωρικά δεδομένα διακρίνονται σε σημειακά (όπως, τα επίκεντρα σεισμών, οι πόλεις, τα ηφαίστεια, οι γεωτρήσεις κ.α.), γραμμικά (όπως δρόμοι, υδρογραφικό δίκτυο, ρήγματα κ.α.), πολυγωνικά (όπως υδρογραφικές λεκάνες, γεωλογικές ενότητες κ.α.) και ογκομετρικά, (όπως χάρτης κλίσεων εδαφών).

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το είδος του αντικειμένου εξαρτάται και από την κλίμακα που χρησιμοποιείται. Έτσι, ενώ σε μία κλίμακα 1:50.000 η νήσος Σίφνος μπορεί να περιλαμβάνει σημειακά, γραμμικά και επιφανειακά δεδομένα, σε κλίμακα 1:1.000.000, όλη η νήσος Σίφνος αποτελεί ένα σημειακό αντικείμενο. Τα δεδομένα εξάλλου αντιπροσωπεύονται από τις διαστάσεις τους μέσα στο χώρο. Έτσι, ένα σημείο θεωρείται ότι έχει μηδενικές διαστάσεις. Η ευθεία που ενώνει δύο σημεία έχει μία μόνο διάσταση, το μήκος. Μία επιφάνεια που αποτελείται από ένα σύνολο γραμμών έχει δύο διαστάσεις, το μήκος και την έκταση και τέλος ένα ογκομετρικό μέγεθος (μία επιφάνεια που περιλαμβάνει εκτάσεις με κατακόρυφες συντεταγμένες) έχει τρεις διαστάσεις.

2.4.4 Περιγραφικά Δεδομένα:

Ονομαστικά δεδομένα (nominal): Είναι ποιοτική, μη αριθμητική, μη γραμμική κλίμακα. Τα χαρακτηριστικά διαχωρίζονται με βάση τα ουσιαστικά πραγματικά χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα, η ιδιότητα "λεκάνη απορροής" μπορεί να πάρει τις τιμές: Κερίτης, Ταυρωνίτης κ.λπ.

Τακτικά δεδομένα (ordinal): Είναι ονομαστική κλίμακα αλλά με σειρά. Δηλαδή τα χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με κάποια τακτική διάταξη. Ένα παράδειγμα είναι η ιδιότητα "Μέγεθος" που μπορεί να πάρει τις τιμές: μικρή, μεσαία, μεγάλη, κ.λπ.

Κατά διαστήματα δεδομένα (interval): Είναι μία τακτική κλίμακα αλλά με αριθμούς. Τα χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την απόκλισή τους από ένα αυθαίρετο μέγεθος μέτρησης. Ένα παράδειγμα είναι το " Εμβαδόν" το οποίο παίρνει

τιμές που μετριούνται σε τετραγωνικά μέτρα.

Αναλογικά δεδομένα (ratio): Είναι μία κλίμακα με ένα απόλυτο μηδενικό σημείο έναρξης. Ένα παράδειγμα είναι το "Υψόμετρο" το οποίο μετριέται σε μέτρα και η μέτρηση αρχίζει από την επιφάνεια της θάλασσας. Ανάλογα με τη φύση τους, τα περιγραφικά δεδομένα αυτά διακρίνονται σε διακριτά (όπως ο πληθυσμός, η χρήση γης κ.α.) και συνεχή (όπως το υψόμετρο, η ατμοσφαιρική ρύπανση κ.α.).

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αναπαράστασης της πραγματικότητας με ψηφιακό τρόπο. Οι δύο κύριες που χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν τα στοιχεία σε ένα GIS και για τις δύο παραπάνω κατηγορίες είναι η **διανυσματική μορφή (vector)** και η **μορφή κανάβου (raster)**. Η πρώτη από αυτές μετατρέπει τη μορφή του χάρτη σε μορφή διανύσματος (vector format) ή διανυσματική μορφή πολυγώνου, χρησιμοποιώντας την τεχνική του διανύσματος και η δεύτερη σε μορφή ψηφιδωτού ή κανάβου (raster format), χρησιμοποιώντας την τεχνική του ψηφιδωτού. Και οι δυο μέθοδοι, συγχρόνως με τη μετατροπή αυτή κάθε αυτή του χάρτη σε ψηφιακή μορφή, παρέχουν τοπολογική και ποιοτική πληροφορία για τον ακριβή τρόπο επανασύστασής του.

Υπάρχουν δύο είδη δεδομένων ΓΣΠ:

- 1. Διανύσματα (Vector).** Όλα τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν με τρεις βασικούς τύπου γεωμετριών: σημεία, γραμμές, πολύγωνα. Έτσι για την απόδοση της θέσης μια πόλης σε ένα χάρτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σημείο, για την αποτύπωση του οδικού δικτύου μια γραμμή αποτελούμενη από πολλές κορυφές και για την αποτύπωση μιας ιδιοκτησίας ένα πολύγωνο. Στην ουσία τα πάντα αναπαρίστανται από γραμμές. Το σημείο είναι μια γραμμή μηδενικού μήκους, ενώ το πολύγωνο είναι μια ακολουθία γραμμών με αρχή και τέλος την ίδια κορυφή. Η γεωμετρία που θα υιοθετηθεί για το συμβολισμό ενός αντικειμένου εξαρτάται από την κλίμακα απεικόνισης και το σκοπό της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Έτσι π.χ. σε μια πολύ μεγάλη κλίμακα (1:1000) τα κτίσματα αποτυπώνονται ως πολύγωνα, ενώ σε μικρότερες κλίμακες (1:10.000) είναι ορθότερο να χρησιμοποιηθεί η γεωμετρία του σημείου. Τέλος κάθε γεωμετρία συνδέεται με μια σχέση 1-1 με μια εγγραφή σε ένα πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.
- 2. Ψηφιδωτά (Raster).** Σύμφωνα με αυτή την αναπαράσταση, ο χώρος διαιρείται σε ισομεγέθη τετράγωνα (pixels, cells). Σε κάθε ένα από αυτά τα τμήματα αποθηκεύονται τα χαρακτηριστικά του σαν περιγραφικά δεδομένα. Η τιμή του χαρακτηριστικού για κάθε pixel, θεωρείται, κατά σύμβαση, ότι αντιστοιχεί σε όλη τη

περιοχή την οποία αυτό καλύπτει. Το μέγεθος των τετραγώνων ορίζει και την ακρίβεια της αναπαράστασης. Κάθε οντότητα του πραγματικού χώρου, σύμφωνα με το μοντέλο κανάβου, αναπαρίσταται από μία ή περισσότερες ομοιογενείς δομικές μονάδες. Κάθε μία από τις ενότητες, έχει το σύνολο των ιδιοτήτων του αντικειμένου που καθορίζει. Η γενική αρχή των μοντέλων αυτών είναι η δυνατότητα απεριόριστης επέκτασής τους στο χώρο και το αντίστροφο, δηλαδή η δυνατότητα της συνεχούς υποδιαίρεσης του ίδιου σχήματος σε μικρότερες ενότητες που έχουν τις ίδιες ιδιότητες με το αρχικό σχήμα. Υπάρχουν τα ψηφιδωτά μοντέλα κανονικής και μη κανονικής μορφής. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται περισσότερο από όλα είναι το τετράγωνο-ψηφίδα, λόγω της δυνατότητάς του να υποδιαιρείται σε απεριόριστο αριθμό υπό περιοχών που έχουν το ίδιο σχήμα, ιδιότητες και λειτουργία. Η τιμή της κάθε ψηφίδας (pixel-cell) θεωρείται κατά σύμβαση ότι αντιστοιχεί σε όλη την περιοχή την οποία αυτό καλύπτει. Το μέγεθος των τετραγώνων ορίζει την ακρίβεια της αναπαράστασης.

Έτσι η θέση ενός σημείου ορίζεται από την γραμμή και την στήλη του κανάβου στην οποία εμπίπτει. Τα συστήματα κανάβου είναι συμβατά με άλλα δεδομένα, όπως τα δορυφορικά. Στο ψηφιδωτό μοντέλο είναι δυνατό να γίνει η απεικόνιση με τους κωδικούς αλυσίδων, μηκών και κωδικούς τετραγώνων.

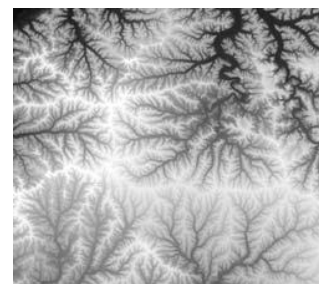
2.4.5 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους:

Το ΨΜΕ μπορεί να κατανοηθεί ως ψηφιακή αναπαράσταση της γεωμετρικής μορφής της γήινης επιφάνειας (τρισδιάστατη οπτικοποίηση του αναγλύφου). Είναι η ψηφιακή αναπαράσταση του αναγλύφου (πεδινά τμήματα, πλαγιές, ρεματιές, κορυφογραμμές) μέσα από μια συγκεκριμένη κλίμακα ανάλυσης. Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους έχει γεωμετρικές πληροφορίες και αποδίδει την επιφάνεια του υψηλότερου επιπέδου εδάφους.

2.4.5.1 Τύποι δεδομένων για χαρτογράφηση και ανάλυση ΨΜΕ:

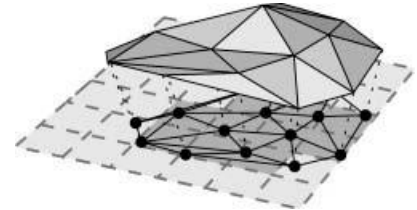
Υπάρχουν δύο κοινά χρησιμοποιημένοι τύποι δεδομένων, τα Grid DTM (ή DEM) και το διανυσματικό δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων (TIN). Αν και δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μαζί ένα DEM και ένα TIN σε μια ανάλυση, μπορούμε να μετατρέψουμε τη μια μορφή στην άλλη και αντίστροφα.

Ο όρος **Grid DTM** (Digital Terrain Model) ή **DEM**(Digital Elevation Model) αναπαριστά ένα κανονικό πλέγμα υψομετρικών σημείων και αναφέρεται σε έναν επίπεδο κάνναβο (grid) συγκεκριμένης ανάλυσης (5 m, 30 m, 50m κλπ.). Κάθε



σημείο του καννάβου (ουσιαστικά το κεντρικό σημείο κάθε κελιού) έχει κάποια μέτρηση ύψους και η ποιότητα του DEM μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις που εξάγονται από αυτό (π.χ. κλίση και έκθεση).

Το **δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων (TIN)** χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των ψηφιακών επιφανειών εδάφους. Το TIN προσεγγίζει τη γήινη επιφάνεια με μια σειρά μη επικαλυπτόμενων τριγώνων. Οι τιμές υψομέτρου (z τιμές) μαζί με τις x,y συντεταγμένες αποθηκεύονται στους κόμβους που αποτελούν τα τρίγωνα. Σε αντίθεση με τα DEM, ένα TIN βασίζεται στην ανομοιογενή κατανομή των υψομετρικών σημείων. Τα DEM είναι συνήθως η κύρια αρχική πηγή για τη δημιουργία των TIN, αλλά μπορούν επιπρόσθετα να



χρησιμοποιηθούν και άλλα επιπρόσθετα υψομετρικά δεδομένα. Το υψόμετρο κάθε σημείου της επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί μέσω της διαδικασίας της παρεμβολής των x, y, z τιμών των γειτονικών κορυφών του τριγώνου στο οποίο ανήκει.

Οι αναλύσεις από τα ΨΜΕ είναι πολλές. Η κλίση και έκθεση παίζει συστηματικό ρόλο στην μοντελοποίηση των υδρολογικών φαινομένων, στη χαρτογράφηση ή στην διάβρωση εδαφών, στις βιοτικές κοινότητες. Η σκίαση και οι προοπτικές αναγλύφου στην δημιουργία χαρτών κλπ.

Σε αντίθεση με τους τοπογραφικούς χάρτες στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους η πληροφορία αποθηκεύεται σε μορφή κανάβου (raster), δηλαδή ο χάρτης διαιρείται κανονικά σε ορθογώνια εικονοστοιχεία και θα αποθηκεύει την ανύψωση κάθε εικονοστοιχείου. Παρότι έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη από τη δεκαετία του 50 (Miller and Laflamme, 1958), η ανάπτυξη της επιστήμης της Πληροφορικής αναβάθμισε το ρόλο τους στις μέρες μας και τα κατέστησε αξιόπιστα έτσι ώστε να θεωρούνται απαραίτητο στοιχείο στη διαδικασία της Γεωγραφικής ανάλυσης..

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους είναι γκριζες εικόνες κλίμακας όπου οι τιμές του κάθε εικονοστοιχείου (pixel) είναι πραγματικοί αριθμοί υψομέτρου. Τα εικονοστοιχεία συντονίζονται επίσης στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων, ή σε άλλα συστήματα συντεταγμένων, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα, το ΕΓΣΑ '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) .

Η ανάπτυξη τεχνικών ψηφιακής αναπαράστασης του αναγλύφου ξεκίνησε λόγω της πρακτικής ακαταλληλότητας των μεθόδων αναπαράστασης που προϋπήρχαν για αριθμητική ανάλυση και μοντελοποίηση. Είναι γεγονός ότι η αναπαράσταση συνεχών οντοτήτων με τις

ισοϋψείς καμπύλες, ενώ είναι ιδανική για την παραστατική παρουσίαση του φαινομένου, δεν ενδείκνυται για ποσοτική ανάλυση.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους ξεφεύγουν από τη λογική της απεικόνισης θεματικών επιπέδων πληροφορίας σε δύο διαστάσεις, η οποία έχει αναπτυχθεί έως τώρα στα πλαίσια της δόμησης ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών. Παρόλα αυτά οι δυνατότητες που έχουν τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους στην παρουσίαση, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων για το ανάγλυφο τα καθιστούν απαραίτητο συστατικό ενός ενοποιημένου Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

Εφαρμογές των ΨΜΕ στα ΓΣΠ:

- Παραγωγή χαρτών σκιασμένου αναγλύφου (shaded relief maps), υψομέτρων, κλίσεων και εκθέσεων
- Κατασκευή ψηφιακών τοπογραφικών χαρτών
- Ομαδοποίηση και καταμέτρηση χαρακτηριστικών αντικειμένων κατά κλάσεις υψομέτρων κλίσεων ή εκθέσεων
- Διευκόλυνση υδρολογικών μελετών (υδρογραφικό δίκτυο, όρια λεκάνης απορροής κλπ.)

Μετά τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους μπορεί να εξαχθεί από αυτό πληθώρα πληροφοριών, τις οποίες δεν θα ήταν δυνατό να τις εξάγουμε από την ανάλυση των παραδοσιακών αναλογικών χαρτών:

- Υπολογισμός τιμών υψομέτρου
- Χάραξη ισοϋψών καμπυλών
- Υπολογισμός κλίσεων και προσανατολισμού
- Υπολογισμός εμβαδών και αποστάσεων στη περιοχή μελέτης
- Υπολογισμός όγκων
- Καθορισμός συνθηκών ορατότητας από ένα ή περισσότερα σημεία
- Τομές κατά μήκος επιφανειών
- Προσδιορισμός ιδιαίτερων μορφών του αναγλύφου (υδροκρίτες, λεκάνες απορροής, ρέματα κλπ)
- Σκίαση του αναγλύφου με καθορισμό της θέσης της φωτεινής πηγής.

2.4.6 Εφαρμογές των ΓΣΠ:

Γενικά τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν δυναμικά συστήματα πληροφοριών, τα οποία με την τεχνολογία της Πληροφορικής και τις ειδικές μαθηματικές μεθόδους διαχειρίζονται και αξιοποιούν δεδομένα από τις γεω-επιστήμες για την παραγωγή μετα-πληροφορίας, δηλαδή πληροφορίας υψηλότερου επιπέδου. Η εφαρμογή τους είναι εφικτή σε πολλούς τομείς.

- **Περιβαλλοντικές, ασφαλείας και εφαρμογές υγείας:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι περιβαλλοντικές μελέτες, ο αντίκτυπος διαρροών πετρελαίου, η διαχείριση υγρών αποβλήτων, ο προγραμματισμός ποιότητας νερού, ο προγραμματισμός ασφάλειας, οι εκπομπές αερίων και η ανάλυση κινδύνου φυσικών καταστροφών
- **Σχεδιασμός φυσικών πόρων:** Στον σχεδιασμό των φυσικών πόρων υπάγονται η δυναμική των φυσικών πόρων, η διαχείριση δασονομίας, ο προγραμματισμός πληθυσμού, ο χαρακτηρισμός βιότοπων και η διαχείριση άγριας φύσης. Δύο πολύ ενδιαφέροντα παραδείγματα είναι αυτό της επίλυσης του συγκοινωνιακού προβλήματος σε αστικές περιοχές και η μελέτη περιβαλλοντικών διαδικασιών σε ένα δοκιμαστικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να κάνει δυνατή την ανάλυση των αποτελεσμάτων των τάσεων ή ακόμη και την μελέτη πιθανών συνεπειών ενός σχεδιασμού. Χρησιμοποιώντας τα GIS είναι δυνατή η εξερεύνηση μίας σειράς πιθανών σεναρίων και η κατανόηση των επιπτώσεων πιθανών ενεργειών.
- **Κυβερνητικές εφαρμογές:** Στις κυβερνητικές εφαρμογές κατατάσσονται οι δημοτικές υποδομές, ο Περιφερειακός προγραμματισμός, η φορολογική διαχείριση, ο προγραμματισμός Ολυμπιακών αγώνων, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, ο οργανωτικός προγραμματισμός και η κατανομή δαπανών
- **Εμπορικές:** Στις εμπορικές εφαρμογές ανήκουν ο αστικός προγραμματισμός ανάπτυξης, η έρευνα αγοράς, η τοποθέτηση και ο προγραμματισμός διαδρομών και η ακίνητη περιουσία.

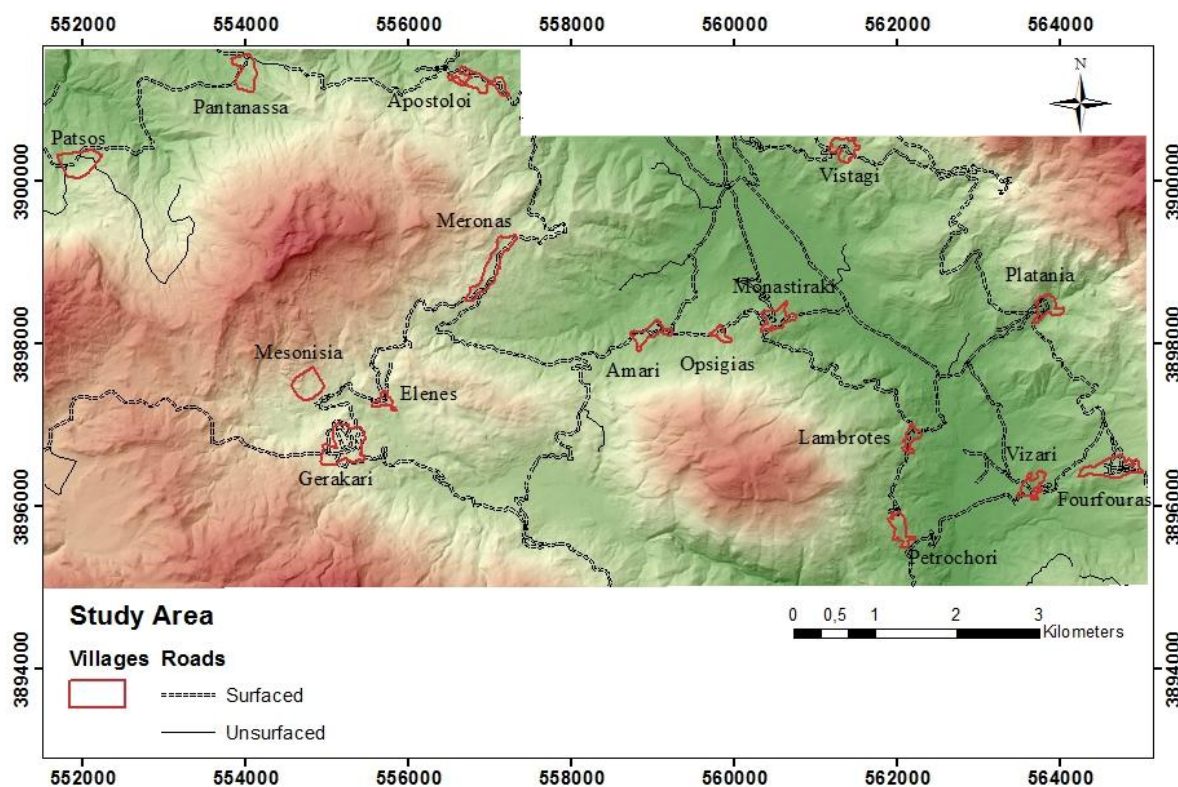
Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS) ArcGIS 9.0, σαν το κύριο εργαλείο ανάλυσης για τη διαχείριση των χωρικών δεδομένων, καθώς η δημιουργία θεματικού χάρτη βασίζεται στην παρεμβολή μιας μεγάλης ποσότητας δεδομένων όπου η χρήση των ΓΣΠ κρίνεται απαραίτητη. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου λογισμικού βελτίωσε την ικανότητα εκτίμησης της κατολισθητικής ευαισθησίας για μεγάλες περιοχές. Παράλληλα η εφαρμογή συγγενών διεργασιών σε συνδυασμό με τα ΓΣΠ μας επιτρέπει την εξαγωγή μορφολογικών και υδρολογικών παραμέτρων από ψηφιακά μοντέλα ανύψωσης (Digital Elevation Models DEMs). Ο αντικειμενικός σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να χρησιμοποιηθούν ευρέως αποδεκτά μοντέλα προκειμένου να αξιολογηθούν και τελικώς να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της ανάλυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

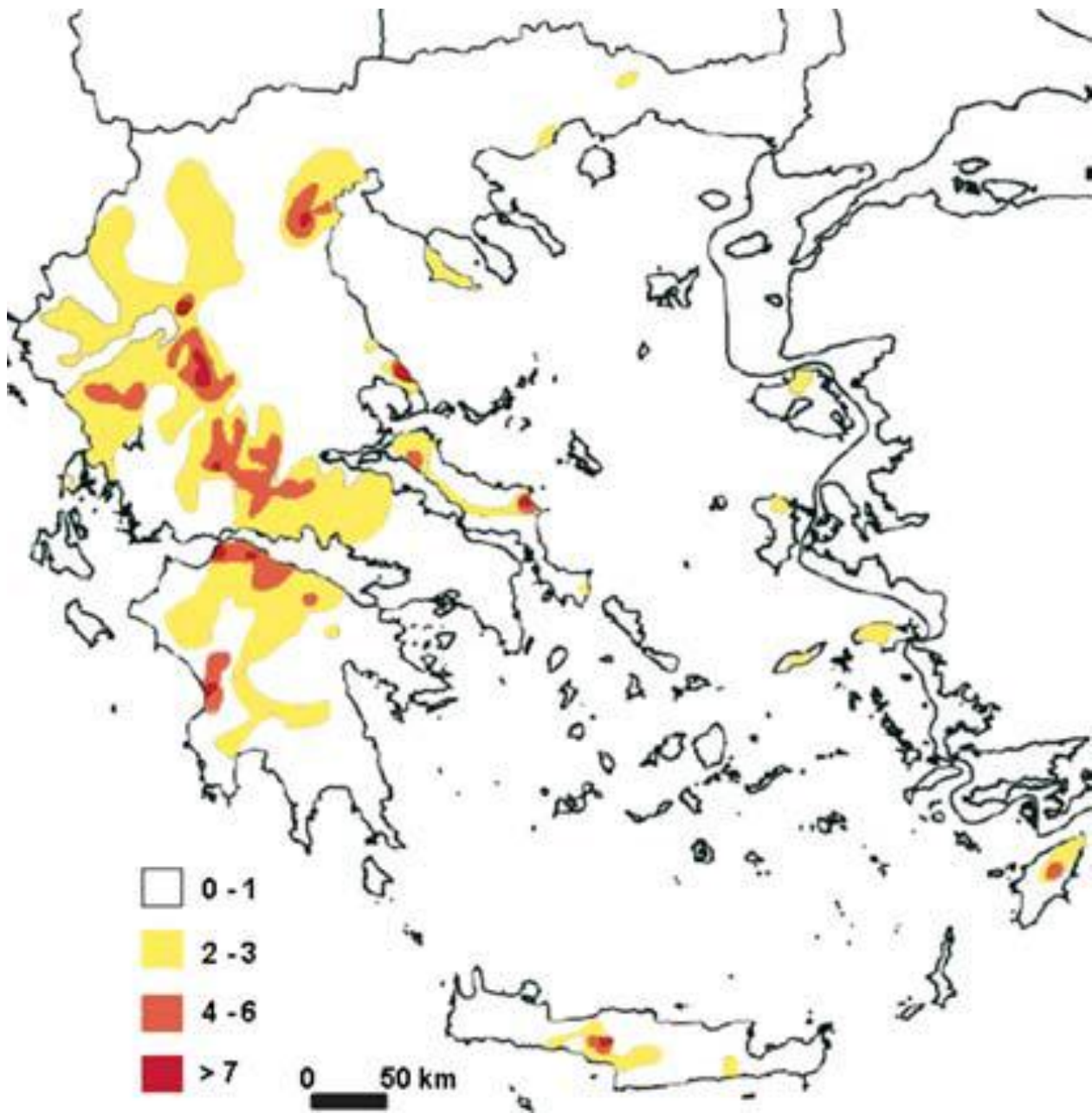
3.1 Περιοχή Μελέτης

Η Κρήτη χαρακτηρίζεται από μια εξαιρετικά πολύπλοκη γεωλογική δομή με έντονο τεκτονικό κατακερματισμό. Παρόλο που πολλές έρευνες στο πέρασμα του χρόνου έχουν ασχοληθεί με τη γεωλογική εξέλιξη του νησιού (Tataris and Christodoulou 1965; Bonneau 1973; Creutzburg 1977; Fitroulakis 1980; Tsiampaos 1989), υπάρχουν ακόμα ζητήματα στα οποία δεν έχει βρεθεί λύση. Θέτοντας ως βάση πρόσφατες θεωρίες, το νησί αποτελείται από επαναλαμβανόμενα τεκτονικά καλύμματα τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από ποικίλες γεωτεκτονικές ζώνες.

