



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



*Προσδιορισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας για
τον Νομό Χανίων με την χρήση Γεωγραφικών
Συστημάτων Πληροφοριών*



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κατσαούνης Χριστόφορος

ΧΑΝΙΑ 2010



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



*Προσδιορισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας για
τον Νομό Χανίων με την χρήση Γεωγραφικών
Συστημάτων Πληροφοριών*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κατσαούνης Χριστόφορος

Επιβλέπων : Δρ Μ.Κούλη

Επιτροπή Αξιολόγησης :

Ημερομηνία παρουσίασης:

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Δρ. Κούλη Μαρία για τον χρόνο που διέθεσε και για την καθοδήγηση της κατά την διάρκεια εκπόνησης της της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην συμφοιτήτριά μου Μήνου Αντωνία για την πολύτιμη βοήθεια της κατά την έρευνα πεδίου που πραγματοποιήθηκε.

Η πτυχιακή αυτή εργασία αφιερώνεται στην οικογένειά μου, καθώς η συμπαράσταση και η βοήθεια της ήταν καταλυτική κατα την διάρκεια της συγγραφής της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Περίληψη</u>	1
<u>ABSTRACT</u>	2
<u>Εισαγωγή</u>	3
<u>1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – G.I.S.</u>	5
1.1. Γενικά για την Χαρτογραφία	5
1.2. Ιστορικά	5
1.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – G.I.S.	7
1.3.1. Ψηφιακή αναπαράσταση δεδομένων	8
1.3.1.1 Χωρικά δεδομένα.....	9
1.3.1.2 Περιγραφικά δεδομένα	9
1.3.2. Διανυσματική αναπαράσταση δεδομένων (Vector)	10
1.3.3.Αναπαράσταση σε μορφή κανάβου (raster)	13
1.4. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους.....	15
1.4.1. Είδη ψηφιακών μοντέλων εδάφους	17
1.4.1.1. Δίκτυα τριγώνων (TIN).....	17
1.4.1.2. Σημειακά μοντέλα (Lattice grid).....	18
1.5. Εφαρμογές των Γ.Σ.Π.	18
<u>2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</u>	20
2.1. Γεωλογία Κρήτης.....	20
2.2 Η περιοχή μελέτης	22
2.3. Στρωματογραφία της περιοχής μελέτης.....	23
<u>3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ</u>	27
3.1. Κατολισθητικά φαινόμενα - Γενικά.....	27
3.2.Ορισμός της κατολίσθησης.....	27
3.4.Τύποι κατολισθήσεων	29
3.5. Ταχύτητα μετακίνησης	32
3.6. Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων.....	33
3.7. Κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο	36
3.8 Μετρα αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων.....	37
<u>4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ArcGis – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ</u>	
<u>Γ.Σ.Π.</u>	39
4.1.- Παρουσίαση του Γ.Σ.Π.....	39
4.1.1.Το ArcGIS Desktop	40
4.1.2.Υποπεριβάλλον εργασίας Arc catalog:	40
4.1.3 Υποπεριβάλλον εργασίας Arc map.....	42
4.1.4.Υποπεριβάλλον εργασίας Arctoolbox	44
4.2. Ανάπτυξη του Γ.Σ.Π.	45
4.2.1. Προεπεξεργασία ψηφιδωτών δεδομένων – Γεωαναφορά	46
4.2.2. Ψηφιοποίηση και μετασχηματισμός θεματικών επιπέδων	48

4.2.2.1 Ψηφιοποίηση οδικού δικτύου	48
4.2.2.2. Γεωλογικές ενότητες.....	49
4.2.2.3. Κλίση πρηνών	49
4.2.2.4. Προσανατολισμός πρηνών.....	50
4.2.2.5. Σχετικό υψόμετρο	51
4.2.2.6. Υπολογισμός δικτύου επιφανειακών απορροών.....	52
4.2.2.7 Απόσταση από το δίκτυο επιφανειακών απορροών	55
4.2.2.8. Χρήσεις Γής.....	56
4.2.2.9. Απόσταση από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων	57

5.-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ 61

5.1. Περιγραφή μεθόδου	61
5.2. Πίνακες βαθμονομήσεων θεματικών επιπέδων	63

6.-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ..... 66

6.1. Βαθμονομημένοι χάρτες	66
6.2. Παρουσίαση Χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων	74
6.2.1. Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων άνευ συνυπολογισμού παράγοντα χρήσεων γης	75
6.2.2. Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων με συνυπολογισμό παράγοντα χρήσεων γης.....	78
6.2.3. Σύγκριση των δύο χαρτών επικινδυνότητας LHI 1 και LHI 2	80
6.2.4. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας περιοχών Θερίσσου και Μουσούρων... 81	
6.2.5. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας φαραγγιού Σαμαριάς.....	83
6.2.6. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας Παλαιόχωρας και πλησίον περιοχών.... 85	
6.2.7. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας περιοχών Τοπολίων και Κανδανου	87

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 90

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: 91

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ..... 92

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ 94

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία θεματικών χαρτών επικινδυνότητας κατολισθήσεων (Landslide Hazard Index – L.H.I.) για τον Νομό Χανίων, με την χρήση της μεθόδου των βαθμονομήσεων γραμμικού συνδυασμού (weighted linear combination - W.L.C.). Πρόκειται για μια ημιποσοτική μέθοδο ανάλυσης της επικινδυνότητας, η οποία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π. – G.I.S.). Χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά δεδομένα τα οποία εξήχθησαν και παρήχθησαν για την αναπαράσταση και μοντελοποίηση των κύριων παραγόντων που προκαλούν κατολισθητικά φαινόμενα, όπως η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών, η λιθολογική σύσταση και η γεωμορφολογία της περιοχής, οι χρήσεις γής, οι αποστάσεις από επιφανειακές απορροές, οι αποστάσεις από τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών και οι βροχοπτώσεις. Πραγματοποιήθηκε επίσης και ένας δεύτερος υπολογισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας του Νομού Χανίων χωρίς τον παράγοντα των χρήσεων – καλύψεων γής και οι δύο παραγόμενοι χάρτες συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα επαληθεύτηκαν με την χρήση καταγεγραμμένων σημείων όπου έχουν συμβεί κατολισθητικά φαινόμενα στον νομό Χανίων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π. – G.I.S.) και οι αρχές λειτουργίας τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχής μελέτης καθώς και η γεωλογική επισκόπησή της.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση του φαινομένου των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό ArcGIS που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και αναλύονται τα βήματα ανάπτυξης του Γ.Σ.Π.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ο υπολογισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας και ο πίνακας βαθμονομήσεων.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση, συνοπτικός σχολιασμός και επαλήθευση για τα αποτελέσματα του υπολογισμού της κατολισθητικής επικινδυνότητας για τον Ν. Χανίων καθώς και για τις επιμέρους περιοχές που επιλέχθησαν.

Στο έβδομο κεφάλαιο, τέλος, καταλήγουμε σε συμπεράσματα με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα.

ABSTRACT

The aim of this study was the production of thematic maps for the Landslide Hazard Index (L.H.I) for the Chania Prefecture, Crete Island, by using the weighted linear combination (W.L.C.). The W.L.C. is a semiquantitative hazard analysis method that was adopted in a Geographic Information Systems (G.I.S.) environment. Digital data was used and exported for the modeling of the most important factors that cause landslides, such as slope angle and aspect, the lithology and geomorphology of an area, land use, the distance from drainage and distance from geological boundaries and precipitation.

A second calculation of landslide susceptibility also has been made without the consideration of the land use – land cover factor, and the two produced maps were compared. The results were validated with the use of recorded landslide location in the Chania Prefecture.

The first chapter deals with the G.I.S. and their basic functions and in the second chapter the study area and its geological framework are presented

In the third chapter, the complex phenomenon of landslides is being examined, as well as it's appearance in Greece.

In the fourth chapter, the ArcGIS software is presented and the first steps of development of the thematic layers are shown.

In the fifth chapter the Landslide Hazard Index calculation and the rating tables are presented.

The sixth chapter includes the results and a brief discussion of them for the LHI for the Chania prefecture and the areas of interest that were chosen, as well the verification and validation of the results.

Finally, in the seventh chapter, a discussion on the above results concludes the present thesis.

Εισαγωγή

Οι κατολισθήσεις ως μη αναμενόμενες και συνήθως απρόβλεπτες μετακινήσεις ασταθών επιφανειακών στρωμάτων αποτελούν έναν από τους συχνούς φυσικούς κινδύνους με σημαντικότερες συνέπειες σε ανθρώπινες ζωές (Μπαντής, 2001). Πέρα από το να προκαλούν απώλειες σε ζωές και ιδιοκτησίες, προκαλούν και καταστροφή σε φυσικούς πόρους (χλωρίδα, γη και εδάφη) και θέτουν σε κίνδυνο έργα ανάπτυξης όπως οδικά δίκτυα, γέφυρες και φράγματα (Λέκκας, 2000, Saha et al, 2002).

Η κατολισθητική επικινδυνότητα μιας περιοχής αποτελεί ουσιαστική παράμετρο στην συνολική εκτίμηση της γεωλογικής και γεωτεχνικής καταλληλότητας της. Μελέτες κατολισθητικής επικινδυνότητας εκπονούνται σε περιοχές πολεοδομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης ή σε περιοχές κατασκευής τεχνικών έργων με στόχο τη διασφάλιση των ανθρώπων, περιουσιών ή έργων από το συγκεκριμένο φυσικό κίνδυνο (Μπαντής, 2001). Γενικότερα, η πρόβλεψη μελλοντικών κατολισθήσεων είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τις επιρρεπείς σε κατολισθήσεις περιοχές όσον αφορά τον μελλοντικό σχεδιασμό των χρήσεων Γής (Chung, 1995).

Ένας χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας απεικονίζει περιοχές επιρρεπείς σε κατολισθήσεις περικλείοντας τους συνήθεις παράγοντες και τους παράγοντες δραστηριοποίησης των κατολισθήσεων μαζί με δεδομένα παλαιότερων χωρικών κατανομών τους. Κρίσιμοι παράγοντες για την δημιουργία αξιόπιστων χαρτών φυσικών καταστροφών είναι η ποιότητα και η ποσότητα των διαθέσιμων δεδομένων και η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για την ανάλυση τους (Kouli et al, 2010).

Η χρησιμότητα τους έγκειται στο ότι βοηθούν μελετητές στο να επιλέξουν τις κατάλληλες περιοχές για αναπτυξιακά έργα, όπως κτίρια, φράγματα, χάραξη οδικού δικτύου. Ακόμα και αν οι επικίνδυνες περιοχές δεν μπορούν να αποφευχθούν εντελώς, η αναγνώρισή τους σε αρχικά στάδια του σχεδιασμού βοηθάει στο να ληφθούν τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα. Δεύτερον, οριοθετούνται και ταυτοποιούνται οι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις περιοχές ούτως ώστε να εφαρμοσθούν κατάλληλα μέτρα περιβαλλοντικής ανάπλασης (Saha et al, 2002).

Επίσης, οι περιοχές επιρρεπείς σε φαινόμενα όπως καταπτώσεις, καθιζήσεις, κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις που είναι δυνατό να συμβούν και κατά την διάρκεια της σεισμικής δραστηριότητας, θεωρούνται εκ των βασικών στοιχείων που περιλαμβάνει οι νεοτεκτονικοί χάρτες, οι οποίοι αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την αποφυγή των σεισμικά επικίνδυνων περιοχών και τη χαρτογράφηση των ρηξιγενών ζωνών (Λέκκας, 2000).

Μέθοδος υπολογισμού

Η μέθοδος βαθμονομήσεων γραμμικού συνδυασμού, η οποία εφαρμόστηκε για την παρούσα πτυχιακή εργασία, περιλαμβάνει τον συνδυασμό αρκετών θεματικών χαρτών με κατολισθητικούς παράγοντες. Για κάθε κλάση του χάρτη (ή θεματικού επιπέδου για το Γ.Σ.Π. περιβάλλον) ορίζεται μια αντίστοιχη τιμή (ανάλογα την βαρύτητά της για να

προκαλέσει κατολισθήσεις) και κατόπιν βαθμονομούνται και τα θεματικά επίπεδα ανάλογα με την σημασία ή προτίμηση κάθε παραμέτρου σε σχέση με τις άλλες.

Τέλος, όλοι οι χάρτες που εξάγονται συνδυάζονται μεταξύ τους με σκοπό την δημιουργία του τελικού χάρτη κατολισθητικού κινδύνου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ταξινομήθηκαν με ίσες αποστάσεις (equal interval) σε τέσσερις ζώνες επικινδυνότητας, «χαμηλή», «μέση», «υψηλή» και «πολύ υψηλή».

Αν και τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων είναι εν μέρη υποκειμενικά αφού εξαρτώνται από την γνώση των ειδικών, οι ποιοτικές και οι ημιποσοτικές μέθοδοι έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες στις περιπτώσεις τοπικών μελετών (Kouli et al, 2010).

Περιοχή μελέτης - ο Νομός Χανίων

Ο νομός Χανίων σε πανελλαδικό επίπεδο δεν χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλού κινδύνου, σε σχέση με άλλες περιοχές της χώρας (Koukias et al, 1994, 2005), ωστόσο αρκετές περιοχές του νομού είναι εκτεθειμένες σε κατολισθητικά φαινόμενα. Πρόκειται άλλωστε για νομό με πλήθος ημιορεινών και ορεινών περιοχών, μέρη όπου οι κατολισθήσεις αποτελούν μια από τις πιο δαπανηρές και ζημιογόνες φυσικές καταστροφές (Pandley et al, 2007). Αν και το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοίκων του νομού διαμένει στους οικισμούς κατά μήκος του βόρειου οδικού άξονα Καστέλι-Χανιά-Γεωργιούπολη, παραμένουν αρκετοί οι μόνιμοι κάτοικοι σε μεγάλο πλήθος διάσπαρτων χωριών στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές του νομού.

Όπως σε όλη την Κρήτη, υπάρχει αυξημένη τουριστική δραστηριότητα στο νομό Χανίων, καθ'όλη την διάρκεια του έτους η οποία και κορυφώνεται κατά τους θερινούς μήνες. Η τουριστική αυτή δραστηριότητα εμφανίζεται και σε αυτές τις ορεινές περιοχές με τις μορφές αγροτουρισμού και εναλλακτικού τουρισμού, όπως ορειβασία, πεζοπορία και διάσχιση φαραγγιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο εθνικός δρυμός του φαραγγιού της Σαμαριάς. Πρόκειται για το πρώτο σε επισκεψιμότητα αξιοθέατο του νομού (και δεύτερο στην Κρήτη μετά το ανάκτορο της Κνωσού), και δέχεται εκατοντάδες επισκέπτες καθημερινά κατά την περίοδο που είναι ανοικτός στο κοινό, από τις αρχές Μαΐου ως τον Οκτώβριο.

Επιπλέον, όλοι οι μεγάλοι οδικοί άξονες που συνδέουν τις βόρειες με τις νότιες επαρχίες του νομού, όπως Χανιά – Χώρα Σφακείων, Χανιά - Ομαλός, Χανιά - Σούγια, Καστέλι - Ελαφονήσι, Καστέλι - Παλαιόχωρα περνάνε από τέτοιες εκτεθειμένες σε κατολισθήσεις περιοχές.

Έτσι αφενός μεν είναι αυξημένη η ανθρωπογενής δραστηριότητα και οι παρεμβάσεις στις περιοχές αυτές, -η οποία όπως θα δούμε και παρακάτω θεωρείται παράγοντας πρόκλησης κατολισθήσεων και στον Ελλαδικό χώρο (Μπαντής, 2001) - αφετέρου δε λόγω της μεγαλύτερης ανθρώπινης κινητικότητας είναι λογικό να αυξάνονται και στατιστικά οι πιθανότητες για σοβαρά ατυχήματα.

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – G.I.S.

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας των Γ.Σ.Π. και οι εφαρμογές τους.

1.1. Γενικά για την Χαρτογραφία

Η Χαρτογραφία είναι η επιστήμη η οποία ασχολείται με την επεξεργασία και τη γραφική απόδοση στοιχείων, που αφορούν στα φυσικά φαινόμενα αλλά και στα ανθρωπογενή (κοινωνικό-οικονομικά) φαινόμενα. Συνδέεται στενά με τις επιστήμες της Γεωδαισίας, της Τοπογραφίας, της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης, των οποίων το κύριο αντικείμενο είναι η συλλογή δεδομένων (Αστάρας, 2005).

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 «Θεματικής 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 H/Y, οι μεθοδολογίες συμπίεσης δεδομένων, οι τρόποι και οι μεθοδολογίες αποθήκευσης στοιχείων, οι δομές βάσεων δεδομένων, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών κλπ (Αστάρας 2005, Μηλιαρέσης 2006, Κουτσόπουλος 2003). 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.

1.2. Ιστορικά

Πριν από 35.000 έτη, στους τοίχους σπηλαίων κοντά στην περιοχή Lascaux, στη Γαλλία, κυνηγοί Cro - Magnon ζωγράφιζαν τις εικόνες των ζώων που κυνηγούσαν. Σύμφωνα με τις ζωγραφίες των ζώων υπάρχουν και οι διαδρομές εντοπισμού τους, καθώς επίσης και διάφοροι υπολογισμοί, οι οποίοι αποτελούν ένα συλλογισμό αναπαράστασης των δρόμων μετανάστευσης των ζώων. Αυτά τα πρόωρα αρχεία ακολούθησαν τη δομή δύο στοιχείων των σύγχρονων γεωγραφικών συστημάτων

πληροφοριών, δηλαδή ένα γραφικό αρχείο συνδεδεμένο με μια βάση δεδομένων - ιδιοτήτων (Wheatley et al, 2002).

Η χρήση χαρτών ως μέσο απεικόνισης χωρογραφικών δεδομένων είναι παλαιότατη. Στην Ρώμη οι χαρτογράφοι θεωρούνταν εξέχοντα μέλη της κοινωνίας. Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας υπήρξε ένα κενό στη συλλογή χαρτογραφικών δεδομένων έως τον 18^ο αιώνα, οπότε και η συλλογή τους ξεκίνησε πάλι από τις Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις, οι οποίες αντιλήφθηκαν την αξία της συστηματικής χαρτογράφησης. Αυτό οδήγησε στην έναρξη της χαρτογράφησης σε εθνικό επίπεδο από οργανωμένα ινστιτούτα. Κατά τον 19^ο αιώνα άρχισε να γίνεται απογραφή των φυσικών πόρων, καθώς επίσης και αξιολόγηση τους. Οι απαιτήσεις της γης για την παραγωγή αγαθών άρχισαν να μετρούνται και τα εγγειοβελτιωτικά έργα διαμορφώνονταν βάση σχεδιασμού και υπολογισμού αναγκών.

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 G.I.S."

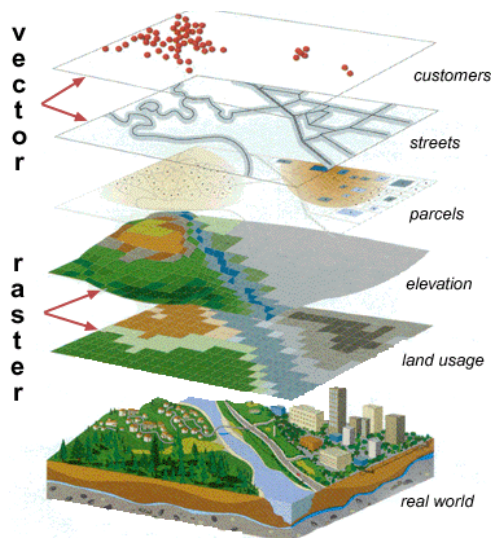
Το C.G.I.S. ολοκληρώθηκε στη δεκαετία του '90 και έχτισε τη μεγαλύτερη ψηφιακή βάση δεδομένων των πόρων εδάφους στον Καναδά. Αναπτύχθηκε στον κεντρικό υπολογιστικό σύστημα ως υποστήριξη των ομοσπονδιακού και του επαρχιακού προγραμματισμού για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των φυσικών πόρων. Το CGIS 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 τους. Αυτή η πορεία οδηγεί στο σήμερα, φέρνοντας τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών 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.

1.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – G.I.S.

Τα Γ.Σ.Π. αποτελούν ένα δυναμικό εργαλείο διαχείρισης της πληροφορίας, είτε αυτή περιγράφει μια ιδιότητα, είτε ορίζει την θέση στον χώρο. Παρέχουν την δυνατότητα στον χρήστη να συλλέξει, να διαχειριστεί, να αποθηκεύσει, να επεξεργαστεί, να αναλύσει και τέλος να απεικονίσει συνδυαστικά πολλά επίπεδα πληροφορίας.

Υπό μια γενικότερη έννοια, το GIS είναι ένα εργαλείο, ένας "έξυπνος χάρτης" που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν διαδραστικές λίστες άντλησης πληροφοριών, να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα και να επέμβουν στα χαρακτηριστικά τους. 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 γεωαναφευμένων πληροφοριών. Καθώς η τεχνολογία προοδεύει τα ΓΣΠ εξελίσσονται, όμως ο κεντρικός τους άξονας παραμένει σταθερός. Η εξέλιξή τους έγκειται στην μαθηματική τους υποδομή και αναδιάρθρωση. Τα ΓΣΠ προσφέρουν την δυνατότητα προσομοίωσης του πραγματικού κόσμου σε δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα απεικόνισης. Αυτό επιτυγχάνεται με μαθηματικούς αλγόριθμους στο λογισμικό των ΓΣΠ. Επιπλέον έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα συντεταγμένων ικανό να αποτελέσει σημείο αναφοράς για κάθε περιοχή της γης. Αυτό είναι το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Κάθε περιοχή έχει τις δικές της συντεταγμένες, οι οποίες ορίζονται με ακρίβεια με την βοήθεια των συσκευών GPS. Κατά αυτό τον τρόπο υπάρχει η υποδομή μιας τεράστιας βάσης δεδομένων, αρκετά αξιόπιστης, ώστε να χρησιμοποιηθεί σε αναλύσεις.



Εικόνα 1: Η αρχή της υπέρθεσης των Πληροφοριακών Επιπέδων στα ΓΣΠ.

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.

1.3.1. Ψηφιακή αναπαράσταση δεδομένων

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 διααιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Τα χωρικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα θέση, μορφή, σχέσεις, κ.λπ. και τα ποιοτικά ή θεματικά ή περιγραφικά δεδομένα που αφορούν τιμές και χαρακτηριστικά.

1.3.1.1 Χωρικά δεδομένα

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

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

1.3.1.2 Περιγραφικά δεδομένα

- **Ονομαστικά δεδομένα (nominal):** Είναι ποιοτική, μη αριθμητική, μη γραμμική κλίμακα. Τα χαρακτηριστικά διαχωρίζονται με βάση τα ουσιαστικά πραγματικά χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα, η ιδιότητα "Οικισμός" μπορεί να πάρει τις τιμές: «Χανιά», «Παλαιόχωρα», «Βατόλακκος», κ.λπ.
- **Τακτικά δεδομένα (ordinal):** Είναι ονομαστική κλίμακα αλλά με σειρά. Δηλαδή τα χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με κάποια τακτική διάταξη. Ένα παράδειγμα είναι η ιδιότητα "Μέγεθος" που μπορεί να πάρει τις τιμές: μικρή, μεσαία, μεγάλη, κ.λπ.
- **Κατά διαστήματα δεδομένα (interval):** Είναι μία τακτική κλίμακα αλλά με αριθμούς. Τα χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την απόκλιση τους από ένα αυθαίρετο μέγεθος μέτρησης. Ένα παράδειγμα είναι το " Εμβαδόν" το οποίο παίρνει τιμές που μετριοούνται σε τετραγωνικά μέτρα.
- **Αναλογικά δεδομένα (ratio):** Είναι μία κλίμακα με ένα απόλυτο μηδενικό σημείο έναρξης. Ένα παράδειγμα είναι το "Υψόμετρο" το οποίο μετρείται σε μέτρα και η μέτρηση αρχίζει από την επιφάνεια της θάλασσας.

Ανάλογα με τη φύση τους, τα δεδομένα αυτά διακρίνονται σε διακριτά (όπως ο πληθυσμός, η χρήση γης κ.α.) και συνεχή (όπως το υψόμετρο, η ατμοσφαιρική ρύπανση κ.α.).

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αναπαράστασης της πραγματικότητας με ψηφιακό τρόπο. Οι δύο κύριες που χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν τα στοιχεία σε ένα

GIS και για τις δύο παραπάνω κατηγορίες είναι η διανυσματική μορφή (vector) και η μορφή κανάβου (raster).

Η πρώτη από αυτές μετατρέπει τη μορφή του χάρτη σε μορφή διανύσματος (vector format) ή διανυσματική μορφή πολυγώνου, χρησιμοποιώντας την τεχνική του διανύσματος και η δεύτερη σε μορφή ψηφιδωτού ή κανάβου (raster format), χρησιμοποιώντας την τεχνική του ψηφιδωτού. Και οι δυο μέθοδοι, συγχρόνως με τη μετατροπή αυτή κάθε αυτή του χάρτη σε ψηφιακή μορφή, παρέχουν τοπολογική και ποιοτική πληροφορία για τον ακριβή τρόπο επανασύστασης του.

1.3.2. Διανυσματική αναπαράσταση δεδομένων (Vector)

Σε αυτή την περίπτωση οι οντότητες στον χώρο περιγράφονται και επεξεργάζονται με την χρήση διανυσμάτων. Σημεία, γραμμές ή πολύγωνα χρησιμοποιούνται στην αναπαράσταση των στοιχείων πάντα βάσει περασμένων κανόνων τοπολογίας.

- **Σημεία:** Το σημείο είναι η απλούστερη μέθοδος απεικόνισης αντικειμένων και χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των αντικειμένων που δεν έχουν καμία διάσταση στο χώρο (σε συγκεκριμένη κλίμακα). Η θέση τους στο χώρο προσδιορίζεται με τη χρήση είτε απόλυτων είτε σχετικών συντεταγμένων.
- **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.

Μοντέλο Spaghetti: Πρόκειται για τον απλούστερο τρόπο απεικόνισης μιας επιφάνειας, έτσι χρησιμοποιείται στις πιο απλές μορφές αυτοματοποιημένης χαρτογράφησης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό για κάθε πολύγωνο της περιοχής ενδιαφέροντος δημιουργείται ένα αρχείο, όπου καταχωρούνται με τη σειρά οι συντεταγμένες κάθε σημείου που έχει περαστεί για να καθοριστεί η πολυγωνική επιφάνεια. Με αυτόν τον τρόπο, το δισδιάστατο μοντέλο ενός χάρτη μετατρέπεται σε μονοδιάστατο. 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): Εδώ καταγράφεται η θέση ενός αρχικού σημείου, κατόπιν οι θέσεις των επόμενων σημείων καταγράφονται σε σχέση με την απόστασή τους από το αρχικό. 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. Εξάλλου, το βασικό πλεονέκτημά του είναι η ευκολία μετατροπής των ήδη εισαγόμενων δεδομένων του, στη μορφή που απαιτούν τα άλλα μοντέλα.

Τοπολογικό μοντέλο (Topological): Αποτελεί το συνηθέστερο τρόπο οργάνωσης των γεωγραφικών στοιχείων και διατηρεί τις χωρικές σχέσεις ανάμεσα στα διαφορετικά αντικείμενα και φαινόμενα που καταχωρούνται στο σύστημα. Η οργάνωση γίνεται με την χρήση κόμβων και περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες τους. Κατασκευάζεται ένα αρχείο πολυγώνων, όπου με μονάδα τη γραμμή καταχωρίζεται η αρχή και το τέλος της, καθώς και τα πολύγωνα που βρίσκονται εκατέρωθεν αυτής.

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. Η βασική γραμμική μονάδα είναι μία αλυσίδα, δηλαδή μία σειρά από ευθύγραμμα τμήματα που αρχίζουν και τελειώνουν σε έναν κόμβο. 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.

Πίνακας 1 :Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διανυσματικών μοντέλων (vector).

Διανυσματικά μοντέλα (vector)	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Με τη χρήση των δικτύων (κάναβος), γίνεται πλήρης περιγραφή της τοπογραφίας	Σύνθετες δομές λόγω της διαφορετικής τοπογραφικής μορφής κάθε μονάδας.
Περιεκτικές δομές δεδομένων	Δυσκολία επεξεργασίας επικάλυψης επιπέδων πληροφορίας
Καλή παρουσίαση δεδομένων	Δυσκολία μέτρησης εμβαδού και μήκους
Ενιαία δομή δεδομένων	Απαιτείται δαπανηρό λογισμικό και τεχνικός εξοπλισμός.
Μεγάλη ακρίβεια κατά τη γραφική απεικόνιση	Δύσκολη και χρονοβόρα η μετατροπή των Raster δεδομένων σε Vector
Δυνατότητες ενημέρωσης των γραφικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών	
Ευκολία πλευρικής σύνδεσης διαφορετικών περιγραφικών δικτύων πληροφοριών (με τη χρήση των nodes)	

Επεξεργασίες στα διανυσματικά μοντέλα δεδομένων

Γεωμετρικές

Συγκρίνουν τη γεωμετρία δύο οντοτήτων.

Δύο αντικείμενα μπορούν να έχουν τις παρακάτω σχέσεις:



Τοπολογικές

Είναι πράξεις πάνω σε δύο ή περισσότερα επίπεδα πληροφορίας. Παράγουν ένα νέο επίπεδο.



Εικόνα 2: Είδη επεξεργασίας σε διανυσματικά μοντέλα

1.3.3.Αναπαράσταση σε μορφή κανάβου (raster)

Σύμφωνα με αυτή την αναπαράσταση, ο χώρος διαιρείται σε ισομεγέθη τετράγωνα (pixels, cells). Σε κάθε ένα από αυτά τα τμήματα αποθηκεύονται τα χαρακτηριστικά του σαν περιγραφικά δεδομένα. Η τιμή του χαρακτηριστικού για κάθε pixel, θεωρείται, κατά σύμβαση, ότι αντιστοιχεί σε όλη τη περιοχή την οποία αυτό καλύπτει. Το μέγεθος των τετραγώνων ορίζει και την ακρίβεια της αναπαράστασης. Κάθε οντότητα του πραγματικού χώρου, σύμφωνα με το μοντέλο κανάβου, αναπαρίσταται από μία ή περισσότερες ομοιογενείς δομικές μονάδες. Κάθε μία από τις ενότητες, έχει το σύνολο των ιδιοτήτων του αντικειμένου που καθορίζει. Η γενική αρχή των μοντέλων αυτών είναι η δυνατότητα απεριόριστης επέκτασής τους στο χώρο και το αντίστροφο, δηλαδή η δυνατότητα της συνεχούς υποδιαίρεσης του ίδιου σχήματος σε μικρότερες ενότητες που έχουν τις ίδιες ιδιότητες με το αρχικό σχήμα. Υπάρχουν τα ψηφιδωτά μοντέλα κανονικής και μη κανονικής μορφής. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται περισσότερο από όλα είναι το τετράγωνο-ψηφίδα, λόγω της δυνατότητάς του να υποδιαίρεείται 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.

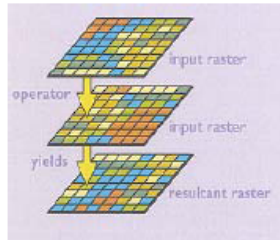
Έτσι, η χρησιμοποίηση ενός εκ των δύο μοντέλων καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από την εφαρμογή που πρόκειται να εκτελεστεί.

