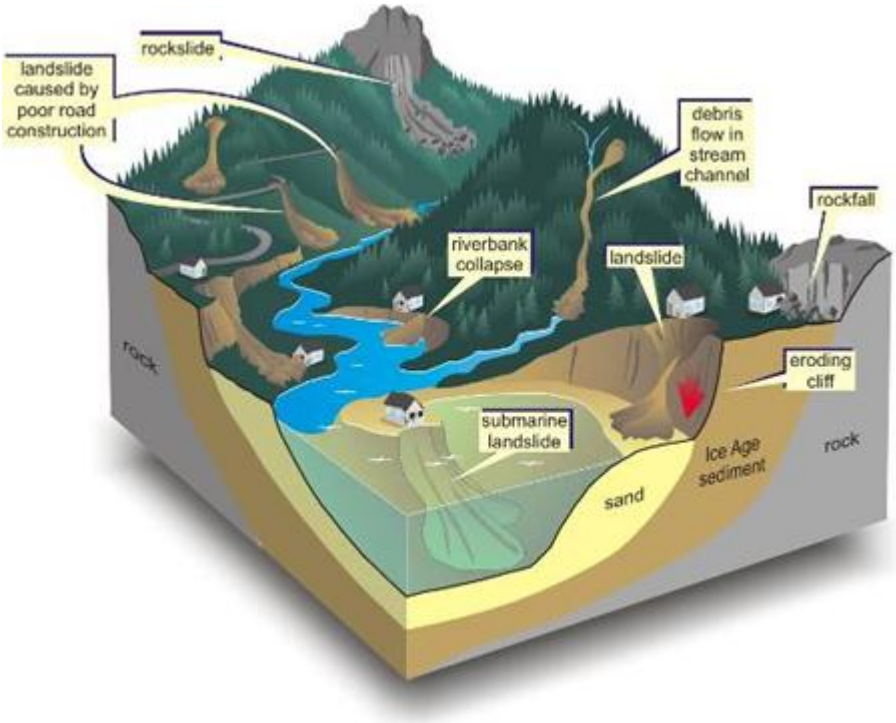
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ& ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ...ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ..

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ .....ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ.....



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Δημιουργία χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Ν. Ρεθύμνης χρησιμοποιώντας μεθόδους Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)"

Βαβούρα Δέσποινα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Δρ. Κούλη Μαρία(Ph.D.)

ΧΑΝΙΑ 2010

Αφιέρωση

Στους γονείς μου Στέφανο και Κυριακή, στα αδέρφια μου Μιχάλη και Δημήτρη και σε όλα τα αγαπημένα μου πρόσωπα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου κ. Μαρία Κούλη για την επίβλεψη και την καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας και επιπλέον για τις σημαντικές εμπειρίες που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εργασίας μου στο Εργαστήριο Γεωπληροφορικής.

Ευχαριστώ, επίσης, τη φίλη μου Σοφία για τη συμπαράσταση και την ηθική υποστήριξή της όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου στα Χανιά.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τα αδέρφια μου που με στήριξαν και με στηρίζουν, όχι μόνο στις σπουδές μου, αλλά σε όλους τους τομείς της ζωής μου.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. *Δρ. Κούλη Μαρία*
2. *M. Sc. Παπαδόπουλος Ηλίας*
3. *Δρ. Σουπιός Παντελής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιήθηκε η μέθοδος των βαθμονομήσεων γραμμικού συνδυασμού (weighted linear combination - W.L.C.) στην περιοχή που υποφέρει από διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα και η οποία βρίσκεται εντός των γεωγραφικών ορίων του Ν. Ρεθύμνης. Πρόκειται για μια ημιποσοτική μέθοδο ανάλυσης επικινδυνότητας, η οποία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Γ.Σ.Π. – G.I.S.) Τα ψηφιακά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά παρήχθησαν από τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες και έναν χάρτη κάλυψης γης, για την αναπαράσταση και μοντελοποίηση των κύριων παραγόντων που προκαλούν κατολισθητικά φαινόμενα, όπως η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών και οι βροχοπτώσεις.

Με ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών και των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης, με την δημιουργία των απαραίτητων θεματικών επιπέδων και με την μετέπειτα επεξεργασία τους καταλήξαμε στην δημιουργία διαφόρων χαρτών, όπως για παράδειγμα τον χάρτη κλίσης πρανών και βροχοπτώσεων, οι οποίοι στη συνέχεια βαθμονομήθηκαν.

Τελικά, με υπολογισμό του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας με την χρήση εξίσωσης, προέκυψε ο χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας ο οποίος δείχνει ότι η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλές και πολύ υψηλές τιμές επικινδυνότητας. Τα αποτελέσματα επαληθεύτηκαν με προϋπάρχοντα καταγεγραμμένα σημεία όπου έχουν υποστεί κατολισθήσεις στον Νομό Ρεθύμνης.

ABSTRACT

In the current work, was carried out the method of weighted linear combination (W.L.C.) in the area that suffers from several landslides phenomena and situated within the geographical limits of Rethymno Prefecture. This is about a semiquantitive hazard analysis method that was adopted in a Geographic Information Systems (G.I.S.) environment. The digital data for deriving which is particularly important obtained from topographical and geological maps and a land cover map, to represent and modeling the main factors that cause landslides phenomena as the inclination and orientation of slope and rainfall.

With digitization of geological formations and faults of the study area by creating the necessary thematic levels and then we processed to create various maps, such as the slope gradient map and rainfalls, which then calibrated.

Finally, by calculating the landslide hazard index by using the equation, showed the landslide hazard index map, which shows that the region is characterized by high and very high prices hazards. The results were verified with recorded points where landslides have been in the Prefecture of Rethymno.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ……...…..…9

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ…….……....10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ : ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-GIS

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ……...12

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ……...…..13

1.3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-GIS……...15

1.3.1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ-ΔΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....18

1.3.2. ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (VECTOR)……...21

1.3.3. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΑΒΟΥ (RASTER)……..25

1.4. ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ…….....26

1.4.1. ΕΙΔΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ……..29

1.4.1.1. ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΓΩΝΩΝ (TIN)……...29

1.4.1.2. ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (LATTICE, GRID).....30

1.5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ Γ.Σ.Π…….31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ…….33

2.2. Η ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ…….36

2.3. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ…….37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ……...41

3.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ……42

3.3. ΕΙΔΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ……..42

3.4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ……...49

3.5. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ…….…….....52

3.6. ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ…….....54

3.7. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ……56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ArcGIS

4.1. ΓΕΝΙΚΑ……...…58

4.2. ΤΟ ArcGIS DESKTOP…….....58

4.2.1.ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ArcCATALOG…….60

4.2.2.ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ArcMAP…….....61

4.2.3.ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ArcTOOLBOX…….63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ Γ.Σ.Π……....64

5.1.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ……64

5.1.2. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΔΩΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ…….……65

5.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ……..68

5.2.1. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ…….68

5.2.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ…….69

5.3. ΘΕΜΑΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ (LAYERS)……...70

5.3.1. ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ (SLOPE)……70

5.3.2. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΡΑΝΩΝ (ASPECT)……...72

5.3.3. ΣΧΕΤΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ……..74

5.3.4. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ……75

5.3.5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ……..76

5.3.6. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΡΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ…….78

5.3.7. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΡΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΝ……....79

5.3.8. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ……....80

5.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ….83

5.5. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ……...85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ……...95

6.2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ……..99

6.3.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ NATURAL BREAKS – EQUAL INTERVAL…….108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……...112

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……..……..114

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ……..……..

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Ν. Ρεθύμνης χρησιμοποιώντας μεθόδους Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η διεκπεραίωσή της έγινε στο εργαστήριο Γεωπληροφορικής.

Ξεκινώντας με το κεφάλαιο 1, αναφέρονται κάποιες γενικές πληροφορίες για την χαρτογραφία και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Ειδικότερα γίνεται μια πιο εκτενής ανάλυση στην ψηφιακή αναπαράσταση και στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη γεωλογία της Κρήτης και ειδικότερα της υπό μελέτη περιοχής, το Νομό Ρεθύμνης, καθώς επίσης αναλύεται η στρωματογραφία της περιοχής. Εν συνεχεία στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται λόγος γενικά για τα κατολισθητικά φαινόμενα και τα είδη τους, τους παράγοντες που συμβάλουν στην εκδήλωση των φαινομένων, τα αίτια που τα προκαλούν και τους τρόπους αντιμετώπισης τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό του ArcGIS και το περιβάλλον εργασίας του. Αναλυτικότερα βλέπουμε πως μπορούμε να εργαστούμε στο πρόγραμμα με τα τρία βασικά περιβάλλοντα εργασίας του ArcDesktop, τα οποία είναι ο ArcCatalog, ο ArcMap και ο ArcToolbox.

Έπειτα στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση της ανάπτυξης των Γ.Σ.Π., δηλαδή της συγκέντρωσης και της επεξεργασίας των δεδομένων. Ακολουθεί η ψηφιοποίηση και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτή και παρουσιάζονται τα θεματικά επίπεδα που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των χαρτών. Τέλος αυτού του κεφαλαίου αποτελεί ο υπολογισμός του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας και έπειτα οι βαθμονομημένοι τελικοί χάρτες. Το κεφάλαιο αυτό απαρτίζει το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, το οποίο συνθέτει τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης, παρουσιάζεται ο τελικός χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας. Στη συνέχεια ο χάρτης αυτός προβάλλεται και ανά περιοχές με σκοπό να φαίνονται μεγεθυμένες οι περιοχές που πλήττουν από κατολισθητικά φαινόμενα.

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τα κεφάλαια ένα προς ένα με μεγαλύτερη διερεύνηση.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

GIS : Geographical Information System

Γ.Σ.Π : Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

CGIS : Canadian Geographical Information System

ΙΓΜΕ : Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

ΕΜΥ : Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

GPS : Global Position System

Vector: Διανυσματικά

Raster: Ψηφιδωτά

Layers: Επίπεδα

Attribute table : Πίνακας Ιδιοτήτων

WLC : Weighted Linear Combination

ΨΜΕ : Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ESRI : Economic and Social Research Institute

ΕΓΣΑ ’87 : Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987

AHP: Analytic Hierarchy Process

LHI : Landslide Hazard Index

Β : Βόρεια

Δ : Δυτικά

Ν : Νότια

Α : Ανατολικά

Spatial analyst : Χωρική Ανάλυση

Natural breaks : Φυσικά διαστήματα (αποστάσεις)

Equal interval : Ίσες Αποστάσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-GIS

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ

Χαρτογραφία ονομάζεται η επιστήμη που περιλαμβάνει ένα σύνολο προσδιορισμένων μελετών, τεχνικών ακόμη και καλλιτεχνικών εργασιών που αφορούν απεικονίσεις, υπό κλίμακα, της επιφάνειας της Γης για την 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 [1] .Συνδέεται επίσης με τις επιστήμες της Γεωδαισίας, της Τοπογραφίας, της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης, των οποίων το κύριο αντικείμενο είναι η συλλογή δεδομένων.

Η επιστήμη της χαρτογραφίας χωρίζεται σε κλάδους, οι οποίοι ασχολούνται με επιμέρους γνωστικά αντικείμενα:

Στην «Μαθηματική Χαρτογραφία», η οποία ασχολείται με τον τρόπο απόδοσης μιας μη-επίπεδης επιφάνειας σε επίπεδη με τη βοήθεια μαθηματικών προβολών, καθώς και τους τρόπους μοντελοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων μέσω μεθόδων παρεμβολής, εξομάλυνσης και γενίκευσης.

Στην «Θεματική Χαρτογραφία», η οποία ασχολείται με την επεξεργασία και απόδοση της θεματικής (μη-γεωμετρικής) πληροφορίας, ενώ κάποιο ιδιαίτερο κομμάτι της ασχολείται με τη μελέτη του συμβολισμού και των χρωμάτων που χρησιμοποιούνται, όπως και του τρόπου με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ένα χάρτη.

Την τελευταία εικοσαετία επικρατεί ο όρος «Ψηφιακή ή Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία», ο οποίος δεν αναφέρεται απλώς σε ένα τμήμα της Χαρτογραφίας, αλλά αφορά στην εξέλιξη του συνόλου των χαρτογραφικών διαδικασιών (δηλαδή της συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης, ενημέρωσης, επανατοποθέτησης και απόδοσης δεδομένων). Έτσι, πέρα από τα αντικείμενα που παραδοσιακά απασχολούν τη Χαρτογραφία, η

Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία καλύπτει ένα πλήθος δραστηριοτήτων, όπως. η αυτόματη σχεδίαση με Η/Υ, οι μεθοδολογίες συμπίεσης δεδομένων, οι τρόποι και οι μεθοδολογίες αποθήκευσης στοιχείων, οι δομές βάσεων δεδομένων, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών κλπ (Παρασχάκης κ.α., 1990). Η Ψηφιακή Χαρτογραφία, η οποία αποτελεί στην ουσία τη σύγχρονη έκφραση της Χαρτογραφίας, τείνει να αντικαταστήσει σχεδόν ολοκληρωτικά τις παραδοσιακές χαρτογραφικές μεθόδους στις διάφορες χαρτογραφικές διαδικασίες [2].

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν μέσα στους αιώνες μέσω δημιουργίας χαρτών και συλλογής γεωγραφικών πληροφοριών και αποθήκευσής τους σε καταχωρητές. Οι πρώτοι γνωστοί χάρτες σχεδιάστηκαν πάνω σε περγαμηνές για να δείξουν τα χρυσωρυχεία του Κοπτές κατά τη διάρκεια της βασιλείας του Ραμσύ ΙΙ της Αιγύπτου (1292-1225 π.Χ.) [1]. Ίσως νωρίτερα, οι Βαβυλώνιοι με επιγραφές σφηνοειδούς γραφής να περιγράφουν τον τότε γνωστό κόσμο. Αργότερα, οι Αρχαίοι Έλληνες συνέταξαν τους πρώτους πραγματικούς χάρτες. Χρησιμοποίησαν ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων γύρω στο 300 π.Χ. Περίπου 100 χρόνια αργότερα, ο Έλληνας μαθηματικός, αστρολόγος και γεωγράφος Ερατοσθένης (276-194 π.Χ.) έβαλε τα θεμέλια της επιστημονικής χαρτογραφίας. Ένας από τους πιο γνωστούς παγκόσμιους χάρτες δημιουργήθηκε από τον Κλαούντιο Πτολεμαίο στην Αλεξάνδρεια (90-168 μ.Χ.).

Αργότερα, χάρτες σχεδιάστηκαν για να διευκολύνουν τα εμπορικά ακτοπλοϊκά ταξίδια. Οι Άραβες ήταν οι καθοδηγητές χαρτογράφοι του Μεσαίωνα. Η Ευρωπαϊκή χαρτογραφία αναγεννήθηκε με την πτώση της Βυζαντινής αυτοκρατορίας και τη μετάφραση τον 15ο αιώνα του έργου Geographia του Κλαούντιου Πτολεμαίου στα Λατινικά που έγινε η τότε υπάρχουσα εικόνα του κόσμου. Παρόλο που η χαρτογραφία παραμελήθηκε, σε πολλές χώρες η καταχώρηση ιδιοκτησιών ευδοκίμησε. Το γνωστότερο παράδειγμα είναι αυτό του Μεγάλου Κτηματολογίου των περιοχών της Αγγλίας που συντάχθηκε το 1086 από τον πρώτο Νορμανδό βασιλιά, Ουίλιαμ τον κατακτητή.

Οι εξερευνήσεις του Μάρκο Πόλο, του Χριστόφορου Κολόμβου, του Βάσκο Ντε Γκάμα κ.ά. είχε σαν αποτέλεσμα, πέραν της ανάπτυξης του εμπορίου, και της δημιουργίας νέων χαρτών. Οι επιτελικοί χάρτες αποτέλεσαν τους καθοδηγητές τόσο για τοπογραφικούς χάρτες ξηράς όσο και για χάρτες πλοήγησης.

Μέχρι το 19ο αιώνα, η γεωγραφική πληροφορία χρησιμοποιούνταν κυρίως στο εμπόριο, στις εξερευνήσεις, για συλλογή φόρων και από το στρατό. Καθώς οι κοινωνίες έγιναν πολυπλοκότερες νέες εφαρμογές αναπτύχθηκαν για τις επερχόμενες υποδομές (τηλεφωνικές γραμμές, σιδηροδρόμους κλπ.). Οι αεροφωτογραφίες επιτάχυναν την πρόοδο της χαρτογράφησης. Η φωτογραμμική, η τεχνική της μέτρησης των αεροφωτογραφιών, αναπτύχθηκε ταχύτητα στις δεκαετίες 1920 και 1930 και κατά το 2ο Παγκόσμιο πόλεμο. Χρησιμοποιείται κυρίως για χάρτες με κλίμακες 1:1500 και 1:50000 [7].

Στον 20^{ο} αιώνα παρατηρήθηκε αύξηση της ζήτησης τοπογραφικών χαρτών, καθώς και άλλων χαρτών ειδικού περιεχομένου, ενώ λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας και των αλμάτων προόδου της πληροφορικής κατέστη δυνατή η δημιουργία βάσεων δεδομένων. Οι πληροφορίες άρχισαν να εμφανίζονται σε οργανωμένη και συσχετισμένη μορφή. Έτσι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για κάθε σχεδιασμό απαιτούσε την ύπαρξη και σύνδεση του είδους της πληροφορίας (περιγραφική πληροφορία) με την γεωγραφική της θέση (χωρική πληροφορία).

Αυτή η απαίτηση γρήγορα οδήγησε σε αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης της πληροφορίας. Λόγω της ανάγκης εισαγωγής, αποθήκευσης, ανάλυσης και απεικόνισης πολλαπλών πληροφοριών εφευρέθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα οποία αποτέλεσαν την φυσική εξέλιξη ενός μεγάλου κομματιού της σύγχρονης πληροφορικής, αφού η χρήση τους βρίσκει εφαρμογή σε πάρα πολλά επιστημονικά πεδία. Το έτος 1967 αναπτύχθηκε το πρώτο παγκόσμια αληθινό λειτουργικό GIS στην Οτάβα του Καναδά και συγκεκριμένα στο Οντάριο στο ομοσπονδιακό Τμήμα Ενέργειας, Ορυχείων και Φυσικών Πόρων του 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 χαρτογραφήθηκαν οι πληροφορίες για τα εδάφη, τη γεωργία, την άγρια φύση, τα υδρόβια πουλιά, τα δάση, και τη χρήση των εδαφών σε κλίμακα 1:250,000. Το CGIS ήταν παγκοσμίως το πρώτο "Σύστημα" και αποτελούσε μια βελτίωση των εφαρμογών χαρτογράφησης, αφού παρείχε τη δυνατότητα επικάλυψης, μέτρησης και ψηφιοποίησης / ιχνηλάτησης, ενώ υποστήριζε ένα εθνικό σύστημα συντεταγμένων που επεκτάθηκε στην ήπειρο, που κωδικοποίησε τις γραμμές ως "τόξα" έχοντας μια αληθινή ενσωματωμένη τοπολογία, και αποθήκευε τις ιδιότητες και τις ως προς την τοποθεσία

πληροφορίες σε χωριστά αρχεία. Ο υπεύθυνος για την ανάπτυξή του, γεωγράφος Roger Tomlinson ονομάστηκε "πατέρας του GIS."

Το CGIS ολοκληρώθηκε στη δεκαετία του '90 και έχτισε τη μεγαλύτερη ψηφιακή βάση δεδομένων των πόρων εδάφους στον Καναδά. Αναπτύχθηκε στον κεντρικό υπολογιστικό σύστημα ως υποστήριξη των ομοσπονδιακού και του επαρχιακού προγραμματισμού για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των φυσικών πόρων. Το CGIS δεν ήταν ποτέ διαθέσιμο σε μια εμπορική μορφή. Η αρχική του ανάπτυξη και η επιτυχία του υποκίνησαν τις διάφορες εμπορικές εφαρμογές χαρτογράφησης. Η ανάπτυξη των μικροϋπολογιστών κέντρισε τους προμηθευτές να ενσωματώσουν επιτυχώς πολλά από τα χαρακτηριστικά του γνωρίσματα, που συνδυάζουν την προσέγγιση πρώτης γενιάς ως προς τον διαχωρισμό των χωρικών δεδομένων και των πληροφοριών ιδιοτήτων με την προσέγγιση δεύτερης γενιάς ως προς την οργάνωση των στοιχείων ιδιοτήτων σε δομές βάσεων δεδομένων. Έτσι δεκαετία του '90 χαρακτηρίστηκε από την αυξανόμενη χρήση του GIS σε επιχειρησιακό, αλλά και σε ερευνητικό επίπεδο. Μέχρι το τέλος του 20ού αιώνα, η ταχεία ανάπτυξη των διάφορων συστημάτων ήταν παγιωμένη και τυποποιημένη σε σχετικά λίγες πλατφόρμες και οι χρήστες άρχιζαν να εξάγουν την έννοια της εξέτασης των στοιχείων GIS μέσω του Διαδικτύου, απαιτώντας τυποποιημένα δεδομένα και υποδομή στήριξης μεταφοράς τους [2]

Σήμερα, με τις δυνατότητες που παρέχουν οι Η/Υ, η χαρτογράφηση διατρέχει μια νέα εποχή. Τα δίκτυα Η/Υ, οι εξομοιωτές, η εικονική πραγματικότητα αποτελούν τη τελευταία μόδα στην εξέλιξη των γεωγραφικών συστημάτων, φέρνοντας έτσι τα Γ.Σ.Π. να βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά πεδία επιστημών, όπως η τοπογραφία, η φωτογραμμετρία, η τηλεπισκόπηση, η στατιστική, η ιατρική κ.α. Τα Γ.Σ.Π. αποτελούν ένα πολύτιμο, διαρκώς αναπτυσσόμενο εργαλείο [6].

1.3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-GIS

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) είναι οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών συστημάτων (hardware), λογισμικού (software), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού και έχουν ως σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον (Burrough P.A. 1983, Κουτσόπουλος Κ. 2005, Hwang L. 2009) [3].

Επιτρέπουν στους ερευνητές να συνδέσουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και να προχωρήσουν σε μια περισσότερο συστηματική ανάλυση ζητημάτων τα οποία προηγουμένως τα είχαν δει με τυχαίο τρόπο (Prather J.E. & Carlson C.E. 1994) [4]

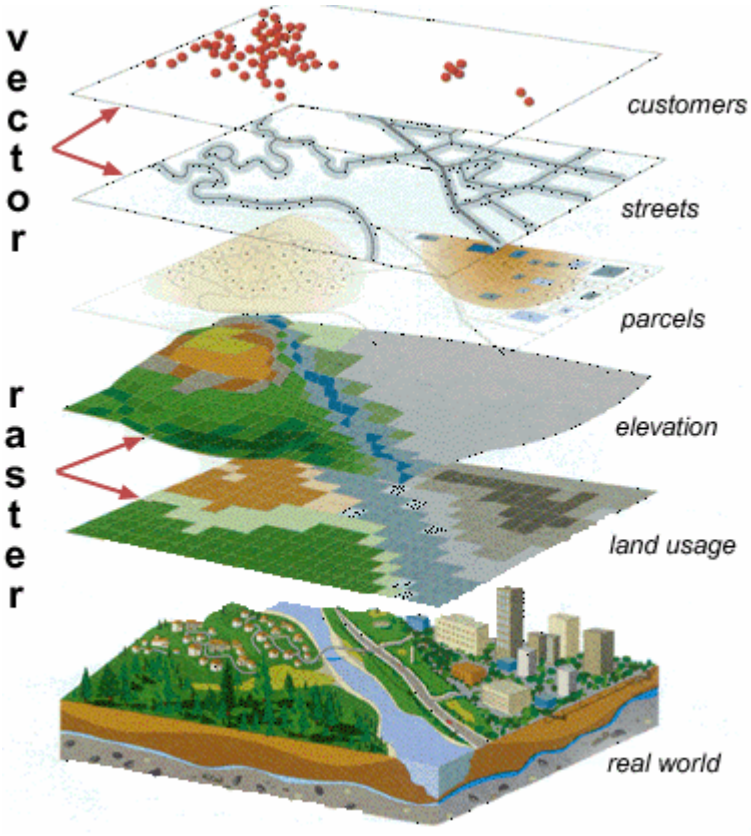
Σε πιο γενική μορφή, ένα Σ.Γ.Π. είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργημένες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (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) [5].

Το αποκαλούμενο 'χαρτογραφικό λογισμικό', συνδέει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά μιας περιοχής με τη γεωγραφική της θέση. Αντίθετα από τους συμβατικούς χάρτες, οι ψηφιακοί χάρτες μπορούν να συνδυάσουν πολλά επίπεδα πληροφοριών-layers (Εικόνα 1). Υπό την ακριβέστερη έννοια, είναι ένα υπολογιστικό σύστημα ικανό, για την ενσωμάτωση, αποθήκευση, διόρθωση, ανάλυση και απεικόνιση γεωαναφερμένων πληροφοριών [2].

Όλα τα δεδομένα σε ένα σύστημα GIS είναι *γεωκαταχωρημένα,* δηλ. συνδεδεμένα με μια συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία της επιφάνειας της γης μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Ένα από τα πιο συνηθισμένα συστήματα γεωγραφικών συντεταγμένων είναι αυτό του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους. Σ' αυτό το σύστημα συντεταγμένων, κάθε τοποθεσία προσδιορίζεται σχετικά με τον ισημερινό και τη γραμμή μηδενικού γεωγραφικού μήκους που περνά από το αστεροσκοπείο Greenwich της Αγγλίας. Υπάρχουν πολλά άλλα γεωγραφικά συστήματα συντεταγμένων, και κάθε GIS σύστημα θα πρέπει να μπορεί να μετατρέπει τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο.

Η χωρική πληροφορία αναπαρίσταται με δυο τρόπους:

- Ως *διανυσματικά* δεδομένα με τη μορφή *σημείων, γραμμών* και *πολυγώνων* ,ή
- Ως *δικτυωτά* (raster) δεδομένα, οργανωμένα συστηματικά σε κελιά (όπως π.χ. μια ψηφιακή εικόνα) [6].



Εικόνα 1.1.: Η αρχή της υπέρθεσης των Πληροφοριακών Επιπέδων στα ΓΣΠ [2].

Ένα Γ.Σ.Π. αποτελείται από το υλικό, το λογισμικό και τα δεδομένα. Όλα τα προαναφερθέντα στην υπηρεσία εξειδικευμένου προσωπικού μπορούν να αξιοποιήσουν στο έπακρον τις δυνατότητες των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.

***Υλικό**:* Αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα Η/Υ, από ψηφιοποιητές, σαρωτές, εκτυπωτές και σχεδιογράφους-plotters.

***Λογισμικό**:* Ένα πρόγραμμα ικανό να εισάγει, διορθώσει, αποθηκεύσει, διαχειριστεί, αναλύσει και απεικονίσει ψηφιακά δεδομένα σε ένα φιλικό προς τον χρήστη interface.

Δεδομένα: Πρόκειται για το σύνολο της πληροφορίας για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Στο πεδίο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας, δηλαδή στις γεωεπιστήμες η συλλογή των δεδομένων γίνεται με ποικίλους τρόπους. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται χάρτες της Υπηρεσίας Στρατού, του ΙΓΜΕ αλλά και του Υπουργείου Περιβάλλοντος, επίσης χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες, δορυφορικές φωτογραφίες και συστήματα εντοπισμού GPS [2].

1.3.1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ-ΔΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

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

ΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

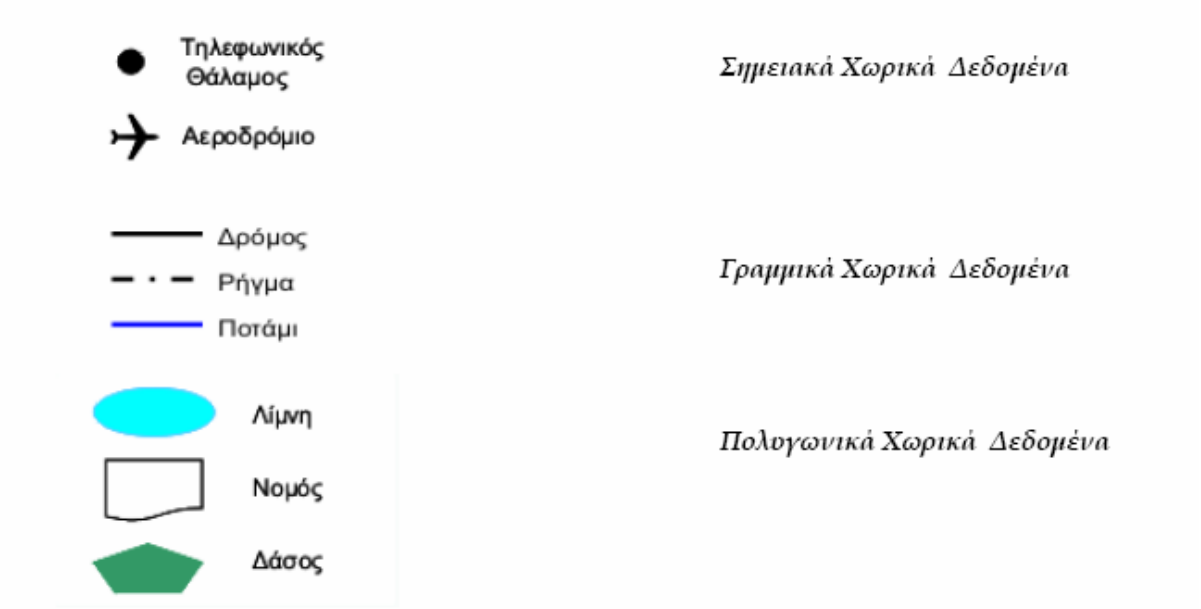
Χωρικά δεδομένα διατίθενται με ολοένα αυξανόμενους ρυθμούς σε ψηφιακή μορφή. Τα δεδομένα αυτά είναι συνήθως διαθέσιμα από κυβερνητικές υπηρεσίες και άλλες πηγές (στην Ελλάδα τέτοιες πηγές είναι η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), κτλ.). Μια κύρια πηγή δεδομένων είναι οι δορυφορικές εικόνες οι οποίες προέρχονται από δορυφόρους όπως SPOT και LANDSAT [2].

Ως Γεωγραφικά Δεδομένα μπορούν να οριστούν αυτά, που προσφέρουν τη δυνατότητα μιας υπό κλίμακα απεικόνισης του χώρου πάνω σε ένα επίπεδο (την οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή ή το χαρτί σχεδίασης). Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αποθηκευτούν με δύο τρόπους (τεχνολογία διανύσματος (vector) ή τεχνολογία πλέγματος (raster)) και μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: σε αυτά, που περιγράφουν τη Γεωμετρία (Geometry) του χώρου και σε αυτά, που περιγράφουν την Τοπολογία (Topology) του χώρου, δηλ. τη σχέση που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τη σύνδεση, τη συνέχεια και τη γειτνίαση των δομικών στοιχείων ενός χάρτη. Τα δεδομένα που περιγράφουν τη Γεωμετρία του χώρου είναι αυτά τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα εντοπισμού ενός φαινομένου στο έδαφος και ταυτόχρονα προσδιορισμού του σχήματός του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια σημειακών (σημείων (points)), γραμμικών (γραμμών ή τόξων (arcs ή lines)) ή επιφανειακών (πολυγώνων ή επιφανειών (polygons ή areas)) στοιχείων [7].

Η χωρική πληροφορία συνήθως αναπαρίσταται από σημεία όταν πρόκειται για χαρακτηριστικά όπως είναι οι γεωτρήσεις, τα ταχυδρομεία, οι σταθμοί πρώτων βοηθειών, τα

δέντρα, κ.τ.λ., από γραμμές όταν πρόκειται για χαρακτηριστικά όπως τα ποτάμια, οι ισοϋψείς, οι δρόμοι, κ.τ.λ. και από πολύγωνα (περιοχές) για αντικείμενα όπως οι νομοί, οι λίμνες, οι χρήσεις γης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί, κ.α.. Ειδικότερα :

- ***Σημειακά χαρακτηριστικά (Point features):*** Ένα σημειακό χαρακτηριστικό αντιπροσωπεύει μια μόνο χωρική τοποθεσία. Καθορίζει δε, ένα χαρακτηριστικό πολύ μικρό για να περιγραφεί χαρτογραφικά με μια ή ένα πολύγωνο (Εικ. 2).
- ***Γραμμικά χαρακτηριστικά (Line features):*** Ένα γραμμικό χαρακτηριστικό αποτελείται από μια ομάδα ενωμένων συντεταγμένων και αντιπροσωπεύει το γραμμικό σχήμα ενός χαρακτηριστικού το οποίο είναι πολύ στενό για να απεικονιστεί ως ένα πολύγωνο (Εικ. 2).
- ***Πολυγωνικά χαρακτηριστικά (Polygon features):*** Ένα πολυγωνικό χαρακτηριστικό είναι μια κλειστή περιοχή της οποίας τα όρια περικλείουν μια ομοιογενή περιοχή (Εικ. 2) [2].



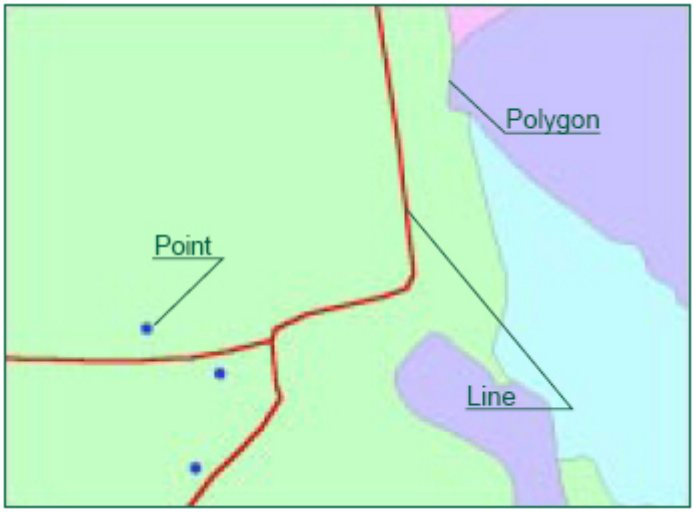
Εικόνα 1.2.: Παραδείγματα των τριών κατηγοριών των χωρικών δεδομένων.

- ***Δεδομένα αναγλύφου ή τρισδιάστατα (Data relief or dimensional):*** Τα δεδομένα αυτά καταλαμβάνουν όχι μόνο μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αλλά εκτείνονται και στο χώρο. Περιλαμβάνουν δηλαδή επιφάνειες καθώς και κατακόρυφες ή τρίτης διάστασης (z) συντεταγμένες. Έχουν δηλαδή μήκος,

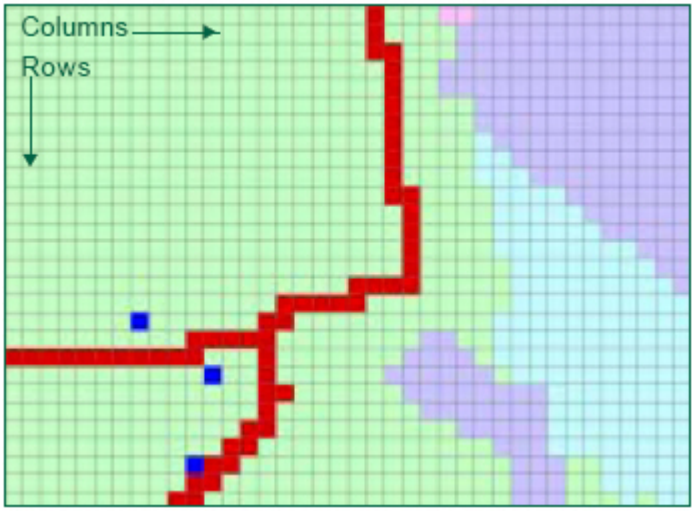
έκταση και ύψος. Τέτοια περίπτωση είναι η τρισδιάστατη εμφάνιση ενός χάρτη κλίσεων ή γενικότερα η προσομοιωμένη τρισδιάστατη εμφάνιση του αναγλύφου.

Τα δεδομένα σε ένα επίπεδο GIS μπορεί να παρουσιάζονται σε μία από τις δύο μορφές: διανυσματικά (vector) ή σε πλέγμα (raster). Τα διανυσματικά δεδομένα είναι τα πιο κοινά σε ένα GIS. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα χαρακτηριστικά του συστήματος διανυσμάτων μπορεί να είναι σημεία, γραμμές ή πολύγωνα. Κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να συνδέεται με μία ή περισσότερες τιμές στο θεματικό επίπεδο. Τα διανυσματικά δεδομένα είναι χωρικά πολύ ακριβή και με τη χρήση τους απαιτείται λιγότερος χώρος στον υπολογιστή, ενώ διάφορα χαρακτηριστικά όπως οι ισοϋψείς ή άλλα σημεία ενδιαφέροντος μπορούν με ευκολία να εντοπισθούν, να ανακτηθούν και να επεξεργαστούν μεμονωμένα (Εικ. 3).

Από την άλλη πλευρά, τα δεδομένα σε πλέγμα, μορφή κανάβου, έχουν μια ή περισσότερες τιμές συσχετισμένες με το κάθε τετράγωνο κελί του πλέγματος. Για να είναι συμβατά με τα διανυσματικά δεδομένα το κάθε ένα από τα κελιά αντιμετωπίζεται ως ένα διανυσματικό πολύγωνο. Τα δεδομένα σε πλέγμα συχνά προέρχονται από την εικόνα τηλεπισκόπησης, επειδή ο αισθητήρας καταγράφει τα δεδομένα σε pixels (Εικ. 4).



Εικόνα 1.3.: Διανυσματική μορφή (vector).



Εικόνα 1.4.: Μορφή κανάβου (raster).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Ως Περιγραφικά (Στατιστικά) Δεδομένα μπορούν να οριστούν αυτά που περιγράφουν φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν στο χώρο ή παραμέτρους, οι οποίες χαρακτηρίζουν το χώρο (π.χ. χρήση γης, ή κατάσταση ενός κτιρίου κ.λπ.). Τα δεδομένα αυτά κωδικοποιούνται, αποθηκεύονται σε Βάσεις Δεδομένων (Data Bases) και αποτελούν ένα πληροφοριακό σύστημα για το χώρο, με τη βοήθεια του οποίου είναι δυνατή η στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων καθώς και η μη χωρική αναζήτηση πληροφοριών (aspatial query) (π.χ. πόσος είναι ο πληθυσμός ηλικίας 12-18 χρόνων σε ακτίνα 200 μέτρων γύρω από ένα σχολείο) [7].