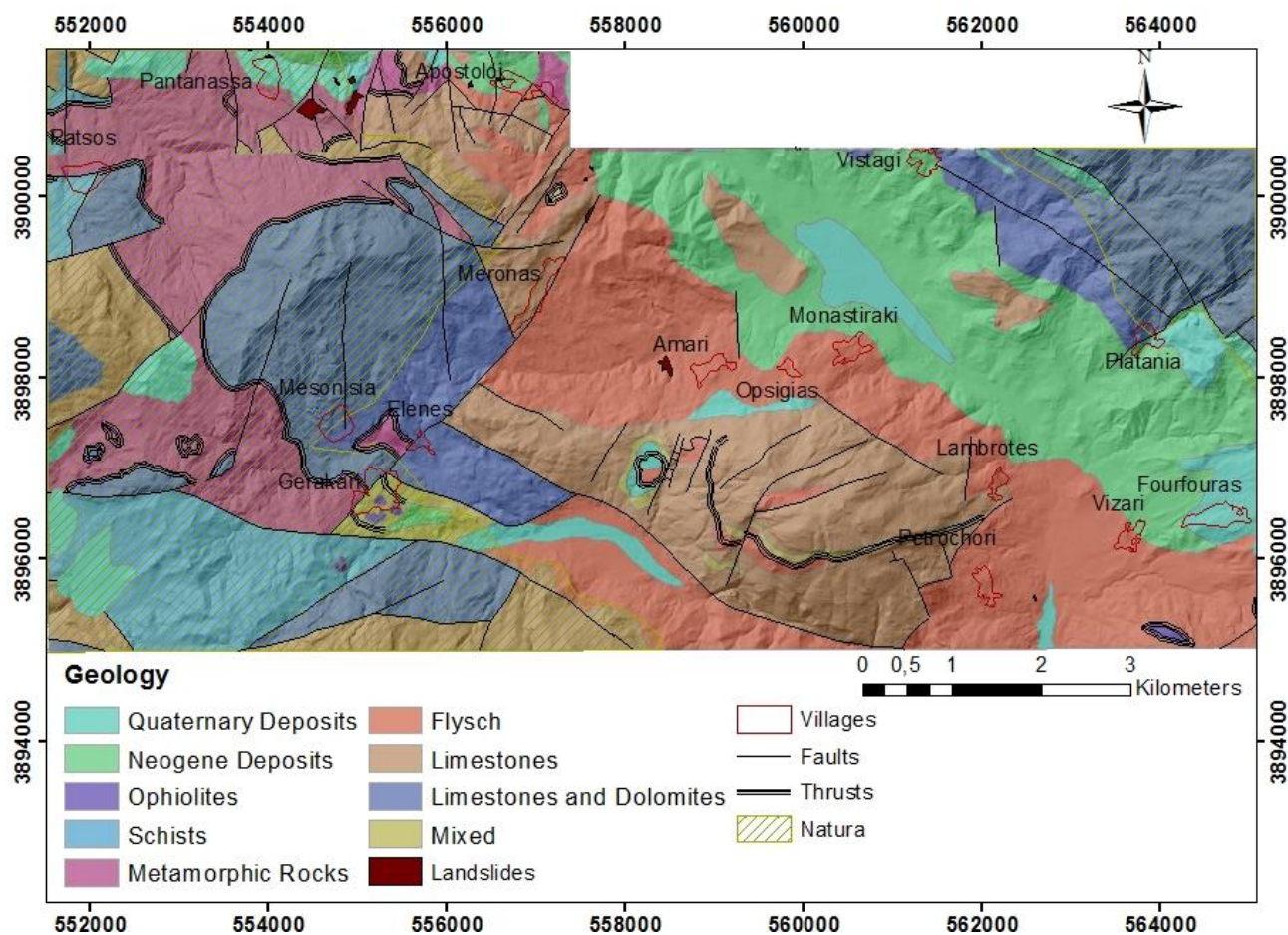
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κέντρο του νότιου τμήματος του Νομού Ρεθύμνου. Η συνολική έκταση της ορίζεται στα 81,5 km² και γεωγραφικά ορίζεται από το χωριό Πατσός στα δυτικά, το χωριό Παντάνασσα στα βόρεια, το χωριό Φουρφούρας στα ανατολικά και το χωριό Βρύσες στα δυτικά περικλείοντας και άλλα χωριά [Εικόνα 1]. Σύμφωνα με τη χαρτογράφηση των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (Koukis et al. 2005) [Εικόνα 2], η ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Ρεθύμνου παρουσιάζει την υψηλότερη συχνότητα κατολισθητικών περιστατικών στο νησί της Κρήτης.



Εικόνα 1: Χάρτης της περιοχής μελέτης με υπόβαθρο το ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης.



Εικόνα 2: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας της Ελλάδος, ο οποίος απεικονίζει τον αριθμό των κατολισθήσεων ανά 100 km (Koukis et al. 2005).



Εικόνα 3 : Γεωλογικός χάρτης επάλληλα στο Ψηφιακό Μοντέλο Ανύψωσης (DEM) της περιοχής μελέτης (IGME 1985, 1991).

Όπως παρουσιάζεται στον ενοποιημένο γεωλογικό χάρτη (εικόνα 3), η περιοχή μελέτης καταλαμβάνεται από, **χαλαρά Τεταρτογενείς αποθέσεις** (προσχώσεις, συντρίμια λόγω κλίσης), **Νεογενείς αποθέσεις** (ασβεστόλιθους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργίλους), τεκτονικά καλύμματα της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου και της Τριπόλεως τα οποία αποτελούνται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα (πλακώδεις, δολομίτες και μη-διαχωρισμένους ανθρακούχους σχηματισμούς), **φλύσχη και μεταμορφωμένα πετρώματα** (φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, μετά-ψαμμίτες) και οφιόλιθους της αυτόχθονης Ιόνιας ζώνης.

Πίνακας 1: Συχνότητα και σχετική συχνότητα των κατολισθήσεων στην Ελλάδα, σε σχέση με τη λιθολογική δομή (Koukis et al. 1994, 2005) συγκρινόμενη με τη λιθολογική δομή της υπό μελέτη περιοχής.

Τύπος λιθολογίας	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Σχετική συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Επέκταση (%) των λιθολογικών δομών στην υπό μελέτη περιοχή
Χαλαρά Τεταρτογενείς αποθέσεις	20.65	12.99	15.87
Νεογενείς αποθέσεις	28.20	11.74	24.00
Φλύσσης	30.35	35.75	8.48
Σχιστόλιθοι-κερατόλιθοι	3.62	29.64	1.22
Ασβεστόλιθοι-μάρμαρα	4.85	2.48	19.50
Μεταμορφωμένα πετρώματα	9.32	5.07	18.35
Ηφαιστειακά πετρώματα	3.00	2.37	12.58

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ευνοϊκές συνθήκες για κατολισθητική δραστηριότητα. Συνυπολογίζοντας ότι το 20 % της περιοχής καταλαμβάνεται από φλύσση και το 22 % από χαλαρά Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις, η συχνότητα των κατολισθήσεων αναμένεται και σε υψηλότερα ποσοστά. Όπως παρατηρείται και στον πίνακα 1, αυτοί οι σχηματισμοί συνδέονται με το 80% των κατολισθητικών περιστατικών που συμβαίνουν στην Ελλάδα. Με βάση τις επιτόπου παρατηρήσεις, πολλές κατολισθήσεις συμβαίνουν σε τμήματα που καταλαμβάνονται από τον ξεπερασμένο μανδύα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων καθώς και από ασβεστολιθικά πετρώματα.

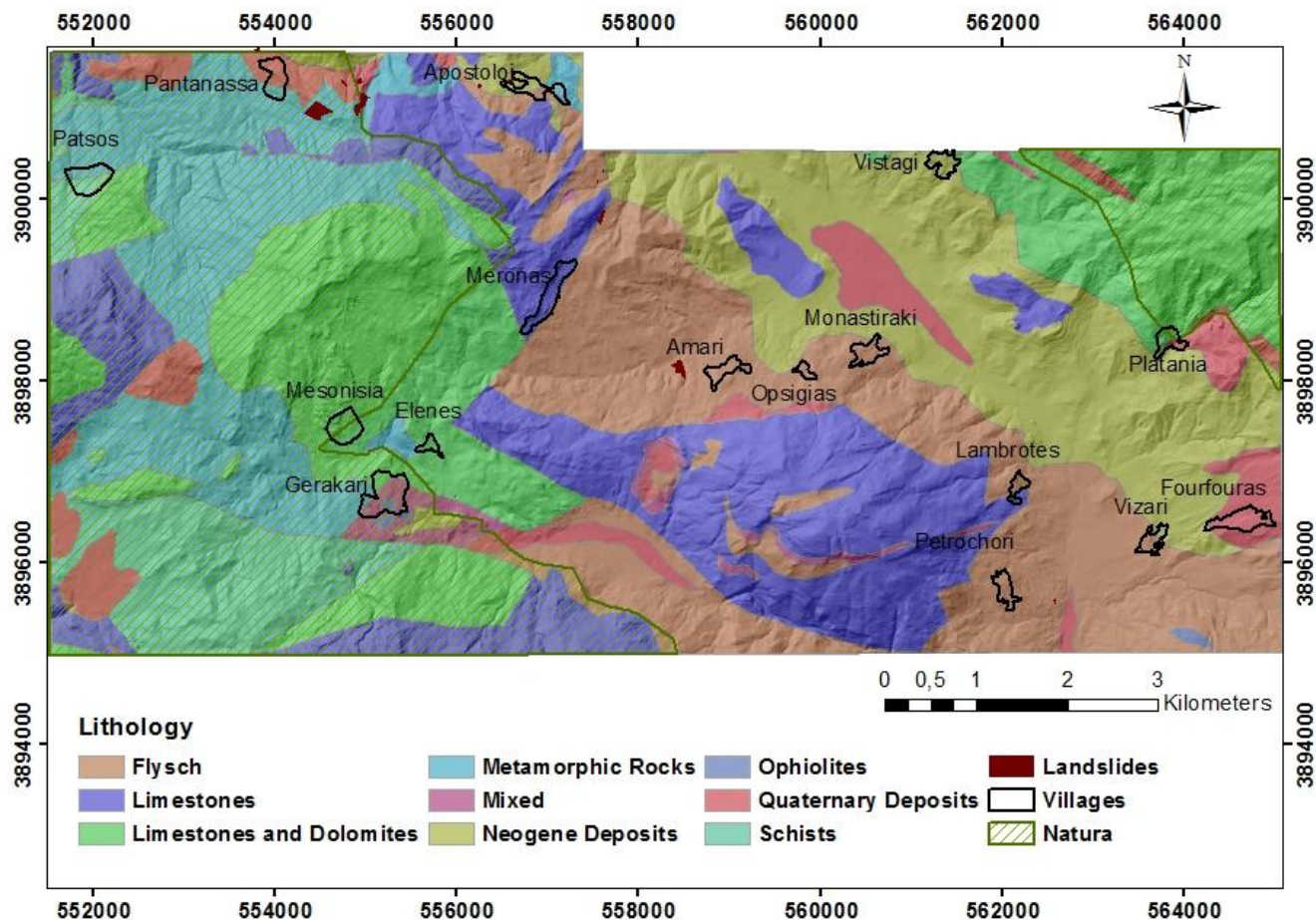
Ο εκτεταμένος τεκτονικός κατακερματισμός, οι επαναλαμβανόμενες ωθήσεις, το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο με τις έντονες πλαγιές, το πυκνό δίκτυο αποχέτευσης με τις βαθιές κοιλάδες, οι εκτεταμένες ανθρώπινες δραστηριότητες με το σχετικό πυκνό οδικό

δίκτυο και οι καλλιεργήσιμες-αρδευόμενες εκτάσεις είναι μερικοί από τους κατολισθητικούς παράγοντες, πέρα από το είδος των γεωλογικών σχηματισμών.

3.2 Στρωματογραφία της περιοχής μελέτης:

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων είναι στενά συνδεδεμένο με τη λιθολογία αλλά και τις ιδιότητες αποσάθρωσης των υλικών του υπεδάφους. Στην παρούσα μελέτη οι λιθολογικοί σχηματισμοί κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε (5) τάξεις βάσει της κατολισθητικής τρωτότητας [Εικόνα 4], (α) στα Χαλαρά Τεταρτογενή, (β) στα Νεογενή, (γ) στους ασβεστόλιθους, (δ) στο φλύσχη, (ε) στους σχιστόλιθους και τους οφιόλιθους.

- Πιο αναλυτικά, τα Χαλαρά και Τεταρτογενή πετρώματα, πρόκειται για αποθέσεις όπου επικρατούν η άργιλος και η ιλύς, ενώ παρουσιάζεται μεν, σε πολύ μικρά ποσοστά δε, και η άμμος. Παρουσιάζουν συχνές και ταχείες μεταβολές της λιθολογικής τους σύστασης κατά την ανάπτυξή τους, ενώ σε περιοχές όπου αυξάνει η συμμετοχή της άμμου και είναι δυνατή η αυξημένη υδροφορία του σχετικού ορίζοντα, υπεράντληση του οποίου προκαλεί σημαντικά φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων.
- Οι Νεογενείς αποθέσεις, αποτελούν σχηματισμούς μέτριας έως αυξημένης συνεκτικότητας, με πάχη που ξεπερνούν τοπικά κάποιες εκατοντάδες μέτρα. Στο σύνολό του (το πέτρωμα) χαρακτηρίζεται ως στεγανό με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά. Ωστόσο σε περιπτώσεις διαβροχής και κατά περιπτώσεις κορεσμού, υποβαθμίζεται η ποιότητά του, ευνοώντας την εκδήλωση χαλαρώσεων, αποκολλήσεων και σπανιότερα ολιστικών φαινομένων.



Εικόνα 4: Χάρτης λιθολογικής δομής του Ν. Ρεθύμνου.

- Ο φλύσχος παρουσιάζει μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση και αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών σχιστόλιθων, ιλυόλιθων κ.α. Η σύσταση, σε συνδυασμό με την τεκτονική καταπόνηση και τις ειδικές κλιματολογικές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη ενός παχύ μανδύα αποσάθρωσης και κατά συνέπεια την εκδήλωση συχνών κατολισθήσεων σε τεχνητά και φυσικά πρανή. Μαζί με τα νεογενή ιζήματα, χαρακτηρίζονται σαν οι πλέον επιρρεπείς σχηματισμοί για αστοχίες πρανών.
- Οι Ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται από αδρή πτύχωση και παρουσία μεγάλων ρηγμάτων. Αποτελούν ζώνη μετάβασης προς το φλύσχη και παρουσιάζουν αυξημένη αστάθεια. Από γεωτεχνικής πλευράς παρουσιάζουν ικανοποιητικούς γεωμηχανικούς δείκτες, παρουσιάζοντας κατά περιπτώσεις σοβαρές και μεγάλης έκτασης κατολισθήσεις λόγω έντονου κατακερματισμού του πετρώματος.
- Οι σχιστόλιθοι και οι οφιόλιθοι ανήκουν στην κατηγορία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, τα οποία αυτά πετρώματα χαρακτηρίζονται από τη Σχιστότητά τους, το σχηματισμό δηλαδή επιπέδων αδυναμίας. Γενικά θεωρούνται σκληρά και άρρηκτα πετρώματα καθώς έχουν εξαιρετικούς δεσμούς και το νερό δε διεισδύει στη δομή

τους. Ωστόσο στο σύνολό του σαν πέτρωμα πολλές φορές χαρακτηρίζεται από έντονες ασυνέχειες με αποτέλεσμα το νερό να εισχωρεί σε αυτές προκαλώντας την αποσάθρωση αυτού και τον τελικό κατακερματισμό του.

Η πλειονότητα των κατολισθήσεων που λαμβάνουν χώρα στις Τεταρτογενείς αποθέσεις, τα Νεογενή ιζήματα, στον ξεπερασμένο μανδύα των μεταμορφικών πετρωμάτων και στο φλύσχη, είναι μεταγραφικές- περιστροφικές ολισθήσεις. Η έκταση των περιοχών που χαρακτηρίζονται από τα έντονα κατολισθητικά φαινόμενα εξαρτάται από τη γεωμετρία της κλίσης και σε μερικές περιπτώσεις η πληγείσα περιοχή μπορεί να ξεπερνάει το $0,5 \text{ km}^2$. Επιπλέον έχουν καταγραφεί και κινήσεις ερπυσμού σε περιοχές που καταλαμβάνονται από χαλαρούς σχηματισμούς ή μεταμορφικά πετρώματα ή φλύσχη. Αυτού του είδους οι κινήσεις έχει καταγραφεί ότι κατά καιρούς έχουν πλήξει ολόκληρα χωριά, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές με δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα, τα χωριά Παντάνασσα και τους Απόστολους.

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

4.1 Γενικά:

Τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι πολύ συνήθη στον Ελλαδικό χώρο, καθώς η λιθολογική σύσταση και η σχετικά μικρή ηλικία των περισσότερων σχηματισμών, η δράση πρόσφατων τεκτονικών δυνάμεων, η γεωμορφολογική εξέλιξη και οι υψηλές βροχοπτώσεις, δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση συχνών αστοχιών πρανών ποικίλης κλίμακας.

Οι μεγαλύτερες σε επιφανειακή εξάπλωση κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο εντοπίζονται σε τεκτονικά καταπονημένους σχηματισμούς (π.χ. από επωθητικές κινήσεις) και σε θέσεις με πολύ απότομο ανάγλυφο και κάτω από την ισχυρή δράση κλιματολογικών συνθηκών. Συνεπώς, οι πλέον εντυπωσιακές κατολισθήσεις έχουν σημειωθεί σε ζώνες ανθρακικών πετρωμάτων έντονα τεκτονισμένων από επωθητικές κινήσεις.



Εικόνα 5:Κατολίσθηση στο Ν. Ρεθύμνου στο δρόμο Γερακάρι – Σπήλι

Αντίθετα, οι πλέον συχνές σε εμφάνιση κατολισθήσεις είναι σε σχηματισμούς φλύσχη, σχιστοκερατολίθων και νεογενών, αλλά και σε κορήματα κλιτύων ή και, χαλαρά τεταρτογενή υλικά και προκαλούνται κυρίως από το συνδυασμό της ανθρωπογενούς

δραστηριότητας, πυρκαγιές κλπ) και των αυξημένων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

4.2 Ορισμοί κατολισθήσεων

Ο όρος "κατολισθητικά φαινόμενα" είναι πλέον αποδεκτός για όλες τις αστοχίες πρανών, ερπυσμούς, ολισθήσεις, ροές, ανατροπές, καταπτώσεις, κλπ, σε ξηρά και θάλασσα.

Ο όρος "κατολίσθηση (Landslide)" αναφέρεται μόνο στις ταχέως εκδηλούμενες κινήσεις εδαφικών μαζών και αφορά περιπτώσεις που "η ελκτική δύναμη της βαρύτητας σε γεωλογικούς σχηματισμούς υπερβαίνει την αντίσταση τριβής για κίνηση προς τα κάτω".

Κατά καιρούς διάφοροι ορισμοί όπως:

A. "μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, εναπομένοντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω" Terzaghi (1950).

B. "μία γρήγορη κίνηση που οφείλεται στην ολίσθηση πετρωμάτων ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια" Zaruba - Mencl (1969).

Γ. Ο Coates (1977), δίνει τους παρακάτω όρους-προϋποθέσεις για κατάταξη μίας κίνησης στις κατολισθήσεις:

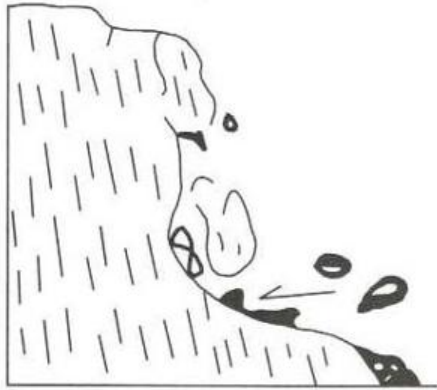
- Να ανήκει στις κινήσεις μαζών.
- Η δύναμη που παίζει πρωτεύοντα ρόλο να είναι η βαρύτητα.
- Το μετακινούμενο υλικό να είναι τμήμα όρους λόφου.
- Το μετακινούμενο υλικό να περιλαμβάνει μέρος του μανδύα ή του μητρικού πετρώματος ή και τα δύο.
- Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης να μην ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα.
- Η κίνηση να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με ελεύθερη επιφάνεια.
- Η ταχύτητα της κίνησης να είναι σχετικά μεγάλη (ο ερπυσμός όχι).
- Η κίνηση να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή.

Δ. "κίνηση πρανών" αντί του όρου "κατολίσθηση" που περιλαμβάνει κάθε κίνηση πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό (Varnes, 1980, συμφωνεί και ο Nemcok, 1982).

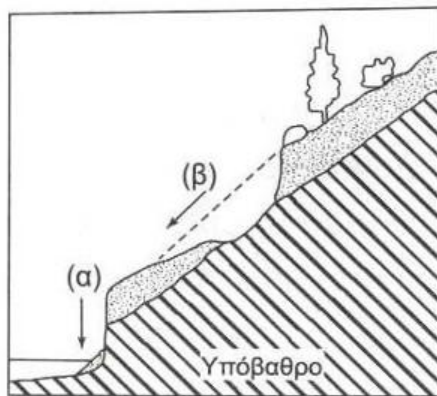
4.3 Ονοματολογία:

- **Αρχική επιφάνεια του εδάφους** (Original ground surface). Η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.
- **Στέψη** (Crown). Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- **Κύρια κατακρήμνιση** (Main scarp). Η απότομη επιφάνεια του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης, που προκλήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.
- **Κεφαλή** (Head). Τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης.
- **Δευτερεύουσα κατακρήμνιση** (Minor scarp). Μικρότερη κατακρήμνιση στο σώμα της μάζας που έχει ολισθήσει και έχει προέλθει από διαφορετικές κινήσεις αυτής.
- **Κύριο σώμα** (Main body). Η μετακινούμενη μάζα μεταξύ κύριας κατακρήμνισης και ποδός της κατολίσθησης που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης.
- **Επιφάνεια ολίσθησης** (Surface of rupture). Η επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολίσθησης.
- **Μετακινούμενη μάζα** (Displaced material). Η μάζα του πρανούς που έχει μετακινηθεί από την αρχική της θέση, λόγω της κατολίσθησης.
- **Πόδας** (Foot). Το κάτω τμήμα της κατολίσθησης που υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.
- **Δάκτυλος ποδός** (Toe). Το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο του ποδός, (έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης).
- **Πλευρά** (Flank). Η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολίσθησης, όπως καθορίζεται κοιτώντας από τη στέψη προς τη μάζα της κατολίσθησης.
- **Ζώνη απομείωσης** (Zone of depletion). Η περιοχή όπου η μετακινούμενη μάζα είναι κάτω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.
- **Ζώνη συσσώρευσης** (Zone of accumulation). Η περιοχή στην οποία η μετακινούμενη μάζα είναι πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.
- **Εγκάρσιες ρωγμές** (Transverse cracks). Ρωγματώσεις εγκάρσια στην κύρια διεύθυνση της κίνησης, μεταξύ κύριου σώματος και ποδός.
- **Ακτινωτές ρωγμές** (Radial cracks). Ρωγματώσεις στον πόδα της κατολίσθησης.

