ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Δ.Π.Μ.Σ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο:

«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΧΙΟΝΟΣΤΙΒΑΔΕΣ ΣΤΟΝ ΌΛΥΜΠΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ»

Ψημμένου Δήμητρα

Μέτσοβο, Δεκέμβριος 2016

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Δ.Π.Μ.Σ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο:

«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΧΙΟΝΟΣΤΙΒΑΔΕΣ ΣΤΟΝ ΌΛΥΜΠΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ»

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 22/12/2016:

Δημήτρης Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Καράντζαλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Πολ Κολοκούσης, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Μέτσοβο, Δεκέμβριος 2016

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική διαπραγματεύεται το θέμα της πρόγνωσης των χιονοστιβάδων στον Όλυμπο. Το φαινόμενο των χιονοστιβάδων αποτελεί έναν άγνωστο κίνδυνο στην Ελλάδα, καθώς δεν αφορά τον πληθυσμό συνολικά. Αφορά κυρίως όσους «κινούνται» στα μεγάλα υψόμετρά κατά τους χειμερινούς μήνες και ασχολούνται με την ορειβασία και το ορειβατικό σκι ή τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων για τη λειτουργία χιονοδρομικών κέντρων. Αφορμή για την παρούσα διπλωματική εργασία στάθηκε η παρακολούθηση της διαδικασίας δημιουργίας προφίλ χιονιού από την Ελληνική ομάδα διάσωσης στο χιονοδρομικό κέντρο της Βασιλίτσας στα πλαίσια ενός εκπαιδευτικού σεμιναρίου για τις χιονοστιβάδες. Μέλη της ομάδας και ορειβάτες ενημέρωσαν για τον κίνδυνο των χιονοστιβάδων που ελλοχεύει και στα ελληνικά βουνά και της σημασία της πρόγνωσης του φαινομένου. Ωστόσο η πρόγνωση απαιτούσε την έκθεση στο πεδίο για τη δημιουργία προφίλ χιονιού και την εξέταση των συνθηκών. Την ίδια περίοδο μέσω του μεταπτυχιακού προγράμματος «Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών» ήρθα σε επαφή με την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών που έμοιαζαν να μπορούν να δώσουν μια απάντηση στην ερώτηση: « Θα μπορούσε να γίνει πρόγνωση χιονοστιβάδων χωρίς έκθεση των ορειβατών στο πεδίο?»

Μια αναζήτηση στο διαδίκτυο φανέρωσε την εκτεταμένη έρευνα που πραγματοποιείται στο εξωτερικό σε χώρες που πλήττονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από χιονοστιβάδες σε σχέση με την Ελλάδα. Η έρευνα στον τομέα των χιονοστιβάδων περιλαμβάνει δεκάδες διαφορετικές τεχνολογίες και εργαλεία όπως η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ. Η επιλογή της συγκεκριμένης διπλωματικής αποτελούσε μιας μορφής πρόκληση για εμένα μην έχοντας εμπειρία σε κάτι σχετικό ως βιολόγος ενώ ταυτόχρονα άνοιγε ένα παράθυρο δυνατοτήτων για την ενασχόληση με ένα πρόβλημα που αφορά τις ορεινές περιοχές. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου κ. Καράτζαλο που με ενθάρρυνε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος καθώς και για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Κολοκούση για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε καθοδηγώντας με με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τέλος να ευχαριστήσω τους κυρίους Μιχάλη Στύλλα (διδάκτορας Γεωλογίας και υπεύθυνος του καταφυγίου «Χρήστος Κάκκαλος») και Λάζαρο Μποτέλη (υπεύθυνος καταφυγίου «Γιώσος Αποστολίδης», Οδηγός Βουνού) για την παροχή των πρωτογενών δεδομένων (περιστατικών χιονοστιβάδων χωρικά και χρονικά καταγεγραμμένων) καθώς και την γνώση που μοιράστηκαν μαζί μου για τον Όλυμπο. Τέλος να ευχαριστήσω τον κ. Καρακώστα Θεόδωρο, καθηγητή ΑΠΘ και διευθυντή του εργαστήριου Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του ΑΠΘ, για την παραχώρηση των μετεωρολογικών δεδομένων από το σταθμό στον Όλυμπο.

Περίληψη

Στην Ελλάδα το πεδίο της πρόγνωσης των χιονοστιβάδων είναι ανεξερεύνητο, ενώ με το φαινόμενο αυτό και την πρόγνωση του ασχολούνται κυρίως οι ορειβάτες και οι χιονοδρόμοι, τους οποίους και αφορά άμεσα.

Οι χιονοστιβάδες ανήκουν στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών και επηρεάζονται από συνθήκες που αφορούν το κλίμα, τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά αλλά και το ανάγλυφο του βουνού. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια διατύπωσης μιας μεθόδου ικανής να αξιολογήσει την επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων τον Όλυμπο με τη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες βάσει αναγλύφου και ανάλυσης μετεωρολογικών δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα έγινε χρήση Τηλεπισκόπησης για την ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης στον Όλυμπο, που αποτελεί παράγοντα ο οποίος επηρεάζει το σχηματισμό χιονοστιβάδων. Επίσης συγκροτήθηκε ένας χάρτης επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες βάσει αναγλύφου, μέσω ενδιάμεσων χαρτών επικινδυνότητας που αφορούσαν το υψόμετρο, την εδαφοκάλυψη, την κλίση και την καμπυλότητα. Στη συνέχεια αποτυπώθηκαν στο χάρτη οι περιοχές όπου έχουν συμβεί χιονοστιβάδες και ελέγχθηκε η εγκυρότητα του χάρτη επικινδυνότητας. Για τα μετεωρολογικά δεδομένα εφαρμόστηκαν κανόνες στο excel που αφορούσαν τον υπολογισμό της επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση την εξέλιξη των καιρικών συνθηκών στο χρόνο και τα αποτελέσματα αποτυπώθηκαν σε διαγράμματα.

Τελικά έγινε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και εκτιμήθηκε ότι είναι φανερή η τάση της επικινδυνότητας να αυξομειώνεται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Η πλειοψηφία των καταγεγραμμένων χωρικά συμβάντων χιονοστιβάδων συμβαίνουν πράγματι σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας βάση αναγλύφου ενώ για τα χρονικά και χωρικά καταγεγραμμένα συμβάντα φαίνεται η αύξηση της επικινδυνότητας βάσει μετεωρολογικών συνθηκών στις ημερομηνίες που συνέβησαν.

Abstract

In Greece the field of forecasting avalanches is unexplored, while the prognosis of this phenomenon is done mostly by climbers and skiers, who are directly affected by this.

Avalanches belong in the category of natural disasters and are affected by conditions relating to the climate, the meteorological characteristics and the mountain terrain. In this thesis there is an attempt to formulate a method able to evaluate the risk of avalanches formatting on mountain Olympus in Greece, by creating risk maps for avalanches based on terrain and meteorological data analysis.

More specifically there was use of Remote Sensing for the classification of land cover in Olympus, which is a factor that affects the formation of avalanches, and a risk map for avalanches was created through intermediate risk maps about altitude, ground cover, slope and curvature parameters. Then the locations where avalanches have occurred were depicted on the map in order to validate the risk map. Rules were applied on the meteorological data in excel, in order to calculate the risk of avalanche formation based on the changes of the weather conditions over time and then the results were depicted in charts.

Finally there was an evaluation of the results and it was estimated to be evident the trend of risk increase or decrease according to the circumstances that were taken into account. The majority of the recorded spatial avalanche incidents occur in high-risk areas based on terrain risk map and for the spatially and temporally recorded events, it appears that the risk on the basis of meteorological conditions increases on the dates when the incidents occurred.

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο μελέτης

Οι χιονοστιβάδες είναι συμβάντα που αφορούν αποκλειστικά τις ορεινές περιοχές. Η Ελλάδα ως χώρα με ιδιαίτερη ορεινότητα και αρκετά βουνά άνω των 2000μ αντιμετωπίζει επίσης περιστατικά χιονοστιβάδων κάποια εκ των οποίων έχουν οδηγήσει στο παρελθόν σε σοβαρά ατυχήματα. Ωστόσο το πεδίο της έρευνας και πρόγνωσης χιονοστιβάδων στην Ελλάδα, είναι ουσιαστικά ανεξερεύνητο. Το γεγονός αυτό πιθανά οφείλεται στο ότι οι χιονοστιβάδες δεν απειλούν πληθυσμούς ή υποδομές και στην πραγματικότητα αφορούν μια μικρή ομάδα ανθρώπων οι οποίοι ασχολούνται με την ορειβασία ή τις χιονοδρομίες σε ελεύθερο πεδίο (εκτός χιονοδρομικών κέντρων), ή τους υπευθύνους για τη λειτουργία χιονοδρομικών κέντρων.

Το φαινόμενο των χιονοστιβάδων ανήκει στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών και συμβαίνει υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Το ανάγλυφο, η ποσότητα χιονιού που έχει ένα βουνό, ικανή να οδηγήσει στη δημιουργία χιονοστιβάδας καθώς και οι καιρικές συνθήκες αποτελούν βασικούς παράγοντες που καθορίζουν την πιθανότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων. Ταυτόχρονα, το ιστορικό μιας περιοχής, μιας πλαγίας ή ενός λουκιού στο να ¨κατεβάζει¨ χιονοστιβάδες αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα.

Η Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Τηλεπισκόπησης είναι ήδη διαδεδομένα εργαλεία για την πρόγνωση χιονοστιβάδων καθώς επιτρέπουν την ανίχνευση (Τηλεπισκόπηση) και την πρόγνωση (Χάρτες επικινδυνότητας) τέτοιων φαινομένων προσδίδοντας ακριβή χωρική διάσταση.

1.2 Δομή εργασίας

1.2.1 Παρουσίαση και ανάλυση του φαινομένου χιονοστιβάδα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια συγκρότησης μιας μεθόδου ικανής να αξιολογήσει τον κίνδυνο εμφάνισης χιονοστιβάδας στον Όλυμπο με συνδυασμό τηλεπισκοπικών μεθόδων, γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και πρωτογενών δεδομένων που αφορούν το ιστορικό σχηματισμού χιονοστιβάδων σε διαφορετικές περιοχές του Ολύμπου καθώς και καταγεγραμμένα χρονικά και χωρικά συμβάντα χιονοστιβάδων.

Ο Όλυμπος επιλέχθηκε ως το ψηλότερο βουνό καθώς έχει μόνιμη χιονοκάλυψη για τους χειμερινούς μήνες, υπάρχει χιονοδρομική και ορειβατική δραστηριότητα. Επιπλέον υπήρχαν πρωτογενή δεδομένα καθώς κατά τη χειμερινή περίοδο στον Όλυμπο δραστηριοποιούνται υπεύθυνοι διαχείρισης καταφυγίων και οδηγοί

βουνού, οι οποίοι έχουν καταγράψει περιστατικά χιονοστιβάδων τα οποία και διέθεσαν για τη συγκεκριμένη διπλωματική.

Αρχικά έγινε ανάλυση του φαινομένου των χιονοστιβάδων, της δομής τους, των χαρακτηριστικών τους και των παραγόντων που επηρεάζουν τη δημιουργία τους. Επιπλέον εξετάστηκε η περίπτωση των ελληνικών βουνών και ο κίνδυνος που αντιμετωπίζουν όσον αφορά τις χιονοστιβάδες. Παρατέθηκαν δεδομένα που αποδεικνύουν την ύπαρξη χιονοστιβάδων στα ελληνικά βουνά και τη σημασία εφαρμογής ενός συστήματος προειδοποίησης για τα ελληνικά βουνά με στόχο την προστασία κυρίως των χιονοδρόμων και των ορειβατών.

Στη συνέχεια έγινε μια ανασκόπηση σχετικά με τις μεθόδους πρόγνωσης και των διαφόρων εργαλείων και τεχνολογιών που έχουν χρησιμοποιηθεί στον τομέα της πρόγνωσης και ανίχνευσης χιονοστιβάδων.

1.2.2 Παρουσίαση της μεθόδου που εφαρμόστηκε

Αρχικά παρουσιάζεται ο χάρτης επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου του Ολύμπου ο οποίος προκύπτει από επιμέρους χάρτες που αφορούν την επικινδυνότητα βάσει υψομέτρου, κλίσεων, εδαφοκάλυψης και καμπυλότητας στο QGIS 2.14.0 που επιλέχθηκε ως ελεύθερο λογισμικό. Τα σημεία στα οποία είχε καταγραφεί εκκίνηση χιονοστιβάδων σύμφωνα με τα πρωτογενή δεδομένα απεικονίστηκαν χωρικά με στόχο την επαλήθευση της εγκυρότητας του χάρτη επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου σύμφωνα με τον οποίο οι περισσότερες συμβαίνουν στις περιοχές αυξημένης επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία χορηγήθηκαν από το Μετεωροσκοπείο ΑΠΘ, και για τα οποία εισήχθησαν κανόνες στο excel με στόχο την αξιολόγηση του κινδύνου σχηματισμού χιονοστιβάδας σύμφωνα με την εξέλιξη των καιρικών συνθηκών στο χρόνο και τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε γραφήματα. Τελικά αξιολογήθηκε η μέθοδος που εφαρμόστηκε και προτάθηκαν βελτιώσεις για την υιοθέτηση μιας μεθόδου πρόγνωσης χιονοστιβάδων για τα ελληνικά βουνά. Στόχος είναι η εξαγωγή ενημερωτικών δελτίων για χιονοστιβάδες ανοιχτών προς το κοινό με στόχο να καταστούν τα ελληνικά βουνά πιο ασφαλή και προσπελάσιμα και με άμεσο αποτέλεσμα την προστασία των ορειβατών αλλά και την τόνωση των ορεινών περιοχών με την ανάδειξη ελευθέρων πεδίων χιονοδρομίας.

Κεφάλαιο 2. Χιονοστιβάδες

2.1 Τι είναι οι Χιονοστιβάδες

Η χιονοστιβάδα είναι ένα φαινόμενο που περιλαμβάνει την ολίσθηση μιας μεγάλης μάζας χιονιού από την πλαγιά ενός βουνού. Αν και χιονοστιβάδες είναι δυνατόν να συμβούν σε οποιαδήποτε κλίση υπό συγκεκριμένες συνθήκες, ο κίνδυνος για τη δημιουργία χιονοστιβάδων είναι φυσικά αυξημένος για ορισμένες εποχές του έτους και σε ορισμένες θέσεις σε σχέση με άλλες. Κατά τη χειμερινή περίοδο για το βόρειο ημισφαίριο οι περισσότερες χιονοστιβάδες τείνουν να συμβούν από τον Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο. Ωστόσο, θάνατοι από χιονοστιβάδα σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν καταγραφεί για κάθε μήνα του έτους [22].

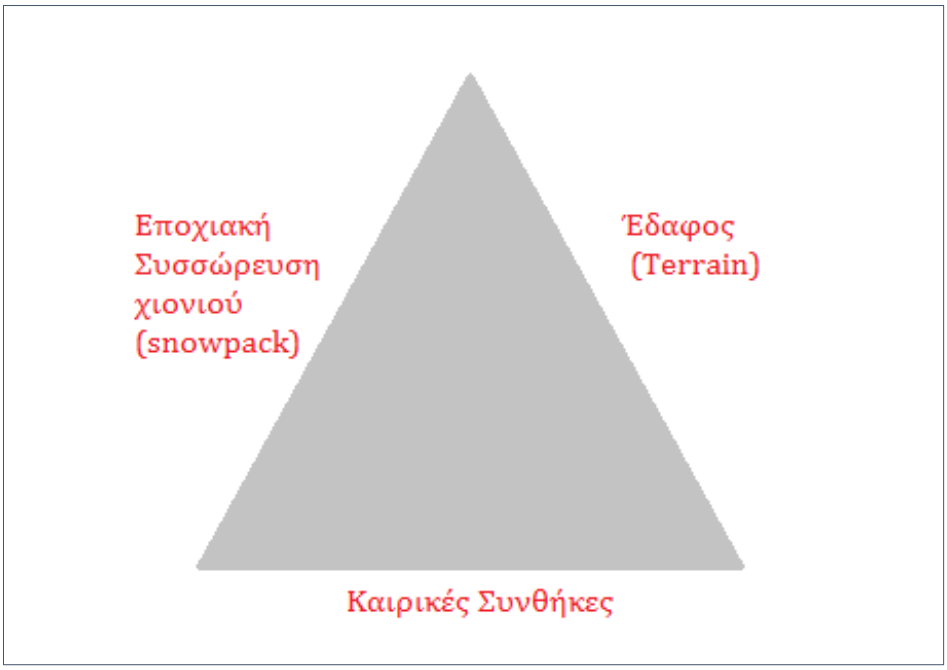
Οι βλαβερές συνέπειες των χιονοστιβάδων μπορεί να είναι εκτεταμένες ή περιορισμένες, Η χιονοστιβάδα ανήκει στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών. [23]. Στην Ελλάδα όπως θα γίνει σαφές παρακάτω οι χιονοστιβάδες δεν απειλούν ιδιαίτερα υποδομές και δίκτυα, αλλά αφορούν κυρίως ορειβάτες και χιονοδρόμους, είτε ελευθέρων πεδίων είτε χιονοδρομικών κέντρων

2.2 Πως δημιουργείται μια Χιονοστιβάδα

Το μόνο που χρειάζεται για τη γέννηση μιας χιονοστιβάδας είναι μια μάζα από χιόνι και μια επιφάνεια με κλίση στην οποία θα ολισθήσει. Σύμφωνα με το αμερικάνικο Εθνικό Κέντρο Δεδομένων Χιονιού και Πάγου (National Snow and Ice Data Center) ο τρόπος σχηματισμού μιας χιονοστιβάδας παρομοιάζεται με την ολίσθηση του στρώματος χιονιού σε ένα παρμπρίζ αυτοκινήτου υπό κατάλληλες συνθήκες. Συγκεκριμένα ενώ η θερμοκρασία παραμένει χαμηλή, το χιόνι κολλά στην επιφάνεια και δεν ολισθαίνει. Ωστόσο μόλις η θερμοκρασία αυξάνεται το χιόνι θα ολισθήσει επάνω στο παρμπρίζ, συχνά σε μικρές πλάκες. Αυτή είναι μια χιονοστιβάδα σε μικρογραφία. Φυσικά, στο βουνό οι συνθήκες που προκαλούν μια χιονοστιβάδα είναι πολύ πιο περίπλοκες. Μια μεγάλη χιονοστιβάδα στη Βόρεια Αμερική θα μπορούσε να απελευθερώσει 230.000 κυβικά μέτρα από χιόνι (ισοδύναμο με επιφάνεια αντίστοιχη 20 γηπέδων ποδοσφαίρου βάθους 3 μέτρων) [22].

2.2.1 Αλληλεπίδραση διαφορετικών παραγόντων στο σχηματισμό Χιονοστιβάδας

Ο σχηματισμός χιονοστιβάδας είναι μια σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ του στρώματος του χιονιού των καιρικών συνθηκών, και του εδάφους. Ωστόσο, λεπτομερείς παρατηρήσεις συνήθως μπορούν να γίνουν μόνο σε ένα συγκεκριμένο σημείο και πρέπει να επεκταθούν πάνω στην πλαγιά ή σε περιφερειακή κλίμακα. Γενικά για να συμβεί μια χιονοστιβάδα η στρωμάτωση/χιονοκάλυψη (snowpack) πρέπει να είναι ασταθής, γεγονός που προκαλείται από την άσκηση πίεσης από ένα βαρύ φορτίο χιονιού σε ένα εσωτερικό ασθενές στρώμα.



Εικόνα 1 Οι παράγοντες γενικά που παίζουν ρόλο στο σχηματισμό μιας Χιονοστιβάδας

2.2.2 Παράγοντες που ευνοούν το σχηματισμό χιονοστιβάδας

Διάφοροι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη δημιουργία χιονοστιβάδας, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών, της κλίσης, και του προσανατολισμού της πλαγιάς (αν η πλαγία έχει βόρειο ή νότιο, δυτικό ή ανατολικό προσανατολισμό), της κατεύθυνσης του ανέμου, του εδάφους (βραχώδες, γρασίδι, χώμα), της βλάστησης, και γενικά της στρωμάτωσης του χιονιού (snowpack). Διάφοροι συνδυασμοί αυτών των παραγόντων μπορεί να δημιουργήσουν συνθήκες χαμηλού, μέτριου, ή υψηλού κινδύνου για το

σχηματισμό χιονοστιβάδας. Μερικές από αυτές τις συνθήκες, όπως η θερμοκρασία και η δομή των στρωμάτων χιονιού (snowpack) μπορεί να αλλάξουν σε ημερήσια ή ωριαία βάση. Σημαντικό ρόλο παίζει γενικά και το κλίμα, το οποίο καθορίζει γιατί ορισμένες περιοχές του πλανήτη έχουν πολύ χιόνι, ενώ άλλες σε παρόμοια γεωγραφικά πλάτη όχι [22].

Κλίμα. Τα διάφορα είδη κλίματος διαφοροποιούνται ως προς το μέσο συνολικό βάθος του στρώματος του χιονιού (snowpack), τις μέσες θερμοκρασίες του χειμώνα, τη συχνότητα και τη μέση πυκνότητα των νέων χιονοπτώσεων.

Καιρικές συνθήκες. Αποτελούν τον πιο σημαντικό παράγοντα που μπορεί να καθορίσει την δημιουργία χιονοστιβάδας, και η εξέλιξη της διαστρωμάτωσης της εποχιακής συσσώρευσης χιονιού (snowpack) εξαρτάται εξ ολοκλήρου από αυτό. Γενικά ο τρόπος με τον οποίο επιδρούν οι καιρικές συνθήκες στην πρόκληση χιονοστιβάδων αναφέρεται παρακάτω:

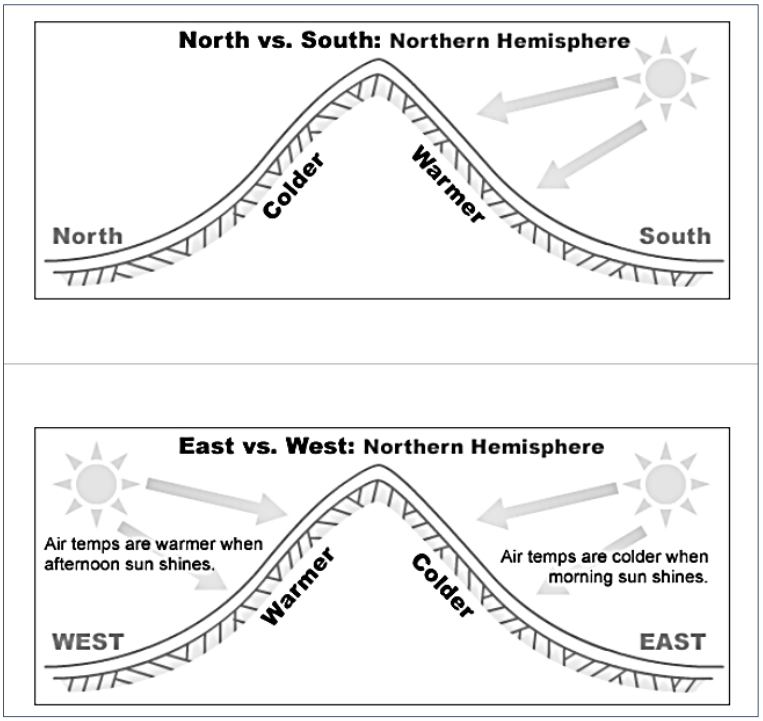
I. **Χιονοθύελλες (Ισχυροί άνεμοι με ταυτόχρονη χιονόπτωση)** : Περίπου το 80% όλων των χιονοστιβάδων συμβαίνουν κατά τη διάρκεια και λίγο μετά από χιονοθύελλες. Επιπλέον οι ισχυροί άνεμοι σχηματίζουν κορνίζες που αν αποκοπούν μπορούν να πυροδοτήσουν μια χιονοστιβάδα. Η κορνίζα είναι μια μάζα χιονιού η οποία εναποτίθεται με τον άνεμο και συχνά προεξέχει στην άκρη μιας απότομης πλαγιάς, ή μιας κορυφογραμμής.
II. **Χιονόπτωση**: Πτώση χιονιού 1 ίντσας (2,54cm) ανά ώρα ή περισσότερο, αυξάνει τον κίνδυνο χιονοστιβάδας.
III. **Θερμοκρασία**: Θύελλες που αρχίζουν με χαμηλές θερμοκρασίες και ξηρό χιόνι, τις οποίες ακολουθεί αύξηση της θερμοκρασίας και πιο υγρό χιόνι, είναι πιθανό να προκαλέσουν χιονοστιβάδες.
IV. **Βροχή**: Καταιγίδες και ανοιξιάτικες καιρικές συνθήκες με θερμούς ανέμους και ομιχλώδεις νύχτες μπορεί να ζεστάνουν το χιόνι με αποτέλεσμα την πρόκληση υγρών-ρευστών χιονοστιβάδων [24].

Εικόνα 2 Τύμφη – κορυφή Γκούρα , Απρίλιος 2016. Απόθεση χιονιού (κορνίζα), λόγω του ανέμου. Κίνδυνος να αποκοπεί πλάκα και να ξεκινήσει χιονοστιβάδα (κόκκινο βέλος). Πηγή! Προσωπικό αρχείο Θ. Πάντου

<u>Τερέν</u> : Οι περισσότερες χιονοστιβάδες συμβαίνουν σε πλαγιές βουνών με κλίση μεταξύ 30 και 45 μοίρες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στα ηπειρωτικά κλίματα ενώ στα συστήματα πρόβλεψης χιονοστιβάδων που αφορούν την Β. Αμερική υπάρχει και η κατηγορία του Ωκεάνιου κλίματος (Cfb και Cfc στην ταξινόμηση κατά Köppen) στο οποίο συνηθίζονται χιονοστιβάδες και σε πιο απότομες κλίσεις, μεταξύ 45 και 60 βαθμών. Ένας ακόμη παράγοντας είναι η εδαφοκάλυψη. Η τραχύτητα του εδάφους μπορεί να περιορίσει (ανώμαλα υποστρώματα) ή να ενισχύσει (λεία υποστρώματα) τον σχηματισμό χιονοστιβάδων. Διάφορες κατηγορίες εδαφοκάλυψης αποτελούν τα δάση, οι θαμνώδεις εκτάσεις, οι χορτολιβαδικές εκτάσεις, καθώς και το χώμα ή το βραχώδες έδαφος [25].

<u>Ο προσανατολισμός</u>: Η κατεύθυνση στην οποία προσανατολίζεται μια πλαγιά επηρεάζει το πόσες αποθέσεις χιονιού θα έχει λόγω του ανέμου αλλά και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτή. Μια πιο κρύα διαστρωμάτωση (snowpack) χιονιού τείνει να αναπτύξει πιο αδύναμα στρώματα σε σχέση με μια πιο ζεστή διαστρωμάτωση χιονιού. Μια κρύα διαστρωμάτωση (snowpack) αναπτύσσει συνήθως εμφανώς εύθραυστα και αδύναμα στρώματα, όπως

διάφορες πτυχές και την επιφανειακή πάχνη. Σε μεγάλο βαθμό λόγω του γεγονότος αυτού, η μερίδα του λέοντος των ατυχημάτων που αφορούν χιονοστιβάδες συμβαίνει στις βόρειες και ανατολικές πλαγιές (για το βόρειο ημισφαίριο) , εν μέρει και επειδή για τους σκιέρ οι πλαγιές αυτές έχουν ποιοτικά καλύτερο χιόνι και άρα οι άνθρωποι τείνουν να προκαλέσουν περισσότερες χιονοστιβάδες εκεί (triggering) αλλά κυρίως επειδή εκεί εμφανίζονται οι πιο αδύναμοι δεσμοί μεταξύ των στρώσεων χιονιού στο snowpack [26].



Εικόνα 3 Ο προσανατολισμός μιας πλαγιάς παίζει ρόλο στον σχηματισμό χιονοστιβάδας (Πηγή: http://www.fsavalanche.org/aspect)

<u>Ιδιότητες του snowpack (διαστρωμάτωση του συσσωρευμένου χιονιού)</u> : Το χιόνι πέφτει σε διαφορετικές πυκνότητες . Επίσης με τον καιρό μπορεί και να αλλάξει η δομή του. Ως αποτέλεσμα η διαστρωμάτωσή του συσσωρευμένου χιονιού (snowpack) τείνει να αποτελείται από έναν αριθμό στρωμάτων διαφορετικής σκληρότητας, αντοχής, και της συνοχής. Η σχέση μεταξύ κάθε στρώματος του snowpack είναι ένα βασικό στοιχείο για την πρόβλεψη της χιονοστιβάδας. Η μελέτη των ιδιοτήτων του snowpack ξεχωρίζει διαφορετικές κατηγορίες σωματιδίων χιονιού όπως :

- σωματίδια κατακρήμνισης,
- στρογγυλεμένους κόκκους
- πολυεδρικούς κόκκους.

2.2.3 Επίδραση των παραγόντων σε διαφορετική κλίμακα

Η αύξηση του νέου χιονιού οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας χιονοστιβάδας σε όλες τις κλίμακες, από μεμονωμένες διαδρομές (paths) έως και ολόκληρη την περιοχή. Περισσότερο νέο χιόνι οδηγεί σε περισσότερη πίεση που προστίθεται στο θαμμένα αδύναμα στρώματα αυξάνοντας έτσι τη δραστηριότητα χιονοστιβάδων. Σε αντίθεση με το νέο χιόνι, η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου είναι διαφορετική ανάλογα με την κλίμακα παρατήρησης. Στην κλίμακα των επιμέρους μονοπατιών (paths) χιονοστιβάδας, υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα. Αν και τα περισσότερα μονοπάτια κύλισης χιονοστιβάδων (slide paths) παρουσιάζουν μια αύξηση της πιθανότητας σχηματισμού χιονοστιβάδας με την αύξηση της του ανέμου, ορισμένα διαφορετικά μοτίβα προκύπτουν ανάλογα με την πορεία κάθε μονοπατιού. Κάποια εμφανίζουν πολύ μεγάλη αύξηση των πιθανοτήτων σχηματισμού χιονοστιβάδας ενώ αντίθετα, κάποια άλλα μονοπάτια ή διαδρομές εμφανίζουν μείωση πιθανότητας σχηματισμού χιονοστιβάδας με την αύξηση του ανέμου προφανώς επειδή η υψηλότερη ταχύτητα του ανέμου καθαρίζει αυτά τα μονοπάτια από το περιττό χιόνι. Άλλα εμφανίζουν αύξηση του φορτίου χιονιού που αποτίθεται σε ορισμένες κατευθύνσεις του ανέμου, και μείωση (καθαρισμός από το περιττό φορτίο χιονιού) σε άλλες κατευθύνσεις ανέμου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχει γενικά αυξημένη μεταβλητότητα ανάμεσα σε μεμονωμένες περιοχές όπως τα μονοπάτια κύλισης χιονοστιβάδων (slide paths) τα οποία ανήκουν σε ένα ευρύτερο πεδίο (πχ χιονοδρομικό κέντρο). Όπως και η ταχύτητα του ανέμου, η επίδραση της κατεύθυνσης του ανέμου είναι διαφορετική για διαφορετικές κλίμακες. Στην κλίμακα των επιμέρους διαδρομών κύλισης, οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου μπορούν να επηρεάσουν την πιθανότητα δραστηριότητας χιονοστιβάδας [1].