1.3.2. ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (VECTOR)

Στην περίπτωση αυτή, τα αντικείμενα (οντότητες) στον χώρο περιγράφονται και επεξεργάζονται με την χρήση διανυσμάτων. Για την αναπαράσταση των στοιχείων μας χρησιμοποιούνται σημεία, γραμμές ή πολύγωνα με βάση πάντα των υπαρχόντων κανόνων τοπολογίας. Κάθε ένα από αυτά τοποθετείται πάνω στον ηλεκτρονικό χάρτη σε συγκεκριμένη θέση και απεικονίζεται με συγκεκριμένο τρόπο (π.χ. σύμβολο για τα σημεία, πάχος και χρώμα για τις γραμμές, διαγράμμιση για τις επιφάνειες). Επίσης, τα γραφικά στοιχεία ομαδοποιούνται σε επίπεδα (layers), προκειμένου να καθίσταται δυνατός ο

διαχωρισμός και η επιλεκτική αναζήτηση και απεικόνιση ορισμένων μόνο ομάδων γραφικών στοιχείων.

Σημεία: Το σημείο είναι η απλούστερη μέθοδος απεικόνισης των χωρικών αντικειμένων. Δεν έχουν φυσικές ή χωρικές διαστάσεις ενώ χαρακτηρίζονται από τις συντεταγμένες τους. Αντιπροσωπεύουν θέσεις συγκεκριμένων συμβάντων ή αντικειμένων και οι οντότητες που αποδίδουν δεν εμφανίζονται με το πραγματικό τους μέγεθος. Ανάλογα με το χώρο που ανήκουν (πραγματικό κόσμο ή Γ.Σ.Π.) μπορεί να αποδίδουν σημειακές οντότητες, σημειακά αντικείμενα, ή σημειακά χαρακτηριστικά. Κριτήριο για τον καθορισμό των σημειακών οντοτήτων είναι η κλίμακα σχεδίασης /αναπαράστασης /μελέτης. Για τις οντότητες που αναπαρίστανται ως σημειακές, η θέση τους αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο με το εμβαδόν τους. Παραδείγματα σημειακών οντοτήτων είναι: στάσεις λεωφορείων, σημεία εγκληματικών πράξεων, πηγάδια, φωλιές ζώων ή πουλιών, φρεάτια υπονόμων, κλπ

Γραμμές: Η χρήση γραμμών χρησιμοποιείται ευρέως, αφού με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η απεικόνιση πολλών μορφών, όπως ρήγματα, δρόμοι, ποτάμια, γραμμές κίνησης τεμαχίων ή ακόμη και λιθοσφαιρικών πλακών, δίκτυα ποικίλων μορφών κ.α. Συνήθως, οι γραμμές που εισάγονται σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ενώνονται μεταξύ τους και τα σημεία σύνδεσής λέγονται κόμβοι (nodes). Για δίκτυα, όπου υπάρχουν πολλές συνδέσεις, όπως συμβαίνει στα ποτάμια συστήματα, όπου, για παράδειγμα, κλάδοι $1^{ης}$ τάξης ενώνονται για να δώσουν $2^{ης}$, κλάδοι $2^{ης}$ τάξης ενώνονται μεταξύ τους για να δώσουν $3^{ης}$ κ.ο.κ. ,υπάρχουν δύο κύριες δυνατότητες για τη μορφή της κωδικοποίησης. Η επιλογή εξαρτάται από το αν ενδιαφέρουν περισσότερο οι κόμβοι ή οι σύνδεσμοι. Εάν ενδιαφέρουν, κυρίως, οι κόμβοι, τότε μπορεί να δημιουργηθεί ένα αρχείο στο οποίο να καταγράφεται η αρίθμηση των κόμβων, οι συντεταγμένες τους (x,y) και οι αριθμοί των συνδέσμων με τους οποίους καθένας σχετίζεται. Αυτό συμβαίνει σε ΄περιπτώσεις όπου υπάρχει ενδιαφέρον για την κατεύθυνσή τους, τότε καταγράφεται ο αριθμός της γραμμής, του αρχικού και του τελικού της σημείου. Τα δίκτυα στα οποία δύο κόμβοι ενώνονται με μία ευθεία γραμμή, μπορεί να βρεθούν στη βιβλιογραφία και ως "Πλήρως Συνδεδεμένα δίκτυα". Υπάρχει, βέβαια, και η περίπτωση του συνδυασμού των δύο παραπάνω περιπτώσεων, έτσι ώστε το γεωγραφικό μοντέλο να αποτελείται από δύο αρχεία: ένα αρχείο συνδέσμων και ένα αρχείο κόμβων.

Επιφάνειες: Υπάρχουν πολλοί τρόποι απεικόνισης επιφανειών: το μοντέλο Spaghetti, το μοντέλο κωδικών αλυσίδων (Chain code), το τοπολογικό μοντέλο (Topological), το μοντέλο Dime και το μοντέλο Polyvrt [2].

Μοντέλο Spaghetti: Το μοντέλο spaghetti αποτελεί τον απλούστερο τρόπο απεικόνισης μιας επιφάνειας. Έτσι χρησιμοποιείται στις πιο απλές μορφές της αυτοματοποιημένης χαρτογράφησης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, για κάθε γεωμετρικό στοιχείο (σημείο, γραμμή, πολύγωνο, κ.λπ.) της περιοχής που εντάσσεται, στο μοντέλο δημιουργείται ένα αρχείο, όπου καταχωρούνται με τη σειρά οι συντεταγμένες κάθε σημείου που έχει περαστεί για να καθοριστεί η πολυγωνική επιφάνεια. Αυτή η διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση του αριθμού των γραμμών σύνδεσης και των κόμβων σε ένα δίκτυο, ειδικά σε αστικές περιοχές. Στο μοντέλο αυτό, κάθε χαρτογραφικό αντικείμενο κωδικοποιείται σε διανυσματική μορφή εντελώς ανεξάρτητα και χωρίς αναφορά, σύνδεση ή συσχέτιση με κάποιο γειτονικό αντικείμενο. Το βασικό μειονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι η καταγραφή παραπάνω από μία φορές των συντεταγμένων των σημείων που ανήκουν σε γραμμές, οι οποίες με τη σειρά τους ανήκουν σε γειτονικά πολύγωνα.

Μοντέλο κωδικών αλυσίδων (Chain code): Το μοντέλο κωδικών αλυσίδας είναι μια παραλλαγή του μοντέλου spaghetti, όπου για κάθε γεωμετρικό στοιχείο καταγράφονται οι συντεταγμένες ενός αρχικού σημείου και στη συνέχεια τα υπόλοιπα σημεία του ορίζονται με το διάνυσμα θέσης τους, ως προς το αρχικό σημείο. Με τον τρόπο αυτόν, κωδικοποιούνται τα γραμμικά στοιχεία με τη χρησιμοποίηση μόνο των συντεταγμένων του αρχικού σημείου της γραμμής. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως για την απεικόνιση οδικού δικτύου, δικτύου απορροής, κ.λπ.

Τοπολογικό μοντέλο (Topological): Το τοπολογικό μοντέλο αποτελεί το συνηθέστερο τρόπο οργάνωσης των γεωγραφικών στοιχείων και διατηρεί τις χωρικές σχέσεις ανάμεσα στα διαφορετικά στοιχεία που καταχωρούνται στο Γ.Σ.Π. Η οργάνωση γίνεται με τη δημιουργία ενός αρχείου κόμβων, όπου περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες των σημείων και ενός αρχείου πολυγώνων, όπου με μονάδα αναφοράς τη γραμμή καταχωρούνται ο κόμβος – αρχή και ο κόμβος - τέλος της, καθώς και το αριστερό και δεξιό πολύγωνο στο οποίο ανήκει [8].

Μοντέλο GBF/Dime (Geographic Base File/Dual IndependentMap): Αποτελεί το γνωστότερο μοντέλο τοπολογικής χρήσης. Η βασική μονάδα του είναι το τμήμα μιας

επιφάνειας που περιλαμβάνεται ανάμεσα σε δύο τομές της. Το χαρακτηριστικό του είναι η χρήση τόσο των διευθύνσεων των γραμμών, όσο και των συντεταγμένων του, ενώ για την εύρεση ενός τμήματος γραμμής, το πρόγραμμα ψάχνει σειριακά σε όλο το αρχείο. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε τη δεκαετία του '70 στις ΗΠΑ για την κατασκευή των αστικών χαρακτηριστικών στις διάφορες ανεπτυγμένες περιοχές.

Μοντέλο Polyvrt (POLYgon conVERTer): Το μοντέλο αυτό έχει οργανωμένα τα στοιχεία του με ιεραρχική δομή. Στο ιεραρχικό αυτό μοντέλο η καταχώρηση των γραφικών στοιχείων γίνεται υπό μορφή πολυγώνων, όπου μονάδα αναφοράς είναι τα ευθύγραμμα τμήματα που αποτελούν τα όρια ανάμεσα σε όμορα πολύγωνα Κοινή ιδιότητα των επιμέρους ευθυγράμμων τμημάτων που αποτελούν τα όρια είναι ότι τα πολύγωνα που βρίσκονται αριστερά και δεξιά είναι τα ίδια για όλα τα ευθύγραμμα αυτά τμήματα. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε και αυτό μέσα στη δεκαετία του '70 από το Harvard Laboratory for Computer Graphics και είναι καλύτερο στο θέμα της ανάκτησης των στοιχείων του μοντέλου [2].

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (VECTOR)

Πλεονεκτήματα :

- Μικρότερες απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου.
- Εύκολη ανάπτυξη τοπολογίας.
- Πολύ υψηλή ανάλυση.
- Η οπτικοποίηση των δεδομένων είναι πλησιέστερη στην πραγματική κατάσταση.

Μειονεκτήματα :

- Περίπλοκη δομή δεδομένων.
- Μη συμβατή μορφή με τηλεπισκοπικά δεδομένα.
- Ακριβά προγράμματα επεξεργασίας και ακριβός εξοπλισμός.
- Σε μερικές περιπτώσεις η χωρική ανάλυση είναι δυσκολότερη.
- Η χρήση επικαλυπτόμενων διανυσματικών χαρτών είναι δυσκολότερη στην επεξεργασία [8].

1.3.3. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΑΒΟΥ (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 μή κανονικής μορφής. ***Το μοντέλο που χρησιμοποιείται περισσότερο από όλα είναι το τετράγωνο-ψηφίδα, λόγω της δυνατότητάς του να υποδιαιρείται σε απεριόριστο αριθμό υπο 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.

Κωδικοί αλυσίδων (Chain codes): Θεωρείται ένα σημείο έναρξης, όπως για παράδειγμα η ψηφίδα με συντεταγμένες σειρά 10 και στήλη 1,καθώς και οι τέσσερις κατευθύνσεις(ανατολικά = 0, βόρεια = 1, δυτικά = 2 και νότια = 3). Η περιγραφή των ορίων μιας περιοχής, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί καθορίζοντας τα όρια σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Το μοντέλο αυτό πλεονεκτεί στην απλότητα και το συμβατικό τρόπο οργάνωσης, χαρακτηριστικά που διευκολύνουν λειτουργίες, όπως η μέτρηση εμβαδών και περιμέτρων. Το μειονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι η δυσκολία στην εκτέλεση υπερθέσεων.

Κωδικοί μηκών (Run-length codes): Σε αυτόν τον τύπο λειτουργίας, για κάθε σειρά δημιουργούνται διαστήματα ψηφίδων της μορφής "από-έως". Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του απαιτούμενου χώρου αποθήκευσης των δεδομένων, είναι όμως χρονοβόρα, λόγω της συμπίεσης των στοιχείων.

Κωδικοί τετραγώνων (Block codes): Σε αυτό το μοντέλο παρουσιάζεται η περιοχή με τη μορφή τετραγώνων άνισων μεγεθών. Κάθε ένας από τους προαναφερθέντες τύπους έχει τα πλεονεκτήματά του και τα μειονεκτήματά του. Έτσι, η χρησιμοποίηση ενός εκ των δύο μοντέλων καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από την εφαρμογή που πρόκειται να εκτελεστεί [2].

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΝΑΒΟΥ (RASTER)

Πλεονεκτήματα :

- Απλή δομή δεδομένων.
- Συμβατά με δεδομένα τηλεπισκόπησης ή σάρωσης.
- Υπεροχή στην χωρική ανάλυση και μοντελοποίηση.

Μειονεκτήματα :

- Μεγάλοι όγκοι γραφικών δεδομένων που συνεπάγεται μεγάλες απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου.
- Η ποιότητα της οπτικοποίησης εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της ψηφίδας.
- Οι μετατροπές από ένα προβολικό σύστημα σε άλλο είναι δύσκολες.
- Είναι δυσκολότερη η ανάπτυξη τοπολογίας [8].

1.4. ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Terrain Models ή Digital Elevation Models) είναι ένα χρήσιμο βοήθημα στη διαδικασία ανάλυσης, επεξεργασίας και παρουσίασης των Γεωγραφικών Πληροφοριών. Παρότι έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη από τη δεκαετία του 50 ***(Miller and Lafllamme, 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 γκρίζες 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 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.

Όπως έχει αναφερθεί, τα Ψηφιακά μοντέλα εδάφους απεικονίζουν συνεχή χωρικά φαινόμενα, με πιο συνηθισμένο παράδειγμα το ανάγλυφο. Σε αυτά τα μοντέλα σε κάθε σημείο με συντεταγμένες χ,ψ, αντιστοιχεί μία τιμή της μεταβλητής Z. Πράγματι το υψόμετρο μίας περιοχής έχει μία συνεχή κατά χώρο μεταβολή αυτού του είδους. Άλλο παράδειγμα συνεχών δεδομένων είναι η βαθυμετρία. Επίσης συνεχή θεωρούνται και τα φαινόμενα που αποδίδονται με τη χρήση ισοκαμπυλών (π.χ ισοϋέτιες, ισόσειστες καμπύλες, κλπ) (Burrough, 1986).

Εφαρμογές :

- Υπολογισμός ιδιοτήτων επιφάνειας του εδάφους(υψόμετρο, κλίση, προσανατολισμός, φωτοσκίαση)
- Εντοπισμός στοιχείων (λεκάνες απορροής , κορυφογραμμές , δίκτυα επικοινωνιών και υδροδότησης)

- Μοντελοποίηση υδρολογικών λειτουργιών (ενεργειακή ροή, δασικές πυρκαγιές, μετακίνηση πληθυσμού)

Χρησιμεύει σε παραδείγματα όπως:

- Χωροθέτηση και έλεγχος
- Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Δίκτυο κεραιών κινητής τηλεφωνίας
- Δομικές γεωλογικές μελέτες
- Οργάνωση χερσαίων επιχειρήσεων
- Εξομοίωση αμυντικών σχεδίων
- Γ.Σ.Π.
- 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. Συνοπτικά οι πληροφορίες που μπορούμε να λάβουμε είναι :

- 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.

1.4.1. ΕΙΔΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Από τη δεκαετία του 50 και μετά, έχουν χρησιμοποιηθεί πάρα πολλά είδη ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Οι διαφορές τους εντοπίζονται στη δομή αποθήκευσης και στον τρόπο διαχείρισης των δεδομένων τους. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται κυρίως δύο δομές δεδομένων για τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους: τα δίκτυα Τριγώνων (Triangulated Irregular Network - TIN) και τα σημειακά μοντέλα (πίνακες υψομέτρων, rectangular grid, elevation matrices, lattices).

1.4.1.1. ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΓΩΝΩΝ (TIN)

Τα μοντέλα TIN παριστούν τη συνεχή επιφάνεια σαν ένα σύνολο από τρίγωνα τα οποία έχουν για κορυφές σημεία με καθορισμένη τιμή της μεταβλητής Z (συνήθως υψόμετρο) και συντεταγμένες χ, ψ. Η δημιουργία των τριγώνων αυτών πρέπει να ικανοποιεί το κριτήριο Delaunay σύμφωνα με το οποίο ο κύκλος που διέρχεται από τις τρείς κορυφές του τριγώνου δεν θα πρέπει να περιέχει άλλο σημείο. Με αυτόν τον τρόπο όλοι οι κόμβοι συνδέονται με τους δύο πλησιέστερους. Επίσης η ικανοποίηση του κριτηρίου αυτού εξασφαλίζει τη μονοσήμαντη δημιουργία των τριγώνων, η οποία επιπλέον δεν εξαρτάται από τη σειρά επεξεργασίας των δεδομένων.

Από την άλλη πλευρά στα μοντέλα TIN, συνδυάζονται καλύτερα οι δομές της επιφάνειας με τις τριγωνικές μορφές του μοντέλου. Επίσης, παρέχεται πιστή απεικόνιση της τραχύτητας του αναγλύφου. Όμως είναι πιο πολύπλοκα, απαιτούν ακριβή καταγραφή πολλών τοπολογικών σχέσεων και παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες στη διαχείριση. Άξιο αναφοράς είναι επίσης, ότι υπάρχουν αλγόριθμοι ανάλυσης οι οποίοι, ενώ εφαρμόζονται στα σημειακά μοντέλα, παρουσιάζουν τεχνικές δυσκολίες στα μοντέλα TIN (Burrough, 1986).

1.4.1.2. ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (LATTICE, GRID)

Στα σημειακά μοντέλα υψομετρικών πινάκων η συνεχής επιφάνεια παρίσταται σαν ένας κάναβος σημείων τα οποία ισαπέχουν και στα οποία αντιστοιχεί κάποια τιμή της μεταβλητής Z. Υπάρχει η δυνατότητα αντιστοίχησης μιας τιμής Z σε ένα σημείο του μοντέλου (**μοντέλο lattice**) ή σε μια στοιχειώδη επιφάνεια (μοντέλο grid).

Γενικά, στα σημειακά μοντέλα πινάκων έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:

- Κωδικούς αναγνώρισης των σημείων
- Συντεταγμένες χ, ψ αρχικού σημείου αναφοράς σε πραγματικές μονάδες
- Απόσταση μεταξύ των σημείων σε πραγματικές μονάδες
- Αριθμός σημείων
- Πίνακας με τις τιμές της μεταβλητής Z για κάθε σημείο. Σημειώνεται ότι οι συντεταγμένες χ,ψ αποθηκεύονται μόνο για το σημείο αναφοράς.

Πρέπει να τονιστεί ότι η αύξηση της ανάλυσης (διακριτική ικανότητα, resolution) του μοντέλου αυξάνει και την ακρίβεια αναπαράστασης της φυσικής πραγματικότητας, μεγαλώνοντας όμως και τις απαιτήσεις για αποθήκευση των ψηφιακών δεδομένων.

Η δομή των δεδομένων με τη μορφή πινάκων έχει αναλογίες με τις δομές αποθήκευσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Για παράδειγμα, κάθε σημείο ενός κανάβου υψομέτρων μπορεί να αποθηκευτεί στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη χρήση τριών αριθμών, τις καρτεσιανές συντεταγμένες χ, ψ, και την τιμή του υψομέτρου Z. Έτσι, η διαχείριση των πινάκων υψομέτρων με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι εύκολη και γρήγορη. Επίσης, η εφαρμογή ειδικών αλγορίθμων ανάλυσης και επεξεργασίας της πληροφορίας είναι πολύ εύκολη στα σημειακά ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Παρόλα αυτά για την όσο το δυνατό πιο ακριβή προσαρμογή των μοντέλων αυτών στις πραγματικές συνθήκες απαιτείται πυκνό δίκτυο σημείων.

Δεν υπάρχει καθολική υπεροχή κάποιου είδους ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Ο βαθμός καταλληλότητας κάθε δομής δεδομένων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες (την εφαρμογή, την επιθυμητή ακρίβεια κλπ). Έτσι, αποκτούν ιδιαίτερη σημασία η δυνατότητα μετατροπών από τη μια δομή στην άλλη και η ευελιξία του όλου υπολογιστικού συστήματος δόμησης των ψηφιακών μοντέλων εδάφους [2].

1.5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ Γ.Σ.Π.

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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με τη συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας, η οποία χωρίζεται σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες με γενική διεύθυνση στον ηπειρωτικό χώρο της ΒΔ-ΝΑ. Κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από ορισμένη και χαρτογραφίσιμη στρωματογραφική / λιθολογική διαδοχή των πετρωμάτων της όπως αυτά προέκυψαν από την επαλληλία των τεκτονικών γεγονότων που οδήγησαν στην δημιουργία του ορογενούς.

Η γεωλογία της Κρήτης ακολουθεί μια αρκετά πολύπλοκη δομή και έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με τη δομή της. Αυτό συμβαίνει λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης σε σχέση με τις δύο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες της Αφρικής και της Ευρασίας. Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι τα αλλεπάλληλα τεκτονικά καλύμματα των διαφόρων ζωνών τα οποία αναπτύσσονται πάνω στην ενότητα Ταλέα όρη των πλακωδών ασβεστόλιθων.

Το αυτόχθονο ή σχετικά αυτόχθονο σύστημα της Κρήτης αποτελεί η ακολουθία Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Η ηλικία αυτής της ενότητας χρονολογείται από το Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο, η ενότητα είναι ημιμεταμορφωμένη και πιθανότατα ανήκει στην ζώνη της Ανδριατικοϊονίου. Την αποτελούν κατά κύριο λόγο κλαστικά ιζήματα χωρίς ηφαιστειακά πετρώματα στην βάση που εξελίσσονται σε τυπικούς «πλακώδεις ασβεστόλιθους», οι οποίοι περιέχουν σε σημαντικό βαθμό κερατολιθικούς κονδύλους και πυριτικές ενστρώσεις. Επίσης εμφανίζονται μεγάλες μάζες άστρωτων μετα-ασβεστολίθων, δολομιτών, ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και φυλλιτικών-χαλαζιτικών πετρωμάτων.

Στο Άνω Ολιγόκαινο, η φορά της τοποθέτησης των καλυμμάτων στράφηκε προς τα νότια. Οι παρατηρήσεις υπαίθρου έδειξαν ότι η μεταβολή της φοράς τοποθέτησης των καλυμμάτων δεν είναι σταδιακή (Fassoulas 1999), αλλά αντιθέτως απότομη και πιθανόν σχετίζεται με την αλλαγή που συνέβη στο Ολιγόκαινο στη σχετική θέση ανάμεσα στην Αφρική και στην Ευρασία (Dercourt et al. 1986). Η καλυμματική τεκτονική του Ολιγοκαίνου επηρέασε όλα τα καλύμματα της Κρήτης προκαλώντας την υποβύθιση και μεταμόρφωση

των κατωτέρων καλυμμάτων και την επανατοποθέτηση, με ανάστροφα ρήγματα, των ανωτέρων καλυμμάτων.

Στην αρχή του Μειόκαινου, τα πετρώματα της Κρήτης επηρεάστηκαν από μια Β-Ν ηπειρωτική έκταση, ως αντιστάθμισμα στην προηγούμενη πάχυνση του φλοιού (Kilias et al. 1993, Fassoulas et al. 1994, Φασσουλάς 1995). Η έκταση αυτή δημιούργησε κανονικά, Β-Ν ρήγματα απόσπασης, και προκάλεσε την κατάρρευση του οικοδομήματος των καλυμμάτων της Κρήτης και τον σχηματισμό των πρώτων συντεκτονικών λεκανών. Τα ρήγματα απόσπασης διευκόλυναν την απομάκρυνση τουλάχιστον 10 km φλοιού που βρισκόταν ανάμεσα στα ανώτερα και κατώτερα καλύμματα, προκαλώντας ταυτόχρονα την τεκτονική ανύψωση και εκταφή τους.

Η ανύψωση των κατωτέρων καλυμμάτων στην δυτική Κρήτη ήταν πολύ γρήγορη και ολοκληρώθηκε στο χρονικό διάστημα 24 με 15 εκατ. χρόνια από σήμερα (Thompson et al., 1998), ενώ στην κεντρική Κρήτη ήταν πιο αργή, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη μιας μεταμόρφωσης χαμηλού βαθμού (Kilias et al., 1994, Fassoulas et al., 1994, Φασσουλάς, 1995). Ο εφελκυσμός (extension) του Μειόκαινου οδήγησε στην επανατοποθέτηση όλων των καλυμμάτων της Κρήτης και την απολέπτυνση (boudinage) όλων των πετρωμάτων που βρίσκονται πάνω από το κάλυμμα των Πλακωδών ασβεστόλιθων.

Τα ανώτερα μεταμορφωμένα καλύμματα δεν επηρεάστηκαν ουσιαστικά από την πλαστική παραμόρφωση του Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου, αφού σύμφωνα με παρατηρήσεις πυρηνικών σχάσεων σε απατίτη (Thompson et al. 1998) τα πετρώματα αυτά βρίσκονταν από το Ηώκαινο, σχεδόν σε επιφανειακές συνθήκες.

Μετά- αλπική τεκτονική

Κατά την διάρκεια του Νεογενούς η Κρήτη επηρεάστηκε κυρίως από φαινόμενα εφελκυσμού με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα από αποτέλεσμα δύο κύριων γεωδυναμικών διεργασιών: της συνεχούς σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών της Αφρικής και Ευρασίας με την ταυτόχρονη οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης και της τεκτονικής διαφυγής προς τα νοτιοδυτικά της μικροπλάκας της Ανατολίας.

Πρόσφατες τεκτονικές μελέτες στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης (ten Veen & Meijer 1999, Fassoulas, 2000) έδειξαν ότι από το μέσο Μειόκαινο μέχρι σήμερα, η

τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης ήταν αποτέλεσμα διαδοχικών εφελκυστικών περιόδων που δημιούργησαν τουλάχιστον τρεις γενεές ρηγμάτων. Η πρώτη γενεά αποτελείται από ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη των ρηγμάτων αυτών συνέβη κατά την διάρκεια του Μέσο - Άνω Μειόκαινου με αρχές Μεσηνίου, ως αποτέλεσμα της οπισθοχώρησης προς τα νότια της ζώνης υποβύθισης. Αυτό το Β-Ν εφελκυστικό πεδίο τάσεων δημιούργησε και τις πρώτες λεκάνες της Κρήτης στην διεύθυνση Α-Δ.

Στο τέλος του Μεσηνίου, η έναρξη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος της Β. Ανατολίας και η τεκτονική διαφυγή της πλάκας της Ανατολίας (Westaway, 1994) προκάλεσαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στο πεδίο των τάσεων στην Κρήτη. Κατά την διάρκεια από Α. Μεσηνίο – Μ. Πλειοκαίνο, δημιουργήθηκαν τα δεύτερης γενεάς ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν, τα οποία προκάλεσαν σημαντική ανύψωση ορισμένων περιοχών και ταυτόχρονα την δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου, της Ιεράπετρας και του Καστελίου Χανίων. Τα ρήγματα αυτά είναι αποτέλεσμα του εφελκυσμού παράλληλα στην διεύθυνση του τόξου, που προκάλεσε η διαφυγή προς τα νοτιοδυτικά της πλάκας της Ανατολίας (Fassoulas, 2000).

Στο τέλος του Πλειόκαινου, η σταθεροποίηση του πεδίου των τάσεων στην Κρήτη που δημιούργησε το σημερινό, ενεργό γεωδυναμικό καθεστώς (δηλαδή η οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης και η διαφυγή της Ανατολίας), προκάλεσε τα ρήγματα της τρίτης γενεάς. Αυτά αναπτύχθηκαν κάθετα μεταξύ τους, λόγω του ότι οι εφελκυστικοί άξονες του πεδίου των τάσεων βρίσκονται οριζόντιοι και με το ίδιο μέγεθος. Εξαιτίας των ρηγμάτων αυτών δημιουργήθηκαν νέες λεκάνες με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, ενώ ταυτόχρονα συνεχίστηκε με μεγάλους ρυθμούς η τεκτονική ανύψωση ορισμένων περιοχών. Η σημερινή τοπογραφία και το ανάγλυφο της Κρήτης διαμορφώθηκαν από την δράση πολλών, μεγάλης κλίμακας, ρηγμάτων της τρίτης γενεάς , με ορισμένα από αυτά να είναι ακόμα ενεργά.

Από το τέλος του Μειόκαινου, η τεκτονική ανύψωση ολόκληρης σχεδόν της Κρήτης ενίσχυσε την καρστική αποσάθρωση των αθρακικών πετρωμάτων σχηματίζοντας πολλά φαράγγια, σπηλιές και οροπέδια, καθώς επίσης και άλλες εντυπωσιακές καρστικές δομές [8].

2.2. Η ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό προς νότιο τμήμα του Νομού Ρεθύμνης. Η συνολική έκταση είναι 81.5 km² και γεωγραφικά ορίζεται από το χωριό Πατσός στα δυτικά, το χωριό Παντάνασσας στα βόρεια, το χωριό Φουρφουράς στα ανατολικά και το χωριό Βρύσσες στα νότια περιλαμβάνοντας και πολλά άλλα χωριά. Σύμφωνα με τις ζώνες κατολισθητικής επικινδυνότητας στο χάρτη της Ελλάδας, η ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Νομού Ρεθύμνης επιδεικνύει την υψηλότερη συχνότητα των κατολισθητικών γεγονότων στο νησί της Κρήτης.

Όπως παρουσιάζεται στον ενοποιημένο γεωλογικό χάρτη, η υπό μελέτη περιοχή καταλαμβάνεται από : 1)χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, θραύσματα υπό κλίση και φτερωτές, χείμαρρους από επίπεδα γης), 2)νεογενείς αποθέσεις (ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άργιλοι), 3)τεκτονικά καλύμματα των γεωτεκτονικών ζωνών της Πίνδου και της Τρίπολης, τα οποία αποτελούνται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα (πλακώδεις, δολομίτες και αδιαίρετους ανθρακικούς σχηματισμούς), φλύσχη και μεταμορφωμένα πετρώματα (φυλλίτες, χαλαζίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι και μετα – ψαμμίτες) και 4)οφιολίτες από την αυτόχθονη Ιόνια ζώνη.

Η υπό έρευνα περιοχή παρουσιάζει ευνοϊκές συνθήκες για κατολισθητική δραστηριότητα. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το 20% της περιοχής καταλαμβάνεται από φλύσχη και το 22% από χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις και νεογενή, η συχνότητα των κατολισθήσεων αναμένεται να είναι πολύ υψηλή. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 οι εν λόγω σχηματισμοί σχετίζονται με το 80% των κατολισθήσεων που σημειώθηκαν στην Ελλάδα. Με βάση την θέση των παρατηρήσεων, εκτός από τους προαναφερθέντες σχηματισμούς, εντός των ορίων της υπό μελέτης περιοχής πολλές κατολισθήσεις εμφανίζονται στα τμήματα που καταλαμβάνονταν από τον αποσαθρωμένο μανδύα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων καθώς επίσης και από τους σχηματισμούς των ασβεστιτικών πετρωμάτων.

Οι εκτεταμένοι τεκτονικοί κατακερματισμοί και οι αλλεπάλληλες ωθήσεις, το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο με τις απότομες κλίσεις, το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με τις βαθιές κοιλάδες, οι εκτενής ανθρώπινες δραστηριότητες με το σχετικά πυκνό οδικό δίκτυο και τις

καλλιεργήσιμες – αρδευόμενες εκτάσεις είναι μερικές από τις αιτίες που ενεργοποιούν τις κατολισθήσεις στην περιοχή μελέτης και επιπλέον τον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών.

Η πλειοψηφία των κατολισθήσεων που σημειώνεται στις χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις, στα νεογενή ιζήματα και στον αποσαθρωμένο μανδύα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων ή στον φλύσχη είναι μετακινούμενες – περιστροφικές ολισθήσεις. Η επέκταση της ολισθητικής περιοχής εξαρτάται από την γεωμετρία του πρανούς και σε ορισμένες περιπτώσεις στις πληγείσες περιοχές φτάνει μέχρι και 0.5 km^2. Για παράδειγμα η περιστροφική πλάκα στις τεταρτογενείς αποθέσεις κατά μήκος του οδικού άξονα Ακούμια – Κρύα Βρύση, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης). Επιπρόσθετα, καταγράφονται κινήσεις ερπυσμού σε περιοχές καλυμμένες από χαλαρούς σχηματισμούς ή αποσαθρωμένο μανδύα μεταμορφωμένων πετρωμάτων ή φλύσχη. Οι κινήσεις αυτού του είδους, σε μερικές περιπτώσεις, είχε καταγραφεί ότι προκάλεσαν εκτεταμένες ζημιές σε ολόκληρα χωριά. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα χωριών που καταστράφηκαν από κινήσεις ερπυσμού είναι η Παντάνασσα και οι Απόστολοι τα οποία βρίσκονταν πάνω σε αποσαθρωμένο μανδύα μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Στις κατειλημμένες περιοχές από πετρώματα (π.χ. μάρμαρα και ασβεστόλιθους) με πολύ απότομες κλίσεις, καταγράφεται εκτενής ροή θραυσμάτων. Μετωπικές ολισθήσεις επίσης εμφανίζονται στους σχηματισμούς αυτούς αλλά μπορούν να χαρακτηριστούν ως αποτυχίες της τοπικής σημασίας [9].

2.3. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η στρωματογραφία της περιοχής μελέτης από τα νεότερα προς τα παλαιότερα γεωλογικά στρώματα, είναι η εξής (Εικ.):

- **Τεταρτογενή:** Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες-λατύπες ποικίλης σύστασης αναλόγως της προέλευσης τους, ασύνδετες έως συνεκτικά συνδεδεμένες, καθώς και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα. Η εμφάνιση τους γίνεται κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς τη θάλασσα, στις μείζονες κοίτες των ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και σε μορφή πλευρικών κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων.

- **Νεογενή:** Αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων-κιτρινόλευκων μαργών με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συχνά βιογενείς-υφαλογενείς, ομοιόμορφα στρωμένους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως ένα-δύο μέτρα. Επίσης, εντός των αποθέσεων αυτών συναντώνται και μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμώδεις άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των κρακαλοπαγών – λατυποπαγών είναι η έντονη συνεκτικότητα η οποία παρουσιάζουν, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι λατύπες και κροκάλες που συνιστούν τις παραπάνω αποθέσεις, έχουν προέλθει από την διάβρωση και απόθεση των προϊόντων, τόσο του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης όσο σε μικρότερο βαθμό και των άλλων ενοτήτων που αποτελούν υπόβαθρο των νεογενών αποθέσεων. Οι ενότητες που επίσης συμμετέχουν στην παραπάνω διεργασία είναι η Φυλλιτική-Χαλαζιτική, των Πλακωδών ασβεστόλιθων και της Πίνδου.
- **Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης:** Είναι συνηθισμένο φαινόμενο να είναι απωθημένοι είτε στην ενότητα Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, είτε στην ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης στην βάση τους έντονα κατακερματισμένοι λόγω τεκτονισμού. Οι σχηματισμοί της ενότητας που βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα συνίστανται από δολομίτες-δολομιτικούς ασβεστόλιθους παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, έντονα τεκτονισμένους και καρστικοποιημένους με σπηλαιώδη υφή. Το χρώμα τους κυμαίνεται από τεφρό έως τεφρόλευκο. Στους σχηματισμούς της ενότητας των υψηλότερων στρωμάτων εμφανίζονται ασβεστόλιθοι που το χρώμα τους κυμαίνεται από μαύρο έως τεφρόμαυρο. Το πάχος των σχηματισμών είναι μέσο και συνήθως παρουσιάζουν μικρολατυποπαγή υφή. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι το έντονο ανάγλυφο και το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο, που συμπίπτει με τεκτονικές ασυνέχειες. Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο καρστικής διάλυσης που εμφανίζεται με διάφορες μορφές, μεγέθη και σχήματα. Το πάχος της ζώνης φθάνει τις λίγες εκατοντάδες μέτρα και η ηλικία της κυμαίνεται από το Άνω Τριαδικό έως και το Άνω Κρητιδικό.
- **Φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά:** Οι σχηματισμοί που συναντώνται στο τεκτονικό κάλυμμα είναι κυρίως μαρμαρυγιακοί-ανθρακικοί ασβεστόλιθοι, σερικιτικοί-χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταψαμμίτες. Στα

πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται εμφανίσεις χαλαζία σημαντικού πάχους υπό μορφή φλεβών, καθώς και ενστρώσεις μαύρων κρυσταλλικών κατακερματισμένων ασβεστόλιθων με μικρό πάχος. Η ηλικία της ενότητας εκτείνεται μεταξύ Περμίου και Άνω Τριαδικού, ενώ το πάχος της μπορεί και να ξεπερνάει σε ορισμένες περιπτώσεις τα 1.500 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

- **Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρυπαλίου:** Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής βρίσκονται απωθημένοι στην ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Το κάλυμμα Τρυπαλίου αποτελεί το πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του απαντάται στην περιοχή του Ομαλού. Τα πετρώματα που εμφανίζονται σε αυτή την σειρά είναι μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Στην βάση του σχηματισμού εμφανίζεται τεκτονικό λατυποπαγές με σημαντικό πάχος. Στα κατώτερα πετρώματα της ενότητας επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες. Συνήθως, αυτό το κάλυμμα περιέχει λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις ή βολβούς κερατολίθων γεγονός που το καθιστά πετρογραφικά όμοιο με την ενότητα Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Το πάχος του καλύμματος φθάνει τα 400 μέτρα, ενώ η ηλικία του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ Τριαδικού και Κάτω Ιουρασικού.
- **Φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πινδου και Τρίπολης:** Αποτελείται από χαλαρούς ψαμμίτες, σχιστές αργίλλους, μάργες και ασβεστόλιθους με ρυθμική ή κυκλική απόθεση. Παρουσιάζει κάποια σχιστότητα και μικρή συνοχή των κόκκων του, αν και έχει υποστεί τη διαγένεση. Αποτελεί τυπικό σχηματισμό του ανερχόμενου ή αναδυόμενου όρους, όταν οι σχηματισμοί του βρίσκονται στο στάδιο της πτύχωσης. Τα υλικά του φλύσχη προέρχονται από τα προϊόντα ολίσθησης του ανερχόμενου όρους και τις ποτάμιες προσχώσεις που εκβάλλουν στη θάλασσα. Χαρακτηρίζονται για την απουσία απολιθωμάτων και τον τουρβιτικό τους χαρακτήρα.
- **Πλακώδεις ασβεστόλιθοι:** Πρόκειται κυρίως για ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους που σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν υποστεί μεταμόρφωση και έχουν μετατραπεί σε μάρμαρα. Εμφανίζονται καλοστρωμένοι σε πάγκους, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και ένα μέτρο. Στα κατώτερα μέλη τους εμφανίζονται παχυστρωματώδεις, ενώ προς τα ανώτερα

εξελίσσονται σε μεσοστρωματώδεις και στη συνέχεια σε λεπτοστρωματώδεις. Το χρώμα τους μπορεί να είναι από τεφρό έως τεφρόμαυρο. Επίσης σημαντικό γεγονός αποτελεί η εμφάνιση πυριτικού υλικού είτε με την μορφή ενστρώσεων, είτε με την μορφή φακών. Η εμφάνιση του πυριτικού υλικού στα μεσαία μέλη του σχηματισμού είναι μεγάλη, σε αντιδιαστολή με τα υπόλοιπα μέλη όπου οι παρεμβολές αυτές περιορίζονται αισθητά. Η καρστικοποίηση του σχηματισμού είναι περιορισμένη και ανομοιόμορφη. Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλουν οι πυριτικές παρεμβολές. Το πάχος της ενότητας φθάνει τα 1200 μέτρα και η ηλικία της προσδιορίζεται στο Μέσο Ιουρασικό-Ηώκαινο.