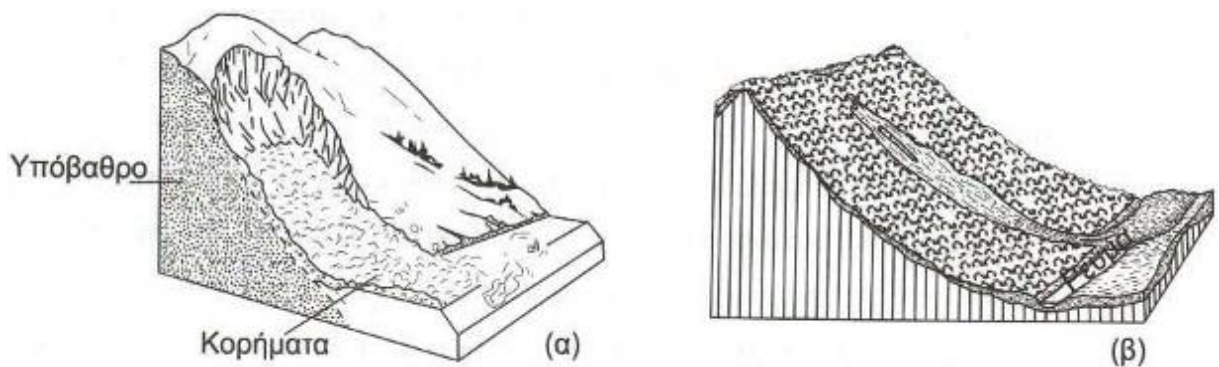
- **Εγκάρσιες διογκώσεις** (Transverse ridges). Διογκώσεις στον πόδα της κατολίσθησης.



Εικόνα 6: Τυπική κατάπτωση βράχων (Μπλιωνά, 2008)



Εικόνα 7: Άμεση κατάπτωση (α) γαιών-εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση (Μπλιωνά, 2008).



Εικόνα 8: Ροή κορημάτων (Μπλιωνά, 2008).

4.4 Ταξινόμηση κατολισθήσεων:

Κατά καιρούς διάφορα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, βασίζονται σε πληθώρα παραμέτρων όπως:

1. το είδος του υλικού που ολισθαίνει,
2. ο τύπος κίνησης (ολίσθηση, ροή, κατάπτωση, κλπ),
3. η ταχύτητα μετακίνησης,
4. το αίτιο κίνησης (ανθρωπογενής δράση, είδος φόρτισης, νερό, κλπ),
5. ο βαθμός εξέλιξης (ενεργή, παλιά, επαναδραστηριοποιημένη, κλπ),
6. ο μηχανισμός ολίσθησης,
7. οι περιβαλλοντολογικές και κλιματικές συνθήκες,
8. η γεωμετρία, το μέγεθος, οι καταστροφικές συνέπειες κλπ,
9. η μορφή της ολίσθησης (περιστροφική επιπεδόμορφη κλπ)

Ο *Erskine* (1973), ταξινομεί τις κατολισθήσεις στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες, με βάση την εξέλιξή τους, δίνοντας βαρύτητα στις επιπτώσεις που πιθανόν να έχουν στα διάφορα έργα:

- Σταθεροποιημένες (χωρίς ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης),
- Πρόσφατες ενεργές (εκδηλώνονται με πρόσφατες κινήσεις),
- Ενεργές (αυτές που δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί),
- Επαναδραστηριοποιημένες πρόσφατα (επαναδραστηριοποίηση μετά από περίοδο σταθεροποίησης).

Οι *Zaruba-Mencl* (1976) κατέταξαν τις κατολισθήσεις ανάλογα με τη φύση και τη συνεκτικότητα του υλικού. Η ταξινόμηση αυτή είναι απλή και θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στις συνθήκες της χώρας μας. Οι περιστροφικές κατολισθήσεις εκδηλώνονται κυρίως σε σχηματισμούς χαλαρούς ή με μέτρια διαγένεση και είναι γενικά σημαντικού πάχους.

Οι μεταθετικές - στρωματοειδείς κατολισθήσεις εκδηλώνονται με επίπεδο ολίσθησης παράλληλο με το πρανές, όπου τα κορήματα και τα υλικά αποσάθρωσης επικάθονται σε μαλακότερους σχηματισμούς ή όπου ιζηματογενείς σχηματισμοί έχουν στρώση και κλίση ομόρροπη προς το πρανές. Το πάχος είναι γενικά μικρό.

Ολισθήσεις βραχωδών μαζών εκδηλώνονται κατά μήκος προετοιμασμένων επιφανειών ασυνέχειας που κλίνουν προς το πρηνές. Οι καταπτώσεις βράχων παρατηρούνται σε πολύ απότομα πρηνή και βραχώδεις ακτές. Πρόκειται για αποκολλήσεις τεμαχίων και στη συνέχεια κίνηση στο κενό.

Τα ρεύματα γαιών είναι συνήθη όταν τα εδαφικά υλικά διαβραχούν (αύξηση του φορτίου, μείωση της διατμητικής αντοχής και τριβής). Χαρακτηρίζονται από μεγάλη κινητική ενέργεια της ολισθαίνουσας μάζας.

Η Υγροποίηση (ρευστοποίηση) αμμωδών σχηματισμών μπορεί να προκληθεί τόσο από απότομες μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού όσο και από δονήσεις.

4.5 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων

Για να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση πρέπει να πραγματοποιηθεί μια αλληλουχία γεγονότων που επηρεάζουν την ισορροπία του πρηνούς και προκαλούν τη διατάραξη του με τελικό αποτέλεσμα τη θραύση και μετακίνηση αυτού. Αυτά τα γεγονότα χαρακτηρίζονται ως αίτια της κατολίσθησης (landslide causes) και όταν συνδυάζονται θέτουν τη μάζα σε οριακή κατάσταση ισορροπίας. Ο τελικός παράγοντας που αποτελεί την αφορμή μετακίνησης της οριακά σταθερής μάζας χαρακτηρίζεται ως έναυσμα μετακίνησης (triggering factor).

Από πλευράς φυσικής κατάστασης και ευστάθειας, ένα πρηνές διέρχεται από τρία στάδια:

- Σταθερό, το οποίο μπορεί και αντιστέκεται σε όλες τις δυνάμεις αποσταθεροποίησης,
- Οριακά σταθερό, που κάποια στιγμή αναμένεται η εκδήλωση αστάθειας από την επίδραση των δυνάμεων αποσταθεροποίησης,
- Ενεργά ασταθές, όπου οι δυνάμεις αποσταθεροποίησης προκαλούν συνεχείς ή περιοδικές μετακινήσεις.

Οι δυνάμεις αποσταθεροποίησης στα δύο πρώτα στάδια χαρακτηρίζονται ως τα γνωστά μας αίτια ή προκαταρκτικοί παράγοντες, ενώ στο τρίτο στάδιο χαρακτηρίζονται ως το έναυσμα της μετακίνησης ή παράγοντες εναύσματος.

Ανάλογα με την προέλευσή τους, οι παράγοντες αυτοί ταξινομούνται στις παρακάτω ομάδες:

- **Εδαφικές συνθήκες**, που αναφέρονται στα γενικά χαρακτηριστικά των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών.
- **Γεωμορφολογικές διεργασίες**, που αναφέρονται στις μεταβολές της γεωμορφολογίας του εδάφους.

- **Φυσικές διεργασίες**, που αναφέρονται στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο και μπορούν να εκτιμηθούν με την εγκατάσταση οργάνων, όπως πιεζόμετρα, σεισμογράφοι, βροχόμετρα, κ.τ.λ.
- **Ανθρωπογενείς διεργασίες**, που αφορούν την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στην ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 9: Κατολίσθηση στο Ν. Ρεθύμνου στην επαρχιακή οδό Κρύα Βρύση – Αγία Γαλήνη.

4.5.1 Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων -Πηγή:(Μπλιωνά, 2008).

ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ:

1. Πλαστικό, χαμηλής αντοχής, υλικό
2. Ευαίσθητο υλικό
3. Υλικό επιρρεπές σε θραύση
4. Αποσαθρωμένο υλικό
5. Διατμημένο υλικό

6. Ρωγματομένο 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

1. Τεκτονική ανύψωση
2. Ανύψωση λόγω ηφαιστειών
3. Επίδραση παγετώνων
4. Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρικού
5. Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρικού
6. Διάβρωση της βάσης του πρικού από παγετώνα
7. Διάβρωση των πλευρών του πρικού
8. Εσωτερική διάβρωση
9. Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρικού
10. Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση, κ.τ.λ.)

ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

1. Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
2. Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
3. Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
4. Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων
5. Σεισμοί
6. Εκρήξεις ηφαιστειών
7. Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστειών
8. Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
9. Αποσάθρωση λόγω παγετού
10. Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών

ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

1. Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς
2. Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, κ.τ.λ.)
3. Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες
4. Άρδευση
5. Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
6. Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)
7. Αποψίλωση
8. Λατομεία και μεταλλεία
9. Δημιουργία χωματερών
10. Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς

Τέλος οι κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο εμφανίζονται με μεγάλη συχνότητα εξαιτίας: (Μπαντής, 2001)

- Των ιδιαίτερων γεωλογικών συνθηκών
- Του έντονου ανάγλυφου
- Των μεταβαλλόμενων κλιματολογικών συνθηκών
- Της σεισμικής δραστηριότητας
- Των ανθρωπογενών επεμβάσεων

4.6 Μέτρα αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων

Για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων, έχει προταθεί και εφαρμοστεί ένας μεγάλος αριθμός από μέτρα ή συνδυασμό από μέτρα με μεγάλη ή μικρή αποτελεσματικότητα. Η σωστή επιλογή ενός μέτρου ή μιας σειράς μέτρων για την αντιμετώπιση μιας συγκεκριμένης περίπτωσης κατολίσθησης, απαιτεί την πλήρη διερεύνηση των παραγόντων που την προκάλεσαν ή που συνέβαλαν στην πρόκλησή της. (Λέκκας, 2000). Πιο συγκεκριμένα απαιτείται:

- Πλήρης γνώση της γεωλογικής δομής και εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής στην οποία εκδηλώθηκε το φαινόμενο.

- Πλήρης γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών και συγκεκριμένα της υδρολιθολογίας και της διακίνησης του υπόγειου νερού.
- Ακριβής γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων.
- Ακριβή προσδιορισμό των επιφανειών ολίσθησης.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

5.1 Δεδομένα και Μεθοδολογία

Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι θεωρούνται υπαίτιοι για τα διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα που παρατηρούνται στην περιοχή. Αυτοί οι παράγοντες συνήθως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις, οι πολλαπλοί σεισμοί αλλά και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Παράλληλα, αυτοί οι παράγοντες φέρουν σημαντικό ζημιογόνο φορτίο, καθώς καθίσταται πρακτικά αδύνατο να προβλεφθούν εφόσον ποικίλουν στο χώρο και στο χρόνο και κατ' επέκταση αυτού, να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της τρωτότητας, σαν ένα μέτρο πρόληψης και προστασίας των κατοίκων της περιοχής απέναντι στα έντονα κατολισθητικά φαινόμενα που συναντώνται στην περιοχή μελέτης.

Αντιθέτως, υπάρχει μία άλλη κατηγορία παραγόντων, οι οποίοι μπορούν να αναπαρασταθούν από θεματικούς χάρτες υπό τη βοήθεια του λογισμικού των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information System,GIS). Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε, ο Arc map version 10.1 του ArcGIS και το Excel version 2007 προκειμένου να παραχθούν τέτοιοι χάρτες και τελικά να κατασκευαστούν οι αντίστοιχοι χάρτες κατολισθητικής ευαισθησίας.

Το πρώτο ζήτημα που τέθηκε, για την προετοιμασία των προαναφερθέντων χαρτών, ήταν η επιλογή των αντίστοιχων υπαίτιων παραγόντων. Μία κοινή δυσκολία που συναντάται σε κάθε ανάλυση πολλών παραγόντων, είναι ο αριθμός των παραγόντων αυτών που πρέπει να συμπεριληφθούν σε αυτή τη διαδικασία. Για τις ανάγκες της μελέτης που διεξάγουμε, έντεκα παράγοντες επελέγησαν, i) λιθολογία, ii) χρήσεις γης, iii) ρήγματα, iv) επωθήσεις, v) απόσταση από τα ποτάμια, vi) απόσταση από τους δρόμους, vii) κλίση πρανών, viii) προσανατολισμός πρανών, ix) καμπυλότητα πρανών, x) ύψος βροχοπτώσεων, xi) υψόμετρο. Το επόμενο βήμα μετά την επιλογή των παραγόντων, ήταν η προετοιμασία των θεματικών χαρτών, βάση των οποίων οι παράγοντες κατηγοριοποιούνταν σε διάφορες τάξεις. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία των διάφορων στρώσεων αποκτήθηκαν από τοπογραφικούς χάρτες από την Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού κλίμακας 1:50000 και από γεωλογικούς χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών επίσης κλίμακας 1:50000. Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά

δεδομένα και πιο συγκεκριμένα, δορυφορική καθαρή εικόνα από το δορυφόρο Landsat ETM⁺ (Enhanced Thematic Mapper), η οποία αποκτήθηκε την 1^η Αυγούστου του 2011, με χωρική διακριτική ικανότητα, των 30 μέτρων για τα πολυφασματικά κανάλια (7 κανάλια) και των 15 μέτρων για την παγχρωματική εικόνα.

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environmental Agency, EEA) αλλά και δεδομένα που αφορούν παρατηρήσεις πάνω στη γεωλογική και τεκτονική δομή, καθώς και πληροφορίες για τα ήδη καταγεγραμμένα κατολισθητικά συμβάντα.

Οι θεματικοί χάρτες που αφορούσαν την κλίση-καμπυλότητα-προσανατολισμό των πρηνών, απόσταση από τους δρόμους, τα ποτάμια, τα ρήγματα και τις ωθήσεις, καθώς και το υψόμετρο αποκτήθηκαν απευθείας σε μορφή ψηφιδωτού, εκ των οποίων η κλίση, η καμπυλότητα και ο προσανατολισμός των πρηνών, εξήχθησαν από το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model, DEM) . Τα δεδομένα που αφορούσαν τη γεωλογία, τις χρήσεις γης και τις βροχοπτώσεις παρήχθησαν από το μετασχηματισμό των πολυγωνικών αρχείων σε μορφή ψηφιδωτού.

Το επόμενο βήμα ήταν να αποδοθούν οι βαρύτητες στα δεδομένα υπό μορφή ψηφιδωτού και στις αντίστοιχες τάξεις αυτών. Αυτό το βήμα διεκπεραιώθηκε με τη βοήθεια της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης προκειμένου να αποδοθούν αντικειμενικά οι βαρύτητες. Στη συνέχεια, τα σταθμισμένα πλέον ψηφιδωτά αρχεία και οι αντίστοιχες τάξεις τους, πολλαπλασιάστηκαν με τα αντίστοιχα βάρη και προστέθηκαν ώστε να αποδώσουν έναν απλό χάρτη, με κάθε τάξη πλέον να έχει ένα ορισμένο δείκτη κατολισθητικής ευαισθησίας (Landslide Susceptibility Index , LSI). Αυτός ο χάρτης πλέον, μετά την ανακατάταξη, παρουσιάζει τον τελικό χάρτη κατολισθητικής ευαισθησίας για την περιοχή μελέτης.

5.2 Προετοιμασία θεματικών επιπέδων:

Μετά τη δημιουργία των πρωταρχικών στρωμάτων, δηλαδή τη λιθολογία, τις τεκτονικές δομές, τις χρήσεις της γης, του οδικού δικτύου, του δικτύου των ρευμάτων, και του Ψηφιακού Μοντέλου Ανύψωσης, διάφορες προηγμένες τεχνικές των ΓΣΠ όπως filtering, distance buffering, logical operations, vector to raster conversion, reclassification, and raster calculations εφαρμόστηκαν.

Για τη χαρτογράφηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας η οποία ήταν και ο στόχος της παρούσας πτυχιακής τα ακόλουθα θεματικά επίπεδα προετοιμάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν.

5.2.1 Γεωλογικές ενότητες (Geology):

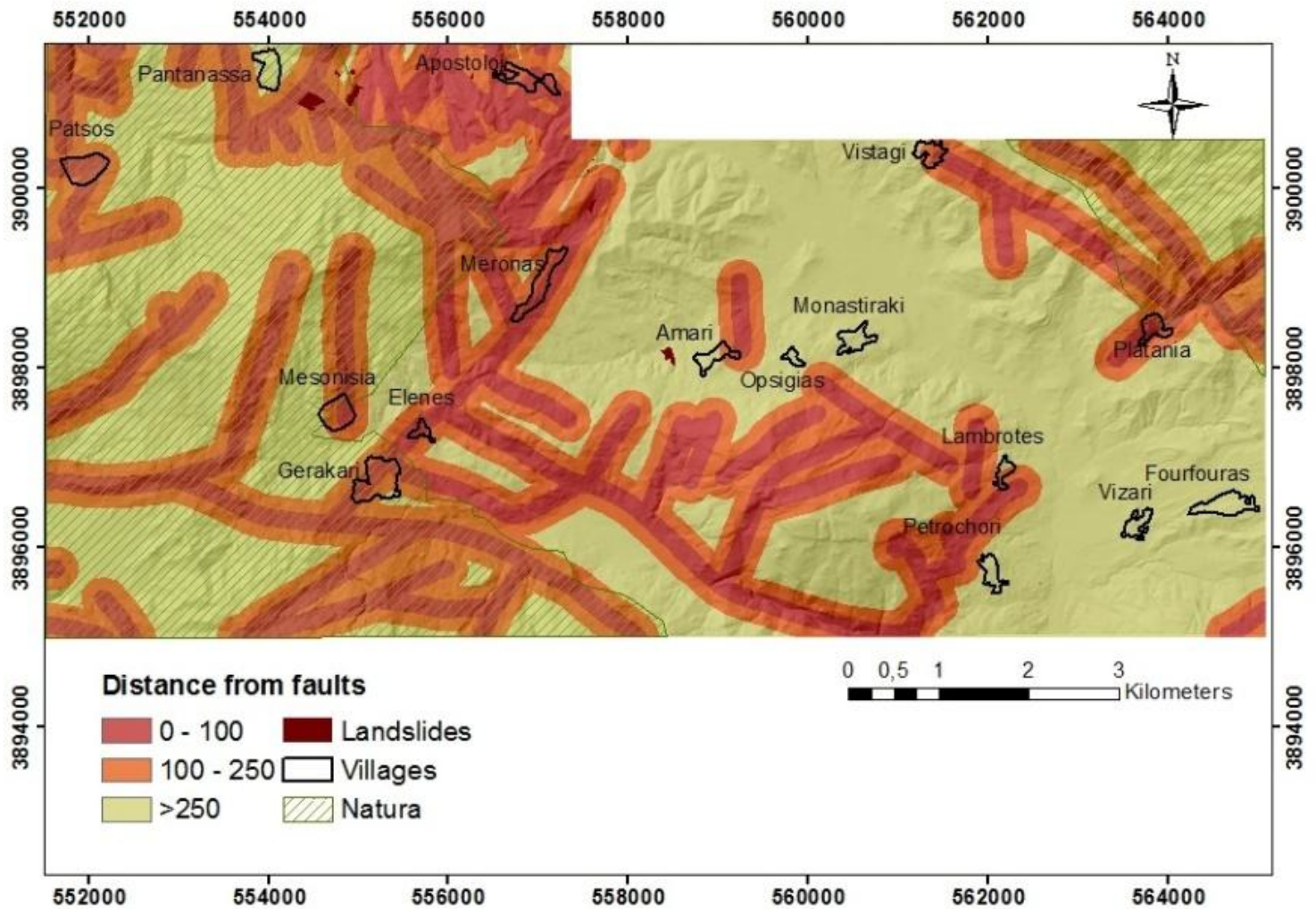
Τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι στενά συνδεδεμένα με την λιθολογική σύσταση και αποσάθρωση των υλικών (Κούλη et al, 2007). Σε αντίστοιχες μελέτες προσδιορισμού δείκτη κατολισθητικής τρωτότητας, ελληνικές (Κούλη et al, 2007) και διεθνής (Pandley et al, 2007) (Saha, 2002) θεωρείται ένας εκ των δύο σημαντικότερων παραγόντων αύξησης της. Όπως παρατηρήσαμε και στον πίνακα ένα (1) στον ελλαδικό χώρο η μεγαλύτερη συχνότητα κατολισθήσεων πραγματοποιείται σε περιοχές με φλύσχη, νεογενή και τεταρτογενής αποθέσεις (Koukis et al. 1994, 2005).

Όσον αφορά την προεπεξεργασία του θεματικού επιπέδου επειδή πρόκειται για διανυσματικό (vector) αρχείο έπρεπε, να μετατραπεί σε μορφή ψηφιδωτού. Από την εργαλειοθήκη (Arc Toolbox) και την υποκατηγορία ConversionTools|, επιλέχθηκε: to Raster > Polygon to Raster, πετυχαίνοντας έτσι την μετατροπή αυτή.

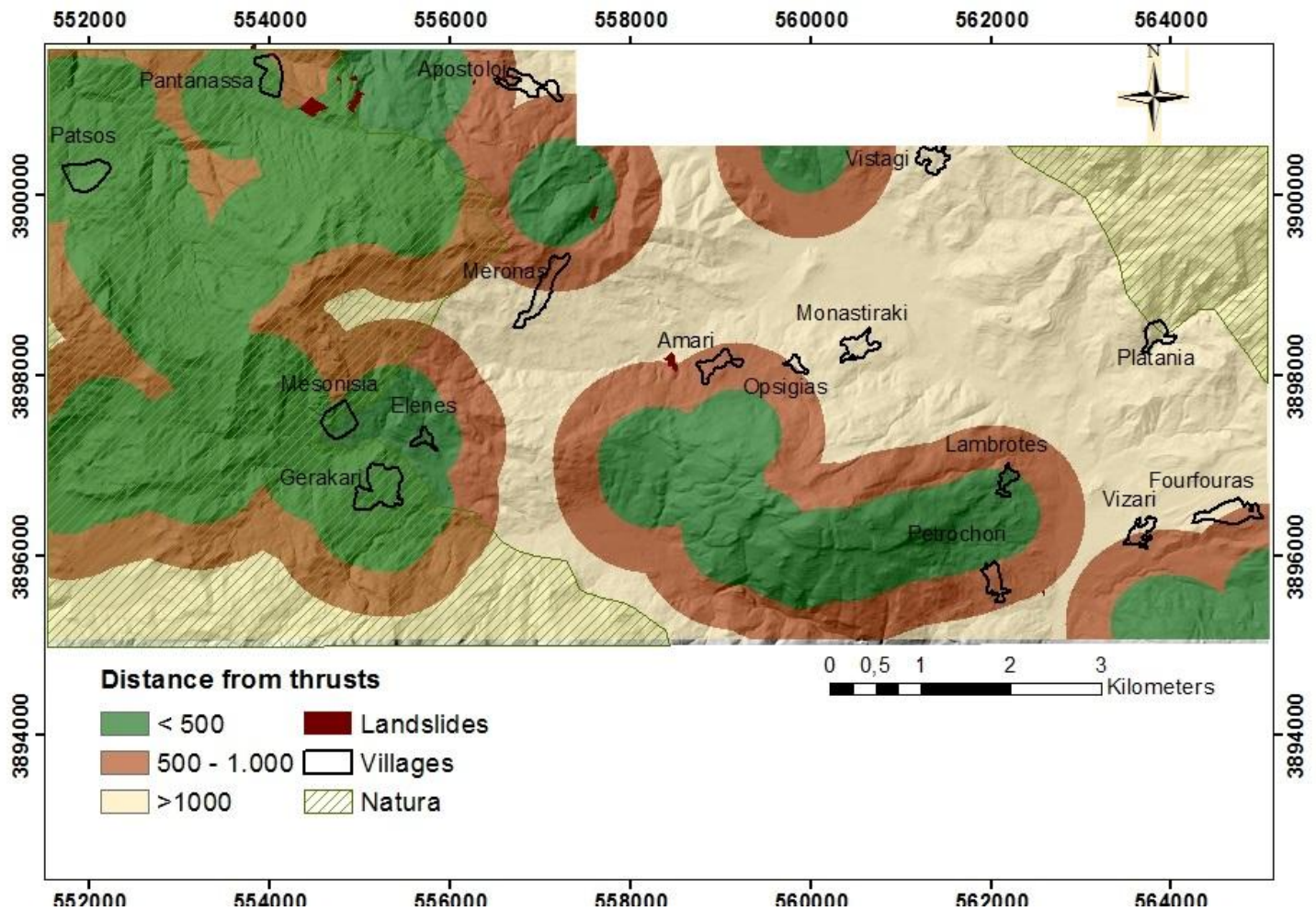
5.2.2 Απόσταση από τα ρήγματα και τις επωθήσεις (Distance from faults and thrusts):

Τεκτονικές δομές, όπως ρήγματα και επωθήσεις, συχνά εμπλέκονται με εκτενώς διερρηγμένες ζώνες, στις οποίες και ευδοκιμούν τα διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα. Ως εκ τούτου οι μεγάλες δομικές ασυνέχειες, οι οποίες παράγονται από τα ρήγματα και τις ωθήσεις συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη, εφαρμόζοντας μία συνάρτηση προκειμένου να δημιουργηθούν ζώνες επιρροής σε αποστάσεις (μέτρα) των: (α) >500, (β) 500-1000, (γ) >1000 [Εικόνα 11] για τα ρήγματα και (α)0-100, (β) 100-250, (γ) >250 [Εικόνα 10] για τις ωθήσεις.