2.2.4 Πρόκληση χιονοστιβάδας– γεγονός που πυροδοτεί τη δημιουργία της (Triggering)

Η λέξη Trigger στα αγγλικά σημαίνει σκανδάλη. Όταν χρησιμοποιείται για φυσικές καταστροφές αφορά στο γεγονός που πυροδοτεί μια φυσική καταστροφή. Στην περίπτωση των χιονοστιβάδων είναι μια διαταραχή που προκαλεί ένα κάταγμα μέσα στην ασθενή στιβάδα της στρωμάτωσης του χιονιού (snowpack) προκαλώντας μια χιονοστιβάδα.

Οι περισσότερες χιονοστιβάδες ενεργοποιούνται από φυσικά αίτια όπως οι καιρικές συνθήκες (άνεμος, χιόνι, βροχή ή ήλιος) που στρεσάρουν την στρωμάτωση του χιονιού-snowpack σε οριακό σημείο. Στο 92% των ατυχημάτων από χιονοστιβάδα, η χιονοστιβάδα πυροδοτείται από το θύμα ή κάποιον στο ευρύτερο περιβάλλον. Συνεπώς οι καιρικές συνθήκες προσθέτουν

στρες στην στρωμάτωση του χιονιού με αποτέλεσμα μια μικρή δύναμη που μπορεί να ασκηθεί από κάποιον σκιέρ να παρέχει το τελικό πλήγμα που θα οδηγήσει σε χιονοστιβάδα [26].

2.3 Προβλήματα που προκαλούν οι χιονοστιβάδες

Από τη φύση τους, οι χιονοστιβάδες αποτελούν σημαντικό κίνδυνο μόνο σε ορεινές περιοχές όπου ευνοούνται από τις γεωγραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες . Οι καταστρεπτικές συνέπειες των χιονοστιβάδων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μπορεί να είναι εκτεταμένες ή περιορισμένες, ανάλογα με τους παράγοντες που τις προκάλεσαν. Αλλά ακριβώς όπως και στην περίπτωση των κατολισθήσεων, ένα ιδιαίτερα εντοπισμένο περιστατικό (που αφορά συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή) μπορεί να έχει συνέπειες πέρα από το άμεσο περιβάλλον του, ιδίως όταν οι συνδέσεις επικοινωνίας, όπως οι δρόμοι, σιδηρόδρομοι και τελεφερίκ διακοπούν ή οι υποδομές καταστραφούν (κτίρια, δίκτυο ηλεκτρισμού, δίκτυα τηλεπικοινωνιών, αγωγοί νερού ή αερίου, ή δεξαμενές τοξικών ή ρυπογόνων ουσιών). Συνεπώς για τις χώρες που βρίσκονται τακτικά υπό την απειλή αυτού του φαινόμενου είναι απαραίτητη η ύπαρξη φορέων για τη μελέτη και την πρόγνωση των χιονοστιβάδων έτσι ώστε να είναι σε θέση να διασφαλίσουν την ύπαρξη ενός συστήματος συναγερμού το οποίο θα συμβουλεύει τις τοπικές αρχές και τα υπεύθυνα όργανα για την ασφάλεια σε αυτόν τον τομέα [23].

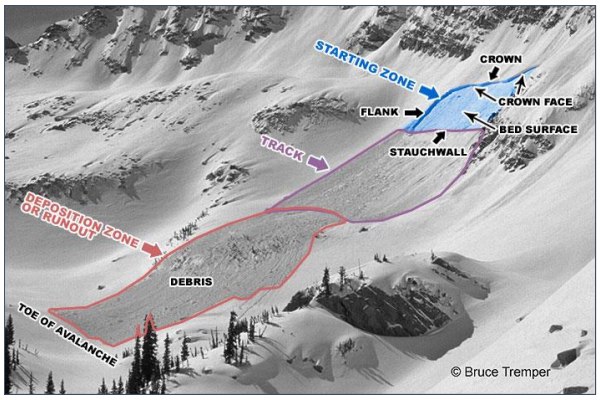
2.4 Δομή χιονοστιβάδας

<u>Μια χιονοστιβάδα έχει τρία κύρια μέρη</u>

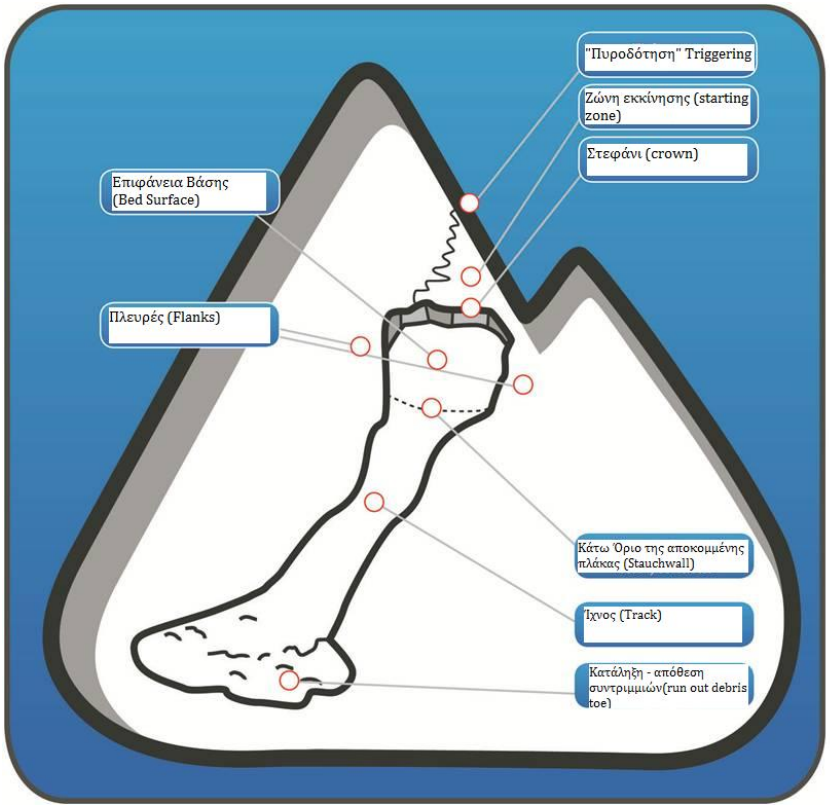
1. **Ζώνη εκκίνησης** (αγγλ. Starting zone) : είναι η πιο ασταθής περιοχή σε μια πλαγιά, όπου το ασταθές χιόνι υπάρχει περίπτωση να αποκοπεί από τη γύρω περιοχή και να αρχίσει να ολισθαίνει. Συνήθως οι ζώνες εκκίνησης είναι στα ψηλότερα σημεία μιας πλαγιάς. Ωστόσο το χιόνι εν δυνάμει μπορεί να «ραγίσει» σε κάθε σημείο μιας πλαγιάς.

2. **Διαδρομή** μιας χιονοστιβάδας (αγγλ. Track): είναι ο δρόμος ή το κανάλι στο οποίο μια χιονοστιβάδα κατηφορίζει. Περιοχές με κομμένα δέντρα κατά μήκος μιας πλαγιάς ή ξέφωτα (βλέπε εικόνα χ) είναι σημάδια ότι οι χιονοστιβάδες συμβαίνουν συχνά εκεί, δημιουργώντας τις δικές τους διαδρομές. Μπορεί επίσης να υπάρξει μια μεγάλη συσσώρευση του χιονιού με αποθέσεις δέντρων κλπ στο κάτω μέρος μιας πλαγιάς, υποδεικνύοντας επίσης παρουσία χιονοστιβάδων στη συγκεκριμένη πλαγιά.

3. **Περιοχή απόθεσης** (αγγλ. Deposition zone ή runout): είναι όπου το χιόνι μαζί με το υλικό που έχει παρασύρει (κομμένα δέντρα κλπ) θα καταλήξει. Συνεπώς είναι και η περιοχή όπου ο σωρός του χιονιού και του υλικού είναι μεγαλύτερος [22].



Εικόνα 4 Ανάλυση της διαδρομής μιας χιονοστιβάδας Πηγή : http://www.fsavalanche.org/runout-zone/



Εικόνα 5 Επιμέρους μέρη από τα οποία αποτελείται μια χιονοστιβάδα

Πηγή : http://www.avalanche.net.nz/education/online-avalanche-course/--Avalanche-Types.asp [27]

2.4.1 Διάκριση Χιονοστιβάδων με βάση την έκταση τους

Σύμφωνα με μέγεθος τους μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ δύο τύπων χιονοστιβάδων:

- Χιονοστιβάδες μεγάλης κλίμακας που προκαλούνται από πολύ έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες απειλούν τοποθεσίες, κτίρια και τους συνδέσμους επικοινωνίας στο σύνολο ή σε τμήματα μιας κοιλάδας . Αυτές οι χιονοστιβάδες δημιουργούνται αυθόρμητα στα ανώτερα τμήματα μιας πλαγιάς με βάσει τις μετεωρολογικές συνθήκες.
- Χιονοστιβάδες που περιορίζονται σε μικρότερες περιοχές, οι οποίες ως επί το πλείστο προκαλούνται από τον άνθρωπο κατά τη διάρκεια αθλητικών ή άλλων δραστηριοτήτων του [2] .

2.4.2 Διάκριση Χιονοστιβάδων με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους

- Χιονοστιβάδες πλάκας (Slab avalanches): Πιο κοινός τύπος των χειμερινών χιονοστιβάδων λόγω της συσσώρευσης φρέσκου χιονιού. Μια πλάκα είναι ένα συμπαγές στρώμα επιφανειακού χιονιού που μπορεί να αποκολληθεί από ένα πιο αδύναμο στρώμα χιονιού από κάτω. Η πλάκα γλιστρά προς τα εμπρός ως ένα ενιάιο τμήμα ή σπάει σε κομμάτια.
- Χιονοστιβάδες πούδρας (Powder avalanches): Συχνά ξεκινούν από ένα σημείο και συσσωρεύουν χιόνι καθώς αυτό κινείται προς τα κάτω στην πλαγιά διαμορφώνοντας ένα φαινόμενο χιονοστιβάδας. Αυτός ο τύπος είναι ο συνηθέστερος μετά από ισχυρές χιονοπτώσεις από μία ίντσα ανά ώρα ή περισσότερο και συχνά πάνω σε λεία επιφάνεια, μετά από βροχή ή παγετό. Χωρίς τη συνοχή με το στρώμα χιονιού από κάτω, το νέο χιόνι είναι πολύ βαρύ για να σταθεροποιηθεί. Αυτό το είδος χιονοστιβάδας αποκτήσει ταχύτητα μεταξύ 62 και 186 μιλίων ανά ώρα.
- Υγρές χιονοστιβάδες (Wet avalanches): Συχνά συμβαίνουν μετά από ένα κύμα ζέστης ή κατά τη διάρκεια της απόψυξης την άνοιξη. Το χιόνι γίνεται βαρύτερο, καθώς αρχίζει να μετατρέπεται σε νερό. Συμβαίνουν συχνά και είναι κατά κανόνα μικρές και γενικά πιο εύκολο να προβλεφθούν σε σχέση με τους άλλους τύπους [28].

Εικόνα 6 Τύπος Υγρής ανοιξιάτικης χιονοστιβάδας στην περιοχή Γκαβός του Ολύμπου Πηγή : Αρχείο Μιχάλη Στύλλα

Εικόνα 7 Χιονοστιβάδα πλάκας κάτω από το Στεφάνι (Πηγή: Αρχείο Λάζαρου Μποτέλη)

Κεφάλαιο 3. Ελληνικά βουνά και χιονοστιβάδες

3.1 Η περίπτωση της Ελλάδας

Η Ελλάδα, είναι μια κατά βάσιν ορεινή χώρα, στην οποία η έκταση των ορεινών κοινοτήτων καταλαμβάνει το 77,9% της χώρας γεγονός το οποίο καθιστά την Ελλάδα την πιο ορεινή χώρα της Ε.Ε. μαζί με την Αυστρία, ενώ σύμφωνα με την απογραφή της Ε.Σ.Υ.Ε. το 2001 το ποσοστό των ορεινών και ημιορεινών Δήμων και Κοινοτήτων ήταν 61,6% με έκταση ίση με το 71,3% της χώρας. Οι διαφορές αυτές στα ποσοστά οφείλονται στους διαφορετικούς ορισμούς που χρησιμοποιήθηκαν για την οριοθέτηση των ορεινών περιοχών [3] .

3.2 Χιονοδρομικός τουρισμός

3.2.1 Αύξηση της επισκεψιμότητας στα χιονοδρομικά κέντρα

Ενώ μέχρι πρότινος η κουλτούρα του χειμερινού τουρισμού δεν ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια φαίνεται ότι δραστηριότητες όπως το σκι ,το snowboard και η ορειβασία γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς. Συνεπώς ο αριθμός των ατόμων που προσεγγίζουν τα μεγάλα υψόμετρα κατά τη χειμερινή περίοδο φαίνεται να έχει αυξηθεί .

Η αυθημερόν επισκεψιμότητα στα χειμερινά θέρετρα αυξήθηκε την τελευταία διετία σε ποσοστό 20% και τα "snow buses" προκειμένου να ικανοποιήσουν τους επισκέπτες, είχαν προχωρήσει στην ενίσχυση των δρομολογίων τους προς αυτά κατά τουλάχιστον 50%.Ο τζίρος ανά επίσκεψη σε ένα από τα 18 χιονοδρομικά κέντρα -για εξοπλισμό, μεταφορά, διανυκτέρευση, διατροφή κ.ά.- υπολογίζεται, στα 100 ευρώ. Στο πλαίσιο αυτό, ο ετήσιος τζίρος στα χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα υπολογίζεται στα 50-60 εκατ. ευρώ, ενώ ο κλάδος αποδίδει άλλα 100 εκατ. ευρώ τουλάχιστον σε παρεμφερή επαγγέλματα που ασκούνται στις ορεινές περιοχές [20].

3.2.2 Σχέδιο ενίσχυσης του χειμερινού τουρισμού

Αν και δεν υπάρχουν ξεκάθαρα στατιστικά δεδομένα που να υποδηλώνουν αύξηση ή μείωση του αριθμού των ατόμων που επισκέπτονται το βουνό κατά τους χειμερινούς μήνες στην Ελλάδα, στο Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το Άρθρο 06 (Ειδικές–Εναλλακτικές Μορφές Τουρισμού), περιλαμβάνει πρόταση για την ανάδειξη του χιονοδρομικού τουρισμού [62]:

(Ε. 2) Χιονοδρομικός τουρισμός

Στρατηγικές κατευθύνσεις χωρικής οργάνωσης και ανάπτυξης:

• α. Εκσυγχρονισμός των εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένης πιθανής συμπλήρωσης, επέκτασης και αναβάθμισης της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών στα σημαντικότερα τουλάχιστον χιονοδρομικά κέντρα και ταυτόχρονη βελτίωση της ασφάλειας των υποδομών πρόσβασης (οδικό δίκτυο).

• β. Δημιουργία δικτύων διαδρομών ορειβατικού σκι σε υφιστάμενες δασικές οδούς και ορειβατικά μονοπάτια, κατά προτεραιότητα, σε ορεινά συγκροτήματα που δεν διαθέτουν χιονοδρομικά κέντρα, καθώς και γύρω από ορεινούς οικισμούς, οι οποίοι διαθέτουν ικανοποιητική υποδομή φιλοξενίας και εστίασης.

• γ. Ρυθμίσεις και κίνητρα για την προσέλκυση επενδυτών τουριστικών και συναφών δραστηριοτήτων στα υφιστάμενα χιονοδρομικά κέντρα.

• δ. Βελτίωση προσβασιμότητας με μέριμνα για την προστασία του περιβάλλοντος και του τοπίου.

ε. Ρυθμίσεις και κίνητρα για την εγκατάσταση Α.Π.Ε. σε χιονοδρομικά κέντρα κατά τις διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους [29].

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα στην Ελλάδα υπάρχουν 18 χιονοδρομικά κέντρα.

Πίνακας 1 Χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα Πηγή http://www.ski.gr/skicenters (ανακτήθηκε 01/09/2016) [30]

Χιονοδρομικό Κέντρο	**Πόλη - Νομός**	**Περιφερειακή Ενότητα**
Βίτσι	Καστοριά-Ν. Καστοριάς	Μακεδονία
Βασιλίτσα	Γρεβενά-Ν. Γρεβενών	Μακεδονία
Βίγλα –Πισοδέρι	Φλώρινα-Ν. Φλωρίνης	Μακεδονία
Καϊμακτσαλάν (Βόρρας)	Πέλλα - Ν. Πέλλας	Μακεδονία
3-5 πηγάδια	Νάουσα- Ν. Ημαθίας	Μακεδονία
Σέλι	Νάουσα- Ν. Ημαθίας	Μακεδονία
Ελατοχώρι	Κατερίνη-Ν. Πιερίας	Μακεδονία
Λαϊλά	Σέρρες-Ν. Σερρών	Μακεδονία
Φαλακρό	Δράμα-Ν. Δράμας	Μακεδονία
Μέτσοβο	Ιωάννινα-Ν. Ιωαννίνων	Ήπειρος
Ανήλιο	Ιωάννινα-Ν. Ιωαννίνων	Ήπειρος

Όλυμπος (βάση ορεινής εκπαίδευσης καταδρομέων)	Λάρισα-Ν. Λάρισας	Θεσσαλία
Πήλιο	Βόλος-Ν. Μαγνησίας	Θεσσαλία
Καλαβρύτων	Καλάβρυτα-Ν. Αχαΐας	Πελοπόννησος
Ζηρείας	Κόρινθος-Ν. Κορινθίας	Πελοπόννησος
Μαινάλου	Τρίπολη-Ν. Αρκαδίας	Πελοπόννησος
Παρνασσού	Λιβαδειά -Ν. Βοιωτίας	Στερεά Ελλάδα
Βελούχι	Καρπενήσι-Ν.Ευρυτανίας	Στερεά Ελλάδα

3.3 Χιονοστιβάδες στα ελληνικά βουνά

Στην Ελλάδα, ο κίνδυνος των χιονοστιβάδων αφορά κυρίως εκείνους που ασχολούνται με την ορειβασία, το ορειβατικό σκί ή τους υπευθύνους για την λειτουργία χιονοδρομικών κέντρων σε αντίθεση με πιο βόρειες και ορεινές περιοχές του πλανήτη όπου όπως αναφέρθηκε και πιο πριν προκαλούν συν τοις άλλοις και εκτεταμένα προβλήματα στις υποδομές, την τηλεπικοινωνία και τις μεταφορές.

Εικόνα 8 Μονοπάτι Χιονοστιβάδας στον Όλυμπο (φωτο. Nikos Bartsotas)

3,2.1 Ατυχήματα που από χιονοστιβάδες

Ένα από τα μεγαλύτερα δυστυχήματα συνέβη το 1976 στον Όλυμπο με απολογισμό έξι νεκρούς ορειβάτες που είχαν καταπλακωθεί από χιονοστιβάδα ενώ τον Ιανουάριο του 1998 άλλοι δύο σκοτώθηκαν στον Όρβηλο. Στο Μαίναλο της Αρκαδίας στις 13/02/2005 ,μια χιονοστιβάδα μικρής έκτασης κόστισε τη ζωή σε 5 ορειβάτες [31].

Το ατύχημα συνέβη από χιονοστιβάδα τύπου πλάκας καθώς η 28μελής ομάδα επέστρεφε από την κορυφή του Μαινάλου. Συνολικά παρασύρθηκαν και εγκλωβίστηκαν, ολικώς ή μερικώς, από μεγάλες ποσότητες χιονιού, 19 άτομα, μεταξύ των οποίων και ο αρχηγός της ανάβασης [63].

Επίσης το Φεβρουάριο του 2013 στο Καρπενήσι χιονοστιβάδα έπεσε τη στιγμή που μέλη συνεργείου της ΔΕΗ στην Ευρυτανία, κινούνταν στο δρόμο για Φουρνά, στην θέση Βράχο. Το όχημα τους θάφτηκε στο χιόνι ενώ τα μέλη του συνεργείου αφού το εγκατέλειψαν έγκαιρα βρήκαν καταφύγιο στην προστατευτική σήραγγα που βρίσκεται στο σημείο [21].

Εικόνα 9 Στιγμιότυπο βίντεο από κάμερα go pro, σκιέρ στη Βασιλίτσα, που δείχνει χιονοστιβάδα (βλ. βέλος) να κατεβαίνει (Πηγή: youtube.com)

3.2.2 Αίτια θανάτου από χιονοστιβάδα

Μελέτες για την κύρια αιτία θανάτου από χιονοστιβάδα, φανερώνουν ότι μεγαλύτερο ποσοστό από το 80% οφείλεται σε ασφυξία, ένα μικρότερο ποσοστό σε συνδυασμό ασφυξίας και τραυματισμού και ενώ σπανιότερα οφείλεται κυρίως σε τραυματισμό (κυρίως τα τραύματα στο κεφάλι).

Σύμφωνα με έρευνα που έλαβε χώρα στη Utah των ΗΠΑ, οι περισσότεροι θάνατοι προκαλούνται από ασφυξία. Ως εκ τούτου, τα περισσότερα θύματα είναι ζωντανοί για κάποιο χρονικό διάστημα και έχουν τη δυνατότητα για ανάκαμψη. Με σωστές στρατηγικές διάσωσης, καθώς και με τεχνικές που παρατείνουν την επιβίωση, ενώ τα θύματα είναι ακόμη θαμμένα στο χιόνι μπορεί να μειωθεί ο αριθμός ων θυμάτων [4] .

Κεφάλαιο 4 Μέθοδοι πρόγνωσης και μέτρα αποφυγής ατυχημάτων από χιονοστιβάδες

Η πρόγνωση των χιονοστιβάδων είναι απαραίτητη σε κατοικημένες ορεινές περιοχές που πλήττονται από αυτές καθώς και σε μέρη στα οποία υπάρχει χιονοδρομική ή ορειβατική δραστηριότητα. Για την πρόβλεψη των χιονοστιβάδων αλλά και για την ανίχνευση τους με στόχο την διατήρηση ιστορικού χιονοστιβάδων για μια περιοχή, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες και μέθοδοι ή συνδυασμός αυτών. Στη διεθνή βιβλιογραφία διακρίνονται πολλές προσεγγίσεις που αφορούν την έρευνα πάνω στις χιονοστιβάδες. Ταυτόχρονα πολλές χώρες της Βορείου Αμερικής και της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης διατηρούν συστήματα προειδοποίησης των πολιτών για την δραστηριότητα χιονοστιβάδων με τη βοήθεια διαδραστικών χαρτών και δελτίων προειδοποίησης.

4.1 Έρευνα και τεχνολογίες

Η επιστημονική έρευνα για τις χιονοστιβάδες είναι σχετικά σύγχρονη, αλλά βρίσκεται σε συνεχή και ταχεία εξέλιξη, καθώς οι πολλαπλές ειδικότητες που εμπλέκονται στην ανάπτυξή της έχουν γίνει πιο εξειδικευμένες και πιο τεχνικές. Υπάρχει μια σημαντική αύξηση από το έτος 2000 στον αριθμό των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας που εκδίδονται ετησίως και σχετίζονται με τις χιονοστιβάδες.

Σχεδόν το σύνολο της έρευνας που διεξάγεται για τις χιονοστιβάδες χρησιμοποιεί κάποιο είδος τεχνολογίας, τεχνικής ή οργάνων. Συνολικά όλες οι τεχνολογίες και τα όργανα που έχουν χρησιμοποιηθεί και σχετίζονται με τις χιονοστιβάδες (πρόβλεψη, ανίχνευση, χαρτογράφηση, διαχείριση κίνδυνου κ.α) αναφέρονται παρακάτω:

- Αυτόματη ακουστική ανίχνευση - Automatic acoustic detection
- Αυτόματη ψηφιακή φωτογραφία - Automatic digital photography
- Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί - Automatic Weather Stations

- Δυναμικά μοντέλα χιονοστιβάδας - Avalanche dynamics models
- Δενδροδιάγραμμα αποφάσεων και μοντέλα που βασίζονται στη γνώση - Decision trees and knowledge-based models
- Ψηφιακή εικόνα - Digital image
- Ψηφιακός σαρωτής - Digital scanner
- Ηλεκτρονικοί αισθητήρες Electronic sensors
- Ανίχνευση ιδιαίτερα χαμηλής συχνότητας - ELF Extreme Low Frequency detection
- Διευρυμένο φίλτρο Kalman- Extended Kalman Filter,
- FMCW ραντάρ υψηλής συχνότητας μικροκυμάτων - FMCW Radars High Frequency Microwave
- Γκαουσιανά αθροιστικά SOGS Φίλτρα - Gaussian sums Filter SOGS
- Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - GIS Geographic Information Systems
- Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης - Global Position System GPS
- Βίντεο υψηλής ταχύτητας
- Εικόνες MODIS Φασματοφωτομέτρο Μέτριας Ανάλυσης – Images MODIS Moderate Resolution Spectroradiometer
- Εικόνες από τα δορυφορικά κανάλια X και Ku - Images X and Ku band satellite
- Αισθητήρες πίεσης των επιπτώσεων - Impact pressure sensors
- Δείκτες
- Υπόηχοι - Infrasound
- Τεχνικές αντίστροφης ανάλυσης - Inverse analysis techniques,
- Αποστασιόμετρο Laser - Laser rangefinder
- Ραντάρ διείσδυσης γης Χαμηλής συχνότητας - Low Frequency Radar penetrating earth (GPR)
- Μικροτομογραφία, 3D μικροτομογραφία, ακτίνες-X - Microtomography, 3D computed microtomography X-ray
- Εικόνες μικροκυμάτων - Microwave images
- Ραδιομετρία μικροκυμάτων - Microwave radiometry
- Αριθμητικά μοντέλα στρωματογραφίας, Αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης - Numerical models of stratigraphy, Numerical prediction models
- Μέτρηση της οπτικής ανάκλασης σε μήκη κύματος κοντά στο υπέρυθρο – Optical reflectance measurement wavelengths near infrared
- Οπτικοακουστική Φασματομετρία - Optoacoustic Spectrometry
- Μετρητές διείσδυσης και μικρο-μετρητές διείσδυσης – Penetrometers micropenetrometers
- Πιθανοτικά μοντέλα των χιονοστιβάδων – Probabilistic models of avalanches
- Doppler ραντάρ - Pulsed Doppler Radar,
- Εικόνες ραντάρ, LISA GB-SAR Radar Images, LISA, GB-SAR

- LIDAR
- Βροχόμετρο υψηλής ακρίβειας - Rain gauge high precision
- Μη επανδρωμένα αεροσκάφη - Drones
- Τηλεπισκόπηση
- Πομποδέκτες διάσωσης - Rescue transceivers
- Μικροσκοπία σάρωσης ηλεκτρονίων - Scanning electron
- Σεισμικούς αισθητήρες
- Σεισμόμετρα
- Ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση - SLAM Simultaneous Localization and Mapping
- Λογισμικό
- Διαστημικά συστήματα διαχείρισης κινδύνων
- Χωρικά πρότυπα,
- Στατιστικές μέθοδοι - Tachymetry
- Επίγειοι σαρωτές λέιζερ
- Ανακλομετρία χρονικού πεδίου – Time Domain Reflectometry
- Παραστάσεις χρόνου-συχνότητας
- Εικονικό δίκτυο μοντέλων - Virtual network models {5}

4.2 Μέθοδοι για την πρόγνωση χιονοστιβάδων

1. **Τηλεπισκόπηση**: Σε αντίθεση με τη συλλογή δεδομένων πεδίου από εμπειρογνώμονες στον τομέα, που έχουν περιορισμένη κάλυψη, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούν να παρέχουν άμεσα διαθέσιμες και ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και την έκταση των γεγονότων χιονοστιβάδας που είναι σημαντικά για την πρόγνωση, και την εκτίμηση της ασφάλειας των υποδομών και των χιονοδρομικών κέντρων.
   Έχουν σχεδιαστεί διαφορετικές μεθοδολογίες όσον αφορά τη χρήση τηλεπισκόπησης στον τομέα της πρόγνωσης και ανίχνευσης χιονοστιβάδων
   Η χρήση οπτικών δεδομένων τηλεπισκόπησης υψηλής χωρικής και ραδιομετρικής ανάλυσης παρέχει τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης και συστηματικής ανίχνευσης και χαρτογράφησης αποθέσεων χιονοστιβάδας σε πιο ευρεία περιοχή σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου [6].
   Απομονωμένα περιστατικά καταστροφικών χιονοστιβάδων έχουν χαρτογραφηθεί και με τη χρήση οπτικών δεδομένων από τον δορυφόρο Quickbird [7] καθώς και με δεδομένα από τους ERS και SAR.
   Πλέον χρησιμοποιούνται drone (μη επανδρωμένα αεροσκάφη) με υψηλή χωρική και ραδιομετρική ανάλυση, με αισθητήρες που είναι σε θέση να ανιχνεύσουν μικρές μεταβολές στο χιόνι, όπως ο pushbroom σαρωτής ADS40-SH52, της Leica Geosystems που έχει χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση αποθέσεων χιονοστιβάδων στην Ελβετία, και διαθέτει υψηλή

χωρική ανάλυση με ένα δυναμικό εύρος 12 bits σε πέντε φασματικές ζώνες και σε τρεις γωνίες παρατήρησης.

2. **Radar**: Τα ραντάρ Διαμορφωμένης Συχνότητας Συνεχούς Κύματος (FMCW, Frequency Modulated Continuous Wave), χρησιμοποιήθηκαν στο πεδίο της έρευνας του χιονιού τα τελευταία 30 χρόνια. Η τεχνολογία των ραντάρ παρέχει μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση όσον αφορά μετρήσεις, όπως το βάθος χιονιού, το οποίο μπορεί να μετρηθεί γρήγορα και αποτελεσματικά αποφεύγοντας τους κινδύνους του πεδίου.

   Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των FMCW radar είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ελαφριών φορητών οργάνων, σε αντίθεση με τα προηγούμενα συστήματα που αδυνατούσαν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις αποτελεσματικά. Έτσι η νέα αυτή τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα χαρτογράφησης των ιδιοτήτων του snowpack (διαστρωμάτωση συσσωρευμένου χιονιού) , όπως το βάθος, το ισοδύναμο νερού-χιονιού (SWE), καθώς και η στρωματογραφία, γρήγορα σε μεγάλες αποστάσεις, σε υψηλή ανάλυση [8] .

3. **Μοντέλα προσομοίωσης** (για την προσομοίωση της στρωμάτωσης του χιονιού με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων): Έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά και διαφορετικά αριθμητικά μοντέλα για την προσομοίωση της στρωμάτωσης του χιονιού με τη βοήθεια μετεωρολογικών δεδομένων. Η αλυσίδα αριθμητικών μοντέλων SAFRAN-SURFEX / isba-Crocus- MEPRA (S2M) χρησιμοποιείται τους υπευθύνους για την πρόγνωση χιονοστιβάδων στη Γαλλία για να εκτιμηθεί η άμεση η μελλοντική επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδας σε περιοχές θεωρείται ότι είναι μετεωρολογικά ομοιογενείς (ορεινοί όγκοι), κυρίως ως συνάρτηση του υψομέτρου. [9]. Τα μοντέλα μπορούν να παρέχουν διορατικότητα ως προς το πώς εξελίσσεται η διαστρωμάτωση του χιονιού μέσα στο χρόνο. Το μοντέλο SNOSS μπορεί επίσης να παρέχει μια εκτίμηση της σταθερότητας του χιονιού [10] .