Πίνακας 2.1.: Συχνότητα και σχετική συχνότητα κατανομής των κατολισθήσεων στην Ελλάδα, σε σχέση με τις γεωλογικές ενότητες, σε σύγκριση με την επέκταση των ενοτήτων αυτών στην περιοχή μελέτης [9].

Γεωλογικές ενότητες	**Συχνότητα κατολισθήσεων (%)**	**Σχετική συχνότητα κατολισθήσεων (%)**	**Επέκταση (%) των γεωλογικών ενοτήτων στην περιοχή μελέτης**
Χαλαρές Τεταρτογενής αποθέσεις	20.65	12.99	15.87
Νεογενή	28.20	11.74	24.00
Φλύσχης	30.35	35.75	8.48
Σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι	3.62	29.64	1.22
Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα	4.85	2.48	19.50
Μεταμορφωμένα	9.32	5.07	18.35
Ηφαιστειογενή	3.00	2.37	12.58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι φυσικές καταστροφές που πλήττουν τον πλανήτη μας αποτελούν βασική αιτία απώλειας ανθρώπινων ζωών και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις. Τις σπουδαιότερες φυσικές καταστροφές αποτελούν οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες, οι τυφώνες και οι κατολισθήσεις. Οι κατολισθήσεις ως μη αναμενόμενες και συνήθως απρόβλεπτες μετακινήσεις ασταθών επιφανειακών στρωμάτων αποτελούν έναν από τους πιο συχνούς φυσικούς κινδύνους. Σε πολλές χώρες του κόσμου, οι κατολισθήσεις κατέχουν την πρώτη θέση ανάμεσα στα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα σύμφωνα με τις φθορές που προκαλούν. Με την αύξηση του πληθυσμού, την ανάπτυξη και την δημιουργία νέων αστικών κέντρων και την κατασκευή τεχνικών έργων παρατηρήθηκε αύξηση των φαινομένων αστάθειας τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά πρανή. Οι επιπτώσεις αυτών των φαινομένων αστάθειας μπορούν να διακριθούν σε άμεσες, όπως απώλεια ανθρώπινων ζωών και καταστροφή περιουσιών, και σε έμμεσες, όπως πλήρωση λεκανών και ταμιευτήρων, αποφράξεις ρεμάτων, καταστροφή δρόμων και αγροτικών εκτάσεων, κ.λ.π.

Τα αίτια αυτών είναι πολλά και εξαρτώμενα από γεωλογικούς, τεκτονικούς, υδρογεωλογικούς, τοπογραφικούς, ακόμα και κλιματικούς παράγοντες που συνδυάζονται ποικιλοτρόπως με τον ανθρωπογενή παράγοντα ώστε να προκαλέσουν τη γένεση των αστοχιών.

Η διαχείριση φυσικών κινδύνων αποτελεί μια από τις προτεραιότητες του Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) σε σχέση με τον πολεοδομικό σχεδιασμό, το σχεδιασμό έργων υποδομής, αλλά και τη διατύπωση νομοθεσίας εναρμονισμένης στα γενικά θέματα στρατηγικής περιβαλλοντικής προστασίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς και ανάπτυξης. Στο πλαίσιο των προσπαθειών αυτών δημοσιεύθηκε σχετική υπουργική απόφαση (ΦΕΚ/Αρ.723/15-06-1998) για τις προδιαγραφές μελετών γεωλογικής καταλληλότητας περιοχών «για τη διασφάλιση του δομημένου περιβάλλοντος από φυσικούς κινδύνους ή κινδύνους προερχόμενους από ανθρώπινες επεμβάσεις και δραστηριότητες» [10].

3.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Ο όρος κατολίσθηση γενικώς υποδηλώνει τον αποχωρισμό και κατάντι μετακίνηση γεωϋλικών που διαμορφώνουν τα πρανή, ήτοι εδαφικά, βραχώδη, τεχνητές επιχωματώσεις ή συνδυασμοί όλων.

Ο γενικός όρος κατολίσθηση, για την περιγραφή των επιφανειακών μετακινήσεων γεωλογικών μαζών επεκράτησε κυρίως στην ορολογία του Πολιτικού Μηχανικού. Εννοιολογικά, οι κατολισθήσεις αναφέρονται σε διάφορες μορφές μετακινήσεων πρανών, όπου η διατμητική αστοχία λαμβάνει χώρα κατά μήκος ενός συγκεκριμένου επιπέδου ή συνδιασμού επιπέδων. Οι πλέον συνήθεις μορφές μετακίνησης του κατολισθαίνοντος σώματος είναι με ολίσθηση, πτώση ή ροή.

Η ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων παρουσιάζει ποικιλότητα και συναρτάται με αριθμό εγγενών και εξωγενών παραγόντων. Τα περισσότερα πρανή στην επιφάνεια της γης έχουν περιέλθει σε μια κατάσταση ισορροπίας, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια της γεωμορφολογικής εξέλιξης του πρανούς (αποφορτίσεως λόγω διαβρώσεων, μεταβολή των ιδιοτήτων των υλικών, παλαιές μετακινήσεις, κ.λ.π.) [10].

3.3. ΕΙΔΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Τα είδη κατολισθήσεων γενικώς ταξινομούνται με βάση το είδος του υλικού και τον τύπο της μετακίνησης. Τα υλικά διακρίνονται στις ευρείες κατηγορίες του βραχώδους υποβάθρου, του συμπυκνωμένου εδάφους και των χαλαρών υλικών (κυρίως προϊόντων αποσάθρωσης διαβαθμιζόμενα μεταξύ αμιγών εδαφών έως κορημάτων). Μια ταξινόμηση των συνηθέστερων τύπων μετακινήσεων δίδεται στον Πίνακα 3.1. [10].

Πίνακας 3.1.: Ταξινόμηση κατολισθητικών φαινομένων [10].

Τύπος μετακινήσεως	Υλικά	
	Βραχώδη	Εδαφικά
Ολισθήσεις	Επίπεδες ολισθήσεις τεμαχών βράχου (slump blocks)	Περιστροφικές ολισθήσεις τεμαχών εδάφους (slump blocks) ή επιφανειακές ολισθήσεις (soil slip)
Πτώσεις	Βραχοτεμαχίων Ερπυσμός βραχωδών μαζών	Εδαφοτεμαχίων Ερπυσμός εδαφών
Αργές	Κορεσμένα ασυμπίεστα υλικά	
Ροές Ταχείες	Εδαφοροές (earth flows) Λασποροές (mudflow) Ροές κορημάτων (debris flow)	
Σύνθετες	Συνδιασμοί ολισθήσεων και ροών	

Αναλυτικότερα τα είδη κατολισθητικών κινήσεων σύμφωνα με την παραπάνω ταξινόμηση είναι τα ακόλουθα :

<u>Ολισθήσεις (Slides) :</u>

Πρόκειται για την προς τα κάτω κίνηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας και κυρίως λαμβάνει χώρα κατά μήκος επιφανειών θραύσης ή σχετικά λεπτών ζωνών διάτμησης. Η κίνηση αρχικά, δεν εκδηλώνεται ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια αστοχίας. Ο όγκος της μετακινούμενης μάζας μεγεθύνεται από την αρχική περιοχή τοπικής αστοχίας. Συχνά τα πρώτα σημάδια μετακίνησης είναι ρωγμές στην αρχική επιφάνεια του εδάφους, κατά μήκος της οποίας θα διαμορφωθεί το κύριο μέτωπο της ολίσθησης. Η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει πέρα από τον πόδα της επιφάνειας θραύσης, καλύπτοντας την αρχική εδαφική επιφάνεια στο πρανές, η οποία τελικά μεταπίπτει σε επιφάνεια διαχωρισμού.

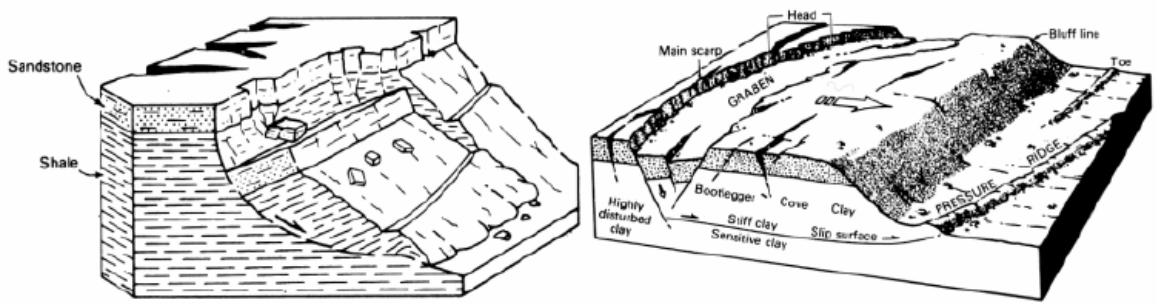
Ο Varnes (1978) διαχώρισε τις ολισθήσεις σε περιστροφικές και μεταθετικές.

Οι **περιστροφικές ολισθήσεις** ή κυκλικές ολισθήσεις κινούνται κατά μήκος μιας κεκλιμένης επιφάνειας αστοχίας η οποία είναι κοίλη προς τα πάνω. Όταν η επιφάνεια αστοχίας έχει προφίλ κυκλικό ή κυκλοειδές, η κινηματική υπαγορεύει ότι η μετακινούμενη μάζα θα κινηθεί κατά μήκος της επιφάνειας θραύσης έχοντας υποστεί μικρή εσωτερική παραμόρφωση. Ο άξονας της κυκλικής επιφάνειας είναι παράλληλος στον άξονα γύρω από τον οποίο η μάζα ολισθαίνει. Συνήθως ολισθήσεις με κυκλική επιφάνεια θραύσης,

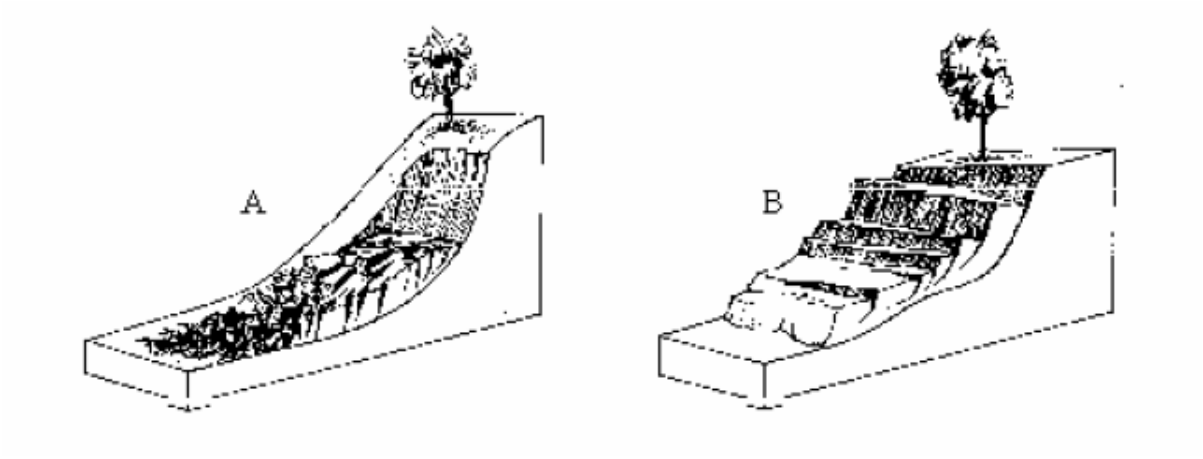
συμβαίνουν σε ομοιογενή υλικά και κυρίως σε επιχώματα. Τα φυσικά πρανή συνήθως αποτελούνται από μη ομοιογενή υλικά, συνεπώς σε τέτοια υλικά η κίνηση ακολουθεί προϋπάρχουσες επιφάνειες ανομοιογένειας ή επιφάνειες ασυνεχειών.

Οι **μεταθετικές ολισθήσεις** αφορούν σε μια μετακινούμενη μάζα η οποία ολισθαίνει κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνεια θραύσης. Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά μικρότερου βάθους από τις περιστροφικές.

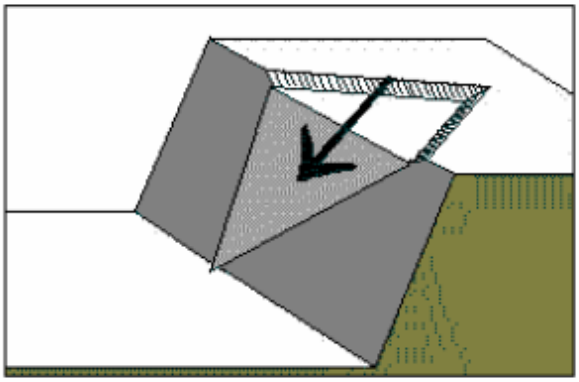
Οι μεταθετικές ολισθήσεις σε βραχώδη πρανή καλούνται ολισθήσεις τεμαχών ή επίπεδες ολισθήσεις. Η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να δημιουργείται από δύο ασυνέχειες οι οποίες προκαλούν την μετακίνηση της μάζας που περικλείεται από αυτές προς τα κατάντη κατά μήκος του ίχνους τομής τους, σχηματίζοντας μια σφήνα. Παρόμοιας μορφής μετακινούμενες μάζες μπορεί να ορίζονται από μία ασυνέχεια η οποία διαμορφώνει το κύριο μέτωπο της ολίσθησης, και μια άλλη η οποία διαμορφώνει την αστοχία επίπεδης μορφής. Ο τύπος της κίνησης εξαρτάται τελικά από τον προσανατολισμό της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς και τη σχέση της με τις ασυνέχειες της βραχομάζας Hocking (1976), Cruden (1978).

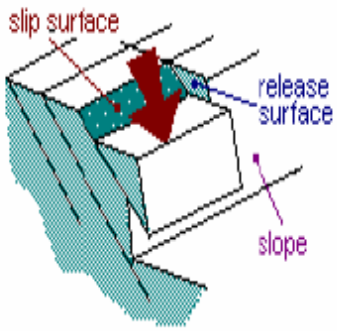


Εικόνα 3.1.: (α)Περιστροφική ολίσθηση βράχου,(β)Μεταθετική ολίσθηση γαιών (Varnes 1978) [11].



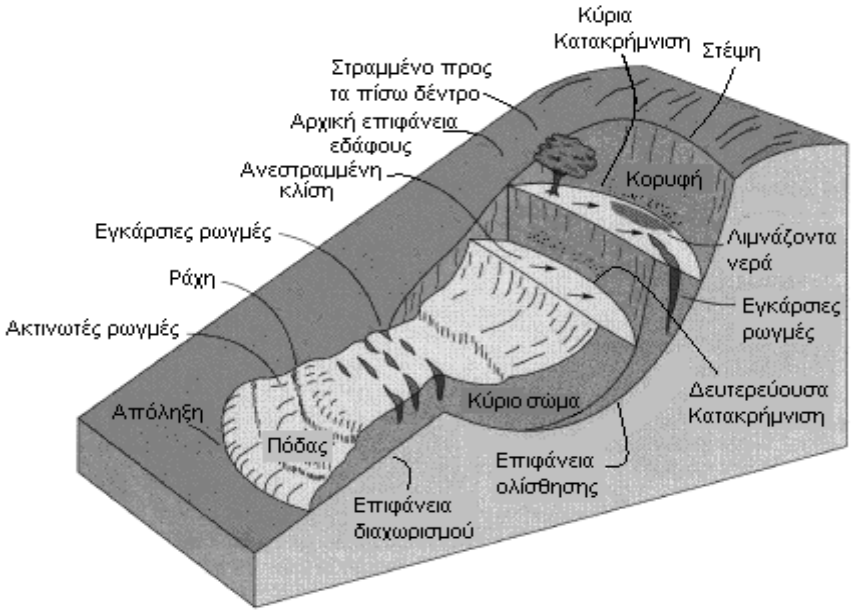
Εικόνα 3.2.: (A) μεταθετική ολίσθηση και (B) κυκλική ολίσθηση (Nilsen et.al.,1979) [11].





Εικόνα 3.3.:Αστοχία μορφής σφήνας [11].

Εικόνα 3.4.:Αστοχία επίπεδης μορφής ολίσθησης [11].



Εικόνα 3.5.: Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης (Varnes 1978) [12].

Α.) Στέψη (crown): το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.

Β.) Κύρια κατακρήμνιση (main scarp): απότομο βύθισμα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης (στέψη).

Γ.) Κορυφή (top): το υψηλότερο σημείο επαφής της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης.

Δ.) Κεφαλή (head): τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης.

Ε.) Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (minor scarp): δευτερεύουσα επιφάνεια θραύσης της μετακινούμενης μάζας που προκλήθηκε από διαφορικές μετακινήσεις της μάζας αυτής.

Στ.) Κύριο σώμα (main body): το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης, μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης.

Ζ.) Άκρο (tip): το σημείο της απόληξης που απέχει τη μεγαλύτερη απόσταση από την κορυφή της κατολίσθησης.

Η.) Απόληξη (toe): το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο, της μετακινούμενης μάζας.

Θ.) Πόδας (foot): το τμήμα της κατολίσθησης που έχει μετακινηθεί πέραν της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης και το οποίο υπέρκεινται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.

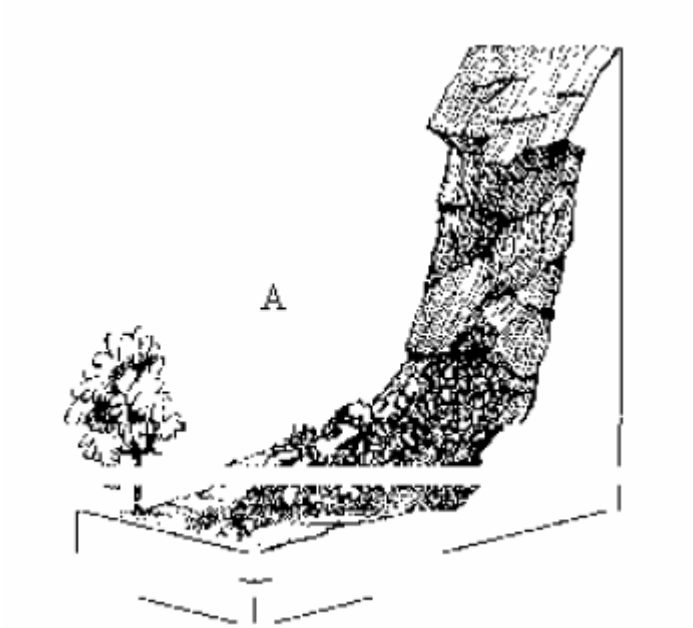
Ι.) Επιφάνεια ολίσθησης (surface of rupture): η επιφάνεια που αποτελεί επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα, πάνω στην οποία έγινε η κατολίσθηση.

Κ.) Επιφάνεια διαχωρισμού (surface of separation): το τμήμα της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους που καλύπτεται από τον πόδα της κατολίσθησης.

Λ.) Αρχική επιφάνεια εδάφους (original ground surface): η επιφάνεια του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.

<u>Πτώσεις (Falls) :</u>

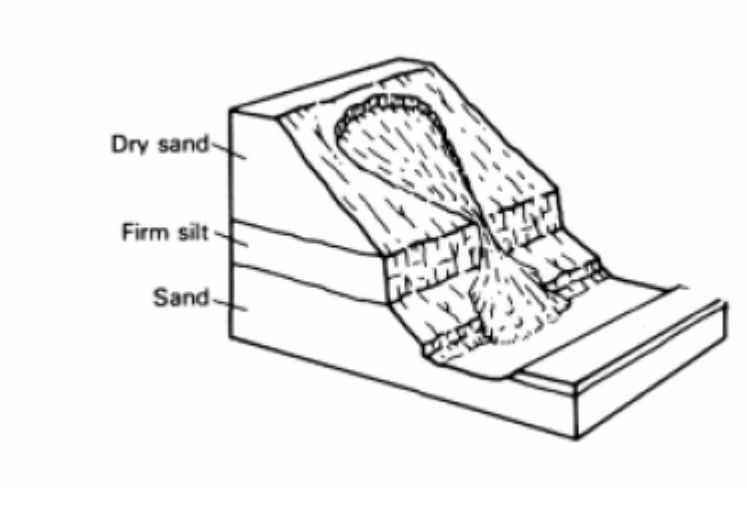
Πρόκειται για την αποκόλληση τμήματος εδάφους ή βράχου από απότομο πρανές κατά μήκος μιας επιφάνειας με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή. Η κίνηση του υλικού γίνεται μέσω κύλισης και αναπήδησης.



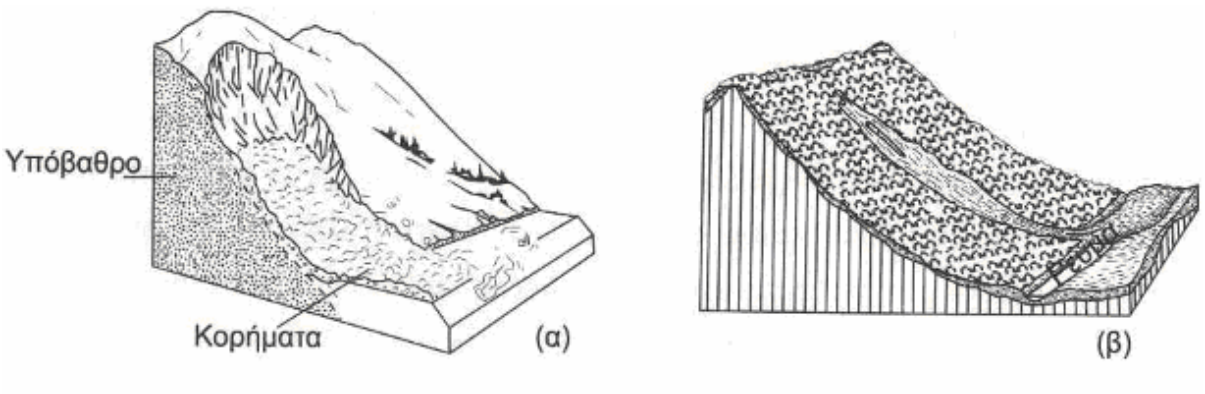
Εικόνα 3.6. : (A) Πτώση βράχων (Nilsen, et.al., 1979) [11].

Ροές (Flows) :

Τα φαινόμενα τα οποία χαρακτηρίζονται από συνεχείς κινήσεις στο χώρο, ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία. Οι επιφάνειες διάτμησης είναι μικρής έκτασης και συνήθως δεν διατηρούνται. Από άποψη κινηματικής η κίνηση θα μπορούσε να συγκριθεί με ιξώδη ροή.



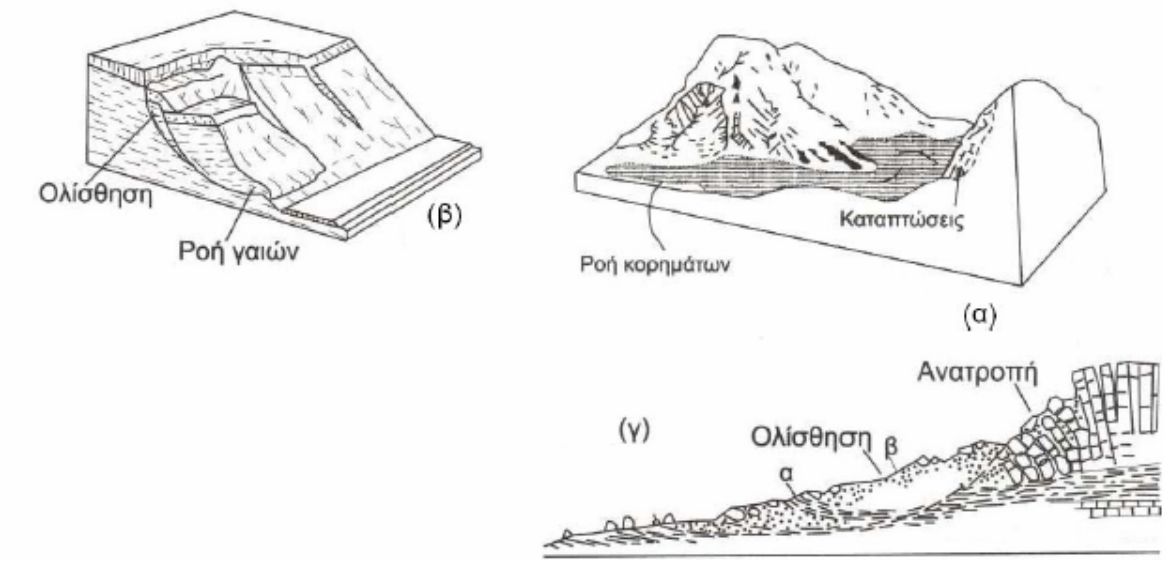
Εικόνα 3.7.: Ροή ξηρής άμμου (Varnes, 1978) [11].



Εικόνα 3.8.: Ροή κορημάτων [12].

Σύνθετη (Complex) :

Ο Varnes πρότεινε αυτή την κατηγορία για να κατατάξει τις κινήσεις εκείνες οι οποίες είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού των παραπάνω τριών κατηγοριών. Ο Dikau (1996) σημειώνει ότι όλες οι κατολισθήσεις περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν τύπους κινήσεων οι οποίοι είτε δρουν ταυτόχρονα, σε διαφορετικά μέρη της επιφάνειας θραύσης, είτε εξελίσσονται προς τα κάτω, είτε με τον χρόνο εξελίσσονται σε διαφορετικές διαδικασίες [10].



Εικόνα 3.9.: Σύνθετες μετακινήσεις : (α)Καταπτώσεις – Ροή, (β)Ολίσθηση – Ροή, (γ)Ανατροπή – Ολίσθηση [12].

3.4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Για να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση πρέπει να πραγματοποιηθεί μια αλληλουχία γεγονότων που επηρεάζουν την ισορροπία του πρανούς και προκαλούν τη διατάραξή 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 πρανές 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 [12].

Πίνακας 3.1.: Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων (UNESCO, 1994) [12].

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

3.5. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Η ταχύτητα μετακίνησης μιας κατολίσθησης είναι παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις που έχει μια κατολίσθηση σε ανθρώπινες ζωές, βλάβες κτιρίων και τεχνικών έργων, κ.τ.λ. Η πιο πρόσφατη ταξινόμηση, δίνεται στον πίνακα 6, ενώ οι πιθανές βλάβες που μπορούν να προκληθούν από κατολισθήσεις σύμφωνα με τις επτά κατηγορίες ταχύτητας δίνονται στον πίνακα 7. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι όσο πιο γρήγορη είναι η ταχύτητα μιας μετακίνησης τόσο μεγαλύτερες και εντονότερες είναι οι απώλειες και οι επιπτώσεις. Φυσικά, δεν πρέπει να παραλείψουμε πως ο προσδιορισμός της ταχύτητας μετακίνησης μιας μάζας είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, καθώς συχνά παρατηρείται διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα στάδια εξέλιξης ή ακόμα και στα διάφορα τμήματα της ολίσθησης. Ακόμα πιο δύσκολος γίνεται ο προσδιορισμός της ταχύτητας όταν πρόκειται για σύνθετου τύπου κατολισθήσεις αφού κάθε τύπος μπορεί να έχει τη δική του ταχύτητα [12].

Πίνακας 3.2.: Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης (UNESCO, 1995) [12].

Χαρακτηρισμός Ταχύτητας	**Τυπική Ταχύτητα**
Εξαιρετικά Αργή	<16 mm/year
Πολύ Αργή	>16 mm/year
Αργή	>1,6 m/year
Μέτρια	>13 m/month
Γρήγορη	>1,8 m/hour
Πολύ Γρήγορη	>3 m/min
Εξαιρετικά Γρήγορη	> 5 m/sec

Πίνακας 3.3.: Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (UNESCO, 1995) [12].

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

3.6. ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Για την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου σπάνια είναι ικανή η παρουσία ενός και μόνο παράγοντα. Συνήθως απαιτείται η συνύπαρξη πολλών παραγόντων, που έχουν σχέση τόσο με τις γεωλογικές, γεωτεχνικές και μορφολογικές συνθήκες όσο και με τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες και ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες.

Η παρουσία των παραγόντων αυτών έχει σαν επακόλουθο τη δραστική μείωση της ευστάθειας των μαζών, οι οποίες σε κάποια χρονική στιγμή είναι πιθανό να την απολέσουν λόγω της επενέργειας κάποιου από τους προηγούμενους παράγοντες ή κάποιου άλλου διαφορετικού. Ο τελευταίος θεωρείται και το αίτιο της κατολίσθησης.

Το άλλο πλαίσιο δράσης ορισμένων παραγόντων και η εκδήλωση των κατολισθήσεων μπορεί να αντιστοιχηθεί με μια πολεμική σύρραξη, όπου υφίστανται ήδη οι λόγοι της σύρραξης και ακολουθεί η αιτία ή αφορμή, η οποία δεν είναι κατά κανόνα ο κυριότερος από τους λόγους του πολέμου [13].

Πίνακας 3.4.: Κατανομή της συχνότητας των κατολισθήσεων με βάση τις παραμέτρους που αφορούν τον μηχανισμό εκδήλωσης του φαινομένου στον Ελλαδικό χώρο [10].

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ (%)
ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ	1.Σεισμικές δονήσεις	20,4
	2.Δονήσεις από εκρήξεις	1,34
	3.Εξώθηση υποκείμενου πλαστικού υλικού	0,53
	4.Διάβρωση από υδρορεύματα	66,21
	5.Διάβρωση από κύματα	17,02
	6.Διάλυση και αποκόμιση υλικών	61,55
	7.Δημιουργία νέων πρανών από προηγούμενες μετακινήσεις	1,23
	8.Υποσκαφή στο πόδι του πρανούς	54,03
	9.Δημιουργία ταμιευτήρων	0,35
	10.Αύξηση νερού των πόρων	88,17
	11.Συγκέντρωση πλευρικών κορημάτων	11,46
	12.Επιφόρτιση λόγω βλάστησης	0,89
	13.Κατασκευή επιχωμάτων	9,76
	14.Επιφόρτιση από σκουπιδότοπο	0,54
	15.Βάρος κτιρίων	26,34
	16.Επιφόρτιση από απώλειες νερού αγωγών, δεξαμενών, κ.λ.π.	18,27
	17.Καλλιέργεια και άρδευση πρανούς	15,68
	18.Παρουσία νερού σε ρωγμές και κοιλότητες	44,17
	19Πάγωμα νερού σε ρωγμές	43,10
	20.Διόγκωση αργίλων ή ανυδρίτη	56,45
	21.Κινητοποίηση της παραμένουσας τάσης	30,28
	22.Αποσύνδεση αργίλων και κοκκωδών πετρωμάτων	59,22
	23.Ενυδάτωση αργιλικών ορυκτών	55,01
	24.Ξήρανση σχιστολίθων	2,68
	25.Αποσάρθρωση	72,49
	26.Λιθολογική σύσταση	91,48
	27.Υφή των υλικών	92,83
	28.Ασυνέχειες	34,85
	29.Ρήγματα	10,93
	30.Επίπεδα στρώσης	7,16
	31.Φυλλώδης διάταξη των ορυκτών στους σχιστόλιθους	2,86
	32.Σχιστότητα	7,34
	33.Ζώνες τεκτονικού κερματισμού	17,29
	34.Συμπαγή στρώματα πάνω σε συμπαγή υλικά	5,19
	35.Εναλλαγή διαπερατών και ημιπερατών πετρωμάτων	78,94
	36. Προσανατολισμός του πρανούς και η κλίση του	87,27
	37.Βροχοπτώσεις	92,83
	38.Λίωσιμο χιονιού	52,95
	39.Αποψίλωση	12,81
	40.Προοδευτικός ερπυσμός	28,67
	41.Δράση ριζικού συστήματος δέντρων	1,79
	42.Άλλα αίτια	0,67

3.7. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων, έχει προταθεί και εφαρμοστεί ένας μεγάλος αριθμός από μέτρα ή συνδιασμών 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. 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.
- Ακριβής καθορισμός των επιφανειών ολίσθησης και γενικότερα ο γεωμετρικός καθορισμός στο χώρο.

Η επιλογή των μέτρων, εξαρτάται από το είδος του κατολισθητικού φαινομένου και κυρίως αν πρόκειται για μετακινήσεις σε εδαφικές ή βραχώδεις μάζες. Ονομαστικά τα σημαντικότερα είναι:

- Επιφανειακή αποστράγγιση
- Υπόγεια αποστράγγιση
- Διαμόρφωση του πρανούς
- Φόρτιση στον πόδα
- Ελάφρυνση πρανούς
- Θέρμανση – Ψύξη
- Φυτοκάλυψη
- Τσιμεντενέσεις και επεξεργασία με χημικά ενέματα
- Πασσάλωση
- Τοίχοι αντιστήριξης
- Γεφύρωση
- Προστατευτικά συρμάτινα δίκτυα

- Εκτόξευση σκυροδέματος
- Φρεζάρισμα – Απολέπιση
- Κοχλίωση – Ήλωση – Αγκύρωση
- Τοίχοι συγκράτησης
- Απομάκρυνση επικίνδυνων για κατάπτωση όγκων
- Τάφροι παγίδευσης, τοίχοι, φράκτες παγίδευσης
- Σκέπαστρα
- Τεχνικές σήραγγες
- Μετάθεση τεχνικού έργου [13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ArcGIS

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το λογισμικό ArcGIS, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί το πιο εμπορικό και πιο διαδεδομένο λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στον κόσμο. Είναι αποκλειστικό προϊόν της εταιρείας ESRI Inc.. Το ArcGIS, παρέχει ένα πλαίσιο για την ενασχόληση με τα Γ.Σ.Π., από έναν απλό χρήστη, από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα σε μεμονωμένους προσωπικούς υπολογιστές, σε τοπικά δίκτυα, στο διαδίκτυο αλλά και στο υπαίθριο πεδίο.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα συγκερασμό πολλών λογισμικών για μικρότερες εφαρμογές, προκειμένου να οικοδομηθεί ένα πλήρες λογισμικό πακέτο Γ.Σ.Π.. Αποτελείται από πολλά πλαίσια εφαρμογής :

- ArcGIS Desktop
- ArcGIS Engine
- Server GIS - ArcSDE, ArcIMS, ArcGIS Server
- Mobile GIS – ArcPad

4.2. ΤΟ ArcGIS DESKTOP

Το ArcGIS Desktop το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι το βασικό πλαίσιο, εντός του οποίου οι επαγγελματίες και οι ερευνητές μπορούν να διαχειριστούν χωρικές και περιγραφικές πληροφορίες. Η εργασία επιτελείται σε μια πρότυπη (standard) επιφάνεια εργασίας η οποία προορίζεται ως χώρος παραγωγής, συγγραφής, διαχείρισης και δημοσίευσης των παραπάνω δεδομένων. Είναι διαθέσιμο σε τρεις εκδόσεις και κάθε μια από αυτές προορίζεται για να καλύψει τις ανάγκες πολλών διαφορετικών χρηστών. Οι εκδόσεις αυτές είναι:

- **ArcView**: επικεντρώνει τη λειτουργία του στην αναλυτική χρήση των δεδομένων, στην χαρτογράφηση και την ανάλυση αυτών.

- **ArcEditor**: προσφέρει όλες τις δυνατότητες του ArcView. Επιπλέον επιτρέπει τις χωρικές επεξεργασίες και την δημιουργία δεδομένων.
- **ArcInfo**: αποτελεί ένα ολοκληρωμένο, επαγγελματικό πακέτο το οποίο συνδυάζει την λειτουργικότητα με πλήθος εργαλείων χωρικής επεξεργασίας. Επίσης περιέχει τα περισσότερα εργαλεία ανάλυσης χωρικών δεδομένων.