Προκειμένου να γίνει η προετοιμασία αυτού του επιπέδου στο περιβάλλον των ΓΣΠ από τον Arc Toolbox και την υποκατηγορία Spatial Analyst | επιλέχθηκε: Distance > Euclidean Distance με μέγεθος εικονοστοιχείου στα τέσσερα (4) μέτρα. Τα αποτελέσματα επαναταξινομήθηκαν σε τάξεις αποστάσεων όπως παρουσιάζονται πιο πάνω, οι οποίες και αποτελούν ζώνες επιρροής του επιπέδου για τα κατολισθητικά φαινόμενα.



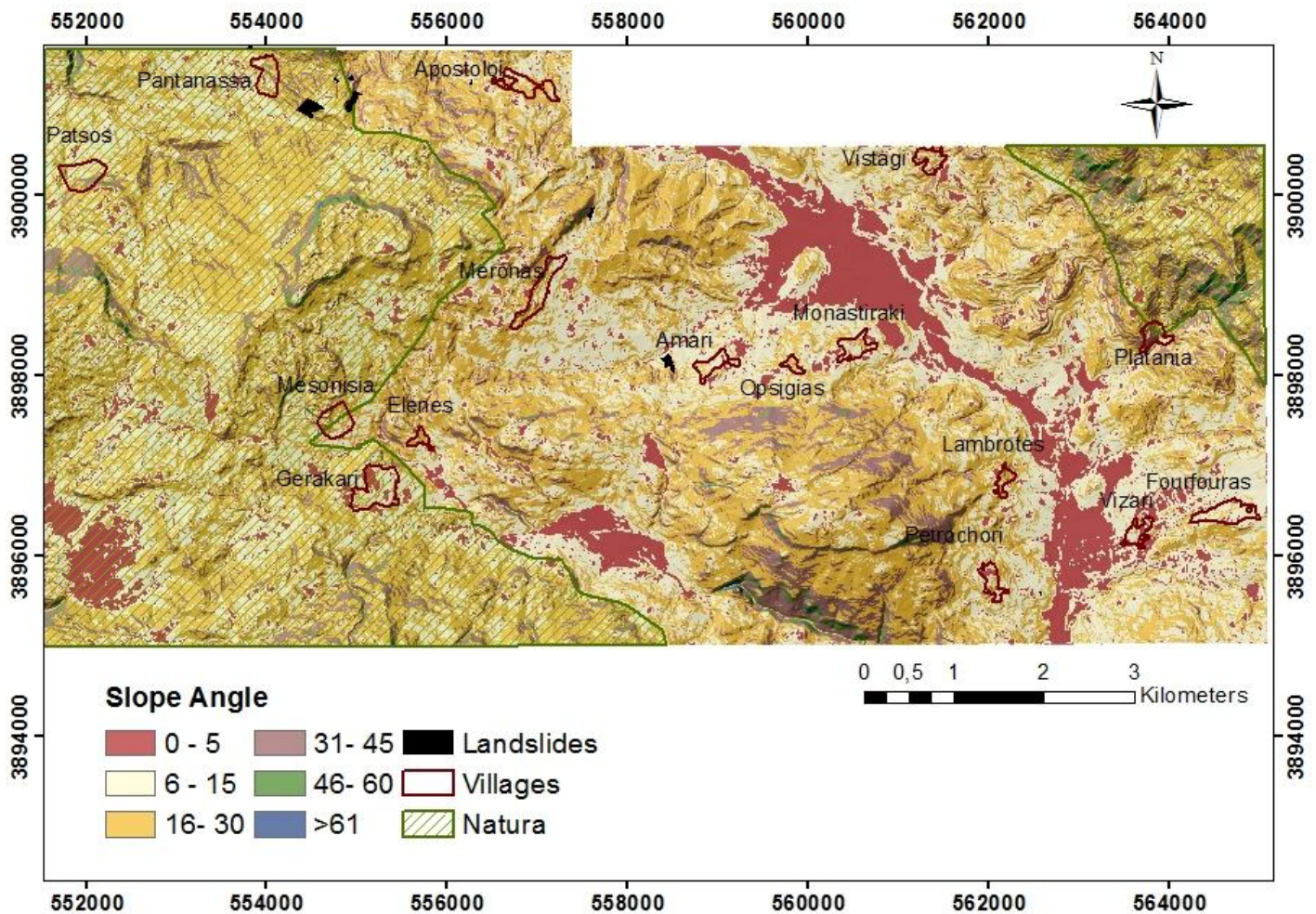
Εικόνα 10: Χάρτης αποστάσεων από τα ρήγματα στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 11: Χάρτης αποστάσεων από τις επωθήσεις της περιοχής μελέτης

5.2.3 Κλίση των πρανών (Slope Angle):

Η κλίση και η γεωμετρία αποτελούν δύο από τους πιο βασικούς παράγοντες για την ευστάθεια των πρανών. Εξαγάγαμε την κλίση από το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM) και την εργαλειοθήκη 3D Analyst και επιλέγοντας Surface Analysis > Slope και προέκυψαν δεδομένα κύμανσης από 0 έως και 74 μοίρες. Η παραγόμενη εικόνα, στην οποία απεικονίζονταν οι κλίσεις κατηγοριοποιήθηκαν στις εξής έξι τάξεις: 0-5°, 6-15°, 16-30°, 31-45°, 46-60°, >61°, [Εικόνα 12], όπου οι 0° αντιστοιχούν σε περιοχές με σχετικά επίπεδο ανάγλυφο ενώ οι περιοχές με κλίση μεγαλύτερη των 61° χαρακτηρίζονται ως πολύ απότομες, παρουσιάζοντας μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων.



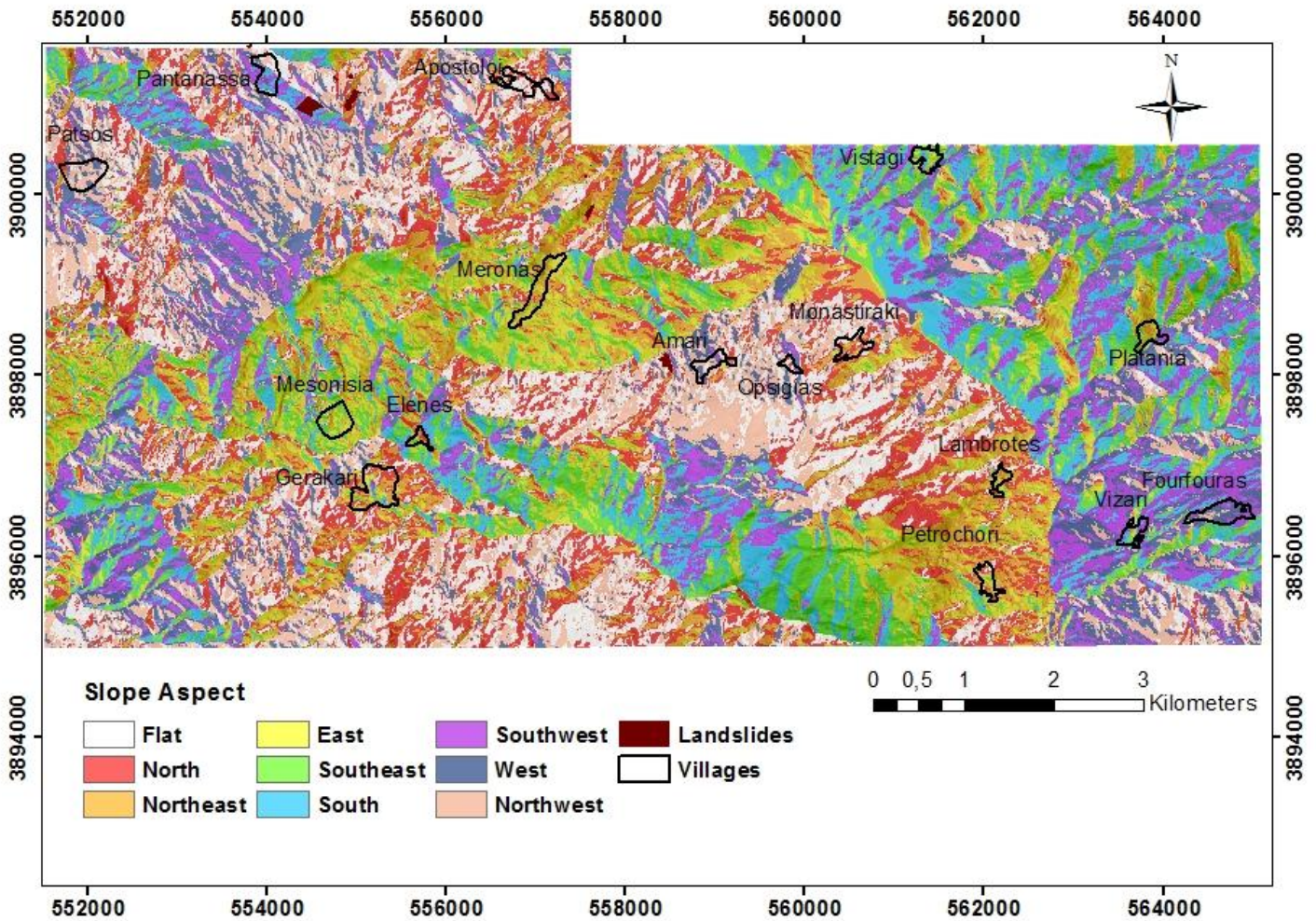
Εικόνα 12: Χάρτης κλίσεων των πρανών του Ν. Ρεθύμνου.

5.2.4 Προσανατολισμός πρανών (Slope Aspect):

Ο προσανατολισμός μίας πλαγιάς μπορεί να επηρεάσει έμμεσα την πρόκληση κατολισθητικών φαινομένων, καθώς ελέγχει την έκθεση της στις διάφορες κλιματολογικές συνθήκες (διάρκεια έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ένταση της βροχής, διατήρηση του επιπέδου της υγρασίας κ.λπ.) και ως εκ τούτου και της κάλυψη από τη βλάστηση (Κούλη et al, 2007). Ο προσανατολισμός των πρανών, δηλαδή η κατεύθυνση του μέγιστου ρυθμού μεταβολής υψομέτρου, εκφράζεται σε μοίρες από τα βόρεια και με κατεύθυνση τη φορά του ρολογιού, με τιμές από 0° έως 360°.

Στην παρούσα εργασία ο χάρτης προσανατολισμού πρανών εξήχθη από το ΨΜΕ, με τα εργαλεία: 3D Analyst > Spatial Analyst > Aspect. Κατόπιν ταξινομήθηκε σε 9 κλάσεις,

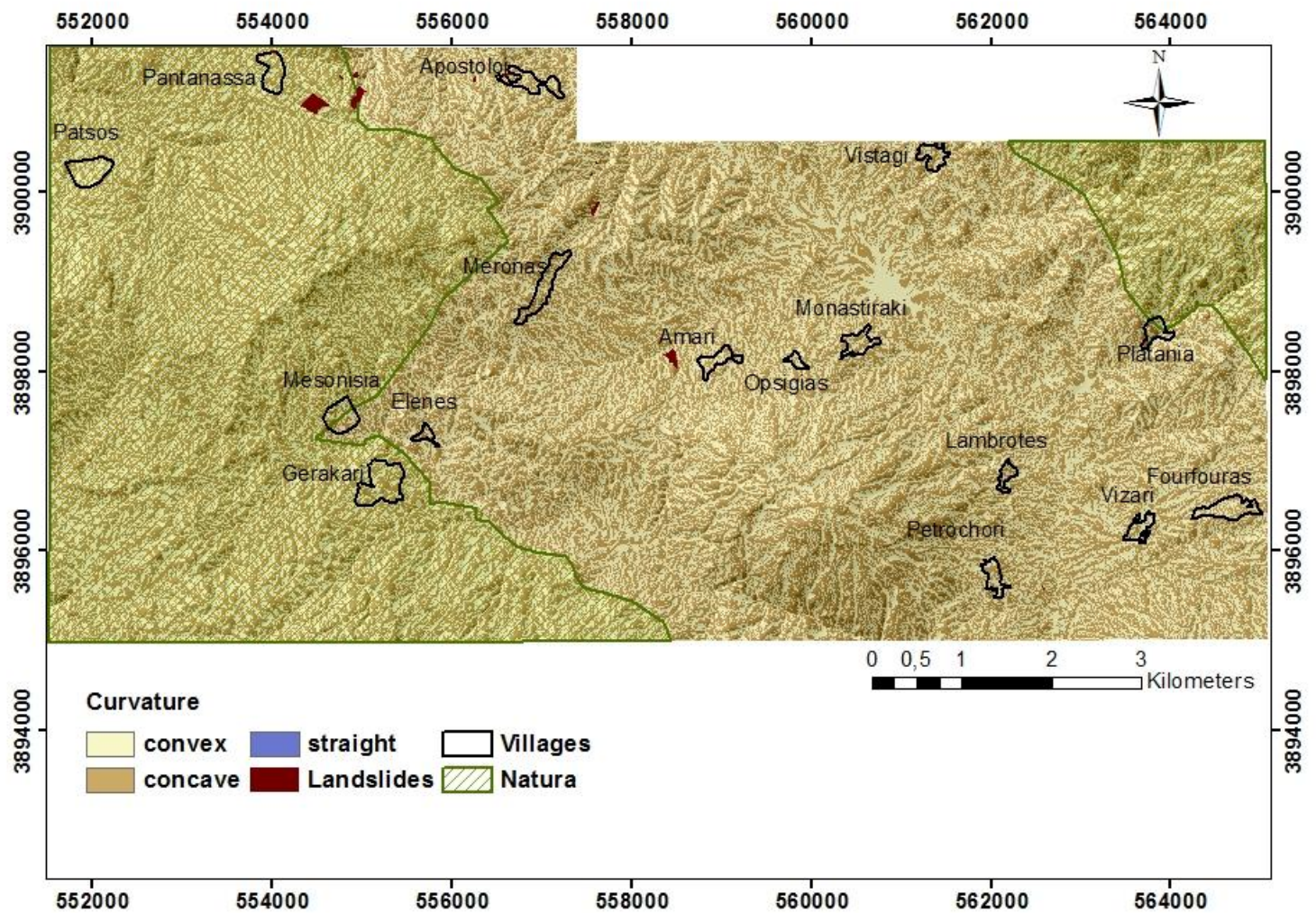
Δυτικά (Δ), Βορειοδυτικά (ΒΔ), Νοτιοδυτικά (ΝΔ), Ανατολικά (Α), Βορειοανατολικά (ΒΑ), Νοτιοανατολικά (ΝΑ), Βόρεια (Β), Νότια (Ν) και το επίπεδο (Flat)[Εικόνα 13].



Εικόνα 13: Χάρτης προσανατολισμού των πρανών της περιοχής μελέτης.

5.2.5 Καμπυλότητα πρανών (Curvature):

Η περιοχή μελέτης ταξινομήθηκε στις εξής κατηγορίες: κυρτή (convex)- κοίλη (concave)- επίπεδη (flat) κλίση [Εικόνα 16]. Σε γενικές γραμμές, οι κυρτές κλίσεις θεωρούνται πιο σταθερές, καθώς διανέμουν τις απορροές ισότιμα, ενώ οι κοίλες πλαγιές θεωρούνται μη σταθερές καθώς συγκεντρώνουν το νερό των απορροών στα πιο χαμηλά σημεία, συμβάλλοντας στη δημιουργία δυσμενών υδροστατικών πιέσεων (Κούλη et al, 2007). Η καμπυλότητα εξήχθη από το ΨΜΕ.

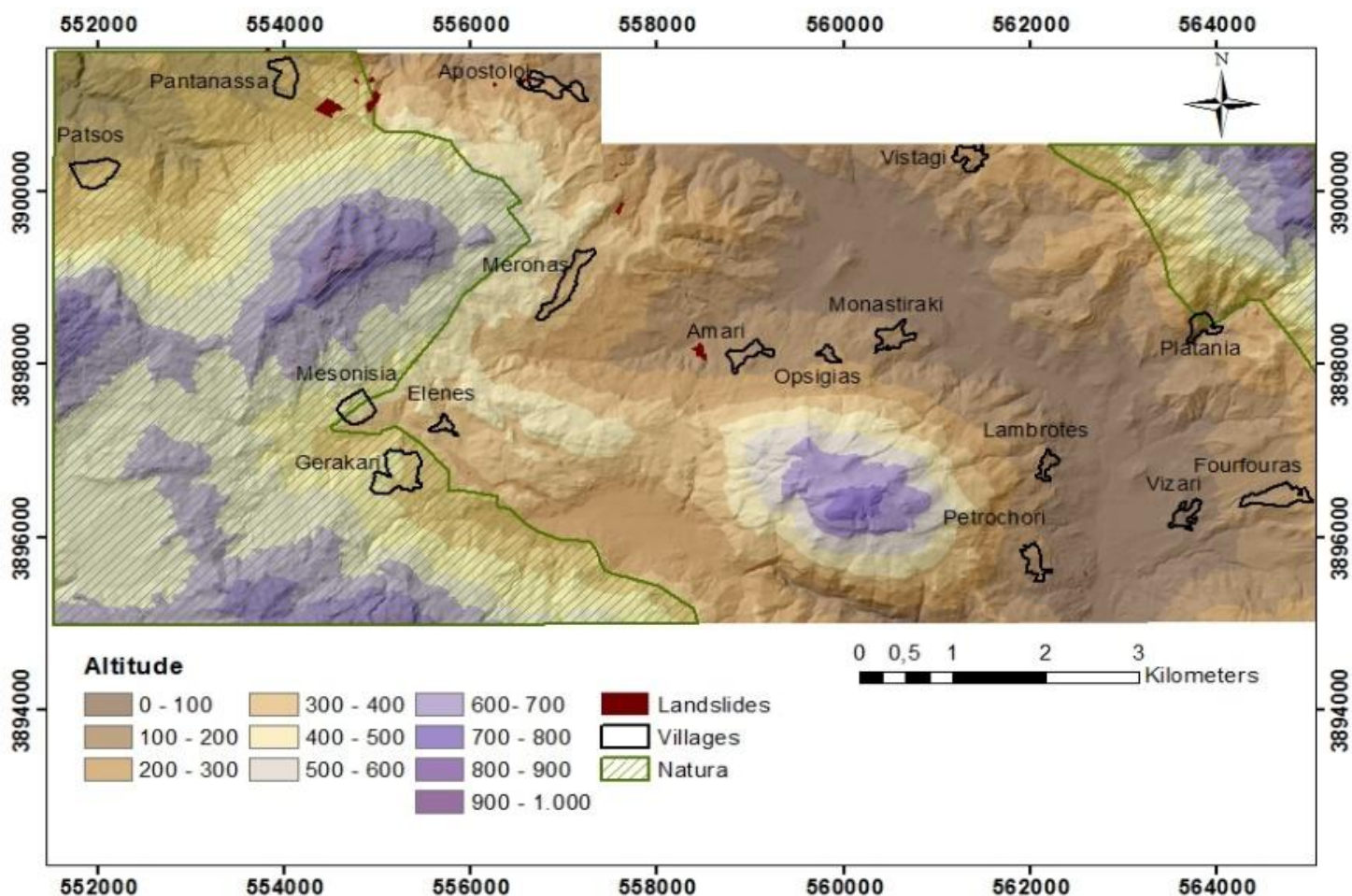


Εικόνα 14: Χάρτης καμπυλότητας πρανών του Ν. Ρεθύμνου.

5.2.6 Υψόμετρο (Altitude):

Ο όρος σχετική ανακούφιση εμπίπτει στη διαφορά μεταξύ των υψηλότερων και χαμηλότερων υψομέτρων σε μία περιοχή. Αυτή η παράμετρος συμβάλλει στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, καθώς οι περιοχές υψηλού υψόμετρου καταλαμβάνονται από πιο συνεκτικούς σχηματισμούς (π.χ. ασβεστόλιθους) και εκτίθενται σε δυσμενή κλιματολογικές συνθήκες, καθιστώντας της εκάστοτε περιοχή ευπαθή σε δυνητικά επερχόμενες κατολισθήσεις. Εντός των ορίων στην περιοχή μελέτης μας, η σχετική ανακούφιση κυμαίνεται από τα 0 μέτρα έως τα (περίπου) 1167 μέτρα. Επιπλέον, οι περισσότερες από τις πιο υψηλές τιμές ‘ανακούφισης’ βρίσκονται σε περιοχές οι οποίες καταλαμβάνονται από ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους, τα οποία πετρώματα θεωρούνται σχετικά πιο σταθεροί σχηματισμοί, ενώ οι χαμηλότερες τιμές απαντώνται στις κατεχόμενες από τεταρτογενή και νεογενή ιζήματα, περιοχές (Κούλη et al, 2007).

Τα δεδομένα εξήχθησαν απευθείας από το ΨΜΕ πραγματοποιώντας ταξινόμηση σε δέκα τάξεις με ίση απόσταση 100 μέτρων, ώστε να καλυφθεί η περιοχή μελέτης από τα 0 έως τα 1000 περίπου μέτρα [Εικόνα 15]. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τις εντολές : δεξί κλικ στο επίπεδο του ΨΜΕ, επιλογή layer properties > symbology > classify, επιλογή μεθόδου ταξινόμησης: ίσες αποστάσεις (classification: equal intervals), κλάσεις 10.



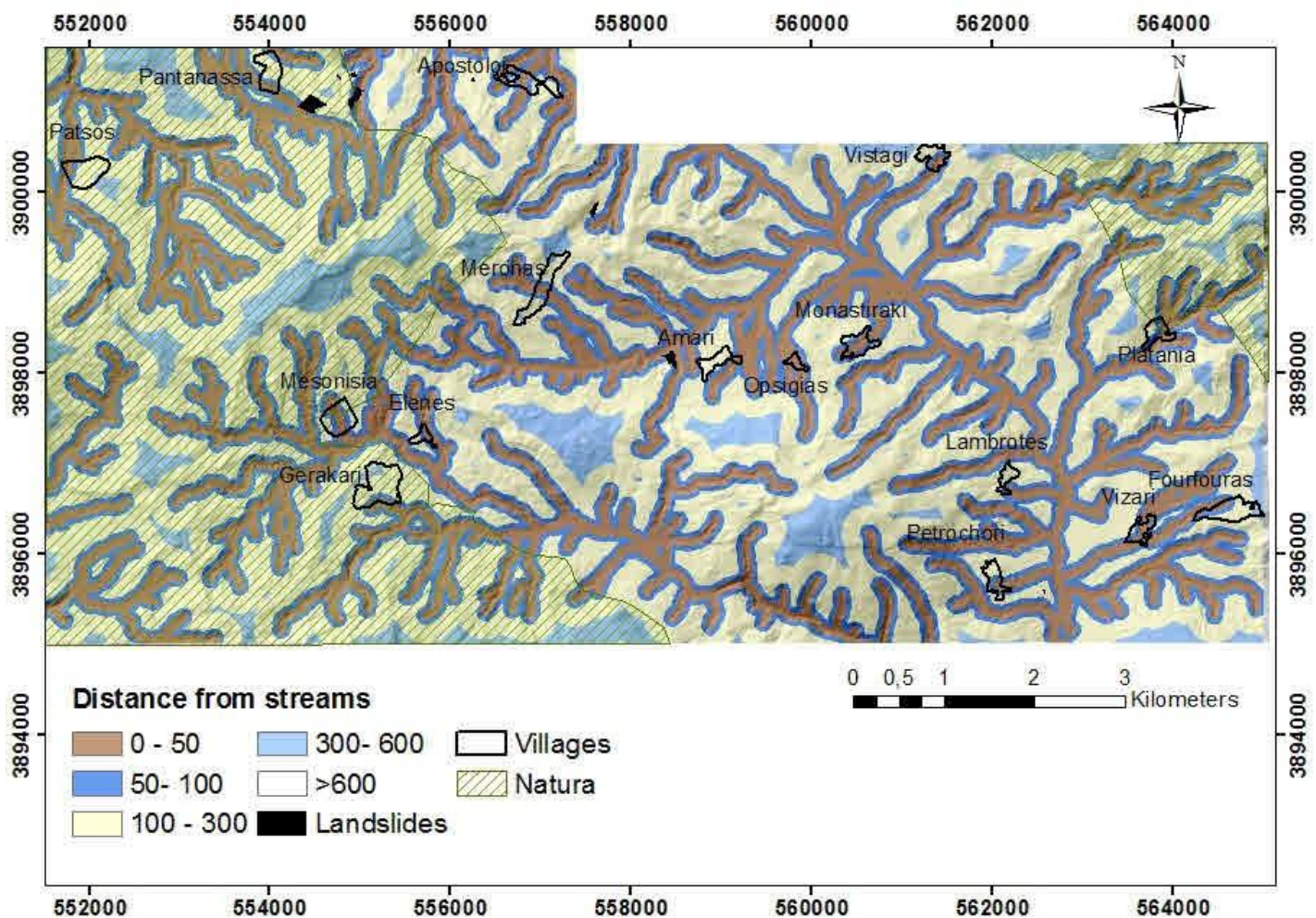
Εικόνα 15: Χάρτης Υψομέτρου της περιοχής μελέτης.