Πίνακας 2 :Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μοντέλων καννάβου (raster).

Ψηφιδωτά μοντέλα ή μοντέλα κανάβου (raster)	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απλές δομές δεδομένων.	Μεγάλοι όγκοι γραφικών δεδομένων, που συνεπάγεται μεγάλες απαιτήσεις μνήμης.
Ευκολία απεικόνισης (λόγω ομοιότητας της κάθε μονάδας δεδομένων στο χώρο). Ευκολία υπέρθεσης και συνδυασμού των δεδομένων του χάρτη με δεδομένα που συλλέγονται από διαφορετικές πηγές καθώς τηλεπισκοπικά δεδομένα.	Μειωμένη αναπαράσταση δομών, εξαιτίας της χρήσης μεγάλων κυψελών, με σκοπό τη μείωση της ποσότητας των γραφικών δεδομένων. Οι θεματικοί χάρτες είναι απαραίτητο να τύχουν επιμελούς επεξεργασίας για να είναι ευπαρουσίαστοι
Ακριβής προσομοίωση της πραγματικότητας, λόγω ισοδυναμίας των ψηφιακών δεδομένων με τα φυσικά στοιχεία.	Δυσκολία έως αδυναμία σύνδεσης πληροφοριών που βρίσκονται σε διαφορετικά αντικείμενα.
	Χρονοβόρα διαδικασία μετασχηματισμού συντεταγμένων, λόγω μεγάλου όγκου πληροφοριών

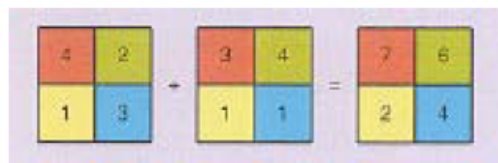
Επεξεργασίες στα μοντέλα ψηφιδωτής διαμέρισης

Σε δύο ή περισσότερα επίπεδα εφαρμόζονται αριθμητικοί ή λογικοί τελεστές. Προκύπτει ένα νέο επίπεδο.



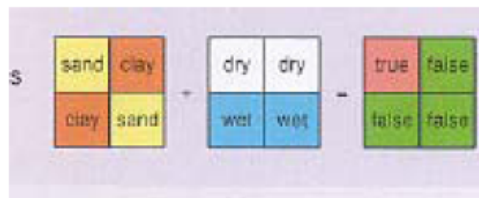
Αριθμητικοί τελεστές

+, -, *, /, cos, sin, sqrt, ...



Λογικοί τελεστές

And, Or, Xor, Not, >, <,
...



Εικόνα 3: Είδη επεξεργασίας σε μοντέλα κανάβου

1.4. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους θεωρείται κάθε «ψηφιακή αναπαράσταση της συνεχούς μεταβολής του αναγλύφου στο χώρο». Ο όρος DEM είναι πιο ειδικός και αναφέρεται μόνο στη ψηφιακή αναπαράσταση του ανάγλυφου, ενώ ο όρος DTM είναι γενικότερος και χρησιμοποιείται επίσης και για οποιαδήποτε άλλη αναπαράσταση ενός χαρακτηριστικού συνεχούς μεταβολής στο χώρο.

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

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

Η ανάπτυξη τεχνικών ψηφιακής αναπαράστασης του ανάγλυφου 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 x, y , 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).

Χρησιμοποιεί 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.

Για τα Γ.Σ.Π. οι εφαρμογές είναι:

- Παραγωγή χαρτών σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief maps), υψομέτρων, κλίσεων και εκθέσεων
- Κατασκευή ψηφιακών τοπογραφικών χαρτών
- Ομαδοποίηση και καταμέτρηση χαρακτηριστικών αντικειμένων κατά κλάσεις υψομέτρων κλίσεων ή εκθέσεων

- Διευκόλυνση υδρολογικών μελετών (υδρογραφικό δίκτυο, όρια λεκάνης απορροής κλπ.)

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

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

1.4.1. Είδη ψηφιακών μοντέλων εδάφους

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. Δίκτυα τριγώνων (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 x, y . Η δημιουργία των τριγώνων αυτών πρέπει να ικανοποιεί το κριτήριο Delaunay σύμφωνα με το οποίο ο κύκλος που διέρχεται από τις τρεις 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 ανάγλυφου. 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. Σημειακά μοντέλα (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 αντιστοίχισης 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 x, y 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 x, y 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 x, y , 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.

1.5. Εφαρμογές 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.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη γεωλογική επισκόπηση της νήσου Κρήτης και της περιοχής μελέτης, ενώ παρουσιάζονται και σημαντικά γεωγραφικά και μορφολογικά στοιχεία για την τον Ν. Χανίων.

2.1. Γεωλογία Κρήτης

Η γεωλογία της Κρήτης ακολουθεί μια αρκετά πολύπλοκη δομή λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης σε σχέση με τις συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες της Αφρικής και της Ευρασίας. Σύμφωνα με πρόσφατες θεωρίες η νήσος αποτελείται από αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα των διαφόρων γεωτεκτονικών ζωνών (που αναπτύσσονται πάνω στην ενότητα Ταλέα όρη των πλακωδών ασβεστόλιθων).

Το 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 μεγάλο βαθμό κερατολιθικούς κονδύλους και πυριτικές ενστρώσεις. Επίσης εμφανίζονται σημαντικές μάζες άστρωτων μετά-ασβεστόλιθων 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-N 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-N 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 Ολιγοκαινού-Μειοκαινού, 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. Πλειοκαινο, 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

Στο τέλος του Πλειοκαινου, 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 (Σχήμα 11c). 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 ανθρακικών πετρωμάτων σχηματίζοντας πολλά φαράγγια, σπηλιές και οροπέδια, καθώς επίσης και άλλες εντυπωσιακές καρστικές δομές (Φασουλάς, 2000).

2.2 Η περιοχή μελέτης

Με συνολική έκταση 2.376 km² ο νομός Χανίων είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος και ο δυτικότερος της Κρήτης. Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει όλο τον νομό Χανίων, πλήν της νήσου Γαύδου και οριοθετείται με συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους μεταξύ 35°11,542' και 35°41,754' και γεωγραφικού μήκους 23°30,883' και 24°19,901'.

Στα νότια-νοτιοανατολικά του νομού δεσπόζουν τα Λευκά Όρη, η μεγαλύτερη σε έκταση οροσειρά της Κρήτης, με μήκος (από ανατολικά προς δυτικά) 40-45 χλμ. και πλάτος (από βορρά προς νότο) 35 χλμ. Τα Λευκά Όρη έχουν 57 κορυφές από 2000-2454 μέτρα με την ψηλότερη να είναι οι Πάχνες, καθώς και 54 κορυφές από 1500-2000 μέτρα. (Σπανάκης, 1969). Πολυάριθμα, επίσης, είναι και τα βαθύτατα και εντυπωσιακά φαράγγια (τα περισσότερα με προσανατολισμό από βορρά προς νότο τα οποία και καταλήγουν στο Λιβυκό πέλαγος) που βρίσκονται στα Λευκά Όρη αλλά και σε άλλες περιοχές του νομού, με το φαράγγι της Σαμαριάς με μήκος 16,5 χλμ. να ξεχωρίζει ως το μεγαλύτερο, όχι μόνο της Κρήτης αλλά και της Ελλάδος. Όντας και Εθνικός Δρυμός από το 1962 που περικλείει 48,500 στρέμματα το φαράγγι της Σαμαριάς χαίρει ιδιαίτερης τουριστικής αξιοποίησης και βραβεύσεων από ευρωπαϊκούς φορείς (Παπιομύτογλου, 2006).

Άλλα φαράγγια του νομού με υψηλή επισκεψιμότητα από πεζοπόρους είναι της Ίμβρου Σφακίων, της Αγ.Ειρήνης Σελίνου και της Αράδαινας Σφακίων, ενώ υπάρχουν και φαράγγια, όπως του Θερίσσου και των Τοπολιών τα οποία διασχίζονται με ασφαλτωμένο δρόμο και οδηγούν σε δημοφιλείς προορισμούς, τόσο για τους μόνιμους κατοίκους όσο και για τους τουρίστες, όπως το ιστορικό χωριό του Θερίσσου και το Ελαφονήσι αντίστοιχα.

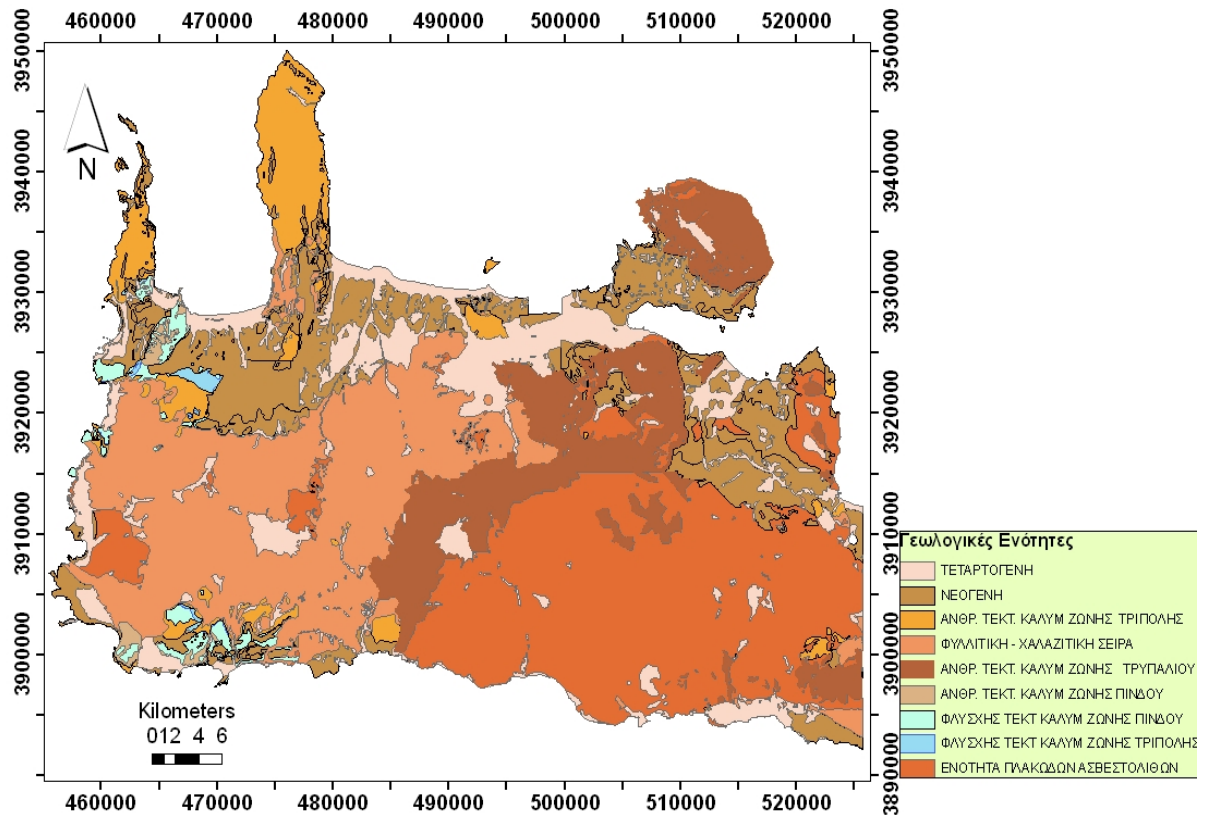
Με τις έντονες υψομετρικές διαφορές, τις μεγάλες κλίσεις, το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, αλλά και τις εκτεταμένες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με το σχετικά πυκνό οδικό δίκτυο και τις καλλιεργήσιμες - αρδευόμενες εκτάσεις που παρουσιάζονται σε αυτές τις περιοχές, συνυπάρχουν αρκετοί παράγοντες που είναι αίτια κατολισθήσεων (landslide causes) και παράγοντες εναύσματος μετακίνησης (triggering factor) τους.

Επιπλέον λόγω της τουριστικής αξιοποίησης των περιοχών αυτών, όπως και όλου του νομού, καθίστανται οι περαιτέρω μελέτες των κατολισθητικών φαινομένων ιδιαίτερα χρήσιμες και σημαντικές.

2.3. Στρωματογραφία της περιοχής μελέτης

Η στρωματογραφία της υπό μελέτη περιοχής είναι η εξής (Εικ. 3):

- **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 μάργων 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, αμμώδες άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή. Τα κροκαλοπαγή - λατυποπαγή εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Χοιροσπηλίου νοτιότερα της Αγιάς και στην περιοχή Τοπολίων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η έντονη συνεκτικότητα την 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.



Εικόνα 4: Χάρτης γεωλογικών ενότητων νομού Χανίων

- Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης:** Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση στον νομό Χανίων. 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 κατακεραματισμένοι 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:** Η ενότητα αυτή καταλαμβάνει σημαντική έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού Χανίων. 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 φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης:** Κατά λέξη ο φλύσχης είναι ίζημα που ρέπει για ροή. 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 των τουρβιτικών τους χαρακτήρα. (Χατζηδημητριάδης, 2001)
- **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 3: Συχνότητα και σχετική συχνότητα διασποράς κατολισθήσεων στην Ελλάδα, σε σχέση με τις γεωλογικές ενότητες. Πηγή: (Κούκης et al. 1994, 2005).

Γεωλογική ενότητα	Συχνότητα κατολισθήσεων (%)	Σχετική συχνότητα κατολισθήσεων (%)
Χαλαρές Τεταρτογενής αποθέσεις	20.65	12.99
Νεογενή	28.20	11.74
Φλύσχης	30.35	35.75
Σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι	3.62	29.64
Ασβεστολιθικά, μάρμαρα	4.85	2.48
Μεταμορφωμένα	9.32	5.07
Ηφαιστειογενή	3.00	2.37

Πίνακας 4: Έκταση και ποσοστό κάλυψης γεωλογικών ενότητων της περιοχής μελέτης.

Γεωλογικές Ενότητες	Έκταση (km ²)	Ποσοστό έκτασης (%)
Φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πίνδου	32,47	1,41
Φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης	7,21	0,31
Ενότητα Πλακώδων Ασβεστόλιθων	624,70	27,15
Ανθρακικά Τεκτονικού Καλύμματος ζώνης Τρίπολης	12,90	0,56
Ανθρακικά Τεκτονικού Καλύμματος ζώνης Πίνδου	145,85	6,34
Νεογενή	386,92	16,82
Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά	516,80	22,46
Τεταρτογενή	278,50	12,10
Ανθρακικά Τεκτονικού Καλύμματος ζώνης Τρυπαλίου	295,12	12,83
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	2300	100 %

3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Στο παρών κεφάλαιο δίδεται βιβλιογραφική επισκόπηση του φαινομένου των κατολισθήσεων, καθώς και στοιχεία για την εκδήλωση του στον Ελλαδικό χώρο.

3.1. Κατολισθητικά φαινόμενα - Γενικά

Οι φυσικές καταστροφές που πλήττουν τον πλανήτη μας αποτελούν βασική αιτία απώλειας ανθρώπινων ζώων και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις. Τις σπουδαιότερες φυσικές καταστροφές συνιστούν οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες και οι τυφώνες, και φυσικά οι κατολισθήσεις. Σε πολλές χώρες του κόσμου, οι κατολισθήσεις κατέχουν την πρώτη θέση ανάμεσα στα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα από άποψη πρόκλησης ζημιών. 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 ζώων 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 (Μπλιωνά, 2008).

Από το 1998 η διαχείριση φυσικών κινδύνων αποτέλεσε 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 εναρμονισμένη 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» (Μπαντής, 2001).

3.2. Ορισμός της κατολίσθησης

Ο όρος κατολίσθηση γενικώς υποδηλώνει τον αποχωρισμό και κατάντι μετακίνηση γεωυλικών που διαμορφώνουν τα πρανή, ήτοι εδαφικά, βραχώδη, τεχνητές επιχωματώσεις ή συνδυασμοί όλων. Εννοιολογικά, οι κατολισθήσεις αναφέρονται σε διάφορες μορφές μετακινήσεων πρανών, όπου η διατμητική αστοχία λαμβάνει χώρα

κατά μήκος ενός συγκεκριμένου επιπέδου ή συνδυασμού επιπέδων. Οι πλέον συνήθεις μορφές μετακίνησης είναι με ολίσθηση, πτώση ή ροή (Μπαντής, 2001).

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



Εικόνα 5: Κατολίσθηση στο Ν. Χανίων (περιοχή Πέτρας Σελί).

Διαταρράξεις της ισορροπίας (δηλαδή ενεργοποίηση μιας νέας ή παλαιάς κατολίσθησης) επέρχονται όταν υποστούν δράση κρίσιμων παραγόντων όπως το νερό, ή οι ανθρωπογενείς επιδράσεις (αλλαγή γεωμετρίας, εξωτερική φόρτιση, κ.λ.π.) (Μπαντής, 2001).

3.3 Διάκριση με βάση την κατάσταση πρανών

Μια αρχική διάκριση μεταξύ των φυσικών πρανών μπορεί να βασισθεί στην «υφιστάμενη» από πλευράς κινητικής ενέργειας κατάστασής τους:

- Ενεργά πρηνή χαρακτηρίζονται όσα τελούν υπό κίνηση ή έχουν μετακινηθεί εντός του τελευταίου εποχιακού κύκλου βροχοπτώσεων.
- Αδρανή πρηνή χαρακτηρίζονται όσα δεν εμφανίζουν ίχνη μετακίνησης κατά τον τελευταίο εποχιακό κύκλο βροχοπτώσεων. Εάν πρόκειται για περιπτώσεις παλαιών κατολισθήσεων, η ενεργοποίησή τους θα πρέπει να θεωρηθεί ως πιθανή, αν δεν έχουν αναιρεθεί οι φυσικοί παράγοντες που είχαν προκαλέσει τις παλαιές μετακινήσεις.

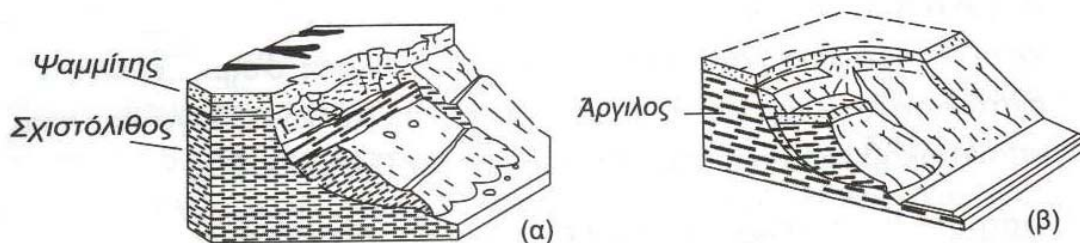
Παλαιές κατολισθήσεις εμφανίζουν περιοδική επανεργοποίηση που συνδέεται με κύκλους επανάληψης βροχοπτώσεων κρίσιμης έντασης (Μπαντής, 2001).

3.4. Τύποι κατολισθήσεων

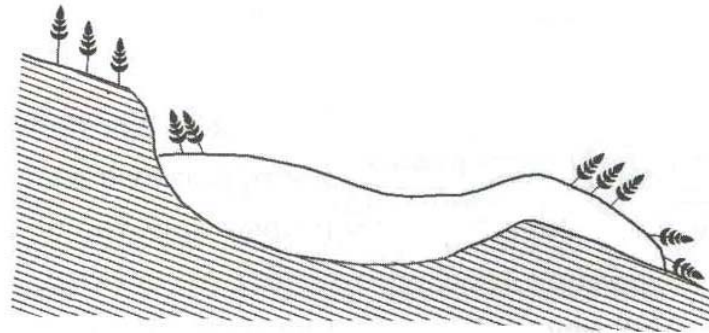
Οι τύποι κατολισθήσεων ταξινομούνται γενικώς με βάση τον τύπο του υλικού και τον τύπο της μετακίνησης. Τα υλικά διακρίνονται στις ευρείες κατηγορίες του βραχώδους υποβάθρου, του συμπυκνωμένου εδάφους και των χαλαρών υλικών (κυρίως προϊόντων αποσάθρωσης διαβαθμιζόμενα μεταξύ αμιγών εδαφών έως κορημάτων).

Πίνακας 5: Ταξινόμηση κατολισθητικών φαινομένων. Πηγή : (Μπαντής, 2001).

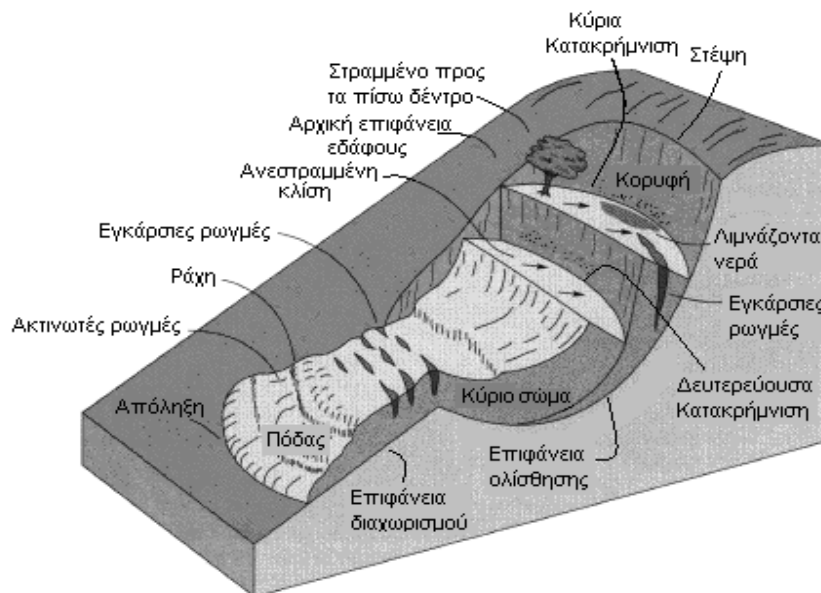
Τύπος Μετακινήσεως	Υλικά	
	Βραχώδη	Εδαφικά
Ολισθήσεις	Επίπεδες ολισθήσεις τεμαχίων βράχου (slump blocks)	Περιστροφικές ολισθήσεις τεμαχίων βράχου (slump blocks) ή επιφανειακές ολισθήσεις (soil slip)
Πτώσεις	Βραχοτεμαχίων	Εδαφοτεμάχια
Ροές	Κορεσμένα ασυμπίεστα υλικά	
A) Αργές B) Ταχείες	Εδαφοροές (Earth flows) Λασποροές (Mudflow) Ροές Κορημάτων (debris flow)	
Σύνθετες	Συνδυασμοί κατολισθήσεων και ροών	



Εικόνα 6: Περιστροφικές ολισθήσεις κατά VARNES 1978: (α) βραχώδους υποβάθρου, (β) γαιών (εδαφικά) (Μπλιωνά, 2008).



Εικόνα 7: Γενική διάταξη των δένδρων στις περιστροφικές ολισθήσεις (Μπλιωνά, 2008).



Εικόνα 8: Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης (Varnes, 1978). Πηγή: (Μπλιωνά, 2008).

- Α.) Στέψη (crown):** το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμιση.
- Β.) Κύρια κατακρήμιση (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 κατακρήμισης.
- Δ.) Κεφαλή (head):** τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμισης.
- Ε.) Δευτερεύουσα κατακρήμιση (minor scarp):** δευτερεύουσα επιφάνεια θραύσης της μετακινούμενης μάζας που προκλήθηκε από διαφορετικές μετακινήσεις της μάζας αυτής.
- Στ.) Κύριο σώμα (main body):** το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης, μεταξύ της κύριας κατακρήμισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης.

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

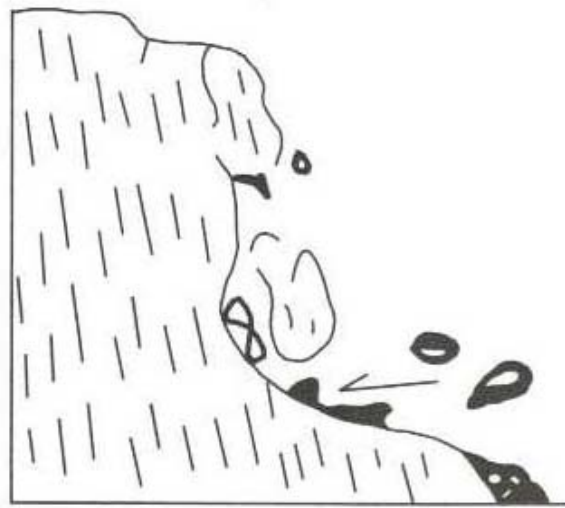
H.) Απόληξη (toe): το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο, της μετακινούμενης μάζας.

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

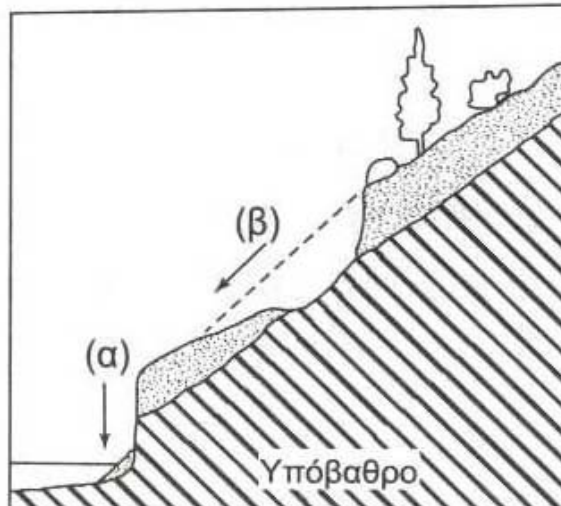
I.) Επιφάνεια ολίσθησης (surface of rupture): η επιφάνεια που αποτελεί επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα, πάνω στην οποία έγινε η κατολίσθηση.

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

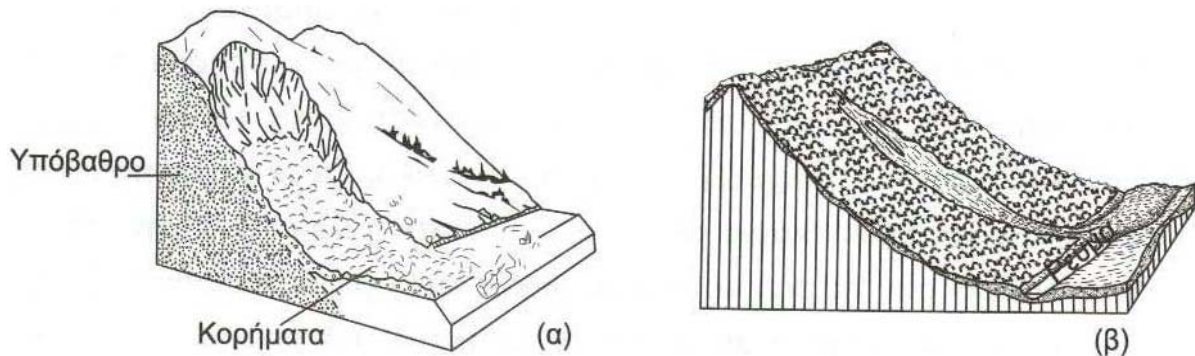
Λ.) Αρχική επιφάνεια εδάφους (original ground surface): η επιφάνεια του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης (Μπλιωνά, 2008)



Εικόνα 9: Τυπική κατάπτωση βράχων (Μπλιωνά, 2008).



Εικόνα 10: Αμεση κατάπτωση (α) γαιών-εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση (Μπλιωνά, 2008).



Εικόνα 11: Ροή κορημάτων (Μπλιωνά, 2008).

3.5. Ταχύτητα μετακίνησης

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.

Πίνακας 6: Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης (UNESCO, 1995). Πηγή: (Μπλιωνά, 2008).

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 7: Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (UNESCO, 1995). Πηγή:(Μπλιωνά, 2008).

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. Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων

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 αίτια ή προκαταρκτικοί παράγοντες, ενώ στο τρίτο στάδιο χαρακτηρίζονται ως το έναυσμα της μετακίνησης ή παράγοντες εναύσματος.

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

- Εδαφικές συνθήκες, που αναφέρονται στα γενικά χαρακτηριστικά των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών.
- Γεωμορφολογικές διεργασίες, που αναφέρονται στις μεταβολές της γεωμορφολογίας του εδάφους.
- Φυσικές διεργασίες, που αναφέρονται στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο και μπορούν να εκτιμηθούν με την εγκατάσταση οργάνων, όπως πιεζόμετρα, σεισμογράφοι, βροχόμετρα, κ.τ.λ.
- Ανθρωπογενείς διεργασίες, που αφορούν την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στην ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 12: Κατολίσθηση στο Ν. Χανίων (περιοχή Πλάτανος Κισσάμου).

Πίνακας 8: Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων (UNESCO, 1994). Πηγή: (Μπλιωνά, 2008)

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ			ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		
		1	Πλαστικό, χαμηλής αντοχής, υλικό		
		2	Ευαίσθητο υλικό		
		3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση		
		4	Αποσαθρωμένο υλικό		
		5	Διατμημένο υλικό		
		6	Ρωγματομένο ή διακλασμένο υλικό		
		7	Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)		
		8	Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)		
		9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα		
		10	Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία		
	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΝΑΥΣΜΑΤΟΣ			ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
			11	Τεκτονική ανύψωση	
			12	Ανύψωση λόγω ηφαιστείων	
			13	Επίδραση παγετώνων	
			14	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρानούς	
			15	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρानούς	
			16	Διάβρωση της βάσης του πρानούς από παγετόνα	
			17	Διάβρωση των πλευρών του πρानούς	
			18	Εσωτερική διάβρωση	
			19	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέγη του πρानούς	
			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 πρानούς	
			32	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέγη του πρानούς	
			33	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες	
			34	Άρδευση	
			35	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων	
			36	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)	
		37	Αποψίλωση		
	38	Λατομεία και μεταλλεία			
	39	Δημιουργία χωματερών			
	40	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, κ.τ.λ.)			

3.7. Κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο

Πίνακας 9: Κατανομή της συχνότητας των κατολισθήσεων με βάση τις παραμέτρους που αφορούν τον μηχανισμό εκδήλωσης του φαινομένου στον Ελλαδικό χώρο (Μπαντής, 2001).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ (%)
<ul style="list-style-type: none"> • ΑΙΤΙΑ • ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ 	1.Σεισμικές δονήσεις	20,4
	2.Δονήσεις απο εκρήξεις	1,34
	3.Εξώθηση υποκείμενου πλαστικού υλικού	0,53
	4.Διάβρωση απο υδρορεύματα	66,21
	5.Διάβρωση από κύματα	17,02
	6.Διάλυση και αποκόμιση υλικών	61,55
	7.Δημιουργία νέων πρानών απο προηγουμενες μετακινήσεις	1,23
	8.Υποσκαφή στο πόδι του πρानούς	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 απο σκουπιδότοπο	0,54
	15.Βάρος κτιρίων	26,34
	16.Επιφόρτιση απο απώλειες νερού αγωγών,δεξαμενών,κλπ	18,27
	17.Καλλιέργεια και αρδευση πρानούς	15,68
	18.Παρουσία νερού σε ρωγμές και κοιλότητες	44,17
	19.Πάγωμα νερού σε ρωγμές	43,10
	20.Διόγκωση αργίλων ή ανυδρίτη	56,45
	21.Κινητοποίηση της παραμένουσας τάσης	30,28
	22.Αποσύνδεση αργίλων και κοκκώδων πετρωμάτων	59,22
	23.Ενυδάτωση αργιλικών ορυκτών	55,01
	24.Ξήρανση σχιστόλιθων	2,68
	25.Αποσάρθρωση	72,49
	26.Λιθολογική σύσταση	91,48
	27.Υφή των υλικών	92,83
	28.Ασυνέχειες	34,85
	29.Ρηγματα	10,93
	30.Επίπεδα στρώσης	7,16

31.Φυλλώδης διάταξη των ορυκτων 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 πρηνους 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 αιτια	0,67

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

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

3.8 Μέτρα αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων

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. (Λέκκας, 2000).Πιο συγκεκριμένα απαιτείται:

- Πλήρης γνώση της γεωλογικής δομής και εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής στην οποία εκδηλώθηκε το φαινόμενο.
- Πλήρης γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών και συγκεκριμένα της υδρολιθολογίας και της διακίνησης του υπόγειου νερού.
- Ακριβής γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων.
- Ακριβή προσδιορισμό των επιφανειών ολίσθησης.