Κάθε μια από τις εκδόσεις του ArcGIS Desktop περιλαμβάνει ένα σύνολο εφαρμογών:

- ArcMap
- ArcCatalog
- ArcToolbox
- ModelBuilder

Κάθε έκδοση του ArcGIS Desktop, εκτός από τα βασικά περιβάλλοντα εργασίας, περιλαμβάνει και προαιρετικές προεκτάσεις (extensions) με τις οποίες εμπλουτίζονται οι δυνατότητες του λογισμικού. Ορισμένες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προεκτάσεις είναι:

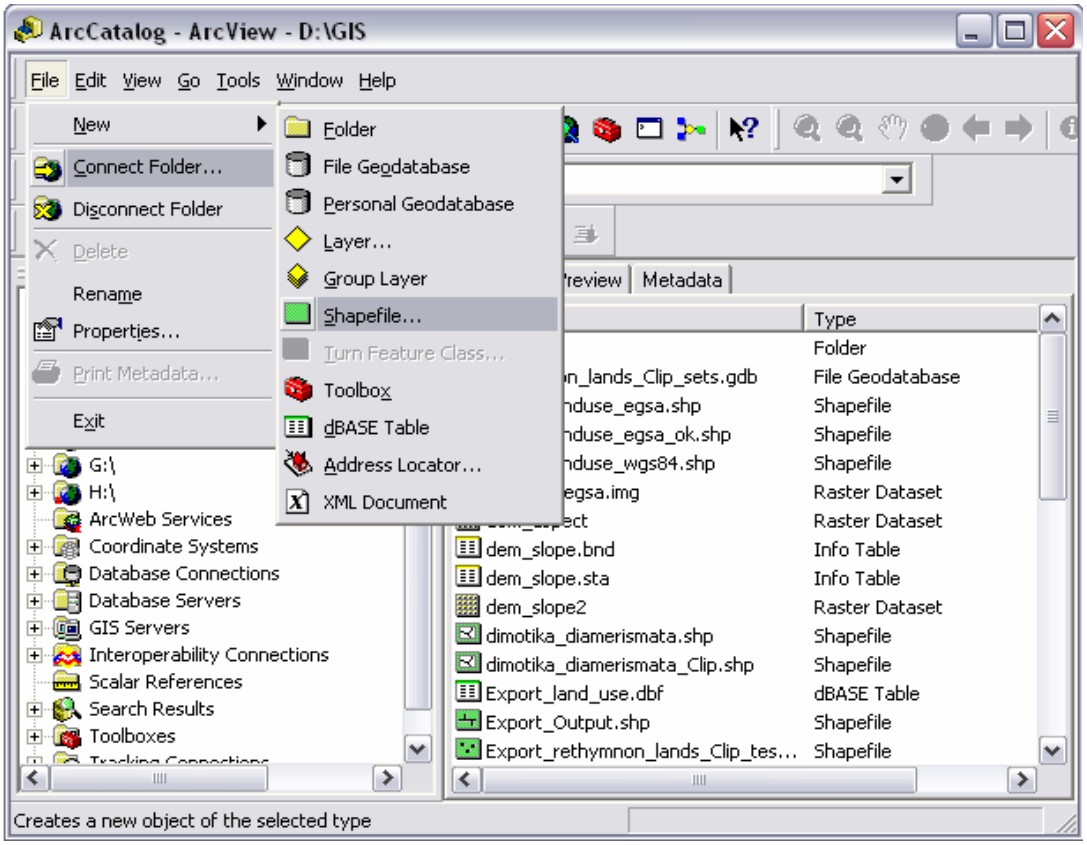
- Spatial Analyst
- 3D Analyst
- Geostatistical Analysis
- Survey Analyst
- ArcPress κ.λ.π.

Χρησιμοποιώντας όλες τις παραπάνω εφαρμογές μπορεί να εκτελεστεί οποιαδήποτε λειτουργία των Γ.Σ.Π., από απλή έως ιδιαίτερα περίπλοκη.

Παρακάτω ακολουθεί περιγραφή ορισμένων περιβαλλόντων εργασίας του λογισμικού, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία με τη σειρά που χρησιμοποιήθηκαν:

4.2.1.ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ArcCATALOG

Το ArcCATALOG είναι μια εφαρμογή διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων. Εκτελεί παρόμοιες λειτουργίες με τον Windows Explorer, προσαρμοσμένο όμως στα γεωγραφικά δεδομένα. Το περιβάλλον εργασίας του οργανώνει και διαχειρίζεται όλα τα GIS αρχεία (χάρτες, δεδομένα, μοντέλα, μεταδεδομένα).

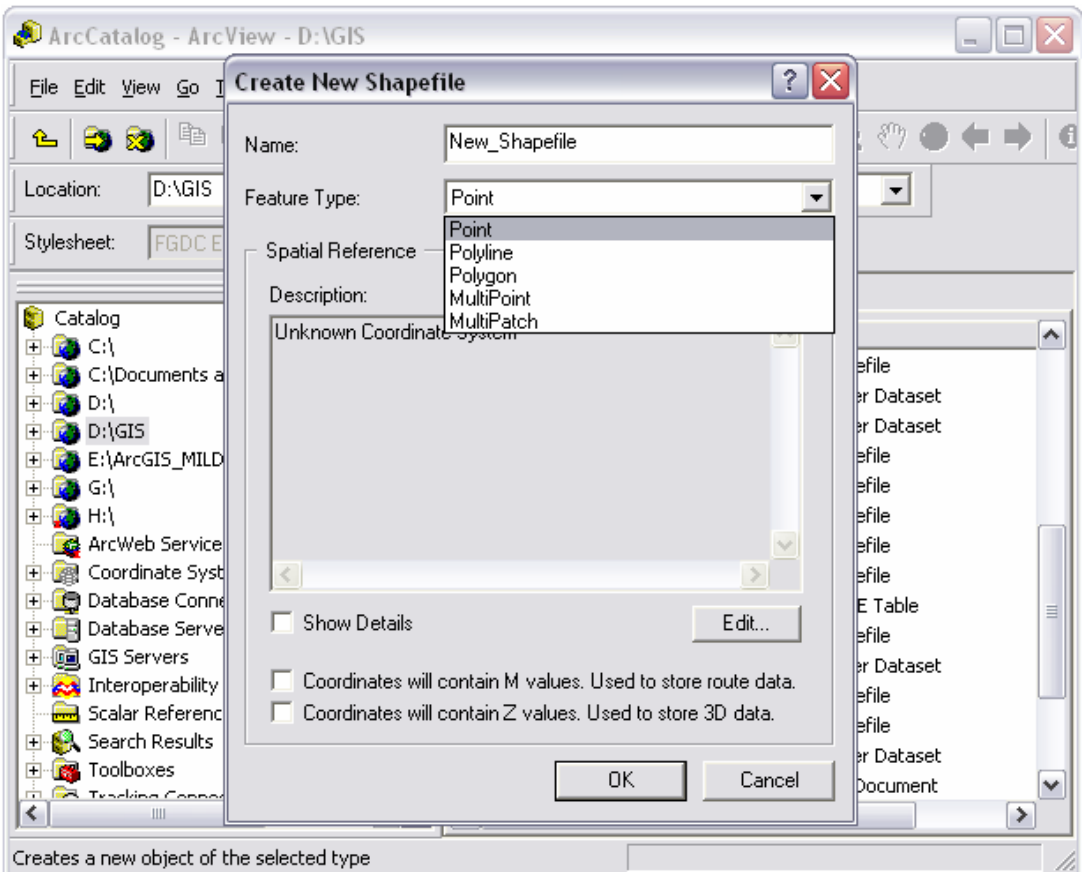


Εικόνα 4.1: Το περιβάλλον εργασίας του ArcCatalog.

Το ArcCatalog καθιστά την πρόσβαση και την διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων απλή (Εικ.4.1.). Η εύρεση των αρχείων γίνεται εύκολα. Τα απαραίτητα στοιχεία απεικονίζονται και διαβάζονται γρήγορα και με την ίδια ευκολία δημιουργούνται τα ζητούμενα μεταδεδομένα. Επίσης μπορούν να διαχειριστούν τα χωρικά στοιχεία που αποθηκεύονται στους φακέλους στους τοπικούς δίσκους ή στις σχεσιακές βάσεις δεδομένων που είναι διαθέσιμες στο δίκτυό σας.

Πιο συγκεκριμένα εδώ δημιουργούνται τα προς επεξεργασία αρχεία και ορίζονται οι αρχικές τους ιδιότητες βάση των πραγματικών τους χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα εάν δημιουργηθεί ένα αρχείο για να αποθηκευτεί η ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών

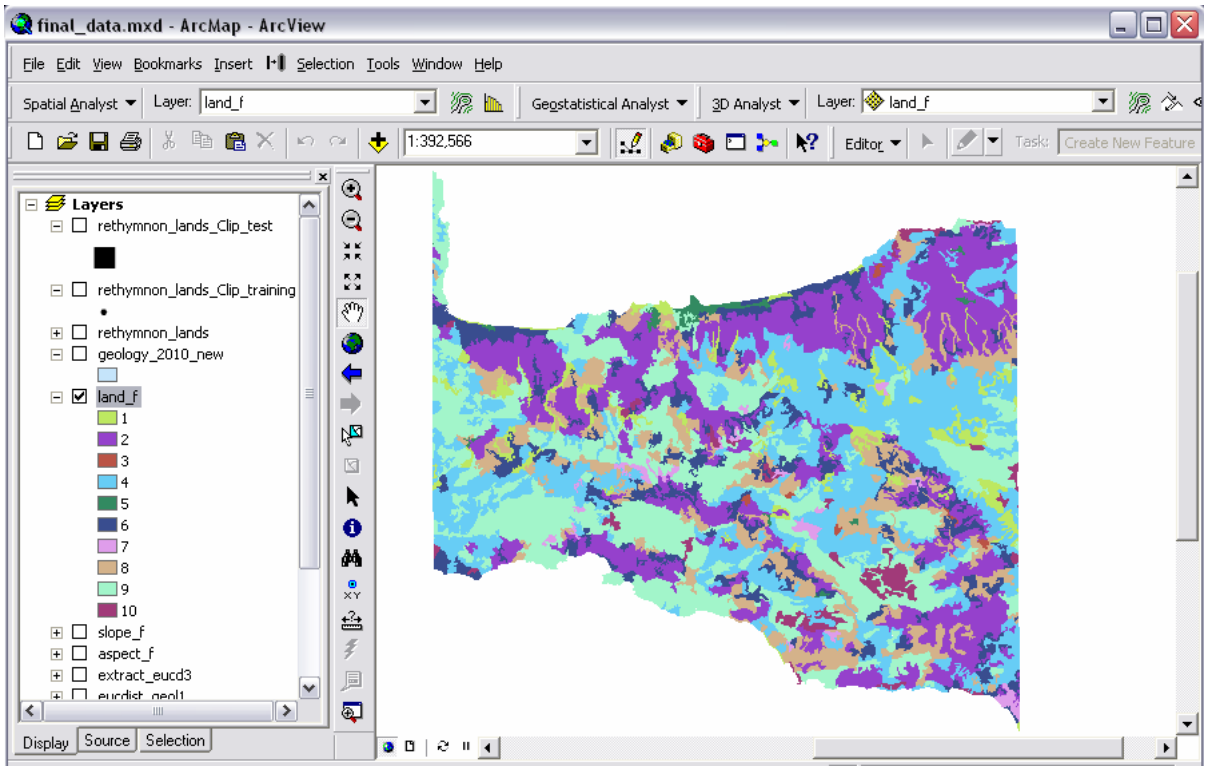
θα επιλεγεί η γραμμική μορφή (polyline). Εάν επιλέξουμε να ψηφιοποιήσουμε την θέση των κατολισθήσεων πάνω σε έναν χάρτη θα επιλεγεί η γραμμική μορφή (point), ενώ αν θέλουμε να ψηφιοποιήσουμε οικισμούς ή δημοτικά διαμερίσματα θα επιλέξουμε την πολυγωνική μορφή (polygon) (Εικ.4.2.).



Εικόνα 4.2.: Δημιουργία νέου σημειακού επιπέδου πληροφορίας (layer).

4.2.2.ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ArcMAP

Το ArcMap χρησιμοποιείται στην απεικόνιση χαρτών, στην δημιουργία αντιγράφων προς δημοσιοποίηση, στην ανάπτυξη συνηθισμένων χαρτογραφικών εφαρμογών και στην εκτέλεση πολλών άλλων έργων βασισμένων σε χάρτες. Το ArcMap παρέχει μια εύκολη και φυσική μετάβαση από την εξέταση ενός χάρτη στην επεξεργασία της γεωγραφίας του. Παρατίθενται κάποια παραδείγματα για την κατανόηση των δυνατοτήτων που προσφέρει αυτό το περιβάλλον εργασίας:



Εικόνα 4.3.: Απεικονίζεται το περιβάλλον εργασίας του ArcMap.

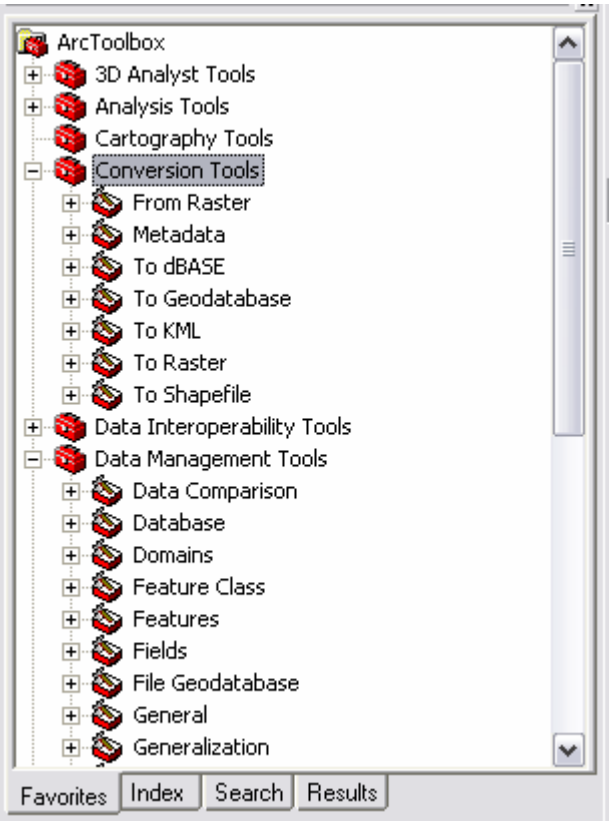
Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του ArcMap και οι δυνατότητες που αυτό μπορεί να προσφέρει. Στο αριστερό τμήμα του περιβάλλοντος, εμφανίζονται τα επίπεδα πληροφορίας (layers) που εισήχθησαν προς επεξεργασία και στο δεξί προς κεντρικό τμήμα εμφανίζονται τα δεδομένα που θα επιλέχθηκαν προς επεξεργασία. Για παράδειγμα στην παραπάνω εικόνα, έχοντας επιλέξει αριστερά το θεματικό επίπεδο των γεωλογικών ενοτήτων, το βλέπουμε να προβάλλεται στο κέντρο της οθόνης μας.

Οι γραμμές εργαλείων, οι οποίες βρίσκονται κάτω από το πτυσσόμενο μενού σε οριζόντια διάταξη αλλά και σε κάθετη διάταξη δίπλα από την περιοχή επεξεργασίας του χάρτη μας, αποτελούν τις βασικές λειτουργίες αυτού του προγράμματος. Με την επέκταση 'spatial analyst' πραγματοποιείται η χωρική ανάλυση δεδομένων και χρησιμοποιείται στη διαδικασία της δημιουργίας μοντέλων, της εξέτασης τους και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων τους. Η χωρική ανάλυση είναι χρήσιμη για την εκτίμηση της καταλληλότητας και της ικανότητας, για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη, για την ερμηνεία και την κατανόηση. Με τη βοήθεια της εργαλειοθήκης 'editor' πραγματοποιείται η ψηφιοποίηση, δηλαδή η μετατροπή των raster δεδομένων σε vector. Αντίστοιχα, η επέκταση '3D Analyst' βοηθάει στην επεξεργασία ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

4.2.3.ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ArcTOOLBOX

Το ArcToolbox είναι η τρίτη εφαρμογή του ArcGIS που συμπληρώνει τις δύο παραπάνω και περιέχει διάφορα εργαλεία γεωεπεξεργασίας. Με την εφαρμογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, μεσώ κάποιων εργαλείων, να μετατρέψει χωρικά δεδομένα από μια μορφή (data format) σε άλλη και να αλλάξει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του. Την ικανότητα αυτή έχουν τα εργαλεία μετατροπής δεδομένων (Conversion Tools) και τα εργαλεία διαχείρισης δεδομένων (Data Management Tools) αντίστοιχα.

Πολλές από τις λειτουργίες του ArcToolbox είναι ενσωματωμένες στον ArcCatalog αλλά και στον ArcMap ενώ είναι διαθέσιμος και στις τρεις εκδόσεις του ArcGIS Desktop. Μόνο όμως στην έκδοση ArcInfo δίνονται οι πλήρεις λειτουργίες του.



Εικόνα 4.4.: Το περιβάλλον εργασίας του ArcToolbox.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ Γ.Σ.Π.

5.1.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, χρησιμοποιήσαμε διαφορετικούς τύπους δεδομένων προκειμένου να δημιουργήσουμε τις ζώνες κατολισθητικής επικινδυνότητας στην υπό μελέτη περιοχή, Νομός Ρεθύμνης.

Αρχικά, συγκεντρώσαμε τους απαραίτητους χάρτες και έγινε σάρωση αυτών για τη χρήση τους ως πηγές πληροφοριών. Οι χάρτες αυτοί κατά σειρά είναι: οι γεωλογικοί χάρτες που συλλέξαμε από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών οι οποίοι εκπροσωπούν λιθολογικές και δομικές μονάδες με κλίμακα 1:50,000 (ΙΓΜΕ 1985, 1991), οι τοπογραφικοί χάρτες από την Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού με κλίμακα 1:5000 ώστε να διαμορφωθεί μια λεπτομερής βάση χάρτη με 4 μέτρα περιφέρεια διαστήματος και ένας χάρτης κάλυψης γης (CLC2000 100m, version1) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (EEA, Copenhagen 2000) ο οποίος χάρτης έχει ανάλυση 100 μέτρα και χρησιμοποιεί 10 κατηγορίες χρήσεις γης για την περιοχή μελέτης.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα βροχοπτώσεων που καλύπτουν ένα χρονικό διάστημα 25 ετών και πεδία δεδομένων που συμμετέχουν στις παρατηρήσεις της γεωλογίας, των τεκτονικών δομών και των καταγεγραμμένων κατολισθητικών περιστατικών.

Προκειμένου να δημιουργήσουμε την κατάλληλη πλατφόρμα πληροφοριών η οποία θα προβεί με συστηματικό τρόπο στην εφαρμογή των κατολισθητικών μοντέλων, όλα τα διαθέσιμα δεδομένα στη φόρμα των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν ως βάσεις - πηγές για τη δημιουργία των θεματικών επιπέδων του GIS.

Στη συνέχεια υλοποιήσαμε την εισαγωγή των σαρωμένων χαρτών στο περιβάλλον εργασίας του ArcGIS όπου έγινε η γεωμετρική τους διόρθωση στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς `87 (ΕΓΣΑ `87), ώστε όλοι οι χάρτες να ανήκουν στο ίδιο προβολικό σύστημα. Το επόμενο στάδιο που πραγματοποιήθηκε ήταν η ψηφιοποίηση των προαναφερθέντων χαρτών, δηλαδή του λιθολογικού, του δομικού και του τοπογραφικού. Έπειτα, με τη βοήθεια του τοπογραφικού χάρτη δημιουργήσαμε το Ψηφιακό Μοντέλο

Εδάφους (Digital Elevation Model) της υπό μελέτη περιοχής. Πολλά από τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η κλίση, ο προσανατολισμός, το σχετικό ανάγλυφο και το υδρογραφικό δίκτυο αντλήθηκαν από την περαιτέρω επεξεργασία του ΨΜΕ [9].

5.1.2. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΔΩΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ

Γενικά, προκειμένου μια ψηφιδωτή εικόνα να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση μαζί με διανυσματικά δεδομένα, θα πρέπει να έχει πρώτα μετασχηματιστεί από τον χώρο της εικόνας στον χαρτογραφικό χώρο. Τα ψηφιδωτά αρχεία (εικόνες) τα οποία χρησιμοποιούνται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, προέρχονται κατά κύριο λόγο, από την σάρωση αναλογικών χαρτών ή την λήψη αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Τα αρχεία αυτά δεν περιέχουν επαρκείς πληροφορίες προκειμένου να συνδυαστούν με διανυσματικά δεδομένα του ιδίου χώρου. Θα πρέπει πριν χρησιμοποιηθούν, να **γεωαναφερθούν** σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Θα πρέπει δηλαδή, στον σαρωμένο χάρτη να εισαχθούν οι συντεταγμένες του, συνδέοντας κατά αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα τα οποία περιέχει, με μια συγκεκριμένη περιοχή της επιφάνειας της γης.

Γεωαναφορά είναι η διαδικασία της αντιστοίχησης των συντεταγμένων μιας εικόνας (ενός δηλαδή ψηφιδωτού αρχείου) και ενός χαρτογραφικού συστήματος. Είναι δηλαδή η αντιστοίχιση στις γραμμές και στήλες μιας εικόνας, των X,Y συντεταγμένων.

Προκειμένου να συνδεθεί ο χάρτης με τα διανυσματικά δεδομένα, πρέπει στον χάρτη να υπάρχουν ορατές χαρακτηριστικές περιοχές των οποίων να είναι γνωστές οι συντεταγμένες. Τέτοιες χαρακτηριστικές περιοχές είναι συνήθως οι διασταυρώσεις των οδικών δικτύων, τα υδρογραφικά δίκτυα, διακριτά σημεία των ακτογραμμών, εκκλησίες ή μεγάλα κτίρια. Η λογική της γεωαναφοράς, είναι η τοποθέτηση του ψηφιδωτού αρχείου (εικόνας) στην ίδια περιοχή με τα χαρακτηριστικά αυτά σημεία τα οποία ονομάζονται σημεία ελέγχου (control points). Τα σημεία ελέγχου έχουν γνωστές συντεταγμένες X, Y οι οποίες έχουν ληφθεί είτε διαβάζοντας προσεκτικά τον αναλογικό χάρτη, είτε μετά από επίσκεψη στις θέσεις αυτές και την λήψη των συντεταγμένων τους με την χρήση ενός GPS (Global Positioning System) χειρός.

Η ακρίβεια του προσδιορισμού ενός σημείου ελέγχου στην εικόνα είναι υψηλής σημασίας για την ακρίβεια της γεωαναφοράς. Ο αριθμός των σημείων ελέγχου που

απαιτείται προκειμένου να είναι επιτυχής η γεωαναφορά, είναι τουλάχιστον τέσσερα όταν αυτά είναι κατανεμημένα στις τέσσερις γωνίες του χάρτη. Μεγαλύτερος αριθμός σημείων ελέγχου δεν συνεπάγεται και μεγαλύτερη ακρίβεια της γεωαναφοράς. Ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η καλή κατανομή των σημείων ελέγχου. Εάν τα σημεία είναι συγκεντρωμένα σε μια μικρή περιοχή της εικόνας τότε η γεωαναφορά θα είναι ανεπιτυχής αφού στην ουσία θα έχει γεωαναφερθεί όχι η συνολική εικόνα αλλά ένα περιορισμένο τμήμα της.

Ο βέλτιστος αριθμός των σημείων ελέγχου συνήθως είναι τέσσερα στα άκρα της εικόνας και δύο σημεία στο εσωτερικό της. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται ένας μαθηματικός μετασχηματισμός που έχει ως βάση ένα πολυώνυμο προκειμένου να δοθούν συντεταγμένες όχι μόνο στα σημεία που επιλέξατε αλλά σε όλα τα εικονοστοιχεία της ψηφιδωτής εικόνας. Ο μαθηματικός μετασχηματισμός που συνήθως χρησιμοποιείται αφού καλύπτει τις περισσότερες περιπτώσεις είναι ο **αφινικός μετασχηματισμός**. Περιλαμβάνει πρώτης τάξης πολυώνυμα και μας δίνει την δυνατότητα να μετακινήσουμε, να στρέψουμε και να αλλάξουμε κλίμακα στην εικόνα σας.

Εάν επιθυμούμε να δημιουργήσουμε μια νέα ψηφιδωτή εικόνα με τις ορθές συντεταγμένες, τότε επιλέγουμε από το κουμπί Georeferencing, Rectify και καθορίζουμε την τεχνική επαναδειγματοληψίας. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται Γεωμετρική Διόρθωση.

Υπάρχουν τρεις τεχνικές επαναδειγματοληψίας:

- Εγγύτερη Γειτνίαση
- Διγραμμική Παρεμβολή
- Κυβική Συνέλιξη

Επαναδειγματοληψία (Resampling): Είναι η διαδικασία κατά την οποία δίνονται τιμές συντεταγμένων σε κάθε εικονοστοιχείο της ψηφιδωτής εικόνας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται και μέθοδος αναδόμησης.

Nearest Neighbor (Μέθοδος της Εγγύτερης Γειτνίασης): Αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο επαναδειγματοληψίας. Η τιμή κάθε εικονοστοιχείου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη της την τιμή του εγγύτερου εικονοστοιχείου και παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της ευκολίας των υπολογισμών και της αποφυγής αλλαγών των ψηφιακών

τιμών των διαβαθμίσεων του γκρι της αρχικής ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Είναι η ταχύτερη των μεθόδων, κατάλληλη για θεματικά δεδομένα.

Bilinear Interpolation (Μέθοδος Διγραμμικής Παρεμβολής): Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη της τον μέσο όρο των τεσσάρων εγγύτερων εικονοστοιχείων και θεωρείται ισοδύναμη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής σε δισδιάστατο χώρο. Είναι κατάλληλη για συνεχή δεδομένα όπως είναι οι κλίσεις, το ανάγλυφο, ο προσανατολισμός, κ.τ.λ.

Cubic Convolution (Μέθοδος Κυβικής Συνέλιξης): Υπολογίζεται από τις 16 εγγύτερες τιμές του αντίστοιχου εικονοστοιχείου. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί μια τελική απεικόνιση, η οποία εμφανίζει περισσότερο οξυμένα τα στοιχεία της, αλλά παράλληλα τροποποιεί αρκετά τις ψηφιακές τιμές των διαβαθμίσεων του γκρι της αρχικής ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Είναι και αυτή κατάλληλη για συνεχή δεδομένα (Lillesand – Kiefer, 1994, Αργιαλάς, 2000) [2].

Στην παρούσα πτυχιακή για την γεωαναφορά των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς `87 (ΕΓΣΑ `87) του οποίου τα χαρακτηριστικά παρατηρούμε στον Πίνακα 5.1..

Είναι το πλέον πρόσφατο προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα, και είναι προϊόν συνεργασίας του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τμήματος Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών - Ε.Μ.Π., της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) και του Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος (ΟΚΧΕ). Θεωρείται μια ενιαία ζώνη για όλη την χώρα με κεντρικό μεσημβρινό λο=24^0 και χρησιμοποιείται ενιαίος συντελεστής κλίμακας 0.9996. Οι παραμορφώσεις με αυτόν τον τρόπο μπορούν να φτάσουν μέχρι και 1:1.000 στα άκρα της χώρας (δηλ. 1 μέτρο σε απόσταση 1χλμ.). Για να αποφευχθούν αρνητικές τιμές ο κεντρικός μεσημβρινός έχει ως τετμημένη 500000μ. Αρχή των τεταγμένων θεωρείται ο ισημερινός (φ=0°). Το σύστημα χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς έχει υιοθετηθεί από τον ΟΚΧΕ.

Πίνακας 5.1.: Χαρακτηριστικά ελληνικού προβολικού συστήματος αναφοράς ΕΓΣΑ'87 [6].

Όνομα προβολικού συστήματος:	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς `87
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum):	Ε.Γ.Σ.Α. `87 με αφετηρία το μετατεθημένο γεώκεντρο, βάθρο Διονύσου
Ελλειψοειδές αναφοράς:	GRS'80
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a:	6378137.000m
Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς (1/f):	1/298.25722101
Συντελεστής κλίμακας Ko:	0.9996

5.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

5.2.1. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι στενά συνδεδεμένα με την λιθολογική σύσταση και αποσάθρωση των υλικών. Σε αντίστοιχες μελέτες προσδιορισμού δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας θεωρείται ένας εκ των δύο σημαντικότερων παραγόντων αύξησής της. Όπως παρατηρούμε και στον Πίνακα 3.4. σαν μηχανισμός εκδήλωσης του φαινομένου η λιθολογική σύσταση σχετίζεται με ποσοστό 91,48 %.

Για την ψηφιοποίηση αρχικά, δημιουργήσαμε ένα αρχείο (shapefile) στον ArcCatalog για τη γεωλογία της υπό μελέτη περιοχής, σε μορφή πολυγώνων. Στη συνέχεια, αφού εισάγαμε με την εντολή 'Add Data' το αρχείο αυτό και τον γεωλογικό χάρτη του Νομού Ρεθύμνης στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap, με την βοήθεια της εργαλειοθήκης 'Editor' άρχισε η ψηφιοποίηση. Έπειτα ονομάσαμε τα πετρώματα ένα προς ένα στον Attribute Table, δηλαδή στον πίνακα όπου καταχωρούνται όλοι οι ψηφιοποιημένοι σχηματισμοί. Τέλος, καταγράψαμε και τις ηλικίες των πετρωμάτων.

Το γεωλογικό επίπεδο που προήλθε από την ψηφιοποίηση επιδεικνύει τις σημαντικότερες ομάδες πετρωμάτων και τα δομικά τους χαρακτηριστικά. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομήθηκαν σε πέντε ευρύς κατηγορίες που εδράζουν στην κατολισθητική

επιδεκτικότητα: (α) ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, (β) νεογενή ιζήματα, (γ) σχιστόλιθοι και οφιολίτες, (δ) χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις και (ε) φλύσχης.

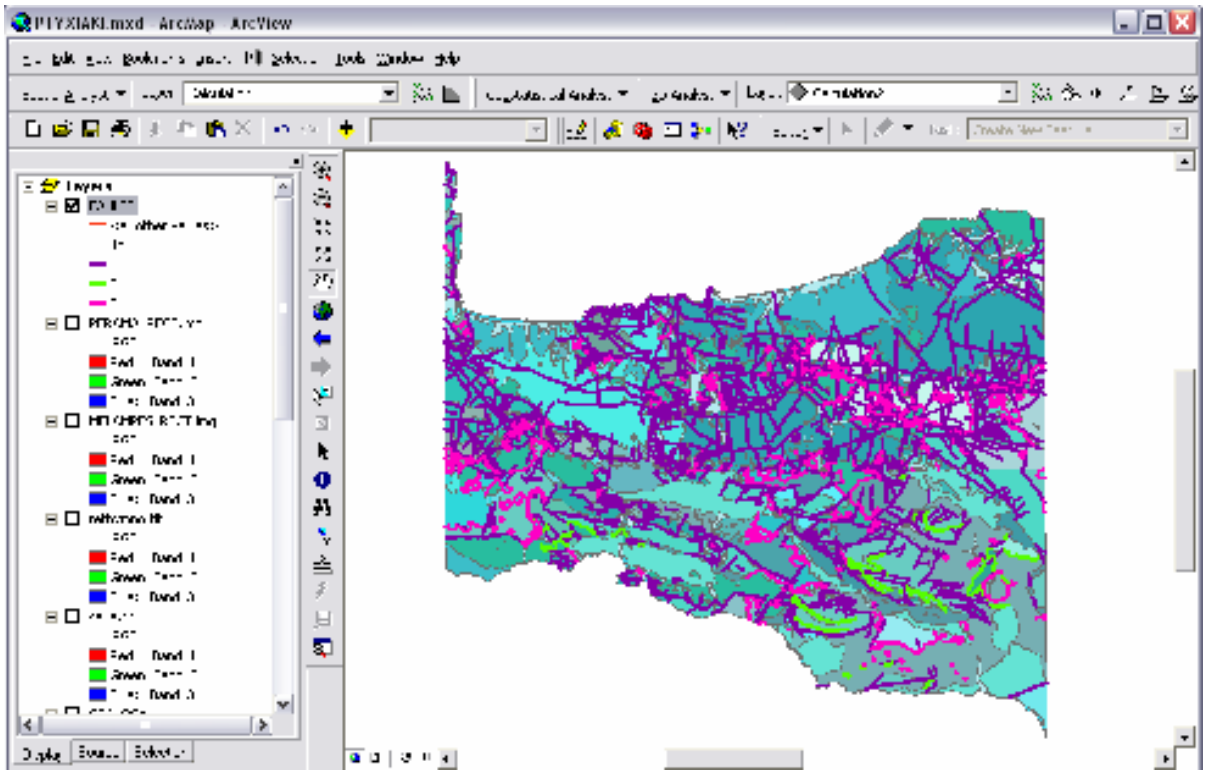
5.2.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ

Η τεκτονική δομή, όπως τα ρήγματα και οι ωθήσεις, είναι συνήθως συνδεδεμένη με τις εκτενείς θραυσμένες ζώνες και τις απότομες ανωμαλίες του αναγλύφου. Οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν ευνοϊκές συνθήκες για τις κατολισθήσεις. Συνεπώς, σημαντικές διαρθρωτικές ασυνέχειες παράγονται από τα ρήγματα και τα κατάγματα συμπεριλαμβάνονται ως παράμετρος στη συγκεκριμένη μελέτη.

Όπως και για την ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών, έτσι και για την τεκτονική δομή της υπό μελέτη περιοχής δημιουργήσαμε ένα αρχείο (shapefile) στον ArcCatalog για τα ρήγματα, σε μορφή γραμμής αυτή τη φορά. Στη συνέχεια έχοντας στο περιβάλλον εργασίας μας τον γεωλογικό χάρτη ψηφιοποιήσαμε τα ρήγματα (Εικ.5.1.) με μεγάλη προσοχή και με βάση κάποιους κανόνες:

- σε περίπτωση που δύο διαφορετικών ειδών ρήγματα συναντηθούν, τα διαχωρίζουμε
- σε περίπτωση που δύο ρήγματα συναντηθούν και έπειτα ακολουθούν κοινή πορεία, τότε κρίνουμε εμείς ποιανού συνέχεια είναι τελικά
- έχουμε πάντα ενεργοποιημένο το 'Snapping' από την εργαλειοθήκη 'Editor', το οποίο μαγνητίζει τη γραμμή μας ώστε να ακολουθεί την ήδη ψηφιοποιημένη γεωλογία της περιοχής.

Επιπρόσθετα, τα διαχωρίσαμε μεταξύ τους σε τρεις κατηγορίες: ρήγματα (μωβ), επωθήσεις (ροζ) και εφιππεύσεις (πράσινο) (Εικ.4.5.). Ο διαχωρισμός καταχωρήθηκε στον Attribute Table του επιπέδου της τεκτονικής δομής.



Εικόνα 5.1.: Ψηφιοποιημένα ρήγματα Νομού Ρεθύμνης.

5.3. ΘΕΜΑΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ (LAYERS)

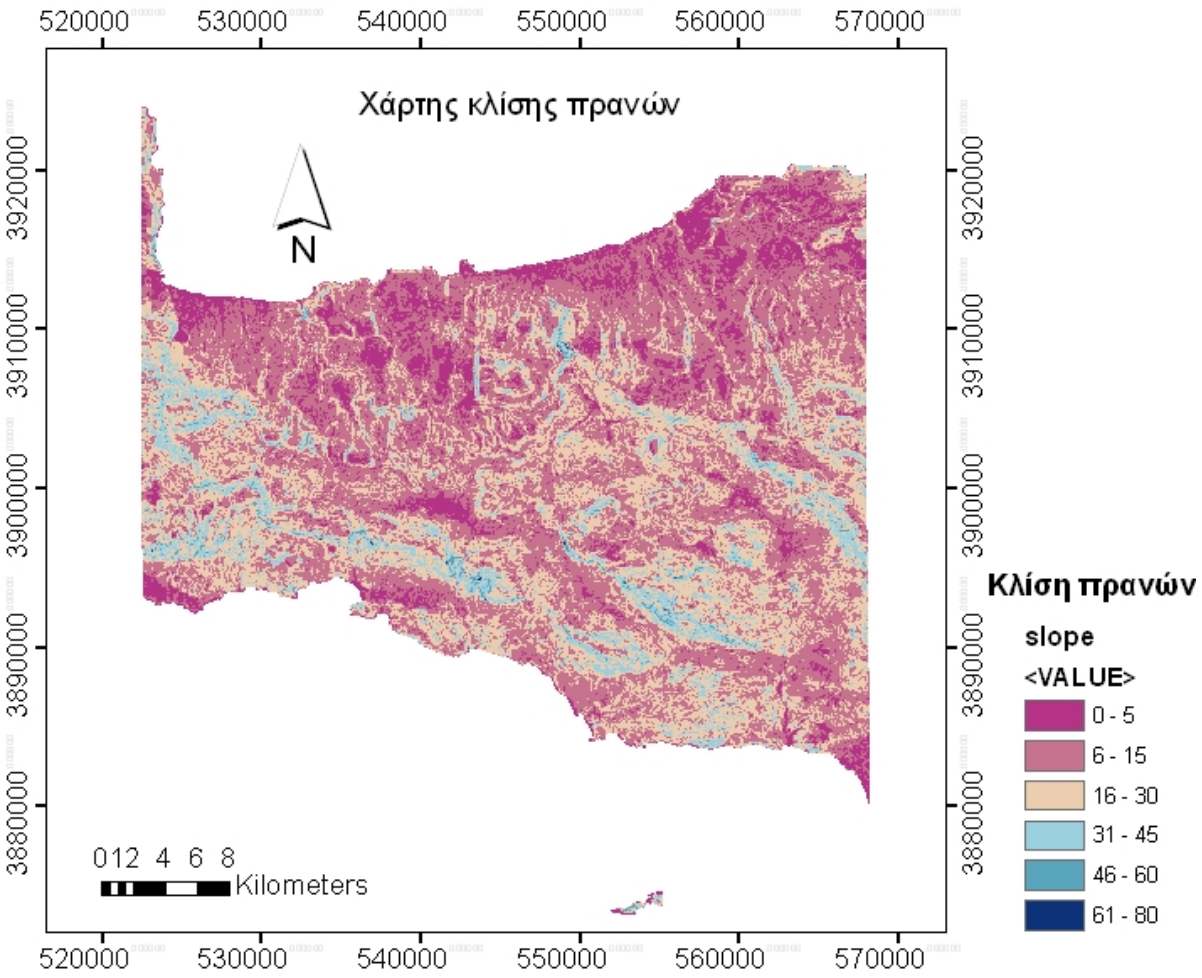
Εισάγουμε τα δεδομένα που θα χρειαστούμε στο περιβάλλον εργασίας του ArcMap για την δημιουργία θεματικών επιπέδων (layers). Έτσι προστίθενται στο πρόγραμμα τα κυρίως επίπεδα που θα χρησιμοποιηθούν, δηλαδή οι γεωλογικές ενότητες, τα ρήγματα, οι χρήσεις - κάλυψη γης, τα σημεία των υπαρχόντων κατολισθήσεων στο Ν. Ρεθύμνης, τα τέσσερα φύλλα χαρτών που αποτελούν το Νομό, το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου,

5.3.1. ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ (SLOPE)

Η γωνία κλίσης και η γεωμετρία αποτελούν ρυθμιστικό παράγοντα στην ευστάθεια των πρανών και επομένως μια ψηφιακή εικόνα κλίσης είναι το θεμελιώδες τμήμα ενός μοντέλου αξιολόγησης της επικινδυνότητας. Εξάχθηκε από το ΨΜΕ, χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο 3x3, και για την δημιουργία της εικόνας αυτής χρησιμοποιήσαμε από την εργαλειοθήκη 'Spatial Analyst' την επιλογή Surface Analysis → Slope, ορίζοντας μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) όσο αυτό του ΨΜΕ, δηλαδή 20 μέτρα. Κάθε εικονοστοιχείο

απεικονίζει την γωνία κλίσης των πρανών για κάθε σημείο του χάρτη και όπως όλα τα δεδομένα που εξάγονται από το ΨΜΕ είναι και αυτό σε ψηφιδωτή μορφή.