5.2.7 Απόσταση από τα ποτάμια (Distance from streams):

Περιφερειακή των ποταμών διάβρωση των πρανών, είναι ένας από τους πιο κοινούς παράγοντες, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και πυκνό δίκτυο αποχέτευσης σε συνδυασμό με τις βαθιές κοιλάδες. Η απόσταση από τα ποτάμια επομένως θεωρείται ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για το χαρακτηρισμό των ευπαθών από κατολισθητικά φαινόμενα περιοχών (Κούλη et al, 2007). Επομένως κατασκευάσαμε χάρτες

επιρροής δημιουργώντας τις εξής τάξεις αποστάσεων σε μέτρα: 0-50, 50-100, 100-300, 300-600, >600 [Εικόνα 16].

Προκειμένου να γίνει η προετοιμασία αυτού του επιπέδου στο περιβάλλον των ΓΣΠ από τον Arc Toolbox και την υποκατηγορία Spatial Analyst | επιλέχθηκε: Distance > Euclidean Distance με μέγεθος εικονοστοιχείου στα τέσσερα (4) μέτρα. Τα αποτελέσματα επαναταξινομήθηκαν σε τάξεις αποστάσεων όπως παρουσιάζονται πιο πάνω, οι οποίες και αποτελούν ζώνες επιρροής του επιπέδου για τα κατολισθητικά φαινόμενα.



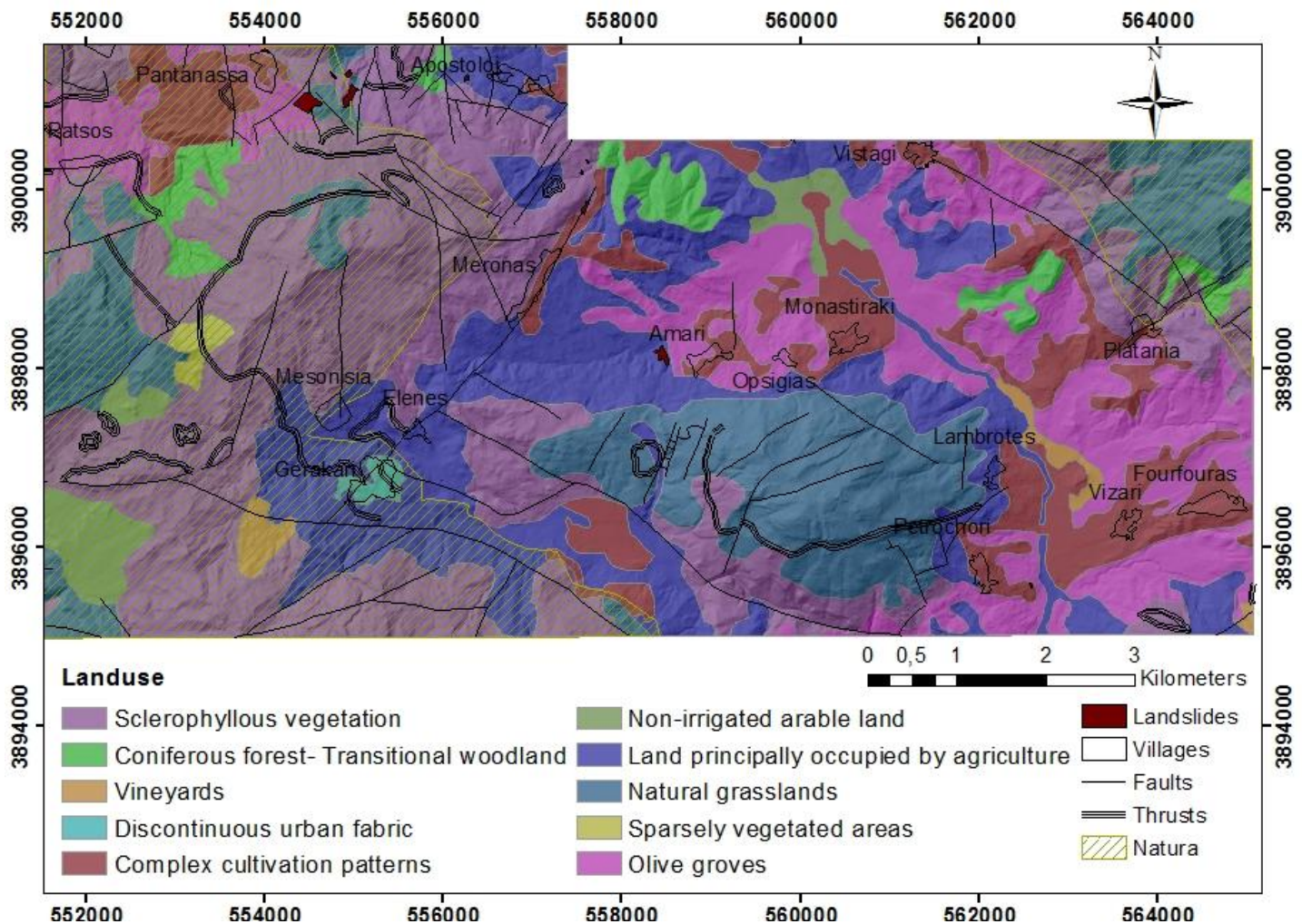
Εικόνα 16: Χάρτης αποστάσεων από τα ποτάμια της περιοχής μελέτης.

5.2.8 Χρήσεις γης (Landuse):

Οι ποικίλες χρήσεις της γης είναι και αυτές άμεσα συνδεδεμένες με το συχνό κατολισθητικό φαινόμενο της περιοχής μελέτης. Για παράδειγμα μερικοί τύποι χρήσεων γης κυρίως ξυλώδεις βλαστήσεις με μεγάλο και δυνατό ριζικό σύστημα, παρέχουν υδρολογική

και μηχανική στήριξη στο έδαφος και ως κατ' επέκταση λειτουργούν ανασταλτικά απέναντι στο φαινόμενο των κατολισθήσεων (Κούλη et al, 2007). Εν αντιθέσει, σε περιπτώσεις όπου μιλάμε για γυμνό ή καλλιεργούμενο έδαφος, πράγμα το οποίο σημαίνει απουσία των προαναφερθέντων μηχανισμών στήριξης του εδάφους, οι κατολισθήσεις απαντώνται αρκετά πιο συχνά. Τελικά, για τις ανάγκες αυτής της μελέτης, αξιολογήθηκε ο ρόλος των χρήσεων γης μέσω του ενημερωμένου Corine Landuse 2000 Map επελέγησαν και κατηγοριοποιήθηκαν δέκα διαφορετικές τάξεις αυτών [Εικόνα 17]_(όπως φαίνεται παρακάτω στον Πίνακα 3), οι οποίες και αναδεικνύονται στον αντίστοιχο χάρτη που παρατίθεται παρακάτω.

Επειδή πρόκειται για διανυσματικό (vector) αρχείο έπρεπε να μετατραπεί σε μορφή ψηφιδωτού. Από την εργαλειοθήκη (Arc Toolbox) και την υποκατηγορία ConversionTools, επιλέχθηκε: to Raster > Polygon to Raster, πετυχαίνοντας έτσι την μετατροπή αυτή.

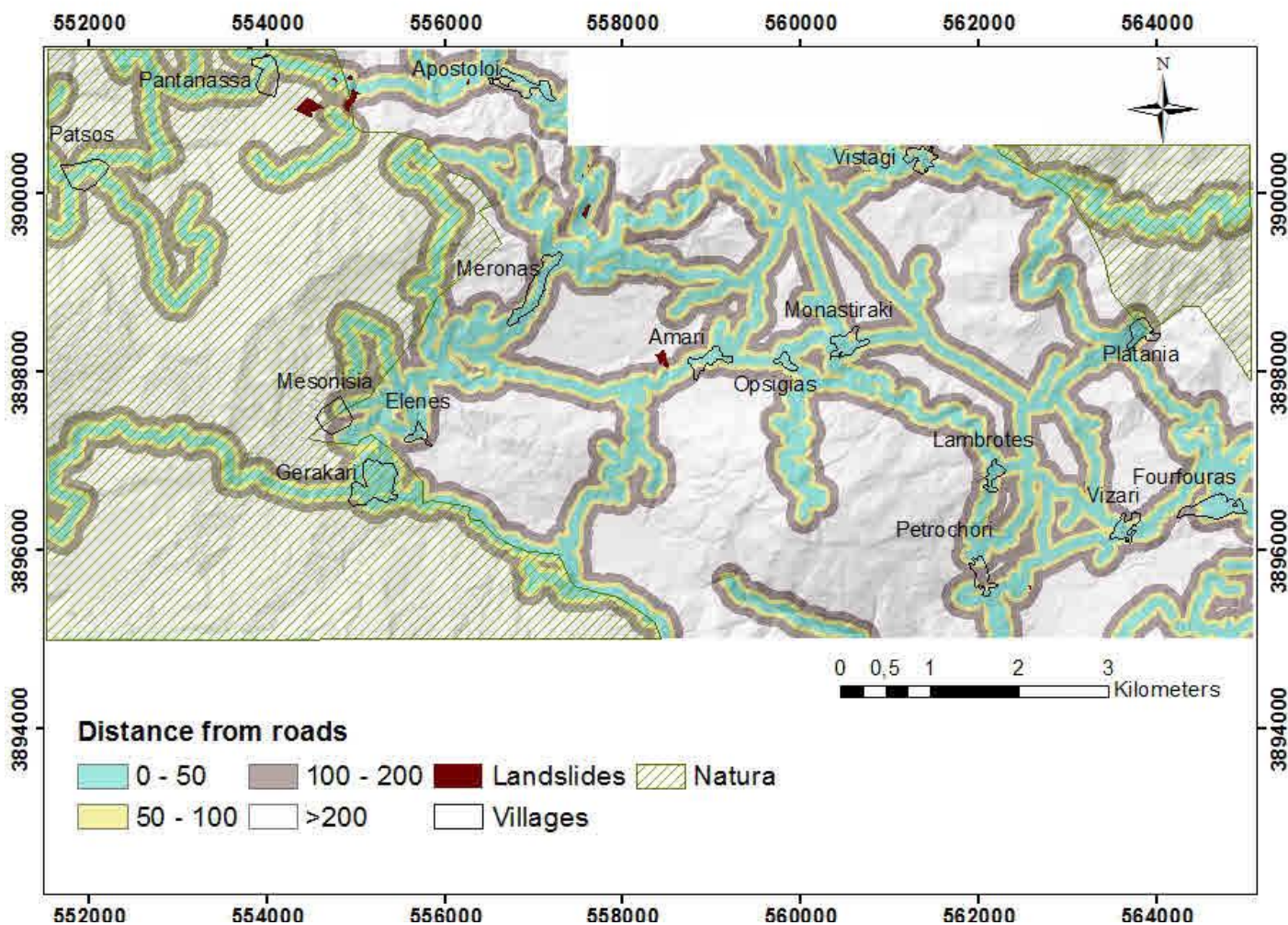


Εικόνα 17: Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής μελέτης.

5.2.9 Απόσταση από τους δρόμους (Distance from roads):

Εκτεταμένες ανασκαφές, απομάκρυνση της βλάστησης και εφαρμογή μεγάλων φορτίων, είναι μερικές από τις πιο κοινές δράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος των πρανών του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους. Αυτοί οι παράγοντες θεωρούνται επίσης υπεύθυνοι για την πρόκληση κατολισθητικών φαινομένων και λόγω αυτού κρίνεται απαραίτητη η αξιολόγηση της δράσης τους με παράλληλη κατασκευή ζωνών επιρροής των εξής τάξεων, σε μέτρα: <50, 50-100, 100-200, >200[Εικόνα 18].

Προκειμένου να γίνει η προετοιμασία αυτού του επιπέδου στο περιβάλλον των ΓΣΠ από τον Arc Toolbox και την υποκατηγορία Spatial Analyst | επιλέχθηκε: Distance > Euclidean Distance με μέγεθος εικονοστοιχείου στα τέσσερα (4) μέτρα. Τα αποτελέσματα επαναταξινομήθηκαν σε τάξεις αποστάσεων όπως παρουσιάζονται πιο πάνω, οι οποίες και αποτελούν ζώνες επιρροής του επιπέδου για τα κατολισθητικά φαινόμενα.

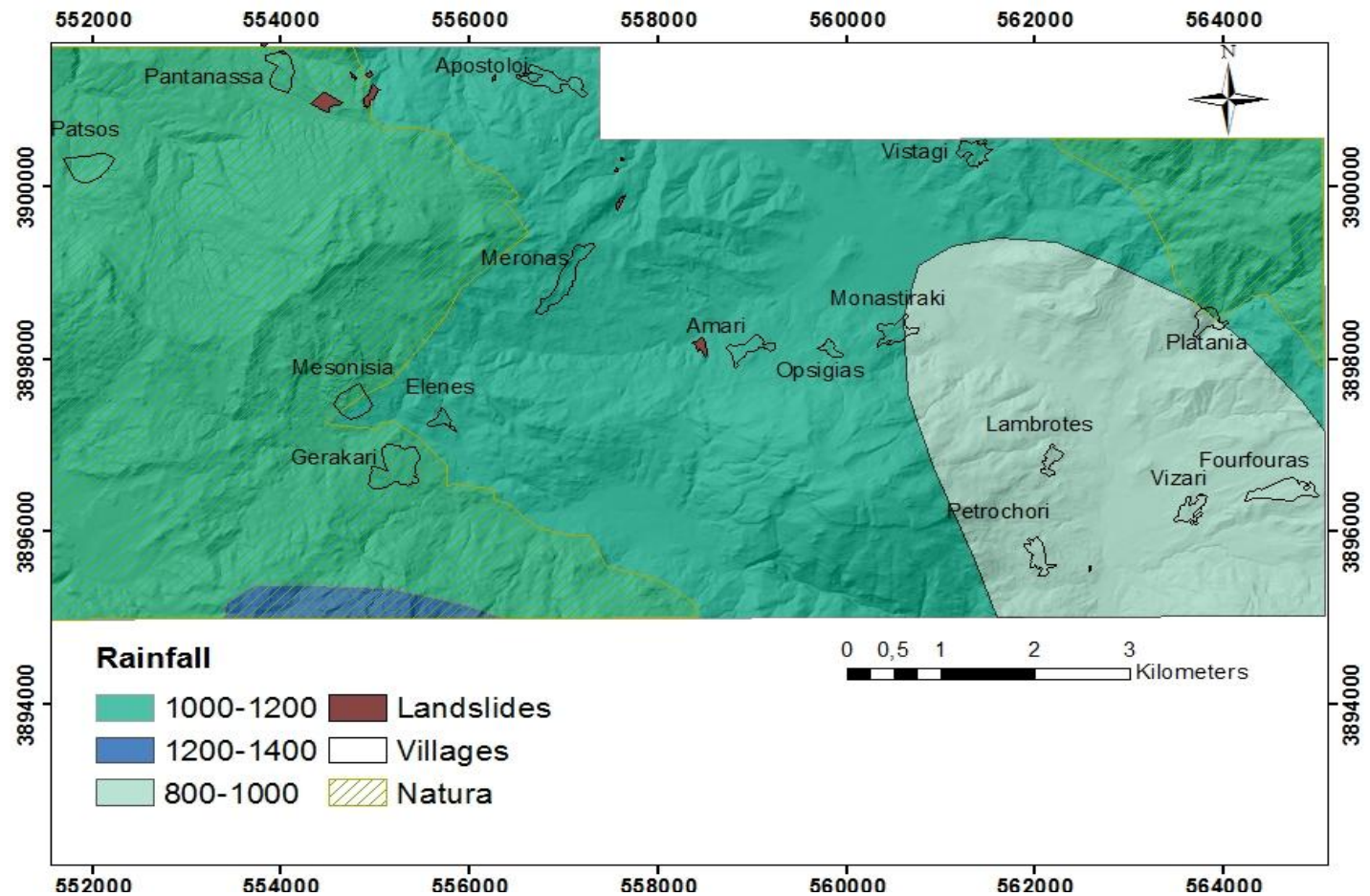


Εικόνα 18: Χάρτης αποστάσεων από τους δρόμους της περιοχής μελέτης.

5.2.10 Ύψος βροχοπτώσεων (Rainfall):

Συλλεχθήκαν υδρομετεωρολογικά δεδομένα για μία χρονική περίοδο των 25 χρόνων τα οποία και αξιολογήθηκαν από μία ιδιωτική Ελληνική εταιρεία και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός χάρτη κατανομής των βροχοπτώσεων. Ένα ψηφιοποιημένο μέρος αυτού του χάρτη, αναφερόμενο στο Νομό του Ρεθύμνου στο νησί της Κρήτης, ενσωματώθηκε στα δεδομένα προκειμένου να συμπεριλάβει τα ποσοστά υψηλής βροχόπτωσης σαν έναν από τους κατολισθητικούς παράγοντες. Εντός των ορίων της περιοχής μελέτης μας, [Εικόνα 19] η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από τα 800 έως τα 1400 χιλιοστά και ταξινομείται στις αντίστοιχες τάξεις: 800-1000, 1000-1200, 1200-1400.

Επειδή πρόκειται για διανυσματικό (vector) αρχείο έπρεπε να μετατραπεί σε μορφή ψηφιδωτού. Από την εργαλειοθήκη (Arc Toolbox) και την υποκατηγορία ConversionTools, επιλέχθηκε: to Raster > Polygon to Raster, πετυχαίνοντας έτσι την μετατροπή αυτή.



Εικόνα 19: Χάρτης βροχοπτώσεων για την περιοχή μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ:

6.1 Περιγραφή μεθόδου:

Η Αναλυτική Μέθοδος Ιεράρχησης:

Πιο συγκεκριμένα η Αναλυτική Μέθοδος Ιεράρχησης (η οποία θεσπίστηκε από τον Thomas Saaty 1980) είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αντιμετώπιση λήψης πολύπλοκων αποφάσεων θέτοντας προτεραιότητες με σκοπό να παρθούν οι πιο ορθές αποφάσεις. Μειώνοντας λοιπόν την πολυπλοκότητα των αποφάσεων, δημιουργώντας μια σειρά από ζεύγη υπό σύγκριση, η συγκεκριμένη μέθοδος υποβοηθά να ληφθεί τόσο η υποκειμενική όσο και η αντικειμενική πτυχή μιας απόφασης. Επιπλέον , η μέθοδος αυτή ενσωματώνει μια χρήσιμη τεχνική για τον έλεγχο της συνέπειας της ορθότητας της απόφασης που λήφθηκε μειώνοντας έτσι το σφάλμα κατά την εξέλιξη της διαδικασίας.

Η Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP), είναι μία ημι-ποσοτική μέθοδος στην οποία οι αποφάσεις λαμβάνονται με τη στάθμιση βαρών ανά ζεύγη σύγκρισης. Η μέθοδος αυτή, η οποία έχει να κάνει με τη λήψη αποφάσεων βασιζόμενη σε πληθώρα κριτηρίων και για περισσότερα από ένα αντικείμενα, επιτρέπει στο χρήστη να καταλήξει σε μια κλίμακα προτίμησης, η οποία θα προέρχεται από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων. Αυτή η διαδικασία αποτελείται από τα εξής πέντε στάδια: (i) κατηγοριοποίηση ενός προβλήματος σε πολλούς παράγοντες, (ii) διευθέτηση αυτών των παραγόντων σε μια ιεραρχική τάξη, (iii) απόδοση αριθμητικών τιμών, μέσω μίας κλίμακας η οποία προτάθηκε από τον Thomas Saaty (πίνακας 2), κατά τη σύγκριση των ζευγών, (iv) δημιουργία ενός πίνακα ανάδειξης των συγκρινόμενων ζευγών, (v) υπολογισμός του κανονικοποιημένου ιδιοδιανύσματος μέσω της οποίας αποδίδεται και το ανάλογο βάρος στο έκαστο ζεύγος.

Σύμφωνα με τη βαθμονόμηση με διακύμανση από 0 έως 10, θα πάρουν τις μεγαλύτερες τιμές τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε παράγοντες που προκαλούν αυξημένη κατολισθητική επικινδυνότητα και μικρότερες τιμές αυτά των παραγόντων που αντίστοιχα προκαλούν μικρότερη κατολισθητική τρωτότητα. Αυτή η βαθμονόμηση έγινε και για τα δεδομένα που περιείχε το κάθε θεματικό επίπεδο ξεχωριστά (βαθμός), αλλά και για τα θεματικά επίπεδα μεταξύ τους έτσι ώστε τα πιο σημαντικά να έχουμε πάντα υψηλότερες

τιμές. Οι τιμές αυτές ύστερα από τη μαθηματική του επεξεργασία περάστηκαν στους πίνακες ιδιοτήτων των θεματικών επιπέδων (attribute table), ορίζοντάς τους ένα νέο πεδίο.

Πίνακας 2:

Κλίμακα	Βαθμός σύγκρισης	Επεξήγηση
1	Ισότητα	Οι δύο παράγοντες θεωρούνται ισότιμοι.
3	Μέτρια	Βάση της εμπειρίας και της κρίσης ο ένας παράγοντα ευνοείται μέτρια πιο ισχυρός βάση του συγκρινόμενου ζεύγους του.
5	Ισχυρά	Βάση της εμπειρίας και της κρίσης ο ένας παράγοντα ευνοείται ως πιο ισχυρός βάση του συγκρινόμενου ζεύγους του.
7	Πολύ ισχυρά	Βάση της εμπειρίας και της κρίσης ο ένας παράγοντα ευνοείται ως πολύ πιο ισχυρός βάση του συγκρινόμενου ζεύγους του.
9	Εξαιρετικά ισχυρά	Βάση της εμπειρίας και της κρίσης ο ένας παράγοντα ευνοείται ως, εξαιρετικά πιο ισχυρός βάση του συγκρινόμενου ζεύγους του.
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές	Χρησιμοποιούνται προκειμένου να αναδειχθούν οι συμβιβασμοί μεταξύ των βαθμών σύγκρισης 1,3,5,7,9.
Ανάστροφα	Αντίθετα	Χρησιμοποιούνται για τις αντίστροφες συγκρίσεις.

6.2 Μαθηματική έκφραση της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης

Σύμφωνα με τον Thomas Saaty και τον Ricardo Vargas, υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης στην ανάλυση της κατολισθητικής τρωτότητας, τα οποία είναι τα εξής: (i) όλες οι μορφές πληροφορίας, οι οποίες αφορούν τα διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα, μπορούν να συμπεριληφθούν στη διαδικασία της ανάλυσης, (ii) επίσης σε όλες τις πληροφορίες δίνεται βαρύτητα, (iii) οι κανόνες κατά τη λήψη αποφάσεων βασίζονται σε γνώσεις και εμπειρίες, (iv) όταν επέλθει κάποιου είδους συναίνεση κατά τη στάθμιση βαρυτήτων, τα βάρη λαμβάνονται αυτόματα κατά τον υπολογισμό του ιδιοδιανύσματος, μέσα από μια σειρά μαθηματικών εκφράσεων, (v) τέλος,

ασυνέπειες κατά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας τιμές του δείκτη συνέπειας, ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty και να διορθωθούν εάν χρειαστεί. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου, υπόκειται στο γεγονός ότι η διαδικασία λήψης των αποφάσεων βασίζεται σε εξολοκλήρου υποκειμενικά κριτήρια. Προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης συνέπειας (Consistency Ratio, CR), χρησιμοποιούμε την εξής εξίσωση:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Όπου, η μεταβλητή RI είναι ο μέσος όρος του προκύπτοντος δείκτη συνέπειας και η μεταβλητή CI είναι ο δείκτης της συνέπειας και μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4)$$

Όπου λ_{max} ορίζεται ως η μεγαλύτερη ή κύρια τιμή ενός συνόλου τιμών, το οποίο έχει προκύψει μέσα από μια σειρά μαθηματικών υπολογισμών. Σε μία λογική τάξη πραγμάτων, αποδεκτή τιμή του δείκτη CR ,κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, θεωρείται η τιμή 0,1 ή και λιγότερο. Σε διαφορετική περίπτωση απαιτείται επανάληψη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Χρησιμοποιώντας την Αναλυτική Μέθοδο Ιεράρχησης, η στάθμιση των βαρυτήτων στους κατολισθητικούς παράγοντες καθώς και οι τελικές τιμές που τους αποδόθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 3. Στην παρούσα μελέτη, η τιμή του δείκτη CR για τους 11 κατολισθητικούς παράγοντες είναι 0,0102 γεγονός που αποδεικνύει την ύπαρξη ενός λογικού επιπέδου συνεκτικότητας στα ζεύγη υπό σύγκριση που προτάθηκαν. Το γεγονός ότι ομοίως και οι υπόλοιποι δείκτες CR οι οποίοι παρουσιάζονται στον πίνακα 2 είναι μικρότεροι του 0,1 αποδεικνύει την ορθότητα και τη συνέπεια της κρίσης μας κατά την εξέλιξη της διαδικασίας.