Εικόνα 13: Εκτόξευση σκυροδέματος σε πρανές στο οδικό δίκτυο Κανδάνου – Παλαιόχωρας.

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
- Τοίχοι συγκράτησης
- Τάφροι παγίδευσης, τοίχοι, φράκτες παγίδευσης
- Σκέπαστρα
- Τεχνικές σήραγγες
- Μετάθεση τεχνικού έργου

4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ArcGis – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ Γ.Σ.Π.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό ArcGIS της εταιρίας ESRI, καθώς και τα πρώτα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη του Γ.Σ.Π., όπως η ψηφιοποίηση και ο μετασχηματισμός των θεματικών επιπέδων.

4.1.- Παρουσίαση του Γ.Σ.Π.

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 εταιρίας ESRI Inc. Το ArcGIS, παρέχει ένα πλαίσιο για την ενασχόληση με τα ΓΣΠ, 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 μικρότερων εφαρμογών, προκειμένου να οικοδομηθεί ένα πλήρες λογισμικό πακέτο ΓΣΠ. Αποτελείται από πολλά πλαίσια εφαρμογής:

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

Οι προϋποθέσεις εγκατάστασης του ArcGIS 9 είναι οι εξής:

- Προδιαγραφές συστήματος: Ταχύτητα CPU 800 MHz η ελάχιστη, αλλά η προτεινόμενη είναι για 1.0 GHz ή παραπάνω
- Κάποια χαρακτηριστικά του ArcGIS Server 9.0 απαιτούν την εγκατάσταση Microsoft Internet Explorer έκδοση 6.0.

(<http://support.esri.com>)

4.1.1. Το ArcGIS Desktop

Το ArcGIS Desktop το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα 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 καλύπτει τις ανάγκες πολλών διαφορετικών χρηστών. Οι εκδόσεις αυτές είναι:

- **ArcView:** επικεντρώνει τη λειτουργία του στην αναλυτική χρήση των δεδομένων, στην χαρτογράφηση και στην ανάλυση τους.
- **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 πλήθος εργαλείων χωρικής επεξεργασίας με λειτουργικότητα του συστήματος.

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

- ArcMap
- ArcCatalog
- ArcToolbox
- ModelBuilder

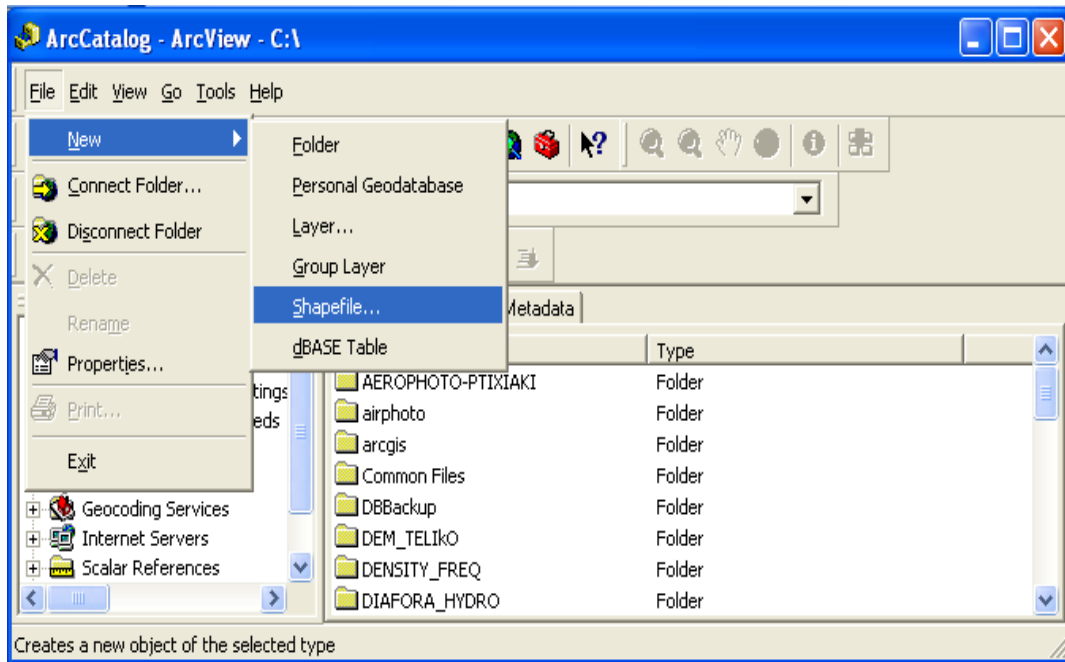
Κάθε έκδοση του ArcGIS Desktop εκτός από τα βασικά περιβάλλοντα εργασίας περιλαμβάνει και προαιρετικές επεκτάσεις (extensions) με τις οποίες εμπλουτίζονται οι δυνατότητες του λογισμικού. Ορισμένες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προεκτάσεις είναι:

- Spatial Analyst
- 3D Analyst
- Geostatistical Analysis
- Survey Analyst
- ArcPress κλπ.

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

4.1.2. Υποπεριβάλλον εργασίας Arc catalog:

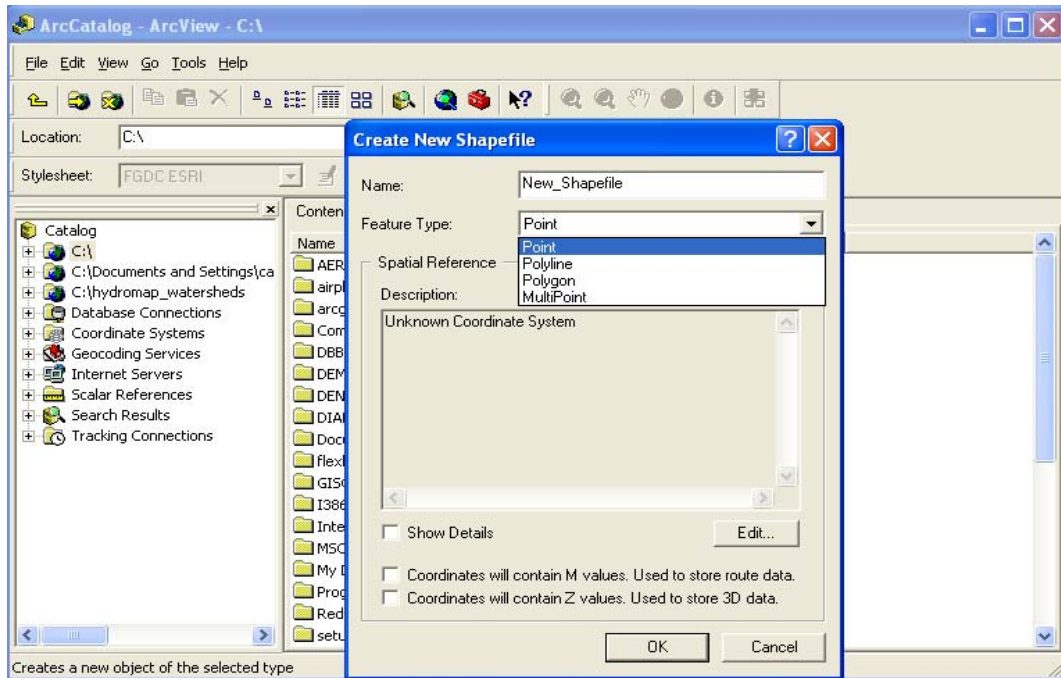
Το περιβάλλον εργασίας του ArcCatalog οργανώνει και διαχειρίζεται όλα τα GIS αρχεία (χάρτες, δεδομένα, μοντέλα, μεταδεδομένα) και είναι ανάλογο του Windows Explorer.



Εικόνα 14: Το περιβάλλον εργασίας του ArcCatalog.

Το ArcCatalog καθιστά την πρόσβαση και την διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων απλή (Εικ.14). 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.

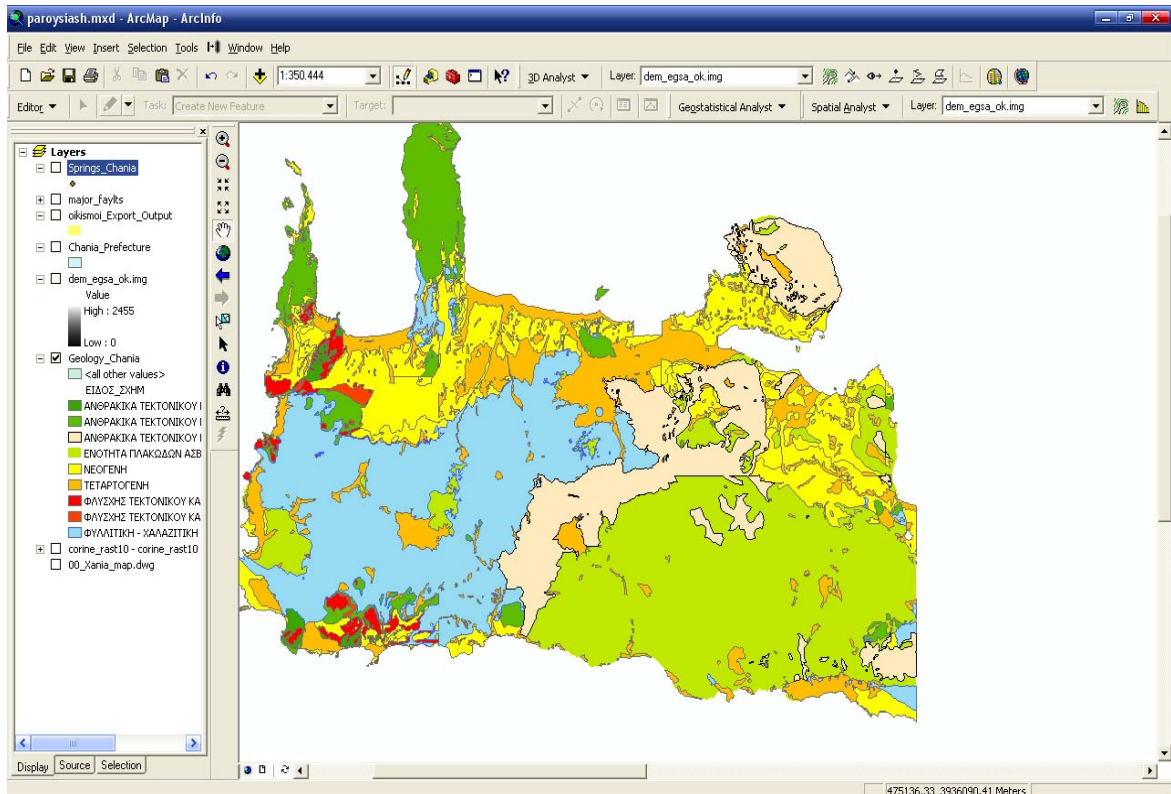
Πιο συγκεκριμένα εδώ δημιουργούνται τα προς επεξεργασία αρχεία και ορίζονται οι αρχικές τους ιδιότητες βάση των πραγματικών τους χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα εάν δημιουργηθεί ένα αρχείο για να αποθηκευτεί η ψηφιοποίηση των ισούψων καμπυλών θα επιλεγεί η μορφή polyline. Εάν επιλέξουμε να ψηφιοποιήσουμε την θέση των μετεωρολογικών σταθμών ή των πηγών πάνω σε έναν χάρτη θα επιλεγεί η μορφή point, ενώ αν θέλουμε να ψηφιοποιήσουμε οικισμούς θα επιλέξουμε την μορφή polygon (Εικ.15).



Εικόνα 15: Δημιουργία νέου σημειακού επιπέδου πληροφορίας (layer).

4.1.3 Υποπεριβάλλον εργασίας Arc map

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 απλά παραδείγματα για την κατανόηση των ελαχίστων δυνατοτήτων που προσφέρει αυτό το περιβάλλον εργασίας:



Εικόνα 16: Το περιβάλλον εργασίας του ArcMap.

Το γραφικό περιβάλλον εργασίας του ArcMap χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο αριστερό τμήμα της οθόνης βρίσκεται ο πίνακας των περιεχομένων, όπου εμφανίζονται τα επίπεδα πληροφορίας που εισάχθησαν προς επεξεργασία. Ο πίνακας περιεχομένων εμφανίζεται από το μενού Window>Table of Contents. Στο δεξί και κεντρικό τμήμα εμφανίζονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα μας. Όπως φαίνεται στη Εικόνα 16, έχοντας επιλέξει την απεικόνιση του επιπέδου των γεωλογικών ενοτήτων έχουμε τον αντίστοιχο χάρτη στο κέντρο της οθόνης. Στις μπάρες με τις συντομεύσεις των εργαλείων απεικονίζονται κάποιες επεκτάσεις που αποτελούν τους κύριους λίθους αυτού του προγράμματος, καθώς με τη βοήθεια της εργαλειοθήκης "editor" πραγματοποιείται η ψηφιοποίηση, δηλαδή η μετατροπή των raster δεδομένων σε vector. Με την επέκταση 'spatial analyst' πραγματοποιείται η χωρική ανάλυση των δεδομένων με εργασίες όπως η μελέτη των θέσεων και των μορφών των γεωγραφικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και οι σχέσεις μεταξύ τους. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα της δημιουργίας μοντέλων, της εξέτασης τους και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων τους.

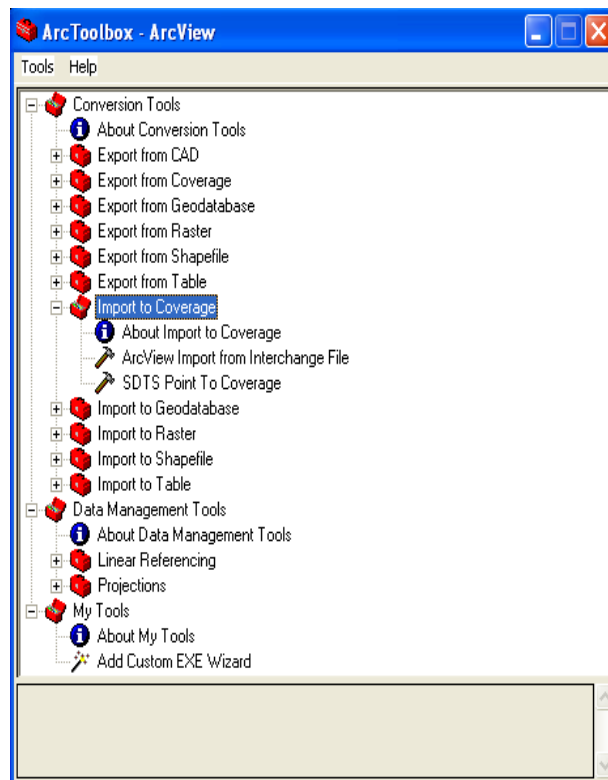
Η χωρική ανάλυση είναι χρήσιμη για την εκτίμηση της καταλληλότητας και την ικανότητας, για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη, καθώς και για την ερμηνεία και την κατανόηση.

Αντίστοιχα, με την επέκταση 3D analyst και την καρτέλα επιλογών Surface analysis επεξεργαζόμαστε κυρίως τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Τα εργαλεία αυτά θα αναλυθούν παρακάτω αναλυτικά με τα θεματικά επίπεδα που θα εξάγουμε από το ΨΜΕ του νομού Χανίων. Διακρίνουμε επίσης την συντόμευση του geostatistical analyst, από όπου θα χρησιμοποιήσουμε τον geostatistical wizard για το θεματικό επίπεδο των βροχοπτώσεων.

4.1.4.Υποπεριβάλλον εργασίας Arctoolbox

Το περιβάλλον εργασίας ArcToolbox περιέχει μια μεγάλη συλλογή γεωεπεξεργασιών, οι οποίες περιέχουν πολλές υποεπιλογές :

- Διαχείριση των δεδομένων
- Μετατροπή των δεδομένων
- Coverage processing (επεξεργασία αρχείων Coverage)
- Διανυσματική Ανάλυση
- Γεωκωδικοποίηση
- Στατιστική Ανάλυση(επεξεργασία δεδομένων)
- Εργαλεία Χωρικής Ανάλυσης



Εικόνα 17: Το περιβάλλον των εργαλείων του ArcToolbox.

Κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα των δυνατοτήτων των εργαλείων είναι ο ορισμός προβολικών συστημάτων, ανάλυση χωρικών και περιγραφικών δεδομένων αποκοπής (clip), ενοποίησης (union), δημιουργίας ζωνών χωρικών χαρακτηριστικών (buffers) (Ζήσου, 2007). 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 (Εικ. 17).

4.2. Ανάπτυξη του Γ.Σ.Π.

Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία ήταν τα εξής:

- Χάρτης κάλυψης γης, (Corine Land Cover map 2000, CLC2000 100m, version1) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environmental Agency). Αυτός ο χάρτης έχει ανάλυση 100 μέτρα και 3 επίπεδα πληροφορίας στον πίνακά του, με 3 κατηγορίες για τις χρήσεις και καλύψεις γης στο πρώτο επίπεδο, 11 κατηγορίες στο δεύτερο και 26 κατηγορίες στο τρίτο, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε.
- Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ –DEM -Digital Elevation Model), με μέγεθος εικονοστοιχείου 20 μέτρα. Από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου προέκυψαν οι χάρτες κλίσεων και προσανατολισμού των πρανών της περιοχής, ο χάρτης με το σχετικό υψόμετρο καθώς και το υδρογραφικό δίκτυο.
- Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50000- από όπου πάρθηκαν στοιχεία για τις γεωλογικές ενότητες και προέκυψαν οι αποστάσεις από τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών.
- Μετεωρολογικά δεδομένα, για τα κατακρημνίσματα από 40 μετεωρολογικούς σταθμούς από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) και το τμήμα Υδρολογίας και Υδατικών Πόρων Κρήτης.
- Γεωαναφερμένες αεροφωτογραφίες του Ν. Χανίων, μαζί με τον κάρναβό (grid) του.
- Ψηφιοποιημένοι οικισμοί του Ν. Χανίων.
- Ακτογραμμή του Ν. Χανίων.

Πιο κάτω περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας των θεματικών επιπέδων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της κατολισθητικής επικινδυνότητας του νομού Χανίων.

4.2.1. Προεπεξεργασία ψηφιδωτών δεδομένων – Γεωαναφορά

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 ίδιου χώρου. Θα πρέπει πριν χρησιμοποιηθούν, να *γεωαναφερθούν* σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Θα πρέπει δηλαδή, στον σαρωμένο χάρτη να εισάγετε τις 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 αντιστοίχισης 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 επίγειου ελέγχου (ground control points). Τα σημεία επίγειου 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 επίγειου ελέγχου στην εικόνα είναι υψηλής σημασίας για την ακρίβεια της γεωαναφοράς. Ο αριθμός των σημείων επίγειου ελέγχου που απαιτείται προκειμένου να είναι επιτυχής η γεωαναφορά, είναι τουλάχιστον τέσσερα όταν αυτά είναι καταναμημένα στις τέσσερις γωνίες του χάρτη. Μεγαλύτερος αριθμός σημείων επίγειου 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 επίγειου 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 επιλέχθησαν αλλά σε όλα τα εικονοστοιχεία της ψηφιδωτής εικόνας.

Ο μαθηματικός μετασχηματισμός που συνήθως χρησιμοποιείται αφού καλύπτει τις περισσότερες περιπτώσεις είναι ο **αφινικός μετασχηματισμός** (πρώτου βαθμού).

Περιλαμβάνει πρώτης τάξης πολυώνυμα και δίνει την δυνατότητα μετακίνησης, στρέψης και αλλαγής κλίμακας της εικόνα.

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 - αναδόμησης της εικόνας (Είναι η διαδικασία κατά την οποία δίνονται τιμές συντεταγμένων σε κάθε εικονοστοιχείο της ψηφιδωτής εικόνας.):

- Εγγύτερου Γείτονα
- Διγραμμική Παρεμβολή
- Κυβική Συνέλιξη

Nearest Neighbor (Μέθοδος του Εγγύτερου Γείτονα)

Αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο επαναδειγματοληψίας. Η τιμή κάθε εικονοστοιχείου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του πιο κοντινού εικονοστοιχείου. Είναι η ταχύτερη των μεθόδων, κατάλληλη για θεματικά δεδομένα.

Bilinear Interpolation (Μέθοδος Διγραμμικής Παρεμβολής)

Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη την τον μέσο όρο των τεσσάρων πιο κοντινών εικονοστοιχείων και αποτελεί το ισοδύναμο 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)

Μια εναλλακτική μέθοδος επαναδειγματοληψίας κατά την οποία η τιμή που θα δοθεί στο εικονοστοιχείο υπολογίζεται από τις 16 πιο κοντινές τιμές. Είναι και αυτή κατάλληλη για συνεχή δεδομένα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 (ΕΓΣΑ '87).

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά ελληνικού προβολικού συστήματος αναφοράς ΕΓΣΑ'87

Όνομα προβολικού συστήματος:	<i>Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 87</i>
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 Κο:	0.9996

Το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87 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 και του ΟΚΧΕ. Θεωρείται μια ενιαία ζώνη για όλη την χώρα με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=24^0$ 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 ($\varphi = 0^0$). Το σύστημα χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς έχει υιοθετηθεί από τον ΟΚΧΕ. Γενικά, τείνει να γίνει το επίσημο προβολικό σύστημα για την Ελλάδα καθώς προσφέρει ενιαία αναφορά για το σύνολο της χώρας. Έχει ήδη υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμούς καθώς και ιδιωτικές εταιρείες.

4.2.2. Ψηφιοποίηση και μετασχηματισμός θεματικών επιπέδων

4.2.2.1 Ψηφιοποίηση οδικού δικτύου

Κατά την διαδικασία ψηφιοποίησης του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν σαν υπόβαθρο δεδομένων γεωαναφερόμενες αεροφωτογραφίες του νομού Χανίων. Επιλέχθηκαν τα σημαντικότερα κομμάτια του οδικού άξονα, δηλαδή αυτά με την μεγαλύτερη χρήση τόσο από τους μόνιμους κατοίκους, όσο και αυτά που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη τουριστική κίνηση. Συγκεκριμένα ψηφιοποιήθηκε ο βόρειος οδικός άξονας του νομού (Καστέλλι - Χανιά - Γεωργιούπολη), οι συνδέσεις αυτού με τις νότιες παράκτιες περιοχές Χανιά – Χώρα Σφακείων, Χανιά - Σούγια, Καστέλι - Ελαφονήσι, Καστέλι – Παλαιόχωρα, καθώς και οι συνδέσεις αυτών με την ορεινή ενδοχώρα (Χανιά – Θέρισσος, Παλαιόχωρα – Σούγια, Χανιά – Φουρνές – Λάκκοι - Ομαλός κ.α.). Η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε μέσω της εργαλειοθήκης editor του ArcMap. Έπειτα

προστέθηκε στο οδικό δίκτυο μία ζώνη επιρροής 50 μέτρων εκατέρωθεν των δύο πλευρών του (με το εργαλείο buffer wizard).

Επίσης ψηφιοποιήθηκαν κάποιοι χωματόδρομοι (όπως το τμήμα Ροδοπού – Μένιες στο ακρωτήριο Ροδοπού) και τμήματα του ευρωπαϊκού μονοπατιού E4 (φαράγγι Σαμαριάς, Αγ.Ρουμέλη – Λουτρό, Παλαιόχωρα - Σούγια).

4.2.2.2. Γεωλογικές ενότητες

Τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι στενά συνδεδεμένα με την λιθολογική σύσταση και αποσάρθρωση των υλικών (Kouli et al, 2010). Σε αντίστοιχες μελέτες προσδιορισμού δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, ελληνικές (Kouli et al, 2010) και διεθνής (Pandley et al, 2007) (Saha, 2002) θεωρείται ένας εκ των δύο σημαντικότερων παραγόντων αύξησης της. Όπως παρατηρήσαμε και στον πίνακα 3 στον ελλαδικό χώρο η μεγαλύτερη συχνότητα κατολισθήσεων πραγματοποιείται σε περιοχές με φλύσχη, νεογενή και τεταρτογενής αποθέσεις (Κούκης et al. 1994, 2005), ενώ στον πίνακα 3. παρατηρούμε πως σαν μηχανισμός εκδήλωσης του φαινομένου η λιθολογική σύσταση σχετίζεται με ποσοστό 91,48 % (Μπαντής, 2001).

Ο χάρτης γεωλογικών ενότητων της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στη εικόνα 4. Επίσης υπολογίστηκε η έκτασή τους και το ποσοστό κάλυψής τους, όπως παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.

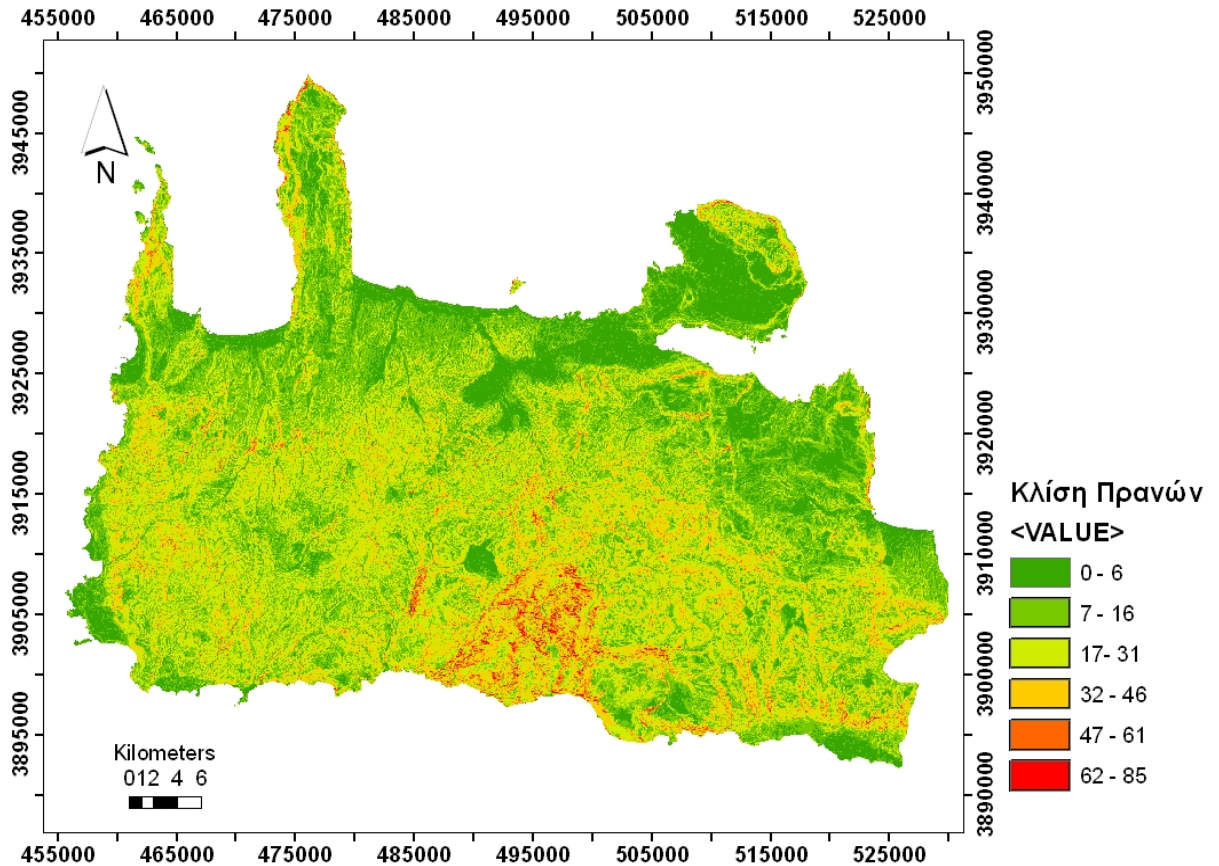
Όσων αφορά την προεπεξεργασία του θεματικού επιπέδου επειδή επρόκειτο για διανυσματικό (vector) αρχείο μετατράπηκε σε ψηφιδωτό μέσω της εργαλειοθήκης «spatial analyst», από όπου επιλέχθηκε: convert > features to raster.

4.2.2.3. Κλίση πρανών

Σαν κλίση μιάς επιφάνειας ορίζεται ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής της μεταβλητής Z (υψόμετρο) στην έκταση της επιφάνειας αυτής, μετριέται δε σε μοίρες ή σε ποσοστό επί τοις εκατό, π.χ. σε 45° κλίση το ποσοστό είναι 100%.

Η κλίση των πρανών είναι σημαντική παράμετρος στην εξέταση της σταθερότητάς τους (Saha et al, 2002). Εξάχθηκε από το ΨΜΕ, από την εργαλειοθήκη 3D Analyst και επιλέγοντας Surface Analysis > Slope, ορίζοντας μέγεθος εικονοστοιχείου όσο αυτό του ΨΜΕ, δηλαδή 20 μέτρα. Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) 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. Τα αποτελέσματα επαναταξινομήθηκαν σε έξι κλάσεις γωνιών κλίσεων πρανών (επίπεδη , ομαλή, μέτρια, μετρίως απότομη, απότομη, πολύ απότομη) (πίνακας 5). Παρατηρούμε (εικ. 18) ότι οι τιμές του παραγόμενου χάρτη κυμαίνονται από τις 0° έως τις 85°, ενώ πολλές περιοχές έχουν απότομη κλίση (>47°) κυρίως στην περιοχή των Λευκών Ορέων με τα φαράγγια που περικλείει, περιοχές στην επαρχία Σφακίων στα Νοτιοανατολικά αλλά και σημεία στα τρία ακρωτήρια του νομού

Χανίων. Επίπεδες περιοχές παρατηρούνται κυρίως στα βόρεια του Νομού, ειδικά στην πεδιάδα της Κυδωνίας και το Ακρωτήρι, καθώς και στα δυτικά παράλια του.