Γεωγραφικά, οι απότομες κλίσεις (>30˚) είναι πιο διαδεδομένες, με εκτεταμένες τις επίπεδες περιοχές. Τα αποτελέσματα της εικόνας ταξινομήθηκαν σε έξι κλάσεις γωνιών κλίσεων πρανών 'επίπεδη , ομαλή, μέτρια, μετρίως απότομη, απότομη και πολύ απότομη'. Παρατηρούμε ότι στην εικόνα κλίσης που παράχθηκε οι τιμές κυμαίνονται από 0-80˚ (Εικ.5.2.) ενώ πολλές περιοχές έχουν απότομη κλίση (>46º) κυρίως στην περιοχή του Ψηλορείτη ή Όρος Ίδη, στα Όροι Κέδρος, Σιδέρωτας και Κρυονερίτης καθώς επίσης και στα φαράγγια Πρασσανό και Κουρταλιώτικο. Επίπεδες περιοχές παρατηρούνται κυρίως στα βόρεια και λιγότερο στα κεντρικά του Νομού.

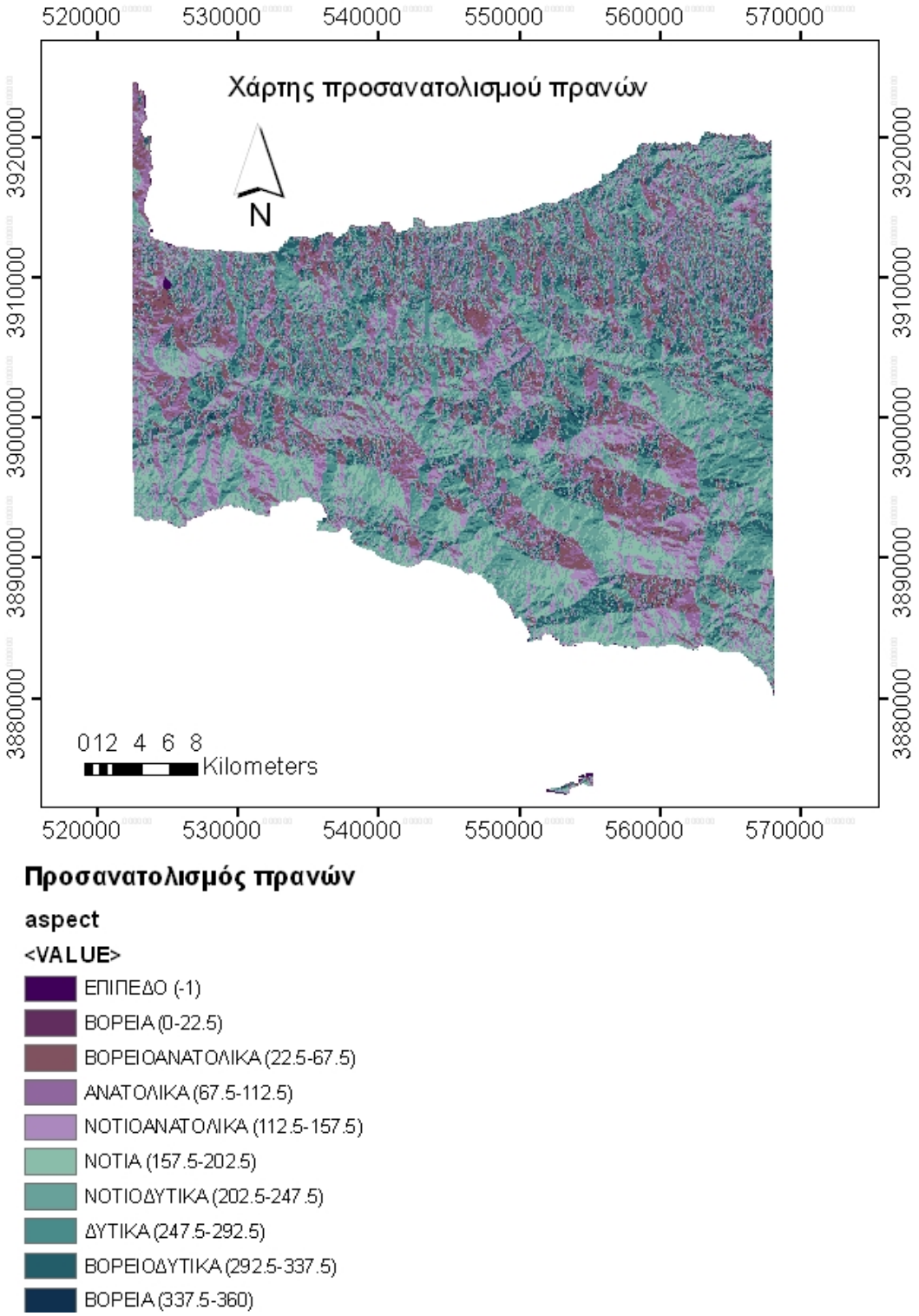


Εικόνα 5.2.: Χάρτης κλίσης πρανών Νομού Ρεθύμνης.

5.3.2. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΡΑΝΩΝ (ASPECT)

Οι πτυχές μπορούν να οριστούν ως κλίσεις κατεύθυνσης, οι οποίες προσδιορίζουν την κατωφέρεια διεύθυνση του μέγιστου ρυθμού της μεταβολής υψομέτρου. Οι πτυχές εκφράζονται σε μοίρες από τα βόρεια και με κατεύθυνση την φορά του ρολογιού, με τιμές από 0 έως 360. Η τιμή των 361 μοιρών χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει επίπεδες επιφάνειες όπως τα υδάτινα συστήματα.

Η πτυχή μιας κλίσης επηρεάζει έμμεσα την εκκίνηση κατολισθήσεων, επειδή ρυθμίζει την έκθεση σε αρκετές καιρικές συνθήκες (διάρκεια έκθεσης στον ήλιο, ένταση κατακρημνισμάτων, διατήρηση υγρασίας κ.α.) και ως αποτέλεσμα αυτών και την κάλυψη βλάστησης. Στην παρούσα μελέτη ο χάρτης προσανατολισμού πρανών της υπό μελέτη περιοχής εξήχθη από το ΨΜΕ, από την εργαλειοθήκη 'Spatial Analyst' και επιλέγοντας Surface Analysis → Aspect (Εικ.5.3.). Κατόπιν ταξινομήθηκε σε 6 κλάσεις: Επίπεδο, Νοτιοανατολικά, Ανατολικά και Νότια, Βορειοανατολικά και Νοτιοδυτικά, Δυτικά και Βόρεια, Βορειοδυτικά (Πιν.5.2.). Με βάση τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης οι Βορειοδυτικά προσανατολισμένες πλαγιές επηρεάζονται πιο βίαια από τις βροχοπτώσεις.



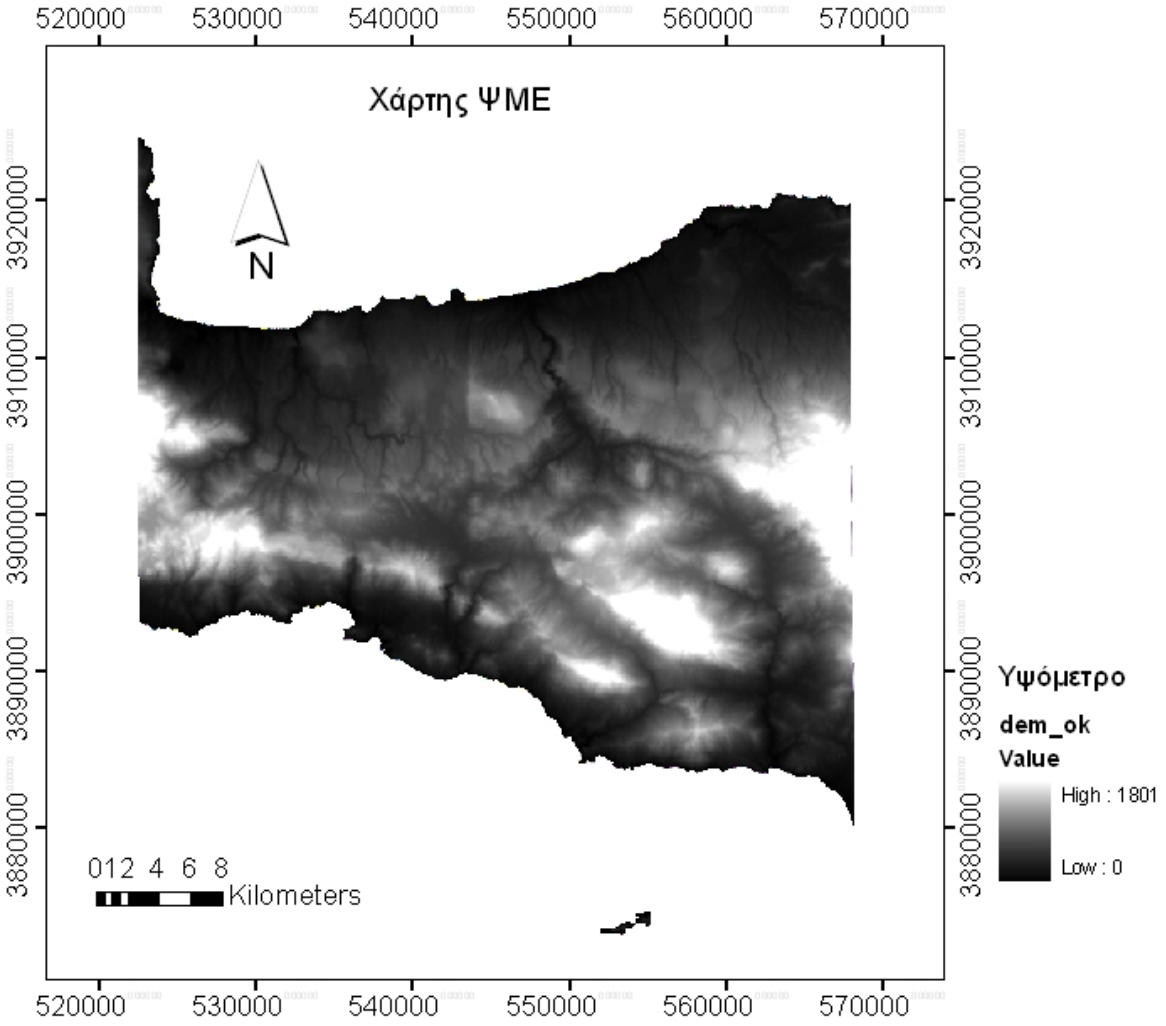
Εικόνα 5.3.: Χάρτης προσανατολισμού πρανών Νομού Ρεθύμνης.

5.3.3. ΣΧΕΤΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ

Το σχετικό υψόμετρο είναι η διαφορά μεταξύ του μεγαλύτερου και του χαμηλότερου υψομέτρου στην υπό εξέταση περιοχή. Αυτή η παράμετρος επηρεάζει την εκδήλωση κατολισθήσεων, καθώς η περιοχή του Νομού Ρεθύμνης με το μεγαλύτερο υψόμετρο στην οροσειρά του Ψηλορείτη αποτελείται κυρίως από πλακώδεις ασβεστόλιθους, δηλαδή τους πιο συνεκτικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης, εκτεθειμένοι όμως σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Οι περισσότερες από τις υψηλότερες σχετικές τιμές υψομέτρου βρίσκονται στις περιοχές που είναι καλυμμένες από ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους και οφιολίτες, ενώ οι χαμηλότερες σε περιοχές με τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις, δηλαδή προϊόντα διάβρωσης [9].

Τα δεδομένα εξήχθησαν απευθείας από το ΨΜΕ πραγματοποιώντας ταξινόμηση σε δέκα τάξεις με ίση απόσταση 180 μέτρα, ώστε να καλυφθεί η περιοχή μελέτης από 0 έως 1801 μέτρα. Αυτό το υλοποιήσαμε με δεξί κλικ στο επίπεδο του ΨΜΕ → properties → symbology → classify, επιλέγουμε μέθοδο ταξινόμησης equal interval (ίσες αποστάσεις) και έπειτα επιλέγουμε 10 κλάσεις. Δημιουργήσαμε έτσι ένα πεδίο στον πίνακα ιδιοτήτων του νέου θεματικού επιπέδου όπου και αντιστοιχίσαμε τιμές από 1 έως 10 με βάση τον Πίνακα 5.2..

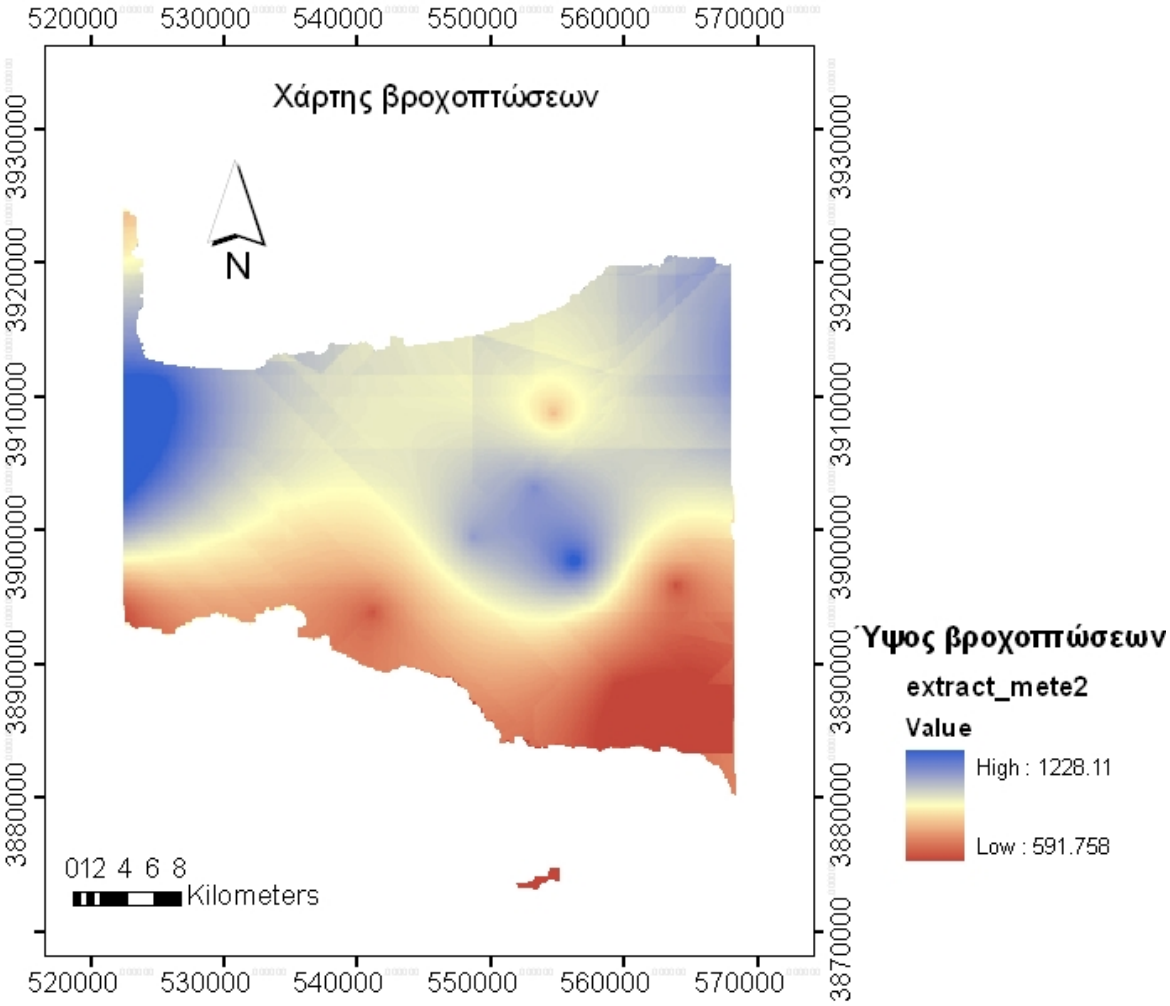
Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης του ΨΜΕ (Εικ.5.4.) για την περιοχή μελέτης μας, από τον οποίον δημιουργήθηκε απευθείας το θεματικό επίπεδο του σχετικού υψομέτρου.



Εικόνα 5.4.: Χάρτης ΨΜΕ Νομού Ρεθύμνης.

5.3.4. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

Τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα που καλύπτουν μια χρονική περίοδο 25 χρόνων, τα οποία συλλέχθηκαν και αξιολογήθηκαν από το ΙΓΜΕ και την ΕΜΥ, χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση του χάρτη κατανομής βροχοπτώσεων της Ελλάδας. Ένα ψηφιοποιημένο τμήμα αυτού του χάρτη, που αναφέρεται στον Ν. Ρεθύμνης, ενσωματώθηκε στα δεδομένα ώστε να περιλαμβάνονται οι υψηλές τιμές βροχοπτώσεων που προκαλούν τους χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας. Η έντονη βροχόπτωση χαρακτηρίζετε ως η φυσική διεργασία που αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα κατολισθητικών φαινομένων. Έτσι καθορίσαμε τέσσερις κλάσεις, χρησιμοποιώντας ίσο διάστημα 250mm μεταξύ τους.

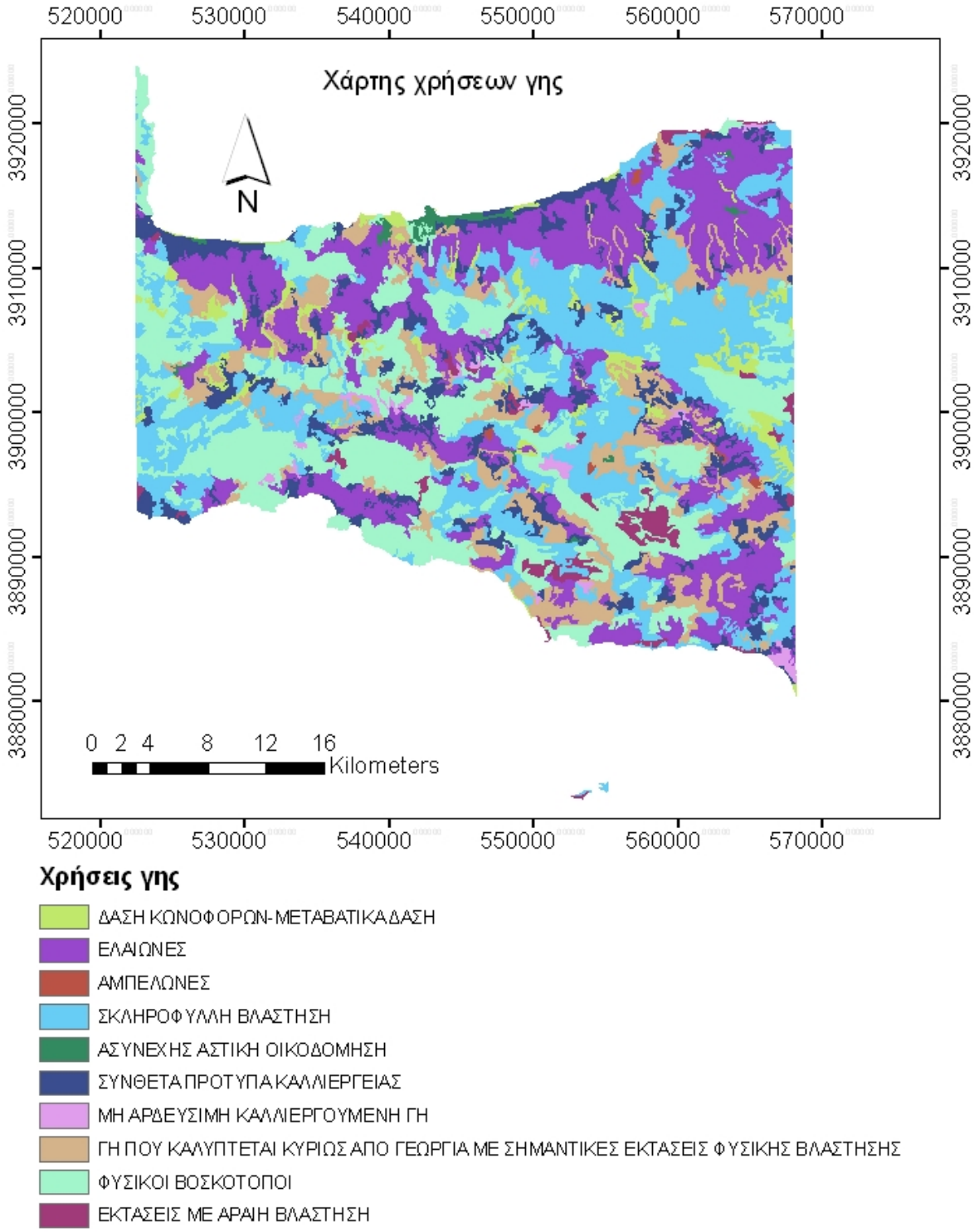


Εικόνα 5.5.: Χάρτης βροχοπτώσεων Νομού Ρεθύμνης.

5.3.5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Οι χρήσεις – καλύψεις γης σχετίζονται επίσης με τους παράγοντες ενεργοποίησης κατολισθήσεων. Για παράδειγμα, σε κάποιους τύπους χρήσης - κάλυψης γης, ιδιαίτερα σε περιοχές με δενδρώδη βλάστηση που διαθέτουν εκτενή και δυνατά ριζικά συστήματα, παρέχονται μηχανικοί και υδρολογικοί μηχανισμοί που γενικά σταθεροποιούν τα πρανή. Αντιθέτως, κατολισθήσεις επέρχονται σε περιοχές χωρίς βλάστηση ή σε καλλιεργούμενες αρδευόμενες περιοχές εξαιτίας της έλλειψης των προαναφερθέντων μηχανισμών. Ως εκ τούτου, αξιολογήσαμε τον ρόλο της βλάστησης στην ευστάθεια των πρανών, χρησιμοποιώντας τον χάρτη κάλυψης γης (CLC2000 100m, version1) και ταξινομώντας τον

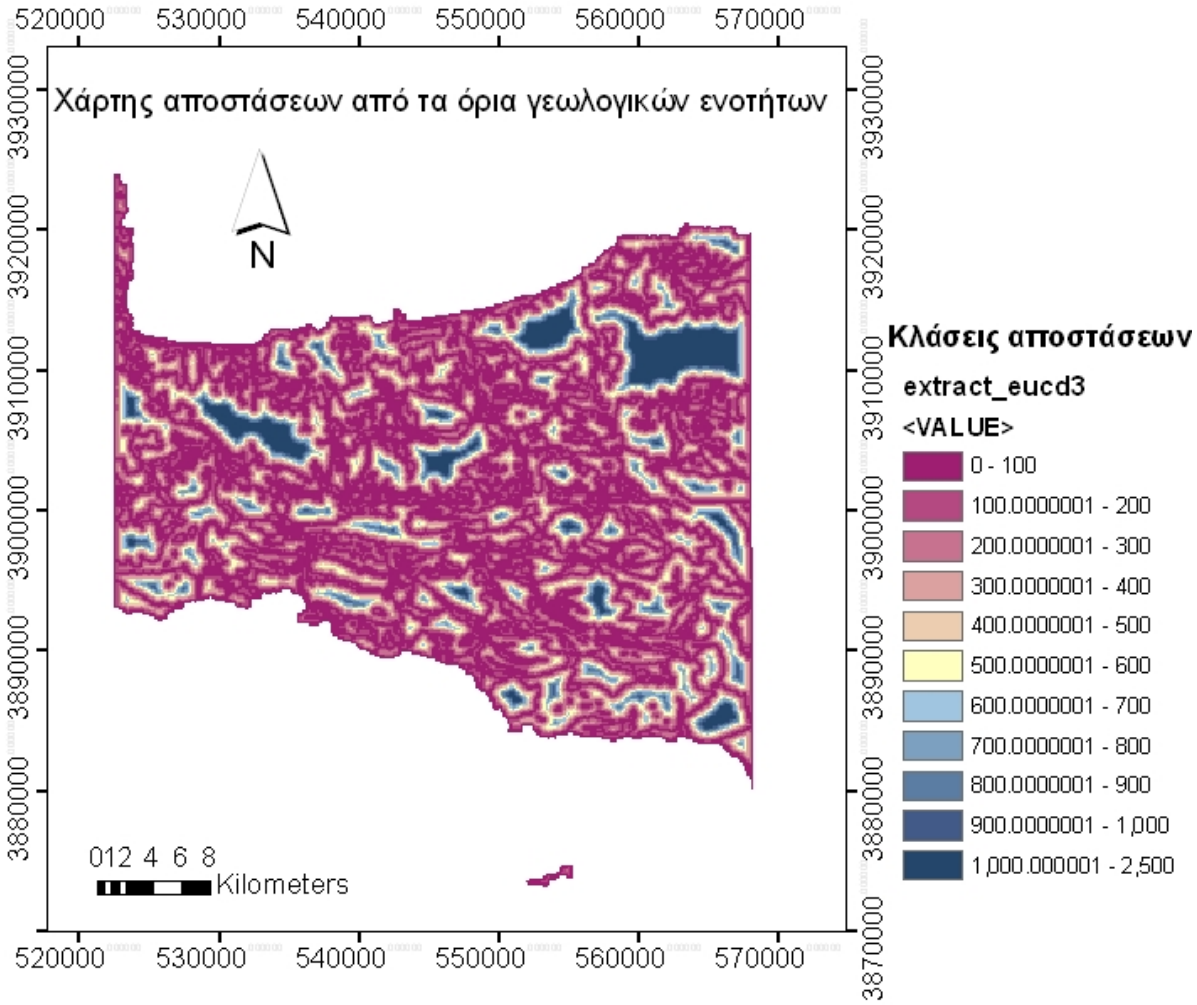
σε 10 κλάσεις για την υπό μελέτη περιοχή. Οι διάφορες χρήσεις γης είναι καταταγμένες όπως φαίνονται στον Πίνακα 5.2..



Εικόνα 5.6.: Χάρτης χρήσεων γης Νομού Ρεθύμνης.

5.3.6. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΡΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ

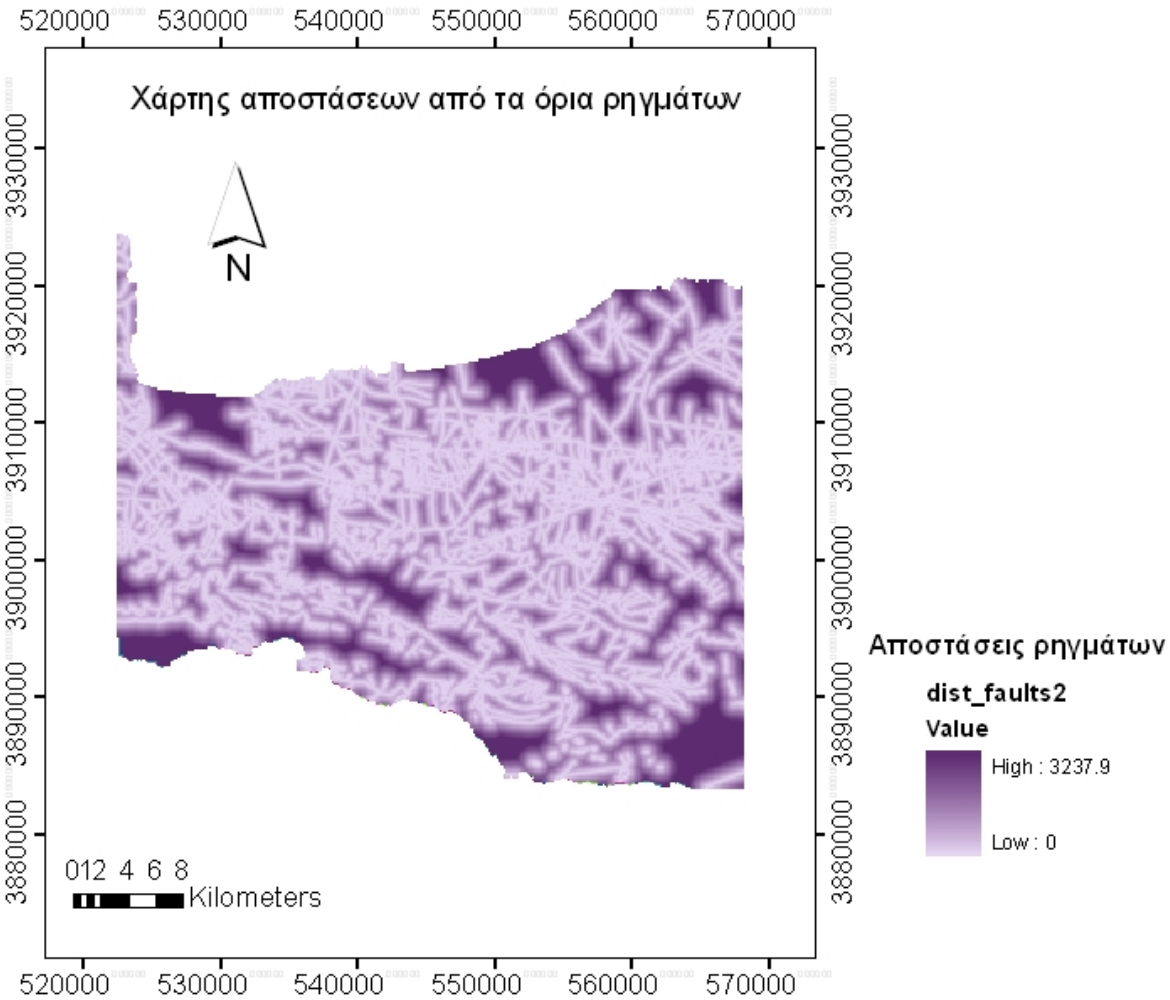
Όσον αφορά την προεπεξεργασία του θεματικού επιπέδου της γεωλογίας, επειδή πρόκειται για διανυσματικό (vector) αρχείο έπρεπε να μετατραπεί σε ψηφιδωτό (raster). Αυτό επιτυγχάνθηκε από την εργαλειοθήκη 'ArcToolbox' και επιλέγοντας Convertion Tools → To Raster → Polygon to Raster. Στη συνέχεια για την μέτρηση της απόστασης μεταξύ των ορίων των γεωλογικών ενοτήτων χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδιος απόσταση χρησιμοποιώντας και πάλι την εργαλειοθήκη 'ArcToolbox' και έπειτα 'Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance' (Εικ.5.7.).



Εικόνα 5.7.: Χάρτης αποστάσεων από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων Νομού Ρεθύμνης.

5.3.7. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΡΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

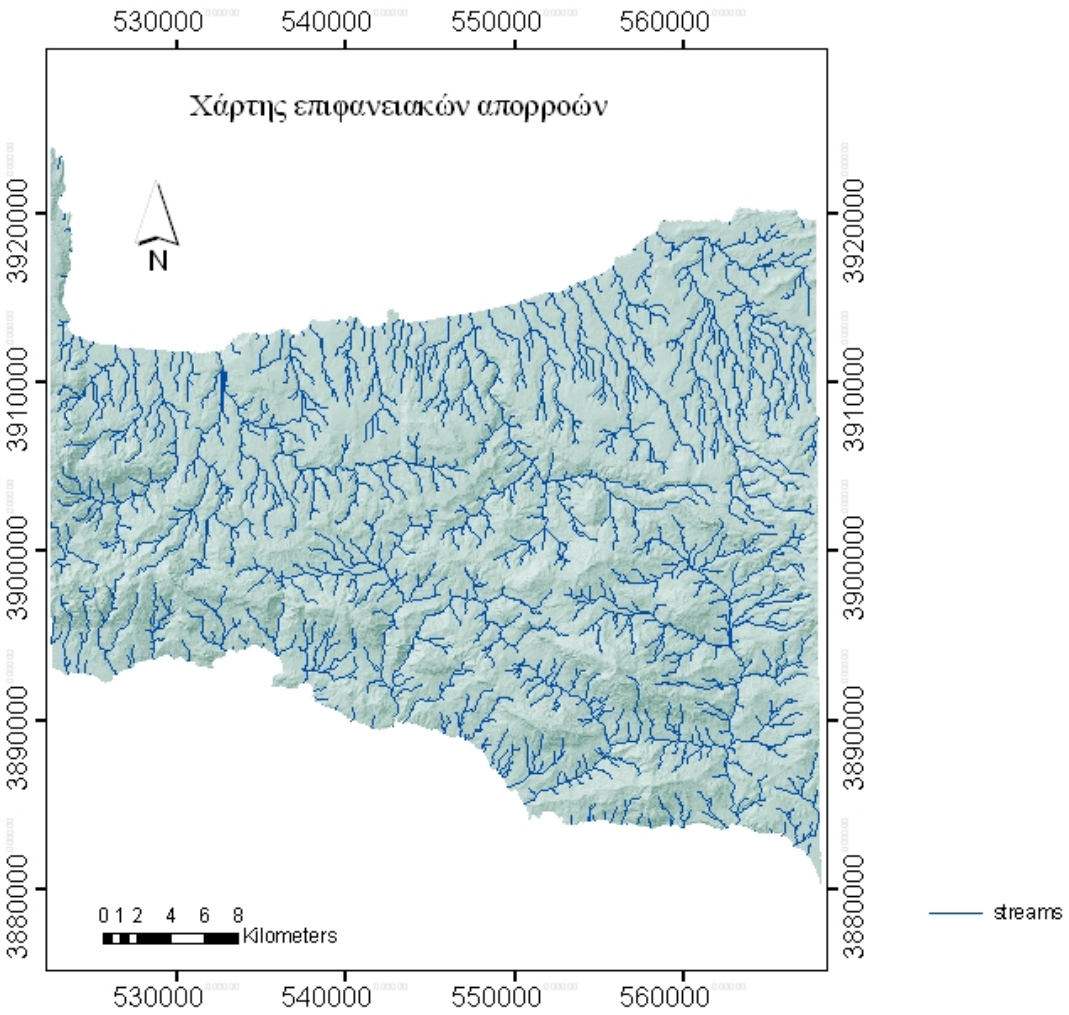
Όπως και στην παραπάνω ενότητα, την ίδια διαδικασία υλοποιήσαμε και για την προεπεξεργασία του θεματικού επιπέδου των ρηγμάτων. Εξαιτίας του ότι πρόκειται επίσης για διανυσματικό (vector) αρχείο έπρεπε να μετατραπεί σε ψηφιδωτό (raster). Αυτό επιτυγχάνθηκε από την εργαλειοθήκη 'ArcToolbox' και επιλέγοντας Convertion Tools → To Raster → Polyline to Raster. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδιος απόσταση χρησιμοποιώντας και πάλι την εργαλειοθήκη 'ArcToolbox' και έπειτα 'Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance' (Εικ.5.8.).



Εικόνα 5.8.: Χάρτης αποστάσεων από τα όρια ρηγμάτων Νομού Ρεθύμνης.

5.3.8. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ

Η διάβρωση ποταμών είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που δρουν ως έναυσμα μετακίνησης, ειδικά σε περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με βαθιές κοιλάδες. Επομένως, η απόσταση από επιφανειακές απορροές θεωρείται ως ένας σημαντικός παράγοντας για τον χαρακτηρισμό ευπαθών περιοχών.



Εικόνα 5.9.: Χάρτης επιφανειακών απορροών Νομού Ρεθύμνης.

Πίνακας 5.2.: Θεματικά επίπεδα και βαθμονόμηση επικινδυνότητας που υιοθετήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη [9].

ΘΕΜΑΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΚΛΑΣΕΙΣ	W1	W2	ΒΑΘΜΟΣ
1.Γεωλογικές ενότητες	Φλύσχης (τεκτονικού καλλύματος ζώνης Πίνδου, τεκτονικού καλλύματος ζώνης Τρίπολης)	10	10	10
	Χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, θραύσμα υπό κλίση και φτερωτές, χείμαρρους από επίπεδα γης)			9
	Νεογενή (ασβεστόλιθοι, σχηματισμός Παντάνασσας)			6
	Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά (φυλλίτες, χαλαζίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι)			8
	Ενότητα πλακώδων ασβεστόλιθων			4
	Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης			4
	Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρυπαλίου			4
	Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πίνδου			4
	Υδατική περιοχή (λίμνη)			0
2.Τεκτονικές δομές	Ωθήσεις	9	0.9 * Λιθολογικό επίπεδο	
	<500			9
	500 - 1000m			7
	>1000m			5
	Ρήγματα			
	<250m			3
	>250m			0
3.Χρήσεις γης	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	8	0.8 * Λιθολογικό επίπεδο	10
	Φυσικοί βοσκότοποι			9
	Λιβάδια			9
	Χώροι εξορύξεως ορυκτών			9
	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία, με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης			8
	Μη αρδεύσιμη καλλιεργούμενη γη			7
	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας			6
	Ασυνεχείς αστική οικοδόμηση			5
	Σκληρόφυλλη βλάστηση			4
	Αμπελώνες			3
	Ελαιώνες			2
	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με			2

	σαρκώδεις καρπούς			
	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής			1
	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές			1
	Λιμενικές ζώνες			1
	Δάση πλατύφυλλων			1
	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες			1
	Μεταβατικές δασώδεις - θαμνώδεις εκτάσεις			1
	Υδατικά οικοσυστήματα			1
	Μικτό δάσος			1
	Δάσος κωνοφόρων			1
	Αεροδρόμια			1
4.Κλίση πρανών	>61˚	10	10 * Λιθολογικό επίπεδο	10
	46 - 60˚			9
	31 - 45˚			8
	16 - 30˚			7
	6 - 15˚			4
	0 - 5˚			1
5.Προσανατολισμός πρανών	Δυτικά, Βόρεια	6	0.6 * Λιθολογικό επίπεδο	9
	Βορειοδυτικά			10
	Βορειοανατολικά, Νοτιοδυτικά			6
	Ανατολικά, Νότια			4
	Νοτιοανατολικά			2
	Επίπεδο			0
6.Βροχοπτώσεις	1400 – 1200	8	0.8 * Λιθολογικό επίπεδο	10
	1200 – 1000			9
	1000 – 800			8
	586 – 800			6
7.Σχετικό υψόμετρο (m)	1622 – 1801	6	0.6 * Λιθολογικό επίπεδο	10
	1442 – 1621			9
	1262 – 1441			8
	1082 – 1261			7
	902 – 1081			6
	721 – 901			5
	541 – 720			4
	361 – 540			3
	181 – 360			2
	180 – 0			1
8.Απόσταση από επιφανειακές απορροές (m)	0 – 100	8	0.8 * Λιθολογικό επίπεδο	10
	101 – 200			9
	201 – 300			8
	301 – 400			7

	401 – 500			6
	501 – 600			5
	601 – 700			4
	701 – 800			3
	801 – 900			2
	901 – 1000			1
	>1000			0

5.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι υπολογισμού δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, η ποιοτική, η ποσοτική και η ημιποσοτική. Οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται σε μαθηματικές εκφράσεις του συσχετισμού μεταξύ των παραγόντων και των κατολισθήσεων. Οι δύο τύποι ποσοτικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι η ντετερμινιστική και η στατιστική. Οι ποσοτικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν διδιάστατη αναλυτική, πολυμεταβλητές, λογιστική παλινδρόμηση, ασαφή λογική, ανάλυση τεχνητών νευρωνικών δικτύων, κ.τ.λ. Αντιθέτως, οι ποιοτικές μέθοδοι βασίζονται στις γνώμες ειδικών. Οι βασικοί τύποι ποιοτικών μεθόδων χρησιμοποιούν δείκτες κατολισθήσεων για να ταυτοποιήσουν με παρόμοια γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά περιοχές οι οποίες να είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις.