Για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός έπρεπε πρώτα όλα τα θεματικά επίπεδα να είναι σε ψηφιδωτή μορφή (raster) και να επαναταξινομηθούν πρώτου τελικά βαθμονομηθούν. Τα ψηφιδωτά μοντέλα απεικονίζουν σε μέγεθος εικονοστοιχείου τα στοιχεία των χαρτών, προσφέροντας δυνατότητες ανάλυσης για συνεχή δεδομένα και επιτρέπουν την γρηγορότερη επεξεργασία επικάλυψης επιπέδων των χαρτών (Κούλη et al, 2007).

Πίνακας 3: Παρουσίαση διαδικασίας στάθμισης βαρυντήτων

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	Κανονικοποιημένοι δείκτες
Lithology												
CR=0.0575												
(1) Loose Quaternary Deposits	1,00	4,00	6,00	0,50	2,00							0,2659
(2) Neogene Deposits	0,25	1,00	3,00	0,25	0,25							0,0850
(3) Limestones	0,17	0,33	1,00	0,14	0,20							0,0414
(4) Flysch	2,00	4,00	7,00	1,00	4,00							0,4264
(5) Schists and Ophiolites	0,50	4,00	5,00	0,25	1,00							0,1811
Landuse												
CR=0.0421												
(1) Sparsely vegetated area	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	9,00		0,2884
(2) Natural grasslands	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00		0,2101
(3) Land principally occupied by agriculture	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00		0,1518
(4) Non irrigated- arable land	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00		0,1096
(5) Complex cultivation patterns	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00		0,0789
(6) Discontinuou	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00		0,0565

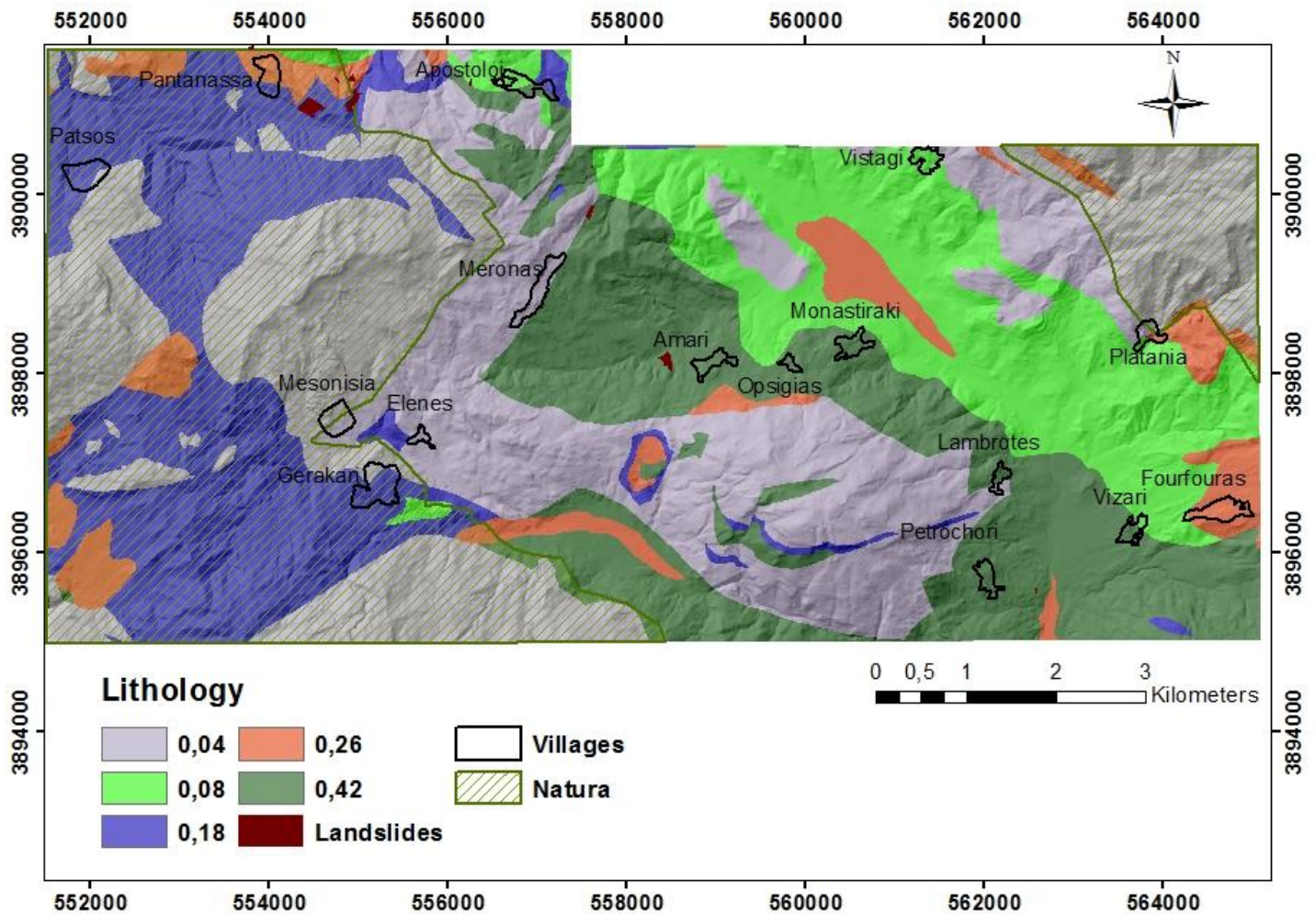
s fabric												
(7)Sclerophyllous vegetation and broad-leaved forest	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00		0,0402
(8)Vineyards	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00		0,0285
(9)Olive groves	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00		0,0204
(10)Coniferous forest – transitional woodland	0,11	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00		0,0156
Distance from roads (m)												
CR=0.0918												
(1) <50	1,00	3,00	4,00	9,00								0,5240
(2) 50-100	0,33	1,00	3,00	9,00								0,2810
(3) 100-200	0,25	0,33	1,00	8,00								0,1606
(4) >200	0,10	0,11	0,13	1,00								0,0343
Distance from streams (m)												
CR=0.0579												
(1) 0-50	1,00	4,00	5,00	7,00	7,00							0,5208
(2) 50-100	0,25	1,00	3,00	5,00	5,00							0,2419
(3) 100-300	0,20	0,33	1,00	3,00	3,00							0,1250
(4) 300-600	0,14	0,20	0,33	1,00	2,00							0,0646
(5)>600	0,14	0,20	0,33	0,50	1,00							0,0470
Slope Angle												
CR=0.0494												
(1) 0°-5°	1,00	0,25	0,14	0,13	0,11	0,11						0,0240
(2) 6°-15°	4,00	1,00	0,33	0,25	0,20	0,14						0,0549

(3) 16°-30°	7,00	3,00	1,00	0,50	0,25	0,20						0,1057
(4) 31°-45°	8,00	4,00	2,00	1,00	0,50	0,33						0,1638
(5) 46°-60°	9,00	5,00	4,00	2,00	1,00	0,50						0,2600
(6) >61°	9,00	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00						0,3916
Altitude (m)												
CR=0.042												
(1) 1000-901	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,11		0,0156
(2) 900-801	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11		0,0204
(3) 800-701	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13		0,0285
(4) 700-601	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14		0,0405
(5) 600-501	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17		0,0565
(6) 500-401	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20		0,0789
(7) 400-301	7,00	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,25		0,0110
(8) 300-201	8,00	7,00	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33		0,1518
(9) 200-101	9,00	8,00	7,00	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50		0,2101
(10) 100-0	9,00	9,00	8,00	7,00	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00		0,2884

Slope Aspect												
CR=0.0612												
(1)West	1,00	0,50	5,00	6,00	5,00	7,00	1,00	5,00	9,00			0,2087
(2)Northwest	2,00	1,00	5,00	6,00	5,00	9,00	2,00	6,00	9,00			0,2821
(3)Southwest	0,20	0,20	1,00	3,00	1,00	4,00	0,20	3,00	8,00			0,0808
(4)East	0,17	0,17	0,33	1,00	0,33	3,00	0,17	1,00	6,00			0,0463
(5)Northeast	0,20	0,20	1,00	3,00	1,00	4,00	0,20	3,00	8,00			0,0808
(6)Southeast	0,14	0,11	0,25	0,33	0,25	1,00	0,13	0,33	3,00			0,0244
(7)North	1,00	0,50	5,00	6,00	5,00	8,00	1,00	6,00	9,00			0,2158
(8)South	0,20	0,17	0,33	1,00	0,33	3,00	0,17	1,00	6,00			0,0470
(9)Flat	0,10	0,10	0,13	0,17	0,13	0,33	0,10	0,17	1,00			0,0141
Rainfall (mm)												
CR=0.0047												
(1) 1400-1200	1,00	2,00	3,00									0,5392
(2) 1200-1000	0,50	1,00	2,00									0,2974
(3) 1000-800	0,33	0,50	1,00									0,1632
Distance from thrusts (m)												
CR=0.0519												
(1)<500	1	3	9									0,6421
(2)500-1000	0,33	1	8									0,3058
(3)>1000	0,1	0,12	1									0,0519
Distance from faults (m)												
CR=0												
(1)0-100	1,00	1,33	2,00									0,4444
(2)100-250	0,75	1,00	1,50									0,3333
(3)>250	0,50	0,67	1,00									0,2222

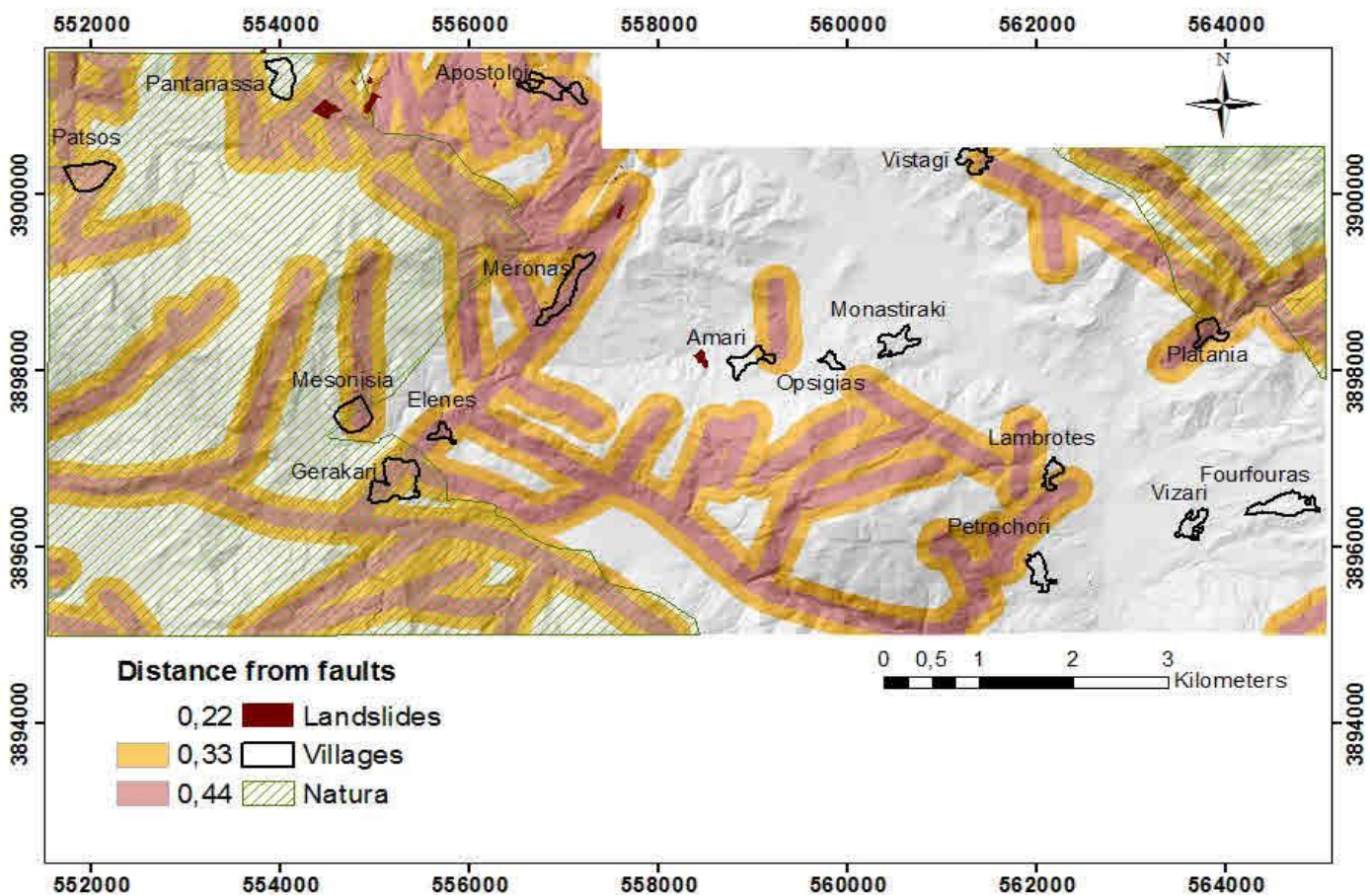
Curvature												
CR=0												
(1)convex	1,00	0,67	0,67									0,2500
(2)concave	1,50	1,00	1,00									0,3750
(3)straight	1,50	1,00	1,00									0,3750

6.3 Βαθμονομημένοι χάρτες τρωτότητας θεματικών επιπέδων



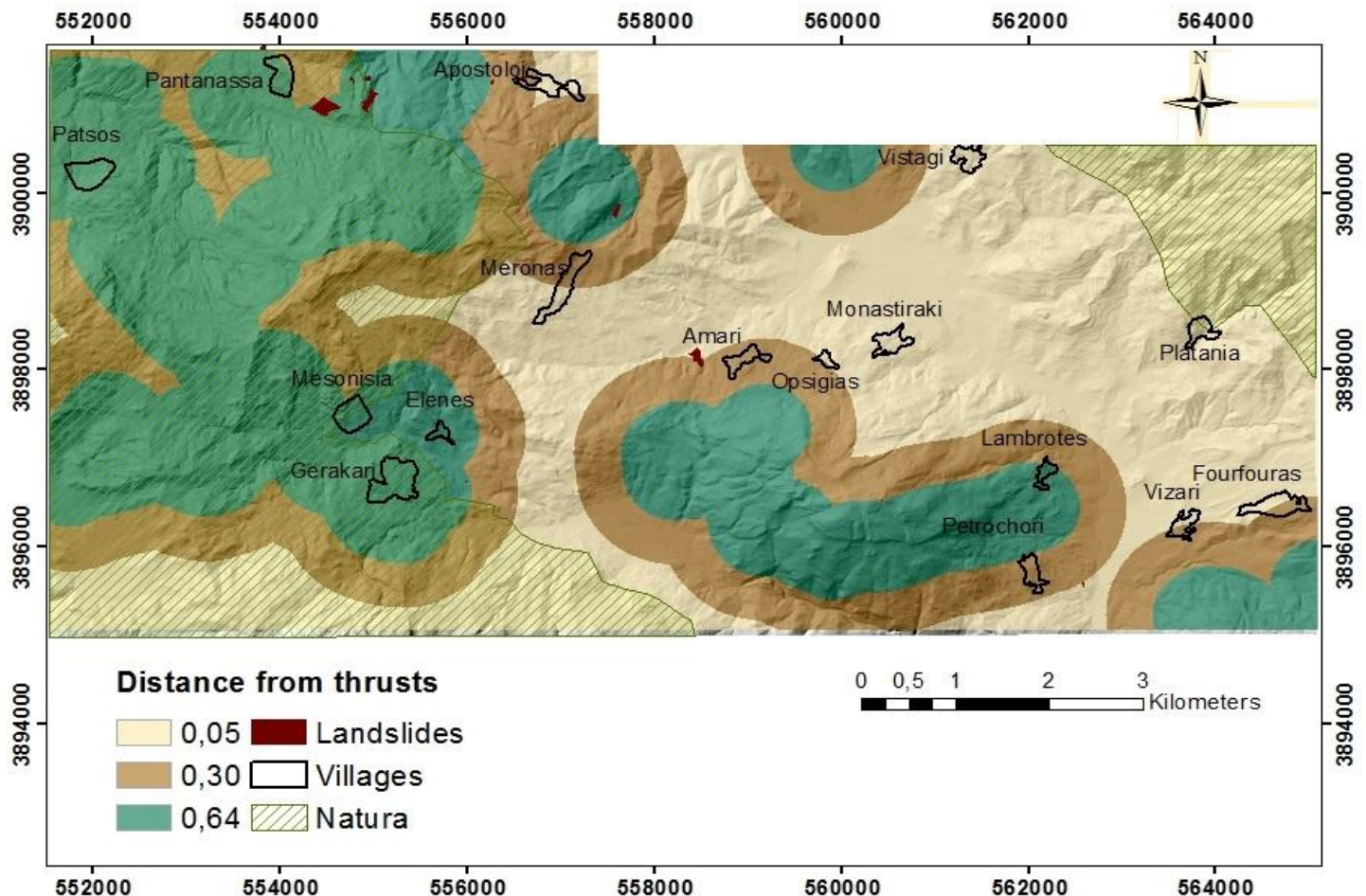
Εικόνα 20: Βαθμονομημένος χάρτης γεωλογικών ενοτήτων.

Οι εννέα (9) γεωλογικές ενότητες της περιοχής μελέτης βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον πίνακα 2. Βάση του χάρτη της εικόνας 20, παρατηρούμε πως οι περιοχές οι οποίες καταλαμβάνονται από Φλύσχη (Φλύσχη τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πίνδου και Φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τριπόλεως), στα κεντρικά και ανατολικά της περιοχής μελέτης, χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά επικίνδυνες όσον αφορά την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων και βαθμολογούνται με την τιμή 0,42 όπως αυτό φαίνεται και στο χάρτη. Δεύτερες σε βαθμό επικινδυνότητας με βαθμολογία 0,26 χαρακτηρίζονται οι περιοχές οι οποίες καταλαμβάνονται από Τεταρτογενείς αποθέσεις, περιφερειακά της περιοχής μελέτης, αποτελώντας χαρακτηριστική περίπτωση στα βόρεια του Νομού το χωριό Παντάνασσα, το οποίο και πλήττεται από τα συχνά κατολισθητικά φαινόμενα. Ακολουθούν τα τμήματα του Νομού τα οποία καταλαμβάνονται από Σχιστόλιθους και Οφιόλιθους στα Δυτικά του Νομού παίρνοντας την τιμή 0,18. Μικρότερης σημασίας χαρακτηρίζονται περιοχές που καταλαμβάνονται από ασβεστολιθικά πετρώματα καθώς παρουσιάζουν μικρότερο ποσοστό εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων, περιλαμβάνοντας τα νησιά Μεσσησία, Ελένες και Γερακάρι. Σαν κατολισθητικός παράγοντας βαθμονομείται με την τιμή δέκα (10) επομένως θα επηρεάσει άμεσα και σε μεγάλο βαθμό τον τελικό κατολισθητικό χάρτη.



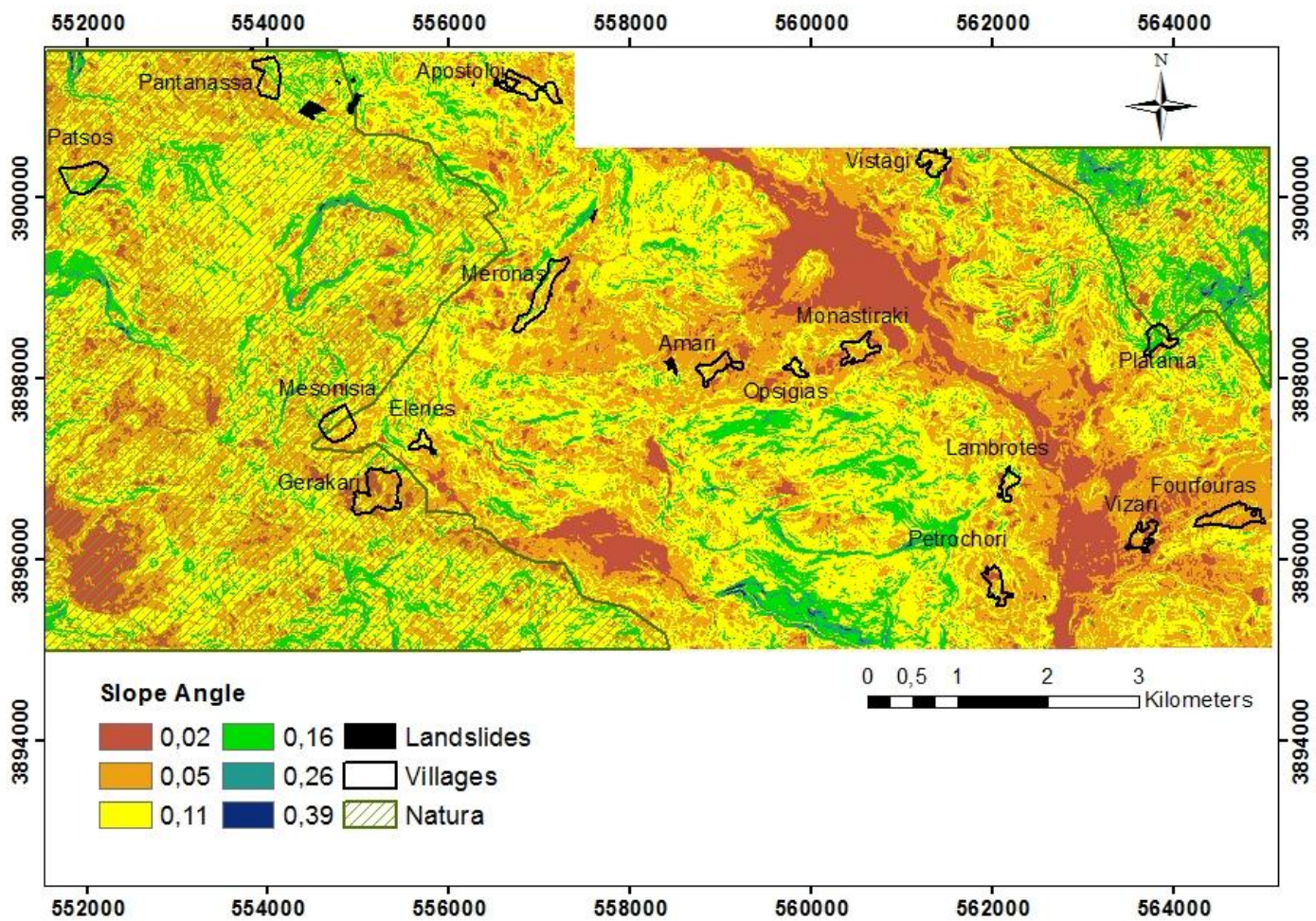
Εικόνα 21: Βαθμονομημένος χάρτης αποστάσεων από τα ρήγματα.

Οι τρεις (3) τάξεις αποστάσεων από τα ρήγματα βαθμονομήθηκαν βάση του πίνακα 2 και βαθμολογήθηκαν ως εξής: 0,44 – 0,33 – 0,22[Εικόνα 21] για τις αντίστοιχες τάξεις των 0-100 μέτρων, 100-250 μέτρων και >250 μέτρων . Αυτή η βαθμολόγηση αναδεικνύει τις περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ρηγματισμένο υπόβαθρο και τις αναγάγει ως τις πιο ευαίσθητες σε κατολισθητικά φαινόμενα με χαρακτηριστικό παράδειγμα το χωριό Απόστολοι στα βόρεια και το χωριό Γερακάρι στα Νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης.