4. **Υπόηχοι, υπέρηχοι** Η αυτόνομη ανίχνευση και ο εντοπισμός των χιονοστιβάδων καθώς και η διαβίβαση της πληροφορίας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα υποηχητικά σήματα που παράγονται από τις χιονοστιβάδες που είναι ως επί το πλείστον στην περιοχή των 1-5 Hz. Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την ανίχνευση χιονοστιβάδων από τον ήχο που παράγουν καθώς και τη μελέτη των σωματιδίων που τις αποτελούν (οι συνιστώσες της ταχύτητας των σωματιδίων που καταγράφονται με τη μέθοδο διαφορά πίεσης) [12]. Υπόηχοι που δημιουργούνται από μια χιονοστιβάδα κινούμενη καθοδικά μπορεί να ανιχνευθούν και να παρακολουθούνται με τη χρήση τεχνικών επεξεργασίας σήματος. Το σύστημα επεξεργάζεται τα δεδομένα υποήχων επί τόπου, και αυτομάτως ανιχνεύει τα γεγονότα χιονοστιβάδων, και κατηγοριοποιεί τα συμβάντα με τη χρήση πολλαπλών νευρωνικών δικτύων. Εάν έχει ανιχνευθεί μια χιονοστιβάδα, το σύστημα

θα διαβιβάσει τις αναγκαίες πληροφορίες μέσω δορυφόρου μέχρι να προβληθούν από τους υπεύθυνους διενέργειας προβλέψεων χιονοστιβάδων σε μια ιστοσελίδα [2].

5. **Η συμβατική-εμπειρική μέθοδος πρόγνωσης** χιονοστιβάδων αναφέρεται στην πρόγνωση της τρέχουσας και μελλοντικής σταθερότητας του χιονιού με τη βοήθεια των πληροφοριών και των δεδομένων από διαφορετικές πηγές σε μεγάλο βαθμό χωρίς τη βοήθεια των αναλυτικών τεχνικών (τυπικές αριθμητικές διαδικασίες) ή κωδικοποιημένη συμβολική λογική (π.χ. εμπειρικά συστήματα). Στην πράξη η συμβατική πρόγνωση απαρτίζεται από την αφομοίωση των σχετικών πληροφοριών (μετρήσεις, παρατηρήσεις, δελτία καιρού) και τη χρήση αυτών για το σχηματισμό ενός δελτίου πρόγνωσης που βασίζεται στην εμπειρία, τη διαίσθηση και την τοπική γνώση μιας ορεινής περιοχής. Η συμβατική μέθοδος είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την πρόγνωση της σταθερότητας του χιονιού και θεωρείται και η πιο επιτυχημένη. Έχει το πλεονέκτημα της χρήσης του ανθρώπινου μυαλού ως υπολογιστή που αφομοιώνει τα δεδομένα από όλες τις πηγές, αριθμητικά δεδομένα, την εμπειρία του ατόμου που κάνει την πρόγνωση, τη γνώση και προσωπικές παρατηρήσεις. Σε αντίθεση τα απολύτως βασιζόμενα σε υπολογιστικές μεθόδους συστήματα πρόγνωσης συνήθως εξαναγκάζονται να παραλείψουν σημαντικές πηγές δεδομένων. Το μειονέκτημα ωστόσο της συμβατικής μεθόδου πρόγνωσης χιονοστιβάδων είναι η έλλειψη αντικειμενικότητας και ο χρόνος που χρειάζεται ώστε να αποκτήσει το άτομο την γνώση τεχνικών πρόγνωσης που βασίζονται κυρίως στην εμπειρία. Επιπλέον υπάρχει μια άνιση ποιότητα και μια αβεβαιότητα σε σχέση με τις υπολογιστικές μεθόδους, όταν η πρόγνωση στηρίζεται εξ ολοκλήρου στην ανθρώπινη νοημοσύνη και διαίσθηση [17].
6. **Χάρτες επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου.** Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) προτείνεται για τη χαρτογράφηση της επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων σε έναν ορεινό όγκο. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στο χάρτη ταξινομούν τις ευαίσθητες ζώνες για το σχηματισμό χιονοστιβάδων σε τέσσερις κατηγορίες: χαμηλής επικινδυνότητας, μέτριας, υψηλής και πολύ υψηλής. Η μεθοδολογία αυτή προορίζεται να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για την παραγωγή των μελλοντικών χαρτών επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες όπου η μέθοδος κρίνεται κατάλληλη. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για τη δημιουργία μοντέλου που εμφανίζει τις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων με τη βοήθεια πολυκριτιριακής ανάλυσης τεσσάρων μεταβλητών:
   I. υψόμετρο της περιφερειακής ισόθερμης καμπύλης των 0 ° C για τους χειμερινούς μήνες
   II. κλίση

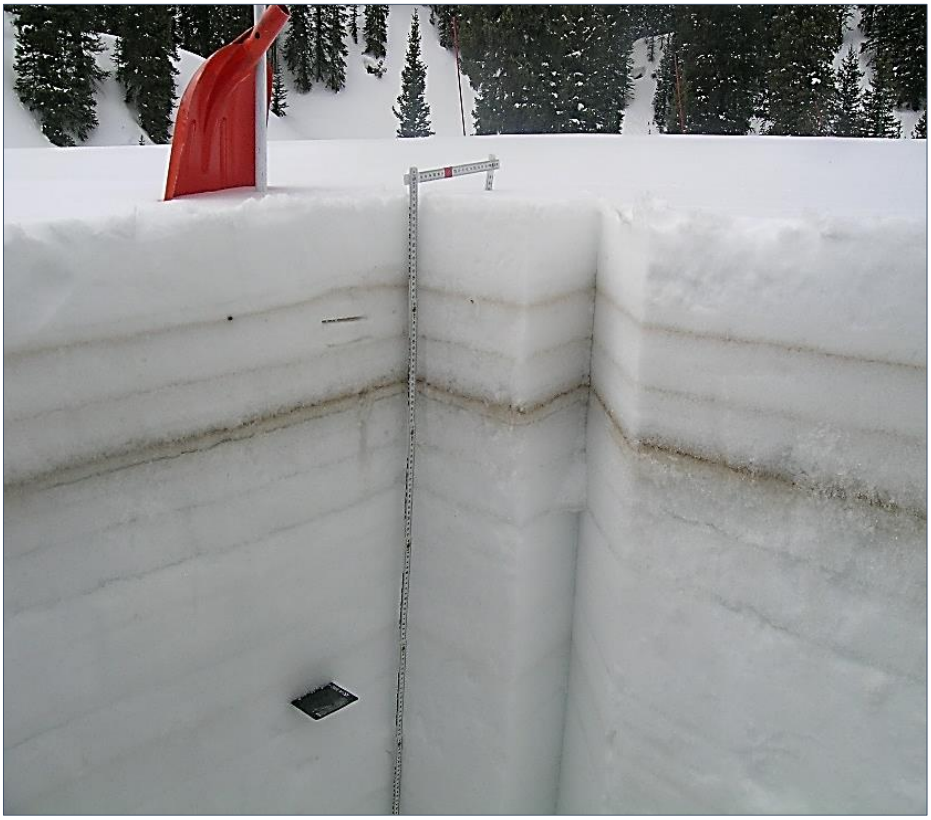
III. κάλυψη του εδάφους
IV. μορφολογία του πρανούς (καμπυλότητα) [12].

4.2.1 Αξιολόγηση των συνθηκών στο πεδίο

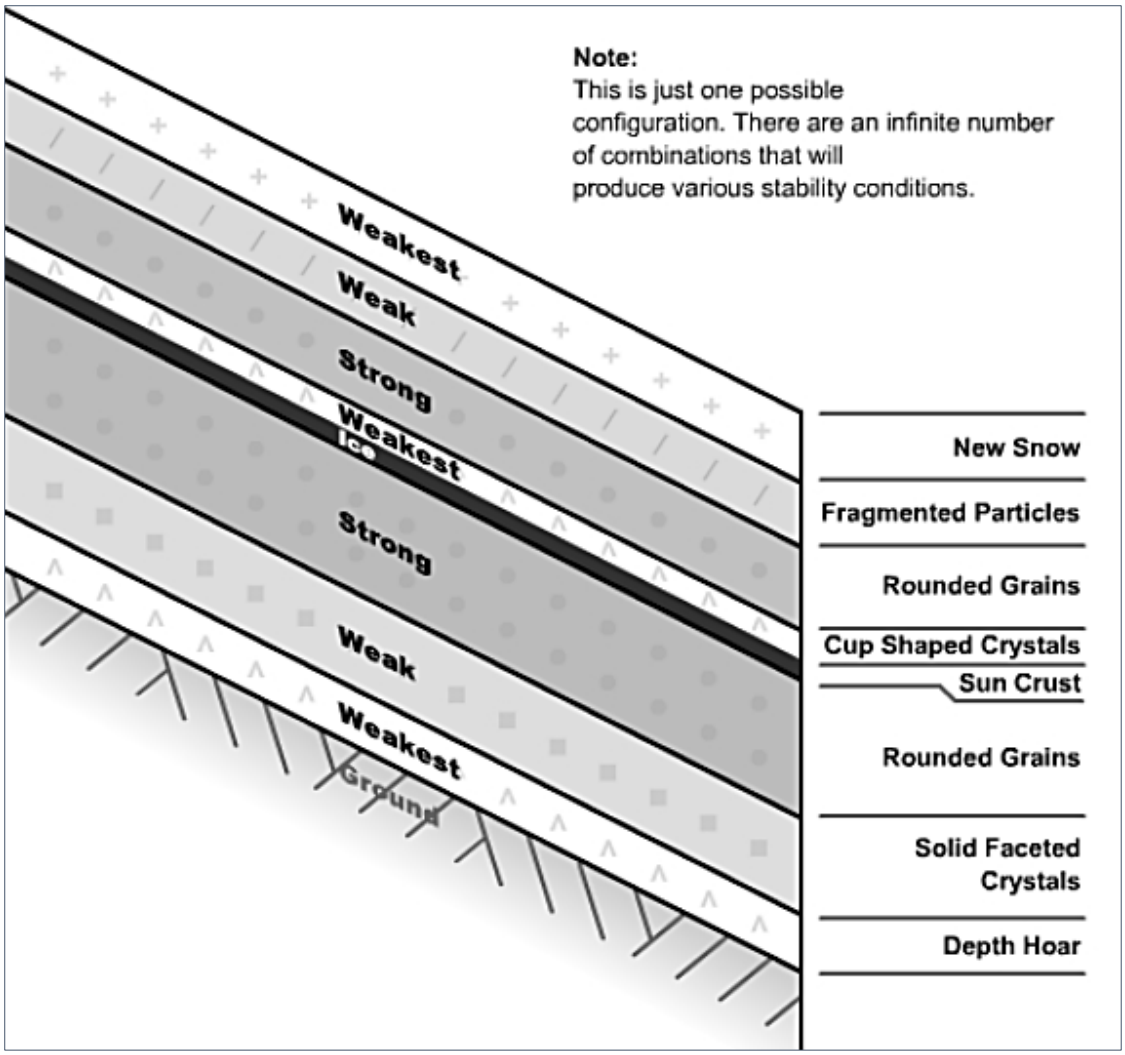
Προφίλ Χιονιού : Το προφίλ του χιονιού αφορά στη δημιουργία ενός λάκκου, κάθετα στη διαστρωμάτωση του συσσωρευμένου χιονιού στο πεδίο μελέτης, από το οποίο διακρίνονται οι επιμέρους στιβάδες χιονιού που αποτελούν το snowpack. Με τη βοήθεια του προφίλ χιονιού είναι δυνατόν να εντοπιστεί μια αδύναμη στιβάδα, και να γίνουν δοκιμές σταθερότητας.

Η δημιουργία προφίλ χιονιού πραγματοποιείται στο πεδίο, με αποτέλεσμα σε ακραίες καιρικές συνθήκες να είναι αδύνατη η συγκέντρωση πρωτογενών δεδομένων.

Ωστόσο με τη βοήθεια τηλεσκοπικών και μετεωρολογικών δεδομένων είναι δυνατή η προσομοίωση της δομής τους συσσωρευμένου χιονιού για την πρόβλεψη χιονοστιβάδων.



Εικόνα 10 Προφίλ χιονιού για την πρόγνωση χιονοστιβάδων. [32]



Εικόνα 11 Διάκριση των επιμέρους στρωμάτων χιονιού και των σωματιδίων χιονιού που τα αποτελούν [26]

4.3 Συστήματα πρόγνωσης χιονοστιβάδων

Σε πολλές χώρες οι οποίες πλήττονται από χιονοστιβάδες ανά τον πλανήτη έχουν υιοθετηθεί και χρησιμοποιούνται από πολίτες και αρχές σε μεγάλο βαθμό, διαδικτυακοί τόποι ενημέρωσης για την επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων σε ορεινές περιοχές με τη χρήση διαδραστικών χαρτών στους οποίους απεικονίζεται η επικινδυνότητα. Η 5-βάθμια κλίμακα με διαφορετικό χρωματισμό ανάλογα με την επικινδυνότητα είναι διεθνώς διαδεδομένη και χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο ανά τον πλανήτη.

4.3.1 Παράδειγμα συστήματος πρόγνωσης χιονοστιβάδων - Avalx Public Avalanche Forecasting System

Το Παρατηρητήριο Χιονοστιβάδων του Καναδά ξεκίνησε ένα σύστημα προβλέψεων με αντίστοιχο ενημερωτικό δελτίο που ονομάζεται AvalX, και παρέχει μια τυποποιημένη μέθοδο πρόβλεψης και τη ρύθμιση των ανακοινώσεων μεταξύ της πλειοψηφίας των ενημερωτικών δελτίων για χιονοστιβάδες στον Καναδά. Βασικό χαρακτηριστικό, ότι δεν αποτελείται πλέον από μεγάλα κείμενα με πληροφορίες αλλά παρουσιάζει παραστατικά και συνοπτικά τα αποτελέσματα της πρόβλεψης. (1-5 κλίμακα, έχει υιοθετηθεί η ίδια παγκοσμίως) > Βασικοί στόχοι του project:

I. Υιοθέτηση συγκεκριμένης μεθοδολογίας και ροής για την εξαγωγή της πρόβλεψης
II. Εφαρμογή κοινής απεικόνισης και αισθητικής των δελτίων μεταξύ των περισσοτέρων περιοχών στον Καναδά.
III. Διαχωρισμός των τεχνικών μεθόδων ανάλυσης των μετεωρολόγων από τις στρατηγικές δημόσιας επικοινωνίας
IV. Δομή του δελτίου με άξονα την πρόγνωση χιονοστιβάδων με μείωση τον όγκου του κειμένου- γραφική, περιεκτική απεικόνιση
V. Εστίαση σε βασικά θέματα που αφορούν την πιθανότητα χιονοστιβάδας (βαθμός επικινδυνότητας, επικίνδυνη περιοχή μέγεθος πιθανής χιονοστιβάδας)
VI. Σχεδιασμός γραφικών για να επικοινωνούν τα κύρια μηνύματα τα οποία υποστηρίζονται από σύντομα επεξηγητικά κείμενα.
VII. Παροχή περιεκτικών οδηγιών εστιασμένες στο τερέν και στη μετακίνηση
VIII. Παροχή δυνατότητας προσπέλασης τω δελτίων πρόγνωσης σε μορφή HTML και CAAML ώστε να διαβάζονται από κινητές συσκευές
IX. Δυνατότητα ενημέρωσης των δελτίων πρόγνωσης από τους υπευθύνους οποιαδήποτε στιγμή και άμεσα [33].

4.3.2 Ανάλυση επικινδυνότητας 1-5: Αξιολόγηση Κινδύνου – Επεξήγηση

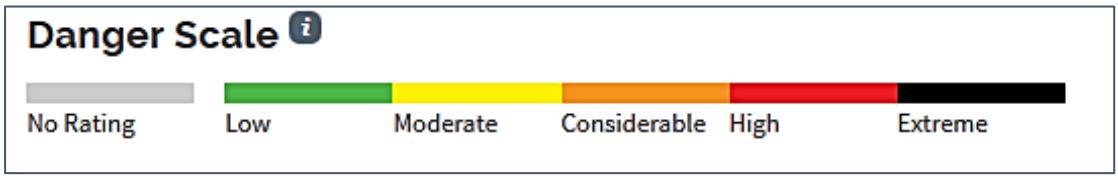
1 – Χαμηλή επικινδυνότητα Γενικά ασφαλείς συνθήκες. Προσοχή για ασταθές χιόνι σε μεμονωμένα σημεία του εδάφους. Κίνδυνος για πρόκληση φυσικών και ανθρωπογενών χιονοστιβάδων απίθανος. Μικρές χιονοστιβάδες σε απομονωμένες περιοχές ή σε ακραίο τερέν.

2 – Μέτριες συνθήκες για πρόκληση χιονοστιβάδας σε συγκεκριμένα σημεία του εδάφους. Αξιολογείστε το χιόνι και το έδαφος προσεκτικά, προσδιορίστε τα ανησυχητικά. Ενδεχόμενο φυσικών χιονοστιβάδων απίθανο, δυνατόν να προκληθούν από ανθρώπινη δραστηριότητα (triggering). Μικρές χιονοστιβάδες σε ορισμένες περιοχές ή μεγάλες χιονοστιβάδες σε απομονωμένες περιοχές.

3 – Σημαντικά Επικίνδυνες συνθήκες για πρόκληση χιονοστιβάδας. Προσεκτική αξιολόγηση της διαστρωμάτωσης του συσσωρευμένου χιονιού (snowpack). Απαραίτητη η επιφυλακτική κίνηση στο πεδίο και η συντηρητική λήψη αποφάσεων. Φυσικές χιονοστιβάδες είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ενώ ταυτόχρονα είναι δυνατόν να προκληθούν και από ανθρώπινη δραστηριότητα (triggering). Μικρές χιονοστιβάδες σε πολλές επιμέρους περιοχές, μεγάλες χιονοστιβάδες πιο συγκεκριμένες περιοχές ή πολύ μεγάλες χιονοστιβάδες σε απομονωμένες περιοχές.

4 - Υψηλή επικινδυνότητα Πολύ επικίνδυνες συνθήκες για πρόκληση χιονοστιβάδας. Η κίνηση στο πεδίο δεν συνιστάται. Φυσικές χιονοστιβάδες είναι πιθανό να συμβούν ενώ η πρόκληση από ανθρώπινη δραστηριότητα είναι πολύ πιθανή. Μεγάλες χιονοστιβάδες σε πολλές επιμέρους περιοχές ή πολύ μεγάλες χιονοστιβάδες σε συγκεκριμένους τομείς.

5 – Ακραίος κίνδυνος. Αποφύγετε όλα τα εδάφη του πεδίου. Φυσικών και ανθρωπογενείς χιονοστιβάδες βέβαιες. Μεγάλες και πολύ μεγάλες χιονοστιβάδες σε πολλές περιοχές. [33].



Εικόνα 12 Κλίμακα επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες ε χρωματική απεικόνιση [33]

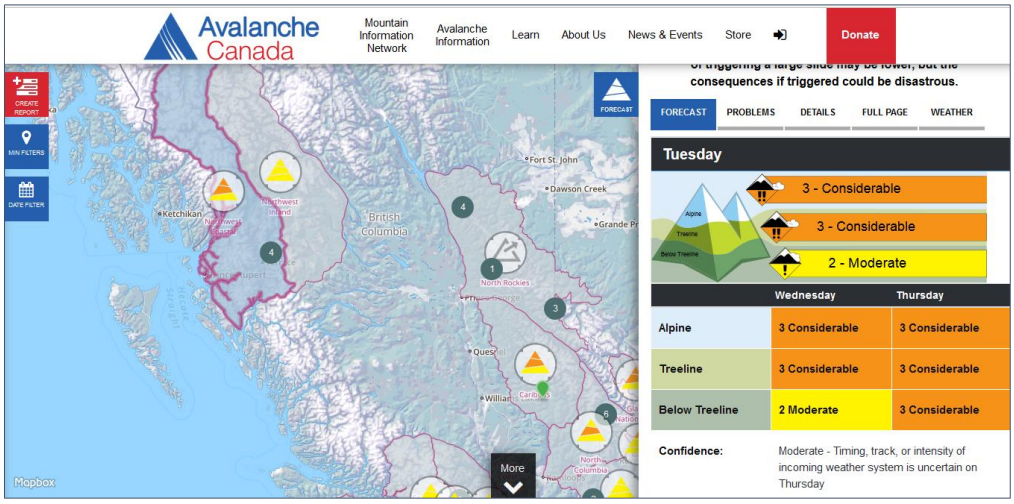
4.3.3 Διεθνείς ιστότοποι πρόγνωσης και ενημέρωσης για χιονοστιβάδες

Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους βασικούς ιστοτόπους ενημέρωσης και προειδοποίησης για τον κίνδυνο σχηματισμού χιονοστιβάδων σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Στην Βόρεια Αμερική (ΗΠΑ και Καναδά η πρόβλεψη χιονοστιβάδων

είναι πιο διαδεδομένη. Στην Ευρώπη επίσης στις χώρες που διασχίζουν οι Άλπεις, στον Ηνωμένο Βασίλειο και στις Σκανδιναβικές χώρες. Στην Ισπανία, η πρόβλεψη χιονοστιβάδων γίνεται μέσα από την εθνική μετεωρολογική υπηρεσία.

Βόρεια Αμερική:

- http://www.avalanche.ca/ Αφορά τη χώρα του Καναδά και περιέχει πληροφορίες σχετικά με περιστατικά χιονοστιβάδων, μετεωρολογικές συνθήκες και δελτίο πρόγνωσης καιρού και χιονοστιβάδων. Περιγραφή επικινδυνότητας με βάση την 5-βάθμια κλίμακα.
- https://utahavalanchecenter.org/ Αφορά την περιοχή της Utah των ΗΠΑ [34]
- http://www.sierraavalanchecenter.org Αφορά επίσης την ευρύτερη περιοχή της λίμνης Tahoe στις ΗΠΑ [35]
- http://avalanche.state.co.us/ Περιοχή Colorado ΗΠΑ [36].
- http://jhavalanche.org/ Περιοχή Teton , Wyoming, ΗΠΑ [37].
- https://www.nwac.us/ ΗΠΑ
- http://www.mtavalanche.com/ Gallatin National Forest Avalanche Center Περιοχή Montana ΗΠΑ [39].
- http://www.avalanche.org/ Συνολικά για ΗΠΑ [40].
- http://www.mountwashingtonavalanchecenter.org/ Για το Όρος Washington [41]

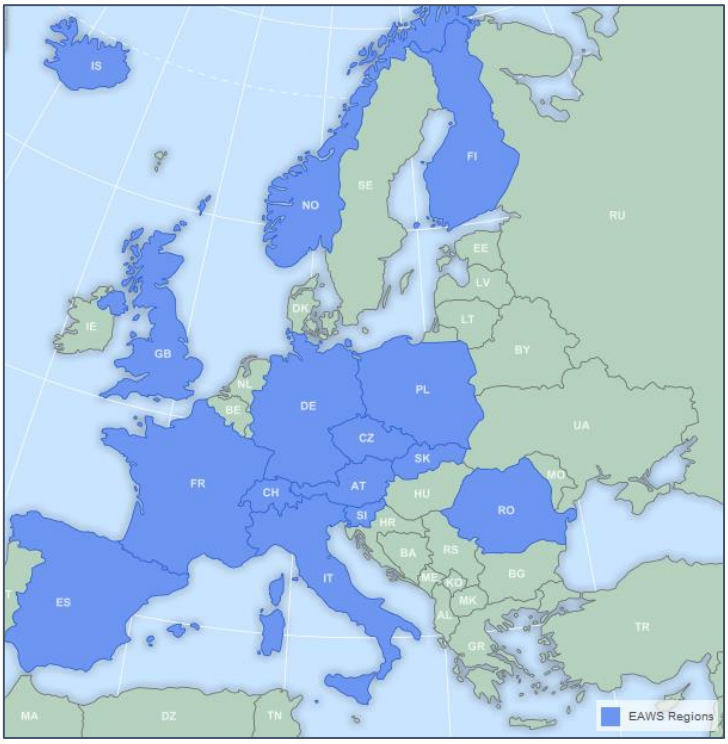


Εικόνα 13 Απεικόνιση επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες με βάση το καναδικό σύστημα πρόγνωσης http://www.avalanche.ca/ [33]

Ευρώπη:

- http://www.slf.ch/lawinenbulletin/lawinengefahr/index_EN Ελβετία WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF [42]

- http://www.avalanches.org/eaws/en/main.php EAWS - European Avalanche Warning Services με διαδραστικό χάρτη της Ευρώπης [43]



Εικόνα 14 Διαδραστικός χάρτης της Ευρώπης στη σελίδα http://www.avalanches.org με πληροφορίες για την επικινδυνότητα εμφάνισης χιονοστιβάδων στα βουνά των χωρών που απεικονίζονται με μπλε χρώμα [43]

- http://www.sais.gov.uk/ Avalanche Information for the Scottish Mountains. Σκωτία [44]
- http://www.mwis.org.uk/avalanche-forecast Ηνωμένο Βασίλειο [45]
- http://www.varsom.no/ Νορβηγία [46]
- http://www.snaps-project.eu/ Σκανδιναβικές χώρες και Ισλανδία [47]
- http://www.aemet.es. Ισπανία [48]

Στον Υπόλοιπο Κόσμο :

- http://www.avalanche.net.nz/Forecasts/ Νέα Ζηλανδία [49]
- http://nadare.jp/alert/cat232/ Ιαπωνία [50]

4.4 Αντιμετώπιση του κινδύνου - μέτρα αποφυγής και πρόληψης.

4.4.1 Διαχείριση του κινδύνου από τις αρχές

Οι προβλέψεις που αφορούν την επικινδυνότητα για χιονοστιβάδες καθορίζουν τον πιθανό κίνδυνο κατά μήκος μιας συγκεκριμένης πλαγιάς ενός του βουνού. Όταν αναπτύσσεται κίνδυνος για χιονοστιβάδες, ανάλογα με την έκταση που μπορεί να έχουν και την πιθανή επίδραση σε κατοικημένες περιοχές λαμβάνονται από τους υπευθύνους για τη διαχείριση κινδύνου μέτρα όπως στοχευμένη πρόκληση χιονοστιβάδας με εκρηκτικά. Η ελεγχόμενή πρόκληση χιονοστιβάδας δημιουργεί εκτόνωση του κινδύνου ενώ η περιοχή έχει προσωρινώς αποκλειστεί μέχρι αυτό να πραγματοποιηθεί. Για την τεχνητή εκτόνωση χιονοστιβάδας λαμβάνεται υπόψη η τοπογραφία, η προσβασιμότητα και η διαδρομή της χιονοστιβάδας.

Άλλοι τρόποι αποφυγής κινδύνου από χιονοστιβάδες αφορούν παθητικές μεθόδους ελέγχου κυρίως για την προστασία οδικών αρτηριών όπως υπόστεγα για προστασία από το χιόνι πάνω από οδικές αρτηρίες που διασχίζουν βουνά, υπερυψωμένους δρόμους, ώστε οι χιονοστιβάδες να περάσουν κάτω από αυτούς ή τεχνητές λεκάνες απορροής του χιονιού ώστε οι χιονοστιβάδες να καταλήγουν σε αυτές καθώς επίσης φράγματα εκτροπής και αναχώματα από χιόνι [51].

4.4.2 Διαχείριση του κινδύνου από το χιονοδρόμο

Όσοι ασχολούνται με χειμερινά σπορ είναι υπεύθυνοι για την ενημέρωση τους μέσα από τα συστήματα ελέγχου και για την αξιολόγηση των συνθηκών στο πεδίο, την αποφυγή επικίνδυνων πλαγιών αλλά και τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού που διευκολύνει την ανίχνευση σε περίπτωση που κάποιος θαφτεί από χιονοστιβάδα.. Επίσης είναι πλέον δυνατή η χρήση εφαρμογών για κινητές συσκευές με στόχο την αποφυγή ατυχημάτων και την εξασφάλιση ταχείας διάσωσης . Μια τέτοια εφαρμογή αρκετά διαδεδομένη είναι η Mammut η οποία στοχεύει στη αποτελεσματική προετοιμασία του χρήστη για την περιήγησή στο βουνό και την αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων. Για τον έλεγχο της επικινδυνότητας λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως το επίπεδο του κινδύνου, η έκθεση και η γωνία κλίσης ώστε ο χρήστης της εφαρμογής να μπορεί να αξιολογήσει τον κίνδυνο στη θέση που βρίσκεται. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, υπάρχει λειτουργία SOS που επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων GPS του χρήστη στην τοπική υπηρεσία διάσωσης ή σε έναν αποθηκευμένο αριθμό.

Επίσης υπάρχουν βασικές λειτουργίες συμπεριλαμβανομένου ενός κλινόμετρού για τη μέτρηση της κλίσης της πλαγιάς, πυξίδας και αλτιμέτρου. Ταυτόχρονα υπάρχει σύνδεση με όλες τις υπηρεσίες ανά τον κόσμο υπεύθυνες για την πρόγνωση και την διάθεση ενημερωτικών δελτίων για χιονοστιβάδες [52]

Εικόνα 15 Απεικόνιση του περιβάλλοντος της εφαρμογής Mammut για την προστασία των χιονοδρόμων [52]

Κεφάλαιο 5. Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τηλεπισκόπησης και μοντέλων στην πρόγνωση χιονοστιβάδων.

5.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) παρέχουν εργαλεία για τη δημιουργία,, μετατροπή, και τον συνδυασμό διάφορων μεταβλητών με γεωγραφική αναφορά [13].

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών GIS είναι ένα σύστημα για τη διαχείριση χωρικών δεδομένων. Η λέξη Γεωγραφικά, υποδηλώνει ότι η οι τοποθεσίες των στοιχείων δεδομένων είναι γνωστές ή μπορούν να υπολογιστούν με όρους γεωγραφικών συντεταγμένων (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος). Η λέξη Πληροφορίες υποδηλώνει ότι τα δεδομένα σε ένα GIS οργανώνονται ώστε να αποδώσουν χρήσιμη γνώση συχνά με τη μορφή έγχρωμων χαρτών και εικόνων, αλλά επίσης και ως στατιστικά γραφήματα πίνακες αλλά και αρκετές επί της οθόνης αποκρίσεις σε δια δραστικά ζητήματα. Η λέξη Σύστημα αφορά στο ότι το GIS είναι φτιαγμένο από πολλές αλληλένδετες και συνδεδεμένες συνιστώσες με διαφορετικές λειτουργίες. Έτσι τα ΓΣΠ έχουν λειτουργικές ικανότητες συλλογής

δεδομένων, εισόδου, καθοδήγησης, μετασχηματισμού, οπτικοποίησης, συνδυασμού, ερωτήματος, ανάλυσης, μοντελοποίησης και εξόδου. Το GIS αποτελείται από ένα πακέτο από προγράμματα με δυνατότητα διασύνδεσης χρήστη που παρέχει πρόσβαση σε λεπτομερείς λειτουργίες.

Το GIS είναι υπολογιστικά εργαλεία για τον χειρισμό χαρτών ψηφιακών εικόνων και πινάκων με γεωαναφερμένα (με γεωγραφική αναφορά) στοιχεία δεδομένων. Τα GIS είναι σχεδιασμένα για να συγκεντρώνουν χωρικά δεδομένα από ποικίλες πηγές σε μια ενιαία βάση δεδομένων συχνά χρησιμοποιώντας μια ποικιλία δομών ψηφιακών δεδομένων και παρουσιάζοντας διαφορετικά χωρικά δεδομένα ως μια σειρά από διαφορετικά επίπεδα δεδομένων τα οποία είναι όλα καταχωρημένα χωρικά (spatial register) που σημαίνει ότι επικαλύπτονται σωστά σε όλες τις θέσεις [18].