Επιπλέον υπάρχουν ποιοτικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν διαδικασίες στάθμισης και ταξινόμησης οι οποίες είναι γνωστές ως ημιποσοτικές μέθοδοι. Τέτοιου τύπου μεθοδολογίες είναι η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP - Analytic Hierarchy Process) και η μέθοδος των βαθμονομήσεων γραμμικού συνδυασμού (WLC - Weighted Linear Combination). Η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας περιλαμβάνει την δημιουργία ιεράρχησης των αποφασιστικών στοιχείων (παραγόντων) και την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ζευγαριών στοιχείων με σκοπό τον προσδιορισμό βαθμού και δείκτη συνοχής για κάθε στοιχείο. Η μέθοδος WLC περιλαμβάνει το συνδυασμό διαφόρων χαρτών κατολισθητικών παραμέτρων. Σε κάθε κατηγορία του χάρτη, θεματικό επίπεδο στη γλώσσα του GIS, αποδίδεται η αντίστοιχη εκτίμηση ταξινόμησης και μετά από αυτό οι παράμετροι των στρωμάτων σταθμίζονται ανάλογα με την σπουδαιότητα ή προτίμηση της κάθε παραμέτρου σχετικά με τις άλλες. Τέλος όλοι οι παραγόμενοι χάρτες είναι υπερτιθέμενοι ώστε να κατασκευαστεί ο τελικός χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Επιπλέον, οι χάρτες κανονικοποιήθηκαν προκειμένου να είναι συγκρίσιμες ποσότητες και έπειτα ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ίσου διαστήματος, σε πέντε κλάσεις: πολύ χαμηλός κίνδυνος, χαμηλός κίνδυνος, μέτριος κίνδυνος, υψηλός κίνδυνος, πολύ υψηλός κίνδυνος.

Στη συγκεκριμένη μελέτη η αριθμητική κλίμακα ανάλυσης κινδύνου χρησιμοποιώντας σχετική στάθμιση – ανάλυση συστήματος εγκρίθηκε για τις ζώνες κατολισθητικής επικινδυνότητας. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εφαρμογή της μεθόδου WLC στην περιοχή που υποφέρει από διάφορα κατολισθητικά φαινόμενα και η οποία βρίσκεται εντός των γεωγραφικών ορίων του Ν. Ρεθύμνης.

Σε αυτή την βαθμονόμηση, με διακύμανση από 0 έως 10, τις μεγαλύτερες τιμές θα πάρουν τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε παράγοντες που προκαλούν αυξημένη κατολισθητική επικινδυνότητα και τις μικρότερες τιμές αυτά των παραγόντων που αντίστοιχα προκαλούν μικρότερη κατολισθητική επικινδυνότητα. Οι τιμές αυτές καταγράφηκαν στους πίνακες ιδιοτήτων των θεματικών επιπέδων (attribute table), ορίζοντάς τους ένα νέο πεδίο.

Ο δείκτης κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI – Landslide Hazard Index) για κάθε κυψελίδα – εικονοστοιχείο δίνεται από το άθροισμα των ψηφιδωτών θεματικών χαρτών μετά από τον πολλαπλασιασμό τους με τους αντίστοιχους συντελεστές στάθμισης. Ο δείκτης LHI παρουσιάζεται από την έκφραση, όπως παρατίθεται κατωτέρω:

$$LHI = \sum_{i=1}^{n} Weight_{w1} \square Class\ Rate$$

$LHI =$ **10 • Γεωλογικές ενότητες + 9 • Απόσταση από τα όρια ρηγμάτων + 10 • Κλίση πρανών + 8 • Βροχοπτώσεις + 8 • Απόσταση από επιφανειακές απορροές + 8 • Χρήσεις γης + 6 • Προσανατολισμός πρανών + 6 • Σχετικό υψόμετρο**

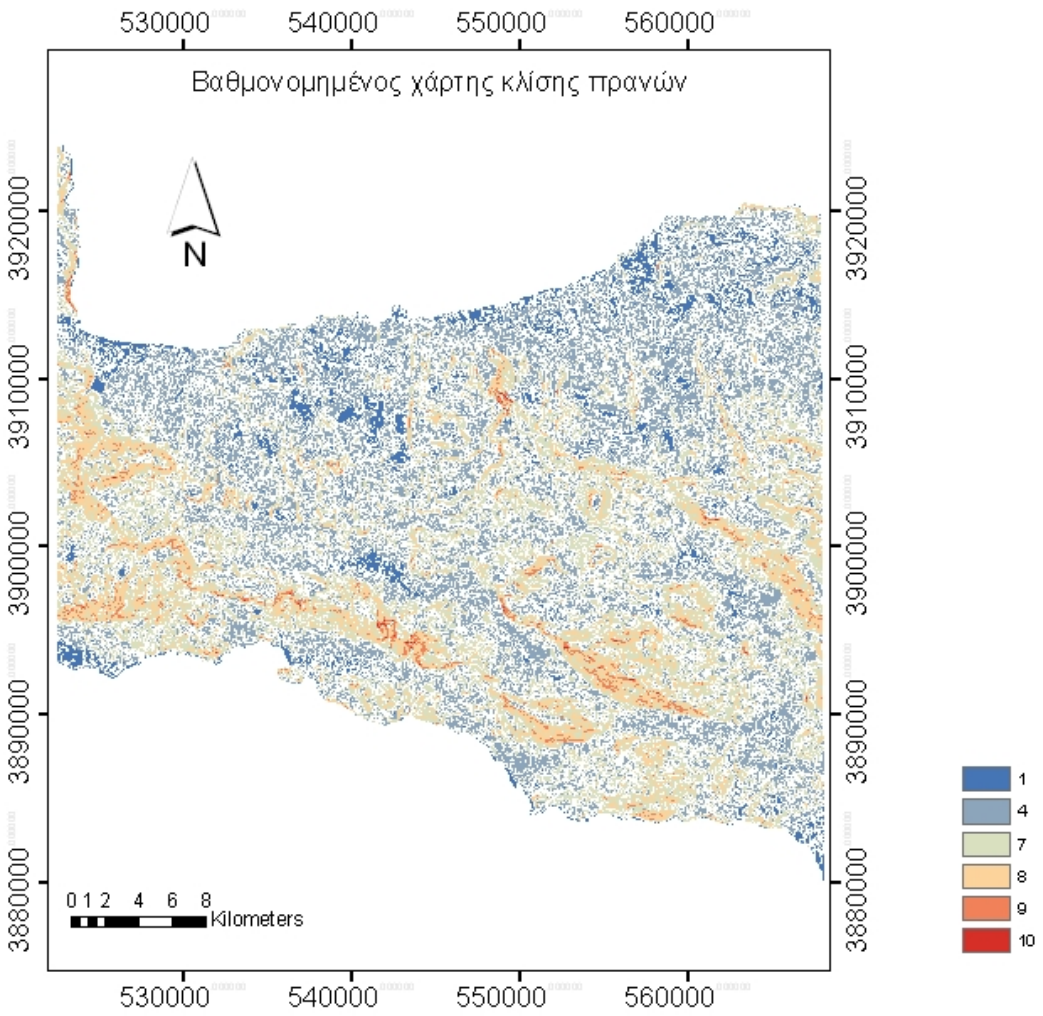
Ο υπολογισμός αυτός επιτεύχθηκε με τη βοήθεια της εργαλειοθήκης 'Spatial Analyst → Raster Calculator' όπου εμφανίζεται ένα πεδίο στο οποίο κάνουμε την άθροιση των θεματικών επιπέδων ανάλογα πάντα με τη βαρύτητα του καθενός ξεχωριστά.

Ο δείκτης LHI που δίνεται από τον πολλαπλασιασμό του αθροίσματος των ψηφιδωτών θεματικών χαρτών με τους αντίστοιχους συντελεστές στάθμισης με βάση τη λιθολογία παρουσιάζεται από την παρακάτω έκφραση:

$$LHI_L = \sum_{i=1}^{n} Weight_{w2} \square Class\ Rate$$

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ταξινομήθηκαν με ίσες αποστάσεις (equal interval) σε πέντε ζώνες επικινδυνότητας 'πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή'.

5.5. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

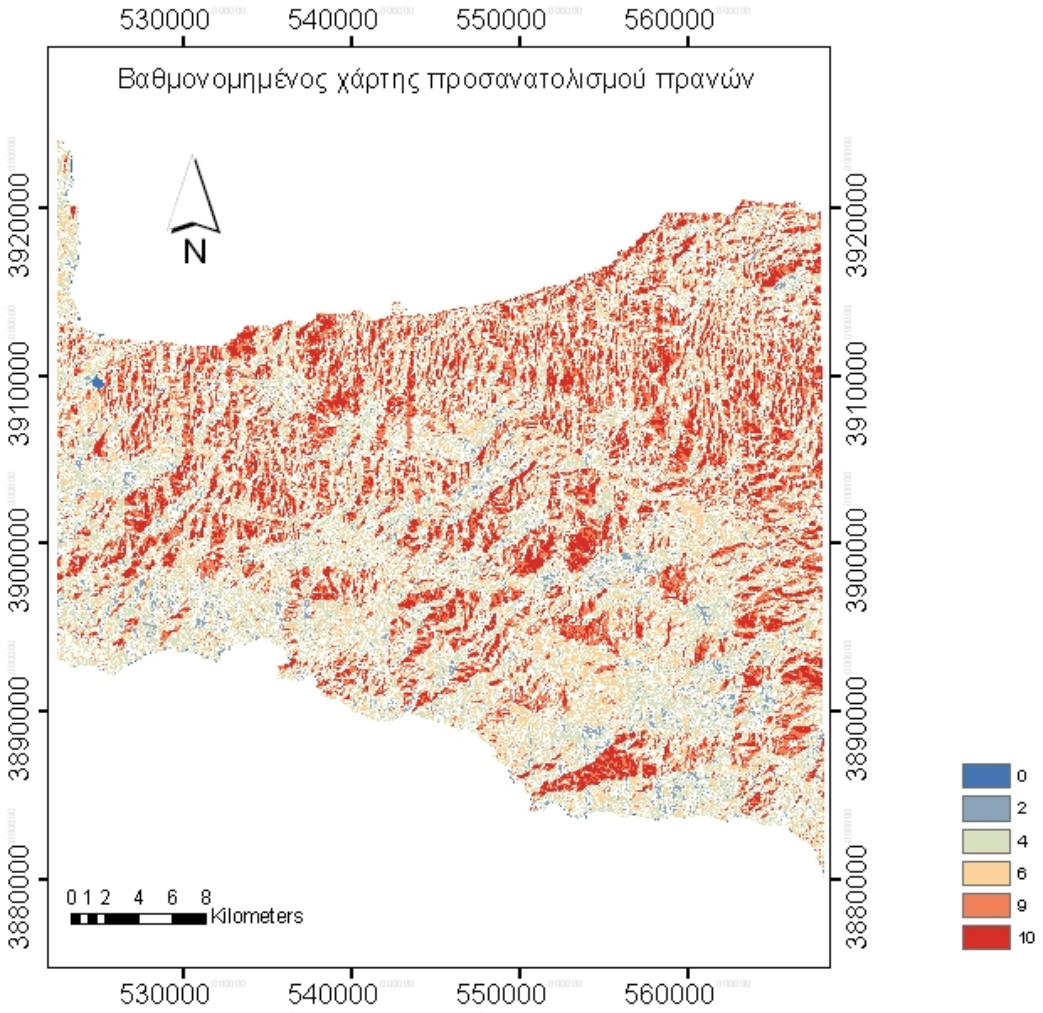


Εικόνα 5.10.: Βαθμονομημένος χάρτης κλίσης πρανών Νομού Ρεθύμνης.

Μετά την ταξινόμηση των γωνιών κλίσης σε έξι κλάσεις κλίσεων πρανών 'επίπεδη , ομαλή, μέτρια, μετρίως απότομη, απότομη και πολύ απότομη', τις βαθμονομήσαμε ανάλογα με την εκτιμώμενη επικινδυνότητά τους (Πιν.5.2.).

Όπως παρατηρούμε (Εικ.5.8.) οι περισσότερες περιοχές που έχουν τον χαρακτηρισμό «πολύ απότομη» βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του Νομού στο Πρασσανό φαράγγι που ξεκινά νότια του χωριού Πρασές, στα φαράγγια Αργουλιανό, Κουρταλιώτικο και Κοτσίφου, στα ανατολικά όπου εδρεύει ο Ψηλορείτης ή Όρος Ίδη, στα νοτιοανατολικά στο Όρος Κέδρος, στα Όροι Κρυονερίτης και Σιδέρωτας. Το μεγαλύτερο μέρος του Νομού έχει χαρακτηρισμό κλίσης ως 'ομαλή' ενώ επίπεδες περιοχές παρουσιάζονται στα παράλια του Νομού αλλά και κεντρικά όπως κοντά στο Μονοπάρι. Όπως είδαμε και στον Πίνακα 5.2., το θεματικό αυτό επίπεδο έχει βαρύτητα 10, ο μεγαλύτερος που ορίσαμε μαζί με το επίπεδο των γεωλογικών ενοτήτων, συνεπώς αναμένεται πως θα επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Στον παραπάνω χάρτη καθώς και σ'αυτούς που ακολουθούν στο μπλε χρώμα αντιστοιχεί η πολύ χαμηλή επικινδυνότητα, στα ενδιάμεσα χρώματα η μέτρια και στο ερυθρό η πολύ υψηλή. Δηλαδή ξεκινώντας από το μπλε και καθώς η κλίμακα πηγαίνει προς το κόκκινο αυξάνεται ο κίνδυνος κατολισθητικών φαινομένων.

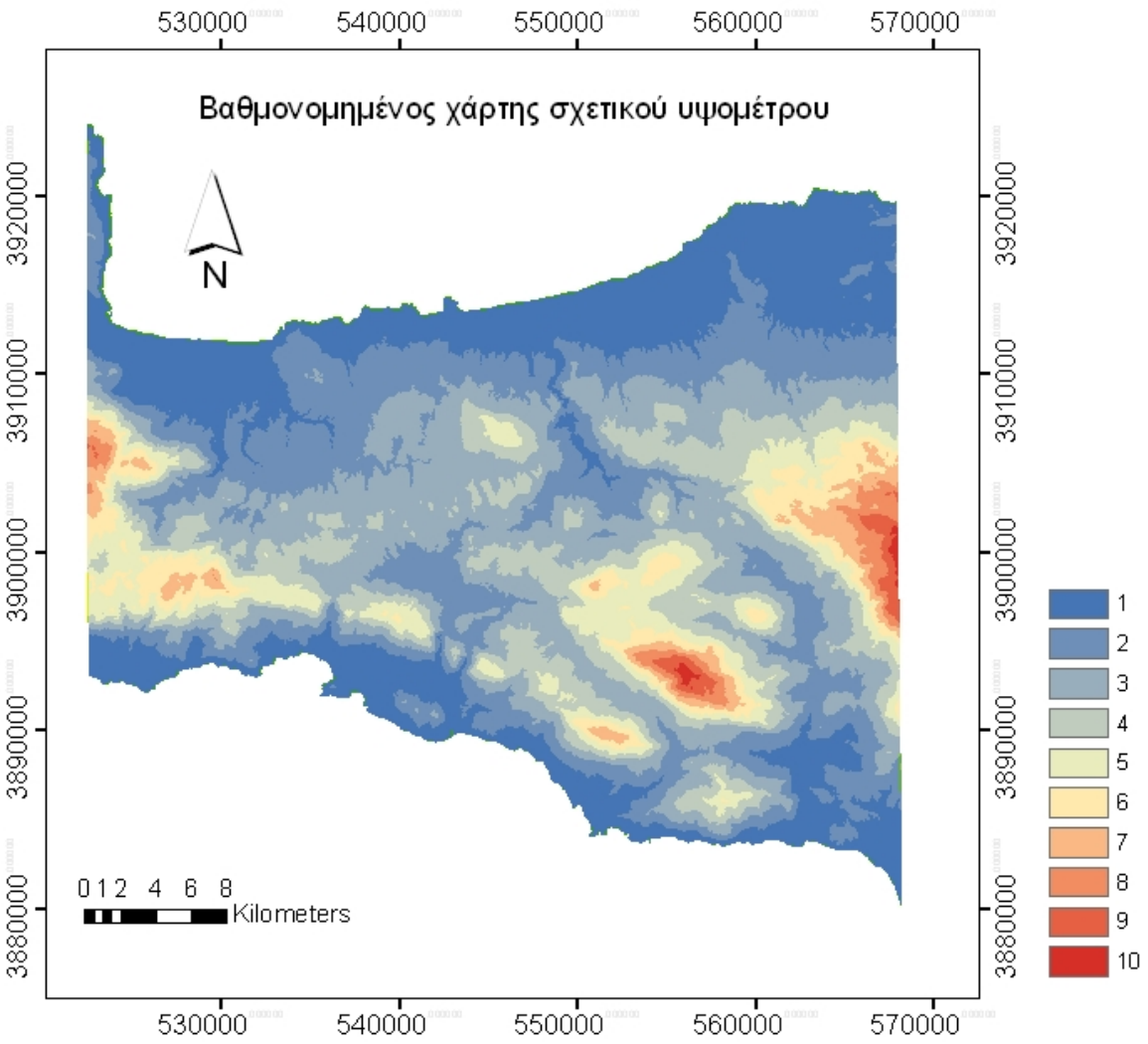


Εικόνα 5.11.: Βαθμονομημένος χάρτης προσανατολισμού πρανών Νομού Ρεθύμνης.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2. ταξινομήσαμε προηγουμένως τον προσανατολισμό σε 6 κλάσεις: Επίπεδο, Νοτιοανατολικά, Ανατολικά και Νότια, Βορειοανατολικά και Νοτιοδυτικά, Δυτικά και Βόρεια, Βορειοδυτικά. Κατόπιν τις βαθμονομήσαμε ανάλογα με την εκτιμώμενη επικινδυνότητά τους.

Με βάση τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης οι πλαγιές με Βορειοδυτική κατεύθυνση επηρεάζονται πιο έντονα από τις βροχοπτώσεις και κατόπιν αυτές με Βόρειο ή Δυτικό προσανατολισμό. Παρατηρούμε λοιπόν την βαθμονόμηση των Β και Δ περιοχών με 9 και των ΒΔ με 10, όπως βλέπουμε χαρακτηριστικά στον θεματικό χάρτη που παράχθηκε (Εικ. 5.9.). Σύμφωνα με αυτό σε κάποιο φαράγγι ή κοιλάδα π.χ., θα αναμένουμε αυξημένες τιμές του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας στα δυτικά πρανή σε σχέση με τα ανατολικά. Ωστόσο, η βαρύτητα του επιπέδου ορίστηκε με 6, που είναι μία από τις

μικρότερες που δόθηκαν, συνεπώς θα επηρεάσει σε μικρότερο βαθμό τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

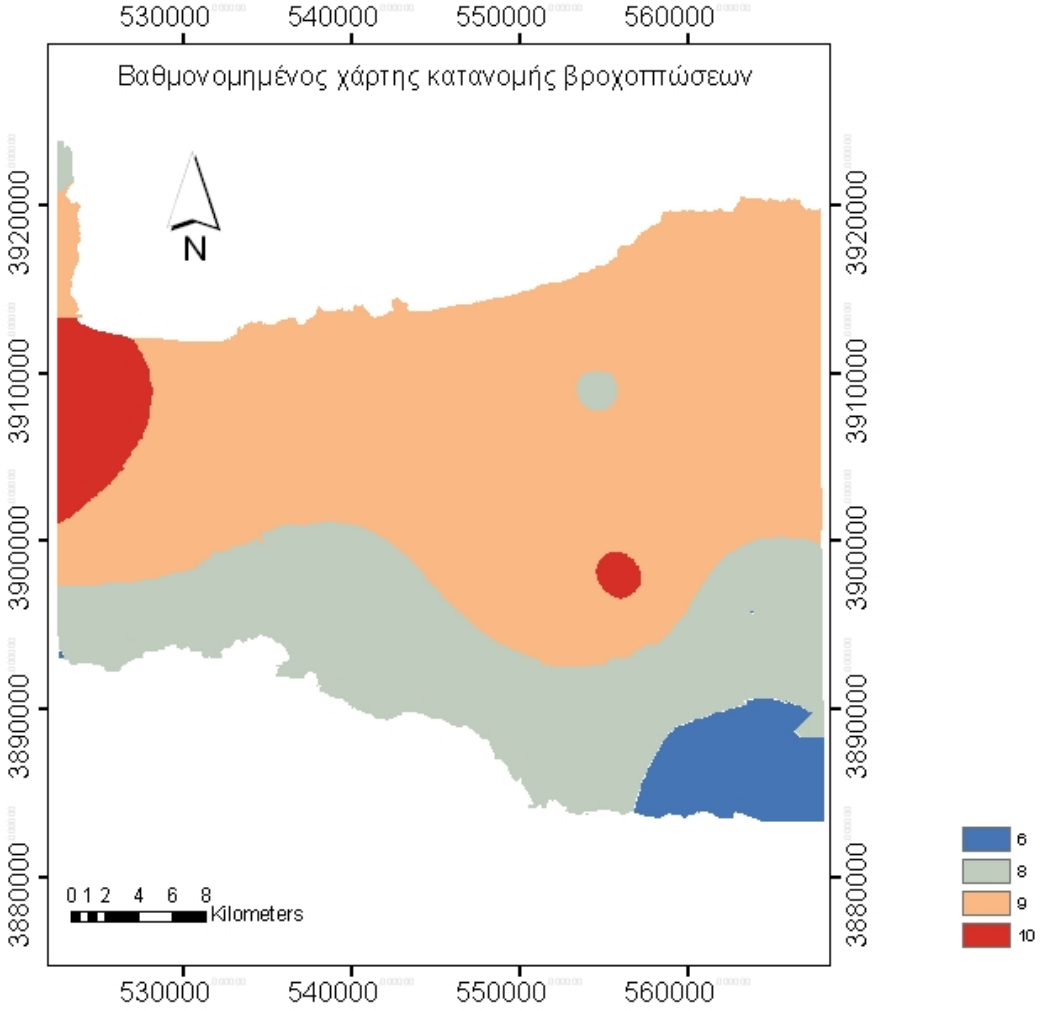


Εικόνα 5.12.: Βαθμονομημένος χάρτης σχετικού υψομέτρου Νομού Ρεθύμνης.

Οι 10 κλάσεις του θεματικού επιπέδου σχετικού υψομέτρου βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2..

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε πως οι μέγιστες τιμές βρίσκονται στον Ψηλορείτη και στα Όροι Κέδρος και Κρυονερίτης ενώ αντίθετα η ελάχιστη τιμή (1) στα πεδινά του Νομού και κυρίως στις βόρειες περιοχές και στα Νότια παράλια. Στις ενδιάμεσες τιμές αναγνωρίζουμε ημιορεινές περιοχές του Νομού όπως ο Μέρωνας, οι Αρμένοι, ο Καλλικράτης, οι Κούμοι και ο Κισσός.

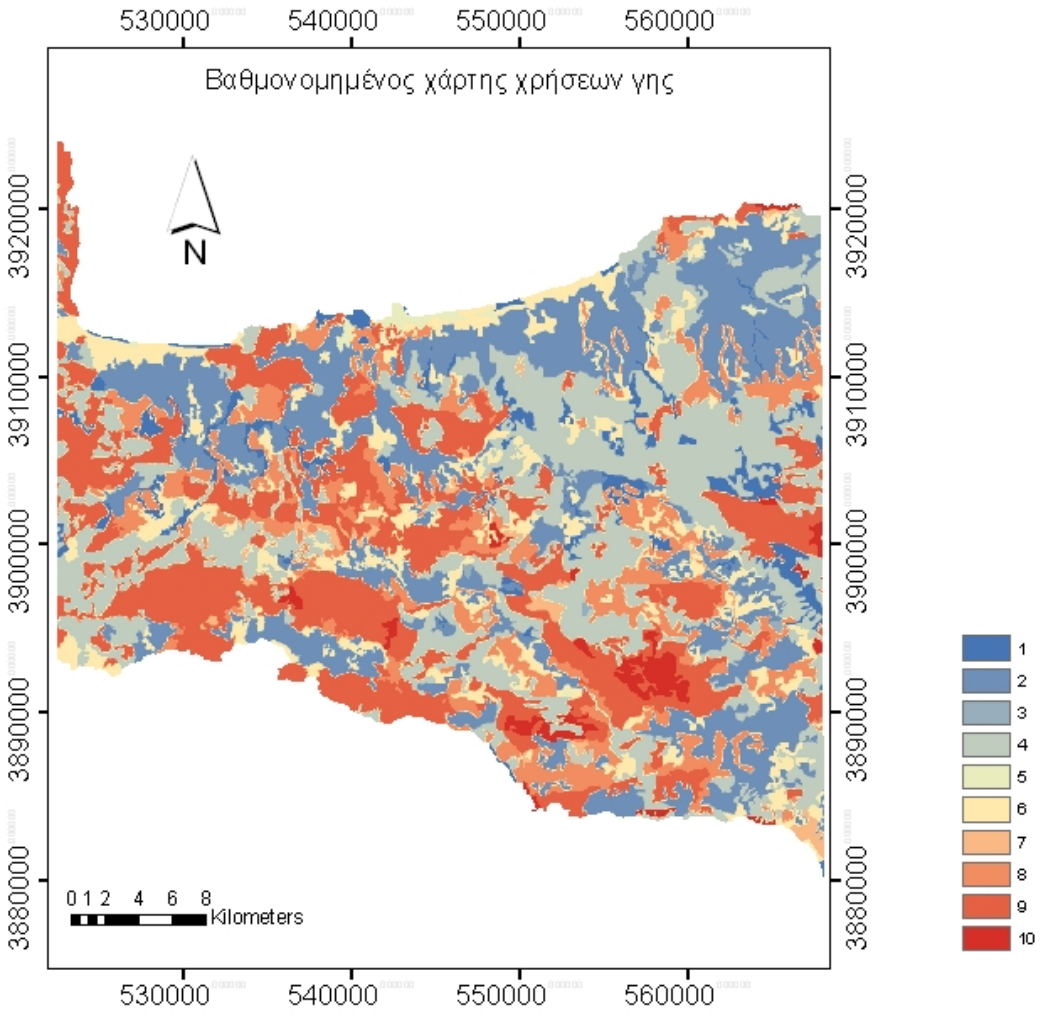
Η βαρύτητα που δόθηκε στο επίπεδο είναι 6 και συνεπώς θα επηρεάσει σε μικρό βαθμό τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 5.13.: Βαθμονομημένος χάρτης κατανομής βροχοπτώσεων Νομού Ρεθύμνης.

Οι κλάσεις των διαφόρων υψών βροχοπτώσεων βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2.. Στην εικόνα 5.13. παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτεροι βαθμοί της κλίμακας της κατανομής βροχοπτώσεων εντοπίζονται νοτιοανατολικά από την πόλη του Ρεθύμνου κοντά στα χωριά Ελένες και Μεσονήσια καθώς επίσης και από την περιοχή της Γεωργιούπολης και κατεβαίνοντας προς τα Νότια μέχρι και λίγο Βορειοδυτικότερα του χωριού Μυριοκέφαλα.

Η βαρύτητα του επιπέδου ορίστηκε με 8, που είναι μία από τις μεγαλύτερες που δόθηκαν, συνεπώς θα επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

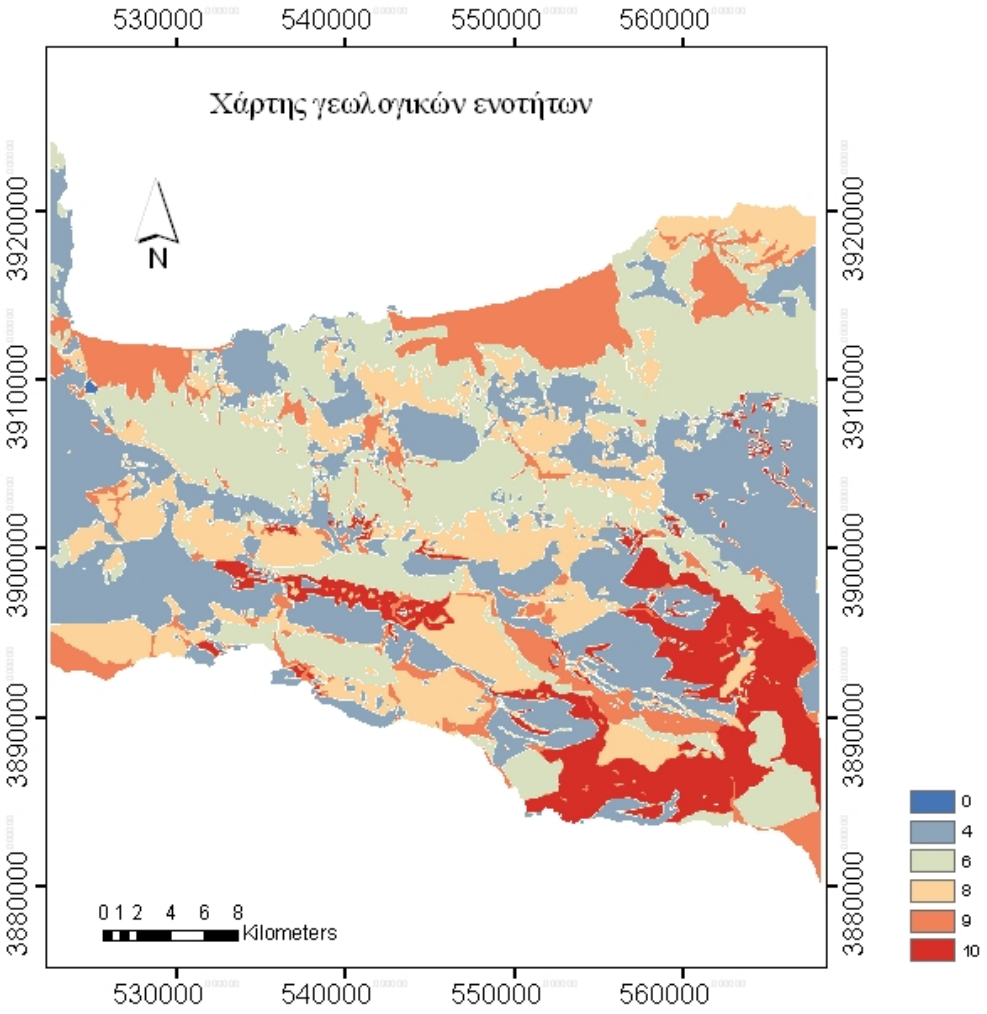


Εικόνα 5.14.: Βαθμονομημένος χάρτης χρήσεων γης Νομού Ρεθύμνης.

Τις κλάσεις του χάρτη χρήσεων γης τις βαθμονομήσαμε σύμφωνα με τον πίνακα 5.2. Τη μέγιστη τιμή 10 αποδώσαμε στις εκτάσεις με αραιή βλάστηση, ενώ η αμέσως μικρότερη τιμή 9 συσχετίσθηκε με τις χρήσεις γης: φυσικά λιβάδια, βοσκότοποι, χώροι εξορύξεως ορυκτών, θάμνοι και χερσότοποι. Για τις κλάσεις χρήσεων γης χώροι οικοδόμησης, παραλίες- αμμόλοφοι - αμμουδιές, μικτό δάσος, δάση κωνοφόρων - μεταβατικές δασώσεις, δάσος πλατύφυλλων, θαμνώδεις εκτάσεις, υδάτινα συστήματα, εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής και ζώνες λιμένων δόθηκε η τιμή 1. Για τους αμπελώνες η τιμή 3 ενώ για τους ελαιώνες η τιμή 2, κ.τ.λ..

Στον χάρτη (Εικ. 5.14.) ξεχωρίζει η μεγάλη επικινδυνότητα στα ΝΑ της περιοχής όπου βρίσκεται το Όρος Κέδρος και στα Ν το Όρος Σιδέρωτα καθώς επίσης εμφανές είναι και ένα κομμάτι του Ψηλορείτη. Επιπλέον μεγάλη επικινδυνότητα παρατηρούμε στα φαράγγια Κουρταλιώτη και Κοτσίφου, στα ΒΑ παράλια του Νομού κοντά στο Πάνορμο και στα Ν παράλια στο Ακρωτήρι Μέλισσα και στους πρόποδες του Όρους Βουβάλα. Αυτό συμβαίνει λόγω της ταξινόμησης των περιοχών στην κλάση απογυμνωμένοι βράχοι, φυσικοί βοσκότοποι και θάμνοι και χερσότοποι.

Η βαρύτητα που δόθηκε στο επίπεδο είναι 8, συνεπώς αναμένετε πως η παρουσία του θα επηρεάσει σε κάποιο βαθμό τον χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας που θα τον συμπεριλάβει.

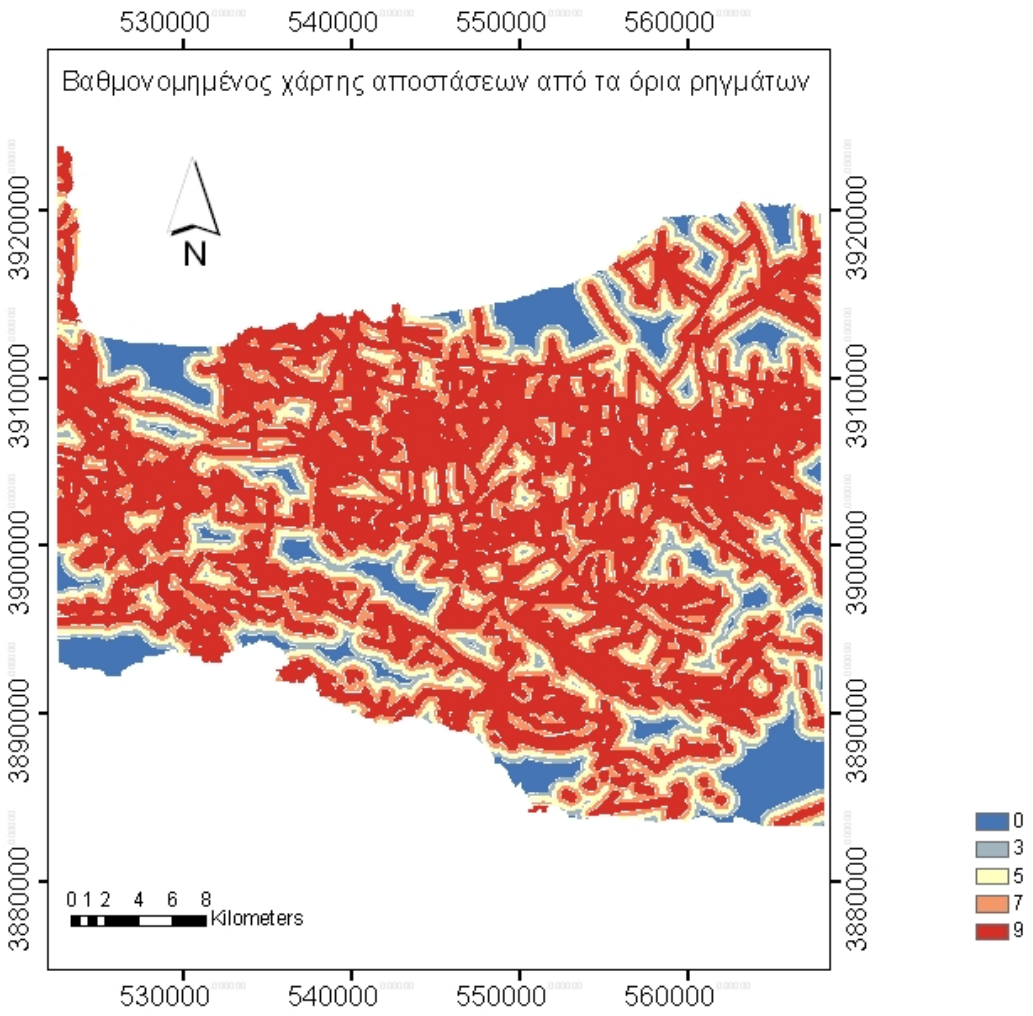


Εικόνα 5.15.: Βαθμονομημένος χάρτης γεωλογικών ενοτήτων Νομού Ρεθύμνης.

Καθορίστηκαν 6 κλάσεις στον παραπάνω χάρτη με ίση απόσταση μεταξύ τους 180 μέτρα και συνολικά από τα 0 έως 2500 μέτρα. Οι κλάσεις του χάρτη βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2..,στον οποίο η μηδενική τιμή καταχωρήθηκε για τη λίμνη του Κουρνά.