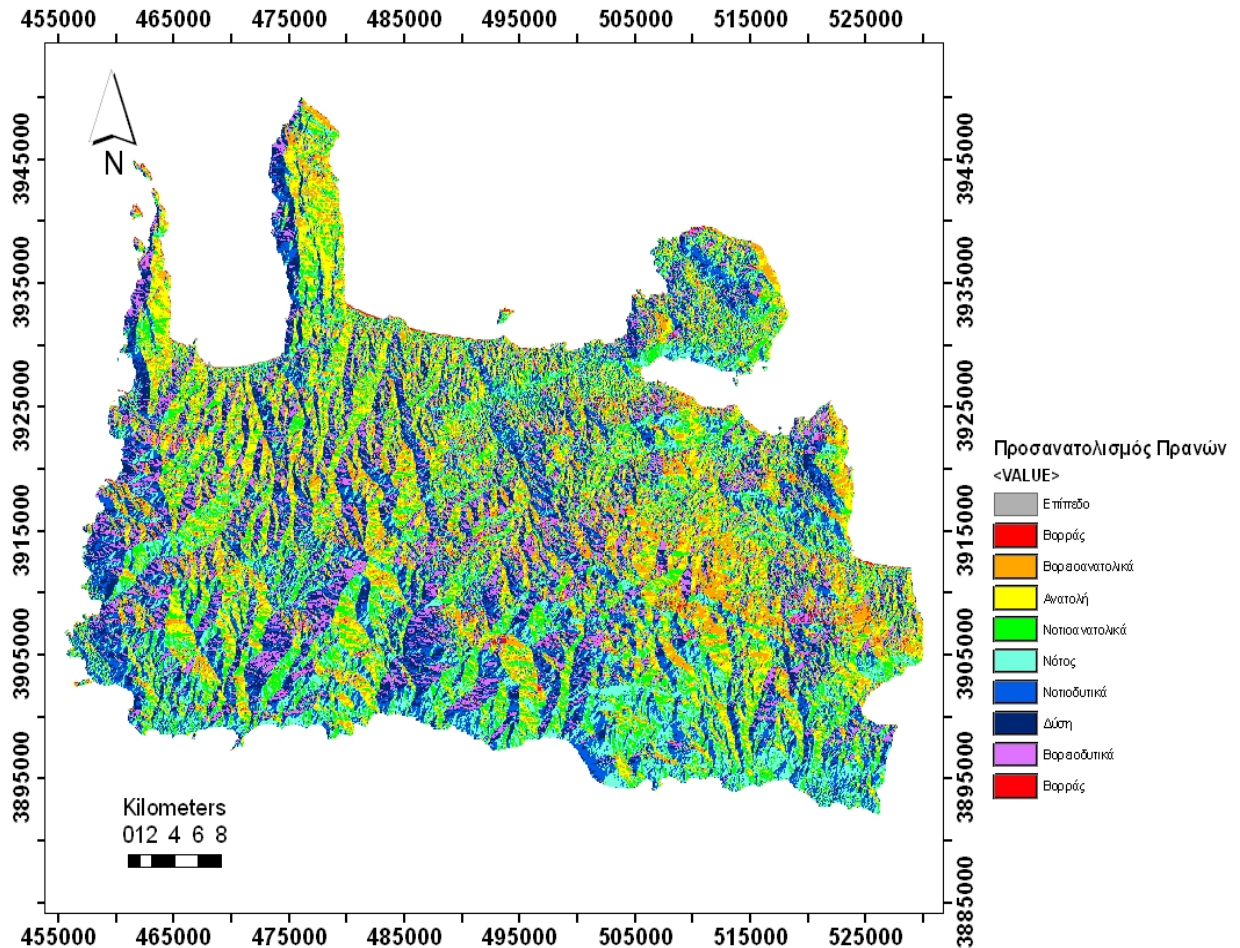
Εικόνα 18 : Χάρτης κλίσης πρανών Ν. Χανίων

4.2.2.4. Προσανατολισμός πρανών

Ο προσανατολισμός των πρανών, δηλαδή η κατεύθυνση του μέγιστου ρυθμού μεταβολής υψομέτρου, εκφράζεται σε μοίρες από τα βόρεια και με κατεύθυνση φοράς του ρολογιού, με τιμές από 0 έως 360.

Επηρεάζει έμμεσα την εκκίνηση κατολισθήσεων, επειδή ρυθμίζει την έκθεση στις καιρικές συνθήκες (διάρκεια έκθεσης στον ήλιο, ένταση κατακρημνισμάτων, διατήρηση υγρασίας κ.α.) και ως αποτέλεσμα αυτών και την κάλυψη βλάστησης (Kouli et al, 2010). Στην παρούσα εργασία ο χάρτης προσανατολισμού των πρανών προέκυψε από το ΨΜΕ, με τα εργαλεία: 3D Analyst > Spatial Analyst > Aspect. Κατόπιν ταξινομήθηκε σε 9 κλάσεις, επίπεδο (-1 - 0), Βορράς (0 - 22,5 και 337,5 - 360), Βορειοανατολικά (22,5 - 67,5), Ανατολή (67,5 - 112,5), Νοτιοανατολικά (112,5 - 157,5), Νότος (157,5 - 202,5),

Νοτιοδυτικά (202,5 - 247,5), Δύση (247,5 – 292,5) και Βορειοδυτικά.(292,5 – 337,5) (εικ.19).

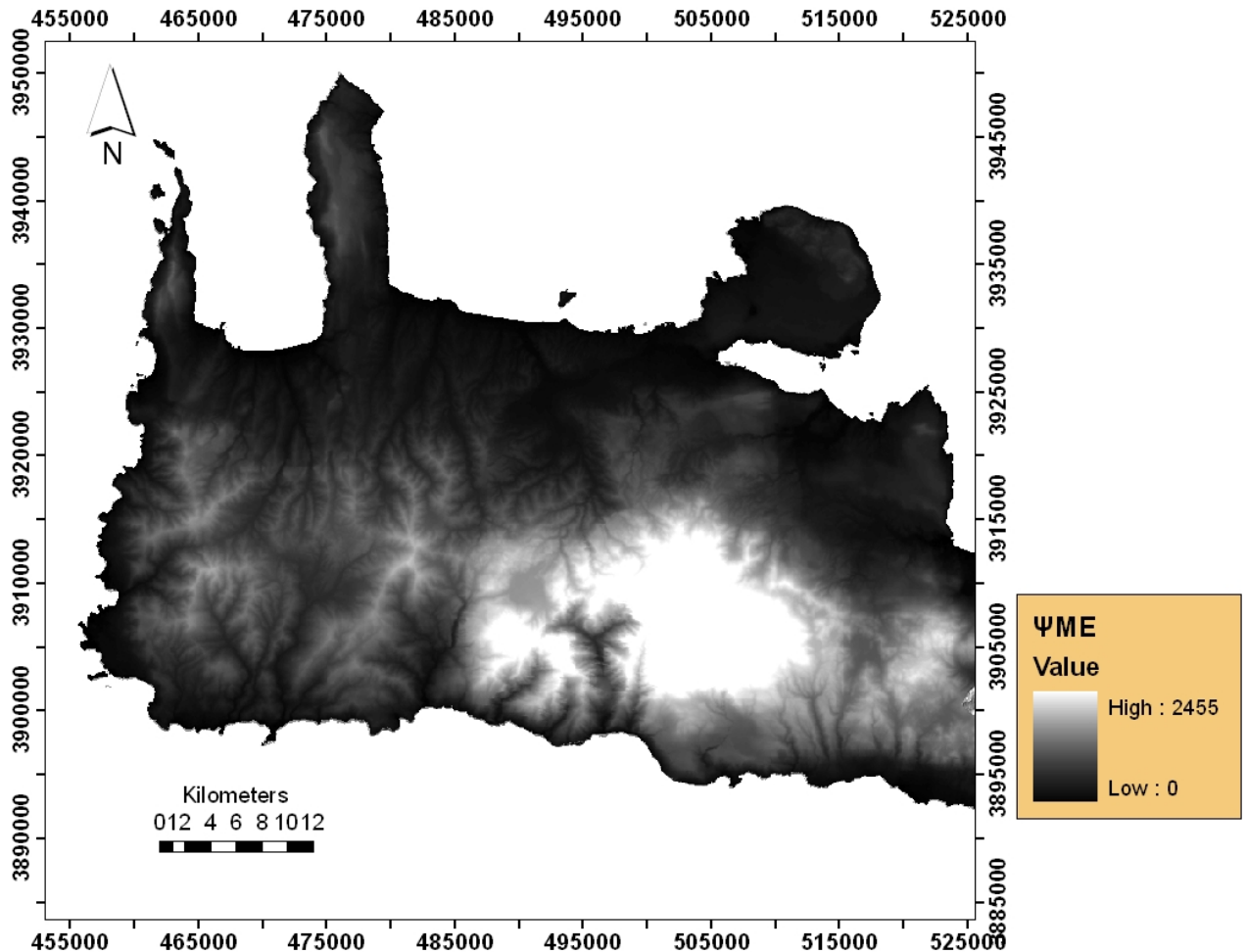


Εικόνα 19 : Χάρτης προσανατολισμού πρηνών Ν. Χανίων.

4.2.2.5. Σχετικό υψόμετρο

Το σχετικό υψόμετρο είναι η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της χαμηλότερης υψομετρικής διαφοράς στην υπό εξέταση περιοχή. Αυτή η παράμετρος επηρεάζει την πρόκληση κατολισθήσεων, καθώς η περιοχή του νομού Χανίων με το μεγαλύτερο υψόμετρο, δηλαδή η οροσειρά των Λευκών Ορέων αποτελείται από την ενότητα πλακωδών ασβεστόλιθων, δηλαδή τα πιο συνεκτικά πετρώματα της περιοχής μελέτης, εκτεθειμένα όμως σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Στις περιοχές με μικρότερο υψόμετρο απαντώνται τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις, δηλαδή προϊόντα διάβρωσης (Kouli et al, 2010). Παρακάτω

παρουσιάζεται ο χάρτης του ΨΜΕ (εικ.20) για τον Ν. Χανίων από τον οποίον δημιουργήθηκε με ταξινόμηση το θεματικό επίπεδο του σχετικού υψομέτρου.



Εικόνα 20 : Χάρτης ΨΜΕ Ν. Χανίων

Τα δεδομένα εξήχθησαν απευθείας από το ΨΜΕ πραγματοποιώντας ταξινόμηση σε δέκα τάξεις με ισοδιάσταση 245 μέτρων, ώστε να καλυφθεί η περιοχή μελέτης από τα 0 έως τα 2450 μέτρα (κορυφή Πάχνες Λευκών Ορέων, ψηλότερο σημείο του νομού Χανίων). Αυτό πραγματοποιήθηκε με τις εντολές `layer properties > symbology > classify`, επιλογή μεθόδου ταξινόμησης: ίσες αποστάσεις (`classification: equal intervals`), κλάσεις 10. Δημιουργώντας ένα νέο πεδίο στον πίνακα ιδιοτήτων του νέου θεματικού επιπέδου αντιστοιχήθηκαν σε αυτές τις κλάσεις τιμές από 1 έως 10 (πίνακας 13).

4.2.2.6. Υπολογισμός δικτύου επιφανειακών απορροών

Η διάβρωση από ποταμούς και επιφανειακές απορροές είναι εκ των σημαντικότερων παραγόντων που δρουν ως έναυσμα μετακίνησης (*triggering factors*), ειδικά σε περιοχές

με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με βαθιές κοιλάδες. Η απόσταση από επιφανειακές απορροές, είναι άρα ένας σημαντικός παράγοντας για τον χαρακτηρισμό ευπαθών περιοχών (Kouli et al, 2010).

Το υδρογραφικό δίκτυο προέκυψε από το ΨΜΑ, μέσω της εργαλειοθήκης Hydrology του Spatial Analyst. Αρχικά η λειτουργία Fill Sinks «γεμίζει» τα τοπογραφικά βυθίσματα («pits» και «sinks») στο ψηφιδωτό αρχείο του διορθωμένου από την προηγούμενη επεξεργασία DEM. Εάν κάποιο κελί περιβάλλεται από κελιά υψηλότερου υψομέτρου, το νερό παγιδεύεται σε αυτό το κελί και δεν μπορεί να ρεύσει. Η λειτουργία Fill Sinks τροποποιεί την τιμή του υψομέτρου προκειμένου να μειώσει αυτά τα προβλήματα.

Μετά την πλήρωση των βυθισμάτων υπολογίστηκε η διεύθυνση της ροής από το διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο. Η εντολή είναι: Hydrology > Flow Direction. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με την εφαρμογή αλγόριθμου εύρεσης της μέγιστης κλίσης του ανάγλυφου, για κάθε δομικό στοιχείο του μοντέλου, σύμφωνα με τον τύπο:

Μέγιστη κλίση = μείωση υψομέτρου/απόσταση

Όπου τίθεται απόσταση = 1 για γειτονικά στοιχεία και απόσταση = $\sqrt{2}$ για διαγώνια. Έτσι για κάθε pixel του μοντέλου, υπολογίζεται μια μέγιστη τιμή μείωσης του ανάγλυφου. Αυτή η μέγιστη τιμή κωδικοποιείται σε 8 διαφορετικές τιμές που αντιστοιχούν στις 8 κατευθύνσεις B, A, Δ, N, BA, NA, ΒΔ, ΝΔ.

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός συσσώρευσης ροής (Hydrology > Flow Accumulation). Η λειτουργία υπολογίζει το πλέγμα συσσώρευσης ροής που περιέχει τον συσσωρευμένο αριθμό των κελιών που κινούνται αντίθετα στο ρεύμα του κελιού, για κάθε κελί στο πλέγμα εισαγωγής. Στο τέλος της διεργασίας έχουμε έναν χάρτη όπου κάθε σημείο του είναι ένα διανυσματικό πεδίο με εύρος τιμών τις οχτώ γεωγραφικές διευθύνσεις που ορίζονται σε μια πλεγματική αναπαράσταση. Η προσομείωση ροής υπάγεται σε δύο βασικές αρχές:

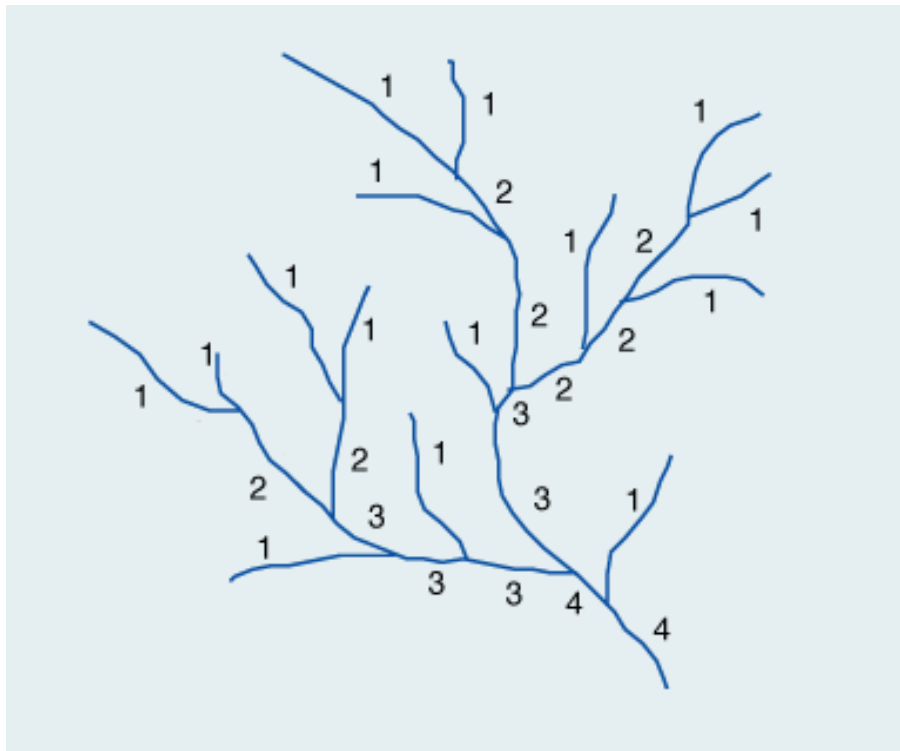
- 1) Σε κάθε σημείο του χάρτη εισέρχεται μια και μόνο σταγόνα νερό
- 2) Η πορεία κάθε σταγόνας γίνεται σύμφωνα με το διάνυσμα της κλίσης.

Στην πραγματικότητα η απορροή συνεχίζεται υπόγεια (εξολοκλήρου ή εν μέρη). Στο περιβάλλον του H/Y δημιουργείται πρόβλημα. Η αντιμετώπισή του γίνεται με μεταβολή των υψομέτρων σε ένα παραλληλόγραμμο που εγγράφει την παγίδα ροής, έτσι ώστε από φυσικής πλευράς να γίνει υπερχειλίση της παγίδας. Δηλαδή δημιουργείται ένα μονοπάτι διαφυγής των σταγόνων που οδηγεί στο σημείο υπερχειλίσης (Μηλιαρέσης, 2006).

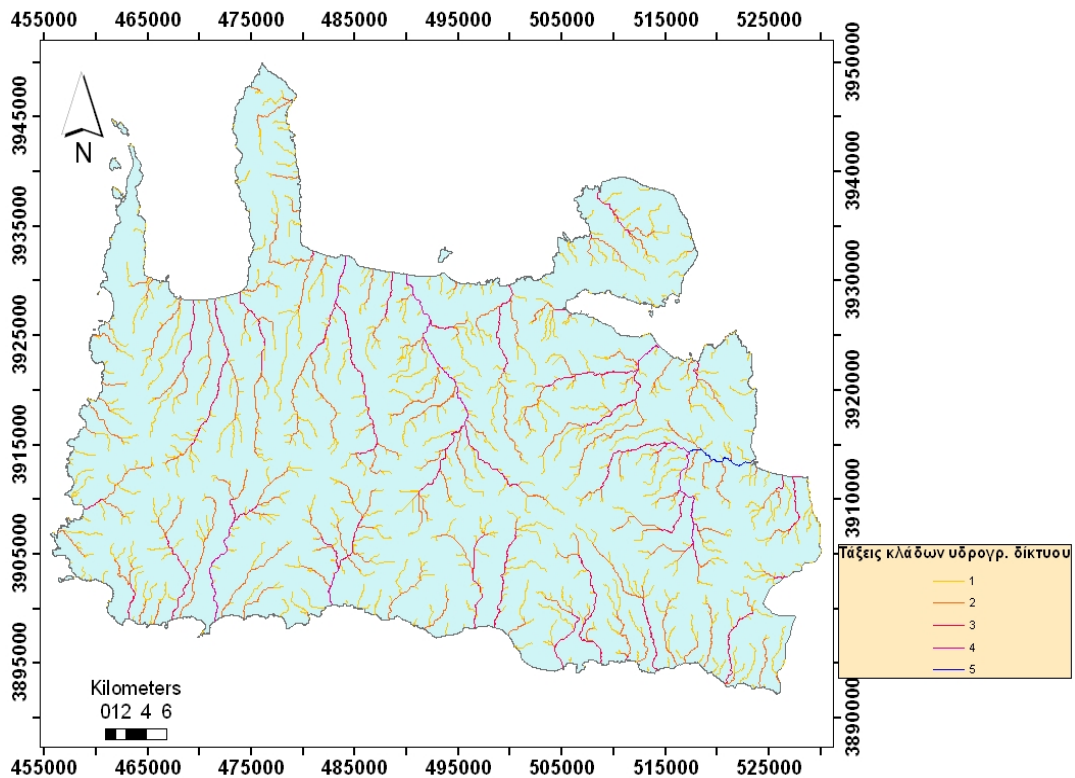
Επόμενο βήμα στον εντοπισμό του υδρογραφικού δικτύου ήταν ο ορισμός των ρεμάτων (stream definition). Η λειτουργία αυτή υπολογίζει ένα πλέγμα ρεμάτων που περιέχει την τιμή «1» για όλα τα κελιά στο εισαγόμενο πλέγμα συσσώρευσης ροής που έχουν τιμή μεγαλύτερη από το δεδομένο κατώφλι. Όλα τα άλλα κελιά στο Stream Grid δεν περιέχουν καθόλου τιμές. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τα εξής εργαλεία: Spatial Analyst > Math > Logical > Greater Than (όπου δηλώθηκε πως θα θεωρηθεί ως απορροή κάθε κλάδος με πάνω από 2000 σταγόνες).

Έπειτα, για να δηλωθεί η μέθοδος ταξινόμησης των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου επιλέξαμε: Hydrology > Stream Order, και μέθοδο ταξινόμησης κατά Strahler.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, τα ράμματα που δεν παρουσιάζουν διακλαδώσεις ορίζονται ως πρώτης τάξης, κατόπιν δύο πρώτης τάξης κλάδοι όταν ενώνονται δημιουργούν έναν δεύτερης τάξης κλάδο, κ.ο.κ. Γενικά, όταν ενώνονται δύο κλάδοι της ίδιας τάξης, σχηματίζουν έναν κλάδο του οποίου η τάξη αυξάνεται κατά ένα (Strahler, 1957).



Εικόνα 21: Παράδειγμα αρίθμησης υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.



Εικόνα 22: Χάρτης των ταξινομημένων κατά Strahler κλάδων του υδρογραφικού δικτύου.

4.2.2.7 Απόσταση από το δίκτυο επιφανειακών απορροών

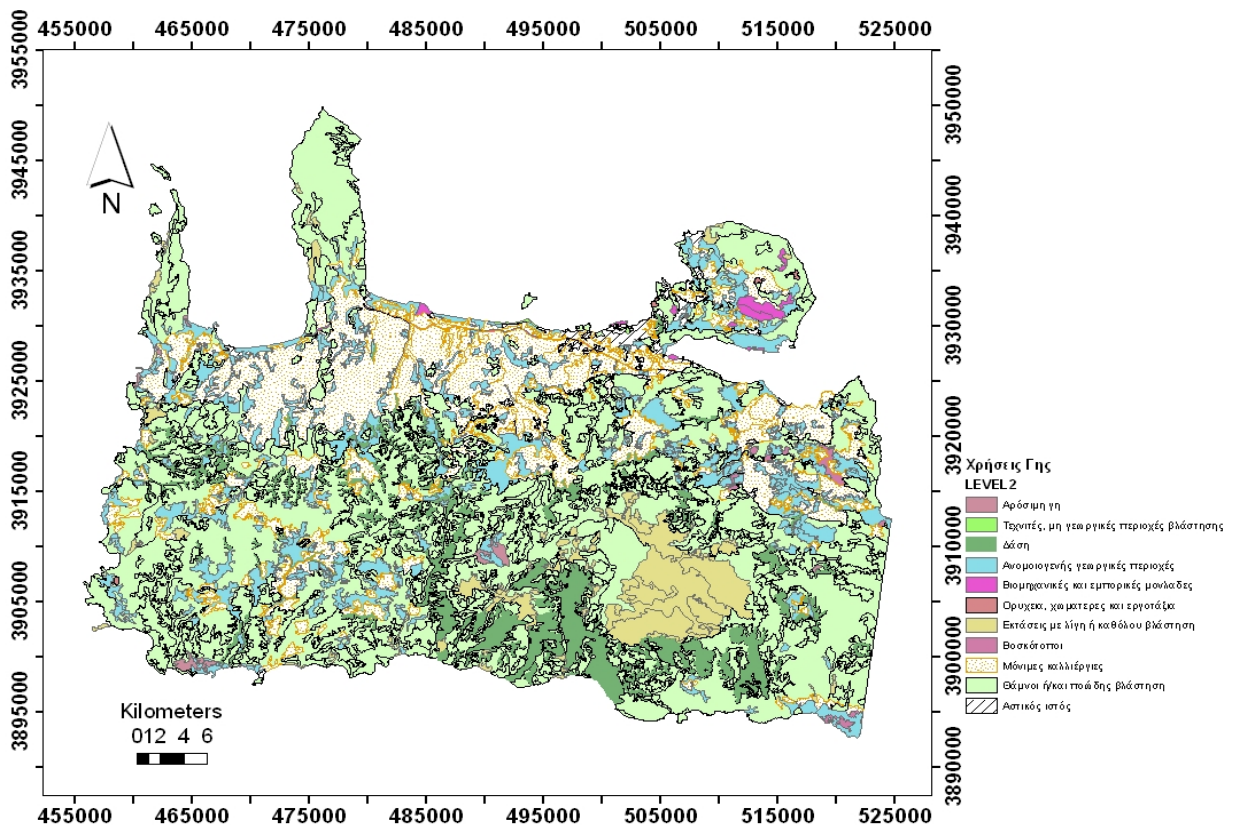
Αφού πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός δικτύου επιφανειακών απορροών έπρεπε να οριστούν κατόπιν οι τάξεις των αποστάσεων από αυτό. Από τον χάρτη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (εικόνα 22) επιλέχθηκαν οι κλάδοι δευτέρας τάξης και άνω για την δημιουργία του χάρτη απόστασης. Ορίστηκαν (με την εργαλειοθήκη distance) ίσες αποστάσεις 100 μέτρων για δέκα τάξεις γύρω από τους κλάδους. Έτσι, τελικά κάθε κλάδος επιφανειακών απορροών είχε ζώνες επιρροής από 0 μέχρι 1000 μέτρα, ενώ για απόσταση άνω των 1000 μέτρων θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει επιρροή των κλάδων στα κατολισθητικά φαινόμενα.

4.2.2.8. Χρήσεις Γής

Οι χρήσεις – καλύψεις γης σχετίζονται επίσης με τους παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων. Για παράδειγμα σε περιοχές με δενδρώδη βλάστηση που διαθέτει εκτενή και δυνατά ριζικά συστήματα, παρέχονται μηχανικοί και υδρολογικοί μηχανισμοί που γενικά σταθεροποιούν τα πρανή. Αντιθέτως, κατολισθήσεις συμβαίνουν σε περιοχές χωρίς βλάστηση ή καλλιεργούμενες αρδευόμενες περιοχές εξαιτίας της έλλειψης των παραπάνω μηχανισμών (Kouli et al, 2010). Σε αυτό τον παράγοντα μπορούν να περιβληθούν και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως η κατασκευή οδικού δικτύου και κτιρίων καθώς και οι διαρροές υδάτων από αγωγούς, οι οποίες θα μπορούσαν να δράσουν ως παράγοντες εναύσματος κατολισθητικών φαινομένων. (Kawabata D., Bandibas J., 2009)

Χρησιμοποιήθηκαν οι χρήσεις-καλύψεις γης του level 3 του Corine Land Cover map 2000, (CLC2000 26 τάξεις με 100m, version1) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού περιβάλλοντος (European Environmental Agency). Επίσης προστέθηκε στο αρχείο αυτό και ψηφιοποιημένο το οδικό δίκτυο του Ν. Χανίων (όπως παρουσιάστηκε παραπάνω). Αυτές οι χρήσεις γης βαθμονομήθηκαν και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Παρακάτω (εικ.23) παρουσιάζεται ο χάρτης χρήσεων γης του Ν. Χανίων με 11 τάξεις από το level 2 του Corine Land Cover map 2000.

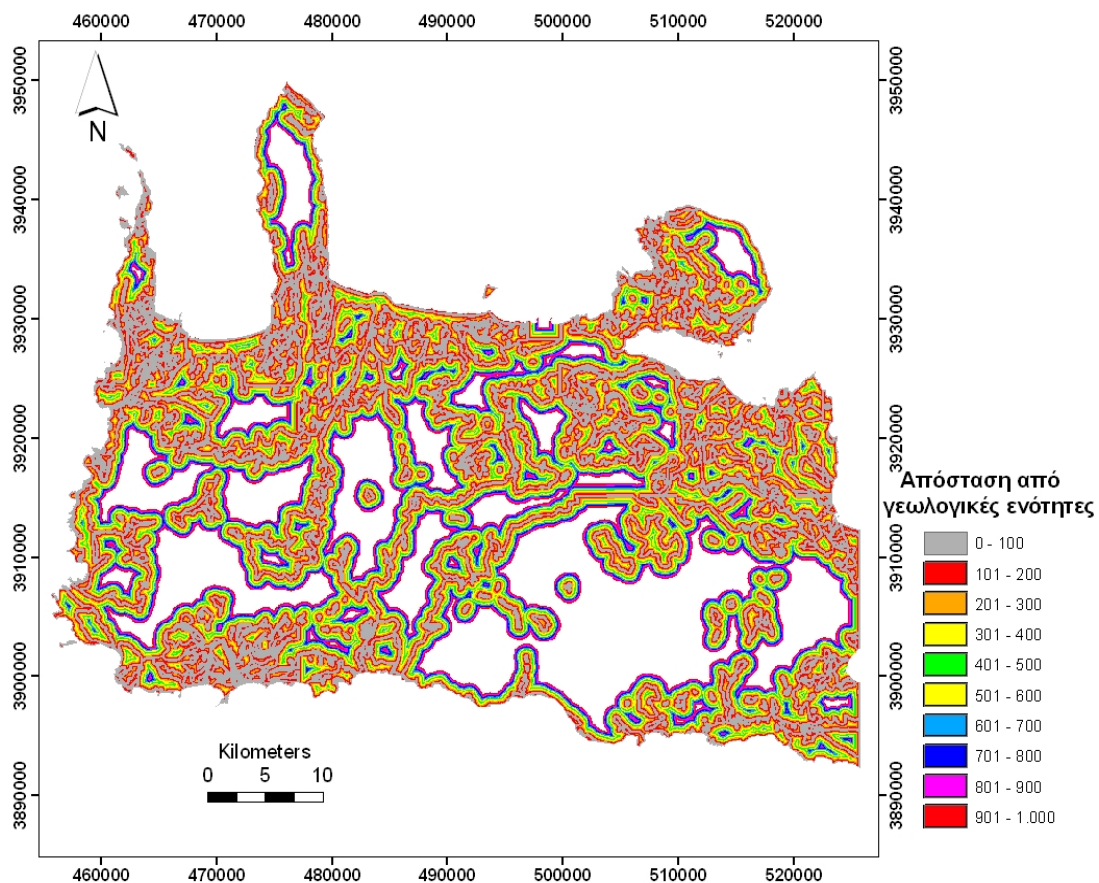


Εικόνα 23 . Χάρτης χρήσεων γης του Ν. Χανίων.

4.2.2.9. Απόσταση από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων

Η απόσταση από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων χρησιμοποιείται σε μελέτες κατολισθητικής επικινδυνότητας ως παράγοντας που συμβάλλει στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Kawabata D., Bandibas J., 2009).

Αρχικά για να μετατραπούν τα πολύγωνα του επιπέδου των γεωλογικών ενοτήτων σε γραμμικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία: Data Management Tools > Features > Polygon to Line. Στη συνέχεια για την μέτρηση ευθείας απόστασης μεταξύ των ορίων των γεωλογικών ενοτήτων χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδειος απόσταση (Euclidean distance). Για την αρχική απεικόνιση (εικ. 24) των αποστάσεων από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων ορίστηκαν αρχικά 10 κλάσεις με ίση απόσταση 100 μέτρα η καθεμιά, συνολικά από τα 0 έως 1000 μέτρα, καθώς άνω των 1000 μέτρων θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει επιρροή στην αύξηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 24. Χάρτης απόστασης από τα όρια γεωλογικών σχηματισμών Ν. Χανίων.

4.2.2.10. Βροχοπτώσεις

Η έντονη βροχόπτωση χαρακτηρίζεται ως η φυσική διαδικασία που δρα ως ο κυριότερος παράγοντας σαν έναυσμα κατολισθητικών φαινομένων (Kouli et al, 2010). Επίσης στον πίνακα 3.2 παρατηρούμε ότι σαν μηχανισμός εκδήλωσης του φαινομένου οι βροχοπτώσεις σχετίζονται με ποσοστό 92,83 % (Μπαντής, 2001). Ο μηχανισμός δράσης του νερού στα πρανή έχει δύο επιδράσεις. Πρώτον, πληρώνει τα πορώδη των πρανών και μειώνει την συνεκτικότητά τους, και δεύτερον προσθέτει βάρος στην συνολική τους μάζα, αυξάνοντας έτσι την δύναμη της βαρύτητας που τα ωθεί προς την βάση του πρανού. (Hamblin and Christiansen, 2004).