5.2 Η συμβολή των ΓΣΠ και της τηλεπισκόπησης στην πρόβλεψη φυσικών καταστροφών

Οι φυσικές καταστροφές είναι κάτι που συμβαίνει σε μικρή η σε μεγάλη κλίμακα. Τα γεγονότα που λαμβάνουν τη μέγιστη προσοχή των μέσων ενημέρωσης είναι αυτά που προκαλούν εκτεταμένες απώλειες και την ανθρώπινη δυστυχία, όπως σεισμοί, πλημμύρες και τυφώνες. Παραδείγματα αποτελούν το τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό (2004), οι σεισμοί στο Πακιστάν (2005), την Ινδονησία (2006), την Κίνα (2008) και την Αϊτή (2010) και οι τυφώνες στην Καραϊβική και στις ΗΠΑ (2005, 2008). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πολλοί σοβαροί γεωμορφολογικοί κίνδυνοι που έχουν μια αργή εξέλιξη , όπως η ξηρασία, η διάβρωση του εδάφους, η υποβάθμιση της γης, η ερημοποίηση, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η απώλεια της βιοποικιλότητας κ.λπ. που μπορεί να προκαλέσουν πολύ μεγαλύτερες επιπτώσεις μακροπρόθεσμα, αλλά λαμβάνουν λιγότερη προσοχή από τα μέσα ενημέρωσης.

Η χρήση τηλεπισκοπικής παρατήρησης της γης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS), έχει γίνει ένα ολοκληρωμένο, καλά ανεπτυγμένο και επιτυχημένο εργαλείο για τη διαχείριση του κινδύνου φυσικών καταστροφών. Οι εκτιμήσεις του κινδύνου διεξάγονται σε διαφορετικές κλίμακες ανάλυσης, που κυμαίνονται από μια παγκόσμια κλίμακα σε επίπεδο κοινότητας. Κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα έχει τους δικούς του στόχους και απαιτήσεις χωρικών δεδομένων για την απογραφή του κινδύνου, περιβαλλοντικών δεδομένων, παραγόντων που τα πυροδοτούν (triggering factors), και στοιχείων που διατρέχουν κίνδυνο [14].

5.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι μια συλλογή από επίπεδα δεδομένων τα οποία αναμένεται να έχουν επίδραση στην εμφάνιση των επικίνδυνων φαινομένων, και δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως αιτιώδεις παράγοντες στην πρόβλεψη των μελλοντικών γεγονότων. περιλαμβάνονται τα δεδομένα, που σχετίζονται με την τοπογραφία, τη γεωλογία, τα εδάφη, την υδρολογία, τη γεωμορφολογία και τις χρήσεις της γης.

5.2.2 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους

Όπως η τοπογραφία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τους περισσότερους τύπους ανάλυσης κινδύνου, η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) παίζει σημαντικό ρόλο. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEMs) μπορεί να προέλθουν μέσα από μια ποικιλία τεχνικών, όπως η ψηφιοποίηση των ισοϋψών από τους υπάρχοντες τοπογραφικούς χάρτες, τοπογραφικά εξομάλυνσης, EDM (Ηλεκτρονική Μέτρηση απόστασης), διαφορετικές μετρήσεις GPS, (ψηφιακή) φωτογραμμετρία, InSAR και LiDAR. Πολλά παράγωγα των Χαρτών μπορούν να παραχθούν από DEMs χρησιμοποιώντας αρκετά απλές εργασίες GIS. 'Ενα ευρύ φάσμα δεδομένων μπορούν να επιλεγούν για στη δημιουργία DEMs. Η επιλογή εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή, την τιμή και την εφαρμογή [14].

5.3 Χάρτες επικινδυνότητας

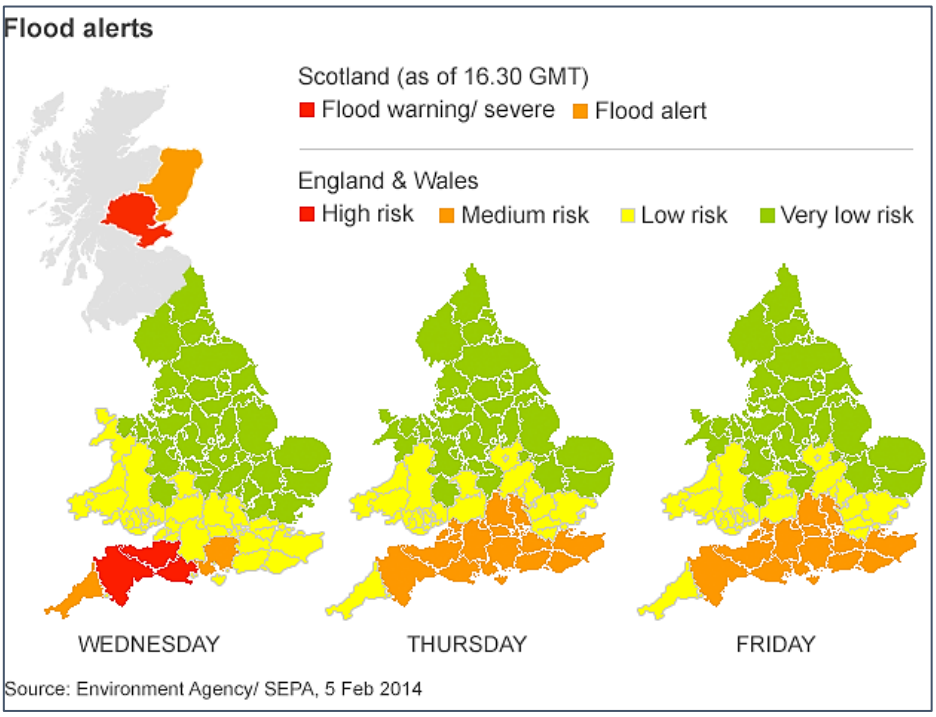
Η οπτικοποίηση δεδομένων παρέχει μεγαλύτερη κατανόηση τοι κοινωνικού οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους των φυσικών καταστροφών, καθώς και προβολή των περιοχών με τη μεγαλύτερη ευπάθεια [53].

Ο Χαρακτηρισμός ευάλωτων περιοχών ανάλογα με τους φυσικούς κινδύνους που διατρέχουν (περιλαμβάνει δυνητικά όλα τα ατμοσφαιρικά, υδρολογικά, σεισμικά, ηφαιστειακά και φαινόμενα καθώς και οι πυρκαγιές που, λόγω της θέσης, της σφοδρότητας και της συχνότητάς τους, έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν σοβαρά την κοινωνία), με την έκφανση των φαινομένων αυτών ως πλημμύρες, κατολισθήσεις και καθιζήσεις, χιονοστιβάδες, δασικές πυρκαγιές, σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις.

Για τον καθορισμό μιας επικίνδυνης παραμέτρου είναι απαραίτητη η εκτίμηση του πιθανού κινδύνου, η πιθανότητα εμφάνισης του και η εκτίμηση της ευπάθειας των εκτεθειμένων πληθυσμών και των περιβαλλοντικών, πολιτιστικών και οικονομικών στοιχείων σε μια συγκεκριμένη ζώνη.

Τα επικίνδυνα γεγονότα μπορεί να διαφέρουν σε μέγεθος ή σε ένταση, σε συχνότητα, σε διάρκεια, στην ταχύτητα έναρξης, στη χωρική διασπορά και στη χρονική απόσταση. Μερικά παραδείγματα για διαφορετικούς τύπους κινδύνου για τους οποίους μπορούν να δημιουργηθούν χάρτες επικινδυνότητας είναι: Πλημμύρες,, Κατολισθήσεις Δασικές πυρκαγιές, Σεισμοί (χαρτογράφηση επικινδυνότητας, εκτίμηση της ευπάθειας και εκτίμηση του κινδύνου κ.α) [54].

Η χρήση των χαρτών για τη μετάδοση πληροφοριών σχετικά με ην περιβαλλοντική επίπτωση και τον κίνδυνο ατυχήματος αυξάνεται. Η εξέλιξη αυτή συνδέεται με τον επαναπροσδιορισμό των περιβαλλοντικών προβλημάτων από την άποψη του χωροταξικού σχεδιασμού. Η αυξημένη χρήση των χαρτών λύνει μια σειρά από προβλήματα επικοινωνίας [15].



Εικόνα 16 Χάρτες επικινδυνότητας για πλημμύρες στην Αγγλία [55]

5.4 Σχεδιασμός μοντέλων για την πρόγνωση χιονοστιβάδων

Η κατάσταση του συσσωρευμένου χιονιού μπορεί να εκτιμηθεί με μοντέλα που χρησιμοποιούν δεδομένα καιρού, όπως βροχόπτωση και θερμοκρασία του αέρα ώστε να διαμορφωθεί η δομή της διαστρωμάτωσης του χιονιού και η χιονοκάλυψη [16]. Τα μοντέλα μπορούν να παρέχουν εικόνα σχετικά με το πώς η χιονοκάλυψη εξελίσσεται μέσα στο χρόνο, όταν οι επιτόπιες παρατηρήσεις σχετικά με χιονοκάλυψη/στρωμάτωση δεν είναι εφικτές. Η πρόγνωση

χιονοστιβάδων στηρίζεται συνήθως σε ένα πολυπαραγοντικό σύστημα που συνδυάζει δεδομένα που αφορούν το ανάγλυφο του βουνού, τις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών, το γενικότερο κλίμα αλλά και το ιστορικό σχηματισμού χιονοστιβάδων σε μια περιοχή.

5.4.1 Παράδειγμα : μοντέλο SNOSS.

Η Δημιουργία του μοντέλου (SNOSS - SNOw Slope Stability) αφορά στη σταθερότητα της στοιβάδας του χιονιού σε μια πλαγιά και είναι δείκτης για τη σταθερότητα του εν λόγω στρώματος. Το SNOSS έχει τρέξει σε πραγματικό χρόνο ξεκινώντας κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2011/2012 ενώ τα αποτελέσματα του μοντέλου εξάγονται σε μια ιστοσελίδα την για εύκολη προβολή από τους ειδικούς που κάνουν πρόβλεψη χιονοστιβάδων. Το SNOw Slope Stability (SNOSS) (SNOSS) μοντέλο χιονιού αναπτύχθηκε από τους Conway και Wilbour (1999) και είναι ένα απλό μονοδιάστατο μοντέλο πρόβλεψης χιονοστιβάδας με βάση τη σύγκριση της διατμητικής τάσης επιβάρυνσης που προκαλείται από το νέο χιόνι σε σχέση με αντοχή σε όλη τη διαστρωμάτωση του συσσωρευμένου χιονιού (snowpack) [16].

Κεφάλαιο 6 Μέθοδος πρόγνωσης χιονοστιβάδων για τον Όλυμπο

Για τη διατύπωση μιας μεθόδου ικανής να αξιολογήσει τον κίνδυνο εμφάνισης χιονοστιβάδας στον Όλυμπο έγινε συνδυασμός τηλεσκοπικών μεθόδων, Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και πρωτογενών δεδομένων που αφορούν το ιστορικό σχηματισμού χιονοστιβάδων σε διαφορετικές περιοχές του Ολύμπου. Η χρήση τηλεπισκόπησης έγινε με στόχο την ταξινόμηση των κατηγοριών της εδαφοκάλυψης που επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στην δημιουργία, την πρόκληση ή την εκτόνωση χιονοστιβάδων. Με τη βοήθεια του QGIS δημιουργήθηκαν επιμέρους χάρτες επικινδυνότητας για τους διάφορους παράγοντες επίδρασης του τερέν στις χιονοστιβάδες (κλίση, εδαφοκάλυψη, υψόμετρο καμπυλότητα).

6.1 Δεδομένα και μέθοδος

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν ημερομηνίες που περιλαμβάνουν καταγεγραμμένα και εντοπισμένα περιστατικά από χιονοστιβάδες τα οποία χορηγήθηκαν από δύο υπευθύνους καταφυγίων του

Ολύμπου, τον Μιχάλη Στύλλα διαχειριστή του καταφυγίου «Χρήστος Κάκκαλος» και τον Λάζαρο Μποτέλη του ενός εκ των διαχειριστών του καταφυγίου «Γιώσος Αποστολίδης» .

Τα μετεωρολογικά δεδομένα παρείχε το Μετεωροσκοπείο ΑΠΘ που διαθέτει μετεωρολογικό σταθμό στο Κέντρο Εκπαιδεύσεων Ορεινών Αγώνων (Κ.Ε.Ο.Α.) του στρατού , και ήταν ο μόνος σταθμός με το μέγιστο δυνατό υψόμετρο (1850m) που παρέχει συνεχή χρονοσειρά δεδομένων.

Για τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν κανόνες οι οποίοι αφορούν στην αύξηση ή μείωση των πιθανοτήτων σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών. Οι κανόνες που ακολουθήθηκαν αφορούν στην μέθοδο πρόγνωσης χιονοστιβάδων μέσω του ιστοτόπου www.meted.ucar.edu . Η ιστοσελίδα MetEd, φιλοξενεί εκπαιδευτικό υλικό που προκύπτει από το πρόγραμμα Comet® το οποίο αφορά συνολικά τις Γεωεπιστήμες.

Το Πρόγραμμα Comet® ιδρύθηκε το 1989 από την UCAR (Πανεπιστημιακή Επιχείρηση για την Ατμοσφαιρική Έρευνα, ΗΠΑ) και NWS NOAA (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ΗΠΑ) για την προώθηση της καλύτερης κατανόησης της με τα οφέλη των νέων τεχνολογιών. Πλέον το πρόγραμμα COMET είναι διεθνές, έχει επεκταθεί και χρησιμοποιεί καινοτόμες μεθόδους για τη διάδοση και την ενίσχυση της επιστημονικής γνώσης στις επιστήμες του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στη μετεωρολογία, αλλά περιλαμβάνει επίσης διάφορους τομείς, όπως η ωκεανογραφία, η υδρολογία, ο καιρός στο διάστημα και η διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης [56].

6.2 Ταξινόμηση της Εδαφοκάλυψης στον Όλυμπο

Η ταξινόμηση των διαφορετικών κατηγοριών εδαφοκάλυψης για το όρος του Ολύμπου πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα e-Cognition Developer σε rule set mode. Χρησιμοποιήθηκε εικόνα υψηλής διακριτικής ικανότητας 2.5m του δορυφόρου Sentinel 1 με μορφή αρχείου tif .

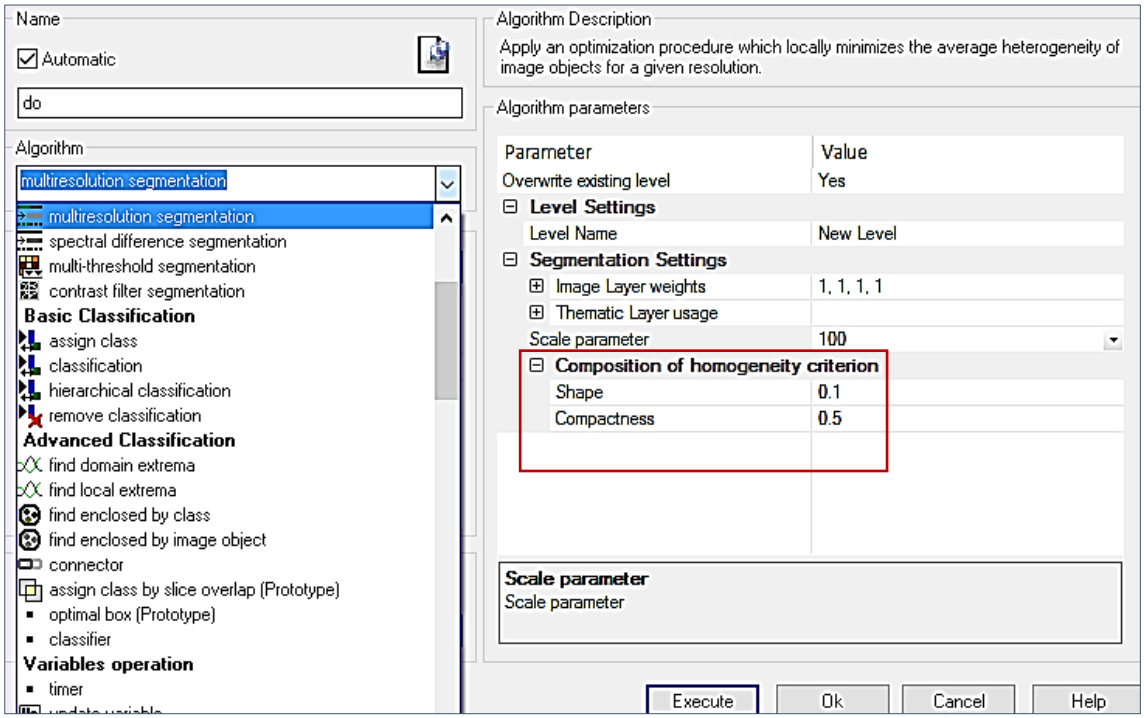
6.2.1 Βήμα 1ο : Κατάτμηση

Αρχικά γίνεται κατάτμηση, η οποία είναι μια διαδικασία υποδιαίρεσης της εικόνας σε επιμέρους τμήματα. Η μέθοδος της κατάτμησης στηρίζεται σε φασματικά (color) χαρακτηριστικά των pixel που απαρτίζουν τον αντικείμενο καθώς και γεωμετρικά χαρακτηριστικά (shape). Επιπλέον είναι δυνατές και άλλες επιλογές που αφορούν στη εξομάλυνση των ορίων μεταξύ των αντικειμένων (smoothness) ή στη ενίσχυση της κανονικότητας των σχημάτων (compactness).

Το πρόγραμμα έχει, επίσης, την δυνατότητα κατάτμησης της εικόνας σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (multiresolution segmentation). Τα πιο πάνω επίπεδα περιέχουν μεγαλύτερα αντικείμενα, ενώ τα πιο κάτω μικρότερα.

Για την κατάτμηση της εικόνας στο παράθυρο process με δεξί κλίκ επιλέχθηκε Append new και στη συνέχεια ο Αλγόριθμος multiresolution segmentation. Για την κατάτμηση επιλέχθηκε Scale parameter 100 (για μεγαλύτερα αντικείμενα) shape 0,1 και compactness 0,5 (εικόνα 16) και στη συνέχεια με την εντολή Execute πραγματοποιήθηκε η κατάτμηση.

Το αποτέλεσμα της κατάτμησης φαίνεται στην εικόνα 17 με αντικείμενα στο κατάλληλο μέγεθος ώστε να γίνει η επιλογή δειγμάτων για την ταξινόμηση στις επιμέρους κατηγορίες εδαφοκάλυψης.

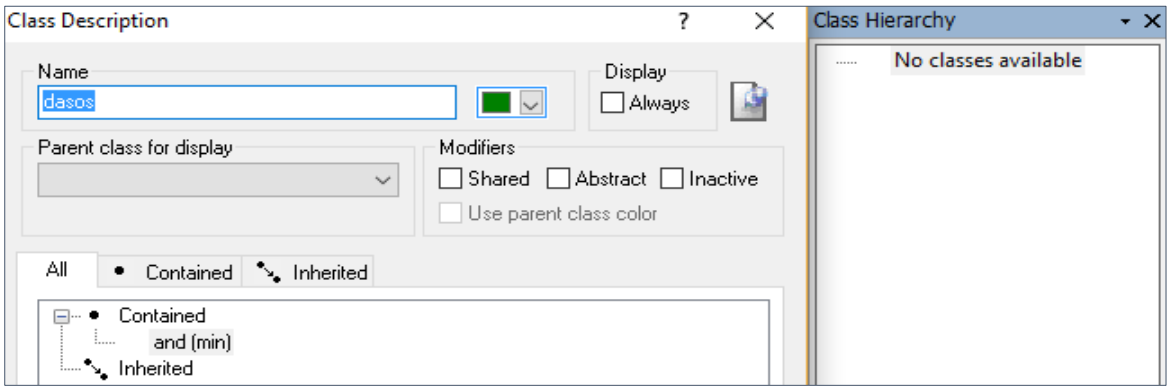


Εικόνα 17 Παράμετροι που επιλέχθηκαν για την εκτέλεση της κατάτμησης

Εικόνα 18 Αποτέλεσμα κατάτμησης

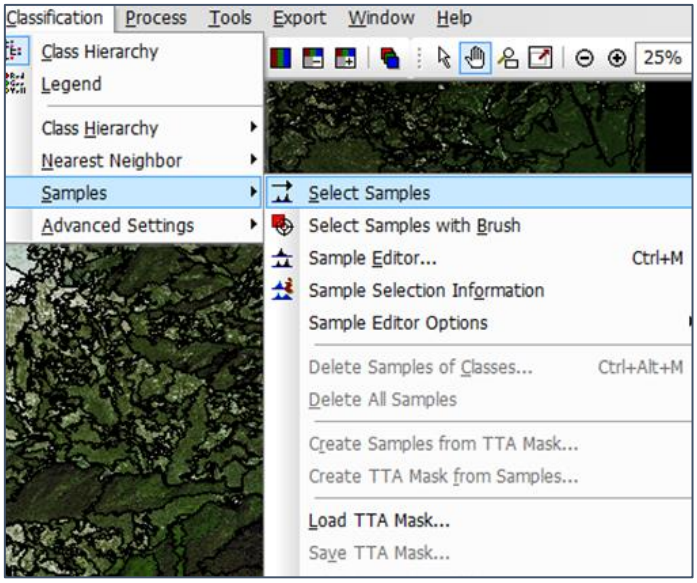
6.2.2 Βήμα 2ο : Ταξινόμηση (Classification)

1. Στο παράθυρο Class Hierarchy με δεξί κλικ επιλέχθηκε Insert Class για κάθε μια από τις επιμέρους κλάσεις που εισήχθησαν (δάσος, θαμνώδεις εκτάσεις, γυμνός βράχος και γρασίδι) ενώ επιλέχθηκε διαφορετικό χρώμα για κάθε κλάση το οποίο την αντικατόπτριζε, με στόχο τη διευκόλυνση της αναγνώρισης των επιμέρους κλάσεων στην ταξινομημένη εικόνα και ποιοτικότερο οπτικό αποτέλεσμα.



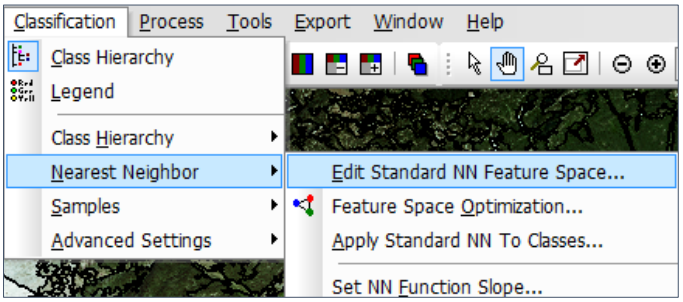
Εικόνα 19 Εισαγωγή των επιμέρους κλάσεων

2. Με τη βοήθεια του Select samples, έγινε η επιλογή των δειγμάτων για κάθε μια από τις κλάσεις, βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση.

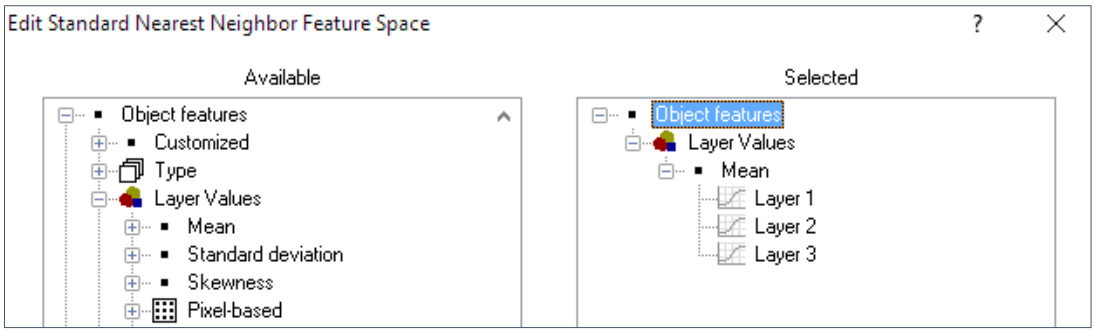


Εικόνα 20 Επιλογή Δειγμάτων

3. Στη συνέχεια από το menu Classification επιλέχθηκε η εντολή Edit Standard NN Feature Space (εικόνα 20), και από τα Object Features επιλέχθηκε η μέση τιμή των τιμών των τριών επιπέδων (Layer Values > Mean. (εικόνα 21) .

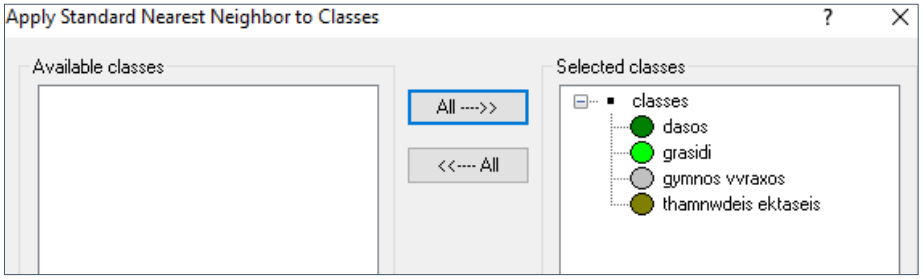


Εικόνα 21 Edit Standard NN feature Space

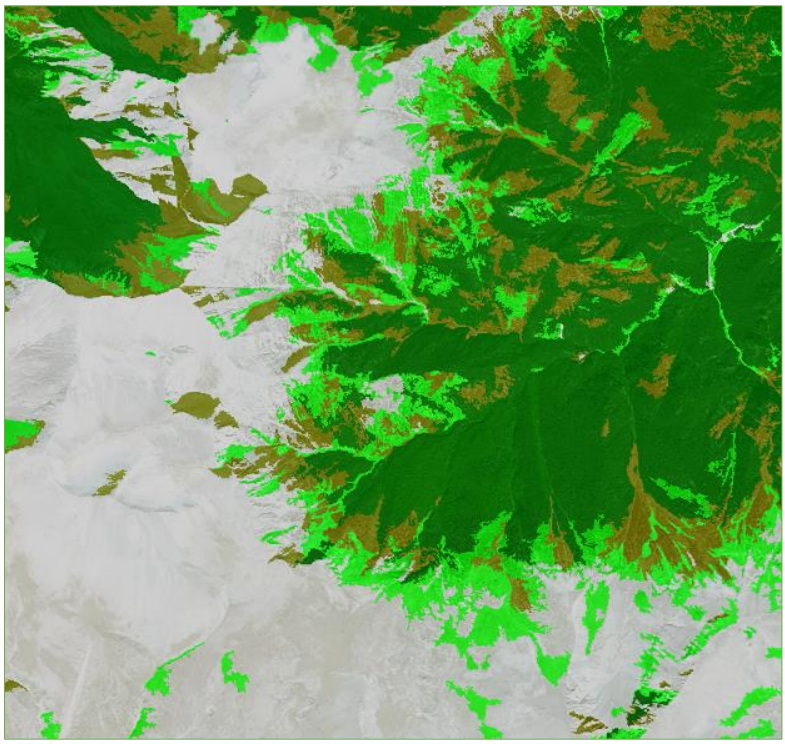


Εικόνα 22 Επιλέχθηκε η μέση τιμή για κάθε ένα επίπεδο

4. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας γίνεται η εφαρμογή του Nearest Neighbor σε όλες τις κλάσεις, από το μενού Classification>Nearest Neighbor>Apply Standard NN to Classes και εκτελείται η ταξινόμηση, με αντίστοιχη διαδικασία της κατάτμησης (στο παράθυρο Process με δεξί κλίκ επιλέχθηκε Append new και στη συνέχεια ο Αλγόριθμος Hierarchical Classification, και δόθηκε η εντολή Execute). Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης φαίνεται παρακάτω (εικόνα 23)



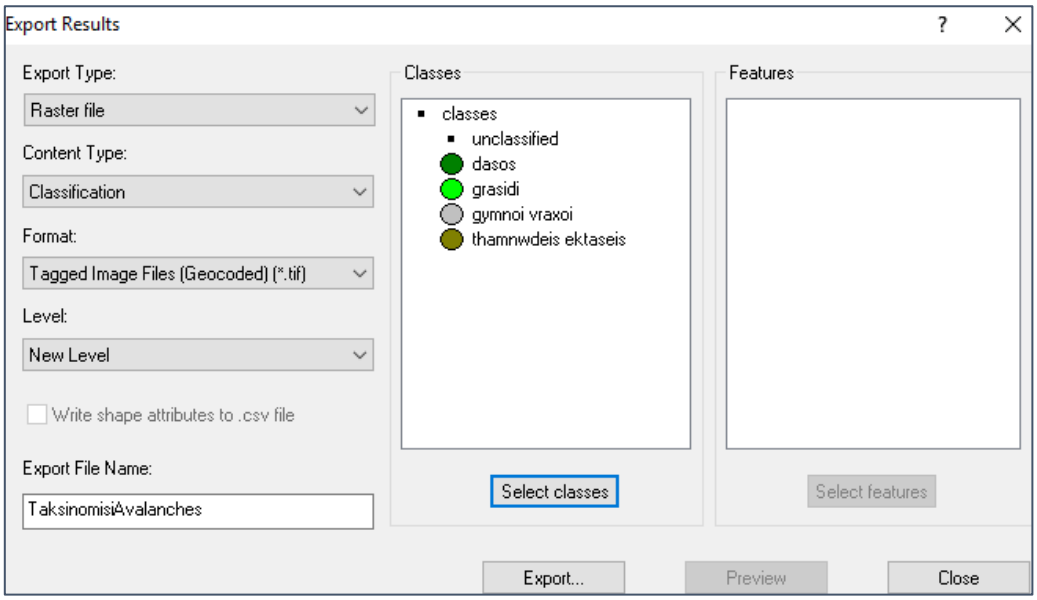
Εικόνα 23 Εφαρμογή του κανόνα του Nearest Neighbor σε όλες τις κλάσεις



Εικόνα 24 αποτέλεσμα ταξινόμησης για τμήμα της εικόνας

6.2.3 Βήμα 3ο: Εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε αρχείο tif με γεωγραφική αναφορά

Τελικό βήμα αποτελεί η δημιουργία ενός αρχείου raster με την ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης για τον Όλυμπο (Export→Export Results) όπως φαίνεται στην εικόνα 24 ,για το οποίο επιλέγονται όλες οι κλάσεις που δημιουργήθηκαν, ενώ ο τύπος του αρχείου είναι Geocoded tif.