Καθότι υπάρχει έντονη εναλλαγή γεωλογικών ενοτήτων, το μεγαλύτερο μέρος του Νομού χαρακτηρίζετε από πολύ υψηλές τιμές επικινδυνότητας. Εξαίρεση αποτελούν κάποιες περιοχές στα Βορειοανατολικά και Βορειοδυτικά του Νομού όπου υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις κροκαλοπαγών, μαργών, αργίλων και βιογενών ασβεστόλιθων καθώς επίσης και στα Νοτιοανατολικά, όπου υπάρχει μια μεγάλη περιοχή αποτελούμενη από το σχηματισμό Παντάνασσας, δηλαδή από κρακαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμο, λιγνίτες και ασβεστόλιθους.

Η βαρύτητα που ορίστηκε στο επίπεδο αυτό είναι 10, που είναι η μεγαλύτερη τιμή που δόθηκε, συνεπώς θα επηρεάσει σημαντικά τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

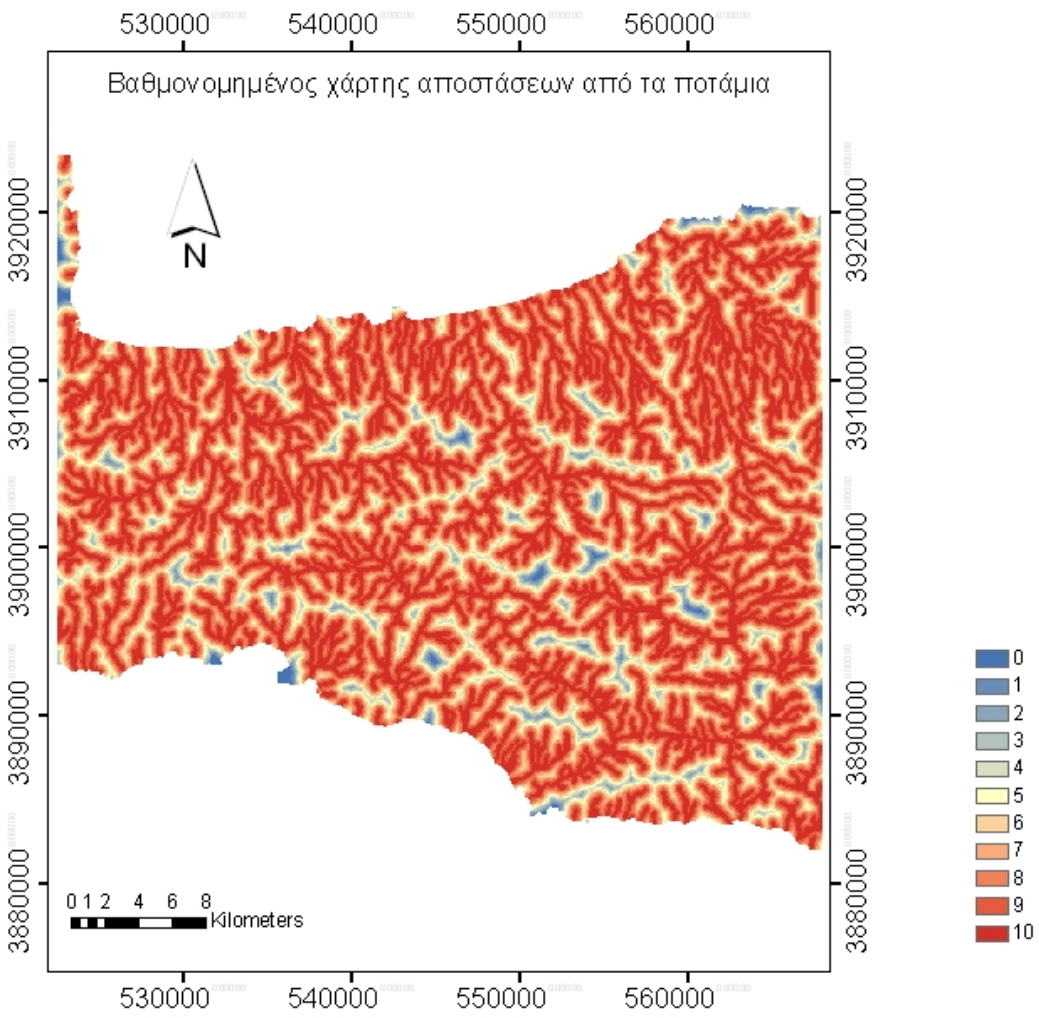


Εικόνα 5.16.: Βαθμονομημένος χάρτης αποστάσεων από τα όρια ρηγμάτων Νομού Ρεθύμνης.

Στον χάρτη αυτόν, καθορίστηκαν 5 κλάσεις σε απόσταση 250 μέτρα μεταξύ τους, οι οποίες βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2..

Παρατηρούμε ότι μια αρκετά μεγάλη έκταση του Νομού πληγεί από επικίνδυνα ρήγματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεγάλη έκταση της περιοχής καλύπτεται από χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις και φλύσχη τα οποία είναι ιδιαίτερα εύθραυστα πετρώματα. Τα επόμενα στην κατηγορία των εύθραυστων πετρωμάτων είναι οι σχιστόλιθοι και οι οφιολίτες.

Η βαρύτητα που ορίστηκε στο επίπεδο αυτό είναι 9, που είναι μία από τις μεγαλύτερες που δόθηκαν, συνεπώς θα επηρεάσει αρκετά τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 5.17.: Βαθμονομημένος χάρτης αποστάσεων από τις επιφανειακές απορροές Νομού Ρεθύμνης.

Στο συγκεκριμένο χάρτη πραγματοποιήσαμε επαναταξινόμηση με ίσες αποστάσεις 100 μέτρων για έντεκα τάξεις. Έτσι, τελικά κάθε κλάδος επιφανειακών απορροών είχε ζώνες επιρροής από 0 μέχρι 1000 μέτρα, ενώ για αποστάσεις άνω των 1000 μέτρων θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει επιρροή των κλάδων στα κατολισθητικά φαινόμενα και δώσαμε τιμή 0. Η βαθμονόμηση του χάρτη φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 5.2..

Στον βαθμονομημένο χάρτη (Εικ.5.17.) παρατηρούμε ότι απεικονίζονται κάποιοι από τους μεγαλύτερους ποταμούς του Νομού όπως ο Γεροπόταμος στα Βόρεια, ενώ αρκετοί από αυτούς διακρίνονται στα Νότια όπως ο Πλατύς και ο Κουρταλιώτης.

Η βαρύτητα που αποδόθηκε στον παράγοντα είναι 8, οπότε αναμένετε να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τον τελικό χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

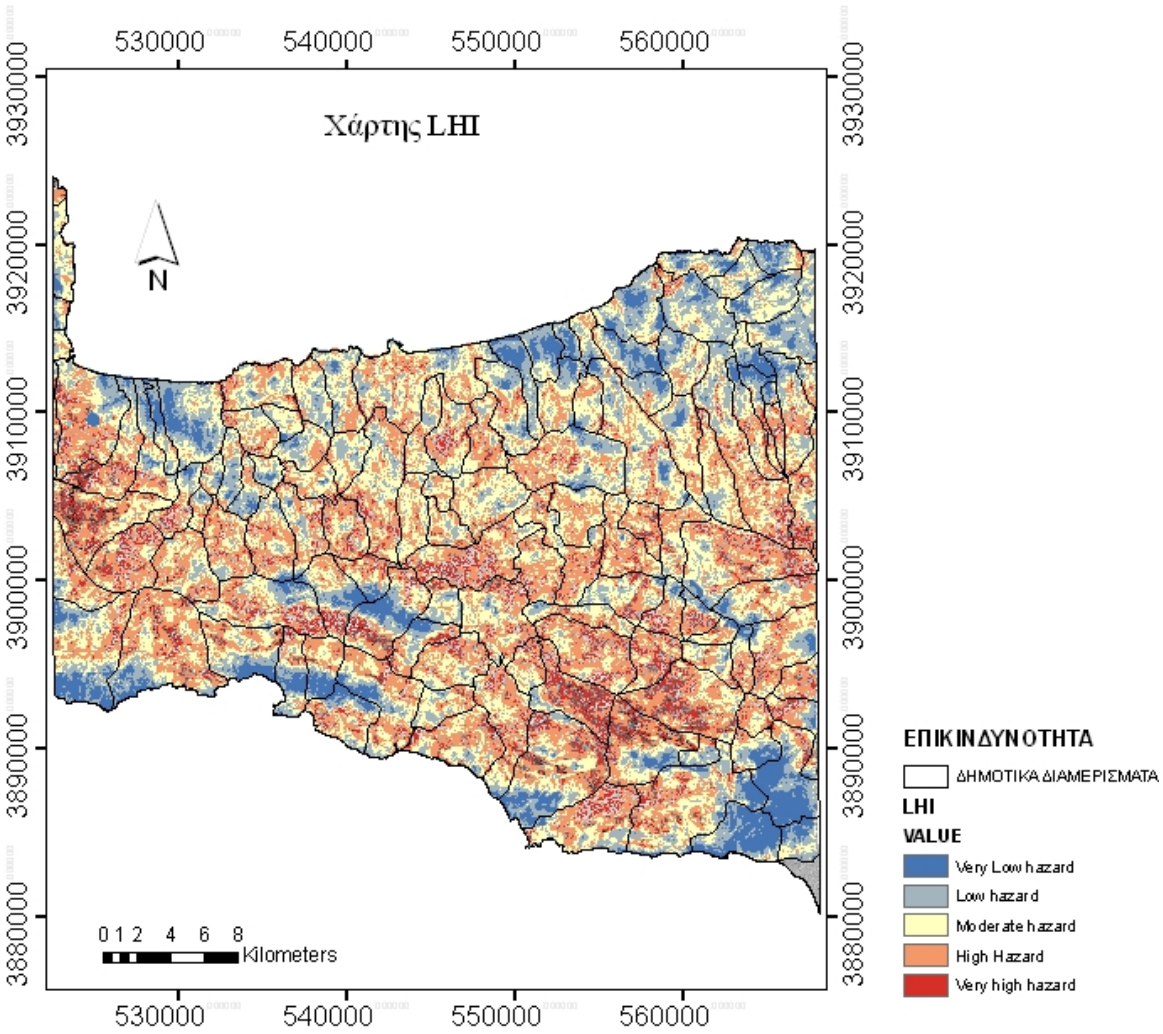
6.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Στον χάρτη δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας που εξήγαμε για τον Ν. Ρεθύμνης μπορεί να γίνει μια πρώτη επισκόπηση σε όλη την περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα στις περιοχές οι οποίες απαιτούν περαιτέρω μελέτη και προσοχή. Θα εξετάσουμε λεπτομερώς τις περιοχές εκείνες που χαρακτηρίζονται ως 'πολύ υψηλής επικινδυνότητας', πράγμα το οποίο θα γίνει μελετώντας τις περιοχές αυτές τμηματικά, όπως επίσης και περιοχές με τις ήδη καταγεγραμμένες κατολισθήσεις από την προϋπάρχουσα βάση δεδομένων.

Γενικά, παρατηρούμε ότι αν και χρησιμοποιήσαμε περιφέρεια διαστήματος 20 μέτρα, αντί για 4, η τελική απεικόνιση του χάρτη είναι το ίδιο λεπτομερής. Αυτό φαίνεται καθώς βλέπουμε ότι οι ήδη πληγμένες περιοχές από κατολισθήσεις συμπίπτουν με το τελικό αποτέλεσμα του χάρτη μας, όπως επίσης και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά όπως τα όροι, οι πεδινές περιοχές και οι οικισμοί. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν τα ταξινομήσαμε με ίσες αποστάσεις σε πέντε ζώνες επικινδυνότητας, 'πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή'.

Στις περιοχές που χαρακτηρίζονται με υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα συνυπάρχουν κυρίως παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών, όπως η γεωμορφολογία της περιοχής, η απόσταση των περιοχών από τα ρήγματα και η κλίση των πρανών, το σύνολο των βροχοπτώσεων που δέχεται η περιοχή μελέτης, η απόσταση από τις επιφανειακές απορροές καθώς και οι χρήσεις και καλύψεις γης της.

Ο χάρτης παρουσιάζεται σε υπέρθεση με το ανάγλυφο που εξήχθη από το ΨΜΕ αναδεικνύοντας έτσι τη φυσικότητα της περιοχής. Σε όλα τα ακόλουθα υπομνήματα τα χρώματα μπλε-σιελ-υποκίτρινο-ροζ-ερυθρό αντιστοιχούν στις κατηγορίες 'πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή'.



Εικόνα 6.1.: Χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI) Νομού Ρεθύμνης.

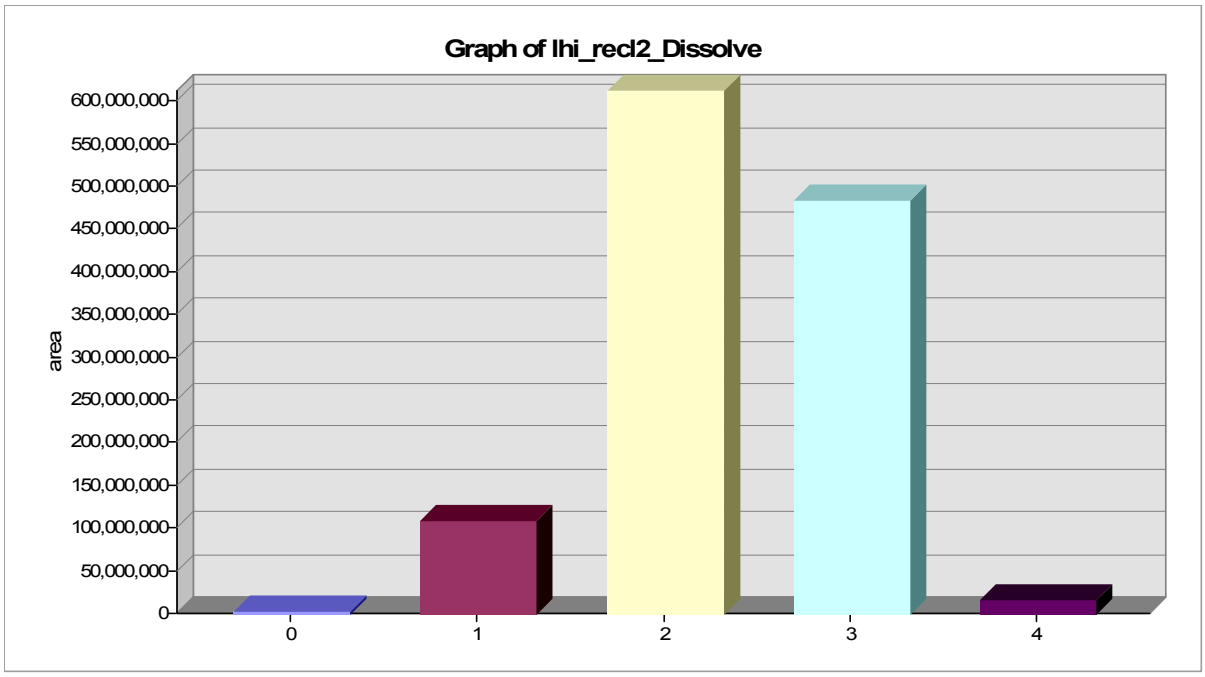
Με βάση τον χάρτη LHI της παραπάνω εικόνας, παρατηρούμε ότι ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας εμφανίζονται κυρίως περιοχές κοντά σε κάποιους οικισμούς, καθώς και σε κάποιες περιοχές πλησιέστερα στους πρόποδες των βουνών, όπως για παράδειγμα στα όροι Κέδρος, Σιδέρωτας και Κουρούπας στα Νότια του Νομού και στον Ψηλορείτη στα Δυτικά. Η κατηγοριοποίηση αυτή, οφείλεται στον συνδυασμό γεωπεριβαλλοντικών και ανθρωπογενών παραγόντων που προαναφέραμε.

Αναλυτικότερα αυτές οι περιοχές είναι στα Νότια και Νοτιοδυτικά της λίμνης Κουρνά, στα Δυτικά τα χώρια Μαθές, Αργυρούπολη , Κάτω Πόρος, Μαρουλού, Μυριοκέφαλα, στα Νότια τα χωριά Καλλικράτης, Κάτω Ροδάκινο, Αλώνες, Κάνεβος, Ατσιπάδες, Αμμούδι, Φράτιο, Μιξόρουμα, Μουρνέ, Σπήλι, Ακτούντα, Κεραμές, Αγαλιανός, Βάτος, Άρδακτος, Κεντροχώρι, Πλατανές, Ακούμια, Βρύσες, Κρύα Βρύση, Σακτούρια και

Κάτω Σακτούρια, στα Νότια και Νοτιοδυτικά τους οικισμούς Μέρωνας, Ελένες, Γερακάρι, Καρδάκι, Δρυγιές, Άνω μέρος, Χορδάκι, Βαθιακό, Αποδούλου, Νίθαυρις, Κουρούτες, Λαμπιώτες, Μοναστηράκι, στα κεντρικά του Νομού κοντά στα χωριά Πάτσος, Παντάνασσα, Καρίνες, Άγιο Βασίλειο, Αγκουσελιανά, Κούμοι, Κάτω Μαλάκι, στα Βόρεια οι οικισμοί Καλονύκτης, Σωματάς, Γάλλου, Μεγάλο Μετόχι, Καπεδιανά, Χρωμοναστήρι, Χάρκια, Αμνάτος, Κυριάννα και στα Ανατολικά οι οικισμοί Γαρίπας, Κυνηγιανά, Κλεισίδι, Απόστολοι, Γέννα.

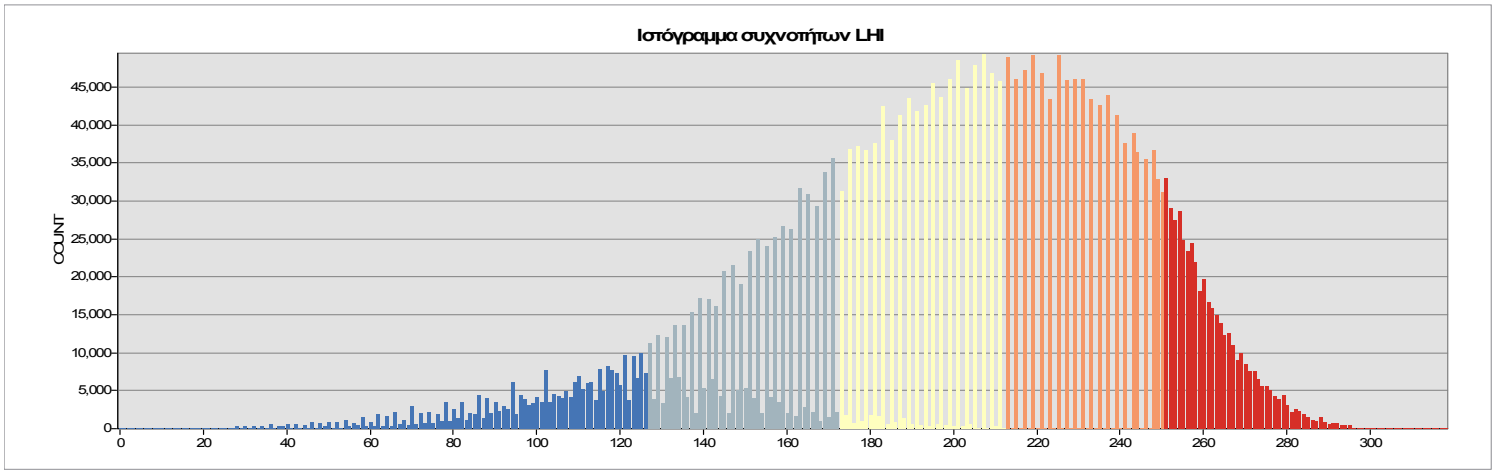
Πίνακας 6.1.: Κατανομή της έκτασης των ζωνών του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI).

Κλάση LHI	**Έκταση (m²)**	**Ποσοστό Έκτασης (%)**
Πολύ χαμηλή	1,483464.08996	0,12
Χαμηλή	108,075307.622	8,86
Μέση	611,826345.848	50,14
Υψηλή	482,845618.067	39,57
Πολύ υψηλή	15,896477.8713	1,3
Άθροισμα	**1220,127**	**100%**



Σχήμα 6.1.: Διάγραμμα έκτασης των ζωνών του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI). με βάση τον Πίνακα 6.1.

Σύμφωνα με τον πίνακα 6.1. δίνεται χαρακτηρισμός χαμηλής και μέσης επικινδυνότητας στο 8,86 % και το 50,14 % του Νομού, ενώ για την υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα τα ποσοστά κάλυψης είναι 39,57 % και 1,3 % αντίστοιχα.



Σχήμα 6.2.: Ιστόγραμμα συχνοτήτων LHI.

Πίνακας 6.2.: Τιμές που προκύπτουν από το ιστόγραμμα συχνοτήτων LHI.

Ελάχιστη τιμή	162
Μέγιστη τιμή	599
Μέση τιμή	408,78
Τυπική απόκλιση	51,351

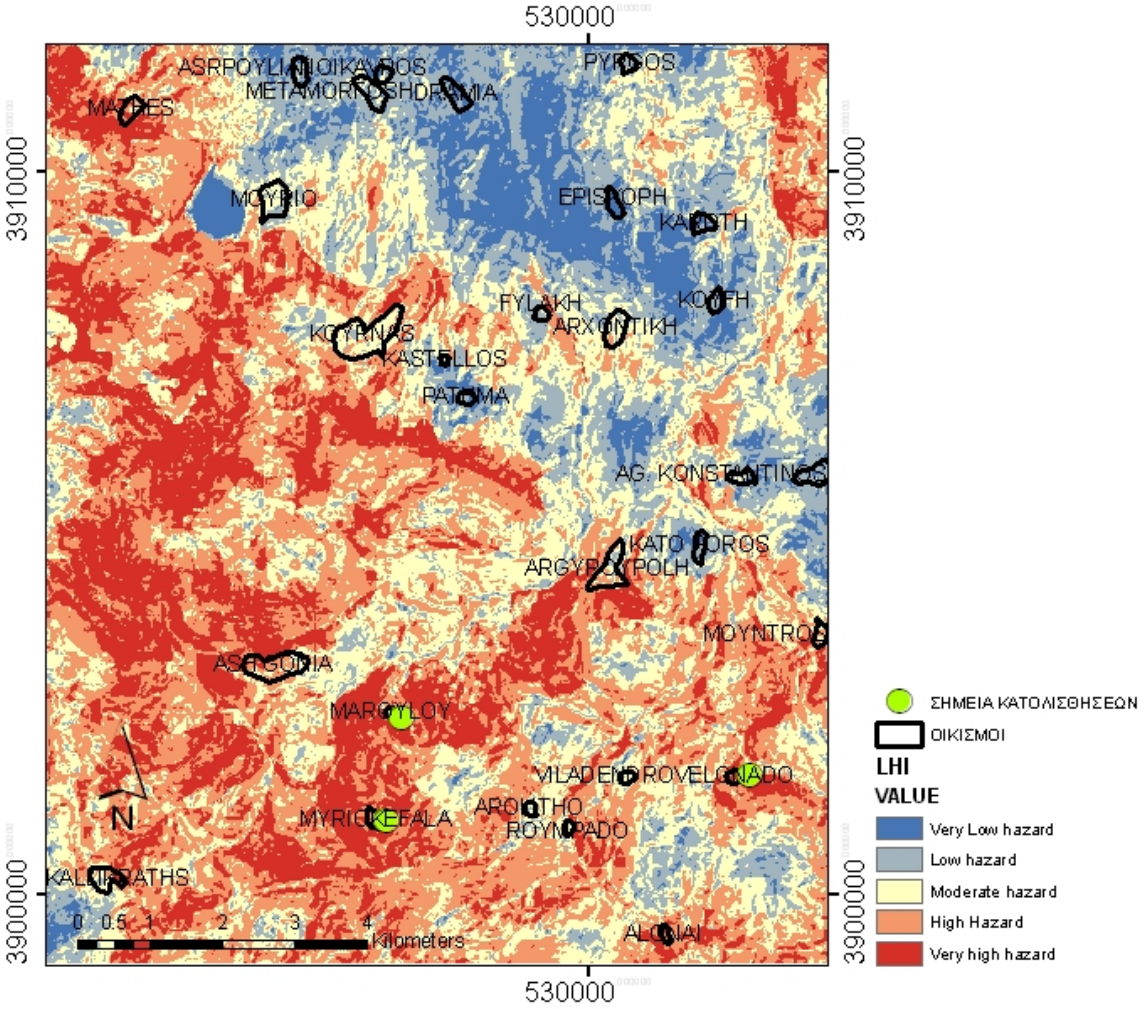
Με βάση τον Πίνακα 6.2. τα όρια των κλάσεων επικινδυνότητας 'πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή' ορίζονται ως εξής:

- Η πολύ χαμηλή 162 – 249,4
- Η χαμηλή 249,4 – 336,8
- Η μέτρια 336,8 – 424,2
- Η υψηλή 424,2 – 511,6
- Η πολύ υψηλή 511,6 – 599

Στο ιστόγραμμα του χάρτη επικινδυνότητας (Εικ. 6.1.) το πλήθος των μετρούμενων εικονοστοιχείων προσεγγίζει την κανονική (γκαουσιανή) κατανομή καθώς το μεγαλύτερο

πλήθος των τιμών επικινδυνότητας βρίσκονται γύρω από την μέση τιμή και εμφανίζεται η χαρακτηριστική κωδωνοειδής καμπύλη (καμπάνα).

6.2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

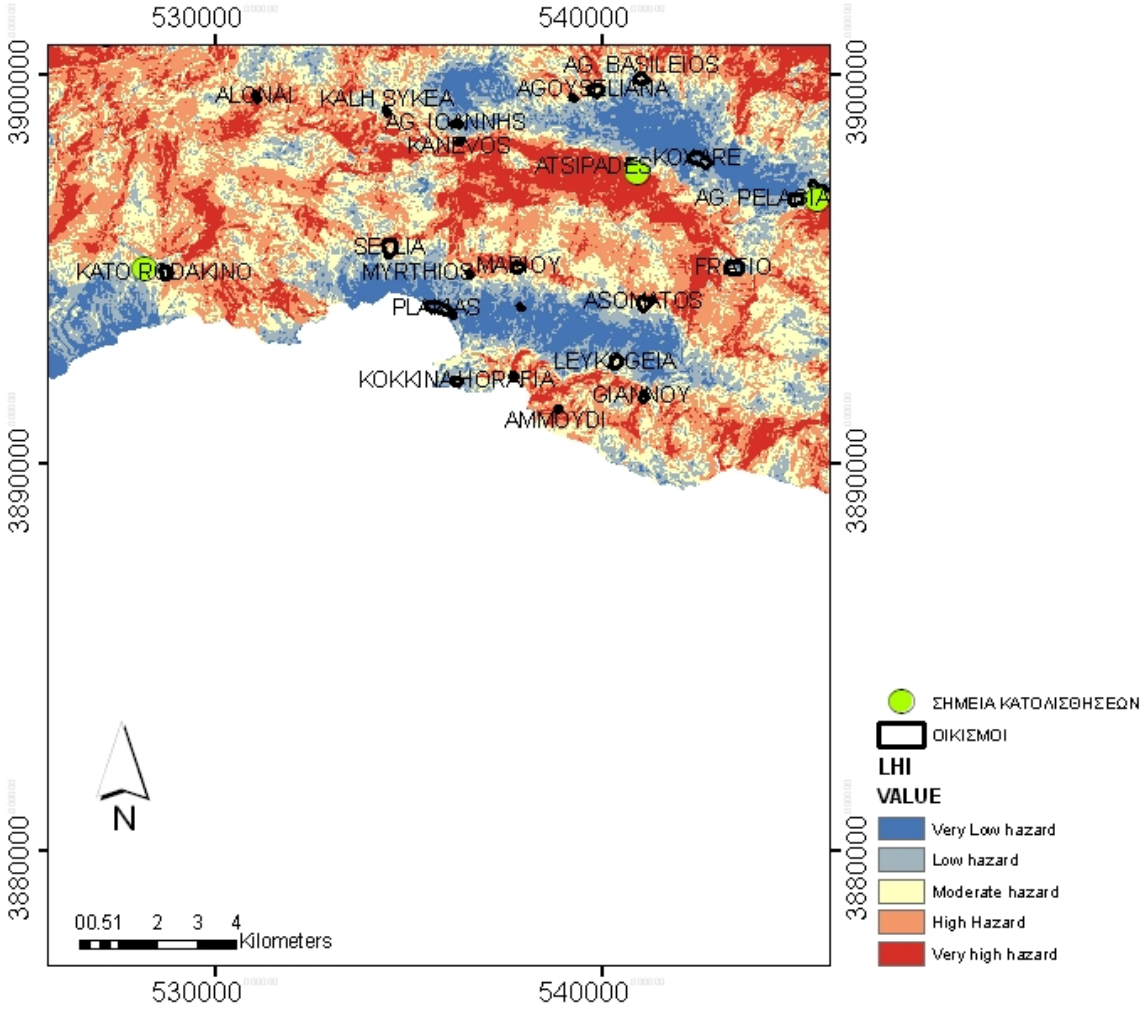


Εικόνα 6.2.: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Δήμο Λαππαίων.

Όπως βλέπουμε στην απεικόνιση του χάρτη υπάρχουν αρκετές περιοχές με υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα και η περιοχή επιλέχθηκε για αυτόν τον λόγο καθώς επίσης υπάρχουν και σημεία καταγεγραμμένων κατολισθήσεων τα οποία και εμφανίζονται στον

παραπάνω χάρτη. Τα σημεία αυτά είναι τρία εκ των οποίων τα δύο βρίσκονται σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας και το ένα σε πολύ υψηλή.

Περιοχές ιδιαίτερης προσοχής ως προς τον κίνδυνο που μπορεί να προκληθεί πρέπει να είναι ο οικισμός Μαθές, στα Νότια και Νοτιοδυτικά της λίμνης Κουρνά, κοντά στα χωριά Μυριοκέφαλα και Μαρουλού όπου υπάρχουν ήδη καταγεγραμμένες κατολισθήσεις, στα Νοτιοδυτικά της Αργυρούπολης και στους Αλώνες και Καλλικράτης.

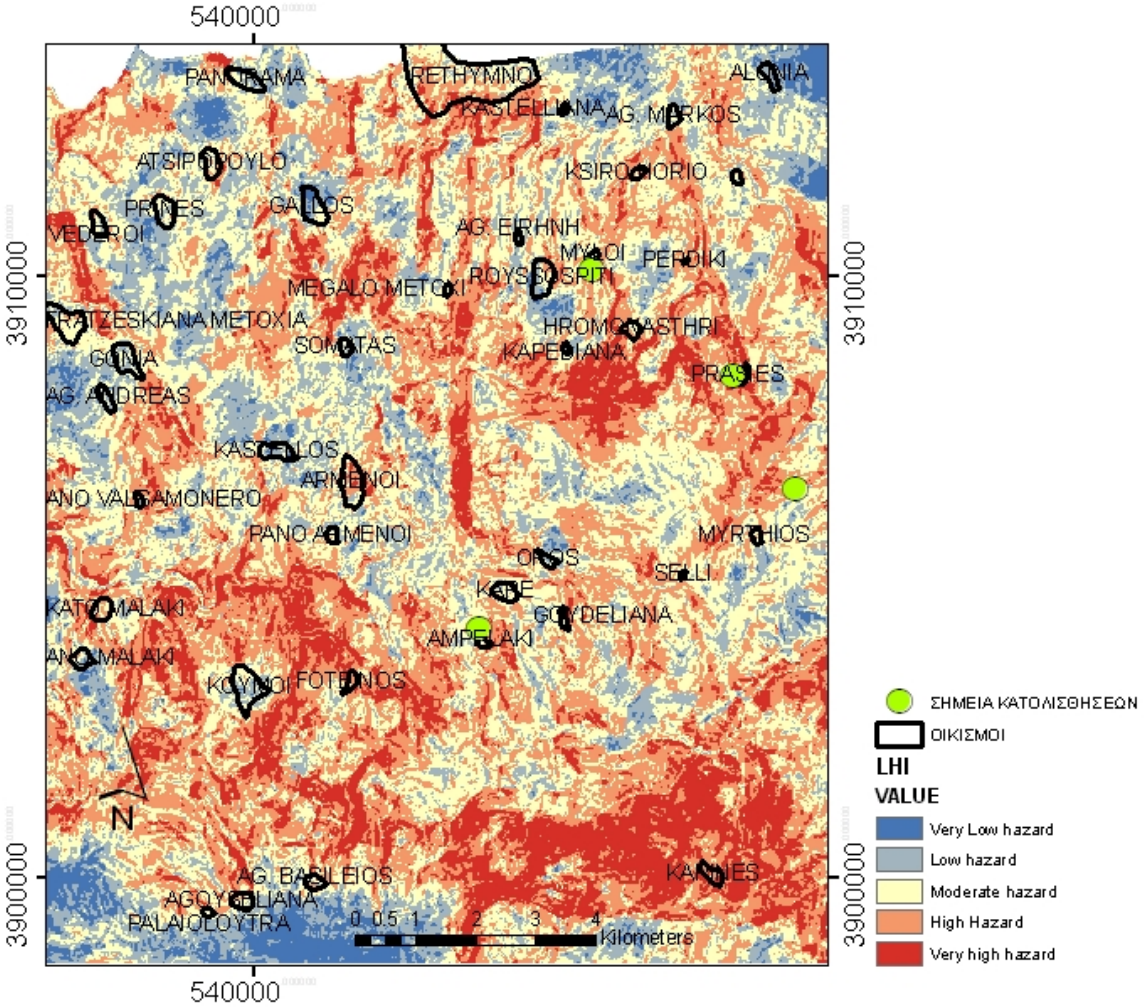


Εικόνα 6.3.: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Δήμο Φοίνικα.

Στο συγκεκριμένο χάρτη, παρατηρώντας τον Δήμο του Φοίνικα, βλέπουμε μια περιοχή που κατακλύζεται από πολύ υψηλό κίνδυνο. Η περιοχή αυτή είναι στα Βόρεια του φαραγγίου του Κοτσίφου, το οποίο σχηματίζεται από τα βουνά Κουρούπα και Κρυονερίτης,

στους πρόποδες του Κουρούπα όπου βρίσκονται τα χωριά Κάνεβος και Ατσιπάδες. Πολύ υψηλή επικινδυνότητα παρουσιάζεται επίσης κοντά στο Κουρταλιώτικο φαράγγι, που σχηματίζεται από τα βουνά Κουρούπα και Ξηρό Όρος και κατά συνέπεια και στον οικισμό Φράτιο που βρίσκεται πλησίον του. Άλλες περιοχές που απαιτούν προσοχή είναι Βόρεια από τον οικισμό Κάτω Ροδάκινο, γύρω από τον οικισμό Αμμούδι και Νοτιοανατολικά του χωριού Γιαννιού.

Παρατηρούμε επίσης τρεις καταγεγραμμένες κατολισθήσεις από τις οποίες οι δύο βρίσκονται σε περιοχή μέτριας επικινδυνότητας και το ένα σε υψηλή.

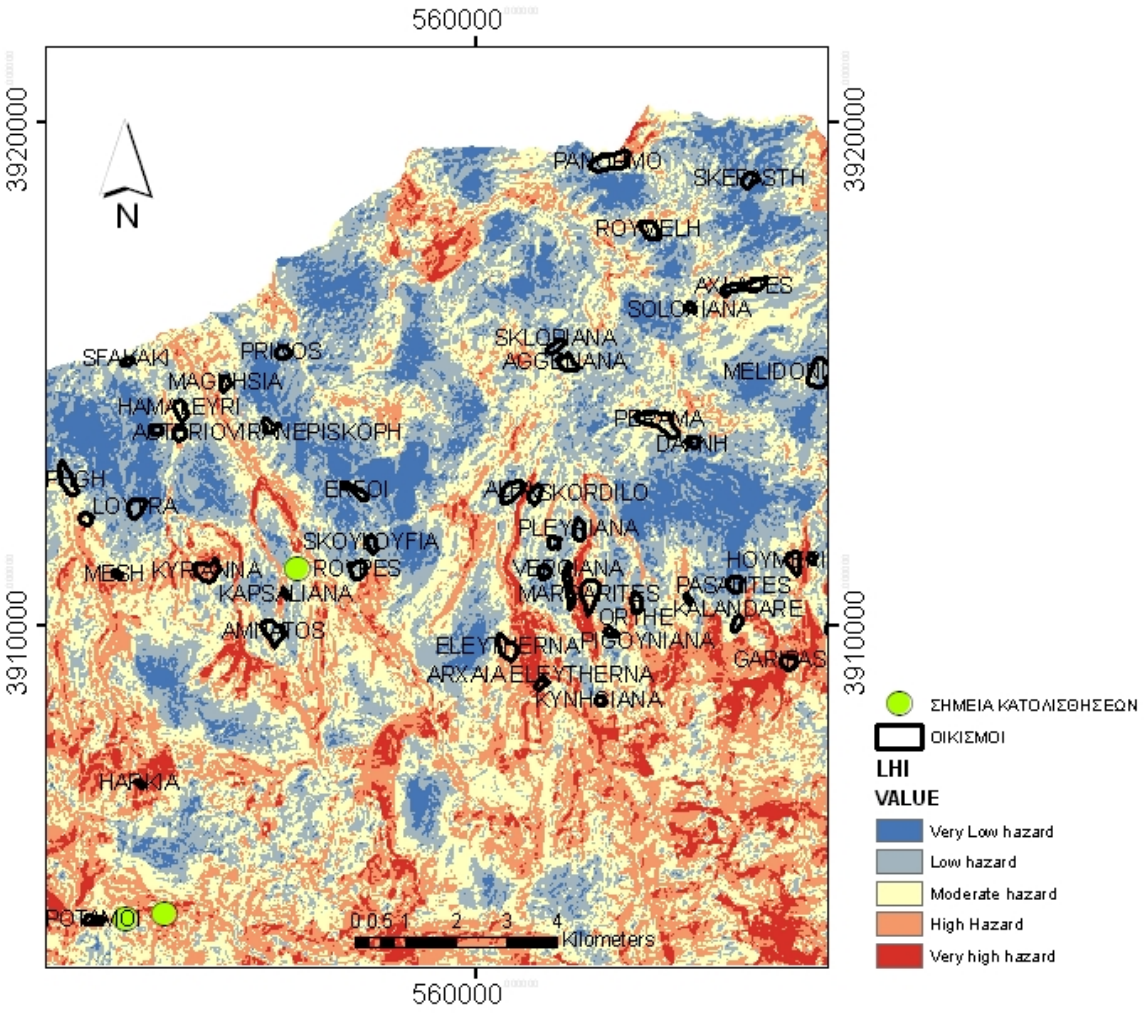


Εικόνα 6.4.: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Δήμο Ρεθύμνης.