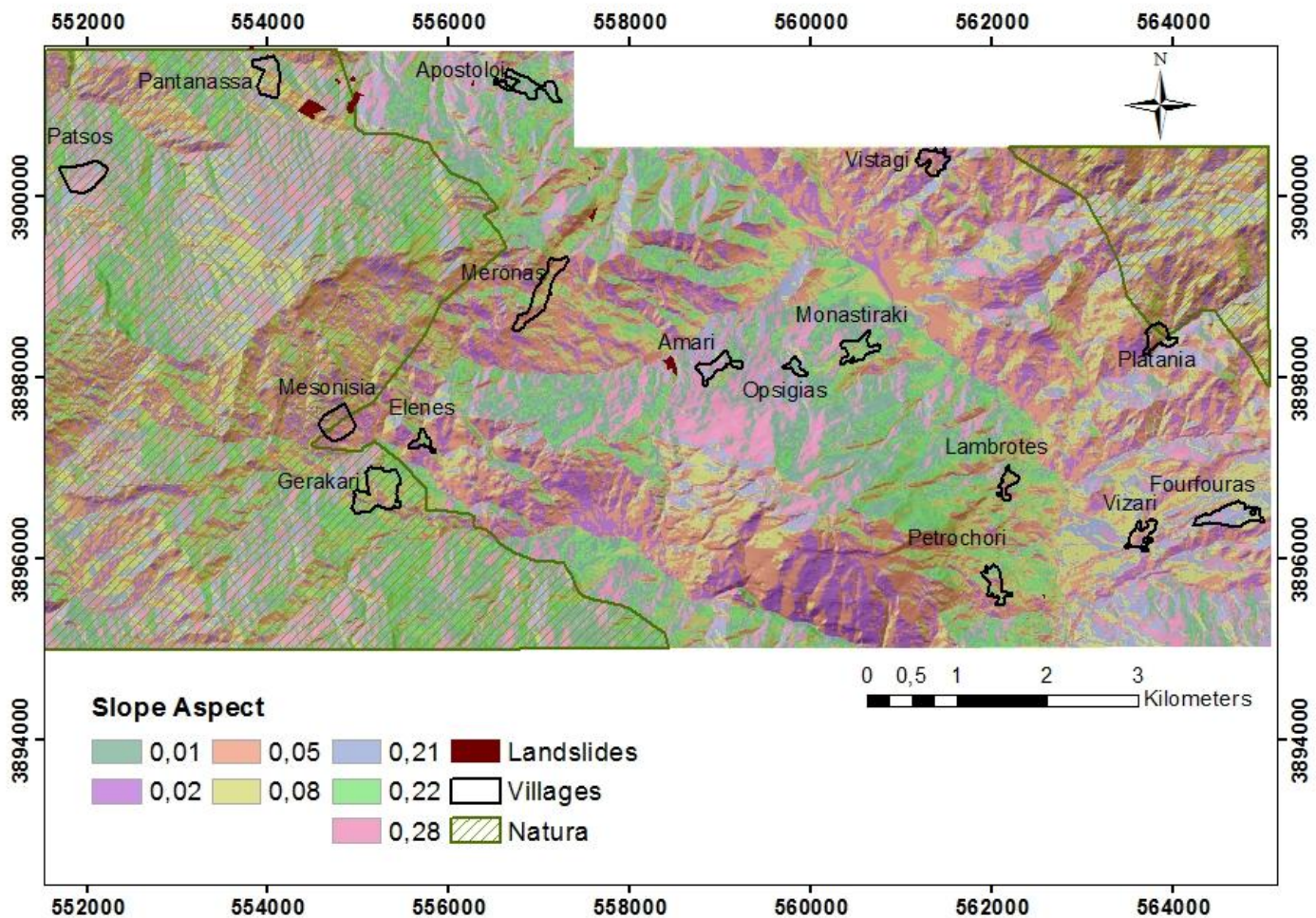
Εικόνα 22: Βαθμονομημένος χάρτης αποστάσεων από τις επωθήσεις.

Σε συμφωνία και κατ' αναλογία με το βαθμονομημένο χάρτη των αποστάσεων από τα ρήγματα τοποθετείται και ο βαθμονομημένος χάρτης των αποστάσεων από τις επωθήσεις βαθμολογώντας από τη υψηλότερη (0,64) έως τη χαμηλότερη (0,05) τιμή [Εικόνα 22], περιοχές που είναι κοντά και μακριά αντίστοιχα σε έντονα κατακερματισμένο ανάγλυφο και με αυτονόητη αύξηση των πιθανοτήτων για έντονα κατολισθητικά φαινόμενα.



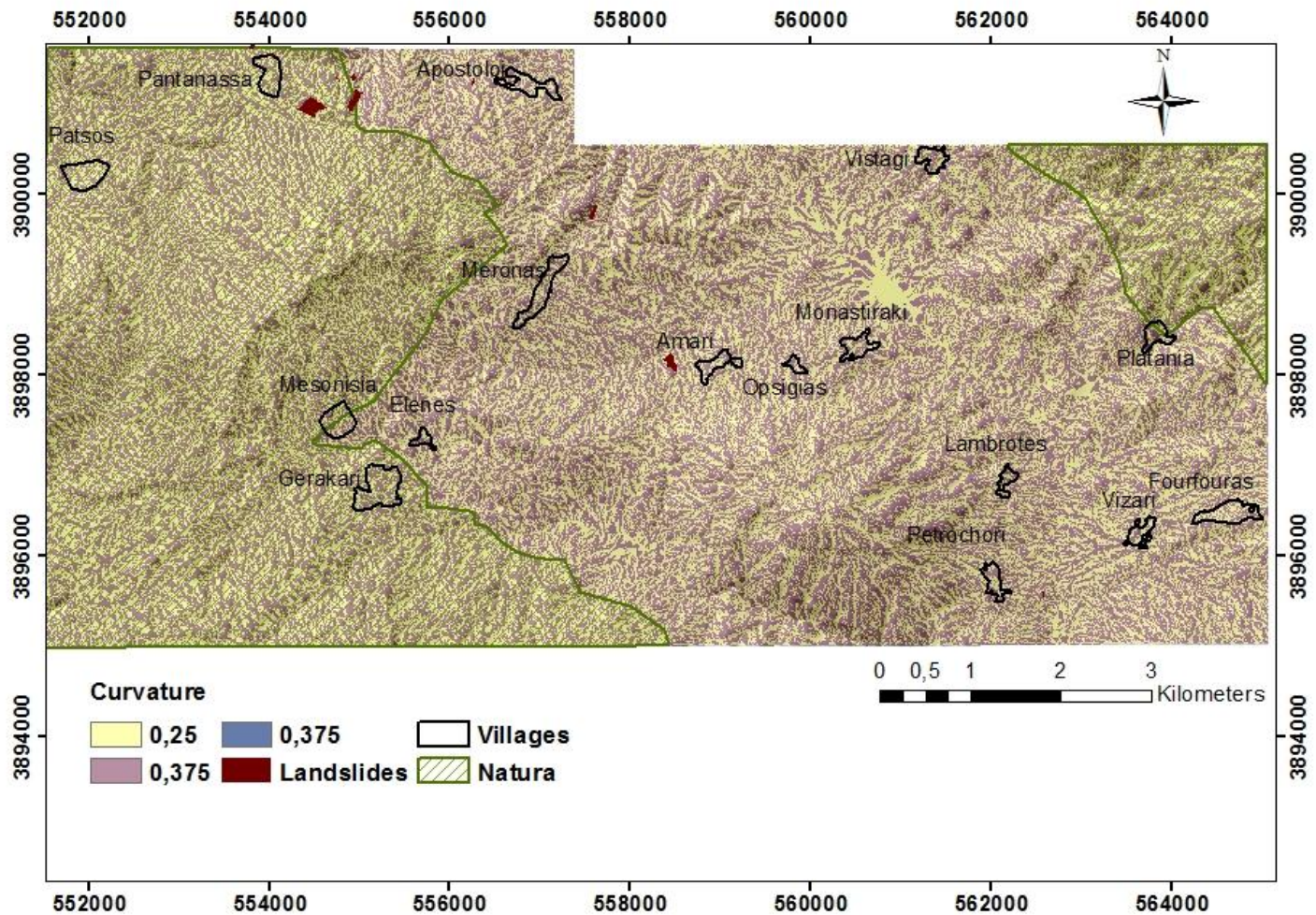
Εικόνα 23: Βαθμονομημένος χάρτης κλίσεων των πρανών.

Τα αποτελέσματα επαναταξινομήθηκαν σε τάξεις και κατόπιν βαθμονομήθηκαν βάση του πίνακα 2. Όπως παρατηρούμε [Εικόνα 23] περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από το απότομο ανάγλυφό τους (έως 45°), περιλαμβάνοντας τα χωριά Παντάνασσα στα βόρεια και Πατσός στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, βαθμολογήθηκαν με τις πιο υψηλές τιμές και παίρνοντας το χαρακτηρισμό ως πιο ευαίσθητες στα διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα. Εν αντιθέσει, περιοχές με πιο ήπιο ανάγλυφο ως και επίπεδο (έως 5°) στα ανατολικά του Νομού, χαρακτηρίζονται ως πιο ανθεκτικές και με μικρότερο δείκτη επικινδυνότητας απέναντι στα κατολισθητικά φαινόμενα. Σαν κατολισθητικός παράγοντας παίρνει την τιμή εννέα (9) επομένως θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τον τελικό κατολισθητικό χάρτη.



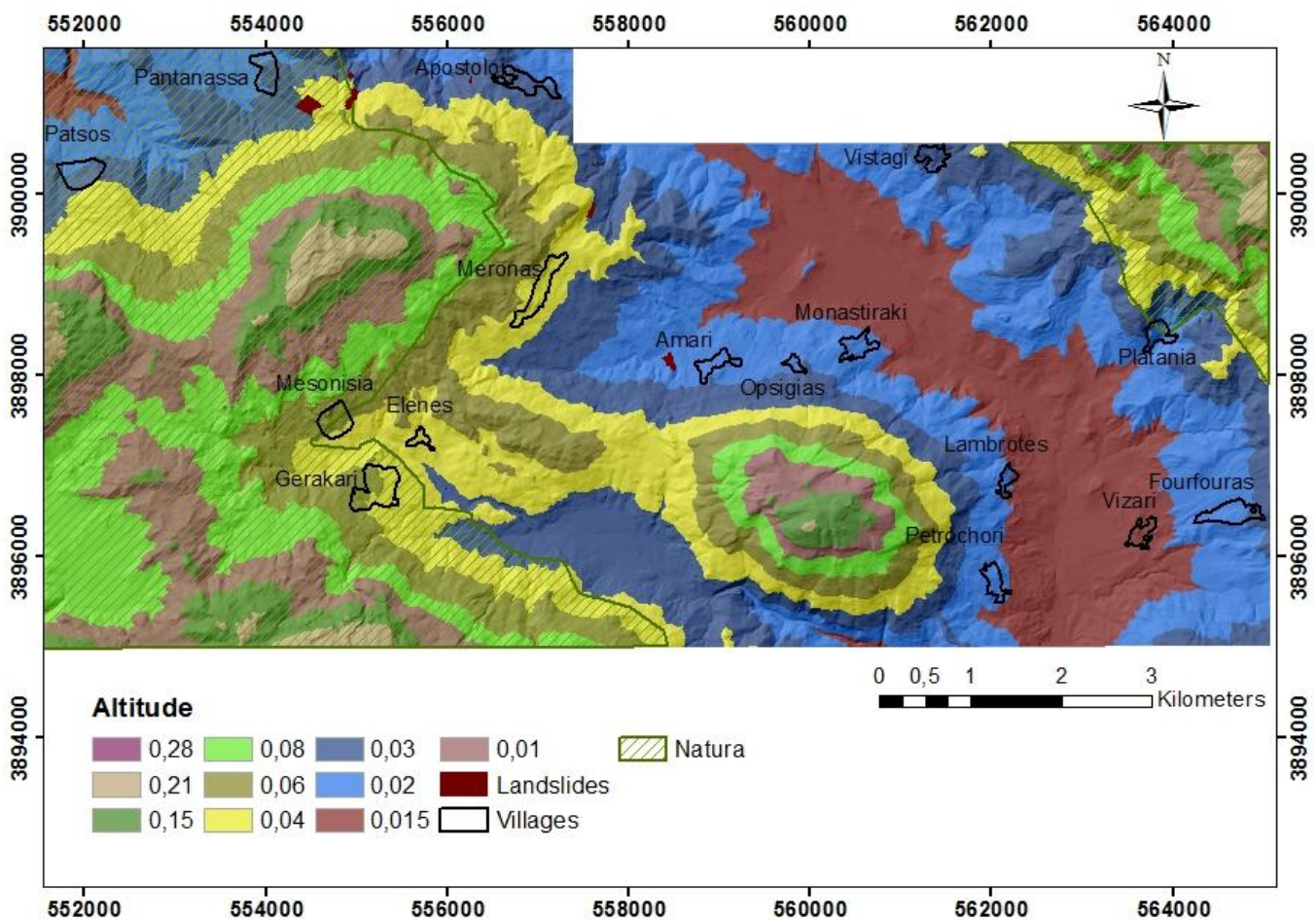
Εικόνα 24: Βαθμονομημένος χάρτης προσανατολισμού πρανών.

Σύμφωνα με τον πίνακα 2 και κατά τη βαθμονόμηση [Εικόνα 24] παρατηρούμε να αποδίδονται μεγαλύτερες βαρύτητες σε περιοχές που προσανατολίζονται Δυτικά και Βόρεια καθώς οι ίδιες βάση και του χάρτη βαθμολογούνται μέγιστα. Μικρότερης σημασίας αλλά υπολογίσιμης εμφανίζονται περιοχές που προσανατολίζονται στα Βορειοανατολικά και Νοτιοδυτικά παίρνοντας ενδιάμεσες τιμές βαρύτητας και τελικώς περιοχές οι οποίες προσανατολίζονται Νοτιοανατολικά ή δεν έχουν κανενός είδους προσανατολισμό αποτελούν ελάχισσωνα δείκτη επικινδυνότητας για κατολισθητικά φαινόμενα.



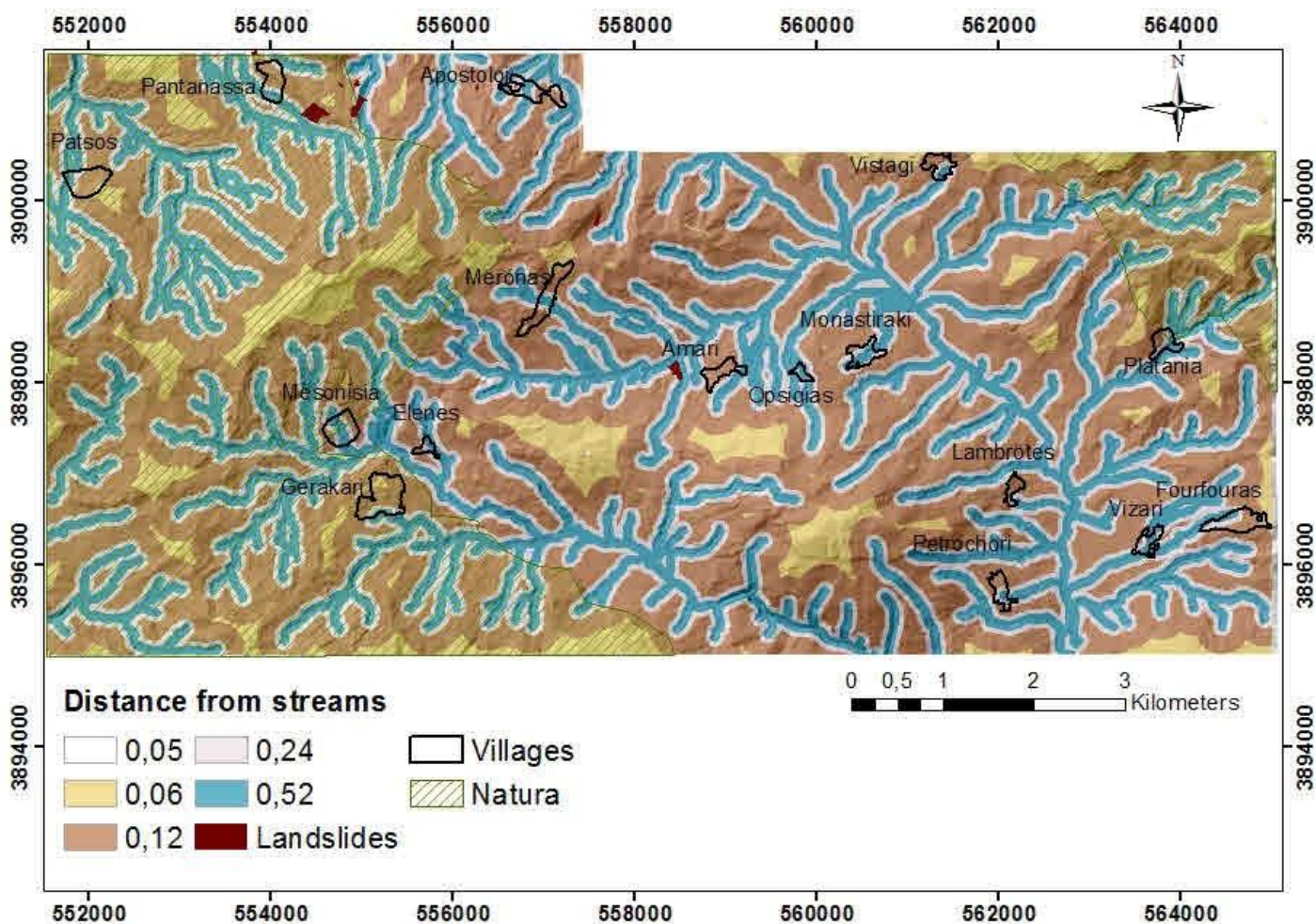
Εικόνα 25: Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας των πρανών.

Βάση του βαθμονομημένου χάρτη και σε συνεργασία με τον πίνακα 2 μέγιστες τιμές βαθμονόμησης αποδόθηκαν σε περιοχές των οποίων η καμπυλότητα χαρακτηρίζεται κυρτή και κοίλη και ως εκ τούτου χαρακτηρίστηκαν ως περιοχές πιο επιρρεπείς σε μελλοντικά κατολισθητικά φαινόμενα [Εικόνα 25]. Εν αντιθέσει, περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως επίπεδες θεωρούνται αμελητέες όσον αφορά την επικινδυνότητα για τέτοιου είδους φαινόμενα. Σαν κατολισθητικός παράγοντας η καμπυλότητα των πρανών θεωρείται χαμηλού ρίσκου, επομένως δε θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τον τελικό κατολισθητικό χάρτη.



Εικόνα 26: Βαθμονομημένος χάρτης σχετικού υψομέτρου.

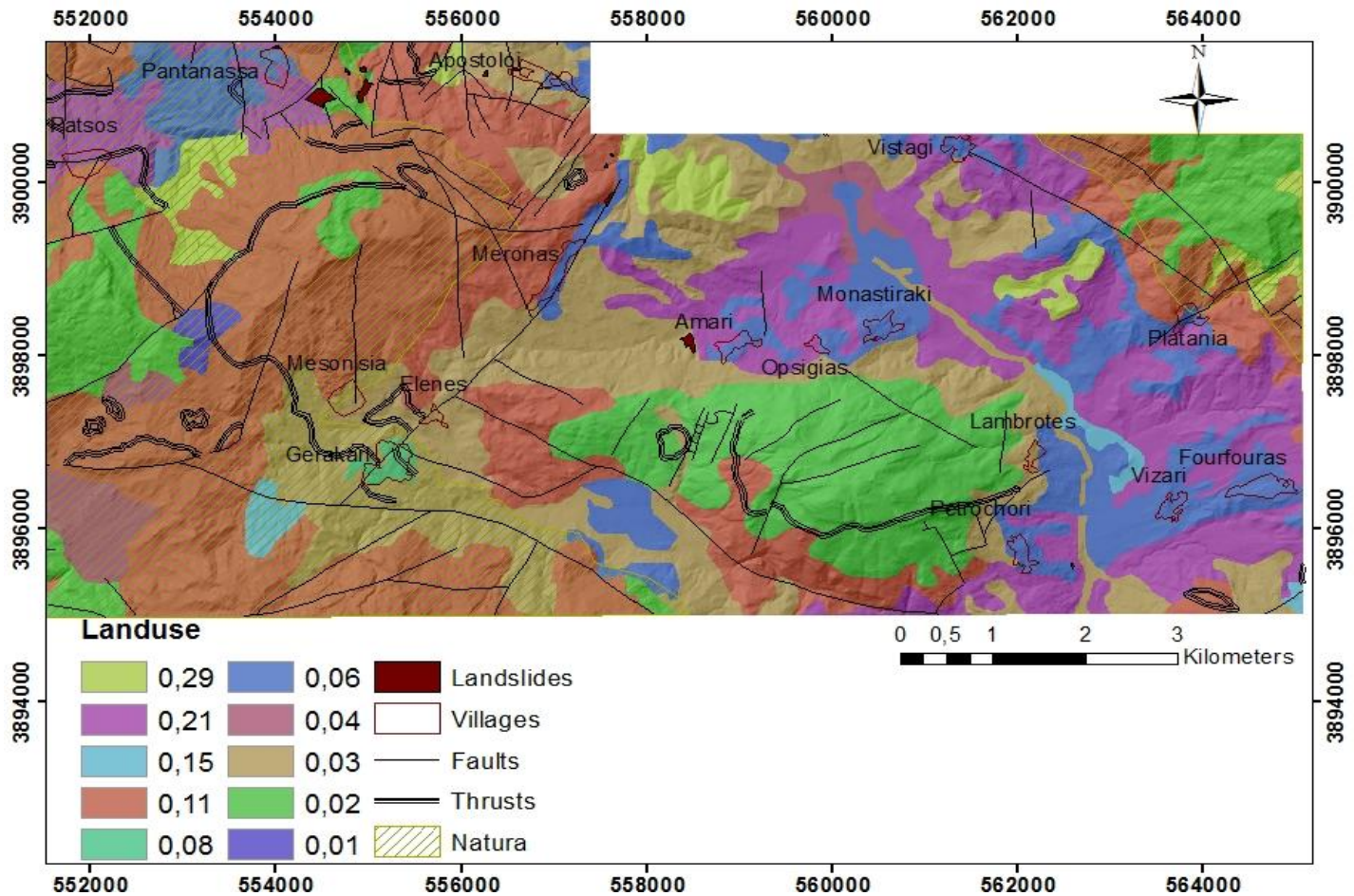
Παρατηρώντας το χάρτη παρατηρούμε πως περιοχές του Νομού στα Νότια και Δυτικά, οι οποίες χαρακτηρίζονται από το υψηλό υψόμετρό τους, βαθμονομούνται με μέγιστες τιμές με καταληκτική τιμή αυτή των 0,28 και αποδίδουν στη πραγματικότητα το υψηλό ρίσκο που φέρουν για πρόκληση κατολισθητικών φαινομένων [Εικόνα 26]. Εντούτοις σαν κατολισθητικός παράγοντας χαρακτηρίζεται ως μικρότερης σημασίας και επομένως δε θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τον τελικό κατολισθητικό χάρτη.



Εικόνα 27: Βαθμονομημένος χάρτης αποστάσεων από τα ποτάμια.