Για την δημιουργία ενός ψηφιδωτού χάρτη βροχοπτώσεων για τον Ν. Χανίων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τις μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις από 40 μετεωρολογικούς σταθμούς από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) και το τμήμα Υδρολογίας και Υδατικών Πόρων Κρήτης.

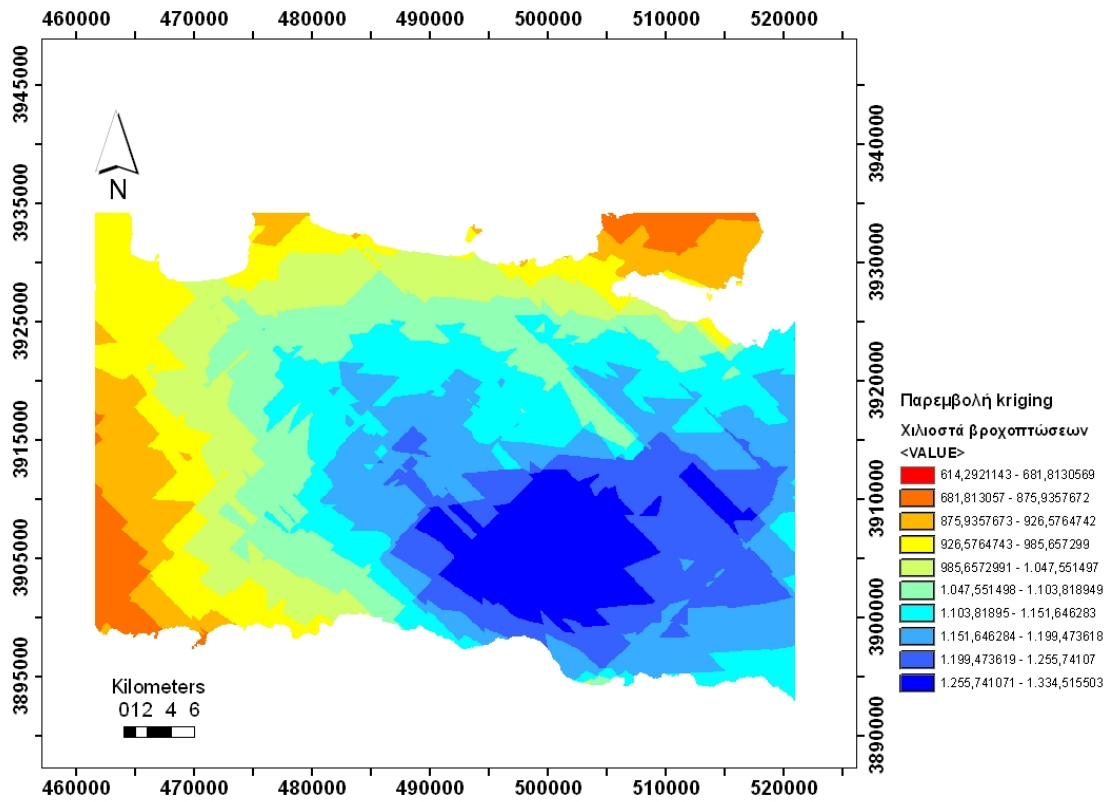
Τα δεδομένα, αναλόγως με τον κάθε σταθμό, καλύπτουν χρονική περίοδο από 2 έως και 52 έτη. Παρά το πλήθος των σταθμών δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα για το δυτικό άκρο του Ν. Χανίων, καθώς και για τα τρία ακρωτήρια στα βόρεια του (Ακρωτήρι, Ρωδοπού, Γραμβούσα) ώστε να περιβληθούν στον παραγόμενο χάρτη. Αποτέλεσμα αυτού οι περιοχές αυτές να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στον τελικό υπολογισμό της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Για το μοντέλο του χάρτη βροχοπτώσεων (εικ.25) επιλέχθηκε η μέθοδος παρεμβολής «Kriging» χρησιμοποιώντας τα εξής εργαλεία του ArcMap: Geostatistical wizard με εισαγόμενα δεδομένα τους μετεωρολογικούς σταθμούς για το πεδίο των ετήσιων βροχοπτώσεων. Μετά από δοκιμές όλων των μεθόδων κατανομής καταλήξαμε στην Γκαουσιανή (Gaussian) καθώς έδωσε τα μικρότερα σφάλματα πρόβλεψης συγκριτικά με τις άλλες:

Πίνακας 11 : Αποτέλεσμα παρεμβολής με την μέθοδο kriging

Μέσο (Mean)	27,6
Μέσης τετραγωνικής ρίζας (Root-Mean-Square)	404,7
Μέσο τυπικό σφάλμα (Average Standard Error)	411,5
Μέσο τυποποιημένο (Mean Standardized)	0,04648
Τυποποιημένη μέση τετραγωνικής ρίζα (Root-Mean-Square Standardized)	0,9778

Γενικά η παρεμβολή «kriging» χρησιμοποιεί στατιστικά μοντέλα που επιτρέπουν ποικιλία εξαγόμενων χαρτών όπως, πρόγνωσης, πιθανοτήτων και πρόγνωσης τυπικού σφάλματος.



Εικόνα 25 . Χάρτης βροχοπτώσεων Ν. Χανίων.

Πίνακας 12: Δεδομένα ύψους βροχόπτωσης από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Ν. Χανίων.

ΣΤΑΘΜΟΙ	Γεωγραφικό μήκος, Ανατολή	Γεωγραφικό πλάτος, Βορράς	Υψόμετρο (m)	Διάρκεια καταγραφής (έτη)	Δίκτυο	Ετήσια Βροχόπτωση (mm)	mean R-factor
Στροβλές	470182	3913677	480	2	DHWR-CR	1387,80	2115,160
Ασκήφου	516465,65	3905923,29	740	46	DHWR-CR	2111,79	3861,32
Λίμνη Κουρνά	524791	3909942	160	2	DHWR-CR	1352,80	2390,350
Βάμος	517954,87	3918865,16	2	42	DHWR-CR	1016,94	916,720
Χανιά	502820,04	3928089,54	62	52	DHWR-CR	660,91	492,600
Καλύβες	514922,29	3922556,43	24	33	DHWR-CR	707,25	665,400
Μουρί	510690,04	3899677,78	24	43	DHWR-CR	1115,08	1251,280
Παλαιά Ρούματα	480121,54	3917019,91	316	46	DHWR-CR	1323,44	1828,060
Παλαιόχωρα	470981,57	3898560,27	48	26	DHWR-CR	619,23	543,300
Πρασσές	485373,58	3914557,69	520	16	DHWR-CR	1826,56	3154,030
Σούδα	510371,53	3933640,69	152	42	DHWR-CR	649,95	521,930
Κάντανος	476225	3909024	435	3	DHWR-CR	1442,20	2328,090
Γαύδος	506273	3856016	10	17	DHWR-CR	302,98	228,320
Μεσκλά	495828	3917564	260	4	DHWR-CR	1342,30	2166,860
Ταυρωνίτης	483599,79	3931737,57	15	35	ΕΘΙΑΓΕ	674,89	614,540
ΧανιάΑγροκήπιο	504069,39	3927521,88	8	35	ΕΘΙΑΓΕ	704,15	647,090
Δραπανιάς	472990,90	3927381,61	29	19	ΕΘΙΑΓΕ	747,68	720,700
Αλικιανός	491672,03	3923277,05	72	19	ΕΘΙΑΓΕ	850,62	839,200
Κάνδανος	476234,23	3908988,73	158	19	ΕΘΙΑΓΕ	961,16	1174,870
Κουντούρα	467145,75	3899182,45	59	9	ΕΘΙΑΓΕ	480,60	383,100
Φραγγοκάστελο	520980,75	3892981,03	40	5	ΕΘΙΑΓΕ	650,60	655,630
Φαλάσερνα	461634,71	3925886,21	20	12	ΕΘΙΑΓΕ	602,15	579,580
Ζυμβραγού	477729,91	3921328,00	235	19	ΕΘΙΑΓΕ	1077,07	1239,560
Αρμένιοι	514221,50	3920407,00	50	12	ΕΘΙΑΓΕ	880,46	848,260
Πατσιανός	521045,19	3895375,00	88	5	ΕΘΙΑΓΕ	837,34	1157,870
Ανώπολις	506878,00	3897748,00	600	12	ΙΓΜΕ	887,69	1006,040
Ασκήφου	516943,00	3905950,00	700	21	ΙΓΜΕ	2112,73	3724,78000
Αλικάμπτος	519154,00	3911481,00	330	12	ΙΓΜΕ	1162,08	1662,850
Ροδωπού	477398,00	3934154,00	230	9	ΙΓΜΕ	887,22	1031,610
Επανοχώρι	484531,00	3908658,00	600	11	ΙΓΜΕ	1156,09	1484,660
Ρόγδια	467152,00	3915404,00	580	8	ΙΓΜΕ	1073,88	1459,410
Φλώρια	475561,00	3914830,00	600	8	ΙΓΜΕ	1362,38	2398,140
Ομαλός	491146,00	3910915,00	1050	7	ΙΓΜΕ	1672,17	2697,100
Συρικάρι	466975,00	3919688,00	450	8	ΙΓΜΕ	1322,00	1977,470
Κουστογέρακο	485010,00	3903952,00	530	12	ΙΓΜΕ	969,23	1349,870
Χασι(Βούτας)	467500,00	3904906,00	370	14	ΙΓΜΕ	747,60	863,730
Πρασσές	486150,00	3914812,00	520	12	ΙΓΜΕ	1662,15	2977,210
Θέρισσος	498286,00	3917629,00	580	21	ΙΓΜΕ	1335,27	1749,280
Μελιδόνι	510334,00	3915922,00	400	21	ΙΓΜΕ	1337,41	1803,370
Κάμποι	506136,00	3919063,00	560	12	ΙΓΜΕ	1329,08	1992,840

5.-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε και δίδονται πίνακες με τις βαθμονομήσεις των θεματικών επιπέδων.

5.1.Περιγραφή μεθόδου

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 και οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι η ντετερμινιστική και η στατιστική. Αντιθέτως, οι ποιοτικές μέθοδοι βασίζονται στις γνώμες ειδικών. Οι βασικοί τύποι ποιοτικών μεθόδων χρησιμοποιούν ποιοτικά στοιχεία 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 βαθμονόμησης οι οποίες είναι γνωστές ως ημιποσοτικές μέθοδοι. Τέτοιου τύπου μεθοδολογίες είναι η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (A.H.P.-Analytic Hierarchy Process) και η μέθοδος των βαθμονομήσεων γραμμικού συνδυασμού (W.L.C.-Weighted Linear Combination). Η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας περιλαμβάνει την δημιουργία ιεράρχησης των αποφασιστικών στοιχείων (ή παραγόντων) και την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ζευγαριών στοιχείων με σκοπό τον ορισμό βαθμού και λόγου συνοχής για κάθε στοιχείο. (Kouli et al, 2010).

Για την δημιουργία των χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας του Ν. Χανίων εφαρμόστηκε η μέθοδος των βαθμονομήσεων γραμμικού συνδυασμού (weighted linear combination - WLC). Πρόκειται για μια ημιποσοτική μέθοδο ανάλυσης επικινδυνότητας και βασίζεται στην σχετική σπουδαιότητα των παραγόντων που προκαλούν το φαινόμενο βασισμένη σε παρατηρήσεις πεδίου (Saha et al, 2002). Σε αυτή την βαθμονόμηση, με διακύμανση από 0 έως 10, θα πάρουν τις μεγαλύτερες τιμές τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε παράγοντες που προκαλούν αυξημένη κατολισθητική επικινδυνότητα και μικρότερες τιμές αυτά των παραγόντων που αντίστοιχα προκαλούν μικρότερη κατολισθητική επικινδυνότητα. Αυτή η βαθμονόμηση έγινε τόσο για τα δεδομένα (οντότητες) που περιείχε το κάθε θεματικό επίπεδο ξεχωριστά (βαθμός, rate), όσο και για τα θεματικά επίπεδα μεταξύ τους (βαρύτητα παραγόντων, W1), έτσι ώστε τα πιο σημαντικά να έχουν πάντα υψηλότερες τιμές. Οι τιμές αυτές εισήχθησαν στους πίνακες ιδιοτήτων των θεματικών επιπέδων (attribute table), ορίζοντάς τους ένα νέο πεδίο (class1).

Οι τιμές αυτές δόθηκαν μετά από κάποιες δοκιμές και διορθώσεις και σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία επί της μεθόδου υπολογισμού (Προσδιορισμός Κατολισθητική Επικινδυνότητας με χρήση Γ.Σ.Π. στην κοιλάδα Μπαγκιράθι Ιμαλαίων, Saha et al, 2002) (Προσδιορισμός Κατολισθητική Επικινδυνότητας με χρήση Γ.Σ.Π και Τηλεπισκόπησης

στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ντιγκρονγκ, Ινδία, Pandley A. et al, 2007). Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε ωστόσο σε αντίστοιχη μελέτη για περιοχές του Ν. Ρεθύμνου (Προσδιορισμός Κατολισθητική Επικινδυνότητας για περιοχές υψηλού κινδύνου στον Νομό Ρεθύμνου, Kouli et al, 2010), αφού πρόκειται για τον γειτονικό Νομό των Χανίων στη νήσο Κρήτη και σαφώς ταυτίζονται πολλοί από τους γεωμορφολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός έπρεπε πρώτα όλα τα θεματικά επίπεδα να είναι σε ψηφιδωτή μορφή (raster) με μέγεθος εικονοστοιχείου 20 m και να επαναταξινομηθούν σε κλίμακα 0 - 10. Τα ψηφιδωτά μοντέλα απεικονίζουν σε μέγεθος εικονοστοιχείου τα στοιχεία των χαρτών, προσφέροντας δυνατότητες ανάλυσης για συνεχή δεδομένα και επιτρέπουν την γρηγορότερη επεξεργασία επικάλυψης επιπέδων των χαρτών (Kouli et al, 2010).

Η μαθηματική έκφραση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

LHI = Σ Βαρύτητα Παραγόντων * Βαθμός (πίνακας ιδιοτήτων) (Kouli et al, 2010) (Pandley A. et al, 2007) (Saha et al, 2002)

Αναλυτικά :

LHI = 10 * Γεωλογικές ενότητες + 9 * Απόσταση από όρια γεωλογικών ενοτήτων + 9 * Κλίσεις πρανών + 8* Βροχοπτώσεις + 8 *Απόσταση από επιφανειακές απορροές + 8 * Χρήσεις γης + 6 * Προσανατολισμός πρανών + 6 * Σχετικό υψόμετρο

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ταξινομήθηκαν με ίσες αποστάσεις (equal interval) σε τέσσερις ζώνες επικινδυνότητας, «χαμηλή», «μέση», «υψηλή» και «πολύ υψηλή». Επίσης, παράχθηκαν επιπλέον χάρτες άνευ συνυπολογισμού χρήσεων Γης, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ τους

Οι δύο χάρτες ορίστηκαν ως εξής:

LHI 1= Χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας άνευ συνυπολογισμού χρήσεων Γής

LHI 2= Χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας με συνυπολογισμού χρήσεων Γής

5.2. Πίνακες βαθμονομήσεων θεματικών επιπέδων

Πίνακας 13: Πίνακες βαθμονομησης θεματικών επιπέδων.

Θεματικά επίπεδα	Κλάσεις	W1	Βαθμός
1.Γεωλογικές ενότητες	Φλύσξης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πίνδου	10	10
	Φλύσξης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης		10
	Ενότητα πλακώδων ασβεστόλιθων		4
	Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης		4
	Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρυπαλίου		4
	Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πίνδου		4
	Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά		8
	Νεογενή		6
	Χαλαρές Τεταρτογενής αποθέσεις		9
2.Βροχοπτώσεις	1400-1200	8	10
	1200-1000		9
	1000-800		8
	800-614,292		7
3.Απόσταση από επιφανειακές απορροές	< 100 μ.	8	10
	101 – 200 μ.		9
	201 – 300 μ.		8
	301 – 400 μ.		7
	401 – 500 μ.		6
	501 – 600 μ.		5
	601 – 700 μ.		4

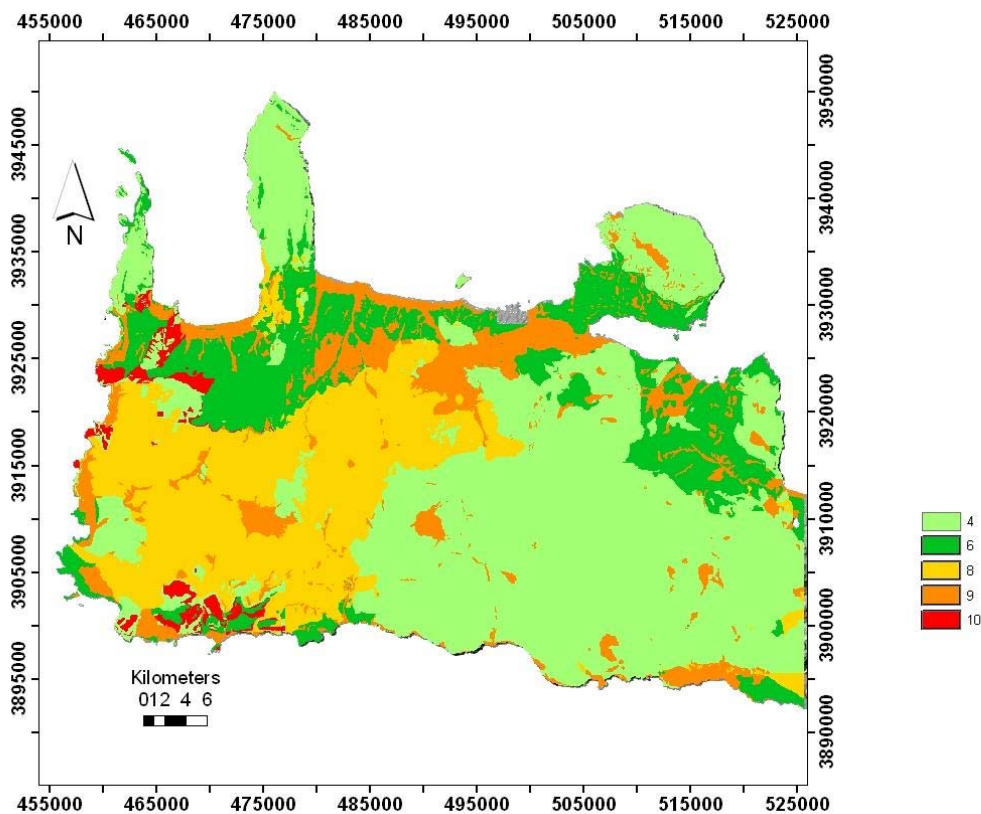
	701 – 800 μ.		3
	801 – 900 μ.		2
	901 – 1000 μ.		1
	1000 μ.>		0
4.Απόσταση από όρια γεωλογικών σχηματισμών	< 520 μ.	9	10
	521 – 1040 μ.		9
	1041 – 1560 μ.		8
	1561 – 2080 μ.		7
	2081 – 2600 μ.		6
	2601 – 3120 μ.		5
	3121 – 3640 μ.		4
	3641 – 4160 μ.		3
	4161 – 4680 μ.		2
	4681 – 5200 μ.		1
5.Προσανατολισμός πρανών	Δ, Β	6	9
	ΒΔ		10
	ΒΑ, ΝΔ		6
	Α, Ν		4
	ΝΑ		2
	Επίπεδο		0
6.Κλίση πρανών	62°- 85°	9	10
	47°- 61°		9
	32°- 46°		8
	17°- 31°		7
	7°- 16°		4
	0°- 6°		1
7.Σχετικό υψόμετρο	2450-2206 μ.	6	10
	2205-1961 μ.		9
	1960 -1716 μ.		8
	1715 -1471 μ.		7
	1470 -1226 μ.		6
	1225 -981 μ.		5
	980 -736 μ.		4
	735 -491 μ.		3
	490 -246 μ.		2
	245 -0 μ.		1

8.Χρήσεις Γης	8	
Αεροδρόμια		1
Αμπελώνες		3
Απογυμνωμένοι βράχοι		10
Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες		1
Γη που καλύπτεται κυρίως από την γεωργία με παρουσία φυσικής βλάστησης		8
Δάσος κωνοφόρων		1
Δάσος πλατύφυλλων		1
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση		5
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής		1
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση		10
Ελαιώνες		2
Ζώνες Λιμένων		1
Θάμνοι και Χερσότοποι		9
Λιβάδια		9
Μεταβατικές δασώσεις - θαμνώδεις εκτάσεις		1
Μη αρδεύσιμη καλλιεργούμενη γη		7
Μικτό δάσος		1
Οδικά δίκτυα και συναφείς χώροι		10
Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς		2
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές		1
Σκληροφυλλική βλάστηση		4
Συνεχείς αστική οικοδόμηση		0
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας		6
Φυσικοί βοσκότοποι		9
Χώροι εξορύξεως ορυκτών		9
Χώροι οικοδόμησης		1

6.-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χάρτες επικινδυνότητας και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον υπολογισμό που προηγήθηκε. Βάσει των τιμών του πίνακα 13 προέκυψαν οι πιο κάτω βαθμονομημένοι χάρτες:

6.1. Βαθμονομημένοι χάρτες



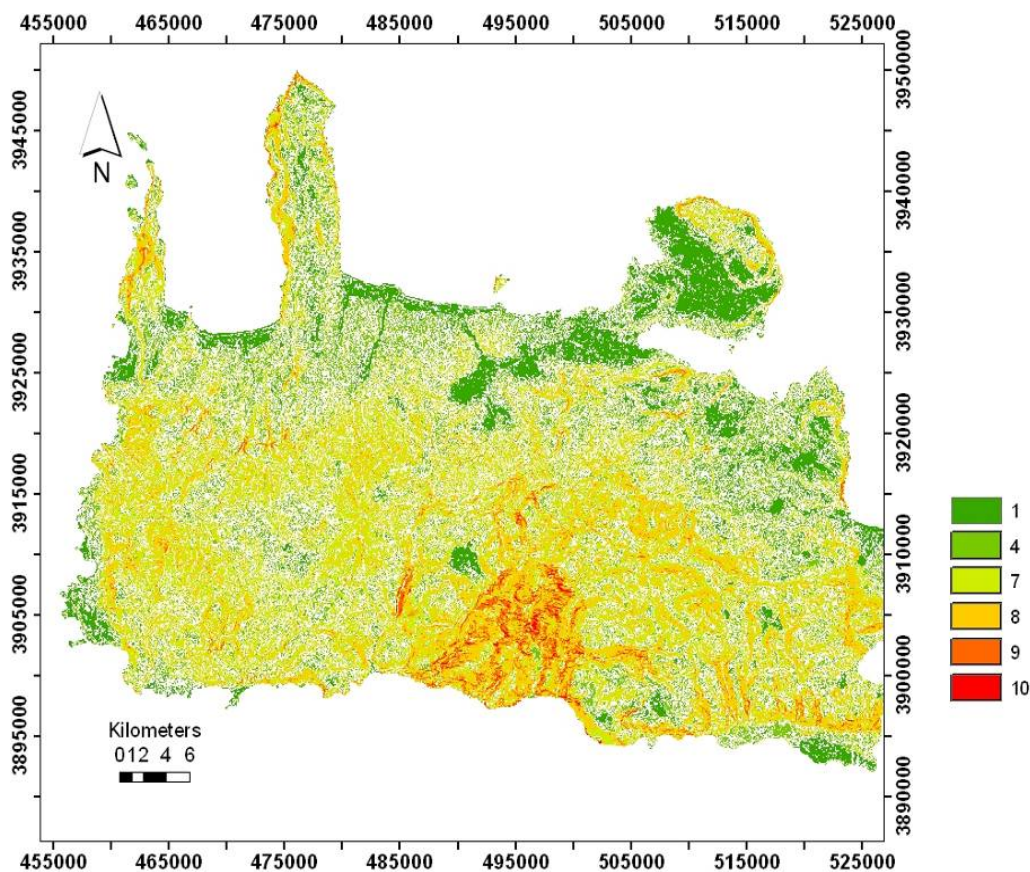
Εικόνα 26. Βαθμονομημένος χάρτης γεωλογικών ενότητων.

Οι εννέα γεωλογικές ενότητες της περιοχής μελέτης βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον πίνακα 13.

Βάση του χάρτη της εικόνας 26, παρατηρούμε πως στις περιοχές με το φλύσχη (Φλύσχη τεκτονικού καλύματος ζώνης Πίνδου και Φλύσχη τεκτονικού καλύματος ζώνης Τρίπολης) στα βορειοδυτικά και στα νοτιοδυτικά του Νομού, με ποσοστό κάλυψης του μόλις 1,725%, δόθηκε η μέγιστη τιμή 10. Δεύτερες σε βαθμό επικινδυνότητας θεωρήθηκαν οι περιοχές των Τεταρτογενών με 9 και ποσοστό κάλυψης 12,10%, οι οποίες απαντώνται κυρίως στις παράλιες περιοχές του Νομού, τον κάμπο της Κυδωνίας ενώ άλλα τμήματα ξεχωρίζουν στα ορεινά, στα οροπέδια Ομαλού και Ασκύφου καθώς και η περιοχή της Κανδάνου. Ακολουθεί η Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά όπου δόθηκε βαθμός 8 η οποία με ποσοστό κάλυψης 22,46% δεσπόζει επί των

δυτικών περιοχών του Νομού. Χαμηλότεροι βαθμοί δόθηκαν στα Νεογενή (6, με ποσοστό κάλυψη 16,8%), στην Ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων στην περιοχή των Λευκών Ορέων (4, με κάλυψη 27,15 %), Ανθρακικά Τεκτονικού Καλύμματος ζώνης Τρυπαλίου, Πίνδου και Τρίπολης (4, με καλύψεις 12,83% 6,34% και 0,56% αντίστοιχα).

Η βαρύτητα του παράγοντα ορίστηκε 10, που είναι η μεγαλύτερη που δόθηκε και αναμένετε να επηρεάσει σε ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό τους τελικούς χάρτες του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

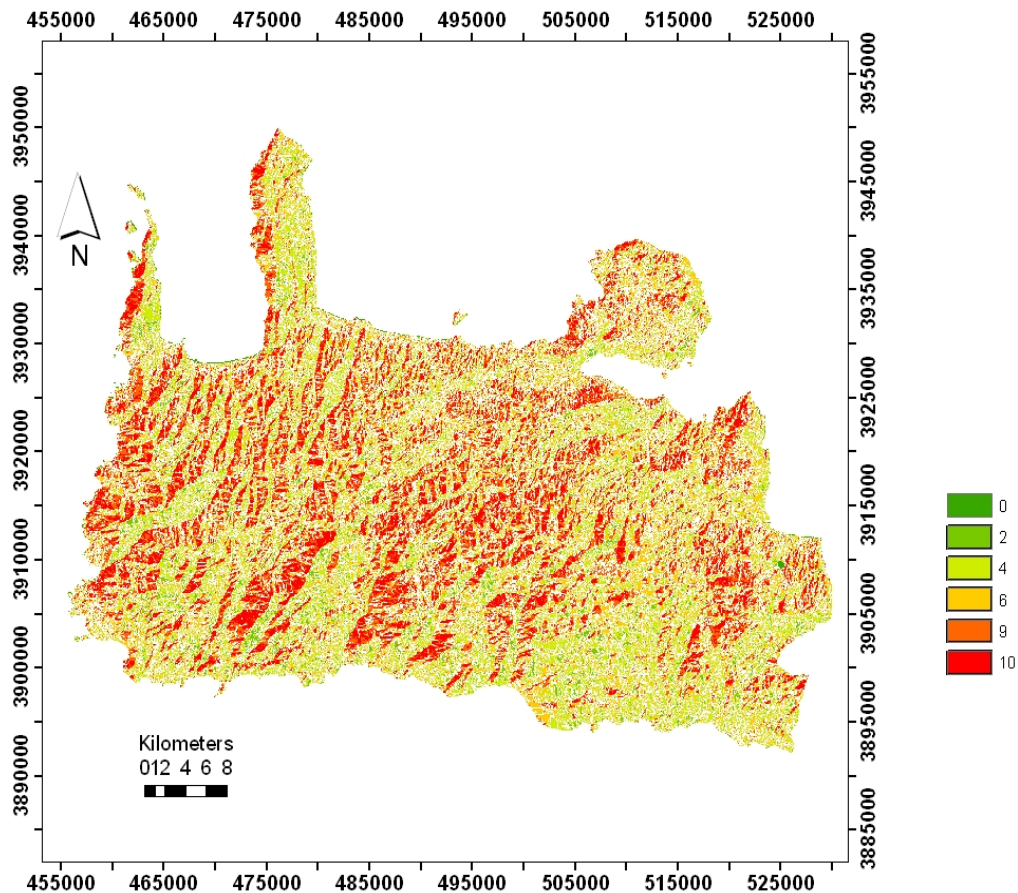


Εικόνα 27. Βαθμονομημένος χάρτης κλίσης πρανών.

Τα αποτελέσματα επαναταξινομήθηκαν σε έξι κλάσεις κλίσεων πρανών: «επίπεδη», «ομαλή», «μέτρια», «μετρίως απότομη», «απότομη», «πολύ απότομη». Κατόπιν βαθμονομήθηκαν αναλόγως την εκτιμώμενη επικινδυνότητά τους (πίνακας 13).