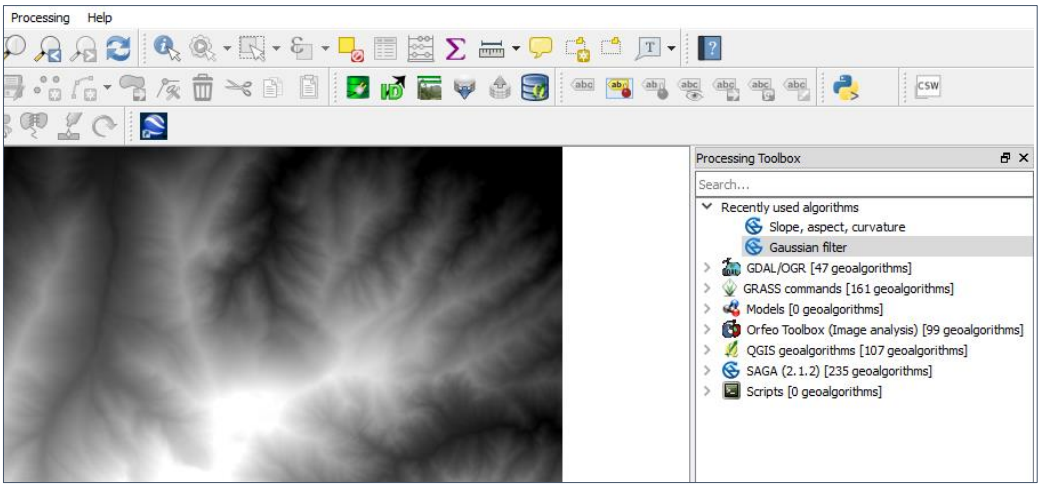
Εικόνα 25 Δημιουργία ενός αρχείου raster

6.3 Χάρτες Επικινδυνότητας με χρήση QGIS

Η δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας βάσει ανάγλυφου έγινε στο QGIS και προέκυψε από το συνδυασμό ενδιάμεσων χαρτών επικινδυνότητας για κάθε ξεχωριστό παράγοντα που επηρεάζει τον σχηματισμό χιονοστιβάδων. Για το χάρτη επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) του Κτηματολογίου, σε μορφή αρχείου tif με γεωγραφική αναφορά και διαστάσεις 3200 x 3600 pixel. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής :

6.3.1 Φόρτωση των επιμέρους επιπέδων στο QGIS

1. Αρχικά φορτώθηκε στο QGIS το DEM του Κτηματολογίου που αφορούσε την περιοχή μελέτης του Ολύμπου. Το DEM εξομαλύνθηκε με τη βοήθεια της Γκαουσιανής κατανομής: Processing → Toolbox → Gaussian Filter .



Εικόνα 26 Χρήση Αλγορίθμου Gaussian filter για την εξομάλυνση του DEM

2. Σε επόμενο βήμα φορτώθηκε η ταξινομημένη βάσει εδαφοκάλυψης εικόνα Olympus_Copernicus_VHR_2.5m.tif, για την οποία πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση στο eCognition και φέρει γεωγραφική αναφορά.
3. Από το Toolbox χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι του SAGA(2.1.2) GIS slope, aspect και curvature με τη βοήθεια την οποίων δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα αρχεία raster για την κλίση, τον προσανατολισμό και την καμπυλότητα, βάσει των οποίων δημιουργήθηκαν οι επιμέρους χάρτες επικινδυνότητας.

6.3.2 Δημιουργία των επιμέρους χαρτών επικινδυνότητας

Για τη δημιουργία των ενδιάμεσων χαρτών επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκαν τα βάρη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και προέκυψαν από αντίστοιχη

μελέτη για τη δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες στα Πυρηναία. [12]

Πίνακας 2 Βάρη που αφορούν τις μεταβλητές για την δημιουργία των χαρτών επικινδυνότητας [12]

Βάρη που δίνονται στα διαστήματα που ορίζονται για κάθε μία από τις μεταβλητές	
Υψόμετρο	
<από ισόθερμη* 0°C(?) 1900m	0
≥ από ισόθερμη 0°C(?) 1900m	1
Κλίση Πλαγιάς (°)	
<25	0
25-30	1
30-40	1,5
40-45	1
>45	0
Εδαφοκάλυψη	
Δάσος	0
Θαμνώδεις εκτάσεις	0,5
Γυμνός Βράχος	1,5
Γρασίδι	2
Καμπυλότητα	
Κυρτή	1,1
Κοίλη	1

*Ισόθερμη 0 βαθμών Η ψηλότερη ζώνη του βουνού, πάνω από τα 2.000m, καλύπτεται από χιόνια για εννέα περίπου μήνες, Σεπτέμβριο – Μάιο [57] .

Ο υπολογισμός της επικινδυνότητας έγινε μέσω του Raster Calculator για κάθε ένα από τα επίπεδα όπως αναλύεται στη συνέχεια:

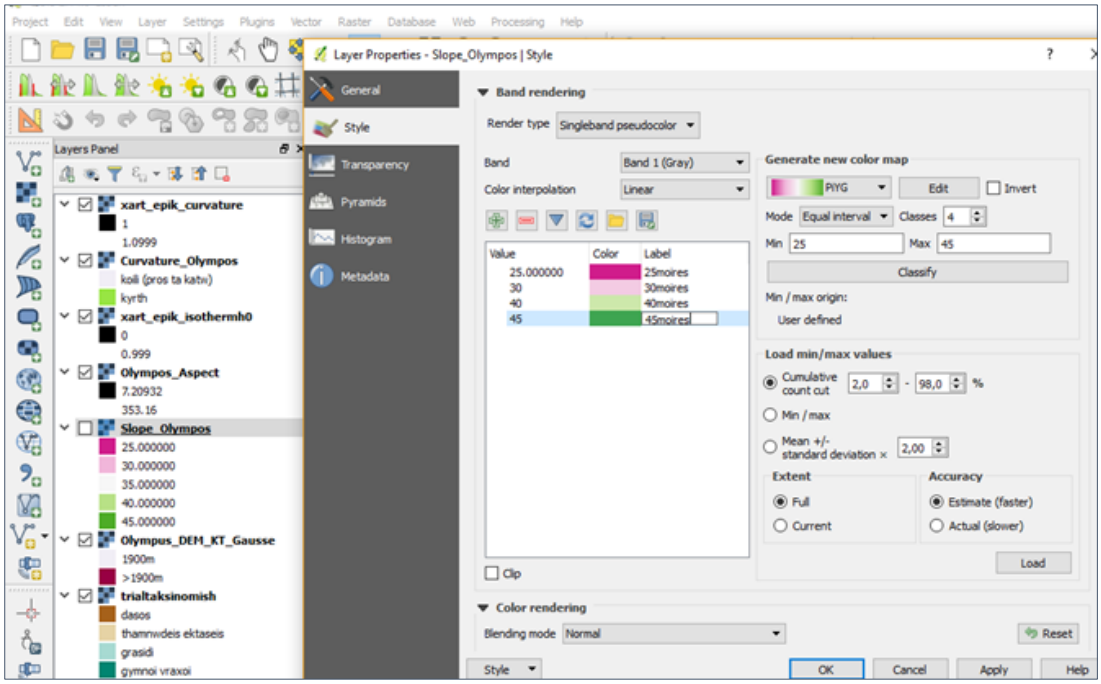
i. Χάρτης επικινδυνότητας βάσει υψομέτρου.

Για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας βάσει υψομέτρου αρχικά έγινε ο διαχωρισμός στο DEM σε δύο κατηγορίες με τιμές <1900 και ≥ 1900 . Η τιμή 1900 αφορά στο υψόμετρο (1900m) το οποίο επιλέχθηκε ως κατάλληλο για την εφαρμογή του κανόνα της ισόθερμης των 0°C σύμφωνα με τον οποίο, πάνω από το συγκεκριμένο υψόμετρο η χιονοκάλυψη είναι μόνιμη (Νοέμβρης-Μάιος) [57].

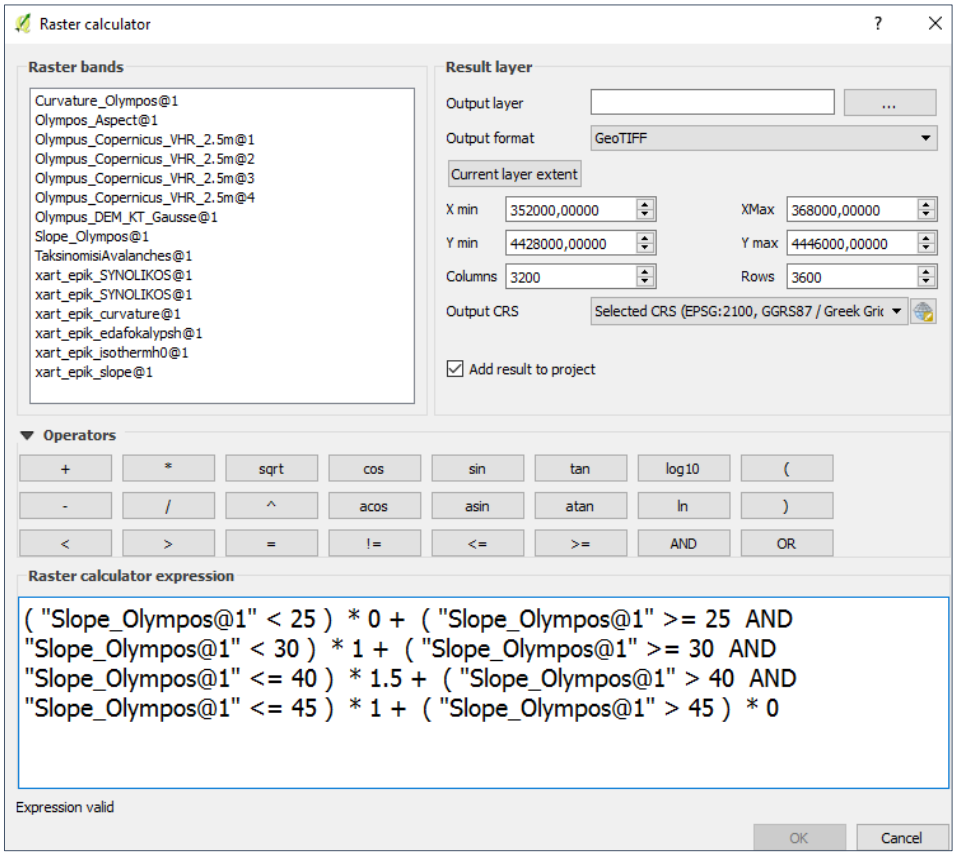
ii. Χάρτης επικινδυνότητας βάσει κλίσης.

Για τη δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας βάσει κλίσεων χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο που προέκυψε από τον Αλγόριθμο Slope και αφορά τις κλίσεις του βουνού. Στο επίπεδο αυτό διαχωρίστηκαν πέντε (5) κατηγορίες τιμών που αφορούν τις κλίσεις (<25, 25-30, 30-40, 40-45, >45) όπως φαίνεται στην εικόνα

31 και στη συνέχεια τέθηκε ο κανόνας στο raster Calculator για την δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας που αφορά τις κλίσεις (εικόνα 30)



Εικόνα 27 Διαμόρφωση των πέντε κατηγοριών κλίσεων στο επίπεδο Slope



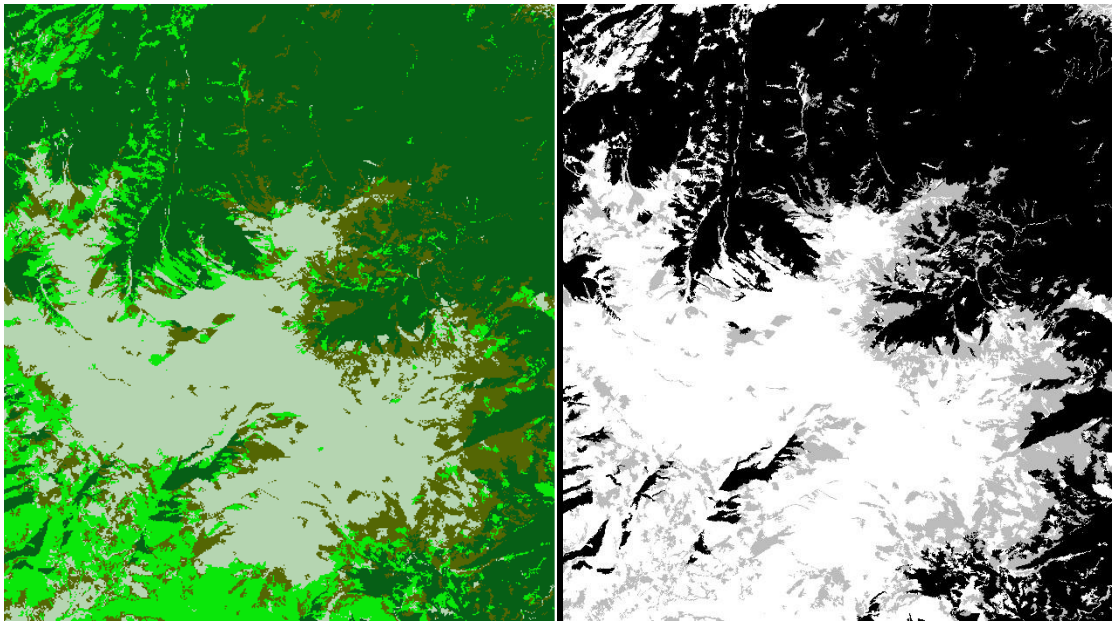
Εικόνα 28 Δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας για κλίσεις

iii. Χάρτης επικινδυνότητας βάσει εδαφοκάλυψης

Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου χάρτη έγινε χρήση του επιπέδου που αφορούσε την εδαφοκάλυψη και προέκυψε από την ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε στο eCognition. Βάσει των τιμών που δίνονται στο αρχείο excel το οποίο συνοδεύει το αρχείο raster που αφορά την ταξινόμηση, διαχωρίστηκαν οι κατηγορίες εδαφοκάλυψης. Στη συνέχεια δόθηκαν τα βάρη μέσω του Raster Calculator.

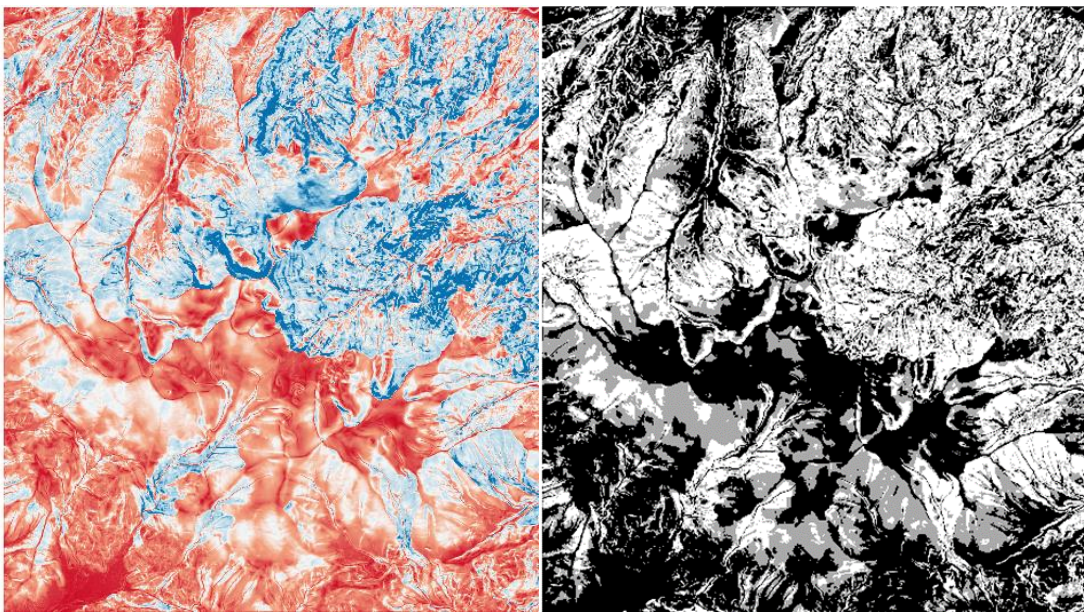
iv. Χάρτης επικινδυνότητας βάσει καμπυλότητας

Ο συγκεκριμένος χάρτης επικινδυνότητας προέκυψε από την μέσω του raster calculator στο επίπεδο που προέκυψε από τον Αλγόριθμο Curvature στο οποίο και εισήχθησαν τα βάρη που δίνονται στον πίνακα 2 για τον διαχωρισμό σε δυο κατηγορίες επικινδυνότητας βάσει καμπυλότητας καμπυλότητα. Το αποτέλεσμα του χάρτη φαίνεται στην εικόνα 32.

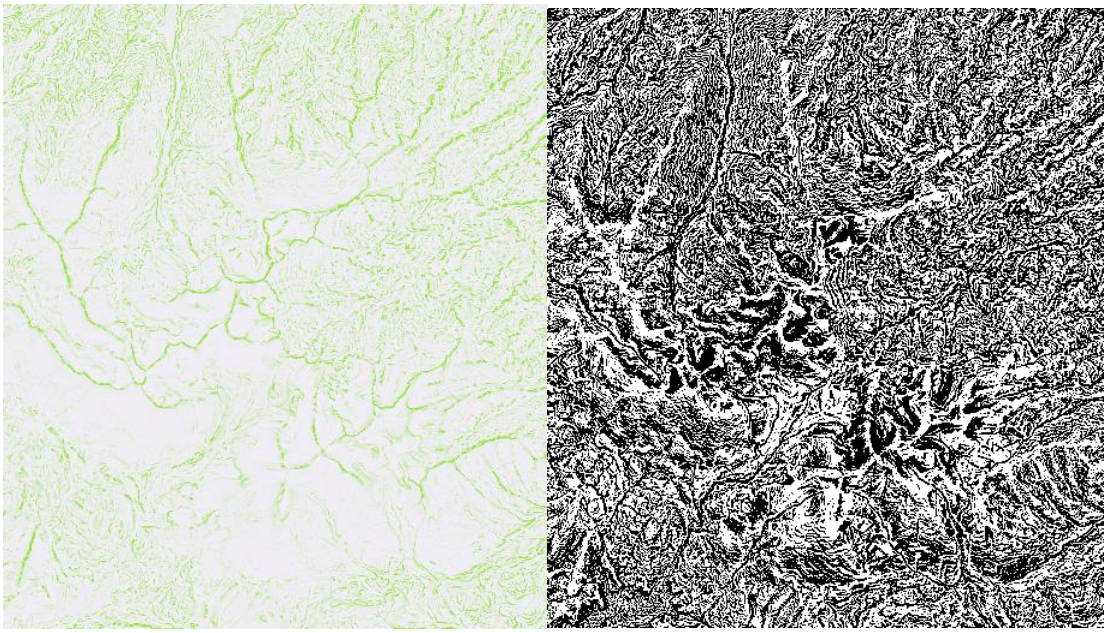


Εικόνα 29 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης εδαφοκάλυψης (σκούρο πράσινο: δάσος, ανοιχτό πράσινο :γρασίδι, χακί : θαμνώδεις εκτάσεις, γκρί : γυμνός βράχος- χώμα. Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει τερέν (εδαφοκάλυψης).

Εικόνα 30 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης υψομέτρου : ροζ <1900m, πράσινο ≥1900m (ισόθερμης 0°C για τους μήνες μόνιμης χιονοκάλυψης: Νοέμβριος- Μάιος [57]) Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει υψομέτρου .



Εικόνα 31 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης κλίσεων (Πλαγιάς (°) κόκκινο≥ 0, σκούρο ροζ ≥25,ανοιχτό ρόζ ≥30, ανοιχτό γαλάζιο≥ 40, γαλάζιο≥ 45, μπλε ≥ 45 Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει κλίσεων

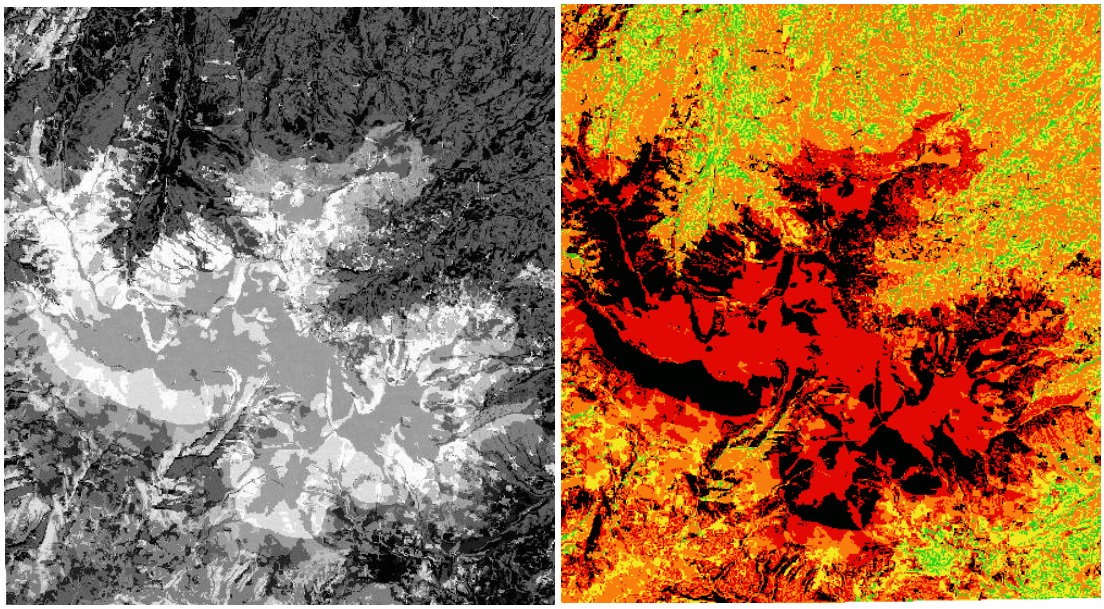


Εικόνα 32 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης καμπυλότητας Πλαγιάς (°)πράσσινο : κυρτή, γκρί: κοίλη 5 Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει καμπυλότητας

v. Τελικός χάρτης επικινδυνότητας βάσει τερέν- αναγλύφου γενικά

Ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας βάσει ανάγλυφου προέκυψε μέσω του συνδυασμού των επιμέρους χαρτών. Για την εξαγωγή του τελικού χάρτη επικινδυνότητας δόθηκαν ίσα βάρη (1) για κάθε ένα παράγοντα. Ο χάρτης που προκύπτει φαίνεται στην εικόνα 33, Από τη χρωματική ποικιλία του χάρτη που ακολουθεί διακρίνονται πέντε κατηγορίες οι οποίες αφορούν τον κίνδυνο σχηματισμού χιονοστιβάδας. Η χρωματική παλέτα που χρησιμοποιήθηκε στηρίζεται στο σύστημα αποτύπωσης της επικινδυνότητας εμφάνισης χιονοστιβάδας που είναι πιο διαδεδομένο και χρησιμοποιείται στην Β. Αμερική και στην Ευρώπη.

Η κλίμακα των 5 κλάσεων αποτύπωσης της επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες προκύπτει από τη σύνθεση όλων των παραγόντων που παίζουν ρόλο στη δημιουργία μιας χιονοστιβάδας. Στην προκειμένη περίπτωση ο χάρτης που ακολουθεί αφορά αποκλειστικά το ανάγλυφο, ενώ παράγοντες όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν περιλαμβάνονται. Με την εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων (πχ θερμοκρασιακές μεταβολές) ό χάρτης αποκτά μια δυναμική μορφή η οποία προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες. Ο παρακάτω χάρτης συνεπώς αφορά μόνο την επικινδυνότητα βάσει τερέν και δεν συμπεριλαμβάνονται μετεωρολογικά δεδομένα ή δεδομένα από επιτόπιες παρατηρήσεις.

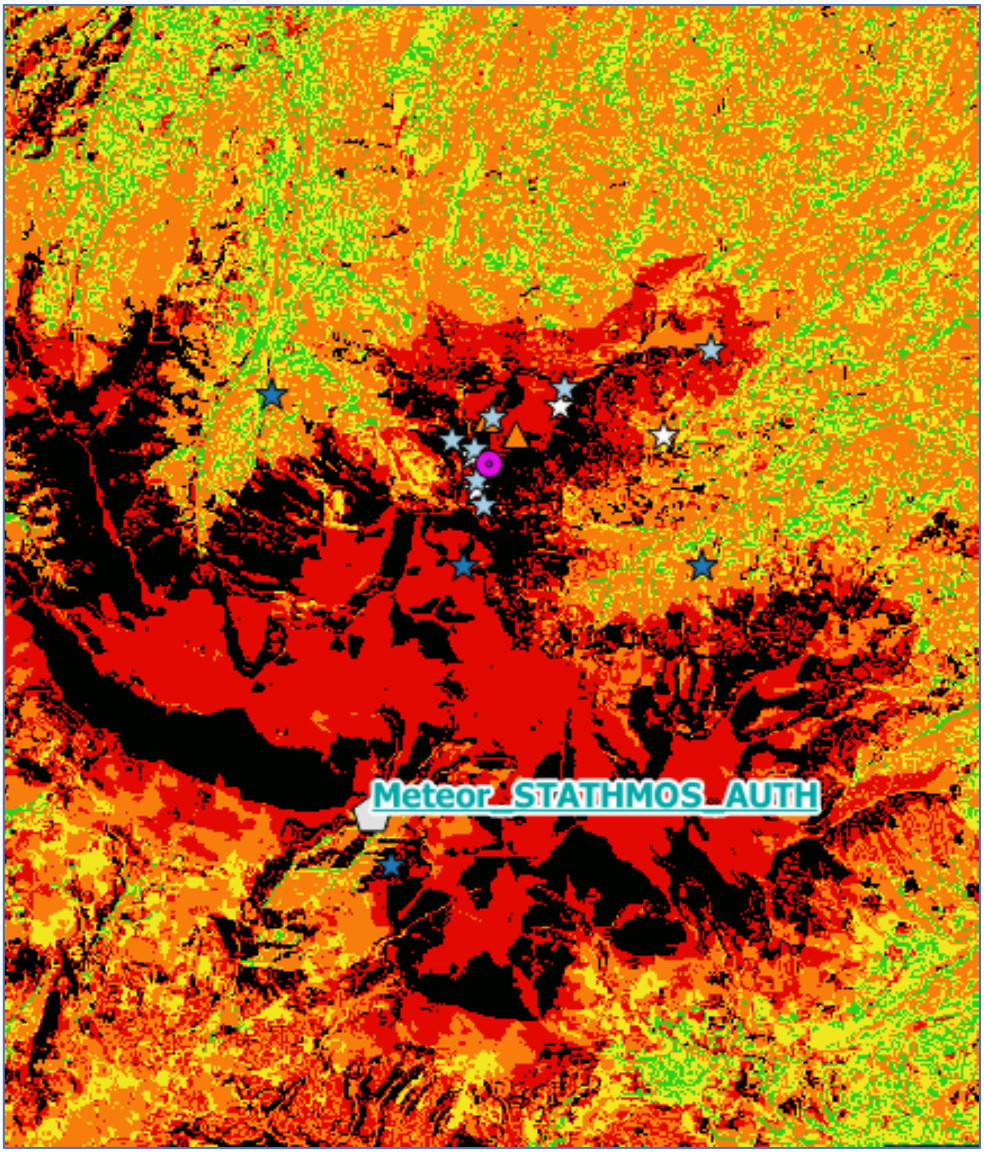


Εικόνα 33 Αριστερά Τελικός χάρτης επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων στον Όλυμπο βάσει ανάγλυφου. Δεξιά, ο χάρτης επικινδυνότητάς με τη χρωματική παλέτα της εικόνας 12

Στη συνέχεια για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων χωρικά φορτώθηκαν τα σημεία στα οποία έχουν συμβεί χιονοστιβάδες σύμφωνα με τα πρωτογενή δεδομένα που χορηγήθηκαν με τη μορφή αρχείων kml του Google Earth, ο μετεωρολογικός σταθμός, τα δύο καταφύγια καθώς και το σημείο στο οποίο συνέβη η θανατηφόρα χιονοστιβάδα το 1976. Στους παρακάτω χάρτες αποτυπώνονται οι περιοχές σε εικόνα από το δορυφόρο Quickbird του Google Earth και απευθείας στον χάρτη επικινδυνότητας που αφορά το ανάγλυφο. Οι περιοχές όπου έχουν συμβεί χιονοστιβάδες απεικονίζονται με αστεράκια, τα δύο καταφύγια («Χρήστος Κάκκαλος» και «Γιόσσος Αποστολίδης») με πορτοκαλί τρίγωνα, ο μετεωρολογικός σταθμός του ΑΠΘ που έχει χορηγήσει τα μετεωρολογικά δεδομένα απεικονίζεται με λευκό πεντάγωνο και ετικέτα με την ονομασία του, ενώ η χιονοστιβάδα του 1976 απεικονίζεται με μωβ κύκλο.

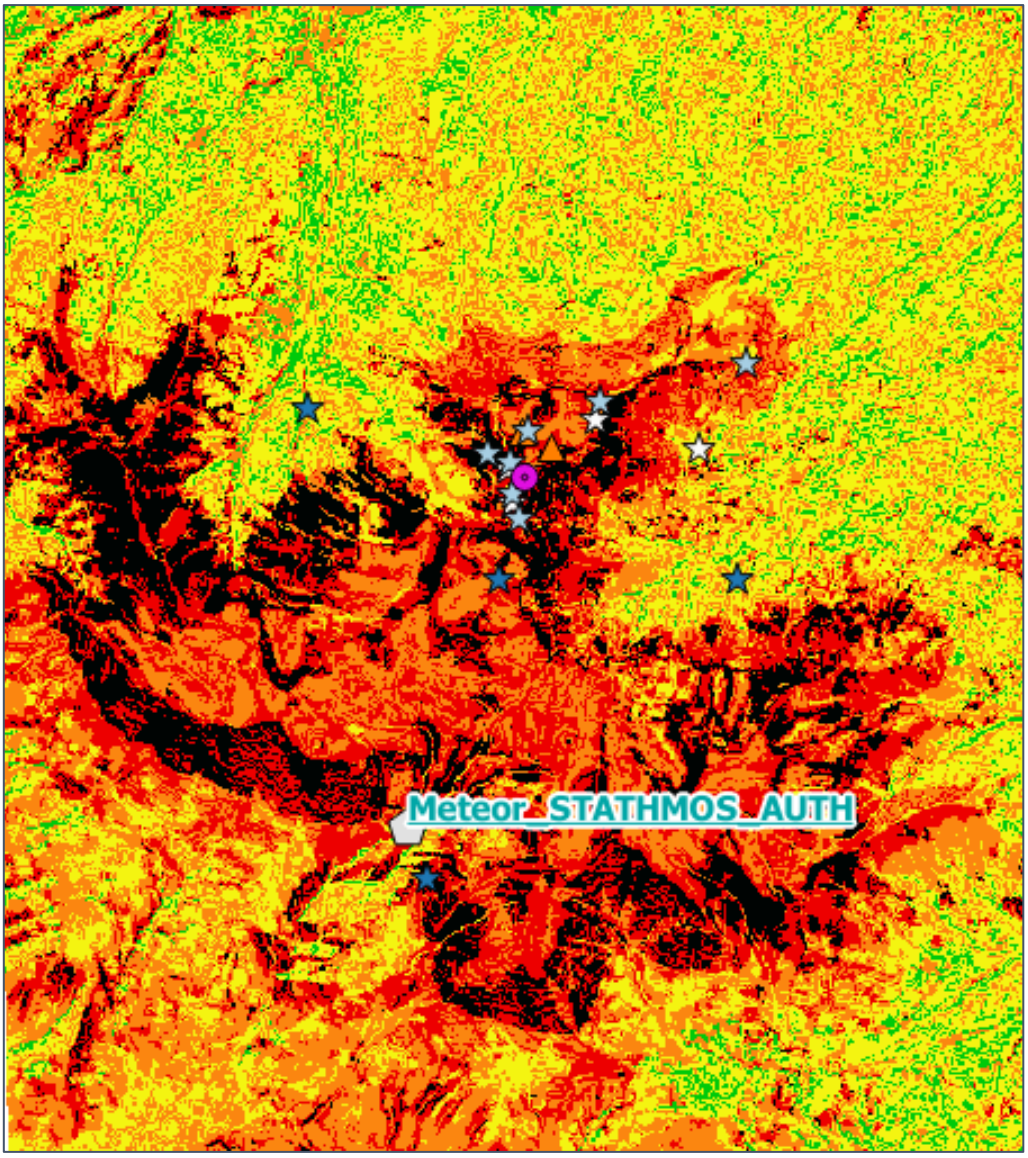
Εικόνα 34 Εικόνα του Ολύμπου από plugin του Google Satellite στο QGIS που απεικονίζει τα σημεία ενδιαφέροντος. Αστέρια : Περιστατικά Χιονοστιβάδων, Τρίγωνα: καταφύγια, Μωβ κύκλος : Χιονοστιβάδα 1976 Κλίμακα : 1:83.437

Εικόνα 35 Απεικόνιση των σημείων ενδιαφέροντος σε μικρότερη κλίμακα για πιο αναλυτική παρατήρηση . Κλίμακα 1:43.225



Εικόνα 36 Ο χάρτης επικινδυνότητας QGIS που απεικονίζει τα σημεία ενδιαφέροντος. Αστέρια : Περιστατικά Χιονοστιβάδων, Τρίγωνα: καταφύγια, Μωβ κύκλος : Χιονοστιβάδα 1976 Κλίμακα : 1:171.698

Για τον παραπάνω έγχρωμο χάρτη επικινδυνότητας ο οποίος και επιλέχθηκε ως πιο έγκυρος (εικόνα 38) η επικινδυνότητα χωρίστηκε σε 5 κατηγορίες στις οποίες μοιράστηκαν ισότιμα οι τιμές των αντικειμένων. Αντίθετα στο χάρτη που ακολουθεί ενισχύθηκε η ακραία τιμή που επιδεικνύει χαμηλότερη επικινδυνότητα με αποτέλεσμα λιγότερες περιοχές να βρίσκονται στην κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας και ο χάρτης να πάρει τη μορφή που ακολουθεί.