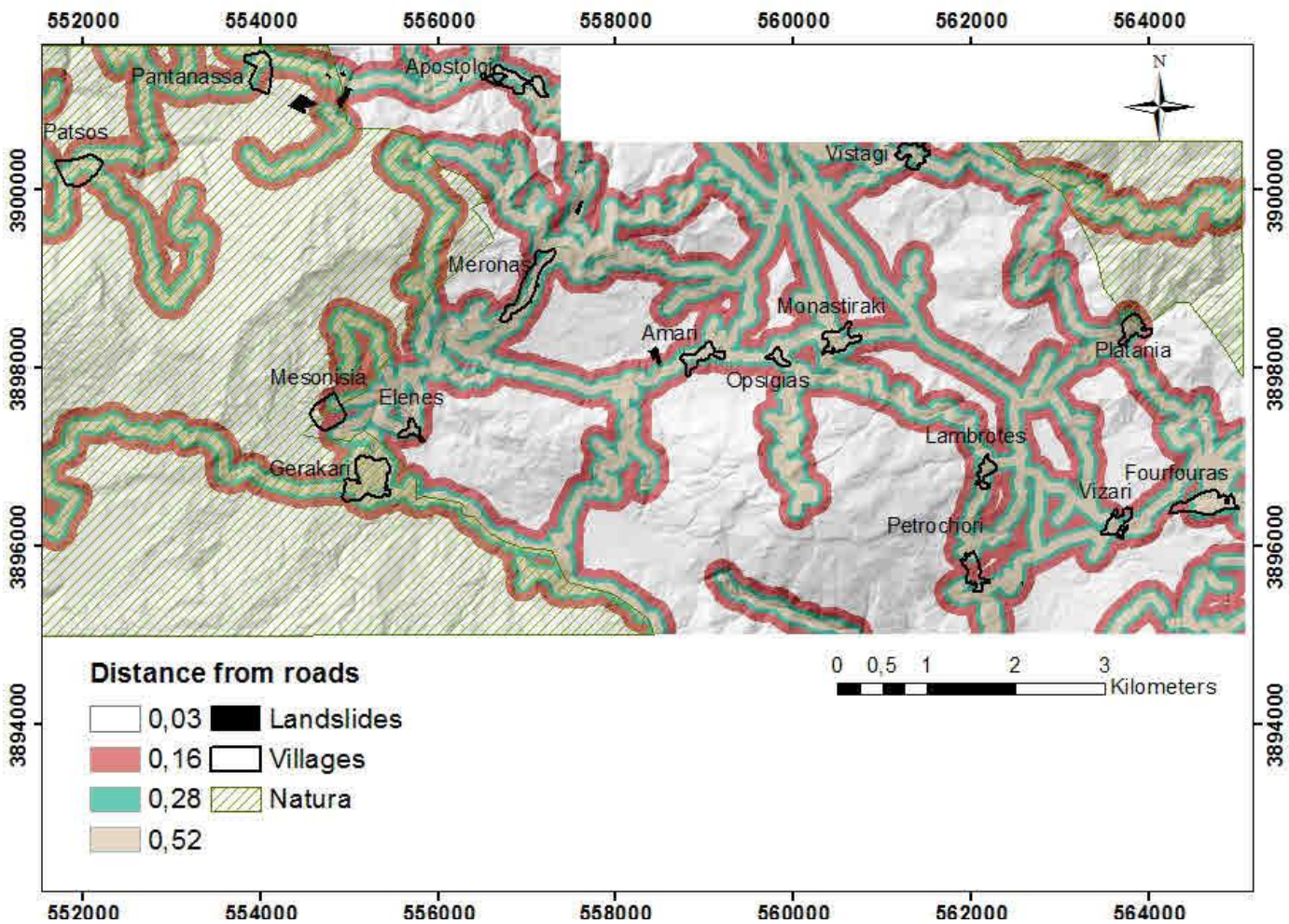
Με βάση και τον αρχικό χάρτη παρουσίασης των διαφόρων αποστάσεων από τα ποτάμια παρατηρήσαμε πως περιοχές οι οποίες πλησιάζουν τις όχθες [Εικόνα 27] των ποταμών σε απόσταση μέχρι και τα πενήντα (50) μέτρα θεωρούνται επιρρεπείς και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό για κατολισθητικά φαινόμενα. Αντίθετα, όσο απομακρυνόμαστε από τις

όχθες των ποταμών και σε αποστάσεις της τάξεως των εξακοσίων (600) μέτρων και πάνω μειώνεται και ο κίνδυνος παρουσίασης τέτοιων φαινομένων .



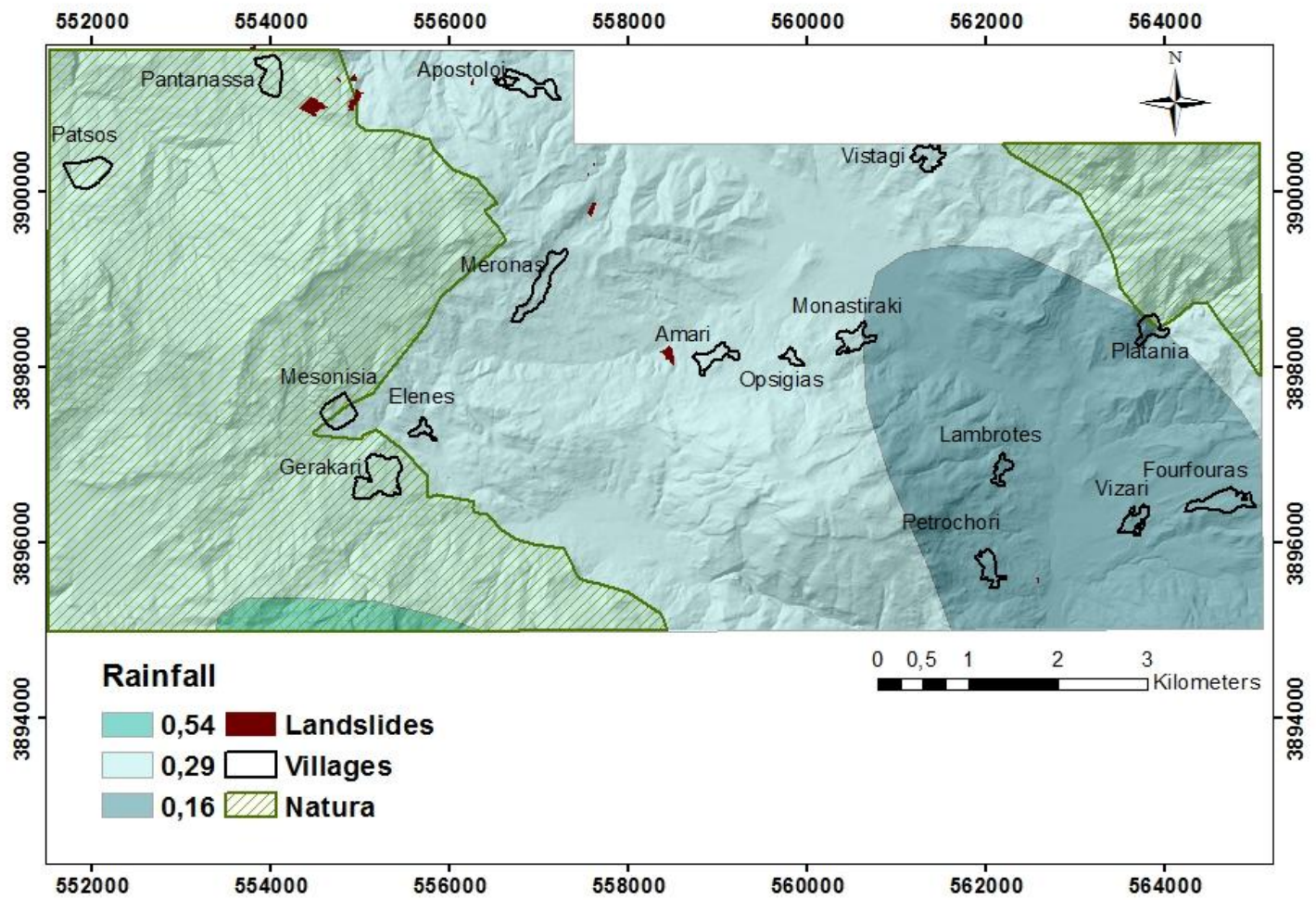
Εικόνα 28: Βαθμονομημένος χάρτης χρήσεων γης.

Κατά τη βαθμονόμηση σύμφωνα με τον πίνακα 2 μέγιστες τιμές αποδόθηκαν σε περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως αραιά καλλιεργημένες[Εικόνα 28], αφήνοντας γυμνό το έδαφος χωρίς ριζικό σύστημα να συγκρατεί το έδαφος σε περιπτώσεις έντονου κερματισμού του ανάγλυφου και ως εκ τούτου μη προστατευμένο απέναντι στα διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα. Τις μικρότερες τιμές τις πήραν περιοχές καλλιεργημένες από ελαιώνες και αμπελώνες και από εκτάσεις κωνοφόρων δασέων, χωρίς να δρουν καταλυτικά στην εξέλιξη κατολισθητικών φαινομένων. Σαν κατολισθητικός παράγοντας πήρε μία από τις μεγαλύτερες τιμές βαρύτητας, επομένως αναμένεται να επηρεάσει τον τελικό κατολισθητικό χάρτη σε σημαντικό βαθμό.



Εικόνα 29: Βαθμονομημένος χάρτης αποστάσεων από τους δρόμους.

Βάση της εικόνας 29 παρατηρούμε πως περιοχές σε αποστάσεις κοντινές από τα όρια του οδικού δικτύου (έως 50 μέτρα) από επηρεάζονται άμεσα, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανότητες εμφάνισης μελλοντικών κατολισθητικών επεισοδίων για αυτό το λόγο και βαθμολογούνται και με τη μέγιστη τιμή των 0,52. Σαν κατολισθητικός παράγοντας θεωρείται μέτριας σημασίας οπότε δε θα επηρεάσει ιδιαίτερα τον τελικό κατολισθητικό χάρτη.



Εικόνα 30: Βαθμονομημένος χάρτης βροχοπτώσεων.

Με βάση την εικόνα 30 παρατηρούμε πως στο μεγαλύτερο μέρος του Νομού κατακλύζεται από βροχοπτώσεις τις τάξεις περίπου των 1400 χιλιοστών (mm) ετησίως, πράγμα βάση του οποίου συνεπάγεται η μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων, βάση του παράγοντα αυτού. Για αυτό το λόγο του αποδίδεται η μέγιστη τιμή των 0,54. Σαν κατολισθητικός παράγοντας του δίνεται η βαρύτητα οχτώ (8) επομένως κατατάσσεται σε έναν από τους παράγοντες που θα επηρεάσουν σημαντικά τον τελικό κατολισθητικό χάρτη.

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας όλως των κατολισθητικών παραγόντων.

Όλοι οι κανονικοποιημένοι δείκτες												
CR=0,0102												
(1) Geology	1,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00	3,00	2,00	5,00	5,00	5,00	0,2141
(2) Landuse	0,33	1,00	1,00	2,00	0,50	0,50	1,00	0,50	3,00	3,00	3,00	0,0799
(3) Rainfall	0,33	1,00	1,00	2,00	0,50	0,50	1,00	0,50	3,00	3,00	3,00	0,0799
(4) Distance from roads	0,25	0,50	0,50	1,00	0,33	0,33	0,50	0,33	2,00	2,00	2,00	0,0491
(5) Distance from faults	0,50	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00	4,00	4,00	4,00	0,1346
(6) Distance from thrusts	0,50	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00	4,00	4,00	4,00	0,1346
(7) Distance from streams	0,33	1,00	1,00	2,00	0,50	0,50	1,00	0,50	3,00	3,00	3,00	0,0799
(8) Slope Angle	0,50	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00	4,00	4,00	4,00	0,1346
(9) Altitude	0,20	0,33	0,33	0,50	0,25	0,25	0,33	0,25	1,00	1,00	1,00	0,3080
(10) Slope Aspect	0,20	0,33	0,33	0,50	0,25	0,25	0,33	0,25	1,00	1,00	1,00	0,0308
(11) Slope Shape	0,25	0,33	0,33	0,50	0,25	0,25	0,33	0,25	1,00	1,00	1,00	0,0318

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΤΕΛΙΚΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Ο δείκτης κατολισθητικής ευαισθησίας (landslide susceptibility index, LSI) για κάθε κατολισθητικό παράγοντα εξάγεται από το άθροισμα των τελικών θεματικών χαρτών, μετά από τον πολλαπλασιασμό τους με τους αντίστοιχους κανονικοποιημένους δείκτες, όπως αυτοί αναδεικνύονται στον πίνακα 3. Ο τρόπος υπολογισμού του δείκτη παρουσιάζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$LSI = \sum_{i=1}^n Weight * Class Rate$$

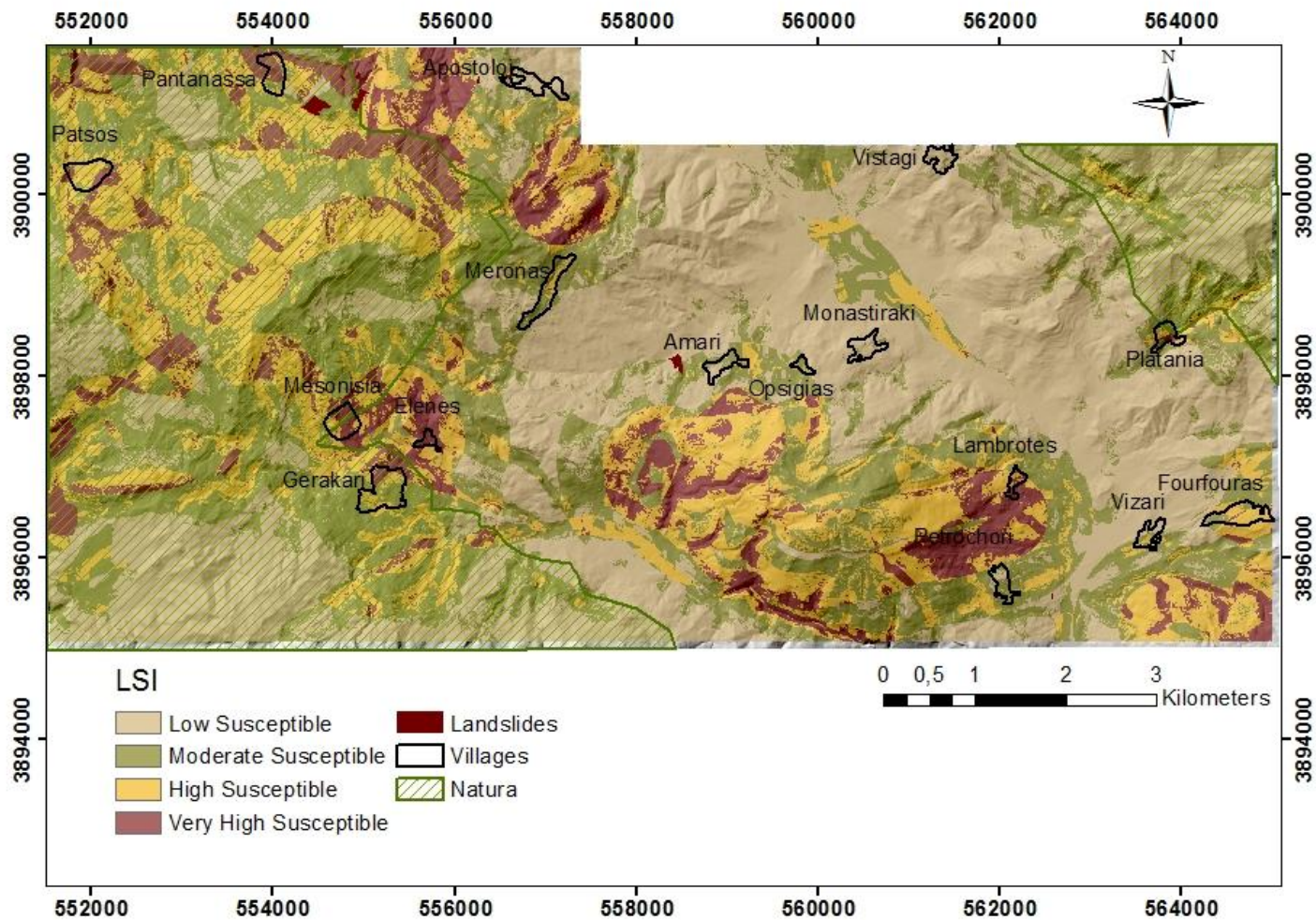
Όπου n, ο συνολικός αριθμός των κατολισθητικών παραγόντων.

Αναλυτικά :

LHI = 10 * Γεωλογικές ενότητες + 8 * Χρήσεις γης + 8 * Βροχοπτώσεις + 7 * Αποστάσεις από τους δρόμους + 9 * Αποστάσεις από τα ρήγματα + 9 * Αποστάσεις από τις επωθήσεις + 8 * Αποστάσεις από τα ποτάμια + 9 * Κλίση πρηνών + 6 * Σχετικό Υψόμετρο + 6 * Προσανατολισμός πρηνών + 6 * Καμπυλότητα πρηνών

Ο χάρτης [Εικόνα 31] ο οποίος απεικονίζει το δείκτη κατολισθητικής ευαισθησίας παρήχθη μέσα σε μία βάση ψηφιδωτού μέσα στο λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις ζώνες ευαισθησίας, δηλαδή χαμηλή, μέτρια, υψηλή, πολύ υψηλή, με τέτοιο τρόπο που το 40% περίπου της περιοχής μελέτης παίρνει τις χαμηλές τιμές του δείκτη, το 30% παίρνει τις μέτριες τιμές, το 20% παίρνει τις υψηλές τιμές και το 10% τις πολύ υψηλές.

Στις περιοχές που χαρακτηρίζονται με υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα συνυπάρχουν κυρίως παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρηνών, όπως η γεωμορφολογία της περιοχής (γεωλογικές ενότητες φλύσχη, χαλαρές τεταρτογενής αποθέσεις, απόσταση περιοχών από αυτές και η υψηλή κλίση πρηνών), το σύνολο των βροχοπτώσεων που δέχεται περιοχή μελέτης καθώς και η απόσταση από τις επιφανειακές απορροές, και εν τέλει από τις χρήσεις και καλύψεις της γης.



Εικόνα 31: Τελικός κατολισθητικός χάρτης επικινδυνότητας εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων.

Παρατηρώντας την εικόνα 30 συμπεραίνουμε στα Βόρεια και Νοτιοανατολικά του Νομού παρουσιάζεται μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων καθώς αυτό επαληθεύεται και με τα ήδη καταγεγραμμένα κατολισθητικά φαινόμενα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Η διαδικασία της επαλήθευσης απέδειξε ότι οι παραγόμενοι κατολισθητικοί χάρτες είναι σημαντικοί για τη διαχείριση της υποβάθμισης της γης και του σχεδιασμού της περιοχής μελέτης. Αν και τα αποτελέσματα της Αναλυτικής Μεθόδου Ιεράρχησης ποικίλλουν ανάλογα με την υποκειμενική γνώση των εμπειρογνομώνων, σε περιπτώσεις όπου η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων είναι υψηλή και οι κατολισθητικοί παράγοντες στάθμισης και αξιολόγησης έχουν αποδοθεί ορθά, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ικανοποιητικά.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, περιοχές υψηλού κινδύνου χαρακτηρίζονται αυτές οι οποίες υπόκεινται σε κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, θα πρέπει δηλαδή να συναποτελούνται από εύθραυστους γεωλογικούς σχηματισμούς (φλύσχη, μεταμορφωμένα πετρώματα, Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις) με εκτεταμένο τεκτονικό κερματισμό, που βρίσκονται σε τμήματα με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο, πυκνό δίκτυο αποχέτευσης και οδικό δίκτυο και εκτεταμένες ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, το σύστημα αξιολόγησης των κατολισθήσεων ορίστηκε αναλόγως, ώστε να επισημαίνει τις περιοχές υψηλού κινδύνου για κατολισθήσεις.

Η διαδικασία επαλήθευσης επιβεβαίωσε την ακρίβεια των ενδεικνυόμενων επικίνδυνων περιοχών, καθώς και τη διαδικασία ρύθμισης του δείκτη κατολισθητικής ευαισθησίας (landslide susceptibility index, LSI). Όπως παρουσιάζεται στους χάρτες επικινδυνότητας, η πλειονότητα των ενεργών κατολισθήσεων βρίσκεται σε περιοχές υψηλού ή πολύ υψηλού κινδύνου. Αυτές οι περιοχές εκ των πραγμάτων καταλαμβάνονται από ευάλωτους σε κατολισθήσεις γεωλογικούς σχηματισμούς.

Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι η ένταξη της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών προωθούν και παράλληλα υποστηρίζουν τις γεωλογικές μελέτες, οι οποίες αφορούν την κατολισθητική τρωτότητα μικρών και ευάλωτων περιοχών. Ακόμα, το μεγάλο όφελος του Ψηφιακού Μοντέλου Ανύψωσης είναι εμφανές, καθώς τα τέσσερα (4) από τα εννέα (9) απαραίτητα επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν, παρήχθησαν χρησιμοποιώντας υψομετρικά δεδομένα.

Τελικά η διαδικασία αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης της λήψης αποφάσεων και για τη συνεχή παρακολούθηση των περιοχών οι οποίες χαρακτηρίζονται ως επιρρεπείς όσον αφορά τα διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα.

REFERENCES

- [1] Brabb, E.E., “Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping”, Proc., Fourth International Symposium on Landslides, vol. 1. Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, 307–324 (1984).
- [2] Fall, M., Azam, R., Noubactep, C., “A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping”, *Engineering Geology* 82 (4): 241–263 (2006).
- [3] Lee, E.M., Jones, D.K.C., “Landslide Risk Assessment”, Thomas Telford, London, 454 pp. (2004).
- [4] Castellanos Abella, E.A. and van Westen, C.J., “Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba”, *Geomorphology*, 94 (3-4):453-466 (2008).
- [5] Nash, D., “A comparative review of limit equilibrium methods of slope stability analysis”, in: M.G. Anderson and K.J. Richards, Editors, *Slope Stability*, Wiley, New York, pp. 11–75 (1987).
- [6] Anbalagan, D., “Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain”, *Engineering Geology* 32:269–277 (1992).
- [7] Fell, R., Walker, B., Finlay, P., “Estimating the probability of landsliding”, Proc. 7th Austr. New Zeal. Conf. on Geomechanics, Adelaide, Institute of Engineers, Australia, Canberra, pp. 304–311(1996).
- [8] Leroi, E., “Landslide risk mapping: problems, limitation and developments”, in: Cruden and Fell, Editors, *Landslide Risk Assessment*, Balkema, Rotterdam, pp. 239–250 (1997).
- [9] Guzetti, F., Carrarra, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy”, *Geomorphology* 31:181–216 (1999).
- [10] Saaty, T.L., “The Analytical Hierarchy Process”, McGraw Hill, New York (1980).
- [11] Barredo, J.I., Benavides, A., Hervas, J., Van Westen, C.J., “Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2:9–23 (2000).
- [12] Yalcin, A., “GIS –based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations”, *Catena* 72: 1-12 (2008).
- [13] Mondal, S., Maiti, R., “Landslide Susceptibility Analysis of Shiv-Khola Watershed, Darjiling: A Remote Sensing & GIS Based Analytical Hierarchy Process (AHP)”, *Journal of Indian Society of Remote Sensing* Vol. 40, 3, pp 483-496 (2012).

- [14] Kayastha, P., Dhital, M.R., De Smedt, F., “Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau watershed, west Nepal”, *Computers and Geosciences* 52: 398-408 (2013).
- [15] Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Aghda, S.M., “Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances”, *Nat Hazards* DOI 10.1007/s11069-013-0728-5 (2013).
- [16] Alexakis, D.D., Agapiou, A., Tzouvaras, M., Themistocleous, K., Neocleous, K., Michaelides, S., Hadjimitsis, D.G., “Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of Paphos area in Cyprus”, *Nat Hazards* doi:10.1007/s11069-013-0770-3 (2013).
- [17] Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., “Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan”, *Landslides* 1:73–81 (2004a).
- [18] Ayalew, L., Yamagishi, H., Watanabe, N., Marui, H., “Landslide susceptibility mapping using a semi-quantitative approach, a case study from Kakuda-Yahiko Mountains, Niigata, Japan”, In: M. Free and A. Aydin Editors, *Proceedings of the 4th Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment*, Geological Society of Hong Kong 7:99–105 (2004b).
- [19] Ayalew, L., Yamagishi, H., “The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, Central Japan”, *Geomorphology* 65:15–31 (2005).
- [20] Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., Vallianatos, F., “Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece”, *Natural hazards* 52 (3), 599-621 (2010).
- [21] Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., “Landslide movements in Greece: Engineering geological characteristics and environmental consequences”, *Proceedings of International Symposium of Eng. Geol. and the Envar, IAEG, Balkema, Rotterdam*, pp. 789-792 (1997).
- [22] Stocking, M.A., “Relief analysis and soil erosion in Rhodesia using multi- variate techniques”, *Zeitschrift fur Geomorphologie* 16, 432–443 (1972).
- [23] Saaty, T.L., “A scaling method for priorities in hierarchical structures”, *Journal of Mathematical Psychology* 15, 234–281 (1977).
- [24] Saaty, T.L., “The Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process”, Vol VI. RWS Publications, 2nd ed., Pitsburg 478 pp. (2000).

- [25] Saaty, T.L., Vargas, L.G., “Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process”, Kluwer, Dordrecht 333 pp. (2001).
- [26] Long, N.T., De Smedt, F., “Application of an analytical hierarchical process approach for landslide susceptibility mapping in A Luoi district, Thua Thien Hue Province, Vietnam”, *Environmental Earth Sciences* 66 (7), 1739–1752 (2012).
- [27] Malczewski, J., “GIS and multi-criteria decision analysis”, Wiley, New York, p 392 (1999).
- [28] Chung, C.J.F., and Fabbri, A.G., “Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65:1389–1399 (1999).
- [29] van Westen, C.J., Lulie Getahun, F., “Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models”, *Geomorphology* 54, 77–89 (2003).
- [30] Begueria, S., “Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management”, *Nat Hazards* 37:315–329 (2006).
- [31] <http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/3462/1/Dimas.pdf>
- [32] http://envi.teiion.gr/assets/files/Envi%20Management%20Section/GIS_LABs/KAB7_DEMs.pdf
- [33] http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/geotechATM/7%20%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_Landslides.pdf