Όπως παρατηρούμε (εικ.27) οι περισσότερες περιοχές που έχουν τον χαρακτηρισμό «πολύ απότομη» βρίσκονται στο νοτιοδυτικό τμήμα των Λευκών Ορέων, όπου και βρίσκονται και τα μεγαλύτερα και πλέον απότομα φαράγγια, όπως της Σαμαριάς, του Κλάδου, της Τρυπητής, της Ελυγιάς και λίγο δυτικότερα της Αγ. Ειρήνης που αποτελεί το δυτικό όριο των Λευκών Ορέων. Το μεγαλύτερο μέρος του Νομού έχει χαρακτηρισμό κλίσης ως «μετρίως απότομη», ενώ επίπεδες περιοχές παρουσιάζονται στα παράλια του Νομού, τον κάμπο της Κυδωνίας και το Ακρωτήρι. Στον παράγοντα δόθηκε βαρύτητα με

τιμή 9, που είναι από τους μεγαλύτερους που ορίστηκαν, συνεπώς αναμένετε πως θα επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τους τελικούς χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

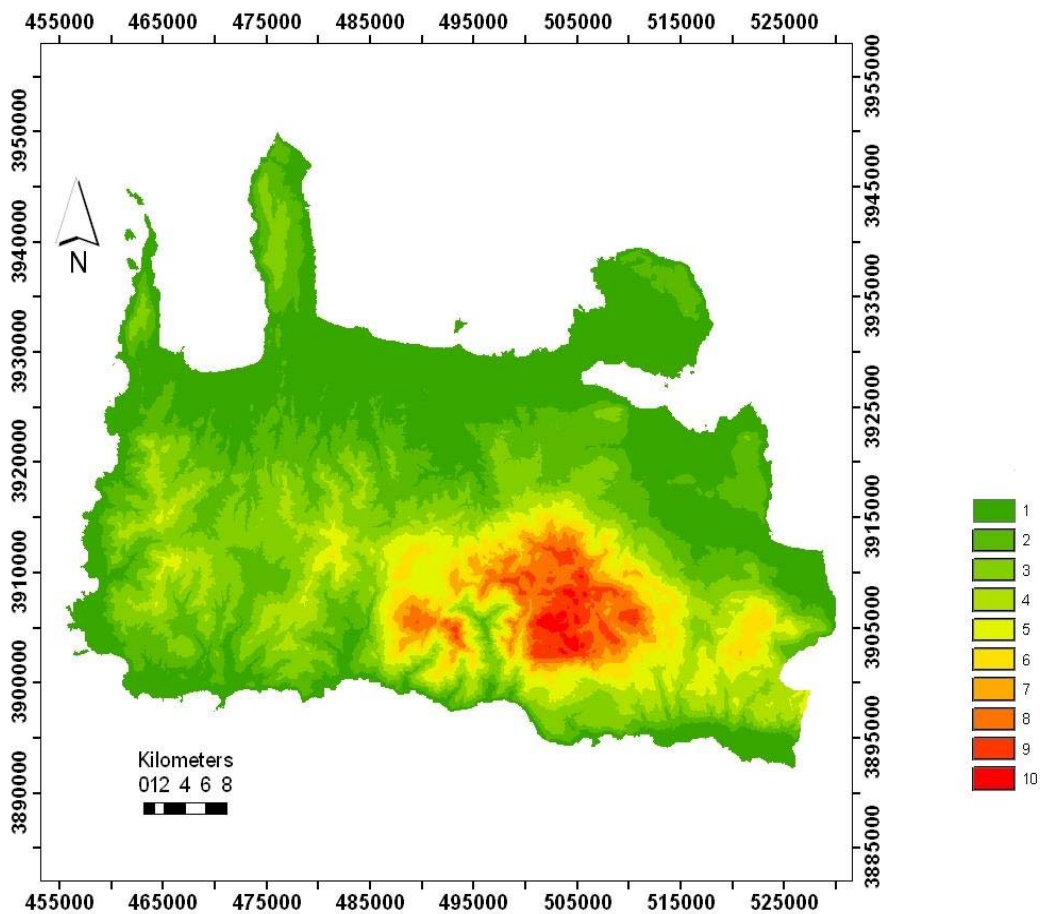


Εικόνα 28: Βαθμονομημένος χάρτης προσανατολισμού πρανών.

Οι κλάσεις του προσανατολισμού των πρανών βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον πίνακα 13 σε έξι κλάσεις: Επίπεδο, ΝΑ, Α, Ν και ΒΑ, ΝΔ και Δ, Β και ΒΔ.

Με βάση υδρομετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης οι πλαγιές με ΒΔ κατεύθυνση επηρεάζονται πιο έντονα από τις βροχοπτώσεις και κατόπιν αυτές με Β ή Δ προσανατολισμό.

Παρατηρούμε λοιπόν την βαθμονόμηση των Βόρειων και Δυτικών περιοχών με 9 και των Βορειοδυτικών με 10, όπως βλέπουμε χαρακτηριστικά στον θεματικό χάρτη που παράχθηκε (εικ. 28). Σύμφωνα με αυτό σε κάποιο φαράγγι ή κοιλάδα π.χ., θα αναμένουμε αυξημένες τιμές του δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας στα δυτικά πρανά σε σχέση με τα ανατολικά. Ωστόσο, η βαρύτητα του παράγοντα ορίστηκε ως 6, που είναι μία από τις δύο μικρότερες που δόθηκαν, συνεπώς θα επηρεάσει σε μικρότερο βαθμό τους τελικούς χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

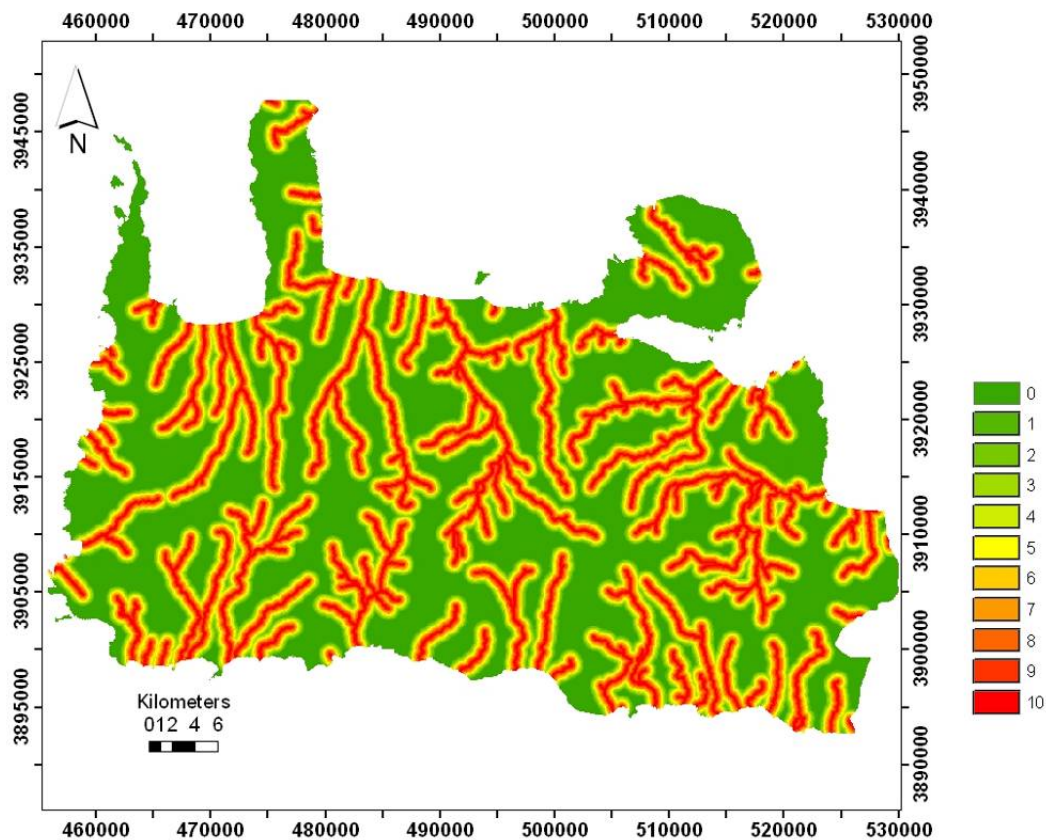


Εικόνα 29: Βαθμονομημένος χάρτης σχετικού υψομέτρου.

Οι 10 κλάσεις του θεματικού επιπέδου σχετικού υψομέτρου βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον πίνακα 13.

Παρατηρούμε στην εικόνα 29 πως οι μέγιστες τιμές (8, 9, 10) βρίσκονται στην οροσειρά των Λευκών Ορέων, ενώ η ελάχιστη τιμή (1) στα πεδινά του Νομού και κυρίως στις βόρειες περιοχές του. Στις ενδιάμεσες τιμές (3, 4, 5) αναγνωρίζουμε ημιορεινές περιοχές του Νομού, από τα δυτικά στα ανατολικά ο Αγ.Δίκαιος Ινναχωρίου, το Αποπηγάδι, η Μαλάξα και οι Χορεύτρες Σφακίων.

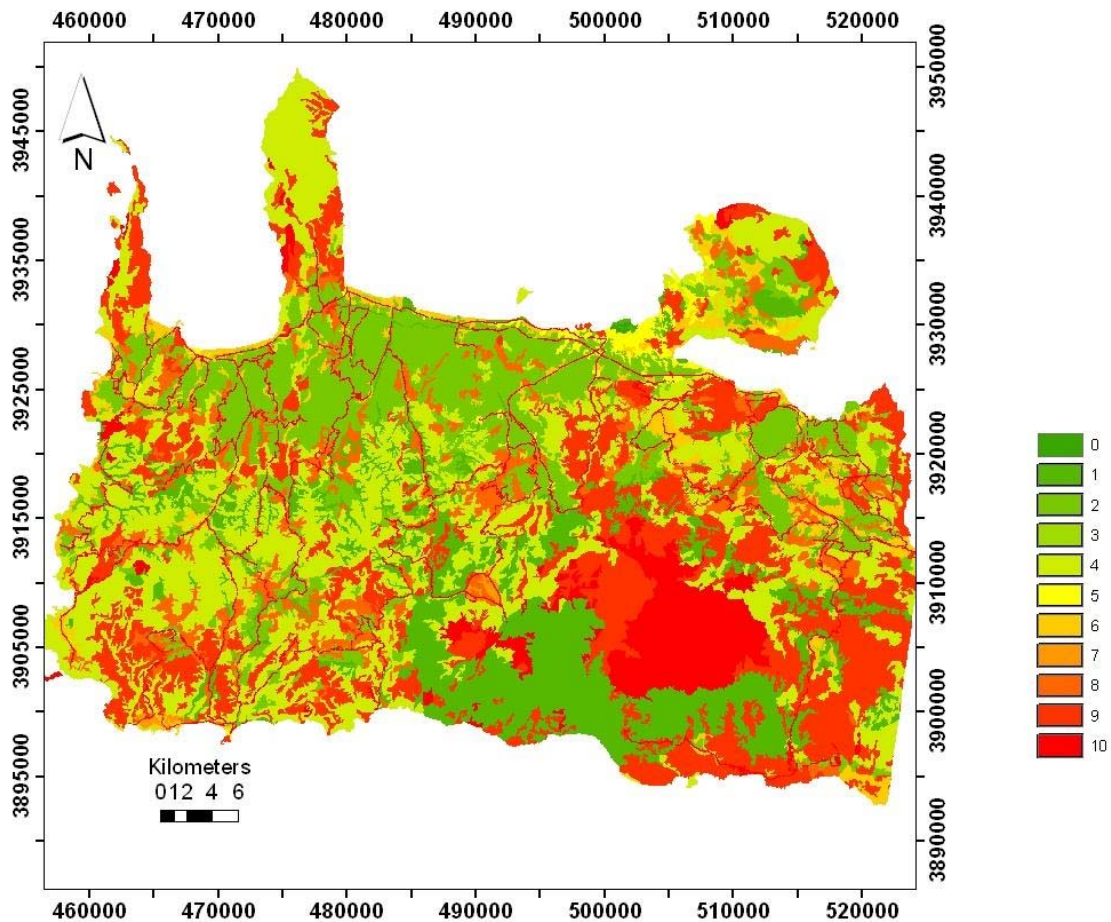
Όπως στον παράγοντα του προσανατολισμού των πρανών η βαρύτητα που δόθηκε είναι 6, συνεπώς θα επηρεάσει σε μικρό βαθμό τους τελικούς χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 30: Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από επιφανειακές απορροές.

Οι βαθμοί που δόθηκαν στον χάρτη φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 13. Παρατηρούμε στον βαθμονομημένο χάρτη (εικ. 30) ότι στα Βόρεια του Νομού απεικονίζονται κάποιοι από τους μεγαλύτερους ποταμούς του (Κερίτης, Ταυρωνίτης), ενώ αρκετοί από αυτούς που διακρίνονται στα Νότια και έχουν άξονα προσανατολισμού Βορρά- Νότο αποτελούν τις κοίτες των φαραγγιών που καταλήγουν στο Λιβυκό πέλαγος.

Η βαρύτητα που αποδόθηκε στον παράγοντα είναι 8, και αναμένετε να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τους τελικούς χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

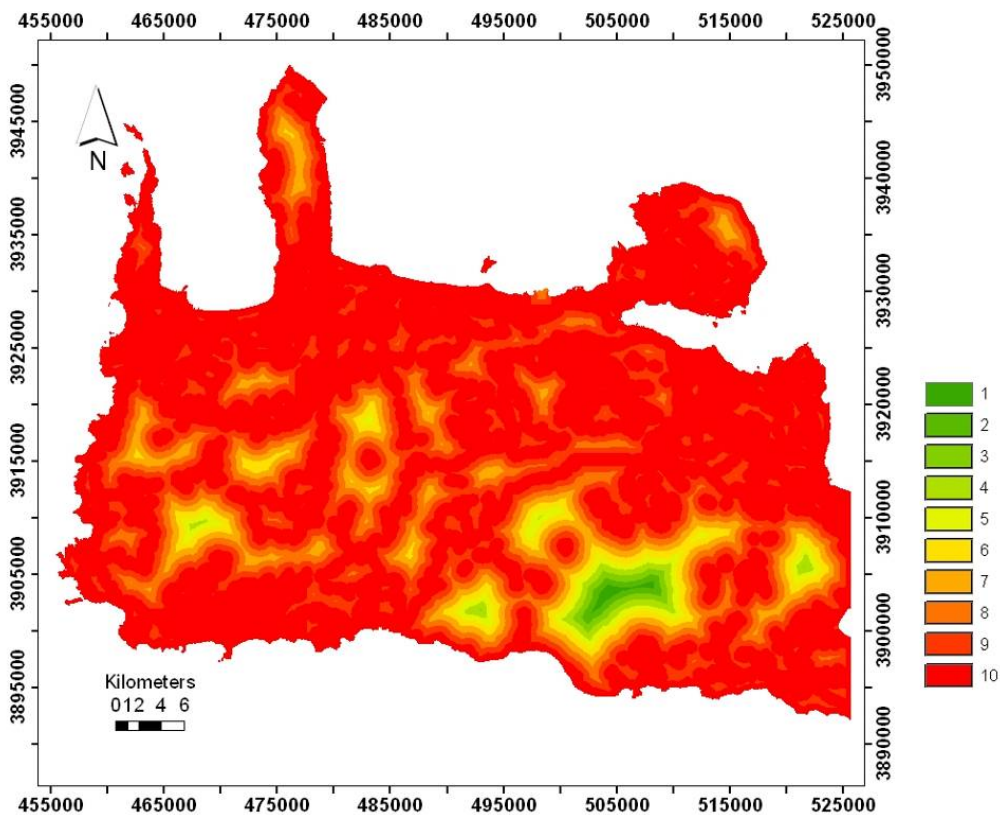


Εικόνα 31. Βαθμονομημένος χάρτης χρήσεων γης.

Οι κλάσεις του χάρτη χρήσεων Γής βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον πίνακα 13. Η μέγιστη τιμή 10 αποδόθηκε στις χρήσεις Γής οδικά δίκτυα και συναφείς χώροι, εκτάσεις με αραιή βλάστηση, απογυμνωμένοι βράχοι, ενώ η αμέσως μικρότερη τιμή (9) συσχετίστηκε με τις χρήσεις Γής, φυσικοί βοσκότοποι, χώροι εξορύξεως ορυκτών, θάμνοι και χερσότοποι, λιβάδια. Η ελάχιστη τιμή 0 δόθηκε για τις περιοχές συνεχείς αστική οικοδόμησης, ενώ για τις κλάσεις χρήσεων γης χώροι οικοδόμησης, παραλίεσ-αμμόλοφοι - αμμουδιές, μικτό δάσος, δάσος κωνοφόρων, δάσος πλατύφυλλων, μεταβατικές δασώσεις - θαμνώδεις εκτάσεις, εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής και ζώνες λιμένων δόθηκε η τιμή 1.

Εμφανέστατα ξεχωρίζουν στον χάρτη (εικ. 31) οι κλάδοι του ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου που συμπεριλήφθησαν στον χάρτη χρήσεων Γής Corine Cover Map, καθώς και η μεγάλη επικινδυνότητα στην κεντρική περιοχή των Λευκών Ορέων λόγω των περιοχών με τις τάξεις απογυμνωμένοι βράχοι, φυσικοί βοσκότοποι και θάμνοι και χερσότοποι.

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

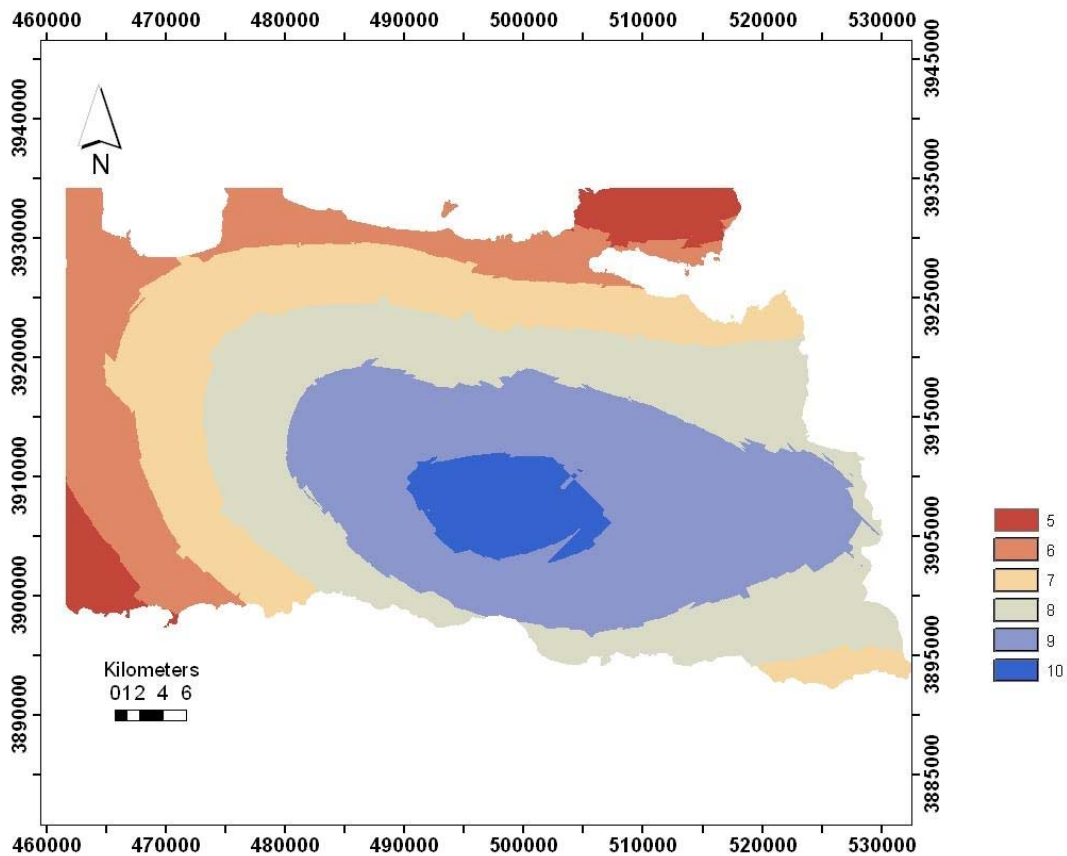


Εικόνα 32. Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων.

Καθορίστηκαν 10 κλάσεις στον χάρτη απόστασης από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων (εικ. 32) με ίση απόσταση 520 μέτρα η καθεμιά, συνολικά από τα 0 έως 5200 μέτρα. Οι κλάσεις του χάρτη βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τον πίνακα 13, με τις τιμές μεγάλης επικινδυνότητας να ορίζονται επί των ορίων μεταξύ γεωλογικών ενοτήτων.

Καθότι υπάρχει έντονη εναλλαγή γεωλογικών ενοτήτων, το μεγαλύτερο μέρος του Νομού χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές τιμές επικινδυνότητας. Εξάιρεση αποτελεί η οροσειρά των Λευκών Ορέων, με την συμπαγή ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων όπου μόνον εκεί παρουσιάζονται οι χαμηλότερες διαβαθμίσεις της κλίμακας, ενώ χαμηλές τιμές παρουσιάζονται και σε ημιορεινές περιοχές στα Δυτικά του Νομού, όπου βρίσκει η Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά.

Η βαρύτητα που ορίστηκε στον παράγοντα είναι 9, που είναι μία από τις πιο μεγάλες που δόθηκαν, συνεπώς θα επηρεάσει σημαντικά τους τελικούς χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 33. Βαθμονομημένος χάρτης κατανομής βροχοπτώσεων.

Παρατηρούμε στην εικόνα 33 ότι οι μεγαλύτεροι βαθμοί της κατανομής των βροχοπτώσεων εντοπίζονται στην περιοχή των Λευκών Ορέων και ακολουθώντας το ανάγλυφο της περιοχής φθίνουν προς τις μικρότερες τιμές τους οι οποίες σημειώνονται στις παράλιες περιοχές του Νομού.

Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ορογραφικό φαινόμενο, κατά το οποίο έχουμε ταχύτατη ανύψωση αέριων μαζών λόγω ανάγλυφου σε μεγάλα υψόμετρα, που οδηγούν σε συμπύκνωση των και συνεπώς, δημιουργίας νετού.

Ωστόσο, η βαρύτητα του παράγοντα ορίστηκε με 8, που είναι μία από μεγαλύτερες που δόθηκαν, συνεπώς θα επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τους τελικούς χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

6.2. Παρουσίαση Χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων

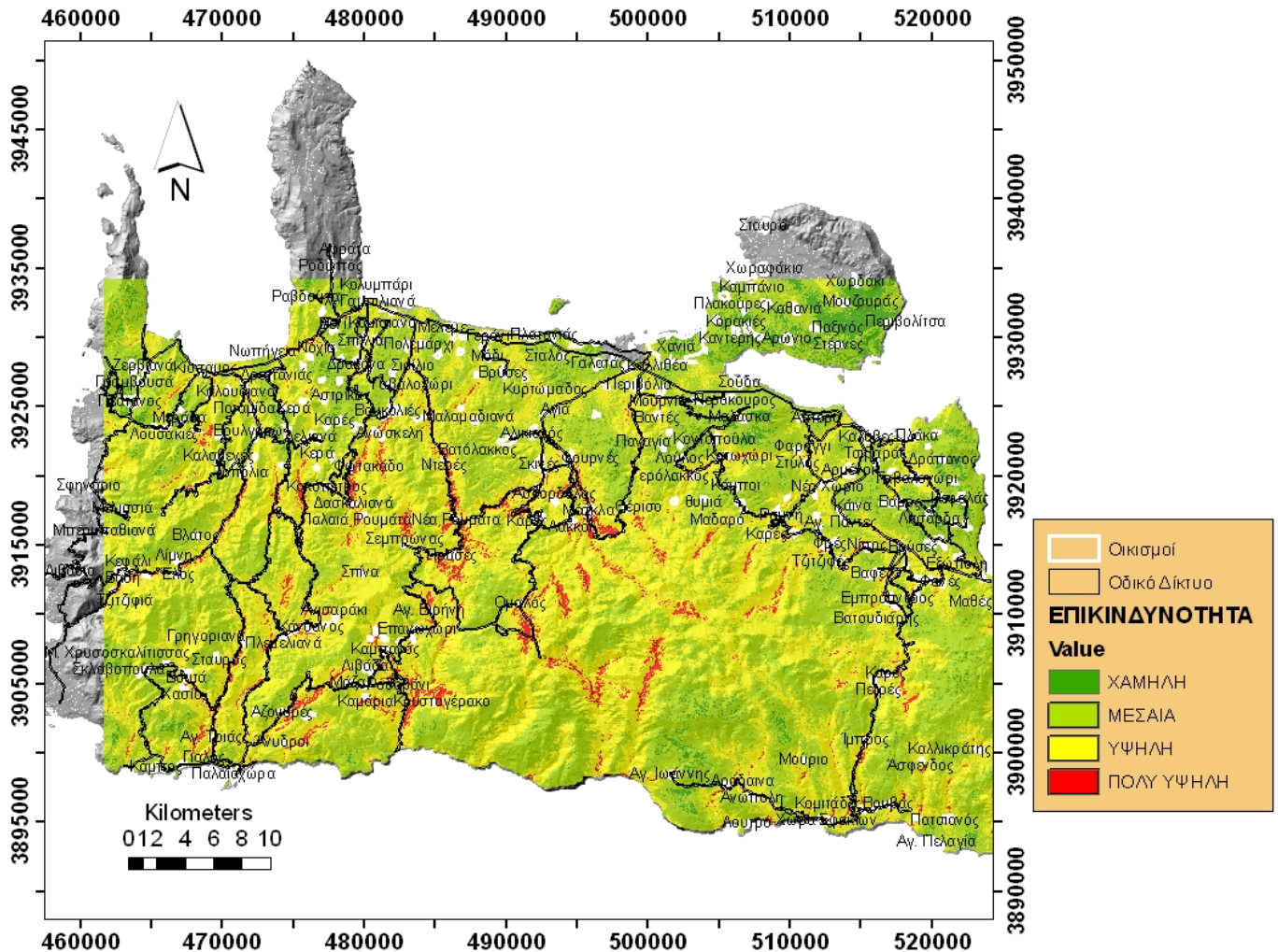
Στους χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας που παράχθηκαν για τον Ν. Χανίων μπορεί να γίνει μια πρώτη επισκόπηση και προσέγγιση περιοχών που θα χρήζουν περαιτέρω μελέτης και προσοχής. Θα παρουσιαστούν περιοχές του Νομού με τμήματα που χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας, περιοχές τουριστικού ενδιαφέροντος όπως και περιοχές με εκδήλωση κατολισθήσεων οι οποίες καταγράφηκαν κατά την διάρκεια της έρευνας πεδίου η οποία εκπονήθηκε με στόχο την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των Γ.Σ.Π. .

Γενικά παρατηρείται σε τέτοιους χάρτες το φαινόμενο να υπάρχουν μικρές περιοχές από εικονοστοιχεία (pixels) μιας τάξης, οι οποίες περιβάλλονται από εικονοστοιχεία μιας άλλης τάξης (Pandlely et al, 2007). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ταξινομήθηκαν με ίσες αποστάσεις (equal interval) σε τέσσερις ζώνες επικινδυνότητας, «χαμηλή», «μέση», «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 (γεωλογικές ενότητες φλύσχη, χαλαρών τεταρτογενών αποθέσεων, φυλλιτική – χαλαζιτική σειρά, απόσταση περιοχών από αυτές και η υψηλή κλίση πρανών), το σύνολο των βροχοπτώσεων που δέχεται η περιοχή μελέτης καθώς και η απόσταση από τις επιφανειακές απορροές, και εν τέλει από τις χρήσεις και καλύψεις Γής της.

Οι χάρτες παρουσιάζονται σε υπέρθεση με το σκιασμένο ανάγλυφο που προέκυψε από το ΨΜΕ. Ακολουθεί ο χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων άνευ συνυπολογισμού παράγοντα χρήσεων γης (LHI 1).

6.2.1. Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων άνευ συνυπολογισμού παράγοντα χρήσεων γης



Εικόνα 34: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων άνευ συνυπολογισμού παράγοντα χρήσεων γης (LHI 1).

Με βάση τον χάρτη LHI 1 της Εικόνας 34, εμφανίζονται ως υψηλής επικινδυνότητας κυρίως περιοχές πλησίον τμημάτων του ορεινού οδικού δικτύου και κάποιων παραπλήσιων οικισμών του, καθώς και απομονωμένες περιοχές στα Λευκά Όρη. Η κατηγοριοποίηση αυτή, οφείλετε στον συνδυασμό γεωπεριβαλλοντικών και ανθρωπογενών παραγόντων που προαναφέραμε.

Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι τμήματα του οδικού δικτύου Χανιά – Ομαλός (Φουρνές – Ορθούνι – Λάκκοι – Ομαλός, Φουρνές – Μεσκλά), Χανιά – Σούγια (Χλιάρό-Νέα Ρούματα – Πρασσές), Νέα Ρούματα - Ντερές, περιοχές γύρω από το χωριό Κουστογέρακο, από το Ροδοβάνι στην Παλαιόχωρα, το οδικό δίκτυο Τοπόλια – Έλος, το τμήμα Βουκολιές – Παλαιόχωρα, στην επαρχία Σφακιών περιοχές στο οροπέδιο Ασκύφου (Καρές, Πετρές) και την Ίμπρο, καθώς και τα φαράγγια της Σαμαριάς και της Ελυγιάς στα Λευκά Όρη.

Πινάκας 14: Κατανομή κάλυψης ζωνών δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας LHI 1

Κλάση LHI 1	Έκταση (km ²)	Ποσοστό Έκτασης (%)
Χαμηλή	77,54	4
Μέση	983,49	47
Υψηλή	956,98	46
Πολύ υψηλή	57,67	3
Άθροισμα	2075,	100%

Σύμφωνα με τον πίνακα 14 δίνεται χαρακτηρισμός χαμηλής και μέσης επικινδυνότητα στο 4 % και το 47 % του Νομού, ενώ για την υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα τα ποσοστά κάλυψης είναι 46 % και 3 % αντίστοιχα. Το άθροισμα της έκτασης των περιοχών είναι μικρότερο από την έκταση της περιοχής μελέτης λόγω της έλλειψης δεδομένων του παράγοντα των βροχοπτώσεων για τα όρια του Νομού.

Για τον χάρτη **LHI 1** προέκυψαν οι παρακάτω τιμές (values):

Πινάκας 15: Τιμές δείκτη επικινδυνότητας LHI 1.