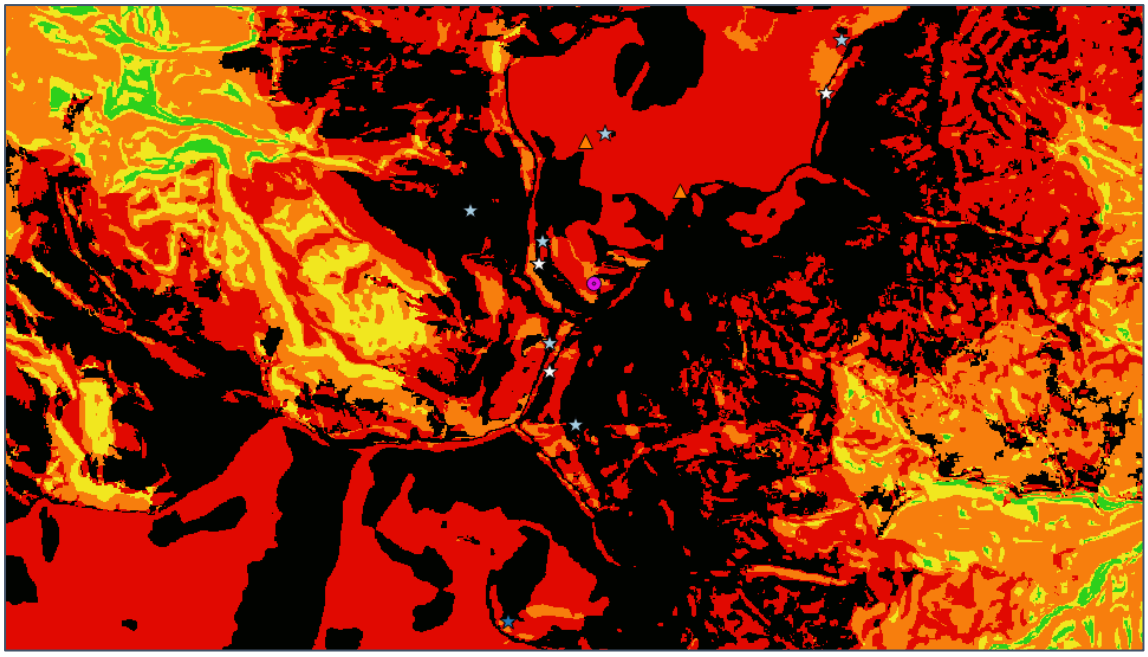


Εικόνα 37 Δοκιμαστικός χάρτης επικινδυνότητας με ενισχυμένες τις ακραίες τιμές.

Value	Color	Label
1.000000		Low
2.024650		Moderate
3.049300		Considerable
4.073950		High
6.000000		Extreme

Value	Color	Label
1.000000		Low
2.500000		Moderate
3.500000		Considerable
4.500000		High
6.000000		Extreme

Εικόνα 38 Αριστερά, τιμές πρώτου χάρτη που επιλέχθηκε ως έγκυρος, δεξιά οι τιμές που δόθηκαν για το δεύτερο χάρτη στον οποίο λιγότερες περιοχές βρίσκονται στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας



Εικόνα 39 Απεικόνιση των σημείων ενδιαφέροντος σε μικρότερη κλίμακα για πιο αναλυτική παρατήρηση . Κλίμακα 1:27.359

6.4 Εκτίμηση της επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τις καιρικές συνθήκες.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο σχηματισμός χιονοστιβάδας δεν αφορά μόνο το ανάγλυφο, αλλά είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που στηρίζεται κατά κύριο λόγω στις μετεωρολογικές συνθήκες. Για παράδειγμα, μπορεί μια πλαγιά να ευνοεί το σχηματισμό χιονοστιβάδας σύμφωνα με το ανάγλυφο της, όμως με ήπιες όσον αφορά τις χιονοστιβάδες μετεωρολογικές συνθήκες και συσσωρευμένο χιόνι με υψηλή συνοχή στη διαστρωμάτωση (snowpack) του, η επικινδυνότητα για σχηματισμό χιονοστιβάδων να μειώνεται σε σημαντικό βαθμό. Για τη διαπίστωση του βαθμού επικινδυνότητας ακολουθήθηκαν κανόνες σχετικά με τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας χιονοστιβάδων μέσω του ιστοτόπου www.meted.ucar.edu . Η ιστοσελίδα MetEd, φιλοξενεί εκπαιδευτικό υλικό που προκύπτει από το πρόγραμμα Comet® το οποίο αφορά συνολικά τις Γεωεπιστήμες όπως έχει ήδη αναφερθεί.

6.4.1 Μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά Ολύμπου

Το κλίμα του Ολύμπου επηρεάζεται από τη γεωγραφική του θέση, τον όγκο του, το πέτρωμα και την έκθεση των πλαγιών. Σε γενικές γραμμές είναι μεσογειακό, δηλαδή θερμό και ξηρό το καλοκαίρι και υγρό το χειμώνα. Επτά μήνες περίπου το χρόνο καλύπτεται από χιόνια (από το Νοέμβριο ως τον Μάιο) σε υψόμετρο άνω των 2000 m ενώ το συνολικό ποσό του νερού που δέχεται ο Όλυμπος, είναι 1100

έως 1800 χιλιοστά το χρόνο, Η μισή ποσότητα του νερού πέφτει με τη μορφή χιονιού ενώ η άλλη μισή πέφτει σαν βροχή ή χαλάζι. Οι βόρειες και ανατολικές πλευρές του βουνού που είναι κοντά στην θάλασσα, δέχονται περισσότερες βροχές από ότι οι νότιες και δυτικές, με αποτέλεσμα να έχουν πολύ πιο πλούσια βλάστηση [19].

Από δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Αγίου Αντωνίου (ΑΠΘ) προκύπτει ότι η μέση ετήσια τιμή κατακρημνισμάτων ανέρχεται σε περίπου 2000mm, η περισσότερη δε υπό μορφή χιονιού. Η μέση θερμοκρασία το χειμώνα κυμαίνεται μεταξύ -25°C και +5°C, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μεταξύ 0°C και 18°C αντίστοιχα, με ακραίες θερμοκρασίες να έχουν μετρηθεί τόσο στην αρνητική όσο και στη θετική κλίμακα. Οι άνεμοι στον Όλυμπο και ιδιαίτερα στα ψηλότερα του τμήματα είναι σχεδόν καθημερινό φαινόμενο. Τις κυριότερες διευθύνσεις αποτελούν οι δυτικοί, νοτιοδυτικοί και βόρειο ανατολικοί άνεμοι, ενώ λιγότερο συχνοί είναι οι νοτιάδες και οι βορειοδυτικοί (Βαρδάρης) άνεμοι. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες έχουν μετρηθεί κατά τη διέλευση μετώπων από το νότο (νοτιάδες) με ταχύτητες μεγαλύτερες των 120 km/hr [58]

6.4.2 Οι μετεωρολογικοί σταθμοί στον Όλυμπο :

Δεδομένα σχετικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες στον Όλυμπο είναι δυνατόν να βρεθούν από τους παρακάτω σταθμούς:

- Το Επιστημονικό Κέντρο Ολύμπου (Ε.Κ.Ο.): Το Επιστημονικό Κέντρο Ολύμπου βρίσκεται στην κορυφή Άγιος Αντώνιος του Ολύμπου και έχει συντεταγμένες (φ=40ο 3’ Β, λ=22ο 21’ Α, h=2817 m) και στο οποίο λειτουργεί σταθμός μόνο κατά τους θερινούς μήνες και λόγω των αντίξοων συνθηκών συνεχή δεδομένα.
- Τον Μετεωρολογικό Σταθμός του ΑΠΘ στο Κ.Ε.Ο.Α (Κέντρο Εκπαιδεύσεων Ορεινών Αγώνων) με συντεταγμένες (φ=40ο 3’ Β, λ=22ο 31’ Α, h=1850 m) ο οποίος λειτουργεί και τους χειμερινούς μήνες κατά τον ίδιο τρόπο όπως και ο Μετεωρολογικός Σταθμός Ε.Κ.Ο., μόνο που η λειτουργία του σταθμού είναι σχεδόν συνεχής και εύρυθμη, διότι οι αντίξοες καιρικές συνθήκες είναι πολύ λιγότερες και πιο ήπιες από αυτές του Ε.Κ.Ο και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται από τον συγκεκριμένο σταθμό [59]
- Τον Μετεωρολογικό σταθμό στο καταφύγιο «Χρήστος Κάκκαλος» με Γεωγραφικό πλάτος: 40 ° 05.40 'N , Γεωγραφικό μήκος: 022 ° 21.60' E και Υψόμετρο: 2648 μέτρα . Ο σταθμός αυτός παρέχει δεδομένα από την αρχή του 2016 αλλά τα δεδομένα δεν είναι συνεχή ενώ δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με τον άνεμο [60]

6.5 Εφαρμογή κανόνων στο excel για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3 ο κίνδυνος εμφάνισης χιονοστιβάδων επηρεάζεται από τις μεταβολές των επιμέρους μετεωρολογικών παραγόντων ξεχωριστά, η σε συνδυασμό. Τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΑΠΘ στον Όλυμπο αφορούν χρονικές περιόδους μέσα στις οποίες από τα πρωτογενή δεδομένα υπάρχουν εντοπισμένα (σε συγκεκριμένες θέσεις) συμβάντα από χιονοστιβάδες που συνέβησαν σε συγκεκριμένες ημερομηνίες που έχουν επίσης καταγραφεί. Με την εφαρμογή κανόνων στο excel οι οποίοι θα τεθούν στα συνολικά δεδομένα θα γίνει προσπάθεια διερεύνησης πιθανής επαλήθευσης της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν την περίοδο μεταξύ 27/1/2011 και 14/4/2011 καθώς επίσης από 28/2/2015 έως 30/3/2015 . Οι ημερομηνίες αυτές περιλαμβάνουν καταγεγραμμένα συμβάντα χιονοστιβάδων Για την πρώτη χρονική περίοδο (27/1/2011-14/4/2011) τα δεδομένα αφορούν: Βροχή (mm), Ελάχιστη Θερμοκρασία Αέρα (°C), Μέση Θερμοκρασία Αέρα (°C) Μέγιστη Θερμοκρασία Αέρα (°C), Ταχύτητα Ανέμου (m/sec), σχετική υγρασία RH%, κατεύθυνση ανέμου (μοίρες), ενώ για τη δεύτερη περίοδο δεν υπάρχουν δεδομένα για τη διεύθυνση ανέμου.

Εφαρμογή κανόνων στο Excel : Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας βάσει των επιμέρους μετεωρολογικών παραγόντων όπως απεικονίζεται στον πίνακα 3 δημιουργήθηκαν κανόνες οι οποίοι προέκυψαν από τα δεδομένα του πίνακα και εφαρμόστηκαν στο σύνολο των δεδομένων στο excel. Έπειτα από την εφαρμογή ενός συγκεκριμένου κανόνα για κάθε παράγοντα ξεχωριστά, πρόκυπτε ένας βαθμός επικινδυνότητας που αφορούσε την συγκεκριμένη ημερομηνία, Η κατηγοριοποίηση του κινδύνου έγινε επίσης με βάση τον πίνακα (3) σε τρεις κατηγορίες επικινδυνότητας. Η κατηγορία κινδύνου 2 αφορούσε αυξημένη επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων βάσει του εκάστοτε παράγοντα. Η κατηγορία 1, αφορούσε μέτρια επικινδυνότητα όταν οι συνθήκες παρέμεναν σχετικά σταθερές ενώ η κατηγορία κινδύνου 0 αφορούσε την ελάχιστη πιθανότητα εμφάνισης χιονοστιβάδων όταν οι καιρικές συνθήκες είναι τέτοιες ώστε ο κίνδυνος να μειώνεται στο ελάχιστο.

Πίνακας 3 Δείκτες καιρού για το ενδεχόμενο Χιονοστιβάδας [61]

	Αύξηση των πιθανοτήτων Σχηματισμού χιονοστιβάδας **(κίνδυνος 2)**	Οι πιθανότητες **παραμένουν οι Ίδιες (κίνδυνος 1)**	**Μείωση** των πιθανοτήτων σχηματισμού χιονοστιβάδας **(κίνδυνος 0)**
Κατακρημνίσεις			
Ποσότητα νέου χιονιού	30cm ή περισσότερα σε 24ωρες	Λιγότερο από 30cm σε 24ωρες	Μηδενική Χιονόπτωση
Βαθμός συσσώρευσης χιονιού	2.5 cm/hr ή περισσότερο για 6+ ώρες	Λιγότερο από 2.5 cm/hr	Μηδενική Χιονόπτωση
Πυκνότητα Νέου Χιονιού	Περισσότερα από 15 cm πυκνότητας 9% και πάνω	Λιγότερο από 30 cm πυκνότητας 6% και κάτω	Μηδενική Χιονόπτωση
Εξέλιξη της θύελλας	Η θύελλα ξεκινά ψυχρή και καταλήγει θερμή	Η θύελλα ξεκινά θερμή και καταλήγει ψυχρή	Θερμοκρασίες μεταξύ -7 και -3 °C, και μηδενική χιονόπτωση
Βροχόπτωση	Οποιαδήποτε Βροχόπτωση	Καθόλου Βροχόπτωση	Καθόλου Βροχόπτωση
Άνεμος			
Μέση τιμή Ανέμου	• 9-27 m/s • 27 m/s με χιονόπτωση και πυκνότητα >10% • 7-9 m/s και πυκνότητα <5%	<9 m/s ή > 27 m/s	Ελαφρύς μεταβλητός άνεμος <7 m/s
Διεύθυνση Ανέμου	Σταθερή	Μεταβλητή	Μεταβλητή
Θερμοκρασία			
Αύξηση Θερμοκρασίας	Θερμοκρασίες που αυξάνουν περισσότερο από 8 ° C σε 12 ώρες και είναι κοντά ή πάνω από το μηδέν	Θερμοκρασίες που αυξάνονται λιγότερο από 8 ° C σε 12 ώρες και είναι αρκετά κάτω από το μηδέν	Σταδιακή αύξηση των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια μερικών ημερών οι οποίες παραμένουν κάτω από το μηδέν
Μείωση Θερμοκρασίας		Το εύρος των θερμοκρασιών κυμαίνεται μεταξύ -10 και -4° C	Χαμηλότερες θερμοκρασίες έπονται ενός πιο θερμού κύματος (με θερμοκρασίες κάτω από το σημείο παγετού ωστόσο)
Επίπεδο Βροχής/Χιονιού	Από τις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων και πάνω	Κάτω από όλες τις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων	Θερμοκρασίες υπό του σημείου παγετού σε όλα τα υψόμετρα
Ψηλές Θερμοκρασίες	Πάνω από το μηδέν στις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων για > 24 ώρες	Πάνω από το μηδέν στις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων για 12-24 ώρες	

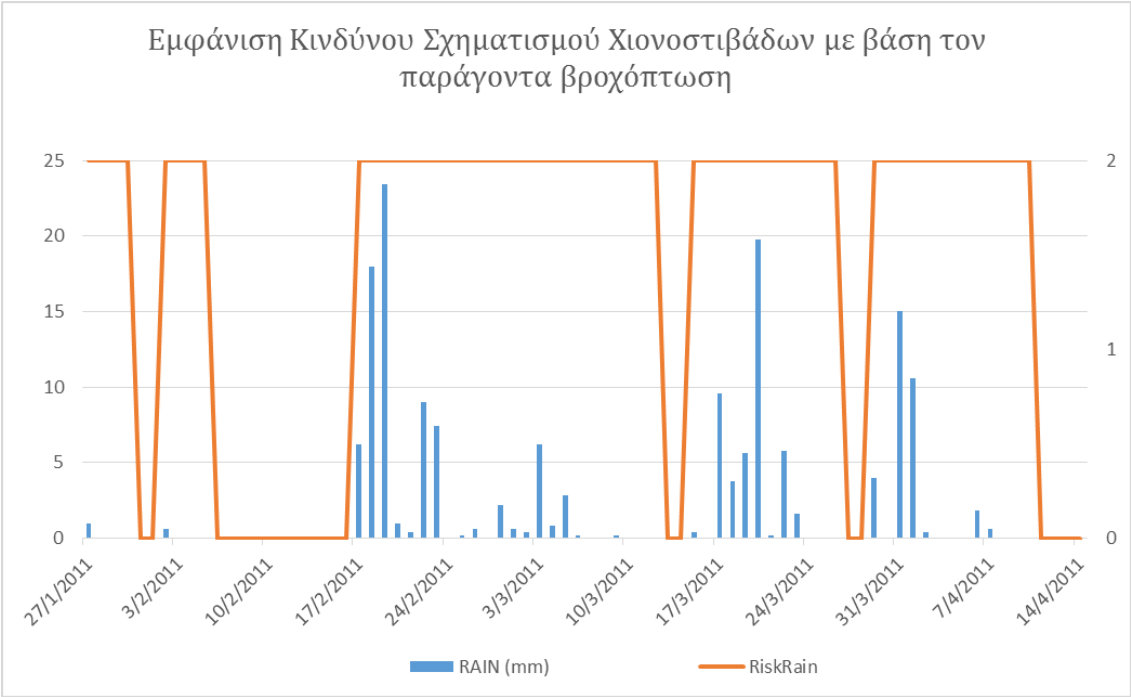
Χαμηλές Θερμοκρασίες	• Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-10° C), για μεγάλο χρονικό διάστημα • Αβαθής στρωμάτωση χιονιού (snowpack) 1m και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-10° C)	Μεταξύ -10 και -4° C	
Κάλυψη από Σύννεφα / Ηλιακή Ακτινοβολία			
Κατά τη διάρκεια της νύχτας	Καθαρός ουρανός με θερμοκρασίες <-10° C και ανέμους έντασης 5m/s και κάτω	• Συννεφιασμένος • Καθαρός με σχετικά ήπιες θερμοκρασίες • Μερικώς συννεφιασμένος με ανέμους >5m/s	
Κατά τη διάρκεια της ημέρας	Καθαρός ουρανός ή με αραιά σύννεφα, ψηλές θερμοκρασίες και υψηλές γωνίες πρόσπτωσης του ήλιου ειδικά σε προσήλιες πλαγιές	Έντονη συννεφιά	

6.6 Υπολογισμός του κινδύνου για κάθε παράγοντα

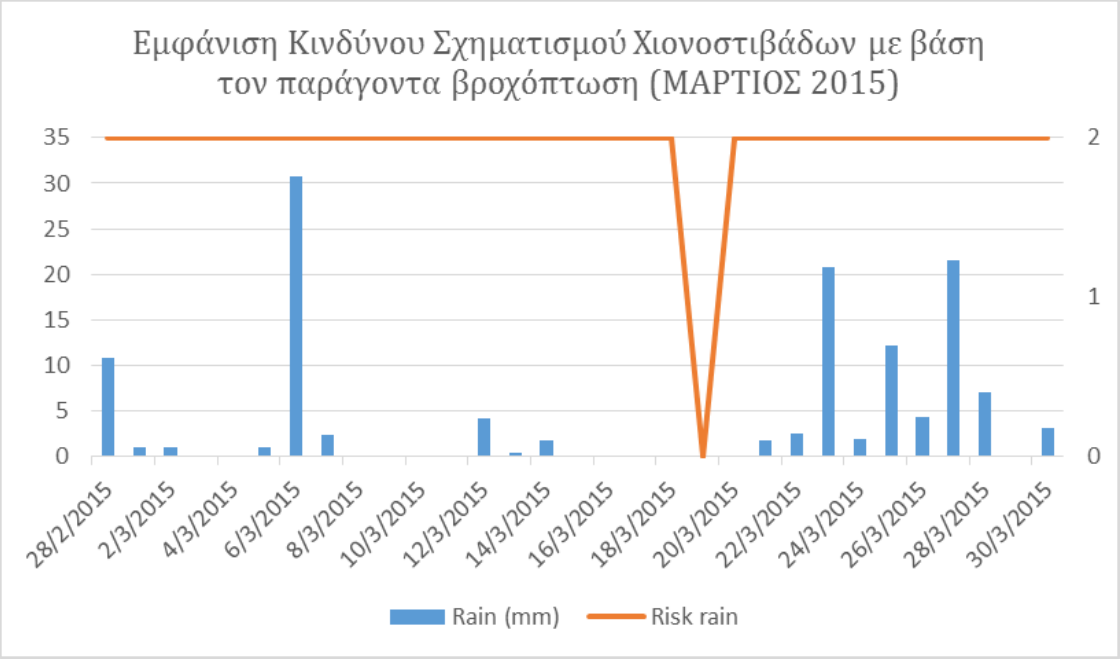
6.6.1 Υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα «Βροχή»

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι ο κίνδυνος σχηματισμού χιονοστιβάδας στην περίπτωση οποιασδήποτε βροχόπτωσης είναι 2 ενώ όταν δεν υπάρχει καθόλου βροχόπτωση ο κίνδυνος είναι είτε 0 είτε 1, και επηρεάζεται αποκλειστικά από τους υπόλοιπους μετεωρολογικούς παράγοντες. Έτσι ο κανόνας που τέθηκε είναι ότι εάν για τρεις συνεχόμενες ημέρες δεν έχει υπάρξει καθόλου βροχή τότε ο κίνδυνος είναι 0, αλλιώς σε περίπτωση βροχής είναι 2 . Ο κανόνας αυτός εφαρμόστηκε στο excel για τις ημερομηνίες του 2011 και 2015 για τις οποίες διατέθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα. Το αποτέλεσμα φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.

Διάγραμμα 1 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα βροχή για τις ημερομηνίες 27/1/2011 και 14/4/2011



Διάγραμμα 2 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα βροχή για τις ημερομηνίες από 28/2/2015 έως 30/3/2015



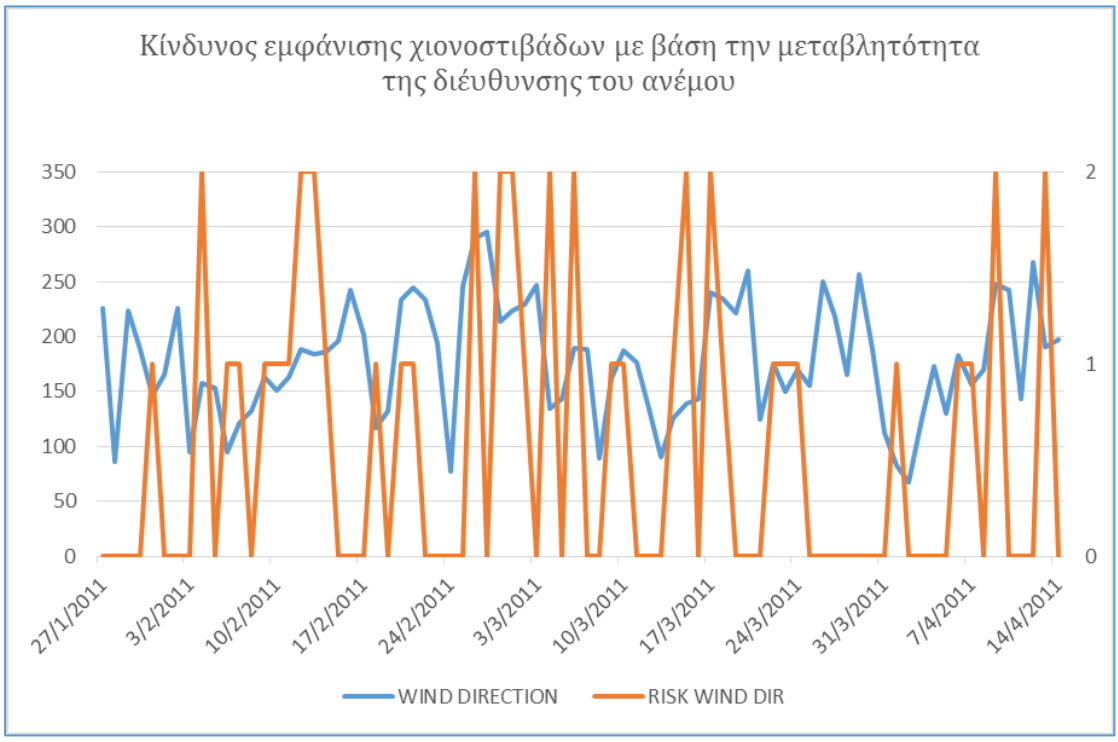
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα ο κίνδυνος σχηματισμού χιονοστιβάδων λόγω βροχοπτώσεων φαίνεται να είναι γενικά αυξημένος. Το γεγονός αυτό θα αναλυθεί περεταίρω στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί παρακάτω.

6.6.2 Υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα «Άνεμος»

Όσον αφορά την περίπτωση του Ανέμου ο κανόνας που είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα είναι ο σχετικός με τη Διεύθυνση Ανέμου. Συγκεκριμένα όταν η διεύθυνση του ανέμου είναι Σταθερή ο κίνδυνος είναι 2 ενώ όταν η διεύθυνση είναι μεταβλητή ο κίνδυνος είναι είτε 1 είτε 0 . Ο κανόνας αυτός τέθηκε στα δεδομένα για τον άνεμο στο excel ως εξής: Αν η απόλυτη διαφορά των τιμών της διεύθυνσης μεταξύ μιας ημέρα και της επόμενης είναι μικρότερη ή ίση από 10 μοίρες, τότε ο κίνδυνος είναι 2. Αν η απόλυτη διαφορά των τιμών της διεύθυνσης μεταξύ μιας ημέρα και της επόμενης είναι μεγαλύτερη από 10 μοίρες και μικρότερη από 30 μοίρες τότε ο κίνδυνος είναι, 1, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις ο κίνδυνος είναι 0.

Βάση αυτού του κανόνα προέκυψε το γράφημα που ακολουθεί και αφορά την περίοδο του 2011, καθώς για το Μάρτιο του 2015 που είναι η δεύτερη περίοδος δεδομένων που χορηγήθηκαν δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με τη διεύθυνση του ανέμου.

Διάγραμμα 3 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα διεύθυνση ανέμου για τις ημερομηνίες 27/1/2011 και 14/4/2011



6.6.3 Υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα Θερμοκρασία

Η επίδραση της θερμοκρασίας στον κίνδυνο σχηματισμού χιονοστιβάδων όπως φαίνεται στον πίνακα 3 έχει διαφορετικές εκφάνσεις ανάλογα με το είδος των θερμοκρασιακών μεταβολών. Έτσι η επικινδυνότητα που αφορά τις χιονοστιβάδες επηρεάζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας, από την μείωση της θερμοκρασίας ή από τις υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της διαστρωμάτωσης του συσσωρευμένου χιονιού. Εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα όπως το επίπεδο βροχής/χιονιού (από ποιο σημείο σταματά η βροχή και ξεκινά το χιόνι) ή η δομή της διαστρωμάτωσης του συσσωρευμένου χιονιού, ο υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα θερμοκρασία θα γίνει με βάση την αύξηση της θερμοκρασίας και τις υψηλές θερμοκρασίες.

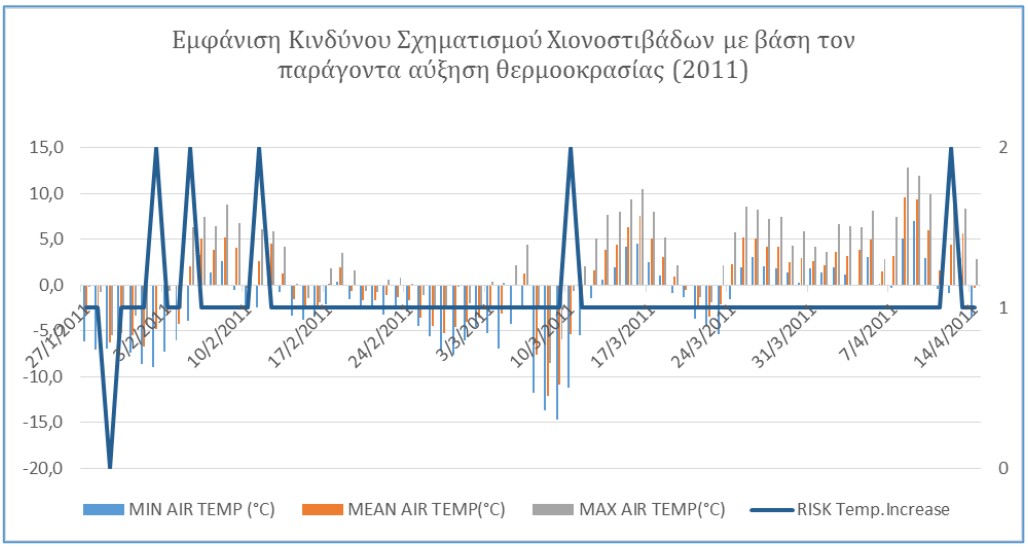
<u>‘Αύξηση θερμοκρασίας</u>

Ο κανόνας που τέθηκε στο excel είναι ο εξής : Κίνδυνος 2 για θερμοκρασίες που αυξάνουν περισσότερο από 8 ° C σε 12 ώρες και είναι κοντά ή πάνω από το μηδέν.