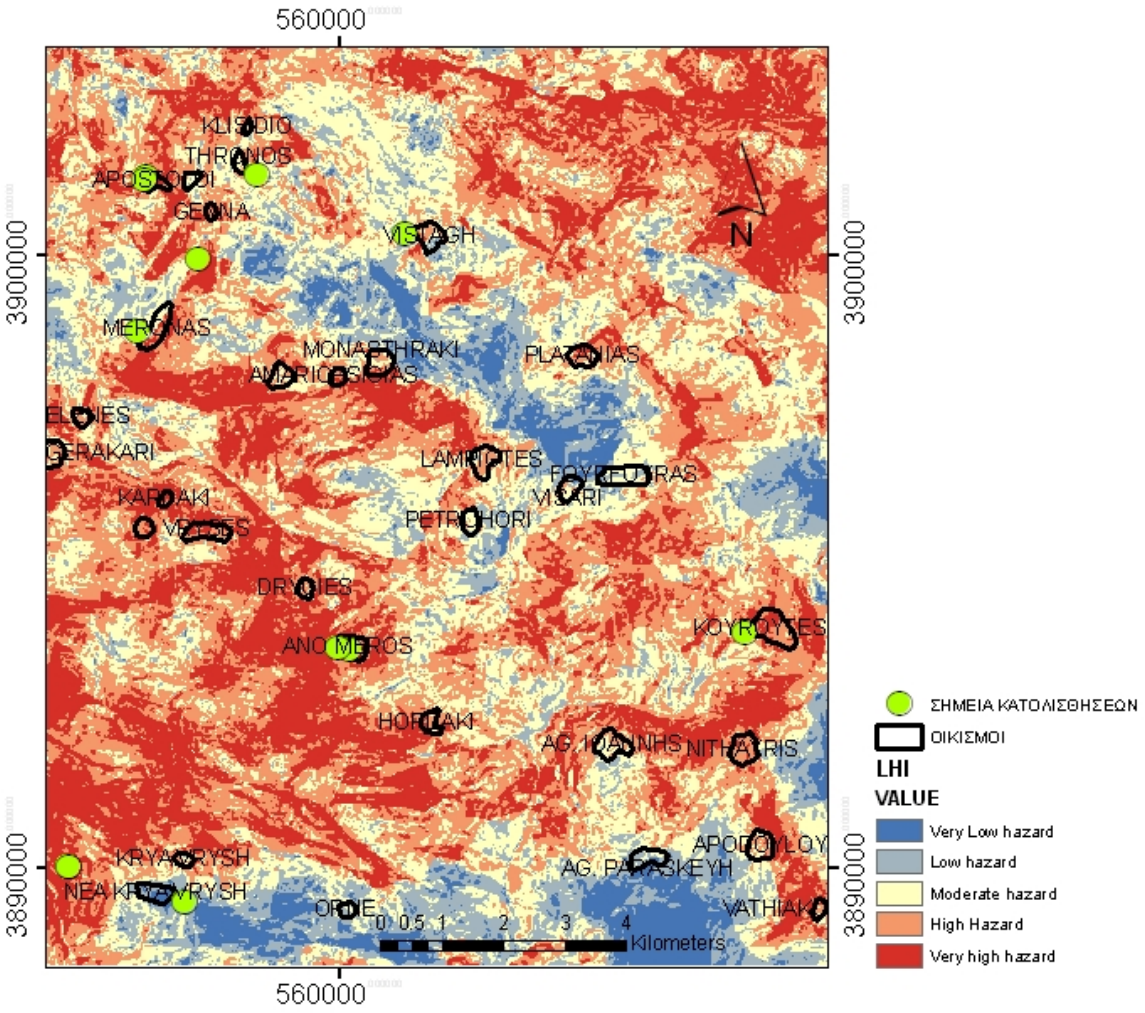
Στη Νότια μεριά αυτού του χάρτη, είναι εμφανής η μεγάλη επικινδυνότητα της περιοχής η οποία απαντάται στους πρόποδες του Όρους Βρύσινα. Συνεπώς οι οικισμοί

Καρίνες, Άγιος Βασίλειος, Αγκουσελιανά, Κούμοι και Φωτεινός που βρίσκονται κοντά στους πρόποδες χρήζουν της προσοχής μας. Άλλες περιοχές στο Δήμο Ρεθύμνης, στις οποίες πρέπει να δώσουμε σημασία είναι τα χωριά Γάλλος, Σωματάς, Μεγάλο Μετόχι, Καπεδιανά, Χρωμοναστήρι και Πρασιές εφόσον βρίσκονται αρκετά κοντά σε περιοχές με πολύ υψηλό κίνδυνο. Βόρεια του χωριού Μύρθιος στη γέφυρα Σίμα Καμάρα έχει καταγραφεί ήδη κατολίσθηση σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας καθώς επίσης και πλησίον των οικισμών Πρασιές, Μύλοι και Αμπελάκι εκ των οποίων οι δύο είναι μέτριας επικινδυνότητας ενώ η τρίτη υψηλής.

Ελέγχοντας το θεματικό επίπεδο των βροχοπτώσεων για τον Δήμο Ρεθύμνης, διαπιστώνουμε πως είναι βαθμονομημένο με τιμή επικινδυνότητας 9, πράγμα που σημαίνει πως οι βροχοπτώσεις είναι πολύ συχνές. Από το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης παρατηρούμε πως η περιοχή είναι καλυμμένη με περιοχές που χαρακτηρίζονται ως εκτάσεις με αραιή βλάστηση και εκτεθειμένα σε παράγοντες φυσικής διάβρωσης, βαθμονομημένες με τιμή επικινδυνότητας 10 και φυσικοί βοσκότοποι βαθμονομημένοι με τιμή επικινδυνότητας 9. Συνεπώς η περιοχή είναι επιρρεπής σε κατολισθήσεις εφόσον υπάρχουν ελάχιστα κωνοφόρα δάση για την συγκράτηση των υδάτων.



Εικόνα 6.5.: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Δήμο Γεροποτάμου.



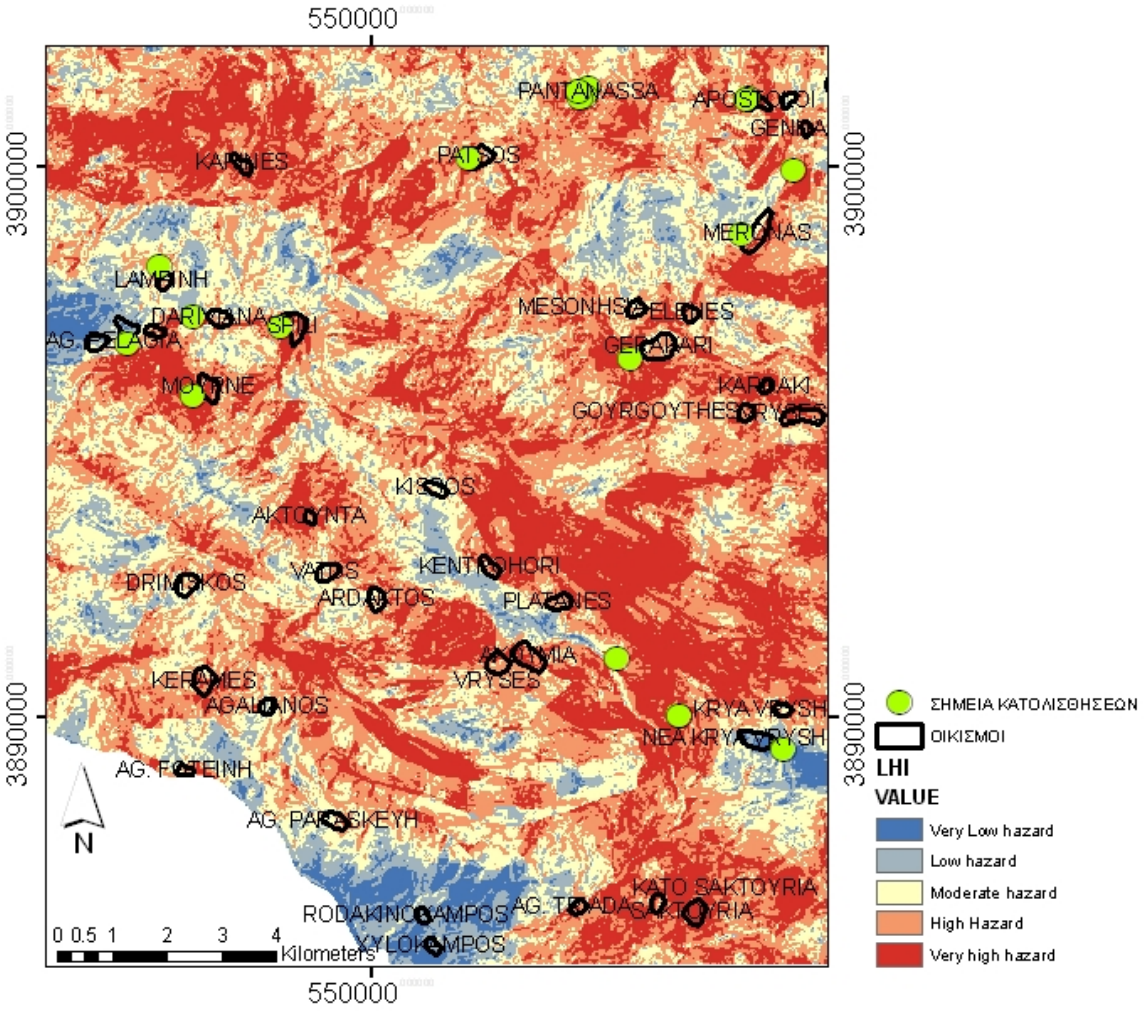
Εικόνα 6.6.: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Δήμο Κουρητών.

Στον Δήμο Γεροποτάμου της εικόνας 6.5. απεικονίζονται λίγες περιοχές με κίνδυνο κατολισθήσεων. Αυτές είναι στα Νότια των οικισμών Γαρίπας και Κυνηγιανά, αλλά και πλησίον του χωριού Ποταμοί δυτικά του οποίου έχει σημειωθεί κατολίσθηση, σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας.

Στον Δήμο Κουρήτων της εικόνας 6.6. κοντά στους οικισμούς όπως οι Κουρούτες, το Αποδούλου, η Βισταγή, η Νίθαυρη, το Βαθιακό και ο Άγιος Ιωάννης που είναι χτισμένα περιμετρικά στις πλαγιές του Ψηλορείτη παρατηρούμε ότι έχουν πολύ υψηλό κίνδυνο σε κατολισθήσεις. Από την άλλη ορισμένοι από τους οικισμούς που κείτονται στους πρόποδες του Όρους Κέδρος απαιτούν επίσης προσοχή. Αυτοί είναι ο Μέρωνας, οι Ελένες, το Γερακάρι, το Καρδάκι, οι Βρύσες, οι Δρυγιές, το Άνω Μέρος, το Χορδάκι και η Κρύα Βρύση. Επιπλέον και τα χωριά Αμάρι, Οψιγιάς, Μοναστηράκι, Λαμπιώτες και Πετροχώρι

που δεσπόζουν από τη μεριά της Σάμιτου, Όρος το οποίο βρίσκεται στη Νοτιοδυτική πλευρά του Ψηλορείτη. Οικισμοί που ήκμασαν σε παλιότερες εποχές όπως το Μοναστηράκι, το Βυσάρι και η Γέννα είναι κτισμένοι μέσα στις κοιλάδες και ρεματιές της περιοχής και χρήζουν επίσης της προσοχής μας.

Εάν παρατηρήσουμε το θεματικό επίπεδο των βροχοπτώσεων για τους οικισμούς Μέρωνας, Ελένες, Γερακάρι, Καρδάκι και Βρύσες οι βροχοπτώσεις είναι πολύ συχνές. Από το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης παρατηρούμε πως η περιοχή είναι καλυμμένη κυρίως από γεωργία, με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης βαθμονομημένες με τιμή επικινδυνότητας 8. Επομένως δικαιολογημένα έχουμε υψηλή επικινδυνότητα λιθοπτώσεων.



Εικόνα 6.7.: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας στο Δήμο Λάμπης.

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ένα μεγάλο σημείο με πολύ υψηλή επικινδυνότητα το οποίο αποτελεί τους πρόποδες του Όρους Κέδρος στους οποίους

βρίσκονται οι οικισμοί Κεντροχώρι, Πλατανές και Κισσός. Στα Νότια των χωριών αυτών βρίσκονται τα Ακούμια και οι Βρύσες, μεταξύ των οποίων έχουν καταγραφεί ήδη καταπτώσεις, και Νοτιοδυτικά αυτών η Άρδακτος και η Ακτούντα περιοχές με επίσης πολύ υψηλό κίνδυνο. Χωριά τα οποία χρειάζονται επίσης προσοχή είναι τα Σακτούρια, τα Άνω Σακτούρια και η Αγία Τριάδα.

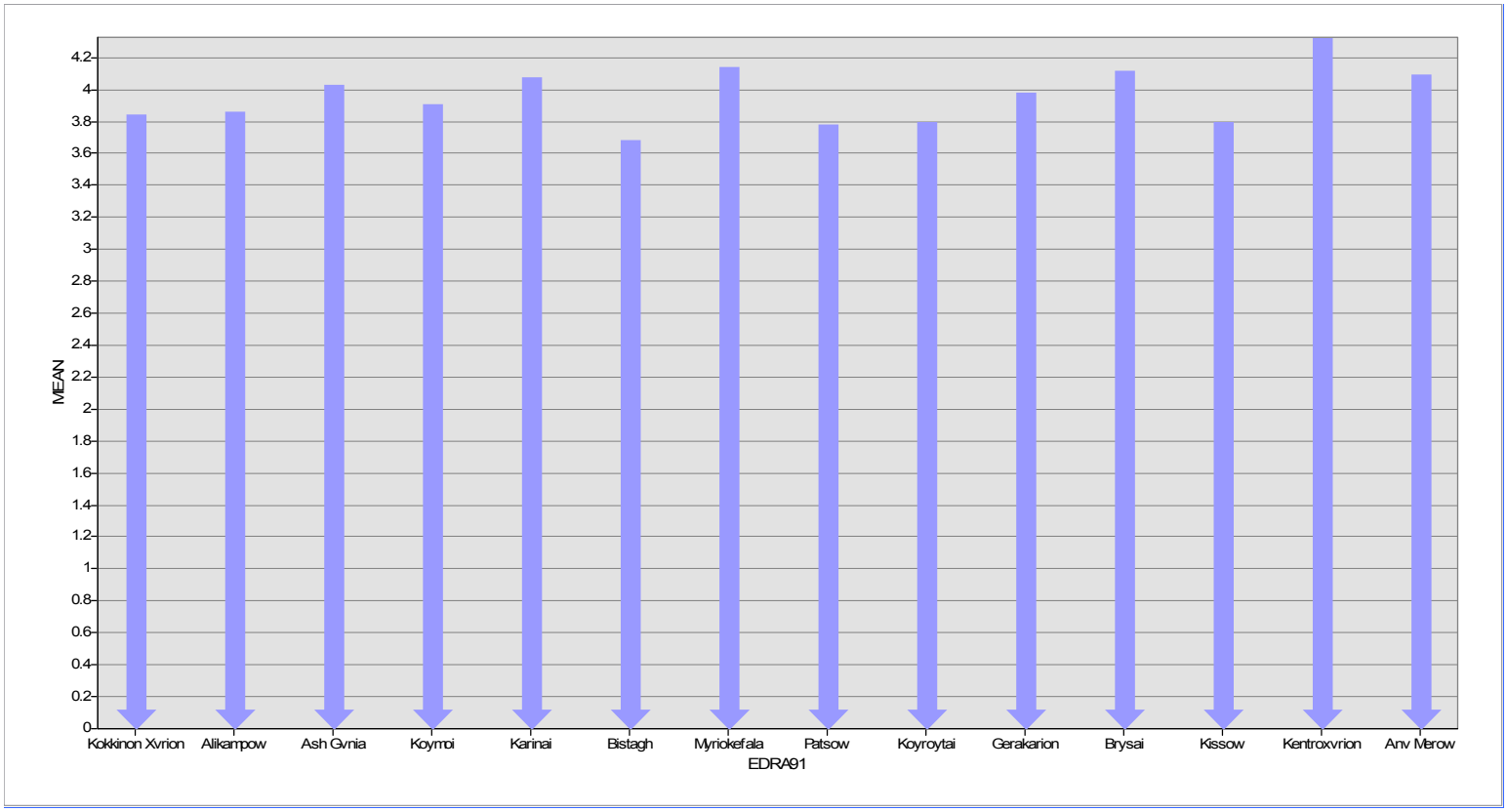
Στο Βόρειο τμήμα της εικόνας 6.7. απεικονίζονται οι οικισμοί Πάτσος και Παντάνασσα με επίσης υψηλό κίνδυνο γύρω από τους οποίους έχουν καταγραφεί κατολισθήσεις στο παρελθόν και συγκεκριμένα στην Παντάνασσα τρεις σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας και στον Πάτσο μία επίσης σε ίδια περιοχή. Στα Νοτιοδυτικά των οικισμών αυτών παρατηρούμε τα χωριά Μουρνέ, Μιξόρουμα και Σπήλι. Πλησίον των δύο τελευταίων χωριών έχουμε επίσης καταγεγραμμένες λιθοπτώσεις σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας.

Ελέγχοντας για τον παραπάνω χάρτη το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης, βαθμονομημένο με συντελεστή 8, κοντά στους οικισμούς Κεντροχώρι, Κισσός, Μουρνέ, Μιξόρουμα, Άνω Μιξόρουμα και Σπήλι, όπου απεικονίζεται υψηλός κίνδυνος στην εικόνα 6.7., παρατηρούμε ότι η περιοχή είναι καλυμμένη από φυσικούς βοσκότοπους, οι οποίοι σε συνδυασμό με τις βροχοπτώσεις που παρατηρούνται και οι οποίες βαθμονομούνται με 9 συντελούν στην επικινδυνότητα κατολισθήσεων.

Πίνακας 5.3.: Κάποιοι από τους οικισμούς του Νομού Ρεθύμνης και οι τιμές τους (ελάχιστη, μέγιστη, διακύμανση, μέση, τυπική απόκλιση και διάμεσος).

	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	MEDIAN
Κεντροχώρι	1	5	4	4.325975	0.926139	5
Μυριοκέφαλα	2	5	3	3.789695	0.459678	4
Βρύσες	2	5	3	3.79719	0.525463	4
Άνω Μέρος	2	5	3	3.79147	0.534269	4
Καρίνες	1	5	4	4.079254	0.892499	4
Ασή Γωνιά	1	5	4	4.030272	0.846823	4
Γερακάρι	1	5	4	3.983291	0.808202	4
Κούμοι	2	5	3	3.676683	0.501142	4
Αλίκαμπος	1	5	4	3.864384	0.850523	4

Κόκκινο Χωριό	1	5	4	3.843732	0.685741	4
Κουρούτες	2	5	3	3.637305	0.521769	4
Κισσός	1	5	4	3.793853	0.890264	4
Πάτσος	1	5	4	3.780591	0.826274	4
Βισταγή	1	5	4	3.683298	1.051065	4

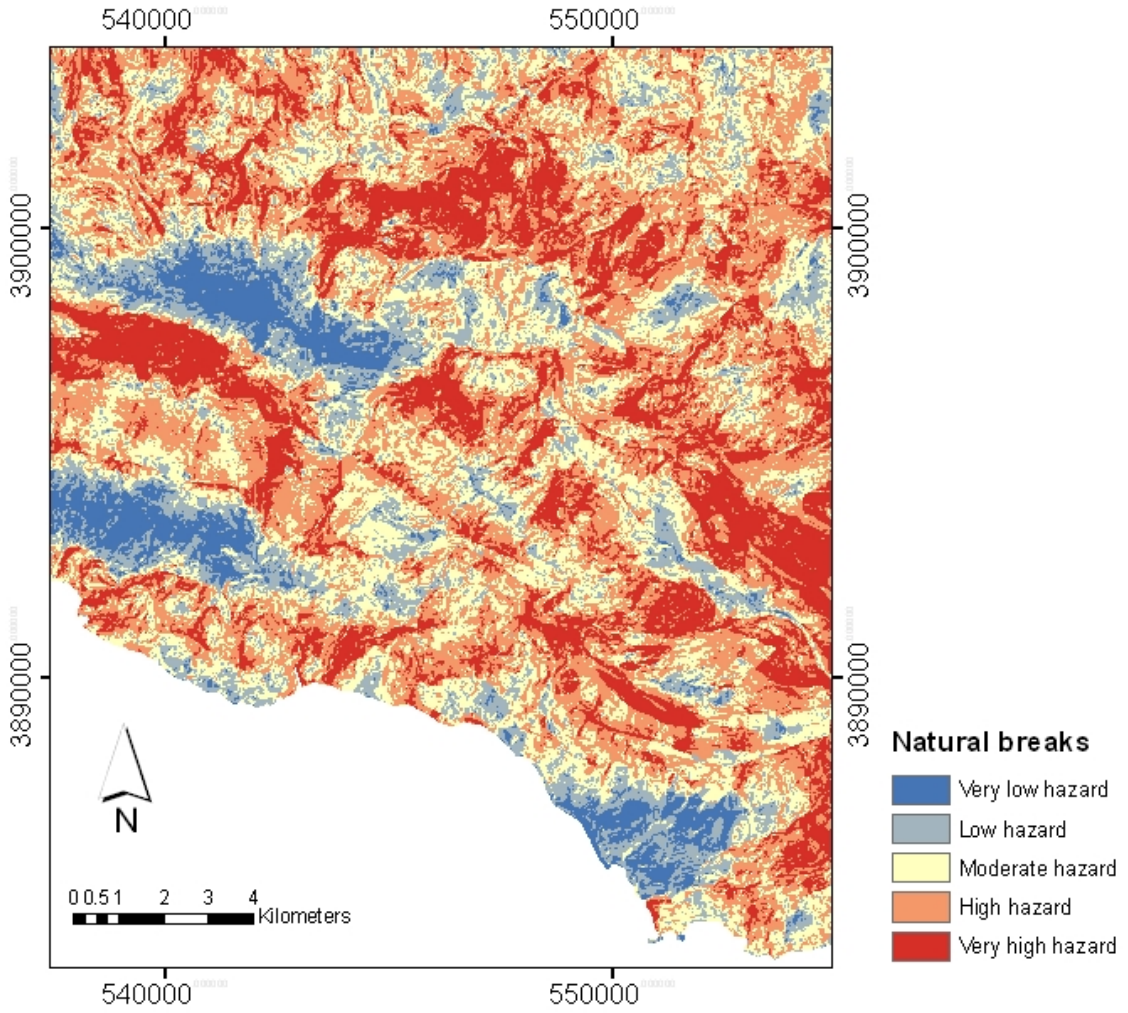


Σχήμα 6.3.: Διάγραμμα οικισμών σε σχέση με τη μέση τιμή της κατολισθητικής τους επικινδυνότητας.

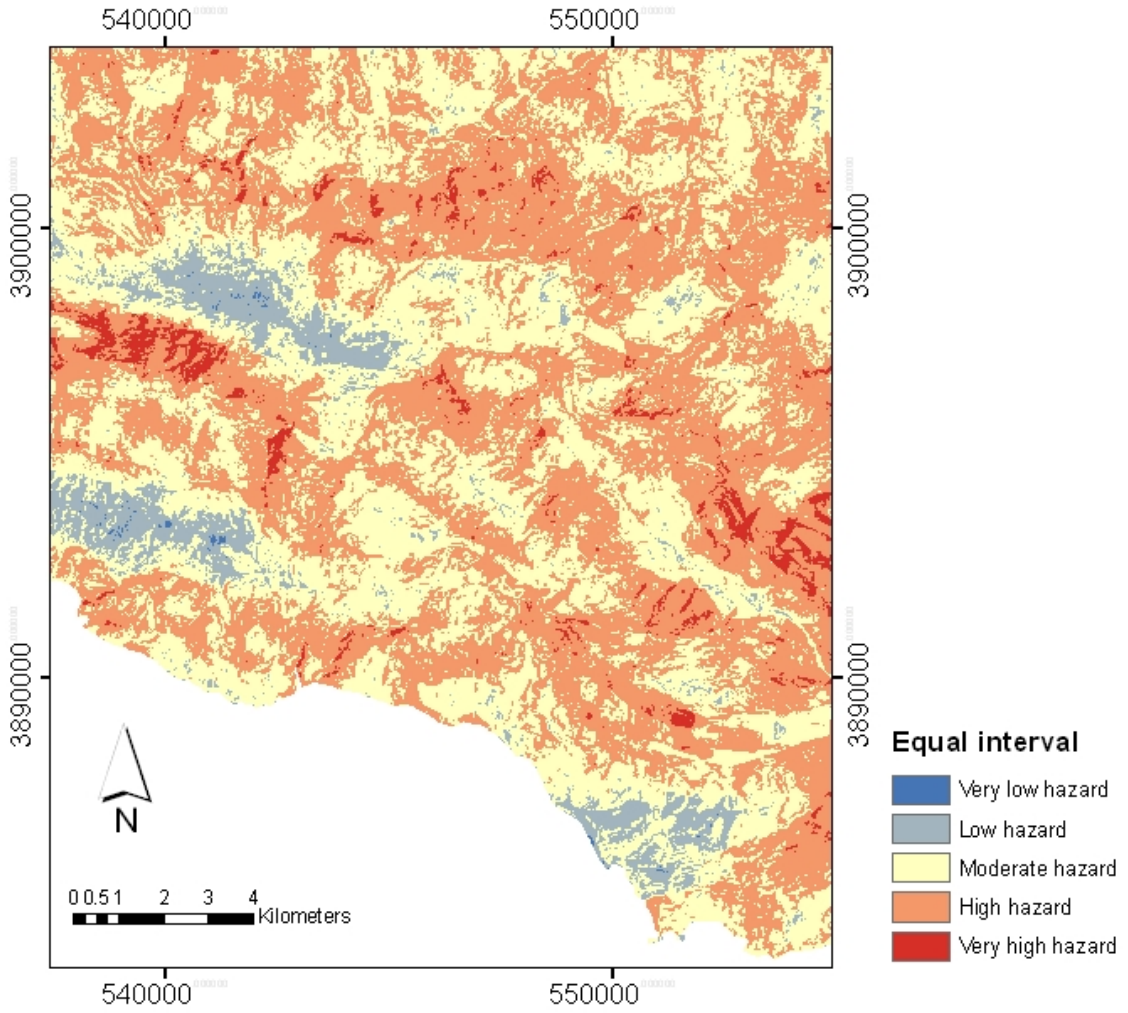
6.3.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ NATURAL BREAKS – EQUAL INTERVAL

Στη μέθοδος natural breaks οι κλάσεις είναι βασισμένες σε φυσικές ομάδες που συνδέονται με τα δεδομένα. Το πρόγραμμα ArcMap εντοπίζει τα διαστήματα μεταξύ των σημείων, επιλέγοντας την καλύτερη δυνατή κατηγορία με παρόμοιες τιμές και μεγιστοποιεί τις διαφορές μεταξύ των τάξεων. Τα χαρακτηριστικά χωρίζονται σε κατηγορίες, των οποίων τα όρια καθορίζονται εκεί όπου υπάρχουν σχετικά μεγάλες και απότομες διαφορές στις τιμές δεδομένων.

Το σύστημα ταξινόμησης equal interval χωρίζει τις παραμέτρους (τιμές) του φάσματος σε ίσα διαστήματα, επιτρέποντας μας έτσι να καθορίσουμε τον αριθμό των διαστημάτων ενώ ο ArcMap προσδιορίζει την κατεύθυνση που πρέπει να είναι τα διαστήματα. Για παράδειγμα, αν τα χαρακτηριστικά έχουν τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 300 και έχουμε τρεις κατηγορίες, κάθε κατηγορία αντιπροσωπεύει ένα φάσμα 100 τιμών με τις κατηγορίες να κυμαίνονται από 0-100, 101-200 και 201-300. Η μέθοδος αυτή δίνει έμφαση στην ποσότητα των χαρακτηριστικών σε σχέση με άλλα.

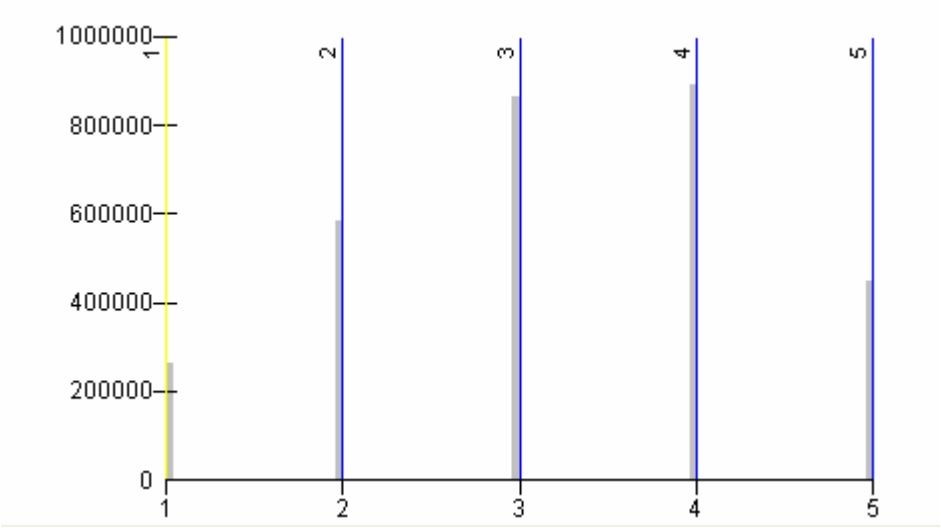


Εικόνα 6.9.: Χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI) με τη μέθοδο natural breaks .

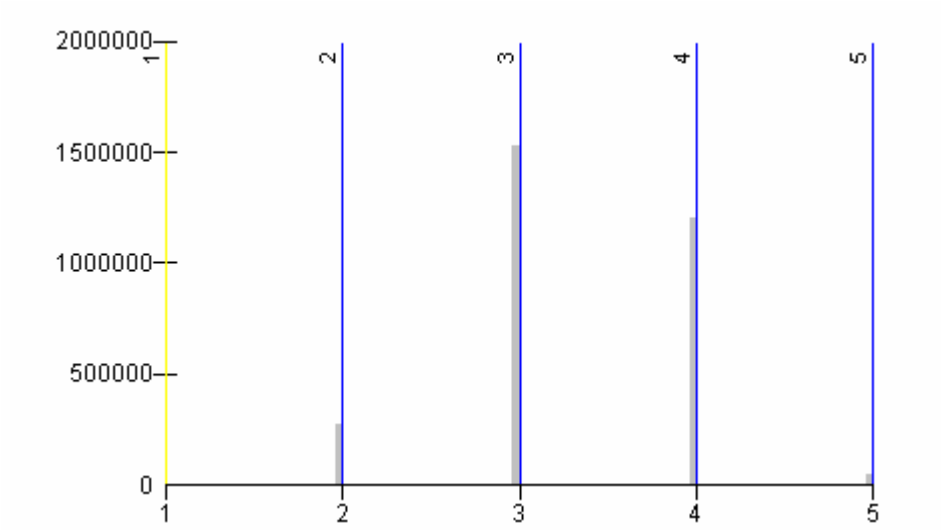


Εικόνα 6.10.: Χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI) με τη μέθοδο equal interval .

Όπως παρατηρούμε τις εικόνες 6.9 και 6.10 είναι εμφανή η διαφορά μεταξύ τους, αφού με την χρήση της μεθόδου natural breaks έχουμε περισσότερες πολύ υψηλές κατολισθητικές περιοχές απ'ότι με τη μέθοδο equal interval. Αυτό συμβαίνει γιατί με τη μέθοδο natural breaks το πρόγραμμα καθορίζει από μόνο του τα διαστήματα τιμών και γι'αυτό κάθε κατηγορία έχει μεγάλο φάσμα τιμών, ενώ με την equal interval οι κατηγορίες καθορίζονται από εμάς. Αυτό παρατηρείται επίσης και στους πίνακες ιδιοτήτων των δύο χαρτών όπου βλέπουμε την διαφορετικότητα των αριθμών και πως αντικαθιστούνται αυτοί με την αλλαγή της μεθόδου. Για την κατανόηση των ανωτέρω γίνεται η παράθεση των διαγραμμάτων όπου φαίνεται και η γραφική διαφορά τους.



Σχήμα 6.4.: Διάγραμμα του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI) με τη μέθοδο natural breaks.



Σχήμα 6.5.: Διάγραμμα του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (LHI) με τη μέθοδο equal interval.

Από τα παραπάνω διαγράμματα διακρίνεται εύκολα ότι στη μέθοδο natural breaks σε κάθε κατηγορία αντιστοιχούν περισσότερα εικονοστοιχεία κάνοντας έτσι τα χρώματα του χάρτη να φαίνονται πιο έντονα.

-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τον χάρτη που δημιουργήθηκε για τον Ν. Ρεθύμνης παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολλά σημεία που χαρακτηρίζονται από υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα κατολίσθησης. Σε αυτά συνυπάρχουν και συνεπιδρούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών όπως και παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Τα αποτελέσματα εξήχθησαν χωρίς τον παράγοντα των χρήσεων γης, δίνοντας έτσι βαρύτητα στους γεωμορφολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Από τα υπάρχοντα καταγεγραμμένα σημεία κατολισθητικών φαινομένων καταλαβαίνουμε ότι ο χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας που εξήχθη είναι καλός διότι τα σημεία απαντούν σε περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας και κάποια από αυτά και σε περιοχές μέτριας.

Εάν παρατηρήσουμε τους χάρτες των ρηγμάτων (Εικ. 5.16.) και τον χάρτη του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (Εικ.6.1.), θα δούμε ότι η τεκτονική δομή, δηλαδή τα ρήγματα και οι επωθήσεις, που είναι συνδεδεμένα με τις εκτενείς θραυσμένες ζώνες και τις απότομες ανωμαλίες του αναγλύφου, απαντά στις επικίνδυνες περιοχές και συγκεκριμένα κατά μήκος των ρηγμάτων παρατηρούμε εύθραυστες ζώνες. Οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν ευνοϊκές συνθήκες για τις κατολισθήσεις.

Στους χάρτες που δημιουργήθηκαν με τις δυο μεθόδους, natural breaks και equal interval, παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μεγαλύτερη κάλυψη των περιοχών με πολύ υψηλή επικινδυνότητα λιθοπτώσεων στον πρώτο σε σχέση με τον δεύτερο χάρτη πράγμα που είναι εμφανές και από τα διαγράμματα.

Συνοψίζοντας, οι χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας που παράχθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια πρώτη επισκόπηση και προσέγγιση περιοχών που θα χρήζουν περαιτέρω μελέτης, προσοχής και παρακολούθησης. Ωστόσο, καθότι υπάρχει πληθώρα μεθόδων στην διεθνή βιβλιογραφία, συχνά διεπιστημονικών, από ευρύ πεδία όπως η δορυφορική τηλεπισκόπηση και η γεωδαισία, δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί αλάνθαστη

κάποια μέθοδος υπολογισμού κατολισθητικής επικινδυνότητας, για μία τόσο μεγάλη περιοχή μελέτης όπως ο Νομός Ρεθύμνης.

Καθώς η ευαισθησία της μεθόδου βασίζετε στην επιλογή των παραμέτρων που επηρεάζουν την κατολισθητική επικινδυνότητα και την βαθμονόμηση αυτών, όπως και είδαμε χαρακτηριστικά με την μέθοδο της ταξινόμησης των τιμών του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, θεωρείται απαραίτητη η περαιτέρω μελέτη για την καλύτερη δυνατή προσομοίωση του κατολισθητικού κινδύνου της υπό μελέτη περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια Βικιπαίδεια, Ορισμός και Ιστορία της Χαρτογραφίας. Διαθέσιμο από : http://www.easypedia.gr/el/articles/χ/α/ρ/Χαρτογραφία.html

2. Κούλη Μ., Σημειώσεις Θεωρίας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά 2009.

3. Κουτσόπουλος Κ. (2005). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης – Κτηματολογίου, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

4. Prather J.E. & Carlson C.E. (1994). Geographical Information Systems : A tool for institutional research. Presented at the Annual AIR Forum New Orlans, LA, May Educational Resources Information Center (EPIC), 1-14.

5. Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια Βικιπαίδεια : http://www.el.wikipedia.org/wiki/Σύστημα_Γεωγραφικών_Πληροφοριών

6. http://www.gistech.gr

7. http://www.go-online.gr/ebusiness/specials/article.html?article_id=1793

8. http://www.gserver.civil.auth.gr

9. Koyli M, Loupasakis C, Soupios P, Vallianatos F (2009), Landslide Hazard Zonation in High Risk Areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece.

10. Μπαντής Σ. (2001). Διαχείριση Φυσικών Κινδύνων, Κατολισθήσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών : Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη.

11. Βολιώτη Κ. (2009), Διπλωματική Εργασία, Ζωνοποίηση της Επικινδυνότητας λόγω Κατολισθήσεων στο χώρο της Ηπειρωτικής Ελλάδας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Απεικόνιση σε χάρτη μικρής κλίμακας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.

12. Μπλιωνά Μ. (2008), Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων Κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο. Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών : Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον, Διατριβή Ειδίκευσης.

13. Λέκκας Ε. (2000), Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές.

14. Αστάρα Θεόδωρου, Βουβαλίδη Κωνσταντίνου, Οικονομίδη Δημητρίου (2005), Διδακτικές Σημειώσεις στην Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

15. Strahler, A.N., 1952. Dynamic basis of geomorphology. Bull. Geol. Soc. Am. 63, pp. 923–938.

16. Ritter DF. 1986. Process Geomorphology. Brown: Dubuque, IA.

17. Wheatley, David and Gillings, Mark, (2002), Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS. London, New York, Taylor & Francis.

18. Φασουλάς, (2000) Γεωλογία Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