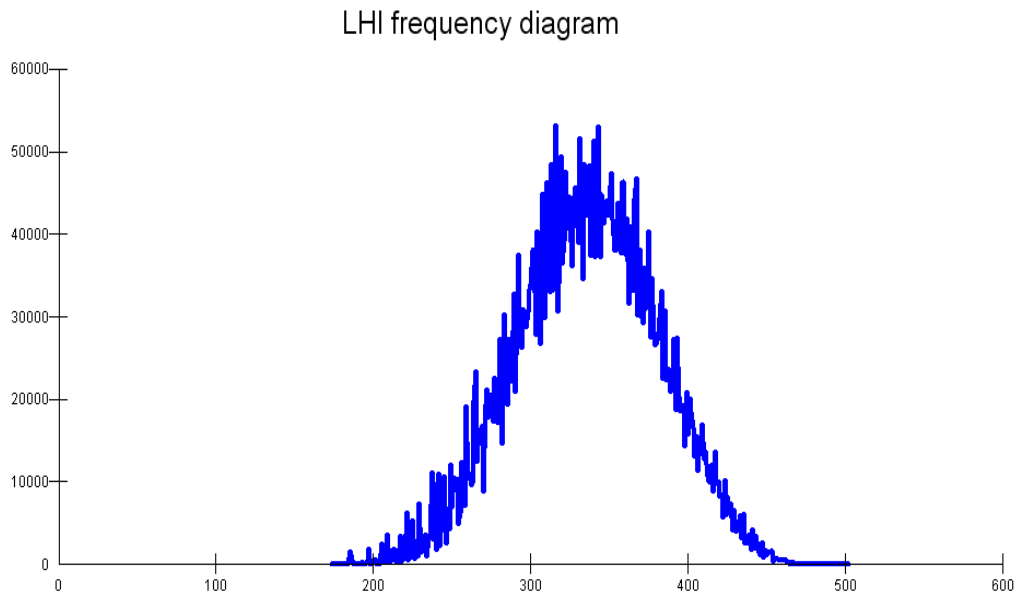
Τιμές κατωφλίου	255,25	337,5	419,75	502
Ελάχιστη τιμή	173			
Μέγιστη τιμή	502			
Μέση τιμή	335,5			
Τυπική απόκλιση	45,135			

Σύμφωνα με τον πίνακα 15 τα όρια των κλάσεων επικινδυνότητας «χαμηλή», «μέση», «υψηλή» και «πολύ υψηλή» ορίζονται:

- Η χαμηλή από 173 – 255,25
- Η μέση από 225,25 – 337,5
- Η υψηλή από 337,5 – 419,75
- Η πολύ υψηλή από 419,75 – 502

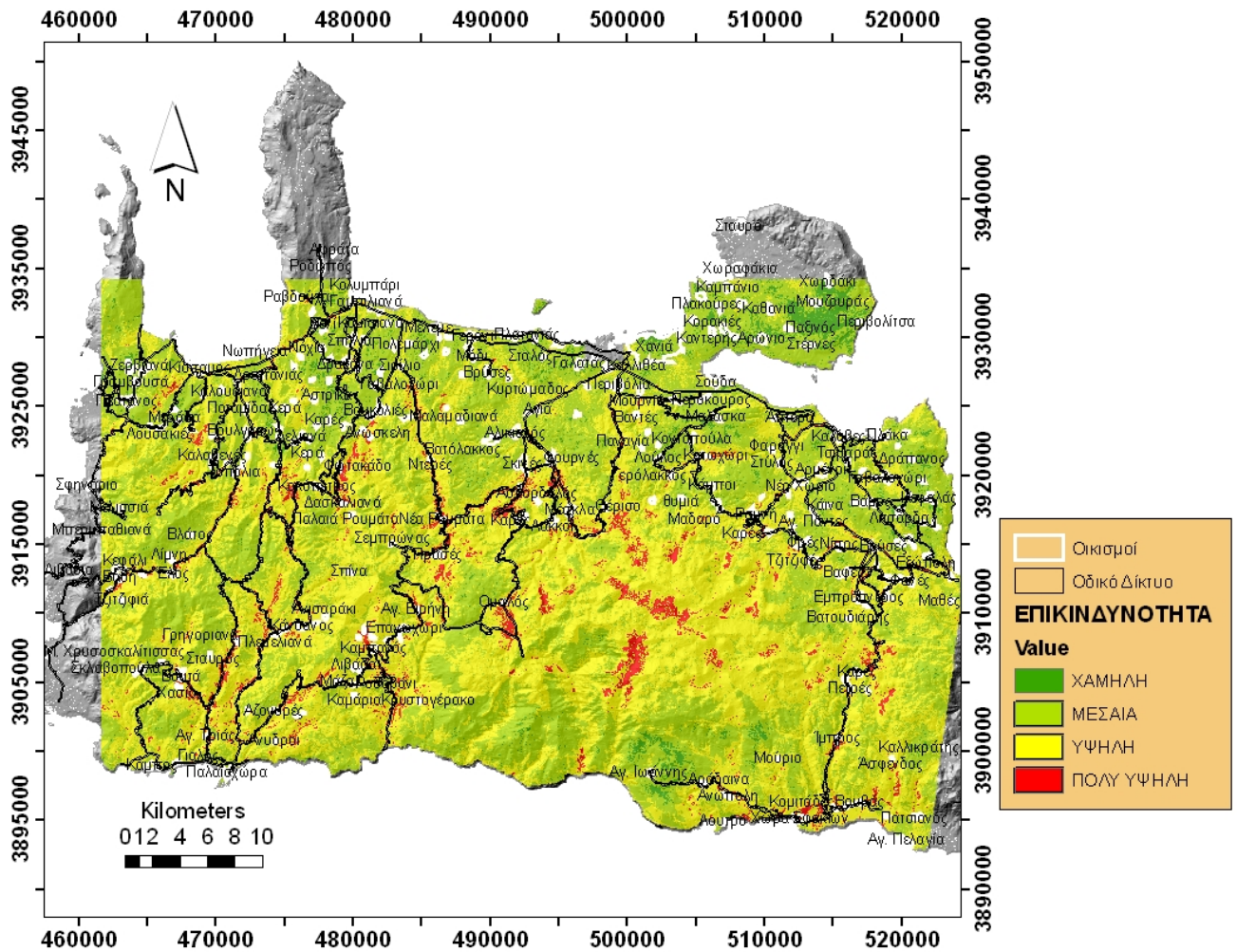
Επίσης, η μέση τιμή του ιστογράμματος είναι 335,5 και εμπίπτει οριακά στο τέλος των τιμών της μέσης επικινδυνότητας.

. Στο ιστόγραμμα του χάρτη επικινδυνότητας LHI 1 (εικόνα 35) 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 (bell curve). Γύρω από την μέση τιμή βρίσκονται οι δύο ενδιάμεσες κλάσεις του δείκτη επικινδυνότητας «μέση» και «υψηλή» και καλύπτουν μαζί το 93 % της περιοχής μελέτης αντίστοιχα.



Εικόνα 35: Ιστόγραμμα συχνοτήτων LHI 1.

6.2.2. Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων με συνυπολογισμό παράγοντα χρήσεων γης.



Εικόνα 36: Χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων με συνυπολογισμό παράγοντα χρήσεων γης (LHI 2).

Παρατηρώντας εκ πρώτης όψεως τον χάρτη LHI 2 της εικόνας 36 δεν φαίνονται ιδιαίτερα μεγάλες μεταβολές στον χαρακτηρισμό των περιοχών σε σχέση με τον LHI 1. Τα ίδια τμήματα του οδικού δικτύου σύνδεσης της ενδοχώρας χαρακτηρίζονται ως υψηλής επικινδυνότητας, με τις τιμές αυτές λίγο πιο κοντά συγκεντρωμένες σε αυτό όπως θα αναμενόταν. Κάποιες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται ωστόσο και στην οροσειρά των Λευκών Ορέων, όπου αυξάνονται οι περιοχές επικινδυνότητας στο κεντρικό της τμήμα (π.χ. Βόρεια του φαράγγιου της Ελυγιάς) λόγω της κάλυψης περιοχών αυτών με τις τάξεις απογυμνωμένοι βράχοι, φυσικοί βοσκότοποι και θάμνοι και χερσότοποι που έχουν υψηλές τιμές. Αντίθετα υπάρχει αξιοσημείωτη μείωση της εμφάνισης της κλάσης «υψηλή επικινδυνότητα» στο φαράγγι της Σαμαριάς (αναλυτικότερα παρακάτω στις εικόνες 41 και 42). Επίσης παρατηρούνται περισσότερες περιοχές με «υψηλή επικινδυνότητα» στην επαρχία Σφακιών και λιγότερες στο Κουστογέρακο στην επαρχία Σελίνου.

Πίνακας 16: Κατανομής κάλυψης ζωνών δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας LHI 2.

Κλάση LHI 2	Έκταση (km ²)	Ποσοστό έκτασης (%)
Χαμηλή	48,22	2,3
Μέση	885,50	43,6
Υψηλή	1025,26	50,5
Πολύ υψηλή	70,05	3,4
Αθροισμα	2029	100%

Σύμφωνα με τον πίνακα 16 δίνεται χαρακτηρισμός χαμηλής και μέσης επικινδυνότητα στο 2,3 % και το 43,6 % του Νομού, ενώ για την υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα τα ποσοστά κάλυψης είναι 50,5 % και 3,4 % αντίστοιχα..

Για τον χάρτη **LHI 2** προέκυψαν οι παρακάτω τιμές με την ίδια διαδικασία ταξινόμησης:

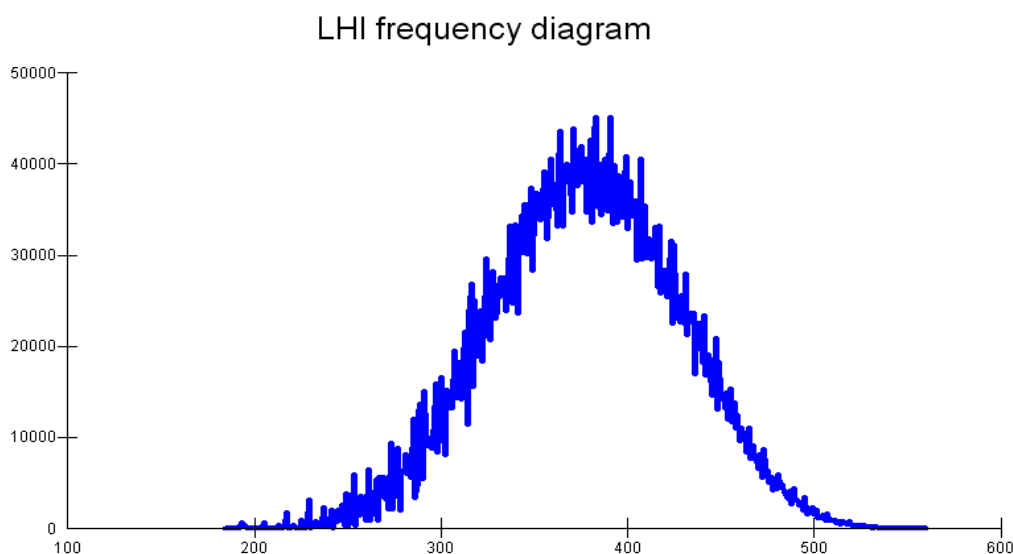
Πίνακας 17: Τιμές δείκτη επικινδυνότητας LHI 2:

Τιμές κατοφλίου	278	372	466	560
Ελάχιστη τιμή	184			
Μέγιστη τιμή	560			
Μέση τιμή	377			
Τυπική απόκλιση	50,255			

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα οι τέσσερις ζώνες επικινδυνότητας, «χαμηλή», «μέση», «υψηλή» και «πολύ υψηλή» ορίζονται ως:

- Η χαμηλή από 184 – 278
- Η μέση από 279 – 372
- Η υψηλή από 373 – 466
- Η πολύ υψηλή από 467 – 560

Όπως και στο παραπάνω ιστόγραμμα του LHI 1, το ιστόγραμμα του χάρτη LHI 2 (εικόνα 37) προσεγγίζει την κανονική (γκαουσιανή) κατανομή καθώς το μεγαλύτερο πλήθος των τιμών επικινδυνότητας βρίσκονται γύρω από την μέση τιμή. Εκεί αυτές οι τιμές συμπίπτουν με τις δύο ενδιάμεσες κλάσεις της μέσης και της υψηλής επικινδυνότητας, με αποτέλεσμα να καλύπτουν με 94,1 % ένα εντυπωσιακά μεγάλο τμήμα του χάρτη LHI 2. Τέλος, η μέση τιμή του ιστογράμματος είναι 377 που οριακά εμπίπτει στην αρχή των τιμών της κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας.



Εικόνα 37: Ιστόγραμμα συχνοτήτων LHI 2.

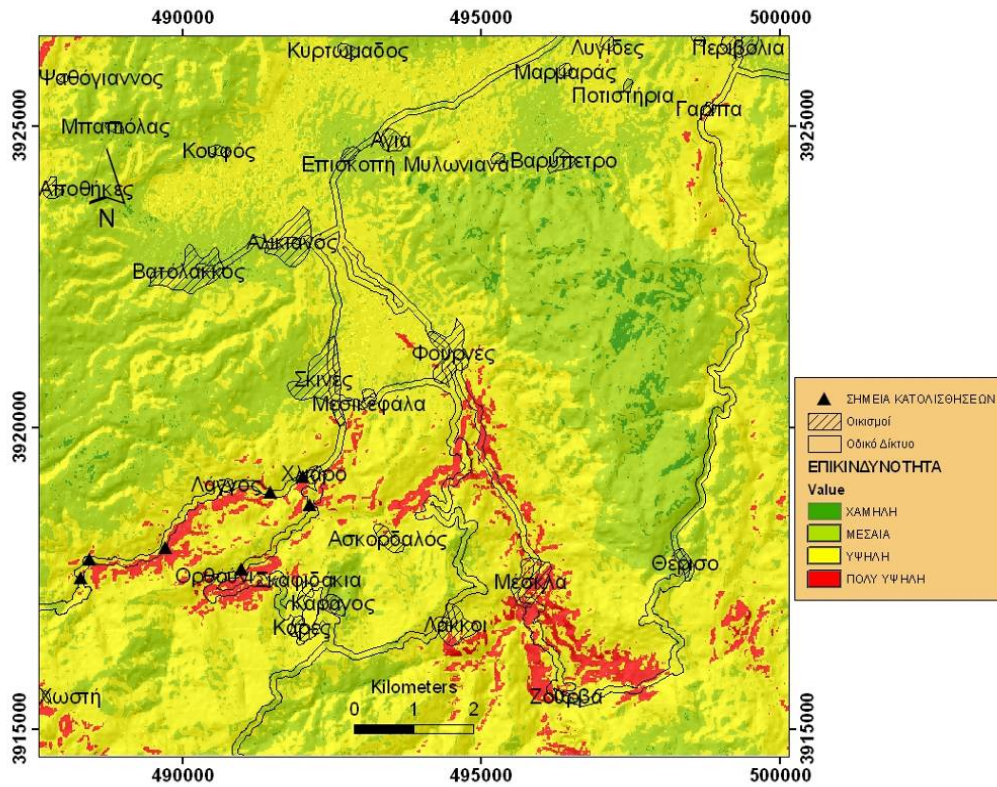
6.2.3. Σύγκριση των δύο χαρτών επικινδυνότητας LHI 1 και LHI 2

Όπως διατυπώθηκε παραπάνω, γενικά και στους δύο χάρτες LHI1 και LHI2, τα ίδια τμήματα του οδικού δικτύου σύνδεσης της ενδοχώρας χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας, με τις τιμές αυτές λίγο πιο πυκνά κατανεμημένες στο οδικό δίκτυο και την ζώνη επιρροής του. Πέραν τούτου παρατηρούνται έντονες διαφοροποιήσεις σε περιοχές με πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές τιμές του επιπέδου των χρήσεων Γής, όπως στην περίπτωση του φαραγγιού της Σαμαριάς (μείωση της κατολισθητικής επικινδυνότητας με τον συνυπολογισμό των χρήσεων γής) των Λευκών Ορέων και της επαρχία Σφακίων (αύξηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας με τον συνυπολογισμό των χρήσεων γής).

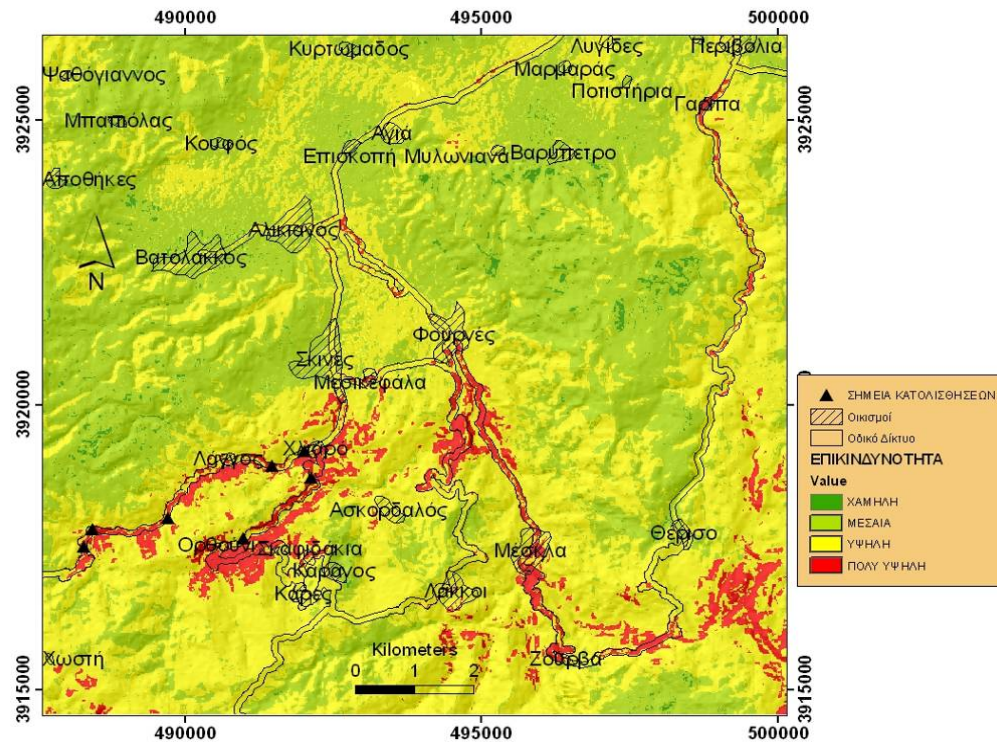
Αυτές οι μεταβολές ποσοτικά εκφράζονται στους πίνακες 14 και 16. Σύμφωνα με αυτούς, , για το μεν LHI 1 δίνονται οι χαρακτηρισμοί χαμηλής και μέσης επικινδυνότητα συνολικά για το 51 % του Νομού, ενώ για την υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα τα ποσοστά κάλυψης είναι μαζί 49 %. Για τον δε LHI 2, δίνονται οι χαρακτηρισμοί χαμηλής και μέσης επικινδυνότητα συνολικά για το 45,9 % του Νομού, ενώ για την υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα τα ποσοστά κάλυψης είναι 54,1 % αντίστοιχα. Παρατηρούμε λοιπόν πως στον χάρτη με συνυπολογισμό των χρήσεων γης ποσοστό 5,1 % μετατίθεται από τις δύο χαμηλότερες κλάσεις επικινδυνότητας στις δύο μεγαλύτερες. Αυτό εξηγείται με την παρατήρηση των δύο ιστογραμμάτων συχνοτήτων όπου φαίνεται η διαφορά στην κατανομή των τιμών τους.

Στο δεύτερο διάγραμμα είναι μεγαλύτερες οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές σε σχέση με το πρώτο, κάτι αναμενόμενο καθώς στον υπολογισμό για το δεύτερο διάγραμμα περιλαμβάνεται ένας παράγοντας παραπάνω, οι χρήσεις γης. Έτσι, η μέση τιμή του LHI 1 είναι 335,5 και εμπίπτει οριακά στο τέλος των τιμών της μέσης επικινδυνότητας, ενώ η μέση τιμή του LHI 2 είναι 377 που οριακά βρίσκεται στην αρχή των τιμών της κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας, γεγονός που δείχνει πόσο κοντά στις μέσες τιμές και των δύο χαρτών ήταν οι κλάσεις επικινδυνότητας «μέση» και «υψηλή».

6.2.4. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας περιοχών Θερίσου και Μουσούρων



Εικόνα 38: Χάρτης LHI 1 περιοχών Θερίσου και Μουσούρων.



Εικόνα 39: Χάρτης LHI 2 περιοχών Θερίσου και Μουσούρων.



Εικόνα 40: Κατολίσθηση στο οδικό δίκτυο Χανίων –Σούγιας, περιοχή Λάγγος.

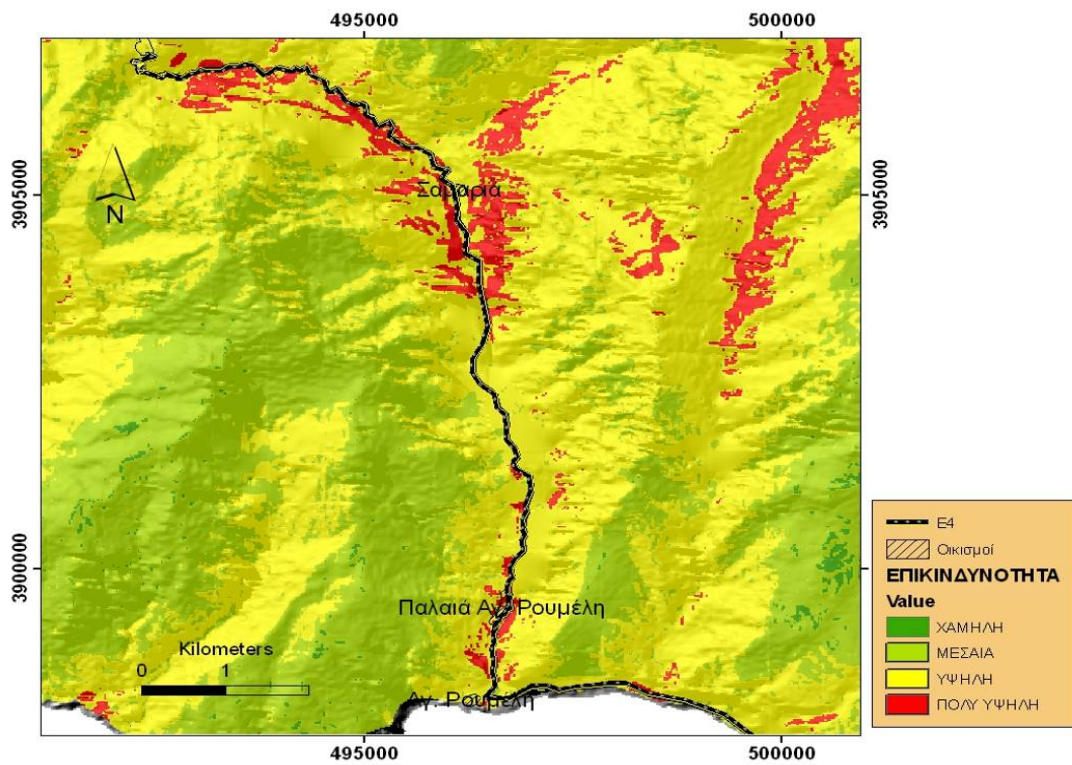
Στις εικόνες 38 και 39 απεικονίζονται περιοχές των Δήμων Μουσούρων και Θερίσσου με τους χάρτες LHI 1 και LHI 2 αντίστοιχα. Οι παραπάνω επιλέχθηκαν επειδή εμφανίζουν τμήματα που χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή κατολισθητική επικινδυνότητα, άλλα και σημεία καταγεγραμμένων κατολισθήσεων τα οποία και εμφανίζονται στους παραπάνω χάρτες. Επίσης σε αυτές υπάρχει πολυσύχναστο οδικό δίκτυο που συνδέει ιστορικούς οικισμούς αλλά και δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς.

Και στους δύο αυτούς χάρτες υπάρχουν αρκετές περιοχές με μέση, υψηλή και πολύ υψηλή κατηγοριοποίηση, ενώ υπάρχουν και επτά καταγεγραμμένα σημεία εμφάνισης συχνών κατολισθήσεων από τα οποία για τον LHI 1 βρίσκονται τα πέντε σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας και τα δύο πολύ υψηλή, ενώ για τον LHI 2 βρίσκονται όλα σε περιοχή πολύ υψηλής.

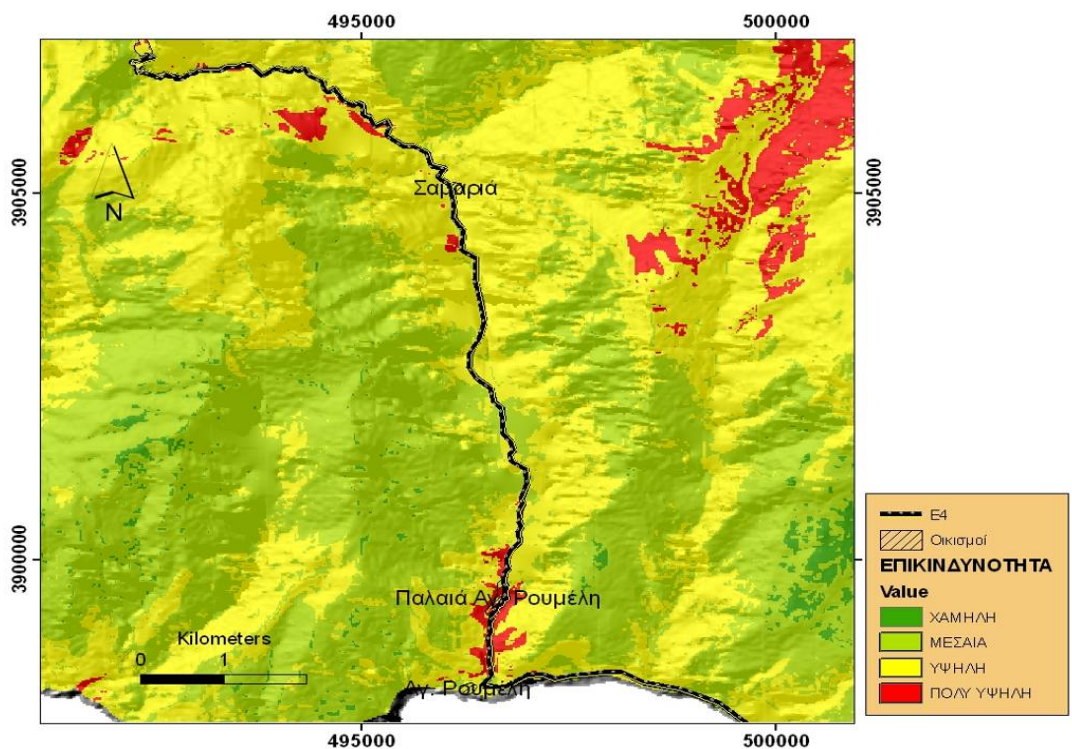
Γενικά για τον LHI 2 φαίνεται χαρακτηριστικά πως οι περιοχές υψηλής επικινδυνότητας ομαδοποιούνται πιο συνεκτικά και κοντά στους κλάδους του οδικού δικτύου. Επίσης εμφανίζονται τέτοιες μικρές περιοχές επί του δρόμου Περιβόλια-Θέρισσος ο οποίος περνάει μέσα από το ομώνυμο φαράγγι του Θερίσσου.

Για τον LHI 1 τμήματα των οικισμών Ορθούνι, Μεσκλά, Ζούρβα και Λάκκοι βρίσκονται στην κατηγοριοποίηση πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας και για τον LHI 2 προστίθενται και οι οικισμοί Λαγγός, Χλιαρό, Φουρνές.

6.2.5. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας φαραγγιού Σαμαριάς



Εικόνα 41: Χάρτης LHI 1 φαραγγιού Σαμαριάς.



Εικόνα 42: Χάρτης LHI 2 φαραγγιού Σαμαριάς.



Εικόνα 43: Προειδοποιητική σήμανση στο φαράγγι της Σαμαριάς.

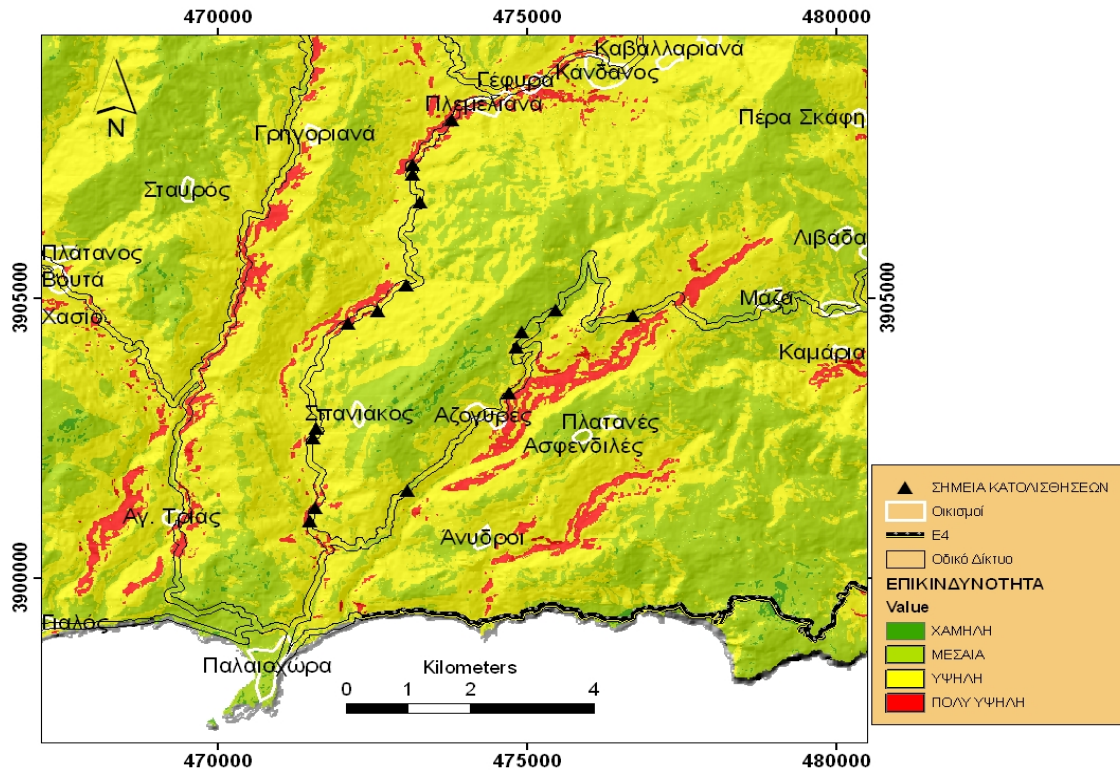
Στις εικόνες 41 και 42 απεικονίζονται οι χάρτες LHI 1 και LHI 2 για το φαράγγι της Σαμαριάς και μέρος του Εθνικού Δρυμού Λευκών Ορέων – Σαμαριάς, στην ιδιαίτερη αξία του οποίου έχουμε ήδη αναφερθεί. Συγκρίνοντας τους δύο χάρτες παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση, ειδικά για το πρώτο τμήμα του μονοπατιού Ε4 μέχρι και τον ομώνυμο, εγκαταλειμμένο πλέον, οικισμό Σαμαριά. Πιο συγκεκριμένα, για τον χάρτη LHI 2 σε αυτό το τμήμα έχουμε υψηλή επικινδυνότητα, με πολύ μικρά τμήματα να έχουν πολύ υψηλή, ενώ στον χάρτη LHI 1, δηλαδή στον χάρτη άνευ συνυπολογισμού του παράγοντα χρήσεων γης παρατηρούμε κατηγοριοποίηση πολύ υψηλής επικινδυνότητας σε όλο αυτό το τμήμα του μονοπατιού .

Ελέγχοντας το θεματικό επίπεδο των χρήσεων γης για την περιοχή, διαπιστώνουμε πως χαρακτηρίζετε ως καλυμμένη με κωνοφόρο δάσος, το οποίο είναι βαθμονομημένο με τιμή επικινδυνότητας 1, καθώς αυτό με το σε μεγάλη έκταση και βάθος ριζικό του σύστημα συγκρατεί γερά τα εδαφικά πρηνή, δικαιολογώντας την μεγάλη διαφορά των δύο χαρτών.