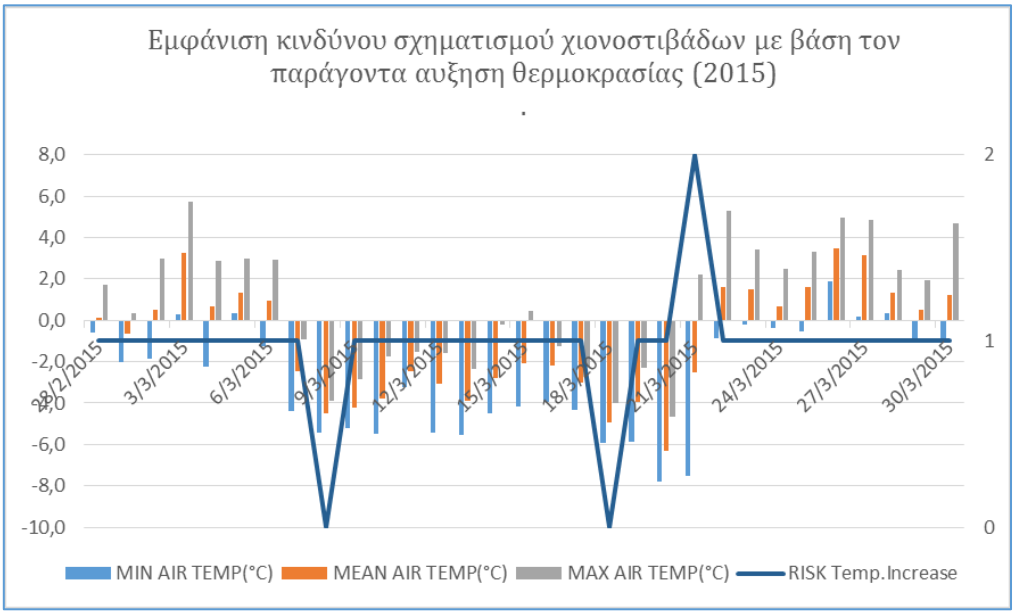
Κίνδυνος 1 για θερμοκρασίες που αυξάνονται λιγότερο από 8 ° C σε 12 ώρες και είναι αρκετά κάτω από το μηδέν και κίνδυνος 0 για σταδιακή αύξηση των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια μερικών ημερών οι οποίες παραμένουν κάτω από το μηδέν. Ο κανόνας αυτός στο excel μετατράπηκε ακολούθως : κίνδυνος 2 : Αν dT>8 (όπου Tmax-Tmin) και Tmax>-2, κίνδυνος 1 αν 2<dT<=8 και Tmax<=-4 και κίνδυνος 0 αν dT<=2 και Tmax<=-2

Με βάση τα παραπάνω προέκυψαν τα διαγράμματα που απεικονίζουν την μεταβολή της επικινδυνότητας σε αντιστοιχία με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Διάγραμμα 4 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα αύξηση θερμοκρασίας για τις ημερομηνίες 27/1/2011 και 14/4/2011



Διάγραμμα 5 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα αύξηση θερμοκρασίας για τις ημερομηνίες από 28/2/2015 έως 30/3/2015

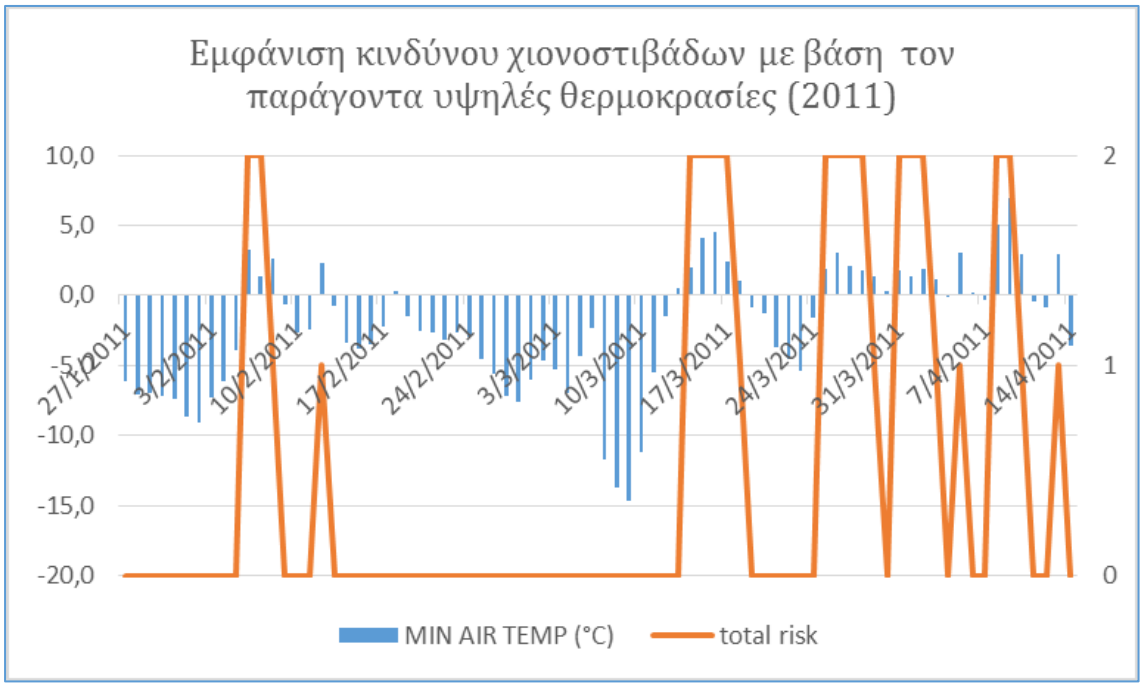


Υψηλές Θερμοκρασίες:

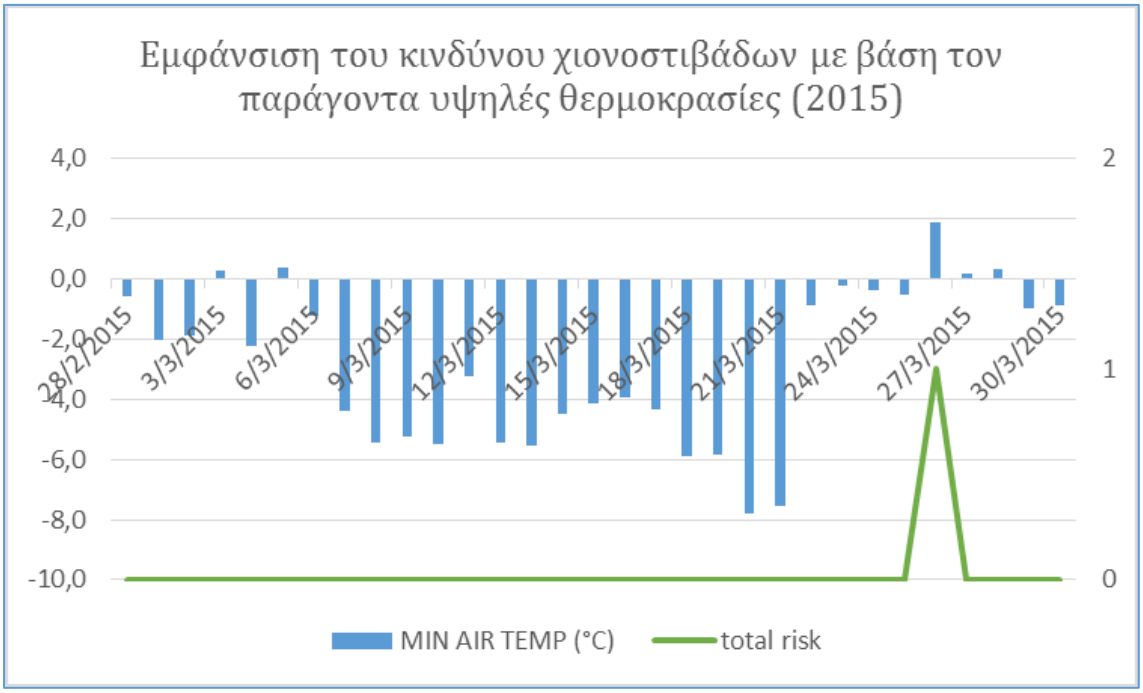
Όσον αφορά την επικινδυνότητα βάσει υψηλών θερμοκρασιών, ο κανόνας ορίζει κίνδυνο 2 για θερμοκρασίες που είναι πάνω από το μηδέν στις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων για περισσότερο από 24 ώρες ενώ κίνδυνο 1 όταν οι θερμοκρασίες είναι πάνω από το μηδέν στις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων για 12-24 ώρες . Λαμβάνοντας υπόψη ότι στην περίπτωση μας ο σταθμός που παρείχε τα δεδομένα βρίσκεται στα 1850 μέτρα , σε σημείο χαμηλότερο από αυτό της μόνιμης χιονοκάλυψης (2000 m) και κάτω από τις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων (πάνω από τα 2000m) σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η θερμοκρασία στον Όλυμπο όπως αναφέρεται και πιο πάνω μειώνεται κατά 1 °C για κάθε 100 μέτρα ανάβασης ο κανόνας αυτός τέθηκε στο excel ως εξής:

Αν η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 1 °C (αφορά τη θέση του σταθμού) για δύο συνεχόμενες μέρες, τότε ο κίνδυνος είναι 2. Αν η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 1 °C εντός 24 ωρών τότε ο κίνδυνος είναι 1. Σε διαφορετική περίπτωση ο κίνδυνος με βάση την υψηλή θερμοκρασία είναι 0. Παρακάτω απεικονίζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Διάγραμμα 6 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα υψηλές θερμοκρασίες για τις ημερομηνίες 27/1/2011 και 14/4/2011



Διάγραμμα 7 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα υψηλές θερμοκρασίες για τις ημερομηνίες από 28/2/2015 έως 30/3/2015

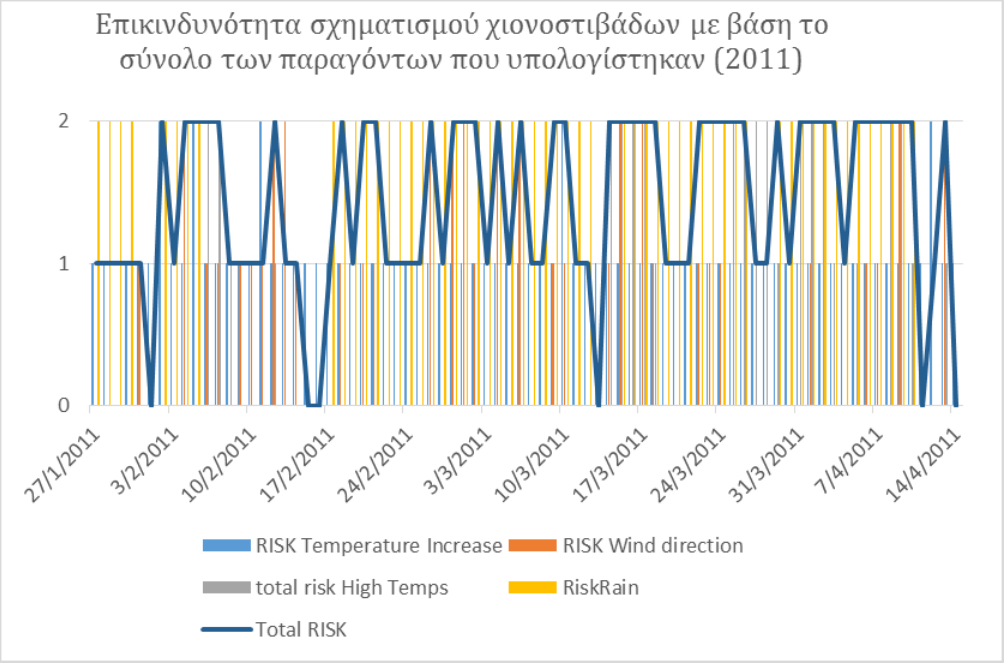


6.6.4 Υπολογισμός του συνολικού κινδύνου με βάση το σύνολο των επιμέρους κινδύνων

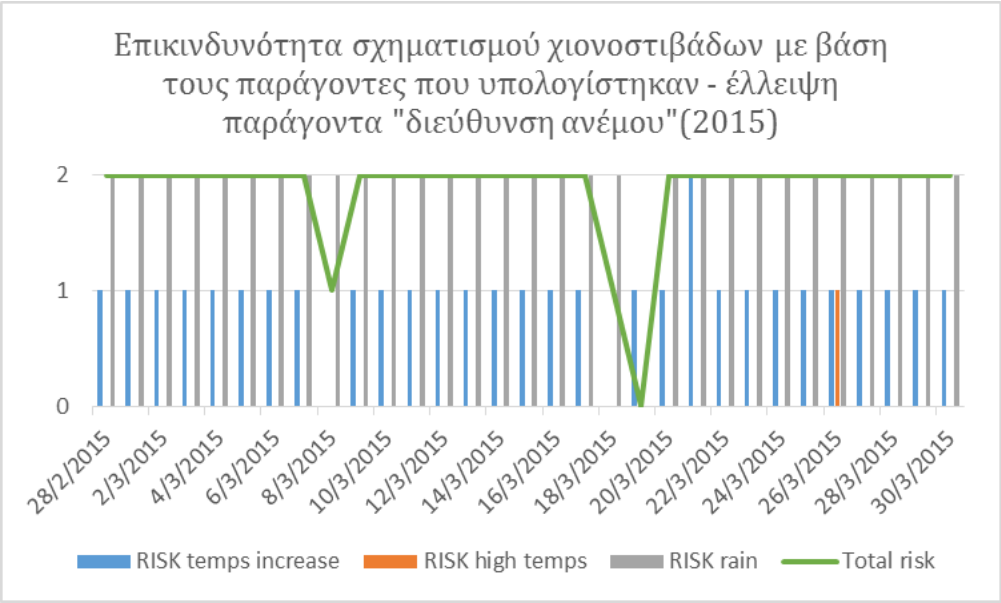
Για τον υπολογισμό του συνολικού κινδύνου σχηματισμού χιονοστιβάδων στον Όλυμπο σύμφωνα με τους επιμέρους κινδύνους ο κανόνας που τέθηκε είναι ότι αν το σύνολο των επιμέρους κινδύνων είναι ίσο με 1 (δηλαδή είναι όλοι οι κίνδυνοι 0, εκτός από έναν που είναι 1) τότε η συνολική επικινδυνότητα είναι 0. Στην περίπτωση το άθροισμα είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 4 και ταυτόχρονα δεν είναι οι επιμέρους κίνδυνοι 1, (δηλαδή είναι 2 και 1 και 1 τουλάχιστον), ο κίνδυνος είναι 2. Έτσι στις περιπτώσεις που το άθροισμα των επιμέρους κινδύνων είναι 2 ή 3 ή 4 (μόνο όταν ο καθένας από αυτούς είναι 1), ο συνολικός κίνδυνος ισούται με 1. Για το 2015 όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν έχει υπολογιστεί ο κίνδυνος βάση μεταβλητότητας της διεύθυνσης του ανέμου και για τον λόγο αυτό δεν υπάρχει. Ωστόσο ο κανόνας που ακολουθήθηκε είναι με την περίπτωση των δεδομένων για το 2011 .

Τα διαγράμματα που προέκυψαν ήταν τα παρακάτω:

Διάγραμμα 8 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων για τις ημερομηνίες 27/1/2011 και 14/4/2011



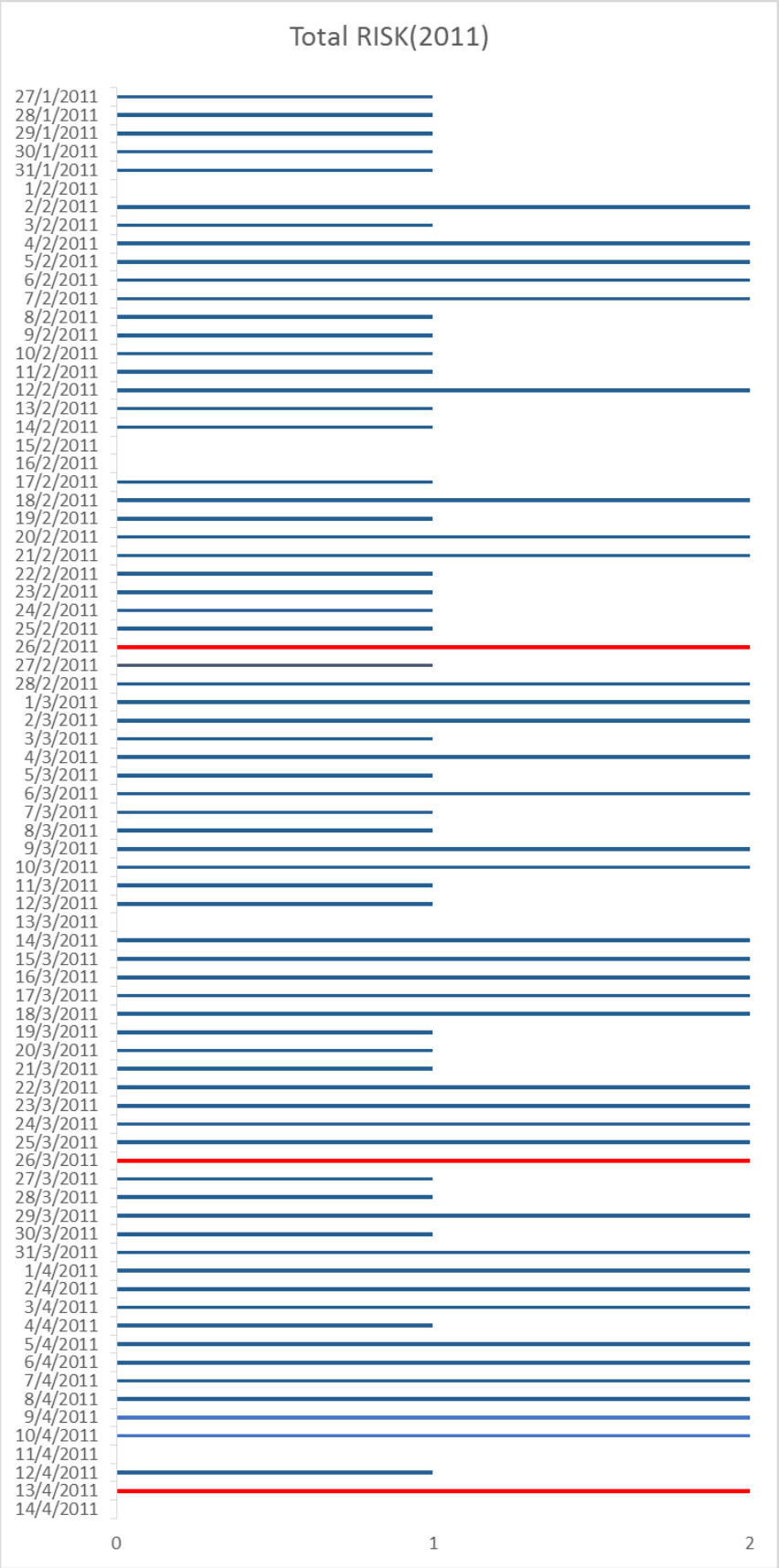
Διάγραμμα 9 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων για τις ημερομηνίες από 28/2/2015 έως 30/3/2015



Τα συνολικά γραφήματα με επισημασμένες τις ημερομηνίες όπου υπάρχουν καταγεγραμμένα συμβάντα χιονοστιβάδων:

Διάγραμμα 10 Επισήμανση των ημερών που συνέβησαν χιονοστιβάδες (2015)

Διάγραμμα 11 Επισήμανση των ημερών που συνέβησαν χιονοστιβάδες (2011)

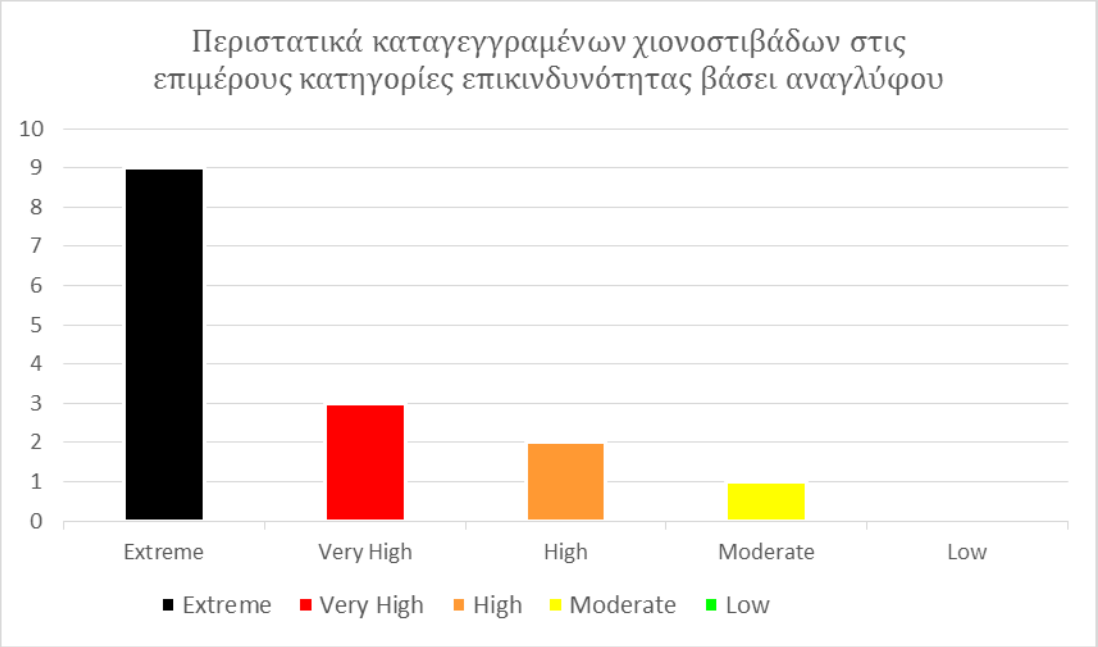


Κεφάλαιο 7. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Γενικά τα μετεωρολογικά δεδομένα βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της επικινδυνότητας, και ήταν τα μόνα που αφορούσαν το μέγιστο δυνατό υψόμετρο δεν περιείχαν όλες τις μετρήσεις που ήταν απαραίτητες για μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση του κινδύνου. Συγκεκριμένα εκτός από τα τους παράγοντες επικινδυνότητας που υπολογίστηκαν ήταν απαραίτητα και άλλα δεδομένα όπως η ποσότητα νέου χιονιού, ο βαθμός συσσώρευσης χιονιού, η πυκνότητα νέου χιονιού, η πυκνότητα ανέμου, το επίπεδο βροχής/χιονιού (από ποιο σημείο και πάνω υψομετρικά σταματά η βροχή και ξεκινά η χιονόπτωση) η στρωμάτωση του χιονιού (snowpack), καθώς και η κάλυψη από σύννεφα / ηλιακή Ακτινοβολία. Επιπλέον τα πρωτογενή δεδομένα που αφορούσαν περιστατικά χιονοστιβάδων καταγεγραμμένα με ημερομηνία ήταν πέντε στο σύνολο, για ένα εκ των οποίων (Ιανουάριος 2016- θέση Στεφάνι) δεν βρέθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα με αποτέλεσμα για την επαλήθευση να χρησιμοποιηθούν μόνο τέσσερα.

7.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν το χάρτη επικινδυνότητας

Όσον αφορά τον χάρτη επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου για χιονοστιβάδες, φαίνεται ότι οι περισσότερες από τις χιονοστιβάδες που έχουν καταγραφεί και αποτυπωθεί στο χάρτη, βρίσκονται στις περιοχές υψηλότερης επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα από τα περιστατικά που έχουν καταγραφεί και αποτυπωθεί στο χάρτη επικινδυνότητας, στην περιοχή ακραίου (extreme) κινδύνου που αποτυπώνεται με μαύρο χρώμα, έχουν συμβεί 9 περιστατικά χιονοστιβάδων από τα 15 συνολικά. Στην περιοχή πολύ υψηλού (very high) κινδύνου που αποτυπώνεται με κόκκινο χρώμα στο χάρτη επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου, έχουν συμβεί 3 από τα 15 περιστατικά, ενώ στην πορτοκαλί περιοχή που αντιπροσωπεύει την περιοχή υψηλού (high) κινδύνου έχουν καταγραφεί 2 περιστατικά. Στην κίτρινη περιοχή μέτριας (moderate) επικινδυνότητας έχει καταγραφεί 1 περιστατικό, ενώ δεν συναντάται κανένα περιστατικό στη περιοχή χαμηλής (low) επικινδυνότητας που αποτυπώνεται με πράσινο ανοιχτό χρώμα στο χάρτη. Επιπλέον η προσεκτική εξέταση του δεύτερου δοκιμαστικού χάρτη (εικόνα 36) έδειξε επίσης ότι ο ίδιος αριθμός συμβάντων (9) συνέβησαν σε περιοχές μέγιστης επικινδυνότητας, παρόλο που στο χάρτη αυτό οι περιοχές που ανήκαν στην κατηγορία μέγιστης επικινδυνότητας είχαν περιοριστεί. Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι ο χάρτης επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες βάσει αναγλύφου για τον Όλυμπο είναι σε μεγάλο βαθμό έγκυρος και επαληθεύεται από τα πρωτογενή δεδομένα που αφορούν καταγεγραμμένα περιστατικά χιονοστιβάδων.



Εικόνα 40 Αποτύπωση περιστατικών χιονοστιβάδων στις περιοχές πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας του χάρτη επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου

7.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις επικινδυνότητες βάσει καιρικών συνθηκών

7.2.1 Παράγοντας επικινδυνότητας «Βροχόπτωση»

Ο υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα «Βροχή» ανέδειξε αυξημένο και για την περίοδο του 2011 και για την περίοδο που αφορά τον μήνα Μάρτιο του 2015 όπου ο κίνδυνος είναι γενικά 2 με μόνη εξαίρεση μια μοναδική ημερομηνία . Το γεγονός αυτό πιθανά οφείλεται στο ότι ο σταθμός βρίσκεται σε υψόμετρο 1850m με αποτέλεσμα να καταγράφει βροχόπτωση ενώ είναι πιθανό στα μεγαλύτερα υψόμετρα όπου και συμβαίνουν οι χιονοστιβάδες, οι κατακρημνίσεις να έχουν τη μορφή χιονόπτωσης.

Όπως φαίνεται και στα δύο διαγράμματα που αφορούν την επικινδυνότητα βάσει βροχόπτωσης, ο κίνδυνος είναι ιδιαίτερα αυξημένος για τους ανοιξιάτικους μήνες (Μάρτιο και Απρίλιο) για τους οποίους υπάρχουν δεδομένα και για τις δύο χρονολογίες. Οι ανοιξιάτικες χιονοστιβάδες που προκύπτουν από το υγρό χιόνι είναι αποτέλεσμα βροχοπτώσεων και υψηλών θερμοκρασιών και φαίνεται να συμβαίνουν στον Όλυμπο.

Εικόνα 41 Υγρή Χιονοστιβάδα Περιοχή Γκαβός 13/04/2011 (Προσωπικό αρχείο Μ. Στύλλα)

Εικόνα 42 Υγρή Χιονοστιβάδα Περιοχή Σκούρτα 30/03/2015 (Προσωπικό αρχείο Μ. Στύλλα)

7.2.2 Παράγοντας επικινδυνότητας «Άνεμος»

Η μεταβολή της διεύθυνσης του ανέμου φαίνεται να επηρεάζει τη δραστηριότητα χιονοστιβάδων καθώς όπως αναφέρθηκε και πιο πριν, ένας άνεμος σταθερής διεύθυνσης μπορεί να βοηθήσει στη συσσώρευση χιονιού στις κορυφές πλαγιών όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 καθώς επίσης και να "πυροδοτήσει" μια χιονοστιβάδα. Η επικινδυνότητα είναι γενικά μεταβαλλόμενη χωρίς να παίρνει κυρίως μία τιμή από της τρεις. Δεν έχει καταγραφεί κάποια χιονοστιβάδα που προέκυψε αποκλειστικά από άνεμο εκτός από τον Ιανουάριο του 2016 όποτε και έχει πραγματοποιηθεί χιονοστιβάδα τύπου πλάκας που έχει προκληθεί από ισχυρό άνεμο όπως φαίνεται στην εικόνα 7 . Γενικά η ισχύς και η διεύθυνση του ανέμου μεταβάλλεται και υπάρχουν πλαγιές και περιοχές πιο εκτεθειμένες στον άνεμο από άλλες. Για το λόγο αυτό τα δεδομένα ενός μόνο σταθμού στη περίπτωση του ανέμου είναι ιδιαίτερα ανεπαρκή, και κυρίως για την επαλήθευση χιονοστιβάδων που έχουν πραγματοποιηθεί σε πλαγιές διαφορετικού προσανατολισμού και υψομέτρου.

7.2.3 Παράγοντας επικινδυνότητας Αύξηση Θερμοκρασίας

Στην περίπτωση της αύξησης της θερμοκρασίας η επικινδυνότητα μοιράζεται και στις τρεις κατηγορίες. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα του σταθμού είναι δυνατόν να περιγράψουν την τάση της θερμοκρασίας ακόμη και αν για μεγαλύτερο υψόμετρο οι θερμοκρασίες είναι διαφορετικές. Αυτό συμβαίνει γιατί οι έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές συμβαίνουν πιο συνολικά. Ωστόσο και στη συγκεκριμένη περίπτωση αν πραγματοποιηθεί μια αύξηση θερμοκρασίας της τάξης των 8 °C αλλά οι θερμοκρασίες παραμένουν αρκετά κάτω από το μηδέν στις περιοχές εκκίνησης χιονοστιβάδων τότε ο κίνδυνος είναι μειωμένος σε σχέση με τη περίπτωση οι θερμοκρασίες να είναι κοντά στο 0 σε χαμηλότερα υψόμετρα.

7.2.4 Παράγοντας επικινδυνότητας υψηλές Θερμοκρασίες

Οι υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν παράγοντα που επηρεάζει σύμφωνα με τα διαγράμματα τη δραστηριότητα των χιονοστιβάδων την άνοιξη όσον αφορά την περίοδο του 2011 ενώ για το 2015 η επικινδυνότατα είναι σε χαμηλά επίπεδα. Ωστόσο εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά για τις ζώνες εκκίνησης χιονοστιβάδων, είναι πιθανό, οι θερμοκρασίες να είναι πιο χαμηλές και η επικινδυνότητα διαφορετική και στη συγκεκριμένη περίπτωση για τα μεγαλύτερα υψόμετρα, Οι υψηλές θερμοκρασίες για το Μάρτιο του 2015 παρουσιάζουν επικινδυνότητα 2 στο τέλος του Μαρτίου οπότε και έχει συμβεί η μόνη χρονικά καταγεγραμμένη χιονοστιβάδα για το 2015. Αντίστοιχα και για το 2011 ο κίνδυνος βάσει υψηλών θερμοκρασιών είναι αυξημένος για τον Απρίλιο του 2011, ενώ είναι στο 0 για την περίοδο στα μέσα προς τέλη του Φεβρουαρίου όπου έχει καταγραφεί χιονοστιβάδα στις 27/02/2011.

7.2.5 Επικινδυνότητα βάσει του συνόλου των παραγόντων

Όλα χρονικά καταγεγραμμένα περιστατικά χιονοστιβάδων στον συνολικό υπολογισμό της επικινδυνότητας, βρίσκονται σε χρονολογίες που χαρακτηρίζονται από αυξημένο κίνδυνο σχηματισμού χιονοστιβάδων 2. Ωστόσο εφόσον τα περιστατικά αυτά ήταν μόνο 4 δεν αποτελούν ένα ασφαλές στατιστικά δείγμα που να αποδεικνύει την εγκυρότητα των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Παρόλα αυτά είναι προφανής η αύξηση της επικινδυνότητας στις ημερομηνίες, και λίγο πριν από αυτές, που έχουν συμβεί τα περιστατικά των χιονοστιβάδων. Το διάγραμμα 11 που αφορά το 2011 φαίνεται να έχει καταμερισμένη την επικινδυνότητα στις 3 κατηγορίες ενώ το διάγραμμα 10 που αφορά το Μάρτιο του 2015 αποτυπώνει κατά κύριο λόγο κίνδυνο 2. Το γεγονός αυτό το καθορίζει η βροχόπτωση που έχει καταγραφεί για αρκετές μέρες και επηρεάζει τη συνολική επικινδυνότητα, και βέβαια έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό χιονοστιβάδας στο τέλος του Μαρτίου του 2015. Βέβαια η

καταγεγραμμένη βροχόπτωση από το σταθμό του ΑΠΘ πιθανόν να είναι χιονόπτωση σε μεγαλύτερα υψόμετρα και να επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο τον κίνδυνο σχηματισμού χιονοστιβάδας. Η επικινδυνότητα με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα ως έχει δεν είναι δυνατόν να αποδοθεί χωρικά καθώς προκύπτει από ένα σταθμό σε μια συγκεκριμένη θέση και για αυτό το λόγο δεν μπορεί να υποδείξει τις περιοχές της αυξημένης επικινδυνότητας στο σύνολο του βουνού για το οποίο και σχεδιάστηκε ο χάρτης επικινδυνότητας, αλλά μόνο σε μια μικρή ακτίνα από το σταθμό του ΑΠΘ.

Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα

Επικινδυνότητα βάσει μετεωρολογικών συνθηκών:

Ενώ χάρτης επικινδυνότητάς αναγλύφου αναδεικνύει τις περιοχές όπου είναι πιο πιθανό να συμβούν χιονοστιβάδες, οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι ο παράγοντας που καθορίζει το πότε αυτές θα συμβούν αλλά και το που. Τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι απαραίτητα για τη πρόγνωση χιονοστιβάδων με όλους τους τρόπους που έχουν ήδη αναφερθεί. Στην περίπτωση της πρόγνωσης χιονοστιβάδων στον Όλυμπο με βάση τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία, είναι απαραίτητη η χρήση μετεωρολογικών δεδομένων που να αφορούν μεγαλύτερο υψόμετρο και περισσότερες περιοχές του Ολύμπου, ενώ τα δεδομένα θα είναι τα εκτιμόμενα από τους μετεωρολόγους (και θα αφορούν την πρόγνωση). Τα δεδομένα σε αυτή την εργασία ήταν τα καταγεγραμμένα από το σταθμό του ΑΠΘ και χρησιμοποιήθηκαν για επαλήθευση της μεθόδου και όχι για πραγματική πρόγνωση.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν τα οποία ήταν και τα μοναδικά που υπήρχαν για τον Όλυμπο για το μέγιστο δυνατό υψόμετρο ήταν ανεπαρκή για τους παρακάτω λόγους:

1. **Θέση σταθμού στο ΚΕΟΑ του ΑΠΘ** : Η θέση του σταθμού ήταν στα 1850μ και στην αντίθετη πλευρά του βουνού όπως φαίνεται και στους χάρτες (εικόνα 36 και εικόνα 43) σε σχέση με τα καταγεγραμμένα περιστατικά χιονοστιβάδων βάσει των οποίων έγινε η επαλήθευση της μεθόδου που ακολουθήθηκε. Οι συνθήκες στο βουνό όπως έχει αναφερθεί και πιο πριν μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με την περιοχή και το υψόμετρο όπως η θερμοκρασία η οποία στην περίπτωση του Ολύμπου για κάθε 100 μέτρα ανάβασης πέφτει περίπου μισό βαθμό. Επιπλέον ο σταθμός βρίσκεται κάτω από τα 1900 μέτρα που ορίστηκαν ως το υψόμετρο πάνω από το οποίο υπάρχει μόνιμη χιονοκάλυψη για τους χειμερινούς μήνες (ισόθερμη 0°C) γεγονός που επηρεάζει την επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων. Έτσι στην πραγματικότητα βάσει των μετεωρολογικών δεδομένων κανένα από τα καταγεγραμμένα

με ημερομηνίες περιστατικά χιονοστιβάδων δεν μπορούν να επαληθευτούν με ακρίβεια καθώς συμβαίνουν (ζώνες εκκίνησης) βόρεια και ανατολικά του σταθμού, σε υψόμετρο τουλάχιστον 300 μέτρα μεγαλύτερο και σε απόστασή τουλάχιστον 4 χιλιομέτρων από τον σταθμό σύμφωνα με το google earth [57].

Για παράδειγμα είναι δυνατόν ο σταθμός στο υψόμετρο και στη θέση που βρίσκεται (περιοχή 1) να καταγράφει βροχή, ενώ σε μεγαλύτερο υψόμετρο και απόσταση από το σταθμό (περιοχή 2) να συμβαίνει χιονόπτωση και συνεπώς ο κίνδυνος εμφάνισης χιονοστιβάδων μεταξύ των 2 περιοχών να είναι διαφορετικός.

Εικόνα 43 Θέση μετεωρολογικού σταθμού ΑΠΘ, και θέσεις χιονοστιβάδων

2. **Είδος μετεωρολογικών δεδομένων**: Τα μετεωρολογικά δεδομένα ήταν ανεπαρκή όσον αφορά την παρακολούθηση της δραστηριότητας χιονοστιβάδων καθώς σε αυτά δεν συμπεριλαμβάνονταν βασικά δεδομένα για την πρόγνωση χιονοστιβάδων, όπως η ποσότητα νέου χιονιού και ο βαθμός συσσώρευσης χιονιού. Επίσης τα δεδομένα αφορούσαν περίοδο 24ωρών ενώ για την καλύτερη πρόγνωση λόγω της έντονης μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών στο βουνό, είναι απαραίτητη η χρήση μετεωρολογικών δεδομένων που ανανεώνονται τουλάχιστον ανά 12 ώρες.
3. **Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά Ολύμπου** : Οι κανόνες βάσει των οποίων υπολογίστηκε η επικινδυνότητα σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες και απεικονίζονται στον πίνακα 3 προκύπτουν από την παρατήρηση και τη μελέτη βουνών της Β. Αμερικής που έχουν διαφορετικό κλίμα (πχ Ηπειρωτικό) από αυτό του Ολύμπου, το οποίο κοντά στους πρόποδες θεωρείται μεσογειακό, και επηρεάζεται από τη θάλασσα, με αυξημένες βροχοπτώσεις στις βόρειες και ανατολικές πλευρές όπως αναφέρεται και πιο πάνω. Έτσι προκύπτει ότι για την εγκυρότερη πρόβλεψη πιθανών

περιστατικών χιονοστιβάδων είναι απαραίτητη η παρακολούθηση του συγκεκριμένου βουνού, βάσει των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του οποίου (θερμοκρασιακό εύρος, ανώτερη και κατώτερη θερμοκρασία, μέση θερμοκρασία, πλαγιές περισσότερο εκτεθειμένες σε αέρα, χιόνι ή βροχή, μέση ταχύτητα ανέμου κλπ) θα προκύψουν κανόνες προσαρμοσμένοι στον Όλυμπο που θα επιτρέπουν την πρόγνωση χιονοστιβάδων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

4. **Πρωτογενή Δεδομένα** : Τα Πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και αφορούν τη θέση και κάποια από αυτά και την ημερομηνία συμβάντων χιονοστιβάδων ήταν 15 συνολικά, από τα οποία υπήρχαν καταγεγραμμένες ημερομηνίες για τα 4 μόνο. Αυτό αν και δεν είναι ένα στατιστικά ασφαλές δείγμα που μπορεί να αποδείξει την εγκυρότητα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε από μόνο του ήταν μεγάλης σημασίας καθώς η λήψη τέτοιων δεδομένων δεν είναι πάντα δυνατή λόγω των καιρικών συνθηκών, αλλά και της επικινδυνότητας προσέγγισης του πεδίου όπου έχει πραγματοποιηθεί χιονοστιβάδα, λόγω του κινδύνου επαναληπτικού συμβάντος χιονοστιβάδας΄ ενώ είναι αρκετά επικίνδυνο και απαιτεί ειδικευμένα άτομα για την προσέγγιση του πεδίου όπου έχει συμβεί χιονοστιβάδα, με σκοπό την καταγραφή του φαινομένου.

Προτάσεις

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας και της προσπάθειας εύρεσης πρωτογενών δεδομένων που αφορούν το βουνό του Ολύμπου, έγινε κατανοητό ότι υπάρχει ένα μεγάλο κενό σε δεδομένα. Τα πρωτογενή δεδομένα που χορηγήθηκαν και αφορούν εντοπισμένα και καταγεγραμμένα συμβάντα χιονοστιβάδων είναι ιδιαίτερα δύσκολο και επικίνδυνο να συλλεχθούν όπως αναφέρεται και πιο πάνω και γίνεται αποκλειστικά από τους ανθρώπους που δραστηριοποιούνται στον Όλυμπο και κατά τη χειμερινή περίοδο (ορειβάτες, υπεύθυνοι καταφυγίων) Η χρήση drone θα μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό και αποτύπωση περιστατικών χιονοστιβάδων σε περίπτωση που οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν.

Η ύπαρξη μετεωρολογικών δεδομένων για τον Όλυμπο, το ψηλότερο ελληνικό βουνό, αλλά και για άλλα βουνά στην Ελλάδα είναι απαραίτητη για την πρόγνωση φαινομένων χιονοστιβάδων και την προστασία των χιονοδρόμων και των ορειβατών. Εκτός από την πρόγνωση χιονοστιβάδων η παρακολούθηση των μετεωρολογικών συνθήκων των βουνών καθώς και της εξέλιξης τους στο χρόνο είναι απαραίτητη και για άλλους λόγους όπως η παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής και του αντίκτυπου αυτής στο ορεινό πεδίο. Επιπλέον η συγκρότηση ενός συστήματος προειδοποίησης για τις συνθήκες που αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης χιονοστιβάδων είναι δυνατόν να παρακινήσει περισσότερο κόσμο να κινηθεί με ασφάλεια στο βουνό και να αυξήσει τον ορεινό τουρισμό τονώνοντας την οικονομία των ορεινών περιοχών. Έτσι για αρχή προτείνεται η δημιουργία ενός ιστοτόπου πρόγνωσης χιονοστιβάδων και καταγραφής συμβάντων για τα ελληνικά βουνά με απώτερο στόχο την ένταξη της Ελλάδας στο Ευρωπαϊκό σύστημα προειδοποίησης για χιονοστιβάδες (European Avalanche Warning Services EAWS) http://www.avalanches.org τουλάχιστον για τον Όλυμπο που αποτελεί ήδη πεδίο χιονοδρομικών δραστηριοτήτων αλλά και άλλων βουνών με χιονοδρομική δραστηριότητα (π.χ Τύμφη). Το πεδίο της πρόγνωσης και μελέτης των χιονοστιβάδων είναι ανοιχτό και ανεξερεύνητο στην Ελλάδα και έχει σημασία να κεντρίσει το επιστημονικό ενδιαφέρον με στόχο την ενίσχυση της χιονοδρομίας εκτός χιονοδρομικών κέντρων σε ασφαλή πλαίσια.

Βιβλιογραφία

(1) McCollister, C., K. Birkeland, K. Hansen and R. Comey., A probabilistic technique for exploring multi-scale spatial patterns in historical avalanche data by combining GIS and meteorological nearest neighbors with an example from the Jackson Hole Ski Area, Wyoming. Proceedings, ISSW, Pentiction, B.C. Canada.), 2002

(2) Havens S. C., Development and application of tools for avalanche forecasting, avalanche detection, and snowpack characterization Boise State University), 2014

(3) Έλυα Μιχαηλίδου, Ορεινές Περιοχές της Ελλάδας. Χαρακτηριστικά και Στρατηγικές Ανάπτυξης , 2008

(4) McIntosh SE1, Grissom CK, Olivares CR, Kim HS, Cause of death in avalanche fatalities, 2007

(5) Luis G Lopez-Cobo., The Production of Patents and Evolution of the Production of Knowledge around Snow Avalanches, 2015

(6) Y. Bühler a,∗, A. Hüni a, M. Christen b, R. Meister b, T. Kellenberger, Automated detection and mapping of avalanche deposits using airborne optical remote sensing data, 2009

(7) Huggel, C., et al., 2005. The 2002 rock/ice avalanche at the Kolka/Karmadon, Russian Caucasus: assessment of extraordinary avalanche formation and mobility, and application of QuickBird satellite imagery, 2005

(8) H. Gubler, M. Hiller, The use of microwave FMCW radar in snow and avalanche research, 1984

(9) Matthieu Vernay 1, Matthieu Lafaysse ∗, Laurent Mérindol, Gérald Giraud, Samuel Morin, Ensemble forecasting of snowpack conditions and avalanche hazard, 2015

(10) Conway, H., and C. Wilbour SNOSS Conway και Wilbour, , Evolution of snow slope stability during storms, 1999

(11) Akula, Rajani; Kumar, Arun; Agrawal, Monika, Localization of Snow Avalanches from Infrasound Signatures Using an Acoustic Vector Sensor, 2016

(12) Javier Chueca Cı´aa∗, Asuncio´n Julia´n Andre´sb and Alejandro Montan˜e´s Magallo´na A proposal for avalanche susceptibility mapping in the Pyrenees using GIS: the Formigal-Peyreget area (Sheet 145-I; scale 1:25.000), 2013

(13) A.C. Teodoro & L. DuartePages, Forest fire risk maps: a GIS open source application – a case study in Norwest of Portugal, 2012

(14) C. V. Westen, "Remote sensing and gis for natural hazards assessment and disaster risk management" in Treatise on Geomorphology, 2013

(15) John E.T Moen, Ben J.M Ale, Risk maps and communication, 1998

(16) SNOWPACK, Bartelt και Lehning, 2002

Βιβλία

(17) David McClung,Peter A. Schaerer The Avalanche Handbook, third edition, 2006
(18) Graeme F. Bonham-Carter, Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS, 2014
(19) Νίκος Νέζης, Όλυμπος Γεωγραφία, φύση, πολιτισμός, περιήγηση, ορειβασία, αναρρίχηση, τοπωνύμια, 2003

Άρθρα

(20) Συνέντευξη 04/01/2016 ΑΠΕ ΜΠΕ, Ηρακλής Λεφούσης (πρόεδρος της Ένωσης Χιονοδρομικών Κέντρων Ελλάδας,) Πηγή: http://www.iefimerida.gr
(21) Χιονοστιβάδα πέφτει σε συνεργείο της ΔΕΗ στο Καρπενήσι Ηλεκτρονική πηγή: iefimerida.gr

Ηλεκτρονικές πηγές

(22) https://nsidc.org/cryosphere/snow/science/avalanches.html.
(23) http://www.icdo.org/en/disasters/natural-disasters/avalanches/
(24) https://www.nps.gov/mora/planyourvisit/upload/avalanche-danger-oct11.pdf
(25) https://web.archive.org/web/20071220033946/http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/climate_systems/marine_west_coast.html
(26) http://www.fsavalanche.org/aspect/
(27) http://www.avalanche.net.nz/education/online-avalanche-course/--Avalanche-Types.asp
(28) http://www.n-d-a.org/avalanche.php (Natural Disasters Association)
(29) http://www.opengov.gr (Ανακτήθηκε 01/09/2016)
(30) http://www.ski.gr/skicenters (Ανακτήθηκε 01/09/2016)
(31) http://www.advendure.com Ανακτήθηκε (01/04/2016)
(32) http://snowstudies.org/dust/20130424.html)
(33) http://www.avalanche.ca/

(34) https://utahavalanchecenter.org/
(35) http://www.sierraavalanchecenter.org
(36) http://avalanche.state.co.us
(37) http://jhavalanche.org/
(38) https://www.nwac.us/
(39) http://www.mtavalanche.com
(40) http://www.avalanche.org/
(41) http://www.mountwashingtonavalanchecenter.org
(42) http://www.slf.ch/lawinenbulletin
(43) http://www.avalanches.org/
(44) http://www.sais.gov.uk/
(45) http://www.mwis.org.uk/avalanche-forecast
(46) http://www.varsom.no/
(47) http://www.snaps-project.eu/
(48) http://www.aemet.es.
(49) http://www.avalanche.net.nz/Forecasts/
(50) http://nadare.jp/alert/cat232/
(51) http://www.wsdot.wa.gov
(52) www.mammut.ch
(53) http://www.csiro.au
(54) http://inspire.ec.europa.eu
(55) https://www.sepa.org.uk/
(56) http://www.comet.ucar.edu
(57) http://www.olympusfd.gr/
(58) http://www.olympus-climbing.gr
(59) https://www.auth.gr/units/735
(60) http://www.meteocam.gr/olympos/index.html
(61) www.meted.ucar.edu

‘

Άλλες Πηγές

(62) Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το Άρθρο 06 (Ειδικές–Εναλλακτικές Μορφές Τουρισμού),
(63) ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΟΡΕΙΒΑΤΙΚΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΑΘΗΝΩΝ Αθήνα, 01-03-05

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Οι παράγοντες γενικά που παίζουν ρόλο στο σχηματισμό μιας Χιονοστιβάδας 11
Εικόνα 2 Τύμφη – κορυφή Γκούρα , Απρίλιος 2016. Απόθεση χιονιού (κορνίζα), λόγω του ανέμου. Φαίνεται ο κίνδυνος να αποκοπεί πλάκα και να ξεκινήσει χιονοστιβάδα. Πηγή! Προσωπικό αρχείο Θ. Πάντου 13
Εικόνα 3 *Ο προσανατολισμός μιας πλαγιάς παίζει ρόλο στον σχηματισμό χιονοστιβάδας (Πηγή: http://www.fsavalanche.org/aspect)* 14
Εικόνα 4 Ανάλυση της διαδρομής μιας χιονοστιβάδας Πηγή : http://www.fsavalanche.org/runout-zone/ 17
Εικόνα 5 Επιμέρους μέρη από τα οποία αποτελείται μια χιονοστιβάδα 17
Εικόνα 6 Τύπος Υγρής ανοιξιάτικης χιονοστιβάδας στην περιοχή Γκαβός του Ολύμπου Πηγή : Αρχείο Μιχάλη Στύλλα 19
Εικόνα 7 Χιονοστιβάδα πλάκας κάτω από το Στεφάνι (Πηγή: Αρχείο Λάζαρου Μποτέλη) 19
Εικόνα 8 Μονοπάτι Χιονοστιβάδας στον Όλυμπο (φωτο. Nikos Bartsotas) 22
Εικόνα 9 Στιγμιότυπο βίντεο από κάμερα go pro, σκιέρ στη Βασιλίτσα, που δείχνει χιονοστιβάδα (βλ. βέλος) να κατεβαίνει (Πηγή: youtube.com) 23
Εικόνα 10 Προφίλ χιονιού για την πρόγνωση χιονοστιβάδων. [32] 29
Εικόνα 11 Διάκριση των επιμέρους στρωμάτων χιονιού και των σωματιδίων χιονιού που τα αποτελούν [26] 30
Εικόνα 12 Κλίμακα επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες ε χρωματική απεικόνιση [33] 32
Εικόνα 13 Απεικόνιση επικινδυνότητας για χιονοστιβάδες με βάση το καναδικό σύστημα πρόγνωσης http://www.avalanche.ca/ [33] 33
Εικόνα 14 Διαδραστικός χάρτης της Ευρώπης στη σελίδα http://www.avalanches.org με πληροφορίες για την επικινδυνότητα εμφάνισης χιονοστιβάδων στα βουνά των χωρών που απεικονίζονται με μπλε χρώμα [43] 34
Εικόνα 15 Απεικόνιση του περιβάλλοντος της εφαρμογής Mammut για την προστασία των χιονοδρόμων [52] 36
Εικόνα 16 Χάρτες επικινδυνότητας για πλημμύρες στην Αγγλία [55] 39
Εικόνα 17 Παράμετροι που επιλέχθηκαν για την εκτέλεση της κατάτμησης 42
Εικόνα 18 Αποτέλεσμα κατάτμησης 43
Εικόνα 19 Εισαγωγή των επιμέρους κλάσεων 43
Εικόνα 20 Επιλογή Δειγμάτων 44
Εικόνα 21 Edit Standard NN feature Space 44
Εικόνα 22 Επιλέχθηκε η μέση τιμή για κάθε ένα επίπεδο 45
Εικόνα 23 Εφαρμογή του κανόνα του Nearest Neighbor σε όλες τις κλάσεις 45
Εικόνα 24 αποτέλεσμα ταξινόμησης για τμήμα της εικόνας 46
Εικόνα 25 Δημιουργία ενός αρχείου raster 46
Εικόνα 26 Χρήση Αλγορίθμου Gaussian filter για την εξομάλυνση του DEM 47
Εικόνα 27 Διαμόρφωση των πέντε κατηγοριών κλίσεων στο επίπεδο Slope 49
Εικόνα 28 Δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας για κλίσεις 49

Εικόνα 29 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης εδαφοκάλυψης (σκούρο πράσινο: δάσος, ανοιχτό πράσινο :γρασίδι, χακί : θαμνώδεις εκτάσεις, γκρί : γυμνός βράχος- χώμα. Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει τερέν (εδαφοκάλυψης). 50
Εικόνα 30 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης υψομέτρου : ροζ <1900m, πράσινο ≥1900m (ισόθερμης 0°C για τους μήνες μόνιμης χιονοκάλυψης: Νοέμβριος-Μάιος [57]) Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει υψομέτρου 51
Εικόνα 31 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης κλίσεων (Πλαγιάς (°) κόκκινο≥ 0, σκούρο ροζ ≥25,ανοιχτό ρόζ ≥30, ανοιχτό γαλάζιο≥ 40, γαλάζιο≥ 45, μπλε ≥ 45 Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει κλίσεων 51
Εικόνα 32 Αριστερά Χάρτης απεικόνισης καμπυλότητας Πλαγιάς (°)πράσσινο : κυρτή, γκρί: κοίλη 5 Δεξιά χάρτης επικινδυνότητας βάσει καμπυλότητας.....52
Εικόνα 33 Αριστερά Τελικός χάρτης επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων στον Όλυμπο βάσει ανάγλυφου. Δεξιά, ο χάρτης επικινδυνότητάς με τη χρωματική παλέτα της εικόνας 12 53
Εικόνα 34 Εικόνα του Ολύμπου από plugin του Google Satellite στο QGIS που απεικονίζει τα σημεία ενδιαφέροντος. Αστέρια : Περιστατικά Χιονοστιβάδων, Τρίγωνα: καταφύγια, Μωβ κύκλος : Χιονοστιβάδα 1976 Κλίμακα : 1:83.437 54
Εικόνα 35 Απεικόνιση των σημείων ενδιαφέροντος σε μικρότερη κλίμακα για πιο αναλυτική παρατήρηση . Κλίμακα 1:43.225 54
Εικόνα 36 Ο χάρτης επικινδυνότητας QGIS που απεικονίζει τα σημεία ενδιαφέροντος. Αστέρια : Περιστατικά Χιονοστιβάδων, Τρίγωνα: καταφύγια, Μωβ κύκλος : Χιονοστιβάδα 1976 Κλίμακα : 1:171.698 55
Εικόνα 37 Δοκιμαστικός χάρτης επικινδυνότητας με ενισχυμένες τις ακραίες τιμές. 56
Εικόνα 38 Αριστερά, τιμές πρώτου χάρτη που επιλέχθηκε ως έγκυρος, δεξιά οι τιμές που δόθηκαν για το δεύτερο χάρτη στον οποίο λιγότερες περιοχές βρίσκονται στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας.....56
Εικόνα 39 Απεικόνιση των σημείων ενδιαφέροντος σε μικρότερη κλίμακα για πιο αναλυτική παρατήρηση . Κλίμακα 1:27.359 57
Εικόνα 40 Αποτύπωση περιστατικών χιονοστιβάδων στις περιοχές πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας του χάρτη επικινδυνότητας βάσει αναγλύφου.....72
Εικόνα 41 Υγρή Χιονοστιβάδα Περιοχή Γκαβός 13/04/2011 (Προσωπικό αρχείο Μ. Στύλλα).....73
Εικόνα 42 Υγρή Χιονοστιβάδα Περιοχή Σκούρτα 30/03/2015 (Προσωπικό αρχείο Μ. Στύλλα).....73
Εικόνα 43 Θέση μετεωρολογικού σταθμού ΑΠΘ, και θέσεις χιονοστιβάδων.....76

Πίνακας διαγραμμάτων και πινάκων

Πίνακας 1 Χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα [30] 21

Πίνακας 2 Βάρη που αφορούν τις μεταβλητές για την δημιουργία των χαρτών επικινδυνότητας[12].....47

Πίνακας 3 Δείκτες καιρού για το ενδεχόμενο Χιονοστιβάδας[61].....60

Διάγραμμα 1 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα βροχή για τις ημερομηνίες 27/1/2011 και 14/4/2011……..62

Διάγραμμα 2 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα βροχή για τις ημερομηνίες 28/2/2015- 30/3/2015……...63

Διάγραμμα 3 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα διεύθυνση ανέμου για τις ημερομηνίες 27/1/2011-14/4/2011.....64

Διάγραμμα 4 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα αύξηση θερμοκρασίας για τις ημερομηνίες 27/1/2011- 14/4/201..65

Διάγραμμα 5 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα αύξηση θερμοκρασίας για τις ημερομηνίες από 28/2/2015-30/3/2015……65

Διάγραμμα 6 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα υψηλές θερμοκρασίες για τις ημερομηνίες 27/1/2011-14/4/2011 66

Διάγραμμα 7 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τον παράγοντα υψηλές θερμοκρασίες για τις ημερομηνίες από 28/2/2015-30/3/2015……67

Διάγραμμα 8 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων για τις ημερομηνίες 27/1/2011-14/4/2011 ……..68

Διάγραμμα 9 Επικινδυνότητα σχηματισμού χιονοστιβάδων για τις ημερομηνίες από 28/2/2015-30/3/2015……68

Διάγραμμα 10 Επισήμανση των ημερών που συνέβησαν χιονοστιβάδες (2015)..69

Διάγραμμα 11 Επισήμανση των ημερών που συνέβησαν χιονοστιβάδες 2011)..70

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή ……..8

1.1 Αντικείμενο μελέτης……..8

1.2 Δομή εργασίας……..8

1.2.1 Παρουσίαση και ανάλυση του φαινομένου χιονοστιβάδα……..8

1.2.2 Παρουσίαση της μεθόδου που εφαρμόστηκε……..9

Κεφάλαιο 2.

Χιονοστιβάδες……..10

2.1 Τι είναι οι Χιονοστιβάδες……..10

2.2 Πως δημιουργείται μια Χιονοστιβάδα ……..10

2.2.1 Αλληλεπίδραση διαφορετικών παραγόντων στο σχηματισμό Χιονοστιβάδας……11

2.2.2 Παράγοντες που ευνοούν το σχηματισμό χιονοστιβάδας……..12

2.2.3 Επίδραση των παραγόντων σε διαφορετική κλίμακα……15

2.2.4 Πρόκληση χιονοστιβάδας– γεγονός που πυροδοτεί τη δημιουργία της (Triggering)……15

2.3 Προβλήματα που προκαλούν οι χιονοστιβάδες……16

2.4 Δομή χιονοστιβάδας……..16

2.4.1 Διάκριση Χιονοστιβάδων με βάση την έκταση τους……..18

2.4.2Διάκριση Χιονοστιβάδων με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους.18

Κεφάλαιο 3. Ελληνικά βουνά και χιονοστιβάδες……..20

3.1 Η περίπτωση της Ελλάδας……..20

3.2 Χιονοδρομικός τουρισμός……..20

3.2.1 Αύξηση της επισκεψιμότητας στα χιονοδρομικά κέντρα……..20

3.2.2 Σχέδιο ενίσχυσης του χειμερινού τουρισμού……..20

3.3 Χιονοστιβάδες στα ελληνικά βουνά……..22

3,2.1 Ατυχήματα που από χιονοστιβάδες……..23

3.2.2 Αίτια θανάτου από χιονοστιβάδα……..23

Κεφάλαιο 4 Μέθοδοι πρόγνωσης και μέτρα αποφυγής ατυχημάτων από χιονοστιβάδες ……..24

4.1 Έρευνα και τεχνολογίες……..24

4.2 Μέθοδοι για την πρόγνωση χιονοστιβάδων……..26

4.2.1 Αξιολόγηση των συνθηκών στο πεδίο……....29

4.3 Συστήματα πρόγνωσης χιονοστιβάδων……31

4.3.1 Παράδειγμα συστήματος πρόγνωσης χιονοστιβάδων - Avalx Public Avalanche Forecasting System……31

4.3.2 Ανάλυση επικινδυνότητας 1-5: Αξιολόγηση Κινδύνου – Επεξήγηση……..32

4.3.3 Διεθνείς ιστότοποι πρόγνωσης και ενημέρωσης γιχιονοστιβάδες……..32

4.4 Αντιμετώπιση του κινδύνου - μέτρα αποφυγής και πρόληψης. ……35

4.4.1 Διαχείριση του κινδύνου από τις αρχές……..35

4.4.2 Διαχείριση του κινδύνου από το χιονοδρόμο……....35

Κεφάλαιο 5. Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τηλεπισκόπησης και μοντέλων στην πρόγνωση χιονοστιβάδων. ……..36

5.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών……..…..36

5.2 Η συμβολή των ΓΣΠ και της τηλεπισκόπησης στην πρόβλεψη φυσικών καταστροφών……..…37

5.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες……....38

5.2.2 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους……....38

5.3 Χάρτες επικινδυνότητας……..…38

5.4 Σχεδιασμός μοντέλων για την πρόγνωση χιονοστιβάδων……..39

5.4.1 Παράδειγμα : μοντέλο SNOSS. ……..40

Κεφάλαιο 6 Μέθοδος πρόγνωσης χιονοστιβάδων για τον Όλυμπο……....40

6.1 Δεδομένα και μέθοδος……....40

6.2 Ταξινόμηση της Εδαφοκάλυψης στον Όλυμπο……..41

6.2.1 Βήμα 1ο : Κατάτμηση……....41

6.2.2 Βήμα 2ο : Ταξινόμηση (Classification) ……43

6.2.3 Βήμα 3ο: Εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε αρχείο tif με γεωγραφική αναφορά……...…45

6.3 Χάρτες Επικινδυνότητας με χρήση QGIS ……..46

6.3.1 Φόρτωση των επιμέρους επιπέδων στο QGIS……....46

6.3.2 Δημιουργία των επιμέρους χαρτών επικινδυνότητας……..47

6.4 Εκτίμηση της επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τις καιρικές συνθήκες. ……57

6.4.1 Μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά Ολύμπου……..57

6.4.2 Οι μετεωρολογικοί σταθμοί στον Όλυμπο :……58

6.5 Εφαρμογή κανόνων στο excel για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας σχηματισμού χιονοστιβάδων με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα……..59

6.6 Υπολογισμός του κινδύνου για κάθε παράγοντα ……..62

6.6.1 Υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα «Βροχή»……..62

6.6.2 Υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα «Άνεμος»……..63

6.6.3 Υπολογισμός του κινδύνου για τον παράγοντα «Θερμοκρασία»……64

6.6.4 Υπολογισμός του συνολικού κινδύνου με βάση το σύνολο των επιμέρους κινδύνων……67

Κεφάλαιο 7. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων……..……71

7.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν το χάρτη επικινδυνότητας……..71

7.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις επικινδυνότητες βάσει καιρικών συνθηκών ……..……72

7.2.1 Παράγοντας επικινδυνότητας «Βροχόπτωση»……..…72

7.2.2 Παράγοντας επικινδυνότητας «Άνεμος»……..…73

7.2.3 Παράγοντας επικινδυνότητας Αύξηση Θερμοκρασίας……..74

7.2.4 Παράγοντας επικινδυνότητας υψηλές Θερμοκρασίες……..74

7.2.5 Επικινδυνότητα βάσει του συνόλου των παραγόντων……..74

Κεφάλαιο 8
Συμπεράσματα……..……75

Προτάσεις……..78

Βιβλιογραφία……..79

Πίνακας εικόνων……..82

Πίνακας διαγραμμάτων και πινάκων……..83