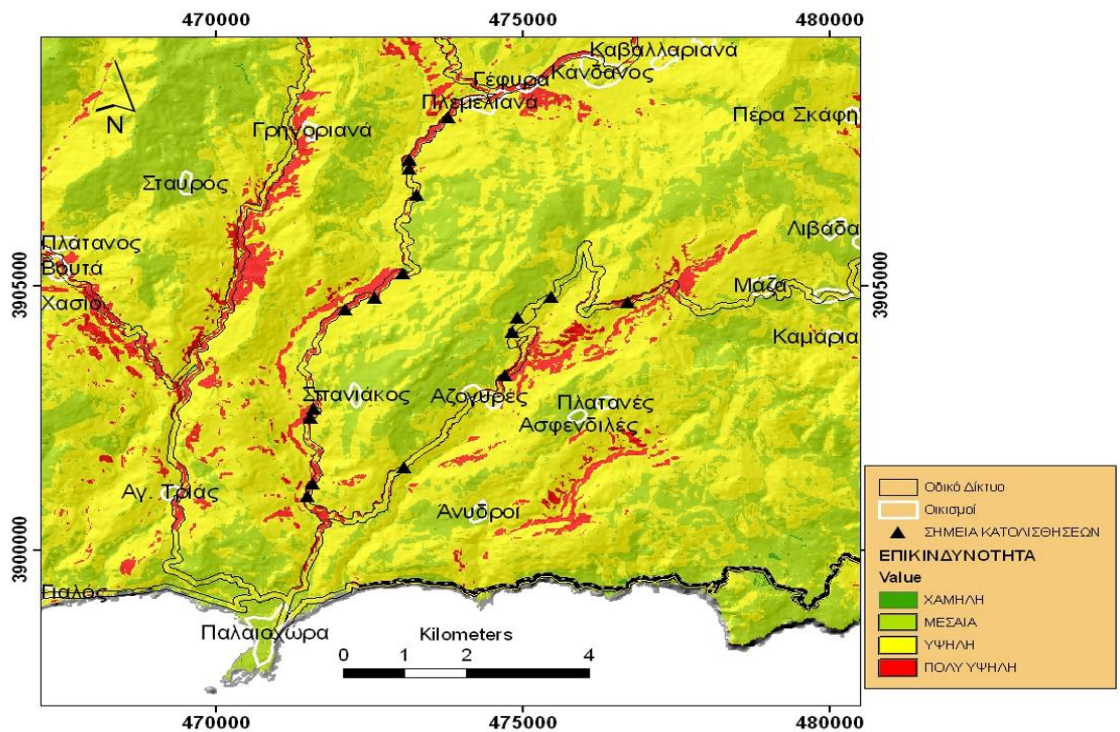
Αυτή η δραματική διαφοροποίηση μας δείχνει χαρακτηριστικά πόσο εύκολα μεταβάλλεται η κατολισθητική επικινδυνότητα προσθαφαιρώντας ή αλλάζοντας έναν μονό παράγοντα στην πράξη υπολογισμού της, ειδικά όταν έχει και αρκετά μεγάλη βαρύτητα, με τιμή επικινδυνότητας 8, που έχουν οι χρήσεις Γής.

Αντιθέτως, κατά την έξοδο και τελευταίο κομμάτι του φαραγγιού παρατηρούνται ελαφρώς περισσότερα και πιο συνεκτικά ομαδοποιημένα εικονοστοιχεία κατηγοριοποιημένα με «πολύ υψηλή» επικινδυνότητα στον χάρτη LHI 2 σε σχέση με τον χάρτη LHI 1, κάτι αναμενόμενο αφού εκεί βρίσκονται 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. Γενικά κρίνονται εύστοχα αυτά τα δύο τμήματα του φαραγγιού της Σαμαριάς ως τα επικινδυνότερα, αφού εκεί έχουν συμβεί οι περισσότερες λιθοπτώσεις κατά το παρελθόν.

6.2.6. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας Παλαιόχωρας και πλησίον περιοχών



Εικόνα 44: Χάρτης LHI 1 Παλαιόχωρας και πλησίον περιοχών.



Εικόνα 45: Χάρτης LHI 2 περιοχών Παλαιόχωρας και πλησίον περιοχών.



Εικόνα 46: Κατολίσθηση στο οδικό δίκτυο Παλαιόχωρα – Κάνδανος.

Στις εικόνες 44 και 45 απεικονίζονται αντίστοιχα οι χάρτες LHI 1 και LHI 2 για περιοχές στα Νοτιοδυτικά του Νομού, που περιλαμβάνουν την δημοφιλή κατά τους θερινούς μήνες Παλαιόχωρα και άλλα τμήματα του Δήμου Πελεκάνου.

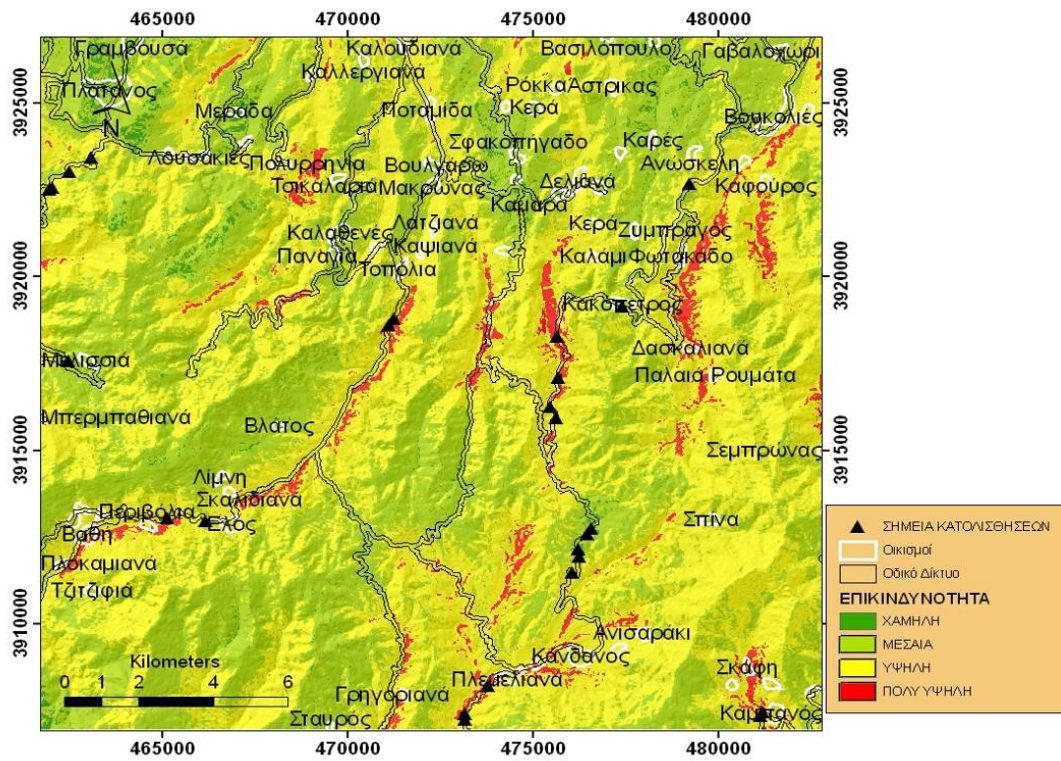
Υπάρχουν δεκαεπτά καταγεγραμμένα σημεία εμφάνισης συχνών κατολισθήσεων, έξι από τα οποία βρίσκονται στο δρόμο που συνδέει την Παλαιόχωρα με την Σούγια (προς τον οικισμό Μάζα στους δύο χάρτες) και ένδεκα στο οδικό δίκτυο Παλαιόχωρα – Κάνδανος. Από αυτά για τον LHI 1 βρίσκονται τα τρία σε περιοχές μεσαίας επικινδυνότητας, εννέα σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας και πέντε σε πολύ υψηλή, ενώ για τον LHI 2 βρίσκεται ένα σε μεσαίας επικινδυνότητας, έξι σε πολύ υψηλή και δέκα υψηλής επικινδυνότητας.

Και στους δύο αυτούς χάρτες υπάρχουν αρκετές περιοχές με μέση, υψηλή και πολύ υψηλή κατηγοριοποίηση, όπως τα δύο τμήματα οδικού δικτύου που συμπεριλήφθηκαν και το τμήμα Παλαιόχωρα – Αγ.Τριάς – Γρηγοριανά.

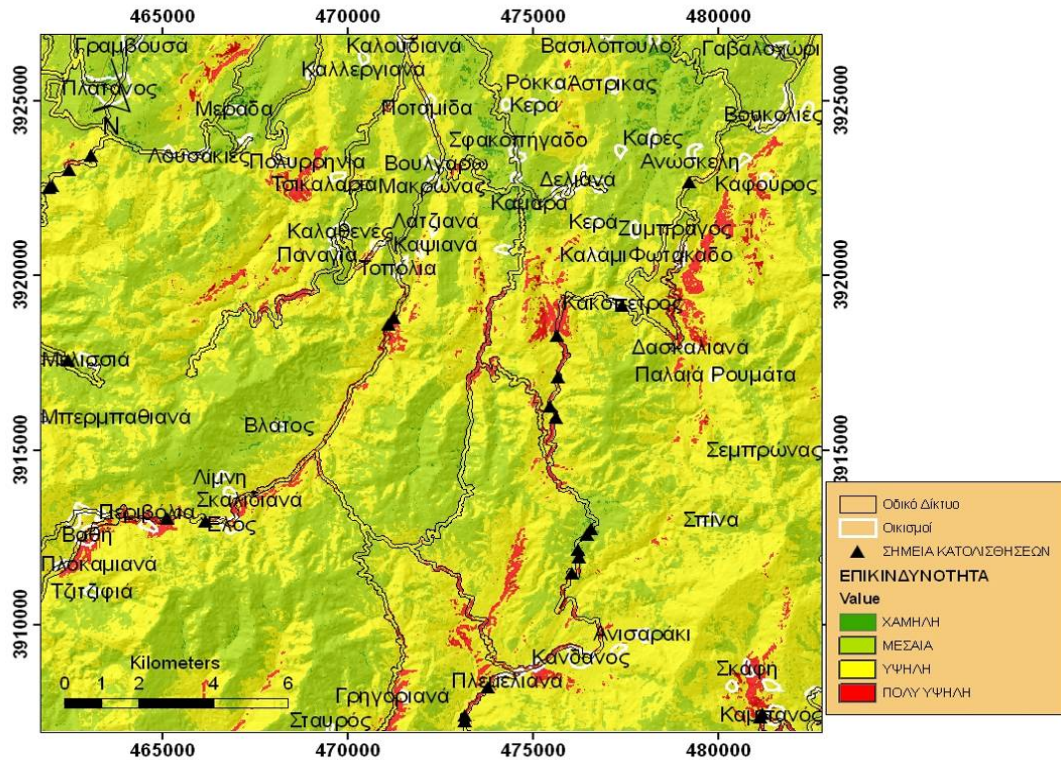
Γενικά για τον LHI 2 φαίνεται χαρακτηριστικά πως οι περιοχές υψηλής επικινδυνότητας είναι περισσότερες στους κλάδους του οδικού δικτύου σε σχέση με τον LHI 1 και έτσι εξηγείται το ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια στα καταγεγραμμένα σημεία κατολισθήσεων.

Για τους οικισμούς παρουσιάζεται ταύτιση αποτελεσμάτων στους δύο χάρτες με τα Πλεμελιανά και την Γέφυρα να βρίσκονται στην κατηγοριοποίηση πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας και τους οικισμούς Αζογυρές, Γρηγοριανά και Αγ.Τριάς να βρίσκονται σε περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα.

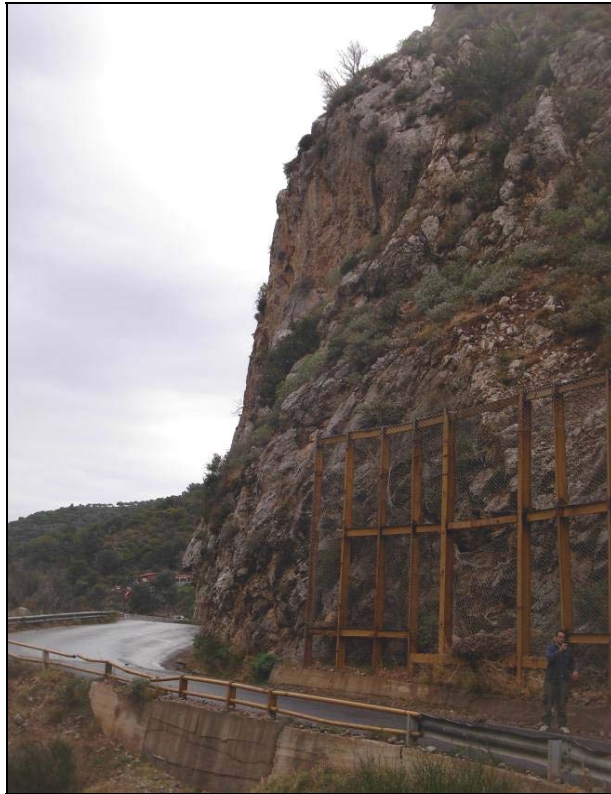
6.2.7. Χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας περιοχών Τοπολίων και Κανδάνου



Εικόνα 47: Χάρτης LHI 1 περιοχών και Τοπολίων και Κανδάνου.



Εικόνα 48: Χάρτης LHI 2 περιοχών Τοπολίων και Κανδάνου.



Εικόνα 49: Προστατευτικά συρμάτινα δίκτυα στο φαράγγι των Τοπολιών.

Στις εικόνες 47 και 48 απεικονίζονται αντίστοιχα οι χάρτες LHI 1 και LHI 2 για περιοχές στα Δυτικά του Νομού και αποτελούν το Βόρειο τμήμα των χαρτών 43 και 44 με την Κάνδανο να είναι το κοινό σημείο αναφοράς. Επίσης περιλαμβάνει το φαράγγι των Τοπολιών που αποτελεί κομμάτι της διαδρομής από τα Χανιά προς το Ελαφονήσι, μιας περιοχής ιδιαίτερου κάλλους και περιβαλλοντικής αξίας (δίκτυο Natura) που χαίρει και μεγάλης τουριστικής επισκεψιμότητας κατά τους θερινούς κυρίως μήνες. Στα Βορειοδυτικά διακρίνονται και τμήματα του δρόμου που συνδέει τα Φαλάσσαρνα με το Ελαφονήσι και στα Νοτιοδυτικά ο οικισμός Καμpanός στον δρόμο για την Σούγια. Επίσης στα Βόρεια βρίσκεται η σημαντική αρχαία πόλη Πολυρρηνία.

Υπάρχει επίσης πληθώρα καταγεγραμμένων σημείων με κατολισθητικά φαινόμενα από τα οποία έντεκα βρίσκονται στο δρόμο που συνδέει την Κάνδανο με τις Βουκολιές, πέντε στο οδικό δίκτυο Φαλάσσαρνα με το Ελαφονήσι, δύο κοντά στον οικισμό Καμpanό στα Νοτιοδυτικά και τέσσερα στον δρόμο Τοπόλια – Ελαφονήσι (προς τα Πλωκαμιανά στον χάρτη), συνολικά εικοσιένα σημεία.

Από αυτά για τον LHI 1 βρίσκονται τα επτά σε περιοχές μεσαίας επικινδυνότητας, εννέα σε περιοχή υψηλής επικινδυνότητας και πέντε σε πολύ υψηλή, ενώ για τον LHI 2 βρίσκεται ένα σε μεσαίας επικινδυνότητας, εννέα σε υψηλής επικινδυνότητας και έντεκα σε πολύ υψηλή.

Και στους δύο αυτούς χάρτες υπάρχουν αρκετές περιοχές με μέση, υψηλή και πολύ υψηλή κατηγοριοποίηση, όπως τα τμήματα οδικού δικτύου που αναφέρθηκαν και περιοχές πλησίον της Πολυρρύνειας.

Γενικά για τον LHI 2 φαίνεται χαρακτηριστικά πως οι περιοχές υψηλής επικινδυνότητας είναι περισσότερες στους κλάδους του οδικού δικτύου σε σχέση με τον LHI 1 και έτσι εξηγείται το ότι έχει μεγαλύτερη ακρίβεια στα καταγεγραμμένα σημεία κατολισθήσεων.

Για τους οικισμούς παρουσιάζεται ταύτιση αποτελεσμάτων στους δύο χάρτες με τους οικισμούς Βαθή, Περιβόλια, Καμπανός να βρίσκονται στην κατηγοριοποίηση πολύ υψηλής κατολισθητικής.

6.3. Επαλήθευση καταγεγραμμένων σημείων κατολισθητικών φαινομένων

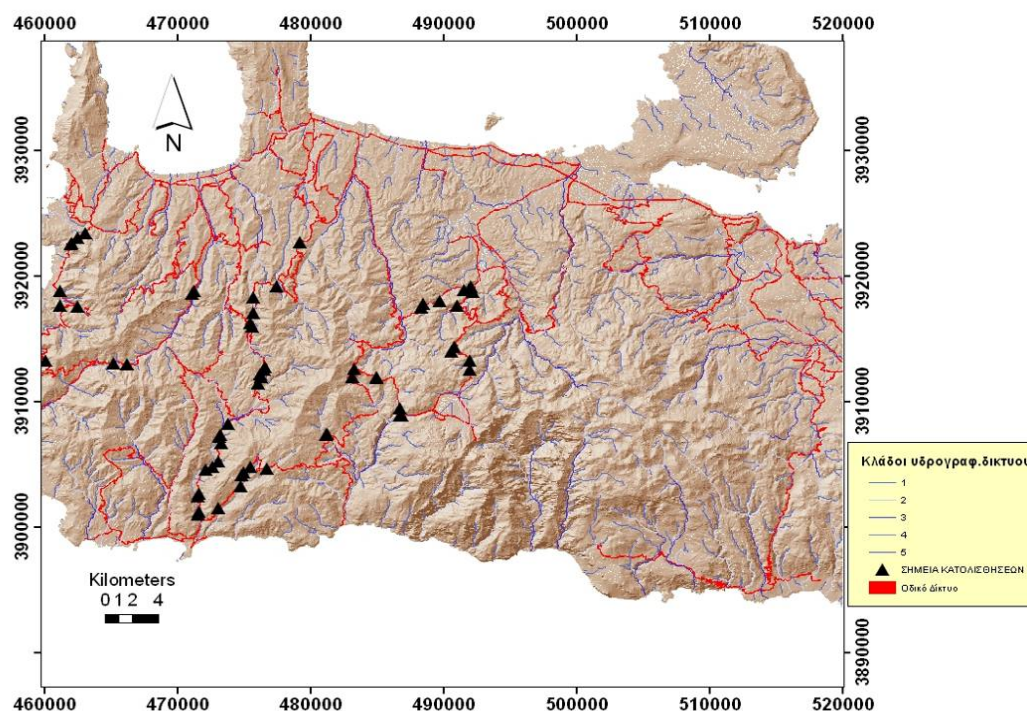
Από τους παραπάνω επιμέρους χάρτες LHI 1 και LHI 2 των περιοχών αθροίστηκαν τα σαράνταπέντε καταγεγραμμένα σημεία κατολισθητικών φαινομένων και η κατανομή τους παρουσιάζεται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18: Κατανομή καταγεγραμμένων σημείων κατολισθητικών φαινομένων σε χάρτες LHI 1 και LHI 2.

Τάξεις Επικινδυνότητας	Άθροισμα σημείων σε LHI 1	Άθροισμα σημείων σε LHI 2
Μέση	10	2
Υψηλή	23	15
Πολύ Υψηλή	12	28
Άθροισμα σημείων	45	45

Παρατηρείται πως στον χάρτη LHI 1 βρίσκονται 10 σημεία με κατολισθητικά φαινόμενα σε περιοχή που χαρακτηρίζεται με μέση επικινδυνότητα, ενώ αντίστοιχα στον LHI 2 υπάρχουν μόλις 2 τέτοια σημεία. Για την κατηγορία της υψηλής επικινδυνότητας υπάρχουν 23 σημεία στον LHI 1 και 15 στον LHI 2. Σημαντική διαφορά υπάρχει και στην τάξη της πολύ υψηλής επικινδυνότητας με 12 σημεία να απαντώνται στον χάρτη LHI 1 και 28 στον LHI 2.

Από την παραπάνω επαλήθευση κρίνεται πιο ακριβής ο χάρτης LHI 2.



Εικόνα 50: Υπέρθεση κύριου οδικού δικτύου, κλάδων υδρογραφικού δικτύου και καταγεγραμμένων σημείων κατολισθήσεων με το σκιασμένο ανάγλυφο.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τους χάρτες LHI 1 και LHI 2 που δημιουργήθηκαν για τον Ν. Χανίων 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 πρानών όπως και παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Γενικά για τον χάρτη LHI τα αποτελέσματα εξήχθησαν χωρίς τον παράγοντα των χρήσεων γης, δίνοντας έτσι βαρύτητα στους γεωμορφολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Στον χάρτη που προστέθηκε, ο εν πολλοίς ανθρωπογενούς φύσεως (π.χ. καλλιεργήσιμες- αδρεύσιμες εκτάσεις, οδικό δίκτυο) παράγοντας των χρήσεων γης, παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων, πιο συγκεκριμένα υπάρχει μια ελαφρώς μεγαλύτερη κάλυψη (5,1%) του οδικού δικτύου στην κατηγορία «πολύ υψηλής» και «υψηλής» επικινδυνότητας, κάτι αναμενόμενο αφού στις χρήσεις γης συμπεριλήφθηκε και το οδικό δίκτυο με την ζώνη επιρροής του 50 μέτρα εκατέρωθεν των δύο πλευρών του. Έτσι δικαιολογείται το ότι από την επαλήθευση με τα καταγεγραμμένα σημεία κατολισθητικών φαινομένων γενικά είχε μεγαλύτερη ακρίβεια ο LHI 2, καθότι αυτά βρίσκονταν επί του οδικού δικτύου. Ωστόσο σε κάποιες περιοχές συμπίπτουν κατά πολύ οι κατηγοριοποιήσεις μεταξύ των δύο χαρτών, π.χ. στις περιοχές του χάρτη της Παλαιόχωρας (εικόνες 44 και 45).

Παρατηρείται επίσης (εικ. 50) πως σε αρκετές περιοχές του Νομού συμπίπτουν εν πολλοίς το οδικό με το υδρογραφικό δίκτυο, διαμέσου περιοχών με έντονο ανάγλυφο, γεγονός που συντελεί στην δημιουργία εκτεθειμένων πρानών σε διάφορες μορφές διάβρωσης (καιρικές συνθήκες, επιφανειακές απορροές, κ.α.) αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες κατολισθητικών φαινομένων.

Αυτή η παρατήρηση δικαιολογείται από το γεγονός ότι η χάραξη του οδικού δικτύου σε ορεινές περιοχές ακολουθεί το εδαφικό ανάγλυφο, το οποίο διαμορφώνετε, μεταξύ άλλων, από τις φυσικές διεργασίες διάβρωσης από την επιφανειακή απορροή υδάτων. Επίσης λόγω της ύπαρξης πληθώρας φαραγγιών σε ολόκληρο τον Ν. Χανίων παρατηρείται πως σε προσβάσιμες οδικώς ημιορεινές περιοχές πραγματοποιείται η χάραξη οδικού δικτύου διάμεσο αυτών. (π.χ. Θέρισσος, Μεσαυλιά, Τοπόλια).

Συνοψίζοντας, οι χάρτες δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας που παράχθηκαν κρίνονται ικανοποιητικοί και 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 ευρεία πεδία όπως η δορυφορική τηλεπισκόπηση και η γεωδαισία, δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί αλάνθαστη κάποια μέθοδος υπολογισμού κατολισθητικής επικινδυνότητας, και ειδικά για μία τόσο ευρεία περιοχή μελέτης όπως ο Νομός Χανίων.

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Από βιβλίο:

Αλεξιάκης Δ., Κούλη Μ. (2005) , Σημειώσεις Εργαστηρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά .

Αστάρης Θ. κ.α. (2005), Διδακτικές Σημειώσεις στην Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ζήσου Α. (2007), Εισαγωγή στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGIS/ArcView, Εκδόσεις Σταμούλης.

Hamblin W.K. and Christiansen E.H. (2004), Earth's Dynamic Systems, Prentice Hall, Inc.

Κουτσόπουλος Κ., Ανδρουλάκης Ν. (2003), Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGIS, Εκδόσεις Παπασωτηρείου, Αθήνα.

Λέκκας Ε. (2000), Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές, Εκδόσεις Access, Αθήνα.

Μηλιαρέσης Γ. (2006), Ειδικές εφαρμογές στο ArcGIS, Εκδόσεις ΙΩΝ

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

Παπιομύτογλου Βαγγέλης (2006), Σαμαριά, το φαράγγι και τα Λευκά Όρη, Εκδόσεις Mediterraneo.

Σπανάκη, Σ. Γ.(1969), Η Κρήτη: Τουριστικός-Ιστορικός Αρχαιολογικός οδηγός, β' τόμος, εκδόσεις Βαγγέλη Απ. Σφακιανάκη, Ηράκλειο Κρήτης.

Strahler, A.N. (1957), Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Union 38.

Φασουλός Χ. (2000), Οδηγός υπαίθρου για τη Γεωλογία της Κρήτης. Εκδόσεις Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Κρήτης, Ηράκλειο.

Χατζηδημητριάδης Ελευθέριος (2001), Αλφαβητάρι Γεωλογικών Όρων, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη.

Από διδακτορική εργασία:

Μπλιωνά Μ. (2008), Ανάπτυξη βάσης δεδομένων κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο.

Από περιβαλλοντικές μελέτες:

Chang-Jo F.C., et al (1995), Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation

Kawabata D., Bandibas J. (2009), Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN)

Kouli M. et al (2007), Landslide Hazard Zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece

Koykis G., et al (2005), Landslide Hazard Zonation in Greece

Pandley A. et al (2007), Landslide Hazard Zonation using Remote Sensing and G.I.S.: a case study of Dikrong river basin, Arunachal Pradesh, India

A.K.Saha et al (2002), GIS – based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas

Wheatley et al (2002), Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS. London, New York, Taylor & Francis.

Από το Διαδίκτυο:

<http://support.esri.com>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η αρχή της υπέρθεσης των Πληροφοριακών Επιπέδων στα ΓΣΠ.

Εικόνα 2: Είδη επεξεργασίας σε διανυσματικά μοντέλα.

Εικόνα 3: Είδη επεξεργασίας σε μοντέλα κανάβου.

Εικόνα 4: Χάρτης γεωλογικών ενοτήτων νομού Χανίων.

Εικόνα 5: Κατολίσθηση στο Ν. Χανίων (περιοχή Πέτρας Σελί).

Εικόνα 6: Περιστροφικές ολισθήσεις κατά VARNES 1978: (α) βραχώδους υποβάθρου, (β) γαιών (εδαφικά)

Εικόνα 7: Γενική διάταξη των δένδρων στις περιστροφικές ολισθήσεις

Εικόνα 8: Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης.

Εικόνα 9: Τυπική κατάπτωση βράχων.

Εικόνα 10: Αμεση κατάπτωση (α) γαιών-εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση.

Εικόνα 11: Ροή κορημάτων.

Εικόνα 12: Κατολίσθηση στο Ν. Χανίων (περιοχή Πλάτανος Κισσάμου).

Εικόνα 13: Εκτόξευση σκυροδέματος σε πρανές στο οδικό δίκτυο Κανδάνου – Παλαιόχωρας.

Εικόνα 14: Το περιβάλλον εργασίας του ArcCatalog.

Εικόνα 15: Δημιουργία νέου σημειακού επιπέδου πληροφορίας (layer).

Εικόνα 16: Το περιβάλλον εργασίας του ArcMap.

Εικόνα 17: Το περιβάλλον των εργαλείων του ArcToolbox.

Εικόνα 18: Χάρτης κλίσης πρανών Ν. Χανίων.

Εικόνα 19: Χάρτης προσανατολισμού πρανών Ν. Χανίων.

Εικόνα 20: Χάρτης ΨΜΕ Ν. Χανίων.

Εικόνα 21: Παράδειγμα αρίθμησης υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

Εικόνα 22: Χάρτης των ταξινομημένων κατά Strahler κλάδων του υδρογραφικού δικτύου.

Εικόνα 23: Χάρτης χρήσεων γης του Ν. Χανίων.

Εικόνα 24: Χάρτης απόστασης από τα όρια γεωλογικών σχηματισμών Ν. Χανίων.

Εικόνα 25: Χάρτης βροχοπτώσεων Ν. Χανίων.

Εικόνα 26: Βαθμονομημένος χάρτης γεωλογικών ενοτήτων.

Εικόνα 27: Βαθμονομημένος χάρτης κλίσης πρανών.

Εικόνα 28: Βαθμονομημένος χάρτης προσανατολισμού πρανών.

Εικόνα 29: Βαθμονομημένος χάρτης σχετικού υψομέτρου.

Εικόνα 30: Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από επιφανειακές απορροές.

Εικόνα 31: Βαθμονομημένος χάρτης χρήσεων γης.

Εικόνα 32: Βαθμονομημένος χάρτης απόστασης από τα όρια γεωλογικών ενοτήτων.

Εικόνα 33: Βαθμονομημένος χάρτης κατανομής βροχοπτώσεων.

Εικόνα 34: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων άνευ συνυπολογισμού παράγοντα χρήσεων γης (LHI 1).

Εικόνα 35: Ιστόγραμμα συχνοτήτων LHI 1.

Εικόνα 36: Χάρτης δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας Ν. Χανίων με συνυπολογισμό παράγοντα χρήσεων γης (LHI 2).

Εικόνα 37: Ιστόγραμμα συχνοτήτων LHI 2.

Εικόνα 38: Χάρτης LHI 1 περιοχών Θερίσσου και Μουσούρων.

Εικόνα 39: Χάρτης LHI 2 περιοχών Θερίσσου και Μουσούρων.

Εικόνα 40: Κατολίσθηση στο οδικό δίκτυο Χανίων –Σούγιας, περιοχή Λάγγος.

Εικόνα 41: Χάρτης LHI 1 φαραγγιού Σαμαριάς.

Εικόνα 42: Χάρτης LHI 2 φαραγγιού Σαμαριάς.

Εικόνα 43: Προειδοποιητική σήμανση στο φαράγγι της Σαμαριάς.

Εικόνα 44: Χάρτης LHI 1 Παλαιόχωρας και πλησίον περιοχών.

Εικόνα 45: Χάρτης LHI 2 περιοχών Παλαιόχωρας και πλησίον περιοχών.

Εικόνα 46: Κατολίσθηση στο οδικό δίκτυο Παλαιόχωρα – Κάνδανος.

Εικόνα 47: Χάρτης LHI 1 περιοχών και Τοπολίων και Κανδάνου.

Εικόνα 48: Χάρτης LHI 2 περιοχών Τοπολίων και Κανδάνου.

Εικόνα 49: Προστατευτικά συρμάτινα δίκτυα στο φαράγγι των Τοπολίων.

Εικόνα 50: Υπέρθεση κύριου οδικού δικτύου, κλάδων υδρογραφικού δικτύου και καταγεγραμμένων σημείων κατολισθήσεων με το σκιασμένο ανάγλυφο.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διανυσματικών μοντέλων (vector).

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μοντέλων καννάβου (raster).

Πίνακας 3: Συχνότητα και σχετική συχνότητα διασποράς κατολισθήσεων στην Ελλάδα, σε σχέση με τις γεωλογικές ενότητες.

Πίνακας 4: Έκταση και ποσοστό κάλυψης γεωλογικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 5: Ταξινόμηση κατολισθητικών φαινομένων.

Πίνακας 6: Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης.

Πίνακας 7: Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης.

Πίνακας 8: Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων.

Πίνακας 9: Κατανομή της συχνότητας των κατολισθήσεων με βάση τις παραμέτρους που αφορούν τον μηχανισμό εκδήλωσης του φαινομένου στον Ελλαδικό χώρο.

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά ελληνικού προβολικού συστήματος αναφοράς ΕΓΣΑ'87

Πίνακας 11: Αποτέλεσμα παρεμβολής με την μέθοδο kriging

Πίνακας 12: Δεδομένα ύψους βροχόπτωσης από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Ν. Χανίων.

Πίνακας 13: Πίνακες βαθμονόμησης θεματικών επιπέδων.

Πίνακας 14: Κατανομή κάλυψης ζωνών δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας

Πίνακας 15: Τιμές δείκτη επικινδυνότητας LHI 1.

Πίνακας 16: Κατανομή κάλυψης ζωνών δείκτη κατολισθητικής επικινδυνότητας LHI 2

Πίνακας 17: Τιμές δείκτη επικινδυνότητας LHI 2

Πίνακας 18: Κατανομή καταγεγραμμένων σημείων κατολισθητικών φαινομένων σε χάρτες LHI 1 και LHI 2.